Spis treści

0 Napój wszech czasów XIX

1 Surowce 1

1.1 Jęczmień 1

1.1.1 Formy i gatunki jęczmienia 1
- Formy jęczmienia 1
- Odmiany jęczmienia 2

1.1.2 Uprawa jęczmienia 3

1.1.3 Budowa ziarna jęczmienia 4
- Zewnętrzna budowa ziarna 4
- Budowa wewnętrzna ziarna 4

1.1.4 Skład chemiczny ziarna i właściwości jego składników 6
- Węglowodany 6
  - Skrobia 6
  - Cukry 7
  - Celuloza 7
  - Hemicelulozy 7
- Ciała białkowe 8
  - Białka 9
  - Produkty rozkładu białek 9
- Tłuszcze 10
- Związki mineralne 11
- Inne składniki 12
  - Garbniki, czyli polifenole 12
  - Witaminy 12
  - Enzymy jęczmienia 13

1.1.5 Ocena jęczmienia na słód 15
- Ocena na podstawie cech zewnętrznych 15
- Badania mechaniczne i chemiczne ziarna 15
- Badania fizjologiczne ziarna 18

1.2 Chmiel 18

1.2.1 Rejony uprawy 19

1.2.2 Zbiór, suszenie i konserwowanie chmielu 21

1.2.3 Budowa szyszki chmielowej 22

1.2.4 Skład chemiczny chmielu i właściwości jego składników 22
- Substancje gorzkie (żywice chmielowe) 22
- Olejki chmielowe 24
- Garbniki lub polifenole 25
- Białka 26

1.2.5 Ocena chmielu 26
- Ocena organoleptyczna szyszek chmielowych 26
- Zawartość substancji goryczkowych 27

1.2.6 Odmiany chmielu 28

1.2.7 Preparaty chmielowe 30
- Granulaty chmielowe (pelety) 30
- Ekstrakty chmielowe 33

1.3 Woda 36

1.3.1 Obieg wody w przyrodzie 36

1.3.2 Zużycie świeżej wody w browarze 37

1.3.3 Pozyskiwanie wody 37
- Pozyskiwanie wody gruntowej 37
- Pobieranie wody powierzchniowej 38
- Znaczenie pozyskiwania wody na własne potrzeby 38

1.3.4 Jakość wody 39
- Wymagania dotyczące wody pitnej 39
- Wymagania dotyczące wody dla celów piwowarskich 42

1.3.5 Metody uzdatniania wody 45
- Metody usuwania zawiesin 45
- Usuwanie rozpuszczalnych substancji 46
- Metody poprawy alkaliczności resztkowej 46
- Dezynfekcja wody 49
- Odgazowanie wody 50

1.4 Drożdże 50

1.4.1 Budowa i skład chemiczny komórki drożdżowej 51

1.4.2 Przemiana materii u drożdży 54

1.4.3 Przyrost i rozwój populacji drożdży 54

1.4.4 Charakterystyka drożdży piwnych 56
- Cechy morfologiczne 56
- Różnice fizjologiczne 57
- Różnice technologiczne 57

• Praktyczny podział szczepów drożdży 57
1.5 Surowce niesłodowane 58
1.5.1 Kukurydza 59
1.5.2 Ryż 60
1.5.3 Jęczmień 61
1.5.4 Sorgo 61
1.5.5 Pszenica 62
1.5.6 Karmc. spożywczy (browijcy) 62
1.5.7 Cukier 62

2 Produkcja słodu 63

2.1 Przyjmowanie, czyszczenie, sortowanie i przesyłanie jęczmienia 64
2.1.1 Przyjmowanie jęczmienia 64
• Przyjmowanie jęczmienia z transportu drogowego lub kolejowego 64
• Przyjmowanie jęczmienia ze statków 65
2.1.2 Czyszczenie i sortowanie jęczmienia 65
• Wstępne czyszczenie jęczmienia 67
• Urządzenie magnetyczne 69
• Odkamieniacz 70
• Łuszczarka ecpowa 70
• Tryjer 71
• Sortowanie jęczmienia 73
• Zasady sortowania 73
• Sortownik cylindryczny 73
• Sortownik płaski 74
2.1.3 Transport wewnętrzny jęczmienia i słodu 75
• Przenośniki mechaniczne 77
• Przenośnik kubełkowy, czyli elewator 77
• Przenośnik ślimakowy 77
• Przenośnik zgarniakowy 78
• Przenośnik taśmowy 79
• Przenośniki pneumatyczne 79
• Przenośnik pneumatyczny ssący 80
• Przenośnik pneumatyczny tłoczący 81
2.1.4 Urządzenia do usuwania kurzu (pyłu) 83
• Cyklon 83
• Filtry odpylające do powietrza 83
• Filtr odpylający starego typu 84
• Nowoczesne filtry odpylające 85
• Filtr dyszowy 85
• Inne nowoczesne filtry powietrza 86

2.2 Suszenie i magazynowanie jęczmienia 86
2.2.1 Oddychanie jęczmienia 86
2.2.2 Suszenie jęczmienia 87
2.2.3 Chłodzenie jęczmienia 88
2.2.4 Magazynowanie jęczmienia 89
• Magazynowanie w silosach 89
• Magazynowanie jęczmienia browarnego w spichlerzach 90
• Szkodniki magazynowe 91
• Szkodniki zwierzęce 91
• Szkodniki roślinne 91

2.3 Moczenie jęczmienia 92
2.3.1 Przebieg moczenia 92
• Pobieranie wody 92
• Zaopatrzenie w tlen 95
• Mycie jęczmienia 95
2.3.2 Zamoczaniki 95
2.3.3 Technika moczenia ziarna 100

2.4 Kiełkowanie jęczmienia 102
2.4.1 Przebieg procesu kiełkowania 102
• Wzrost kiełków 102
• Tworzenie enzymów 103
• Enzymy rozkładające skrobię (amylazy) 103
• Inne grupy enzymów 105
• Przemiany biochemiczne w czasie kiełkowania 105
• Rozluźnienie i rozkład b-glukanu 105
• Rozkład skrobi 109
• Przemiany substancji białkowych 110
• Rozpad substancji tłuszczowych (lipidy) 110
• Tworzenie siarczku metylu (DMS) w czasie kiełkowania 110
• Regulatory kiełkowania 110
• Zasady prowadzenia kiełkowania – podsumowanie 111
2.4.2 Metody kiełkowania (roszczenie słodu) 112

• Słodownia klepiskowe 112
• Słodownie pneumatyczne 113
• Kondycjonowanie powietrza 113
• Słodownie bębnowe 114
• Słodownie skrzyniowe 114
• Skrzynie prostokątne 115
• Okrągłe skrzynie 118
• Systemy słodowania z dolnowym przesiewaniem przy dnie 119
• Kontrola procesu kiełkowania 123

2.5 **Suszenie słodu** 123

2.5.1 Zmiany zachodzące w czasie suszenia 125
• Obniżenie zawartości wody 123
• Przerwanie procesu kiełkowania 124
• Tworzenie substancji barwiących i aromatycznych (reakcje Maillarda) 124
• Tworzenie DMS w czasie suszenia 125
• Tworzenie nitrozoamin 126
• Inaktywacja enzymów 126

2.5.2 Budowa suszarni 126
• Ogrzewanie i wietrzenie suszarni 127
• Suszarnie dwusitkowe starszego typu 129
• Suszarnie z siatkami uchylnymi 130
• Wysokie wydajne suszarnie z urządzeniami do załadowania i wyładowania 130
• Suszarnie o płaskowym układzie siatek 132

2.5.3 Prowadzenie procesu suszenia 133
• Produkcja słodu jasnego, typu pilzneńskiego 134
• Otrzymywanie słodu ciemnego, typu monachijskiego 135
• Opróżnianie suszarni 135
• Kontrola przebiegu suszenia 135

2.6 **Przygotowanie słodu do składowania** 136

2.6.1 Chłodzenie wysuszonego słodu 137

2.6.2 Odkiełkowanie słodu 137

2.6.3 Składowanie słodu 138

2.6.4 Polerowanie słodu 138

2.7 **Wydajność słodowania** 138

2.8 **Ocena słodu** 139

2.8.1 Ocena cech zewnętrznych (bonitacja) 139

2.8.2 Metody mechaniczne 139
• Wyrównanie słodu (sortowanie) 139
• Masa tysiąca ziarn 139
• Ciężkość w stanie zsypnym (ciężar hektolitrowy) 139
• Próba pływania 139
• Szklistość ziarna 140
• Kruchość ziarna 140
• Rozwój kiełka liścieniowego 140
• Zdolność kiełkowania 140

2.8.3 Badania chemiczno-techniczne 140
• Zawartość wody 140
• Oznaczenia w brzeczce laboratoryjnej („kongresowej") 140

2.8.4 Umowy na dostawę słodu 142

2.9 **Słody specjalne i uzyskane z innych zbóż** 143

2.9.1 Słody jasne (typu pilzneńskiego) 143

2.9.2 Ciemne słody (monachijskie) 143

2.9.3 Słód wiedeński 143

2.9.4 Słody karmelowe 144

2.9.5 Słód palony 144

2.9.6 Słód bawarski 145

2.9.7 Słód kwaśny 145

2.9.8 Słód żytni 145

2.9.9 Słód pszeniczny 145

2.9.10 Słód z innych zbóż 146

2.9.11 Słody stosowane do różnych rodzajów piwa (24) 147

2.10 **Bezpieczeństwo pracy w słodowni** 148

3 **Wytwarzanie brzeczki** 151

3.1 **Śrutowanie słodu** 152

3.1.1 Wstępna obróbka słodu 152
• Odpylanie i odkamienianie słodu 152
• Odważanie ilości zasypu 153
• Wagi uchylne 153
• Wagi ze spustową klapą denną 154

3.1.3 Śrutowanie na sucho 156
- Śrutowniki sześciowalcowe 156
- Śrutowniki pięciowalcowe 158
- Śrutownik czterowalcowy 158
- Śrutowniki dwuwalcowe 159
- Walce śrutowników 159
- Kondycjonowane śrutowanie na sucho 161
- Zasobnik do śruty 162
- Śrutowniki młotkowe (młewniki udarowe) 162

3.1.4 Mokre śrutowanie 163

3.1.5 Kondycjonowanie przez krótkie moczenie 165

3.1.6 Ocena śruty 167

3.2 Zacieranie 169

3.2.1 Przemiany podczas zacierania 169
- Cel zacierania 169
- Właściwości enzymów 169
- Rozkład skrobi 170
- Wpływ temperatury na rozkład skrobi 173
- Wpływ czasu trwania zacierania na rozkład skrobi 173
- Wpływ wartości pH na rozkład skrobi 174
- Wpływ stężenia zacieru na rozkład skrobi 174
- Kontrola rozkładu skrobi 174
- Rozkład β-glukanu 175
- Rozkład substancji białkowych 177
- Przemiana substancji (tłuszczowych (lipidów) 178
- Dalsze procesy rozkładu i rozpuszczania 179
- Biologiczne zakwaszanie 179
- Dodatek kwasów 180
- Wytwarzanie kwasu 181
- Skład ekstraktu 184
- Wnioski dla prowadzenia zacierania 184

3.2.2 Nastawy do zacierania 185

3.2.3 Zacieranie 186
- Prowadzenie zacierania 186
- Temperatura zacierania 188
- Wymieszanie wody i śruty słodowej 189

3.2.4 Proces zacierania 191
- Dobór metody zacierania 191
- Zacieranie infuzyjne 194
- Zacieranie dekokcyjne 195
- Jednowarowe procesy zacierania 197
- Dwuwarowe procesy zacierania 198
- Trójwarowe procesy zacierania 198
- Specjalne procesy zacierania 198
- Procesy zacierania z użyciem surowca niesłodowanego 199
- Zacieranie z ryżem 200
- Zacieranie z kukurydzą 202
- Zacieranie z jęczmiennym surowcem niesłodowanym 202
- Zacieranie z sorgo 203
- Zacieranie z cukrem lub syropem cukrowym 203
- Dodatek enzymów przy zacieraniu 204

3.2.5 Czasochłonność procesów zacierania 205

3.2.6 Kontrola zacierania 205

3.3 Filtracja zacieru 206

3.3.1 Główny nalew i wody wysłaczające 206

3.3.2 Cienkusz 207

3.3.3 Filtracja zacieru w kadzi filtracyjnej 208
- Budowa kadzi filtracyjnej starszego typu (rys. 3.46) 208
- Budowa kadzi filtracyjnych nowego rodzaju (rys.3.48 i 3.48a) 211
- Przebieg pracy przy filtracji zacieru w kadzi filtracyjnej 215

3.3.4 Filtracja przy pomocy filtra zacierowego 217
- Konwencjonalne filtry zacierowe 218
- Budowa konwencjonalnych filtrów zacierowych 218
- Przebieg pracy na konwencjonalnym filtrze zacierowym 219
- Filtry zacierowe nowej generacji 221
- Budowa filtra zacierowego 2001 221
- Przebieg pracy z filtrem 2001 (rys. 3.64) 225
- Inne nowoczesne filtry zacierowe

3.3.5 Wysłodziny
- Transport wysłodzin
- Analiza wysłodzin
- Wymywalny ekstrakt
- Niewymywalny ekstrakt (analiza laboratoryjna)
- Przeliczenie zawartości ekstraktu w wysłodzinach na słód

3.3.6 Ekstrakt słodowy

3.4 Gotowanie brzeczki

3.4.1 Procesy przy gotowaniu
- Rozpuszczanie i przemiana składników chmielu
- Wytrącanie i wytrącone związków białkowo-garbnikowych
- Odparowanie wody
- Sterylizacja brzeczki
- Zniszczenie wszystkich enzymów
- Wzrost zabarwienia
- Zakwaszanie brzeczki
- Wytrącanie substancji redukujących
- Zmiana zawartości DMS podczas i po gotowaniu brzeczki
- Zawartość cynku w brzeczce
- Brzeczka przy pełnym

3.4.2 Budowa i ogrzewanie
- Kocioł warzelny z bezpośrednim ogrzewaniem
- Kocioł warzelny ogrzewany parą
- Temperatura pary i ciśnienie
- Wyposażanie pomocnicze kotła warzelnego z podwójnym dnem
- Kształt kotła i mieszanie
- Gotowanie gotowe
- Kotły warzelne z gotowaniem przy niewielkim nadciśnieniu
- Nadciśnieniowe gotowanie z zewnętrznym pochodzeniem pary
- Nadciśnieniowe gotowanie z wewnętrznym pochodzeniem pary
- Gotowanie próżniowe

filtry zacierowe 227
3.3.5 Wysłodziny 229
• Transport wysłodzin 229
• Analiza wysłodzin 230
• Wymywalny ekstrakt 230
• Niewymywalny ekstrakt (analiza laboratoryjna) 230
• Przeliczenie zawartości ekstraktu w wysłodzinach na sód 230
3.3.6 Ekstrakt słodowy 232
3.4 Gotowanie brzeczki 232
3.4.1 Procesy przy gotowaniu brzeczki 232
• Rozpuszczanie i przemiana składników chmielu 232
• Wytrącanie i wytrącenie związków białkowo garbnikowych 233
• Odparowanie wody 234
• Sterylizacja brzeczki 235
• Zniszczenie wszystkich enzymów 235
• Wzrost zabarwienia brzeczki 235
• Zakwaszanie brzeczki 235
• Wytwarzanie substancji redukujących (reduktonów) 236
• Zmiana zawartości DMS podczas i po gotowaniu brzeczki 236
• Zawartość cynku w brzeczce 237
• Brzeczka przy pełnym kotle 238
3.4.2 Budowa i ogrzewanie kotła warzelnego 238
• Kocioł warzelny z bezpośrednim ogrzewaniem 238
• Kocioł warzelny ogrzewany parą 238
• Temperatura pary i ciśnienie 238
• Wyposażenie parowego kotła warzelnego z podwójnym dnem 239
• Kształt kotła i materiał 240
• Gotowanie gorącą wodą 240
• Kotły warzelne z gotowaniem przy niewielkim nadciśnieniu 241
• Niskociśnieniowe gotowanie z zewnętrznym podgrzewaczem 244
• Niskociśnieniowe gotowanie z wewnętrznym podgrzewaczem 246
• Gotowanie brzeczki w wysokich temperaturach 251
• Systemy gotowania brzeczki oszczędzające energię 251
• Skraplanie oparów 251
• Sprężanie oparów 253
• Niskociśnieniowe gotowanie z zasobnikiem energii 256
• Zużycie energii przy gotowaniu brzeczki 257
• Kondensat oparów 257
• Naczynie pośredniczące 258
3.4.3 Przeprowadzenie gotowania brzeczki 258
• Gotowanie brzeczki 258
• Dawka chmielu 259
• Obliczanie dawki chmielu 259
• Skład i czas dodawania chmielu 260
• Dawkowanie chmielu - systemy dozowania 260
3.4.4 Kontrola wybijanej brzeczki 262
3.5 Wydajność warzelni 262
3.5.1 Wyliczenie wydajności warzelni 262
• Oznaczenie zawartości ekstraktu 263
• Ustalenie masy ekstraktu w 1 hl brzeczki (zawartość ekstraktu w 1 hl brzeczki) 264
• Przeliczenie objętości wybitej brzeczki gorącej na jej objętość po schłodzeniu 267
• Wyliczenie uzyskanej ilości ekstraktu w warzelni 268
• Ustalenie wydajności warzelni (Ww) 268
3.5.2 Czynniki mające wpływ na wydajność warzelni 268
3.5.3 Obliczenia wydajności warzelni 269
3.6 Urządzenie warzelni 270
3.6.1 Liczba i ustawienie naczyń 270
3.6.2 Wielkość naczyń 271
3.6.3 Materiał naczyń 271
3.6.4 Zdolność produkcyjna warzelni 271
3.6.5 Warzelnie szczególnego rodzaju 272
• Warzelnie browarów restauracyjnych (minibrowarów) 272
• Warzelnie doświadczalne i szkoleniowe 273

3.7 **Wybicie** 273
3.8 **Usuwanie gorącego osadu** 274
3.8.1 Tace 275
3.8.2 Kadź osadowa 275
3.8.3 Whirlpool 275
• Zasada działania whirlpoola 276
• Budowa whirlpool'a 278
• Przeprowadzenie klarowania brzeczki w whirlpool'u 279
3.8.4 Wirówki 279
• Zasada wirowania 279
• Rodzaje wirówek 281
• Budowa i sposób pracy wirówek samooprożniających 281
• Sposób działania ogona talerzowego 281
• Bębny talerzowe umożliwiające okresowy wyrzut substancji stałych 283
• Bębny talerzowe umożliwiające ciągłe usuwanie substancji stałych 283
• Ocena wirowania gorącej brzeczki 285
3.8.5 Eksploatacja mętnej brzeczki 284
3.9 **Chłodzenie i klarowanie brzeczki** 285
3.9.1 Procesy przy chłodzeniu 285
• Chłodzenie brzeczki 285
• Wytrącanie się i usunięcie zimnego zmętnienia 285
• Napowietrzanie brzeczki 286
• Zmiany w stężeniu brzeczki 286
3.9.2 Urządzenia do całodzienia brzeczki 287
• Budowa płytowego wymiennika ciepła 287
• Sposób działania płytowego wymiennika ciepła 289
• Zalety płytowych wymienników ciepła 291
3.9.3 Napowietrzanie brzeczki 291
• Metody napowietrzania brzeczki 292
• Napowietrzanie drożdży 293
3.9.4 Urządzenia do usuwania zimnego zmętnienia 293
• Filtracja ziemią okrzemkową 294
• Flotacja 294
• Wirowanie zimnej brzeczki 295
3.9.5 Linie chłodzenia brzeczki 295
3.10 **Sterowanie i kontrola procesów przy wytwarzaniu brzeczki** 295
3.11 **Bezpieczeństwo pracy przy wytwarzaniu brzeczki** 297
3.11.1 Zapobieganie wypadkom przy śrutowaniu 297
3.11.2 Zapobieganie wypadkom przy pracy w naczyniach warzelki 298
3.11.3 Zapobieganie wypadkom przy pracy z wirówkami 298

4 **Produkcja piwa (fermentacja, dojrzewanie i filtracja)** 300

4.1 **Przemiany zachodzące podczas fermentacji i dojrzewania** 300
4.1.1 Drożdże jako najważniejszy sprzymierzeniec piwowara 300
4.1.2 Przemiana materii u drożdży 302
• Odfermentowanie cukrów 302
• Fermentacja alkoholowa jako beztlenowy proces glikolizy 302
• Pozyskiwanie energii podczas fermentacji 304
• Przemiany ciał białkowych 306
• Przemiany substancji tłuszczowych (lipidów) 307
• Przemiany węglowodanów 307
• Przemiany substancji mineralnych 308
4.1.3 Powstawanie i przemiany ubocznych produktów fermentacji 309
• Diwacetyl (dwuketony pokrewne lub ściślej dwuketony o sąsiadujących grupach ketonowych) 309
• Aldehydy 312
• Alkohole wyższe 312
• Estry 313
• Związki zawierające siarkę 314
• Kwasy organiczne 314

• Kryteria oceny zawartości substancji tworzących aromat piwa (wechtg Miedaneta) 315
4.1.4 Inne procesy i przemiany podczas fermentacji 315
• Zmiany w składzie chemicznym ciał białkowych 316
• Obniżanie się wartości pH 316
• Zmiany potencjału oksydo-redukcyjnego w piwie 317
• Zmiany barwy piwa 317
• Wytrącanie się ciał goryczkowych i garbników 318
• Zawartość CO_2 w piwie 318
• Klarowanie i stabilizacja koloidalna piwa 318
4.1.5 Wpływ różnych czynników na drożdże 318
4.1.6 Kłaczkowanie drożdży (flokulacja) 320
4.2 Hodowla czystych kultur drożdży 320
4.2.1 Zasady propagacji drożdży 321
4.2.2 Pozyskiwanie i selekcja odpowiednich drożdży w praktyce 322
4.2.3 Prowadzenie drożdży w laboratorium browaru 322
4.2.4 Prowadzenie drożdży w browarze 323
• Urządzenia do propagacji drożdży 323
• Metoda propagacji półciągłej 325
• Metoda prowadzenia drożdży w jednym tanku 326
• Prowadzenie drożdży w naczyniach otwartych 327
4.3 Klasyczna fermentacja i dojrzewanie piwa 329
4.3.1 Kadzie fermentacyjne i urządzenie fermentowni otwartej 329
• Kadzie fermentacyjne 329
• Urządzenie fermentowni otwartej 330
4.3.2 Wydajność piwnicy fermentacyjnej 331
4.3.3 Prowadzenie otwartej fermentacji głównej 333
• Nastawienie fermentacji 333
• Podnoszenie drożdży 334
• Dawka drożdży 334
• Metoda dolewowa 335
• Stadia fermentacji 336
• Temperatura fermentacji 336
• Stopień odfermentowania 337
• Spuszczanie piwa do leżakowni 340
4.3.4 Zbiór drożdży w kadzi fermentacyjnej 343
4.3.5. Procesy zachodzące przy dojrzewaniu piwa w tradycyjnych tankach 344
• Nasycenie piwa dwutlenkiem węgla 344
• Klarowanie się piwa w sposób naturalny 345
4.3.6 Urządzenia klasycznej leżakowni 345
• Urządzenia piwnicy leżakowej 346
• Tanki leżakowe 346
4.3.7 Prowadzenie leżakowania piwa w tradycyjnych tankach 347
• Spuszczanie młodego piwa do leżakowni 347
• Czopowanie tanków 347
4.3.8 Łączenie węży do przewodów piwnych 348
4.3.8.1 Technika łączenia tanków do przewodów piwnych 349
• 349
• Ciśnienie przy ubiegu 349
4.3.9 Ubiegi piwa z tradycyjnych tanków 349
• Mieszalnik 349
• Regulator ciśnienia 350
• Odzyskiwanie piwa z gęstwy drożdżowej 350
• Głębokie wychładzanie piwa 350
• Traktowanie zmieszanych z wodą resztek piwa z zurociągów 351
4.4 Fermentacja i dojrzewanie piwa w tankach cylindryczno-stożkowych 351
4.4.1 Budowa i montaż tanków cylindryczno-stożkowych 351

- Budowa, kształt i materiał tanków cylindryczno-stożkowych 351
- Wielkości tanków cylindryczno-stożkowych 352
- Poziom brzeczki w tankach fermentacyjnych cylindryczno-stożkowych 352
- Stosunek średnicy tanku do wysokości słupa brzeczki 352
- Wybór pojemności tanku 353
- Wolna przestrzeń na pianę 354
- Ustawianie i montaż tanków cylindryczno-stożkowych 355

4.2 Wyposażenia tanków cylindryczno-stożkowych 355
- Urządzenia kontroli, obsługi oraz zabezpieczające 355
- Urządzenia służące do napełniania i opróżniania tanków 356
- Armatura kopuły tanku 359
- Zawór nadciśnienia 360
- Zawór podciśnienia 360
- Urządzenia myjące systemu CIP 361
- Urządzenia pomiarowe i kontrolne 362
- Termometry 362
- Wskaźniki stopnia napełnienia 362
- Wskaźniki ciśnienia 362
- Czujniki minimalnego i maksymalnego poziomu cieczy w tanku 363
- Pobieranie próbek 363
- Włazy do kontroli tanku 363
- Chłodzenie tanków cylindryczno-stożkowych 364
- Zapotrzebowanie zimna 364
- Metody chłodzenia 364
- Wymiana ciepła 365
- Chłodzenie i rozkład temperatur w tanku 368
- Izolacje cieplne 369
- Automatyczne sterowanie chłodzeniem 370
- Różne metody sterowania procesem fermentacji 370
- Wizualizacja automatycznego sterowania procesem 370

4.4.3 Prowadzenie fermentacji i dojrzewania piwa w tankach cylindryczno-stożkowych (TCS) 371
- Podstawowe zasady prowadzenia fermentacji i dojrzewania piwa w TCS 373
- Zimna fermentacja - zimne dojrzewanie 374
- Zimna fermentacja z dojrzewaniem w TCS 375
- Ciepła fermentacja - zimne dojrzewanie 375
- Fermentacja ciśnieniowa 376
- Zimna fermentacja - ciepłe dojrzewanie 377
- Zimna fermentacja główna ze sterowanym dojrzewaniem 377
- Ciepła fermentacja główna z normalnym lub przyspieszonym dojrzewaniem 377

4.4.4 Zbiór drożdży w tankach cylindryczno-stożkowych 378
- Moment zbioru drożdży 378
- Metody przeprowadzania zbioru drożdży 379
- Pielęgnowanie i przechowywanie zebranych drożdży 380
- Napowietrzanie gęstwy drożdżowej 380
- Temperatura przechowywania drożdży 380
- Sposób przechowywania zebranych drożdży 381
- Kontrola jakości drożdży 381

4.4.5 Jakość piwa przy obciągu 382

4.4.6 Odzyskiwanie piwa z gęstwy drożdżowej z tanków leżakowych 382
- Prasowanie drożdży 382
- Odwirowywanie drożdży 383
- Oddzielanie drożdży na filtrze membranowym 384
- Obróbka odzyskanego piwa 384

4.4.7 Mycie tanków cylindryczno-stożkowych 384

4.4.8 Pozyskiwanie CO_2 384

4.4.9 Unieruchomione drożdże 385

4.5 Filtracja piwa 387

4.5.1 Możliwości filtracji 387
- Mechanizmy oddzielania 387
- Środki filtracyjne 388
- Pomocnicze środki filtracyjne 391
- Ziemia okrzemkowa 392
- Perlity 393

4.5.2 Rodzaje filtrów 394
- Filtr na masę 394
- Filtry namułowe 395
- Namulanie 395
- Zasada procesu namulania 395
- Nakładanie warstwy podstawowej i bieżące dozowanie 395
- Tlen przy filtracji 396
- Dozownik 397
- Kartonowy filtr namułowy 398
- Świecowy filtr namułowy 399
- Namułowy filtr tarczowy 401
- Problemy filtracyjne 405
- Przerób przed- i popiwków 406
- Urządzenia do filtracji przez ziemię okrzemkową 407
- Filtr kartonowy (płytowy) 408
- Filtr modułowy 409
- Membranowy filtr świecowy 409
- Filtr systemu „multi micro" 409
- Zakresy filtracji 410
- Filtr krzyżowy (cross-flow-filter) 411

4.6 Uzyskiwanie trwałego piwa 412

4.6.1 Zapewnienie trwałości biologicznej piwa 412
- Pasteryzacja 413
- Pasteryzacja w przepływie (ogrzewanie w krótkim czasie) 413
- Urządzenie do pasteryzacji w przepływie 413
- Temperatura i czas trwania termicznej obróbki 414
- Wpływ pasteryzacji w przepływie na jakość piwa 415
- Gorący rozlew piwa 415
- Pasteryzacja w pasteryzatorze tunelowym 415
- Sterylny zimny rozlew piwa 415

4.6.2 Koloidalna stabilizacja piwa 416
- Charakter zmętnień koloidalnych 417
- Poprawa koloidalnej trwałości piwa 417
- Technologiczne środki poprawy koloidalnej trwałości piwa 418
- Dodatek środków stabilizujących 418
- Preparaty żelu krzemionkowego 419
- Poliwinylopolipirolidon (PVPP) 419
- Przeciwutleniacze 420
- Dodatek preparatów zolu kwasu krzemowego 420

4.6.3 Urządzenie działu filtracji 424

4.6.4 Stabilność smakowa 426
- Karbonyle starzenia 426
- Czynniki wspomagające stabilność smakową 428
- Unikanie natleniania podczas filtracji i rozlewu 429
- Środki dla uniknięcia ujemnego wpływu na stabilność smakową po obciągu 429

4.7 Karbonizacja piwa 430

4.8 Specjalne metody wytwarzania piwa 431

4.8.1 High gravity brewing 431

4.8.2 Piwo „lodowe" 433

4.8.3 Metody usuwania alkoholu 435
- Membranowe metody usuwania 435
- Odwrócona osmoza 435
- Metoda dializy 437
- Metody termiczne/destylacja 438

4.9 Bezpieczeństwo pracy (BHP) podczas fermentacji, dojrzewania i filtracji piwa 441

4.9.1 Niebezpieczeństwa wypadków spowodowanych dwutlenkiem węgla 441

4.9.2 Praca w zbiornikach ciśnieniowych 442

4.9.3 Prace z ziemią okrzemkową 443

4.9.4 Ogólne wskazówki do ochrony przed wypadkami 444

5 Rozlew piwa 445

5.1 Rozlew do szklanych butelek wielokrotnego użycia 445

5.1.1 Butelki szklane wielokrotnego użycia 445
• Zalety i wady butelek szklanych 445
• Produkcja butelek szklanych 445
• Kształty butelek 445
• Barwa butelek 445
• Obróbka powierzchni butelek 446
• Scuffing czyli matowienie butelek 446
• Zabezpieczanie zniszczonych powierzchni butelek 446
• Lekkie butelki szklane wielokrotnego użycia, pokryte warstwą tworzywa sztucznego 447
• Tryb postępowania przy rozlewie do butelek wielokrotnego użycia 447

5.1.2 Mycie szklanych butelek wielokrotnego użycia 447
• Czynniki działające podczas mycia butelek 447
• Myjki butelek 448
• Rodzaje konstrukcji myjek 448
• Podstawowe części maszyn myjących 451
• Roztwór ługu myjącego 460
• Wymagania stawiane alkalicznym roztworom myjącym 460
• Składniki roztworów do mycia butelek 461
• Utrzymywanie stałego poziomu stężenia ługu 462
• Uzdatnianie ługu myjącego 462
• Zużycie wody do mycia butelek 464
• Czyszczenie i konserwacja maszyn myjących 464

5.1.3 Kontrola umytych butelek wielokrotnego użycia 465

5.1.4 Rozlew piwa do butelek 468
• Zasady procesu 468
• Zasady budowy maszyn rozlewniczych (monobloków) 469
• Podstawowe części maszyn rozlewniczych 469
• Budowa i działanie elementów napełniających 472
• Wywoływanie pienienia przez wstrzyknięcie wody 481

5.1.5 Zamykanie butelek 482
• Kapslowanie 482
• Zamknięcia kabłąkowe 487

5.1.6 Mycie rozlewarki i zamykarki 489

5.1.7 Kontrola napełnionych i zamkniętych butelek 491
• Kontrola wysokości napełnienia 491
• Tlen w szyjce butelki 491

5.1.8 Pasteryzacja w butelkach 492
• Podstawy pasteryzacji w butelkach 492
• Konstrukcja pasteryzatora tunelowego 493
• Regulowanie liczby JP 496

5.1.9 Etykietowanie i dekorowanie butelek 497
• Etykiety i folie 497
• Kleje do etykiet 498
• Podstawowe zasady etykietowania 499
• Elementy budowy maszyny etykietującej 500
• Owijanie szyjki w folię 501

5.1.10 Datowanie etykiet 502

5.2 Rozlew do butelek jednorazowych 502

5.2.1 Rozładunek nowych butelek 503

5.2.2 Płukanie butelek 503

5.3 Rozlew napojów do zwrotnych butelek PET 503

5.3.1 Butelki z tworzyw sztucznych 503
• Butelki PET 503
• Butelki z innych tworzyw sztucznych 504

5.3.6 Rozlew do butelek PET 507
• Zakrętki aluminiowe 510
• Zakrętki z tworzyw sztucznych 510

5.4 Zalety jednorazowych butelek PET 511

5.5 Rozlew piwa do puszek 511

5.5.5 Napełnianie puszek 517
• Rozlew według poziomu 518
• Rozlewarka do puszek z napełnianiem według objętości 521

5.6 Rozlew do beczek, kegów i dużych puszek 529

5.6.1 Beczki metalowe 530
• Materiał, kształt i wielkość kegów 531
• Armatura kegów („fittings") 531
• Mycie kegów 532
• Napełnianie kegów 532
• Rodzaje opakowań zbiorczych 538
• Transport skrzynek i kartonów 538
• Sortowanie butelek i skrzynek 538
• Magazyn skrzynek 539
• Mycie skrzynek 539

5.7.4 Rozładunek i załadunek butelek do skrzynek 540
• Głowice robocze pakowarki 540
• Rodzaje pakowarek 541
• Pakowarka taktowa 541
• Pakowarka „Multipacker" 541
• Pakowarka rotacyjna 542
• Ustawianie butelek w skrzynce 543
• Pakowarka sortująca 544
• Budowa palet 544
• Budowa i działanie maszyn do paletyzacji i depaletyzacji 545
• Urządzenia do sztaplowania palet 546
• Urządzenia do transportu palet 546
• Magazynowanie palet 546
• Drogi transportu magazynowego 546
• Magazyn pustych palet 546
• Kontrola jakości palet 546
• Zabezpieczanie palet 548

5.8 Dział rozlewu jako całość 549

6 Mycie i dezynfekcja 555

6.1 Materiały i ich zachowanie się w odniesieniu do środków myjących 555

6.1.1 Naczynia z aluminium 555

6.1.2 Naczynia i przewody ze stali chromoniklowej 555

6.1.3 Węże i uszczelnienia 557

6.2 Środki myjące 559

6.3 Środki dezynfekcyjne 560

6.4 Przeprowadzanie mycia i dezynfekcji w CIP 560

6.5 Przebieg mycia 565

6.6 Mycie mechaniczne 567

6.7 Kontrola mycia i dezynfekcji 568

6.8 Ochrona pracy przy myciu i dezynfekcji 568

7 Piwo jako produkt gotowy 567

7.1 Podstawowe składniki piwa 567

7.1.1 Skład chemiczny piwa 567

7.1.2 Piwo i zdrowie 570

7.2. Smak i pienistość 571

7.2.1 Smak piwa 571
• Aromat piwa 571
• Pełnia smaku 572
• Działanie orzeźwiające 572
• Goryczka piwa 573

7.2.2 Pienistość piwa 574

7.3 Różne gatunki piwa i ich charakterystyka 575

7.3.1 Piwa górnej fermentacji 576
• Charakterystyka górnej fermentacji 576
• Piwa pszeniczne 578
• Produkcja piwa pszenicznego z drożdżami 578
• Piwo białe 579
• „Stare piwo" (Altbier) 580
• Kölsch – Tradycyjne piwo z Kolonii 580
• Ale – angielskie piwo górnej fermentacji 580
• Stout 581
• Porter 581
• Belgijskie piwa górnej fermentacji 582

7.3.2 Piwa dolnej fermentacji 582
• Piwa typu pilzneńskiego 583
• Piwa pełne typu lager 584
• Piwa typu export 584
• Piwa czarne (Schwarzbiere) 584
• Piwa świąteczne (Festbiere) 584
• „Piwo lodowe" (Eisbier) 584
• „Piwo marcowe" (Märzen) 585
• Piwo „Bock" (Bockbier) 585
• „Podwójny Bock" (Doppelbock) 585

• Piwo bezalkoholowe 585
• Piwo dietetyczne (Diätbier) 586
• Piwa lekkie (light) 587
• Napój słodowy czyli piwo słodowe (Malztrunk) 587
• Piwa specjalne o bardzo małym rozpowszechnieniu 587
• Napoje mieszane z piwem 587
7.3.3 Tendencje wprowadzania nowych gatunków piw 588
7.4 Badanie jakości piwa 588
7.4.1 Degustacja piwa 588
7.4.2 Badanie mikrobiologiczne 589
7.4.3 Analiza piwa 591
• Określanie ekstraktu brzeczki podstawowej 592
• Oznaczanie barwy piwa 594
• Oznaczanie wartości pH 594
• Oznaczanie zawartości tlenu w piwie 594
• Oznaczanie zawartości dwuacetylu w piwie 595
• Oznaczanie trwałości piany 596
• Oznaczanie zawartości dwutlenku węgla 596
• Określanie wartości goryczkowej 597
• Oznaczanie trwałości koloidalnej (test „forsowania") 597
• Dalsze badania 597
7.5 Technika pomiarowa w procesach produkcyjnych 597

8 Produkcja piwa w minibrowarach 602

8.1 Browary restauracyjne (browary typu „pub") 602
8.2 Minibrowar 609
8.3 Domowa produkcja piwa i produkcja piwa w ramach hobby 609

9 Utylizacja odpadów i środowisko naturalne 611

9.1 Prawo dotyczące środowiska naturalnego 611
9.2 Ścieki 612
9.2.1 Koszty związane ze ściekami 612
9.3 Odpady 620
9.3.1 Wysłodziny i chmieliny 620
9.3.2 Osad 621
9.3.3 Drożdże odpadowe 621
9.3.4 Zużyta ziemia okrzemkowa 621
9.3.5 Zużyte etykiety 622
9.3.8 Drobne odpady 623
9.4 Emisje 623
9.4.1 Pył i emisje pyłu 623
9.4.2 Emisja z warzelni 623
9.4.3 Emisje gazów spalinowych 623
9.4.4 Emisja hałasu 624

10 Gospodarka energetyczna w browarze i w słodowni 625

10.1 Zapotrzebowanie energii do produkcji słodu i piwa 625
10.2 Kotły parowe 626
10.2.1 Paliwa 626
10.2.2 Para 627
• Ciepło parowania 628
• Para nasycona 629
• Para przegrzana 629
• Gorąca woda 629
10.2.3 Kotły parowe 629
• Podział kotłów parowych 629
• Rodzaje budowy kotłów parowych 630
• Kocioł trójciągowy 631
• Odzysk energii i polepszanie stopnia sprawności 632
• Ekonomizer (Eco-podgrzewacz wody) 633
• Przegrzewacz 634
• Zawracanie kondensatu 634
10.2.4 Silniki parowe 634
10.2.5 Blokowe elektrociepłownie 634
10.3 Urządzenia chłodnicze 636

10.3.1 Czynniki chłodnicze i chłodziwo 636
• Czynniki chłodnicze 636
• Czynnik przenoszący chłód, czyli chłodziwo 637
10.3.2 Sprężarkowe urządzenie chłodnicze 637
• Zasada działania 637
• Parownik 639
• Sprężarka (kompresor) 640
• Skraplacz (kondensator) 642
• Zawór regulujący 643
• Zbiornik wody lodowej (rys. 10.19) 644
10.3.3 Urządzenia chłodnicze absorpcyjne 644
10.3.4 Chłodzenie pomieszczeń i cieczy 645
• Chłodzenie piwnic fermentacyjnych i leżakowni 645
• Nowoczesne urządzenia chłodnicze 647
• Chłodzenie cieczy 647
10.3.5 Wskazówki dotyczące gospodarczego aspektu eksploatacji urządzeń chłodniczych 650
10.4 Urządzenia elektryczne 650
10.4.1 Pobór energii elektrycznej 650
10.4.2 Współczynnik mocy cos j 651
10.4.3 Przemiana prądu elektrycznego 653
10.4.4 Zabezpieczenia 654
10.4.5 Wytyczne do ekonomicznego zużycia energii elektrycznej 655
10.5 Pompy, wentylatory i kompresory 655
10.5.1 Pompy 655
• Pompy wirowe odśrodkowe 656
• Pompy promieniowo-wirowe 657
• Pompy z kanałem bocznym/ pompy wielojarzmiowe 658
• Pompy kanałowo-jarzmiowe 658
• Pompy diagonalno-wirowe 658
• Pompy śrubowo-wirowe 658
• Pompy wyporowe 659
• Pompy wyporowe o ciągłym strumieniu 659
• Mimośrodowe pompy ślimakowe 660
• Pompy z wirującymi tłokami kłykciowymi 660
• Pompy Rootsa z wirnikami krzywkowymi 661
• Pompy zębate 661
• Pompy zębate o zazębieniu wewnętrznym 661
• Pompy z elastycznym elementem rurowym (pompy przewodowe) 662
• Pompy z elastycznymi łopatkami wirnika 662
• Pompy wyporowe o pulsującym strumieniu 662
• Pompy tłokowe 662
• Pompy przeponowe 662
• Dobór pomp 664
• Regulacja obrotów pomp 665
10.5.2 Wentylatory 665
• Dmuchawy osiowe lub wentylatory 665
• Dmuchawy promieniowe (odśrodkowe) 666
10.5.3 Urządzenia do sprężania powietrza 666
• Sprężarki do powietrza (kompresory) 667
• Kompresory tłokowe 668
• Kompresory spiralne 668
• Kompresory obrotowe 668
• Kompresory śrubowe 671
• Turbokompresory 671
• Osuszacz powietrza 671
• Zbiornik ciśnieniowy 673
• Sieć przewodów sprężonego powietrza 673
• Filtr powietrza 674

11 Od automatyzacji do integracji procesów w browarze 675

11.1 Historia rozwoju i założenia techniczne automatyzacji browaru - wysoka technika na co dzień 675
11.1.1 Odporne na korozję tworzywa dla przemysłu spożywczego 675

11.1.2 Mycie automatyczne, CIP (Cleaning In Place) 676
11.1.3 Aparaty i maszyny stosowane do automatyzacji i do CIP 676
11.1.4 Przystosowana do automatyzacji technologia wyrobu piwa 676
11.1.5 Systemy rurociągów dostosowane do automatyzacji i do CIP 676
11.1.6 Know-how integracji procesów 677
11.1.7 Sztuczna inteligencja - technika EMSR 677
11.1.8 Rola technologa w automatyzacji browaru 677

11.2 Symbolika używana w przedstawianiu i systematyka w projektowaniu automatyzacji browarnictwa według ogólnych norm inżynierii 678

11.2.1 Wprowadzenie do symboliki maszyn i urządzeń przemysłów przetwórczych 679
- Znormalizowane symbole dla aparatury standardowej i standardowych operacji jednostkowych 679
- Symbole inwidualne dla aparatów specjalistycznych, uwzględniające symbolikę znormalizowaną dla objętych nimi standardowych operacji jednostkowych 679
- Ważne w automatyzacji niemieckie normy przemysłowe (DIN) 680
- Potrzeba normalizacji symboli elementów złącznych 680

11.2.2 Wprowadzenie do znormalizowanej systematyki projektowania zakładów przetwórczych i do przedstawiania schematów przepływu i planów funkcyjnych 682
- Faza projektowania 1: ogólny schemat przepływów (blokowy) 683
- Faza projektowania 2: schemat procesów, („podstawowy schemat przepływów" lub „schemat połączeń") 683
- Faza projektowania 3: określenie zadań w zakresie EMSR w postaci schematu procesu wg normy DIN 19227 684
- Faza projektowania 4: słowny opis schematu połączeń 684
- Faza projektowania 5: schemat rurociągów i instrumentów (schemat RI) 686
- Faza projektowania 6: projekt (plan) funkcyjny wg DIN 40719 i IEC 848 686

11.3 Projektowanie procesów i EMSR wg norm DIN i w praktyce automatyzacji browarów 687

11.3.1 O programowaniu automatyzacji browaru 687
- Skutki projektowania sterowania bez planu funkcyjnego 687
- Niedopuszczalne rozszerzenie zadań programisty 687
- Niedopuszczalnie zmniejszony wpływ technologa na funkcjonowanie „jego" zakładu 687
- Brak ogólnej odpowiedzialności przeszkodą w optymalizacji i w pozyskiwaniu know-how 687
- Korzyści wynikające z planu funkcyjnego dla odpowiedzialnego technologa 693

11.3.2 Wprowadzenie do oprzyrządowania (Hardware) automatyzacji browarów i jego funkcje 693
- System kierowania procesem 694
- O obróbce sygnałów w SPS 694
- O komunikacji między piwowarem a SPS 694
- O sposobie pracy i konfiguracji sprzętu (Hardware) w układzie SPS 695
- O wymianie sygnałów między urządzeniami peryferyjnymi procesu a SPS 695
- Sygnały dwójkowe (binarne) 695
- Wejścia sygnałów dwójkowych z sygnalizatorów położenia. Ocena i szczególne właściwości przełączania 696
- Wejścia sygnałów dwójkowych od sygnalizatorów wielkości granicznych przyrządów pomiarowych. Ocena i szczególne właściwości techniczne połączeń 696
- Wyjścia sygnałów dwójkowych do zaworów i silników. Właściwości techniczne połączenia. Poziom zawór/silnik (poziom VM) 697
- Sygnały analogowe 698
- Sygnały analogowe i analogowa technika regulacji 699
- Sygnały analogowe i dwójkowa technika regulacji 699
- Hybrydowe systemy analogowo-cyfrowe 700

11.4 Zadania i instrumentarium integracji procesów 700

11.4.1 Zadania inżyniera integracji procesów przy opracowaniu schematu RI ze schematu przepływów 701
- Faza projektowania 5.1: Rozważania dotyczące wydajności/elastyczności przy opracowywaniu planu produkcji 701
- Faza projektowania 5.2: harmonogram pracy zakładu 702
- Faza projektowania 5.3: schemat RI 702
- Metody integracji znormalizowanych linii procesów w projekcie automatyzacji browaru 703
- Całe urządzenie z jednej ręki 703
- Cały zakład w jednym ręku 703

11.4.2 Rurociągi i ich składniki, przystosowane do CIP i chroniące przed mieszaniem cieczy 704
- Złącza rurowe 704
- Czujniki i zawory do pobierania prób 706
- Nastawniki 706
- Klasyczny kurek i nowoczesny zawór kulowy 706
- Zawory talerzowe/tłokowe z gniazdem w położeniu kątowym lub skośnym 706
- Zawory odcinające płytkowe („zawory motylkowe") 707
- Właściwe metody działania w normowaniu technik rurowania w przemyśle spożywczym i napojów 708

11.4.3 Koncepcje zabezpieczeń przed wymieszaniem, przedstawienie i ocena 709
- Łuki przełączające – stałe zarurowania 709
- „Block and Bleed" – stałe zarurowania 710
- Zawór dwugniazdowy – stałe zarurowanie 711

Federacja Rosyjska	20.100	Dania	9.591
Polska	18.800	Rumunia	8.235
Kolumbia	18.500	Irlandia	7.763
Czechy	18.242	Turcja	7.382
Australia	17.424	Węgry	7.259
Korea Południowa	16.827	Portugalia	6.713
Wenezuela	15.000	Szwecja	4.805
Belgia	14.180	Słowacja	4.700
Filipiny	13.210	Finlandia	4.670
Argentyna	11.523	Bułgaria	4.268
Włochy	11.117		
Austria	9.597		

1 Surowce

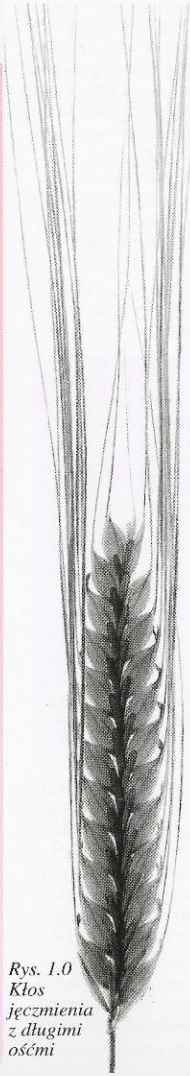
Do produkcji piwa potrzebne są cztery surowce: jęczmień, chmiel, woda i drożdże. Jakość tych surowców ma decydujący wpływ na jakość produktu końcowego. Znajomość właściwości surowców oraz ich oddziaływania na procesy i na produkt stanowi podstawę dla właściwego obchodzenia się z nimi i przetwarzania. Posiadanie takiej wiedzy pozwala kierować racjonalnie procesem produkcyjnym.

JĘCZMIEŃ jest głównym surowcem do produkcji piwa. O jego przydatności decyduje wysoka zawartość skrobi oraz to, że plewka jęczmienia jest na stałe przyrośnięta do ziarna i nie odpada ani w czasie młocki, ani później podczas przerobu na słód. Dzięki jej obecności w śrucie słodowej powstaje porowata warstwa filtracyjna, przez którą sączy się brzeczka w późniejszym etapie produkcji.

Przed użyciem w browarze jęczmień musi zostać przerobiony na słód. Zboża niesłodowane, takie jak kukurydza, ryż, sorgo, jęczmień i pszenica, bywają stosowane jako dodatki. Wykorzystuje się także słód pszeniczny, zwłaszcza do produkcji piw górnej fermentacji. Sorgo w postaci słodowanej znajduje zastosowanie głównie w Afryce. *CHMIEL* nadaje piwu jego goryczkę i ma duży wpływ na aromat. Jakość piwa w dużym stopniu zależy od jakości *CHMIELU*.

Pod względem ilości dominującym surowcem wchodzącym w skład piwa jest *WODA*. Wpływa ona na charakter piwa oraz na jakość w różnych stadiach produkcji. Ponadto wodę wykorzystuje się w wielu innych procesach w browarze i słodowni.

Fermentacja alkoholowa, w wyniku której powstaje piwo, jest zależna od aktywności *DROŻDŻY*, stanowiących ważny czynnik tej produkcji. Drożdże mają znaczący wpływ na jakość piwa poprzez produkty uboczne ich metabolizmu.



Rys. 1.0 Kłos jęczmienia z długimi ośćmi

1.1 Jęczmień

Jęczmień (Hordeum vulgare) dostarcza skrobi potrzebnej do produkcji piwa. Skrobia ta później, w warzelni browaru, przetwarzana jest na cukry fermentujące. Ważne jest, aby przez uprawę odpowiednich odmian produkować jęczmień browarny, który daje bogate w ekstrakt słody.

1.1.1 Formy i gatunki jęczmienia

Jęczmień jest zbożem, którego kłosy charakteryzują się bardzo długimi ośćmi (rys. 1.0). Rozróżnia się kilka form i wiele gatunków jęczmienia, z których tylko nieliczne odgrywają rolę w produkcji słodu i piwa.

1.1.1.1 Formy jęczmienia

Wśród jęczmion rozróżniamy: jęczmień ozimy, wysiewany zwykle około połowy września i jęczmień jary, którego siewy przypadają na marzec i kwiecień.

W obydwu tych formach występują gatunki, które zależnie od rozmieszczenia ziaren na osadce kłosowej, dzielimy na *dwurzędowe i wielorzędowe*. U jęczmion wielorzędowych na każdym piętrze szypułki kłosowej płodne są wszystkie trzy kłoski, które po zapyleniu wytwarzają po jednym ziarnie każdy. Patrząc z

góry na kłos widzimy po trzy ziarna z każdej strony i dlatego nazywamy taki jęczmień *sześciorzędowym* (rys.1.1). U niektórych gatunków tylko środkowe szeregi kłosków wyraźnie się zaznaczają, podczas gdy boczne zachodzą jedne na drugie i z góry są widoczne jako jeden szereg. Taki jęczmień w praktyce nazywany jest *czterorzędowym*.

U jęczmion *dwurzędowych* tylko środkowe kłoski każdej trójki są płodne i na każdym piętrze osadki kłosowej rozwija się tylko jedno ziarno. Patrząc z góry na kłos widzimy tylko dwa rzędy ziaren po jednym z każdej jego strony.

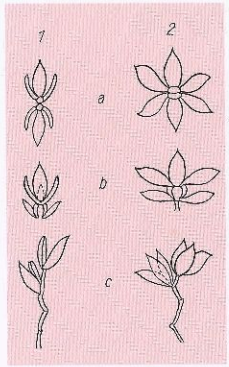
Formy jęczmienia (jare, ozime, dwurzędowe, wielorzędowe) różnią się między sobą wieloma istotnymi dla nas cechami:

Jęczmiona dwurzędowe mają duże, brzuchate ziarna, najczęściej z cienką, delikatnie pofałdowaną plewką. Dzięki temu, ziarno zawiera stosunkowo więcej cennych dla browaru składników, a mniejszy udział łuski oznacza mniej garbników i ciał gorzkich. Ziarno jest bardzo jednorodne, najczęściej uprawiane jako jare, łączy w sobie wszystkie zalety cenne dla słodowni i browaru.

Jęczmiona sześciorzędowe mają ziarno różnej wielkości. Ziarna środkowe każdego kłoska są większe niż rozwijające się w rzędach bocznych i tylko u nich bruzdka na brzusznej stronie ziarna jest symetryczna. Ziarna bocznych rzędów mają bruzdkę niesymetryczną. Jest to cecha rozpoznawcza, pozwalająca odróżnić ziarno jęczmienia wielorzędowego.

W niemieckim rolnictwie średnie plony jęczmienia ozimego wynoszą ok. 6 t/ha, podczas gdy plony jęczmienia jarego wahają się około 4 t/ha. Przyczyną tak dużej różnicy jest oczywiście znacznie dłuższy okres wegetacyjny jęczmienia ozimego. W rezultacie produkcja jęczmienia ozimego jest w wielu krajach znacznie większa od produkcji jęczmienia jarego.

Także wśród odmian jęczmienia **browarnego**, obok najbardziej rozpowszechnionych **dwurzędowych jarych**, zaczynają pojawiać się odmiany dwurzędowe ozime, sześciorzędowe ozime i sześciorzędowe jare.



Rys. 1.1
Budowa kłosa jęczmienia
(wg Aufhammera)
(1) Jęczmień dwurzędowy
(2) Jęczmień sześciorzędowy
Widok:
a) z góry
b) w płaszczyźnie podłużnej
c) w płaszczyźnie poprzecznej

1.1.1.2 Odmiany jęczmienia

Wśród wyżej omówionych form jęczmienia występuje mnóstwo odmian, różniących się między sobą określonymi właściwościami. W samych tylko krajach członkowskich EBC zarejestrowano około 300 odmian jęczmienia jarego, około 100 odmian dwurzędowych ozimych i również około 100 odmian sześciorzędowych ozimych. Już to wskazuje na wielką ich różnorodność.

Jak już wspomniano, na słód piwowarski nadają się przede wszystkim dwurzędowe odmiany jęczmienia jarego. Nad ulepszeniem ich przydatności w browarnictwie pracuje się systematycznie od ponad stu lat. Wiele odmian wyróżnia się doskonałymi właściwościami technologicznymi. Prowadzone obecnie prace hodowlane nad ulepszeniem jakości browarniczej dwurzędowych odmian jęczmienia ozimego dają rezultaty zbliżające się do walorów jęczmienia jarego (86). Obiecujące wyniki osiągane przez hodowców na tym odcinku są bardzo interesujące z ekonomicznego punktu widzenia, gdyż połączenie wysokich plonów uzyskiwanych przy uprawie jęczmienia ozimego z dobrą jakością browarniczą ziarna, mogłoby doprowadzić do obniżenia ceny tego podstawowego surowca.

Aby uzyskać dobry słód o wyrównanej jakości, wszystkie ziarna danej partii jęczmienia powinny należeć do jednej odmiany. Z tego względu najlepsze wyniki daje uprawa czystych odmian na możliwie dużych powierzchniach pól. Tylko w ten sposób rezultaty wysiłku hodowców będą w pełni wykorzystane.

Przy hodowli odmian jęczmienia browarnego kładzie się główny nacisk na następujące cechy:

- odporność na choroby i szkodniki,
- odporność na wyleganie,
- wysoką zdolność wykorzystania substancji nawozowych,
- wysoki plon ziarna,
- dobry kształt ziarna,
- dobrą zdolność pobierania wody i małą wrażliwość na wodę,
- niską zawartość białka,
- wysoką energię kiełkowania w chwili osiągnięcia dojrzałości pożniwnej,
- dobrą zdolność wytwarzania enzymów,
- łatwość osiągania dobrego rozluźnienia,
- wysoką wydajność ekstraktu w słodzie.

1.1.2 Uprawa jęczmienia

Największy rozwój osiągnęła uprawa jęczmienia browarnego w Europie Środkowej, gdzie praca nad doskonaleniem odmian trwa od 150 lat. Na pierwszym miejscu pod względem jakości browarniczej stoją dwurzędowe jęczmiona jare, które także osiągnęły największe znaczenie gospodarcze. Wśród nich wyróżnia się zwłaszcza niemiecka odmiana ALEXIS, która jest uprawiana niemal we wszystkich krajach środkowoeuropejskich (125). Inne znane odmiany w tej grupie to: BLENHEIM (GB), BARONESSE (D), PRISMA (NL), VOLGA (F), KRONA (D), MARESI (D) i MARINA (D). Poza wymienionymi dobrą jakością wyróżniają się także odmiany czeskie: RUBIN, ORBIT i KRYSTAL (*polska wiodąca odmiana jęczmienia browarnego, dobrze dostosowana do warunków środowiska, to RUDZIK. Przyp. tłum. A.B.*).

W wielu krajach trwają prace nad uzyskaniem ozimych, wielorzędowych odmian jęczmienia browarnego. Francuska odmiana PLAISANT, jako pierwsza i dotychczas jedyna, spełnia wymagania i nie ustępuje jakością ziarna jarym, dwurzędowym odmianom jęczmienia browarnego.

Jęczmień browarny uprawia się we wszystkich krajach europejskich. W większości z nich produkcja pokrywa zapotrzebowanie krajowego przemysłu piwowarskiego, a w wielu wypadkach znaczne nadwyżki przeznaczane są na eksport. Z uwagi na wielkie różnice klimatyczne między poszczególnymi regionami Europy, możliwości uzyskiwania dobrego jęczmienia browarnego są bardzo różne i zależą od kraju pochodzenia (125).

W Ameryce Północnej **Kanada** uprawia jęczmień browarny przede wszystkim na eksport. Ze względu na położenie geograficzne i krótki okres wegetacyjny, jęczmień browarny uprawia się tu przede wszystkim w prowincjach: Alberta (53%), Saskatchewan (35%) i Manitoba (12%). Kanada eksportuje rocznie około miliona ton dwurzędowego jęczmienia browarnego i około 0,4 miliona ton jęczmienia sześciorzędowego.

Produkcja jęczmienia browarnego w **USA** pokrywa dość dobrze krajowe zapotrzebowanie słodu. Z uzyskiwanych rocznie około 10 milionów ton, 35% uprawia się na środkowym zachodzie, w Minnesocie oraz Północnej i Południowej Dakocie. Około 80% upraw stanowią odmiany jęczmienia browarnego (ROBUST 58%, poza tym w uprawie są EXCEL, MOREX i AZURA).

W stanach zachodnich (Montana, Idaho, Wyoming, Colorado) tylko około 30% uprawianego jęczmienia kwalifikuje się jako jęczmień browarny, a większość upraw przypada na odmiany dwurzędowe.
Wśród jęczmion wykorzystywanych w USA jako browarne, przeważają odmiany jare, sześciorzędowe. W hodowli tych odmian odnotowuje się w ostatnich latach największe postępy.
Na półkuli południowej najważniejsze tereny uprawy jęczmienia browarnego leżą w Australii. Kraj ten produkuje rocznie około 4,8 miliona ton tego surowca i jest jednym z największych jego eksporterów. Uprawa koncentruje się przede wszystkim w przybrzeżnych regionach zachodniej oraz południowej Australii i subtropikalnych strefach podgórskich.

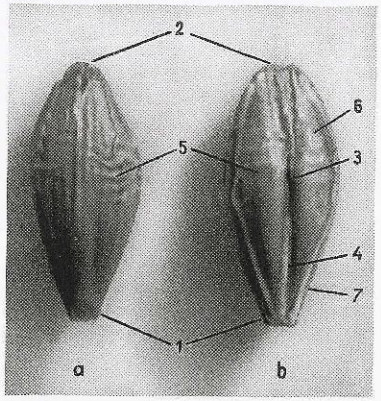
1.1.3 Budowa ziarna jęczmienia

Na podstawie budowy ziarna można wnioskować o wartości jęczmienia jako surowca i jego przydatności do przerobu na słód. Osobno trzeba potraktować cechy budowy zewnętrznej i wewnętrznej ziarna.

1.1.3.1 Zewnętrzna budowa ziarna

Rys. 1.2 pozwala zobaczyć pod a) stronę grzbietową ziarna z plewką grzbietową czyli okrywającą (7), która u naszych jęczmion uprawnych przedłużona jest w kłosie długą ością, odłamywaną podczas młócenia. Na podstawie pofałdowania plewki grzbietowej (5) można ocenić jej delikatność i wnioskować o grubości łuski. Na brzusznej stronie ziarna b) znajduje się plewka przednia czyli brzuszna. W bruzdce ziarna (3) u jego podstawy znajduje się szczoteczka (4), stanowiąca pozostałość bezpłodnego kwiatka. Stanowi ona pewną wskazówkę przy identyfikacji odmianowej ziarna.

W browarnictwie mają zastosowanie wyłącznie oplewione formy jęczmienia, to znaczy takie, u których plewka zarówno grzbietowa jak



Rys. 1.2: Ziarno jęczmienia
a) strona grzbietowa, b) strona brzuszna
(1) podstawa, (2) czubek, (3) bruzdka, (4) szczoteczka, (5) pofałdowania łuski, (6) plewka brzuszna, (7) plewka grzbietowa

i brzuszna jest tak mocno zrośnięta z ziarnem, że nie odpada podczas młocki. Odwrotnie ma się ta sprawa u pszenicy, gdzie podczas młócenia obydwie plewki odpadają i ziarno pozostaje nagie. Istnieją także gatunki jęczmienia, u których plewki odpadają przy młóceniu (jęczmiona nagie). Ziarno ich nie znajduje jednak zastosowania w piwowarstwie.

Podstawa ziarna jest bardziej spiczasta niż jego czubek. Jest to zrozumiałe, gdyż w tym miejscu podczas młocki zostaje odłamana ość ziarna. Jeśli żubrownik jest ustawiony na zbyt ostre działanie, to może nawet następować uszkodzenie ziarna. Miejsce odłamania ziarna od osadki kłosowej, czyli powierzchnia kończąca podstawę ziarna, jest u większości odmian gładka. Jej forma, prosta lub ukośna, pozwala wnioskować o typie jęczmienia (zwisłokłosy lub wyprostowany).

1.1.3.2 Budowa wewnętrzna ziarna

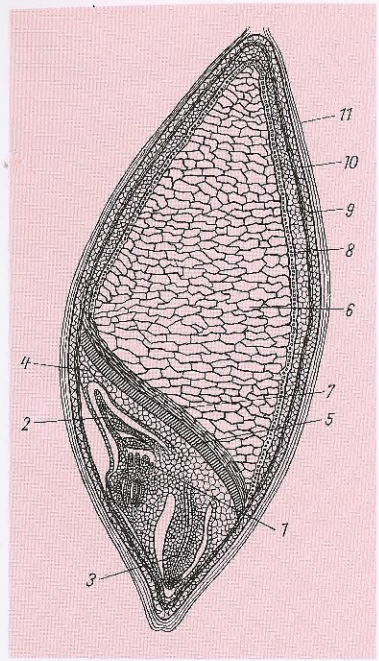
Ziarno jęczmienia (rys. 1.3) można podzielić na trzy zasadnicze części: **część zarodkową, bielmo i okrywy ziarna**.

Część zarodkowa obejmuje ***zarodek właściwy*** (1) oraz stożki wzrostu ***kiełka liściowego*** (2) i ***korzonków*** (3).

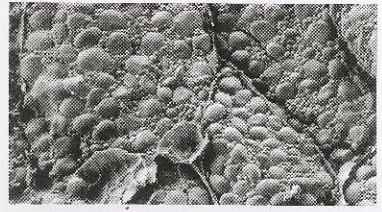
Część zarodkowa oddzielona jest od bielma cienką warstwą tkanki, czyli tarczką zarodkową (4), albo scutellum, oraz warstwą palisadowych komórek nabłonka o bardzo cienkich ściankach (5) czyli epithelium.

Bielmo (6) ziarna jęczmienia składa się z dużych, cienkościennych komórek wypełnionych ziarnami skrobi. Ściany komórkowe bielma w ziarnie jęczmienia zbudowane są z substancji, w której trzy czwarte stanowią beta-glukany, około jednej szóstej to araboksylany, pięć procent białka i trzy procent glukomannany. Związki te powinny zostać rozłożone i rozpuszczone podczas słodowania. Proces ten jest bardzo ważny i od jego przebiegu zależy lepsze lub gorsze rozluźnienie słodu.

Bielmo otacza warstwa aleuronowa (8), która u jęczmienia składa się z 2 lub 3 warstw grubościennych komórek bogatych w białko. Stanowi ona punkt wyjścia przy tworzeniu większości enzymów podczas słodowania. W otoczce



Rys. 1.3: Ziarno jęczmienia (przekrój podłużny)
(1) zarodek właściwy, (2) stożek wzrostu kiełka liściowego, (3) stożek wzrostu korzonków, (4) tarczka zarodkowa, (5) warstwa nabłonka palisadowego, (6) bielmo, (7) puste komórki bielma, (8) warstwa aleuronowa, (9) okrywa nasienna, (10) okrywa owocowa, (11) plewki



Rys. 1.3a: Komórki bielma z nagromadzonymi ziarnami skrobi

nierozpuszczalnego białka tej warstwy zmagazynowane są także inne składniki jak tłuszcz, garbniki, barwniki itd.

Skrobia nagromadzona w komórkach bielma występuje w postaci dużych i małych ziaren o charakterystycznym kształcie i budowie. Ziarna o wielkościach pośrednich u skrobi jęczmiennej, podobnie jak u pszennej, nie występują (rys. 1.3 a). Duże ziarna skrobi jęczmiennej (typ A) mają średnicę od 20 do 30 µm. Małe ziarna skrobiowe (typ B), których średnica waha się między 3 a 5 µm, występują w liczbie cztero- do dwudziestokrotnie większej niż ziarna duże, natomiast ich masa wynosi tylko 3 do maksimum 10% masy skrobi w ziarnie jęczmienia (161).

Udział małych ziaren w skrobi jęczmiennej może wahać się w szerokich granicach i zależy w pewnym stopniu od odmiany jęczmienia, a przede wszystkim od warunków klimatycznych podczas rozwoju i dojrzewania ziarna.

Wolne przestrzenie między ziarnami skrobi, nagromadzonymi w komórkach bielma, wypełnione są mniej lub więcej białkowymi substancjami zapasowymi oraz substancjami z grupy hemiceluloz. Dotyczy to również przestrzeni międzykomórkowych w bielmie. Od obfitości lub braku tych substancji w bielmie zależy tzw. szklistość lub mączystość przekroju ziarna. Rozróżnia się szklistość trwałą oraz szklistość przemijającą, która ustępuje po namoczeniu i wysuszeniu ziarna. Mączystość przekroju ziarna jest cechą pożądaną. Ziarna mączyste, nie zawierające białka zapasowego w bielmie, lepiej chłoną wodę i szybciej ulegają rozluźnieniu.

W bezpośrednim sąsiedztwie zarodka występuje w bielmie kilka warstw komórek nie zawierających skrobi. Są to puste, spłaszczone komórki bielma, których skrobia została wykorzystana przez zarodek w czasie jego formowania i dojrzewania w polu.

Okrywy ziarna składają się z siedmiu różnych warstw, które praktycznie dzielimy na trzy najważniejsze: najgłębiej leżącą, otaczającą bezpośrednio warstwę aleuronową, nazywamy **okrywą nasienną** (9). Otacza ona całe ziarno i przepuszcza tylko czystą wodę, bez rozpuszczonych w niej soli. Na tym polega półprzepuszczalność okrywy nasiennej. Dalej na ze-

wnątrz leży **okrywa owocowa** (10), ściśle zrośnięta z okrywą nasienną, którą otacza, sama natomiast jest otoczona warstwą nabłonka chronionego od zewnątrz przez obydwie plewki (11) czyli **łuskę** ziarna jęczmienia.

Łuska zbudowana jest przede wszystkim z celulozy i pewnej ilości hemiceluloz. Zawiera ona jednak także pewne drobne ilości innych składników, które mogą ujemnie wpływać na smak piwa. Są to garbniki łuski oraz ciała gorzkie, powiązane z lipidami, które łatwo rozpuszczają się w alkalicznej wodzie wysłodkowej i przechodzą do piwa nadając mu przykry, drapiący smak goryczy.

1.1.4 Skład chemiczny ziarna i właściwości jego składników

Przeciętnie zawartość wody w ziarnie jęczmienia wynosi 14 do 15%. Przy bardzo suchych lub bardzo wilgotnych żniwach wahania wilgotności ziarna mogą jednak być znacznie szersze i sięgać nawet od 12 do 20%. Zbyt wysoka wilgotność uniemożliwia magazynowanie ziarna i zagraża jego zdolności kiełkowania, wobec czego wilgotny jęczmień musi być niezwłocznie suszony. Do przechowywania nadaje się tylko ziarno o zawartości wody poniżej 15%. Pozostałą część masy ziarna nazywamy suchą substancją (s.s.). Sucha substancja (lub sucha masa) ziarna jęczmienia ma przeciętnie następujący skład chemiczny:

węglowodany ogółem	70,0 - 85,0%
białka	10,5 - 11,5%
związki mineralne	2,0 - 4,0%
tłuszcze	1,5 - 2,0%
inne składniki	1,0 - 2,0%

1.1.4.1 Węglowodany

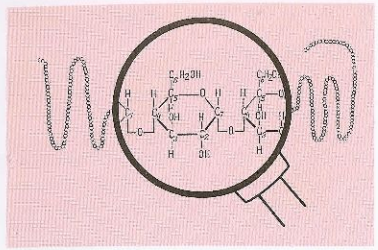
Węglowodany w ziarnie stanowią ilościowo największą grupę związków. Różnią się one między sobą znacznie zarówno pod względem swych właściwości jak i roli w procesie produkcyjnym oraz wpływu na jakość produktu. Najważniejsze z nich to skrobia, cukry, celuloza i hemicelulozy.

1.1.4.1.1 Skrobia

Skrobia $(C_6H_{10}O_5)_n$ stanowi 50 do 63% masy ziarna jęczmienia i pod względem ilościowym jest jego najważniejszym składnikiem. Z wytworzonej drogą fotosyntezy w liściach glukozy ($C_6H_{12}O_6$), podczas dojrzewania zboża w ziarnie gromadzona jest skrobia jako materiał zapasowy na pierwszy okres rozwoju przyszłej roślinki z zarodka. Służy ona jako źródło energii w tym pierwszym okresie i w pewnej części zostaje zużyta na oddychanie, do czasu wytworzenia w liściach chlorofilu i zapewnienia młodej roślince własnego źródła energii. To ostatnie dotyczy oczywiście rozwoju jęczmienia w polu, a nie słodu.
Ziarna skrobi zbudowane są z dwóch substancji będących wielocukrami, polimerami glukozy, o różnej strukturze i odmiennych właściwościach. Są to:
- amyloza i
- amylopektyna.

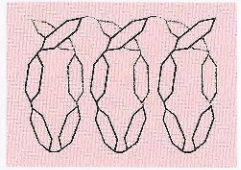
Amylopektyna	Amyloza
Substancja tworząca powłokę zewnętrzną ziarna skrobi (75 do 80% masy ziarna); nierozpuszczalna w wodzie, na gorąco tworzy w wodzie kleik.	Wypełnia wnętrze ziaren skrobi (stanowi 20 do 25% masy ziaren); rozpuszczalna w gorącej wodzie, nie tworzy kleiku.

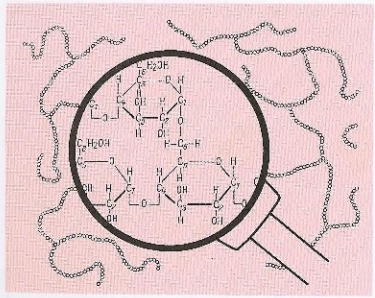
Amyloza
Cząsteczka amylozy składa się z 200 do 400 reszt α-glukozowych, połączonych w nierozgałęziony, spiralnie zwinięty łańcuch, wiązaniami mostków tlenowych w pozycji 1,4 (rys. 1.4 i 1.4a).
Amylopektyna
Cząsteczka amylopektyny w większości składa się również z łańcuchów glukozowych powiązanych mostkami tlenowymi w pozycji 1,4, ale co 15 do 30 reszt glukozowych występują także wiązania 1,6 (rys. 1.5) czego wynikiem są rozgałęzienia łańcucha. W rezultacie cząsteczka amylopektyny ma kształt przypominający gałęzie drzewa i może zawierać do 6.000 reszt glukozowych.



Rys. 1.4: Budowa cząsteczki amylozy

Rys. 1.4 a Spiralnie zwinięty łańcuch amylozy





Rys. 1.5: Budowa cząsteczki amylopektyny

1.1.4.1.2 Cukry

Zawartość cukrów w ziarnie jęczmienia jest mała i wynosi zwykle 1,8 do 2,0%. Cukry stanowią rozpuszczalny, a więc dający się przenosić z miejsca na miejsce w roślinie produkt przemiany materii, odżywczy dla zarodka w ziarnie. Wobec tego, że w okresie zbiorów ziarno znajduje się już w stanie spoczynku i niemal cały materiał zapasowy jest zmagazynowany w postaci skrobi, tylko niewielka jego część występuje jeszcze w formie cukrów, głównie sacharozy, glukozy i fruktozy.

1.1.4.1.3 Celuloza

Celuloza, występująca w ziarnie jęczmienia w ilości 5 do 6%, znajduje się w całości w plewkach, czyli w łusce ziarna, gdzie stanowi tkankę mechaniczną, chroniącą ziarno przed uszkodzeniami.

Cząsteczka celulozy, podobnie jak amylozy, zbudowana jest z długich, nierozgałęzionych łańcuchów reszt glukozowych, powiązanych w pozycji 1.4. Jednak ustawienie cząsteczek glukozy w stosunku do siebie w łańcuchu w położeniu beta, a nie alfa jak w amylozie, czyni z celulozy wielocukier całkowicie nierozpuszczalny w wodzie i nie ulegający hydrolizie przez enzymy słodu. W związku, z tym celuloza jako taka nie ma wpływu na jakość piwa.

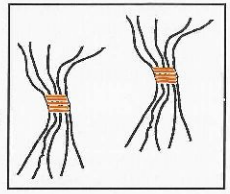
1.1.4.1.4 Hemicelulozy

Hemicelulozy są głównymi składnikami ścian komórkowych bielma. Nazwą tą objęte są beta-glukany i pentozany, tworzące mechanicznie odporny szkielet ścian komórkowych. Beta-glukany i pentozany mają nie tylko odmienną strukturę, ale także ich wpływ na przebieg procesu produkcyjnego i jakość piwa jest różny i wobec tego będą rozpatrzone w tym rozdziale osobno.

Hemicelulozy składają się
- w 80 do 90% z β-glukanów i
- w 10 do 20% z pentozanów.

β-glukan

Pod nazwą β-glukan rozumie się długie łańcuchy cząsteczek glukozy, połączonych między sobą wiązaniami 1,3 oraz 1,4. Wiązanie beta powoduje, że cząsteczki glukozy nie są zwinięte w spiralę tak jak w amylozie, lecz tworzą gęstą siatkę, przetkaną wielkocząsteczkowymi białkami. Po rozpuszczeniu i przejściu do roztworu cząsteczki β-glukanu łączą się mostkami wodorowymi i tworzą konglomeraty (rys. 1.5 a).



Rys. 1.5 a Konglomeraty cząsteczek β-glukanu (micele frędzliste)

Ze względu na swój mikroskopowy wygląd konglomeraty te nazwano micelami frędzlistymi. Pod wpływem różnych czynników zewnętrznych (patrz roz. 3.2.1.4), w szczególności wpływających na rozciąganie miceli, może dochodzić do tworzenia żelu, który bardzo utrudnia filtrację piwa. Z tego względu β-glukan zasługuje na szczególną uwagę w dalszych stadiach przerobu w browarze.

Pentozany

Pentozany składają się z pentoz, ksylozy i arabinozy. Zawierają one w szczególności długie łańcuchy reszt ksylozy powiązanych w pozycji 1,4-D. Do tych długich łańcuchów w niektórych miejscach przyłączone są reszty arabinozy. Podczas słodowania i zacierania pentozany zostają częściowo rozłożone. Na proces produkcji i jakość piwa nie mają one wpływu i z tego względu ich znaczenie jest bez porównania mniejsze niż β-glukanu.

1.1.4.2 Ciała białkowe

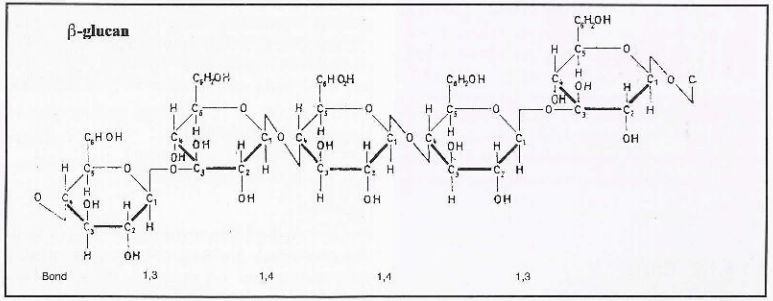
Zawartość białek w jęczmieniu waha się zwykle między 8 a 11%, a wyjątkowo nawet może sięgać 16%. Spośród ciał białkowych jęczmienia tylko około jednej trzeciej trafia do gotowego piwa. Jakkolwiek ilość białek w piwie jest stosunkowo niewielka, to jednak wywierają one bardzo istotny wpływ na jakość produktu.

Białka biorą między innymi istotny udział w tworzeniu zmętnień koloidalnych piwa. Im więcej jest białka w jęczmieniu, tym proporcjonalnie mniej będzie ekstraktu w słodzie.

W związku z powyższym wymaga się zazwyczaj, aby jęczmień browarny zawierał nie więcej niż 11,5% białka w przeliczeniu na suchą substancję.

Ze względu na zachowanie się w procesie produkcji piwa, ciała białkowe jęczmienia można podzielić na dwie grupy:

- białka
- produkty rozkładu białek.



1.1.4.2.1 Białka

Do białek zalicza się wielkocząsteczkowe ciała białkowe o masie cząsteczkowej od 20.000 do 300.000, w większości nierozpuszczalne w wodzie.

Niektóre z nich wytrącają się z roztworu podczas gotowania brzeczki i nie trafiają do gotowego piwa (patrz rozdz. 3.4).

Białka stanowią zdecydowaną większość związków azotowych jęczmienia (około 92%). Na podstawie ich rozpuszczalności *Osborne* podzielił białka na różne grupy, spośród których w jęczmieniu występują:

Gluteliny
Białko jęczmienia zawiera około 30% glutelin. Są to białka proste, wyłącznie roślinne, rozpuszczalne w rozcieńczonych kwasach i zasadach. W jęczmieniu znajdują się w warstwie aleuronowej i niemal w całości pozostają w młócie słodowym.

Prolaminy
Prolamina jęczmienia nazywa się hordeiną i stanowi około 37% ciał białkowych jęczmienia. Jest to białko proste nierozpuszczalne w wodzie, rozpuszcza się natomiast w 80% alkoholu. W znacznej części przechodzi do młóta słodowego.

Globuliny
Globulina jęczmienia nazywa się edestyną. Nierozpuszczalna w wodzie, rozpuszcza się w rozcieńczonych roztworach soli oraz w zacierze. Koaguluje na gorąco. Stanowi 15% ciał białkowych jęczmienia. Edestyna składa się z czterech komponentów (α, β, γ, δ), spośród których zawierająca siarkę β-globulina nawet przy dłuższym gotowaniu nigdy w całości się nie wytrąca i może powodować zmętnienie piwa.

Albuminy
Albumina jęczmienia nazywa się leukozyną. Rozpuszcza się w czystej wodzie i stanowi około 11% białek jęczmienia. Przy gotowaniu wytrąca się całkowicie. Podczas słodowania i zacierania ilość białek maleje, gdyż w wyniku przemian enzymatycznych powstają z nich różne produkty rozkładu.

1.1.4.2.2 Produkty rozkładu białek

Produkty rozkładu białek charakteryzują się tym, że zawsze są rozpuszczalne w wodzie i nie wytrącają się podczas gotowania. Związki azotowe w gotowym piwie to niemal wyłącznie produkty rozkładu białek.

W związkach azotowych niesłodowanego jęczmienia produkty rozkładu białek stanowią drobną część (około 8%). Ich udział wzrasta w czasie słodowania i zacierania. Wśród produktów rozkładu białek rozróżniamy:

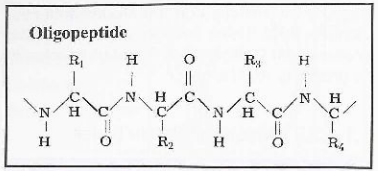
Wielkocząsteczkowe produkty rozkładu, złożone, bliskie białkom substancje: proteozy, biorące swą nazwę od białek, z których powstały (np. ***albumozy, globulozy***) i ***peptony*** o złożonej budowie.

Wielkocząsteczkowe produkty rozkładu białek wpływają korzystnie na pienistość piwa, ale jednocześnie biorą udział w powstawaniu zmętnień koloidalnych.

Niskocząsteczkowe produkty rozkładu, obejmujące najmniejsze cegiełki budowy białek, aminokwasy oraz powstałe przez ich polimeryzację peptydy.

Dwa aminokwasy, przy odłączeniu cząsteczki wody tworzą dwupeptyd. Wiązanie - CO-NH- nazywa się wiązaniem peptydowym. Jest to wiązanie między cząsteczkami aminokwasów, charakterystyczne dla wszystkich ciał białkowych (patrz rysunek)

Połączenia 3 do 9 aminokwasów nazywamy oligopeptydami, natomiast połączenia od 10 do 100 aminokwasów – polipeptydami.



Niskocząsteczkowe produkty rozkładu białek są niezbędne jako pożywka dla drożdży.

Każde białko charakteryzuje się
- typem i liczbą wchodzących w jego skład aminokwasów,
- określoną sekwencją aminokwasów w łańcuchu,
- strukturą przestrzenną, według której aminokwasy uporządkowane są w cząsteczce.

Struktura przestrzenna obejmuje:

- ***strukturę pierwotną***, pod tym pojęciem rozumie się kolejność uszeregowania aminokwasów w cząsteczce,
- ***strukturę wtórną,*** w tym wypadku, podobnie jak łańcuch glukozy w czasteczce amylozy (patrz rys. 1.4 a), łańcuch peptydowy w białku zwinięty jest w spiralę,
- ***strukturę trzeciorzędową***, polega ona na tym, że spiralny łańcuch peptydowy może być ponadto zwinięty w podwójną spiralę lub kłębek. Tworzą się przy tym luźne wiązania między określonymi grupami reaktywnymi, które zależnie od temperatury i wartości pH decydują o rozpuszczalności, denaturacji i w końcu wytrąceniu się białek,
- ***enzymy***, są to najczęściej białka o takiej strukturze trzeciorzędowej, przy której w jednym miejscu cząsteczki znajduje się centrum aktywne, mające formę szczerby lub bruzdy pasującej do substratu jak klucz do zamka i określającej specyficzność oraz kierunek działania enzymu. Z trzeciorzędowej struktury białka enzymu wynika również zakres pH i optymalna temperatura działania.

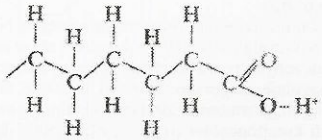
Aminokwasy stanowią najważniejsze źródło azotu dla drożdży, z którego budują one swe komórki. Drożdże mogą przyswajać aminokwasy w całości lub też wykorzystywać tylko ich grupę aminową. Z peptydowego łańcucha kilku aminokwasów dla drożdży dostępna jest tylko końcowa grupa aminowa. Grupy wewnątrz łańcucha pozostają dla nich niedostępne. W analityce piwowarskiej dostępny dla drożdży azot aminowy określany jest jako:

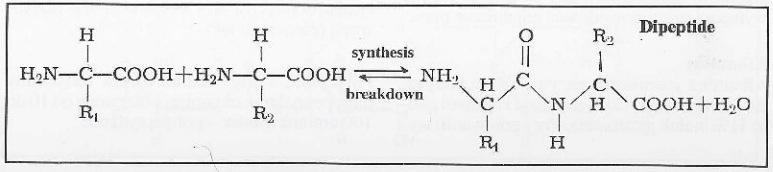
- ***wolny azot aminowy (FAN)*** albo jako
- ***azot α-aminowy***, czasami także jako
- ***azot formolowy***.

1.1.4.3 Tłuszcze

Jęczmień zawiera około 2% tłuszczu, który znajduje się głównie w warstwie aleuronowej i w zarodku. Zarodek zawiera jedną dziesiątą tej ilości, która występuje w warstwie aleuronowej i w łusce.

Podstawowymi składnikami tłuszczów są kwasy tłuszczowe. Są to łańcuchy węgla i wodoru, zakończone grupą -COO-H, charakterystyczną dla słabych kwasów:

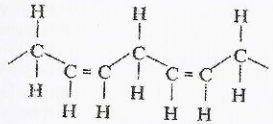




Rozróżnia się przy tym:

- kwasy tłuszczowe o krótkim łańcuchu: należy do nich na przykład kwas octowy CH_3COOH,
- kwasy tłuszczowe o średniej długości łańcucha zawierające 5 do 14 atomów węgla,
- kwasy tłuszczowe o długim łańcuchu, od 16 do 24 atomów węgla.

Tłuszcze jęczmienia, w szczególności te, które zawierają nienasycone kwasy tłuszczowe, charakteryzujące się występowaniem podwójnych wiązań między atomami węgla, mimo że występują w niewielkich ilościach, mają jednak duże znaczenie, gdyż w pewnych okolicznościach mogą wpłynąć na pogorszenie smaku piwa.



Nienasycone kwasy tłuszczowe występują też jako składniki ściany komórkowej drożdży (patrz rozdz. 1.4.1). Ze względu na negatywną rolę, jaką mogą odegrać w przemianach smakowych, będzie jeszcze o nich mowa w następnych rozdziałach.

Nienasycone kwasy tłuszczowe są bardzo reaktywne i ich podwójne wiązania łatwo są utleniane. Może to następować pod wpływem enzymu lipooksygenazy lub na drodze nieenzymatycznej.

Kwasy tłuszczowe o średniej długości łańcucha powstają przede wszystkim podczas głównej fermentacji i w czasie dojrzewania piwa mogą przechodzić z drożdży do produktu. W szczególności wpływają one negatywnie na pienistość piwa.

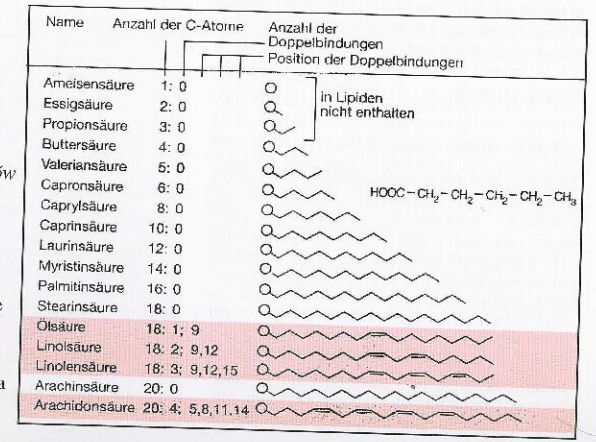
Tłuszcze są estrami kwasów tłuszczowych i glicerolu. Estry są związkami kwasów i alkoholi. Glicerol jest alkoholem trójwodorotlenowym, który może przyłączyć trzy cząsteczki kwasów tłuszczowych, tworząc cząsteczkę tłuszczu.

1.1.4.4 Związki mineralne

Zawartość związków mineralnych w ziarnie jęczmienia waha się w granicach od 2 do 3%, z czego większość występuje w połączeniach organicznych.

Najważniejsze z nich to:

fosforany, reprezentujące około 35% w popiele jęczmienia (w analizie wyrażane jako pięciotlenek fosforu),



Rys. 1.5b Przegląd najważniejszych kwasów tłuszczowych

Kółko oznacza grupę -COOH. Kolanko oznacza grupę $-CH_2$, a w kwasach nienasyconych - grupę -CH; na końcu łańcucha grupę $-CH_3$.

krzemiany, około 25% (wyrażane jako dwutlenek krzemu),

sole potasowe, stanowiące około 20% (wyrażane jako tlenek potasowy).

Fosforany stanowią nie tylko największą grupę wśród związków mineralnych jęczmienia, ale także, występując w ważnych dla życia roślin połączeniach organicznych, odgrywają bardzo istotną rolę w przemianach metabolicznych zachodzących w ziarnie (np. w kwasach nukleinowych, w ATP, w fitynie, w koenzymach, w białkach itp.). Procesy zachodzące podczas słodowania oraz przygotowania zacieru uwalniają fosforany z ich organicznych połączeń.

Dla szeregu procesów zachodzących przy produkcji piwa konieczna jest obecność fosforanów. Dotyczy to np. fermentacji alkoholowej. Dlatego też fosforany są niezbędnym składnikiem odżywczym dla drożdży piwnych.

Krzemiany znajdują się niemal wyłącznie w łusce jęczmienia. Mogą tworzyć roztwory koloidalne oraz biorą udział w zmętnieniach piwa.

Wśród związków mineralnych, występujących w ilościach śladowych w jęczmieniu, istotne znaczenie dla drożdży i prawidłowego przebiegu fermentacji ma obecność cynku. W ziarnie mogą też występować inne mikroelementy, np. mangan i miedź.

Z obecnych w piwie około 1600 mg/l związków mineralnych, jedna czwarta może pochodzić z wody, a w przybliżeniu 1200 mg/l, czyli 1% w stosunku do ekstraktu brzeczki podstawowej, ze słodu.

1.1.4.5 Inne składniki

Jęczmień zawiera ponadto szereg składników, które - jakkolwiek występują w nieznacznych ilościach - zasługują jednak na uwagę, gdyż odgrywają istotną rolę w procesie produkcyjnym i w sposób znaczący wpływają na jakość piwa. Tymi składnikami są: garbniki, ciała gorzkie, witaminy i enzymy.

1.1.4.5.1 Garbniki, czyli polifenole

Garbniki znajdują się w łusce i w warstwie aleuronowej. Charakteryzują się one przykrym, drapiącym, gorzkim smakiem. Im grubsza jest łuska, tym więcej garbników zawiera jęczmień. Mając do przerobienia na słód ziarno o grubej łusce, staramy się już w słodowni usunąć z niego znaczną część tych składników, wykorzystując ich rozpuszczalność w lekko alkalicznej wodzie. To samo dotyczy tak zwanych ciał gorzkich jęczmienia, które również znajdują się w łusce, zaliczane są do lipidów i niekiedy nazywane gorzkimi żywicami.

Wśród polifenoli na szczególna uwagę zasługują antocyjany i ich prekursory, antocyjanidyny. Są to gorzkie barwniki roślinne, występujące głównie w owocach i kwiatach, zmieniające swe zabarwienie zależnie od pH. W kwaśnym środowisku są czerwone, w obojętnym – fioletowe, w zasadowym – niebieskie. W jęczmieniu są składnikami łuski ziarna.

Związki te w piwie mogą w pewnych warunkach tworzyć połączenia z wielkocząsteczkowymi białkami i przyczyniać się do powstawania zmętnień koloidalnych. Aby tego uniknąć, stosuje się przed rozlewem zabiegi stabilizacyjne, mające na celu usunięcie większości polifenoli z piwa.

Dla zmniejszenia tych zagrożeń podjęto prace nad wyhodowaniem odmian jęczmienia wolnych od antocyjanidyny. W jednym wypadku prace zostały już uwieńczone sukcesem i uzyskano taką odmianę o nazwie „Caminant" (162).

1.1.4.5.2 Witaminy

Witaminy są to związki organiczne o różnorodnej strukturze chemicznej, nieodzowne dla prawidłowego przebiegu procesów życiowych organizmu, które muszą być dostarczone z pożywieniem. Wiele z nich pełni swoją funkcję jako składnik enzymów. Brak witamin może prowadzić do schorzeń u ludzi. Odgrywają one istotną rolę w procesach kiełkowania ziarna, rozmnażania drożdży oraz fermentacji.

Ziarno jęczmienia zawiera następujące witaminy:

Witamina B_1 (tiamina) - występuje głównie na obwodzie i w okrywach ziarna,

Witamina B_2 (ryboflawina),

Witamina E (tokoferol) - w tłuszczu zarodka.

Witaminy są bardzo złożonymi substancjami o delikatnej budowie. W trakcie długotrwałego przechowywania i zabiegów, jakim poddawane jest ziarno, ulegają stopniowemu niszczeniu.

1.1.4.5.3 Enzymy jęczmienia

Enzymy występują we wszystkich żywych organizmach roślinnych i zwierzęcych, to też zarówno jęczmień jak i drożdże zawierają obfity garnitur tych składników. Liczne przemiany chemiczne, zachodzące podczas produkcji słodu i wytwarzania piwa, są niemal wszystkie wynikiem działania enzymów. Wydaje się więc celowe przypomnieć tu pokrótce o ich budowie i właściwościach.

Enzymy są to wielkocząsteczkowe substancje białkowe, które, działając jako biokatalizatory, powodują pewne specyficzne reakcje chemiczne lub też w znacznym stopniu przyspieszają ich przebieg. Czynne nawet w bardzo dużym rozcieńczeniu, decydują o kierunku i rodzaju przemian biochemicznych. Skrócone nazwy enzymów hydrolitycznych można tworzyć z nazwy substratu, przez dany enzym rozkładanego, do której dodaje się końcówkę -aza. Tak więc np. enzym rozkładający maltozę otrzyma nazwę maltaza.

Ziarno jęczmienia jako takie zawiera już cały szereg enzymów, przeważnie jednak występują one w bardzo małych ilościach. Większość z nich tworzy się dopiero podczas kiełkowania ziarna w słodowni.

Budowa enzymów

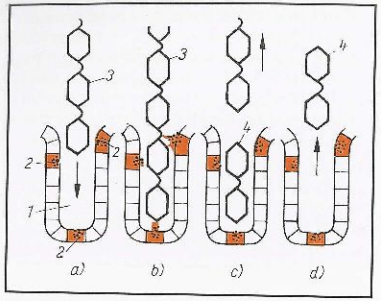
Większość enzymów to białka złożone, najczęściej połączone z substancją niebiałkową - koenzymem, biorącym bezpośredni udział w katalizowanej reakcji. Enzymy, jak większość białek, łatwo ulegają zmianom struktury pod wpływem warunków środowiska, jak pH, temperatura itp., co może pociągać za sobą utratę zdolności katalitycznych. Jednak nie cała cząsteczka białka enzymu ma równie ważne zadanie do spełnienia w katalizie i stwierdzono, że szczególnie istotną rolę odgrywa pod tym względem tzw. centrum aktywne, czyli strefa łańcucha peptydowego bezpośrednio wiążąca substrat w czasie reakcji. Aby nastąpił proces katalizy, enzym musi wytworzyć kompleks z substratem. W tworzeniu kompleksu biorą udział reaktywne grupy substratu i zdolne do reagowania z nimi grupy funkcyjne niektórych aminokwasów białka enzymu. Grupy te nie koniecznie muszą znajdować się w sąsiadujących w łańcuchu polipeptydowym aminokwasach. Natomiast wskutek powyginania tego łańcucha w cząsteczce białka, sąsiadują one i współdziałają ze sobą w układzie przestrzennym, tworząc centrum aktywne enzymu.

Mechanizm działania enzymów

Sposób działania centrum aktywnego enzymu przedstawiony jest na poniższym schemacie (rys. 1.6). Wewnątrz poskręcanej spirali polipeptydu znajduje się ono w punkcie zbliżenia przestrzennego grup funkcyjnych aminokwasów (2). Centrum aktywne przyciąga substrat a). Kiedy fragment cząsteczki substratu znajdzie się już w „kieszeni" enzymu, wiążą się z nią aminokwasy funkcyjne oraz inne grupy aktywne. Zmienia się przy tym przestrzenna konfiguracja aminokwasów b); substrat znajduje się w swego rodzaju pułapce (19, 20). Kiedy proces oddzielania cząsteczki np. dwucukru od substratu jest zakończony c), aminokwasy funkcyjne centrum aktywnego powracają do pierwotnego położenia, produkt reakcji odrywa się od cząsteczki enzymu d), która powraca do stadium gotowości do dalszego działania katalitycznego a).

Ze względu na specjalną budowę i sposób działania centrum aktywnego, każdy enzym może działać tylko na jeden, ściśle określony substrat. Wynika stąd bardzo wysoka specyficzność wszystkich enzymów w stosunku do ich substratów. Schemat katalitycznego działania enzymu pokazany jest na rys. 1.7.

Działanie katalityczne wielu enzymów uzależnione jest nie tylko od obecności koenzymu, ale także niezbędna jest im obecność jonów dwuwartościowych metali, jak np. żelazo, magnez, wapń i inne. Metale te są związane w cząsteczce enzymu.



Rys. 1.6
Mechanizm działania enzymów
(na przykładzie β-amylazy)

(1) centrum aktywne, (2) aminokwasy funkcyjne,

(3) substrat, (4) produkt,

a) wejście substratu,

b) wiązanie substratu przez centrum aktywne,

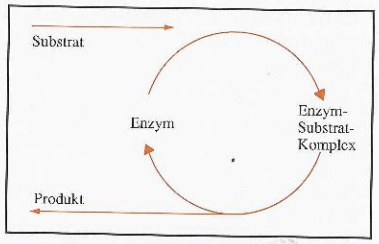
c) powrót aminokwasów funkcyjnych do pierwotnego położenia,

d) opuszczenie przez produkt reakcji „kieszeni" centrum aktywnego.

Mechanizm przyspieszania reakcji przez enzymy

Przy zapoczątkowaniu reakcji chemicznej, zwłaszcza takiej gdzie rozkładane są bogate energetycznie związki, układ musi pobrać określoną porcję energii, która jest niezbędna dla przezwyciężenia „bezwładności chemicznej" cząsteczek, zwanej energią aktywacji.

Kiedy np. drewno, czyli bogata energetycznie celuloza, ma zostać utleniona do ubogich w energię związków jak woda i dwutlenek węgla, czyli spalona, uwolni się energia w postaci ciepła. Mimo to jednak ten egzotermiczny proces nie zacznie się sam, lecz wymaga dopływu energii (zapałki), niezbędnej dla pokonania bariery energetycznej. Dla przebiegu wszystkich zjawisk w naturze istnienie tej bariery jest ogromnie ważne. Gdyby jej nie było, to wszystkie substancje znalazłyby się bardzo szybko w stanie równowagi. Bez istnienia różnic energetycznych życie nie byłoby możliwe.

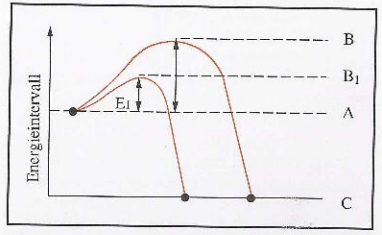


Rys. 1.7
Cykl katalizy enzymatycznej

Jeśli substrat, zawierający określoną ilość energii (rys. 1.8), ma zostać przeprowadzony z bogatego w energię stanu (A) w ubogi energetycznie stan (C), to musi on być najpierw przez dopływ energii wprowadzony w stan aktywacji (B). Jak już wspomniano, ta energia nazywa się *energią aktywacji* (E). Dopiero po pokonaniu bariery energetycznej (E) może zostać osiągnięty stan energetyczny C (21).

Obecność enzymu lub katalizatora znacznie obniża energię aktywacji.

Oznacza to, że w obecności enzymu bariera energetyczna (B1) znajduje się znacznie niżej i do jej pokonania potrzeba będzie znacznie mniej energii aktywacji (E1). Rezultatem tego jest wielkie przyspieszenie reakcji przebiegających przy udziale enzymów.



Rys. 1.8
Obniżanie energii aktywacji przez enzym (działanie katalityczne)

Ziarno jęczmienia w stanie spoczynku zawiera bardzo mało enzymów i większość z nich występuje w formie nierozpuszczalnych połączeń. Dopiero proces kiełkowania powoduje ich uwolnienie lub wytworzenie nowych.

Enzymy te są niezbędne, aby przeprowadzić w stan rozpuszczalny nagromadzone w bielmie substancje zapasowe i udostępnić je zarodkowi jako budulec jego rozwijających się tkanek i jako źródło energii.

Dla piwowara tworzenie enzymów w ziarnie podczas kiełkowania jest jednym z najważniejszych zjawisk zachodzących w słodowni. Enzymy te będą później bardzo potrzebne w warzelni, podczas sporządzania zacieru.

1.1.5 Ocena jęczmienia na słód

Jakość nabytego jęczmienia w decydujący sposób wpływa na jakość słodu, a w konsekwencji także na jakość piwa. Właściwa ocena wartości jęczmienia jako surowca na słód jest więc bardzo ważna.

Jęczmień ocenia się na podstawie:

cech zewnętrznych (organoleptycznie), badań mechanicznych i chemicznych.

Oceny dokonuje się przy ofercie oraz w określonych punktach przy dostawie (kontrola zgodności).

Im większa jest dostarczana partia jęczmienia, tym większe mogą być wahania jej jakości. Aby uzyskać możliwie dokładny obraz jej przeciętnego składu, trzeba pobrać dużo próbek jednostkowych z różnych miejsc partii, które po dobrym wymieszaniu dadzą reprezentatywną próbkę średnią do zbadania.

1.1.5.1 Ocena na podstawie cech zewnętrznych

Jęczmień browarny do zakupienia wybiera się na podstawie odmiany i regionu pochodzenia. Obok coraz powszechniej stosowanych szybkich metod analitycznych, nabiera znaczenia także szybka i znana od dawna metoda oceny ziarna na podstawie jego cech zewnętrznych. Obejmuje ona:

Zapach

Powinien być czysty, świeży, podobny do zapachu słomy. Zapach stęchły, duszny, pleśniowy, wskazuje na to, że jęczmień jest zbyt wilgotny, niewłaściwie zmagazynowany, mógł ulec zagrzaniu. Można się zatem spodziewać obniżonej zdolności kiełkowania i trudności przy jego przerobie na słód.

Wilgotność

Ziarno powinno być suche w dotyku i sypkie czyli ruchliwe. Jeśli ziarno przykleja się do ręki i nie osypuje, świadczy to o jego dużej wilgotności.

Barwa i połysk

Jęczmień powinien mieć jasną barwę słomy, błyszczącą i jednolitą. Ziarna zielonkawe świadczą o zbyt wczesnym zbiorze. Jęczmień zadeszczony w czasie żniw ma barwę ziarna szarą i matową. Ciemne, brunatne końce u nasady ziaren, świadczą o mokrych żniwach i możliwej wrażliwości jęczmienia na wodę.

Wygląd łuski

Łuska powinna mieć drobne pofałdowania poprzeczne. Drobne fałdy świadczą o cienkości łuski, a w dalszej konsekwencji o dobrym, bogatym w ekstrakt jęczmieniu. Słabo pofałdowana lub wręcz gładka powierzchnia wskazuje na to, że łuska jest gruba. Gruba łuska zawiera więcej ciał gorzkich i garbników.

Zdarzają się lata, w których dochodzi do pękania ziaren jęczmienia. Przyczyną tego zjawiska są występujące na przemian upały i deszcze w czasie gdy ziarno wypełnia się i dojrzewa. Cechy odmianowe ziarna mogą wzmocnić lub osłabić skutki tego zjawiska (192). Jego rezultaty mogą ujawniać się w różny sposób (191):

- Szczeliny między plewkami; przejście od plewki grzbietowej do plewki brzusznej nie jest całkowicie zamknięte. Znajdujące się głębiej okrywy owocowe i nasienne pozostają jednak nie uszkodzone.
- Popękania ziarna; występują przy tym pęknięcia zarówno łuski jak i głębiej leżących warstw, czasami nawet aż do bielma. Skłonność do występowania tej wady jest cechą utrudniającą hodowlę wysokowydajnych odmian.

Ziarna porośnięte występują przy bardzo mokrych żniwach, kiedy jęczmień zaczyna kiełkować gdy ziarno jest jeszcze w kłosie. Jęczmień skiełkowany, czyli porośnięty nie nadaje się do produkcji słodu.

Stopień zanieczyszczenia (czystość ziarna)
W jęczmieniu przeznaczonym na słód nie powinno być zanieczyszczeń takich jak: nasiona chwastów, połówki ziaren, ziarna innych zbóż, sporysz, kłosy, słoma, ości, sznurki, piasek, kamyki, kawałki metali itp. (*Polska Norma określa dopuszczalną zawartość zanieczyszczeń w jęczmieniu browarnym; przp. tł.*).

Ziarna uszkodzone
Uszkodzone ziarna powodują trudności przy przerobie na słód, tak pod względem technologicznym jak i biologicznym. Dlatego też należy wykluczyć ich obecność w jęczmieniu na słód. Uszkodzenia powstają przede wszystkim przy młocce, ale mogą je powodować także szkodniki zwierzęce.

Kształt i wielkość ziarna
Ziarno powinno być duże, pełne i zaokrąglone. Takie ziarno w porównaniu z ziarnem płaskim i wydłużonym jest z reguły bogatsze w ekstrakt i uboższe w białko. Kształt ziarna zależy jednak przede wszystkim od odmiany jęczmienia.

Wyrównanie ziarna
Poszukiwanym surowcem jest jęczmień wyrównany, z dużym udziałem ziarna pełnego.

Porażenie szkodnikami
Najczęściej spotykanym szkodnikiem magazynowym jest wołek zbożowy. Ziarna zaatakowane przez wołka można rozpoznać po charakterystycznym otworku. Podczas moczenia ziarna wypływają one na powierzchnię. Jęczmień mocno porażony szkodnikami nie nadaje się do przerobu na słód (patrz też rozdział 2.2.4.3)

1.1.5.2 Badania mechaniczne i chemiczne ziarna

1.1.5.2.1 Analiza sitowa (wyrównanie ziarna)

Wyrównanie ziarna stanowi najważniejszy element oceny mechanicznej i można je łatwo i szybko zbadać. W tym celu próbkę ziarna rozdziela się na cztery frakcje za pomocą sit o prześwitach szerokości 2,8 mm, 2,5 mm i 2,2 mm. Wszystko co pozostaje na dwóch pierwszych sitach (2,8 i 2,5 mm) zalicza się do pierwszego gatunku (ziarna celne).

Ziarno, które przelatuje przez dwa pierwsze sita, ale pozostaje na sicie trzecim (2,2 mm), zalicza się do drugiego gatunku.

Ziarno jęczmienia, które przelatuje przez wszystkie trzy sita, nazywamy pośladem i nadaje się ono już tylko na paszę.

Do badania odważa się zawsze próbkę 100g ziarna, tak że waga w gramach poszczególnych frakcji = %. Na przykład:

Sito I Sito II	42,5 g 46,0 g	(dwa pierwsze sita = 88,5%, I gatunek, ziarno celne)
Sito III	9,5 g	(drugi gatunek, 9,5%)
Dno	2,0%	(pośład, 2,0%)

Normalna zawartość ziarna celnego:

Jęczmień browarny średniej jakości	- nie mniej niż 85%
Jęczmień browarny dobrej jakości	- nie mniej niż 90%
Jęczmień browarny doskonałej jakości	- nie mniej niż 95%

Normalna zawartość pośladu:

Jęczmień źle oczyszczony	ponad 4%
Jęczmień browarny średniej jakości	- 3 do 4%
Jęczmień browarny dobrej jakości	- 2 do 3 %
Jęczmień browarny doskonałej jakości	poniżej 2%

1.1.5.2.2 Masa tysiąca ziarn

Ponieważ masa tysiąca ziarn wzrasta wraz z wilgotnością zboża, więc podaje się ją zawsze w przeliczeniu na suchą substancję. Ciężar tysiąca ziarn może mieć związek z celnością ziarna i z późniejszą wydajnością ekstraktu. Większy ciężar 1000 ziarn może oznaczać większy udział ziarna celnego w partii jęczmienia. Oznaczenia masy tysiąca ziarn dokonuje się najłatwiej stosując deskę do liczenia ziarna lub odpowiedni aparat liczący, a następnie ważąc odliczone ziarna na technicznej wadze laboratoryjnej. Ziarna połamane i ciała obce muszą być przedtem usunięte z próbki. Do badania pobiera się 2 równoległe próbki po 40 gramów każda.

Przeliczenia na suchą masę tysiąca ziarn dokonuje się następująco:

Ciężar 1000 ziarn powietrznie suchych x (100 - W) : 100

Gdzie W=wilgotność jęczmienia w %.

Przykład:
W pobranej do badania próbce 40 g było 1,6 g ziarn obcych i połówek. Całych ziarn jęczmienia było 1048. Wilgotność ziarna wynosiła 11,5%. Ciężar 1048 ziarn wynosi 40,0 - 1,6 = 38,4 g

$$1000 \text{ ziarn powietrznie suchych} = \frac{38{,}4 \times 1000}{1048} = 36{,}6 \text{ g}$$

$$\text{Sucha substancja w 1000 ziarn} = \frac{36{,}6 \times (100 - 11{,}5)}{100} = 32{,}4 \text{ g}$$

Ciężar 1.000 ziarn w przeliczeniu na suchą substancję wynosi 32,4 g.

Normalne wartości masy 1.000 ziarn jęczmienia browarnego

Jęczmień powietrznie suchy;
37 do 40 g - ziarno lekkie
41 do 44 g - ziarno średnio ciężkie
ponad 45 g - ziarno ciężkie

Jęczmień bezwodny (przeliczony na suchą substancję):
38 do 40 g - wartości normalne
30 do 45 g - wartości graniczne

1.1.5.2.3 Ciężar hektolitra

Ciężar hektolitra jest to masa jednego hl jęczmienia. Dla jęczmienia browarnego waha się ona w granicach od 68 do 75 kg. Dawniej przywiązywano do tej cechy dużą wagę. W ostatnim ćwierćwieczu stwierdzono jednak, że zależy ona od wielu bardzo różnych czynników i jako element oceny jakości nie daje się wykorzystać. Obecnie ciężar hektolitra jest bardzo rzadko określany.

1.1.5.2.4 Mączystość przekroju ziarna

Bielmo przekrojonego ziarna dobrego jęczmienia browarnego powinno być białe jak mąka, czyli mączyste. Jęczmień taki nie będzie sprawiał kłopotów w przerobie, a otrzymany słód powinien być dobrze, równomiernie rozluźniony. Najczęściej jednak nie wszystkie ziarna w próbce wykażą przekrój mączysty. Dlatego powinno się wykonywać badanie mączystości ziarna farinatomem na przekroju wzdłużnym, a w przypadku braku takiego sprzętu, na przekroju poprzecznym.

Przyjęto, że dobry jęczmień browarny powinien zawierać nie mniej niż 80% ziarn o przekroju mączystym. W praktyce cecha ta zależy od wielu czynników, także od pogody. Pozostałe ziarna określa się jako szkliste. Szklistość może być stała lub przemijająca. Aby to rozpoznać, trzeba próbkę ziarna moczyć 24 godziny, wysuszyć i ponownie przekroić. Tylko szklistość stała jest brana pod uwagę jako wada jęczmienia przeznaczonego do przerobu na słód.

1.1.5.2.5 Techniczna ocena chemiczna

Każda partia jęczmienia badana jest na wilgotność i zawartość białka surowego, czyli związków azotowych. Inne badania wykonuje się zależnie od potrzeby.

Wilgotność ziarna
Oznaczenie wilgotności, czyli zawartości wody w ziarnie wykonuje się ogólnie przyjętymi metodami, polegającymi na wysuszeniu zmielonej, odważonej dokładnie próbki, w ściśle określonym czasie i temperaturze. Istnieją także różne szybkie metody i odpowiedni sprzęt umożliwiający bieżącą kontrolę przy odbiorze jęczmienia.

Zawartość białka (związków azotowych)
Dla produkcji słodu i piwa bardzo istotną rolę odgrywa zawartość białka w jęczmieniu. Jęczmień bogaty w białko przerabia się na słód trud-

niej i z większymi stratami przerobowymi. Im więcej białka w jęczmieniu, tym uboższy w ekstrakt będzie otrzymany z niego słód. W umowach handlowych przy zakupie jęczmienia browarnego zwraca się szczególną uwagę na zawartość białka. Przekroczenie ustalonej w umowie górnej granicy zawartości białka pociąga zawsze za sobą proporcjonalne obniżenie zapłaty za jęczmień. Związki azotowe w ziarnie oznacza się klasyczną metodą Kjeldahla, która jest również metodą odwoławczą. Istnieją także i są stosowane szybkie metody oznaczania związków azotowych.

Białko surowe jest to oznaczona metodą Kjeldahla zawartość azotu w ziarnie, pomnożona przez mnożnik, który dla jęczmienia wynosi 6,25. Wynika on stąd, że w białkach tego zboża udział azotu wynosi średnio 16%, a 100 : 16 = 6,25.

1.1.5.3 Badania fizjologiczne ziarna

1.1.5.3.1 Zdolność kiełkowania

Pod pojęciem zdolność kiełkowania rozumie się procentową zawartość wszystkich żywych ziaren w próbce, niezależnie od tego czy jęczmień zakończył już okres dojrzewania pożniwnego, czy jeszcze nie.

Co najmniej 96% ziaren powinno być zdolnych do kiełkowania.

1.1.5.3.2 Energia kiełkowania

Pod pojęciem energii kiełkowania rozumie się procent ziarn, które wykiełkują w określonym czasie w normalnych warunkach słodowania. Określa się energię kiełkowania po 3 i po 5 dniach. Wysoka energia kiełkowania świadczy o tym, że ziarno jest zdrowe i proces słodowania będzie przebiegał normalnie.

Energia kiełkowania jęczmienia browarnego po 5 dniach powinna wynosić:

dla ziarna:	nie mniej niż:
- średniej jakości	95%
- bardzo dobrej jakości	98%

Energia kiełkowania po 3 dniach powinna dawać wynik jak najmniej różniący się od wyniku uzyskanego po 5 dniach kiełkowania.

Obok takiego oznaczania energii kiełkowania istnieje także szybka metoda, przy wykorzystaniu TTC (chlorku tetrazolium). Metoda ta jest szczególnie godna polecenia gdy trzeba oznaczać zdolność kiełkowania próbki jęczmienia, który nie zakończył jeszcze dojrzewania pożniwnego, czyli przed 1 października w roku zbioru.

1.1.5.3.3 Wrażliwość na wodę

Jęczmień różnego pochodzenia jest w różny sposób wrażliwy na pobieranie wody. Ta cecha musi być brana pod uwagę przy moczeniu jęczmienia w słodowni. Przy wyższej wrażliwości na wodę trzeba czas moczenia ograniczać. Wrażliwość ziarna na wodę określa się na podstawie wpływu różnych ilości wody na energię kiełkowania (różnica wyników; próba 4 ml minus próba 8 ml)

Jęczmień, którego wrażliwość na wodę wynosi 10% jest bardzo mało wrażliwy, przy 11 do 25% jest mało wrażliwy, wynik 26 do 45% oznacza, że jest wrażliwy, a ponad 45% że bardzo wrażliwy.

1.1.5.3.4 Zdolność pobierania wody (zdolność pęcznienia)

Zdolność pęcznienia ziarna jest cechą zależną od odmiany, warunków środowiska i dojrzałości zboża, która wskazuje jak dużo wody może pobrać jęczmień w określonych warunkach i czasie moczenia. Im wyższa jest ta zdolność, tym lepszy materiał na słód stanowi jęczmień tym większa będzie aktywność jego enzymów oraz mączystość bielma.

Ocena zdolności pobierania wody przez ziarno (zdolność pęcznienia) po 72 godzinach moczenia;

poniżej 45%	- niedostateczna
od 45 do 47,5%	- zadowalająca
od 47,6 do 50%	- dobra
powyżej 50%	- bardzo dobra

1.2 Chmiel

Chmiel (Humulus lupulus L.) to wieloletnia, dwupienna roślina należąca do grupy pokrzywowatych i rodziny konopiowatych. W piwowarstwie wykorzystane są wyłącznie owocostany żeńskie; zawierają one gorzkie żywice i eteryczne olejki, które wnoszą do piwa składniki goryczkowe i aromatyczne.

W piwowarstwie surowiec ten określa się następująco: chmiel to wysuszone owocostany żeńskie (szyszki) oraz otrzymywane z nich produkty, które zawierają wyłącznie składniki chmielu.

Chmiel uprawia się w ***specjalnych rejonach,*** które odznaczają się korzystnymi warunkami do jego uprawy. Po ***zbiorze,*** chmiel jest ***suszony i konserwowany,*** co umożliwia zachowanie jego wartości.

Ważnym miernikiem ***oceny jakości chmielu*** jest ***wygląd szyszki chmielowej*** i zawartość składników chmielowych.

1.2.1 Rejony uprawy

Największymi producentami chmielu na świecie są Niemcy i Stany Zjednoczone, następnie Czeska Republika i ostatnio Chiny. Uprawa chmielu na świecie kształtowała się w minionych latach następująco:

Państwo	Powierzchnia uprawy w ha 1996 r.	Zbiór w tonach 1995 r.	1996 r.
Niemcy	21 813	34 121	39 511
Anglia	3 112	4 078	5 145
Hiszpania	915	1 724	1 190
Francja	711	1 108	1 145
Belgia	341	603	684
Austria	246	335	339
Portugalia	112	128	167
Irlandia	6	10	8
Kraje Unii Europejskiej	**27 265**	**42 109**	**48 090**
Czechy	9 355	9 910	10 126
Ukraina	3 545	2 565	1 453
Rosyjska Federacja	2 700*	2 500*	1 850*
Polska	2 480	3 264	3 400
Słowenia	2 226	3 967	3 556
Rumunia	1 597	1 839	1500*
Słowacja	1 082	1 035	824
Jugosławia	584	808	668
Bułgaria	505	360	414
Turcja	334	300	304
Szwajcaria	22	50	53
Węgry	20	37	46
Europa razem	**51 715**	**68 743**	**72 285**
USA	17 884	35 768	34 006
Argentyna	262	375	247
Kanada	146	165	136
Ameryka razem	**18 292**	**36 307**	**34 389**
Afryka Południowa	656	1 209	1 008
Zimbabwe	35	48	42
Afryka razem	**691**	**1 274**	**1 050**
Chiny	4 400*	16 005*	12 000*
Japonia	433	956	861
Indie	65	94	35
Korea Południowa	3	9	5
Azja razem	**4 901**	**17 064**	**12 902**
Australia	1 014	2 558	2 919
Nowa Zelandia	354	756	833
Australia razem	**1 368**	**3 315**	**3 753**
Świat razem	**76 967**	**126 686**	**124 379**

* dane szacunkowe

Światowe zapotrzebowanie chmielu wynosi około 125 000 t. Z uwagi na wahające się zbiory w poszczególnych latach, popyt ten nie zawsze jest pokrywany (rys.1.9).

Niedobory uzupełniane są z rezerwy chmielu, jaka powstawała w latach urodzaju. Pomijając regiony, gdzie intensywnie rozwija się spożycie piwa, stwierdza się nieznaczne obniżenie zapotrzebowania na chmiel. Zjawisko to wynika z następujących przyczyn:

- stagnacja oraz częściowe obniżenie popytu na piwo,
- ogólne obniżenie poziomu goryczy w piwie,
- zwiększenie stosowania chmielu o wysokiej zawartości α - kwasów.

Niemcy

Największym obszarem uprawy chmielu w Niemczech jest ***Hallertau*** (rys. 1.10). Przeważająca ilość niemieckiego chmielu uprawiana jest na obszarze między Augsburgiem i Regensburgiem z centrum w Mainburgu, na powierzchni wynoszącej 17.837 ha (1996 r.).

Uprawa chmielu w rejonie ***Tettnang*** na północ od Bodensee zajmuje powierzchnię 1.653 ha (1996).

W rejonie rzek ***Łaby-Sali*** chmiel uprawiany jest na powierzchni 1.551 ha (1996 r.) przez 47 hodowców (1996 r). Rejon ten rozciąga się na Saksonię, Turyngię i na południowo-zachodnią Saksonię-Anhalt.

Rejon uprawy ***Spal,*** o powierzchni wynoszącej 646 ha (1996) obejmuje tereny na południowy-zachód od Norymbergii.

Hersbruck, to rejon leżący na północny-wschód od Norymbergi, na skraju Frankońskiego Albu. Zajmuje 109 ha i należy do najmniejszych rejonów uprawy chmielu w Niemczech.

Najmniejszym rejonem jest w *Baden/ Bilburg/ Palatynat,* w którym trzech hodowców uprawia chmiel na powierzchni 17 ha.

W Niemczech dominuje obecnie uprawa chmielu aromatycznego. W 1996 roku zebrano następujące ilości chmielu:

aromatyczne	24 316 t
goryczkowe	8 735 t
wysokogoryczkowe	6 300 t
inne rodzaje	160 t
Niemcy razem	**39 511 t**

Rodzaje odmian uprawianego chmielu – patrz rozdział 1.2.6.

Stany Zjednoczone

W Stanach Zjednoczonych najwięcej chmielu produkuje się w stanie Washington (w 1996 r, zbiory wynosiły 26.145 t), następnie w stanach Oregon (5.323 t) i Idaho (2.538 t).

Uprawia się następujące rodzaje chmielu:

aromatyczny	7 741 t
goryczkowy	5 030 t
wysokogoryczkowy	19 550 t
inne rodzaje	1 684 t
USA razem	**34 006 t**

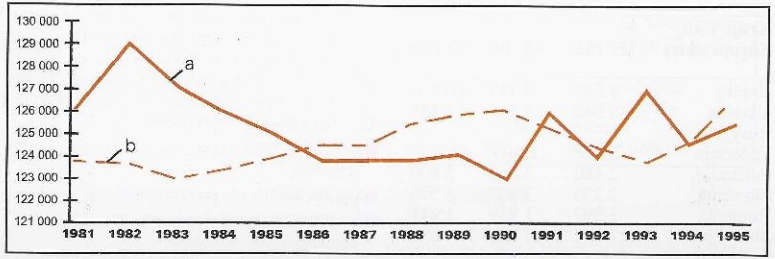
W uprawie chmielu aromatycznego dominuje odmiana *Willamette,* drugie miejsce zajmuje odmiana *Tettnang.* Natomiast w odmianach chmielu goryczkowego i wysokogoryczkowego dominują *Galena, Nugget* i *Cluster.*

Republika Czeska

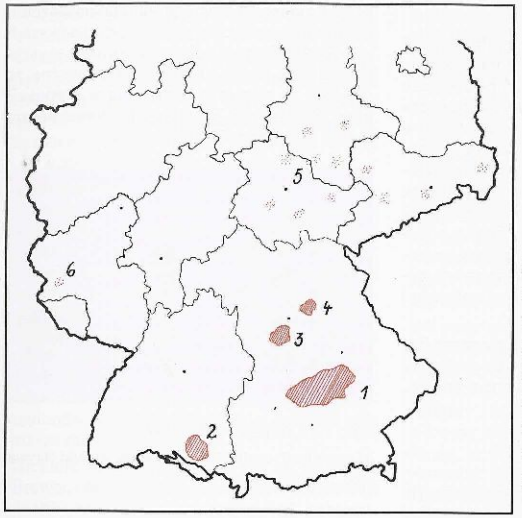
Głównym rejonem uprawy chmielu w Czeskiej Republice jest Žatec z 6.936 ha (1996 r.), następnie Ausza (1.441 ha) i Tirszyc (978 ha). Uprawiany jest wyłącznie chmiel aromatyczny.

Anglia

W Anglii uprawiany jest chmiel na 3.111 ha (1996 r.) na terenie hrabstwa Kent i Herefordshire. Pierwszą pozycję w uprawianych odmianach chmielu zajmuje wysokogoryczkowa odmiana *Target,* następnie aromatyczna *Goldings, Challenger i Fuggles.*



Rys.1.9. Produkcja i zapotrzebowanie na chmiel
a) produkcja chmielu b) zapotrzebowanie na chmiel



Rys. 1.10
Rejony uprawy chmielu w Niemczech
(1) Hallertau
(2) Tettnang
(3) Spalt
(4) Hersbruck
(5) Rejon Łeba-Sala
(6) Baden - Bilburg- Palatynat (Rheinplatz)

Chiny

Na terenie tego państwa zbiera się na 4.400 ha (1996 r.) około 12.000 t chmielu, głównie w następujących prowincjach:

Xinjang	2.500 ha	7.500 t
Gansu	1.700 ha	4.000 t
Ningxia	150 ha	400 t

Przeważa przede wszystkim uprawa chmielu goryczkowego odmiany *Tsingdao Blume 641* oraz odmiana *Toyomidori.*

Polska

W Polsce produkcja chmielu zlokalizowana jest w 3 rejonach (1995 r.)

- lubelskim	około 1993 ha,
- wielkopolskim	około 325 ha,
- dolnośląskim	około 181 ha.

Uprawia się głównie chmiel aromatyczny (70%), którego produkuje się około 2.300 t. Roczne zbiory chmielu goryczkowego wynoszą około 1.050 t (1995 r.). (*przyp. tł.*)

1.2.2 Zbiór, suszenie i konserwowanie chmielu

Szyszki chmielowe po zbiorze muszą być suszone i przetworzone w formę umożliwiającą ich przechowywanie.

1.2.2.1 Zbiór

Zbiór chmielu może odbywać się po osiągnięciu dojrzałości technicznej. Na ogół występuje to pod koniec sierpnia, a w przypadku odmian o dłuższym okresie wegetacji na początku września. Czas zbioru nie powinien trwać dłużej niż 14 dni. Zbiór chmielu polega na oddzieleniu pnączy chmielowych od drutów nośnych, a następnie odrywaniu szyszek od rośliny (żeńskiego rodzaju). Szypułki pozostawione przy szyszce powinny być krótkie. Obecnie w Niemczech zbiór chmielu odbywa się prawie wyłącznie przy użyciu maszyn, specjalnie do tego celu skonstruowanych.

1.2.2.2 Suszenie chmielu

Zerwane szyszki chmielowa zawierają około 75 do 80 % wody. W takiej postaci chmiel nie nadaje się do składowania. Dlatego po zbiorach szyszki chmielowe muszą być natychmiast poddane suszeniu. Suszenie chmielu odbywa się w suszarniach taśmowych lub w małych gospodarstwach w suszarniach komorowych wielokondygnacyjnych (z półkami sitowymi). Chmiel suszy się do zawartości wody od 8 do 12 %, w temperaturze nie wyższej niż 50°C, z odpowiednio dobraną prędkością przepływu powietrza. Następnie chmiel lekko sprasowany pakowany jest w worki chmielarskie (wańtuchy) lub do większych opakowań.

Chmiel w takiej postaci również nie może być przez dłuższy czas przechowywany, ponieważ traci swoje wartości technologiczne wskutek:

działania tlenu
działania wilgotności i
zagrzewania się.

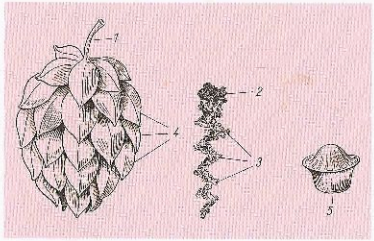
W tak składowanym chmielu wystąpiłoby szybko obniżenie zawartości substancji goryczkowych i inne niekorzystne zjawiska. Dlatego chmiel musi być możliwie szybko poddany zabiegom utrwalającym.

1.2.2.3 Utrwalenie chmielu

Większość zbiorów chmielu przetwarzana jest na ekstrakty i granulaty chmielowe (pelety); tylko nieznaczną część wykorzystuje się w postaci naturalnej. We wszystkich przypadkach mija jednak jakiś czas od momentu zbiorów do czasu przerobu, w którym chmiel musi być zabezpieczony przed utratą wartości browarniczych. Dlatego wysuszony chmiel prasuje się za pomocą pras hydraulicznych w worki chmielowe o wysokości 1,1 m i średnicy 0,6 m, o ciężarze ok. 65 kg. Dzięki sprasowaniu ograniczony zostaje dostęp tlenu oraz nawilgocenie chmielu. W celu zmniejszenia powierzchni magazynowej, często pakuje się chmiel w bale lub baloty o kształcie prostokątnym.

1.2.3 Budowa szyszki chmielowej

Chmiel jest rośliną dwupienną. Dla celów piwowarskich znaczenie mają wyłącznie rośliny żeńskie, które od drugiego roku po nasadzeniu wytwarzają owocostany, ze względu na kształt zwane szyszkami. Znajomość budowy szyszki chmielowej (rys.1.11) jest bardzo ważna ze względu na rolę, jaką odgrywają w produkcji piwa jej składniki. Szerzej na ten temat będzie mowa w następnych rozdziałach.



Rys. 1.11. Szyszka chmielowa

1) szypułka, 2) osadka, 3) listki okwiatu, 4) listki okrywające, 5) lupulina

1.2.4 Skład chemiczny chmielu i właściwości jego składników

Skład chemiczny chmielu odgrywa bardzo istotną rolę dla jakości piwa. Przeciętna zawartość substancji, wyrażona w % suchej masy chmielu wynosi:

substancje goryczkowe	18,5%
olejki chmielowe	0,5%
garbniki	3,5%
białko	20,0%
związki mineralne	8,0%

Pozostałe składniki to celuloza i inne substancje, nieużyteczne w browarnictwie. Najbardziej cennymi składnikami chmielu w produkcji piwa są substancje goryczkowe i olejki eteryczne.

1.2.4.1 Substancje goryczkowe (żywice chmielowe)

Już we wczesnym stadium rozwoju rośliny chmielowej wytwarzane są pewne ilości mniej gorzkich β-kwasów, które następnie wydzielane są do lupuliny. W czasie dojrzewania szyszki, część wytworzonych β-kwasów jest przekształcana do gorzkich α-kwasów. To przekształcenie, które zawsze obejmuje tylko pewną część β-kwasów, jest bardzo zależne od warunków pogodowych. W gorącym i suchym okresie podczas dojrzewania chmielu, przekształcenia te zachodzą w większym stopniu niż w zimnym i wilgotnym lecie.

α-kwasy zwane też humulonami mają największe znaczenie w nadawaniu piwu gorzkiego smaku. Nie występują w postaci jednorodnego związku. Jednemu ze składników α-kwasów, kohumulonowi, przypisuje się raczej negatywną rolę w kształtowaniu jakości goryczy w piwie. Ilość wytworzonych α-kwasów oraz ich skład stanowią cechę odmianową. W związku z tym w pracach nad hodowlą nowych odmian selekcjonuje się chmiel o niskiej zawartości kohumulonów, dążąc do tego, żeby ilość kohumulonów w ogólnej zawartości α-kwasów była niższa niż 20 do 25 %.

Niektóre odmiany chmielu, jak np. Northern Brewer, obok wyższej zawartości α-kwasów (6 do 9%), zawierają także wyższą ilość kohumulonów (ponad 30% ogólnej zawartości α-kwasów). Są one dzięki temu bardziej gorzkie, lecz z powodu wyższej zawartości kohumulonów często nie tak dobre jak odmiany z niższą zawartością.

Nierozpuszczalne w wodzie α-kwasy w czasie gotowania brzeczki ulegają przekształceniu w rozpuszczalne izo-α-kwasy i w konsekwencji, po wytrąceniu pewnej ilości podczas chłodzenia i fermentacji, nadają piwu określony gorzki smak.

Substancje goryczkowe zmniejszają napięcie powierzchniowe, dzięki czemu wpływają korzystnie na trwałość piany. Można zatem oczekiwać, że w piwach mocniej chmielonych uzyska się lepszą trwałość piany.

Substancje goryczkowe wykazują także właściwości hamujące rozwój drobnoustrojów. Jednak ich działanie bakteriostatyczne nie jest na tyle duże, żeby mogło odgrywać poważniejszą rolę czynnika podnoszącego trwałość mikrobiologiczną piwa.

α-kwasy nie należą do trwałych substancji; membrana otaczająca lupulinę jest przepuszczalna i tylko w niewielkim stopniu chroni jej zawartość. Pod wpływem tlenu, wyższej temperatury i zwiększonej wilgotności powietrza α-kwasy ulegają ciągłym przemianom. Stwierdzono, że w chmielu magazynowanym w temperaturze 18°C przez okres 2 miesięcy przekształceniu uległo 25% α-kwasów [155]. Oznacza to, że tworzeniu się α-kwasów ciągle towarzyszy ich dalsza przemiana.

Z powyższego wynika konieczność przechowywania chmielu aż do jego przerobu bez dostępu powietrza w pomieszczeniach chłodzonych i suchych.

Końcowym produktem utlenienia zarówno α-kwasów jak i β-kwasów są żywice twarde, nie mające żadnej wartości technologicznej.

Części szyszki	wygląd
ogonek (1)	krótki
osadka (2)	zygzakowato powyginana
listki okwiatu (3)	na każdym zagięciu osadki znajdują się niepozorne szypułki kwiatowe z dużymi listkami okrywającymi. W przypadku zapłodnienia chmielu tworzą się tutaj nasiona, a listki na szyszce są rozwarte.
listki okrywające (4)	zielonożółte listki o kształcie jajowatym, przy nasadce są bardziej żółte niż na wierzchołku; są one częścią składową szyszki
lupulina (5)	żółty, lepki proszek, który znajduje się w przylistkach; jest to wydzielina gruczołowa, tworząca się w czasie dojrzewania chmielu na przylistkach i listkach okrywających; przylistki znajdują się pomiędzy osadką i listkami okrywającymi; wytwarza się jako miseczka gruczołowa, do której wydzielają się gorzkie żywice i olejki eteryczne, miseczka pokrywa się membraną, aby zapobiegać wypadaniu wydzieliny; w lupulinie znajdują się gorzkie żywice i olejki eteryczne oraz inne cenne składniki chmielu, z wyjątkiem garbników, wykorzystywane w piwowarstwie;
(patrz rys.1.11)	

W skrajnych warunkach, w wyniku dalszych przekształceń powstaje kwas walerianowy, nadający staremu chmielowi nieprzyjemny zapach sera. Jednym ze składników żywic twardych jest ksantohumol; to substancja, której przypisuje się działanie antyrakowe. Związek ten wykryto także w piwie w formie zizomeryzowanej. Stwierdzono jego obecność również w granulatach i etanolowym ekstrakcie chmielowym.

Ksantohumol

Stwierdzono, że ksantohumol ma właściwości antyrakowe. Należy jednak podkreślić, że ilość ksantohumolu w piwie jest bardzo mała. Wywołanie efektu ochronnego dla zdrowia człowieka, wymagałoby wypijania codziennie kilku litrów piwa.

Substancje goryczkowe chmielu (żywice chmielowe), dzieli się zależnie od ich rozpuszczalności na następujące frakcje: (ramka)

Jak już zaznaczano, poszczególne substancje goryczkowe odznaczają się bardzo różną intensywnością goryczy. α-kwasy charakteryzują się dziewięciokrotnie silniejszą goryczką niż gorycz całej frakcji beta. Na tej podstawie Wöllmer opracował następującą formułę określającą zawartość goryczy w chmielu:

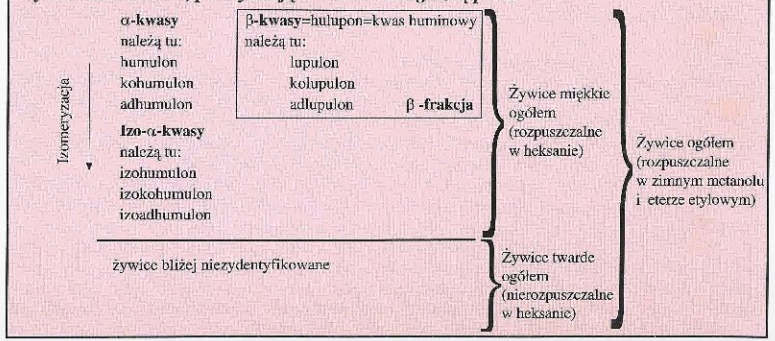
$$\text{wartość goryczy} = \alpha\text{-kwasy} + \frac{\beta\text{ - frakcja}}{9}$$

Dla browarnictwa najbardziej wartościowym składnikiem chmielu są α-kwasy. Z tego względu w obrocie handlowym zawsze podaje się ich zawartość. Stało się to bodźcem dla hodowców chmielu do opracowania odmian o coraz to wyższej zawartości substancji goryczkowych. Pierwszym takim chmielem była odmiana Northern Brewer. Obecnie oferuje się już odmiany o bardzo wysokiej zawartości α-kwasów, rzędu 12-15% (np. Magnum lub Taurus), w których ilość kohumulonów jest niższa niż 25% [156]. Uprawa takiego chmielu na świecie jest coraz większa.

1.2.4.2 Olejki chmielowe

Chmiel zawiera 0,5 do 1,2 % olejków chmielowych. Jest to złożona mieszanina substancji eterycznych, z których wyróżniono już 200 do 250 lotnych komponentów. W czasie dojrzewania chmielu, olejki wydzielane są do lupuliny, przekazując chmielowi charakterystyczny zapach. Podczas gotowania brzeczki z chmielem większość olejków eterycznych ulega ulotnieniu.

Substancje goryczkowe stanowią najbardziej wartościowe i charakterystyczne składniki chmielu. Przekazują do piwa gorzki smak, poprawiają trwałość piany, a dzięki antyseptycznym właściwościom, podwyższają trwałość biologiczną piwa.



Oznaczenie poszczególnych olejków możliwe jest tylko metodą chromatograficzną. Można je rozdzielić i oznaczyć, nie można jednak wyciągnąć jednoznacznych wniosków dotyczących ich indywidualnego wpływu na całokształt aromatu chmielowego, ponieważ dopiero razem tworzą ogólny, charakterystyczny aromat chmielu. Dlatego też ocenę aromatu przeprowadza się nadal metodą sensoryczną.

Różny skład olejków chmielowych jest właściwością odmianową.

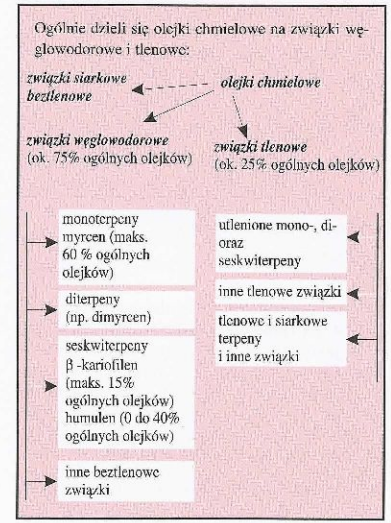
Niektóre komponenty aromatyczne mają szczególne znaczenie, decydują nie tylko o zapachu chmielu, ale wpływają także na bukiet piwa. Jednym z takich komponentów jest *myrcen*. To niskowrzący monoterpen, od intensywności którego zależy ostry zapach chmielu. W piwie wywołuje surową i nieszlachetną nutę zapachową, dlatego też nadmierna jego ilość w chmielu jest niepożądana.

Do olejków o korzystnym wpływie na zapach chmielu zalicza się między innymi takie seskwiterpeny jak β-*kariofilen*, β-*farnezen lub humuleny*, względnie ich epoksydy.

Mimo, że są to związki łatwo ulatniające się podczas procesu gotowania w warzelni, to jednak część ich pozostaje w piwie, przekazując mu pożądany przyjemny, chmielowy aromat. Dla uwypuklenia aromatu chmielowego w piwie, pewną część dawki chmielu dodaje się przed samym zakończeniem procesu gotowania (patrz rozdz. 3.4.1.1).

Z wymienionych wyżej względów uprawia się odmiany chmielu typu aromatycznego, zawierające od 4 do 6% α-kwasów, o niskiej zawartości kohumulonów (poniżej 20% ogólnej zawartości α-kwasów) i możliwie wysokiej olejków dających przyjemny aromat, to jest humulenu i farnezenu.

W Niemczech w ostatnich 10 latach ilość uprawianego chmielu typu aromatycznego zwiększyła się z 48% do 63%. Do tego rodzaju chmielu zalicza się np. odmianę Perle, Spalter Select, Hallertauer Tradition, Hersbrucker i inne.



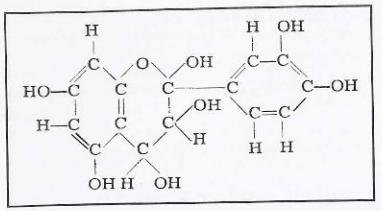
1.2.4.3 Garbniki lub polifenole

Chmiel zawiera od 2 do 5% garbników w suchej substancji. Zawarte są one głównie w listkach okrywających i szypułkach. Garbniki mają kilka ważnych dla piwowara właściwości:

1. charakteryzują się ściągającym smakiem,
2. tworzą z białkami kompleksy, które następnie ulegają wytrąceniu,
3. utleniają się do czerwonobrunatnych związków - flobafenów i
4. tworzą z solami żelaza połączenia o ciemnej barwie.

Są to więc substancje, które biorą udział podczas produkcji piwa w tworzeniu zmętnień oraz w kształtowaniu się smaku i barwy piwa.

Garbniki są to mniej lub bardziej złożone związki o licznych grupach fenolowych. Nazywa się je także polifenolami. W skład polifenoli wchodzą taniny, flawonole, katechiny i antocyjanogeny.



Struktura antocyjanogenów (leukoantocyjanidyna)

Spośród polifenoli najważniejszymi związkami są antocyjanogeny, zarówno z uwagi na ich ilość, jak i na rolę, którą odgrywają w piwie.

Udział antocyjanogenów w ogólnej ilości polifenoli zawartych w chmielu wynosi ok. 80%. W brzeczce, otrzymywanej w standardowy sposób, zawartość antocyjanogenów pochodzi w 80% ze słodu i 20% z chmielu.

Polifenole chmielu odróżniają się od zawartych w słodzie związków przede wszystkim niższym stopniem polimeryzacji i większą zdolnością do wchodzenia w reakcję. Antocyjanogeny chmielu posiadają w zasadzie podobną strukturę do tych, które są obecne w słodzie.

1.2.4.4 Białka

Chmiel zawiera w s.s od 12 do 20% białka; 30 do 50% tych substancji białkowych trafia do piwa. Z uwagi jednak na małą ilość, jaka dodawana jest z chmielem, nie odgrywają one poważniejszej roli w produkcji piwa.

Inne składniki zawarte w chmielu (węglowodany, kwasy organiczne i substancje mineralne) są również bez znaczenia.

1.2.5 Ocena chmielu

Jakość chmielu określa się na drodze

- organoleptycznej oceny szyszek chmielowych (bonitacja) i
- przez oznaczenie substancji goryczkowych w chmielu lub produktach chmielowych.

1.2.5.1 Ocena organoleptyczna szyszek chmielowych

Metody analityczne dają konkretne wyniki ilości substancji zawartych w chmielu, mimo to jednak w dalszym ciągu poważną rolę odgrywa ocena organoleptyczna, dając dobry ogólny pogląd o jakości tego surowca.

Naukowa Komisja Europejskiego Biura Uprawy Chmielu opracowała standardową metodę oceny organoleptycznej chmielu, ustalając że:

- dodatnia ogólna ocena może wynosić maksymalnie 100 punktów i
- negatywne oceny właściwości należy podawać do minus 30 punktów.

Ocena cech organoleptycznych obejmuje następującą punktację:

Zrywanie (1 do 5 punktów)

Zerwany chmiel nie powinien mieć zanieczyszczeń łodyg i liści. Szypułki przy szyszkach nie powinny być dłuższe niż 2,5 cm. Dopuszcza się obecność części liści i łodyg, nie więcej jednak niż 3% .

Stopień wysuszenia (1 do 5 punktów)

Szyszki po sprasowaniu nie powinny się sklejać lub rozlatywać; osadki nie powinny się łamać. Przy wysokiej wilgotności chmiel brązowieje; łatwo rozwija się w nim pleśń; nabiera też zapachu stęchłego.

Barwa i połysk (1 do 15 punktów)

Barwa powinna być żółtozielona i jedwabisto połyskliwa; szarozielone szyszki świadczą o niedojrzałości technologicznej chmielu; natomiast żółtoczerwone do czerwonobrązowych wskazują na nadmierną dojrzałość (oksydacja); ciemnobrązowe szyszki powstają wskutek przegrzania, wywołanego wysoką wilgotnością w czasie składowania chmielu; występowanie plam czerwonych do brązowych wskazuje na porażenie szkodnikami lub uszkodzenia mechaniczne; białe naloty na uschniętych szyszkach mówią o infekcji spowodowanej mączniakiem właściwym, a plamy rdzawe świadczą o zakażeniu mączniakiem rzekomym. Jasnożółte szyszki i zielone szypułki świadczą o silnym siarkowaniu chmielu.

Kwiatostan (1 do 15 punktów)

Pożądane są równomiernie wykształcone, duże i zamknięte szyszki; w chmielu aromatycznym osadka powinna mieć liczne załamania i być mocno obrośnięta. Dobrze przylegające listki i zamknięte szyszki świadczą nie tylko o właściwej dojrzałości i ochronnym procesie suszenia, ale zabezpieczają przed wypadaniem lupuliny.

Lupulina (1 do 30 punktów)

Pożądana jest możliwie duża ilość lupuliny,o barwie cytrynowej do złotożółtej, błyszczącej i klejącej się. Czerwonożółta do czerwonobrązowej, matowa i sucha lupulina świadczy o tym, że suszenie chmielu odbywało się w za wysokiej temperaturze lub o stopniu zestarzenia się chmielu. Lupulina jest dla celów piwowarskich najważniejszą częścią składową chmielu.

Aromat (1 do 30 punktów)

Aromat chmielu powinien być czysty, bardzo delikatny i pełny. Przy sensorycznej ocenie, która polega na ręcznym rozcieraniu szyszki, rozróżnia się czystość, delikatność i intensywność aromatu. Czystość aromatu określa się jako czystą, niejednolitą i nieczystą. Skala oceny delikatności obejmuje: aromat delikatny, łagodny, średnio delikatny, niedelikatny, zapach siana lub stęchły. Ocena intensywności może mieć następujące określenia: pełna, zatrzymująca, średnia, słaba, krótka, silna, głośna, natrętna. Każda odmian ma swój własny, indywidualny aromat, który się wybija. Do obcych zapachów zalicza się: dymny, przypalony, cebulowy, czosnkowy, siana, trawy, słomy lub siarkowy.

Choroby, szkodniki, zaziarnienia

(0 do 15 punktów minusowych)

Ocenia się uszkodzenia chmielu wywołane takimi chorobami jak peronosporą czy szkodnikami (mszyce, pędziorki, pchełki i inne) oraz objawy zasychania szyszek, zaziarnienia itp.

Błędne obchodzenie się

(0 do 15 punktów ujemnych)

Obejmuje takie ujemne cechy chmielu, jak brązową lub przypaloną lupulinę w wyniku stosowania za wysokiej temperatury suszenia chmielu, psucie się chmielu z powodu nadmiernej jego wilgotności; nieprzylegające listki w szyszkach czy plamy powstałe w wyniku spryskiwania oraz obce zapachy.

Skala ogólnej oceny chmielu jest następująca:

60 punktów - chmiel bardzo zły
60 do 66 pkt. - chmiel średniej jakości
67 do 73 pkt. - chmiel dobry
74 do 79 pkt. - chmiel bardzo dobry
80 pkt. - chmiel wyborowy, doskonały

1.2.5.2 Zawartość substancji goryczkowych

Najważniejszym dla piwowara wskaźnikiem jakościowym chmielu jest zawartość substancji goryczkowych. Oznaczenie tych składników może być dokładnie wykonane w laboratorium. Do tego celu służą różne metody. Zwykle stosowana jest metoda konduktometryczna:

Metodą konduktometryczną oznacza się:

- *ogólną zawartość żywic,*
- *zawartość żywic miękkich i*
- *zawartość żywic twardych.*

Normalna zawartość żywic w chmielu i preparatach chmielowych:

Parametr	*Szyszki i proszek chmielowy % pow.s.*	*Wzbogacony proszek chmielowy % pow.s.*	*Ekstrakt chmielowy % pow.s.*
Żywice ogółem	*12-24*	*22-40*	*30-60*
Żywice miękkie	*10-18*	*18-36*	*24-64*
*Wartość konduktometryczna**	*4-10*	*7 - 20*	*9-30*
β-frakcja	*5- 9*	*11-16*	*15-24*
Żywice twarde	*2-4*	*2-7*	*3-10*

*** Wartość konduktometryczna określa zawartość α- kwasów.**

Dla umożliwienia obliczania właściwych dawek chmielu w warzelni, na opakowaniach próżniowych granulatów lub puszkach podawana jest zawsze **ogólna ilość α-kwasów w gramach, zawarta w opakowaniu.**

Jeżeli np. opakowanie zawiera 1350 g proszku chmielowego i obok takich informacji, jak pochodzenie, odmiana, rok zbiorów, podane będzie następujące oznakowanie:

196 G alfa

oznacza to, że w 1350 g proszku zawarte jest 196 g α-kwasów.

1.2.6 Odmiany chmielu

Chmiel jest najdroższym surowcem w produkcji piwa, toteż dobór odpowiedniej odmiany do uprawy ma w handlu chmielem wielkie znaczenie.

W obrocie handlowym rozróżnia się następujące odmiany chmielu:

odmiany aromatyczne,
odmiany goryczkowe,
odmiany wysokogoryczkowe

Odmiany aromatyczne odznaczają się przyjemnym aromatem, odpowiednią zawartością kohamulonów (poniżej 20% ogólnej zawartości α-kwasów) oraz wyższą zawartością komponentów z walorami aromatycznymi (kariofilen, farnezen). Mimo niskiej zawartości α-kwasów, w granicach 2,5 do 5,0%, niektóre odmiany chmielu aromatycznego uzyskują wysokie ceny.

W Niemczech do najważniejszych odmian aromatycznych należą:

- Hersbrucker Spat,
- Perle,
- Hallertauer Tradition,
- Spalter Select.

Polskimi odmianami aromatycznymi są (*przyp. tł.*):

- Lubelski,
- Estera,
- Lomik,
- Tomyski.

Odmiany chmielu goryczkowego odznaczają się wyższą zawartością α-kwasów. W tej grupie znaczącymi odmianami są:

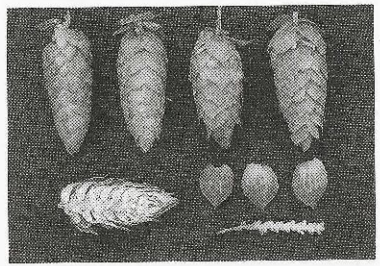
- Northern Brewer
- Brewers Gold.

W Polsce do cenionych odmian goryczkowych należą (*przyp. tł.*):

- Marynka,
- Izabella.

W wysokogoryczkowych odmianach chmielu zawartość α-kwasów wynosi od 10 do 18 %. Dobre odmiany wysokogoryczkowe powinny posiadać niską ilość kohumulonów, nieprzekraczającą 25 % ogólnej zawartości α-kwasów. W Niemczech do takich odmian zalicza się :

- Hallertauer Magnum (rys.1.11 a),
- Nugget,
- Taurus.



Rys. 1.11 a

Szyszki wysokogoryczkowej odmiany Hallertauer Magnum

Ponieważ jakość chmielu zależy nie tylko od odmiany, lecz także od warunków glebowych, w obrocie handlowym podaje się zwykle miejsce uprawy i następnie odmianę chmielu.
Zawartość α-kwasów jest ponadto zależna od roku zbiorów i w poszczególnych latach w zależności od warunków pogodowych może się wahać w dużych granicach.
Średnia zawartość α-kwasów w chmielu (w %) na przestrzeni lat 1994-1996 kształtowała się następująco:

Odmiana chmielu	1994 r.	1995 r.	1996 r.
Hallertauer Hersbrucker spät	1,3	2,1	4,2
Hallertauer Perle	3,3	4,9	7,8
Hallertauer Spalter Select	2,2	3,5	5,5
Hallertau, Hallertauer Tradition	3,7	4,5	6,5
Hallertau Hallertauer mittelfrüh	2,6	3,3	5,3
Hallertau Nugget	8,8	8,8	10,1
Hallertau Hallertauer Magnum	9,6	11,1	14,0
Hallertau Notrhern Brewer	5,3	7,1	9,8
Elbe-Saale Northern Brewer	4,5	6,1	8,6
Elbe-Saale Hallertauer Magnum	9,2	11,0	14,3
Tettnang Tettnanger	2,9	2,6	4,6
Spalt Spalter	2,8	3,3	5,4

W Niemczech uprawia się coraz więcej odmian chmielu wysokogoryczkowego typu Hallertauer Magnum. Z uwagi na mniejszy popyt maleją natomiast dawniej uprawiane goryczkowe odmiany, takie jak Northern Brewer, Brewers Gold lub Hersbrucker Spät.

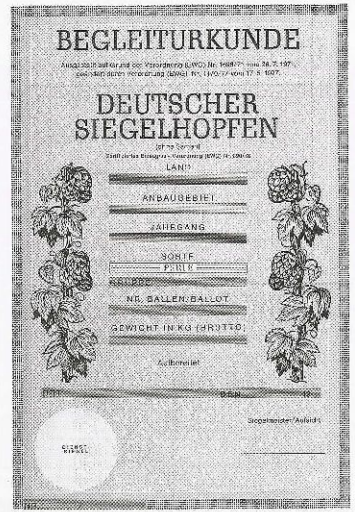
Dobrą oceną cieszą się np. odmiana aromatyczna Perle, Spalter Select, Hallertauer Tradition i Hallertauer.

Odmiana chmielu	Powierzchnia uprawy chmielu w ha 1994 r.	1995 r.	1996 r.
Hersbrucker	5 485	4 956	4 104
Perle	3 591	3 705	3 889
Spalter Select	1 253	1 367	1 433
Hallertauer Tradition	850	1 133	1 629
Hallertauer	926	1 055	1 312
Aromatyczny chmiel razem	***13 354***	***13 442***	***13 629***
Northern Brewer	4 821	4 313	3 588
Brewers Gold	1 316	1 140	823
Goryczkowy chmiel razem	***6 137***	***5 453***	***4 411***
Hallertauer Magnum	1 317	1 850	2 379
Nugget	503	668	724
Wysokogoryczkowy chmiel razem	**1 911**	**2 619**	**3 198**

Ceny na chmiel są zależne od odmiany i od wielkości zbiorów w danym roku. W Niemczech w 1996 roku ceny skupu kształtowały się następująco:

za 50 kg chmielu w wańtuchach (lekko sprasowany) – od 150 do 250 DEM za takie odmiany jak Perle lub Hallertauer Tradition.

za 50 kg chmielu w wańtuchach od 400 do 500 DEM za odmianę aromatyczną Spalter lub Tettnanger.



Rys. 1.11 b

Świadectwo pochodzenia niemieckiego chmielu

W ostatnim dziesięcioleciu wystąpiły w wielu krajach zwyżkowe tendencje uprawy chmielu o wysokiej zawartości substancji goryczkowych.

Dla zagwarantowania jakości oferowanego chmielu oraz uniknięcia oszustwa, każde jednostkowe opakowanie jest w Niemczech opieczętowane i załączony jest list przewozowy (rys.1.11 b), na którym podaje się:

- kraj związkowy (land) uprawy w Niemczech (np. Bawaria);
- rejon uprawy (np. Hallertau),
- rok zbiorów (np. 1997),
- odmiana (np. Tettnanger),
- nr balotów oraz
- masa w kg.

1.2.7 Preparaty chmielowe

Liczba browarów, które stosują jeszcze nieprzetworzony chmiel w szyszkach stale maleje. Przyczyną tego są wielorakie korzyści jakie przynosi stosowanie preparatów chmielowych, a mianowicie:

1. **Jednorodne jakościowo preparaty chmielowe umożliwiają uzyskanie równomiernego poziomu goryczy w piwie.**
2. **Zapewniają prawie nieograniczoną trwałość technologiczną, w związku z tym stanowią rezerwę w niekorzystnych latach zbiorów.**
3. **Odznaczają się zwiększonym stopniem wykorzystania substancji goryczkowych chmielu.**
4. **Wymagają mniejszej powierzchni magazynowej oraz transportu.**
5. **Eliminują urządzenia do usuwania chmielin (odchmielacz).**
6. **Umożliwiają zautomatyzowanie dawkowania chmielu w warzelni.**

Produkty chmielowe można podzielić na dwie grupy:

- *granulaty chmielowe (pelety)*
- *ekstrakty chmielowe.*

W 1997 roku produkcja chmielu w skali światowej przedstawiała się następująco [195] :

chmiel naturalny (prasowane szyszki chmielowe)	15 do 20%
granulaty chmielowe	40 do 45%
ekstrakt chmielowy	30%
zizomeryzowane produkty chmielowe	10%.

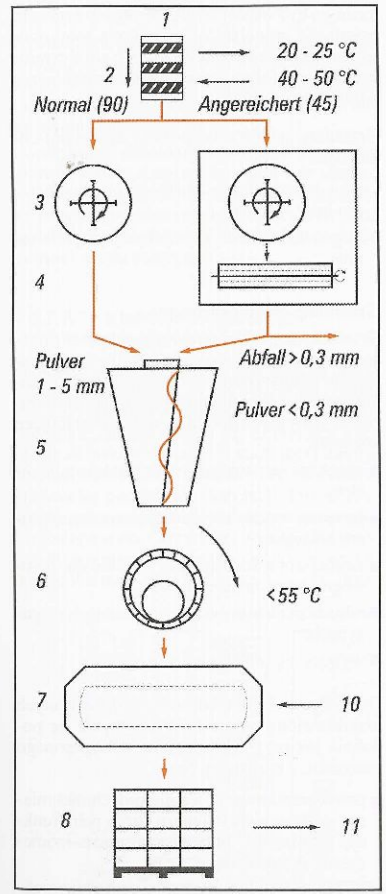
1.2.7.1 Granulaty chmielowe (pelety)

Granulaty chmielowe to przetwory chmielowe, które pozwalają na bardzo dobre utrwalenie składników użytecznych chmielu. Otrzymuje się je przez zmielenie szyszek chmielowych, a następnie sprasowanie w granulaty różnej wielkości. Chmiel w postaci granulek dobrze chłonie wodę i łatwo go dodawać do brzeczki. Rozróżnia się trzy typy granulatów:

- granulaty typ 90
- wzbogacone granulaty (typ 45) oraz
- zizomeryzowane granulaty.

Granulaty typ 90

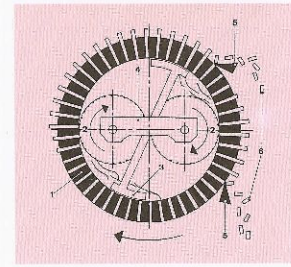
Granulaty tego typu zawierają wszystkie części składowe szyszki, a podana cyfra oznacza, że ze 100 kg pobranego do produkcji chmielu uzyskuje się 90 kg granulatów (usuwane są tylko większe części rośliny, jak np. szypułki). Produkcja granulatów typu 90 odbywa się zgodnie ze schematem podanym na rys.1.12 [6]. Chmiel poddaje się procesowi suszenia do zawartości wody od 7 do 9% - najpierw za pomocą powietrza o temperaturze 20-25°C, a następnie ciepłym powietrzem o temperaturze 40 do 50°C (2). Następnie chmiel miele się na proszek o wielkości cząstek od 1 do 5 mm (3), otrzymany proszek homogenizuje się przez wymieszanie (5) i prasuje w granulatorach (6) przez matryce. Są to granulki o kształcie cylindrycznym, o średnicy zależnej od przyjętej przez producenta wielkości otworów w matrycy (rys.1.13). W czasie procesu tłoczenia chmiel się nagrzewa, co powoduje pewne obniżenie wartości technologicznej otrzymanego produktu. Z tego względu producenci przestrzegają, aby temperatura w czasie produkcji granulatów nie przekraczała 50°C. Po sprasowaniu granulaty chłodzi się (7) i pakuje w szczelne opakowania, bez dostępu powietrza, w atmosferze



Rys. 1.12

Schemat otrzymywania granulatów chmielowych

1) doprowadzenie chmielu, 2) suszenie do zawartości 7-9% wody, 3) rozdzielacz, 4) przesiewanie, 5) mieszanie, 6) granulowanie, 7) chłodzenie, 8) pakowanie



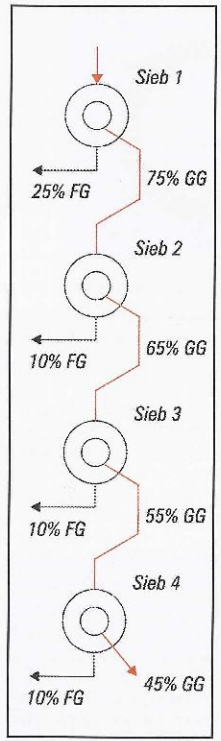
Rys. 1.13. Urządzenie do granulowania

1) matryca, 2) rolki dociskające, 3) rozgarniacz, 4) mostek ułożyskowania rolek, 5) obcinanie, 6) odbiór granulatów

gazu obojętnego - dwutlenku węgla lub azotu. Jest to podstawowy warunek zachowania jakości technologicznej tego produktu chmielowego.

Wzbogacone granulaty – koncentraty (Typ 45)

Przy produkcji tego typu granulatów wykorzystano fakt obecności w lupulinie wszystkich cennych składników dla piwowarstwa, to jest żywic i olejków chmielowych, które w postaci naturalnej występują w formie proszku o wielkości cząstek ok. 0,15 mm. Głównym zadaniem w otrzymywaniu tych granulatów jest oddzielenie bez strat lupuliny od szyszki. W celu oddzielenia lupuliny, konieczne jest zamrożenie chmielu do około minus 35°C. W tej temperaturze chmiel jest mielony i przesiewany. W przesianym materiale, obok kuleczek lupuliny znajduje się jeszcze duża ilość zmielonych części szyszki. Jednokrotne przesiewanie nie umożliwia oddzielenia lupuliny od zmielonych części roślinnych w zadowalającym stopniu. Konieczne jest powtórne rozdrabnianie i przesiewanie (rys.1.13 a). Decydującym czynnikiem, od którego zależy stopień oddzielenia lupuliny, jest dobranie odpowiedniej techniki przemiału i prześwitów sit (150 do 500 µm). Stosując odpowiednią technikę istnieje możliwość produkowania nawet koncentratu typu 25 [164].



Rys. 1.13 a Schemat otrzymywania wzbogaconych granulatów chmielowych
FG drobne cząsteczki
GG grubsze cząsteczki

W ostatnich latach wzrasta zapotrzebowanie na tego rodzaju produkty chmielowe. Argumentem mógł być fakt, że wraz z zastosowaniem skoncentrowanego granulatu, zmniejszeniu ulega wprowadzana ilość garbników. Stosowanie granulatów, w porównaniu z chmielem w formie sprasowanych szyszek, daje zwiększenie stopnia wykorzystania substancji goryczkowych o 10 % głównie dzięki zwiększeniu powierzchni czynnej stosowanego produktu, a w związku z tym umożliwienie szybszego przebiegu procesu izomeryzacji α-kwasów.

Ważnym czynnikiem gwarantującym trwałość granulatów typu 45 jest stosowanie opakowań uniemożliwiających dostęp powietrza. Nie może go być więcej niż 0,5 % obj. W tym celu pakuje się granulaty w atmosferze gazu obojętnego w opakowania składające się z czterowarstwowej folii z tworzywa sztucznego oraz z folii aluminiowej.

Granulaty pakuje się zgodnie z żądaniami odbiorców:

- w kg granulatu w jednostkowym opakowaniu lub
- w kg α-kwasów w jednostkowym opakowaniu.

Granulaty zizomeryzowane

Granulaty tego typu otrzymuje się przez dodanie tlenku magnezowego, w wyniku czego następuje izomeryzacja α-kwasów. W porównaniu ze zwykłymi granulatami, zastosowanie zizomeryzowanych granulatów daje następujące korzyści:

- zwiększa się stopień wykorzystania α-kwasów,
- powstaje możliwość skrócenia czasu gotowania brzeczki,
- zmniejszone zostają koszty wsadu chmielowego i zużycia energii,
- odpada przechowywanie w chłodnych magazynach,
- wytrąca się mniej gorących osadów.

Otrzymywanie granulatów zizomeryzowanych przedstawione na rys.1.13 b, odbywa się podobnie jak przy wytwarzaniu wzbogaconego granulatu, z tą różnicą, że:

- przed granulowaniem zmielony chmiel miesza się z tlenkiem magnezu, który pełni funkcję katalizatora, przyspiesza proces izomeryzacji α-kwasów i
- po odpowiednim opakowaniu preparat przenosi się do komór cieplnych, gdzie przetrzymuje się go w temperaturze 50°C tak długo aż nastąpi całkowita izomeryzacja. Proces ten jest dokładnie kontrolowany, ponieważ granulaty są zamknięte szczelnie w foliach; dostęp tlenu nic jest możliwy.

W Niemczech nie wolno stosować granulatów zizomeryzowanych.

1.2.7.2 Ekstrakty chmielowe

Produkcja ekstraktów polega na ługowanie z ciała stałego określonych składników za pomocą odpowiednio dobranych rozpuszczalników oraz zagęszczeniu otrzymanego wyciągu przez odparowanie rozpuszczalnika.

Do ekstrakcji chmielu jest obecnie stosowany głównie ciekły dwutlenek węgla lub alkohol etylowy. Zastąpiły one dawniej stosowany chlorek metylu (dwuchlorometan). Obydwa te rozpuszczalniki prawie całkowicie ekstrahują z chmielu żywice i olejki eteryczne.

1.2.7.2.1 Etanolowa ekstrakcja chmielu

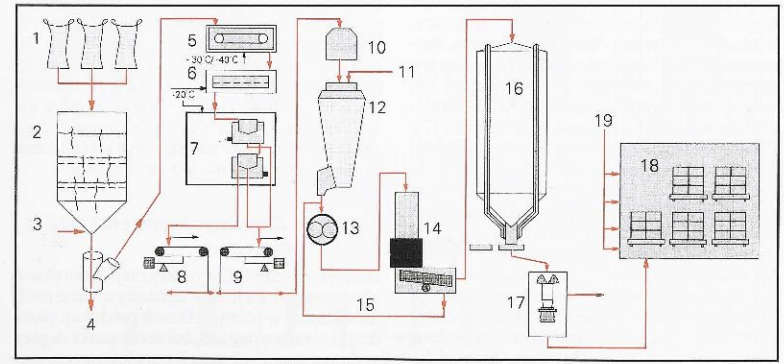
Ekstrakcja chmielu przy użyciu etanolu odbywa się metodą ciągłą. Przed ekstrakcją chmiel jest oczyszczony z zanieczyszczeń stałych. Następnie chmiel miesza się za pomocą mieszadła ślimakowego z 90 % etanolem i kieruje do rozdrobnienia w młynku. Tak otrzymaną mieszaninę poddaje się ekstrakcji. Proces ekstrakcji odbywa się na zasadzie przeciwprądu, wielostopniowo. Otrzymany wyciąg alkoholowy, zwany miscelą, kieruje się do zbiornika, skąd pobierany jest do zagęszczenia w próżniowych, wielostopniowych wyparkach cienkowarstwowych. Pozostałe, prawie całkowicie wyługowane chmieliny, stanowią odpad. Wyprodukowany ekstrakt zwany jest ekstraktem surowym, z którego usuwa się jeszcze pozostały alkohol. Przy użyciu etanolu produkuje się oddzielnie ekstrakt żywiczny i ekstrakt wodny, zawierający garbniki oraz inne substancje wyekstrahowane z chmielu.

Usuwanie resztek alkoholu odbywa się za pomocą pary wodnej w płuczce wieżowej (skruber). Dla zapewnienia odpowiednich warunków, proces prowadzi się w próżni (120 mbar) w temperaturze 60°C. Dzięki temu w ekstrakcie pozostaje więcej olejków chmielowych i α-kwasy w mniejszym stopniu ulegają niekorzystnym przemianom.

1.2.7.2.2 Ekstrakcja chmielu ciekłym dwutlenkiem węgla

Ekstrakcję substancji goryczkowych od wielu lat prowadzi się przy użyciu ciekłego dwutlenku węgla.

Proces ekstrakcji odbywa się w specjalnych ciśnieniowych ekstraktorach w 20°C pod ciśnieniem 70 bar. Po wyekstrahowaniu substancji



Rys.1.13 b. Schemat otrzymywania zizomeryzowanych granulatów chmielowych

1) rozpakowanie balotów, 2) suszenie chmielu, 3) powietrze o temp. 50°C, 4) oddzielanie zanieczyszczeń (kamienie, szypułki itp.), 5) zamrażanie, 6) przesiewanie na dwie frakcje, 8) listki chmielowe, 9) lupulina, 10) mielenie, 11) mieszanie, 12) dodawanie tlenku magnezu, 13) granulowanie, 14) chłodzenie granulatów, 15) oddzielenie proszku, 16) homogenizowanie granulatów, 17) pakowanie, 18) ogrzewanie, 19) dopływ powietrza o temp. 50°C.

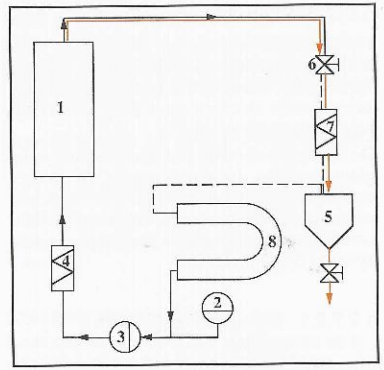
goryczkowych otrzymaną mieszaninę przenosi się do następnego zbiornika, gdzie następuje odparowanie dwutlenku węgla. W zbiorniku pozostaje nielotny ekstrakt chmielowy. Odparowany dwutlenek węgla zostaje sprężony, upłynniony i ponownie zastosowany do ekstrakcji.

Do ekstrakcji 1 kg chmielu zużywa się 20 kg płynnego dwutlenku węgla. Jest to metoda o wysokim zapotrzebowaniu energii i przez to droższa. Produkt jest jednak bardzo czysty.
W Niemczech około 1/3 zbiorów chmielu przerabia się tą metodą.

1.2.7.2.3 Ekstrakcja chmielu nadkrytycznym dwutlenkiem węgla

Na rys 1.14 pokazano schemat otrzymywania ekstraktu chmielowego przy użyciu ciekłwgo dwutlenku węgla.

Chmiel w postaci granulek kieruje się do ekstraktora (1), który po napełnieniu doprowadza się do roboczego ciśnienia. Dwutlenek węgla pod ciśnieniem 60 do 70 barów jest zasysany ze zbiornika (2) i sprężany do ciśnienia roboczego (150-300 bar) (3). W wymienniku ciepła (4) ogrzewa się go do odpowiedniej temperatury i przepompowuje do ekstraktora, gdzie do rozpuszczalnika przechodzą substancje goryczkowe i aromatyczne. Wzbogacony w te substancje ciekły dwutlenek węgla kierowany jest poprzez zawór redukujący (ekspansyjny) (6), w którym następuje obniżenie ciśnienia do 60 - 80 barów i dalej do wymiennika ciepła (7). Dwutlenek węgla zostaje odparowany, a oddzielony ekstrakt kieruje do zbiornika rozdzielczego (5). Natomiast gazowy dwutlenek węgla jest w kondensatorze (8) ponownie upłynniany i zawracany z powrotem do ekstrakcji.
Proces ekstrakcji prowadzony jest w sposób periodyczny; większość ekstraktowni rozporządza wieloma zbiornikami ekstrakcyjnymi.
Stosując zmiany parametrów ciśnienia i temperatury można przy tej metodzie wpływać na skuteczność i przebieg ekstrakcji. Inne jej zalety to pełny odzysk składników aromatu oraz wykluczenie zmian oksydacyjnych w produkcie jak również zanieczyszczeń środowiska. Ekstrakty chmielowe uzyskiwane tą metodą należą obecnie do najczęściej stosowanych.



Rys. 1.14. Schemat otrzymywania ekstraktu chmielowego przy użyciu ciekłego CO_2
1) ekstraktor, 2) zbiornik roboczy, 3) sprężanie CO_2, 4) wymiennik ciepła, 5) zbiornik rozdzielczy, 6) zawór redukujacy, 7) wymiennik ciepła, 8) kondensator

1.2.7.2.4 Ekstrakty chmielowe w postaci proszku

Produkt ten otrzymuje się przez naniesienie ekstraktu na ziemię okrzemkową. Dla uzyskania sypkiego produktu udział ziemi okrzemkowej musi wynosić przynajmniej 30 do 40 %. Zamiast ziemi okrzemkowej można także zastosować proszek chmielowy lub granulaty chmielowe. Ilość sproszkowanego chmielu musi być jednak znacznie większa, gdyż nie wchłania on tak dużo ekstraktu, a prócz tego proszek chmielowy jest sam lepki. Uzyskanie sypkiego produktu nie jest takie proste.

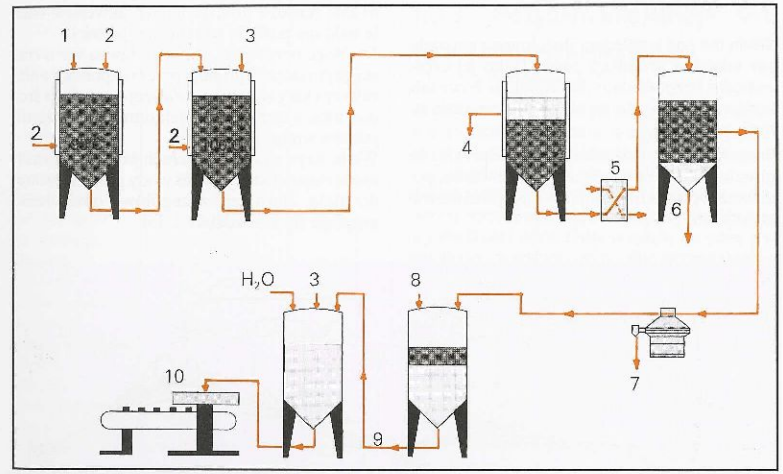
1.2.7.2.5 Zizomeryzowane ekstrakty chmielowe

Istnicje możliwość izomeryzacji ekstraktów chmielowych. Ekstrakty zizomeryzowane można dodawać w różnych fazach produkcji piwa, dzięki czemu osiąga się bardzo wysoki stopień wykorzystania substancji goryczkowych, rzędu 95 %, podczas gdy z chmielu dodawanego w postaci naturalnej lub granulatów ich wykorzystanie wynosi od 25 do 30 %, czego przyczyną jest wytrącanie się produktów pośrednich.

Zizomeryzowane ekstrakty chmielowe zajmują mało miejsca i nie wymagają przechowywania w niskich temperaturach; oszczędza się więc na kosztach transportu i magazynowania. Nie otwierane, po dwóch latach nie wykazywały zmian w składzie substancji goryczkowych. Ekstrakt ten po rozcieńczeniu daje się łatwo dozować, co pozwala na dokładne nastawienie poziomu goryczy w piwie. W przypadku dodawania go w kombinacji z innymi preparatami, udział ekstraktu zizomeryzowanego powinien wynosić od 30 do 40 %.
W Niemczech stosowanie ekstraktu zizomeryzowanego nie jest dozwolone.

Otrzymywanie ekstraktu zizomeryzowanego
Do produkcji ekstraktu zizomeryzowanego najczęściej używa się ekstrakt otrzymany przy użyciu dwutlenku węgla. Na rys.1.14 a podano schemat otrzymywania ekstraktu zizomeryzowanego. Ekstrakt CO_2 po podgrzaniu zostaje emulgowany z odgazowaną wodą (1). Otrzymaną emulsję poddaje się dalszemu podgrzaniu (2) i po dodaniu katalizatora (3) następuje izomeryzacja α- kwasów. Proces izomeryzacji musi być dokładnie kontrolowany. Po zakończeniu izomeryzacji zostaje oddzielony wosk chmielowy i niescharakteryzowane miękkie żywice, które nie mają wartości technologicznej (4).Następnie w otrzymanym roztworze, po jego ochłodzeniu (5), zostaje skorygowany odczyn pH do 7 - 8. Wytrąceniu ulegają wówczas β-kwasy, dzięki czemu można je oddzielić (6). Po dalszym obniżeniu pH do 5 - 6 wytrącone zostają niezizomeryzowane α-kwasy, które usuwa się z roztworu przez odwirowanie (7).

Pozostałe w roztworze wolne izo-α -kwasy poddaje się wytrąceniu na drodze radykalnego obniżenia pH do 2 (8, 9). Otrzymany ekstrakt jest przechowywany do momentu konfekcjonowania, z tym, że krótko przed sprzedażą izo-α-kwasy zostają przekształcone w sole potasowe (3) i za pomocą destylowanej wody nastawione na zawartość wymaganego poziomu w produkcie handlowym (10).



Rys.1.14 a. Schemat otrzymywania zizomeryzowanych ekstraktów chmielowych
1) woda odgazowana, 2) para, 3) węglan potasu, 4) oddzielenie żywic miękkich, 5) chłodzenie, 6) oddzielenie β-kwasów 7) oddzielenie nie izomeryzowanych α-kwasów, 8) dodatek kwasu, 9) oddzielenie izohumulonów, 10) standaryzacja ekstraktu (20 / 30%) oraz opakowanie ekstraktu zizomeryzowanego

1.2.7.2.6 Ekstrakty chemicznie modyfikowane

Do wyrobu używa się ekstraktu CO_2 i podobnie prowadzi się izomeryzację, a następnie redukcję izo-α-kwasów.

Stosowanie tego typu ekstraktów przynosi następujące korzyści:

- ochronę przed wystąpieniem smaku „świetlnego" (patrz rozdz. 4.6.3), dzięki czemu takie piwo może być rozlewane nawet do bezbarwnych butelek,
- wyraźnie poprawia się trwałość piany,
- jest prosty w użyciu i zapewnia bardzo dobre wykorzystanie ciał goryczkowych, ale wobec bardziej skomplikowanej metody produkcji jest droższy niż inne ekstrakty.

Stwierdzono, że modyfikowane ekstrakty, zawierające tetrahydro-izo-α-kwasy, są najbardziej gorzkie i dają miękki, wydłużony posmak goryczy, natomiast heksahydro-izo-α-kwasy najbardziej poprawiają trwałość piany.

1.3 Woda

Woda ma pod względem ilościowym największy udział w produkcji piwa. Tylko jej część wchodzi bezpośrednio do produktu. Pozostałą ilość zużywa się do mycia i płukania oraz innych celów.

Pozyskiwanie i uzdatnianie wody w przemyśle piwowarskim jest więc szczególnie ważne, ponieważ wpływa ona na jakość wyprodukowanego piwa.

1.3.1 Obieg wody w przyrodzie

Woda na kuli ziemskiej znajduje się w stałym obiegu (rys.1.15). Odparowuje z gleby i wód powierzchniowych, a następnie wraca na ziemię w postaci deszczu lub śniegu. Ilość opadów jest uzależniona od położenia geograficznego.

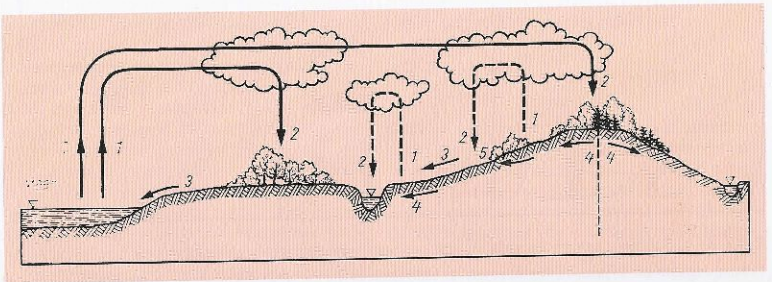
Około 50% wody z opadów odparowuje bezpośrednio lub przez rośliny. Reszta w przeważającej części spływa po powierzchni ziemi i tylko część wnika w ziemię i zbiera się w postaci wody gruntowej.

Występowanie i wykorzystywanie zasobów wodnych jest bardzo zróżnicowane i podlega w ciągu roku silnym wahaniom. W minionych dziesięcioleciach na skutek modernizacji gospodarstw domowych, zwiększającego się uprzemysłowienia oraz rosnącej intensyfikacji rolnictwa stale wzrastało zapotrzebowanie na wodę. Równocześnie wzrastały wymagania jakościowe dotyczące wody pitnej.

Przez przenawożenie gleby, środki ochrony roślin, zanieczyszczenie atmosfery oraz odprowadzanie ścieków do naturalnych akwenów wiele wód nie posiada wymaganej jakości.

Jest więc oczywiste, że prawodawca we wzrastającym stopniu próbuje przez rozporządzenia, zakazy i kary zapobiegać dalszej degradacji środowiska, a tym samym dalszemu pogorszeniu jakości wody.

Woda używana w browarach powinna zasadniczo odpowiadać jakości wody przeznaczonej do picia. Bardziej szczegółowe omówienie znajduje się w rozdziale 1.3.4.



Rys. 1.15. Obieg wody w przyrodzie
1) odparowanie, 2) opady, 3) wody powierzchniowe, 4) przenikanie wody gruntowej, 5) źródła

1.3.2 Zużycie świeżej wody w browarze

Zużycie wody w browarze jest bardzo duże; wynosi od 4 do 10 hl na 1 hl piwa gotowego; średnio kształtuje się od 5 do 6 hl / hl piwa.

W poszczególnych działach produkcyjnych można się liczyć z następującym zużyciem wody na 1 hl sprzedanego piwa [89]:

Oddział produkcyjny	Średnie zużycie wody w hl/hl piwa sprzedanego		Optymalne zużycie w dużych browarach w hl/hl piwa sprzedanego
	duże browary (250000 hl)	małe browary (20000 hl)	
przyjmowanie surowca (do wagi)	0,16	0,26	0,13
warzelnia (do fermentacji)	1,95	3,11	1,53
fermentacja (do leżakowni)	0,44	0,70	0,34
leżakownia	0,50	0,80	0,39
filtracja piwa	0,47	0,76	0,37
rozlew piwa butelkowego	1,79	2,86	1,40
rozlew do beczek	0,56	0,90	0,44
transport opakowań do rampy ekspedycja,	0,48	0,77	0,38
sprzedaż itp. administracja,	0,37	0,59	0,29
warsztaty	0,55	0,87	0,43
kotłownia	0,40	0,64	0,31
sprężanie powietrza	0,45	0,71	0,35
chłodzenie	0,32	0,51	0,25
obsługa techniczna, ogólnie	1,17	1,86	0,91
napoje bezalkoholowe	2,0	2,50	1,70
odzysk dwutlenku węgla	0,70		0,55

Podane wartości są średnimi wynikami z wielu browarów. Przy czym

- pierwsza kolumna odnosi się do wyników z dużych browarów (250.000 hl),
- druga do wyników z małych browarów (20.000 hl);
- trzecia liczba została ustalona jako optymalne zużycie w dużych browarach.

Optymalny wskaźnik ogólnego zużycia wody jaki uzyskano wynosił 6,6 hl na 1 hl sprzedanego piwa. Średnie zużycie wody wynosiło wówczas w badanych browarach (1990) od 8,5 do 13,5 hl na hl piwa i przekraczało średnią zużycia wody w większości niemieckich browarów, które ze względu na wzrastające koszty wody i ścieków zmuszone były do obniżenia ilości pobieranej świeżej wody.

Obecne optymalnie obniżone zużycie wody wynosi 3,4-3,8 hl na hl gotowego piwa (w 1998 roku).

Racjonalne gospodarowanie wodą stało się potrzebą nie tylko ze względów ekonomicznych, ale wymuszone zostało także stale zmniejszającymi się zasobami wody w gorącym okresie letnim w wielu rejonach świata.

1.3.3 Pozyskiwanie wody

1.3.3.1 Pozyskiwanie wody gruntowej

Woda gruntowa to część wody, która wsiąkła w głąb ziemi. Wsiąkanie wody w ziemię zależy od jej przepuszczalności i ukształtowania, a także od długości i siły opadów.

Różne rodzaje skał, z których zbudowana jest ziemia przeciwstawiają wsiąkającej wodzie różnej wielkości opór. Odpowiednio do swej porowatości, warstwy ziemi albo przepuszczają wodę, albo ją zatrzymują. Wsiąkająca woda spływa aż do warstwy nieprzepuszczalnej (np. skała ilasta, łupek ilasty, margiel, granit, sjenit i inne) i wypełnia pory znajdujących się powyżej warstw wodonośnych (np. piasek, żwir, piryt, wapno, gips, less i inne). Woda ta to woda gruntowa i jej górna powierzchnia stanowi poziom wody gruntowej.

Poziom wody gruntowej może podlegać bardzo dużym wahaniom. Poziom ten zależy przede wszystkim od ilości i natężenia opadów. Poziom wód gruntowych podnosi się dzięki opadom występującym z bardzo różną siłą w ciągu roku, obniża się natomiast przez naturalne odpływy (żyły wodne w ziemi, przepły-

wy, źródła) i pobór przez studnie. Wskutek stałego wzrostu zużycia wody, poziom ten w niektórych krajach obniżył się w stopniu budzącym niepokój. Nawet obfite opady letnie nie są w stanie go uzupełnić. Podniesienie się poziomu wody gruntowej następuje przede wszystkim w okresie od października do marca.

Powierzchniowa woda filtrowana zajmuje miejsce pomiędzy wodą powierzchniową i wodą gruntową. Rozumie się przez to wodę rzeczną, która zostaje przefiltrowana bardziej lub mniej dokładnie przez przepuszczalne warstwy brzegowe rzeki.

Wydobywanie wody gruntowej odbywa się:

- przeważnie ze studni wierconych lub ze studni z filtrami poziomymi,
- rzadko ze starszego typu studni kopanych (szybowych) oraz
- czasami woda gruntowa występuje jako źródło.

Studnie wiercone buduje się z perforowanych rur wpuszczanych do głębokości ponad 300 m. Woda z tych studni, dzięki znacznej głębokości jest w naturalny sposób filtrowana przez warstwę wodonośną. Studnie tego typu są bardzo wydajne.

Zawartość drobnoustrojów w wodzie gruntowej jest tym mniejsza, im woda pobierana jest z większej głębokości. W czasie przepływu przez warstwy gleby odbywa się jej naturalna filtracja, co poprawia biologiczne właściwości wody. Nie dotyczy to jednak obszarów składających się ze skał.

Wydobywanie wody odbywa się przy użyciu pomp. Pompy wirnikowe mają zdolność zasysania ograniczoną ***do ok. 6,50 m***, w związku z czym z większych głębokości wodę wydobywa się za pomocą pompy głębinowej, w której pompa tłocząca i silnik są połączone w wodoszczelny agregat i pracują pod wodą.

1.3.3.2 Pobieranie wody powierzchniowej

Wody powierzchniowe mogą być pobierane z rzek, jezior, a ostatnio coraz częściej ze zbiorników wody spiętrzonej przez zapory. Wody rzeczne są zawsze zanieczyszczone ściekami przemysłowymi i miejskimi. Uzdatnienie takiej wody nie jest sprawą łatwą. Ujęcia buduje się na prostych odcinkach brzegów lub na zewnętrznej stronie zakrętów rzek.

Coraz większego znaczenia nabiera budowanie zapór w górnym biegu rzek, dzięki czemu:

- można za ich pomocą regulować spływ wody,
- zapobiega się powodziom,
- uzyskuje się stosunkowo czystą wodę powierzchniową oraz
- część spiętrzonej wody może być wykorzystana do wytwarzania energii elektrycznej.

Zapory przeznaczone do ujęć wody pitnej powinny być lokalizowane na terenach wolnych od zakładów przemysłowych lub innych dużych odbiorców wody, którzy spuszczają duże ilości ścieków.

Woda gromadzona jest w zbiornikach zaporowych przez kilka miesięcy ulegając w tym czasie samoistnemu oczyszczeniu.

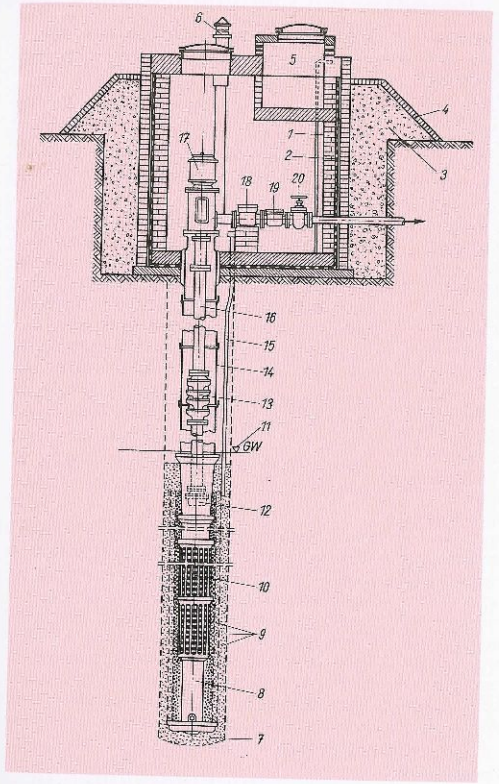
Woda powierzchniowa zawiera bardzo małe ilości soli, toteż nie posiada zdolności buforujących i ma niskie pH, co powoduje, że nabiera właściwości korozyjnych w odniesieniu do żelaza i stali.

1.3.3.3 Znaczenie pozyskiwania wody na własne potrzeby

Woda kosztuje! Za wodę z wodociągów komunalnych, zależnie od miejscowych warunków trzeba płacić coraz większe sumy. Na wyprodukowanie 1 hl piwa potrzeba od 4 do 10 hl wody.

Jest więc całkiem zrozumiałe, że większość browarów ma własne urządzenia do pozyskiwania wody. Najczęściej jest to kilka studni, z których czerpie się wodę.

Oczywiście cenne jest, jeżeli uzyskiwana woda ma szczególne cechy jakościowe. Walory te może browar wykorzystać w nazwie lub reklamie swoich wyrobów, np. informując, że piwo wyprodukowano z wody źródlanej.



Rys.1.16. Studnia wiercona
1) obudowa studni,
2) izolacja,
3) nasyp,
4) darnina,
5) pomieszczenie rozdzielcze,
6) rura wywiewna,
7) denko filtra,
8) rura podfiltrowa,
9) żwir filtracyjny
10) rura perforowana (filtr właściwy),
11) poziom wody gruntowej,
12) rura ssąca,
13/ pompa wirnikowa,
14) kolumna eksploatacyjna,
15) rura do sondowania,
16) przewód tłoczący,
17) silnik,
18) wodomierz,
19) zawór zwrotny,
20) zawór odcinający

1.3.4 Jakość wody

Woda czerpana przez browar nie zawsze odpowiada wymaganiom jakościowym. Woda używana do produkcji piwa musi spełniać wymagania dla wody pitnej, a więc odpowiadać wszystkim cechom sensorycznym, fizykochemicznym, mikrobiologicznym oraz chemicznym, jakie stawia się takiej wodzie. Ponadto powinna posiadać cały szereg technologicznych właściwości, które mają pozytywny wpływ na przebieg procesu produkcji piwa.

1.3.4.1 Wymagania dotyczące wody pitnej

Woda pitna powinna być bezbarwna, bez zmętnień i zapachu. W odniesieniu do zawartości różnych substancji w wodzie, w Niemczech obowiązują dyrektywy Unii Europejskiej [134]:

	Jednostki	Wartość wskazana	Wartość dopuszczalna
zabarwienie	Pt/Co mg/l	1	20
zmętnienie	SiO_2 mg/l	1	10
temperatura	^0C	12	25
pH	pH	6,5 - 8,5	9,5
przewodność	S/cm	400	-
chlorki	Cl mg/l	25	-
siarczany	SO_4 mg/l	25	250
wapń	Ca mg/l	100	-
magnez	Mg mg/l	30	50
sód	Na mg/l	20	150
potas	K mg/l	10	12
glin (aluminium)	Al mg/l	0,05	0,2
twardość ogólna	Ca mg/l	-	60 (co najmniej)
pozostałość po odparowaniu	mg/l	-	1500
azotany	NO_3 mg/l	25	50
azotyny	NO_2 mg/l	-	0,1
amoniak	NH_4 mg/l	0,05	0,5
N-Kjeldahl (bez NO_2 i NO_3)	N mg/l	-	1
$KMnO_4$ zużycie	O_2 mg/l	2	5
chloroform reszt.	po odpar. mg/l	0,1	-
węglowodory	µg/l	-	10
fenole	C_2H_5OH mg/l	-	0,5
bor	B µg/l	1000	-
kwas borowy	H_2BO_3 mg/l	6	-
subst. powierzchniowo czynne	siarczan laurylowy µg/l	-	200
organ. związki chloru	µg/l	1	25
żelazo	Fe µg/l	50	200
mangan	Mn µg/l	20	50
miedź	Cu µg/l	100	
cynk	Zn µg/l	100	
fosfor	P_2O_5 µg/l	400	5000
fosforan	PO_4 µg/l	535	7000
fluorek	F µg/l przy 8-12°C	1500	
	przy 25-30°C		700
nierozpuszcz. subst.	0		0
pozost. chlor	Cl µg/l	0	0
bar	Ba µg/l	100	-
srebro	Ag µg/l	-	10
arsen	As µg/l	-	50
kadm	Cd µg/l	-	5
cyjanek	Cn µg/l	-	50
chrom	Cr µg/l	-	50
rtęć	Hg µg/l	-	1
nikiel	Ni µg/l	-	50
ołów	Pb µg/l	-	50
antymon	Sb µg/l	-	10
selen	Se µg/l	-	10
pestycydy	µg/l	0,1 na każdą substancję	0,5 ogółem
policykliczne arom węglowodory	µg/l		0,2

W przygotowywanych w Polsce nowych dyrektywach, dotyczących warunków fizykochemicznych, jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze, uwzględniono całkowicie wymagania nowego standardu międzynarodowego (*przyp. tł.*).

Podobne wysokie wymagania muszą być spełnione w zakresie zanieczyszczeń drobnoustrojami.

Każda woda, stykająca się z ziemią jest zanieczyszczona mikrobiologicznie. Ilość bakterii waha się zależnie od stopnia zanieczyszczenia gleby. Im grubsza jest warstwa ziemi, przez którą przenika woda, tym jest ona bardziej czysta. Tak więc pobieranie wody z głębszych ujęć przyczynia się do ogólnej poprawy biologicznych właściwości wody.

Woda pitna jest jednym z najważniejszych środków spożywczych i dlatego przykłada się do jej czystości wielką wagę.

W wodzie zawsze występują drobnoustroje. Większość bakterii w wodzie nie jest chorobotwórcza.

Chorobotwórcze (patogenne) bakterie mogą pochodzić tylko od ludzi lub zwierząt. W jelicie grubym u ludzi i u ciepłokrwistych zwierząt znaleźć można masowo **bakterie Escherichia coli**, które są łatwo wykrywalne. Obecność tych bakterii w wodzie świadczy o zanieczyszczeniu wydalinami ludzkimi lub zwierzęcymi, a tym samym o możliwości wystąpienia bakterii chorobotwórczych. Dlatego określenie miana coli jest obowiązującym oznaczeniem, wchodzącym w zakres bakteriologicznej analizy wody.

Woda jest zawsze badana na zawartość bakterii Escherichia coli. Obecność ich w wodzie wskazuje na możliwość występowania bakterii chorobotwórczych.

Niemieckie przepisy dotyczące wody pitnej i wody dla przemysłu spożywczego brzmią:

(1) Woda pitna musi być wolna od bakterii chorobotwórczych. Wymóg ten jest spełniony, jeżeli w 100 ml próbce badanej wody nie są obecne bakterie Escherichia coli (wartość graniczna). W tej samej ilości wody nie mogą też występować bakterie z grupy coli. Wartość graniczną uznaje sie za zachowaną, jeżeli przynajmniej w 40 powtórzeniach co najmniej w 95 na 100 badanych próbek wykonanych, nie zostaną stwierdzone bakterie z grupy coli. W 100 ml próbce badanej wody pitnej nie mogą być także obecne streptokoki fekalne.

Odkażanie wody można przeprowadzać w następujący sposób:

- na drodze filtracji sterylizującej,
- za pomocą naświetlania promieniami UV lub
- przez stosowanie takich substancji, jak chlor, dwutlenek chloru, ozon lub jony srebra.

Niemieckie przepisy mówią (4):
Woda pitna, która została zdezynfekowana za pomocą chloru, sodu, magnezu, podchlorynu wapnia lub wapna chlorowanego, po zakończeniu dezynfekcji musi być badana na resztkową zawartość wolnego chloru, która nie może być niższa niż 0,1 mg na 1 l wody. Woda pitna, dezynfekowana za pomocą dwutlenku chloru, musi być sprawdzona po zakończeniu dezynfekcji na obecność resztkową tego składnika; nie mniej niż 0,05 mg dwutlenku chloru w litrze wody.

Zgodnie z obowiązującym zarządzeniem, do odkażania wody pitnej dozwolone są tylko takie substancje i dodatki, które w zdezynfekowanej wodzie będą występować jedynie w ilościach resztkowych, a mianowicie:

Substancja resztkowa	Cel dodawania	Najwyższa dawka mg/l	Zawartość mg/l
chlor	dezynfekcja	1,2	0,3 Cl_2
ClO_2	„	0,4	0,4 ClO_2
ozon	„	10,0	0,05 O_3
srebro	„	-	0,03 Ag
H_2O_2	utlenianie	17,0	0,1 H_2O_2
$KMnO_4$	„	-	0,05 Mn
SO_2 i inne siarczyny	redukcja	5,0	2,0 SO_3
tiosiarczan sodowy	redukcja Cl_2	6,7	2,8 S_2O_3

1.3.4.2 Wymagania dotyczące wody dla celów piwowarskich

W wodzie są zawsze obecne rozpuszczone sole. Z uwagi na duże rozcieńczenie występują one prawie całkowicie w postaci zdysocjowanej. Słuszniej jest więc mówić o jonach rozpuszczonych w wodzie.

W czasie zacierania nie wszystkie obecne w wodzie jony wchodzą w reakcje ze związkami zawartymi w słodzie. W związku z tym rozróżnia się:

- jony chemicznie nieczynne i
- jony chemicznie czynne.

Jony chemicznie nieczynne

Chemicznie nieczynne jony to takie, które nie wchodzą w reakcje chemiczne ze składnikami słodu i w niezmienionej postaci przechodzą do piwa. Występowanie ich w większym stężeniu może wywierać pozytywny lub negatywny wpływ na cechy smakowe piwa. Tak np. zawartość w wodzie chlorku sodu (NaCl) „zaokrągla" smak piwa. Do soli nieczynnych zalicza się chlorek sodu, chlorek potasu (KCl), siarczan sodu (Na_2SO_4), siarczan potasu (K_2SO_4) i inne.
Niektóre z przytoczonych tu nieczynnych chemicznie jonów mają wpływ w dalszych fazach produkcji piwa. Na przykład jony azotanów w ilości 20 do 30 mg w litrze mogą prowadzić do hamowania procesu fermentacji, jeżeli w brzeczce będą obecne bakterie redukujące azotany. Chemiczna nieaktywność przytoczonych tu jonów odnosi się jedynie do obojętności w odniesieniu do składników słodu podczas produkcji brzeczki.

Jony chemicznie czynne

Szereg jonów obecnych w wodzie reaguje w czasie zacierania słodu, wywołując zmiany kwasowości (wartości pH) podczas produkcji piwa.

Wartość pH

Chemicznie czysta woda nie składa się tylko z cząsteczek H_2O, ale jest także w minimalnym stopniu elektrolitycznie zdysocjowana

$H_2O \leftrightarrows H^+ + OH^-$

Woda ma odczyn obojętny, ponieważ ilość jonów H^+ jest równa ilości jonów OH^-.

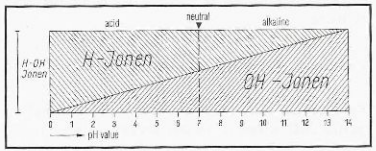
W 1 litrze wody jest 10^{-7} jonów H, to jest jedna dziesięciomilionowa gramojonów H, i również jedna dziesięciomilionowa gramojonów OH.

Jeżeli zwiększy się ilość jonów H^+ przez dodatek kwasu, to zgodnie z prawem działania mas, obniżona zostanie ilość jonów OH^-. Odwrotnie działać będzie dodatek zasady - zwiększy się udział jonów OH^-, a zmniejszy się ilość jonów H^+.

W każdym wodnym roztworze, niezależnie od tego czy będzie to silniejszy kwas, czy zasada, zawsze będą obecne jony H^+ i OH^-, tylko ilość ich będzie różna. Jedynie w wodzie obojętnej ilość jonów H^+ i OH^- jest zawsze jednakowa.

Charakter roztworu określa ilość występujących w nim jonów H^+.

Wartość pH jest to ujemny logarytm dziesiętny stężenia jonów wodorowych w danym roztworze ($pH = -\lg [H^+] = \lg \frac{I}{[H^+]}$).



Rys.1.17. Stężenie jonów H^+ i OH^-

W zależności od reakcji roztwory dzieli się na trzy niżej podane grupy:

pH<7 kwaśna reakcja	pH=7 obojętna reakcja	pH>7 zasadowa reakcja
wszystkie kwasy, np.: kwas solny HCl kwas siarkowy H_2SO_4 itd. kwaśne sole, np.: kwaśny fosforan potasu KH_2PO_4	woda sole obojętne, np. chlorek sodu NaCl siarczan sodu Na_2SO_4	wszystkie zasady ług sodowy NaOH ług wapniowy $Ca(OH)_2$ sole alkaliczne, np.: węglan sodu Na_2CO_3 węglan potasu K_2CO_3

Pomiar pH przeprowadza się elektrometrycznie lub kolorymetrycznie. Orientacyjnie można także oznaczać ten parametr za pomocą specjalnie impregnowanych papierków wskaźnikowych.
Niektóre wybrane wartości pH:

	pH
0,1 n HCl	1,0
0,1 n CH_3 -COOH	2,9
wino	2.8 do 3,5
białe piwo	3,3 do 3,7
jasne piwo	4,4 do 4,7
brzeczka wybita	5,4 do 5,5
woda wodociągowa	7,4 do 7,8
0,1 n $NaHCO_3$	7,6
0,1 n Na_2CO_3	8,5
0,1 n NaOH	13,0

Wpływ jonów na wartość pH

Wartość pH ma duży wpływ na przebieg wielu procesów podczas produkcji piwa. Tak np. poszczególne enzymy mają specyficzne dla siebie zakresy pH, w których ich aktywność jest optymalna. Od wartości pH zależy również stopień wykorzystania substancji goryczkowych chmielu i rozwój drobnoustrojów.

Wartość pH zacieru oraz brzeczki zależna jest od zdysocjowanych soli i substancji organicznych. Związki te pochodzą z wody, słodu, surowców niesłodowanych i chmielu.

W czasie procesu zacierania chemicznie aktywne jony zawarte w wodzie wchodzą w reakcję z rozpuszczalnymi składnikami rozdrobnionego surowca, tworząc nowe związki.

Większość przemian w czasie produkcji piwa przebiega lepiej i szybciej w środowisku bardziej kwaśnym (niższe pH).

Wartość pH w procesie produkcji powinna być możliwie niska. Przy wyższym pH należy się liczyć z trudnościami. Chemicznie czynne sole dzieli się na jony podwyższające wartość pH i obniżające wartość pH. Sole wody technologicznej do piwa w większości znajdują się w postaci zdysocjowanej na jony, lepiej więc jest mówić o jonach podwyższających pH i obniżających pH.

Przykład 1. Alkaliczny fosforan dwupotasowy, pochodzący ze słodu, reaguje z obojętnym siarczanem wapnia z wody:

$4\ K_2HPO_4 + 3\ CaSO_4 \rightarrow Ca_3(PO_4)_2 + 2\ KH_2PO_4 + 3\ K_2SO_4$

fosforan dwupotasowy; siarczan wapniowy; fosforan trójwapniowy; fosforan jednopotasowy; siarczan potasowy

Powstający fosforan trójwapniowy jest nierozpuszczalny. Fosforan jednopotasowy reaguje kwaśno, w wyniku czego obniża wartość pH zacieru.

Przykład 2. Kwaśno reagujący fosforan jednopotasowy spotyka w roztworze również kwaśny węglan wapniowy, którego reakcja jest bliska obojętnej:

$2\ KH_2PO_4 + Ca(HCO_3)_2 \rightarrow K_2HPO_4 + CaHPO_4 + 2\ H_2O + 2\ CO_2$

fosforan jednopotasowy; kwaśny węglan wapnia; fosforan dwupotasowy; fosforan jednowapniowy; woda; dwutlenek węgla

Z fosforanu jednopotasowego o odczynie kwaśnym powstaje alkaliczny fosforan dwupotasowy, który podwyższa pH zacieru.
Chemicznie czynne jony wywołują zmiany pH w procesie produkcji piwa.

Twardość wody

Twardość wody jest właściwością wywołaną przez obecność przede wszystkim jonów wapnia i magnezu. W Niemczech i innych krajach Europy (*również w Polsce przyp. tł.*) wyrażana jest w niemieckich stopniach twardości (^{0}n) i zdefiniowana następująco:

1^0n = 10 mg CaO/l = 1 g CaO/hl

lub też

7,19 mg MgO/l

Wody dzieli się w zależności od stopnia twardości na:

w stopniach ^{0}n*	twardość wody	jony ziem alkalicznych w 1 litrze	
		mval	mmol
0 - 4	bardzo miękka	0 - 1,44	0 - 0,7
4,1- 8	miękka	1,45 - 2,88	0,7 - 1,5
8,1-12	średnio twarda	2,89 - 4,32	1,5 - 2,2
12,1-18	dość twarda	4,33 - 6,48	2,2 - 3,7
18,1-30	twarda	6,49 - 10,8	3,2 - 5,3
>30	bardzo twarda	>10,8	>5,3

* 1^0n = 0,357 mval/l = 0,18 mmol/l

Nowy podział twardości wody przedstawia się następująco:

zakres twardości	twardość wody	mmol/l	^{0}n
1	miękka	do 1,3 1	do 7
2	średnio twarda	2,89-4,32	1,5-2,2
3	dość twarda	4,33-6,48	2,2-3,7
4	bardzo twarda	>3,8	>21,3

Jony podnoszące pH wpływają negatywnie na przebieg procesu technologicznego i na jakość piwa (patrz rozdz. 6.4); należą do nich jony węglanów i dwuwęglanów.

Zawarte w wodzie jony węglanowe i dwuwęglanowe tworzą **twardość węglanową,** która jest także określana jako twardość przemijająca lub alkaliczność całkowita.

Twardość niewęglanowa, obniżająca odczyn pH, wywołana jest jonami wapnia i magnezu tworzącymi się w wyniku obecności w wodzie chlorku wapnia, siarczanu wapnia, chlorku magnezu i siarczanu magnezu. Twardość niewęglanowa zwana jest również twardością resztkową, a także twardością siarczanową lub gipsową (ponieważ część twardości wytwarzana jest przez te sole).

Twardość ogólna - twardość węglanowa = twardość niewęglanowa

chemicznie aktywne jony

jony obniżające pH: wszystkie jony Ca i Mg, z wyjątkiem tych, które powstały wskutek jonów podwyższających pH

jony podwyższające pH: wszystkie jony węglanów i kwaśnych węglanów

twardość niewęglanowa | twardość węglanowa

twardość ogólna

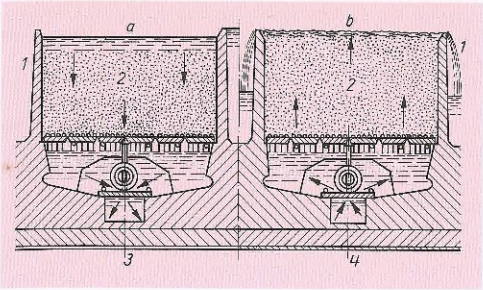
wszystkie jony Ca i Mg

W Niemczech twardość węglanową i niewęglanową oznacza się wg normy DIN 17 640.

Czynnikiem decydującym o obniżeniu lub podwyższeniu pH wody jest alkaliczność resztkowa (AR), która jest miarą właściwości alkalizujących wody. Alkaliczność resztkową AR oblicza się z różnicy twardości węglanowej TW (czyli zasadowości ogólnej) i twardości niewęglanowej, dzielonej przez 3,5, wszystko w stopniach niemieckich, według następującego wzoru:

$$AR = TW - \frac{\text{twardość Ca} + 0{,}5\ \text{twardości Mg}}{3{,}5}$$

Im wyższa jest alkaliczność resztkowa, tym silniejsze są własności alkalizujące wody i tym wyższa jest wartość pH. W wodzie, do produkcji piwa typu pilzneńskiego, alkaliczność resztkowa nie powinna przekraczać 2^0n, w przeciwnym razie należy ją uzdatniać.



Rys. 1.18
Otwarty filtr piaskowy
a) filtracja
b) oczyszczanie filtra od dołu
1) zbiornik filtracyjny
2) żwirowa warstwa filtracyjna
3) przewód czystej wody
4) przewód wody płuczącej

1.3.5 Metody uzdatniania wody

Większość wód wymaga uzdatniania. Wybór sposobu poprawy jakości wody jest ściśle związany z jej przeznaczeniem. Dla przykładu, jeżeli woda będzie użyta w kotłowni, nieważne jest czy zawiera ona bakterie, natomiast bardzo istotna będzie ilość rozpuszczonych w niej soli. Z kolei w wodzie przeznaczonej do mycia, ważny będzie stan czystości mikrobiologicznej. Rozróżnia się metody, których celem jest:

- usuwanie zawiesin,
- usuwanie substancji rozpuszczalnych,
- obniżanie alkaliczności resztkowej,
- usuwanie drobnoustrojów,
- usuwanie rozpuszczonych gazów.

1.3.5.1 Metody usuwania zawiesin

Zawiesiny występujące w wodzie to zwykle nierozpuszczalne substancje z ziemi i roślin. Ich usuwanie odbywa się w dwóch etapach.

Klarowanie w osadnikach

W wyniku zmniejszenia szybkości przepływu następuje powolne osadzanie zawiesin.

Im większy jest osadnik, tym większa jest skuteczność klarowania wody. Szybkość przepływu spada wówczas prawie do zera. Takimi osadnikami są zapory wodne. Klarowanie w osadnikach nie zapewnia całkowitego usunięcia zawiesin. Osadzaniu ulega 60 do 70 % zmętnień. Dlatego też konieczne jest dalsze ich usunięcie za pomocą filtracji.

Filtrowanie wstępnie sklarowanej wody

Do tego celu stosuje się filtry piaskowe. Woda przepływa przez warstwę prażonego piasku kwarcowego o jednakowej wielkości ziaren i zostaje uwolniona od zawiesin.

W komunalnych zakładach uzdatniania wody stosuje się otwarte filtry (rys. 1.18) o powierzchni do 150 m^2. Warstwa piasku kwarcowego, przez który przepływa woda, wynosi 2 m. Co kilka dni filtr przemywa się w odwrotnym kierunku, wspomagając oczyszczanie przedmuchiwaniem sprężonego powietrza.

Są też zamknięte filtry, które instaluje się w mniejszych zakładach oczyszczania, np. w browarach. Stosowany jest piasek kwarcowy o średnicy ziaren od 0,8 do 1,2 mm, w warstwie o grubości 2 m.

Filtry piaskowe oczyszcza się przez płukanie w odwrotnym kierunku w trzech etapach:

- powietrzem,
- powietrzem z wodą i
- wodą.

Główny efekt oczyszczenia warstwy filtracyjnej uzyskuje się stosując płukanie sprężonym powietrzem i wodą. Przemywanie filtra w odwrotnym kierunku zapobiega namnażaniu się drobnoustrojów [159]. Oczywiście celem filtracji piaskowej nie jest usuwanie zanieczyszczeń drobnoustrojami.

Szybkość filtracji w zamkniętych, ciśnieniowych filtrach piaskowych wynosi od 10 do 20 m^3 wody na 1 m^2 powierzchni filtra na godzinę. Wzrost ciśnienia w czasie filtracji sygnalizuje o konieczności oczyszczania filtra. Odby-

wa się to poprzez przepłukiwanie złoża piaskowego od dołu, z równoczesnym spulchnianiem warstwy piasku, co umożliwia usunięcie ciał obcych. W podobny sposób pracują także filtry do dekarbonizacji wody.

1.3.5.2 Usuwanie rozpuszczalnych substancji

Rozpuszczone w wodzie sole występują w formie jonów. Niektóre z tych jonów z czasem mogą powodować osadzanie się kamienia w sieci wodociągowej lub jej korozję. W przypadku, kiedy jony te występują w wodzie w nadmiernej ilości, konieczne jest ich usunięcie. Do tych niepożądanych substancji należą sole żelaza i manganu.

Usuwanie tych soli polega na ich utlenieniu do nierozpuszczalnych związków na drodze napowietrzania wody.

Przebieg reakcji jest następujący:

$$2\ Fe(HCO_3)_2 + 1/2\ O_2 + H_2O \rightarrow 2\ Fe(OH)_3 + 4\ CO_2$$

$$2\ MnCl_2 + O_2 + 4\ H_2O \rightarrow 2\ MnO(OH)_2 + 4\ HCl$$

$$4\ FeS_2 + 3\ O_2 + 6\ H_2O \rightarrow 4\ Fe(OH)_3 + 8\ S$$

Sole te wytrącają się w postaci kłaczków i muszą być usuwane z wody na drodze filtracji.

Oprócz wyżej wymienionych w wodzie obecne są również inne jony, które wprawdzie nie osadzają się w przewodach, ale mogą odgrywać poważną rolę podczas produkcji piwa.

Do napowietrzania wody służą zamknięte i otwarte urządzenia. W zamkniętych instalacjach należy zwracać uwagę, by ciśnienie stosowanego powietrza było wyższe niż ciśnienie słupa wody.

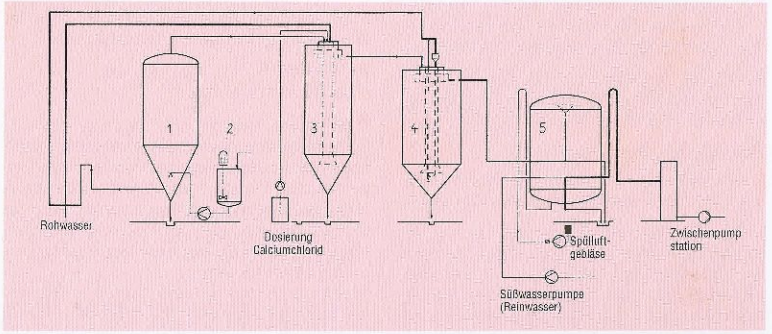
1.3.5.3 Metody poprawy alkaliczności resztkowej

Wody o wysokiej alkaliczności resztkowej wywołują wiele niekorzystnych zjawisk w produkcji piwa. Jej obniżenie przeprowadzić można przez:

- obniżenie twardości węglanowej,
- podwyższenie twardości niewęglanowej lub
- na drodze neutralizacji odczynu wody.

Korektę pH dokonuje się przez zastosowanie kwasów. Ulega wtedy przekształceniu twardość węglanowa wody w twardość niewęglanową. W Niemczech prawo czystości (Reinheitsgebot) nie dopuszcza kwasów do zakwaszania wody technologicznej, poza metodą zakwaszania biologicznego.

W Polsce można do tego celu stosować spożywczy kwas mlekowy oraz spożywczy kwas solny, jednak dodatek tych kwasów nie może przekroczyć ilości prawnie dopuszczalnej (*przyp. tł*).



Rys. 1.20. Stacja do korekty twardości węglanowej (metoda dwustopniowa)
1) nasycanie wapnem, 2) przygotowanie mleczka wapiennego, 3) reaktor, 4) nastawienie pożądanej twardości (II stopień), 5) filtr żwirowy

Obniżenie twardości węglanowej poprzez dekarbonizację

Dekarbonizacja to usunięcie twardości węglanowej.

Obniżanie twardości węglanowej można przeprowadzać:

- metodą termiczną (ogrzewanie),
- metodą wapienną,
- metodą jonitową.

Zmiękczanie wody metodą termiczną

Gotowanie wody powoduje to, że kwaśny węglan wapnia pod wpływem ogrzewania traci dwutlenek węgla i ulega przekształceniu do wytrącającego się z roztworu węglanu wapnia.

$$Ca(HCO_3)_2 \xrightarrow{\text{podgrzewanie}} CaCO_3 + CO_2 + H_2O$$

Proces ten odbywa się w każdym czajniku, w którym po pewnym czasie można stwierdzić warstwę kamienia kotłowego, utrudniającą wymianę ciepła. Taka warstwa, o wiele grubsza i niebezpieczniejsza, może utworzyć się na ściankach kotła, powodując ich przegrzewanie, co w skrajnych warunkach doprowadzić może do eksplozji. Z tego też względu, woda kotłowa musi być korygowana (np. przy użyciu wymieniaczy jonitowych).

W browarze dekarbonizacja termiczna praktycznie nie wchodzi w rachubę, gdyż jej stosowanie wymaga ochładzania podgrzanej wody, co ze względów ekonomicznych wykluczyło jej stosowanie. Metoda ma jedynie tę zaletę, że nie wymaga kontroli.

Dekarbonizacja przez dodanie gaszonego wapna

Najbardziej rozpowszechnioną metodą usuwania twardości węglanowej jest dodanie wapna. Stosuje się wapno gaszone w postaci wody wapiennej. Wodorotlenek wapniowy reaguje z kwaśnymi węglanami zawartymi w wodzie tworząc nierozpuszczalne węglany:

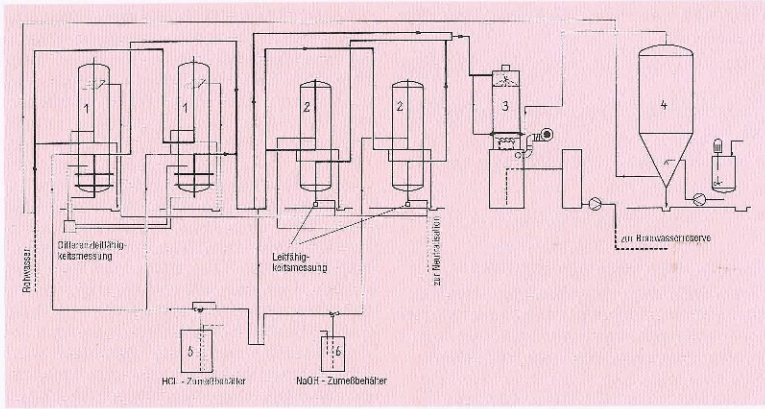
$$Ca(HCO_3)_2 = Ca(OH)_2 \rightarrow 2\ CaCO_3 + 2\ H_2O$$

Na rys. 1.20 przedstawiono nowoczesną **stację do korekty twardości węglanowej metodą dwustopniową**. Nasycony roztwór wodorotlenku wapnia sporządza się w zbiorniku (1), do którego z mieszalnika (2) dozowane jest mleczko wapienne. Tak przygotowany roztwór miesza się w reaktorze (3) z uzdatnioną wodą. Obecne w wodzie kwaśne węglany, po przekształceniu w nierozpuszczalne sole, opadają na dół, osadzając się w części stożkowej zbiornika. Osady te muszą być systematycznie usuwane. Natomiast woda odpływa górą do drugiego zbiornika (4), w którym zabieg wapnowania się powtarza. W zbiorniku tym można dowolnie zmieniać skład wody przez dodanie surowej wody. Po uzyskaniu pożądanego stopnia twardości wodę poddaje się filtracji przez filtr piaskowy, który usuwa wytrącone substancje. Metody filtracji w zamkniętych filtrach piaskowych omówione zostały w rozdziale 1.3.4.1.

Korekta wody metodą wapienną jest szeroko stosowana. Może być przeprowadzana jedno- lub dwustopniowo. Metoda ta jest tania i prosta, a ponadto prócz węglanów wapnia i magnezu, wytrąceniu ulegają także inne sole metali ciężkich, np. żelaza, jeżeli oczywiście sole te występowały w wodzie w postaci kwaśnych węglanów. Niedogodnością tej metody jest konieczność zagospodarowania powstającego szlamu oraz stałej kontroli procesu dozowania mleka wapiennego w czasie uzdatniania wody o zmiennej jakości.

Metoda odsalania

Od dłuższego czasu do uzdatniania wody technologicznej w browarze stosuje się wymienniki jonitowe, które usuwają z wody kationy i dzięki temu decydująco obniżają jej twardość. Te **wymienniki kationowe** można odciążyć w szczególnych przypadkach przez włączenie przed nimi dekarbonizacji wapiennej i obniżyć zużycie odczynników regenerujących [30]. Przy pomocy **wymienników anionowych** można usunąć aniony kwasów mineralnych po uprzednim usunięciu kationów i w ten sposób uzyskać praktycznie całkowicie odsoloną wodę, która dorównuje wodzie destylowanej.



Rys. 1.21. Stacja uzdatniania wody dla celów piwowarskich
(1) wymiennik kationowy, (2) wymiennik anionowy, (3) usuwanie z wody CO_2, (4) usuwanie twardości węglanowej, (5) zbiornik dozujący HCl, (6) zbiornik dozujący NaOH

Na rys. 1.21 przedstawiono stację korekty wody, składającą się z wymiennika kationowego silnie kwaśnego (1) i silnie alkalicznego wymiennika anionowego (2). W stacji tej zainstalowane są po dwa wymienniki dla każdego procesu. W celu zapewnienia ciągłości pracy stosuje się przemiennie wymianę i regenerację. Do usunięcia z wody powstającego dwutlenku węgla służy desorber (3). Z uwagi na to, że woda do produkcji piwa nie powinna być całkowicie pozbawiona soli (z wyjątkiem wody dla kotłowni), można - dodając surową wodę w zbiorniku nastawczym (4) - uzyskać pożądany skład wody technologicznej (np. resztkową twardość węglanową).

Jednym z najnowocześniejszych sposobów zmiękczania wody jest ***metoda odwróconej osmozy*** (patrz rozdz. 7.3.1.1.1). Dla uniknięcia zablokowania delikatnych membran, konieczne jest wstępne oczyszczenie wody. Usunięte muszą być wszystkie substancje, które blokują membrany, np. agresywny dwutlenek węgla, który można usunąć na drodze rozpylania i neutralizowania wodą wapienną lub za pomocą filtra ze żwirem marmurkowym.

Całkowite odsalanie wody nie jest pożądane zarówno ze względów zdrowotnych, jak i korozyjnych. Do zapewnienia odpowiedniej twardości resztkowej koryguje się zmiękczoną wodę przez mieszanie z twardą wodą lub za pomocą dodatku $CaSO_4$ lub $CaCl_2$. W wodzie dla celów piwowarskich obecność jonów Ca jest konieczna do wytrącania szczawianów. Prócz tego, różne sole mineralne w wodzie wpływają na zaokrąglenie smaku piwa.

W przypadku stosowania biologicznego zakwaszania (patrz rozdz. 3.2.1.8), nie stawia się wysokich wymagań odnośnie alkaliczności resztkowej w wodzie. Ważne jest tylko, by zawartość jonów Ca wynosiła co najmniej 50 mg w litrze i zawartość azotanów była możliwie najniższa [31].

Obok korekty składu chemicznego wody używanej do produkcji piwa, równie dużą wagę przywiązuje się do mikrobiologicznej jakości wody.

1.3.5.4 Dezynfekcja wody

Woda używana w browarnictwie musi spełniać wymagania stawiane wodzie do picia. Dla dezynfekcji wody można stosować:
- aktywny chlor w dawce do 1,2 mg/l,
- dwutlenek chloru z maksymalną dawką wynoszącą 0,4 mg/l oraz
- ozon w dawce nie wyższej niż 10 mg/l, tj. o stężeniu wynoszącym 0,005 %.

Po zastosowaniu dopuszcza się przy aktywnym chlorze i ozonie wykrywalność najwyżej 0,001% trójchlorometanów, jak np. chloroformu.

Do wyjaławiania wody stosuje się następujące metody:

Wyjaławianie za pomocą filtracji (EK filtry)
Istnieje możliwość wyjaławiania wody na drodze filtracji. Oferowane są już różnego typu filtry o dobrej wydajności i dobrej skuteczności dezynfekcyjnej. Konieczne jest jednak dokładne wstępne oczyszczenie wody (na temat filtrów wyjaławiających patrz rozdz. 4.5).

Zastosowanie techniki naświetlania UV
Naświetlanie wody promieniami ultrafioletowymi powoduje niszczenie drobnoustrojów. Jest to metoda czysta i pewna. Jednak
- aparatura jest droga, a skuteczność promieni mała,
- grubość warstwy może być tylko nieduża, przy czym zmętnicnia i zabarwicnia ograniczają skuteczność promieni UV. W przypadku silniejszego zanieczyszczenia drobnoustrojami konieczne jest stosowanie dłuższego naświetlania wody. Wymagane jest także odnawianie lamp i nadzorowanie ich działania.

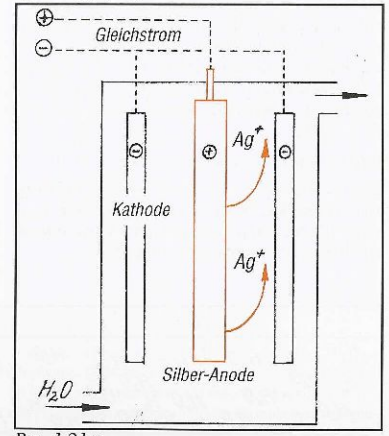
Dezynfekcja wody za pomocą ozonowania (O_3)
Ozon otrzymuje się na drodze elektrycznego wyładowania w powietrzu. Jako silny utleniacz, ozon niszczy drobnoustroje zawarte w wodzie. Metoda ozonowania jest skuteczna i czysta, jednak koszty inwestycyjne instalacji takich urządzeń są wysokie.
Zabiegi naświetlania UV i ozonowania (O_3) można prowadzić w kombinacji ($UV + O_3$) przy uzdatnianiu wody.

Dezynfekcja za pomocą chlorowania
Wprowadzenie gazowego chloru do wody powoduje powstawanie kwasu podchlorowego (HOCl), który rozpada się na HCl i agresywny tlen o wysokiej sile utleniającej i bakteriobójczej. Metoda jest skuteczna i nie wymaga specjalnej aparatury. Wadą metody jest tworzenie substancji szkodliwych dla zdrowia, jak organiczne związki halogenowe, chlorofenole, trójchlorowcowe metany i inne, jeśli woda zawiera związki organiczne lub fenole.

Wyjaławianie za pomocą dwutlenku chloru
Dwutlenek chloru, który otrzymuje się z kwasu solnego (HCl) i podchlorynu sodowego ($NaClO_2$) jest gazem bardzo niestabilnym, w związku z czym musi być natychmiast dozowany do wody. Metoda ta w porównaniu z poprzednimi wykazuje więcej zalet, gdyż:
- nie wywołuje zmiany smaku wody,
- wytwarza mniej szkodliwych związków,
- odznacza się niskimi kosztami i
- dobrą skutecznością dezynfekcyjną.

Wadą natomiast jest bardzo długi czas reakcji, konieczność dokładnego dozowania i kontrolowanie przebiegu procesu.

Dezynfekcja z zastosowaniem jonów srebra
Jony srebra są bakteriobójcze. Właściwość tę wykorzystano do wyjałowienia wody, stosując przepuszczanie strumienia wody między srebrnymi elektrodami. Metoda daje dobry efekt dezynfekcyjny (rys. 1.21 a).



Rys. 1.21 a
Schemat dezynfekcji za pomocą jonów srebra

1.3.5.5 Odgazowanie wody

W wodzie jest zawsze sporo rozpuszczonego powietrza. Tlen jest czynnikiem pogarszającym jakość piwa. W wielu miejscach w czasie produkcji zachodzi kontakt piwa z wodą.

Rozpuszczalność powietrza w wodzie maleje wraz ze wzrostem temperatury. Bardzo gorąca woda, np. woda używana do wysładzania, nie zawiera prawie wcale tlenu. Natomiast woda w niskiej temperaturze zawiera dużo tlenu, który może bardzo szkodzić piwu. Ma to np. miejsce, kiedy stosuje się wodę:

- przy filtracji,
- do napełnienia filtra, przygotowania zawiesiny ziemi okrzemkowej i do jej nanoszenia lub dozowania,
- do zacierania.

Do odgazowania wody stosuje się następujące metody:

- przemywanie wody CO_2,
- odgazowanie próżniowe,
- redukowanie tlenu za pomocą wodoru,
- termiczne odgazowanie i
- stosowanie membran z pustych włókien.

Odgazowanie za pomocą przemywania CO_2

Metoda ta nazywana również „CO_2 stripping" polega na przepuszczaniu wody przez odgazowywacz z równoczesnym tłoczeniem w przeciwprądzie wolnego od tlenu CO_2. Przy pracy z zastosowaniem nadmiaru CO_2, dzięki dużej powierzchni wymiany gazów metoda ta jest skuteczna.

Odgazowanie metodą próżniową

Przy tej metodzie rozpyla się wodę w próżniowym zbiorniku. Do uzyskania całkowitego usunięcia tlenu, konieczne jest jej stosowanie w kombinacji z przemywaniem CO_2.

Odgazowanie na drodze redukcji wodorem

Metoda sprowadza się do dodawania wodoru do wody. W wyniku reakcji wodoru z tlenem powstaje woda (rys. 1.21 b). Dla umożliwienia tej reakcji stosuje się katalizator z palladu (w postaci kuleczek). Koszty takiej instalacji są stosunkowo duże. Wysokie są też koszty procesowe, ponieważ wymagana jest dokładna kontrola oraz czyszczenie aparatury [36].

Odgazowanie metodą termiczną

Jest to metoda, polegająca na ogrzaniu wody przynajmniej do 85°C. Następnie woda jest rozpylana, dzięki czemu ułatwia się usunięcie tlenu razem z uchodzącą parą. Zaletą metody jest przy okazji wyjałowienie wody.

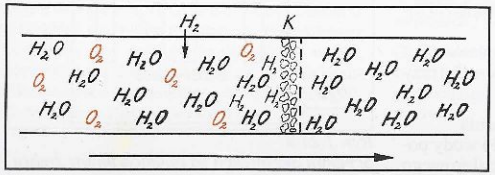
Odgazowanie metodą membranową pustych włókien

Zasady działania zbliżone są do dializy (patrz. rozdz. 4.8.3.1). Metoda oparta jest na modułach, składających się z pęku 30.000 pustych włókien, których długość wynosi 68 cm, a średnica 300 µm. Włókna te odznaczają się dużą porowatością, wielkość porów wynosi 0,05 µm. Włókna te obmywane są wodą, a równocześnie w przeciwprądzie przepływa wolny od tlenu dwutlenek węgla. Spełnia on rolę środka uwalniającego tlen. Różnica stężeń między wodą, a dwutlenkiem węgla jest siłą napędową, umożliwiającą usunięcie tlenu z wody. Stosowanie tej metody nie stwarza problemów i nie wymaga kontroli.

1.4 Drożdże

Drożdże są to jednokomórkowe grzyby, które czerpią swoją energię

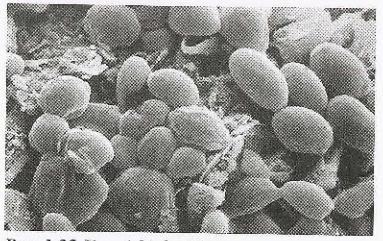
- w obecności tlenu (warunki aerobowe) przez oddychanie,
- w braku tlenu (warunki anaerobowe) przez fermentację.



Rys. 1.21 b
Proces odtleniania wody przy użyciu wodoru
K - katalizator (pallad)

Podczas produkcji piwa drożdże fermentują cukry zawarte w brzeczce i przetwarzają je w alkohol. W browarze wykorzystuje się w tym celu drożdże piwne z rodzaju ***Saccharomyces cerevisiae***. Wybrane szczepy tych drożdży są systematycznie selekcjonowane i hodowane w czystych kulturach dla potrzeb przemysłu piwowarskiego. Dla przemysłu spirytusowego i winiarskiego oraz dla piekarstwa wykorzystywane są inne szczepy z rodzaju Saccharomyces cerevisiae.

Ze względu na to, że drożdże nie tylko powodują fermentację alkoholową, ale także - poprzez produkty uboczne swej przemiany materii - wpływają wyraźnie na smak i charakter piwa, znajomość ich budowy, składu chemicznego, procesów rozmnażania i metabolizmu jest dla nas bardzo istotna. Wśród rodzajów, ras i szczepów drożdży przemysłowych występuje wielka różnorodność właściwości i cech użytkowych.



Rys. 1.22 Komórki drożdżowe
(zdjęcie REM, Schenk-Filerbau)

1.4.1 Budowa i skład chemiczny komórki drożdżowej

Drożdże występują w browarze w postaci półpłynnej, brunatnoszarej masy, zwanej gęstwą drożdżową. Zawiera ona około miliarda indywidualnych, niezależnych od siebie komórek drożdżowych w jednym mililitrze. Komórki drożdży piwnych są owalne. Ich długość waha się w granicach od 6 do 10, a szerokość od 5 do 7 µm (rys. 1.22).

Komórka drożdżowa zawiera przeciętnie około 75% wody. Skład suchej substancji waha się zależnie od wielu czynników i w przybliżeniu jest następujący:

ciała białkowe	45 do 60%
węglowodany	25 do 35%
tłuszcze (lipidy)	4 do 7%
związki mineralne	6 do 9%

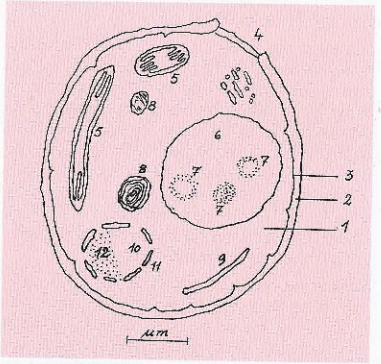
Na związki mineralne w każdych stu gramach suchej substancji składa się:

2.000 mg fosforanów
2.400 mg potasu
200 mg sodu
20 mg wapnia
2 mg magnezu
7 mg cynku

oraz śladowe ilości żelaza, miedzi i manganu.

Ponadto drożdże zawierają wiele witamin, z których ważniejsze (na 100 g s.s. drożdży) to:

tiamina 8 do 15 mg,
ryboflawina 2 do 8 mg,
kwas nikotynowy 30 do 100 mg,
kwas foliowy 2 do 10 mg,
kwas pantotenowy 2 do 20 mg,
pirydoksyna 3 do 10 mg,
biotyna 0,1 do 1 mg.



Rys. 1.22a. Komórka drożdżowa
(wg Hough, Briggs i Stvens)
(1) plazma, (2) ściana komórkowa, (3) błona komórkowa, (4) blizna po pączkowaniu, (5) mitochondrium, (6) wakuola, (7) grana, (8) ziarenka lipidów, (9) retikulum endoplazmatyczne, (10) jądro komórkowe, (11) błona jądra, (12) jąderko zawierające RNA.

Komórka drożdżowa (rys. 1.22a) składa się z *płazmy komórkowej* (cytoplazma) (1), otoczonej *błoną i ścianą komórkową* (3). Cytoplazma zawiera liczne organelle, które sterują procesami przemiany materii. Najważniejszą częścią komórki jest jądro (10), zawierające materiał genetyczny, tj. chromosomy, DNA i RNA. Jądro otoczone jest dwuwarstwową błoną jądrową, której pory umożliwiają przenikanie z jądra do cytoplazmy substancji wielkocząsteczkowych.

Jądro jest wypełnione nukleoplazmą, w której zawieszone są chromosomy, zbudowane głównie z białek zasadowych, histonów i DNA, czyli kwasów dezoksyrybonukleinowych. Chromatyna, podstawowy składnik chromosomów, składa się z ułożonych na przemian podjednostek DNA bogatych i ubogich w białko nukleosomów, które są materiałem genetycznym komórki, sterującym całym procesem przemiany materii oraz strukturą białek w niej wytwarzanych. Ilość informacji zawarta w tym materiale, czyli w genach, odpowiada w przybliżeniu 10^9 do10^{10} bitów i steruje rozwojem komórki, rozmnażaniem, wzrostem i metabolizmem. W nukleoplazmie zawieszone jest również jąderko (12), zawierające głównie RNA, miejsce syntezy rybosomów.

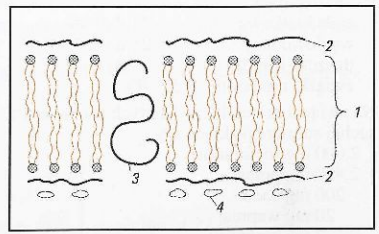
Komórka drożdżowa zawiera dużą liczbę ***mitochondriów*** (5). Są one wypełnione treścią zwaną matrix, zawierającą DNA oraz liczne enzymy. W mitochondriach przebiegają podstawowe procesy związane z oddychaniem i wydzielaniem energii (patrz też rozdz. 4), końcowe etapy utleniania cukrów, lipidów i aminokwasów do dwutlenku węgla i wody, przy udziale ATP i ADP (patrz też rozdz. 4.1.2.1.2). Dlatego mitochondria nazywane są także „agregatami energetycznymi komórki".

Retikulum endoplazmatyczne, ER, (9) występuje w postaci sieci kanalików, naczyń i woreczków. Dzieli się na część szorstką, pokrytą rybosomami i część gładką. Pełni ono w komórce funkcje wydalnicze, transportowe i po części syntetyczne, biorąc udział w tworzeniu błon komórkowych. Blisko gładkiej części RE, od strony centrum komórki ulokowany jest *aparat Golgiego*, w którym odbywa się synteza glikoprotein. Przy jego współudziale wytwarzane są ziarnistości zawierające enzymy i różne metabolity (np. alkohol). Przesuwane są one w kierunku ściany komórkowej, łączą się z błoną i w ten sposób następuje wydalanie substancji zawartych w tych ziarnistościach na zewnątrz komórki.

Swoisty zakład oczyszczania komórki stanowią ***sferosomy***, otoczone pojedynczą błoną pęcherzyki, zawierające komplet enzymów zdolnych do hydrolitycznego rozkładania niemal wszystkich składników komórki. Funkcja ich polega na trawieniu substancji wprowadzonych do komórki, na utrzymywaniu równowagi między składnikami wielko- i drobnocząsteczkowymi, a po śmierci komórki biorą one udział w jej autolizie.

Rybosomy są drobnymi strukturami syntetyzującymi białka zgodnie z informacją genetyczną, dostarczaną z jądra w postaci specjalnej frakcji matrycowego RNA.

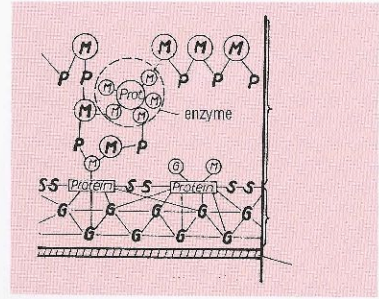
Szczególnie ważną częścią komórki jest ***błona komórkowa***, która otacza cytoplazmę wraz ze wszystkimi organellami i jądrem komórkowym. Ważnymi elementami błony komórkowej są fosfolipidy. Mają one bardzo typową budowę, istotną dla roli jaką wypełniają. Są to naturalne glicerydy, których dwie grupy alkoholowe zestryfikowane są kwasami tłuszczowymi, a trzecia kwasem fosforowym, z kolei zestryfikowanym aminoalkoholem. Cząsteczki fosfolipidów, wchodzące w skład błony komórkowej (rys. 1.23), wykazują dwie przeciwstawne właściwości: podczas gdy wiązanie z kwasem fosforowym (na rysunku 1.23 przedstawione jako kółko) jest hydrofilowe, to łańcuchy reszt kwasów tłuszczowych (czerwone na rysunku) są hydrofobowe.



Rys. 1.23. Struktura błony komórkowej
(1) fosfolipidy, (2) odłożone białka, (3) białka transportowe, (4) odłożona trehaloza

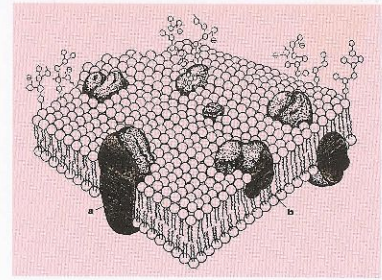
Zgodnie z modelem przedstawionym na rysunku (rys. 1.23b) błona składa się z dwuwarstwowej, półciekłej, fosfolipidowej matrycy, w której poszczególne cząsteczki są w określonych granicach ruchome i mogą się odchylać nadając błonie elastyczność i dużą oporność elektryczną. W skład błony wchodzą również białka, głównie globularne. Wnikają one do warstwy lipidowej z obu stron, a niektóre nawet przenikają ją całkowicie, spinając obie powierzchnie hydrofilowe. Te wtręty białkowe oraz pory, występujące w podwójnej warstwie fosfolipidowej, stanowią pomosty łączące obie powierzchnie błony, przez które może się odbywać transport substancji hydrofilowych.

Grubość błony komórkowej wynosi około 6 nm czyli 1/1000 średnicy komórki drożdżowej. Jakkolwiek powierzchnia jednej komórki jest bardzo mała, bo tylko około 150μm^2, to powierzchnia zbiorowa dziesięciu gramów drożdży prasowanych wyniesie już około 9 do 10 m^2. Wyjaśnia to ogromną aktywność drożdży.



Rys. 1.23 a
Schematyczna struktura ściany komórkowej
(wg Hough i Briggs)

Ściana komórkowa (3) daje komórce drożdżowej kształt i stabilność, a jednocześnie jest stosunkowo elastyczna. Chemicznie ściana komórkowa jest bardzo dużą, złożoną makrocząsteczką, której głównymi składnikami są mannan (30 do 40%) i glukan (30 do 40%). Zawiera ona białka, tłuszcze i związki nieorganiczne.



Rys. 1.23 b
Budowa błony komórkowej z fosfolipidami i białkami transportowymi

Mannan znajdujący się od zewnętrznej strony ściany komórkowej (rys. 1.23a) jest połączony wiązaniem estrowym z fosforanami. Po wewnętrznej stronie ściany zlokalizowany jest glukan. Integralną częścią struktury ściany są białka, połączone mostkami siarkowymi, oraz enzymy katalizujące przemiany, które przyspieszają i ułatwiają przenoszenie przez błonę komórkową substancji takich jak cukry, aminokwasy itp. Struktura ściany komórkowej jest więc bardzo istotna.

Cytoplazma (cytosol) stanowi nieco więcej niż 50% objętości komórki. W cytoplazmie zachodzi większość enzymatycznych przemian: rozkład substancji, którymi się żywi komórka oraz synteza związków niezbędnych do jej budowy. Jedna obok drugiej, przebiegają tu: glikoliza (patrz. p. 5.1), synteza kwasów tłuszczowych, białek i wielu innych.

W warunkach obfitości substancji pokarmowych, np. na początku fermentacji, komórki drożdżowe wzbogacają się w substancje zapasowe, takie jak glikogen, rezerwowy węglowodan, którego zawartość może nawet osiągnąć do 30% suchej substancji drożdży. Z innych substancji gromadzone są: dwucukier trehaloza, fosforany, lipidy itd.

Często w komórce występują otoczone błonką i wypełnione kwaśnym sokiem komórkowym pęcherzyki zwane *wakuolami*. Zawierają one roztwór sacharydów, kwasów organicznych,

białek i soli mineralnych. Funkcja wakuoli polega na segregacji substancji użytecznych i odpadowych. Nadmiar gromadzonych w wakuolach soli może czasem krystalizować. Przez odwracalne tworzenie i rozpuszczanie kryształów soli komórka może regulować swoje wewnętrzne ciśnienie (turgor), kiedy na przykład podwyższona zawartość ekstraktu lub alkoholu w środowisku zwiększy zewnętrzne ciśnienie osmotyczne.

Drożdże piwne w warunkach produkcyjnych rozmnażają się przez pączkowanie. Po odłączeniu się młodej komórki, na macierzystej komórce pozostaje blizna po pączkowaniu (rys. 1.22 a; 4). Na podstawie liczby tych blizn (zwykle 4 do 6) można rozpoznać wiek komórki drożdżowej.

1.4.2 Przemiana materii u drożdży

Jak każda żywa komórka, tak i komórka drożdżowa, dla swego wzrostu, rozmnażania i procesów życiowych, wymaga dopływu energii i substancji odżywczych.

Energię niezbędną dla tych przemian drożdże czerpią najchętniej, podobnie jak inne żywe istoty, poprzez oddychanie. Organizm uzyskuje tą drogą bardzo dużo energii, dzięki temu że glukoza zostaje wykorzystana do końca. Energetyczne składniki pożywki, jak np. cukry, przy oddychaniu zostają bez reszty rozłożone na wodę i dwutlenek węgla:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \rightarrow 6\,H_2O + 6\,CO_2$$

W warunkach braku dostępu powietrza drożdże przechodzą na pozyskiwanie energii drogą fermentacji. W wyniku tego procesu z cukru prostego powstaje alkohol etylowy, czyli etanol i dwutlenek węgla:

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\,C_2H_5OH + 2\,CO_2$$

Powstający przy fermentacji alkohol zawiera jeszcze bardzo dużo energii, to też komórka drożdżowa uzyskuje drogą fermentacji nieporównywalnie mniej energii niż przez oddychanie (patrz rozdz. 4.1).

Rozkład glukozy do alkoholu i CO_2 lub – przy oddychaniu – do CO_2 i wody, biegnie etapami, poprzez cały szereg kolejnych reakcji, z których każda katalizowana jest przez specjalny enzym. W komórce drożdżowej enzymy te powiązane są z określonymi strukturami komórkowymi. Tak więc enzymy czynne w glikolizie oraz fermentacji alkoholowej działają w cytoplazmie, podczas gdy enzymy oddechowe – w mitochondriach.

Substancje organiczne, jak cukry, niezbędne w procesach oddychania lub fermentacji, są pobierane przez białka zintegrowane w błonie komórkowej i transportowane do wnętrza komórki. Komórka drożdżowa może zatem odżywiać się tylko takimi substancjami, dla jakich posiada odpowiednie mechanizmy transportu. To z kolei zależy od garnituru enzymów, w jakie komórka jest wyposażona.

Procesy przemiany materii w komórkach drożdżowych można podzielić na:

- przemiany węglowodanów,
- przemiany substancji białkowych,
- przemiany tłuszczowców (lipidów) i
- przemiany związków mineralnych.

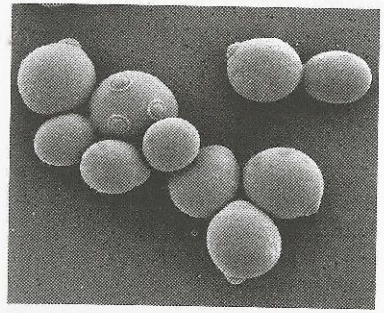
Przemiany węglowodanów służą przede wszystkim pozyskiwaniu energii bądź to przez oddychanie, bądź też przez fermentację, podczas gdy tylko niewielka część cukrów zawartych w brzeczce zostaje przekształcona w substancje zapasowe, jak glikogen i trehaloza, odkładane w komórkach drożdży.

Przemiany substancji białkowych, podobnie jak przemiany lipidów i związków mineralnych, służą przede wszystkim budowaniu nowej substancji komórkowej, przy czym zarówno synteza, jak i procesy rozkładu odgrywają istotną rolę.

Złożone procesy przemiany materii w komórce drożdżowej wpływają na jakość piwa w sposób częstokroć decydujący. Więcej miejsca na ich omówienie poświęcimy w rozdziale 4.1.2.

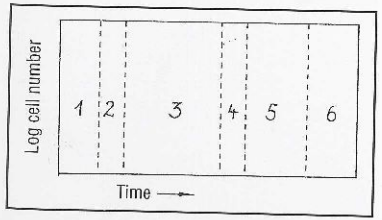
1.4.3 Propagacja i rozwój populacji drożdży

Typowym sposobem rozmnażania się drożdży piwnych jest pączkowanie. Podczas pączkowania na ścianie komórki macierzystej tworzy się mała wypukłość, do której przechodzi część cytoplazmy oraz, powstałe drogą podziału, nowe jądro. U niektórych szczepów drożdży nowopowstałe komórki oddzielają się bezzwłocznie od komórki macierzystej, na powierzchni której w miejscu oddzielenia pozostaje charakterystyczna blizna po pączkowaniu (rys. 1.24). U innych szczepów nowe komórki nie oddzielają się zaraz po pączkowaniu i pozostają razem tworząc rozgałęzione grupy pączkujące.



Rys. 1.24. Pączkujące drożdże. Widoczne blizny po oddzieleniu komórek.
(Zdjęcie: dr Inge Russell, Labatt Brewing Co.)

Populacja drobnoustrojów przeniesiona do świeżej pożywki zaczyna się rozwijać. W browarze ma to miejsce przy nastawieniu brzeczki z drożdżami. Rozwój populacji drobnoustrojów, w tym wypadku drożdży, podlega ściśle określonym prawom. Proces ten nie przebiega ze stałą szybkością, lecz można w nim wyróżnić sześć kolejnych etapów, czyli faz (rys. 1.25):



Rys. 1.25: Fazy rozwoju populacji drożdży
(1) faza pobudzania, (2) faza opóźniona, (3) faza logarytmiczna, (4) faza zwolniona, (5) faza stanu nasycenia (stacjonarna), (6) faza obumierania komórek

Faza wstępna, czyli faza pobudzania. W tym okresie następuje uaktywnienie procesów przemiany materii w komórkach populacji drobnoustrojów. Długość fazy wstępnej bywa różna. Zależy ona od rodzaju drobnoustrojów, wieku kultury i warunków środowiska. Faza wstępna kończy się z chwilą pierwszego podziału komórki.

Faza opóźniona. W tej fazie ma miejsce rozwój komórek, ale ich podział następuje jeszcze stosunkowo rzadko, ulegając stopniowemu przyśpieszeniu.

Faza logarytmicznego przyrostu komórek. W tym etapie rozwoju populacji, zwanym w skrócie fazą logarytmiczną, wszystkie komórki pączkują lub ulegają podziałowi, a czas podwojenia ich liczby, czyli czas generacji, jest wartością stałą i osiąga w tej fazie swoje minimum dla danych warunków. Dla drożdży, w typowych dla browaru warunkach rozmnażania, czas generacji wynosi parę godzin.

Faza zwolniona. W tej fazie – wskutek działania różnych czynników, jak np. wyczerpanie cukrów w podłożu, nagromadzenie produktów fermentacji w środowisku – tempo rozmnażania komórek zaczyna maleć i kończy się ich logarytmiczny przyrost.

Faza stacjonarna, czyli faza stanu nasycenia. Ustala się równowaga między liczbami komórek powstających i obumierających, w wyniku czego liczba żywych komórek w podłożu utrzymuje się na stałym poziomie.

Faza obumierania komórek. W tej ostatniej fazie, w wyniku zahamowanego rozmnażania i przyspieszonego obumierania komórek, następuje obniżenie liczebności populacji drobnoustrojów.

Czas trwania i intensywność przebiegu poszczególnych faz rozwoju populacji zależą w dużym stopniu od jakości substratu, czyli rodzaju podłoża, temperatury i stanu fizjologicznego komórek drożdżowych. Podłoże musi zawierać wszystkie substancje niezbędne dla wzrostu komórek. Rozwój populacji zależy także od zawartości wody, od wartości pH i natlenienia podłoża.

Woda jest podstawowym składnikiem żywej materii i odgrywa główną rolę w procesach życiowych. Drobnoustroje rozwijają się tylko w takich substratach, w których znajdują wystarczającą dla swych potrzeb ilość wody. Pod względem wymagań co do pH, występuje u drobnoustrojów wielka różnorodność. Drożdże rozwijają się najlepiej w środowiskach kwaśnych. Napowietrzanie brzeczki nastawnej w browarze wpływa pobudzająco na wzrost i rozmnażanie komórek drożdżowych.

Również temperatura ma decydujący wpływ na rozwój drobnoustrojów. Każdy ich rodzaj charakteryzuje optymalna temperatura, przy której czas generacji jest najkrótszy. Rozwój populacji możliwy jest jednak nie tylko przy optymalnej temperaturze, ale także w określonych granicach temperatur, których zakres może być węższy lub szerszy. Dla drożdży gatunku Saccharomyces granice te stanowią temperatury od 0 do 40°C, natomiast optymalny wzrost populacji ma miejsce przy 25 do 30°C.

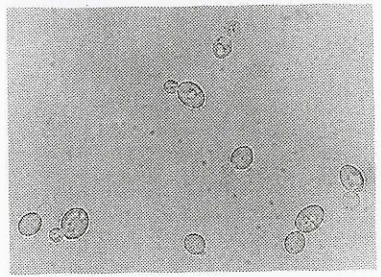
Stan fizjologiczny komórek drobnoustrojów – ich wiek i odżywienie – wpływa przede wszystkim na czas trwania fazy wstępnej. U drożdży piwnych bardzo szybkie aktywowanie przemiany materii zachodzi wówczas, gdy w fazie logarytmicznego przyrostu komórek zostaną przeniesione do świeżego, bogatego podłoża. Dla browaru oznacza to, że szybkie zapoczątkowanie fermentacji osiągnie się najlepiej, gdy do brzeczki nastawnej doda się drożdże będące w stadium fermentacji burzliwej, bezpośrednio po odebraniu, bez żadnego ich przechowywania.

1.4.4 Charakterystyka drożdży piwnych

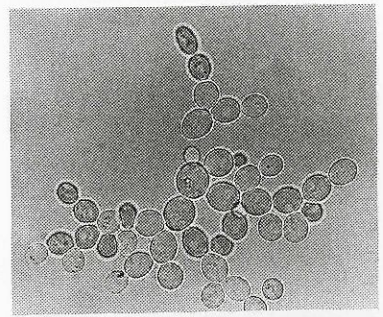
Wśród drożdży z rodzaju *Saccharomyces cerevisiae*, które znajdują zastosowanie w piwowarstwie, wyróżnia się liczne szczepy. W praktyce dzieli się te szczepy na dwie wielkie, podstawowe grupy: drożdże górnej fermentacji i drożdże dolnej fermentacji. Między drożdżami górnej i dolnej fermentacji występują różnice morfologiczne i fizjologiczne, które zostaną omówione poniżej.

1.4.4.1 Cechy morfologiczne

Drożdże górnej i dolnej fermentacji można rozróżnić pod mikroskopem na podstawie ich obrazu pączkowania. Drożdże dolnej fermentacji występują w obrazie niemal wyłącznie jako komórki osobne, co najwyżej parami, podczas gdy drożdże fermentacji górnej tworzą zespoły pączkujących komórek (rysunki 1.26 i 1.27). Kształt komórki jest u obydwu typów podobny.



Rys. 1.26. Pączkujące drożdże dolnej fermentacji (pow. ok. 1000x)



Rys. 1.27. Drożdże górnej fermentacji (pow. ok. 1000x) (fot. C. Mueller)

1.4.4.2 Różnice fizjologiczne

Podstawowa różnica fizjologiczna między drożdżami górnej i dolnej fermentacji polega na zdolności wykorzystywania trójcukru rafinozy. Podczas gdy drożdże dolnej fermentacji mogą wykorzystywać rafinozę całkowicie, to drożdże górnej fermentacji tylko dwie trzecie tego trójcukru. *(Różnica ta została obecnie zakwestionowana. Przyp. tł. A.B.).*

Dalsze różnice dotyczą oddechowej i fermentacyjnej przemiany materii oraz łatwości zarodnikowania. Podczas gdy u drożdży dolnej fermentacji przeważa beztlenowy typ przemiany materii, to drożdże górnej fermentacji wykazują przewagę typu tlenowego. Również plon biomasy drożdży, zebranych po fermentacji, jest w przypadku tych ostatnich większy. Zdolność zarodnikowania u drożdży dolnej fermentacji jest ograniczona. W porównaniu ze szczepami górnej fermentacji, zarodnikują one rzadziej i tworzenie zarodników trwa dłużej.

1.4.4.3 Różnice technologiczne

Podział na drożdże górnej i dolnej fermentacji wziął się stąd, że pierwsze z nich gromadzą się w pianie na powierzchni fermentującej brzeczki, podczas gdy drugie tworzą warstwę na dnie zbiornika. Drożdże górnej fermentacji przy samym końcu tego procesu też osiadają na dnie, ale dużo później, niż drożdże fermentacji dolnej. W browarach, gdzie stosowane są kadzie otwarte, zbiera się je z powierzchni, zanim opadną na dno.

Ważną cechą drożdży dolnej fermentacji jest zróżnicowana zdolność do tworzenia kłaczkowatych konglomeratów. Według tej cechy dzieli się drożdże dolnej fermentacji na pyliste i kłaczkujące. Drożdże pyliste pozostają zawieszone w fermentującej brzeczce i dopiero po zakończeniu fermentacji powoli osiadają. Tymczasem drożdże kłaczkujące po krótkim czasie łączą się w duże grupy po kilka tysięcy komórek, o wyglądzie kłaczków, i szybko osiadają na dnie. Zdolność kłaczkowania danego szczepu drożdży jest uwarunkowana genetycznie i dziedziczona. Drożdże górnej fermentacji tej zdolności nie mają.

Zdolność kłaczkowania szczepu drożdży ma duże znaczenie praktyczne. Stosując drożdże kłaczkujące uzyskuje się klarowne, ale niezbyt wysoko odfermentowane piwo, podczas gdy drożdże pyliste i drożdże górnej fermentacji dają wysoki stopień odfermentowania i piwo słabo sklarowane.

Dalsza różnica między drożdżami górnej i dolnej fermentacji polega na temperaturach, przy których pracują one najlepiej. Podczas gdy przy górnej fermentacji stosuje się temperatury do 25°C, to drożdże dolnej fermentacji pracują przy temperaturach znacznie niższych.

1.4.4.4 Praktyczny podział szczepów drożdży

Na podstawie opisanych poprzednio różnic podzielono znane szczepy drożdży piwnych i zaliczono jedne do drożdży dolnej fermentacji, inne do górnej. Trzeba jednak pamiętać, że niektóre z cech różniących te dwa typy drożdży mogą być w pewnych granicach zmienne. Takim niepewnym kryterium podziału okazała się, na przykład, zdolność do wykorzystywania rafinozy. Stwierdzono bowiem, że niektóre szczepy drożdży dolnej fermentacji mogą wyzyskać ten cukier także tylko w dwóch trzecich, tak jak drożdże fermentacji górnej. Wobec tego w nowszych systematykach obydwa typy drożdży piwnych, tak górnej jak i dolnej fermentacji, zaliczono do rodzaju *Saccharomyces cerevisiae*.

Wybór szczepów drożdży do kolekcji czystych kultur, które będą hodowane w laboratorium browaru i wykorzystywane do nastawiania fermentacji, oparty jest na określonych kryteriach. Do najważniejszych należą:

- ***zachowanie się podczas fermentacji (fermentacja dolna lub górna)***
- ***zdolność flokulencji (drożdże pyliste lub kłaczkujące)***
- ***wydajność fermentacji (szybkość fermentacji i stopień odfermentowania)***
- ***intensywność rozmnażania (czas generacji)***
- ***tworzenie i rozkład ubocznych produktów fermentacji (tworzenie aromatu)***

Do drożdży zaliczają się nie tylko szczepy hodowane w czystych kulturach ale także gatunki stanowiące infekcje niebezpieczne dla jakości piwa. Nawet drożdże winiarskie, gdy trafią do piwa, mogą okazać się niepożądanymi szkodnikami. Wszystkie rodzaje czy gatunki, inne niż czyste kultury drożdży hodowanych dla nastawiania fermentacji, traktuje się w browarze jako infekcje. Wtargnięcie takich drobnoustrojów do brzeczki lub piwa nazywa się w praktyce piwowarskiej *zakażeniem* procesu produkcyjnego.
Dla odróżnienia od czystych kultur stosowanych w procesie produkcyjnym, wszystkie drożdże obce w produkcji piwa nazywa się „drożdżami dzikimi". Trafiają one do browaru najczęściej przez surowce i zawsze są niepożądane. Drożdże takie mogą być przyczyną niekorzystnych zmian smaku i zapachu, a zdarza się też, że powodują zmętnienia piwa (patrz rozdz. 8.3).

1.5 Surowce niesłodowane

Słód zawiera więcej enzymów niż potrzeba do scukrzenia jego własnej skrobi i ten nadmiar może być wykorzystany w przerobie surowców niesłodowanych. Te surowce są na ogół tańsze niż słód i dlatego w browarach większości krajów na świecie zastępuje się część słodu, zwykle 15 do 20% zasypu, ziarnem niesłodowanym.

Jako dodatki niesłodowane do zacieru stosuje się zwykle takie ziarno, jakie w danym regionie jest powszechnie produkowane. Na przykład:

- w Ameryce – kukurydza i ryż
- w Azji – ryż
- w Afryce – sorgo

Światowa produkcja zbóż (mln t) w latach 1990-1992 [125]

	Afryka	Ameryka Północna i Środkowa	Ameryka Południowa	Azja	Europa	Kraje b. ZSRR	Australia i Oceania	Razem
Pszenica	15	100	16	208	127	88	14	568
Ryż	13	10	15	478	2	2	1	521
Kukurydza	30	235	38	133	54	9	<1	500
Jęczmień	6	22	1	19	68	48	5	169
Sorgo	14	23	4	18	<1	<1	<1	60
Proso	10	<1	<0,1	16	<0,1	2	<0,1	28
Owies	<1	7	<1	1	10	14	2	35
Żyto	<0,1	<1	<0,1	1	11	19	<0,1	32
Razem	89	399	75	874	272	183	23	1.914

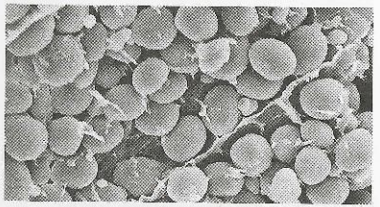
1.5.1 Kukurydza

Ziarno kukurydzy przy zbiorze zawiera 25 do 30% wody, a następnie jest suszone do wilgotności 10 do 14%. Sucha substancja ziarna kukurydzy składa się z:

67 do 80% węglowodanów
9 do 12% białka
4 do 5% tłuszczu (olej)

oraz niewielkich ilości włókna surowego i związków mineralnych.

Tłuszcz zgromadzony jest w zarodku, który u kukurydzy stanowi około jednej dziesiątej masy ziarna. Ze względu na szkodliwy wpływ tłuszczu na pienistość piwa, kukurydza przeznaczona do przerobu w browarze musi być pozbawiona zarodków. Ten zabieg praktycznie stanowi odtłuszczenie ziarna. Kukurydza po usunięciu zarodków zawiera zwykle jeszcze około 1% tłuszczu, ale zawartość nawet do 1,5% jest tolerowana.
Zawartość białka w kukurydzy przerobionej na grysik albo płatki spada do około 7-9%. To białko w większości nie zostaje rozpuszczone podczas zacierania i brzeczka, proporcjonalnie do udziału kukurydzy w zasypie, będzie uboższa w substancje białkowe. Trzeba się liczyć także z tym, że brzeczka będzie o tyle uboższa w niskocząsteczkowe ciała białkowe dostępne dla drożdży (patrz rodz. 4.1.3.1).
Skrobia kukurydziana (rys. 1.28) wielkością ziarenek po części zbliża się do skrobi jęczmiennej, jednak trudno mówić o ich podobieństwie. Kleikowanie skrobi kukurydzianej zachodzi w temperaturze od 60 do 70°C, nie powinno więc być w warzelni żadnych pod tym względem problemów. Wydajność ekstraktu z pozbawionej zarodków kukurydzy wynosi około 77do 78%, a w przeliczeniu na suchą substancję 88 do 90%.



Rys. 1.28. Skrobia kukurydziana (pow. 1000x)
(fot. VLB Berlin)

Przed wykorzystaniem w browarze ziarno kukurydzy pozbawia się na sucho zarodków, które wraz z łuską usuwane są na sitach i wialniach. Kukurydza może być przetworzona na następujące produkty:

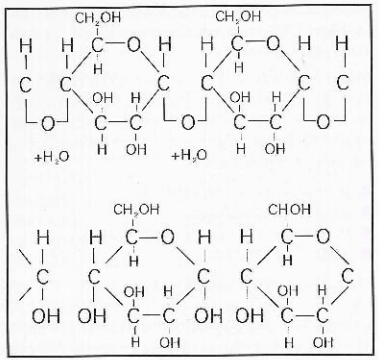
- grys kukurydziany (śruta),
- płatki kukurydziane,
- oczyszczony grysik kukurydziany,
- syrop kukurydziany.

Grys kukurydziany (śruta)
Grys kukurydziany jest produktem przemiału o stosunkowo grubej granulacji (0,3 do 1,5 mm). Można go dodatkowo bardziej rozdrobnić w browarze. Grys zmieszany z jedną czwartą zacieru słodowego doprowadza się do zagotowania w kotle zaciernym (rozdz. 3.2.4 i 3.5).

Płatki kukurydziane
Płatki otrzymuje się z lekko namoczonego grysu, który następnie jest rozgniatany i suszony na gorących walcach, przy czym następuje kleikowanie jego skrobi. Dzięki temu płatki można przerabiać w warzelni bez gotowania ich w kotle zaciernym.

Oczyszczony grysik kukurydziany
W osobnym zakładzie przetwórczym, w krochmalni, moczy się ziarno kukurydzy w ciągu 30 do 40 godzin w wodzie o temperaturze 50°C, z dodatkiem SO_2 dla zahamowania rozwoju mikroflory. Namoczone ziarno jest rozdrabniane w odpowiednim młynie, przy czym oddziela się zarodki. Następnie oddziela się skrobię od łuski i białka na specjalnych separatorach i przemywa ją kilkakrotnie przed wysuszeniem. Tak otrzymany grysik skrobiowy jest bardzo drobny (około 0,2 mm) i stanowi w zasadzie czystą skrobię. Do browaru jest transportowany w specjalnych pojemnikach i wymaga ostrożności z uwagi na niebezpieczeństwo wybuchu pyłu. W warzelni nie stwarza problemów i łatwo ulega rozpuszczeniu.

Syrop kukurydziany (syrop skrobiowy)
Oczyszczoną, mokrą skrobię kukurydzianą (*podobnie jak ziemniaczaną lub inną; przyp. tłum.*) można drogą hydrolizy przetworzyć w syrop skrobiowy.



Rys. 1.29

Hydroliza skrobi (wzór strukturalny łańcucha) (też rys. 3.25)

W syropiarstwie osiągnąć to można trzema różnymi metodami:

- przez hydrolizę kwasową,
- przez połączoną hydrolizę kwasową i enzymatyczną,
- przez hydrolizę wyłącznie enzymatyczną.

Jak wiemy (patrz rozdz. 1.1.4.1.1), skrobia składa się z długich łańcuchów reszt glukozowych. Pod wpływem kwasu, w wysokiej temperaturze, przy dołączeniu cząsteczki wody, wiązania między tymi resztami glukozy zostają przerwane (rys. 1.29) i powstaje uwolniony cukier prosty. To samo można uzyskać zastępując kwas częściowo lub całkowicie preparatami enzymatycznymi (patrz rozdz. 3.2.4.3.5). Roztwór po oczyszczeniu zagęszcza się do syropu. Syrop skrobiowy, obok glukozy i maltozy, zawiera zwykle pewną ilość dekstryn. Stopień scukrzenia zależy od warunków prowadzenia procesu i jest określany przez równoważnik glukozowy (DE = dextrose equivalent) danego syropu, który wyraża zawartość cukrów redukujących w przeliczeniu na glukozę. Syrop skrobiowy wysoko scukrzony metodą kwas-enzym wykazuje DE = 60-62, natomiast hydrolizaty otrzymywane przy produkcji glukozy krystalicznej metodą kwasowo-enzymatyczną lub tylko enzymatyczną, wykazują DE = 95%.

1.5.2 Ryż

Do produkcji piwa wykorzystuje się połówki ziaren, stanowiące odpad z łuszczarni ryżu. Wartość przerobowa połówek jest taka sama jak ziarna ryżu nie uszkodzonego; ucierpiał tylko ich wygląd i związana z nim wartość handlowa. Przeciętna wilgotność ziarna ryżu obłuszczonego wynosi 12 do 14%. Sucha substancja zawiera około:

85 do 90% skrobi
5 do 8% białka
0,2 do 1% tłuszczu

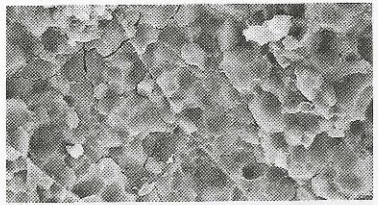
oraz niewielkie ilości błonnika i związków mineralnych.

Jak widać z powyższego, ryż jest surowcem bardzo bogatym w skrobię. Ziarenka skrobi ryżowej są bardzo drobne, o nieregularnych kształtach, często występują w postaci agregatów złożonych z wielu ziarenek pojedynczych (rys. 1.30).

Skrobia ryżowa mocno pęcznieje i kleikuje przy temperaturach od 70 do 85°C.

Niektóre odmiany ryżu, pochodzące z bardziej gorącego klimatu, wykazują tendencję do kleikowania w wyższych jeszcze temperaturach (80 do 85°C). Trzeba o tym pamiętać przy stosowaniu ryżu jako surowca (p. rozdz. 3.2.4.3.5).

Z niewielkich ilości białka, jakie zawiera ryż, mniej jeszcze ulega rozpuszczeniu podczas zacierania, tak że cały azot aminowy (FAN), potrzebny dla drożdży, musi pochodzić z zacieru słodowego.



Rys. 1.30. Skrobia ryżowa (pow. 1000x)
(fot. VLB Berlin)

Ryż może być:

- zmielony w browarze na grysik lub też dostarczony w tej postaci do browaru i po zmieszaniu z częścią zacieru słodowego ugotowany w kotle zaciernym;
- przerobiony na płatki ryżowe i w tej formie nabyty przez browar, co pozwala bez wstępnego gotowania stosować go jako dodatek do zacieru.

1.5.3 Jęczmień

Jako surowiec niesłodowany, można bez żadnych problemów dodawać jęczmień do zacieru słodowego w ilości 15 do 20% zasypu, w postaci:

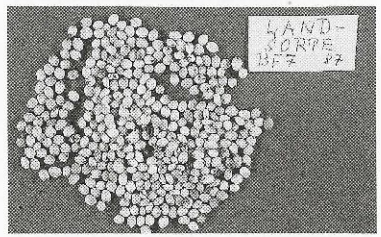
- śruty jęczmiennej albo
- płatków z obłuskanego lub nie obłuskanego ziarna.

Cena tego surowca w porównaniu ze słodem jest niska, ale taka sama jest również wydajność ekstraktu z niego. Ponadto mogą występować problemy związane z β-glukanem, który nie został rozpuszczony w procesie słodowania, bo go nie było, trafił w postaci wielkocząsteczkowej do zacieru, gdzie też brak warunków do jego hydrolizy i w efekcie może poważnie utrudnić filtrację piwa.

Syrop jęczmienny
Syrop jęczmienny można sporządzić w browarze samemu. W tym celu zeŝrutowane ziarno z dodatkiem odpowiednich preparatów enzymatycznych zaciera się osobno, stosując temperatury właściwe dla użytych enzymów. W tym wypadku ma miejsce nie tylko hydroliza skrobi, ale także rozkład enzymatyczny innych składników ziarna, jak białka, β-glukany itp. podobnie jak przy zacieraniu, tak że powstaje syrop zupełnie swym składem zbliżony do zacieru. Można go teraz zagęścić lub włączyć bezpośrednio do produkcji.

1.5.4 Sorgo

Sorgo jest zbożem uprawianym w subtropikalnych i tropikalnych regionach Afryki, Azji i Ameryki, jako jedna z podstaw wyżywienia ludności. Gatunkowo pokrewne mu proso, o podobnym, lecz drobniejszym ziarnie, uprawiane jest w Europie, głównie jako pasza dla drobiu.



Rys. 1.31 Ziarna sorgo
(fot. P. Seidl)

Jako ewentualny surowiec do produkcji piwa wchodzi w grę przede wszystkim sorgo o dużym ziarnie, którego istnieje wiele odmian, uprawianych najczęściej dla celów spożywczych (rys. 1.31).

W niektórych krajach afrykańskich zaczęto wykorzystywać sorgo jako surowiec miejscowy do produkcji słodu, aby wyeliminować kosztowny import, gdyż uprawa jęczmienia browarnego w klimacie tropikalnym się nie udaje. Potencjał enzymatyczny sorgo jest jednak znacznie mniejszy niż jęczmienia.

Ze względu na warunki klimatyczne, sprzyjające rozwojowi drobnoustrojów, jakie panują w krajach tropikalnych, trzeba pamiętać, że surowce pochodzące stamtąd mogą być mocno zainfekowane, przede wszystkim pleśniami. Hodowla i uprawa czystych odmian jest w krajach tej strefy jeszcze mało rozwinięta.

Zbiory są bardzo zróżnicowane, także pod względem jakości (131), a ze skromnej liczby dostępnych źródeł trudno wyciągnąć miarodajne wnioski. Za przybliżony skład chemiczny s.s. ziarna sorgo można przyjąć następujące dane:

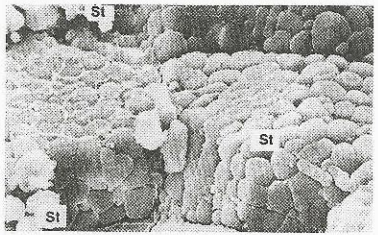
białko 10 do 12,6%
tłuszcz 2 do 3%
skrobia 62 do 67%

reszta to błonnik, związki mineralne i inne. Ziarenka skrobiowe są mocno osadzone w twardej strukturze bielma (rys. 1.32).

1.5.5 Pszenica

Pszenica rzadko znajduje zastosowanie jako surowiec niesłodowany; znacznie częściej w postaci słodu pszenicznego, zwłaszcza do produkcji piw specjalnych górnej fermentacji, gdzie może stanowić nawet 50 do 60% zasypu. Ze względu na wysoką wydajność ekstraktu bardziej cenione są odmiany ozime, które także są uboższe w białko i dają piwa o jaśniejszej, pożądanej barwie.

Białkiem charakterystycznym dla pszenicy jest gluten, który może stanowić nawet do 80% związków azotowych tego zboża. Pszenice wysokoglutenowe są trudne do przerobu na słód, a poza tym poszukiwane do innych celów i dlatego droższe od bogatych w skrobię, bardziej interesujących dla browaru.
Przydatność w browarze innych zbóż, jak pszenżyto (Triticale) itp. omówiona jest w rozdziale 2.9.10.



Rys. 1.32. Szkliste bielmo sorga (pow. 600x)
(fot. A.D. Aisien, Lagos)

1.5.6 Karmel spożywczy (barwiący)

Karmel spożywczy stosowany jest do barwienia piw ciemnych. Produkt ten otrzymuje się przez ogrzewanie wysoko scukrzonego syropu skrobiowego w środowisku alkalicznym, w wyniku czego powstają mocno zabarwione, ciemne produkty rozkładu cukrów.
Karmel spożywczy można dodawać do brzeczki lub piwa, aby uzyskać pożądaną barwę produktu (patrz rozdz. 2.9.11). Nie wpływa on hamująco na fermentację i nie powoduje zmętnień piwa. W Niemczech zamiast karmelu, którego użycie jest zabronione, stosuje się w tym celu słód barwiący (patrz rozdz. 2.9.6).

1.5.7 Cukier

Cukier biały przemysłowy (sacharoza) znajduje zastosowanie w browarnictwie jako surowiec, którym można zastąpić część słodu, w krajach gdzie nie jest to prawnie zabronione. Spośród właściwości cukru na pierwszym miejscu trzeba wymienić jego dobrą rozpuszczalność. Już przy 20°C w 100 gramach wody rozpuszcza się 204 gramy cukru.

W przemyśle, ze względu na wygodę manipulacji, często zamiast cukru stosuje się syrop cukrowy, zwany też cukrem w płynie. Jest to stężony roztwór sacharozy o gęstości powyżej 67°Bx, czyli zawierający ponad 67% wag. cukru. Taki roztwór cukru dzięki wysokiemu ciśnieniu osmotycznemu jest zabezpieczony przed rozwojem drobnoustrojów i praktycznie trwały, jeśli jego stężenie jest nie mniejsze niż 65% wagowych sacharozy. Przewozi się go cysternami lub w beczkach i dozuje w browarze według wagi lub objętości, przy zastosowaniu odpowiednich pomp i precyzyjnych przepływomierzy.

Stosując dodatek cukru w warzelni trzeba pamiętać, że nie wnosi on żadnych związków azotowych i innych, wykorzystywanych przez drożdże, co zubaża brzeczkę jako środowisko dla ich rozwoju i wzrostu. Dodatek cukru jest tylko wówczas interesujący, kiedy istnieje źródło taniego zakupu. W innych wypadkach dodatek zboża może okazać się ekonomicznie ciekawszy.

Cukier karmelizowany (brunatny)
Cukier brunatny uzyskuje się przez prażenie cukru lub ogrzewanie syropu cukrowego przy odpowiednim pH, za pomocą którego można regulować przebieg procesu w kierunku mocniejszej barwy lub aromatu.
Przy ogrzewaniu syropu z sacharozy w środowisku zbuforowanym powstają liczne składniki aromatu (dihydrofuranon, cyklopentenolon i in.), które w cukrze brunatnym są pożądane. W handlu cukier brunatny występuje pod postacią syropu lub kryształu.

2 Produkcja słodu

Piwa bez słodu zrobić nie można. Dlatego produkcja słodu jest pierwszym krokiem do wytworzenia piwa. Typowym surowcem na słód piwowarski jest jęczmień. Wprawdzie można słodować i inne zboża, jak pszenica, żyto, a nawet proso i sorgo, ale słód jęczmienny z różnych względów przyjął się i utrwalił historycznie jako najodpowiedniejszy do produkcji piwa. Jeśli dalej będzie mowa o słodzie, to zasadniczo rozumie się pod tą nazwą słód jęczmienny.

Do wyprodukowania jednego hektolitra piwa o ekstrakcie brzeczki podstawowej 11% potrzeba około 17 kg słodu.

W niektórych krajach, ze względów ekonomicznych, zastępuje się przy produkcji piwa część słodu zbożami niesłodowanymi. Obniża się w ten sposób zapotrzebowanie na drogi słód. Porównując produkcję piwa w różnych częściach świata i wynikające stąd zapotrzebowanie na jęczmień i słód z jednej strony, a z drugiej – produkcję jęczmienia browarnego w tych regionach, obserwuje się poważne różnice (125):

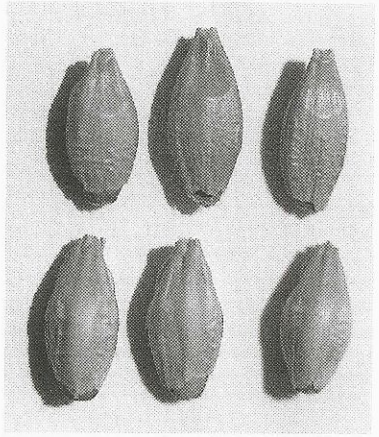
Z poniższego zestawienia widać, jak wielkie są rozbieżności między produkcją jęczmienia a jego zapotrzebowaniem do produkcji słodu w poszczególnych regionach świata. Dostatek jęczmienia browarnego i duże zdolności produkcyjne słodowni czynią z Europy i Australii największych w świecie eksporterów słodu. Dalsze miejsca na liście eksporterów tego surowca zajmują Kanada i Turcja.
Duże ilości jęczmienia i słodu eksportowane są do Ameryki Południowej i do Afryki, a w szczególności na Daleki Wschód, gdzie przemysł piwowarski mocno się rozwija. Wielkość tych obrotów handlowych jest oczywiście zmienna z roku na rok, zależnie od plonów uwarunkowanych przebiegiem pogody, od wahań jakości i sytuacji cenowej na rynkach światowych.
Produkcja słodu z jęczmienia, czyli słodowanie, odbywa się w dzisiejszych czasach niemal wyłącznie w wielkich słodowniach zaopatrujących rynek, podczas gdy dawniej większość browarów wytwarzała swój własny słód przy pomocy tych samych ludzi, którzy byli wówczas istotnie „piwowarami i słodownikami".

Region	Produkcja piwa	Zapotrzebowanie ogółem	Produkcja jęczmienia ogółem	browarny
	mln hl	mln t słodu	mln t	mln t
Ameryka				
Północna i Środkowa	317	3,8	22,3	5,5
Ameryka Południowa	115	1,4	1,1	0,3
Europa				
(bez Rosji)	381	4,6	68,0	10,2
Rosja i Wsp. NP	50	0,6	47,9	1,4
Azja				
Bliski Wschód	8	0,1	13,4	0,4
(bez Chin)	120	1,4	3,0	0,1
Azja Chiny	120	1,4	2,3	0,1
Oceania				
Australia	18	0,2	4,7	1,2
Nowa Zelandia	5	0,1	0,4	0,1
Afryka	53	0,6	5,3	0,2
Świat razem	1.187	14,2	168,4	19,6

Celem słodowania jest wytworzenie enzymów oraz dokonanie określonych przemian w substancjach zawartych w ziarnie jęczmienia. Aby ten cel osiągnąć, wywołuje się kiełkowanie jęczmienia, a następnie, w wybranym momencie, przerywa się proces kiełkowania. Otrzymany słód wygląda niemal tak samo jak jęczmień, z którego powstał (rys. 2.1).

Jęczmień przeznaczony do produkcji słodu jest czyszczony, sortowany i gromadzony w wielkich silosach, gdzie spoczywa do czasu przetworzenia.

Podczas moczenia jęczmień pobiera ilość wody niezbędną dla rozpoczęcia kiełkowania, które przebiega następnie w wielkich skrzyniach. Kiełkowanie zostaje w końcu przerwane przez suszenie w wysokiej temperaturze. Gotowy słód zostaje zmagazynowany i czeka w silosach na nabywcę.



Rys. 2.1
Ziarna jęczmienia i słodu. Na czym polega różnica między nimi?

2.1 Przyjmowanie, czyszczenie, sortowanie i przesyłanie jęczmienia

Jęczmień zostaje dostarczony do słodowni. Dostawa coraz częściej opiera się na kontraktach z rolnikami, którzy w tym celu uprawiają określone odmiany jęczmienia. Czystość odmianowa jest podstawą wyrównanej jakości. Dostarczony jęczmień jest z reguły wstępnie czyszczony i magazynowany (rys. 2.2).
Później następuje właściwe czyszczenie (przygotowanie do słodowania), którego zadania są następujące:

- **usunięcie zanieczyszczeń nieużytecznych,**
- **usunięcie domieszek,** jak np. nasiona chwastów, które pogarszają jakość słodu i podwyższają jego wilgotność,
- **posortowanie jęczmienia dla uzyskania wyrównanej wielkości ziarna.**

Celowi temu służą urządzenia czyszczalni i sortowni jęczmienia.
Słodownia wyposażona jest w szereg urządzeń transportujących do przesyłania ziarna. Przy każdej operacji z suchym ziarnem i każdej maszynie czyszczącej powstaje dużo kurzu, niezbędne są więc także urządzenia odpylające.

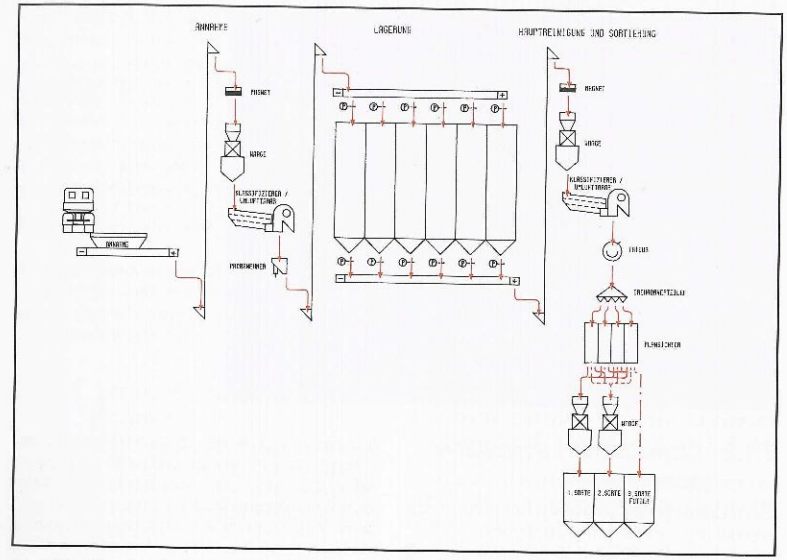
2.1.1 Przyjmowanie jęczmienia

Dostawa jęczmienia może odbywać się transportem drogowym, kolejowym lub wodnym (rzecznym albo morskim).

2.1.1.1 Przyjmowanie jęczmienia z transportu drogowego lub kolejowego

Jęczmień może być dostarczany w workach lub luzem.

Przy transporcie wagonowym jęczmienia luzem praktykuje się zwykle opróżnianie wagonów za pomocą szufli mechanicznej. Większe dostawy mogą być transportowane za pomocą specjalnych wagonów-cystern (silosów), o pojemności do 64 t, które opróżniają się samoczynnie (rys. 2.3).



Rys. 2.2. Urządzenia do czyszczenia i sortowania jęczmienia

Wielkość kosza zsypowego i wydajność urządzeń do przyjmowania zboża w tonach na godzinę zależy od wielkości słodowni.

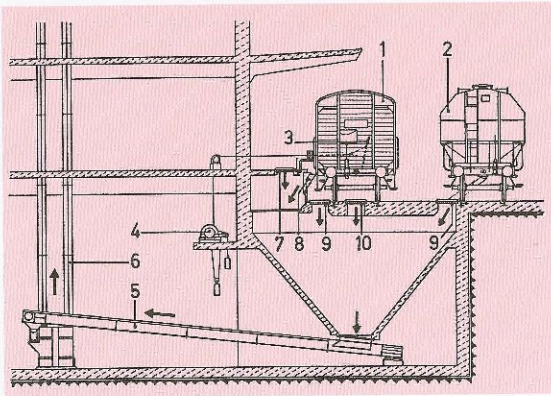
Jeśli dostawa odbywa się ciężarówkami, trzeba zapewnić jak najszybsze ich opróżnianie.

Boczne ściany kosza zsypowego muszą być tak strome, aby ziarno się na nich nie zatrzymywało. Sito osłaniające kosz zatrzymuje grube ciała obce i zapobiega uszkodzeniu przez nie dalszych urządzeń. Przy rozładunku powstaje kurz, który trzeba usuwać.

2.1.1.2 Przyjmowanie jęczmienia ze statków

Nowoczesne słodownie chętnie budują się obecnie przy drogach wodnych, aby korzystać z dogodnego i taniego środka transportu, jakim jest statek, zarówno do przywozu jęczmienia do przerobu na słód, jak i do wywozu słodu tą samą drogą.

Do transportu wodnego śródlądowego służą barki. Najlepiej jeśli nabrzeże portowe znajduje się przy samej słodowni, gdzie barki można rozładować urządzeniem ssącym. Wydajność pracy takich przenośników wynosi 50 t/h i więcej (rys. 2.4).
Statki bywają też często rozładowywane przenośnikami mechanicznymi. Na statkach żeglugi śródlądowej stosuje się tańsze w eksploatacji przenośniki zgarniakowe; statki morskie wyposaża się w specjalne przenośniki do zboża (np. kubełkowe lub taśmowe).
Dostarczony jęczmień kieruje się do silosu przyjęciowego, pobierając przy tym średnią próbkę do zbadania w laboratorium słodowni. Zaleca się przeprowadzanie szybkich testów kontrolnych przed rozładunkiem jęczmienia, aby uniknąć późniejszych niespodzianek. Przed wstępnym czyszczeniem jęczmień powinien być zważony. Wyniki ważenia są zapisywane w książce kontroli wagi lub rejestrowane przez komputer.



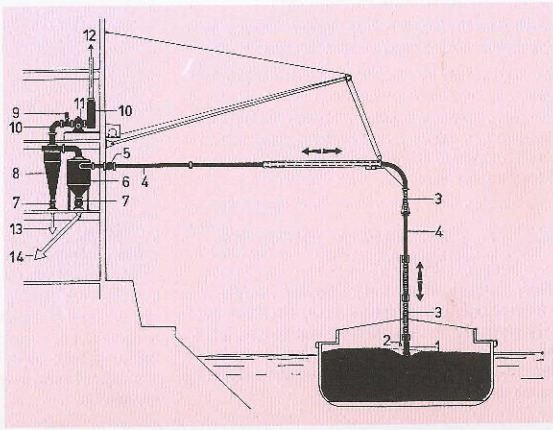
Rys. 2.3. Przyjmowanie jęczmienia z wagonów lub ciężarówek.
(1) wagon z płaską podłogą,
(2) wagon-silos z dnem stożkowym,
(3+4) szufla rozładunkowa i jej mechanizm,
(5) przenośnik taśmowy,
(6) przenośnik kubełkowy,
(7) krata do opróżniania worków,
(8) miejsce do opróżniania worków obok zsypu (osłony boczne i dolne zapobiegające rozsypywaniu ziarna).

2.1.2 Czyszczenie i sortowanie jęczmienia

Czyszczenie polega na usunięciu z partii zboża wszystkiego, co nie jest jęczmieniem.

Do zanieczyszczeń zalicza się np.: **kawałki słomy, sznurki, kawałki drewna, śrubki, druciki, kamyki, ziarna obce, połówki ziaren** itp.

Jest rzeczą oczywistą, że wszystkich tych zanieczyszczeń nie da się oddzielić za pomocą jednej maszyny. Toteż urządzenia czyszczalni jęczmienia obejmują cały szereg maszyn i aparatów połączonych we właściwej kolejności. Maszyny te w ostatnich latach ulegały szybkiej modernizacji, skutkiem czego w czyszczalniach jęczmienia różnych słodowni spotyka się wielką ich różnorodność.



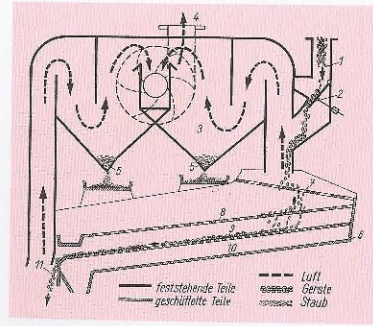
Rys. 2.4. rozładunek jęczmienia ze statku
(1) podajnik ssący z regulacją,
(2) ustawianie wysokości podajnika,
(3) elastyczna rura ssąca,
(4) sztywny odcinek rury ssącej,
(5) przegub umożliwiający poziome i pionowe zmiany pozycji,
(6) oddzielacz ziarna,
(7) śluza powietrzna,
(8) cyklon,
(9) zawór,
(10) tłumik hałasu,
(11) dmuchawa (pompa) ssąca,
(12) wylot powietrza,
(13) przewód odprowadzający kurz i zanieczyszczenia,
(14) wylot ziarna jęczmienia

Czyszczenie jęczmienia obejmuje następujące etapy:

- oddzielanie grubych zanieczyszczeń,
- usuwanie ziaren obcych,
- oddzielanie kawałków żelaza (gwoździ, śrub itp.),
- usuwanie plew, jeśli to potrzebne,
- usuwanie piasku, kamieni i kurzu,
- oddzielanie połówek i okrągłych nasion chwastów,
- sortowanie ziarna według grubości, w celu osobnego przerabiania,
- określanie masy przyjmowanej partii i oczyszczonego ziarna (ważenie).

2.1.2.1 Wstępne czyszczenie jęczmienia

Do wstępnego czyszczenia jęczmienia służą urządzenia mechaniczne (aspirator, przesiewacz i wialnia oraz sortowniki bębnowe). Po wstępnym oczyszczeniu jęczmień jest gotowy do magazynowania.



Rys. 2.5

Aspiracyjne czyszczenie wstępne (starego typu)
(1) wlot jęczmienia, (2) regulator wlotu, (3) komory odkurzania, (4) wyciąg odkurzający, (5) odbiór cięższych zanieczyszczeń, (6) zestaw sit napędzanych mimośrodem, (7) krótkie sito grube, (8) długie sito ziarna celnego, (9) sito odpiaszczające, (10) blacha odprowadzająca piasek, (11) wlot jęczmienia

W trakcie wstępnego czyszczenia pierwszym urządzeniem, przez które przechodzi jęczmień, jest przesiewacz albo aspirator. Wstępne czyszczenie jęczmienia polega tu na dwóch procesach:

- ***oddzielaniu na sitach grubych zanieczyszczeń, takich jak sznurki, kawałki drewna itp. oraz zanieczyszczeń drobnych, jak piasek i pył z łusek,***
- ***aspiracji, czyli wyssaniu z powietrzem kurzu i lekkich zanieczyszczeń.***

Na rys. 2.5 pokazano stary typ aspiratora, gdzie dobrze widać zasadę działania urządzenia. Powietrze z kurzem jest zasysane (3 i 4). Wewnątrz urządzenia szybkość przepływu powietrza maleje wskutek zwiększenia średnicy kanału i porwane z nim lekkie zanieczyszczenia osiadają na dnie komór (3), skąd są usuwane i rozdzielane na grubsze i drobniejsze za pomocą sit wstrząsanych, znajdujących się w dolnej części maszyny.
Nowoczesne urządzenia aspiracyjne pracują podobnie, ale z podziałem zadań maszyny na dwie funkcje:

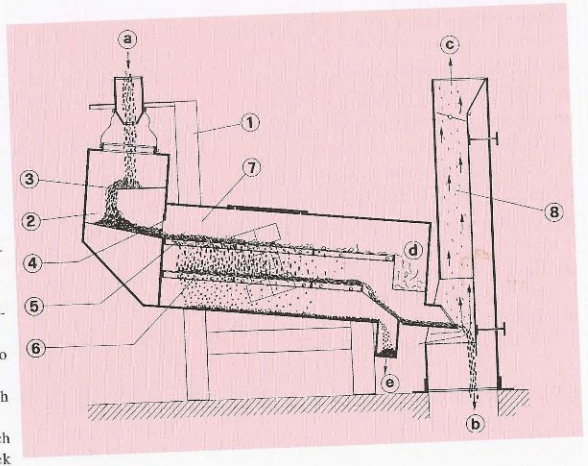
do odsiewania grubszych i drobniejszych cząstek służy zestaw sit wstrząsanych;

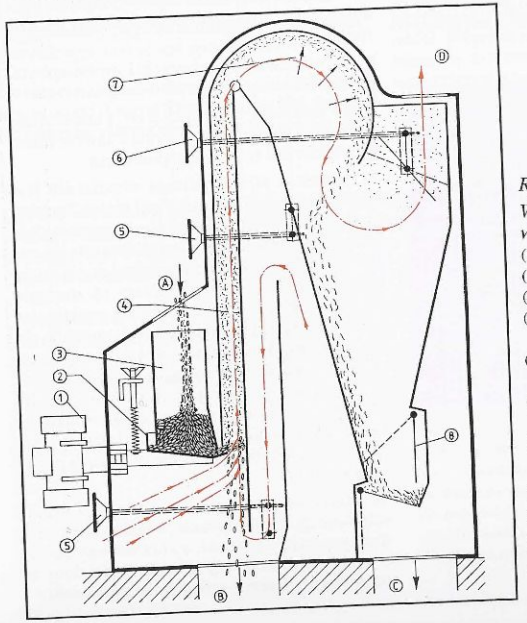
do usuwania lekkich cząstek i kurzu służy osobna komora ekspansyjna z zawracaniem większości zasysanego powietrza.

Przykładem nowoczesnego urządzenia jest wialnia aspiracyjna „Classifier" (firmy Buchler, Braunschweig), przedstawiona na rysunku 2.6. Jak wszystkie wialnie, ma ona dwa sita do oddzielania grubszych i drobniejszych od zboża zanieczyszczeń, ale jej wymiary są znacznie większe i budowane są wersje o wydajności do 24 t/h. Napęd sit wstrząsanych znajduje się w środku ciężkości maszyny, a zapewniają go dwa silniki o niezrównoważonej masie wywołujące wibrację obracając się w sposób zsynchronizowany w przeciwnych kierunkach. Dzięki takiemu układowi, boczne impulsy anulują się wzajemnie i pozostaje tylko ruch posuwisto-zwrotny.

W kanale aspiracyjnym, ze strumienia ziarna schodzącego z sit, zasysane są lekkie części zanieczyszczające produkt, a kurz zassany razem z nimi zostaje w dalszym etapie oddzielony w centralnym systemie odkurzania tego działu.

Rys. 2.6
Wialnia „Classifier"
(1) rama,
(2) kosz zasypowy do ziarna,
(3) rozdzielacz strumienia ziarna,
(4) listwa rozdzielająca,
(5) sito główne,
(6) sito piaskowe,
(7) komora sit,
(8) kanał wyciągowy (aspiracyjny) powietrza:
a) wlot jęczmienia,
b) wylot oczyszczonego jęczmienia,
c) odlot powietrza z kurzem do cyklonu,
d) odprowadzenie grubych zanieczyszczeń,
e) odprowadzenie drobnych zanieczyszczeń (piasek itp.)





Rys. 2.7
Wialnia o zamkniętym obiegu powietrza
(1) silnik z mimośrodowym obciążeniem,
(2) dno zasobnika z regulacją położenia,
(3) skrzynia zasobnika,
(4) przesuwalna ściana kanału powietrznego,
(5) urządzenia do przesuwania ścian kanału powietrznego,
(6) urządzenie do regulowania przepływu powietrza,
(7) komora rozprężania i spowolniania przepływu powietrza,
(8) urządzenie samowyładowcze:
A) wlot nie oczyszczonego jęczmienia,
B) wylot oczyszczonego jęczmienia,
C) wylot ciężkich zanieczyszczeń,
D) odpływ powietrza z lekkimi zanieczyszczeniami do cyklonu

Aby zmniejszyć zapylenie powietrza wokół maszyn czyszczalni, instaluje się teraz wialnie o obiegu powietrza w systemie zamkniętym. Wialnia jest urządzeniem, którego zadanie polega na usuwaniu lekkich cząstek ze strumienia ziarna (rys. 2.7). Dzięki pracy silnika z mimośrodowym obciążeniem (1), dno pojemnika z ziarnem jest co chwila lekko otwierane i przepuszcza równomierny, dający się regulować strumień jęczmienia, krzyżujący się ze strumieniem powietrza, porywającego lekkie zanieczyszczenia do góry, podczas gdy ziarno opada na dół. Strumień wprowadzanego powietrza może być regulowany (5). W górnej części wialni kanał powietrzny rozszerza się, wskutek czego następuje zmniejszenie szybkości przepływu powietrza i lekkie zanieczyszczenia opadają na dno komory, skąd są usuwane przez zawór samowyładowczy (8).

Powietrze odlotowe, po przejściu przez cyklon pozbawione kurzu, wraca kanałem powietrza zwrotnego do wialni i zostaje ponownie użyte w obiegu czyszczenia ziarna. Około 10% powietrza odlotowego zostaje zassane z centralnego systemu, tak aby przy wlocie ziarna występowało pewne podciśnienie, dzięki czemu wialnia pracuje bez wydzielania kurzu.

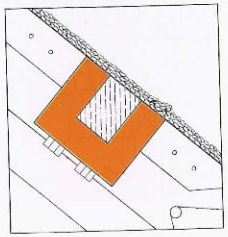
2.1.2.2 Urządzenie magnetyczne

Tę maszynę umieszcza się na samym początku ciągu produkcyjnego, aby przedostające się kawałki żelaza nie mogły uszkodzić dalszych urządzeń. Szkody i straty mogą powstać przez:

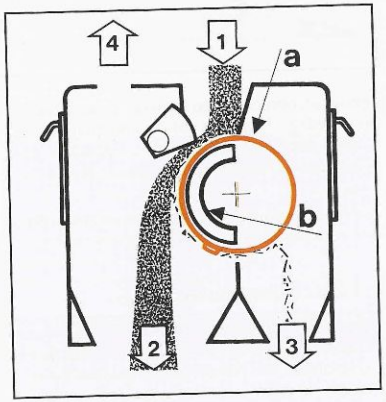
- blokowanie obracających się części maszyn i tarcie aż do rozgrzania do czerwoności;
- iskrzenie w szybko pracujących maszynach, co stwarza niebezpieczeństwo wybuchów pyłu i pożarów;
- uszkodzenia maszyn.

Instalowane obecnie w przemyśle oddzielacze zanieczyszczeń ferromagnetycznych wyposażane są niemal wyłącznie w magnesy twarde, które, dzięki dzisiejszym osiągnięciom w dziedzinie produkcji specjalnych stopów, zachowują swoje właściwości magnetyczne niemal nieograniczenie.

Magnesy twarde wbudowuje się w pochyłą płaszczyznę (rys. 2.8), po której na całej szerokości ześlizguje się ziarno. Kawałki żelaza zatrzymane przez magnes muszą być regularnie usuwane z jego powierzchni. Jeśli się to zaniedbuje, strumień ziarna będzie je porywał dalej i ten etap czyszczenia straci swój sens.

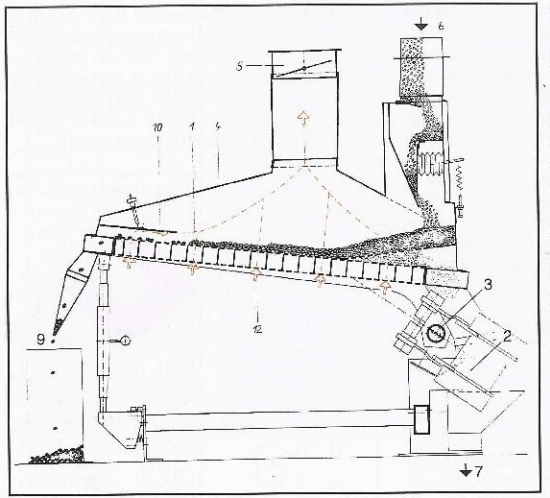


Rys. 2.8
Magnes twardy w nieruchomej płaszczyźnie pochyłej



Rys. 2.9
Bębnowy oddzielacz magnetyczny z automatycznym usuwaniem części żelaznych
(1) wlot jęczmienia, (2) wylot jęczmienia, (3) części żelazne, (4) połączenie z układem odkurzającym: a) obracający się bęben, b) magnes

Inne rozwiązanie stanowią bębnowe oddzielacze magnetyczne z automatycznym usuwaniem zatrzymanych części żelaznych (rys. 2.9). kawałki żelaza zatrzymywane są na powierzchni



Rys. 2.10
Odkamieniacz
(1) pochyła płaszczyzna robocza,
(2) napęd silnikiem o mimośrodowym obciążeniu,
(3) kierunek działania silnika,
(4) pokrywa maszyny,
(5) przewód zasysający powietrze z dławikiem motylkowym do regulacji,
(6) wlot jęczmienia,
(7) wylot jęczmienia,
(8) kamyki,
(9) wylot kamyków,
(10) koniec strefy oddziclania,
(11) jęczmień,
(12) dopływ powietrza

bębna (a), obracającego się wokół nieruchomego twardego magnesu (b) dopóki znajdują się w jego polu magnetycznym, a odpadają, gdy tylko obrót wyniesie je poza rejon działania tego pola.

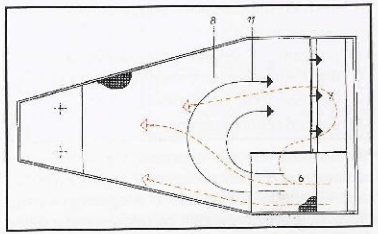
Dalej wymienione maszyny i urządzenia wchodzą w skład głównej czyszczalni jęczmienia.

2.1.2.3 Odkamieniacz

Oddzielacz magnetyczny usuwa kawałki żelaza, ale pozostają kamienie o wymiarach zbliżonych do ziarna, które przypadkowo mogły do partii jęczmienia trafić. Usuwanie ich jest zadaniem ***odkamieniacza*** (rys. 2.10 i 2.10a).

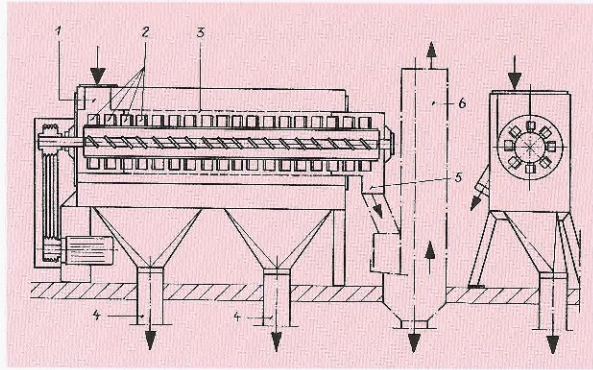
Przez wsyp (6) jęczmień trafia na pochyłą płaszczyznę roboczą z drucianej plecionki (1), która za pomocą silnika o obciążeniu mimośrodowym (2) wprawiana jest w ruch wibrujący. Wynikiem tego jest działanie przesuwające ziarno, skierowane ku górze. Wszystko co leży na drucianej plecionce, transportowane jest tym ruchem ku górze. Równomierny, skierowany od dołu strumień powietrza unosi nieco ziarna jęczmienia, które spływają na tej poduszce powietrznej po pochyłej płaszczyźnie ku dołowi, podczas gdy kamyczki, jako cięższe, przesuwane są przez wstrząsy sita dalej ku górze, aż do wylotu (9), przez który usuwane są na zewnątrz.

Odkamieniacze rzadko instalowane są w słodowniach, gdyż drobne kamyki nie utrudniają procesu produkcji słodu. Natomiast coraz częściej spotyka się je w browarach, gdzie zainstalowane przed śrutownikami do słodu przyczyniają się do ochrony ich walców przed uszkodzeniem i wcześniejszym zużyciem.



Rys. 2.10a
Kierunek ruchu jęczmienia na sicie rozdzielającym

Rys. 2.11
Łuszczarka z kanałem aspiracyjnym
(1) wlot jęczmienia,
(2) bijaki (cepy),
(3) płaszcz perforowany,
(4) wylot z płaszcza,
(5) wylot jęczmienia,
(6) zasysanie kurzu



2.1.2.4 Łuszczarka cepowa

Jęczmień w zasadzie powinien być pozbawiony ości podczas młocki, gdyż łuszczarka („żubrownik") wchodzi w skład większości maszyn młócących. Takie urządzenie nie powinno zatem być potrzebne w słodowni. Mogą jednak wśród dostaw trafiać się partie jęczmienia, które nie zostały w wystarczającym stopniu poddane temu zabiegowi. W tych warunkach przyjmowany jęczmień musi być w słodowni kierowany na łuszczarkę (rys. 2.11).

Obecnie łuszczarkę, jeśli w ogóle bywa instalowana, traktuje się jako maszynę polerującą. Najczęściej składa się ona z cylindra poziomego z blachy dziurkowanej, otoczonego blaszanym płaszczem, i z wirnika z kilkoma listwami (tzw. cepami), które obracając się uderzają w ziarna jęczmienia i odrzucają je na powierzchnię bębna.

Obracające się listwy przesuwają jednocześnie masę ziarna w kierunku wylotu. Ziarna ocierają się intensywnie jedne o drugie, przez co nie tylko obłamują się pozostałe resztki ości, ale także części plewek, które są albo odsiewane przez otworki bębna, albo też zasysane wraz z kurzem.

W nowoczesnych maszynach polerujących efekt ścierania powierzchni ziarna wzmocniony zostaje przez zastosowanie ruchomego bębna, obracającego się w kierunku przeciwnym do obrotów wirnika, lub też przez zainstalowanie na przemian nieruchomych i obracających się bijaków (rys. 2.11;a).

Część zanieczyszczeń po tym zabiegu może pozostać w masie ziarna i dlatego celowe jest instalowanie łuszczarki przed wialnią w taki sposób, aby można ją było włączać tylko w razie potrzeby.

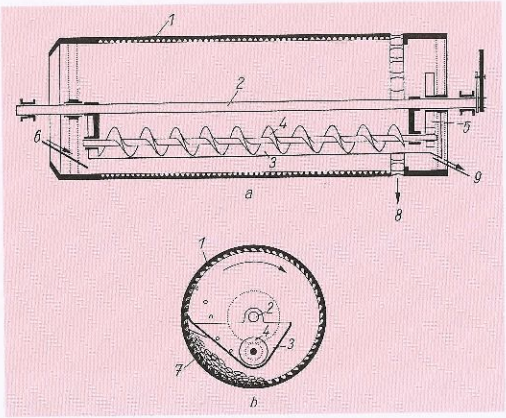
2.1.2.5 Tryjer

Jęczmień zawiera zawsze niewielkie domieszki kulistych nasion chwastów i połówki ziaren. Nasiona chwastów pogarszają jakość słodu, a połówki ziaren pleśnieją podczas słodowania. Jedne i drugie trzeba z jęczmienia usunąć. Czyszczenie wstępne ich nie eliminuje, bo mają masę właściwą i średnicę taką jak ziarno jęczmienia. Do usuwania tych zanieczyszczeń stosuje się tryjery.

Tryjer usuwa połówki ziaren i kuliste nasiona chwastów, których obecność pogarsza jakość słodu.

Tryjer składa się z leżącego stalowego cylindra, którego średnica może wynosić od 40 do 70 cm, a długość od 1 do 3 metrów, koryta zbiorczego ze ślimakiem, zespołu napędowego oraz głowic wlotowych i wylotowych. Na wewnętrznej powierzchni cylindra są wytłaczane gniazdka, których średnica może być różna – zależnie od przeznaczenia maszyny. W tryjerach do jęczmienia stosuje się gniazdka o średnicy 6,5 mm.

Jęczmień wprowadza się do cylindra obracającego się z szybkością od 20 do 50 obrotów na



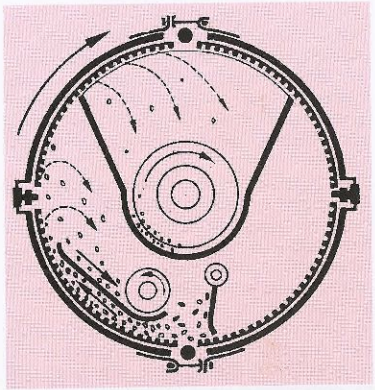
Rys. 2.12
Sortownik gniazdkowy (tryjer)
a) przekrój podłużny,
b) przekrój poprzeczny,
(1) płaszcz cylindra roboczego,
(2) oś główna,
(3) koryto odbierające połówki ziaren,
(4) ślimak (przenośnik ślimakowy),
(5) napęd ślimaka,
(6) wlot jęczmienia,
(7) nerkowaty przekrój warstwy jęczmienia,
(8) wylot jęczmienia,
(9) wylot połówek ziaren i nasion kulistych

minutę. Ziarna jęczmienia są unoszone przez ścianę cylindra do pewnej wysokości, ale nie mieszcząc się w gniazdkach wypadają z nich stosunkowo wcześnie. Proces ten wielokrotnie się powtarza, podczas gdy jęczmień powoli przemieszcza się w kierunku pochylenia osi cylindra i jest przy jego końcu odbierany (rys. 2.12).

Kuliste nasiona i połówki ziaren, mieszczące się całkowicie w gniazdkach, nie wypadają z nich tak wcześnie jak całe ziarna jęczmienia i są przenoszone wyżej, skąd wpadają do koryta zbiorczego, którego ślimak wygarnia je na zewnątrz. Stopień rozdzielania materiału na obydwie frakcje może być regulowany nie tylko zamówioną wielkością gniazdek cylindra, ale także ustawieniem wysokości krawędzi koryta zbiorczego oraz zmianą szybkości obrotów cylindra.

W tym celu ustawienie krawędzi koryta może być regulowane z zewnątrz. Zdarza się czasami, że krótkie, pękate ziarna jęczmienia trafiają do korytka razem z połówkami, co oznacza stratę dobrego ziarna. Z drugiej strony – nie jest wykluczone, że część połówek pozostanie w głównej masie ziarna, co może obniżyć jakość słodu. Aby temu zapobiec, za głównym cylindrem tryjera ustawia się w niektórych słodowniach następny lub nawet kilka szeregowo, aby uzyskać pożądany efekt całkowitego oczyszczenia surowca.

Duże, wysoko sprawne tryjery często bywają wyposażone w wymienialne segmenty cylindra roboczego. Spotyka się w nich także wbudowane elementy, których zadaniem jest zapobieganie rozwarstwianiu się masy jęczmienia w cylindrze na składniki cięższe i lżejsze, gdyż zjawisko takie obniża wydajność maszyny (rys. 2.13). Obecnie buduje się tryjery o wydajności do 15 t/h.



Rys. 2.13
Wysokosprawny tryjer z wymienialnymi segmentami cylindra roboczego

2.1.2.6 Sortowanie jęczmienia

2.1.2.6.1 Zasady sortowania

W toku czyszczenia, jaki dotychczas został opisany, usunięto z jęczmienia grube i drobne domieszki, kurz, kawałki żelaza oraz nasiona kuliste i połówki ziaren. Pomijając drobne domieszki ziarna innych zbóż, jęczmień jako surowiec do produkcji słodu składa się z ziaren tego gatunku, które jednak mogą być różnej wielkości.

Podczas moczenia małe ziarna pobierają wodę szybciej niż duże, co prowadzi do nierównomiernego kiełkowania słodu, jeśli się ich wcześniej nie oddzieli. Aby tego dokonać, sortuje się jęczmień przez sita o szerokości otworów 2,2 i 2,5 mm na frakcje o równej grubości ziaren, co pozwala uzyskać równomiernie wyrośnięty słód.

Różnica w szybkości pobierania wody przez duże i małe ziarna jęczmienia jest istotna tylko w początkowym okresie moczenia, a później stopniowo maleje. W tej sytuacji słodownie coraz częściej rezygnują z sortowania jęczmienia przed moczeniem i przyjmują do przerobu wszystko, co nie przechodzi przez sito 2,2 mm. Niekiedy natomiast stosowane jest sortowanie gotowego słodu. W każdym razie o wiele ważniejsza od grubości ziarna jest czystość odmianowa przetwarzanej partii jęczmienia.

Po przesortowaniu na dwóch wyżej wspomnianych sitach jęczmień zostaje podzielony na trzy frakcje:

Frakcja 1, I gatunek, czyli ziarno pełne
Pod tym określeniem rozumie się tę część ziarna jęczmienia, która pozostaje na sicie o prześwitach 2,5 mm. Jęczmień pełny składa się z największych i najbardziej pękatych ziaren, z których można oczekiwać uzyskania słodu o najwyższej ekstraktywności, toteż jest to frakcja najbardziej pożądana dla celów piwowarskich. Udział tej frakcji w partii jęczmienia powinien być jak najwyższy. W handlowej ocenie jęczmienia browarnego jest to ważny parametr, na którym w pewnej części opiera się klasyfikacja.

Frakcja 2, II gatunek, czyli jęczmień przemysłowy
Pod tym określeniem rozumie się tę część ziarna jęczmienia, która przechodzi przez sito 2,5 mm, ale pozostaje na sicie 2,2 mm. Udział tej frakcji w partii jęczmienia powinien być możliwie mały. Drugi gatunek słoduje się osobno.

Poślad
Wszystko co przechodzi przez sito 2,2 mm, nazywamy pośladem. W jego skład wchodzą płaskie, źle uformowane ziarna, które do produkcji słodu się nie nadają, mogą natomiast z powodzeniem być wykorzystane jako pasza. Udział pośladu w jęczmieniu nie powinien przekraczać 2,5%, ale umowa między dostawcą a odbiorcą może dopuszczać wyższą jego zawartość. Ilość pośladu w jęczmieniu jest zmienna i zależy od roku zbioru.

W zależności od kształtu części roboczych maszyny, rozróżniamy sortowniki cylindryczne i płaskie.

2.1.2.6.2 Sortownik cylindryczny

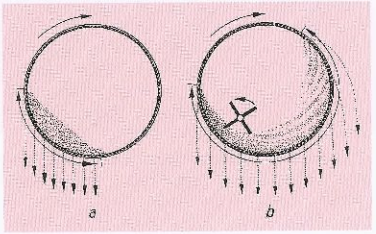
Sortownik cylindryczny ma budowę lekko nachylonego cylindra z blaszanych ram stalowych, obracającego się wokół swej osi. Ma on średnicę około 0,6 m i długość 2 do 3 m. Do ram przymocowane są sita z perforowanej blachy o otworach długości około 25 mm. Szerokość otworów sit w pierwszej części cylindra sortownika wynosi 2,2 mm, a druga połowa cylindra ma sita o otworach szerokości 2,5 mm. W sortownikach o dużej wydajności instaluje się osobne cylindry dla każdej frakcji ziarna.

Podczas gdy masa ziarna przemieszcza się powoli zgodnie z nachyleniem obracającego się cylindra, jej poszczególne ziarna wielokrotnie trafiają na otwory sit. Kiedy jednak średnica ziarna dokładnie odpowiada szerokości otworu, ziarno może w nim pozostać blokując otwór. Aby zapobiec zatykaniu się sit, na zewnątrz cylindra zainstalowana jest ruchoma szczotka o kształcie walca, która usuwa ziarna tkwiące w otworach.

W czasie obrotów cylindra sita będące w danej chwili u góry nie stykają się z ziarnem i pracuje tylko około 25% ich powierzchni. W nowo-

czesnych, wysoko sprawnych sortownikach wbudowany jest wirnik, którego łopatki rozrzucają ziarno, zwiększając wykorzystanie powierzchni sit do 50%. Działanie wirnika zapobiega także temu, że ziarno znajdujące się w samym środku jego masy, mogłoby nie zetknąć się wcale z powierzchnią sita (rys. 2.14b).

Sortowniki cylindryczne mają wydajność od 1 do 6 t/h. Ta mała wydajność i stosunkowo duże zapotrzebowanie miejsca są powodem, że sortowniki tego typu spotyka się jeszcze tylko w bardzo małych i starych słodowniach.



Rys. 2.14

Zwiększenie powierzchni sortowania przez wirnik łopatkowy

a) Zwykły cylinder sortujący, b) wysoko wydajny cylinder sortujący.

2.1.2.6.3 Sortownik płaski

Sortownik płaski jest maszyną sortującą, złożoną z 20 do 28 ram sitowych zmontowanych poziomo jedne nad drugimi, w których umocowane są poziome sita. Cała konstrukcja zawieszona jest na rurowych prętach i wprawiana w ruch przez napęd mimośrodowy.

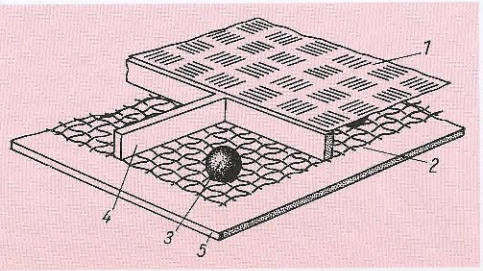
Dzięki tym ruchom ziarna sortowanego jęczmienia są rozsypane na całej powierzchni sit i stale zmieniają swój kierunek i położenie.

Doprowadzanie jęczmienia na sita i odprowadzanie go z sit odbywa się za pomocą płóciennych rękawów, bo wobec ruchów wstrząsających żadne sztywne połączenie nie może być zastosowane.

Do napędu sortownika może służyć przekładnia pasowa na pionowym wale albo silnik zawieszony na ramie nośnej sit. W każdym przypadku napędzany jest mimośrodowo zawieszony ciężar ołowiany, którego ustawienie określa średnicę koła, które zataczają powierzchnie sit wstrząsanych. Zwykle średnica ta wynosi około 74 mm przy 220 obrotach na minutę.

Ramy sitowe (rys. 2.15) składają się z perforowanych w krzyżujących się kierunkach sit sortujących (1), pod którymi w pewnej odległości umocowane są grube sita druciane o dużych otworach. W wolnej przestrzeni między tymi sitami umieszcza się gumowe kule (3), kawałki pasa przenośnika albo tworzyw sztucznych, które stale podrzucane przez drgające ruchy zapobiegają zatykaniu się sita ziarnami o średnicy dokładnie odpowiadającej szerokości prześwitów. Pionowe ścianki dzielące (4) ograniczają pole działania każdej kuli. Na dnie blaszanym, znajdującym się pod każdym sitem, też umieszczane są odpowiedniego kształtu kawałki tworzyw sztucznych, których ruchy utrzymują powierzchnię blachy w czystości.

Nowoczesne sortowniki płaskie budowane są obecnie według zasady szufladowo montowanych krótkich sit. Poszczególne elementy sitowe tego sortownika są ustawione jedne nad drugimi w trzech układach pionowych i tak włączone do szeregu roboczego, że każde sito jest równomiernie obciążone. Aby to osiągnąć dzieli się strumień zboża wprowadzany do sortownika na szereg strumieni cząstkowych (rys. 2.16) i stosownie do udziału poszczególnych frakcji rozprowadza na odpowiednie sita. Tą drogą uzyskuje się bardzo dokładne posortowanie jęczmienia. Na rysunku 2.17, przedstawiającym wysoko sprawny sortownik płaski Quadrostar, środkowa część urządzenia jest otwarta i widać ustawione jedne nad drugimi sitowe elementy sortujące.



Rys. 2.15. Element sortujący

(1) sito sortujące,
(2) siatka druciana podtrzymująca kulę,
(3) kula gumowa,
(4) przegroda,
(5) blacha ramy

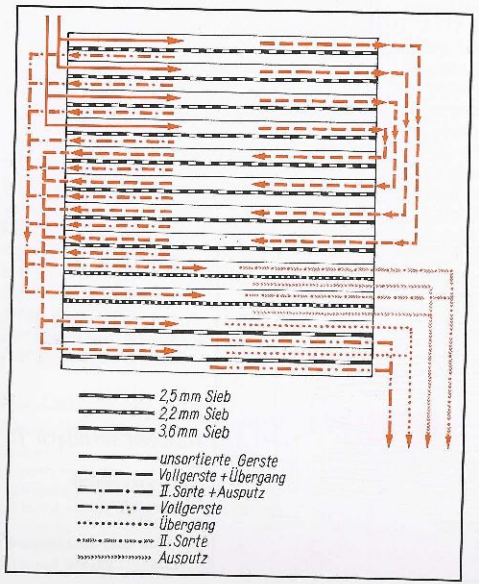
Inne ustawienie poziomych elementów sitowych widać na schemacie maszyny sortującej TS 200 Firmy Schmidt, Beilngries (rys. 2.18): jęczmień jest wprowadzany na duże powierzchnie sit i podlega sortowaniu. Kulki gumowe lub inne zapobiegają blokowaniu prześwitów. Powietrze z kurzem zassane jest do cyklonu i po odpyleniu zawracane w 85% do sortownika, tj. krąży w obiegu zamkniętym. Niewielka część powietrza z kurzem trafia do centralnego układu odkurzania. Na rysunku nie jest to pokazane (patrz rozdział 2.1.2.1 Wialnia). Nowoczesne, wysoko sprawne sortowniki budowane obecnie osiągają wydajności rzędu 15 t/h.

2.1.3 Transport wewnętrzny jęczmienia i słodu

W każdej słodowni wielokrotnie zachodzi potrzeba przesyłania z miejsca na miejsce zarówno jęczmienia, jak i słodu mokrego czy też gotowego produktu. Dotyczy to również transportu słodu w browarze, aż do jego ześrutowania. Ze względu na to, że we wszystkich przypadkach trzeba się liczyć z potrzebą przemieszczania bardzo dużych ilości zboża lub słodu, warto się zastanowić nad wyborem jak najkrótszych dróg transportu oraz takich przenośników, które pracują najtaniej.

Rozróżnia się zasadniczo dwie grupy urządzeń do transportu wewnętrznego:

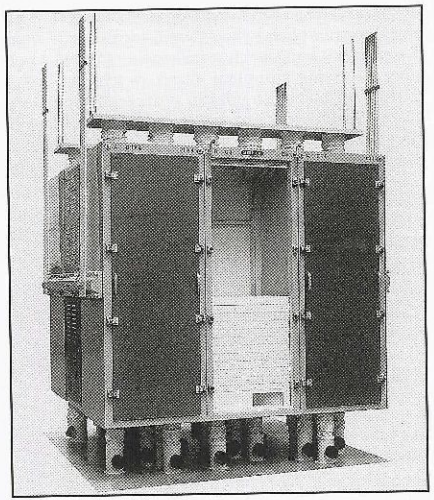
- **przenośniki mechaniczne**, za pomocą których zboże jest transportowane mechanicznie;



Rys. 2.16

Zasada działania sortownika płaskiego

Strumień zboża wprowadzany do sortownika dzieli się na szereg strumieni mniejszych, trafiających na sita o prześwicie 2,5 mm, a następnie również na szereg sit 2,2 mm. Dzięki temu jęczmień zostaje dokładnie rozsortowany na pełne ziarno pierwszego gatunku, ziarno drugiego gatunku i posład.

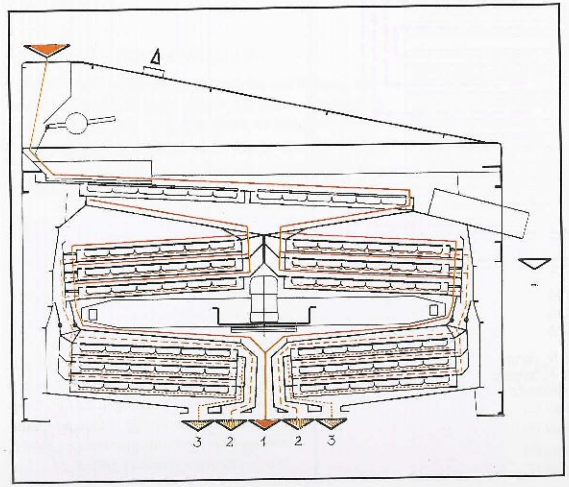


Rys. 2.17

Wysoko sprawny sortownik płaski Quadrostar firmy Bühler

Część środkowa maszyny jest otwarta; widać kilka elementów sortujących.

Elementy sortujące, ułożone jedne nad drugimi jak szuflady, mogą być łatwo, w razie potrzeby, wyjmowane dla oczyszczenia, naprawy lub wymiany na inne. Dobrze widoczne jest także odgórne zawieszenie sortownika, znacznie korzystniejsze niż stałe zamocowanie na obrotowych elementach mimośrodów wstrząsających, które łatwiej ulega zużyciu i jest bardziej energochłonne.



Rys. 2.18

Maszyna sortująca TS 200

(1) pierwszy gatunek
(2) drugi gatunek
(3) poślad
(4) wylot dużych zanieczyszczeń

- **przenośniki pneumatyczne**, gdzie szybki strumień powietrza porywa zboże i niesie odpowiednim układem rur.

2.1.3.1 Przenośniki mechaniczne

W przenośnikach mechanicznych zboże jest transportowane za pomocą mechanicznie poruszanych części. Rozróżnia się:

przenośnik kubełkowy, czyli elewator, do transportu pionowego;
przenośnik ślimakowy;
przenośnik zgarniakowy;
przenośnik taśmowy, do transportu poziomego.

2.1.3.1.1 Przenośnik kubełkowy, czyli elewator

Budowa: przenośnik kubełkowy (rys. 2.19) składa się z taśmy bez końca, którą może stanowić pas parciany, pas z tworzywa sztucznego lub łańcuch (3), zawieszonej na dwóch rolkach (1 i 2), zainstalowanych pionowo jedna pod drugą.

Na taśmie, w odstępach od 0,3 do 0,4 m, umocowane są kubełki o pojemności od 2 do 15 litrów każdy. Kubełki te mogą być:

– spawane z blachy stalowej;
– wytłaczane z blachy;
– formowane z tworzywa sztucznego.

Elewator jest napędzany przez górne koło pasowe (1), na którym zwisa cały ciężar taśmy z kubełkami. Przy dolnym kole natomiast znajduje się urządzenie napinające (2), za pomocą którego taśma przenośnika (3) jest stale utrzymywana w naprężeniu. Dla zabezpieczenia przed wypadkami przy pracy oraz przed rozsypywaniem się ziarna przenośnik kubełkowy pracuje w obudowie blaszanej lub drewnianej (4).

Działanie: zboże jest przenoszone kubełkami z szybkością, która wynosi maksymalnie:

- dla jęczmienia 4 m/s;
- dla słodu 2,5 m/s.

Kubełki nabierają zboże z kosza zsypowego (5) i niosą je do góry. Opróżniają się przy obrocie na górnym kole, a strumień spływa przez wylot (6).

Do transportowania słodu mokrego („zielonego") stosuje się elewatory, których kubełki zawieszone są na łańcuchu, a w przypadku zastosowania pasa, koło napędowe musi mieć powierzchnię w formie kraty, co zapobiega ślizganiu się pasa, gdy mokre, pogniecione ziarna oblepią jego powierzchnię.

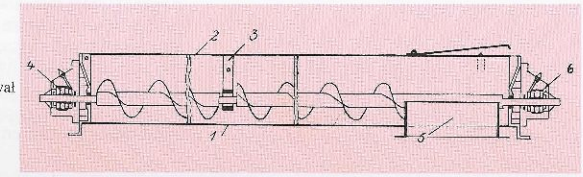
Zalety: przenośnik kubełkowy jest najbardziej oszczędnym pod względem zużycia energii urządzeniem do transportu pionowego i w związku z tym bardzo często stosowanym. Jest łatwy w obsłudze i przy niewielkiej pielęgnacji bardzo pewny w działaniu.

Wady: kosz zsypowy (koryto) elewatora nigdy nie jest opróżniany do końca. Jest to szczególnie niewygodne, gdy trzeba nim transportować różne gatunki zbóż. Przy przerwach w dostawie prądu bywało, że elewator zaczynał obracać się w przeciwną stronę, bo kubełki napełnione zbożem przeważały pustą stronę taśmy i dlatego teraz zawsze instaluje się hamulec zwrotny. Przenośniki kubełkowe należą do najbardziej niebezpiecznych urządzeń transportu wewnętrznego, gdyż przez tarcie i iskrzenie skrzywionych kubełków lub pasów mogą powstawać pożary i wybuchy pyłów. W większych zakładach elewatory są kontrolowane przez wskaźniki liczby obrotów oraz monitory prawidłowego biegu.

Rys. 2.20

Przenośnik ślimakowy

(1) koryto
(2) pokrywa koryta
(3) łożysko podtrzymujące wał
(4) łożysko końcowe wału ślimaka
(5) wylot zboża
(6) napęd ślimaka



2.1.3.1.2 Przenośnik ślimakowy

Przenośnik ślimakowy jest od dawna najczęściej stosowanym środkiem transportu poziomego towarów sypkich, takich jak jęczmień i słód. W korycie o dnie półcylindrycznym, zbudowanym ze stalowej blachy i zamkniętym od góry dającą się zdejmować pokrywą (rys. 2.20), obraca się stalowa oś, do której przymocowany jest ślimak z blachy stalowej. Oś co 2 do 3 metrów jest ułożyskowana, co zapobiega jej odkształcaniu. Ślimak napędzany jest silnikiem, a ponieważ szybkość jego obrotów nie powinna przekraczać 200 na minutę, konieczna jest przekładnia.

Ślimak obracając się przesuwa ziarno wzdłuż koryta aż do przewidzianego miejsca odbioru, zamykanego odpowiednią zasuwą opróżniającą.

Odbiór zboża w określonym miejscu następuje przez proste otworzenie jednej z zasuw umieszczonych w dnie koryta przenośnika. Koryto może być napełnione zbożem tylko do jednej piątej, a najwyżej do jednej trzeciej swej pojemności, by ślimak się nie zablokował.

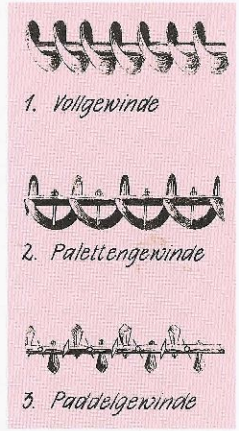
Zalety: przenośnik ślimakowy, mimo że zużywa dużo energii, jest jednak opłacalnym środkiem transportu poziomego, pokonującym także do 30% wzniesienia. Do transportu na krótkich odcinkach słodownie stosują najczęściej przenośniki ślimakowe.

Wady: między krawędzią ślimaka a korytem musi być zawsze 3 do 5 mm luzu, bo w przeciwnym razie ślimak będzie tarł o koryto. W wyniku tego koryto nigdy nie jest do końca opróżnione. Jest to szczególnie niekorzystne przy transporcie słodu mokrego. Ponadto z czasem krawędzie ślimaka stają się bardzo ostre i mogą uszkadzać ziarna, zwłaszcza przy transportowaniu słodu mokrego.

Rozróżnia się ślimaki:

- zwykłe, pełne, najczęściej spotykane;
- wstęgowe, z wolną przestrzenią przy osi ślimaka;
- łopatkowe, z ukośnie ustawionymi łopatkami (rys. 2.21).

Rys. 2.21
Rodzaje ślimaków
1. pełny
2. wstęgowy
3. łopatkowy



Pewną odmianą przenośnika ślimakowego jest urządzenie o nazwie „Flexauger". Przenośnik składa się ze ślimaka wykonanego ze wstęgi elastycznej stali sprężynowej, który obraca się bez osi w także giętkiej rurze polietylenowej i w ten sposób transportuje zboże. Ślimak przylegający do ścian rury opróżnia ją całkowicie ze zboża i może być elastycznie zginany na boki i ku górze nawet pod kątem do 45%.

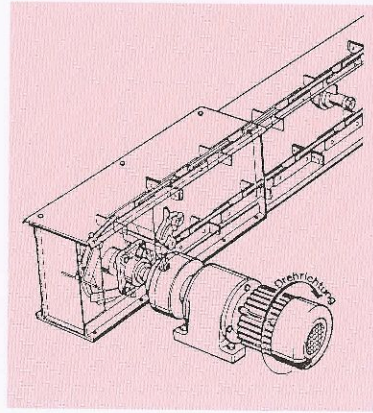
2.1.3.1.3 Przenośnik zgarniakowy

Przenośnik zgarniakowy jest urządzeniem do transportu zboża w płaszczyźnie poziomej oraz pochyłej.

W płaskodennym korycie o prostokątnym przekroju (rys. 2.22) porusza się łańcuch płytkowy bez końca, do którego przymocowane są poprzecznie do kierunku ruchu ustawione płytki, czyli zgarniaki. Poruszają się one wzdłuż koryta z szybkością 0,4 do 0,6 m/s. Koryto może być wypełnione jęczmieniem lub słodem do 2/3, a nawet 3/4 swej głębokości. W czasie ruchu zgarniaki przesuwają zboże po gładkim dnie koryta. Ten rodzaj przenośnika, zwłaszcza przy pustym biegu, jest dość hałaśliwy.

Do napędu łańcucha służy koło zębate na końcu lub u góry przenośnika, połączone przez przekładnię z silnikiem. Wylot zboża znajduje się przy kole napędowym łańcucha, ale instaluje się także zasuwy w dnie koryta do odbioru zboża w wybranych miejscach na całej jego długości. Koryto nigdy nie jest całkowicie opróżnione ze zboża.

Przenośniki zgarniakowe pracują nie wytwarzając kurzu, a ich zapotrzebowanie mocy jest podobne lub nawet mniejsze niż większości przenośników mechanicznych.

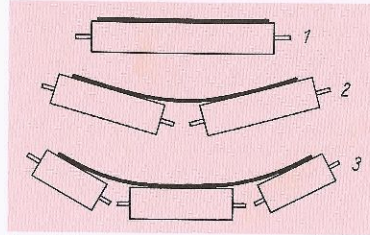


Rys. 2.22. Przenośnik zgarniakowy (Redler)

2.1.3.1.4 Przenośnik taśmowy

Mimo że jest to urządzenie oszczędne i nie uszkadzające ziarna, przenośnik taśmowy stosuje się jeszcze tylko do specjalnych zadań, na przykład do słodu mokrego. Taśma przenośnika zajmuje bardzo dużo miejsca i wytwarza dużo kurzu, szczególnie w miejscu zsypu zboża, ale także na całej długości. Ta wada jest głównym powodem, dla którego przenośniki taśmowe zostały niemal całkowicie wyeliminowane ze słodowni.

Taśma transportująca przenośnika wykonana jest z tkaniny oblanej gumą. Zależnie od rodzaju transportowanego materiału, może być prowadzona płasko lub z zagłębieniem w środku (rys. 2.23).



Rys. 2.23. Ustawienie wałków podtrzymujących taśmę przenośnika.

(1) taśma płaska, (2) taśma zagłębiona zwykła, (3) taśma zagłębiona ze środkowym wałkiem podtrzymującym

Taśmy zagłębione pracują wydajniej, gdyż mieści się na nich więcej zboża bez obawy jego rozsypywania i strat.

Taśma przenośnika biegnie z szybkością od 2 do 3 m/s. Urządzenie napinające za pomocą wałka napinającego utrzymuje taśmę w ciągłym naprężeniu. Jeden z bębnów, między którymi rozpięto taśmę, jest napędzany za pośrednictwem przekładni od silnika elektrycznego.

2.1.3.2 Przenośniki pneumatyczne

W słodowniach i browarach, obok przenośników mechanicznych, szerokie zastosowanie do transportu wewnętrznego materiałów sypkich znajdują przenośniki pneumatyczne.

W przenośniku pneumatycznym zboże przenoszone jest w przewodzie rurowym przez strumień szybko przepływającego powietrza. Aby utrzymać ziarno jęczmienia w stanie zawieszonym w powietrzu, szybkość jego przepływu musi wynosić co najmniej 11 m/s. Do transportowania ziarna potrzebne są jednak większe szybkości, dlatego stosuje się zwykle pompy wirnikowe lub wentylatory wysokoprężne.

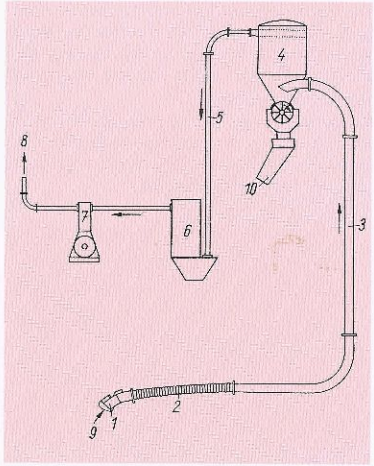
Zalety przenośników pneumatycznych są następujące:

- małe zapotrzebowanie miejsca,
- w przenośniku nie pozostają resztki zboża,
- układ przewodów jest elastyczny i może być dowolnie zmieniany,
- system nie stwarza zagrożenia pożarowego.

Wadą przenośników pneumatycznych jest znacznie większe zapotrzebowanie energii niż wymaga transport mechaniczny.

Rozróżnia się dwa zasadnicze rodzaje przenośników pneumatycznych:

- przenośniki ssące (rys. 2.24), z podciśnieniem w przewodach,
- przenośniki tłoczące (rys. 2.26), z nadciśnieniem w przewodach rurowych.



Rys. 2.24. Przenośnik pneumatyczny ssący (zasada działania)

(1) podajnik, (2) elastyczna część przewodu rurowego, (3) stały przewód ssący, (4) oddzielacz, (5) przewód ssący powietrza, (6) odpylacz, (7) pompa ssąca lub wysoko sprawny wentylator, (8) odlotowy przewód powietrzny, (9) pobieranie zboża, (10) odbiór zboża (wylot)

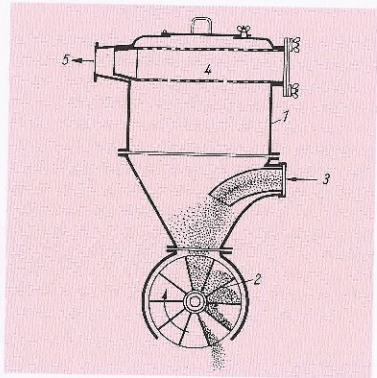
Budowa i zadania poszczególnych części przenośnika są następujące:

Część urządzenia	Zadanie	Budowa	Uwagi
Podajnik (1)	Zasysanie powietrza i ziarna	Końcowy odcinek rury ssącej z obustronnie otwartym płaszczem, tworzącym wokół niej kilkucentymetrową szczelinę dla przepływu powietrza	Zasysane powietrze porywa z sobą zboże. Ilość powietrza musi być dostateczna, bo inaczej rura się zablokuje.
Elastyczna część rury (2)	Możliwość przemieszczania w miejscu pobierania ziarna	Wąż gumowy usztywniony spiralą z drutu stalowego	
Stały przewód ssący (3)	Dalsze przenoszenie ziarna	Rury o średnicy od 15 do 20 cm i o łagodnych łukach przy zmianie kierunku	Ostre zmiany kierunku powodują uszkadzanie ziarna
Oddzielacz (4)	Zatrzymanie przenoszonego zboża	Zbiornik, w którego dolnej, stożkowatej części wmontowana jest obrotowa śluza przyjęciowa (rys. 2.25)	Śluza odbiera ziarno nie przepuszczając powietrza z zewnątrz. Powietrze z kurzem zasysane jest górą przez wkładkę sitową.
Przewód ssący powietrza (5)	Połączenie z pompą ssącą		
Odpylacz (6)	Zatrzymanie kurzu	p. rozdz. 2.1.4.2	Dodatkowo instaluje się filtry wodne do powietrza
Dmuchawa (7)	Zasysanie powietrza	Wysokoprężny wentylator	

2.1.3.2.1 Przenośnik pneumatyczny ssący

Za pomocą przenośnika ssącego można zasysać jęczmień z wielu różnych miejsc, jeśli przewód ssący ma odpowiednią liczbę rozgałęzień.

Natomiast odbiór zboża z przenośnika, czyli jego wylot (rys. 2.25) znajduje się w miejscu przeznaczenia, z reguły wysoko, na przykład nad suszarnią słodu, nad magazynem jęczmienia czy nad kadziami zalewnymi.



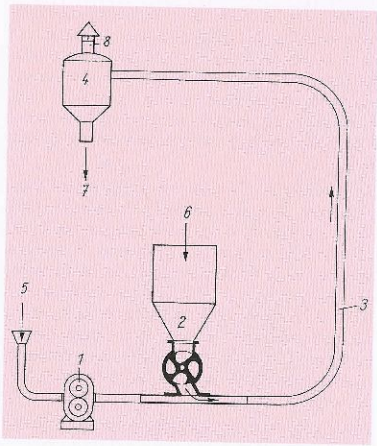
Rys. 2.25

Oddzielacz ziarna ze śluzą przyjęciową

(1) obudowa, (2) śluza przyjęciowa, (3) wlot powietrza z ziarnem, (4) wkładka sitowa, (5) odpływ powietrza z kurzem

2.1.3.2.2 Przenośnik pneumatyczny tłoczący

Do przewodu rurowego w przenośniku tłoczącym zboże podawane jest przez śluzę (rys. 2.26) wpustową. Koło łopatkowe śluzy obracając się wsypuje porcjami jęczmień do przewodu rurowego, w którym płynie silny strumień powietrza. Aby zboże można było ładować w różnych miejscach układu, śluzę montuje się czasami na przewoźnej podstawie. Rozładunek następuje za pomocą cyklonu, ale uchodzące powietrze zawiera jeszcze sporo kurzu. Przewoźne dmuchawy z układami rur nadającymi się do szybkiego montowania stosowane są przy magazynowaniu zapasów jęczmienia.



Rys. 2.26. Przenośnik pneumatyczny tłoczący (zasada działania)

(1) dmuchawa tłocząca, (2) śluza wpustowa, (3) przewód rurowy, (4) oddzielacz ziarna, (5) dopływ powietrza, (6) dopływ jęczmienia, (7) odbiór jęczmienia, (8) odpływ powietrza z kurzem do cyklonu

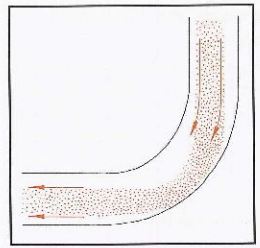
Porównawcze zestawienie właściwości przenośników ssących i tłoczących.

	Przenośniki tłoczące	Przenośniki ssące
urządzenie wytwarzające strumień powietrza	Niemal wyłącznie dmuchawy rotacyjne (pompy Rootsa)	Najczęściej wentylatory wysokoprężne
Wlot zboża	Zawsze przez śluzę	Podajnik ssący
Wylot zboża	Ze śluzą lub bez	Zawsze przez śluzę
Ubytek masy	Stosunkowo niski	Wysoki
Oddzielacz ziarna	Wszelkie rodzaje	Jednego typu
Ciśnienie powietrza w układzie rur przenośnika	Może być wysokie, co umożliwia dalekie drogi przesyłu zboża	Niezbyt wielkie podciśnienie (ok. 0,5 bar)

Ogólnie trzeba stwierdzić, że koszty instalacji oraz eksploatacji przenośników pneumatycznych są znacznie wyższe niż przy zastosowaniu transportu mechanicznego. Transport pneumatyczny stosuje się przede wszystkim tam, gdzie zachodzi potrzeba przemieszczania wielkich ilości zboża przy częstych zmianach kierunku.

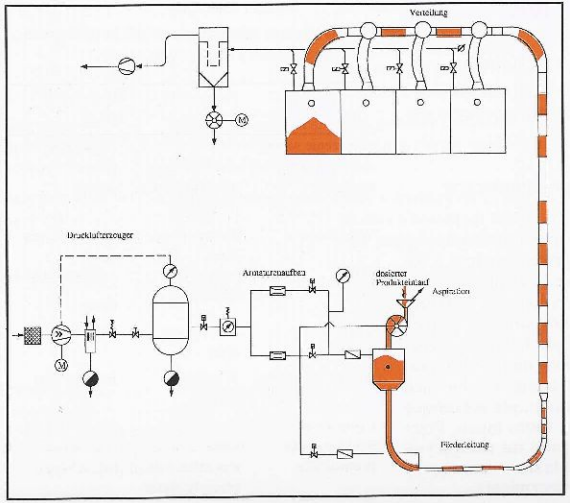
Zmiany kierunku właśnie stwarzają jednak duże problemy. Jęczmień porwany strumieniem powietrza wykazuje o wiele większą bezwładność niż ośrodek, w którym się porusza. W wyniku tego na każdym zakręcie rury ziarno usiłuje lecieć dalej prosto (rys. 2.27). powoduje to nie tylko uszkodzenia ziaren, ale także z czasem te miliony maleńkich uderzeń przecierają blachę na zgięciu rury na wylot. Aby tego uniknąć, zakręty muszą być łagodne, tworząc łuk o bardzo dużym promieniu.

Nową odmianą przenośnika pneumatycznego tłoczącego jest powolny transport pneumatyczny. Jest to system, w którym zboże nie jest niesione przez szybki strumień powietrza, lecz przemieszcza się w rurze tworząc szereg „korków" (rys. 2.28).



Rys. 2.27
Strumień ziarna w zgięciu rury

Zboże wprowadzane przez śluzę do podajnika, po wypełnieniu pionowego odcinka rury transportującej, zostaje przez pulsujący dopływ sprężonego powietrza podzielone na „korki", które przesuwają się w rurze. Przepływ powietrza utrzymuje ziarno w luźnym ułożeniu, co ułatwia przesuwanie się „korków" z szybkością około 2 m/s w rurze przenośnika. Przy takiej szybkości ziarno nie jest uszkadzane, a zużycie energii jest o 40% mniejsze niż w dotychczasowych przenośnikach pneumatycznych. Przenośniki z pulsującym dopływem sprężonego powietrza mają bardzo dużą wydajność (do



Rys. 2.28
Przenośnik pneumatyczny z pulsującym przepływem sprężonego powietrza

50 t/h) i mogą transportować zboże na spore odległości. Urządzenia te mogą jednak na pewien czas ulegać zablokowaniu, np. przy przerwie w dopływie prądu i sprężonego powietrza. Przy ponownym włączeniu dopływu energii wielki „korek", jaki się wytworzył, dzieli się znów na mniejsze i urządzenie zaczyna normalnie pracować.

2.1.4 Urządzenia do usuwania kurzu (pyłu)

Na powierzchni ziaren jęczmienia i słodu utrzymuje się zawsze pewna ilość przylegającego do nich kurzu, który przy każdym poruszeniu masy zboża unosi się z niej w trudnych do przewidzenia ilościach.

Powietrze z kurzem powinno być stale usuwane ze wszystkich miejsc, w których on powstaje i zasysane do urządzeń odpylających ze względu na to, że kurz:

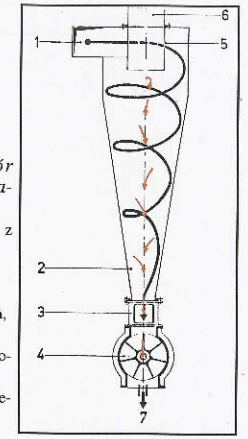
- **w określonym stężeniu może stanowić materiał wybuchowy,**
- **pogarsza warunki pracy,**
- **zanieczyszcza pomieszczenia i maszyny,**
- **stanowi źródło infekcji.**

Powietrze z kurzem zasysa się ze wszystkich miejsc, w których kurzenie zachodzi. Służy do tego system odpylania, czyli układ aspiracyjny. Łatwo go rozpoznać w zakładzie po dużej średnicy rur, bo wielkie ilości powietrza muszą być odprowadzane do urządzeń odpylających. Do wywołania potrzebnego ruchu powietrza służą wentylatory osiowe lub promieniowe (patrz rozdział 10.5.2).

Usuwanie kurzu ze strumienia powietrza odbywa się za pomocą cyklonów albo filtrów.

2.1.4.1 Cyklon

Cyklon (rys. 2.29) składa się z części górnej cylindrycznej i części dolnej stożkowej. Powietrze wprowadzane jest po stycznej do części górnej (1), gdzie nabiera ruchu wirowego, a zawieszone w nim cząstki kurzu siła odśrodkowa rzuca na ściany cylindra i stożka, po których ześlizgują się w dół do śluzy wypustowej (4), a z niej do worka. Oczyszczone powietrze odprowadzane jest górą (6).



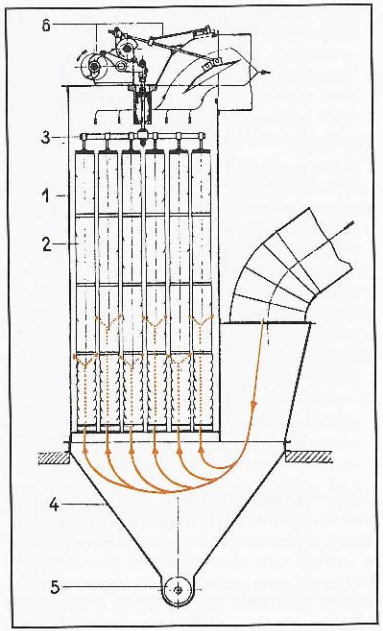
Rys. 2.29
Cyklon (odbiór kurzu i lekkich zanieczyszczeń)
(1) wlot powietrza z kurzem,
(2) stożek cyklonu,
(3) wziernik,
(4) śluza wypustowa,
(5) rura centralna,
(6) odpływ oczyszczonego powietrza,
(7) wylot oddzielonego pyłu

Całkowite usuniecie kurzu ze strumienia powietrza za pomoca cyklonu jest niemozliwe. Pozostają najdrobniejsze cząstki, które opuszczają cyklon wraz ze strumieniem powietrza. W okolicach gęsto zasiedlonych odprowadzanie takiego powietrza do atmosfery nie jest już obecnie tolerowane przez ochronę środowiska.

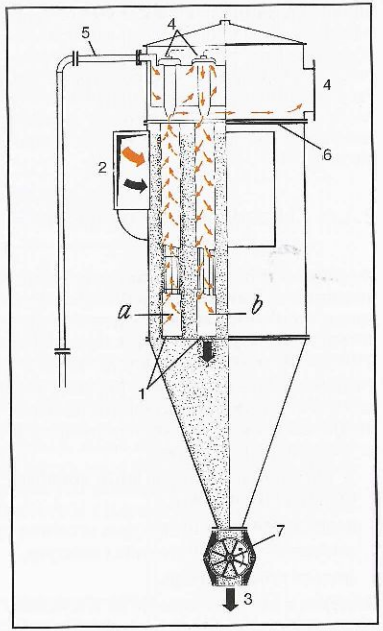
W związku z powyższym, w nowoczesnych zakładach cyklon wykorzystywany jest tylko do oczyszczania wstępnego. Nawet w nowoczesnych, budowanych obecnie bateriach cyklonów o mniejszej średnicy, gdzie oddzielanie cząstek kurzu bardziej jeszcze polega na działaniu siły odśrodkowej niż na osiadaniu wskutek zwiększenia objętości i spowolnienia biegu strumienia powietrza, nie udaje się osiągnąć odpylenia spełniającego wymagania sanitarne. Prawdziwie zadowalające zatrzymanie i usunięcie kurzu udaje się osiągnąć tylko za pomocą filtrów.

2.1.4.2 Filtry odpylające do powietrza

Usuwanie kurzu ze strumienia powietrza za pomocą filtra pozwala zatrzymać cząstki nawet o średnicy około 6 µm. Takie powietrze można



Rys. 2.30. Próżniowy filtr rękawowy (stary typ)
(1) komora filtra, (2) rękawy, (3) zawieszenie rękawów, (4) koryto zbiorcze oddzielonego pyłu, (5) ślimak, (6) urządzenie sterujące zawieszenia rękawów



Rys. 2.31. Filtr dyszowy
(1) filcowy rękaw filtrujący, (2) powietrze z kurzem, (3) kurz, (4) dysze, (5) sprężone powietrze, (a) kierunek przepływu powietrza w czasie filtracji, (b) kierunek sprężonego powietrza przy czyszczeniu filtra, (6) przegroda, (7) śluza, (8) odlot czystego powietrza

już uznać za oczyszczone. Powietrza absolutnie pozbawionego cząstek kurzu nie udaje się uzyskać w skali wielkoprzemysłowej bez olbrzymich nakładów finansowych.

2.1.4.2.1 Filtr odpylający starego typu

Najstarszym typem filtra odpylającego do powietrza jest filtr rękawowy ciśnieniowy, którego pojedyncze egzemplarze spotyka się jeszcze w starszych zakładach. W filtrze tym, między dwoma komorami, rozpiętych jest pionowo do stu płóciennych rękawów, do których wdmuchiwane jest powietrze z kurzem. Grabie, przesuwające się po rękawach do góry i na dół, strącają nagromadzony kurz, który opada do dolnej komory i stamtąd jest usuwany. Przy uszkodzeniach jednak cała okolica filtra jest grubo pokryta kurzem, a nawet bez wystąpienia defektu najdrobniejsze cząsteczki kurzu wydostają się i całe otoczenie urządzenia stopniowo pokrywa się warstwą pyłu.

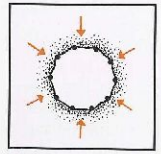
Często w słodowniach spotyka się jeszcze próżniowe filtry rękawowe (rys. 2.30). Powietrze niosące kurz trafia tu od dołu rękawów i zostaje zassane do góry. W każdej komorze filtra zawieszonych jest 18 rękawów o średnicy 13 do 20 cm i długości 1,8 do 2,8 m. Komór jest zwykle 3 do 8. Dla oczyszczenia wyłącza się z pracy daną komorę, tj. zamyka przepływ powietrza. Specjalny mechanizm, znajdujący się u góry komory, luzuje rękawy, a następnie ponownie je napina. Ruch ten powoduje opadnięcie nagromadzonego kurzu na dół, skąd jest usuwany. Przepływ powietrza włącza się ponownie, a czyszczeniu poddawana jest następna komora. Zabiegu tego nie można zaniedbać.

2.1.4.2.2 Nowoczesne filtry odpylające

Filtry odpylające nowego typu buduje się obecnie najczęściej jako oczyszczane za pomocą dysz, ale spotyka się także inne systemy. Ich wspólną cechą jest to, że zajmując stosunkowo mało miejsca, umożliwiają odkurzenie powietrza w stopniu odpowiadającym wymaganiom ochrony środowiska.

2.1.4.2.2.1 Filtr dyszowy

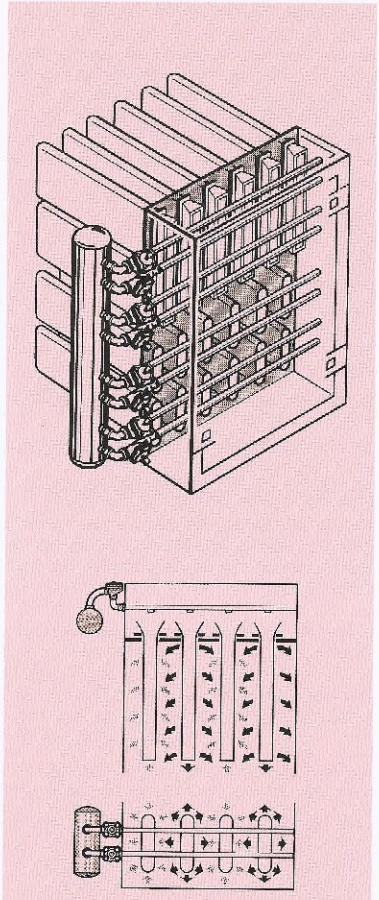
Filtr dyszowy (rys. 2.31 + 2.32) składa się z cylindryczno-stożkowego zbiornika, w którego cylindrycznej części znajdują się rękawy o długości do 3 m, wykonane z filcu lub tworzywa sztucznego, rozpięte na rurach z drucianej siatki. Powietrze z kurzem wprowadzane jest po stycznej, część kurzu traci na podobnej zasadzie jak w cyklonie, a następnie przechodząc przez warstwę filcu do wnętrza rękawów ulega dalszemu, dokładnemu oczyszczeniu.



Rys. 2.32
Przekrój elementu filtrującego

Oczyszczanie elementów filtrujących z przylegającego do nich kurzu polega na tym, że w górnej części filtra, nad każdym rękawem, wmontowane są szeregami, od wewnątrz, odpowiednie dysze, które działają krótkotrwałym, bardzo silnym strumieniem powietrza.

Takie skierowane od wewnątrz uderzenia sprężonym powietrzem powodują oderwanie się osadzonych po zewnętrznej stronie cząstek kurzu, które opadają na dno w stożkowej części obudowy i są stamtąd usuwane przez śluzę wyładowczą.



Rys. 2.33
Filtr powietrza

Urządzenie sterujące oczyszczaniem „rękawów" z przylegającego do nich kurzu działa na zasadzie pneumatycznej. Podczas oczyszczanie jednego szeregu pozostałe działają normalnie i praca filtra nie zostaje przerwana. Filtry tego typu mają wydajność do 800 m^3 powietrza na minutę. Wszystkie filtry tego rodzaju odporne są na wysokie ciśnienie i zaopatrzone w zawory bezpieczeństwa.

2.1.4.2.2.2 Inne nowoczesne filtry powietrza

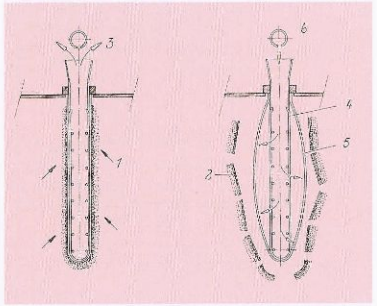
Przy instalacji filtrów powietrza problem stanowi zapotrzebowanie miejsca. Porównawczo zaobserwowano, że na minutę i metr kwadratowy powierzchni filtrującej wydajność wynosiła:

przy zastosowaniu rękawowego filtra ciśnieniowego 1 do 1,5 m^3,

przy filtrze rękawowym próżniowym (ssącym) ok. 3 m^3 powietrza,

przy filtrze dyszowym 4 do 9 m^3 powietrza.

Dalszą możliwość lepszego wykorzystania miejsca stanowi przejście od okrągłych do spłaszczonych elementów filtracyjnych (rys. 2.33 + 2.33a).



Rys. 2.33a

Oczyszczanie powierzchni elementu filtrującego z osadzonego kurzu

(1) powietrze z kurzem, (2) warstwa kurzu, (3) oczyszczone powietrze, (4) sztywna siatka podtrzymująca, (5) tkanina filtrującą, (6) dysza wprowadzająca sprężone powietrze

2.2 Suszenie i magazynowanie jęczmienia

Posortowanego jęczmienia nie słoduje się natychmiast i do czasu przerobu trzeba go magazynować. W okresie **dojrzewania pożniwnego**, które trwa w naszym klimacie 6 do 8 tygodni, jęczmień ma obniżoną zdolność kiełkowania. Dopiero po upływie tego czasu ziarno uzyskuje swoją pełną energię kiełkowania.
Pod pojęciem **dojrzałości** do słodowania rozumieć należy taki stan ziarna jęczmienia, w którym jest ono w pełni zdolne do wszystkich funkcji życiowych.
Ziarno oddycha także podczas magazynowania i z tego względu musi być wietrzone. Do przechowania ziarna służą silosy. Wilgotny jęczmień nie nadaje się do przechowywania i przed zmagazynowaniem trzeba go suszyć. Jęczmień zaatakowany przez szkodniki musi być gazowany w celu ich zniszczenia.

2.2.1 Oddychanie jęczmienia

Ziarno jęczmienia żyje i oddycha także w okresie przechowania, jakkolwiek wszystkie funkcje życiowe ograniczone są do minimum. Przy oddychaniu zachodzą przemiany chemiczne, które sumarycznie można wyrazić następującym wzorem:

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$

$Q = 2.822$ kJ = 674 kcal

Do oddychania konieczny jest tlen. Przy jego braku dochodzi do oddychania śródcząsteczkowego, w toku którego powstają substancje trujące dla zarodka (np. alkanole i inne), co może doprowadzić do obniżenia energii kiełkowania ziarna. Przechowywany jęczmień musi więc być wietrzony. Oddychanie pociąga jednak za sobą zużycie cukru, glukozy $C_6H_{12}O_6$, której źródłem w ziarnie jest skrobia. A skrobia będzie nam bardzo potrzebna jako główny dostarczyciel ekstraktu w słodzie. Oddychanie wiąże się ze stratami skrobi, które musimy utrzymać na możliwie niskim poziomie.

Im mniej skrobi zostanie zużytej na oddychanie, tym mniejsza będzie strata w jakości słodu i tym rentowniejsza produkcja.

Jęczmień musi być przechowywany od żniw aż do chwili przerobu na słód, ważne jest więc, aby straty powodowane oddychaniem utrzymywać na tak niskim poziomie, jak to jest możliwe. Intensywność oddychania zależy od wilgotności ziarna i temperatury przechowywania.

Wpływ wilgotności ziarna na oddychanie jest bardzo duży. Kilogram tego samego jęczmienia w temperaturze 20°C wydzielił następujące ilości dwutlenku węgla w ciągu 24h, zależnie od wilgotności:

przy zawartości

11,0% - 0,3 mg	17,0%-100 mg
12,0% - 0,4 mg	19,6% - 123 mg
14-15% - 1,4 mg	20,5% - 359 mg
	30,0% - 2000 mg

Przy wilgotności powyżej 15% intensywność oddychania wzrasta w tak dużym stopniu, że jęczmień musi być dosuszany przed magazynowaniem. Wpływ temperatury przechowywania na oddychanie jest nieco mniejszy, ale też znaczący. Ilości dwutlenku węgla wydzielone przez kilogram tego samego jęczmienia w ciągu 24 h były w różnych temperaturach następujące:

15°C	1,3 - 1,5 mg	40°C	20 mg
30°C	7 - 8 mg	52°C	249 mg

Kiedy ciepło i wilgoć, powstające w wyniku oddychania ziarna, nie zostaną z magazynu odprowadzone we właściwym czasie, następuje reakcja łańcuchowa; obydwa te czynniki, wilgoć i ciepło, wpływają na zwiększenie intensywności oddychania, a więc na zwiększenie w dalszym stopniu wilgotności i ciepła. Doprowadzić to może do spleśnienia ziarna, które traci wówczas całą swą wartość.

W normalnych warunkach przechowywania zboża o wilgotności 14 do 16% powstają następujące straty przechowalnicze w promilach masy ziarna:

Zboże	Rodzaj magazynu	Czas przechowania w miesiącach do 3	od 3 do 6	ponad 6
Jęczmień	podłogowy	1,0	2	3
	silos	0,5	1	2
Pszenica	podłogowy	0,7	1,4	2,5
	silos	0,6	1,2	2

Z powyższego wynikają następujące wnioski oraz ustalenia: jęczmień przyjmowany do magazynu musi być wysuszony przed zmagazynowaniem. Jęczmień w czasie przechowywania musi być wietrzony aby jego żywotność nie uległa pogorszeniu. Wietrzenie usuwa z masy ziarna dwutlenek węgla, wodę i ciepło oraz doprowadza tlen.

Chłodzenie masy ziarna jęczmienia przedłuża jej trwałość.

2.2.2 Suszenie jęczmienia

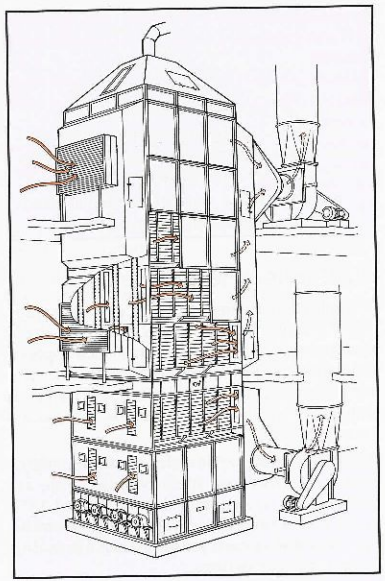
Wilgotność zebranego ziarna jęczmienia waha się w szerokich granicach. Średnia zawartość wody wynosi 13 do 15%. Przy suchej pogodzie podczas żniw wilgotność ziarna może obniżyć się nawet do 11 lub 12%, a przy mokrych żniwach może wzrosnąć do 20%, wyjątkowo bywało i 25%.

Jęczmień zmagazynowany w stanie wilgotnym traci zdolność kiełkowania i daje zły słód. Ziarno o zawartości wody ponad 15% musi przed zmagazynowaniem być dosuszone. Suszenie skraca jednocześnie okres dojrzewania pożniwnego.

W suszarnictwie zbóż stosuje się **suszenie gorącym powietrzem** lub **suszenie próżniowe**.

Suszarka do suszenia ziarna gorącym powietrzem (rys. 2.34) ma cztery pionowe szyby, w których suszone ziarno powoli przemieszcza się ku dołowi, podczas gdy gorące powietrze przechodzi przez żaluzje w ścianach szybu i warstwy ziarna w płaszczyźnie poziomej, nasycając się zabieraną z ziarna wilgocią. Temperatura powietrza regulowana jest zależnie od wilgotności ziarna. Mocno wilgotny jęczmień jest wrażliwy na wyższe temperatury i zbyt energiczne ogrzewanie może obniżyć jego zdolność kiełkowania nawet w dużym stopniu. W dolnej

części suszarni suszony jęczmień spotyka się ze strumieniem zimnego powietrza z zewnątrz i zostaje ochłodzony. Większość słodowni nie instaluje własnych, osobnych suszarni do zboża i wilgotne partie jęczmienia, trafiające się na początku kampanii słodowniczej, dosuszane są w suszarniach słodu.

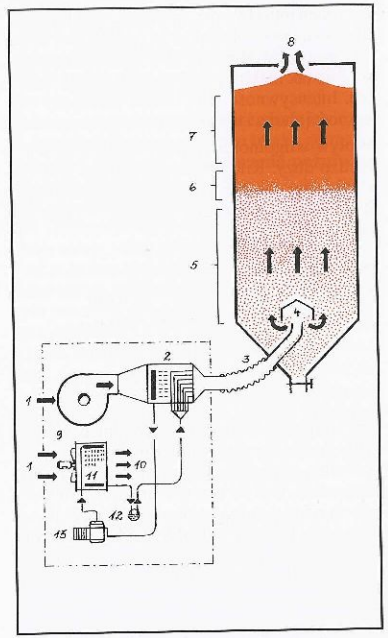


Rys. 2.34
Suszarnia kolumnowa grawitacyjna do zboża

Tu także trzeba przestrzegać tych samych zasad przy stosowaniu odpowiednich temperatur suszenia aby nie uszkodzić zdolności kiełkowania ziarna. Do magazynu jęczmień może trafiać tylko po ochłodzeniu ziarna.

2.2.3 Chłodzenie jęczmienia

Jak już wspomniano wyżej, ziarno jęczmienia żyje i przy oddychaniu wydziela ciepło. Im cieplejszy jest jęczmień, tym oddychanie staje się



Rys. 2.35. Urządzenie do chłodzenia ziarna
(1) dopływ świeżego powietrza, (2) chłodnica powietrza z regulatorem wilgotności i temperatury, (3) przewód zimnego powietrza, (4) rozdzielacz zimnego powietrza, (5) strefa ochłodzonego ziarna, (6) strefa chłodzenia, (7) strefa ciepłego ziarna, (8) ciepłe powietrze, (9) wentylator, (10) odlot powietrza chłodzącego skraplacz, (11) skraplacz, (12) zbiornik czynnika chłodniczego, (13) sprężarka

intensywniejsze, wzrasta wilgotność i temperatura. Zwiększona wilgotność i temperatura ziarna stwarzają warunki dla rozwoju mikroflory, pleśni i bakterii, a także dla wylęgania szkodników, owadów, które znajdują sprzyjające im środowisko. Natomiast im zimniejszy jest magazyn jęczmienia, tym trwalej on się przechowuje. W jak wielkim stopniu możliwość długotrwałego przechowywania ziarna zależy od jego wilgotności, wykazuje tabela:

Wilgotność ziarna	Temperatura magazynu	Dopuszczalny czas przechowywania bez szkody dla ziarna jęczmienia
12 do 15%	9 do 12°C	Nieograniczony
15 do 16,5%	8 do 10°C	12 do 18 miesięcy
16,6% do 18%	5 do7°C	4 do 6 miesięcy
18 do 20%	5°C	3 do 4 miesięcy
20 do 22%	5°C	2 do 3 miesięcy
22 do 25%	5°C	1 do 2 tygodni
25 do 30%	4 do 5°C	2 do 3 dni
ponad 30%	-	-

Przechowywanie ziarna zebranego w stanie wilgotnym można więc przedłużyć przez ochłodzenie. Jeśli mimo to konieczne jest suszenie, to dzięki chłodzeniu partii jęczmienia można ten zabieg rozciągnąć w czasie.

Bardzo przydatne w praktyce chłodzenia ziarna jęczmienia okazało się urządzenie **Granifrigor**, Firmy Sulzer Escher-Wyss (rys. 2.35).

Wychłodzone powietrze opuszczające chłodnicę (2) wchodzi przez przewód powietrzny (3) do dolnej części podłączonego w danej chwili silosu chłodząc najpierw najniższą warstwę ziarna. Zabierając stopniowo ciepło z kolejnych warstw ziarna, suche i zimne powietrze przenika coraz wyżej cały silos, ogrzewając się po drodze i uchodzi górą jako ciepłe powietrze odlotowe.

W miarę upływu czasu chłodzenia rozszerza się ku górze strefa wychłodzonego ziarna. Proces uważa się za zakończony, gdy zimne powietrze pojawi się u wylotu, w górnej części silosu. Poniżej 15°C to właściwa temperatura magazynowania jęczmienia. Taka temperatura ogranicza także rozwój szkodników zwierzęcych.

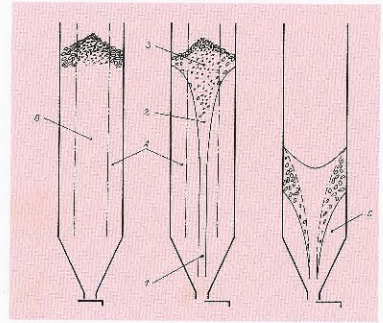
2.2.4 Magazynowanie jęczmienia

Do magazynowania jęczmienia wykorzystuje się najczęściej silosy, ale w starszych zakładach można spotkać magazyny podłogowe i boksy.

2.2.4.1 Magazynowanie w silosach

Najczęściej buduje się silosy z betonu zbrojonego. Ich zaletą jest małe przewodnictwo cieplne, niskie koszty konserwacji oraz dobra ochrona przeciwpożarowa. Silosy buduje się o przekroju okrągłym, czworokątne lub sześciokątne, o wspólnych ścianach dla zaoszczędzenia miejsca i materiału. Aby zapewnić całkowite opróżnianie silosu z ziarna, pochyłość jego dna musi być nie mniejsza niż 40°. Trzeba także pamiętać, że silos nigdy nie opróżnia się równomiernie, lecz w zależności od różnych czynników, tworzą się w masie ziarna tak zwane kominy, prowadzące do przemieszczania warstw jęczmienia opuszczającego silos (rys. 2.36).

Silosy z blachy stalowej są tańsze i łatwiejsze w budowie, mają jednak tę wadę, że dobrze przewodzą ciepło. Prowadzi to do szybkiego ochładzania się warstw ziarna leżących przy ścianach silosu oraz w następstwie do skraplania się pary wodnej na zimnym ziarnie. We wszystkich silosach, niezależnie od typu i budowy, ważną sprawą jest regularne wietrzenie ziarna oraz przesyłanie go z silosu do silosu.



Rys. 2.36. Zjawisko samorzutnego sortowania masy ziarna przy przesyłaniu
A) strefa lżejszego ziarna, B) strefa celnego ziarna, C) strefa zatrzymywania lekkiego ziarna, (1-3) przepływ ziarna w silosie (etapy po otworzeniu zasuwy)

Podczas wietrzenia silosów trzeba obserwować temperaturę i wilgotność powietrza. Konieczne są do tego celu odpowiednie czujniki zainstalowane na różnych wysokościach komory silosu.

Magazyny zbożowe słodowni powinny być tak zaplanowane, aby mogły pomieścić 80 do 100% surowca potrzebnego do przerobu w czasie jednej kampanii.

2.2.4.2 Magazynowanie jęczmienia browarnego w spichlerzach

Przechowywanie zboża w spichlerzach jest obecnie rzadko spotykane, gdyż słodownic na ogół mają już silosy, a magazyny podłogowe zajmują dużo miejsca i wymagają dużego nakładu pracy przy eksploatacji. W starych i bardzo małych słodowniach spotyka się jednak ten typ magazynów, a poszczególne partie jęczmienia przechowuje się w osobnych boksach, aby móc je później kolejno, każdą z osobna słodować. Dla wietrzenia jęczmień zasysa się przenośnikiem pneumatycznym z jednego magazynu do drugiego. Niektóre słodownie mają wielkie, wielopoziomowe spichrze. Są to magazyny podłogowe o wielu piętrach, gdzie w podłodze, w równych odstępach, znajdują się zamykane otwory. Dla wietrzenia ziarna otwiera się zasuwy i jęczmień, przez małe rozdzielacze, przesypuje się z wyższego poziomu na niższy.

Podczas przechowywania jęczmienia browarnego istotną rolę odgrywa stosunek wilgotności względnej powietrza do wilgotności jęczmienia. Zależnie od tego jęczmień może wysychać lub pobierać wilgoć z powietrza.

Ciepłe powietrze o sporej wilgotności względnej w zetknięciu z chłodniejszym od niego ziarnem oziębia się, jego pojemność wodna maleje i zawarta w powietrzu para wodna skrapla się na powierzchni ziaren. Dlatego też okno magazynu należy otwierać tylko gdy na zewnątrz jest chłodno.

Zimne i suche nocne powietrze działa zawsze wysuszająco.

Natomiast wiosną, gdy ziarno po mrozach jest zimne, a temperatura na zewnątrz wzrasta, pojawia się niebezpieczeństwo zwiększenia wilgotności jęczmienia podczas wietrzenia. Słodownik musi mieć możność oceny warunków meteorologicznych i ich ewentualnego wpływu na jego zboże. W tym celu trzeba wiedzieć, jaka wilgotność względna powietrza odpowiada danej wilgotności jęczmienia, aby układ pozostawał w równowadze.

Jęczmień o wilgotności %	Pozostaje w stanie równowagi z powietrzem o wilgotności względnej %
13,5	60
14,0	65
15,0	70
16,0	75
17,0	80
19,0	85
21,0	90

Do pomiarów wilgotności względnej powietrza stosuje się wilgociomierze.

Temperatura powietrza suszącego musi być niższa od temperatury ziarna. Jeśli powietrze suszące jest cieplejsze niż jęczmień, to jego wilgotność względna musi być odpowiednio niska.

Grubość warstwy zboża przechowywanego w magazynach podłogowych zależy od dopuszczalnego obciążenia stropów oraz od wilgotności ziarna. Im jęczmień jest wilgotniejszy, tym cieńszą warstwą trzeba go układać.

Wilgotność jęczmienia w %	Maksymalna grubość warstwy w metrach
do 15,6	3
15,6 do 17,0	2,25
ponad 17,0	1

Jęczmień świeżo zebrany i wymłócony kombajnem trzeba początkowo przechowywać w znacznie cieńszych warstwach, bo dojrzewanie poźniwne i wypacanie się ziarna łatwo doprowadzają do zagrzania się i do pogorszenia jakości surowca do produkcji słodu.

Zaletą spichrza jest łatwość bezpośredniej kontroli stanu przechowywanego ziarna. Do wad tego sposobu magazynowania jęczmienia trzeba zaliczyć: duże nakłady energii i pracy na niezbędne przesypywanie zboża dla jego przewietrzenia, słabe wykorzystanie przestrzeni. Z tych przyczyn nowe zakłady wyposażane są wyłącznie w silosy.

2.2.4.3 Szkodniki magazynowe

Obok szkód spowodowanych przez wysoką wilgotność i temperaturę, jęczmień browarny wystawiony jest na niebezpieczeństwo zaatakowania przez szkodniki.

2.2.4.3.1 Szkodniki zwierzęce

Spośród szkodników zwierzęcych, poza gryzoniami, których obawiać się można głównie w spichlerzach, do najgroźniejszych dla jęczmienia zalicza się owady, takie jak wołek zbożowy i mól ziarniak.

Wołek zbożowy (rys. 2.37) ma długość 3 do 4 mm i rozmnaża się w sprzyjających warunkach bardzo szybko. Ma barwę brązową do czarnej. Samica tego chrząszcza z rodziny ryjkowców składa po jednym jajeczku w wywiercony w ziarnie otwór, który następnie zakleja. Po kilku dniach wylęgają się larwy, które żerując wyjadają całą zawartość ziarna i opuszczają pustą łuskę jako dorosłe owady czasem nawet już po pięciu tygodniach. W warunkach zimowych cykl rozwojowy jest znacznie powolniejszy. Nie zauważony dość wcześnie wołek zbożowy może zniszczyć całą partię ziarna.

Rys. 2.37
Wołek zbożowy

Jako metodę zwalczania stosuje się gazowanie takim środkiem, który zabija chrząszcze i ich larwy, a następnie ulatnia się bez śladu (do takich fumigantów należą: fosforowodór, Phostoxin, Actellic 50 i inne).

Te same środki stosuje się do zwalczania mola ziarniaka, który charakteryzuje się tym, że nadgryzione ziarna i własne odchody łączy w grudki rodzajem nici pajęczej.

2.2.4.3.2 Szkodniki roślinne

Na powierzchni ziarna jęczmienia, podobnie jak i na innych produktach osiadają, zarodniki pleśni.

W większości są to pleśnie nieszkodliwe, a rozwijając się na martwym materiale roślinnym spełniają nawet pozytywną rolę w obiegu pierwiastków w przyrodzie. Niepożądane jednak będzie ich wystąpienie na wilgotnym zbożu, które bez dosuszania po zbiorze zostało zmagazynowane. Niektóre z nich mogą wytwarzać niebezpieczne substancje trujące (67).

Inne grzyby strzępkowe, tak zwana mikroflora polowa, występują jako pasożyty roślin uprawnych. W rolnictwie powodują one często duże straty gospodarcze, wpływając negatywnie tak na plony roślin, jak i na jakość zbiorów.

W walce z konkurencyjnymi drobnoustrojami niektóre pleśnie wydzielają do podłoża trujące substancje, hamujące rozwój np. bakterii. Do takich należą antybiotyki. Inne, trujące dla świata zwierzęcego, to mikotoksyny.

Spośród rozwijających się na jęczmieniu strzępkowych grzybów polowych na szczególną uwagę zasługuje rodzaj *Fusarium*. Dwa jego gatunki, *Fusarium graminearum i Fusarium culmorum*, wytwarzają mikotoksyny, desoksynivalenol i zearalenon, a ponadto ich metabolity uważane są za przyczynę zjawiska wypieniania się piwa po otworzeniu butelki, znanego w świecie pod nazwą „gushing". W niektórych latach zjawisko to szczególnie daje się we znaki i może pogorszyć opinię browaru. Rozwijająca się we wnętrzu ziarna grzybnia *Fusarium* może zabarwić je na czerwono, co ułatwia rozpoznanie tej infekcji.

Obok warunków polowych i magazynowych również przebieg słodowania wpływa w dużym stopniu na rozwój pleśni i ich występowanie w jęczmieniu i słodzie. Duża część zarodników pleśni zostaje wprawdzie zmyta z powierzchni ziaren podczas moczenia, ale zawsze pozostają te z nich, które dostały się pod plewkę przed jej zamknięciem podczas dojrzewania ziarna w polu.

Pleśnie te mogą rozwijać się w czasie roszczenia słodu i giną dopiero w większości podczas suszenia. Dotyczy to zwłaszcza gatunków Fusarium. Wszystko to jest powodem, dla którego trzeba poświęcać bardzo wiele uwagi sprawie infekcji ziarna przez pleśnie podczas dojrzewania, zbioru i przechowania.

Mikotoksyny wytwarzane przez niektóre pleśnie są szczególnie niebezpieczne dla ludzi. Najwcześniej wykryte i najlepiej poznane są rakotwórcze aflatoksyny, których nazwa pochodzi od pleśni *Aspergillus flavus*. W wilgotnym i ciepłym klimacie strefy tropikalnej pleśnie rozwijają się szybko i wytwarzają mikotoksyny w różnego rodzaju produktach. Dlatego też surowce pochodzące z krajów tropikalnych powinny być badane na możliwe porażenie pleśniami i obecność już wytworzonych mikotoksyn, a w szczególności aflatoksyn.

Od tłumacza: W badaniach mikroflory polskiego jęczmienia, prowadzonych przez Akademię Rolniczą w Poznaniu, najczęściej stwierdzano obecność grzybów strzępkowych z rodzajów Penicillium, Aspergillus, Alternaria i Cephalosporium; rzadziej występowały Rhizopus i Cladosporium, a tylko w jednej próbce wykryto Fusarium. (A.B.)

2.3 Moczenie jęczmienia

W suchym jęczmieniu enzymy pełniące rolę w procesie słodowania wykazują ograniczoną aktywność lub są jeszcze nieaktywne. Moczenie jęczmienia ma na celu pobudzenie czynności życiowych ziarna oraz rozpoczęcie przemian biochemicznych i strukturalnych. W czasie moczenia woda przenikająca do wnętrza ziarna powoduje uaktywnienie i tworzenie enzymów. Zapoczątkowuje to proces życiowy w ziarnie; rozpoczyna się kiełkowanie. Nie ogranicza się to do słodowni: wszystkie ziarna zbóż i nasiona strączkowe lub inne zaczynają kiełkować po zwilżeniu.

Równocześnie w miarę rozwoju przemian życiowych uaktywnia się proces oddychania jęczmienia i wzrasta zapotrzebowanie na tlen. Moczenie i kiełkowanie jęczmienia to procesy trudne do rozgraniczenia, wymagają więc spójnego ich traktowania.

Aby osiągnąć szybkie rozpoczęcie procesu kiełkowania, jęczmień powinien mieć zapewnioną niezbędną ilość wody i powietrza.

Proces moczenia ziarna odbywa się w zamaczalnikach.

2.3.1 Przebieg moczenia

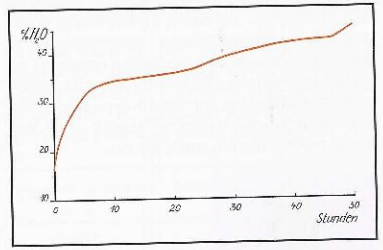
Jęczmień w czasie moczenia pobiera wodę, jest natleniany i oczyszczany.

2.3.1.1 Pobieranie wody

Woda przenika przede wszystkim do zarodka ziarna, później także do okrywy ziarna.

Pobieranie wody jest zależne od czasu i temperatury moczenia, wielkości ziarna, odmiany jęczmienia oraz od roku zbioru.

Czas moczenia: wchłanianie wody przez ziarno przebiega najpierw szybko, a następnie stopniowo maleje. Przebieg pobierania wody przez jęczmień w temperaturze 10°C przedstawia krzywa moczenia (rys. 2.38).



Rys. 2.38
Krzywa pobierania wody przez jęczmień

Temperatura moczenia: Im cieplejsza jest woda użyta do moczenia, tym szybciej ziarno osiąga odpowiedni stopień namoczenia.

Na przykład uzyskanie 42% stopnia namoczenia wymaga:

przy temp. 5°C - 100 h
przy temp. 10°C - 75 h
przy temp. 15°C - 50 h

Wielkość ziarna: małe ziarna pobierają wodę znacznie szybciej niż większe. Zależność tę przedstawiono na przykładzie, w którym po 88-godzinnym moczeniu uzyskano następujące wyniki:

wielkość ziarna w mm	zawartość wody w %
2,9	43,7
2,8	43,3
2,7	43,6
2,6	43,7
2,5	43,7
2,4	44,7
2,3	45,6
2,2	48,9
2,1	47,8
2,0	49,0

Dla uniknięcia nierównomiernego przebiegu kiełkowania, co prowadzi do obniżenia jakości słodu, dostarczany jęczmień sortuje się na I i II gatunek oraz poślad.

Odmiana jęczmienia i rok zbiorów: niebagatelny wpływ na przebieg wchłaniania wody przez ziarno ma odmiana jęczmienia i rok zbiorów. Jęczmień z suchych stref lądowych szybciej wchłania wodę i intensywniej kiełkuje niż jęczmień uprawiany na obszarach nadmorskich. Niektóre jęczmiona wykazują szczególną wrażliwość na wodę.

Wrażliwość na wodę to zjawisko silnego obniżenia energii kiełkowania, kiedy dostarcza się ziarnu więcej wody niż potrzebuje do kiełkowania.

Właściwość ta – zależna od struktury zewnętrznej okrywy ziarna – zanika po pojawieniu się kiełków korzeniowych (lub po usunięciu łuski).

Jęczmienia nie należy więc domaczać od razu do pożądanego stopnia namoczenia; korzystniej jest rozpocząć proces kiełkowania z niższą zawartością wody, np. około 37-40%, a dopiero później przez zraszanie uzupełnić ilość wody do ustalonego stopnia namoczenia.

Pobieranie wody przez ziarno jest zależne od wielu czynników, nie tylko od fizycznych cech jęczmienia, takich jak zawartość wody, ciężar 1.000 ziaren lub zawartość białka, ale także od szeregu **fizjologicznych właściwości**. Im dłuższy jest czas moczenia, tym bardziej ujawnia się wpływ właściwości fizjologicznych ziarna na przebieg pobierania wody przez jęczmień. Woda przenika do zarodka ziarna, a więc do jego podstawy i dalej do wnętrza ziarna (bielma). W czasie moczenia, szczególnie w drugiej i trzeciej fazie, zaczynają występować różnice w pobieraniu wody przez ziarno w zależności od odmiany i miejsca uprawy jęczmienia (98). Ważny jest również fakt, że intensywniejsze pobieranie wody przez ziarno nie jest równoznaczne z szybkim i równomiernym namoczeniem bielma. Rozmieszczenie pobranej wody w poszczególnych częściach bielma jest bardzo zróżnicowane.

Zależnie od wchłaniania wody przez ziarno, jęczmień można podzielić na dwie podstawowe grupy:

a) Odmiany jęczmienia o silnym wzroście korzonków i intensywnym kiełkowaniu. Jęczmień tej grupy charakteryzuje się wysokim stopniem wchłaniania wody, ale rozmieszczenie tej wody w ziarnie przebiega powoli; nawilżanie bielma (endospermy) osiąga się więc z dużym opóźnieniem (rys. 2.38 a).

b) Odmiany jęczmienia o niższej dynamice kiełkowania i słabym wzroście korzonków. Odmiany te wykazują małą zdolność wchłaniania wody, ale pobrana woda bardzo szybko przenika do bielma (rys. 2.38 b); a zatem szybciej uzyskuje się w ziarnie odpowiedni poziom zawartości wody.

Pleśnie te mogą rozwijać się w czasie roszczenia słodu i giną dopiero w większości podczas suszenia. Dotyczy to zwłaszcza gatunków Fusarium. Wszystko to jest powodem, dla którego trzeba poświęcać bardzo wiele uwagi sprawie infekcji ziarna przez pleśnie podczas dojrzewania, zbioru i przechowania.

Mikotoksyny wytwarzane przez niektóre pleśnie są szczególnie niebezpieczne dla ludzi. Najwcześniej wykryte i najlepiej poznane są rakotwórcze aflatoksyny, których nazwa pochodzi od pleśni *Aspergillus flavus*. W wilgotnym i ciepłym klimacie strefy tropikalnej pleśnie rozwijają się szybko i wytwarzają mikotoksyny w różnego rodzaju produktach. Dlatego też surowce pochodzące z krajów tropikalnych powinny być badane na możliwe porażenie pleśniami i obecność już wytworzonych mikotoksyn, a w szczególności aflatoksyn.

Od tłumacza: W badaniach mikroflory polskiego jęczmienia, prowadzonych przez Akademię Rolniczą w Poznaniu, najczęściej stwierdzano obecność grzybów strzępkowych z rodzajów Penicillium, Aspergillus, Alternaria i Cephalosporium; rzadziej występowały Rhizopus i Cladosporium, a tylko w jednej próbce wykryto Fusarium. (A.B.)

2.3 Moczenie jęczmienia

W suchym jęczmieniu enzymy pełniące rolę w procesie słodowania wykazują ograniczoną aktywność lub są jeszcze nieaktywne. Moczenie jęczmienia ma na celu pobudzenie czynności życiowych ziarna oraz rozpoczęcie przemian biochemicznych i strukturalnych. W czasie moczenia woda przenikająca do wnętrza ziarna powoduje uaktywnienie i tworzenie enzymów. Zapoczątkowuje to proces życiowy w ziarnie; rozpoczyna się kiełkowanie. Nie ogranicza się to do słodowni: wszystkie ziarna zbóż i nasiona strączkowe lub inne zaczynają kiełkować po zwilżeniu.

Równocześnie w miarę rozwoju przemian życiowych uaktywnia się proces oddychania jęczmienia i wzrasta zapotrzebowanie na tlen. Moczenie i kiełkowanie jęczmienia to procesy trudne do rozgraniczenia, wymagają więc spójnego ich traktowania.

Aby osiągnąć szybkie rozpoczęcie procesu kiełkowania, jęczmień powinien mieć zapewnioną niezbędną ilość wody i powietrza.

Proces moczenia ziarna odbywa się w zamaczalnikach.

2.3.1 Przebieg moczenia

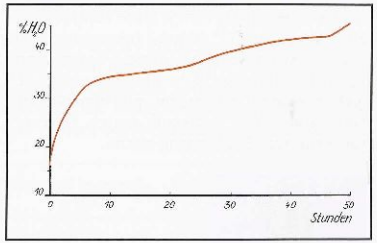
Jęczmień w czasie moczenia pobiera wodę, jest natleniany i oczyszczany.

2.3.1.1 Pobieranie wody

Woda przenika przede wszystkim do zarodka ziarna, później także do okrywy ziarna.

Pobieranie wody jest zależne od czasu i temperatury moczenia, wielkości ziarna, odmiany jęczmienia oraz od roku zbioru.

Czas moczenia: wchłanianie wody przez ziarno przebiega najpierw szybko, a następnie stopniowo maleje. Przebieg pobierania wody przez jęczmień w temperaturze 10°C przedstawia krzywa moczenia (rys. 2.38).



Rys. 2.38
Krzywa pobierania wody przez jęczmień

Temperatura moczenia: Im cieplejsza jest woda użyta do moczenia, tym szybciej ziarno osiąga odpowiedni stopień namoczenia.

Na przykład uzyskanie 42% stopnia namoczenia wymaga:

przy temp. 5°C - 100 h
przy temp. 10°C - 75 h
przy temp. 15°C - 50 h

Wielkość ziarna: małe ziarna pobierają wodę znacznie szybciej niż większe. Zależność tę przedstawiono na przykładzie, w którym po 88-godzinnym moczeniu uzyskano następujące wyniki:

wielkość ziarna w mm	zawartość wody w %
2,9	43,7
2,8	43,3
2,7	43,6
2,6	43,7
2,5	43,7
2,4	44,7
2,3	45,6
2,2	48,9
2,1	47,8
2,0	49,0

Dla uniknięcia nierównomiernego przebiegu kiełkowania, co prowadzi do obniżenia jakości słodu, dostarczany jęczmień sortuje się na I i II gatunek oraz poślad.

Odmiana jęczmienia i rok zbiorów: niebagatelny wpływ na przebieg wchłaniania wody przez ziarno ma odmiana jęczmienia i rok zbiorów. Jęczmień z suchych stref lądowych szybciej wchłania wodę i intensywniej kiełkuje niż jęczmień uprawiany na obszarach nadmorskich. Niektóre jęczmiona wykazują szczególną wrażliwość na wodę.

Wrażliwość na wodę to zjawisko silnego obniżenia energii kiełkowania, kiedy dostarcza się ziarnu więcej wody niż potrzebuje do kiełkowania.

Właściwość ta – zależna od struktury zewnętrznej okrywy ziarna – zanika po pojawieniu się kiełków korzeniowych (lub po usunięciu łuski).

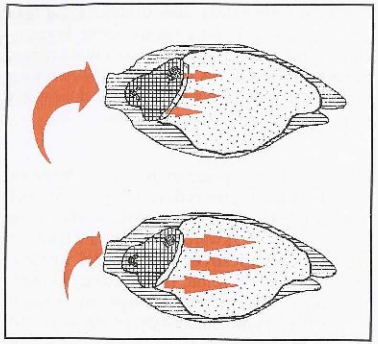
Jęczmienia nie należy więc domaczać od razu do pożądanego stopnia namoczenia; korzystniej jest rozpocząć proces kiełkowania z niższą zawartością wody, np. około 37-40%, a dopiero później przez zraszanie uzupełnić ilość wody do ustalonego stopnia namoczenia.

Pobieranie wody przez ziarno jest zależne od wielu czynników, nie tylko od fizycznych cech jęczmienia, takich jak zawartość wody, ciężar 1.000 ziaren lub zawartość białka, ale także od szeregu **fizjologicznych właściwości**. Im dłuższy jest czas moczenia, tym bardziej ujawnia się wpływ właściwości fizjologicznych ziarna na przebieg pobierania wody przez jęczmień. Woda przenika do zarodka ziarna, a więc do jego podstawy i dalej do wnętrza ziarna (bielma). W czasie moczenia, szczególnie w drugiej i trzeciej fazie, zaczynają występować różnice w pobieraniu wody przez ziarno w zależności od odmiany i miejsca uprawy jęczmienia (98). Ważny jest również fakt, że intensywniejsze pobieranie wody przez ziarno nie jest równoznaczne z szybkim i równomiernym namoczeniem bielma. Rozmieszczenie pobranej wody w poszczególnych częściach bielma jest bardzo zróżnicowane.

Zależnie od wchłaniania wody przez ziarno, jęczmień można podzielić na dwie podstawowe grupy:

a) Odmiany jęczmienia o silnym wzroście korzonków i intensywnym kiełkowaniu. Jęczmień tej grupy charakteryzuje się wysokim stopniem wchłaniania wody, ale rozmieszczenie tej wody w ziarnie przebiega powoli; nawilżanie bielma (endospermy) osiąga się więc z dużym opóźnieniem (rys. 2.38 a).

b) Odmiany jęczmienia o niższej dynamice kiełkowania i słabym wzroście korzonków. Odmiany te wykazują małą zdolność wchłaniania wody, ale pobrana woda bardzo szybko przenika do bielma (rys. 2.38 b); a zatem szybciej uzyskuje się w ziarnie odpowiedni poziom zawartości wody.



Rys. 2.38 a+b

Pobieranie wody przez różne rodzaje jęczmienia

a) jęczmień o wysokiej żywotności

b) jęczmień o niskiej żywotności

Zróżnicowane zachowanie jęczmienia w procesie moczenia wymaga zatem różnego prowadzenia tego procesu dla uzyskania optymalnego wchłaniania wody i jej równomiernego rozmieszczenia w ziarnie:

a) intensywnie kiełkujacy, żywotny jęczmień:
- **intensywne wchłanianie wody przez moczenie w przepływie**
- **zraszanie wodą w czasie kiełkowania**

b) przy mniej żywotnych jęczmionach:
- **wystarczające natlenienie ziarna w czasie moczenia, co jest bardzo ważne oraz**
- **metody moczenia o dłuższych przerwach powietrznych.**

Ilość wody pobranej przez ziarna w czasie moczenia jęczmienia nazywa się stopniem namoczenia. Wskaźnik ten podaje się w procentach. Stopień namoczenia jęczmienia wynosi przeciętnie:

przy produkcji słodów jasnych (typu pilzneńskiego) od 42 do 44%,

przy produkcji słodów ciemnych od 44 do 47%.

W przypadku prowadzenia etapowego podwyższania stopnia namoczenia w słodach jasnych istnieje możliwość uzyskania zawartości wody nawet do 48%. W niektórych odmianach jęczmienia taki stopień namoczenia jest wręcz pożądany. Uzyskuje się w ten sposób skrócenie czasu kiełkowania oraz znaczne obniżenie ubytków suchej substancji podczas słodowania.

Stopień namoczenia ziarna ma duże znaczenie dla przebiegu procesu słodowania. Zawartość wody w ziarnie wpływa na tworzenie się enzymów, na wzrost kiełków i przebieg przemiany materii.

Stopień namoczenia ziarna można oznaczać następująco:

- przy użyciu aparatu Bernreuthera,
- za pomocą oznaczenia wagi 1.000 ziaren,
- przez bezpośrednie oznaczenie zawartości wody w ziarnie,
- na drodze empirycznej.

Aparat Bernreuthera - jest to mały, perforowany metalowy cylinder z długim uchwytem. Do aparatu wsypuje się 100 g jęczmienia, pobierając równocześnie próbkę do oznaczenia na zawartość wody. Aparat wstawia się do zamaczalnika razem z aktualnie moczonym jęczmieniem w słodowni. Po zakończeniu procesu moczenia ziarno wysypuje się z aparatu, osusza za pomocą bibuły i waży. Z przyrostu masy oblicza się stopień namoczenia.

Przykład:

Zważono 100 g o wilgotności 16,0%. Po moczeniu próbka jęczmienia ważyła 150 g. Jaki jest stopień namoczenia ziarna?

100 g jęczmienia zawiera 16 g wody

150 g mokrego jęczmienia zawiera

16 g + 50 g = 66 g wody

100 g : 150 g = x : 66

$$x = \frac{100 \cdot 66}{150} = 44\%$$

Bezpośrednie oznaczenie zawartości wody w laboratorium: Oznaczenie to wymaga dwustopniowego suszenia badanej próbki. Próbkę moczonego jęczmienia osusza się z wody pozostałej na ziarnie (np. na bibule), dokładnie waży i poddaje wstępnemu podsuszeniu. Po podsuszeniu próbkę waży się, pobiera się 5,05 g ziarna, miele i dalej postępuje tak, jak przy zwykłym oznaczeniu wilgotności. Z ubytków wody z obu oznaczeń wylicza się ogólną zawartość wody w mokrym jęczmieniu.

Empiryczne oznaczenie stopnia namoczenia. W celu uzyskania przybliżonego poglądu, czy jęczmień jest prawidłowo namoczony, można ziarno zgnieść między palcami, trzymając je pionowo między kciukiem a palcem wskazującym. Prawidłowo zamoczony jęczmień powinien się rozgnieść bez ukłucia.

Namoczony jęczmień powiększa swoją pierwotną objętość o 40 do 45%. Należy ten fakt uwzględnić przy ustalaniu wielkości partii jęczmienia kierowanego do moczenia.

100 kg jęczmienia po namoczeniu zajmuje objętość około 2,3 hl.

2.3.1.2 Zaopatrzenie w tlen

Przy wzmożonym pobieraniu wody zachodzi intensywne oddychanie ziarna, wzrasta więc silnie zapotrzebowanie jęczmienia na tlen. Jeżeli jęczmień nie zostanie dostatecznie napowietrzony, proces oddychania zostanie zakłócony i nastąpi śródcząsteczkowe oddychanie, co w skrajnych warunkach prowadzić może do zamierania zarodka (martwa zamoczka).

Stałe napowietrzanie ziarna to podstawowa zasada, zapewniająca szybkie rozpoczęcie procesu kiełkowania oraz jego prawidłowy przebieg.

Woda używana do zamaczania zawiera rozpuszczony tlen, jest on jednak przez ziarno bardzo szybko zużyty. Próbowano uzupełniać zawartość tlenu w wodzie za pomocą sprężonego powietrza, ten sposób nie przyniósł jednak spodziewanego rezultatu.

Obecnie skraca się czas moczenia wodnego i pozostawia jęczmień możliwie długo i często bez wody (moczenie powietrzne). Dwutlenek węgla, wydzielany w czasie oddychania i opadający w dół, musi być stale odprowadzany. Stosowanie zraszania lub polewania jęczmienia nie tylko usuwa powstały dwutlenek węgla, ale wpływa także na podwyższenie efektu natleniania, bez obawy przerwania wchłaniania wody przez ziarno.

2.3.1.3 Mycie jęczmienia

Mimo że jęczmień przed skierowaniem do przerobu jest odpylany, to jednak zadaniem pierwszej fazy moczenia jest przede wszystkim mycie jęczmienia. Mycia ziarna dokonuje się przez natryskiwanie go wraz z wodą na blachy odbojowe, przez przepompowywanie i za pomocą innych mechanicznych zabiegów. Jednocześnie zachodzi ługowanie różnych związków chemicznych wodą zamoczkową. O skali zabrudzenia jęczmienia świadczy pierwsza woda użyta do moczenia – brudna i wydzielająca nieprzyjemną woń. W czasie pierwszego nalewu zostają oddzielone nie tylko zanieczyszczenia stałe, lekkie ziarna czyli „spławki" oraz kurz, ale również wymywane są z łuski substancje garbnikowe i goryczkowe oraz związki krzemowe i białkowe.

Na powierzchni ziarna usadawiają się także różnego rodzaju pleśnie. Przy silnym porażeniu pleśniami do moczenia trzeba zastosować środki dezynfekcyjne, o ile wcześniej nie wycofa się całej zakażonej partii z produkcji.

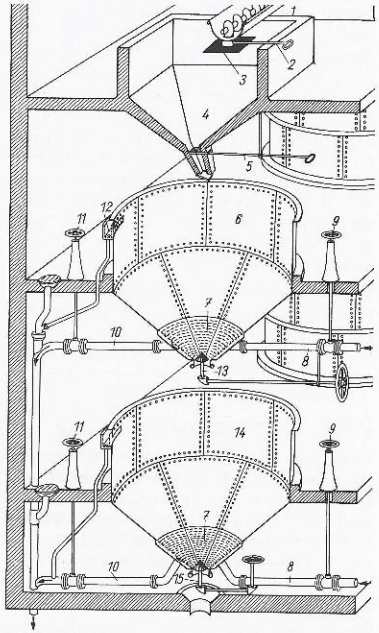
2.3.2 Zamaczalniki

Moczenie jęczmienia odbywa się w **cylindrycznych kadziach** z blachy stalowej, o stożkowym dnie. Obecnie używa się przeważnie naczyń ze stali nierdzewnej. Cylindryczno-stożkowy kształt kadzi zamoczkowych wybrano ze względu na ułatwione opróżnianie; mokry jęczmień zsypywany jest bez problemu z kadzi bezpośrednio do słodowania w skrzyniach.

Zamaczalniki umieszczane są w wydzielonym oddziale – zamaczalni, instalowane najczęściej nad urządzeniami do kiełkowania.

W starych zamaczalniach znajdują się jeszcze (rys. 2.39) układy zamaczalników stożkowych, ustawionych jeden nad drugim, a jęczmień w czasie moczenia z wyżej położonej kadzi przesyłany jest grawitacyjnie do niżej położonego zamaczalnika. Sposób ten, mimo jego przydatności technicznej, stwarzał poważne problemy z uzyskaniem słodu jednolitej jakości. W po-

zostawionym bez wody ziarnie wzmożony zostaje proces oddychania. Powstały dwutlenek węgla opada na dno stożka i utrudnia oddychanie partii jęczmienia leżącego w tej części zamaczalnika. W obrębie jednej partii jęczmienia powstawały więc różne warunki procesu moczenia, co nie gwarantowało otrzymania słodu jednolitej jakości.



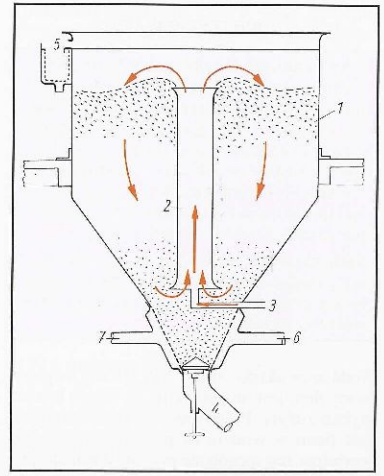
Rys. 2.39

Zamaczalniki (kadzie zamoczkowe) ustawione w dwóch poziomach jedne nad drugimi wg starego systemu

(1) przenośnik ślimakowy, (2) zasuwa, (3) sito druciane, (4) zasobnik, (5) spust jęczmienia, (6) pierwszy zamaczalnik, (7) perforowany dół stożka z płaszczem, (8) dopływ wody, (9) zawór, (10) odpływ wody, (11) zawór, (12) przelew z sitem na spławki, (13) zawór spustowy, (14) główny zamaczalnik, (15) zawór spustowy namoczonego jęczmienia

Wild przed wielu laty po raz pierwszy wprowadził w Niemczech **zamaczalnik z centralnie zamontowanym przewodem rurowym, do którego od dołu wprowadza się sprężone powietrze.** Służy on do wywołania ruchu jęczmienia wewnątrz zamaczalnika w czasie pierwszego dnia moczenia (wstępne moczenie wg Wilda) (rys. 2.40). Dzięki temu otrzymano równomiernie umyte, nawodnione i napowietrzone ziarno całej partii jęczmienia. Ten rodzaj zamaczalników jest używany jeszcze dzisiaj.

Obecnie najczęściej stosuje się zamaczalniki, w których **do napowietrzania służą dysze**, co umożliwia wykonanie tego zabiegu także w czasie mokrego moczenia. W urządzeniach, w których wymoczony jęczmień jest transportowany dalej za pomocą mechanicznych urządzeń transportowych (sucha wymoczka), stożek zamaczalnika musi mieć kąt bardziej ostry (ok. 60°) niż przy hydraulicznym przesyłaniu (ok. 90°) (mokra wymoczka).



Rys. 2.40

Zamaczalnik wg Wilda

(1) zbiornik zamaczalnika, (2) centralna rura obiegu ziarna z wodą, (3) dopływ sprężonego powietrza, (4) spust namoczonego zboża, (5) sito na spławki, (6) dopływ świeżej wody, (7) odpływ brudnej wody

Dalszy rozwój konstrukcji doprowadził do wprowadzenia **zamaczalników z płaskim dnem.** Są one instalowane oddzielnie lub w połączeniu z zamaczalnikami stożkowymi. Zamaczalniki z płaskim dnem służą do drugiego zamaczania (rys. 2.41). Zamaczalniki te to cylindryczne pojemniki ze stali nierdzewnej, w których na perforowanym dnie (2) leży jęczmień. Prześwit sitowego dna wynosi od 24 do 32%.

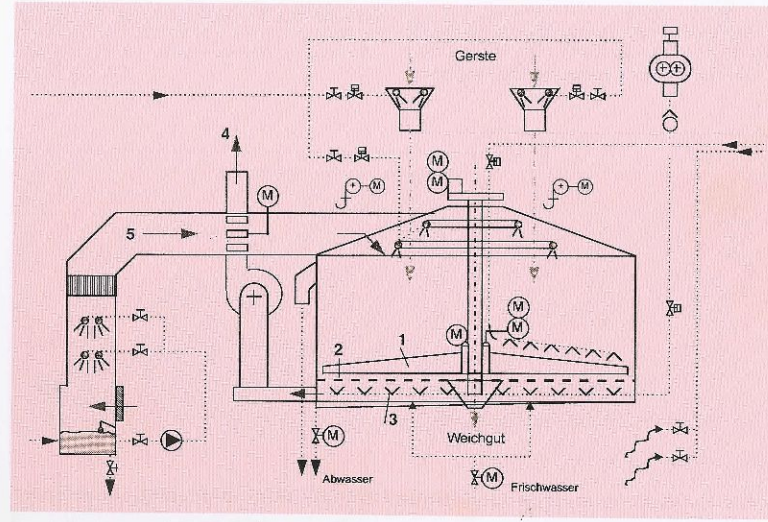
Rozmieszczenie jęczmienia w zbiorniku o płaskim dnie oraz opróżnianie z już zaoczkowanego ziarna odbywa się za pomocą wieloramiennego, radialnego zgarniacza, który w zależności od potrzeb może być podnoszony lub opuszczany. Zgarniacz wyposażony jest w przestawne łopatki, które transportują jęczmień do środka, na boki lub wyrównują warstwę leżącego jęczmienia (rys. 2.42).

Do napowietrzania jęczmienia służą dysze sprężonego powietrza, zainstalowane pod dnem sitowym. Pod dnem sitowym umieszczone są również dysze do mycia.

Płaskie zamaczalniki wymagają trochę więcej wody niż zamaczalniki stożkowe, ponieważ przestrzeń pod sitem nie może być za mała. Dla zaoszczędzenia wody stosuje się w wielu słodowniach urządzenia, które utrzymują nad jęczmieniem możliwie jak najniższy poziom wody. W tego rodzaju zamaczalnikach, dzięki ułożeniu jęczmienia w równej warstwie, następuje szybkie i równomierne zakiełkowanie w całej partii ziarna.

Dalszymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi są **zamaczalniki ślimakowe**, przeznaczone zarówno do mycia ziarna, wstępnego moczenia jak i do domaczania (rys. 2.43). Jęczmień podawany jest do wypełnionej wodą pochyłej rynny, w której za pomocą ślimaka jest powoli przesuwany ku górze. W czasie przesuwania jęczmienia ziarno wchłania wodę. Pływające puste ziarna usuwane są za pomocą dodatkowo zainstalowanego urządzenia.

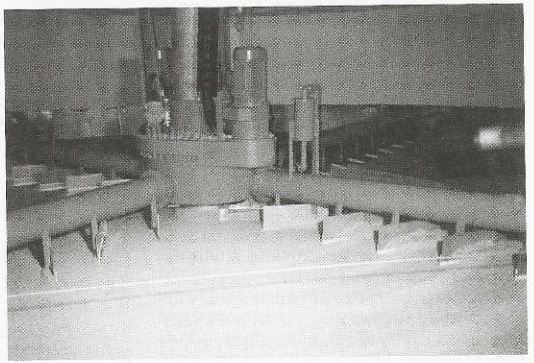
Innym rozwiązaniem konstrukcyjnym jest **zamaczalnik bębnowy** (rys. 2.43a). Rozwiązanie techniczne tego zamaczalnika pozwala na

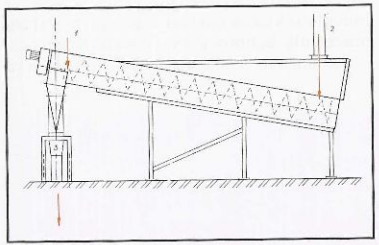


Rys. 2.41. Zamaczalnik płaskodenny

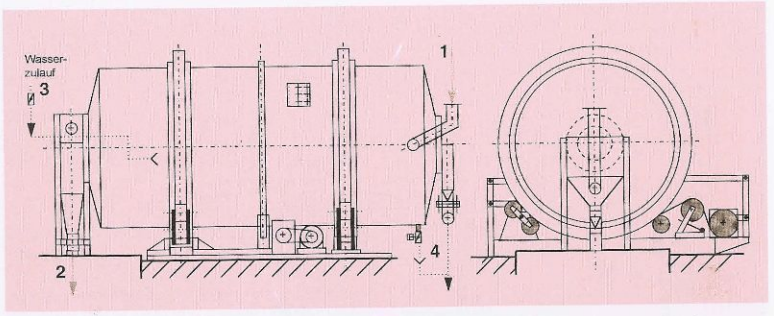
(1) wygarniacz, (2) płaskie dno sitowe, (3) natryski, (4) zasysanie CO_2, (5) dopływ świeżego powietrza

Rys. 2.42
Łopatki wygarniacza radialnego
(fot. Firmy Seeger)

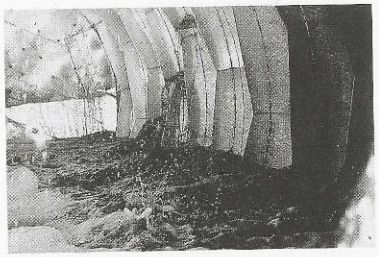




Rys. 2.43
Zamaczalnik ślimakowy
(1) dopływ wody, (2) wsyp jęczmienia, (3) wylot namoczonego jęczmienia
(Stosując 5 ślimaków jeden obok drugiego można umyć 90 t/h jęczmienia. Przyp. tł. A.B.)



Rys. 2.43 a: Bęben do mycia i moczenia ziarna. Przekrój podłużny i poprzeczny z układem napędowym.
(1) wsyp jęczmienia, (2) umyty i wstępnie namoczony jęczmień, (3) dopływ wody, (4) odpływ wody
(Patent Friedr. Weissheimer Malzfabrik)



Rys. 2.43b
Wnętrze zamaczalnika bebnowego
(Fot. Friedrich Weissheimer Malzfabrik, Andernach)

szczególnie intensywne oczyszczenie ziarna. W obracającym się bębnie (rys. 2.43b) jęczmień przebywa przez 30 do 45 minut pod wodą o temperaturze 25°C i podawany jest dalej. Dobry efekt mycia ziarna uzyskuje się w tym urządzeniu przede wszystkim w usuwaniu zarodników pleśni. Przenikanie wody do ziarna zachodzi szybko i osiąga ono stopień namoczenia 27 do 30%.

Na rys. 2.44 pokazano przekrój nowoczesnego oddziału moczenia. Stosowanych jest jednak wiele innych rozwiązań technicznych.

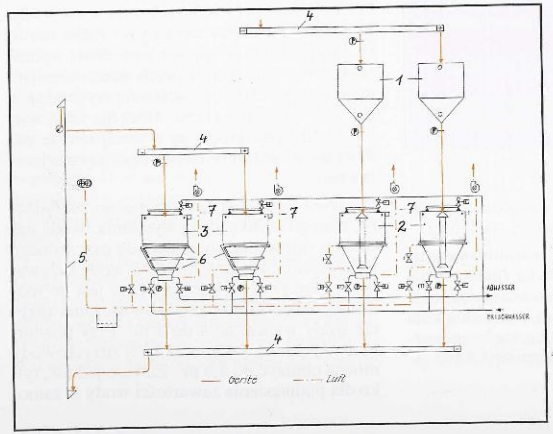
Pojemność **zamaczalników stożkowych** wynosi najczęściej od 50 do 60 t jęczmienia. Do moczenia większej dziennej partii stosuje się kilka zamaczalników ustawionych równolegle. Zużycie wody – 4 do 6 m^3/t jęczmienia

Idealne do moczenia dużych partii są **zamaczalniki płaskie**. Charakteryzują się one również równomiernym przebiegiem procesu moczenia. Wadami tych urządzeń są:

- wyższe koszty inwestycyjne,
- wyższe zużycie wody, wskutek niewykorzystanej przestrzeni pod sitami,
- konieczność manualnego mycia przestrzeni pod sitami.

Zamaczalniki bębnowe nadają się szczególnie dla pierwszej fazy zamaczania przed dalszym moczeniem natryskowym. Zużycie wody 0,6 do 0,8 m^3/t jęczmienia.

Pojemność zamaczalników stożkowych to suma pojemności cylindra i stożka, którą oblicza się wg następującego wzoru:



Rys. 2.44
Zamaczalnia nowoczesnego typu
(1) zasobniki jęczmienia, (2) wstępne moczenie i mycie wg Wilda, (3) zamaczalniki główne, (4) przenośnik ślimakowy, (5) podnośnik kubełkowy, (6) dopływ sprężonego powietrza, (7) odsysanie CO_2

$$V_w = V_z + V_k$$

$$V_z = \pi \cdot r^2 \cdot h_z$$

$$V_k = \pi \cdot r^2 \cdot \frac{h_k}{3}$$

$$V_y = \pi \cdot r^2 \left(h_z + \frac{h_k}{3} \right)$$

Przykład:

Średnica zamaczalnika wynosi 4,90 m. Wysokość cylindrycznej części wynosi 1,90 m, części stożkowej 2,40 m.

Jaka jest pojemność zamaczalnika stożkowego?

a) Pojemność części cylindrycznej:

$$V_z = \pi \cdot r^2 \cdot h_z = 3{,}14 \cdot 2{,}45m \cdot 2{,}45m \cdot 1{,}90m$$

$$V_z = 35{,}81m^3$$

b) Pojemność części stożkowej:

$$V_k = \pi \cdot r^2 \cdot \frac{h_k}{3} = 3{,}14 \cdot 2{,}45m \cdot 2{,}45m \cdot \frac{2{,}40m}{3}$$

$$V_k = 15{,}08m^3$$

c) *Pojemność zamaczalnika stożkowego:*

$$V_z + V_k = 35{,}81m^3 + 15{,}08m^3 = 50{,}89m^3$$

Pojemność zamaczalnika stożkowego wynosi 50,89 m³.

Przykład:

Chcemy ustalić, ile jęczmienia można moczyć w zamaczalniku o podanej wyżej wielkości.

Uwzględniamy średni ciężar hektolitrowy jęczmienia, który wynosi ok. 70 kg (patrz rozdz. 1.1.5.2.3). W czasie zamaczania objętość jęczmienia na skutek wchłaniania wody zwiększa się o ok. 40%. Tak więc 70 kg suchego jęczmienia po namoczeniu ma objętość 1,4 hl.

1,40 hl = 70 kg

$$508{,}90\,hl = \frac{508{,}90\,hl \cdot 70\,kg}{1{,}40\,hl} = 25445\,kg$$

Partia jęczmienia kierowanego do zamaczania może wynosić 25 ton (*Praktycznie jednak pojemność ta wystarczy na 20 ton jęczmienia. Przyp. tłum. A.B.*).

Obecnie buduje się zamaczalniki o zsypie do 75 t. Przyjmuje się, że każda tona jęczmienia wymaga 2,4 m³ pojemności zamaczalnika.

2.3.3 Technika moczenia ziarna

W pierwszej fazie moczenia pobieranie wody przez ziarno jest bardzo intensywne, a następnie stopniowo maleje. Z kolei przebieg procesów życiowych na początku moczenia jest powolny, a potem wzrasta skokowo; szczególnie nasila się proces oddychania.

Oznacza to, że jęczmień bez szkody może być moczony pod wodą tylko przez pierwsze godziny. W dalszym etapie moczenia konieczne jest doprowadzenie odpowiedniej ilości powietrza oraz odprowadzenie wytworzonego dwutlenku węgla.

Proces moczenia rozpoczyna się od napełnienia zamaczalnika wodą, a następnie jęczmień zsypuje się do kadzi przez łapacz zanieczyszczeń. Mimo mieszania moczonego jęczmienia, niektóre ziarna nie opadają. Są to puste ziarna, które zbierają się w czasie przelewu wody. Spławki te sprzedawane są jako mało wartościowa pasza. Ilość ich jest niewielka i wynosi ok. 0,1 do 0,2%. W niektórych słodowniach rezygnuje się z usuwania spławek, wychodząc z założenia, że puste ziarna, które nie mają wartości także jako pasza, są w dużej mierze oddzielane w wialni w czasie czyszczenia jęczmienia.

Pierwsza woda jest zawsze mocno zabrudzona, dlatego szybko się ją wymienia. Woda jest drogim surowcem, co zmusza do oszczędnego jej używania. Teoretycznie 90% wody zużywanej w słodowni wykorzystywane jest do moczenia. Zależnie od metody zamaczania zużycie wody wynosi od 4 do 7 m³. Przy powtórnym użyciu wody zamoczkowej zużycie wody można obniżyć do 3,5 m³. Zawsze jednak, tylko dla podniesienia zawartości wody w zamoczonym ziarnie z 12% do 45-46%, na każdą tonę jęczmienia zużywa się 0,94 m³ wody. Obniżenie zużycia wody poniżej tej wartości jest niemożliwe, gdyż pewna ilość wody musi być zawsze użyta do mycia jęczmienia.

W związku z tym wstępne oczyszczanie jęczmienia (157) jest bardzo ważną czynnością. Wykonuje się to przy użyciu urządzenia zwanego *polerką*.

Dzięki temu zabiegowi można zmniejszyć ilość ścieków, które dzisiaj wynoszą średnio od 3,0 do 5,3 m³ na tonę przerabianego jęczmienia, a przede wszystkim ładunek brudu. Obciążenie ścieków ze słodowni wynosi

- 2,9 do 4,5 kg BZT_5/t gotowego słodu względnie
- 3,4 do 7,95 kg ChZT/t gotowego słodu.

Oszczędność wody można przede wszystkim uzyskać dzięki powtórnemu zastosowaniu wody moczącej. Ze względu na obciążenie tej wody zanieczyszczeniami, może ona być zawracana tylko do pierwszego moczenia nowej partii jęczmienia. W czasie pierwszego moczenia usuwane są zanieczyszczenia znajdujące się na powierzchni ziarna, a także bakterie i zarodniki pleśni. W niektórych krajach usuwa się zanieczyszczenia mikrobiologiczne stosując dodatek różnych środków, jak np. siarczanu glinu, amidu poliakrylowego lub formaldehydu (formaliny).W Niemczech zabronione jest dodawanie tych substancji (Reinheitsgebot). W związku z tym, poszukuje się możliwie tanich metod uzdatniania wód z moczenia do ponownego ich używania, co umożliwiłoby dalsze obniżenie wysokich kosztów wody i ścieków.

(W latach wilgotnych, kiedy jęczmień jest bardzo zakażony zarodnikami pleśni, w wielu słodowniach dodaje się w czasie moczenia wodę wapienną. Dodanie wapna działa nie tylko antyseptycznie, ale usuwa z łuski substancje oddziałujące niekorzystnie na smak piwa. Przyp. tłum.)

W nowszych badaniach (188) udowodniono, że przy ponownym zastosowaniu wody do zamaczania wzrasta wprawdzie ilość mikroorganizmów, jednak skład tej mikroflory ulega pozytywnym zmianom. Stwierdzono bowiem, że dzięki zwiększonemu rozwojowi np. *Geotrichum*, które można dodać w postaci kultur starterowych, zahamowany zostaje wzrost *Fusarium*. W gotowym słodzie wykrywa się tylko niewielką ilość mikroorganizmów.

Ponowne zawracanie wody zamoczkowej prowadzi nie tylko do obniżenia ilości ścieków, ale pod względem mikrobiologicznym może wpływać również korzystnie na gotowy słód.

Po czterech, najpóźniej po sześciu godzinach pierwsza woda zamoczkowa powinna być spuszczona, a jęczmień dobrze przewietrzony. Ziarno wchłania w dalszym ciągu wodę, która pozostała na jego powierzchni. Wzrasta więc dalej stopień namoczenia. Jednocześnie powinien być usuwany dwutlenek węgla, wytwarzany wskutek oddychania. Dokonuje się tego przez odsysanie powietrza co godzinę przez 10-15 minut. Zabieg ten zapobiega hamowaniu przemian życiowych w ziarnie; rozpoczyna się proces kiełkowania.

W miarę rozwoju wiedzy na temat przebiegu pobierania wody przez ziarno, w zmiennym systemie moczenia: wodnego i powietrznego, ograniczono czas moczenia pod wodą do 20% ogólnego czasu zamaczania ziarna.

Proces moczenia w zamaczalnikach można było dzięki temu skrócić o jeden do 1,5 dnia, ponieważ domaczanie do żądanej zawartości wody w ziarnie odbywa się przez zraszanie w czasie słodowania.

Dlatego też niemożliwe jest wyraźne rozgraniczenie tych dwóch procesów. Dla uzyskania założonego stopnia namoczenia wynoszącego od 44 do 47%, zawartość wody w jęczmieniu kierowanym do kiełkowania powinna wynosić 36 do 38%. Jest to możliwe przez zastosowanie dwukrotnego moczenia pod wodą; po 4 godziny w odstępach ok. 24-godzinnych.

Przykład

Czynność	po godzinach	czas czynności	wzrost zawartości wody
Moczenie wodne z napowietrzeniem	początek po 2 i 3 h	4 godziny co 15 min.	z 14% do 30%
Moczenie suche	po 4 h	20 h	z 30% do 34%
Moczenie pod wodą z napowietrzeniem	po 24 h co godz.	3 h co 15 min.	z 34% na 38%
Spuszczenie wody i kierowanie do kiełkowni			

Następnie wymoczenie i uzupełnienie wody w mokrym jęczmieniu do żądanego stopnia namoczenia przez zraszanie na grzędzie.

Oczywiście, nie ma konieczności stosowania 24-godzinnego rytmu pracy. Wskazane jest raczej stworzenie takich warunków, by prawidłowo przebiegały zarówno procesy życiowe, jak i przemiany biochemiczne. Wymaga to jednak większej elastyczności personelu obsługującego.

Przy tak intensywnym zaopatrywaniu jęczmienia w tlen i wodę należy spodziewać się wystąpienia równomiernego zaoczkowania ziarna przed zakończeniem moczenia.

Wymoczka może odbywać się:

- albo na mokro z wodą,
- albo na sucho bez wody.

2.4 Kiełkowanie jęczmienia

W czasie kiełkowania z zarodka powstaje nowa roślina. Do budowy tej nowej rośliny potrzebne są duże ilości energii i substancji budulcowych. Zanim będzie ona w stanie wykorzystywać potrzebne do życia składniki z otoczenia i zacznie sama wytwarzać skrobię na drodze asymilacji, korzysta z substancji rezerwowych, znajdujących się w bielmie.

Składniki zawarte w bielmie, przed rozpoczęciem słodowania, występują w postaci stabilnych, wysokocząsteczkowych związków. Aby transport tych składników do zarodka mógł nastąpić, substancje te muszą być najpierw przekształcone w niskocząsteczkowe produkty rozpuszczalne w wodzie. Zmiana substancji zapasowych na prostsze, rozpuszczalne w wodzie, zachodzi przy udziale enzymów, które zostają wytworzone w czasie kiełkowania.

Głównym zadaniem słodowania jest wytworzenie enzymów. Są one niezbędne w procesie zacierania. Jednak żeby nie dopuścić do niepotrzebnych strat substancji zapasowych, należy w czasie kiełkowania hamować nadmierną intensywność procesów.

Proces kiełkowania prowadzi się przeważnie w urządzeniach pneumatycznych. Słodownie klepiskowe znajdują zastosowanie już bardzo rzadko.

2.4.1 Przebieg procesu kiełkowania

W procesie tym zachodzą następujące przemiany: wzrost kiełków, tworzenie enzymów oraz przemiana materii.

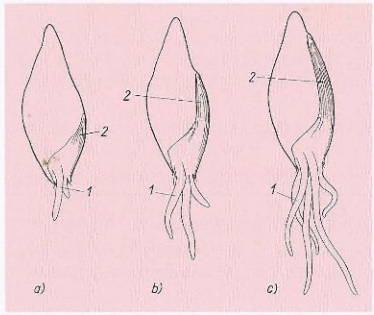
2.4.1.1 Wzrost kiełków

W kiełkującym ziarnie rozwijają się kiełki korzeniowe i kiełek liścieniowy.

Kiełki korzeniowe

Pod koniec moczenia kiełek korzeniowy przebija podstawę ziarna i staje się widoczny (rys. 2.45).Wygląd kiełka jest charakterystyczny dla poszczególnych stadiów wzrostu. Zależnie od wzrostu kiełków nadawano często masie kiełkującego ziarna odpowiednie nazwy, np. „oczkujące", a grzędę nazywano „pękawką", kiedy kiełek zaczynał być widoczny. Natomiast kiedy w miarę wzrostu rozgałęziały się i plątały tworząc bryłki, mówiono o sfilcowaniu kiełkującego jęczmienia.

Kiełki korzeniowe powinny po mniej więcej 2 dniach kiełkowania tworzyć 2 do 4 korzonków, **a ich długość przy produkcji słodu pilzneńskiego nie powinna przekraczać 1,5-krotnej długości ziarna; natomiast dla słodu ciemnego kiełki mogą mieć dwukrotną długość ziarna.**



Rys. 2.45

Przebieg kiełkowania ziarna jęczmienia

a) w pierwszym dniu, b) w trzecim dniu, c) w piątym dniu (1) korzonki, (2) kiełek liścieniowy

Kiełki korzeniowe przy końcu procesu suszenia odłamują się i są oddzielane od ziarna przy czyszczeniu słodu. Kiełki stanowią **część strat procesu słodowania**.

Wzrost kiełków jest zależny od czasu prowadzenia procesu kiełkowania oraz od temperatury kiełkującego ziarna. Im dłuższy jest proces kiełkowania i wyższa temperatura, tym dłuższe korzonki i tym większe będą straty.

Możliwie krótkie prowadzenie procesu kiełkowania w niskich temperaturach ogranicza straty, które normalnie wynoszą ok. 4% w przeliczeniu na suchą substancję słodu.

Kiełek liścieniowy

Kiełek liścieniowy przebija okrywę nasienną na grzbietowej stronie ziarna, ale nie przebija łuski; rośnie pod łuską, przesuwając się ku wierzchołkowi ziarna i jest pod łuską widoczny. Kiełek liścieniowy nie wyrasta z ziarna, nie jest usuwany i nie powoduje strat. Długość kiełka liścieniowego wiąże się z przebiegiem procesów przemiany materii wewnątrz ziarna i świadczy o rozluźnieniu ziarna (patrz 2.4.1.3).

Rozwój kiełka liścieniowego i proces rozluźnienia ziarna przebiegają niemal równolegle.

Długość kiełka liścieniowego przy produkcji słodu pilzneńskiego powinna osiągać około 2/3 do 3/4 długości ziarna, a przy słodzie ciemnym – ok. 3/4 do 1/1 długości ziarna.

Różne rozluźnienie ziarna w obu typach słodu podyktowane jest potrzebą wytworzenia różnej zawartości produktów rozpadu.

Zdarza się, że kiełki liścieniowe wyrastają z ziarna i stają się widoczne na czubku ziarna. Wtedy mówi się o tak zwanych **huzarach**. Jeżeli pod koniec kiełkowania występują ziarna z huzarami, to należy przypuszczać, że temperatura w czasie kiełkowania była za wysoka lub źle przerabiano grzędy.

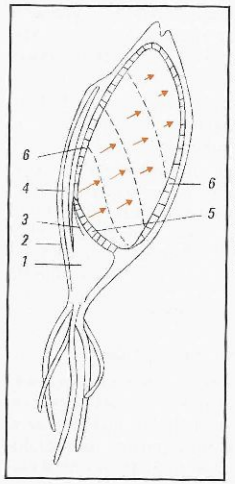
2.4.1.2 Tworzenie enzymów

Uaktywnienie enzymów zawartych w jęczmieniu to najważniejszy proces zachodzący w czasie kiełkowania i całej produkcji słodu. Już w jęczmieniu enzymy występują w znacznej ilości. Podczas kiełkowania są intensywnie uwalniane lub tworzone.

Spośród wielu enzymów i kompleksów enzymów, które są zawarte w jęczmieniu i w słodzie, interesują nas przede wszystkim następujące:

- ***enzymy rozkładające skrobię, głównie α- i β-amylaza,***
- ***enzymy cytolityczne, głównie β-glukanaza i cytaza***
- ***enzymy proteolityczne (proteazy)***
- ***enzymy rozkładające tłuszcze (lipazy) i***
- ***enzymy rozkładające estry kwasu fosforowego (fosfatazy).***

Wszystkie wymienione enzymy, z wyjątkiem α-amylazy, która w niesłodowanym ziarnie nie występuje, znajdują się w małych ilościach już w jęczmieniu. Tworzenie enzymów stymulowane jest przez hormony znajdujące się w tarczce zarodkowej ziarna (104). Składają się one z kwasu giberelinowego lub substancji podobnych. Hormony te z wchłanianą wodą przechodzą z tarczki do warstwy aleuronowej, gdzie pobudzają powstawanie w ziarnie całego szeregu enzymów (rys. 2.46).



Rys. 2.46
Tworzenie enzymów w kiełkującym ziarnie jęczmienia (wg Palmera)
(1) zarodek, (2) łuska, (3) zaczątek kiełka liścieniowego, (4) rosnący kiełek liścieniowy, (5) tarczka zarodkowa, (6) warstwa aleuronowa

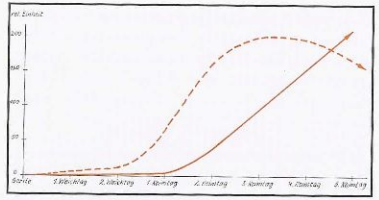
Uwalniają one aminokwasy, z których tworzone są enzymy, najpierw β-glukanaza, potem α-amylaza i proteazy. Natomiast β-amylaza nie powstaje w warstwie aleuronowej lecz w bielmie. Powstawanie enzymów zachodzi równolegle z procesem oddychania. W dobrze napowietrzanym jęczmieniu enzymy powstają wcześniej oraz w większych ilościach.

2.4.1.2.1 Enzymy rozkładające skrobię (amylazy)

Amylazy są niewątpliwie najważniejszymi enzymami w słodzie. W procesie zacierania z ich pomocą rozkładana jest skrobia.

α-amylaza

α-amylaza nie jest wykrywana w nieskiełkowanym jęczmieniu (rys. 2.46 a). Główna ilość tego enzymu powstaje między 2 a 4 dniem kiełkowania, ale tworzona jest także w późniejszych dniach kiełkowania.

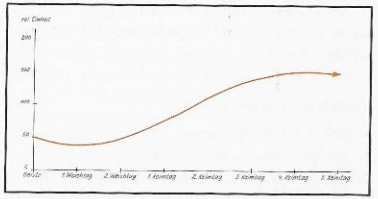


Rys. 2.46a
Tworzenie α-amylazy (intensywność oddychania wyraża linia przerywana)

Do produkcji słodu o bardzo wysokiej zawartości enzymów, np. dla potrzeb gorzelnictwa, jęczmień był poddawany długiemu procesowi kiełkowania. Wzrasta wówczas nie tylko zawartość enzymów, ale występuje intensywny wzrost kiełków i wzmożony proces oddychania, co z kolei przyczynia się do większych strat (słód długi).

β-amylaza

β-amylaza jest obecna w znacznej ilości już w nieskiełkowanym suchym jęczmieniu (rys. 2.46b). Intensywny wzrost jej aktywności występuje w 2-3 dniu kiełkowania.



Rys. 2.46b
Tworzenie β-amylazy

Tworzenie β-amylazy w pierwszych dniach kiełkowania jest bezpośrednio związane z oddychaniem. Dlatego w tej fazie kiełkowania jęczmienia konieczne jest obfite wietrzenie, które wpływa na tworzenie β-amylazy.

W ostatnich dniach kiełkowania zawartość β-amylazy prawie się nie zmienia. Powstawanie α- i β-amylazy w czasie kiełkowania jest zależne od kilku czynników (104,105), takich jak:

1. **właściwość odmianowa**, zależna jednak też od warunków klimatycznych,
2. **bogate w białko** odmiany jęczmienia tworzą więcej amylazy,
3. **wyższa zawartość wody** w mokrym słodzie podwyższa ilość amylazy,
4. **zimne prowadzenie kiełkowania** zapewnia zawsze wyższą zawartość amylazy. Wyższa temperatura w czasie zamaczania i kiełkowania wpływa wprawdzie na wcześniejsze tworzenie się enzymów, jednak w końcowej fazie suma wytworzonych enzymów jest mniejsza.

Miernikiem aktywności amylazy jest oznaczenie siły diastatycznej, którą podaje się w jednostkach Windisch-Kolbacha (WK).

2.4.1.2.2 Inne grupy enzymów

W czasie słodowania oprócz enzymów rozkładających skrobię **wytwarzane są jeszcze enzymy cytolityczne, proteolityczne i inne.**

Enzymy te są w jęczmieniu obecne w bardzo małych ilościach i tworzą się głównie w 3-4 dniu kiełkowania. Powstawanie tych enzymów jest zależne od tych samych czynników, które występują przy wytwarzaniu amylaz.

2.4.1.3 Przemiany biochemiczne w czasie kiełkowania

W czasie kiełkowania enzymy są nie tylko uaktywniane i tworzone, lecz są już czynne, żeby dostarczać zarodkowi substancje odżywcze. Rozkładają one wysokocząsteczkowe substancje zapasowe do niskocząsteczkowych związków rozpuszczalnych w wodzie.

Produkty tych przemian są zużywane w czasie kiełkowania na oddychanie lub też do budowy nowych komórek. Zużyte substancje stanowią straty słodowania. Powinno się wobec tego tak prowadzić kiełkowanie, aby procesy oddychania i wzrost nowych komórek zachodziły w ograniczonym zakresie.

W przemianach biochemicznych, które mają miejsce w czasie słodowania, ważne są szczególnie procesy:

- rozkładu ścian komórkowych bielma, które określane jest mianem „rozluźnienia",
- rozkładu skrobi i
- rozkładu białka.

2.4.1.3.1 Rozluźnienie i rozkład β-glukanu

Ścianki komórkowe bielma składają się głównie z hemiceluloz i białka. W czasie kiełkowania następuje częściowy rozkład ścian komórkowych bielma przez kompleks enzymów cytolitycznych. W skład tego kompleksu enzymów wchodzą między innymi hemicelulazy i β-glukanazy. Cytoliza umożliwia dostęp innym enzymom do wnętrza endospermy.

Rozluźnienie objawia się jako wzrastająca rozcieralność (kruchość) ziarna.

Proces kiełkowania można uznać za zakończony, kiedy bielmo ziarna łatwo ulega rozcieraniu między palcami, nie tworzą się wałeczki i daje się ono rozmazać. Świadczy to, że ziarno jest wystarczająco rozluźnione. W 3-4 dniu kiełkowania tworzy się główna ilość enzymów. Zasięg przemian enzymatycznych decyduje o czasie prowadzenia procesu kiełkowania.

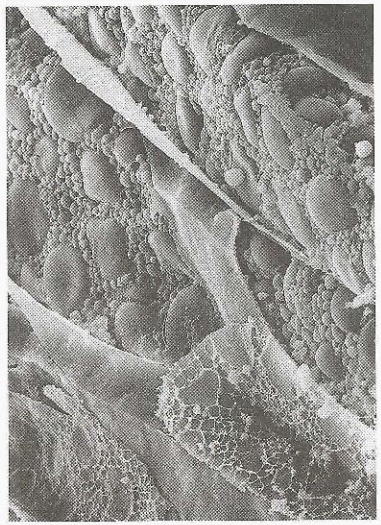
W procesie rozluźnienia rozkładane są nie tylko zawarte w ściankach komórkowych hemicelulozy, ale także substancje białkowe.

Głównym składnikiem hemiceluloz jest β-glukan (patrz rozdz. 1.1.3.1.4).

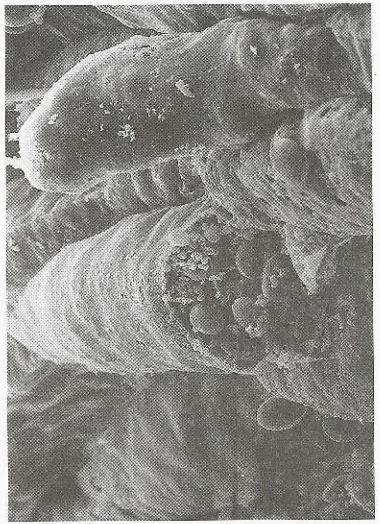
Rozkład β-glukanu odbywa się w czasie słodowania przez:

- **endo-β-1,4-glukanazę**, która jest już obecna w jęczmieniu oraz
- **endo-β-1,3-glukanazę**, która tworzy się w czasie słodowania.

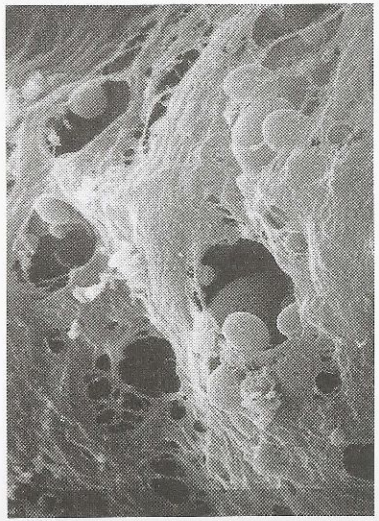
Znajdujący się w ziarnie β-glukan, związany z glikoproteidami, uwalniany jest przez enzym **solubilazę β-glukanu**. Ilość solubilazy zwiększa się w czasie słodowania o 150 do 170%.



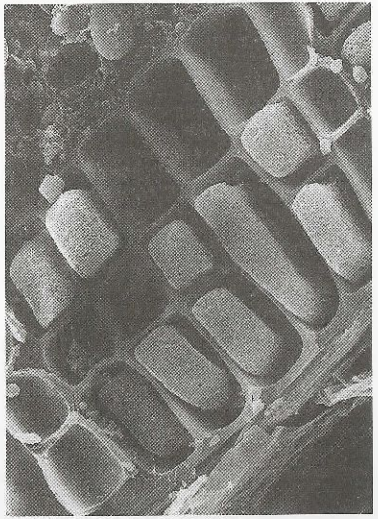
▲ (1)



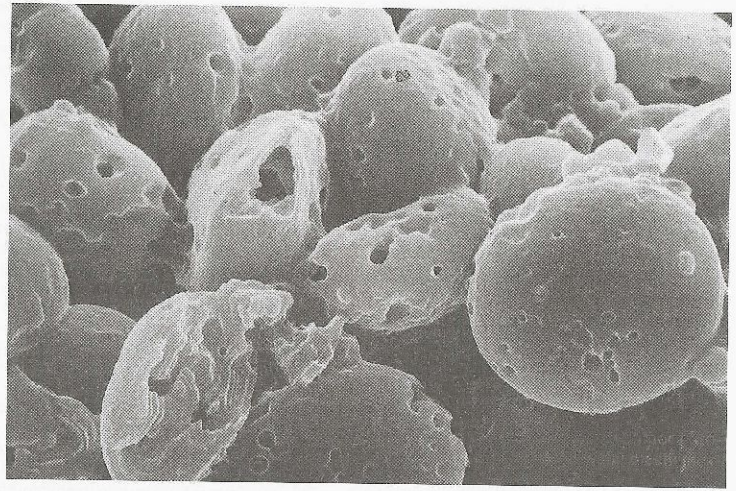
▲ (2)



▼ (3)



▼ (4)



(5)

Widok wnętrza ziarna

(1) *Komórki skrobiowe w bielmie*

Jeszcze nienaruszone ścianki komórkowe są częściowo usunięte, dzięki czemu można zobaczyć wnętrze komórek. Bardzo wyraźnie widać duże ziarna skrobi (do 30 µm) i bardzo małe (do około 5 µm); jęczmień nie zawiera ziaren skrobi średniej wielkości. Dzięki temu ziarna skrobi ułożone są stabilnie w komórkach skrobiowych.

(2) *Komórki skrobiowe bielma*

Ziarna skrobi w komórkach bielma ułożone są ściśle, jak gdyby w torbie lub w worku. Widać to dokładnie w otwartych komórkach, których wnętrze właśnie się wysypało. Dzięki ścisłemu ułożeniu komórek, ziarno jęczmienia ma bardzo mocną i twardą strukturę bielma, trudną do rozdrobnienia.

(3) *Rozkład ścian komórkowych*

Wskutek biokatalitycznego działania enzymów ściany komórkowe zostają częściowo rozłożone, a ich uprzednio mocna struktura zaczyna być podziurawiona i przepuszczalna. Dzięki temu otwiera się dostęp do wnętrza bielma, które staje się coraz bardziej kruche. Mówimy wtedy o rozluźnieniu ziarna.

(4) *Warstwa aleuronowa*

Warstwa aleuronowa otacza bielmo; składa się ona z komórek bogatych w substancje białkowe. Komórki te są zupełnie innego rodzaju, nie zawierają skrobi, tylko ziarna aleuronowe, które składają się ze związków białkowych; na zdjęciu widać, że w czasie kiełkowania są już w pewnym stopniu rozłożone.

(5) *Początek rozkładu skrobi*

W miarę wzrostu zawartości wody w ziarnie, nasila się proces oddychania; zarodek, żeby mógł oddychać, musi zużywać cukry, które czerpie dzięki enzymatycznemu rozpadowi skrobi. Na zdjęciu widać miejsca zaatakowania ziaren skrobi przez enzymy oraz strukturę ich otoczki.

(Zdjęcia: TU München-Weihenstephan, Katedra browarnictwa I)

Podwyższona ogólna ilość β-glukanu nie jest równoznaczna z pogorszeniem filtracyjności. Istotne jest, w jakim stopniu zachodzi tworzenie się żelu β-glukanu.

Dobry słód powinien charakteryzować się niską zawartością β-glukanu. Ilość β-glukanu jest cechą odmianową, dlatego w pracach hodowlanych selekcjonuje się odmiany jęczmienia ubogie w β-glukan.

Im wyższa będzie zawartość wysokocząsteczkowego β-glukanu w ziarnie, tym większe powstanie prawdopodobieństwo tworzenia się żeli, co w efekcie wpływać będzie na pogorszenie procesu filtracji. Zwiększona ilość β-glukanu ma także miejsce wówczas, kiedy w słodzie obecne będą niewykiełkowane ziarna. W tych przypadkach, przy zwiększonej zawartości wysokocząsteczkowych β-glukanów, nie wystąpi wyraźne podwyższenie lepkości w brzeczce, ale mimo to mogą powstać problemy z filtracją. Dlatego też ważne jest oznaczanie energii kiełkowania w jęczmieniu kierowanym do słodowania. Słód otrzymywany z jęczmienia o obniżonej energii kiełkowania jest przyczyną zakłóceń w filtracji. Z tego względu w słodowni powinno się:

- przerabiać tylko jęczmień zdrowy, o wysokiej energii kiełkowania,
- jęczmień przeznaczony do długiego magazynowania powinien zawierać najwyżej 12% wody.

W przypadku słodowania nowych odmian jęczmienia, które charakteryzują się bardzo dobrymi właściwościami rozluźnienia cytolitycznego i proteolitycznego, konieczne jest tłumienie tych cech, co można osiągnąć przez:

- zmniejszenie wilgotności kiełkującego ziarna i
- stosowanie niskich temperatur.

Warunkiem zasadniczym jest uzyskanie jednorodnego produktu, co zależy przede wszystkim od równomiernie przebiegającego procesu kiełkowania. Mieszanie partii słodu ze słodem zawierającym niewykiełkowane ziarna jest wielce ryzykowne. Wprowadzony z takim słodem wysokocząsteczkowy β-glukan w czasie zacierania przechodzi do roztworu jeszcze w temp. 60-70°C, ale nie ulega już rozłożeniu. W takich przypadkach pozostaje jako ostatnia szansa, podgrzanie do 70-80°C i następnie schłodzenie. W wysokiej temperaturze żele rozpuszczają się i filtracja przebiega bez problemu. (*Usunięcie tej niedogodności możliwe jest również przez dodanie odpowiednich preparatów enzymatycznych. Przyp. tł. A.B.*).

O zawartości β-glukanu w brzeczce i piwie decyduje jakość użytego słodu.

Z uwagi na to, że wysokocząsteczkowy β-glukan jest głównie odpowiedzialny za tworzenie żeli (a tym samym przyczynia się do powstawania trudności w filtracji także piwa), słód powinien odznaczać się wysoką aktywnością endo-β-glukanazy. Pożądane jest, aby zawartość endo-β-glukanazy wynosiła 120 jednostek na 1 kg słodu.

Ocena rozluźnienia słodu. Rozluźnienie jest procesem bardzo złożonym i stanowi ważną cechę określającą jakość słodu. Do oceny stopnia rozluźnienia ziarna wykorzystuje się najczęściej stopień rozluźnienia białkowego (liczba Kolbacha – patrz rozdz. 2.8.3.2) oraz kruchość ziarna (wartość friabilimetryczna). Stopień rozluźnienia białkowego to procentowa zawartość substancji białkowych, która podczas kiełkowania uległa rozłożeniu do formy rozpuszczalnej. Wartość ta normalnie kształtuje się od 38 do 42%; może jednak wahać się w szerszych przedziałach.

Im niższy stopień rozluźnienia białkowego, tym gorsze jest zwykle ogólne rozluźnienie słodu, a zatem mniejszy był rozkład substancji wysokocząsteczkowych. Należy się wówczas spodziewać, że ściany komórkowe nie zostały wystarczająco rozłożone, powstać mogą problemy z późniejszym rozkładem skrobi, szczególnie w wierzchołkach ziarna. Może to być przyczyną powstawania problemów z filtracją w procesie produkcji piwa, wywołanych obecnością nierozłożonych β-glukanów.

Za wysoki stopień rozluźnienia proteolitycznego prowadzi do nadmiaru najprostszych składników rozkładu enzymatycznego w słodzie, np. aminokwasów. Wysoka ilość aminokwasów w mokrym słodzie powoduje w czasie suszenia tworzenie się z cukrami związków Maillarda (patrz rozdz. 2.5.1.3). Wpływa to nie tylko na podwyższenie barwy piwa, ale także na obniżenie stabilności smakowej.

Z tego względu liczba Kolbacha nie powinna przekraczać 41%.

Rozluźnienie białkowe ziarna jest cechą w dużej mierze zależną od odmiany jęczmienia, podczas gdy podrzędną rolę odgrywają w tym przypadku inne czynniki, np. warunki klimatyczne (183). Takie odmiany jak Aleksis, Chariot czy Skarlett odznaczają się średnim rozluźnieniem, natomiast np. odmiany Thuringia, Maresi lub Krona charakteryzują się wysokimi właściwościami rozluźniającymi.

Przy ustalaniu programu słodowania należy koniecznie uwzględnić właściwości odmianowe ziarna. W przypadku słodowania odmian odznaczających się wysokimi właściwościami rozluźniającymi, wskazana jest redukcja dopływu tlenu od trzeciego dnia kiełkowania ziarna, co umożliwia:

- zredukowanie strat słodowania oraz
- obniżenie stopnia rozluźnienia białkowego.

2.4.1.3.2 Rozkład skrobi

Skrobia stanowi potencjał energetyczny dla zarodka. Oddychając zarodek zdobywa potrzebną ilość energii, niezbędną do funkcji życiowych i budowy nowych komórek, do momentu kiedy będzie w stanie sam przeprowadzać fotosyntezę.

Skrobia musi być przekształcona w cukry i dostarczona do zarodka, żeby ziarno mogło oddychać. Ilość skrobi, którą ziarno zużywa na oddychanie i na tworzenie korzonków, stanowi straty. Ubytki te mogą być w czasie kiełkowania zmniejszone przez ograniczenie procesu oddychania.

Skala tych przemian jest znacznie większa, niż się to na pierwszy rzut oka wydaje. Świadczy o tym poniższe rozważanie.

W czasie kiełkowania zmniejsza się zawartość skrobi, rośnie zawartość cukrów:

	zawartość w %	
	skrobia	cukry
jęczmień	63	2
słód	58	8

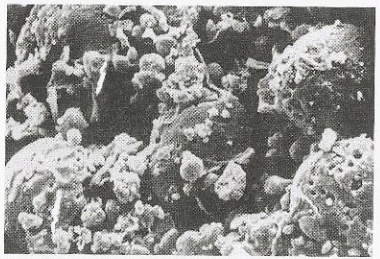
Ze 100 g suchej substancji jęczmienia powstaje 90 g suchej substancji słodu.

W 100 g jęczmienia znajdują się 63 g skrobi. Jeżeli do oddychania nie zostały zużyte produkty rozkładu skrobi, to otrzymane ze 100 g jęczmienia 90 g słodu powinno zawierać jeszcze 63 g skrobi = 70%. Ponieważ obecne jest tylko 58%, to oznacza, że rozłożone zostało ok. 12% skrobi; natomiast połowa wytwarzanych cukrów została zużyta do oddychania. Pobrane do oddychania produkty rozpadu skrobi stanowią straty. Intensywność oddychania jest zależna od czasu kiełkowania, od temperatury i od stopnia napowietrzania.

Aby ponieść jak najmniejsze straty w wyniku oddychania ziarna, konieczne jest prowadzenie procesu kiełkowania w możliwie krótkim czasie oraz w niskich temperaturach. Kiełkujące ziarno powinno otrzymywać tylko niezbędną ilość powietrza.

Proces oddychania należy hamować od 3 dnia kiełkowania, co umożliwi:

- zminimalizowanie strat na oddychanie,
- obniżenie stopnia rozluźnienia białkowego,
- podwyższenie aktywności lipooksydaz,
- poprawienie stabilności smakowej piwa (151).



Rys. 2.46c

Ziarna skrobi rozłożone częściowo w zacierze sprzed 3.000 lat.

(Fot. Delwen Samuel; Society for General Microbiology)

Przedstawione ziarna skrobi (rys. 2.46c), na których można rozpoznać już wyraźne działanie amylaz, pochodzą sprzed 3.000 lat z wyschnię-

tych resztek piwa produkowanego w starożytnym Egipcie. Można dokładnie rozpoznać, że jęczmień lub orkisz były już wtedy kiełkowane i wytwarzany był słód.

Występujące w słodzie cukry to przede wszystkim glukoza; obecna jest także fruktoza i sacharoza. Natomiast nie ma prawie maltozy, ponieważ jest ona natychmiast rozkładana na cukry proste. Obecne są również w niezmienionej wielkości i formie ziarenka skrobi, jakie zawierał jęczmień przed kiełkowaniem. Najczęściej jednak pod wpływem enzymów struktura skrobi ulega częściowemu rozpadowi, powstają w niej kanaliki; można to zauważyć na zdjęciach wykonanych pod mikroskopem.

2.4.1.3.3 Przemiany substancji białkowych

Białka nie są wykorzystywane w procesie oddychania, stanowią natomiast budulec do tworzenia nowych komórek, np. do wzrostu korzonków. Jednak dla umożliwienia ich transportu do zarodka muszą być uprzednio przekształcone z nierozpuszczalnych, wysokocząsteczkowych związków w rozpuszczalne niskocząsteczkowe produkty rozkładu. Dlatego skład białek w kiełkującym ziarnie ulega ciągłym zmianom.

W czasie kiełkowania od 35 do 40% białka ulega przekształceniu w rozpuszczalne substancje białkowe (stopień rozluźnienia białkowego wg Kolbacha). Dzięki działaniu peptydaz powstają przede wszystkim niskocząsteczkowe związki (aminokwasy, oligopeptydy). Rozpad białek przebiega równolegle z rozluźnieniem i nie jest w czasie prowadzenia procesu osobno kontrolowany.

Część substancji białkowych wykorzystywana jest do rozwoju kiełków korzeniowych, co powoduje zmniejszenie zawartości białka w słodzie o ok. 0,3% w stosunku do pierwotnej zawartości w jęczmieniu.

2.4.1.3.4 Rozpad substancji tłuszczowych (lipidy)

Substancje tłuszczowe zawarte w jęczmieniu rozkładane są przez lipazy. Dzięki tym enzymom uwalniane są połączenia estrowe między kwasami tłuszczowymi a glicerolem. Uwolnione kwasy tłuszczowe ulegają dalszemu utlenieniu przez lipooksygenazy. Aktywność tych enzymów wzrasta zwłaszcza w czasie rozwoju kiełków korzeniowych i liścieniowych. Powstałe produkty rozkładu (np. nonadienal) powodują zapach ogórkowy, odczuwany wyraźnie w mokrym słodzie.

2.4.1.3.5 Tworzenie siarczku metylu (DMS) w czasie kiełkowania

Siarczek dimetylowy, zwany dalej w skrócie DMS, to lotny związek siarkowy, który nadaje piwu zapach „kapusty" lub „jarzyn". Dlatego należy unikać tworzenia się DMS lub go usuwać.

Podczas kiełkowania tworzy się prekursor DMS, który nie jest termostabilny i w wysokiej temperaturze ulega rozłożeniu. Należy zadbać, żeby w czasie zamaczania i kiełkowania jęczmienia powstawało możliwie mało prekursorów DMS.

W czasie moczenia i kiełkowania tworzy się tym większa ilość tych prekursorów:

- im wyższy jest stopień namoczenia,
- im wyższa jest temperatura kiełkowania.

Niską zawartość prekursorów DMS w słodzie zapewnia:

- niski stopień namaczania i niska wilgotność kiełkującego jęczmienia,
- niska temperatura kiełkowania i słabsze rozluźnienie.

Znaczna część prekursorów wędruje do kiełków korzeniowych, tak że w gotowym, wysuszonym, polerowanym słodzie ilość ich jest znacznie mniejsza. Jednak w czasie suszenia słodu zawartość prekursorów ulega ponownym zmianom, o czym będzie mowa w rozdziale 2.5.1.4. Problemy z DMS będą nam, niestety, towarzyszyć aż do gotowego piwa.

2.4.1.3.6 Regulatory kiełkowania

Dodatki określonych substancji pozwalają regulująco wpływać na mechanizm przemian i przebieg kiełkowania. W zależności od potrzeb, przemiany te mogą być przyspieszane lub hamowane. Substancje te nazwano regulatorami kiełkowania. Rozróżnia się:

- *stymulatory*, które powodują przyspieszenie przemian,
- *inhibitory*, powodujące ich hamowanie.

Stymulatory

Najbardziej rozpowszechnionym stymulatorem jest *kwas giberelinowy*, który w małych ilościach znajduje się także w jęczmieniu niesłodowanym. Kwas giberelinowy jest również produktem przemiany materii pleśni *Fusarium moniliforme*. Związek ten został otrzymany w postaci czystej w Japonii w 1926 r. (*Z kultury pleśni Gibberella i stąd jego nazwa. Przyp. tłum. A.B.*). Jest to biały, krystaliczny proszek o ograniczonej trwałości. Jako stymulator stosowany jest w postaci wodnego roztworu. Przed sporządzeniem wodnego roztworu kwas giberelinowy rozpuszcza się w alkoholu lub acetonie (1g w 50 ml). Roztwór wodny jest nietrwały i może być przechowywany jedynie przez 24 godziny. Przechowywany dłużej ulega rozkładowi i traci swoje właściwości. Roztwór wodny rozpyla się przy pomocy dyszy. W skrzyniach kiełkowniczych dysze spryskujące zainstalowane są na przewracaczach, a spryskiwanie odbywa się w czasie mieszania ziarna.

Kwas giberelinowy należy dodawać w procesie kiełkowania tak wcześnie, jak to możliwe.

Najlepszy efekt działania kwasu giberelinowego uzyskuje się przez rozpylanie tego stymulatora na obeschnięty, „zaoczkowany" jęczmień. Roztwór wtedy przywiera do ziarna i jest przez nie szybko wchłaniany.

Kwasu giberelinowego dodaje się w ilości 0,03-0,08 g na 1 tonę jęczmienia.

Wielkość dawki dodawanego stymulatora zależna jest od odmiany, roku zbiorów i od czasu rozpoczęcia słodowania. Kwas giberelinowy skraca okres dojrzewania pożniwnego jęczmienia, dlatego na początku kampanii słodowania dodaje się największe jego ilości, które później zostają zmniejszone.

Zaletami stosowania stymulatora w słodowni jest:

- *skrócenie czasu kiełkowania o 2 dni,*
- *zwiększenie wydajności słodowania o ok. 1%,*
- *zwiększenie wydajności ekstraktu o ok.1%,*
- *skrócenie okresu spoczynku jęczmienia,*
- *zwiększenie aktywności enzymów (przyp. tłum. A.B.).*

Inhibitory

Substancje hamujące odgrywają znacznie mniejszą rolę w procesie produkcji słodu niż stymulatory. Jednym ze stosowanych inhibitorów jest np. bromian potasu, który hamuje proces przemian proteolitycznych w kiełkującym ziarnie.

Zastosowanie słodu, do którego produkcji użyto regulatorów kiełkowania, jest w Niemczech zabronione zgodnie z zasadami „Reinheitsgebot".

2.4.1.4 Zasady prowadzenia kiełkowania – podsumowanie

Przy prowadzeniu kiełkowania obowiązują następujące zasady:

1. **Kiełkowanie jest intensywnym procesem życiowym, który może przebiegać tylko w obecności niezbędnej ilości wody. Dlatego ważne jest, by w czasie kiełkowania jęczmień zawierał ponad 40% wody. W trakcie procesu część wody ulega odparowaniu i chociaż podczas oddychania ziarno wytwarza ciągle pewną ilość wody, to jednak trzeba ją uzupełniać.**
2. **Wobec intensywnego oddychania w kiełkującym jęczmieniu, niezbędne jest zapewnienie wystarczającej ilości tlenu. Należy pamiętać, że przy nadmiernym napowietrzaniu zużyta zostanie za duża ilość cennych składników ziarna. Natomiast przy niedostatecznym napowietrzaniu wystąpi wewnątrzcząsteczkowe oddychanie, które prowadzić może do zabicia zarodka.**

3. Wskutek oddychania rośnie temperatura, która wpływa na intensywność oddychania i rozwój korzonków, co z kolei jest przyczyną występowania zwiększonych strat. Podwyższona temperatura powoduje również obniżenie aktywności enzymatycznej. Z tego względu pożądane jest ograniczenie procesu oddychania od trzeciego dnia.

Przyjęto, że najwyższa temperatura w warstwie ziarna w czasie kiełkowania powinna wynosić:

dla słodu pilzneńskiego 17-18°C,

dla słodu ciemnego 23-25°C.

Racjonalne prowadzenie procesu kiełkowania wymaga regulowania zawartości wody, intensywności napowietrzania i temperatury.

2.4.2 Metody kiełkowania (roszczenie słodu)

Proces kiełkowania odbywa się obecnie najczęściej w okrągłych lub prostokątnych skrzyniach, ale nie zawsze ich używano. Przed wieloma laty, a w niektórych słodowniach jeszcze kilka lat temu, prowadzono kiełkowanie na klepiskach.

2.4.2.1 Słodownie klepiskowe

W słodowni klepiskowej jęczmień kiełkuje na płaskich posadzkach w pomieszczeniach mających 3 m wysokości. Zależnie od możliwości podłogę wykładano płytami o porowatej strukturze, dzięki czemu pobierała ona z kiełkującego ziarna nadmiar wody. *Czasami wykładano ją gładzonym cementem, a nawet marmurem (przyp. tłum.).*

Temperatura w tych pomieszczeniach powinna być możliwie równomierna i niska. Dlatego klepiska umieszczano częściowo w piwnicy lub też budynek przeznaczony na słodownię miał bardzo grube mury, co w pewnym stopniu chroniło przed zewnętrznymi wpływami atmosferycznymi. Ponieważ temperatura w czasie kiełkowania nie powinna przekraczać 17-18°C, produkcja słodu w słodowniach klepiskowych możliwa była tylko w chłodniejszych porach roku. Latem słodowanie klepiskowe nie było możliwe.

Zapotrzebowanie powierzchni w słodowniach klepiskowych wynosi 3,4 m^2 na 100 kg jęczmienia. Tak duża powierzchnia wymagana jest z powodu układania jęczmienia w cienkiej warstwie.

Przerabianie ziarna w takiej słodowni było pracochłonną czynnością. Odbywało się ono za pomocą drewnianych łopat lub innych przyrządów, które uwidoczniane są w godłach piwowarskich (rys. 2.47).

Rys. 2.47

Łopata do przerabiania słodu jako element godła piwowarów

Każda grzęda musiała być przewrócona dwa razy dziennie. Temperaturę w grzędzie oraz jej napowietrzenie regulowano przewracając ziarno i wietrząc pomieszczenie oraz rozciągając pryzmę. Początkowo wszystkie prace wykonywano ręcznie, przy użyciu łopat, wideł itp., potem wprowadzono różne urządzenia mechaniczne, takie jak pług, wytrząsarka widłowa i inne, które eliminowały uciążliwą pracę związaną z przewracaniem czy opróżnianiem klepisk. Niemniej duże zapotrzebowanie powierzchni i siły roboczej oraz uzależnienie od temperatury zewnętrznej spowodowały zakończenie żywota tych słodowni. Do dzisiaj zachowały się jeszcze w użyciu przyjęte wówczas zwroty (*także w Polsce – przyp. tłum.*). Mówi się, że:

- ***grzęda jest oczekująca***, jeżeli kiełki korzeniowe przebiją podstawę ziarna i są widoczne jako jasne punkty (nazywa się też taką grzędę pękawką – *przyp. tłum.*).
- ***grzęda jest widlasta***, kiedy zarodki korzonkowe zaczynają się rozwidlać,
- ***grzęda jest sfilcowana***, kiedy korzonki zrastając się tworzą splątaną darń. W takiej sfilcowanej warstwie podwyższa się temperatura, co wywołuje szybszy wzrost kiełka liścieniowego, który przebijając łuskę zaczyna być widoczny. Takie ziarna nazywano ***huzarami***.

Kiedy pod koniec kiełkowania słód był transportowany z klepiska do suszarni, mówiło się o ciągnięciu grzędy lub ***ładowaniu suszarni.***

2.4.2.2 Słodownie pneumatyczne

W nowoczesnych słodowniach, głównie ze względów ekonomicznych, grubość warstwy kiełkującego jęczmienia jest dużo wyższa. Powietrze nie może samoczynnie przenikać przez tak grubą warstwę jęczmienia, jest więc ono tłoczone przez dmuchawy, a uprzednio chłodzone i nawilżane (kondycjonowane).

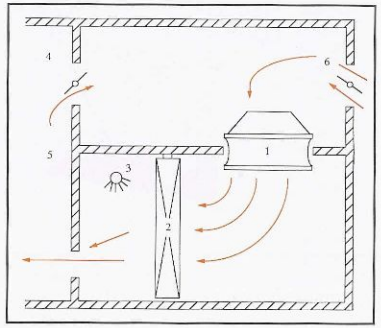
W słodowniach pneumatycznych zawartość wody, temperatura i wilgotność są regulowane zimnym i wilgotnym powietrzem tłoczonym przez ziarno.

Systemy słodowania pneumatycznego obejmują:

- urządzenia do otrzymywania zimnego i wilgotnego powietrza (do kondycjonowania) oraz
- urządzenia do kiełkowania (skrzynie, bębny itd.), w których jęczmień kiełkuje.

2.4.2.2.1 Kondycjonowanie powietrza

Tylko w słodowniach klepiskowych jęczmień leżący w cienkiej warstwie mógł być napowietrzany przez zwykłą wymianę gazów z otoczenia. We wszystkich innych systemach słodowania jęczmień kiełkuje w warstwach sięgających 1,50 m leżących na perforowanych blachach. Dla zapewnienia dynamicznego przebiegu procesów życiowych intensywnie oddychający jęczmień wymaga bardzo dużych ilości powietrza. Zapotrzebowanie na powietrze w tego typu słodowniach wynosi:



Rys. 2.48

Kondycjonowanie powietrza

(1) wentylator, (2) parownik, (3) dysza natryskowa, (4) dopływ powietrza powrotnego, (5) warstwa słodu, (6) dopływ świeżego powietrza

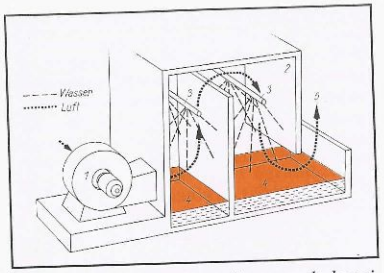
300 do 700 m^3 powietrza na 1 t kiełkującego jęczmienia na godzinę.

Do tego celu potrzebne są wysokowydajne wentylatory. Najczęściej instalowane są wentylatory osiowe lub promieniowe (radialne) (rys. 2.48) (rozdz. 10.5.2).

Podczas oddychania jęczmienia wydziela się ciepło, które musi być odprowadzone. Oblicza sie, że ilość ciepła wytworzona w czasie całego procesu kiełkowania wynosi około

850.000 kJ = 200.000 kcal/t jęczmienia.

Z uwagi na to, że powietrze przeznaczone do napowietrzenia musi być o ok. 2°C zimniejsze niż kiełkujący jęczmień, w większej części roku musi być ono chłodzone. Do chłodzenia powietrza stosowane są przeważnie urządzenia z bezpośrednim odparowywaniem czynnika chłodzącego (patrz rozdz. 10.3.4), za pomocą których temperatura strumienia powietrza jest automatycznie regulowana. Uwzględniona musi być także możliwość ogrzewania powietrza zimą, kiedy temperatura zewnętrzna będzie bardzo niska.



Rys. 2.48a. Nawilżanie powietrza w słodowni
(1) dmuchawa, (2) komory nawilżania, (3) rury wodne z dyszami, (4) odpływ wody, (5) chłodne, wilgotne powietrze

Zawartość wody w kiełkującym ziarnie powinna przez cały czas kiełkowania wynosić 45%. Tłoczenie suchego powietrza przez kiełkujące ziarno będzie powodowało utratę wilgoci. Dlatego powietrze należy stale nawilżać wodą (rys. 2.48a). Zabiegu tego dokonuje się przez rozpylanie w strumieniu powietrza drobnych kropelek wody (3). Aby woda ta nie opadła, rozpyla się ją możliwie krótko przed wejściem do słodu. Zużycie wody na ten cel wynosi

około 0,5 m³ wody na 1 t jęczmienia.

Nadmiar wody z dysz nawilżających powietrze, który zbierany jest w komorze nawilżania, może być po oczyszczeniu ponownie użyty.

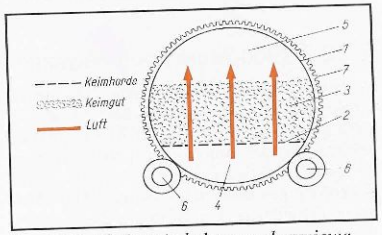
Do nawilżania kiełkującego jęczmienia, w niektórych systemach, na urządzeniach do przewracania zainstalowane są dysze zraszające.

Wiadomo, że jęczmień w czasie kiełkowania bardzo intensywnie oddycha; zużywa przy tym cukry zawarte w ziarnie. Zjawisko to jest niekorzystne, ponieważ prowadzi do dużych strat skrobi. Zadaniem końcowej fazy kiełkowania są przede wszystkim przemiany enzymatyczne rozkładu, które przebiegają niezależnie od oddychania. Aby straty oddychania były jak najmniejsze, stosuje się **zawracanie powietrza odlotowego**, bogatego w dwutlenek węgla, który działa hamująco na procesy oddychania. Powietrze to miesza się ze świeżym powietrzem i pod koniec kiełkowania wietrzy nim mokry słód.

Wietrzenie kiełkującego ziarna zimnym i wilgotnym powietrzem jest przeprowadzane w każdym systemie słodowania. Zabieg przewracania kiełkującego ziarna, niezależnie od typu słodowni, ma za zadanie niedopuszczenie do zrastania się korzonków i umożliwienie dostępu wilgotniejszego i zimniejszego powietrza za każdym razem do innej części warstwy ziarna.

2.4.2.2.2 Słodownie bębnowe

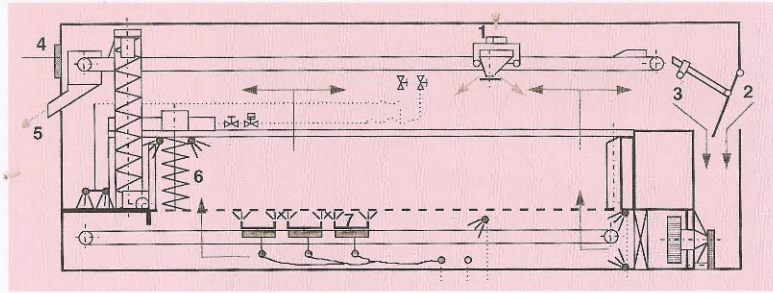
W słodowni bębnowej ziarno kiełkuje w zamkniętych stalowych bębnach i jest w nich napowietrzane. Obracanie bębna powoduje mieszanie jęczmienia.



Rys. 2.49. Słodownia bębnowo-skrzyniowa
(1) cylinder z blachy stalowej, (2) dno z blachy perforowanej, (3) słód, (4) wilgotne powietrze, (5) zużyte powietrze, (6) rolki podtrzymujące bęben, (7) ślimacznica napędu bębna

(UWAGA: W Polsce bardziej znane są słodownie bębnowe systemu Gallanda w wykonaniu klasycznym. Przyp. tłum. A.B.)

Bęben skrzyniowy (rys. 2.49) ma formę cylindra z blachy stalowej (1) o średnicy od 2 do 4 m i długości od 3 do 15 m.W dolnej części bębna znajduje się poziomo ułożona siatka (2), na której leży kiełkujące ziarno (3). Nawilżone powietrze jest wdmuchiwane od dołu pod siatkę z ziarnem (4) i opuszcza bęben przez sito po stronie czołowej (5). Przewracanie ziarna odbywa się przez powolne obracanie bębnem. Jeden obrót trwa 0,5 do 1h w zależności od wielkości bębna. W tym celu bęben jest ustawiony na rolkach bieżnych (6). Napęd odbywa się poprzez zębaty wieniec (7). Bęben



Rys. 2.50. Słodownia skrzyniowa Saladina
(1) wlot namoczonego jęczmienia, (2) świeże powietrze, (3) zwrotne powietrze, (4) zużyte powietrze, (5) droga mokrego słodu do suszarni, (6) odwracacz ślimakowy, (7) natryski

jest w określonych odstępach czasu wprawiany w powolny ruch obrotowy (łącznie około 1/10 czasu kiełkowania). Aby zapobiec skośnemu ułożeniu się ziarna w bębnie, o nierównomiernej grubości warstwy na sicie, bęben obraca się najpierw nieco dalej, następnie znowu z powrotem.
Zaletą słodowania w bębnie jest to, że kiełkujące ziarno jest mieszane bardzo delikatnie, dzięki czemu nie ulega uszkodzeniom.
Ogólnie biorąc – słodownie bębnowe są nieekonomiczne i stopniowo wychodzą z użycia.

2.4.2.2.3 Słodownie skrzyniowe

Najbardziej rozpowszechnionym rodzajem słodowni są dzisiaj słodownie skrzyniowe. Oferowane są one w różnych wielkościach i wariantach.
Najczęściej spotykane skrzynie mają kształt prostokątny o pojemności od 5 do ponad 300 t jęczmienia. Od kilku lat buduje się także okrągłe skrzynie mieszczące do 500 t jęczmienia. Okrągłe skrzynie budowane są zwykle w układzie wieżowym, jedna nad drugą (**słodownie wieżowe**). Zasada pracy tych słodowni jest taka sama.

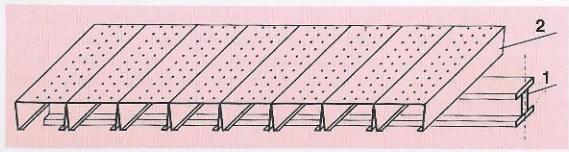
Ziarno w czasie całego procesu kiełkowania leży stale na tej samej siatce. Mieszanie odbywa się za pomocą przewracaczy ślimakowych, przesuwanych w ten sposób, że w kontakt z tłoczonym od dołu zimniejszym i wilgotniejszym powietrzem wchodzi ciągle inna część masy kiełkującego ziarna.

2.4.2.2.3.1 Skrzynie prostokątne

Prostokątne skrzynie Saladina są murowane lub z betonu zbrojonego. Na końcach mają kształt, który umożliwia przewracanie także ziarna leżącego przy ścianie.

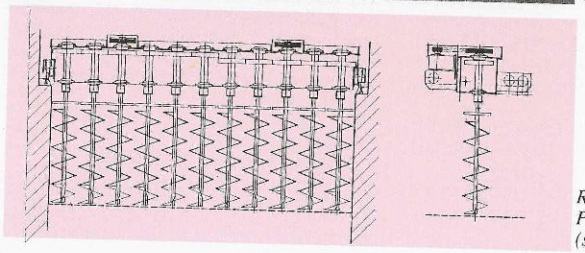
W zależności od przyjętego czasu kiełkowania, instaluje się najczęściej 6 skrzyń w jednym długim pomieszczeniu, ustawiając jedną skrzynię obok drugiej. Hala musi być izolowana termicznie, o idealnie gładkich ścianach i suficie. W pomieszczeniu, gdzie odbywa się kiełkowanie, jest utrzymywane lekkie nadciśnienie (rys. 2.50).

Na wysokości około 60 cm od dna skrzyni umieszczone są elementy sit nośnych, na których leży kiełkujący jęczmień. Grubość warstwy wymoczonego jęczmienia na początku



Rys. 2.50a
Blachy dna skrzyni Saladina
(1) szyna nośna, (2) blacha perforowana, segmenty o profilu C

Rys. 2.51
Przewracacz ślimakowy
(Fot.: Seeger)



Rys. 2.51a
Przewracacz ślimakowy (schemat)

procesu kiełkowania wynosi od 0,5 do 0,9 m; podczas kiełkowania wzrasta do wysokości 0,8 do 1,3 m.

Sita nośne wykonane są:

- **z blachy perforowanej** (rys. 2.50a), o prześwicie wynoszącym 20% lub
- **z sit szczelinowych** o prześwicie 40%.

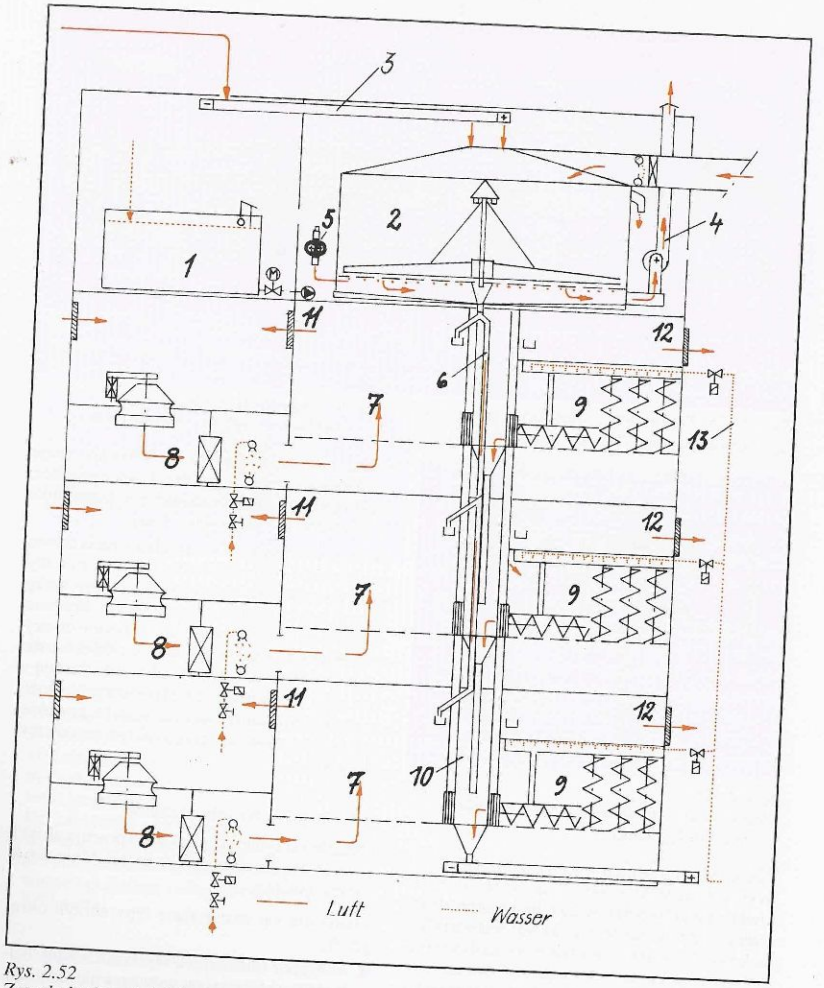
Na 1 m² powierzchni siatki nośnej ładuje się od około 300 do 500 kg jęczmienia.

Elementy **siatek nośnych** mogą być podnoszone do mycia i do przeglądu, jeżeli w przestrzeni między dnem a siatką nośną nie można chodzić. W dużych słodowniach pod dnem sitowym znajdują się także urządzenia odpowietrzające.

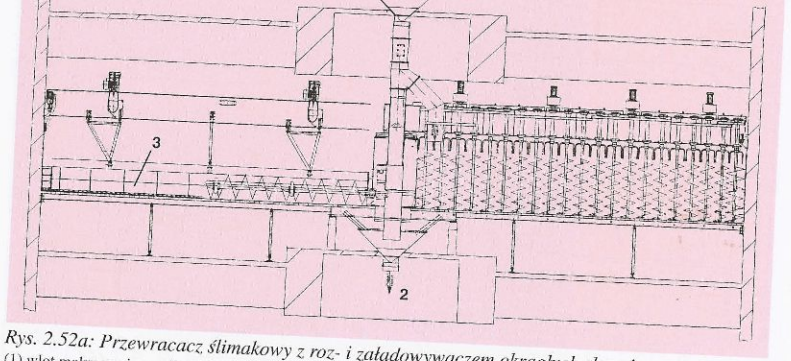
Pod sitami znajdują się:

- kanał dopływu powietrza (do napowietrzania) lub odpływu powietrza,
- dysze wysokociśnieniowe do mycia sit i pomieszczenia pod sitami (rys. 2.50 – 7).

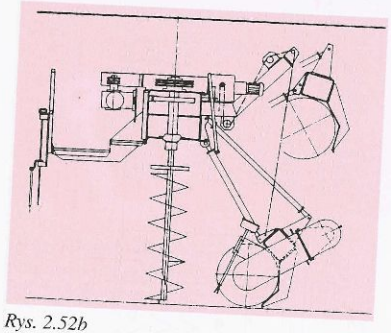
Do spulchniania ziarna instaluje się zwykle odwracacze śrubowe lub ślimakowe (rys. 2.51 i 2.51a). Na długiej belce przewracacza (1) zainstalowanych jest nawet do 20 ślimaków (2), które obracają się przeciwbieżnie, dzięki czemu warstwa kiełkującego ziarna jest dobrze spulchniana. Ślimaki pracują z szybkością ok. 8 obrotów na minutę, natomiast wózek przewracacza przemieszcza się wzdłuż skrzyni z szybkością 0,4 do 0,6 m/min. Przewracanie ziarna przeprowadza się dwa razy dziennie, a w ostatnich dniach kiełkowania tylko raz na dobę.



Rys. 2.52
Zasada budowy i działania słodowni wieżowej
(1) zapas wody, (2) zamaczalnik płaskodenny, (3) transport jęczmienia, (4) odbiór CO_2, (5) dmuchawa sprężonego powietrza, (6) przewód namoczonego ziarna, (7) skrzynia z kiełkującym ziarnem, (8) kondycjonowanie powietrza, (9) odwracacz z za- i rozładowywaczem, (10) szyb wyładowczy, (11) powietrze zwrotne, (12) powietrze zużyte, (13) dopływ wody świeżej do zraszania słodu



Rys. 2.52a: Przewracacz ślimakowy z roz- i załadowywaczem okrągłych skrzyń
(1) wlot mokrego ziarna, (2) wylot mokrego słodu, (3) ślimak za- i rozładunkowy, dający się opuszczać i podnosić



Rys. 2.52b
Przewracacz ślimakowy z za- i wyładowywaczem (widok z boku)

Na każdym ślimaku umieszczone są drążki wyrównawcze, które obracając się razem ze ślimakiem wyrównują powierzchnię ziarna, dzięki czemu przenikanie powietrza jest wszędzie jednakowe. Na wózku zainstalowane są dysze rozpylające, które umożliwiają dodatkowe uzupełnienie brakującej wody w kiełkującym jęczmieniu.

Załadowanie i wyładowanie skrzyni jest ważną funkcją, która powinna być wykonywana w możliwie krótkim czasie i małym nakładem energii. W starszych urządzeniach zachowały się do tego celu przestawne wózki opróżniające, które za pomocą łopatkowego zgarniacza kierują mokry słód do zbiorczego pojemnika, skąd ziarno jest przesyłane dalej.

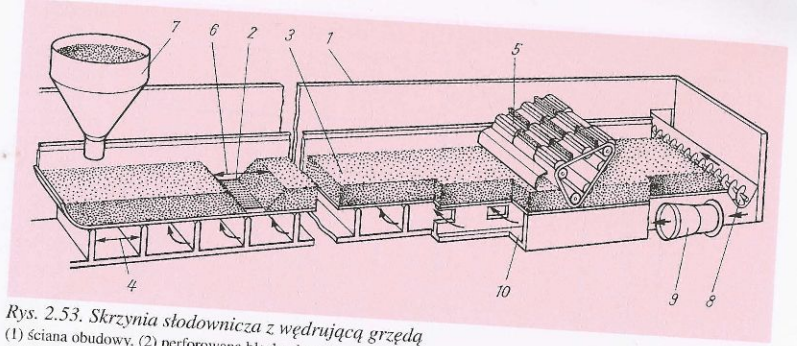
W nowoczesnych słodowniach operacja odwracania ziarna oraz załadunku i wyładunku wykonywana jest jednym przewracaczem sprzężonym z urządzeniem zgarniającym. Przewracacz ze zgarniaczem opróżnia skrzynie do czysta, etapowo, przesuwając mokry słód do otwartego zbiorczego pojemnika. Ślimaki zostają w tym celu przesunięte do określonego położenia, w którym zamykają przejście. Oczywiście, w tego typu słodowni praca ręczna zostaje wykluczona.

2.4.2.2.3.2 Okrągłe skrzynie

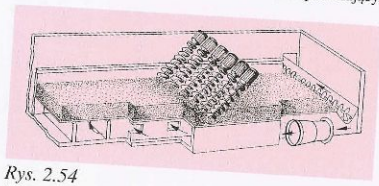
Okrągłe skrzynie są budowane i pracują na tych samych zasadach co prostokątne. Mają też te same elementy.

Rozróżnia się następujące typy skrzyń okrągłych:

- **okrągłe z obracającą się siatką nośną**; belka przewracacza jest wówczas nieruchoma. Obracające się dno siatkowe ustawione jest na rolkach i przy obmurowaniu dobrze uszczelnione (rys. 2.52). Odrywające się kiełki spadają w czasie trwania procesu stale na jedno miejsce – pod przewracacz.



Rys. 2.53. Skrzynia słodownicza z wędrującą grzędą
(1) ściana obudowy, (2) perforowana blacha dna, (3) kiełkujące ziarno, (4) półdobowy sektor skrzyni, (5) przewracacz, (6) czyste pole, (7) zamaczalnik, (8) ślimak opróżniający, (9) wentylator, (10) kanał wentylacyjny



Rys. 2.54
Przewracacz ślimakowy wędrującej grzędy nowego typu

- **okrągłe, w których siatka nośna jest nieruchoma**, a belka przewracacza porusza się wokół stabilnej osi środkowej.

W czasie pracy przewracacza ślimaki zainstalowane od zewnętrznej strony koła obracają się szybciej niż wewnętrzne, co zapewnia równomierne przewrócenie całej warstwy kiełkującego jęczmienia.

Do załadunku i wyładunku skrzyń wykorzystywane są zainstalowane na belce przewracacza przesuwne ślimaki, które odpowiednio ustawione opróżniają siatkę nośną do czysta (rys. 2.52 a+b).

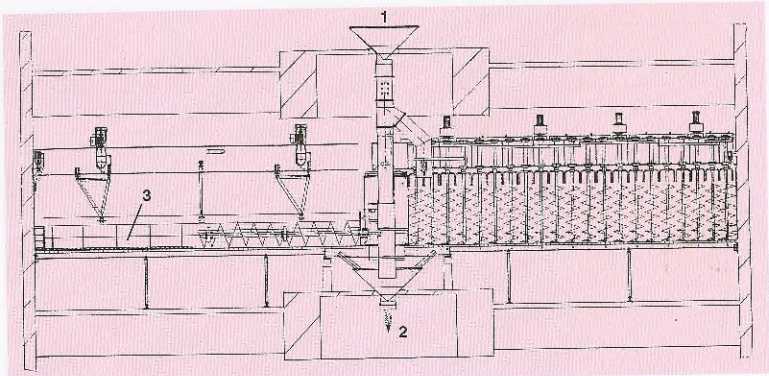
2.4.2.2.4 Systemy słodowania z dobowym przesuwaniem grzędy

Kiełkujący jęczmień w słodowniach skrzyniowych jest co pewien czas przewracany zawsze w tym samym miejscu. Konstruktorzy zrezygnowali zabieg przewracania do równoczesnego przesuwania ziarna wzdłuż skrzyni w kierunku suszarni, wprowadzając nowy typ słodowni, w których grzędę przesuwa się raz lub dwa razy dziennie o jeden odcinek. System ten znany jest pod nazwą wędrującej grzędy i był już praktykowany niekiedy w słodowniach kleiskowych.

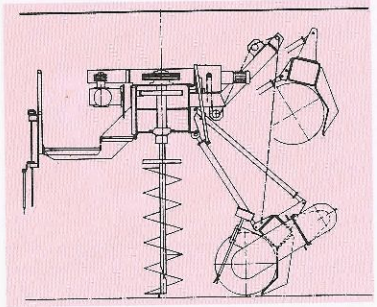
Słodownia z wędrującą grzędą

Proces kiełkowania systemem wędrującej grzędy (rys. 2.53) przeprowadza się w skrzyni o długości od 50 do 60 m i szerokości od 3 do 4 m. W czasie przesuwania kiełkującego jęczmienia zachowane są zasady prowadzenia procesu kiełkowania jak w normalnych skrzyniach. Poszczególne grzędy (2) są podzielone pod siatką nośną na 16 półdobowych stref (4). Przewracacz (5) w pierwszych konstrukcjach tych słodowni był wykonany w formie szeregu przenośników łopatkowo-kubełkowych z gumowymi skrobakami. Nowe słodownie wyposażone są już w ukośnie ustawione ślimaki (rys. 2.54).

Z zamaczalnika, znajdującego się nad skrzynią (7), mokry jęczmień zostaje wyładowany na pierwsze pole półdobowe. Następnie dwa razy w ciągu doby grzęda przesuwana jest o półdobowe pole do przodu, tak że w ciągu 24 godzin każda grzęda przesuwana jest o dwa sektory dalej. Spulchnianie grzędy przeprowadza się dwa razy dziennie, przy czym przewracanie ziarna zaczyna się zawsze



Rys. 2.52a: Przewracacz ślimakowy z roz- i załadowywaczem okrągłych skrzyń
(1) wlot mokrego ziarna, (2) wylot mokrego słodu, (3) ślimak za- i rozładunkowy, dający się opuszczać i podnosić



Rys. 2.52b
Przewracacz ślimakowy z za- i wyładowywaczem (widok z boku)

Na każdym ślimaku umieszczone są drążki wyrównawcze, które obracając się razem ze ślimakiem wyrównują powierzchnię ziarna, dzięki czemu przenikanie powietrza jest wszędzie jednakowe. Na wózku zainstalowane są dysze rozpylające, które umożliwiają dodatkowe uzupełnienie brakującej wody w kiełkującym jęczmieniu.

Załadowanie i wyładowanie skrzyni jest ważną funkcją, która powinna być wykonywana w możliwie krótkim czasie i małym nakładem energii. W starszych urządzeniach zachowały się do tego celu przestawne wózki opróżniające, które za pomocą łopatkowego zgarniacza kierują mokry słód do zbiorczego pojemnika, skąd ziarno jest przesyłane dalej.

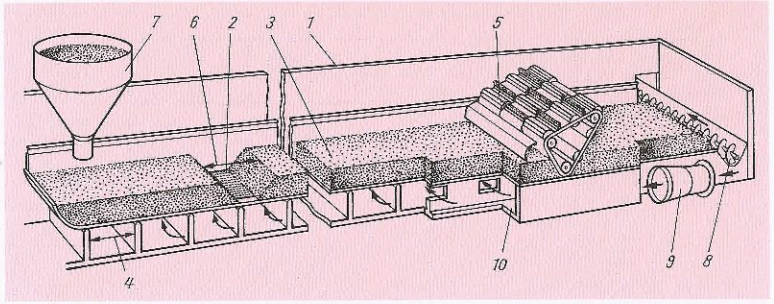
W nowoczesnych słodowniach operacja odwracania ziarna oraz załadunku i wyładunku wykonywana jest jednym przewracaczem sprzężonym z urządzeniem zgarniającym. Przewracacz ze zgarniaczem opróżnia skrzynie do czysta, etapowo, przesuwając mokry słód do otwartego zbiorczego pojemnika. Ślimaki zostają w tym celu przesunięte do określonego położenia, w którym zamykają przejście. Oczywiście, w tego typu słodowni praca ręczna zostaje wykluczona.

2.4.2.2.3.2 Okrągłe skrzynie

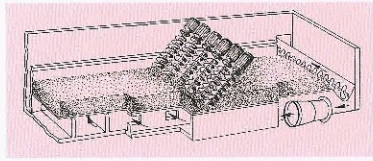
Okrągłe skrzynie są budowane i pracują na tych samych zasadach co prostokątne. Mają też te same elementy.

Rozróżnia się następujące typy skrzyń okrągłych:

- **okrągłe z obracającą się siatką nośną**; belka przewracacza jest wówczas nieruchoma. Obracające się dno siatkowe ustawione jest na rolkach i przy obmurowaniu dobrze uszczelnione (rys. 2.52). Odrywające się kiełki spadają w czasie trwania procesu stale na jedno miejsce – pod przewracacz.



Rys. 2.53. Skrzynia słodownicza z wędrującą grzędą
(1) ściana obudowy, (2) perforowana blacha dna, (3) kiełkujące ziarno, (4) półdobowy sektor skrzyni, (5) przewracacz, (6) czyste pole, (7) zamaczalnik, (8) ślimak opróżniający, (9) wentylator, (10) kanał wentylacyjny



Rys. 2.54
Przewracacz ślimakowy wędrującej grzędy nowego typu

- **okrągłe, w których siatka nośna jest nieruchoma**, a belka przewracacza porusza się wokół stabilnej osi środkowej.

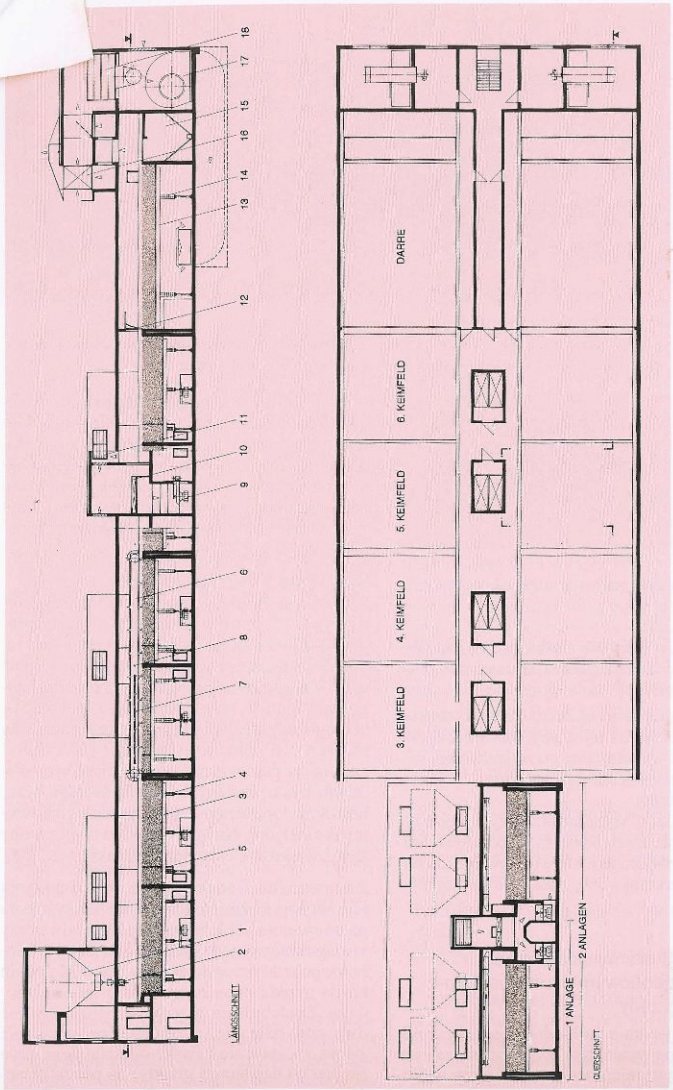
W czasie pracy przewracacza ślimaki zainstalowane od zewnętrznej strony koła obracają się szybciej niż wewnętrzne, co zapewnia równomierne przewrócenie całej warstwy kiełkującego jęczmienia.
Do załadunku i wyładunku skrzyń wykorzystywane są zainstalowane na belce przewracacza przesuwne ślimaki, które odpowiednio ustawione opróżniają siatkę nośną do czysta (rys. 2.52 a+b).

2.4.2.2.4 Systemy słodowania z dobowym przesuwaniem grzędy

Kiełkujący jęczmień w słodowniach skrzyniowych jest co pewien czas przewracany zawsze w tym samym miejscu. Konstruktorzy wykorzystali zabieg przewracania do równoczesnego przesuwania ziarna wzdłuż skrzyni w kierunku suszarni, wprowadzając nowy typ słodowni, w których grzędę przesuwa się raz lub dwa razy dziennie o jeden odcinek. System ten znany jest pod nazwą wędrującej grzędy i był już praktykowany niekiedy w słodowniach klepiskowych.

Słodownia z wędrującą grzędą
Proces kiełkowania systemem wędrującej grzędy (rys. 2.53) przeprowadza się w skrzyni o długości od 50 do 60 m i szerokości od 3 do 4 m. W czasie przesuwania kiełkującego jęczmienia zachowane są zasady prowadzenia procesu kiełkowania jak w normalnych skrzyniach. Poszczególne grzędy (2) są podzielone pod siatką nośną na 16 półdobowych stref (4). Przewracacz (5) w pierwszych konstrukcjach tych słodowni był wykonany w formie szeregu przenośników łopatkowo-kubełkowych z gumowymi skrobakami. Nowe słodownie wyposażone są już w ukośnie ustawione ślimaki (rys. 2.54).

Z zamaczalnika, znajdującego się nad skrzynią (7), mokry jęczmień zostaje wyładowany na pierwsze pole półdobowe. Następnie dwa razy w ciągu doby grzęda przesuwana jest o półdobowe pole do przodu, tak że w ciągu 24 godzin każda grzęda przesuwana jest o dwa sektory dalej. Spulchnianie grzędy przeprowadza się dwa razy dziennie, przy czym przewracanie ziarna zaczyna się zawsze od ostatniego pola (to jest od najstarszej grzędy) do początkowe-



Rys. 2.55. Przestawna skrzynia słodownicza systemu Lausmanna z przyłączoną suszarnią
(1) zamaczalnik, (2) ślimak rozprowadzający namoczone ziarno, (3) dno perforowane skrzyni, (4) podnośnik skrzyni, (5) kolumna pomiaru temperatury, (6) układ odwracacza, (7) natryski, (8) dysze rozpylające, (9) wentylator mokry, (10) kontrola chłodu, (11) klapy przewodów powietrza, (12) wrota suszarni, (13) siatka suszarni, (14) zbiornik suchego słodu, (15) rurkowy wymiennik odzysku ciepła (rurki szklane), (17) wentylator suszarni, (18) ogrzewacz powietrza

go pola (do świeżej grzędy). Przewracacz przesuwa się z szybkością od 20 do 30 cm/min. Po przejściu przez wszystkie strefy, przewracacz zostaje podniesiony i szybko przesuwa się z powrotem do ostatniego pola.

Pod koniec kiełkowania mokry słód jest zsypywany do betonowego pojemnika znajdującego się na końcu skrzyni, skąd przy pomocy ślimakowego transportera (8) kierowany jest do przenośnika na suszarnię. Dla umożliwienia czyszczenia siatki nośnej w równych odstępach czasu pozostawia się wolne jedno półdobowe pole (pole oczyszczania) (6). Klapy doprowadzające powietrze do poszczególnych stref półdobowych są regulowane, co pozwala na zróżnicowanie napowietrzania.

Słodownia skrzyniowa z przesuwaną grzędą połączona z suszarnią

System Lausmanna, Regensburg

W słodowniach połączonych z suszarnią, systemu Lausmanna (rys. 2.55) kiełkujące ziarno jest przesuwane raz na dobę o jedno pole dzienne i w końcu kierowane do suszarni.

Z zamaczalników (1) jęczmień po namoczeniu zsypywany jest bez wody (2) na pierwsze pole dzienne, gdzie w miarę potrzeby jest domaczany. Jęczmień leży na siatce nośnej (3), która za pomocą czterech synchronicznie pracujących podnośników (4) może być podnoszona lub opuszczana.

Każde pole dobowe jest zaopatrywane w powietrze, w zależności od potrzeb systemu kiełkowania (9,10,11). Do mierzenia temperatury w kiełkującym ziarnie i w powietrzu służą czujniki usytuowane centralnie w każdym polu (5).

Przesuwanie i przewracanie kiełkującego jęczmienia odbywa się przy użyciu przewracacza taśmowego (6) ze zgarniakami, który przesuwa i przewraca kiełkujący jęczmień. Pole, z którego ziarno jest przesuwane, powoli podnosi się do góry, podczas gdy pole sąsiadujące jednocześnie opada. Odbywa się to codziennie z każdym polem dobowym, zaczynając od suszarni.

Do nawilżania kiełkującego ziarna w przewracaczu zainstalowane są natryski (7), które umożliwiają podwyższenie zawartości wody w kiełkującym jęczmieniu o 5%. Natomiast zraszanie mgiełką wodną (8) stosuje się, gdy potrzebne jest zwiększenie wilgotności o 1 do 1,5%.

Suszarnia jest oddzielona wrotami (12). Do załadowania suszarni służą te same urządzenia przesuwająco-przewracające, których używa się w czasie kiełkowania. Po otwarciu wrót mokry słód przesuwany jest na siatkę suszarni. Dla uniknięcia strat ciepła wrota po załadowaniu suszarni muszą być szybko zamykane. Załadowanie suszarni (13) trwa około 45 minut, natomiast opróżnianie jej do zbiornika słodu suszonego (15) trwa ok. 20 minut. Suszarnia jest wyposażona w radialną dmuchawę (17) z możliwością regulacji obrotów. Zasysa ona świeże lub powrotne powietrze ogrzewane za pomocą grzejnika (18) i tłoczy przez warstwę suszącego się słodu.

Wszystkie czynności są w słodowni automatycznie sterowane, co umożliwia różne prowadzenie poszczególnych pól dobowych. Zalety tego typu słodowni są następujące:

- możliwość stosowania różnych technologii słodowania,
- mała powierzchnia budowlana,
- duża niezawodność eksploatacji przy minimalnym nadzorowaniu,
- niskie zużycie energii, brak obciążeń szczytowych.

Słodownie systemu Lausmanna budowane są o wielkości załadunku na pole dobowe od 5 do 75 t jęczmienia.

Jednostki do kiełkowania i suszenia

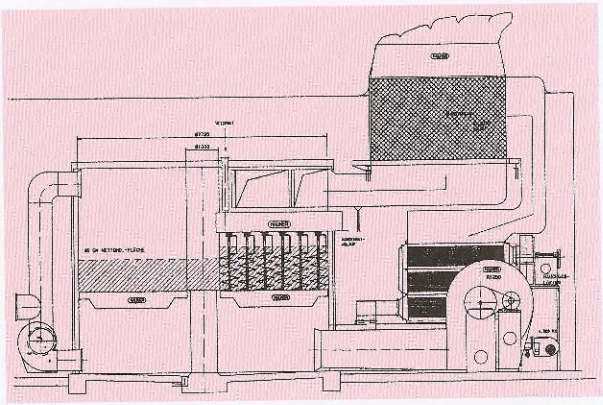
System Unimälzer (Hauner, Diespeck)

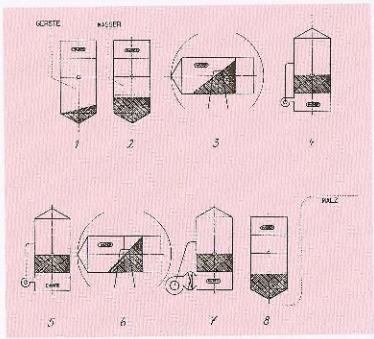
Możliwe jest także prowadzenie procesu kiełkowania i suszenia w jednym zasobniku. Zasobnik ten musi być zaopatrzony w urządzenia do napowietrzania kiełkującego jęczmienia, urządzenia do tłoczenia powietrza gorącego w czasie suszenia słodu oraz odpowiednie instalacje do ogrzewania powietrza w suszarni. Słodownie takie buduje się już dzisiaj także w okrągłym kształcie.

Korzyści produkcji słodu w tego typu słodowni są następujące :

- unika się transportu mokrego słodu, dzięki czemu ziarna nie ulegają uszkodzeniom,
- oszczędza się energię, ponieważ nie ma konieczności transportu ziarna,
- oszczędza się powierzchnię, bo wszystkie fazy produkcji odbywają się w jednym miejscu.

Rys. 2.55a
Przekrój słodowni systemu Unimälzer: zasobnik, kondycjonowanie powietrza i suszarnia
(System Hauner)





Rys. 2.55b
Słodownia systemu Uni-Cont (Hauner)
(1) napełnianie, (2) moczenie, (3) odwracanie, (4) moczenie „suche", (5) kiełkowanie, (6) odwracanie, (7) suszenie, (8) odbiór suchego słodu

Trudność stwarzają natomiast duże różnice temperatur między procesem kiełkowania a suszeniem. Prowadziło to do dużych naprężeń w ścianach budynku. Problem ten rozwiązano (rys. 2.55a) budując ściany zasobnika z kilku warstw. Jest to płaszcz stalowy składający się z segmentów wykładanych izolacją cieplną. Materiał izolacyjny wykonany z waty mineralnej znajduje się między blachami ze stali nierdzewnej a okładzinami z blachy, odpornej na działanie czynników atmosferycznych. Płaszcz ten podczas ogrzewania rozszerza się bez stwarzania naprężeń.

Jęczmień leży na obrotowych sitach nośnych. Ładunek jęczmienia wynosi do 600 kg jęczmienia/m². Napęd wprowadzający obroty sit nośnych zapewniają 2-4 silniki za pomocą przekładni, przymocowane na stałe do ścian ze stali nierdzewnej. Sita nośne obracają się co 2 godziny z szybkością od 0,4 do 0,5 m/min.

Do spulchnienia ziarna stosuje się odpowiednio zainstalowane przewracacze spiralne z różną liczbą ślimaków. Obracają się one z szybkością zwiększającą się na zewnątrz, co zapewnia równomierne wymieszanie ziarna.

Ponieważ w tych słodowniach wszystkie czynności odbywają się w jednym pojemniku, każda skrzynia może być prowadzona w innej temperaturze i z różniącym się stopniem napowietrzania. Nie jest więc prowadzona wg jednego, stałego schematu.

Słodownia, która może sie składać nawet z ośmiu pojemników, jest podłączona do jednego centralnego oddziału obsługującego napowietrzanie i ogrzewanie procesu suszenia oraz wyposażona jest w jedno urządzenie do napowietrzania kiełkującego jęczmienia.

Słodownie systemu „Uni-Cont"
System Hauner

Słodownie te stanowią interesujące rozwiązanie pod względem techniki cieplnej, są jednak przeznaczone tylko do słodowania małych ilości jęczmienia. Wszystkie procesy odbywają się w jednym zasobniku (rys. 2.55b). Jęczmień moczony jest w zbiorniku o wysokości do 3,5 m (2). W czasie moczenia ziarno jest stale mieszane w celu zapewnienia równomiernego wchłaniania wody (3). Proces kiełkowania odbywa się systemem powietrzno-suchym (4), z równoczesnym usuwaniem wytwarzanego dwutlenku węgla i napowietrzaniem świeżym powietrzem. Kiełkowanie i przewracanie odbywa się zgodnie z podanym rysunkiem (5, 6). Dopływ ciepłego powietrza do suszarni (7) jest regulowany. Do opróżniania ze słodu (9) zbiornik zostaje odwrócony stożkowym dnem do dołu i po otwarciu klapy zsypowej grawitacyjnie opróżniony. Zasyp jęczmienia wynosi w tych słodowniach 3,8 ton. Ich roczna zdolność przerobowa wynosi zatem 130 ton, co wystarcza do produkcji 7.600 hl piwa rocznie. Jest to więc ilość, która może zainteresować tylko browary restauracyjne (minibrowary).

2.4.2.3 Kontrola procesu kiełkowania

Kończąc rozdział omawiający proces kiełkowania trzeba podkreślić jeszcze raz czynniki, na które należy zwrócić szczególną uwagę.

Przy produkcji słodu typu pilzneńskiego unikać za daleko idącego rozkładu skrobi, a więc wystrzegać się tworzenia dużej ilości cukrów i aminokwasów, które prowadzą do występowania w słodzie większej ilości DMS i jego prekursorów. W tym celu wskazane jest:

- wolno podnosić temperaturę najwyżej do 17-18°C,
- kiełki korzeniowe powinny być grube i krępe od 1,5- do 2-krotnej długości ziarna; długie kiełki korzeniowe obniżają jakość słodu,
- kiełki liścieniowe powinny uzyskać równomierną długość od 2/3 do 3/4 długości ziarna; niewskazana jest obecność huzarów,
- zawartość wody w mokrym słodzie w chwili przesyłania do suszenia powinna być o ok. 1% niższa niż po namoczeniu,
- zapach ziarna powinien być świeży i ogórkowy; w żadnym razie kwaśny, stęchły lub inny obcy.

Przy produkcji słodów ciemnych wskazany jest intensywniejszy przebieg procesu, gdyż cukry i aminokwasy służą do tworzenia barwy i aromatu w czasie suszenia. W związku z tym podczas kiełkowania słodu należy:

- podnosić temperaturę kiełkowania do 25°C,
- kiełki korzeniowe powinny być dłuższe niż w słodzie jasnym,
- długość kiełka liścieniowego powinna wynosić od 3/4 do całej długości ziarna.

W nowoczesnych słodowniach, obok tej kontroli empirycznej, sprawdza się stale za pomocą przyrządów pomiarowo-kontrolnych dopływ powietrza, temperaturę, ilość i wilgotność powietrza zawracanego i pracę przewracacza.

2.5 Suszenie słodu

W kiełkującym ziarnie przerywa się przemiany życiowe i enzymatyczne przez podsuszenie, a następnie dosuszanie mokrego słodu. W procesie tym zachodzą następujące przemiany:

- zawartość wody obniżona zostaje z ponad 40% do poniżej 5%, dzięki czemu słód nabiera cech trwałości i może być przechowywany.
- obniżenie wilgotności wstrzymuje wszystkie funkcje życiowe, proces kiełkowania i rozluźnienia oraz dalszy wzrost aktywności enzymatycznej, ale już wytworzone enzymy powinny być możliwie w pełni zachowane,
- tworzenie lub unikanie tworzenia substancji barwnych i aromatycznych, odpowiednio do typu piwa, dla którego słód jest produkowany, musi być w tym procesie we właściwy sposób kierowane,
- po zakończeniu suszenia kiełki korzeniowe muszą być od ziarna oddzielone i usunięte.

2.5.1 Zmiany zachodzące w czasie suszenia

Odpowiednio do celów, jakie chcemy osiągnąć w tym procesie, zostaną omówione następujące zagadnienia:

- obniżenie zawartości wody w mokrym słodzie,
- przerwanie procesu kiełkowania i rozluźnienia ziarna,
- tworzenie substancji barwnych i aromatycznych.

2.5.1.1 Obniżenie zawartości wody

W celu umożliwienia przechowywania słodu zawartość wody musi być w nim obniżona z ponad 40% do poniżej 5%.

Usunięcie wody z mokrego słodu polega na tym, że przepuszcza się przez jego warstwę duże ilości ciepłego powietrza.

Należy pamiętać, że podwyższona temperatura przy wysokiej wilgotności może zniszczyć wszystkie enzymy. Zawartość enzymów w słodzie jest niezbędna w czasie zacierania w warzelni, dlatego ich ochrona w czasie suszenia słodu jest tak ważna.

Aktywność enzymów zostanie zachowana, jeżeli mokry słód najpierw zostanie podsuszony, a dopiero potem poddany silniejszemu ogrzewaniu.

Wilgotna skrobia w mokrym słodzie przy mocniejszym ogrzaniu tworzy kleik, który po wysuszeniu twardnieje, dając „szklisty słód" nieprzydatny w browarze, o zmienionym, szklistym wyglądzie bielma.

Ogrzewanie wilgotnej skrobi powoduje otrzymanie szklistego słodu. Podnoszenie temperatury powyżej 50°C jest możliwe dopiero po obniżeniu zawartości wody w ziarnie do 10-12%.

Okres powolnego suszenia przy temperaturze 40 do 50°C nazywamy więdnięciem słodu.

2.5.1.2 Przerwanie procesu kiełkowania

Usunięcie wody hamuje w słodzie proces rozwoju zarodka i wstrzymuje dalszy wzrost kiełków. Wskutek działania wysokiej temperatury pod koniec suszenia większość ziaren obumiera; ziarno przestaje oddychać. Wraz z kiełkowaniem kończy się również rozluźnianie słodu. Nie mają miejsca żadne dalsze procesy rozkładu. Można uznać, że skład chemiczny słodu został utrwalony.

2.5.1.3 Tworzenie substancji barwiących i aromatycznych (reakcje Maillarda)

W wyższych temperaturach oraz podczas dłuższego składowania słodu z niskocząsteczkowych produktów białkowych i cukrów tworzą się związki barwiące i aromatyczne zwane ***melanoidami.***

Równocześnie zachodzą inne skomplikowane reakcje chemiczne, zwane ***ogólnie reakcjami Maillarda***. Między innymi powstają barwne połączenia związków, ***zwanych aldehydami Streckera*** (powstałych w wyniku degradacji wg Streckera) i aminokwasów. Ogólnie te bardzo skomplikowane i w zróżnicowany sposób zbudowane substancje ujmuje się razem pod pojęciem ***związków Maillarda.***

Rozdzielenie na drodze analitycznej związków powstałych w reakcji Maillarda możliwe jest tylko przy użyciu bardzo drogich, wysoko selektywnych metod analitycznych. Wiadomo jednak, że właśnie produkty tych przemian, obok innych substancji, stanowią prekursory związków nadających posmak starego piwa. Dlatego istotna jest znajomość warunków, w jakich te reakcje zachodzą. Przekształcanie tych związków zachodzi tym intensywniej, im wyższa jest temperatura i im dłuższy jest czas jej działania. Mówi się w takich przypadkach o ***termicznym obciążeniu*** słodu, brzeczki czy piwa. Ogólną ilość wytworzonych produktów oznacza się pośrednio jako LTB (niem. TBZ), czyli liczbę kwasu tiobarbiturowego.

Im wyższa jest liczba LTB, tym wyższe obciążenie termiczne słodu, brzeczki czy piwa. Ponieważ związki Maillarda są substancjami barwiącymi i aromatycznymi, to ich obecność jest pożądana w dużych ilościach w słodach ciemnych, natomiast w słodach jasnych powinna być niewielka.

Związki Maillarda tworzą się w wyższych temperaturach w wyniku reakcji cukrów prostych z aminokwasami.

Aby ograniczyć tworzenie się związków Maillarda, należy unikać powstawania substancji wyjściowych dla tych związków. Cukry zawarte w słodzie są podstawą dalszych procesów w produkcji, więc przynajmniej hamowany powinien być nadmierny rozkład substancji białkowych.

Istnieje szereg możliwości i środków ograniczenia reakcji Maillarda. Należą do nich:

- zastosowanie odmian jęczmienia ze skłonnością do niskiej aktywności proteolitycznej,
- stosowanie niskiego stopnia namoczenia,
- ograniczanie wietrzenia ziaren od trzeciego dnia kiełkowania,
- utrzymanie rozluźnienia białkowego poniżej 41%,
- prowadzenie więdnięcia w temperaturze 35-50°C,
- stosowanie w dosuszaniu słodu raczej krótszego czasu suszenia w wyższych temperaturach; suszenie słodu przez 3 godziny w temp. 85°C daje taką samą wartość LTB jak prowadzenie tego procesu przez 5 godzin w temp. 80°C,
- zapewnienie, by LTB w słodzie (brzeczka kongresowa) była mniejsza niż 14.

Istnieje powiązanie między LTB i stopniem rozluźnienia białkowego a wystąpieniem posmaku starego piwa.

Przy produkcji ciemnych słodów decydującą rolę odgrywa temperatura w fazie więdnięcia (podsuszania), kiedy tworzą się substancje biorące udział w reakcji Maillarda. Prowadzenie tego procesu w wyższej temperaturze i wyższej wilgotności pozwala na otrzymanie słodu, który zapewni piwu przyjemny, intensywny aromat słodowy. Wytworzone w tej reakcji aldehydy Streckera odgrywają w przypadku słodu ciemnego pozytywną rolę smakową, odwrotnie niż w jasnym słodzie (186). W świeżym słodzie ciemnym zachodzą jeszcze zmiany w profilu aromatycznym, wobec czego użycie go do produkcji piwa wskazane jest dopiero po 2-3-miesięcznym okresie przechowywania. Gwarantuje to uzyskanie bardzo aromatycznego piwa o wysokiej stabilności smakowej.

2.5.1.4 Tworzenie DMS w czasie suszenia

Dopuszczalna zawartość siarczku dimetylowego ($(CH_3)_2S$ (DMS) w piwie jasnym wynosi od 40 do 100 µg/kg (= ppb). Obecność tego związku powyżej 100 do 150 µg/kg wywołuje w piwie nieprzyjemny smak i zapach jarzynowy lub kapusty gotowanej.

Tworzenie DMS może odbywać się 3 drogami:

- prekursor DMS, S-metylometionina (SMM), pod wpływem termicznego obciążenia ulega rozłożeniu, tworząc DMS,
- wolny DMS reaguje z tlenem tworząc sulfotlenek dimetylowy (DMS-O), który w czasie produkcji piwa może ulegać przekształceniu przez określone drożdże albo bakterie ponownie do DMS. *(W późniejszych badaniach zdolność redukowania przez drożdże nie została potwierdzona. Przyp. tł.).*
- w reakcji Maillarda aminokwasy zawierające siarkę zostają przekształcone do DMS. Powstawanie DMS jest w tym przypadku najmniejsze.

S-metylometionina (SMM) jako prekursor DMS (oznaczany symbolem DMS-P) powstaje podczas procesu kiełkowania. Pod wpływem ciepła (suszenie, zacieranie, gotowanie brzeczki) ulega rozpadowi tworząc lotny DMS, z którego po utlenieniu powstaje „nieaktywny" prekursor – sulfotlenek dimetylowy (DMS-O).

- DMS-O to substancja o bardzo wysokiej temperaturze wrzenia, w związku z czym w czasie zacierania słodu przechodzi całkowicie do brzeczki. Czasami drożdże lub bakterie przetwarzają go w DMS.
- „Nieaktywny" prekursor SMM jest przez drożdże wchłaniany, nie jest jednak przekształcany w DMS.

Siarczek dimetylowy (DMS) znajdujący się w piwie występuje w stanie wolnym, gdyż:

- przy suszeniu lub w czasie gotowania brzeczki nie został całkowicie usunięty,
- podczas klarowania brzeczki gorącej w kadzi Whirlpool został ponownie wytworzony z S-metylometioniny (SMM).

Wpływ jęczmienia i słodowania na tworzenie DMS (181) jest bardzo duży. Działają tu następujące czynniki:

- odmiana jęczmienia; np. odmiana Aleksis odznacza się mniejsza zawartością DMS. Stwierdzono również, że odmiany ozime miewają o 2 ppm wyższą zawartość tego składnika niż jare,
- miejsce uprawy jęczmienia, rok zbiorów oraz klimat wpływają także na zawartość DMS,
- wyższy stopień namoczenia ziarna (patrz rozdz. 2.4.1.3.5); wyższa zawartość wody w kiełkującym jęczmieniu może spowodować zwiększenie zawartości DMS-P, a także kwasu tiobarbiturowego (LTB), co omówiono już w rozdziale 2.4.1.3.5,
- intensywne rozluźnienie białkowe wpływa na powstawanie większej ilości SMM,
- wydłużanie czasu kiełkowania powoduje zwiększony wzrost DMS-P,
- wyższe temperatury kiełkowania dają więcej SMM,
- podwyższona temperatura podsuszania redukuje zawartość DMS, rośnie natomiast zawartość TBZ,
- temperatura dosuszania również bardzo wpływa na zawartość DMS. Dosuszanie w temp. 70°C nie jest wystarczające do usunięcia DMS. Nawet przy zwykle stosowanej temperaturze wynoszącej 80°C przez 5 godzin nie zostaje usunięty cały DMS. W przypadku niskiego termicznego obciążenia (TBZ) zaleca się stosowanie krótszego czasu dosuszania, ale za to w wyższych temperaturach, to jest 3 godziny w temp. 85°C.

Należy także pamiętać, że część DMS jest usuwana wraz z młótem i osadami. Mimo to jeszcze duża ilość DMS przechodzi do brzeczki i powinna być z niej usunięta (patrz rozdz. 3.4.1.9).

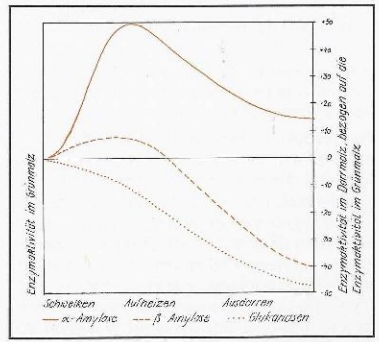
2.5.1.5 Tworzenie nitrozoamin

Nitrozoaminy (nitrozo-dimetyloamina = NDMA) to kancerogenne substancje, powstające w wysokich temperaturach z amin, będących produktami dekarboksylacji aminokwasów podczas kiełkowania i tlenku azotu. Nowe słodownie nie stosują już bezpośredniego ogrzewania mokrego słodu za pomocą gazów spalinowych. Słód nie styka się z gorącymi spalinami, bogatymi w tlenki azotu. Wszystkie słodownie stosują pośrednie systemy ogrzewania, dzięki czemu NDMA w słodzie występuje dzisiaj w śladowych ilościach. Dopuszczalna ilość nitrozoamin nie może przekraczać 2,5 µg NDMA/kg słodu.

2.5.1.6 Inaktywacja enzymów

W skład enzymów wchodzą wielkocząsteczkowe białka (rozdział 1.1.3.5.3). Pod wpływem działania wysokiej temperatury w czasie suszenia słodu złożone substancje białkowe zatracają częściowo swoją strukturę i zmieniają się ich właściwości. Denaturacja jest zależna od struktury nośnego białka i z tego względu inaktywacja poszczególnych enzymów zachodzi w różnym stopniu.

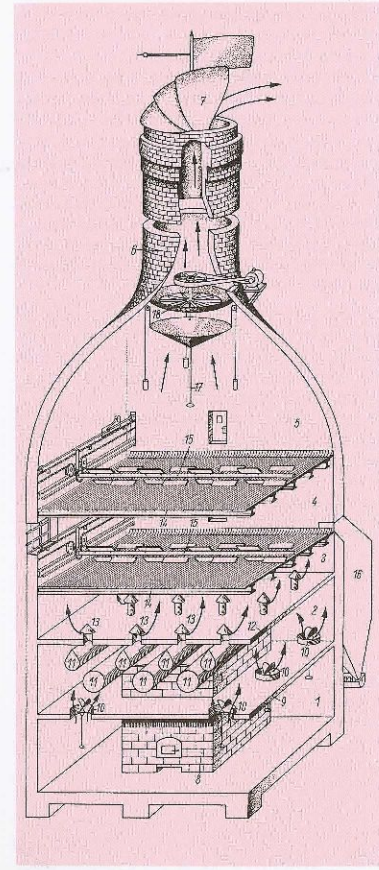
W pierwszej fazie suszenia do temp. ok. 50°C rośnie aktywność enzymów amylolitycznych, szczególnie α-amylazy, aktywność ta spada w późniejszych etapach suszenia. Pod koniec suszenia zawartość α-amylazy jest w słodzie o około 15% wyższa od tej, którą posiadał mokry słód (rys. 2.56), podczas gdy aktywność czułej na temperaturę β-amylazy jest o ok. 40% niższa niż w mokrym słodzie. Dane te dotyczą produkcji jasnego słodu.



Rys. 2.56
Inaktywacja enzymów słodu podczas suszenia

W przypadku glukanaz, bardziej wrażliwych na temperaturę, straty aktywności enzymatycznej są jeszcze większe. Ubytek zawartości endo-β-glukanazy wynosi od 20 do 40%; a straty egzo-β-glukanazy dochodzą do 50-70%. Natomiast większość enzymów rozkładających białka, odporniejszych na wysoką temperaturę, zwiększa swoją aktywność w czasie procesu suszenia o około 10 do 30%.

Spośród lipaz głównie lipooksygenaza tylko w pewnej części ulega inaktywacji, skutkiem czego wykazuje w słodzie znaczną jeszcze aktywność.



Rys. 2.57
Dwusiatkowa suszarnia słodu (starego typu)
(1) pomieszczenie pieca, (2) komora ogrzewania powietrza, (3) komora gromadzenia kiełków, (4) dolna siatka, (5) górna siatka, (6) komin - wylot oparów, (7) ruchoma osłona komina, (8) palenisko, (9) strop oddzielający, (10) zamykane otwory dla powietrza, (11) rury grzewcze, (12) strop, (13) otwory dla ciepłego powietrza, (14) powierzchnia siatki, (15) odwracacz, (16) zsyp słodu, (17) zamknięcie wylotu oparów, (18) wentylator

2.5.2 Budowa suszarni

Do suszenia słodu, który leży w suszarni w grubej warstwie, potrzebna jest bardzo duża ilość ciepłego powietrza.

Dmuchawy i system grzewczy to serce suszarni.

Stałe usprawnianie systemów suszenia słodu ciepłym powietrzem oraz wprowadzanie metod optymalizujących pracę suszarni spowodowały, że w ciągu ostatnich dziesiątków lat wprowadzono w ich budowie kolosalne zmiany, ale główna zasada podziału procesu suszenia na dwie fazy nie uległa zmianie:

- w **pierwszej fazie** odbywa się podsuszenie ziarna dużą ilością powietrza przy zmiennych temperaturach i zawartości wody, w zależności od typu słodu – nazywa się ją więdnięciem lub **podsuszaniem**,
- w **drugiej fazie** ogrzewanie jest zwiększane stopniowo do maksymalnej temperatury dosuszania – nosi ona nazwę fazy **dosuszania**.

Podział procesu na dwie fazy decydował o sposobie budowy suszarni.

2.5.2.1 Ogrzewanie i wietrzenie suszarni

Ogrzewanie suszarni odbywało się dawniej prawie wyłącznie przy użyciu węgla. Wytwarzane przy spalaniu gorące gazy nie mogły być użyte do bezpośredniego ogrzewania mokrego słodu, ponieważ zawierały składniki o przykrym zapachu, które wpływały negatywnie na jakość słodu. Wyjątek stanowiło suszenie mokrego słodu przy użyciu drewna bukowego. Piwo otrzymane z takiego słodu charakteryzuje się dymnym posmakiem,

który przy specjalnych piwach jest pożądany (piwa dymione). Takim piwem było piwo grodziskie (*przyp. tłum.*).

Zwykle gorące gazy przepływają przez metalowe rury (rys. 2.57-11), które z kolei ogrzewają powietrze kierowane do suszarni. Ten sposób ogrzewania zwany jest pośrednim, ponieważ powietrze nie styka się ze spalinami. Później ogrzewanie węglowe zastąpiono olejowym lub gazowym, co pozwoliło na znaczne uproszczenie jego regulacji.

Dalszym usprawnieniem konstrukcji suszarń było wprowadzenie parowych systemów grzewczych lub wymienników ciepła do gorącej wody. Wyeliminowało to konieczność budowania osobnej kondygnacji i polepszyło prawidłowość funkcjonowania suszarni. Dzięki pośredniemu ogrzewaniu spaliny nie mogą już reagować z substancjami białkowymi słodu.

Nowoczesne suszarnie ogrzewane są przez gaz lub olej opałowy). Gorące gazy spalinowe z pieca zawracane są kilkakrotnie przez wymienniki ciepła, ogrzewając przepływające powietrze kierowane do suszarni. Dla ochrony przed kondensatami zawierającymi między innymi kwas siarkowy instaluje się wymienniki ze stali kwasoodpornej. Skraplające się gazy spalinowe pod koniec przepływu uwalniają dodatkowe ciepło kondensacji, które się wykorzystuje.

Odzyskiwanie ciepła w suszarni

W suszarniach, w których ciepłe powietrze odlotowe nie jest zawracane, traci się bardzo dużo energii. Temperatura powietrza odlotowego z pierwszej fazy suszenia wynosi ok. 45-50°C, a z dosuszania – od 65 do 70°C.

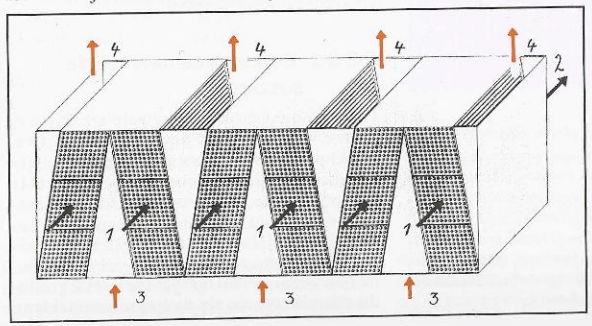
W celu odzyskania chociaż pewnej ilości ciepła, do ogrzewania świeżego, zimnego powietrza wykorzystuje się ciepło powietrza odlotowego. Do tego celu instaluje się szklany wymiennik ciepła, składający się z setek poziomo ustawionych szklanych rurek lub płyt, wstawionych między ścianami kanału powietrza odlotowego (rys. 2.57a). Zimne powietrze jest zasysane przez rury szklane i ogrzewane ciepłym odlotowym powietrzem, które przepływa między nimi.

Zastosowanie szklanych rur jest dużo tańsze od rur stalowych, a przede wszystkim agresywny gaz nie powoduje w nich korozji. Zatrzymując SO_2 urządzenie przyczynia się także do ochrony środowiska (*przyp. tłum.*).

Oszczędność z tytułu zawracania ciepła jest poważna. Jak wynika z załączonego zestawienia, dzięki zastosowaniu tego sposobu można w skali roku liczyć na poważne zmniejszenie zużycia ciepła.

Czynność	Ogrzewanie powietrza od temp.°C			Zapotrzebowanie ciepła w kWh/t gotowego słodu	
	Zima -10°C	lato +25°C	średnio +8°C	wymiennik ciepła	
				nie ma	jest
więdnięcie	18,0°C	25,0°C	21,6°C	837	618
podgrzewanie	28,5°C	41,0°C	37,6°C	159	83
dosuszenie	35,0°C	57,0°C	53,6°C	94	38
razem				1091	739

różnica = 351 kWh



Rys. 2.57a
Wymiennik z rurek szklanych do odzyskiwania ciepła odlotowego w suszarni
(1) świeże zimne powietrze, (2) świeże powietrze ogrzane, (3) ciepłe powietrze odlotowe, (4) odpływ ochłodzonego powietrza do atmosfery

W wyżej podanym przykładzie oszczędność wyniosła 32%. Z tego też względu w każdej nowoczesnej suszarni wymiennik szklany stanowi nieodzowną część składową suszarni. Zaoszczędza się w ten sposób energię i obniża koszty produkcji słodu.

System ten przynosi oszczędność energii od 30 do 35%. W zimie, przy niższych temperaturach, skala oszczędności jest większa niż w lecie.

Wymuszanie ruchu powietrza w suszarniach starszego typu odbywało się przy użyciu mocnych wentylatorów stropowych (rys. 2.57-18), co jest niewystarczające w nowoczesnych suszarniach, w których słód leży w dużo grubszych warstwach (do 1,3 m). Obecnie stosuje się wentylatory radialne tłoczące wymaganą ilość powietrza do komory znajdującej się pod siatką, na której leży słód.

Wymagana ilość powietrza, wynosząca około 4.300-5.000 m^3 powietrza/t/h zostaje zmniejszona o około 50% po zakończeniu fazy więdnięcia ziarna.

W niektórych suszarniach zamiast jednego wysoko wydajnego wentylatora-dmuchawy wstawia się kilka mniejszych.

Jednostkowy załadunek w nowoczesnych, wysoko wydajnych suszarniach wynosi od 350 do 500 kg jęczmienia (mokrego słodu) na każdy m^2 powierzchni siatki.

Im wyższy jest jednostkowy załadunek, tym musi być

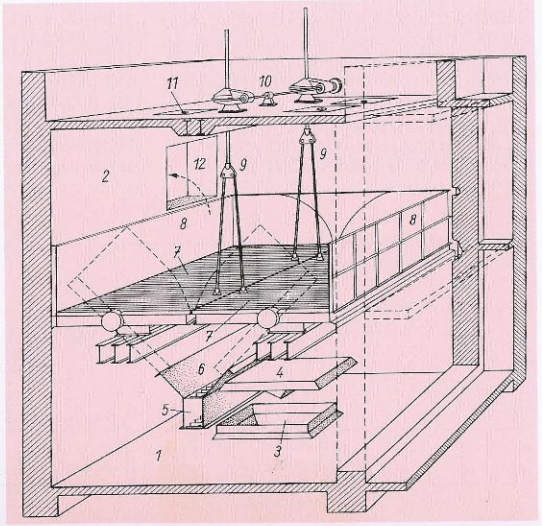
- wyższa warstwa słodu na siatce oraz
- większa wydajność wentylatora.

Z tego względu w krajach dysponujących tanią energią elektryczną większy jednostkowy załadunek jest racjonalniejszy.

Zapotrzebowanie ciepła w suszarni jednosiatkowej jest większe niż w dwusiatkowej, gdzie do podsuszenia wykorzystuje się ciepło odlotowe.

Zapotrzebowanie ciepła w suszarniach wynosi:

- od 250 do 300 MJ na 100 kg gotowego słodu w jednosiatkowych suszarniach oraz
- od 200 do 250 MJ na 100 kg gotowego słodu w dwusiatkowych suszarniach.



Rys. 2.58
Jednopoziomowa suszarnia z siatkami uchylnymi
(1) komora tłoczenia gorącego powietrza, (2) komora suszenia, (3) kanał nadmuchu, (4) rozdzielacz, (5) przenośnik słodu, (6) kosz przenośnika, (7) siatka uchylna, (8) ściana boczna, (9) zawieszenie uchylnych siatek, (10) przekładanie ślimakowe, (11) wsyp mokrego słodu, (12) odlot wilgotnego powietrza

2.5.2.2 Suszarnie dwusiatkowe starszego typu

Dawniej budowano przeważnie dwusiatkowe suszarnie, które jeszcze i dzisiaj można spotkać w średnich i małych słodowniach.

Mokry słód w takiej suszarni leży na siatkach wykonanych z okrągłego lub profilowanego drutu. Suszony jest tłoczonym ciepłym powietrzem. Przewracanie ziarna na siatce jest zmechanizowane. Mimo to w tego typu suszarni potrzebna jest obsługa ręczna: mokry słód po nasypaniu na górną siatkę wymaga rozłożenia. Transport słodu z wyższej siatki na niższą odbywa się przez podniesienie klapy, ale słód do klapy musi być przesunięty i ponownie na dolnej siatce rozłożony. Praca ręczna niezbędna jest także przy opróżnianiu suszarni.

Załadunek siatki wynosi od 65 do 80 kg gotowego słodu na każdy m^2 powierzchni suszarni. Jest to więc mała zdolność przerobowa przy dużych kosztach.

2.5.2.3 Suszarnie z siatkami uchylnymi

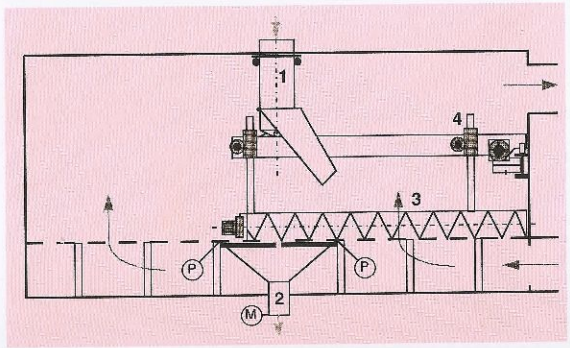
Duża ilość suszarń jest zaopatrzona w siatki uchylne. Dzięki zastosowaniu odpowiedniego systemu ogrzewania i napowietrzania przewracacze okazały się zbędne. W celu opróżnienia suszarni, siatka zostaje przechylona i słód pod własnym ciężarem zsuwa się w dół. Przechylanie odbywa się za pomocą mechanizmu otwierającego obydwie połowy siatki tak, że słód zsypuje się środkiem. W małych suszarniach tego typu siatki są uchylne często tylko z jednej strony, w większych natomiast przechylają się z dwóch stron do środka (rys. 2.58). Suszarnie są zaopatrzone w różnej konstrukcji urządzenia do załadowania; nie ma potrzeby wchodzenia na siatki. Suszenie słodu jasnego w takiej suszarni trwa od 18 do 20 godzin.

Obecnie nie buduje się już jednosiatkowych suszarń uchylnych.

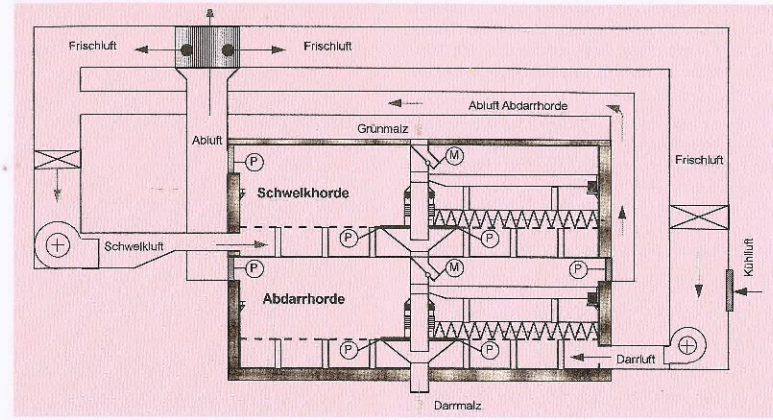
2.5.2.4 Wysoko wydajne suszarnie z urządzeniami do załadowania i wyładowania

Nowoczesne suszarnie są dzisiaj najczęściej wyposażone w urządzenia do załadunku i wyładunku. Suszarnie te budowane są w formie okrągłej lub prostokątnej, jedno- lub dwusiatkowe (rys. 2.61).
Na rysunku 2.59 pokazano wysoko wydajną okrągłą suszarnię jednosiatkową. Suszarnia ta wyposażona jest w trwale wbudowane urządzenie do załadunku i wyładunku. Przewracacz w tych suszarniach nie jest konieczny. Siatka nośna, o prześwicie wynoszącym około 30%, jest obrotowa, ustawiona na rolkach umieszczonych na obwodzie i napędzanych równomiernie za pomocą 3 do 6 silników, każdy o mocy 1 do 2 kW, które mogą być przełączane lewo- i prawostronnie oraz posiadają dwa stopnie szybkości.

Urządzenie do załadowania i wyładowania składa się głównie z poziomo ustawionego



Rys. 2.59
Suszarnia jednopoziomowa okrągła, z załadowywaczem ślimakowym ruchomym (także do wyładunku słodu)
(1) wsyp słodu mokrego, (2) wylot słodu suchego, (3) ślimak, (4) ruchome zawieszenie ślimaka, (5) wlot powietrza suszącego, (6) odlot powietrza wilgotnego



Rys. 2.61. Suszarnia dwupoziomowa, okrągła. Siatki nieruchome z załadowaczami ślimakowymi ruchomymi, służącymi także do wyładunku słodu

transportera ślimakowego. Przesuwa on słód, zależnie od potrzeby od zewnątrz do środka lub odwrotnie. Czynność ta trwa na ogół ok. 1 godziny.

Przed załadunkiem suszarni urządzenie ustawia się w położeniu, które odpowiada wysokości warstwy słodu. Załadowanie na obracających się siatkach nośnych odbywa się od zewnątrz do środka, podczas obrotu siatki. Po zakończeniu procesu suszenia słód jest za pomocą tego samego urządzenia przesuwany, przy obracającej się siatce, do otworu opróżniającego w środkowej części.

Cały przebieg suszenia z załadowaniem i wyładowaniem włącznie odbywa się automatycznie i trwa 18 do 20 godzin.

Zalety stosowania tej suszarni są następujące:

- odrywane kiełki w czasie pracy transportera ślimakowego opadają w jedno stałe miejsce, skąd są łatwo usuwane oraz
- wysuszony słód może być kierowany przy opróżnianiu suszarni do stałego otworu w środku siatki.

W dwusiatkowych suszarniach siatki ustawione są jedna nad drugą. Podczas gdy w jednej odbywa się suszenie właściwe, na drugiej siatce mokry słód znajduje się w fazie podsuszania. Po wymieszaniu ze świeżym powietrzem można przy tym przekazywać gorące, ale suche powietrze odpadowe siatki dosuszającej na siatkę, gdzie odbywa się więdnięcie. Dopiero po przejściu przez mokry słód wilgotne powietrze odlotowe wypuszcza się na zewnątrz.

Siatki takiej suszarni dwusiatkowej mogą być

- ustawione jedna nad drugą lub obok siebie i
- pracować bez lub z przeładunkiem słodu z jednej na drugą.

Przy pracy z przeładunkiem podsuszanie i dosuszanie odbywa się na osobnych siatkach. Przeładunek odpada, gdy obydwa procesy przeprowadza się na tej samej siatce, ale trzeba wówczas przełączać kanały powietrzne.

Obydwa warianty mają zalety i wady. Przełączanie kanałów powietrznych jest łatwiejsze niż przeładunek słodu, na który traci się dwie godziny.

W zasadzie dwie suszarnie jednosiatkowe mogą pracować jak jedna dwusiatkowa.

W przypadku kiedy w zespolonej suszarni dwusiatkowej zamierza się prowadzić suszenie w dwóch etapach (więdnięcia i dosuszania), będzie to przebiegało tak, jak pokazano na rys. 2.61.

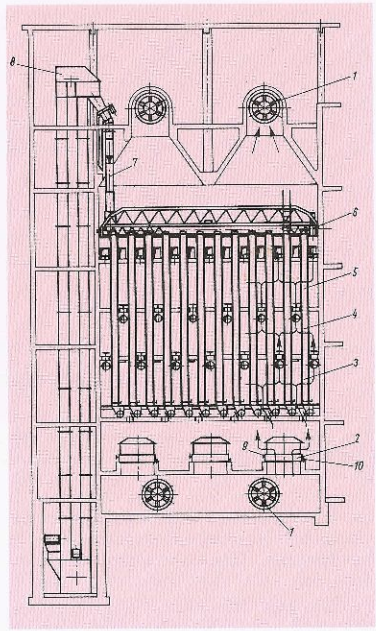
Dopływ powietrza do górnej siatki jest w pełni regulowany niezależnie od temperatury na dolnej siatce. Ilość powietrza jest tak odmierzona, że powietrze wylotowe jest ciągle wysycane wilgocią nad górną siatką w 25-30°C, podczas gdy dolna siatka może być prowadzona całkowicie niezależnie od temperatur dosuszania.

Załadowanie i wyładowanie siatek odbywa się w wyżej omówiony sposób. W czasie wyładowania słodu z górnej siatki na dolną urządzenia opróżniające górną siatkę i załadowujące dolną siatkę pracują z taką samą szybkością.

Ze względów ekonomicznych wykorzystuje się maksymalnie ciepło odlotowego powietrza: wentylator zasysa powietrze świeże przez wymiennik ciepła i ogrzewa je do żądanej temperatury. Powietrze odlotowe w suszarniach jednosiatkowych jest odprowadzane do układu odzyskiwania ciepła. W suszarniach dwusiatkowych powietrze po przejściu przez dolną siatkę i przez odpowiednie wymieszanie ze świeżym powietrzem doprowadzane jest do wymaganej temperatury. W związku z tym, okazało się konieczne instalowanie całkiem oddzielnych mechanizmów sterujących temperaturą oraz powietrzem dla górnej i dolnej siatki.

2.5.2.5 Suszarnie o pionowym układzie siatek

Zupełnie inną formę konstrukcyjną stanowi suszarnia pionowa. W suszarni tej słód mieści się między licznymi siatkami ustawionymi pionowo w warstwie szerokości ok. 20 cm. Ciepłe powietrze jest przedmuchiwane przez mokry słód zamiennie, z różnych stron (rys. 2.62). Pojedyncza siatka w tej suszarni nazywa się szybem lub komorą słodowniczą. Zależnie od wielkości suszarni, zainstalowanych jest od 3 do 12 takich komór. Między komorami znajdują się przedziały powietrzne o szerokości 80 cm, w których obsługujący mogą chodzić. Komory



Rys. 2.62

Dwunastosiatkowa suszarnia o pionowym układzie siatek

(1) wentylator, (2) parowy grzejnik powietrza, (3) dolny poziom suszenia, (4) środkowy poziom suszenia, (5) górny poziom suszenia, (6) ślimak załadowczy, (7) teleskopowa rura zsypu, (8) przenośnik kubełkowy, (9) przewody parowe, (10) przewód do kondensatów

suszarnicze w pionie podzielone są przegrodami na dwie lub trzy siatki. Komory suszarnicze i przedziały powietrzne mają taką samą wysokość. Poszczególne siatki zaopatrzone są w klapy, których otwarcie powoduje, że słód opada pod wpływem siły ciężkości do niżej leżącej siatki lub do przenośnika do odbioru gotowego słodu.

W pionowych suszarniach słód spada pod wpływem siły ciężkości z jednej komory do drugiej.

Mokry słód nie jest przewracany.

Z uwagi na bardzo dobre wykorzystanie powierzchni w tych suszarniach, słodownie takie zaliczane są do wysoko wydajnych. Sposób ogrzewania suszarń pionowych jest taki sam jak przy suszarniach poziomych. Ciepłe powietrze jest tłoczone dmuchawami od dołu z komór powietrznych. Zapotrzebowanie energii jest w tych suszarniach bardzo wysokie, wynosi ok. 1,2 mln kJ na 100 kg słodu. Z tego też powodu nie znalazły one szerokiego zastosowania i obecnie są rzadko spotykane.

2.5.3 Prowadzenie procesu suszenia

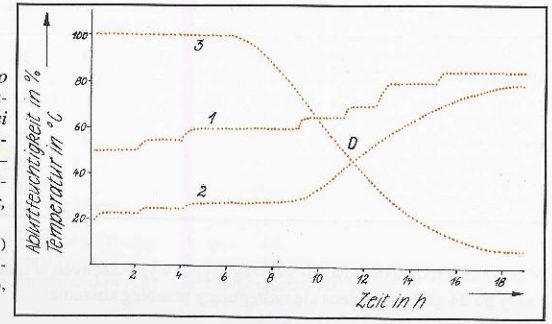
Na początku procesu suszenia ogrzewa się mokry słód do temperatury podsuszania, którą utrzymuje się przez 3 do 5 godzin. Proces podgrzewania powinien przebiegać powoli, a ustalony zakres temperatur rygorystycznie przestrzegany; w przeciwnym razie:

- skrobia w ziarnie ulegnie skleikowaniu i otrzyma się *szklisty słód,*
- w czasie prowadzenia procesu suszenia mogą zachodzić dalsze niepożądane przemiany rozkładu składników słodu.

Przebieg suszenia ustala się zależnie od rodzaju słodu, jaki chce się otrzymać.

W celu lepszego uwypuklenia różnic w prowadzeniu procesu suszenia podano poniżej podstawowe wskaźniki obowiązujące w produkcji słodu jasnego i ciemnego.

Parametr	Jasny słód (pilzneński)	Ciemny słód (monachijski)
Zawartość białka w jęczmieniu, %	od 8,5 do 11,0	od 11 do 13
Stopień namoczenia, %	od 42 do 44	od 44 do 47
Maksymalna temperatura kiełkowania, °C	od 17 do 18	od 22 do 25
Rozluźnienie	słabe	znaczne
Długość kiełka liściowego	2/3 do 3/4 długości ziarna	3/4 do1/1 długości ziarna
Suszenie na górnej siatce	silny ciąg powietrza powodujący szybkie odsuszenie; inaktywacja enzymów, wstrzymanie rozkładu substancji	napowietrzanie ciepłym wilgotnym powietrzem; silna aktywność enzymów, rozkład substancji białkowych i in.
Temperatura dosuszania pod siatką, °C	od 80 do 85	od 105 do 110
Tworzenie melanoidów	bardzo małe	bogate



Rys. 2.63

Przebieg suszenia jasnego słodu w wysoko sprawnej suszarni jednosiatkowej; na osi odciętych podano czas w godzinach, na osi rzędnych – wilgotność słodu w % i temperaturę w °C (wg L. Narziss, Weihenstephan)

(1) temperatura pod siatką, (2) temperatura nad siatką, (3) wilgotność powietrza odlotowego, (D) „przełom"

W procesie suszenia rozróżnia się trzy fazy:

1. fazę więdnięcia, w czasie której, dzięki tłoczeniu ciepłego powietrza, w mokrym ziarnie spada powoli zawartość wody do 10-14%, temperatura w tej fazie suszenia nie powinna przekroczyć 50°C;
   Niższa temperatura i dłuższy czas prowadzenia procesu podsuszania zapewnia:
   – dalej posunięty rozkład substancji tłuszczowych w słodzie,
   – lepszą stabilność smakową w piwie (151).
   Proces suszenia przedstawiono graficznie na rys. 2.63. Pod koniec więdnięcia linia wilgotności w powietrzu odlotowym (3) przecina się z linią temperatury nad siatką (2). Punkt przecięcia wyznacza zakończenie fazy więdnięcia i nazywany jest przełomem (P). W Niemczech określa się go jako punkt D (Durchbruch – przełom).
2. fazę podgrzewania, w czasie której słód jest powoli podgrzewany do temperatury dosuszania przy równoczesnym obniżaniu zawartości wody w ziarnie do ok. 5%;
3. fazę dosuszania, podczas której słód jest suszony w stałej temperaturze przez 3 do 5 godzin (*nazywaną również fazą prażenia – przyp. tł.*).

2.5.3.1 Produkcja słodu jasnego, typu pilzneńskiego

Przy produkcji słodu pilzneńskiego należy wykluczyć wszystkie czynniki sprzyjające tworzeniu się melanoidów. Do czynników przeciwdziałających tworzeniu się tych związków zalicza się:

zastosowanie jęczmienia o niskiej zawartości białka (do 11%),

niski stopień namoczenia jęczmienia (42-44%),

ograniczony proces przemian biochemicznych w czasie kiełkowania (maksymalna temp. 17-18°C, słabe rozluźnienie, długość kiełka liścieniowego – 2/3 długości ziarna, a kiełka korzeniowego – 1,5 długości ziarna),

szybkie suszenie do zawartości od 8 do 10% wody w pierwszej połowie procesu za pomocą silnego ciągu powietrza, co pozwala na zatrzymanie przemian enzymatycznych w ziarnie,

prowadzenie procesu dosuszania w temperaturze 80-85°C.

Podkreślić należy także, że wyższe temperatury dosuszania prowadzą do powstawania większej liczby komponentów powodujących starzenie się piwa, ale rozpad prekursora DMS-P wymaga określonego obciążenia termicznego.

Suszenie słodu pilzneńskiego w suszarni jednosiatkowej

Godzina	Temperatura w słodzie w °C w %			Zawartość wody			Praca wentylatora
	góra	środek	dół	góra	środek	dół	
1 - 3	20	28	37	41	39	33	pełna zdolność
4 - 7	35	45	52	35	30	17	"
8 - 11	55	59	62	19	16	8	"
12 - 15	71	73	78	7	6	6	3/4 zdolności
16 - 19	79	82	85	6	4,5	4,5	1/2 "
20 - 22	84	85	86	4	4	4	1/2 "

W suszarniach dwusiatkowych starszego typu, wyposażonych w przewracacze, z cyklem pracy 2 razy po 24 godziny, zaleca się następujący przebieg suszenia:

Suszenie słodu pilzneńskiego w suszarni dwusiatkowej

Godziny	Temperatura w słodzie °C		Zawartość wody %		Okres przewracania po ilu godzinach		Praca wentylatora
	górna siatka	dolna siatka	górna siatka	dolna siatka	górna siatka	dolna siatka	
1 - 4	20 - 30		43 - 40		1		
5 - 9	30 - 40		40 - 39		5		czynny
10 - 14	40 - 50		24 - 12		9		od 1 do 12 h
15 - 19	55		11		dalej co 2 h		
20 - 24	60		10				
25 - 29		55 - 60		11 do 8		co 2 h	czynny
30 - 34		60 - 64		8 do 6			od 25 do 37 h
35 - 39		65 - 74		6 do5		do 42 h	
40 - 44		75 - 85		4,5		43 h	
						44 h	
						45 h	
45 - 48		85		4		46 - 48 h	czynny

(Częściej jednak stosowany jest cykl suszenia 2 x 12 h. Przyp. tł. AB).

Temperaturę mierzy się w trzech poziomach warstwy słodu, górnym, środkowym i dolnym. Mimo braku przewracania nie należy obawiać się niejednolitego słodu gdyż:

Suszenie na siatce przebiega od dołu ku górze. Parująca przy tym woda utrzymuje w górnych, wilgotniejszych warstwach słodu, niższą temperaturę i zapobiega powstawaniu szklistego słodu.

Temperatury nad siatką w pierwszej połowie okresu suszenia są znacznie niższe od panujących w dolnej części warstwy słodu i wzrastają dopiero po przełomie.

2.5.3.2 Otrzymywanie słodu ciemnego, typu monachijskiego

Przy produkcji słodu monachijskiego trzeba stwarzać takie warunki, aby możliwe było intensywne tworzenie substancji melanoidowych. Należą tu:

używanie jęczmienia wysokobiałkowego,

stosowanie wysokiego stopnia namoczenia (44 do 47%),

w czasie kiełkowania stwarzanie warunków intensyfikujących działanie enzymów, co wiąże się z powstawaniem dużej ilości produktów rozkładu (maksymalna temp. 20-25°C, wysokie rozluźnienie ziarna, długość kiełka liścieniowego – 3/4 długości ziarna, a kiełków korzeniowych – podwójna długość ziarna),

powolne obniżanie zawartości wody w ziarnie do 20% w pierwszej połowie suszenia (faza więdnięcia), co osiąga się przez ograniczenie ciągu powietrza. Sprzyja to podwyższeniu aktywności enzymatycznej oraz intensyfikuje przemiany składników słodu (rys. 2.64),

prowadzenie procesu dosuszania słodu w temperaturze 105°C.

Otrzymywanie słodu monachijskiego w suszarni dwusitkowej

Godziny	Temperatura w słodzie w °C		Zawartość wody w %		Praca przewracacza, godz.		Praca wentylatora	
	górna siatka	dolna siatka	górna siatka	dolna siatka	górna siatka	dolna siatka	godz.	ciąg
1 do 4	20		44				1 do 10	otwarty
5 do 9	30		30		co 2 godz.			
10 do14	40		25				11 do14	1/4 zamknięty
15 do19	60		22				14 do 17	1/2 zamknięty
							17 do 19	3/4 zamknięty
20 do 24	65		20		co 1 godz.		19 do 25	cały zamknięty
25 do 29		50		16	co 1 godz.		25 do 34	otwarty
30 do 34		50		12				
35 do 39		65		7	co 1 godz.		35 do 38	1/4 zamknięty
40 do 44		90		5			38 do 41	
							41 do 43	1/3 zamknięty
								3/4 zamknięty
45 do 48		105		3		stale	43 do 47	cały zamknięty

2.5.3.3 Opróżnianie suszarni

Po zakończeniu suszenia opróżnianie suszarni ze słodu odbywa się możliwie szybko:

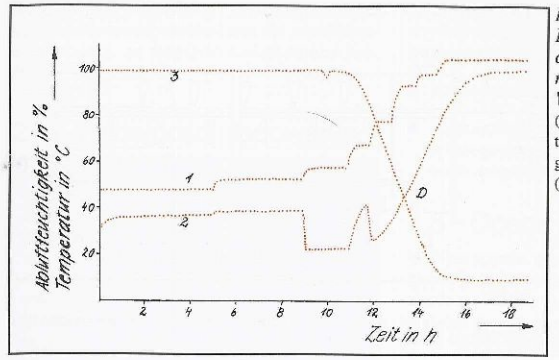
- w suszarniach starszego typu siatki są opróżniane za pomocą zgarniacza łopatkowego,
- w suszarniach uchylnych słód zsypuje się pod własnym ciężarem lub
- stosowane jest urządzenie zgarniające do zsypu z boku siatki.

2.5.3.4 Kontrola przebiegu suszenia

Prawidłowy przebieg procesu suszenia zależy od stałej kontroli, która obejmuje następujące pomiary:

- temperatury: w słodzie, nad i pod warstwą słodu, temperatury powietrza zewnętrznego, powietrza dopływającego oraz zwrotnego,
- wilgotności powietrza w warstwach słodu,
- czasu pracy przewracacza (jeżeli taki jest),
- czasu pracy urządzeń napowietrzających,
- czasu otwarcia klapy wentylacyjnej do świeżego i zwrotnego powietrza itd.

Wszystkie czynności w nowoczesnych słodowniach są programowane i regulowane automatycznie, a przebieg procesów produkcyjnych kierowany jest poprzez pulpity sterownicze i monitory. Przy automatyzacji i komputeryza-



Rys. 2.64
Przebieg suszenia słodu ciemnego w suszarni jednostkowej (wg L. Narziss, Weihenstephan)
(1) temperatura pod siatką, (2) temperatura nad siatką, (3) wilgotność powietrza odlotowego, (D) „przełom"

cji procesów technologicznych coraz ważniejsza jest rzetelna wiedza z zakresu produkcji słodu opanowana przez personel słodowni.

2.6 Przygotowanie słodu do składowania

Słód po suszeniu powinien być możliwie szybko ochłodzony i pozbawiony kiełków korzeniowych. Następnie aż do wysyłki jest składowany i przed wysyłką niekiedy jeszcze polerowany, aby poprawić jego wygląd.

2.6.1 Chłodzenie wysuszonego słodu

Temperatura wysuszonego słodu po opuszczeniu suszarni jest jeszcze wysoka i wynosi 80°C. Słód nie może być w takim stanie magazynowany, poddaje się go więc ochłodzeniu za pomocą:

- tłoczenia przez ziarno zimnego powietrza, aż do oziębienia słodu co najmniej do temp. 35-40°C lub
- specjalnego zbiornika do schładzania, lub
- powolnego prowadzenia zabiegu odkiełkowania (w małych słodowniach).

Jak już podano, wysuszony słód po opuszczeniu suszarni posiada jeszcze wysoką temperaturę. Tę energię cieplną można wykorzystać do ogrzewania powietrza do suszenia słodu w fazie podsuszania. W tym celu powietrze wykorzystane do chłodzenia słodu kieruje się przez wymiennik ciepła, skąd ogrzane do wyższej temperatury tłoczone jest do suszarni zamiast zimnego powietrza z atmosfery.

Po ochłodzeniu słód kieruje się do odkiełkowania.

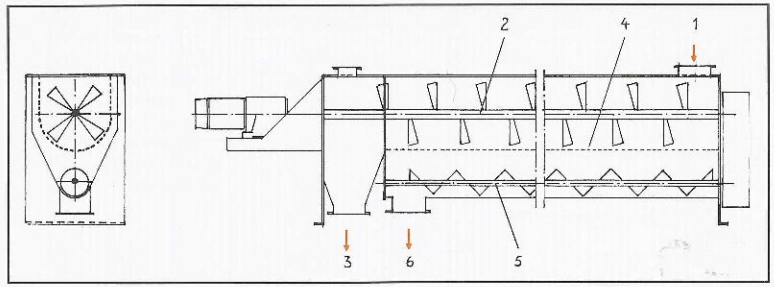
2.6.2 Odkiełkowanie słodu

Kiełki stanowią około 3-4% suchej masy jęczmienia użytego do produkcji słodu. Muszą one być oddzielone od ziarna.

Kiełki są bardzo wartościowym odpadem, wykorzystywanym jako cenny komponent do pasz. Wg Baumanna, skład kiełków słodu jasnego wynosi średnio:

woda	8,8%
białko	30,0%
tłuszcz	2,0%
popiół	6,0%
błonnik	8,6%
węglowodany	44,6%

Pewna część korzonków odrywa się w czasie suszenia. W nowoczesnych suszarniach obrotowych do ich usuwania wykorzystuje się urządzenia do przewracania lub opróżniania. Pod tymi urządzeniami zainstalowane są stałe specjalne rynny, do których spadają kiełki, skąd usuwane są z suszarni za pomocą transportera ślimakowego.



Rys. 2.65. Odkiełkownica do słodu
(1) wsyp słodu, (2) ukośne łopatki, (3) wylot słodu, (4) sito półcylindryczne, (5) przenośnik ślimakowy do kiełków, (6) wylot kiełków słodowych

W suszarniach starego typu kiełki spadają na dół przez otwory w siatce nośnej do specjalnych komór. Zdarza się, że opadają na rury grzewcze lub do komory grzejnej. Silnie ogrzane ciemnieją i stają się mniej wartościowe. Kiełki z odkiełkownicy są zawsze od nich jaśniejsze.

Usuwanie kiełków przeprowadza się w odkiełkownicy do słodu lub ślimaku do odkiełkowywania. Słód wsypywany jest do sita półcylindrycznego, wewnątrz którego na obracającym się wale zainstalowane są mieszadła łopatkowe (rys. 2.65). Ziarna wprawione w ruch obrotowy ocierając się o siebie i o wewnętrzną ścianę obudowy zostają uwolnione od korzonków. Oddzielone korzonki spadają przez sito na transporter ślimakowy, który usuwa je do zbiornika na kiełki. Słód odkiełkowany odbierany jest w końcowej części odkiełkownicy. Ziarna w czasie odkiełkowania nie powinny być uszkadzane.

2.6.3 Składowanie słodu

W wysuszonym słodzie w czasie przechowywania podnosi się powoli zawartość wody do 4-5 %. Równocześnie w ziarnie zachodzą zmiany fizykochemiczne, które ułatwiają jego przerób w warzelni. W przypadku zastosowania świeżo wysuszonego słodu można się spodziewać zakłóceń w procesie klarowania brzeczki i przebiegu fermentacji. Dlatego słód przechowywany jest co najmniej przez 4 tygodnie w silosach lub w magazynach.

Składowanego ziarna nie wietrzy się. Warunkiem prawidłowego przechowywania słodu jest chronienie go przed wilgotnym powietrzem.

Świeżo wysuszony słód nie nadaje się do natychmiastowego przerobu w browarze. Musi przejść fazę dojrzewania podczas składowania. Słód składowany musi być dobrze odkiełkowany, schłodzony i suchy.

Podczas magazynowania w silosach zachodzi mniejsza obawa zawilgocenia słodu niż w magazynach podłogowych. W magazynach słód leży w warstwach o grubości około 3 m.

2.6.4 Polerowanie słodu

Przed wysyłką słód często poddaje się dodatkowemu oczyszczaniu z cząstek pyłu i odłupanych łusek. Zabieg ten nazywa się polerowaniem, a jego zadaniem jest poprawa wyglądu słodu. Przeprowadza się go w polerownicy, która jest podłączona do centralnego aspiratora. Czynność ta obejmuje poza usunięciem zanieczyszczeń metalowych za pomocą magnesu przede wszystkim usunięcie cząstek rozkruszonego ziarna i łuski. Na koniec słód oczyszczany jest z pyłu przy użyciu wałków-szczotek z delikatnego włosia. Zależnie od rozluźnienia słodu, a więc od jego kruchości, urządzenie do polerowania ustawia się na bardziej lub mniej „ostrą" pracę. Odpady z polerownicy zawierają substancje ekstraktywne, gdyż w czasie polerowania odkruszają się także cząstki ziarna. (*Wg Hlavacka i Lhotskego, str. 92, użycia polerownic zaniechano już przed trzydziestu laty, ze względów ekonomicznych. Przyp. tłum. A.B.*)

2.7 Wydajność słodowania

Oczywiste jest, że ze 100 kg jęczmienia nie uzyskuje się 100 kg słodu. Stosunek ilościowy otrzymanego słodu do użytego jęczmienia wyrażony w procentach nazywa się wydajnością słodowania. Natomiast różnica między masą użytego jęczmienia (100%) a masą otrzymanego słodu stanowi straty słodowania.

Wydajność słodowania powinna być możliwie wysoka, a straty możliwie małe. Przyjmuje się, że w produkcji jasnego słodu ze 100 kg oczyszczonego jęczmienia otrzymuje się średnio:

148 kg namoczonego jęczmienia,

140 kg słodu mokrego,

78 kg świeżo wysuszonego słodu,

80 kg słodu po składowaniu,

straty słodowania wynoszą zatem 20 kg.

Około połowy ubytków powstałych w czasie słodowania spowodowanych jest różnicą w zawartości wody:

zawartość wody w jęczmieniu od 12 do 14%,

zawartość wody w słodzie od 3 do 4%.

Już to daje różnicę 10%, która nie obejmuje strat powstałych w czasie słodowania (przemiana materii, oddychanie). Straty te kształtują się następująco:

	Słód jasny	Słód ciemny
Ubytki w czasie moczenia, %	1,0	1, 0
Ubytki na oddychanie, %	5,8	7,5
Usunięte kiełki, %	3,7	4,5
Ogólne ubytki, %	10,5	13,0

Największe straty powstają wskutek oddychania ziarna oraz zużycia składników niezbędnych do wzrostu kiełków korzeniowych. Wynika z tego, że dla uzyskania możliwie małych ubytków procesy te powinny być hamowane. Można to osiągnąć przez:

- zimne prowadzenie grzędy,
- ograniczanie oddychania pod koniec kiełkowania przez zastosowanie powietrza zwrotnego, bogatego w dwutlenek węgla.

2.8 Ocena słodu

W Niemczech ocenę słodu przeprowadza się zgodnie z metodyką analityczną MEBAK, zgodną z EBC.

Słód ocenia się następująco:

- na drodze bonitacji – ocena cech zewnętrznych ziarna,
- metodami mechanicznymi,
- metodami chemiczno-technicznymi.

2.8.1 Ocena cech zewnętrznych (bonitacja)

Ocena ta obejmuje barwę, zapach, smak oraz aromat, połysk i stopień zanieczyszczenia słodu. Jest to ocena organoleptyczna, a więc daje tylko ogólny pogląd o jakości słodu.

2.8.2 Metody mechaniczne

2.8.2.1 Wyrównanie słodu (sortowanie)

Wyrównanie ziarna przeprowadza się tak samo jak w jęczmieniu. I sito powinno wynosić minimum 85%, a ilość posladu poniżej 1%.

2.8.2.2 Masa tysiąca ziaren

Oznaczenie wykonuje się tak samo jak w jęczmieniu. Średnio masa 1.000 ziaren wynosi:

od 28 do 38 g w powietrzno suchym słodzie,

od 25 do 35 g w suchej masie słodu.

2.8.2.3 Gęstość w stanie zsypnym (ciężar hektolitrowy)

Cechę tę oznacza się rzadko, ponieważ nie daje ona miarodajnych ocen. Sposób wykonania, jak w jęczmieniu.

2.8.2.4 Próba pływania

Ziarna słodu nie toną w wodzie, tak jak to się dzieje z jęczmieniem. Utrzymywanie się ziarna na powierzchni wody jest tym większe, im wyższe jest jego rozluźnienie i rozwój kiełka liścieniowego. Liczba tonących ziaren mieści się w normie, jeżeli wynosi:

w dobrze rozluźnionych słodach jasnych	od 30 do 35%,
w ciemnych słodach	od 25 do 30%.

2.8.2.5 Szklistość ziarna

Szklistość ziarna oznacza się przy pomocy przecinacza podłużnego (farynatom). Ziaren całkowicie szklistych powinno być najwyżej 2%, a ziaren mączystych powinno być przynajmniej 95%.

2.8.2.6 Kruchość ziarna

Niedostateczna kruchość lub nadmierna szklistość ziarna prowadzić może do trudności w klarowaniu zacieru i brzeczki oraz przebiegu filtracji. Kruchość oznacza się przy pomocy friabilimetru. Kryteria oceny tego parametru są następujące:

Kruchość jasnego słodu	
ponad 81%	bardzo dobra
od 78 do 81%	dobra
od 75 do 78%	dostateczna
poniżej 75%	niedostateczna.

2.8.2.7 Rozwój kiełka liścieniowego

Rozwój kiełka liścieniowego daje pogląd o równomiernym przebiegu procesu kiełkowania. Oznaczenie polega na określeniu długości kiełka liścieniowego w ziarnie. Długość tę podaje się w stosunku do długości ziarna.

Średnia długość kiełka liścieniowego w słodzie jasnym powinna wynosić od 0,7 do 0,8.

2.8.2.8 Zdolność kiełkowania

Po namoczeniu słodu żyje i rośnie jeszcze od 6 do 10% ziaren. Zdolność kiełkowania słodu wynosząca powyżej 10% świadczy o nieprawidłowym przebiegu suszenia – słód był suszony w za niskiej temperaturze lub za długo.

(Opracowane w Polsce mierniki wartości browarnej słodu oraz sposoby ich oznaczania oparte są na przepisach analitycznych zalecanych przez Europejską Konwencję Browarniczą (EBC) oraz przez Komitet Analityczny Browarów Środkowoeuropejskich (MEBAK). Aktualne Polskie Normy są następujące: Słód browarny PN-A-79082/1997 oraz Słód browarny. Metody badań PN-A-79083/1998. *Przyp. tłum. AB*).

2.8.3 Badania chemiczno-techniczne

2.8.3.1 Zawartość wody

Oznaczenie zawartości wody odbywa się tak jak w jęczmieniu. Wartości normatywne wynoszą:

w słodzie jasnym (świeżo suszony ok. 4%)	od 3,0 do 5,8% (Wg PN do 5,0%)
w słodzie ciemnym (świeżo suszony ok. 4%)	od 1,0 do 4,5%

Zawartość wody w słodzie w obrocie handlowym wynosi najczęściej 5,0%.

2.8.3.2 Oznaczenia w brzeczce laboratoryjnej („kongresowej")

Najważniejszym wskaźnikiem określającym jakość słodu jest zachowanie się w procesie zacierania oraz zdolność maksymalnego rozkładu składników zawartych w słodzie. W tym celu wykonuje się standardowe zacieranie słodu w skali laboratoryjnej, w aparacie zaciernym, zgodnie z metodyką zwaną kongresową i bezpośrednio po tym określa wydajność laboratoryjną słodu. Wychodzi się z założenia, że słód jest tym bardziej rozluźniony, im mniejszy wpływ na wydajność ma rozdrobnienie słodu. Dlatego w laboratorium wykonuje się zawsze dwie równoległe próby zacierania. Do oznaczenia pobiera się po 50 g słodu bardzo grubo rozdrobnionego, zawierającego tylko 25% mąki (analiza śruty) i słodu drobno zmielonego, posiadającego 90% mąki (analiza mąki).

Do rozdrobnienia słodu stosuje się, zgodnie z metodyką EBC, młynki tarczowe DLFU, które muszą być szczególnie dokładnie nastawione. Po 50 g śruty i oddzielnie mąki przenosi się do specjalnych kubków zacierowych i zalewa 200 ml wody destylowanej o temperaturze 45-46°C. Proces zacierania prowadzi się przy stałym mieszaniu przez 30 minut w temp. 45°C, po czym temperaturę podnosi się w ciągu 25 minut do 70°C z szybkością 1°C na minutę. Następnie dolewa się po 100 ml wody o temp. 70°C i w tej temperaturze zaciera się przez jedną godzinę przy stałym mieszaniu. W tym czasie kontroluje się stopień scukrzenia zacieru. Po zakończeniu zacierania zawartość w kubkach w ciągu 10-15 minut doprowadza się do temperatury pokojowej i dopełnia się destylowaną wodą do pojemności odpowiadającej 450 g. Następnie zacier filtruje się przez bibułę. Pierwszych 100 ml filtratu zawraca się z powrotem na sączek. Filtrację kończy się w momencie, kiedy młóto staje się „suche". Otrzymana brzeczka zwana jest brzeczką kongresową. Poddaje się ją natychmiast analizie. Najważniejszym oznaczeniem jest zawartość ekstraktu. Ponieważ oznaczenie ekstraktu za pomocą areometru jest niedokładne (co poruszone będzie także przy omawianiu produkcji brzeczki w warzelni), do oznaczenia tego parametru stosuje się piknometr (rys. 8.12), refraktometr, specjalny areometr lub specjalny precyzyjny aparat do pomiaru gęstości.

Przy pomocy tabeli Plato określa się wydajność ekstraktu. Zawartość ekstraktu podaje się w procentach powietrznosuchego słodu i w suchej masie.

Bardziej istotnym wskaźnikiem dla piwowara jest oznaczenie wydajności ekstraktu w suchej substancji słodu, gdyż podaje ono faktyczną ekstraktywność słodu, niezależną od jego wilgotności.

Zwykle zawartość ekstraktu wynosi:

w jasnym słodzie	*od 79 do 82% s.s.*
w ciemnym słodzie	*od 75 do 78% s.s.*

Słód jest tym lepszy, im wyższa jest jego zawartość ekstraktu.

Jednym z najważniejszych mierników jakości jest rozluźnienie słodu. W dobrze rozluźnionym słodzie różnica między zawartością ekstraktu uzyskaną z mąki a ekstraktywnością śruty jest mała. Stopień rozdrobnienia słodu nie będzie miał wówczas dużego wpływu na wydajność ekstraktu w warzelni. Różnicę ekstraktywności mąki i śruty nazywa się rozluźnieniem słodu i oznacza się je następująco:

rozluźnienie słodu = % ekstraktu w mące w s.s. minus % ekstraktu w śrucie w s.s.

różnicę ekstraktów poniżej 1,8% ocenia się jako dobrą,

ponad 1,8% – jako przeciętną.

W brzeczce kongresowej oznacza się następujące parametry:

Zapach w czasie zacierania, który powinien być „normalny", jeżeli odpowiada typowi badanego słodu.

Próbę jodową, która określa czas scukrzania zacieru po uzyskaniu temp. 70°C. Kropla zacieru po scukrzeniu z roztworem jodu daje czystą żółtą plamkę. Wynik podaje się następująco: „poniżej 10 minut", od „10 do 15 minut", od „15 do 20 minut" itd.

Ocenę filtracji, którą klasyfikuje się jako „normalną", jeżeli zakończona zostanie w ciągu godziny, jeżeli trwa dłużej – określa się ją jako „powolną".

Wygląd brzeczki – ocenia się jako „klarowną", „opalizującą" lub „mętną".

Wartość pH – pomiar wykonuje się w brzeczce, w 30 minut po filtracji przy użyciu elektrody szklanej. Wskaźnik pH brzeczki kongresowej wynosi średnio od 5,6 do 5,9.

Barwa brzeczki – oznaczenie to nie daje pewnej informacji o spodziewanej barwie piwa, jednak przeprowadza się je zawsze, ponieważ informuje o typie badanego słodu. Pomiaru dokonuje się przez porównanie barwy brzeczki z wzorcami barwnymi w aparacie zwanym neokomparatorem Helliga. Za normalne wartości uznaje się:

dla słodów jasnych do 4 j. EBC,
dla słodów o średniej barwie od 5 do 8 j. EBC,
dla ciemnych słodów od 9,5 do 16 j. EBC.

Barwa brzeczki po gotowaniu – oznaczenie polega na gotowaniu przefiltrowanej brzeczki kongresowej przez 2 godziny pod chłodnicą zwrotną, a następnie przefiltrowaniu przez filtr membranowy. Na podstawie barwy brzeczki po gotowaniu można domniemywać o barwie piwa; nie zawsze jednak otrzymuje się pewne wyniki. Barwa po gotowaniu w jasnym słodzie wynosi średnio 5,1 j. EBC, najwyżej 7 j. EBC.

Lepkość brzeczki; parametr ten daje pogląd o przyszłym klarowaniu i filtracji brzeczki w warzelni. W brzeczce kongresowej lepkość kształtuje się średnio od 1,51 do 1,63 mPa·s.

Zawartość azotu – oznacza się tak jak w jęczmieniu. W słodzie zawartość białka jest o 0,5% niższa niż w jęczmieniu. Na ogół podawana jest jako ogólna zawartość białka (zawartość azotu razy 6,25) Zawartość białka w słodzie powinna być niższa niż 10,8%.

Azot rozpuszczalny – podaje zawartość rozpuszczalnych związków azotowych w słodzie. Ich zawartość wynosi zwykle od 0,55 do 0,75% w s.m. lub 650 do 750 mg/l.

Stopień rozluźnienia białkowego (liczba Kolbacha) informuje, ile białka zawartego w słodzie przeszło do roztworu w czasie zacierania kongresowego, jest to więc miernik proteolitycznego rozluźnienia słodu. Słód jest tym bardziej rozluźniony, im wyższy jest stopień rozluźnienia białkowego.

Wysokość liczby Kolbacha ocenia się:

poniżej 35 jako średnie rozluźnienie,
35 do 41 jako dobre rozluźnienie,
ponad 41 jako bardzo dobre rozluźnienie.

Azot formolowy informuje o ilości niskocząsteczkowych związków azotowych w słodzie. Wartości normatywne wynoszą od 180 do 220 mg/100 g s.m. słodu.

Azot aminowy podaje przede wszystkim zawartość wolnych aminokwasów w słodzie, zapewniających prawidłowe rozmnażanie drożdży. Normatywne ilości wynoszą od 120 do 160 mg/100 g s.m. słodu.

Siła diastatyczna stanowi informację o zawartości amylazy. Jest to więc bardzo ważny miernik określający jakość słodu. Siła diastatyczna jest podawana w jednostkach Windisch-Kolbacha (j. WK) i wynosi zwykle:

w jasnych słodach od 240 do 260 j. WK,
w ciemnych słodach od 150 do 170 j. WK.

Zacieranie wg Hartonga-Kretschmera daje ogólny pogląd o aktywności enzymatycznej i stopniu rozluźnienia słodu. Oznaczenie to polega na przeprowadzeniu jednocześnie czterech zacierań w różnych, określonych warunkach. Do czterech kubków zaciernych przenosi się po 50 g słodu rozdrobnionego do mąki i dodaje po 350 ml wody destylowanej. Zacieranie prowadzi się w następujących temperaturach:

kubek I w temp. 20°C,
kubek II 45°C,
kubek III 65°C,
kubek IV 89°C.

Po przefiltrowaniu w otrzymanej brzeczce oznacza się zawartość ekstraktu. Otrzymane wyniki dają pogląd o jakości słodu. Największe znaczenie ma zacieranie w temperaturze 45°C – informuje o zasobności enzymów amylolitycznych i o właściwym stopniu rozluźnienia białkowego.

Zawartość prekursorów ***DMS-P*** nie powinna przekraczać 5 mg/kg słodu.

Zawartość nitrozoamin (***NDMA***): maksymalna ilość tych związków może wynosić 3 µg/kg słodu.

2.8.4 Umowy na dostawę słodu

W umowach na dostawę słodu gwarantowana jest określona jakość oferowanego produktu. Zakupiony słód powinien browarom zapewnić uzyskanie dobrego piwa oraz prowadzenie procesu produkcji brzeczki w szybki i prosty sposób. Dlatego zarówno dla producentów słodu, jak i piwa ważna jest znajomość kryteriów określających jakość słodu.

Dobry słód charakteryzuje się następującymi cechami:

zawartość białka	poniżej 10,8 %
liczba Kolbacha	od 38 do 42 %
zawartość ekstraktu	ponad 80 %
różnica ekstraktu mąka-śruta	od 1,2 do 1,8 %
lepkość	poniżej 1,55 mPa·s
barwa	poniżej 3,4 j. EBC
barwa po gotowaniu	poniżej 5,9 j. EBC
azot w słodzie	ponad 0,65 g/100 g s.m.
kruchość ziarna (wartość oznaczona friabilimetrem)	od 80 do 86 %
ilość ziaren szklistych	poniżej 2 %
Liczba Hartonga HV_{45}	od 37 do 41 %
zawartość wody	poniżej 5,0 %
zawartość pośladu	poniżej 0,8 %.

Do szybkiego oznaczenia najważniejszych wskaźników jakościowych bardzo dużym ułatwieniem stały się oferowane w ostatnich latach różnego rodzaju przyrządy pomiarowe. Umożliwiają one wykonanie tych oznaczeń w czasie zaledwie 1 minuty (w próbce wynoszącej 500 g).

2.9 Słody specjalne i uzyskane z innych zbóż

Coraz częściej piwowarzy starają się zwiększać gamę swoich wyrobów różniących się smakiem, barwą, aromatem, pełnią, pianą i innymi właściwościami. Oznacza to, że do zmiany typu piwa konieczne jest zastosowanie słodów różnego rodzaju i w różnych ilościach. Rodzaje słodu różniące się od podstawowego słodu jasnego (typu pilzneńskiego), nazywanego powszechnie słodem „normalnym", określane są ogólnie jako słody specjalne.

2.9.1 Słody jasne (typu pilzneńskiego)

Odmiany jęczmienia browarnego wprowadzane w ostatnich latach do uprawy odznaczają się wyższą aktywnością enzymatyczną. Stosowanie takich odmian wymaga korekty prowadzenia procesu słodowania. Konieczne stało się hamowanie za daleko idącego procesu rozluźnienia słodu, tak aby zapewnić:

- barwę wynoszącą od 2,5 do 3,5 j. EBC,
- różnicę ekstraktów mąka-śruta wynoszącą 1,7 do 2,0%,
- lepkość poniżej 1,58 mPa·s,
- liczbę Kolbacha (stopień rozluźnienia białkowego) na poziomie 40%,
- zawartość wolnego azotu aminowego (FAN) nie więcej niż 20% azotu rozpuszczalnego,
- VZ 45 C wyższy od 36%.

W celu zahamowania powstawania prekursorów DMS dopuszczalne jest podniesienie temperatury dosuszania. Jest to szczególnie ważne, jeżeli słód przerabia się w nowoczesnych warzelniach.

2.9.2 Ciemne słody (monachijskie)

Przy produkcji ciemnych słodów aktywizuje się wszystkie procesy prowadzące do uzyskania aromatycznych związków Maillarda (melanoidy). Zaleca się:

- przerabianie jęczmienia o wysokiej zawartości białka,
- prowadzenie intensywnego procesu kiełkowania w temperaturze 18-20°C,
- stosowanie wyższego stopnia namoczenia od 48 do 50%,
- powolne prowadzenie procesu więdnięcia (podsuszania) w wysokich temperaturach przy dużej wilgotności ziarna,
- stosowanie temperatury dosuszenia od 100 do 105°C przez 4 do 5 godzin.

Ciemny słód powinien posiadać:

- barwę brzeczki kongresowej od 15 do 25 j. EBC,
- różnicę ekstraktów mąka-śruta od 2,0 do 3,0%.

Słód o barwie wynoszącej 15 j. EBC stosowany jest do nadawania charakterystycznej barwy w piwach ciemnych. Natomiast zastoso-

wanie słodu o barwie równej 25 j. EBC w ilości od 25 do 40% zasypu, powoduje pogłębienie aromatu. Jest to szczególnie istotne przy stosowaniu mniej intensywnych procesów zacierania.

Słody ciemne, typu monachijskiego dodaje się w ilości do 85% zasypu, w celu wyodrębnienia typowego charakteru piwa ciemnego lub piwa mocnego.

2.9.3 Słód wiedeński

Słód wiedeński stosuje się do korekty przy przerabianiu bardzo jasnych słodów, do produkcji piwa o „złotej barwie" lub do pogłębienia pełności smakowej piwa. Przy produkcji powinno się stosować:

- stopień namoczenia jęczmienia od 44 do 46%,
- średni stopień rozluźnienia ziarna,
- temperaturę dosuszania (ostatnia faza suszenia) wynoszącą 90°C,
- barwa brzeczki kongresowej w otrzymanym słodzie powinna wynosić od 5,5 do 6 j. EBC.

Słód wiedeński stosuje się szczególnie do produkcji piwa marcowego, piwa mocnego i w minibrowarach.

2.9.4 Słody karmelowe

Wyjściowym surowcem do produkcji słodu karmelowego był kiedyś gotowy słód, który ponownie się moczyło do zawartości ok. 44% wody. Obecnie stosuje się słód mokry o zawartości wody od 45 do 50%. W ostatnich 30 do 36 godzinach kiełkowania temperaturę grzędy podnosi się do 50°C, w celu stworzenia enzymom odpowiednich warunków do przekształcenia substancji białkowych do aminokwasów oraz uzyskania dużej ilości cukrów. Następnie słód przenosi się do bębna do prażenia, gdzie w temperaturze 60-80°C przez 60-90 minut poddawany jest scukrzeniu. Dalsze postępowanie, zależnie od rodzaju produkowanego słodu, przebiega następująco:

- bardzo jasny słód karmelowy „Carapils ®" jest tylko suszony,
- z jasnym słodem karmelowym postępuje się tak samo jak przy otrzymywaniu ciemnego słodu karmelowego, z tą tylko różnicą, że stosuje się krótszy i mniej intensywny proces,
- ciemny słód karmelowy jest w ciągu ok. 60 minut podgrzewany do temp. 150-180°C z równoczesnym szybkim usuwaniem wytwarzanej pary wodnej. Słód przetrzymuje się w tej temperaturze przez 1 do 2 godzin do skarmelizowania zawartości ziarna.

Następnie słód zostaje usunięty z bębna i poddaje się go szybkiemu, równomiernemu schłodzeniu, dzięki czemu, mimo zawartości wody wynoszącej ok. 6%, ziarno jest jeszcze miękkie. W zależności od zastosowanego sposobu otrzymywania słodu karmelowego, będą się one charakteryzowały także innymi właściwościami. Słody te dodawane są nie tylko dla odpowiedniego zabarwienia piwa, ale używa się ich także do zmiany charakteru smakowego piwa, a mianowicie:

Carapils ®, dodawany w ilości 8 do 12% wsadu surowcowego, przekazuje jasną barwę, lepszą pianę oraz poprawia pełnię smakową piwa. Słód ten ma barwę od 3 do 5 j. EBC. Przy produkcji piwa pilzneńskiego dodawany jest w ilości 3 do 5% ogólnego zasypu. Przy produkcji piwa o zredukowanej ilości alkoholu lub do piwa bezalkoholowego udział tego słodu w zasypie wynosi do 40%.

Jasny słód karmelowy ma barwę od 25 do 30 j. EBC. Jest stosowany przede wszystkim przy produkcji jasnych piw do podniesienia pełności smakowej, do intensyfikowania aromatu słodowego oraz do nasycenia barwy piwa. Dodatek jego wynosi od 10 do 15% przy produkcji jasnych mocnych piw oraz do 40% przy produkcji piw lekkich, a także do piw o zredukowanej zawartości alkoholu lub do piw bezalkoholowych.

Ciemny słód karmelowy jest produkowany o różnym stopniu zabarwienia od 80 do 150 j. EBC. Stosowany głównie jako nośnik pełni smakowej, intensyfikuje aromat oraz nadaje piwu nasyconą barwę. W ilości od 5 do 10% stosowany jest przy produkcji piw ciemnych, a do 2,5% przy produkcji piw lekkich.

2.9.5 Słód parzony

Otrzymywanie słodu parzonego jest pracochłonne. Do jego produkcji używa się jęczmienia, który jest roszczony jak na słód ciemny, przy zawartości 48% wody, a w ostatnich 36 godzinach temperaturę grzędy o grubości do 1,5 m podnosi się do 40-50°C przez przykrycie plandeką lub też przenosi mokry słód do specjalnych komór, zwanych skrzyniami Kropfa. Ten etap kiełkowania przebiega z ograniczonym dopływem powietrza, dzięki czemu uzyskuje się wysokie rozluźnienie ziarna, a zahamowanie procesu oddychania ogranicza wzrost kiełków. W tej fazie kiełkowania tworzą się liczne niskocząsteczkowe produkty rozpadu, przede wszystkim cukry i aminokwasy.

Następnie słód dosusza się przez 3-4 godziny w temperaturze od 80 do 90°C. Barwa słodu parzonego wynosi od 30 do 40 j. EBC. Słodu parzonego używa się:

- w ilości do 50% razem z jasnym lub ciemnym słodem,
- do poprawienia aromatu ciemnego słodu w ilości do 25%,
- do piw słodowych lub w piwach typu „Altbier" zamiast słodu barwiącego lub koloru cukrowego.

2.9.6 Słód barwiący

Do otrzymywania bardzo ciemnej barwy piwa często stosuje się dodatek słodu barwiącego. Dodatek ten nie powinien być jednak większy niż 1% zasypu. Przy zastosowaniu większych dawek piwo nabiera nieprzyjemnego, przypalonego smaku.

Produkcja barwiącego słodu odbywa się następująco:

- stosuje się dobrze rozluźniony jasny słód suszony, który może mieć ciemniejszą barwę,
- w bębnach do prażenia podgrzewa się słód do temp. 70°C i przy zamkniętym ciągu powietrza podwyższa się zawartość wody w słodzie o 5%,
- po 2 godzinach rozpoczyna się właściwy proces prażenia. Słód przetrzymuje się przez 1,5 godziny w temperaturze od 175 do 200°C. W tym czasie tworzą się substancje barwiące,
- po zakończeniu procesu prażenia słód szybko przekazuje się do ochłodzenia. Barwa gotowego słodu wynosi od 1300 do 2500 j. EBC.

Aby uniknąć smaku przypalenizny, słód w czasie prażenia spryskuje się stale wodą, co powoduje, że z wydzielającą się parą uchodzą także lotne substancje aromatyczne. Jednak w niektórych typach piwa, np. „Stout", taki aromat jest pożądany.

Do produkcji piwa górnej fermentacji stosuje się barwiący słód pszenny, który produkowany jest w taki sam sposób. Dodawany jest np. w ilości ok. 1 % do produkcji piwa „Altbier" lub do innych rodzajów ciemnych piw pszenicznych.

2.9.7 Słód kwaśny

Słód kwaśny otrzymuje się przez moczenie gotowego słodu jasnego w temperaturze 45-50°C tak długo, aż bakterie kwasu mlekowego wytworzą około 1% kwasu. Następnie słód poddaje się ostrożnemu procesowi suszenia, najpierw w temp. 50°C, a potem w temp. 60°C, dzięki czemu ilość kwasu mlekowego w słodzie wzrasta do 2-4%. Słód stosuje się do zakwaszenia zacieru (obniżenia pH). Obecnie zabieg ten prowadzi się dodając starterowe kultury bakterii mlekowych, co jest lepszym, mniej zawodnym sposobem. Słód kwaśny stosowany jest tylko do produkcji niektórych specjalnych piw, na przykład:

- przy produkcji piw lekkich, dla podniesienia pełni smakowej i nadania specjalnej łagodnej nuty, w kombinacji przede wszystkim z twardą wodą. Stosuje się go wówczas od 6 do 9 % zasypu,
- przy produkcji piw bezalkoholowych, w których proces fermentacji jest ograniczany. Dodaje się go w celu nadania bardziej wyraźnego smaku słodowego. Wtedy jednak stosuje się większy dodatek słodu kwaśnego, w ilości powodującej obniżenie pH do 4,5,
- przy produkcji piw słodowych dla zwiększenia kwasowości.

2.9.8 Słód krótki

Słód krótki to rodzaj słodu, który odznacza się silnie skróconym czasem kiełkowania, wskutek czego charakteryzuje się wszystkimi ujemnymi cechami źle rozluźnionego słodu, problemami z filtracją zacieru itp.

Słody krótkie używane są bardzo rzadko a jeśli tak, to w celu poprawy trwałości piany, uzyskania mniej wyraźnej pełności oraz osłabienia smaku słodu aromatycznego.

Produkcja tego słodu rozpoczyna się podobnie jak przy słodzie jasnym, następnie proces kiełkowania przerywa się zależnie od potrzeb:

po 2 dniach (straty słodowania wynoszą wtedy 1,5 do 2,5%),

lub po 3 do 4 dniach (straty wynoszą 4,5 do 5%).

2.9.9 Słód pszeniczny

Pszeniczny słód używany jest nie tylko do wytwarzania piwa pszenicznego, ale także do produkcji innych typów piwa, jak np. niemieckiego piwa „Kolsch".

Ze względów smakowych, do produkcji piwa z udziałem pszenicy, unika się stosowania słodów dobrze rozluźnionych. W minionych latach prowadzono liczne badania nad wyhodowaniem i uprawą odmian pszenicy o cechach przydatnych do produkcji piwa (120). Wyhodowano nawet odmiany, które odznaczają się słabym rozluźnieniem proteolitycznym i niższą lepkością (np. odmiany Atlantis, Astron, Konsul, Tambor, Zentos). W porównaniu z jęczmieniem, pszenica wyróżnia się przede wszystkim brakiem łuski oraz wyższą zawartością białka, co może być przyczyną powstawania w niektórych okolicznościach problemów w produkcji piwa.

Z uwagi na brak łuski u pszenicy, ziarno szybciej wchłania wodę. Powoduje to skrócenie czasu jej moczenia. Najpierw moczy się pszenicę do zawartości wody od 37 do 38%, a następnie podczas kiełkowania podwyższa zawartość wody do 44-46%. Proces moczenia i kiełkowania trwa 7 dni. Przebieg kiełkowania jest podobny jak przy jęczmieniu. Z uwagi na łatwiejsze tworzenie się sfilcowanych ziaren podczas kiełkowania, pszenica musi być częściej przewracana. W porównaniu z jęczmieniem, proces ten może być prowadzony w niższych temperaturach. Jednak dla umożliwienia rozluźnienia ścian komórkowych (działanie enzymów cytolitycznych) w ostatnim dniu kiełkowania temperatura musi być podniesiona do 17-20°C. W celu uzyskania w piwie typowego aromatu pszenicy zalecane jest mniejsze rozluźnienie proteolityczne. Powinno się w brzeczce zapewnić tylko niezbędną ilość niskocząsteczkowych substancji azotowych, umożliwiających prawidłowy przebieg fermentacji. Istotne jest to z tego względu, że w piwach pszenicznych wymagane jest obfitsze spektrum produktów ubocznych fermentacji, co uzyskuje się stosując brzeczkę o niskiej zawartości wolnych aminokwasów. W przeciwnym razie wyprodukowane piwa będą „nieżywe" i „tępe". Z tego właśnie względu do produkcji piwa stosuje się pszenicę o niskiej zawartości białka i niskiej zawartości azotu rozpuszczalnego (121).

Podsuszanie (więdnięcie) rozpoczyna się w temperaturze 40°C, a kończy w temp. 60°C. Natomiast proces dosuszania prowadzi się w różnej temperaturze, zależnie od rodzaju produkowanego słodu pszennego.

Jasny słód pszeniczny poddaje się bardzo szybkiemu wysuszeniu w temperaturze 80°C, co pozwala uniknąć przyciemniania słodu, który powinien mieć barwę od 3,0 do 4,0 j. EBC. Wytwarzane z niego piwo powinno być „jasne" i perliste, o typowym aromacie piwa pszennego.

Ciemne słody pszeniczne są dosuszane w temperaturze 100-110°C. Uzyskuje się wtedy podwyższoną barwę do 15-17 j. EBC. Słody te stosowane są głównie do ciemnych piw, do niemieckiego piwa „Altbier" i do innych ciemnych piw o zredukowanej zawartości alkoholu.

Słód pszeniczny powinien charakteryzować się następującymi cechami:

- pH brzeczki kongresowej ze słodu pszenicznego powinno być wyższe (pH = 6) niż słodu jęczmiennego, pamiętać należy, że nieuchronnie pH słodu wywołuje podwyższenie pH w piwie,
- stopień rozluźnienia proteolitycznego powinien wynosić maksymalnie 42%,
- zawartość wolnego azotu aminowego w brzeczce kongresowej powinna wynosić 18% ogólnej jego zawartości,
- lepkość poniżej 1,65 mPa·s,
- różnica ekstraktów mąka-śruta ok. 1,0%.

2.9.10 Słód z innych zbóż

W Niemczech, pomimo obowiązującego prawa czystości składu surowcowego (Reinheitsgebot), do piw górnej fermentacji dopuszcza się dodawanie słodu z pszenicy, a także innych niż z jęczmienia browarnego rodzajów słodu. Dozwolone jest stosowanie słodu z następujących zbóż:

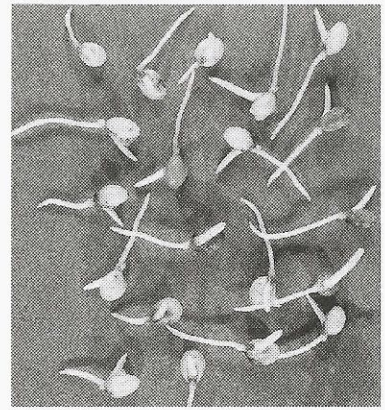
Dinkel (zwana też Schwabenkorn) to odmiana pszenicy, w której łuska pozostaje na ziarnie – uprawiana w niewielkiej ilości (Niemcy Południowe). Niedojrzałą jeszcze zbiera się i sprzedaje w postaci wysuszonych zielonych ziaren. Dinkel można słodować tak jak pszenicę. Otrzymany słód można stosować do piwa Dinkel górnej fermentacji.

Emmer to stara odmiana pszenicy o grubej łusce. Dzisiaj prawie nie uprawiana.

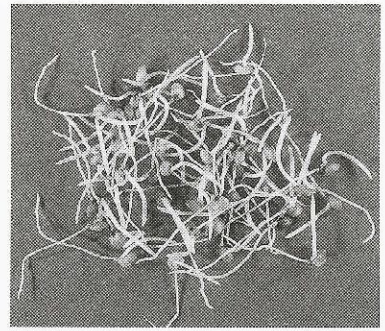
Pszenżyto Triticale to zboże powstałe wskutek skrzyżowania pszenicy (*Triticum*) i żyta (*Secale*). Jest to niewymagający rodzaj zboża o dobrych, stabilnych właściwościach, dzięki czemu ma coraz większe znaczenie, także jako surowiec do produkcji słodu dla celów piwowarskich (199). Podkreślić jednak trzeba, że słód z Triticale odznacza się wysoką lepkością i skrajnie wysokim rozluźnieniem białkowym. Do celów piwowarskich najlepsza okazała się odmiana *Predo*.

Sorgo – słód z ziarna tej rośliny stosowany do produkcji piwa w Afryce.

Udział poszczególnych rodzajów specjalnego słodu przy produkcji piwa stanowi tajemnicę każdego browaru. W celu uzyskania pożądanego charakteru piwa, skład surowców jest bardzo staranie dobierany i badany. Ogólne zasady składu surowców do produkcji poszczególnych rodzajów piwa podane są w poniższym zestawieniu.



Rys. 2.66
Ziarna sorgo, początek kiełkowania
(Fot. P. Seidl, Monachium)



Rys. 2.67
Ziarna sorgo, zaawansowany rozwój kiełków
(Fot. P. Seidl)

2.9.11 Słody stosowane do różnych rodzajów piwa w Niemczech (24)

Rodzaj piwa	Barwa j.EBC	Typ słodu	Barwa j.EBC	Udział słodu w %
Pilzneńskie	6-7	pilzneński	3,0	100-95
		„Carapils"	4,0	4-5
Jasne	8	jasny	3,5	100-95
		karmel. jasny	25	do 5
Eksport	12	jasny lub pilzneński		
		karmel. ciemny	120	do 1
Ciemne	50-60	ciemny	15	90
		jasny	3,5	9
		barwiący		1
		lub		
		ciemny	15	40
		ciemny	25	40
		jasny	3,5	14
		karmel. ciemny	120	5
		barwiący		1
		lub		
		ciemny	15	50
		parzony	35	30
		jasny	3,5	19
		barwiący		1
Marcowe	30	wiedeński	5,5	90
		jasny	3,5	10
	(lub)	karmel. jasny	25	10]
		lub		
		ciemny	15	70
		jasny	3,5	30
	(lub)	karmel. ciemny	120	5]
		lub		
		ciemny	15	50
		lub		
		jasny	3,5	30
		parzony	35	20
		ciemny	15	100
Pszeniczne („Weizenbier")	12	pszenny jasny lub	3,5	50-90 resztę
	12	pszeniczny		70
		karmel. jasny	25	5
		jasny	3,5	25
		lub		
	12	pszeniczny		70
		ciemny	15	15
		jasny	3,5	15
		lub		
	40	jasny pszenny	60	
		ciemny	15	40
		barwiący		0,5]
		lub		
	40	jasny pszenny		40
		ciemny		
		pszeniczny		30
		ciemny	15	30
„Alt"	35	jasny	3,5	99
		barwiący		1
		lub		
		ciemny	15	90
		jasny	3,5	10
		lub		
		jasny	3,5	85
		karmel. ciemny	120	15
		lub		
		ciemny	15	50
		parzony	35	50
„Kölsch"	10	jasny	3,5	95
		karmel. jasny	25	5
		lub		
		jasny	3,5	85
		wiedeński	5,5	15
Bezalkoholowe (7,2%)	8,5	jasny	3,5	70
		ciemny	15	15
		karmel. jasny	25	15
		lub		
		jasny	3,5	40
		ciemny	15	10
		karmel. jasny	25	15
		wiedeński	5,5	30
		kwaśny		5
		lub		
		jasny	3,5	70
		wiedeński	5,5	23
		karmel. ciemny	120	2
		kwaśny		5

2.10 Bezpieczeństwo pracy w słodowni

Praca słodowni stwarza szereg zagrożeń, jak wypadki przy obsłudze maszyn i urządzeń, pożary lub nawet wybuchy. Ponoszą szkody przy tym ludzie i powstają straty materialne.

Do urządzeń często powodujących zagrożenia należą różnego rodzaju przenośniki.

Niemieckie przepisy przestrzegania zasad bezpieczeństwa w tym zakresie są następujące:

W przenośnikach do transportu ciągłego muszą być zabezpieczone wszelkie elementy ruchome (koła, rolki itp.) za pomocą trwałej obudowy, uniemożliwiającej dojście do miejsc ruchomych.

W czasie pracy przenośników powstać może zagrożenie podczas przełączenia ruchu wstecznego w urządzeniach. Muszą one mieć takie zabezpieczenia, żeby uniemożliwiały nieumyślne włączenie ruchu wstecznego. Jest to szczególnie ważne w ***przypadku przenośników kubełkowych lub innych pionowych,*** w których wysokość podnoszenia jest większa niż 5 m.

Przenośniki o ciągłym ruchu, szczególnie obsługiwane ręcznie, powinny być zaopatrzone w bezpieczniki wyłączające, łatwo dostępne oraz szybko osiągalne, tak by w razie zaistnienia wypadku można było je w każdej chwili zatrzymać.

Otwory spustowe przy ***transporterach kubełkowych*** powinny być tak zainstalowane, żeby umożliwiały bezpieczne opróżnianie w razie awarii.

Przenośniki ślimakowe czy śrubowe powinny być osłonięte stałą obudową. Osłony, po których się chodzi, powinny mieć odpowiednio wytrzymałą konstrukcję, przyśrubowaną lub w inny sposób trwale umocowaną.

Zapobieganie wypadkom przy ***stosowaniu przenośników pneumatycznych*** polega przede wszystkim na zainstalowaniu obudowy osłaniającej śluzy wpustowe i wylotowe. Natomiast wszelkie otwory powinny być zakryte pokrywami.

Wymagania bezpieczeństwa pracy w ***silosach*** dotyczą szczególnie ***wchodzenia do silosów***, co jest niekiedy konieczne.

Otwory w pokrywie (stropie) oraz w ścianach silosów, przez które można wejść lub wjechać, muszą być wyposażone w zabezpieczenia uniemożliwiające wejście lub wjechanie do nich osobom nieupoważnionym.

Młodociani nie mogą być zatrudniani do rozładunku czy załadunku silosów.

Niemieckie zarządzenia dotyczące zapobiegania wypadkom przy wchodzeniu, wjeżdżaniu i przebywaniu w silosach są następujące:

- Wchodzenie czy wjeżdżanie do silosów w celu wyrównywania warstwy ładunku lub przeprowadzenia innych koniecznych prac muszą być nadzorowane przez drugą osobę. Przed wchodzeniem czy wjeżdżaniem należy szczególnie pilnować, żeby:
  - zabezpieczone były urządzenia załadowcze lub urządzenia odbierające; powinny one być zabezpieczone przed nieumyślnym włączeniem,
  - dodatkowe urządzenia, które mogą powodować wypadek, powinny być odstawione względnie zabezpieczone,
  - na wchodzenie czy wjeżdżanie do silosów powinno być za każdym razem wydawane zezwolenie,
  - w czasie pobytu pracowników w silosie, dla ich bezpieczeństwa, powinna być na zewnątrz stale obecna druga osoba nadzorująca i ubezpieczająca,
  - pracownik w czasie pracy w silosie powinien stale porozumiewać się z osobą ubezpieczającą na zewnątrz,
  - nadzorujący pracę silosów, wydający zezwolenie do wejścia czy wjeżdżania do silosów musi się także upewnić, czy nikt w silosie nie znajduje się bez jego wiedzy,
  - pracownik, który wszedł do silosu, musi być przez cały czas pobytu w silosie zabezpieczony liną,
  - lina musi być przez cały czas napięta i przymocowana dodatkowo poza silosem,
  - pracownik, który do silosu wjechał urządzeniem jezdnym, nie może urządzenia opuścić tak długo, dopóki nie wyjedzie z silosu,
  - urządzeniem jezdnym może do silosu wjechać tylko osoba uprawniona. Mogą być od tego odstępstwa, jeżeli silos jest wyposażony inaczej,
  - wciągniki o napędzie silnikowym do urządzeń jezdnych powinny być tak ustawione, żeby wyjazd z silosu mógł nastąpić tylko poprzez obsługę ręczną,
  - pracownik obsługujący urządzenie jezdne nie może opuścić swojej kabiny sterowniczej aż do chwili opuszczenia silosu.

Duże zagrożenia występują przy wchodzeniu do skrzyń słodowniczych i na siatki czynnej suszarni. Jeżeli konieczne jest wejście do tych urządzeń z przyczyn technicznych, należy pamiętać o wyłączeniu przewracacza oraz przenośników do załadunku i wyładunku, a podczas obecności personelu włączniki powinny być tak zabezpieczone, żeby nikt tych urządzeń nie mógł włączyć (np. wykręcić bezpieczniki i zabezpieczyć przed dostępem na czas obecności pracowników w danym pomieszczeniu). Często wypadki mają miejsce wskutek ludzkiej bezmyślności; lekceważenia grożącego niebezpieczeństwa, np. niezachowania ostrożności przy ruchomych elementach. Po schwytaniu części ubrań lub włosów trudno się uwolnić. Skutki takiego zdarzenia są najczęściej katastrofalne!

Słodownie należą do przedsiębiorstw o dużym zagrożeniu pożarowym, występuje tu duże niebezpieczeństwo wybuchu pyłu. Pył jest szczególnie niebezpieczny, gdyż nawet w niedużej koncentracji może z powietrzem spowodować wybuch lub pożar. Mieszanina pyłu i powietrza zapala się w temperaturze ponad 400°C, ale kiedy pył leży w niewielkiej warstwie na gorących częściach urządzeń zapala się już w temp. poniżej 200°C. Koncentracja pyłu nawet w ilości od 20 do 2.000 g/m^3 może być przyczyną wybuchu, jeżeli cząstki są mniejsze niż 100 µm.

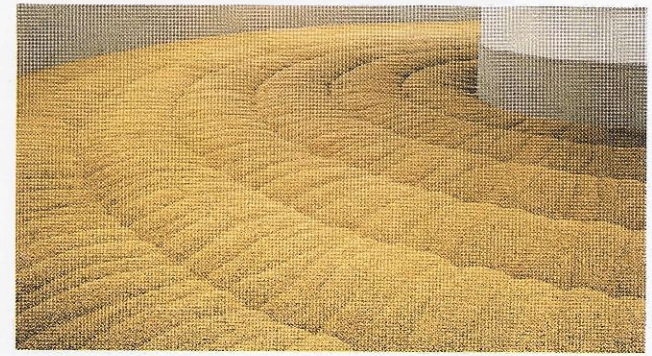
Szczególnie zagrożone wybuchami są w słodowni następujące urządzenia:
- instalacje odpylające,
- silosy i pomieszczenia czyszczalni oraz magazyny słodu,
- zagrzewające się i iskrzące przenośniki kubełkowe.

W celu zabezpieczenia przed wybuchem należy sprawdzać ilości gromadzącego się pyłu oraz systematycznie i gruntownie go usuwać, a w pomieszczeniach, w których występuje zapylanie, nie dopuszczać do iskrzenia i otwartego ognia.

W słodowniach istnieje również duże niebezpieczeństwo powstawania pożarów. Dochodzi do nich szczególnie w starszych słodowniach, które budowane były z dużym udziałem drewna. Niebezpieczne są także suszarnie starego typu, ogrzewane węglem. Możliwość powstawania pożaru istnieje również w suszarniach nowoczesnych, ogrzewanych gazem ziemnym lub olejem ziemnym w bezpośrednich systemach ogrzewania. Z tego też względu drzwi do suszarni muszą być ogniotrwałe, oddzielające suszarnię od reszty słodowni.

Często przyczynę pożarów suszarni stanowią opadające przez siatkę kiełki i kruszące się łuski, które z cząstkami pyłu tworzą mieszaninę łatwo ulegającą żarzeniu. Dlatego ważne jest, żeby kiełki z komór kiełkowych były usuwane przynajmniej raz w tygodniu.

Tradycja, doświadczenie i nowoczesność

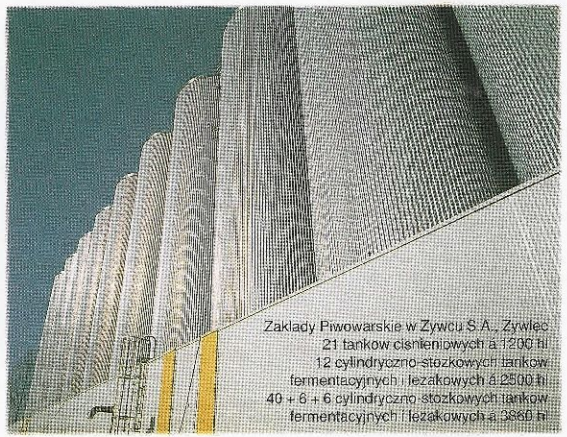


ul. Promowa 1
80-702 Gdańsk
tel. (058) 3 43 71 66
fax (058) 3 43 71 62

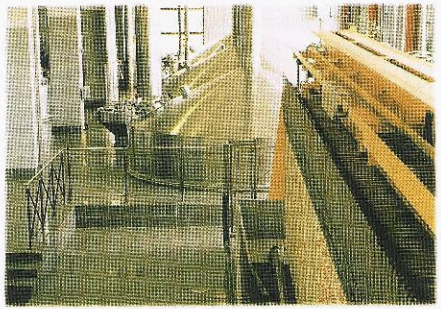
BALTIC MALT *Sp. z o. o. w Gdańsku*
jest słodownią wchodzącą w skład grupy Friedrich Weissheimer Malzfabrik w Niemczech, działającej od 1864 roku. Już pięć pokoleń właścicieli Weissheimer Malz rozwija i doskonali przedsiębiorstwo i firmy należące do grupy.

Wybudowana w Porcie Gdańskim 3 lata temu nowoczesna słodownia Baltic Malt należy do największych w Polsce producentów słodu browarnego, używanego do produkcji piwa. Nowoczesna technologia wytwarzania słodu stosowana w Baltic Malt gwarantuje wysoką jakość piwa i jego doskonały smak, a także umożliwia wprowadzanie przez browary innowacji w dziedzinie produkcji piwa. Dlatego głównymi partnerami handlowymi Baltic Malt są browary krajowe i zagraniczne, producenci wiodących na rynku piwnym pod względem smaku i jakości marek piwa.

ZIEMANN w POLSCE



Zaklady Piwowarskie w Zywcu S.A., Zywiec
21 tankow cisnieniowych a 1200 hl
12 cylindryczno-stozkowych tankow fermentacyjnych i lezakowych a 2500 hl
40 + 6 + 6 cylindryczno-stozkowych tankow fermentacyjnych i lezakowych a 3960 hl



Elbrewery Company Ltd. Elblag
warzelnia z filtrem zaciernym. 690 hl - ilosc brzeczki na wybiciu
na dzien. termiczne sprezanie pary

ZIEMANN projektuje i buduje dla bardzo wymagajacych klientow na całym swiecie

- warzelnie
- piwnice fermentacyjne i lezakowe
- automatyzacja
- kompletne urzadenia browarnicze

A. ZIEMANN GmbH
Schwieberdinger Straße 86
D-71636 Ludwigsburg
Telefon +49 71 41 4 08-0
Telefax +49 71 41 4 08-3 35

ZIEMANN

ZIEMANN + BAUER GmbH
Industriestraße 6
D-63927 Bürgstadt
Telefon +49 93 71 40 02-0
Telefax +49 93 71 40 02-40

3 Wytwarzanie brzeczki

Głównym procesem w wytwarzaniu piwa jest fermentacja cukru zawartego w brzeczce do alkoholu i dwutlenku węgla. Koniecznym warunkiem jest przemiana nierozpuszczalnych składników brzeczki w rozpuszczalne, przede wszystkim w fermentujące cukry. Przemiana tych składników w rozpuszczalne jest celem wytwarzania brzeczki. Tym samym uzyskuje się bazę dla fermentacji brzeczki w fermentowni i leżakowni.

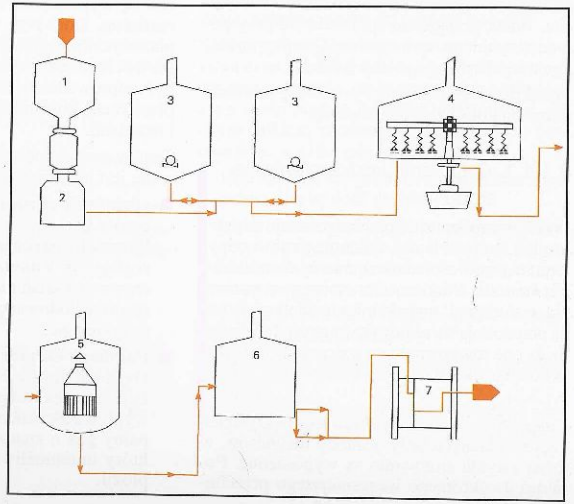
Wytwarzanie brzeczki odbywa się w warzelni (rys. 3.1).

Słód z ***silosu*** (1) dociera do ***śrutownika*** (2), w którym zostaje rozdrobniony w odpowiedni sposób. W warzelni śruta słodowa zostaje zmieszana z wodą (zatarta), i rozłożona do możliwie dużej liczby rozpuszczalnych substancji, w dwu naczyniach zaciernych (3), ***kadzi zaciernej i kotle zaciernym.*** Do tego dochodzi nickiedy kolejne naczynie, kocioł do kleikowania surowca niesłodowanego, zacieranego razem ze słodem.

Następnie w ***kadzi filtracyjnej*** (4) oddziela się rozpuszczalne substancje zawarte w brzeczce od nierozpuszczalnych wysłodzin.

Brzeczkę gotuje się w ***kotle warzelnym*** (5) z chmielem, aby piwu nadać gorzki smak. Pod koniec gotowania w kotle sprawdza się pracę warzelni przez określenie ***wydajności warzelni.***

Z gorącej brzeczki w ***whirlpoolu***(6) lub wirówce oddziela się wytrącone cząstki gorącego osadu i schładza ją w ***płytowym wymienniku*** (7), ponieważ fermentacja odbywa się w niskich temperaturach.



Rys. 3.1
Wytwarzanie brzeczki
(1) zbiornik słodu,
(2) śrutownik,
(3) naczynia zacierne,
(4) kadź filtracyjna,
(5) kocioł warzelny,
(6) whirlpool,
(7) płytowy wymiennik ciepła

3.1 Śrutowanie słodu

Aby enzymom podczas zacierania dać możliwość oddziaływania na substancje zawarte w słodzie, słód należy rozdrobnić. Proces ten nazywa się śrutowaniem. Ilość słodu użyta do jednej warki zwana jest zasypem.

Śrutowanie jest procesem mechanicznego rozdrabniania, w którym należy chronić łuskę przed mechanicznym rozdrobnieniem, ponieważ jest ona potrzebna podczas filtracji jako materiał filtracyjny.

Przy rozdrabnianiu należy przestrzegać całego szeregu zasad. Zanim jednak rozpocznie się śrutowanie, odważa się przy pomocy wagi ilość przeznaczoną na zasyp.

W śrutowniku rozdrabnia się słód. W zależności od rodzaju postępowania rozróżnia się

śrutowniki na sucho,
śrutowniki na mokro i
śrutowniki młotkowe (młewniki udarowe).

3.1.1 Wstępna obróbka słodu

Dostarczony do browaru słód jest składowany w silosach do czasu jego przerobu. Silosy te nie są przewietrzane, ponieważ słód nie oddycha. Przed przyjęciem sprawdza się przy pomocy szybkiego testu zgodność partii z wymaganiami umowy (p. rozdz. 2.8.3.3).

Przed przerobem słód oczyszcza się i odważa potrzebną ilość zasypu na warkę.

3.1.1.1 Odpylanie i odkamienianie słodu

Przed przerobem słód poddany zostaje odpyleniu lub, jeszcze lepiej, odkamienieniu i odpyleniu równocześnie w ***urządzeniu do oddzielenia kamieni***. Pomimo intensywnego czyszczenia w słodowni, małe kamienie wielkości ziarna przedostają się aż do gotowego słodu. Uszkadzają one rowkowanie na walcach śrutownika, skracając okres ich przydatności (p. rozdz. 3.1.3.5).

Dalszą koniecznością jest usunięcie wszystkich części żelaznych przy pomocy magnesów, w które zwykle śrutowniki są wyposażone. Pomimo dwukrotnego wcześniejszego przechodzenia przez magnesy, do słodu ciągle przedostają się jeszcze części żelazne (gwoździe, śruby itd.), które uszkadzają walce, mogą również spowodować eksplozję pyłu przez ***wytwarzanie iskier.***

Nieunikniony pył wytwarzający się w śrutownikach na sucho jest w określonych stężeniach materiałem wybuchowym i może wyrządzić dużo szkód. Dlatego należy uczynić wszystko, aby uniknąć wybuchu pyłu w śrutowniku na sucho. Niezbędne jest usunięcie wszystkich części żelaznych wytwarzających iskrzenie (patrz także rozdz. 2.1.2.2).

W śrutownikach na sucho dla zabezpieczenia przed eksplozją są zainstalowane pod walcami blachy. Blachy te spiętrzają śrutę tak, że pod szczeliną przemiału nie może się wytworzyć żadna wybuchowa mieszanina powietrza z pyłem. Akurat w tym obszarze jest możliwość wytwarzania się iskrzenia, jednak nie może ono doprowadzić do zapłonu. Warunkiem jest jednak to, żeby po kontroli szczeliny przemiału blachy ponownie zostały zamontowane, co na pierwszy rzut oka wydaje się niepotrzebne i czasem zostaje „zapomniane".

Dla ograniczenia szkód przy występujących pomimo to eksplozjach pyłu śrutowniki na sucho są wyposażone w boczne ***płytki bezpieczeństwa,*** które przy wytworzeniu się ciśnienia natychmiast pękają i odprowadzają ciśnienie bokiem. Ważne jest, żeby ciśnienie mogło być odprowadzone ze śrutownika do wolnej przestrzeni, aby uniknąć poszkodowania ludzi i urządzeń.

Oprócz tego do odprowadzania ciśnienia używane jest obecnie także (128):

- **odciążanie ciśnienia eksplozji przy pomocy rur Q**
  W rurach tych energia kinetyczna eksplozji zostaje zamieniona na energię cieplną. Zewnętrzny kształt rur zostaje zachowany, elementy wbudowane muszą być po eksplozji oczyszczone;
- **tłumienie eksplozji**
  Działanie urządzenia polega na tym, że w kilka milisekund po rozpoczęciu eksplozji wypływa z ciśnieniowych zbiorników niepalny gaz o znacznie wyższym ciśnieniu, który uniemożliwia rozszerzenie się eksplozji.

Ilość pyłu słodowego wytwarzająca się podczas śrutowania jest nieunikniona i wynosi 0,4 do 1,4 kg na 1 dt (100 kg) zasypu (40). Pył ten należy regularnie usuwać. W mniejszych browarach jest workowany od razu, w większych gromadzi się go w silosach do pyłu. Pył można mieszać z wysłodzinami i sprzedawać, gdyż zawiera także ekstrakt. Bezpośrednie mieszanie w silosie do wysłodzin jest co najmniej problematyczne ze względu na wilgoć w systemie rur, ponieważ wilgotny pył szybko przylepia się i utrudnia tym samym przejście.

Pył można jednak również dodawać do zasypu, gdyż zawiera dużo ekstraktu. Usuwanie pyłu służy w pierwszym rzędzie ochronie urządzeń ze względu na niebezpieczeństwo wybuchu.

3.1.1.2 Odważanie ilości zasypu

Ilość zasypu użyta na każdą warkę musi być ściśle rejestrowana. Jest to konieczne dla kontroli wewnątrzzakładowej. Chcemy wiedzieć, w jakim stopniu użyte surowce zostały wykorzystane. Odbywa się to

- przez obliczenie wydajności warzelni (patrz rozdz. 3.5) i następnie
- przez obliczenie ilości słodu zużytego na hl piwa.

Kontrola ilości zasypu odbywa się przy pomocy ***automatycznej wagi***. Stosowane są zasadniczo dwa różne systemy:

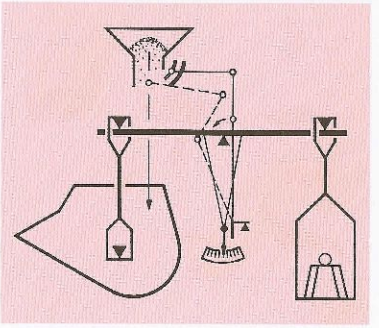
- ***wagi uchylne*** i
- ***wagi z klapą denną***

w wykonaniu mechanicznym lub elektronicznym.

Oprócz tego zwykle są stosowane **siłomierze *puszkowe*** do ważenia pustych i pełnych zbiorników. W ten sposób można także odważyć cały zbiornik ze śrutą.

3.1.1.2.1 Wagi uchylne

Waga uchylna jest pospolitą wagą. Na kilkadziesiąt lat opanowała, jako równoważna waga automatyczna (rys. 3.2), kontrolę wagową w browarach i słodowniach ze względu na mocną budowę i pewną pracę.



Rys. 3.2
Schemat wagi uchylnej

Waga uchylna pracuje periodycznie, przy czym odważa dokładnie ustaloną ilość słodu w uchylnej niecce i po osiągnięciu masy odchyla się w dół. Ten głośny proces określa się jako uchył i on nadał wadze jej nazwę.

Waga uchylna jest zbudowana jako równoramienna waga dźwigniowa. Belka wagi ma po jednej stronie naczynie z nastawnymi odważnikami i po drugiej stronie naczynie do odważania, uchylną nieckę do odbioru nasypu.

Słód zsypuje się przez wolny otwór do niecki, która dzięki temu wolno się obniża. Belka wagi zmienia położenie; przez przeniesienie dźwigni zsyp słodu zostaje najpierw ograniczony, po czym całkiem zamknięty. Waga uchylna pracuje więc w kilku odcinkach (rys. 3.3):

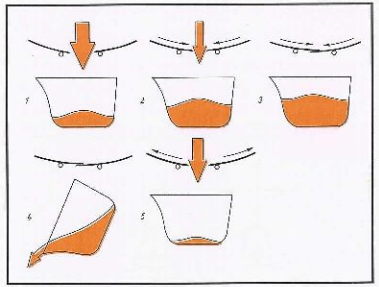
słód zsypuje się grubym strumieniem i napełnia nieckę dość szybko (1),

kiedy masa uchylna jest prawie osiągnięta, zasuwa przymyka się tak, że zsypuje się tylko cienki strumień słodu tak długo, aż zostanie osiągnięta masa uchylna (2),

po osiągnięciu masy uchylnej zasuwa zostaje zamknięta całkowicie (3),

teraz niecka obniża się, przechyla i opróżnia w dół (4),

niecka odwraca się otworem w górę i proces napełniania rozpoczyna się od nowa (5).

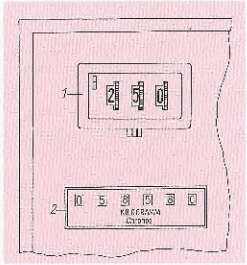


Rys. 3.3

Sposób pracy wagi uchylnej

(1) zsyp słodu
(2) przymknięty zsyp
(3) zamknięty zsyp
(4) przechylenie i opróżnienie niecki
(5) podniesienie niecki i otwarcie zsypu

Jedno wychylenie wagi przed śrutownikiem wynosi 5 kg, 10 kg, 20 kg lub 25 kg, w dużych browarach także 50 kg i 100 kg. Na skrzyni wagi są zamontowane 2 liczniki (rys. 3.3a).



Rys. 3.3a

Urządzenie z licznikami wagi uchylnej

(1) nastawny licznik wagi uchylnej
(2) licznik odważonej ilości

W górnym liczniku nastawia się potrzebną liczbę wychyleń wagi na warkę, w dolnym liczniku jest rejestrowana odważona ogólna ilość w sposób ciągły.

Wymaganą liczbę wychyleń wagi nastawia się przy pomocy ręcznych pokręteł w urządzeniu licznika po uruchomieniu małej dźwigni blokującej.

Przykład:

Browar chce ześrutować na warkę 2200 kg słodu.

Wychylenie wagi wynosi 20 kg.

Ile wychyleń należy nastawić?

$$2200\ \text{kg} : \frac{20\ \text{kg}}{1\ \text{wychylenie}} = 110\ \text{wychyleń}$$

Należy nastawić 110 wychyleń.

Waga posiada mechaniczne urządzenie wyłączające. Wagi uchylne i z klapą denną można legalizować, łatwo je też wyposażyć w zdalne urządzenie liczące i w wyjście impulsowe. Produkuje się je o dużych wydajnościach (do ponad 400 t/h).

3.1.1.2.2 Wagi ze spustową klapą denną

Wagi z klapą denną składają się z trzech połączonych ze sobą zbiorników z klapami dennymi ustawionych jeden nad drugim. Ponieważ z zewnątrz wyglądają jak rura, określa się je także jako wagi rurowe. Wagi te pracują według następującej zasady (rys. 3.4):

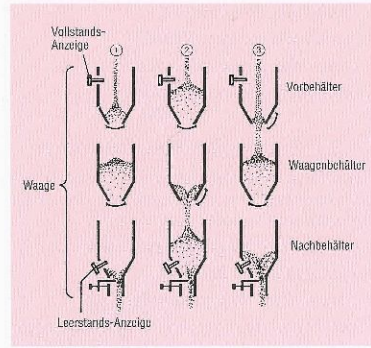
Najpierw napełnia się górny zbiornik.

Zbiornik wstępny:

W czasie gdy zbiornik wagowy jest ważony i następnie opróżniany, zbiornik wstępny musi zostać napełniony dopływającym słodem. Kiedy waga zarejestruje pusty stan zbiornika wagowego, otwiera się dopływ do zbiornika wagowego. Spiętrzony słód ze zbiornika wstępnego zsypuje się do zbiornika wagowego. Wtedy dopływa dalej słód poprzez zbiornik wstępny (3), aż zostanie osiągnięta określona wstępnie masa. Wówczas zamyka się wylot i wsypujący się dalej słód napełnia zbiornik wstępny (1 i 2).

Zbiornik wagowy:

Po ustabilizowaniu się naczynia następuje proces ważenia, w którym masa słodu w zbiorniku wagowym zostaje ustalona z masy napełnionego zbiornika i pustego zbiornika. Waga



Rys. 3.4

Schemat przebiegu pracy elektronicznej wagi zbiornikowej

stabilizuje się dwukrotnie, a mianowicie

po procesie napełnienia i

po opróżnieniu szali wagowej przed ponownym napełnieniem.

Przeliczenia tych mas, które w każdym procesie trzeba odjąć (od pierwszej drugą), dokonuje podłączony komputer, więc zawsze może być odczytana i nastawiona dokładna ilość.

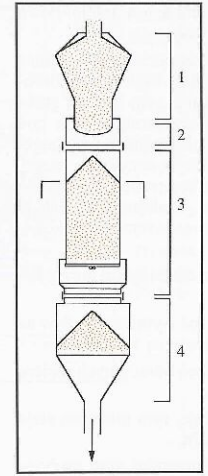
Zbiornik końcowy:

Zbiornik końcowy przyjmuje zważony produkt ze zbiornika wagowego i dlatego jest względnie duży.

Wagi elektroniczne spełniają wszystkie postawione im wymagania; w nowych i dużych browarach są obecnie instalowane prawie wyłącznie wagi elektroniczne (rys. 3.5).

Podstawy śrutowania

Podczas zacierania enzymy muszą mieć możliwość dotarcia do substancji zawartych w słodzie, aby móc je rozłożyć. Dlatego słód należy rozdrobnić. Ze wzrastającym rozdrobnieniem zwiększa się powierzchnia działania enzymów i lepszy jest wtedy rozkład substancji. Bezpośrednio po zacieraniu następuje jednak proces filtracji, w którym łuska zwykle służy jako materiał filtracyjny.



Rys. 3.5

Elektroniczna waga rurowa

(1) zbiornik wstępny
(2) zasuwa wlotowa
(3) waga
(4) zbiornik końcowy

Łuska jest potrzebna do filtracji, dlatego powinna podczas śrutowania pozostać nieuszkodzona. Sucha łuska łatwo się kruszy i powstające małe cząsteczki silnie obniżają jej zdolność filtracyjną. Łuska jest tym bardziej elastyczna, im jest wilgotniejsza. Dzięki nawilżeniu łuska staje się elastyczniejsza i nie ulega łatwo rozkruszeniu, a proces filtracji przebiega o wiele szybciej. Proces nawilżania łuski nazywany jest kondycjonowaniem słodu. Jeżeli jednak doprowadzi się dużo wody, wtedy cała zawartość ziarna jest mokra i przy rozdrabnianiu jest wygniatana z łuski. Proces ten jest określany jako mokre śrutowanie.

Obecnie daje się pierwszeństwo

- ***suchemu bielmu,*** które można dowolnie rozdrobnić w czasie śrutowania, i w miarę możliwości
- ***wilgotnej i elastycznej łusce.***

Rozdrobnienie słodu jest zależne od rozluźnienia słodu:

Lepiej rozluźniony słód nie przeciwstawia walcom dużego oporu w czasie przemiału, gdyż zawartość ziarna jest krucha i luźna. Dlatego przy dobrze rozluźnionych słodach wzrasta udział mąki i drobnego grysiku. Te grysiki i mąki z dobrze rozluźnionych partii ziarna są

bogate w enzymy i można je w warzelni łatwo przeprowadzić do roztworu.

Źle rozluźnione końce ziaren i źle rozluźnione słody są twardsze i nie dają się łatwo rozdrobnić. Wyraża się to w większym udziale grubszych grysików, które pozostały w tyle pod względem wewnętrznych przemian i wymagają jeszcze silnego rozkładu enzymatycznego. Oddają one swój ekstrakt z trudem, należy się więc liczyć z mniejszą wydajnością, jeśli te grube grysiki nie zostaną w warzelni całkowicie rozłożone.

Należy śrutować tym drobniej, im gorzej jest rozluźniony słód.

Stopień rozdrobnienia ma wymierny wpływ na objętość i zdolność filtracyjną wysłodzin.

Dla zwyczajnych urządzeń filtracyjnych zacieru jest ważne:

im drobniej się śrutuje, tym mniejsza staje się objętość wysłodzin,

im drobniejszy jest przemiał, tym szybciej zbija się ich warstwa i dłużej trwa filtracja.

Może nawet dojść do tego, że brzeczka w ogóle nie będzie spływała. Dlatego przy używaniu kadzi filtracyjnych nie można śrutować za drobno albo jeżeli śrutuje się drobniej, należy zmniejszyć wysokość warstwy wysłodzin.

Wszystko to nie dotyczy nowoczesnych filtrów zacierowych, gdzie filtrację przeprowadza się przez płótna z polipropylenu z bardzo drobnymi porami. Dlatego słód przy użyciu tych filtrów można rozdrabniać w młewnikach udarowych bardzo drobno i dzięki temu uzyskiwać bardzo dobre wydajności warzelni.

Z 100 kg słodu (= 1 dt) powstają następujące objętości:
1,7 hl słodu
2,7 hl śruty dla kadzi filtracyjnych
2,2 hl śruty dla filtra zacierowego
2,0 hl wysłodzin z kadzi filtracyjnych
1,2 do 1,4 hl wysłodzin z filtra zacierowego.

3.1.3 Śrutowanie na sucho

Najczęstszymi śrutownikami w browarach są śrutowniki na sucho. Słód jest w nich śrutowany na sucho pomiędzy walcami ustawionymi parami. W zależności od liczby walców rozróżnia się:

śrutowniki dwuwalcowe,
śrutowniki czterowalcowe,
śrutowniki pięciowalcowe i
śrutowniki sześciowalcowe.

3.1.3.1 Śrutowniki sześciowalcowe

Śrutownik sześciowalcowy jest najlepszym i najczęściej stosowanym śrutownikiem (rys. 3.6). Jego trzy pary walców nazywają się:

- para ***walców wstępnego rozdrobnienia*** (2),
- para ***walców do łuski*** (3) i
- para ***walców do grysików*** (4).

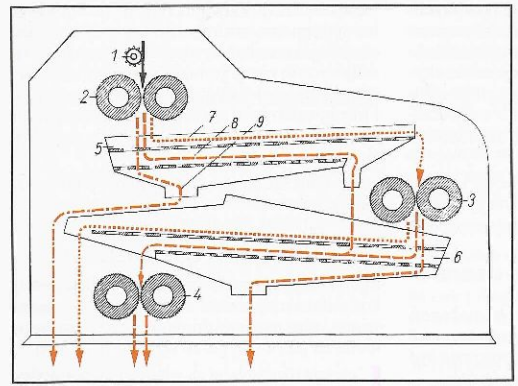
Pomiędzy parami walców zawieszony jest zawsze zestaw wstrząsanych sit (5 i 6), każdy z dwoma wielkościami oczek, który składniki przemiału poprzedniej pary walców rozdziela na trzy składniki:

- grube składniki:
  łuska z przyczepionym grysikiem - (7), wzgl. łuska (10),
- średnie składniki:
  grysiki - (8) i
- drobne składniki:
  drobne grysiki i mąka - (9).

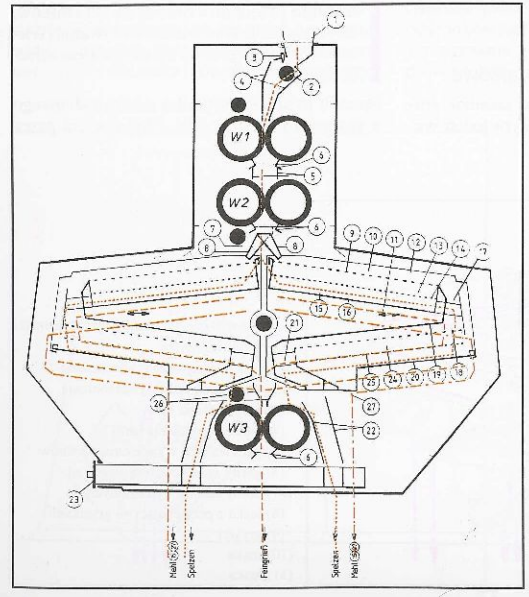
Mąka zostaje odprowadzona bezpośrednio do zbiornika śruty, ponieważ nie wymaga już dalszego rozdrabniania. Łuska jest wymielona na drugiej parze walców (3) z możliwie maksymalną ochroną. Grysiki zostają dowolnie rozdrobnione na trzeciej parze walców (4).

Nowoczesne śrutowniki sześciowalcowe w dużej części pracują z istotnie zmienionym usytuowaniem walców i z powiększoną powierzchnią sit. Jako przykład jest tu podany śrutownik sześciowalcowy „Maltomat" (Bühler, Braunschweig) (rys. 3.7). W „Maltomacie" cały zsyp słodu zostaje przepuszczony przez dwie pierwsze pary walców, na których zostaje wymielona łuska. Spadający przemiał jest teraz rozdzielony na cztery zestawy sit i tylko grysiki są dowolnie rozdrobnione na trzeciej parze walców.

Przyczyną bezpośredniego usytuowania obu pierwszych par walców jedna za drugą jest to, że w zwykłych śrutownikach sześciowalcowych na pierwszym zestawie sit zostaje odsianych zaledwie ok. 10% składników prze-



Rys.3.6
Śrutownik sześciowalcowy (schemat)
(1) walce podający
(2) para walców wstępnego rozdrabniania
(3) para walców do łuski
(4) para walców do grysiku
(5) górny zestaw sit wstrząsanych
(6) dolny zestaw sit wstrząsanych
(7) łuska z przyczepionym grysikiem
(8) grysiki
(9) mąka
(10) łuska



Rys. 3.7
Śrutownik sześciowalcowy „Maltomat" (schemat)
(Fa. Bühler, Braunschweig)
(W 1) para walców wstępnego rozdrabniania
(W 2) para walców do łuski
(W 3) para walców do grysików
(1) wlot słodu
(2) walec podający
(5) blacha prowadząca
(6) zbierak
(10) śruta
(13 + 24) grysiki
(15 + 27) mąka
(23) pobieranie prób

miału, tak więc przez podwojenie powierzchni sit osiąga się również lepszy przesiew przez zmniejszenie obciążenia sit ze zwykle 34 do 42 kg/dm²/h na 18 kg/dm². Równocześnie obydwie obudowy sit dzięki napędowi mimośrodami w ruchu przeciwbieżnym nie wytwarzają żadnych drgań przenoszonych na urządzenie lub budynek.

Tym śrutownikiem można śrutować do 14 t słodu/h jako grubą śrutę dla kadzi filtracyjnej. Dla oceny przemiału podaje się konkretne wytyczne (rozdz. 3.1.6).

Dla pierwszej oceny może być ważne co następuje:

Po wstępnie rozdrabniających walcach „wstępne rozdrobnienie" powinno wykazywać wszystkie ziarna nadłamane; nie powinno być żadnych ziaren, które zachowały się całe.
Po walcach do łuski przyczepione do łuski cząstki grysików powinny być wymielone, bez widocznego silnego uszkodzenia łuski.
Walce grysikowe powinny wymielić grysiki do drobnego grysiku i nie powinny produkować żadnej mąki, ponieważ mąka może przeszkadzać w procesie filtracji zacieru.

3.1.3.2 Śrutowniki pięciowalcowe

Śrutownik pięciowalcowy to w zasadzie śrutownik sześciowalcowy, w którym jeden walec spełnia rolę podwójną (rys. 3.8). Jeden walec wstępnego rozdrabniania pracuje równocześnie jako walec do wymielenia łuski. Pozostały sposób pracy jest taki sam jak w śrutowniku sześciowalcowym. Na śrutowniku sześcio- i pięciowalcowym można, przy odpowiednim ustawieniu przemiału, uzyskać każdy dowolny skład śruty.

Nie produkuje się już śrutowników pięciowalcowych.

3.1.3.3 Śrutownik czterowalcowy

Spotyka się je często w browarach średniej wielkości. Posiadają one dwie pary walców, ustawione jedna para nad drugą. Wstępnie rozdrobniona na pierwszej parze walców śruta albo

zostaje rozdzielona na włączonym pomiędzy walcami zestawie sit i tylko grube składniki są wymielone na drugiej parze walców (***śrutownik czterowalcowy z zestawem sit***),

albo

przy pomocy urządzenia młotkowego uwalnia przemiał z drobnych składników, aby uzyskać taki sam efekt śrutowania (***śrutownik czterowalcowy z urządzeniem młotkowym***).

Sposób pracy śrutownika czterowalcowego z zestawem sit (rys. 3.9). Słód dociera przez walec podający lub rozdzielczy na pierwszą parę walców i tam zostaje wstępnie grubo rozdrobniony. Ten wstępny gruby przemiał składa się z około

30% łuski z przylegającymi cząstkami bielma,
50% grysików i
20% mąki.

Przez zestaw sit zostają oddzielone drobno ześrutowane składniki przemiału, takie jak mąka, drobny grysik, i odprowadzone do zbiornika do śruty. Łuska na drugiej parze walców zostaje uwolniona z przylegających cząstek bielma. Po drugim przemiale śruta składa się z około

20% łuski,
50% grysików i
30% mąki.

3.1.3.4 Śrutowniki dwuwalcowe

Śrutowniki dwuwalcowe do śrutowania na sucho spotyka się tylko w bardzo małych warzelniach i w minibrowarach. Z jedną parą walców i ze śrutowaniem na sucho nic można osiągnąć na nich żadnego dalszego zróżnicowania śruty, nic można również osiągnąć optymalnej wydajności warzelni. Nie dotyczy to śrutowników dwuwalcowych z mokrym śrutowaniem lub kondycjonowaniem.

3.1.3.5 Walce śrutowników

Od walców śrutowników zależy w dużym stopniu jakość przemiału. Dlatego budowa i ustawienie walców wobec siebie musi odpowiadać określonym wymaganiom.

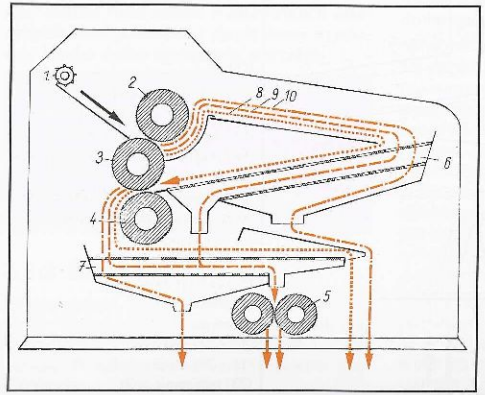
Urządzenie zasilające

Warunkiem dobrego śrutowania jest prawidłowe zasilanie słodem szczeliny mlącej, tak, żeby na całej długości walców napływała stała zasłona z ziaren słodu, która wyrównuje automatycznie wahania w zasilaniu.

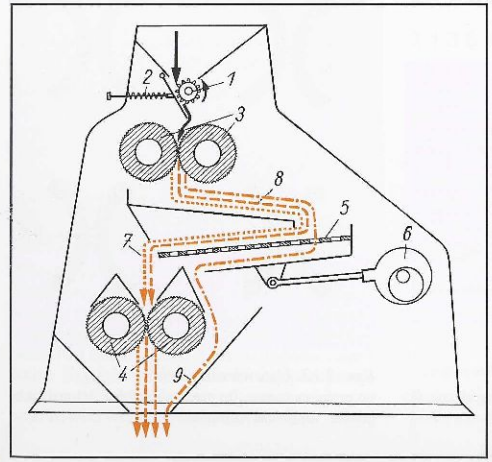
W tym celu każdy śrutownik jest wyposażony w ***walec zasilający***, który jest żłobkowany lub rowkowany. Rowkowanie walca zasilającego wraz z prędkością obwodową i odstępem określa dopływ słodu.

Walce

Obecnie walce wykonuje się metodą odlewu odśrodkowego lub kokilowego. Ten rodzaj wytwarzania zapewnia konieczną twardość powierzchni.



Rys. 3.8
Śrutownik pięciowalcowy (schemat)
(1) walec zasilający
(2) walec wstępnego rozdrabniania
(3) walec wstępnego rozdrabniania i wymielenia łuski
(4) walec wymielenia łuski
(5) para walców wymielenia grysików
(6) górny zestaw wytrząsanych sit
(7) dolny zestaw wytrząsanych sit
(8) łuska z przylegającymi grysikami
(9) grysiki
(10) mąka
(11) łuska

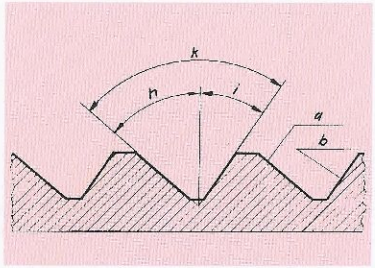


Rys. 3.9
Śrutownik czterowalcowy (schemat)
(1) walec rozdzielczy
(2) regulacja dopływu
(3) para walców wstępnego rozdrabniania
(4) para walców do wymiału łuski
(5) sito wstrząsane
(6) napęd mimośrodem
(7) łuska z przylegającymi cząstkami bielma
(8) wstępny przemiał
(9) mąka

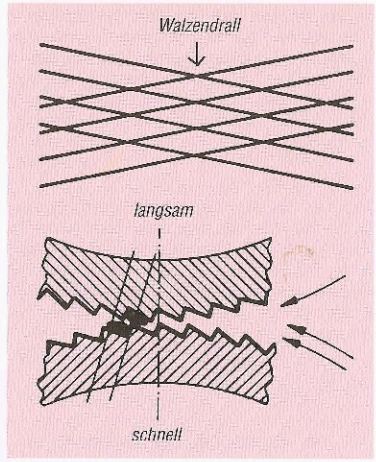
Średnica: Średnica walców wynosi najczęściej ok. 250 mm; nie powinna być mniejsza, gdyż wtedy kąt uchwycenia ziaren będzie za duży i zostanie obniżona przepustowość śrutownika. Pod kątem uchwycenia należy rozumieć kąt między walcami w chwili uchwycenia ziarna.

Rowkowanie: Nowe śrutowniki posiadają zawsze rowkowane walce. Walce te mają 600 do 900 wyfrezowanych rowków (rys. 3.10). Rowki te na ogół nie przebiegają równolegle do osi walca, lecz mają boczny skręt, przez co ich działanie maglujące do ścinającego zostaje wzmocnione. Obydwa walce mają zawsze taki sam skręt rowków; skręt ten mieści się pomiędzy 4 i 14% (rys. 3.11). Odpowiednio do różnego ustawienia rowków do siebie daje to cztery różne możliwości (rys. 3.12), przy czym w walcach do grysików zawsze stosuje się pozycję a.

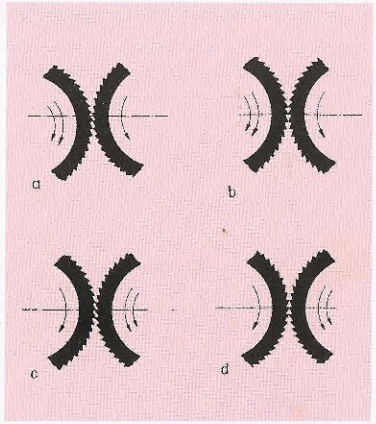
Różnica prędkości obwodowych wynosi w walcach rowkowanych ok. 1,25:1. Ten szybszy bieg nazywa się wyprzedzaniem. W ***gładkich walcach*** śrutowanie uzyskuje się przez wyprzedzenie wynoszące ok. 1,25:1, dociśnięcie walców do siebie i uczynienie powierzchniowej struktury walców szorstką. Przy dociśnięciu walce nieco się przeginają, przez co w środkowej części walców nie można uzyskać takiego samego przemiału jak na końcach. Absolutnie równomierny przemiał osiąga się obróbką „baryłkowatą", w której walce na końcach nieznacznie się zwężą.



Rys. 3.10
Rowkowanie walców
(a) grzbiet, (b) ostrze, (i) kąt ostrza, (h) kąt grzbietu, (k) kąt rowkowania



Rys. 3.11
Ścinające działanie rowkowanych walców



Rys. 3.12. Ustawienie rowków
(a) ostrze na ostrze, (b) ostrze na grzbiet, (c) grzbiet na grzbiet, (d) grzbiet na ostrze

Rowkowanie walców ulega szybko stępieniu przez twarde przedmioty (żelazne części, kamienie itd.), dlatego prócz posiadanych zresztą magnesów należy zainstalować przed śrutownikiem jeszcze ***sortownik do usuwania kamieni*** (rozdz. 2.1.2.3), czyli odkamieniacz.

Prędkość obrotowa walców wynosi:

wstępnego rozdrabniania 400-420 obr./min.
wymielenia łuski 400 obr./min.
wymielenia grysików 380 do 440 obr./min.

Długość walców zwykle wynosi 0,8 do 1 m; może się ona wahać pomiędzy 0,4 w bardzo małych i 1,5 m w bardzo dużych śrutownikach.

Odległość walców jest regulowana bezstopniowo pomiędzy 0 a 2,5 mm.

Przyjmuje się następujące odległości między walcami:

Śrutowniki czterowalcowe:

walce wstępnego rozdrabniania 1,3 do 1,5 mm

walce wymielenia grysików 0,3 do 0,6 mm

Śrutowniki sześciowalcowe (64).

	Gruba śruta dla kadzi filtracyjnej			Drobna śruta dla filtra zaciernego		
	sucha	ustawienie rowków	kondyc.	sucha	ustawienie rowków	
Walce wstępnego rozdrabniania	1,6	G:G	1,2	0,9	O:O	
Walce wymiału łuski	0,8	G:G	0,6	0,4	O:O	
Walce przemiału grysików	0,4	O:O	0,4	0,2	O:O	

Dane w mm, G = grzbiet, O = ostrze

Równoległe ustawienie walców jest warunkiem równomiernego śrutowania. Sprawdza się je przy nastawianiu śrutownika przy pomocy ramy nastawianej odpowiednio do średnicy walców i sprawdzianu z 30cm długości czujnikami. Szybkie sprawdzenie można przeprowadzić przez włożenie karty: karta powinna zostać równo wciągnięta do śrutownika.

Napęd walców: Jeden walec jest na stałe ułożyskowany i napędzany pasem lub bezpośrednio, walec naprzeciw jest ułożyskowany sprężynowo i napędzany przez tamten: dzięki temu przy wejściu twardych przedmiotów walce nie są tak mocno uszkadzane. Nowoczesne śrutowniki są wyposażone w pojedynczo napędzane pary walców.

Luźny walec jest napędzany przez parę zębatych kół i one określają wyprzedzenie. Koła zębate są obecnie wykonywane przeważnie ze sztucznego tworzywa i nie wymagają smarowania.

Przepustowość śrutowników wynosi obecnie do 14 t/h; dzięki temu są w stanie ześrutować zasyp na całą warkę w czasie krótszym niż godzina. Moc nowoczesnych śrutowników wynosi

ok. 2,3 do 2,5 kW/(t·h) przy śrucie dla kadzi filtracyjnej i

3,3 do 3,8 kW/(t·h) przy śrucie dla filtra zacierowego.

Śrutownik jest miejscem pracy o silnym zagrożeniu wypadkami, dlatego należy bardzo dokładnie przestrzegać podanych w rozdz. 3.11.1 wskazówek i zarządzeń odnośnie zabezpieczenia przed wypadkami i niebezpieczeństwem eksplozji!

3.1.3.6 Kondycjonowane śrutowanie na sucho

Kruszenie i łamanie łuski zachodzi łatwo przy śrutowaniu, jeżeli łuska jest sucha. Lecz łuska jest potrzebna przy filtracji zacieru jako warstwa filtracyjna. Dla ochrony łuski często nawilża się słód przed śrutowaniem na sucho. Proces ten określa się jako kondycjonowanie.

Przy kondycjonowanym śrutowaniu na sucho słód nawilża się przez jedną do dwóch minut przed śrutowaniem nasyconą parą lub wodą o temperaturze 30 do 35°C. Wilgoć ta podwyższa zawartość wody w łusce

- przy traktowaniu parą o 1,2 do 1,5%,
- ciepłą wodą o 2,0 do 2,5%,

podczas gdy zawartość wody wewnątrz ziarna podwyższa się tylko o 0,3 do 0,5%.

Korzyści z tego zabiegu są następujące:

- łuska staje się znacznie elastyczniejsza i może być lepiej wymielona, objętość łuski zwiększa się o 10 do 20% i tym samym luźniejsza staje się warstwa filtracyjna, co z kolei przyspiesza szybkość filtracji, podwyższona zostaje wydajność warzelni i stopień końcowego odfermentowania oraz osiągnięta zostaje szybciej normalność jodowa w zacierze.

Niekorzystny jest jedynie większy nakład na urządzenia, szczególnie na czyszczenie śrutownika.

Objętość śruty z łuską zwiększa się o:

- 0,5 do 0,7 hl/dt słodu przy niekondycjonowanym suchym śrutowaniu i
- 0,8 do 1,0 hl/dt słodu przy kondycjonowanym suchym śrutowaniu.

Kondycjonowanie słodu odbywa się w kondycjonerach. Przykładowo pokazujemy tu ślimak do kondycjonowania typu „Condimat" (Fa. Bühler, Braunschweig) (49). Ten kondycjoner słodu (rys. 3.13) składa się z koryta, w którym słód jest poruszany przez ślimak (3), przy czym słód jest spryskiwany wodą o 30°C za pomocą dysz (4). Następnie równomierne rozdzielenie wilgoci osiąga się przy pomocy mieszającego wiosła (5) i po 1 do 2 min łuska osiąga wymaganą do śrutowania elastyczność. Bezpośrednio podłączony śrutownik może wtedy rozdrobnić słód dowolnie bez zbytniego uszkodzenia łuski.

3.1.3.7 Zasobnik do śruty

Jeżeli zacieranie śruty odbywa się bezpośrednio ze śrutownika, wtedy proces ten trwa tak długo jak śrutowanie. Większość śrutowników na sucho śrutuje przez dłuższy czas, należy wobec tego śrutę składować.

Składowanie odbywa się w zasobniku do śruty – jest to prostopadłościenny lub cylindryczny zbiornik ze stożkową dolną częścią. Pojemność zasobnika do śruty powinna wynosić 3 hl/dt słodu.

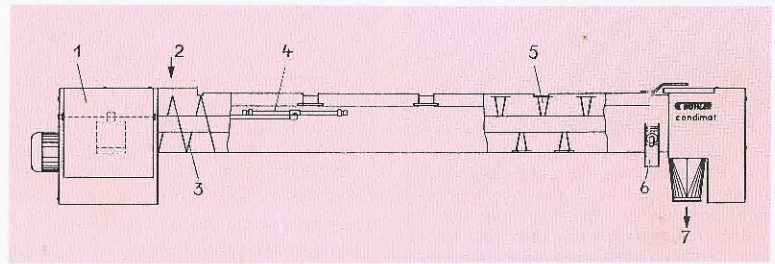
Zasobnik do śruty umożliwia śrutowanie poza szczytami energetycznymi browaru. Składowanie śruty powinno trwać krótko, ponieważ

- natychmiast rozpoczynają się procesy utlenienia (p. rozdz. 3.2.33) i
- rozmnażają się drobnoustroje, szczególnie w kondycjonowanej śrucie.

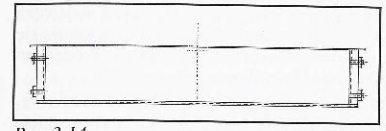
Napełnianie i opróżnianie zasobnika do śruty kierowane jest z pulpitu sterowniczego. W małych lub starszych browarach czynności te wykonuje się ręcznie.

3.1.3.8 Śrutowniki młotkowe (młewniki udarowe)

W nowoczesnych filtrach zacierowych filtracja odbywa się przez drobno porowate płachty z polipropylenu przy warstwie filtracyjnej grubości tylko 4 cm. W takich przypadkach można zrezygnować zupełnie z łuski jako środka filtracyjnego i słód rozdrabniać bardzo drobno. Odbywa się to w śrutownikach młotkowych.



Rys. 3.13. Kondycjoner słodu „Condimat"
(1) dozownik wody z szafką rozdzielczą, (2) wlot słodu, (3) ślimak podający, (4) dysze natryskowe, (5) wiosło mieszające, (6) pobieranie prób, (7) wylot



Rys. 3.14
Wirnik pionowego śrutownika młotkowego
czarne = części stałe z zewnętrznym płaszczem-sitem do przemiału
czerwone = części wirujące ze stalowymi młotkami rozdrabniającymi

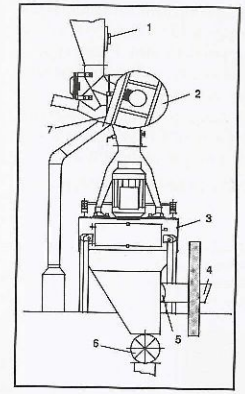
Z wirnikiem (rys. 3.14 – 1) obracają się wymienialne stalowe bijaki (2) z prędkością obwodową 60 do 100 m/s i rozbijają przy tym ziarna słodu tak długo, aż każda cząstka przejdzie przez otwory zamocowanego na stałe sita (3). Przy tym przemiale powstają bardzo drobne cząstki, które przechodzą przez otwory sita. Wielkość otworów sita określa rozdrobnienie śruty i przelotowość śrutownika. Aby uniknąć zapchania, należy dobrze wyregulować dopływ. Dlatego szczególne znaczenie ma urządzenie dozujące śrutownika. Dla osiągnięcia równomiernego zużywania się, zmienia się w niektórych systemach w regularnych odstępach kierunek obrotów wirnika.

Śrutowniki młotkowe są produkowane

- z poziomo ułożyskowanym wałem wirnika lub
  obecnie coraz częściej
- z pionowym wałem wirnika jako ***śrutowniki z pionowym wirnikiem.***

Budowa i sposób pracy śrutownika z pionowym wirnikiem

Śrutownik z pionowym wirnikiem (rys. 3.15) typu „Vertica" (Fa. Bühler, Braunschweig) składa się z obudowy wirnika (3) z usytuowanym ponad nim pionowym napędem. Na dopływie jest zamontowane urządzenie dozujące z odsysaniem lekkich domieszek i ponownego usuwania żelaznych części. Przy dużych prędkościach wirnika niebezpieczeństwo iskrzenia jest bardzo duże; prócz tego łatwo może ulec uszkodzeniu sito młewnika.



Rys. 3.15
Śrutownik z pionowym wirnikiem, typ „Vertica"
(Fa. Bühler, Braunschweig)
(1) dopływ słodu, (2) dmuchawa, (3) obudowa młewnika, (4) rura odprowadzająca, (5) płyta bezpieczeństwa (pękająca pod wysokim ciśnieniem), (6) kołowa śluza komorowa

Z tego samego powodu jest także zainstalowane na wlocie urządzenie do usuwania kamieni i innych ciężkich domieszek. Dopływające cienkim strumieniem ziarna słodu w obudowie młewnika (p. rys. 3.14) zostają złapane przez stalowe młotki, rozbite i wyrzucone przez sito z drobnymi oczkami. Przemiał jest zbierany w leju i usuwany przez kołową śluzę komorową (6). Płyta bezpieczeństwa (5) i rura odprowadzająca (4) kierują ciśnienie powstające przy wybuchu pyłu na zewnątrz. Alternatywnie może być zainstalowana rura Q.

3.1.4 Mokre śrutowanie

Podczas śrutowania łuska jest mniej lub więcej uszkadzana także przy ochronnym traktowaniu i swoją czynność jako materiał filtracyjny może spełniać tylko warunkowo. Jeżeli jednak słód przed śrutowaniem namoczymy, łuska i wnętrze ziarna wchłoną wilgoć i staną się elastyczne. Możemy wtedy wnętrze ziarna po prostu wygniatać z łuski, która przy tym prawie nie zostaje uszkodzona. Dzięki temu uzyskuje się lepszą zdolność filtracyjną warstwy młóta słodowego. *(Ta metoda śrutowania wychodzi jednak stopniowo z użycia. Przyp. red. A.B.).*

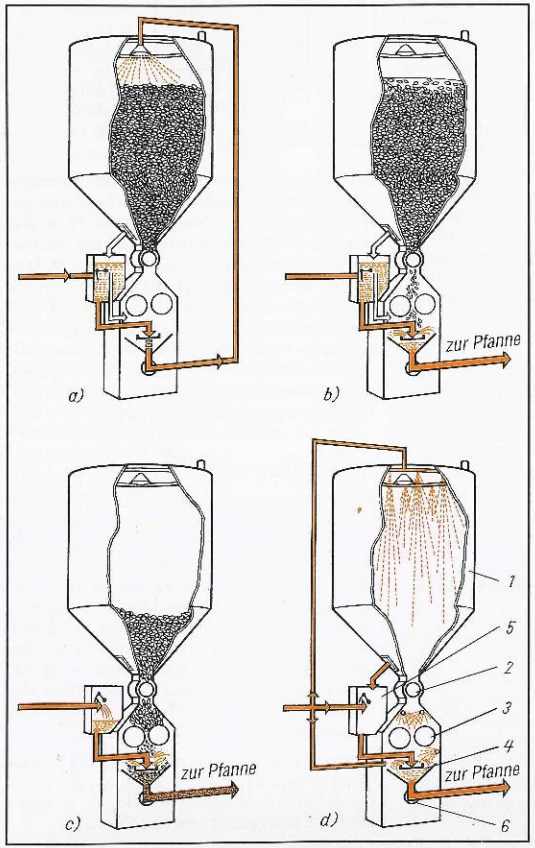
Śrutownik pracujący na mokro (rys. 3.17) składa się z obudowy, na której nasadzony jest zbiornik do słodu ze stożkowym wylotem. W zbiorniku tym odbywa się moczenie słodu.

Najważniejszą częścią śrutownika na mokro jest para walców gniotących (3) z bardzo wąskim odstępem wynoszącym 0,45 mm. Przed tą parą walców jest zainstalowany walec rozdzielczy (2). Zatarta śruta jest zabierana ślimakiem i podawana do pompy zacierowej (6). Obszerny system dysz rozpylających i natryskujących zapewnia moczenie i mycie urządzenia.

Śrutownik na mokro pracuje w następujący sposób:

a) Moczenie: Automatycznie odważony słód zostaje przetransportowany do zbiornika słodu (1) nad śrutownikiem i tam namoczony wodą o temperaturze 30 do 50°C. Przy pomocy pompy zacierowej spływająca woda jest podawana w obiegu na górę i w ten sposób uzyskuje się równomierne namoczenie ziarna. Proces ten trwa ok. 15 do 30 min.

W tym czasie zawartość wody w słodzie wzrasta do ok. 30%; równocześnie słód pęcznieje



Rys. 3.17
Sposób pracy śrutownika na mokro
(a) moczenie
(b) odpompowanie wody namaczającej
(c) mielenie słodu
(d) płukanie
(1) zbiornik do słodu
(2) walec podający
(3) para walców gniotących
(4) komora mieszania zacieru z dyszami natryskowymi
(5) regulacja wody
(6) pompa zacierowa

wskutek wchłonięcia wody 35 do 40% i enzymy słodu powoli się uaktywniają.

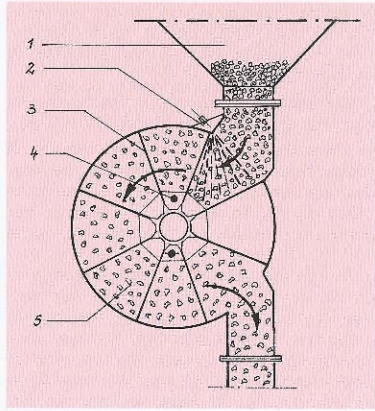
b) Odpompowanie wody namaczającej

c) Rozdrabnianie słodu: Namoczony słód dociera teraz poprzez walec podający (2) na parę walców gniotących (3), która ma bardzo mały odstęp (0,45 mm). Tu zawartość ziarna zostaje gładko i prawie bez oporu wyciśnięta z prawie nieuszkodzonej łuski. Wysłodziny z ześrutowanego na mokro słodu wyglądają jak całe ziarna. Przy tej metodzie śrutowania kłopot polega na tym, że nierozluźnione końce ziaren przedostają się niezmienione i nierozdrobnione do naczynia zaciernego, dokąd śruta zostaje teraz przepompowana.

Ilość potrzebnej wody wynika ze sposobu prowadzenia nalewu, ilości wody w zbiorniku do moczenia pobranej przez słód, wody dodanej podczas śrutowania i wody do mycia śrutownika.

d) Płukanie: Przy pomocy zainstalowanych dysz natryskowych wszystkie części, które zetknęły się ze słodem, zostają intensywnie umyte.

Śrutowniki na mokro nie są już produkowane.



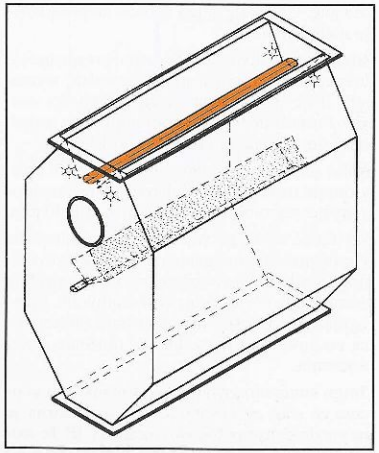
Rys. 3.18
Kondycjonowanie przy pomocy kołowej śluzy komorowej
(1) szyb do słodu, (2) regulator dopływu, (3) koło komorowe, (4) dopływ wody, (5) słód kondycjonowany

3.1.5 Kondycjonowanie przez krótkie moczenie

Przy takim kondycjonowaniu wykorzystuje się zalety śrutowania na mokro w ten sposób, że słód zalewa się na 50 do 60 s ok. 60 l gorącej wody o temperaturze 50 do 70°C/100 kg słodu. W tym krótkim czasie tylko łuska zdąży się namoczyć (ok. 15 l wody/100 kg słodu), swoją wilgoć podnieść do 18-22% i dzięki temu stać się elastyczniejszą. Taka sama ilość wody pozostaje na ziarnach jako woda przylegająca, podczas gdy nadmiar w ilości 20 do 30 l wody/100 kg słodu zostaje odprowadzony.

Takie krótkie kondycjonowanie wymaga jednak również wymuszonego przepływu ziarna, aby w czasie tego przepływu można było utrzymać dokładny pobór ilości wody. Ten wymuszony przepływ osiąga się przy pomocy

- ***kołowych śluz komorowych*** (rys. 3.18) lub
- ***kondycjonującego szybu*** (rys. 3.19).



Rys. 3.19
Szyb krótkiego kondycjonowania

Następnie słód zostaje rozdrobniony w śrutowniku na mokro i natychmiast zatarty wodą nalewu głównego oraz wymieszany z nadmiarem wody moczącej.

Śrutownik na mokro z krótkim kondycjonowaniem pracuje w następujący sposób (rys. 3.20):

W zbiorniku do słodu (1) jest składowana na sucho odważona ilość zasypu i w szybie kondycjonowania (2) przez ok. 60 s zalewana ciepłą wodą (3). Temperatura wody może być dobierana dowolnie i przeważnie wynosi 60 do 70°C. Ponieważ wchłanianie wody następuje szybciej wraz z wyższą temperaturą, proces należy kontrolować i regulować. W przedstawionym przykładzie regulacja następuje za pomocą walca dozującego (4) w śrutowniku. W następującej parze walców gniotących (5) dzięki specjalnemu ich rowkowaniu wilgotna łuska zostaje zachowana, zaś wnętrze ziarna rozdrobnione.

Następnie śruta przy pomocy dysz natryskujących (6) zostaje wewnętrznie zmieszana z wodą w temperaturze zacierania i przy pomocy pompy (8) przetransportowana do kadzi zaciernej od dołu. Pompa przy tym jest regulowana tak, żeby śrutownik nie został nigdy opróżniony całkowicie. Unika się w ten sposób niepożądanego natlenienia.

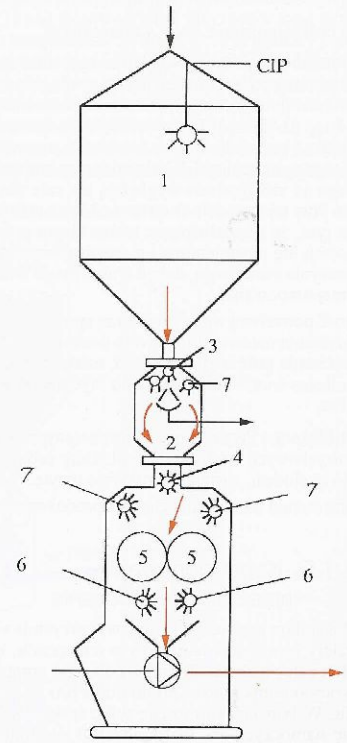
Również tu walcowi zasilającemu przypisuje się duże znaczenie: musi on doprowadzić wymaganą ilość słodu równo na całej długości walców. Posiada do tego celu bezstopniowy napęd, który umożliwia obroty od 25 do 138/min.

Walce gniotące są rowkowane z ostrzami ustawionymi naprzeciwko. Ich rozstęp jest regulowany bezstopniowo w granicach 0,25-0,40 mm.

Szybkość obrotów walców jest regulowana w zależności od rozluźnienia słodu: źle rozluźnione słody mają twardsze ziarna i powodują wzrastający pobór prądu przez śrutownik. Przez regulację prędkość walców zostaje zmniejszona, co powoduje potrzebne wydłużenie czasu moczenia.

Droga kondycjonowania i śrutownik są wykonane ze stali chromoniklowej, aby można je optymalnie myć potokowo metodą CIP. Te śrutowniki były wykonywane w wielkościach od 4 do 20 t/h.

W śrutownikach na mokro czas śrutowania jest równy czasowi zacierania, gdyż nie może być



Rys. 3.20

Krótkie kondycjonowanie w wodzie

(1) zbiornik do słodu
(2) szyb kondycjonowania
(3) zaopatrywanie w wodę
(4) walec podający
(5) walce śrutujące
(6) dysze natryskowe
(7) dysze myjące
(8) pompa zacierowa

zainstalowany żaden zbiornik do śruty. Toteż śrutowniki te są wykonywane z dużą przepustowością i powodują szczytowe duże pobory prądu i stosunkowo wysokie koszty.

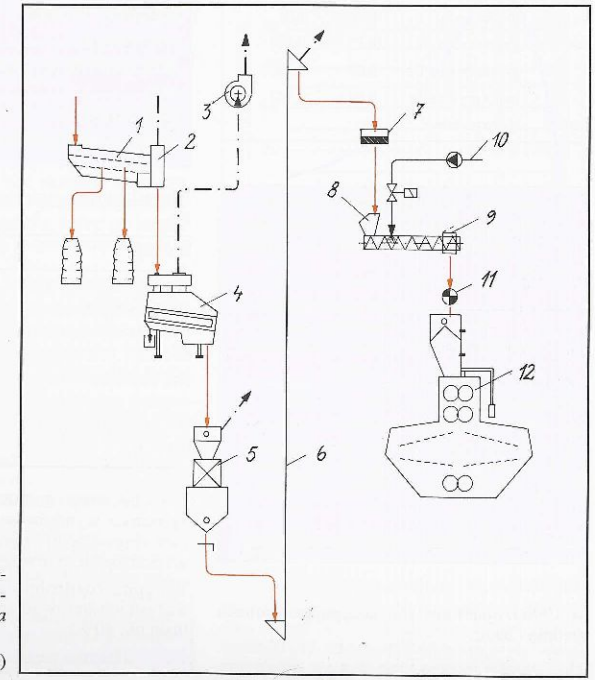
Natlenienie następuje tu już przy śrutowaniu przez dłuższy czas zacierania.

Całkowite urządzenie do śrutowania – dla kondycjonowanego suchego słodu – przedstawia się następująco (rys. 3.21):

Przychodzący z silosu słód jest przepuszczany przez sito sortujące (1), na którym zostają też usunięte grube zanieczyszczenia. W zainstalowanym obok kanale aspiracyjnym (2) zostaje odessany pył. W urządzeniu do usuwania kamieni (4) są usuwane pozostałe jeszcze kamienie i pył (3). Następnie słód jest ważony na automatycznej wadze (5). W zależności od ustawienia pomiędzy urządzeniami są włączone przenośniki, przeważnie kubełkowe (6) i ślimakowe. Aparat magnetyczny (7) usuwa wszystkie części żelazne i dzięki temu zmniejsza wytwarzanie iskrzenia oraz uszkodzenia walców. Kondycjoner słodu (9) wymaga doprowadzenia wody (10) i buforu (8). Kołowa śluza komorowa (11) lub inny regulator dozuje wymaganą ilość słodu do śrutownika (12). Spływająca śruta jest gromadzona w zbiorniku do śruty. Opisany układ jest jednym z wielu możliwych.

3.1.6 Ocena śruty

Dla dobrego śrutowania decydująca jest regularna kontrola śruty. Taka ocena jest jednak możliwa tylko w suchej śrucie i w kondycjonowanej. Mokrą śrutę można ocenić tylko przy pomocy wizualnej bonitacji.



Rys. 3.21

Schemat urządzeń śrutowni słodu (kondycjonowane śrutowanie na sucho)

(opis rysunku w tekście)

Dla dokładnego pobierania prób w śrutownikach na sucho pod każdą parą walców zamontowany jest pobieralnik próbek, a w wylocie śrutownika specjalne urządzenie do pobierania ogólnej próby 150 do 200 g, która dla uniknięcia błędów nie może być dzielona. Duże błędy w składzie śruty można określić wizualnie na ręce, przy dokładnej ocenie należy stosować laboratoryjne sita sortownicze.

Do dokładnej oceny przemiału używa się przesiewacza płaskiego Pfungstädtera, w którym 100 do 200 g śruty zostaje rozdzielone na pięciu sitach na sześć frakcji:

Nr sita	Frakcja	Grubość drutu w mm	Średnica oczek w mm
1	łuska	0,31	1,27
2	grysik gruby	0,26	1,01
3	grysik drobny I	0,15	0,547
4	grysik drobny II	0,07	0,253
5	mąka grysikowa	0,04	0,152
dno sit	mąka pudrowa	-	-

Za wartość normatywną dobrej śruty dla kadzi filtracyjnej lub filtra zacierowego można uważać następujące wyniki na przesiewaczu:

Nr sita	Śruta dla kadzi filtracyjnej	Śruta dla filtra zwykłego	Śruta dla filtra 2001
1	18%	11%	1%
2	8%	4%	2%
3	35%	16%	15%
4	21%	43%	29%
5	2%	10%	24%
dno sit	11%	16%	29%

W 1996 r. opublikowano następujące wartości średnie (200):

Dane w %	Śruta dla kadzi filtracyjnej	Śruta ze śrutownika młotkowego
Frakcja sita 1, łuska	16,9	1,0
Frakcja sita 2, grysik gruby	15,2	3,6
Frakcja sita 3, grysik drobny I	36,3	20,9
Frakcja sita 4, grysik drobny II	15,9	39,1
Frakcja sita 5, mąka grysikowa	7,9	30,8
Dno, mąka pudrowa	8,0	4,6

Ważne jest przy tym, żeby na sicie do łuski nie było żadnych nie połamanych lub tylko nadłamanych ziaren.

Jakość śruty wpływa na:
proces zacierania i czas scukrzenia,
filtrację zacieru,
wydajność warzelni,
fermentację,
filtracyjność piwa (zawartość β-glukanów !) oraz
barwę, smak i
ogólny charakter piwa.

Dla osiągnięcia optymalnego wyniku śrutuje się:

drobniej	grubiej
przy słodach z wysoką zawartością wilgoci,	przy słodach z bardzo niską zawartością wilgoci,
przy źle rozluźnionych słodach,	przy dobrze rozluźnionych i kruchych słodach,
przy mało intensywnych metodach zacierania,	przy intensywnych metodach zacierania,
przy złej wydajności warzelni	przy długich czasach filtracji

Dla właściwego nastawienia śrutownika należy oprócz wyników sortowania znać wyniki niewymywalnego i wymywalnego ekstraktu w wysłodzinach (p. rozdz. 3.3.5.2).

Wstępne rozdrobnienie powinno być we wszystkich śrutownikach nastawione na udział łuski ok. 40%.

3.2 Zacieranie

Zacieranie jest najważniejszym procesem przy wytwarzaniu brzeczki. Przy zacieraniu śruta zostaje wymieszana z wodą i przy tym substancje zawarte w słodzie przechodzą do roztworu jako składniki ekstraktu.

Przemianom podczas zacierania przypisuje się decydujące znaczenie.

3.2.1 Przemiany podczas zacierania

3.2.1.2 Cel zacierania

Większość substancji zawartych w śrucie słodowej jest nierozpuszczalna. Do piwa mogą się przedostać tylko substancje rozpuszczalne. Dlatego konieczne jest przeprowadzenie nierozpuszczalnych substancji śruty podczas zacierania w rozpuszczalne.

Wszystkie substancje przechodzące do roztworu nazywa się ekstraktem.

Rozpuszczalnymi substancjami są np. cukry, dekstryny, substancje mineralne i określone substancje białkowe.

Nierozpuszczalnymi są: skrobia, celuloza, część wysokocząsteczkowych substancji białkowych i innych związków, które po zakończeniu procesu filtracji zacieru pozostają jako wysłodziny.

Z ekonomicznych powodów usiłuje się przeprowadzić wiele nierozpuszczalnych związków w rozpuszczalne, a więc wytworzyć dużo ekstraktu. Wyraża się to w wydajności warzelni (p. rozdz. 3.5) i w ekstrakcie wysłodzin (patrz rozdz. 3.3.5.2).

Znaczenie ma jednak nie tylko ilość, lecz także jakość ekstraktu, gdyż określone związki są niepożądane (np. garbniki z łuski), podczas gdy inne (np. określone cukry lub produkty rozkładu białka) są szczególnie mile widziane.

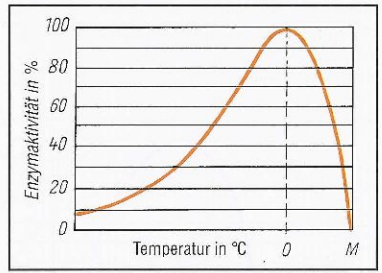
Celem zacierania jest zupełny rozkład skrobi do cukrów i dekstryn. Przy tym wytwarzają się jeszcze inne substancje ekstraktu. Główna ilość ekstraktu powstaje dopiero podczas zacierania przez działanie enzymów, którym pozwala się działać w ich optymalnych temperaturach.

3.2.1.2 Właściwości enzymów

Najważniejszą właściwością enzymów jest ich aktywność przy rozkładzie substratów. Aktywność ta uzależniona jest od różnych czynników.

Zależność aktywności enzymów od temperatury

Aktywność enzymów jest zależna od temperatury. Wzrasta ona wraz ze wzrostem temperatury i każdy enzym osiąga specyficzną wartość optymalną w optymalnej temperaturze (rys. 3.22). W wyższych temperaturach odbywa się przez rozfałdowanie kłębkowej struktury (denaturacja) szybko postępująca inaktywacja. Inaktywacja i zniszczenie aktywności enzymu są tym większe, im bardziej zostaje przekroczona optymalna temperatura.



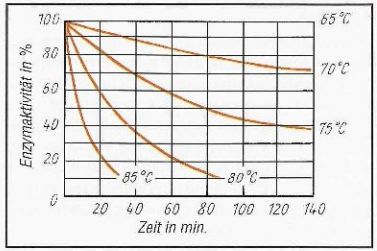
Rys. 3.22
Zależność aktywności enzymu od temperatury
O = temperatura optymalna
M = temperatura maksymalna
(- aktywność enzymatyczna w %, → temperatura w °C)

Typowa aktywność enzymu dla określonej temperatury nie jest niezmienna. Podczas gdy w niższych temperaturach pozostaje zachowana prawie nieograniczenie, przy wzrastającej temperaturze z czasem szybko obniża się (rys. 3.23).

Zależność aktywności enzymu od wartości pH

Ponieważ kłębkowa struktura enzymów zmienia się także w zależności od wartości pH, wynika z tego zależność aktywności enzymu od wartości pH. Aktywność enzymatyczna osiąga optymalną wartość przy pewnej wartości pH,

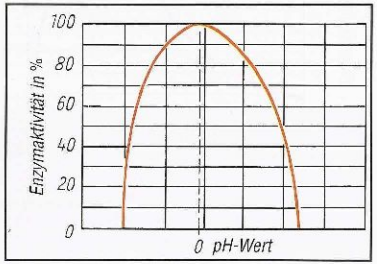
która jest dla każdego enzymu specyficzna i obniża się przy wyższej i niższej wartości pH (rys. 3.24). Wpływ wartości pH na aktywność enzymatyczną, ogólnie biorąc, nie jest tak duży jak wpływ temperatury.



Rys. 3.23

Zależność aktywności enzymu od czasu oddziaływania

(- aktywność enzymatyczna w %, → czas w min.)



Rys. 3.24

Zależność aktywności enzymu od wartości pH

O = wartość optymalna

(- aktywność enzymatyczna w %)

Procesy rozkładu substancji mające znaczenie dla piwowara:

- rozkład skrobi,
- rozkład β-glukanu,
- rozkład substancji białkowych,
- przemiana kwasów tłuszczowych oraz
- szereg dalszych procesów rozkładu.

3.2.1.3 Rozkład skrobi

Najważniejszy składnik piwa to wytwarzający się podczas fermentacji z cukru alkohol. Dlatego konieczny jest rozkład skrobi w przeważającym stopniu do maltozy; oprócz tego zawsze wytwarzają się produkty pośrednie, dekstryny, które nie są fermentowane.

Skrobia musi zostać rozłożona całkowicie do cukrów i dekstryn nie zabarwiających się z jodem. Całkowity rozkład jest potrzebny ze względów ekonomicznych; oprócz tego resztki nierozłożonej skrobi powodują skrobiowe zmętnienie w piwie.

Rozkład skrobi następuje w trzech etapach, których kolejność jest niezmienna i zachodzą one jeden po drugim:

- ***kleikowanie,***
- ***upłynnianie,***
- ***scukrzanie.***

Kleikowanie

W ciepłym wodnym roztworze ziarenka skrobi pobierają duże ilości wody. Następuje przyrost objętości, który powoduje, że silne zespolone ziarna skrobi pęczniejąi w końcu pękają. Tworzy się kleisty roztwór; stopień kleistości zależy od pobranej ilości wody i różni się między gatunkami zbóż. Tak np. skrobia ryżu pęcznieje o wiele bardziej niż skrobia słodu. Proces ten, w którym nie zachodzi żaden rozkład substancji, określa się jako kleikowanie. Jest on istotnym składnikiem codziennego przyrządzania potraw (np. gotowanie budyniu, zagęszczanie zup lub sosów).

Ponieważ skleikowana skrobia nie znajduje się już razem w twardych ziarnach, mogą ją atakować bezpośrednio enzymy zawarte w cieczy (zacierze). Natomiast rozkład nie skleikowanej skrobi trwa wiele dni.

Kleikowanie to pęcznienie i pękanie ziaren skrobi w ciepłym wodnym roztworze. Uwolnione cząsteczki skrobi w tym lepkim roztworze są łatwiej atakowane przez amylazy niż w nie skleikowanej skrobi.

Temperatury kleikowania są dla każdego gatunku zboża inne:
skrobia słodu jęczmiennego i jęczmienia kleikuje w obecności amylaz w 60°C, skrobia ryżu natomiast w 80 do 85°C.

Upłynnianie

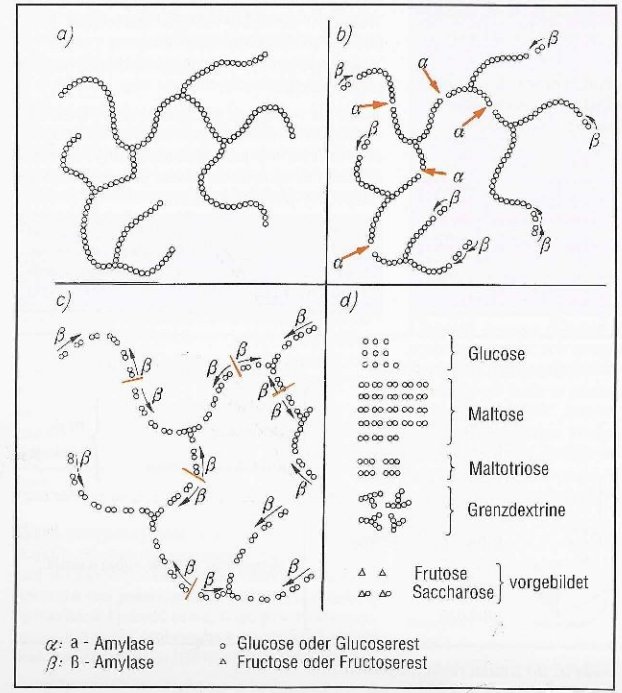
Długie łańcuchy skrobi składające się z reszt glukozy (amyloza i amylopektyna) zostają szybko rozbite przez α-amylazę na mniejsze łańcuchy (rys. 3.25b). Dzięki temu zmniejsza się bardzo szybko lepkość skleikowanego zacieru. Natomiast β-amylaza może długie łańcuchy rozkładać powoli tylko z nieredukującego końca, tak więc rozkład tylko przez ten enzym trwałby wiele dni.

Upłynnienie to zmniejszenie lepkości skleikowanej skrobi przez α-amylazę.

Scukrzanie

Łańcuchy amylozy i amylopektyny są rozbijane we wzrastającym stopniu przez α-amylazę na dekstryny zawierające 7 do 12 reszt glukozy. Z powstających łańcuchów β-amylaza oddziela z każdego końca po dwie reszty glukozy (= maltoza) (rys. 3.25 c). Ten proces trwa zawsze dłużej niż oddzielanie dłuższych łańcuchów przez α-amylazę.

Ze względu na różne długości łańcuchów powstają oprócz maltozy jeszcze inne cukry, jak glukoza i maltotrioza.



Rys. 3.25

Rozkład skrobi podczas zacierania

(glukoza, maltoza, maltotrioza, graniczne dekstryny; fruktoza, sacharoza wcześniej wytworzona; a: α-amylaza; b: β-amylaza; glukoza lub reszta glukozy; fruktoza lub reszta fruktozy)

We wszystkich przypadkach rozkład substancji kończy się 2 do 3 resztami glukozy przed wiązaniami 1,6-amylopektyny, ponieważ tych wiązań 1,6 nie potrafi rozłożyć zarówno α-amylaza, jak również β-amylaza. Te graniczne dekstryny są zawsze obecne w normalnych brzeczkach.

Wprawdzie w słodzie znajduje się enzym, ***dekstrynaza graniczna,*** który oprócz wiązań 1,4 rozkłada wiązania 1,6, lecz z optymalną temperaturą 50 do 60°C w czasie zacierania jest prawie nieczynny. W 70°C wszakże można jeszcze wykryć słabą aktywność dekstrynazy granicznej.

Dla rozkładu skrobi przez amylazy słodu jest zatem ważne:

Długie łańcuchy skrobi α-amylaza rozkłada aż do mniejszych dekstryn. Optymalnie działa w 72 do 75°C i w 80°C szybko ulega zniszczeniu. Optimum wartości pH wynosi 5,6 do 5,8.

Z nieredukcyjnego końca łańcucha β-amylaza odszczepia maltozę, lecz wytwarza się także glukoza i maltotrioza. Działa optymalnie w 60 do 65°C i jest bardzo czuła na wyższe temperatury; już w 70°C jest szybko inaktywowana. Optimum wartości pH wynosi 5,4 do 5,5.

Rozkład skrobi należy nadzorować, ponieważ resztki nie rozłożonej skrobi i większe dekstryny powodują skrobiowe zmętnienie piwa.

Kontrolę rozkładu skrobi przeprowadza się przy pomocy ***0,02 n roztworu jodu*** (wodny roztwór jodu i jodku potasu). Sprawdzanie to nazywa się ***próbą jodową*** i przeprowadza się zawsze ze schłodzoną próbką zacieru. Próba jodowa polega na tym, że roztwór jodu w pokojowej temperaturze daje ze skrobią i większymi dekstrynami zabarwienie niebieskie do czerwonego, podczas gdy wszystkie cukry i mniejsze dekstryny nie dają żadnego zabarwienia z żółtobrązowym roztworem jodu.

Dekstryny wyższe do średnich dają z jodem jeszcze zabarwienie fioletowe do czerwonego. To zabarwienie nie zawsze łatwo rozpoznać, ale świadczy ono o jeszcze nie normalnej próbie jodowej brzeczki. Zaostrzona próba jodowa według W. Windischa sprawdza obecność tych dekstryn przez ich wytrącenie etanolem, usunięcie etanolu, ponowne rozpuszczenie i barwienie jodem. Metody tej używa się w przypadkach niejasności wyniku.

Warzelany powinien umieć prawidłowo oceniać próbę jodową.

Jeżeli nie występuje już żadne zabarwienie roztworu jodu zmieszanego z zacierem, wtedy zacier określa się jako ***jodonormalny***. Rozkład cząsteczek skrobi do stanu jodonormalnego nazywany jest scukrzeniem.

Scukrzenie to zupełny rozkład upłynnionej skrobi przez amylazy do maltozy i dekstryn. Sprawdzanie odbywa się przy pomocy próby jodowej (rys. 3.26).

Rys. 3.26. Rozkład skrobi aż do zaniku reakcji z jodem

Powstające podczas zacierania produkty rozpadu skrobi znacznie różnią się pod względem możliwości ich fermentacji przez drożdże:

Dekstryny	nie są fermentowane
Maltotrioza	jest fermentowana przez wszystkie wysoko odfermentowujące drożdże. Maltotrioza jest jednak rozkładana przez drożdże dopiero, kiedy zostaje odfermentowana maltoza, a więc dopiero w czasie leżakowania (cukier pofermentacyjny)
Maltoza	i inne dwucukry są fermentowane przez drożdże dobrze i szybko (cukry głównej fermentacji)
Glukoza	jest fermentowana jako pierwsza (cukier zafermentowujący)

Procentowy udział cukrów fermentujących w ogólnym ekstrakcie brzeczki jest określany przez ***ostateczny stopień odfermentowania*** (F_p^{ost}). Przy pomocy ostatecznego stopnia odfermentowania jest ustalana zawartość alkoholu w piwie i tym samym określany charakter piwa.

Przez różnorodną pracę enzymów zostaje określony udział fermentujących cukrów. Wskutek tego podczas zacierania zostaje jednocześnie ustalony ostateczny stopień odfermentowania.

Normalny skład fermentującego ekstraktu w jasnych piwach pełnych przy pozornym odfermentowniu 80%:

Cukry fermentujące	w % ekstraktu	w g/100ml 12% brzeczki	% udziału w fermentującym ekstrakcie
Heksozy	7 - 9	0,9 - 1,2	11,9
Sacharoza	3 - 4	0,4 - 0,5	5,1
Maltoza	43 - 45	5,6 - 5,9	65,4
Maltotrioza	11 - 13	1,4 - 1,7	17,6
Suma	62 - 68	Ø 8,8	100,0

Skład powyższy jest uzależniony w dużym stopniu od metody zacierania. Skład brzeczki pod względem zawartości różnych cukrów i dekstryn ma jednocześnie wpływ na przebieg fermentacji i jakość piwa, więc piwowara interesują czynniki wpływające na rozkład skrobi podczas zacierania. Istotnymi czynnikami są:

- temperatura w czasie zacierania,
- czas trwania zacierania,
- wartość pH przy zacieraniu i
- stężenie zacieru.

3.2.1.3.1 Wpływ temperatury na rozkład skrobi

Przez zacieranie w 62 do 63°C osiąga się możliwie najwyższą zawartość maltozy i najwyższy ostateczny stopień odfermentowania. Brzeczki bogate w maltozę fermentują szybciej i dłużej utrzymują drożdże w zawieszeniu.

Przez długie zacieranie w 62 do 64°C uzyskuje się piwa z wyższym ostatecznym odfermentowaniem; przez przeskoczenie tych temperatur i długie zacieranie w 72 do 75°C otrzymuje się piwa bogate w dekstryny z niskim ostatecznym stopniem odfermentowania.

Wpływ temperatur zacierania jest decydujący, toteż przerwy przy zacieraniu utrzymuje się zawsze w optymalnych temperaturach dla amylaz. Nazywane są one:

przerwa maltozowa w 62 do 65°C (= optymalnej temperaturze β-amylazy)

przerwa docukrzania w 72 do 75°C (= optymalnej temperaturze α-amylazy)

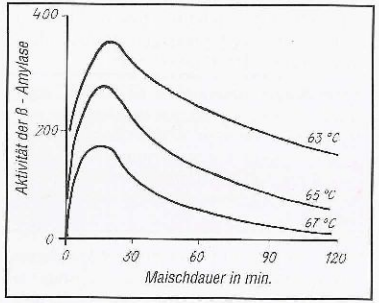
temperatura zakończenia zacierania w 76 do 78°C.

Chociaż proces filtracji przebiega znacznie szybciej w wyższych temperaturach na skutek mniejszej lepkości, należy wziąć pod uwagę, że aktywna jeszcze α-amylaza w temperaturach powyżej 78°C jest we wzrastającym stopniu inaktywowana. Podczas filtracji przechodzi do roztworu jeszcze nie rozłożona skrobia i musi być docukrzona. W przeciwnym razie powstaje niebezpieczeństwo zmętnienia skrobiowego.

3.2.1.3.2 Wpływ czasu trwania zacierania na rozkład skrobi

Enzymy nie działają równomiernie podczas procesu zacierania. Raczej można rozróżnić dwa etapy zależne od upływu czasu (rys. 3.27) (19):

1. Maksimum aktywności enzymatycznej zostaje osiągnięte po 10 do 20 min. Maksimum aktywności enzymatycznej jest w temperaturach 62 do 63°C większe niż w 67 do 68°C.
2. Po 40 do 60 min. aktywność enzymatyczna obniża się najpierw szybko, później jednak spadek aktywności maleje.



Rys. 3.27

Aktywność β-amylazy w zależności od temperatury zacieru i trwania przerwy

(- aktywność β-amylazy, → czas trwania zacierania w min.)

Z powyższego należy wysnuć wniosek, że wpływ temperatur zacierania można rozpatrywać tylko w powiązaniu z trwaniem zacierania.

Generalnie jest ważne:

1. Ze wzrastającym czasem trwania zacierania wzrasta stężenie roztworu ekstraktu. Proces ten staje się coraz powolniejszy.

2. Ze wzrastającym czasem trwania zacierania (szczególnie przy zacieraniu w 62 do 63°C) wzrasta zawartość maltozy i z tym ostateczny stopień odfermentowania. W takich warkach można się spodziewać intensywnej fermentacji głównej.

3.2.1.3.3 Wpływ wartości pH na rozkład skrobi

Przy omawianiu enzymów dowiedzieliśmy się, że w swym działaniu są one zależne od wartości pH oraz że β-amylazy w zacierze mają optimum aktywności przy wartości pH 5,4 do 5,5.

Przez zacieranie w zakresie pH 5,5 do 5,6, który można uważać za optymalny zakres pH dla obu amylaz, można podnieść zawartość ekstraktu w odniesieniu do zacierania w wyższej wartości pH. Wytwarza się więcej fermentujących cukrów i wzrasta ostateczny stopień odfermentowania.

„Normalna" wartość pH zacierów wynosi jednak – w zależności od składu wody i słodu – 5,6 do 5,9, a więc znacznie wyżej.

Dlatego obecnie wykazuje się zainteresowanie tym, aby obniżyć wartość pH przy zacieraniu aż na 5,2 do 5,1. Możliwość taką omawiamy w rozdz. 3.2.1.8.

3.2.1.3.4 Wpływ stężenia zacieru na rozkład skrobi

W rzadkich zacierach przechodzi więcej ekstraktu do roztworu, lecz gęstsze zaciery ochraniają enzymy przed zbyt szybką inaktywacją termiczną (= ochronne działanie koloidalnych cząstek zacieru i rozpuszczonych substancji). Wskutek tego w gęstszych zacierach jest podwyższona ilość fermentujących cukrów i wyższy ostateczny stopień odfermentowania.

Ten wpływ zagęszczonego zacieru na rozkład skrobi jest jednak mniejszy niż wpływ innych czynników.

3.2.1.3.5 Kontrola rozkładu skrobi

Zbierzmy wszystko co dotychczas powiedziano o kontroli rozkładu skrobi jeszcze raz razem:

- ***Skrobię przy zacieraniu należy rozłożyć do zaniku reakcji z jodem.***
- ***Kontrolę rozkładu skrobi przeprowadza się pod koniec zacierania przy pomocy próby jodowej. Ponieważ zabarwienie jodu ze skrobią i większymi dekstrynami zachodzi tylko w zimnym zacierze, próbkę zacieru należy schłodzić. Nanosi się wtedy na płytkę porcelanową lub bloczek gipsowy zimną próbkę zacieru z kroplą roztworu jodu. Nie może wystąpić żadne zabarwienie oprócz żółtawego zabarwienia 0,02 n roztworu jodu.***
- ***Scukrzenie kontroluje się jeszcze raz pod koniec gotowania brzeczki (docukrzenie).***

Jeżeli brzeczka z jodem zmienia zabarwienie, nie jest scukrzona. Mówi się wtedy o **niebieskiej warce** i powstaje piwo ze skrobiowym zmętnieniem, gdyż większe dekstryny są nierozpuszczalne. Niebieską warkę można ratować jeszcze tylko przez dodatek wyciągu słodowego lub przedniej brzeczki do fermentacji (*jak również przez dodatek preparatu enzymatycznego - przyp. tł.*).

3.2.1.4 Rozkład β-glukanu

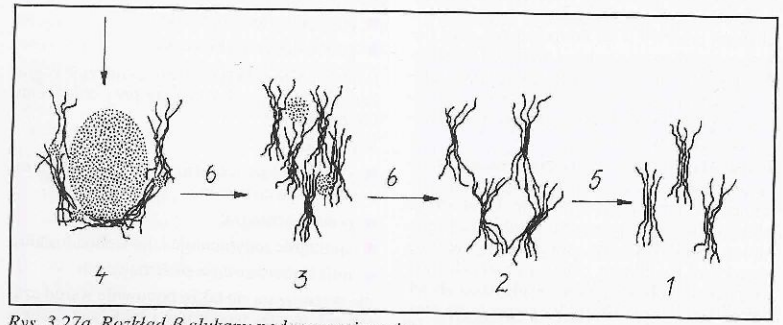
Ściany komórek w ziarnie jęczmienia składają się ze stałej kanwy z substancji białkowych, celulozy i hemicelulozy, poprzetykanej łańcuchami β-glukanu. Wysokocząsteczkowy b-glukan w określonych warunkach ma skłonność do tworzenia żelu, podwyższania lepkości piwa i stwarzania tym samym trudności przy jego filtracji. Dlatego konieczne jest nieco bliższe zapoznanie się z β-glukanem.

Podczas słodowania β-glukan zostaje w dużym stopniu rozłożony. Sprzyja temu

- przerabianie odmian jęczmienia z małą zawartością β-glukanu,
- słód z wysoką zawartością endo-β-glukanazy (minimum 120 jednostek/kg słodu),
- dobre rozluźnienie zawartości ziarna (kruchość ponad 80%).

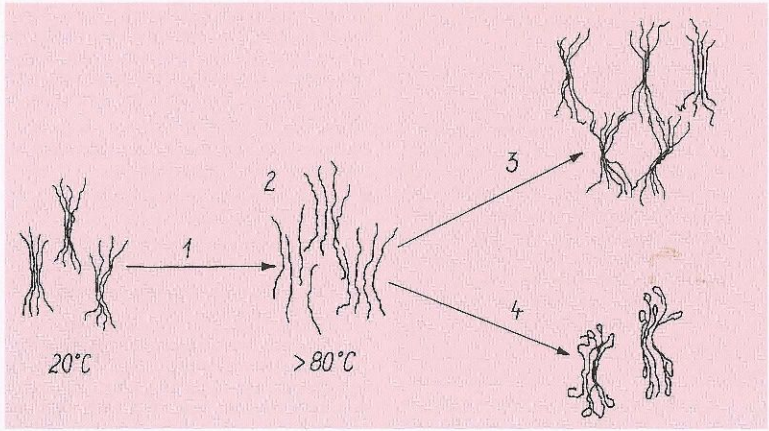
W przeciwieństwie do poskręcanych cząsteczek skrobi (α-glukan, p. rozdz. 1.1.4.1.1), cząsteczki β-glukanu nie są rozgałęzione i są wyprostowane na długość. Wiele tych cząsteczek jest związanych poprzecznie mostkami wodorowymi, asocjowanych (asocjaty). Z powodu ich nieregularnego wyglądu określa się je jako ***frędzliste micele*** (rys. 3.27a – 1). W takiej postaci są one rozpuszczalne.

Kilka takich frędzlistych miceli tworzy siatkę (2) i po części w ścianach komórki wiąże się silnie z białkiem (3); dotyczy to szczególnie jeszcze niecałkowicie rozluźnionych części ziarna słodu, jak np. wierzchołek ziarna (4). Taki stan występuje na początku zacierania (122, 123, 124).



Rys. 3.27a. Rozkład β-glukanu podczas zacierania

(1) frędzliste micele
(2) siatkowe micele
(3) frędzliste micele przetkane białkiem
(4) nierozluźnione obszary
(5) rozkład przez endo-β-glukanazy
(6) rozkład przez solubilazę-β-glukanową



Rys. 3.27b

Zmiany w strukturze i zachowaniu β-glukanu w gorącym środowisku i przy schładzaniu

(1) zerwanie mostków wodorowych
(2) termicznie aktywowany β-glukan
(3) siły ścinające
(4) brak sił ścinających

Podczas kleikowania struktura ziaren skrobi zostaje rozpuszczona i częściowo związane z białkiem usieciowane frędzliste micele uwolnione. Endo-β-glukanaza może teraz z tych usieciowanych miceli frędzlistych rozkładać β-glukan (5). Endo-β-glukanaza ma optimum temperatury ok. 45 do 50°C. Przez zastosowanie dłuższej przerwy w tej temperaturze, przy dobrze rozluźnionym słodzie i wysokiej zawartości endo-β-glukanazy największa część β-glukanu zostanie zatem rozłożona do rozpuszczalnego β-glukanu i niebezpieczeństwo wytwarzania żelu zmniejszone.

Jednak skoro tylko zostanie podwyższona temperatura, wrażliwa na temperaturę endo-β-glukanaza zostanie unieczynniona. Teraz działa niewrażliwa na temperaturę solubilaza-β-glukanowa (do 70°C) (6) i uwalnia wysokocząsteczkowe β-glukany z białka i nierozluźnionych wierzchołków ziaren, ale nie rozkłada ich dalej. Ponieważ endo-β-glukanaza w tej temperaturze od dawna jest unieczynniona, należy się zawsze liczyć przy źle rozluźnionych, ubogich enzymatycznie słodach z wyżej cząsteczkowymi związkami β-glukanowymi, których jednak nie trzeba stawiać na równi z żelem β-glukanowym.

Problem zaczyna się dopiero z częściowym zerwaniem mostków wodorowych (rys. 3.27 b – 1) wewnątrz asocjatów powyżej 70 do 80°C, a więc

- przy gotowaniu brzeczki i
- przy chłodzeniu brzeczki.

Powstaje wtedy aktywowany termicznie β-glukan (2), który zachowuje się przy chłodzeniu bardzo różnie:

Kiedy się (4)

- stosuje dobrze rozluźniony słód z wysoką zawartością enzymów,
- powoli schładza,
- spokojnie sedymentuje i nie wzbija (osadu),
- unika powstawania sił ścinających

nie wytwarzają się także ponownie wśród cząsteczek mostki wodorowe i małe jest niebezpieczeństwo tworzenia się żelu.

Kiedy jednak się (3) wytwarza duże siły ścinające w wysokich temperaturach brzeczki, np.:

- przez wysokie prędkości przepływu i powtarzającą zmianę kierunku w zewnętrznym podgrzewaczu (kocherze),
- przez silne wytwarzanie wirów w pompach,
- przez silne wytwarzanie wirów w whirlpoolu,
- przez za wąskie lub zmieniające się przekroje przewodów oraz
- przez siły odśrodkowe (wirowania)

mostki wodorowe usieciają powrózki glukanowe i przez rozciąganie się cząsteczek może dojść do wytworzenia żelu i podwyższenia lepkości, a następstwem tego są trudności z filtracją.

Pewną informacją jak dalece udaje się osiągnąć niskie wartości wysokocząsteczkowego β-glukanu, przedstawia **wartość friabilimetryczna słodu, metoda szlifowania ziarna** wg Carlsberga (p. rozdz. 2.8.2.10) i **lepkość brzeczki kongresowej słodu**. Dwie pierwsze mają wysoką korelację z zawartością żelu β-glukanowego w brzeczce, a ten znowu z filtracyjnością piwa. Wymagana jest kruchość (wartość friabilimetryczna) ponad 80%. Jednorodność słodu metodą szlifowania ziarna powinna wynosić co najmniej 70%, a lepiej 75%.

Lepkość brzeczki kontroluje się jako wyraz zawartości β-glukanu i oczekiwanych trudności przy filtracji zacieru i piwa. Pomiaru lepkości dokonuje się przy pomocy

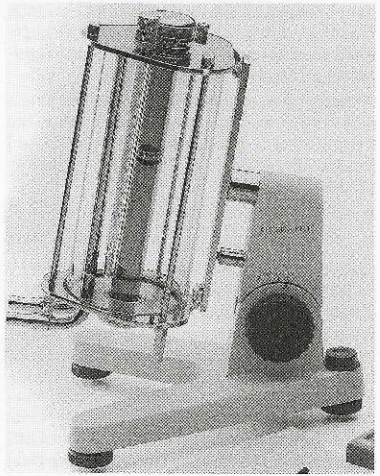
- **wiskozymetru z opadającą kulką wg Höpplera** (rys. 3.28); przy czym mierzy się czas opadania znormalizowanej kulki przez badaną ciecz w szklanej rurce pomiędzy dwiema kreskami.

Wynik podaje się w mili-pascal-sekundach (mPa·s). Wymagane przy tym wartości normatywne to

brzeczka kongresowa (przeliczona na 8,6%) 1,51 do 1,63 mPa·s,
wybita brzeczka (przeliczona na 12%) 1,73 do 2,20 mPa·s,
piwo pełne (przeliczone na 12%) 1,78 do 1,95 mPa·s,

lub przy pomocy

- **lepkościomierza kapilarnego (Ubbelohde)**, przy pomocy którego można przeprowadzać także pomiary automatycznie.



Rys. 3.28

Wiskozymetr Höpplera z opadającą kulką

3.2.1.5 Rozkład substancji białkowych

Podczas gotowania brzeczki zostają wytrącone niemal wszystkie wysokocząsteczkowe białka z wyjątkiem małych ilości. Do piwa przedostają się tylko produkty ich rozpadu, które są niezbędne do rozmnażania drożdży i szybkiej fermentacji.

	Dodatni wpływ	Ujemny wpływ
Wyżej cząsteczkowe produkty rozkładu	tworzące pianę smak (pełnia smakowa)	wytrzymałe zmętnienia
Niskocząsteczkowe produkty rozkładu	pożywienie drożdży	

Enzymatyczny rozkład substancji białkowych należy rozpatrywać w dwóch etapach:

- ***w 45 do 50°C jest wytwarzanych więcej niskocząsteczkowych substancji białkowych, szczególnie peptydów i aminokwasów,***
- ***w 60 do 70°C wytwarza się więcej wyżej cząsteczkowych substancji, które zapewniają stabilność piany.***

Aminokwasy są niezbędne jako pożywienie drożdży – jest to bardzo ważne. ***Drożdże zużywają co najmniej 10 do 14 mg azotu α-aminowego/100 ml brzeczki.***

Z uwagi na to, że aminokwas prolina nie jest wykorzystywany przez drożdże, brzeczka musi zawierać przynajmniej 20 mg/100 ml azotu α-aminowego. Jeżeli to nie jest zapewnione, dochodzi do

- zmniejszenia rozmnażania się drożdży,
- opóźnienia fermentacji i dojrzewania, a z tym
- występowania niepożądanych cech młodego piwa w bukiecie gotowego produktu.

Z dobrze rozluźnionego słodu uzyskuje się zawsze brzeczki z wystarczającą ilością α-aminokwasów. Jeżeli jednak dodaje się surowiec niesłodowany, cukier lub syrop, które nie wnoszą żadnych aminokwasów do brzeczki, należy stosować przerwę aminokwasową w 45 do 50°C. Przy używaniu wyłącznie dobrze rozluźnionego słodu nie ma potrzeby stosowania przerwy w 45 do 50°C:
długa przerwa w 45 do 50°C zawsze daje złą pianę.

3.2.1.6 Przemiana substancji tłuszczowych (lipidów)

Podczas zacierania część zawartych w słodzie tłuszczów zostaje rozłożona do gliceryny i kwasów tłuszczowych przez enzymy rozkładające tłuszcze (lipazy).

Na szczególną uwagę zasługuje przy tym utlenianie i enzymatyczny rozkład reaktywnych nienasyconych kwasów tłuszczowych, które są rozkładane przez lipooksygenazę w obecności tlenu do produktów pośrednich. Te zaś później, jako karbonyle starzenia, mogą mieć szkodliwy wpływ na stabilność smakową piwa.

Już najmniejsze ilości nienasyconych kwasów tłuszczowych, które dotrą do piwa, stwarzają niebezpieczeństwo dla jego stabilności smakowej. Tylko nienasycone kwasy tłuszczowe utleniają się wystarczająco szybko, aby były brane pod uwagę jako prekursory posmaku starzenia (168).

Ponieważ nienasycone kwasy tłuszczowe zawsze są obecne w śrucie słodu, ich utlenienie można ograniczyć tylko przez dokładne usuwanie ***tlenu***. Jedno spojrzenie na urządzenia warzelni pokazuje jak oddziałują na siebie śruta słodowa, woda i powietrze. Dlatego należy od samego początku starać się powstrzymywać wpływ tlenu.

Nawet przy całkowitym usunięciu tlenu nie można ograniczyć enzymatycznego rozkładu przez ***lipooksygenazę***. Lipooksygenaza jest wytwarzana podczas kiełkowania i przede wszystkim lokowana w kiełku liściowym i korzonkach. W słodzie enzym ten jest głównie nagromadzony w kiełku liściowym. Optimum wartości pH enzymu ≅ 6,0. Znaczna część lipooksygenazy zostaje zniszczona podczas suszenia słodu. W ciemnym słodzie bardziej niż w jasnym. Pomimo to w słodzie pozostaje aktywna ponad jedna trzecia lipooksygenazy.

Po ześrutowaniu lipooksygenaza znajdująca się w kiełkach liściowych szybko uaktywnia się i może w zwykle niskich temperaturach zacierania oraz wysokim pH wody we względnie krótkim czasie rozłożyć nienasycone kwasy tłuszczowe i wytworzyć samoutleniające się produkty, które mogą później doprowadzić do karbonyli starzenia.

Dla uniknięcia tych procesów utleniania i dalszych przemian od rozpoczęcia śrutowania istnieją trzy możliwe warianty:

- Eliminacja dostępu tlenu przez zastąpienie go nieczynnym gazem (CO_2 lub N_2),
- Zacieranie w wysokich temperaturach 60°C lub wyższej (p. rozdz. 3.2.3.2),
- Obniżenie pH przy zacieraniu na 5,1 do 5,2 (patrz rozdz. 3.2.1.8).

W czasie zacierania zostają także uwolnione nasycone kwasy tłuszczowe. Mętna filtracja zacieru i złe oddzielenie osadów przenoszą większe ilości wolnych kwasów tłuszczowych do brzeczki, co może doprowadzić do problemów z filtracją.

Ponadto pewne ilości kwasów tłuszczowych, o średniej długości łańcucha, wytwarzane są przez drożdże w czasie fermentacji. Podczas leżakowania mogą one czasem przechodzić do piwa i ujemnie wpływać na jego pienistość.

3.2.1.7 Dalsze procesy rozkładu i rozpuszczania

Część nie rozpuszczonych jeszcze *związanych organicznie fosforanów* jest uwalniana przez fosfatazy. Fosforany te są bezwarunkowo konieczne dla przeprowadzenia alkoholowej fermentacji. Część fosforanów reaguje z solami dającymi twardość wody i dzięki temu powoduje zmianę pH i znacznie zwiększa buforowość brzeczki.

Podczas zacierania, ze wzrostem czasu jego trwania i temperatury, uwalniane są ***garbniki i antocyjanogeny*** z łuski, a także z bielma. Procesem tym można sterować w czasie zacierania tylko w niewielkim stopniu.

Wyżej cząsteczkowe garbniki i antocyjanogeny mają istotne znaczenie dla powstawania zmętnienia w piwie, gdzie wiążą się z wyżej cząsteczkowymi substancjami białkowymi i wytrącają się. Wywierają również ujemny wpływ na smak piwa. Niskocząsteczkowe garbniki oddziaływają dodatnio poprzez redukujące działanie. Ta zdolność redukująca może być utrzymana przez unikanie natlenienia przy zacieraniu i filtracji zacieru.

Uwalnianie cynku

Cynk jako śladowy element ma duże znaczenie dla syntezy białka, rozmnażania się drożdży i tym samym dla fermentacji. Przy braku cynku dochodzi do wlokącego rozmnażania drożdży, ciągnącej się fermentacji i do niezupełnej redukcji dwuacetylu. Dlatego należy w miarę możności odzyskać cynk zawarty w słodzie.

Tylko ok. 20% zawartości cynku w słodzie przechodzi do roztworu i ilość ta zmniejsza się w czasie zacierania. Kiedy ilość cynku obniży się poniżej wartości progowej 0,10 do 0,15 mg/l, może dojść do wymienionych wyżej trudności fermentacyjnych.

Na wyższą zawartość cynku oddziałują korzystnie:

niska wartość pH
niskie temperatury zacierania
stosunek zasypu do nalewu jak 1:2,5

Jest wiele możliwości wyrównania niedostatku cynku:

- Dodatek chlorku cynku, stosowany zwykle w innych krajach, w Niemczech prawo czystości na to nie zezwala;
- Ponieważ w zacierze rozpuszcza się tylko część cynku i większość pozostaje w wysłodzinach, można konieczną zawartość cynku uzyskać w ten sposób, że niewielką ilość wysłodzin i biologicznego kwasu miesza się w stosunku 1:1 i pozostawia ok. jednego dnia do osadzenia się. Następnie płyn wzbogacony o cynk sterylizuje się i dodaje w małych dawkach do drożdży nastawnych;
- Cynk w kwaśnym roztworze względnie łatwo ulega przemianom, można więc ściany naczynia do zakwaszania wykonać z cynku. Ponieważ uległyby szybko przedziurawieniu i zniszczeniu, wystarczy włożyć blachę cynkową jako anodę-protektor do zbiornika biologicznego zakwaszania. Niemieckie prawo czystości również na to nie zezwala!

3.2.1.8 Biologiczne zakwaszanie

Przez współdziałanie czynnego pH soli wapnia i magnezu w wodzie, szczególnie z fosforanami i innymi składnikami słodu, wartość pH zacieru waha się ok. 5,6 do 5, 8. Jednak stwierdzono już, że szereg procesów i zmian przebiegało znacznie szybciej i lepiej przy niższej wartości pH.

Dlatego celowe jest znaczne obniżenie wartości pH (aż do 5,1-5,2). Obniżenie następuje przez

- dodatek mineralnych kwasów, jeśli jest to prawnie dozwolone, lub
- biologiczne zakwaszanie, tj. przez hodowlę bakterii kwasu mlekowego, które zresztą stanowią mikroflorę powierzchni słodu, a tym samym nie są żadną obcą substancją. Wytwarzają one dużo kwasu mlekowego, który obniża wartość pH.

W zależności od punktu zakwaszania rozróżnia się

- zakwaszanie zacieru i
- zakwaszanie brzeczki.

Obie metody zazwyczaj stosuje się w kombinacji lub pojedynczo.

Ważnym zabiegiem jest zakwaszenie zacieru na początku zacierania i /lub zakwaszanie brzeczki. Wymienia się następujące zalety (137):

- znacznie poprawia się działanie enzymów, gdyż wszystkie ważne enzymy z wyjątkiem

α-amylazy są w kwaśnym środowisku aktywniejsze,

- w niskich wartościach pH przechodzi więcej substancji wzrostowych do roztworu, np. zwiększa się ilość cynku,
- wzrasta wydajność ekstraktu,
- poprawia się wytrącanie białka (lepszy przełom),
- poprawia się potencjał redoks, dzięki czemu zmniejsza się utlenianie,
- szybciej przebiega filtracja zacieru,
- tłumiony jest wzrost barwy podczas gotowania brzeczki,
- wzmocniona zostaje aktywność fosfataz i przez uwolnienie fosforanów zwiększa się zdolność buforowania,
- szybciej przebiega fermentacja dzięki lepszemu wytrącaniu się osadów, szybszemu obniżeniu się wartości pH i wyższemu stopniowi odfermentowania w fermentowni,
- filtracja jest lepsza dzięki niższej lepkości,
- smak jest bardziej zaokrąglony, pełniejszy i łagodniejszy,
- goryczka chmielowa jest przyjemniejsza,
- piwo jest bardziej świeże, smaczniejsze, jędrniejsze i z pełniejszym charakterem,
- piana jest bardziej gęsta i stabilniejsza,
- barwa piwa jest jaśniejsza,
- można się spodziewać lepszej stabilności smakowej, zwłaszcza że lipooksygenaza jest czuła na wartości pH poniżej 5,2 i wtedy nie jest już aktywna,
- fizyko-chemiczna stabilność jest lepsza, mniejsza skłonność do zmętnień białkowych,
- u konsumenta pobudzane jest trawienie przez pozytywny wpływ kwasu mlekowego,
- zmniejszona podatność piwa na zakażenia dzięki
  - niskiemu pH: szkodliwe dla piwa drobnoustroje nie rozwijają się poniżej wartości pH 4,4,
  - wyższemu stopniowi ostatecznego odfermentowania, przez co jest niska zawartość cukrów,
  - lepszemu rozmnażaniu drożdży, które przytłumiają szkodniki piwa jako konkurentów.

To wszystko jest uzasadnieniem celowości zakwaszania zacieru na początku zacierania. Ponieważ fosfatazy uwalniają znaczną część fosforanów, które mają istotny udział w buforowaniu, obniżone pH zostaje ponownie podniesione (*również przez dodanie wód wysładzających podczas filtracji zacieru - przyp. tł.*). Dlatego opłaca się zakwaszać także brzeczkę. Brzeczkę powinno się zakwaszać, jak zobaczymy później, nie na początku gotowania, lecz lepiej pod koniec albo dopiero po gotowaniu.

Podczas wytwarzania brzeczki należy dążyć do uzyskania optymalnej wartości pH 5,1 do 5,2

W zależności od sposobu zakwaszania rozróżnia się

- dodatek kwasów lub
- biologiczne zakwaszanie.

3.2.1.8.1 Dodatek kwasów

Z wyjątkiem krajów, w których piwo warzy się wg prawa czystości, dodaje się niekiedy do zacieru i/lub do brzeczki kwas; w ogóle używa się kwasu fosforowego, lub innych kwasów mineralnych, takich jak kwas solny lub kwas siarkowy, które pomawia się jednak o korozję i czarne zabarwianie szlachetnej stali.

Dodatek kwasu musi być dokładnie określony przez miareczkowanie (p. rozdz. 3.2.1.8.2). Kwas natychmiast dysocjuje w ogromnych ilościach zacieru wzgl. brzeczki do postaci jonów.

Aby obniżyć wartość pH o 0,1 należy dodać

- do zacieru 0,64 gramorównoważnika kwasu/100 kg słodu w zacierze lub
- do wybijanej brzeczki 0,32 gramorównoważnika kwasu/100 kg słodu w brzeczce przy pełnym kotle.

Daje to następujące dawki kwasu na 100 kg słodu (167):

Kwas	Dodatek do zacieru g	= ml	Dodatek do brzeczki g	= ml
100% kwas mlekowy	58		29	
80% kwas mlekowy	72	60	36	30
37% kwas solny	63	53	32	27
98% kwas siarkowy	32	17	16	9

3.2.1.8.2 Wytwarzanie kwasu

W Niemczech do zakwaszania używany jest kwas mlekowy uzyskiwany biologicznie omówionym poniżej sposobem.

Myślą przewodnią **biologicznego zakwaszania** zacieru i/lub brzeczki jest co następuje:

Dodatek obcych substancji zgodnie z prawem czystości nie jest dozwolony. Słód nie jest żadną obcą substancją i zawiera na swej powierzchni w ogromnej ilości bakterie kwasu mlekowego. Te bakterie wytwarzają w temperaturze 48°C do 2% kwasu mlekowego w roztworze; więcej same nie zniosą.

Gdyby bakteriom kwasu mlekowego pozwolić rozmnażać się w całym zacierze lub brzeczce, warka stałaby się zbyt kwaśna. Aby celowo obniżyć wartość pH, należy

przeprowadzić w osobnym naczyniu fermentację mlekową i z tego wyliczoną dokładnie ilość dodać do zacieru i/lub do brzeczki.

Podstawowym warunkiem biologicznego zakwaszania jest odpowiedni szczep bakterii kwasu mlekowego. Zalecane są czyste kultury (137, 206):

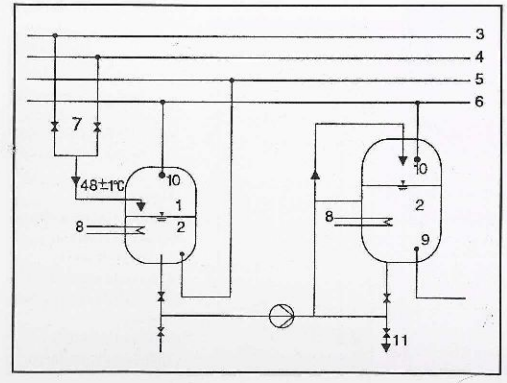
Lactobacillus amylovorus lub
Lactobacillus amylolyticus.

- Obydwa te gatunki mają dużą zdolność wzrostu w brzeczce piwnej (szybko rozmnażają się),
- posiadają zdolność wysokiego zakwaszania do 2% kwasu mlekowego i są aktywne do wartości pH < 3,
- są homofermentatywne, tzn. wytwarzają tylko kwas mlekowy,
- wykazują wzrost w wysokich temperaturach do 52°C,
- wytwarzają w wysokim udziale L-mleczan, który ma duże znaczenie fizjologiczno-żywieniowe,
- nie są szkodliwe dla piwa (są wrażliwe na chmiel i nie rozwijają się poniżej 30°C),
- nie wytwarzają żadnych amin ani innych toksyn, jak również dwuacetylu i
- można je łatwo uzyskać.

Rozmnażanie bakterii odbywa się w urządzeniu zakwaszającym (rys. 3.29), które składa się z propagatora (1) i zbiornika składowego (2).

W propagatorze zostaje zmieszana zakwaszona brzeczka i rozcieńczona brzeczka przednia w stosunku ok. 1:1 dokładnie w 48±1°C i ta temperatura zostaje dokładnie utrzymana. Bakterie kwasu mlekowego rozwijają się lepiej przy odcięciu powietrza, co jednocześnie eliminuje zakażenia aerofilne (np. drożdże Candida), więc brzeczkę ***nasyca się CO_2.***

Przebieg biologicznego zakwaszania powinien być tak wyregulowany, żeby fermentor był



Rys. 3.29
Schemat do biologicznego zakwaszania
(1) propagator, (2) tank składowy, (3) przednia brzeczka, (4) odgazowana zimna woda, (5) dwutlenek węgla, (6) przewód CIP, (7) urządzenie do mieszania, (8) pręt grzejny, (9) nagazowywanie, (10) CIP - głowica natryskowa

opróżniany w połowie do zbiornika składowego (2) w rytmie warek i zaraz znów dopełniany taką samą ilością rozcieńczonej przednicj brzeczki z następnej warki. Zawartość kwasu mlekowego wynosi ok. 0,8 do 1,2%.

Nadkwaszona brzeczka dokwasza się do 1,8-2,2% w tanku składowym i może być odbierana od dołu celem dodania do zacieru lub wybijanej brzeczki.

Przy ***zakwaszaniu zacieru*** dodaje się z doświadczenia ok.

- 1%przy zacieraniu i
- 1 do 2% przy końcu gotowania.

Przy wyłącznym ***zakwaszaniu brzeczki*** dodaje się ok.

- 2% do wybijanej brzeczki.

W zależności od dobowej liczby warek i wielkości browaru potrzebna jest odpowiednia liczba naczyń (rys. 3.29a). Należy brać pod uwagę, że w naczyniu składowym zawsze jeszcze ma miejsce dokwaszanie do zawartości kwasu 1,8 do 2,2%. Więcej swego własnego produktu przemiany materii bakterie nie zniosą, tak więc poziom zakwaszenia sam się nastawi.

Potrzebną ilość kwasu mlekowego można wyliczyć. Wymaganą ilość bierze się z tabeli (patrz poniżej). Żeby w zacierze lub brzeczce, która została wyprodukowana z 1 t zasypu (65 hl z 11,5%), obniżyć wartość pH o 0,3 potrzeba 0,8% roztworu kwasu mlekowego

w zacierze

3 (·0,1 pH)·60 ml/kg·1000 kg = 180000 ml = = 180 l

w brzeczce

3 (·0,1 pH)·30 ml/kg·1000 kg = 90000 ml = 90 l

Według tego można się liczyć przy użyciu 0,8% roztworu kwasu mlekowego (w ml) na 1 kg słodu z następującym zapotrzebowaniem na kwas mlekowy(= l/t zasypu):

Dla obniżenia pH o:	trzeba dodać litrów do: zacieru	brzeczki
0,1	60	30
0,2	120	60
0,3	180	90
0,4	240	120

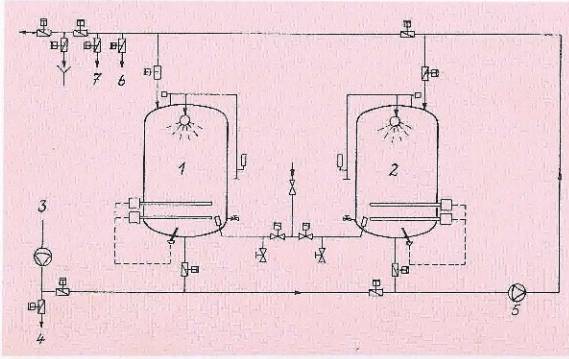
Sporządzenie naturalnego zakwasu ze słodu

W kolbie 5 l nastawia się 4 l wody wodociągowej w 46 do 48°C z 1 kg nie rozdrobnionego słodu i stawia na 48 do 72 h do cieplarki. Kolbę wyposażyć w rurkę fermentacyjną (15).

Kontrola stężenia kwasu mlekowego

Stężenie kwasu mlekowego sprawdza się przy pomocy miareczkowania. W tym celu 25 ml roztworu podstawowego miareczkuje się n/10 NaOH, przy czym

1 ml n/10 NaOH odpowiada 9 mg kwasu mlekowego.



Rys. 3.29a

Urządzenie do biologicznego zakwaszania

(1) propagator,
(2) tank do składowania zakwaszonej brzeczki,
(3) dopływ brzeczki,
(4) do kotła warzelnego,
(5) pompa do zakwaszonej brzeczki,
(6) do kadzi zacierncj,
(7) do kotła warzelnego

Miareczkuje się przeważnie ze wskaźnikiem, błękitem bromotymolowym (0,1 g błękitu bromotymolowego w 100 ml 20% alkoholu); wskaźnik ten zmienia barwę przy wartości pH 7,0 (kwaśny – żółty, zasadowy – niebieski).

Przykład: Na 25 ml roztworu zużyto 14,1 ml NaOH do zmiany zabarwienia.

1 ml n/10 NaOH = 9mg kwasu mlekowego

14,1 ml n/10 NaOH = 9 x 14,1 = 126,9 mg kwasu mlekowego

W 25 ml roztworu znajduje się 126,9 mg kwasu mlekowego

W 100 ml roztworu znajduje się 126,9 x 4 = 507,6 mg

507,6 mg = 0,51 g/100ml

Roztwór zawiera 0,51 g kwasu mlekowego/ 100ml ≈ 0,51%.

Rozmnażanie zakwasu podstawowego

Z zakwasu podstawowego można uzyskać ok. 2 l zakwasu mlekowego, które przenosimy do ok. 10 l zbiornika. W odstępach 8 do 12 h podstawowy zakwas rozmnożyć przez dodanie po 4 l brzeczki 8% (46°C). Kiedy uzyska się ok. 10 l, można dalej pracować z termostatycznie regulowanym zbiornikiem. Ważne jest utrzymywanie temperatury 48±1°C, ponieważ w niższych temperaturach mogą się rozwinąć inne drobnoustroje, które wytwarzają inne produkty przemiany materii, co może szkodliwie wpływać na smak.

Przykład:

Obliczenie ilości kwasu mlekowego do wybijanej brzeczki.

Aby 1 l wybijanej brzeczki o pH 5,54 obniżyć do wartości pH 5,20, zużyto 14,25 ml podstawowego roztworu kwasu mlekowego. Wynik miareczkowania roztworu podstawowego wyniósł 28,7 ml n/10 NaOH. Ile g kwasu mlekowego (100%) na hl należy dodać?

Wiemy :

1 ml n/10 NaOH = 9 mg kwasu mlekowego, zatem:

28,7 ml n/10 NaOH = 28,7 x 9 = 258,3 mg kwasu mlekowego.

W 25 ml roztworu znajduje się 258,3 mg kwasu mlekowego

W 100 ml roztworu jest 258,3 x 4 = 1033,2 mg kwasu mlekowego.

1033 mg = 1,033 g

100 ml brzeczki zawiera 1033 mg kwasu mlekowego

14,25 ml brzeczki zawiera

$$\frac{1033 x 14,25}{100} = 147\ mg = 0,147\ g$$ kwasu mlekowego

Dla 1 l zużyto 0,147 g kwasu mlekowego

dla 1 hl potrzeba 14,7 g kwasu mlekowego.

Dodatek kwasu mlekowego

Dodatek kwasu do zacieru powinien następować możliwie wcześnie. Umożliwia to uaktywnienie większości enzymów i wstrzymanie działania wrażliwej na kwasy lipooksygenazy, która w przeciwnym razie zaraz rozpoczęłaby rozkładać łatwo reagujące nienasycone kwasy tłuszczowe. Można naturalnie dodawać kwas także do wody do zacierania, żeby osiągnąć możliwie wczesny skutek, lecz do tego potrzebne jest oddzielne naczynie. Niemieckie prawo czystości zabrania takiego dodatku.

Możliwe i rozsądne jest dozowanie kwasu przy mieleniu w śrutowniku na mokro (p. rozdz. 3.2.3.3).

Dodatek kwasu w czasie gotowania brzeczki zwykle ma miejsce na krótko przed końcem gotowania. Umożliwia to lepszą izomeryzację żywic chmielowych w mniej kwaśnym środowisku i lepsze ich wykorzystanie.

Oprócz tego czas półtrwania rozpadu SMM do DMS zostaje skrócony dzięki wyższej wartości pH.

3.2.1.9 Skład ekstraktu

Około 75 do 80% masy zasypu jest rozpuszczane w warunkach zacierania. Nierozpuszczalna reszta zostaje w wysłodzinach. Główna ilość wytworzonego ekstraktu podczas zacierania

(rys. 3.30) składa się z cukrów (maltoza, maltotrioza, glukoza), które są zwiększone przez wcześniej wytworzone cukry w jęczmieniu (sacharoza, fruktoza). Te fermentujące cukry tworzą w brzeczkach 11-12-procentowych 61 do 65% ogólnego ekstraktu i dają tym samym ostateczny stopień odfermentowania w takiej wysokości. Ten rzeczywisty stopień odfermentowania (F_p) odpowiada pozornemu stopniowi odfermentowania 75 do 80% (F_p), którym w browarze zawsze się posługujemy. Pozostała niefermentująca część ekstraktu składa się głównie z dekstryn, substancji białkowych, substancji gumowatych i substancji mineralnych (patrz rozdz. 4.3.3.3).

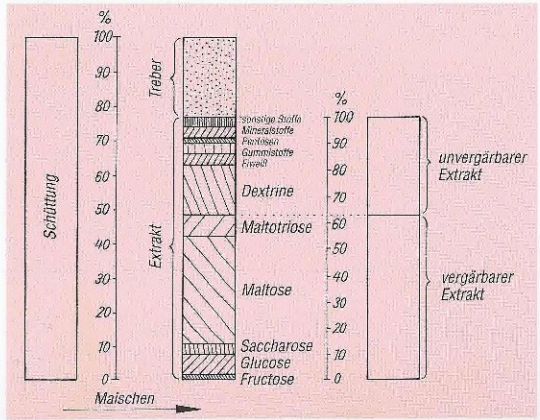
3.2.1.10 Wnioski dla prowadzenia zacierania

Dla prowadzenia zacierania wynika z powyższego szereg wniosków i od początku należy zwracać uwagę na następujące parametry:

- utrzymywać optymalne temperatury dla enzymów,
- unikać szkodliwego wpływu tlenu na jakość piwa,
- wykorzystywać wpływ wartości pH na przemiany i procesy,
- unikać tworzenia się sił ścinających.

Ważne są następujące czynniki:

- kondycjonowanie słodu w wysokich temperaturach,
- krótki czas zatarcia,
- równomierne mieszanie, bez tworzenia się grudek,
- unikanie natleniania,
- wpompowywanie zacieru od dołu,
- stosowanie odgazowanej wody,
- mieszadło z bezstopniową regulacją sterowania częstotliwością,
- przy podgrzewaniu wysokie obroty, w czasie przerw o połowę mniejsze,
- pompy do zacieru sterowane częstotliwością bez kontaktu z powietrzem,
- unikanie niepotrzebnych sił ścinających,
- przewody rurowe o łagodnych łukach,
- wartość pH poniżej 5,4; optymalna 5,2 powoduje
  - delikatniejsze, bardziej zaokrąglone piwa w świeżym stanie
  - lepszą stabilność smakową
- niska zawartość tlenu w wodzie technologicznej przez
  - odgazowanie wody lub przemycie azotem albo CO_2.



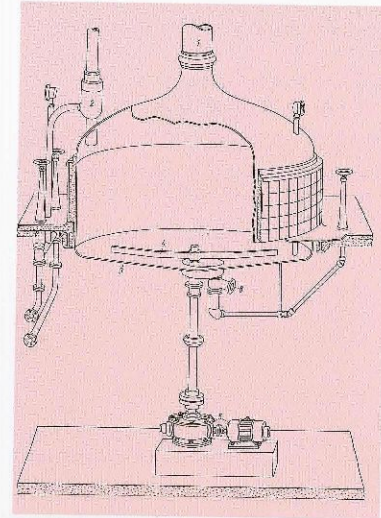
Rys. 3.30
Skład ekstraktu
↑ Zasyp, ↑ ekstrakt, ↑ wysłodziny, → Zacieranie, fruktoza, glukoza, sacharoza, maltoza, maltotrioza, dekstryny, białko, substancje gumowate, pentozy, substancje mineralne, pozostałe substancje, ↑ ekstrakt fermentujący, ↑ ekstrakt niefermentujący

3.2.2 Naczynia do zacierania

Do zacierania potrzebne są dwa naczynia, gdyż w metodzie dekokcyjnej część brzeczki jest gotowana, podczas gdy reszta pozostaje. Dlatego przynajmniej jedno z tych naczyń musi być podgrzewane; w nowoczesnych warzelniach są podgrzewane oba naczynia (***kocioł zacierny i kadzio-kocioł zacierny)*** (rys. 3.31).

Budowa kotła zaciernego w zasadzie odpowiada budowie kotła warzelnego. Jest on jedynie mniejszych rozmiarów, ponieważ objętość całości zacieru jest dużo mniejsza niż objętość brzeczki przy pełnym kotle. Jeżeli pracuje się metodą infuzyjną, wtedy potrzebne jest tylko jedno naczynie zacierne (kocioł zacierny).

Duże znaczenie ma **zwymiarowanie mieszadła**. Liczba jego obrotów musi być dopasowana do średnicy kotła i nie powinna przekraczać 2 m/s (maksymalnie 3 m/s) prędkości na obwodzie, gdyż w przeciwnym razie na cząstkach zacieru wystąpią siły ścinające, które mogą zmienić substancje zawarte w zacierze (rozdz. 3.2.4.1).

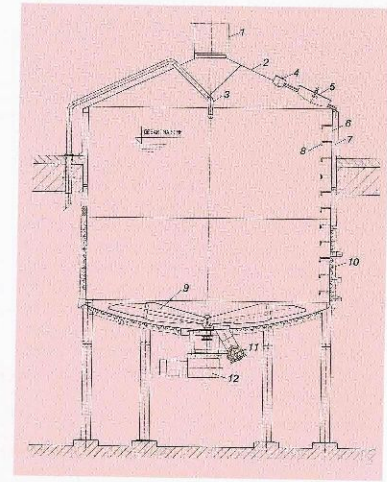


Rys. 3.31
Kadź zacierna (stary rodzaj budowy)

Szczególne znaczenie ma **ogrzewanie kotła zacierne**go. Dawniejsze podwójne dna ogrzewane parą nie są obecnie najnowszym stanem techniki. Z powodu dużej powierzchni są one bardzo zagrożone przez próżnię, jeżeli zapomni się pod koniec gotowania odkręcić zawór powietrzny. W takim przypadku dno kotła zostaje zdeformowane, a więc nieużyteczne. Podwójne dna mają także złą wymianę cieplną.

Obecnie ogrzewanie odbywa się przez przyspawane półrury na dnie i korpusie kotła (rys. 3.32). Uzyskuje się dzięki temu ok. 20% lepszą wymianę cieplną.

Na miejsce dobrze przewodzącej ciepło miedzi weszła tańsza stal. Oprócz tego miedź nie nadaje się dla metody CIP. Ponieważ jednak stal chromoniklowa ma względnie złą przewodność cieplną, części ogrzewane są obecnie niekiedy



Rys. 3.32
Kadzio-kocioł zacierny
(1) komin do oparów
(2) kopuła
(3) mycie CIP
(4) oświetlenie wewnętrzne
(5) otwór wzierny i wejściowy
(6) ogrzewanie płaszczowe
(7) izolacja
(8) szczeble drabinki
(9) mieszadło
(10) rura grzewcza
(11) doprowadzanie i odprowadzanie zacieru
(12) napęd mieszadła

wykonywane z „czarnej" stali, która ma znacznie lepszą przewodność cieplną i od wewnątrz nawalcowuje się ją cienką warstwą stali chromoniklowej (tzw. stal platerowana). Oczywiście materiały platerowane są drogie w przerobie, toteż przeważnie stosuje się odpowiednio większe powierzchnie grzewcze ze stali chromoniklowej (rys. 3.33).

Parę, zanim odda ona swoją energię, wprowadza się przy nadciśnieniu 2 do 3 bar i kondensuje w wielu strefach. Dzięki stosowaniu stabilnych półrur nie ma już zagrożenia, że przy zamkniętym zaworze parowym i wytworzeniu się próżni może cokolwiek ulec ściągnięciu, dlatego niepotrzebne jest przewietrzanie pod koniec gotowania.

Tworzący się kondensat jest odprowadzany przez garnek kondensacyjny, który pracuje przeważnie jako zawór pływakowy. Dzięki temu ciśnienie w rurach grzejnych zostaje utrzymane, podczas gdy woda kondensacyjna jest odprowadzana bezciśnieniowo.

Do surowca niesłodowanego stosuje się osobny kocioł, w którym surowiec ten, po dodaniu do niego ok. 10% słodu, jest podgrzewany i gotowany.

Kocioł do surowca niesłodowanego ma taką samą budowę jak kadzio-kocioł zacierny, lecz jest mniejszych rozmiarów, bo zacier surowca niesłodowanego jest mniejszy. Dawniej kocioł taki był budowany jako zamknięty kocioł ciśnieniowy i surowiec niesłodowany gotowało się pod ciśnieniem w ponad 100°C. Jednak zwiększenie ekstraktu w odniesieniu do zużytej energii nie opłacało się i po pewnym czasie zaprzestano gotowania pod ciśnieniem. Obecnie gotuje się w otwartych naczyniach (rys. 3.33b).

Bardzo często rezygnuje się z odrębnego naczynia do surowca niesłodowanego i używa się kotła zaciernego.

3.2.3 Zacieranie

Przez zacieranie rozumie się zmieszanie śruty (zasypu) z wodą (nalewem) o przewidzianej temperaturze.

3.2.3.1 Prowadzenie nalewu

Stosunek zasypu do nalewu głównego jest bardzo ważny, ponieważ wynika z niego stężenie przedniej brzeczki. Można więc liczyć, że

1 dt zasypu z 3 hl nalewu

da 20-proc. brzeczkę przednią.

Oczywiście zacier robi się mocniejszy o 16-20% niż powinna być brzeczka podstawowa piwa, dzięki czemu można jeszcze dać wystarczającą ilość wody do wyługowania wysłodzin.

Z prowadzenia nalewu zostaje więc ustalony skład brzeczki i typ piwa:

Dla ***jasnych piw*** stosuje się dużą ilość nalewu

3 do 4 hl/100 kg zasypu.

Tym samym osiąga się szybsze reakcje enzymatyczne.

Dla ***ciemnych piw*** dobiera się bardziej gęste zaciery z

3 do 3,5 hl/100 kg zasypu.

Wtedy osiąga się to, że substancje aromatyczne słodu wytworzone poprzez karmelizację mogą się udzielić w zwiększonym stopniu zacierowi.

Objętość zatartego słodu wynosi

0,7 do 0,8 hl/100 kg zasypu.

Zadanie:
Ile wody należy użyć do zatarcia, aby przy zasypie 1600 kg otrzymać 18-proc. brzeczkę przednią?

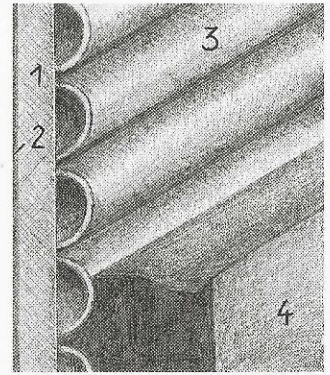
1dt daje 20-proc. brzeczkę z 3 hl wody (patrz wyżej)

16 dt daje 20-proc. brzeczkę z 3 x 16 = 48 hl wody

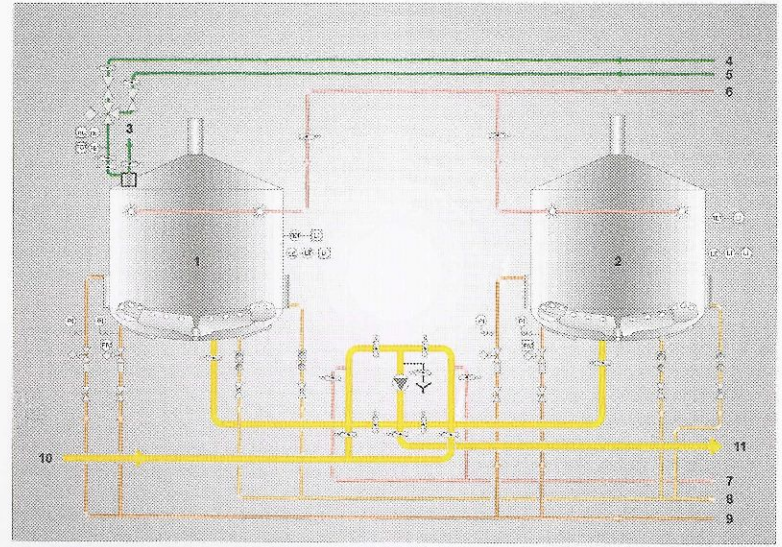
16 dt daje 18-proc. brzeczkę z

$$\frac{48\ hl \times 20\%}{18\%} = 53{,}33\ hl$$

Do zatarcia należy użyć 53,33 hl wody, żeby uzyskać 18-proc. brzeczkę przednią przy zasypie 1600 kg.



Rys. 3.33. Ogrzewanie przez przyspawane półrury
(1) dno stalowe, czarna blacha,
(2) nawalcowana blacha chromowo-niklowa,
(3) półrury do doprowadzania ciepła,
(4) izolacja



Rys. 3.33b. Układ naczyń zacierania
(1) kadzio-kocioł zacierny, (2) kocioł zacierny, (3) słód/surowiec niesłodowany, (4) zimna woda, (5) ciepła woda, (6) przewód CIP, (7) przewód CIP, (8) przewód kondensatu, (9) doprowadzenie pary, (10) dopływ zacieru, (11) do kadzi filtracyjnej

Te 53,3 hl wody dają z 16 dt śruty
53,3 hl + 16 dt x 0,7 hl/dt = 53,3 hl + 11,2 hl = 64,5 hl zacieru.

3.2.3.2 Temperatura zacierania

Temperaturę zacierania określa optymalna temperatura enzymu, który ma jako pierwszy rozpocząć swą działalność.

Dawniej w małych browarach w przeddzień warki mieszano śrutę w zimnej wodzie i pozostawiano taki zacier przez noc. Nazywano to w Niemczech ***digerieren*** (*trawienie, ługowanie – przyp. tł.*). Dawało to nieco lepszą wydajność, lecz do roztworu przechodziły także nieszlachetne substancje. Obecnie metoda ta nie jest brana pod uwagę.

Niskie temperatury zacierania są znów dyskutowane. Komórki skrobiowe śruty słodowej są otoczone osnową białkową, która zespala jak kit hemicelulozy i β-glukany w ścianach komórek endospermy. Żeby amylazy mogły dojść do skrobi, muszą te substancje zostać wpierw rozłożone; i to tym bardziej, im mniej jest rozluźniony słód.

Dlatego właściwy rozkład skrobi musi być poprzedzony ***rozkładem β-glukanów***. Rozkład tych substancji następuje optymalnie w ***temperaturach od 45 do 50°C*** (rozkład białka w 45 do 50°C, β-glukanów w 45°C), lecz enzymy te przechodzą do roztworu już w 35°C, tak więc substrat w optymalnych temperaturach znajdzie się w rozpuszczalnym stanie, jeżeli ***zatrze się w 35°C***. Przy tym osiąga się wyższy ostateczny stopień odfermentowania, chociaż temperatura 35°C nie ma nic wspólnego z rozkładem skrobi. Te fakty przemawiają za 35°C, mało kto jednak zaciera w tak niskiej temperaturze, gdyż

- zacieranie trwa za długo,
- nakłady energetyczne są za wysokie i
- należy się obawiać problemów z pienistością, gdy rozkład białka pójdzie za daleko.

Zwykła w większości browarów ***temperatura zacierania ok. 50°C*** (45 do 55°C) ma zadanie pchnąć naprzód niezupełne jeszcze rozluźnienie przez rozkład β-glukanów i zapobiec przy tym problemom filtracji zacieru i piwa. Dobra filtracyjność i długie szarże filtra są dla zdolności produkcyjnej browaru decydującymi czynnikami. Temperatura 50°C powiększa wystarczającą już pulę wolnych aminokwasów, lecz równocześnie zmniejsza ilość substancji tworzących pianę. Długa przerwa w tej temperaturze daje zawsze złą pianę.

Obecnie browary niemieckie częściej jako ***temperaturę zacierania wybierają 60 do 64°C***. W tej temperaturze β-amylaza może szybko skleikowaną i upłynnioną skrobię optymalnie rozłożyć, a dzięki wysokim temperaturom przy rozkładzie białka mogą się wytwarzać wyżej cząsteczkowe produkty, które zapewnią lepszą trwałość piany. Wymaga to jednak bardzo dobrze rozluźnionych słodów.

Limitującym czynnikiem są wysokie zawartości β-glukanu, które na skutek brakującej aktywności β-glukanazy w podwyższonej temperaturze pozostają i mogą spowodować trudności w filtracji zacieru i piwa. Dotyczy to w pierwszym rzędzie słodów z nieczystych odmianowo upraw jęczmienia lub z przerobu mieszanych odmian i takich słodów, w których dla podregulowania określonych *cytolitycznych wyników* (stopień rozluźnienia białkowego, wartość friabilimetryczna itd.) domieszano w słodowni „krótkiego słodu". Krótki słód zawiera dużo β-glukanu, który przechodzi do zacieru.

Proponuje się (206), sprawdzanie słodu przy pomocy metody szlifowanych ziaren wg Carlsberga (p. rozdz. 2.8.2.10) na *jednorodność*, jeżeli ma być używany do wysokich temperatur zacierania. Wartość jednorodności powinna wynosić 70%, lepiej 75%.

Warunkiem powodzenia przy zacieraniu w wysokich temperaturach jest bardzo dobrze i jednorodnie rozluźniony słód.

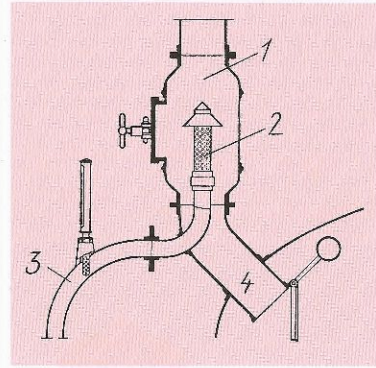
Jeżeli zatrze się taki bardzo dobrze rozluźniony słód w 60 do 64°C, uzyska się szereg korzyści, szczególnie wtedy, kiedy to nastąpi w kombinacji z zakwaszaniem zacieru (wartość pH ~ 5,2):

- zysk na czasie jest znaczny; metody infuzyjne z temperaturami zatarcia 60 do 64°C są krótsze niż 120 min; w ekstremalnych przypadkach można osiągnąć czasy wynoszące tylko 80 do 90 min, lecz są także możliwe metody wysokiego i krótkiego zacierania z jednym lub dwoma warami,
- przez to uzyskuje się jednocześnie oszczędności energii,
- rozkład białka przebiega słabiej; wytwarza się więcej wyżej cząsteczkowych produktów białkowych,
- to znowu daje lepszą pianę,
- przez zmniejszony rozkład białka jest mniejsza zawartość aminokwasów w brzeczce,
- tym samym jest mniej aminokwasów do dyspozycji reakcji Maillarda,
- poprawiona zostaje stabilność smakowa, także przez inaktywację lipooksygenazy w tych wysokich temperaturach.

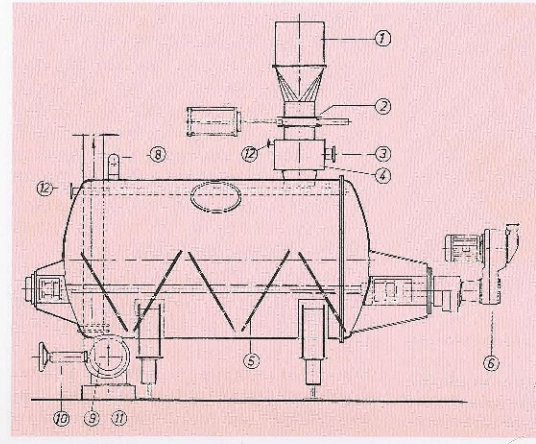
3.2.3.3 Wymieszanie wody i śruty słodowej

Zacieranie musi tak przebiegać, żeby woda i śruta zostały dokładnie ze sobą wymieszane i nie wytworzyły się żadne grudki. Tradycyjny sposób polega na tym, że najpierw do kadzi nalewa się wodę i następnie wsypuje wąskim strumieniem śrutę przy włączonym mieszadle, żeby uzyskać równomierne wymieszanie. Przy tym powstają jednak straty pyłu. Jeszcze bardziej szkodliwe dla jakości jest to, że wraz z zsypywaną śrutą słodową dostaje się do zacieru tlen, przez co zostaje znacznie podwyższona zawartość tlenu w zacierze.

Dla osiągnięcia intensywnego wymieszania wody ze śrutą instaluje się w zsypowej rurze ***przedzaciernik*** (rys. 3.34). Są to urządzenia, w których woda o temperaturze zacierania prze-



Rys. 3.34. Przedzaciernik
(1) dopływ śruty, (2) rura z dyszami, (3) dopływ wody, (4) mieszanina wody i śruty (zacier)



Rys. 3.34a

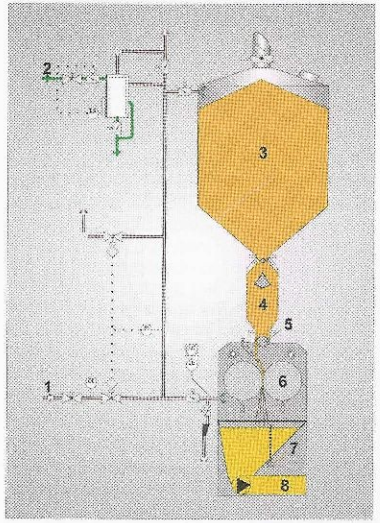
Przedzacierny tank ze skośnymi płytami
(BTE Essen)
(1) dopływ śruty
(2) zawór klapowy
(3) doprowadzenie wody
(4) urządzenie mieszające
(5) skośne płyty
(6) silnik napędowy z bezstopniową regulacją
(8) zawór powietrzny
(9) wylot zacieru
(10) zawór wylotowy
(11) pompa do zacieru
(12) przewód CIP

pływa razem ze śrutą i miesza się z nią bez grudek. Duże znaczenie przypisuje się także dobrej pracy mieszadła.

Ponieważ woda stosowana do zacierania zawiera rozpuszczony tlen, powinna być przedtem odgazowywana.

Interesująca forma zacierania ma miejsce w tanku ze skośnymi płytami (rys. 3.34a). Śruta (1) z wodą (3) są wpuszczane do tanku przez przedzaciernik (4). Tam na wale są poruszane ekscentrycznie rozmieszczone skośnie nachylone do siebie płyty (5). Dzięki temu zacier jest bardzo intensywnie mieszany. Przez wylot (9) przy pomocy pompy (11) zacier jest pompowany do kotła zacierncgo.

Procesy oksydacyjne rozpoczynają się wraz z intensywnym mieszaniem śruty, wody i powietrza (powietrza także ze słodu i z wody). Jeżeli



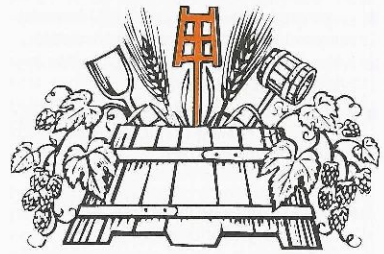
Rys. 3.34b

Zamknięte, wolne od powietrza śrutowanie i przygotowanie zacieru

(1) doprowadzenie gazu (CO_2 lub N_2), (2) woda, (3) słód, (4) szyb do kondycjonowania, (2) walec podający, (6) walce gniotące, (7) sterowanie poziomu odpływu, (8) zacier

chce się powstrzymać te procesy utleniania od samego początku, całą drogę od zbiornika słodu do kadzi zaciernej zamyka się i napełnia gazem obojętnym (CO_2 lub N_2) (rys. 3.34b).

Równocześnie powinno się rozważyć możliwości biologicznego zakwaszania, aby przez obniżenie wartości pH wstrzymać przemiany lipidów.



Rys. 3.35

Rydel zacierny w herbie piwowarskim

Zacieranie można przeprowadzić także w grubej rurze ze ślimakiem mieszającym (np. ślimak z wiosłami) z podłączoną na wyjściu pompą do gęstych substancji (np. ekscentryczna pompa ze ślimakiem globoidalnym). Można także przygotowywać stężone zaciery i przez wprowadzenie obojętnych gazów pracować od początku w warunkach beztlenowych.

W tym miejscu należy również przypomnieć, że nie zawsze było to takie proste, jak obecnie. Jak uciążliwe było dawniej zacieranie, przypomina symbol w herbie piwowarskim. Nie było jeszcze żadnych mieszadeł, zacier musiano mieszać ręcznie ***gracą lub rydlem do zacieru*** (rys. 3.35).

3.2.4 Proces zacierania

Zacieranie polega na tym, że temperatury zacieru podnosi się do optymalnych temperatur dla enzymów, które chcemy dopuścić do działania.

W praktyce stosuje się następujące przerwy wynikające z optymalnych temperatur dla działania enzymów:

45 do 50°C – przerwa białkowa i β-glukanowa

62 do65°C – przerwa wytwarzania maltozy

70 do 75°C – przerwa scukrzenia

78°C – temperatura zakończenia zacierania

W zależności od sposobu podnoszenia temperatury rozróżnia się dwie grupy procesów zacierania:

procesy infuzyjne i

procesy dekokcyjne.

W procesach infuzyjnych całość zacieru w czasie przerw i między nimi aż do temperatury zakończenia zacierania jest podgrzewana, przy czym nie jest gotowana żadna część zacieru.

W procesach dekokcyjnych temperaturę podnosi się w ten sposób, że odbiera się część zacieru i gotuje (***zacier gotowany***). Poprzez przepompowanie gotowanego zacieru do pozostawionej części zacieru podnoszona jest temperatura całości zacieru do temperatury kolejnej przerwy.

3.2.4.1 Dobór metody zacierania

Przy doborze metody zacierania bierze się pod uwagę szereg czynników, które należy uwzględnić, aby wyprodukować zacier i brzeczkę odpowiadające wymaganemu typowi piwa.

Dotyczy to np. udziału fermentujących cukrów, który określa ostateczny stopień odfermentowania lub wysokocząsteczkowych substancji białkowych dla pełni smakowej i trwałości piany w piwie. Proces zacierania daje możliwość wpływu na charakter piwa, a ważne są przy tym następujące czynniki (7):

Jakość słodu

Słody wykazują często wysokie rozluźnienie białkowe. Kiedy z takimi słodami stosuje się długą przerwę w 50°C, istnieje niebezpieczeństwo, że zostanie rozłożone za dużo wysokocząsteczkowego białka; piwo smakuje wtedy pusto i bez wyrazu, a trwałość piany jest zła. Jeżeli słód cytolitycznie jest dobrze rozluźniony, można przy zacieraniu ograniczyć przerwę w 45 do 50°C i wybrać temperatury zatarcia 58 do 62°C.

Jeżeli chce się przy małym rozluźnieniu ścian komórkowych prowadzić dalej rozkład tych ścian, bez dalszego rozkładu białka, zaciera się w 35°C, gdyż tu pracują już wrażliwe na temperaturę β-glukanazy, dzięki czemu podjęte zostanie dobre przygotowanie bielma, natomiast nie występuje jeszcze żaden rozkład białka.

Podnoszenie temperatury przez podgrzewanie gorącą wodą

Stosunek śruty słodowej (zasypu) do głównego nalewu w jasnych piwach wynosi 4 do 5 hl/100 kg słodu. Jeżeli zatrze się w 35°C (lub 50°C), lecz gęsto (słód:woda = 1:2,5) i następnie natychmiast podgrzeje gorącą ponad 95°C wodą do temperatury następnej przerwy 50°C (lub 63°C), procesy rozkładu zostają stłumione, a zwłaszcza ograniczony jest rozkład białek. Po podgrzaniu gorącą wodą zostaje ponownie zapewniony normalny stosunek zasypu do głównego nalewu.

Przez tego rodzaju przyspieszone podniesienie temperatury uzyskuje się zaoszczędzenie energii, gdyż w browarze normalnie występuje nadmiar gorącej wody.

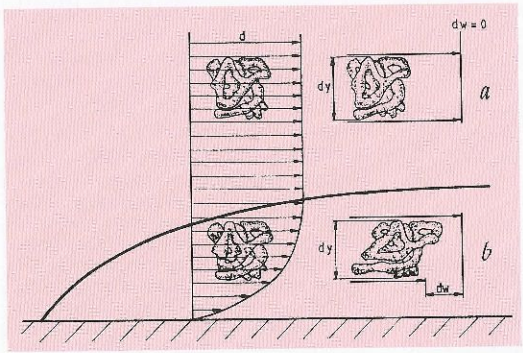
Jeżeli ma być obniżony ostateczny stopień odfermentowania – jak np. w piwach lekkich lub bezalkoholowych – stosuje się również szczególny wariant, tzw. „ogrzewanie z przeskokiem" (***Springmaischverfahren***) (rozdz. 3.2.4.3.4).

Optymalny kontakt pomiędzy enzymami a składnikami słodu

Dla dobrej pracy zacierania szczególne znaczenie ma optymalny kontakt pomiędzy składnikami słodu a rozpuszczonymi w wodzie enzymami, aby im umożliwić dokonywanie rozkładu. Już przy zatarciu należy osiągnąć intensywne wymieszanie śruty słodowej i wody, żeby umożliwić optymalne włączenie się działalności enzymów.

Dużą rolę w czasie zacierania odgrywa ***praca mieszadła***. Dzisiaj nie miesza się już tak intensywnie, lecz podnosi liczbę obrotów mieszadła równolegle do zawartości w zbiorniku stopniowo lub bezstopniowo przy pomocy silnika sterowanego częstotliwością.

Dla odebrania gęstego zacieru należy oczywiście wyłączyć na 5 do 10 min. mieszadło, żeby umożliwić osadzenie się nierozpuszczalnych składników słodu. Po przepompowaniu z powrotem mieszadło uruchamia się jeszcze na 30 min ze średnią szybkością.



Rys. 3.36
Deformacja małych cząstek w warstwie granicznej
(a) forma cząstki w stanie spoczynku lub powolnego ruchu
(b) deformacja przez siły ścinające (wg Hilge-Berdelle)

Intensywne mieszanie zawsze powoduje wmieszanie powietrza i dodatkowo ***siły ścinające.*** Przez siły ścinające rozumie się co następuje:

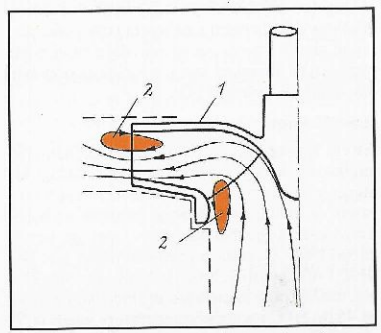
W zacierze, brzeczce i piwie zawarta jest duża ilość substancji, które składają się z wysokocząsteczkowych związków lub skomplikowanych struktur. Te „małe ciała" ulegają deformacji pod naprężeniem przesuwu i mogą przez to zmienić swoją strukturę lub całkiem ją utracić (8).

Duże różnice ciśnienia występują przykładowo wtedy, kiedy skrzydełka pompy lub mieszadła kręcą się szybciej aniżeli może nadążyć napłynąć ciecz (rys. 3.36). Podczas gdy ciało (a) w mieszanym zacierze jest poruszane równomiernie i przy tym zachowuje swój kształt, są deformujące siły w ciele (b) całkiem inne, szczególnie w burzliwych warstwach granicznych (rys. 3.36a) wirników skrzydełkowych, w przewodach z ostrymi zagięciami, przy przepływie po chropowatych powierzchniach wewnętrznych przewodów, w wąskich szczelinach pomp wyporowych itd. Występujące siły nazywamy ***siłami ścinającymi.*** Takie siły występują wszędzie tam, gdzie przez szybkie poruszanie powstają silne różnice prędkości, a więc np.

- we wszystkich rodzajach pomp (p. rozdz. 10.5.1),
- w wirówkach lub
- przewodach i naczyniach, w których występują burzliwe przepływy.

Jako przykład ujemnych zmian w strukturze i właściwościach spowodowanych siłami ścinającymi można wskazać β-glukan. Przez siły ścinające cząsteczki jego zostają wyprostowane i dochodzi do wytworzenia struktury żelu. Żel β-glukanu można wytwarzać bezpośrednio przy pomocy silnych sił ścinających, pod warunkiem że jest odpowiednia ilość wysokocząsteczkowego β-glukanu (10).

Wysoka zawartość żelu β-glukanu jest jednak związana z pogorszeniem filtracyjności piwa i należy dążyć do tego, żeby w miarę możliwości w ogóle nie był on wytwarzany (patrz rozdz. 3.2.1.4).



Rys. 3.36a. Powstawanie sił ścinających
(1) skrzydło wirnika
(2) rejony turbulencji

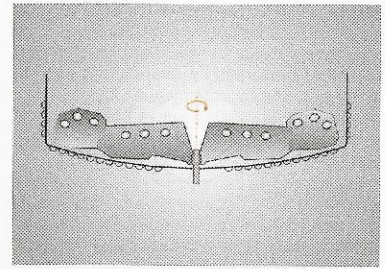
Wytwarzanie żelu jest także zależne od alkoholu, toteż żel β-glukanu wytwarza się dopiero w jego obecności.

Przyczyniać się do tego można ukierunkowaną pracą mieszadła. Użycie za małego mieszadła może z drugiej strony spowodować złe wymieszanie ze znacznymi różnicami temperatur, przez co ucierpi ekstrakcja składników słodu. Oznacza to, że mieszadło musi być bardzo dobrze dobrane.

Aby utrzymać obciążenie siłami ścinającymi tak małe jak to tylko możliwe, konieczne jest używanie mieszadła z dużymi skrzydłami (rys. 3.37), z możliwie małą liczbą obrotów i prędkością obwodową poniżej 1 m/s (por. str. 185).

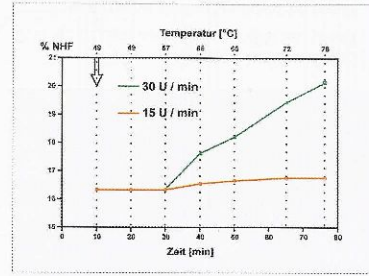
Jednak zacier nie zawsze ma taką samą lepkość i dlatego stawia mieszadłu zmienny opór.

W niskich temperaturach (30 do 35°C) lepkość jest najpierw wysoka, w 50 do 52°C jest znacznie niższa i wzrasta silnie w ponad 60°C z powodu rozpoczynającego się kleikowania. W zacierach z ryżem lepkość wzrasta później z powodu wyższej temperatury kleikowania ryżu i maksymalną lepkość osiąga w 80°C lub wyżej.



Rys. 3.37
Skrzydła mieszadła do ochronnego mieszania zacieru

Występujące przy mieszaniu siły ścinające można określić na podstawie nie hydrolizujących drobnych substancji (NHD) ulegających przy tym zmianie. Okazuje się, że zarówno NHD, jak i siły ścinające od ok. 57°C wzrastają i to tym bardziej, im szybciej się miesza (rys. 3.37a). Dlatego należy szczególnie w wyższych temperaturach zacierania próbować unikać tworzących się sił ścinających poprzez oszczędne mieszanie.



Rys. 3.37a
Wzmocnienie tworzenia się sił ścinających poprzez szybsze mieszanie w wyższych temperaturach
(NHF = NHD, U/min = O/min, Zeit = czas, Temperatur = temperatura)

Należy zwrócić uwagę, że w temperaturach powyżej 57 do 58°C niewrażliwa na temperaturę solubilaza – β-glukanowa uwalnia we wzrastającym stopniu wysokocząsteczkowe β-glukany, które już nie mogą być rozłożone. Przez siły ścinające cząsteczki te mogą być wyprostowane i tym samym zmienione w żelową postać, dlatego należy powyżej tych temperatur (57 do 58°C) wolniej mieszać, aby uniknąć sił ścinających. Do tego należy mieć mieszadło z napędem sterowanym częstotliwością.

Procesy oksydacyjne przy zacieraniu

Powietrze jest rozpuszczalne w wodzie w ograniczonym zakresie. Rozpuszczona ilość jest zależna od temperatury, ciśnienia i wzajemnego wymieszania.

W wyniku napowietrzania notujemy

- ***ciemniejszą barwę brzeczki i piwa,***
- ***bardziej szeroki smak w piwie i***
- ***mniejszą stabilność smakową.***

W miedzianych naczyniach procesy oksydacyjne przebiegają intensywniej.

To są powody, aby unikać napowietrzania lub je ograniczać. Jak i gdzie dostaje się powietrze do zacieru? Dla przykładu:

przez wlew zacieru od góry,

przez wysokie szybkości mieszadła,

przez wciąganie trąb powietrznych przy przepompowywaniu.

Natlenienie przy zacieraniu można znacznie zmniejszyć przez

- *używanie odgazowanej wody*
- *podłączenie przedzaciernika lub zmieszanie z wodą w śrutowniku (rozdz. 3.1.5.2)*
- *wpompowanie zacieru od dołu (rys. 3.37 i 3.37a)*
- *regulację prędkości mieszadła i*
- *unikanie zasysania powietrza przy przepompowaniu.*

W wyniku pracy z ubogą zawartością tlenu osiąga się:

- *lepszy rozkład β-glukanów i lepszy rozkład skrobi*
- *podwyższony ostateczny stopień odfermentowania*
- *szybciej przebiega filtracja zacieru*
- *barwy brzeczek i piw są jaśniejsze*
- *smak piwa staje się przyjemniejszy*
- *podwyższa się stabilność smakowa piwa.*

Są to powody, żeby zmniejszać natlenienie w warzelni.

3.2.4.2 Zacieranie infuzyjne

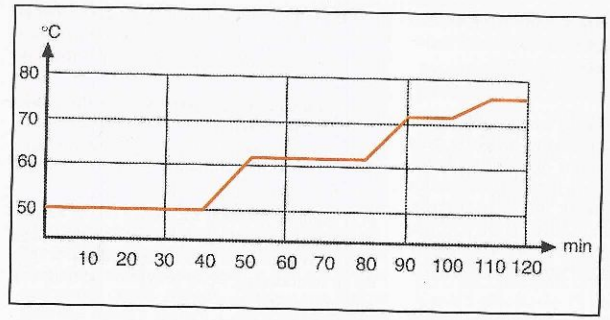
Procesy infuzyjne są najprostszymi sposobami zacierania, ponieważ całość zacieru pozostaje zawsze razem. Podgrzewanie całego zacieru następuje przy utrzymywaniu przerw w uzasadnionych enzymatycznie temperaturach.

W procesach infuzyjnych jest potrzebne tylko jedno naczynie, które musi być jednak podgrzewane. Ponieważ żadnego zacieru nie przepompowuje się, natlenienie jest małe. Jest to zaleta, gdyż tlen przy zacieraniu powoduje utlenianie polifenoli i tym samym prowadzi do bardziej szerokiego smaku i ciemniejszych barw w gotowych piwach.

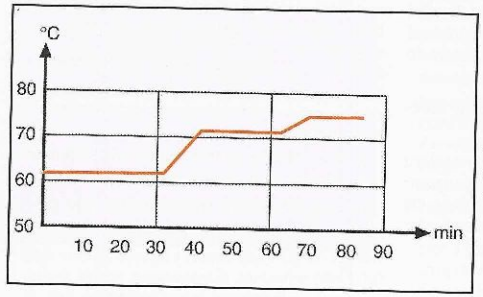
Dużą rolę odgrywa w procesach infuzyjnych mieszanie. Mieszadło powinno poprzez silnik o przełączalnych biegunach z dwiema prędkościami być dopasowane do każdego odcinka procesu lub nastawiane bezstopniowo. Przy tym duże znaczenie przypisuje się konstrukcji skrzydeł mieszadła. Jeżeli wyłącza się mieszadło na czas przerw, wtedy wydłuża się czas scukrzenia i czas filtracji zacieru, a wydajność jest gorsza, gdyż występują różnice temperatur, które pogarszają wysładzanie i pracę enzymów.

Jeżeli stosuje się bardzo dobry słód, wystarczy przetrzymać optymalne temperatury amylaz po ok. 20 min jedną po drugiej i po scukrzeniu kończyć zacieranie (rys. 3.38). Znaczy to, że bardzo dobrze rozluźniony słód można zatrzeć w 62°C bez obawy, że brzeczka może mieć za dużo wysokocząsteczkowych β-glukanów (z zagrożeniem problemami filtracyjnymi) i za mało wolnoaminowego azotu, który jest wymagany w ilości 200 do 220 mg/l. W wysokich temperaturach peptydazy już nie pracują i nie mogą wytworzyć żadnych aminokwasów. Natomiast przez bardziej wytrzymałe na gorąco proteinazy zostaje wytworzone wyżej cząsteczkowe białko wytwarzające pianę. Zaleta wysokiej temperatury zatarcia i związanego z tym czasu trwania zacierania poniżej 1,5 h jest obecnie wykorzystywana z powodzeniem przez szereg browarów, jeśli tylko mają do dyspozycji bardzo dobrze rozluźniony słód.

Ograniczającym czynnikiem przy opuszczeniu przerwy w 50°C jest stopień rozluźnienia słodu (p. rozdz. 2.4.1.3.1). Przy mało lub źle rozluźnionych słodach uwolniony już β-glukan musi zostać wpierw rozłożony przez β-glukanazy. Problem leży w tym, że przerwa dla β-amylazy (62 do 65°C) nie może być pominięta. Wtedy jest jednak nieuniknione, że w tej temperaturze będzie jeszcze uwalniany β-glukan przez solubilazę – β-glukanową; i to tym bardziej, im gorzej jest rozluźniony słód (196). Przy normalnie rozluźnionym słodzie (lepkość < 1,52 mPas, zawartość β-glukanu < 150 mg/l) proces zacierania trwający co najwyżej dwie godziny z początkiem w temperaturze 50°C jest najpewniejszą drogą, którą wybiera wiele browarów (rys. 3.38a).



Rys. 3.38a
Proces zacierania
zacieranie w 50°C



Rys. 3.38. Proces zacierania
zacieranie w 62°C z bardzo dobrze rozluźnionym słodem

Zaletą procesów infuzyjnych jest przede wszystkim to, że:

- *łatwo dają się automatyzować,*
- *mają mniejsze zapotrzebowanie energetyczne niż procesy dekokcyjne,*
- *są łatwiejsze w dozorowaniu.*

Niekorzystna jest nieco gorsza reakcja jodowa w procesach infuzyjnych i ew. nieco mniejsza wydajność warzelni przy gorszej jakości słodu.

Duże zalety procesów infuzyjnych powodują, że obecnie metody te są coraz szerzej stosowane.

3.2.4.3 Zacieranie dekokcyjne

W procesach dekokcyjnych część zacieru jest odbierana i gotowana. Przy łączeniu z pozostawioną częścią całość zacieru podgrzewa się.

Zależnie od ilości tych odbieranych zacierów do gotowania rozróżnia się trój-, dwu- i jednozacierową (lub jednowarową) metodę z ogólną tendencją do mniejszej liczby gotowań.

Odbiór i gotowanie części zacieru ma następujące skutki:

- *mniejszy rozkład białka w części gotowanej przez szybsze podgrzewanie,*
- *daleko posunięte kleikowanie i upłynnienie skrobi,*
- *silniejsze wyługowanie składników łuski,*
- *zwiększone wytwarzanie melanoidyn,*
- *zwiększone odpędzenie siarczku dwumetylu (DMS),*
- *ew. nieco wyższa wydajność warzelni.*

Procesy dekokcyjne przez gotowanie części zacieru mają wyższe zużycie energii, które

ogólnie jest ok. 20% wyższe niż w procesach infuzyjnych, gdyż podgrzewanie całości zacieru oczywiście także zużywa energię.

Gotowanie zacieru

Rodzaj i ilość gotowanego zacieru ma szczególne znaczenie dla procesów rozkładu przy zacieraniu. Po wyłączeniu mieszadła nierozpuszczalne cząstki zacieru osadzają się na dnie naczynia jako ***gęsty zacier,*** podczas gdy rozpuszczalne części zacieru zbierają się w górnej części naczynia jako ***rzadki zacier***. Przy pomocy odchylanej rury można wtedy ściągnąć rzadki zacier.

Gęsty zacier powinien być gotowany, aby zawarte jeszcze cząstki skrobi rozgotować. Rzadki zacier nie powinien być gotowany, ponieważ jest wzbogacony w enzymy, które przeszły do roztworu.

Jako zacier do gotowania stosuje się możliwie gęsty zacier.

Przy łączeniu zacierów (gotowanego zacieru z pozostawioną resztą zacieru) dla ochrony enzymów gotowany zacier przepompowuje się przy stałym mieszaniu do pozostawionej części zacieru, nigdy odwrotnie (rys. 3.39).

Dla uniknięcia niepotrzebnego i szkodliwego napowietrzenia, obecnie nie wpompowuje się gotowanego zacieru od góry, lecz pompuje od dołu.

Ilość gotowanego zacieru, którą należy odebrać, aby po dodaniu jej z powrotem uzyskać wymaganą temperaturę, jest warzelanemu znana z praktyki i wynosi ok. jednej trzeciej do jednej czwartej ilości zacieru.

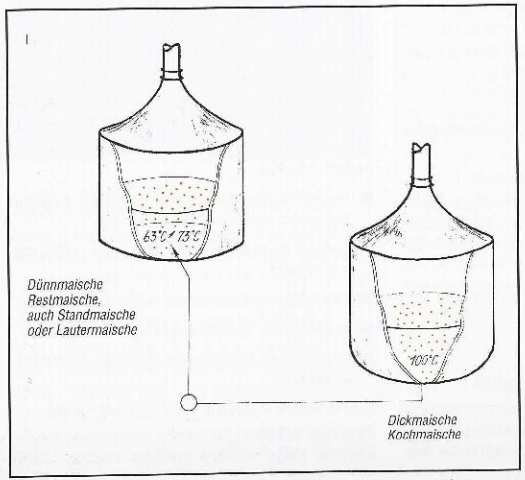
Przy zmianie sposobu zacierania udział zacieru gotowanego można obliczyć z następującego wzoru. Wychodzi się z założenia, że ze względu na schłodzenie lepiej przyjmować temperaturę gotowanego zacieru = 95°C.

$$\text{Gotowany zacier w hl} = \frac{\text{wymagany wzrost temperatury w stopniach C} \cdot \text{cały zacier w hl}}{\text{95 stopni C} \cdot \text{temperatura pozostawionej części zacieru w stopniach C}}$$

Przykład:

130 hl zacieru o temperaturze 50°C powinno zostać podgrzane do 64°C.

Jaką ilość zacieru należy odebrać do gotowania?



Rys. 3.39. Łączenie zacierów
(↑Rzadki zacier, pozostawiona część zacieru, czysty zacier, –> Gęsty zacier, gotowany zacier)

$$V_{zg} = \frac{(64-50) \cdot 130}{(95-50)}$$

$$V_{zg} = \frac{14^0C \cdot 130\ hl}{45^0C} = 40{,}4\ hl$$

Ilość gotowanego zacieru powinna wynosić 40,4 hl.

W czasie gotowania zostają zniszczone wszystkie enzymy. Do całkowitego rozkładu skrobi są więc potrzebne amylazy z nie gotowanej pozostałej części zacieru. Dlatego nie można gotować całości zacieru. Czas gotowania również odgrywa ważną rolę, gdyż z dłuższym gotowaniem rozpuszcza się więcej skrobi. Jednak gotowanie jest związane ze znacznym zużyciem energii. Toteż czas gotowania ogranicza się do niezbędnego minimum. Żeby zaoszczędzić energię, rezygnuje się w miarę możliwości całkowicie z odparowania podczas gotowania. Zwykle gotuje się

zaciery jasnych piw 10 do 15 min
zaciery ciemnych piw 20 do 30 min.

Ponieważ wiele gotowanych zacierów potrzebuje więcej energii i czasu, dąży się do ograniczenia liczby gotowanych zacierów (do 1 lub 2), aby pracować taniej i szybciej.

Według liczby gotowanych zacierów rozróżnia się

jednowarowe procesy zacierania, dwuwarowe procesy zacierania i trójwarowe procesy zacierania.

3.2.4.3.1 Jednowarowe procesy zacierania

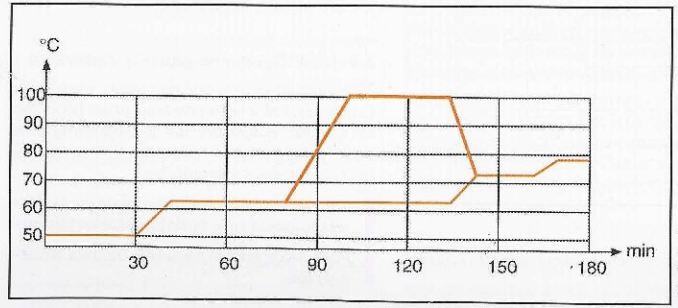
Jednowarowe procesy zacierania są w zasadzie procesami infuzyjnymi, w których podwyższenie temperatury osiąga się – przeważnie pomiędzy 65 i 75°C – przez odpompowanie części zacieru, gotowanie i połączenie. Przykład takiego jednowarowego procesu zacierania: zatarcie w 35°C i powolne podgrzanie do 50°C (lub natychmiastowe zatarcie w tej temperaturze; rys. 3.40); przerwa w 50°C i podgrzanie całego zacieru do 64°C, tu znowu dłuższa (maltozowa) przerwa. Następnie odebranie zacieru do gotowania i gotowanie 15 do 30 min. W końcu połączenie zacierów na 75°C i scukrzenie.

Gotowany zacier można także zastosować pomiędzy przerwami 35 i 50°C lub 50 i 64°C, lecz wtedy udziały gotujących zacierów wychodzą mniejsze i dają także mniejszy efekt.

Szczególnym wariantem jednowarowego procesu zacierania jest ***garowy proces zacierania.*** Zaciera się w 35°C i odbiera się ok. 20% „czystego" (klarownego) zacieru. Cały pozostały zacier podgrzewa się z zachowaniem przerw do zagotowania i gotuje 30 do 40 min. Następnie schładza się go do 65°C, dodaje klarowny zacier i po przerwie maltozowej podgrzewa do temperatury scukrzenia. Po scukrzeniu podgrzewa się do temperatury końcowej zacierania.

3.2.4.3.2 Dwuwarowe procesy zacierania

Klasyczne procesy zacierania dwuwarowego rozpoczynają się zatarciem w 50°C. Po krót-



Rys. 3,40 Jednowarowy proces zacierania

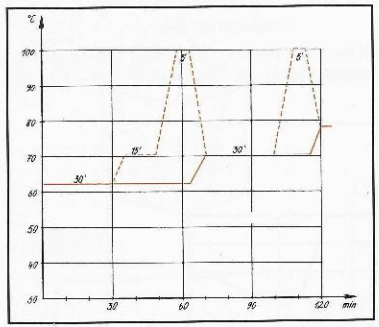
kiej przerwie odbiera się gęsty zacier i przy zachowaniu krótkich przerw podgrzewa do zagotowania. Gotuje 15 do 20 min i przez połączenie podnosi temperaturę całości zacieru do 64°C; następnie robi się przerwę maltozową. Po krótkim czasie odbiera się drugi zacier i podgrzewa do zagotowania. Drugi zacier przeważnie gotuje się nieco krócej, podgrzewa nim całość zacieru do 75°C i kończy zacieranie. Dwuwarowy proces zacierania trwa ok. 3 do 3,5 h.

Kiedy ogląda się diagram takiego procesu zacierania, to rzuca się w oczy, że nadmiernie jest podkreślona temperatura 50°C, co powoduje bardzo daleko posunięty rozkład białka i β-glukanów. Cierpi na tym pełnia smakowa i pienistość, powstaje pusto smakujące piwo, którego smak można tylko częściowo wyrównać przez dodatek ciemnego słodu.

Aby to zmienić, można zatrzeć w 50°C i podgrzać i/lub dogrzać gorącą wodą do 62°C, aby móc dokładnie kontrolować przerwę białkową.

Inną możliwością jest zatarcie w 35°C i odebranie pierwszego gotowanego zacieru. Oczywiście należy także i tu kontrolować rozkład białka, co obecnie ma miejsce przede wszystkim przy pomocy kontroli zawartości WAN.

Szczególnym rodzajem dwuwarowego procesu zacierania jest ***wysoko-krótki proces zacierania*** (Hochkurzmaischverfahren) (rys. 3.41). Temperatura zacierania wynosi 62°C i proces trwa tylko dwie godziny – stąd też pochodzi nazwa tego procesu, który można również przeprowadzić jako jednowarowy. Proces ten wymaga bardzo dobrze i równomiernie rozluźnionych słodów.



Rys. 3.41

Krótki proces zacierania w wysokich temperaturach

Temperatura zacierania 62°C leży ponad optymalnymi temperaturami rozkładu białka; pomimo to ma miejsce jeszcze intensywny rozkład białka, który jednak prowadzi do uzyskania dobrej piany. Natomiast rozkład β-glukanów nie ma już miejsca, tak więc warunkiem tej metody są bardzo dobrze rozluźnione słody.

3.2.4.3.3 Trójwarowe procesy zacierania

W trójwarowych procesach podnoszenie temperatur ma miejsce pomiędzy głównymi etapami zacierania. Są one następujące:

- 35°C – początek zacierania
- 50°C – przerwa białkowa/rozkład substancji gumowatych
- 64°C – przerwa maltozowa i
- 75°C – przerwa scukrzenia.

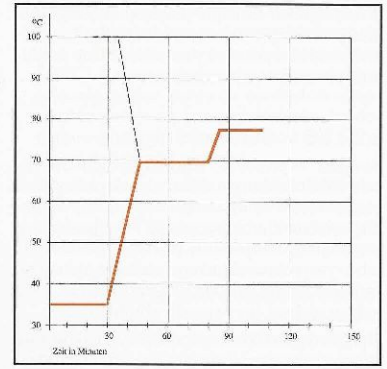
Kolejne skoki temperatury osiągane są przez odebranie, gotowanie i połączenie gotowanej części zacieru z pozostawioną resztą. Pozostawione reszty zacierów w tym procesie bardzo długo czekają w głównych temperaturach zacierania, a gęsty zacier jest obrabiany bardzo intensywnie, więc trójwarowe procesy zacierania dają bardzo słodowo-aromatyczne piwa. Ponieważ proces ten trwa 5 do 6 h i wymaga bardzo dużo energii, jest używany bardzo rzadko i raczej do specjalnych piw ciemnych.

W pilzneńskim Browarze Prazdrój pracuje się jeszcze metodą trójwarową.

3.2.4.3.4 Specjalne procesy zacierania

Jako specjalne procesy zacierania określa się te procesy, które się wyróżniają przez jakąś specyficzność, odrębność lub jest ona dołączona po zwykłej metodzie zacierania. Celem specjalnych procesów zacierania jest

- ***utrzymywać niski ostateczny stopień odfermentowania*** (np. Springmaischverfahren)
- ***poprawiać jakość piwa*** (np. metoda Kubessay) lub
- ***podnosić wydajność*** (np. ciśnieniowy proces zacierania, metoda wytrawiania = Digestionverfahren)



Rys. 3.42. Metoda zacierania z przeskokiem (Springmaischverfahren)

Metoda zacierania z przeskokiem (podgrzewania gorącą wodą) (rys. 3.42)

Zaciera się w ok. 35°C gęsto i dolewa gorącą wodę, aż do ok. 72°C. „Przeskakuje" się w ten sposób temperatury β-amylazy. Wprawdzie α-amylaza powoduje scukrzenie, ale duża ilość dekstryn daje bardzo niski stopień ostatecznego odfermentowania (ok. 40%), tak jak jest wymagane w piwach odżywczych. Metoda zacierania z przeskokiem (Springmaischverfahren) jest stosowana tylko pod warunkiem użycia dobrze rozluźnionego słodu.

Ponieważ podgrzewa się gotującą wodą, metodę taką nazywa się także *metodą podgrzewania gorącą wodą*. Metodę tę można także stosować do każdej innej temperatury.

Metoda Kubessa

Przy zacieraniu z oddzielnymi frakcjami śruty według Kubessa i Merz śruta pozostaje w oddzielnym przedziale zbiornika lub zostaje zatarta w gorącej wodzie 64°C. Łuskę dodaje się dopiero na końcu zacierania. Celem metody zacierania śruty bez łuski jest zapobieganie wyługowaniu łuski. Podczas gotowania duża ilość substancji garbnikowych i gorzkich przechodzi z łuski do roztworu i w ten sposób pogarsza jakość ekstraktu. Metoda ta jest rzadko stosowana.

Procesy ciśnieniowego zacierania

W normalnym zacieraniu skrobia nigdy nie przechodzi całkowicie do roztworu. Wysłodziny zawsze zawierają jeszcze skrobię. Jeżeli zacier gotuje się pod ciśnieniem 2 do 3 bar, wtedy wydajność wzrasta o 2 do 3%. Byłaby to bezwzględnie znaczna poprawa, ale jakość rozpuszczonego dodatkowo ekstraktu nie jest dobra i na ogół rezygnuje się z tego na rzecz jakości. Prócz tego metoda ciśnieniowego zacierania wymaga zamykanego, ciśnieniowego kotła zaciernego.

3.2.4.3.5 Procesy zacierania z użyciem surowca niesłodowanego

Cukier potrzebny do fermentacji uzyskuje się przy pomocy enzymów ze skrobi słodu. Ale skrobia znajduje się nie tylko w słodzie, lecz we wszystkich rodzajach zbóż. W wielu krajach zboże jest znacznie tańsze niż względnie drogi słód. Jeśli nie jest się związanym – jak w Niemczech – prawem czystości, można do wytwarzania brzeczki stosować również to tańsze zboże, które w przeciwieństwie do słodu określa się jako surowiec niesłodowany.

Enzymy słodu muszą wtedy podczas zacierania dokonać również rozkładu tego surowca. Jeżeli stosuje się nie więcej niż 15 do 20% niesłodowanego zboża, wtedy do rozkładu wystarczy potencjał enzymatyczny słodu. Przy wyższych udziałach surowca niesłodowanego należy jednak dodawać preparaty enzymatyczne dla wzmocnienia przebiegów rozkładu, gdyż w przeciwnym razie mogłoby to trwać niedorzecznie długo albo nawet całkiem zatrzymać się.

Jako surowiec niesłodowany używany jest głównie ryż i kukurydza, lecz także jęczmień, pszenica i sorgo. To ostatnie przede wszystkim w afrykańskich krajach. Cukier wprawdzie nie jest niesłodowanym zbożem, lecz odgrywa także rolę jako nośnik ekstraktu.

Chemiczny rozkład skrobi przy użyciu surowca niesłodowanego jest we wszystkich przypadkach taki sam jak przy rozkładzie skrobi słodowej, ale ziarenka skrobi różnych rodzajów zbóż

są różnej wielkości i bardzo różnie zmagazynowane w komórkach skrobiowych (patrz rozdz. 1.5) oraz otoczone różnymi substancjami okrywającymi. Prowadzi to do różnego zachowywania się ziaren skrobi przy kleikowaniu i tym samym do koniecznego zróżnicowania w prowadzeniu procesu w zależności od rodzaju zboża. Zarazem inne substancje w tych ziarnach zbóż zostają również rozpuszczone lub rozłożone przez enzymy słodu, tak więc skład zacieru i brzeczki, a tym samym i piwa zmienia się. Oddziałuje to na fermentację, filtrację, smak piwa i inne parametry. Toteż piwa wyprodukowane z udziałem ryżu mają wytrawny smak, natomiast piwa z kukurydzą mają skłonność do miękkiego smaku.

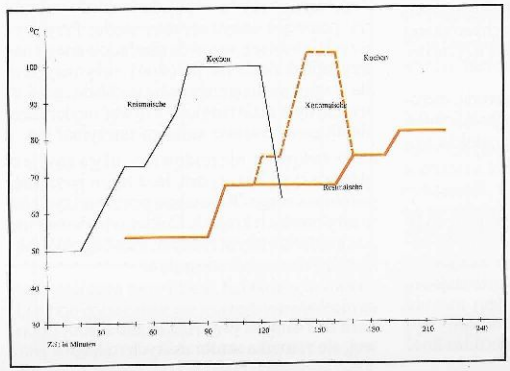
Szczególnie przy przerobie surowca niesłodowanego należy mieć na uwadze to, że białka w surowcu niesłodowanym są zmagazynowane w postaci stałej i wskutek brakującego procesu słodowania są podczas zacierania tylko nieznacznie rozłożone. Przez to zaciery z surowcem niesłodowanym mają mniej niskocząsteczkowych związków białkowych niż zaciery słodowe. Dlatego należy dążyć do tego, żeby poprzez odpowiedni rozkład białka dostarczyć drożdżom ich wystarczającą ilość. Mimo to piwa z surowcem niesłodowanym zawierają zawsze mniej azotu i polifenoli, mianowicie o tyle mniej, o ile jest większy udział surowca niesłodowanego.

Wspólny ze słodem przerób surowca niesłodowanego powoduje zawsze zmianę smaku piwa, wzrastającą ze wzrostem udziału surowca niesłodowanego. Tę zmianę smakową, która niekoniecznie musi być postrzegana jako pogorszenie, należy przy przerobie surowca niesłodowanego od samego początku szczególnie brać pod uwagę, zwłaszcza kiedy współzawodniczy się na rynku z rywalami, którzy produkują piwo na samym słodzie.

3.2.4.3.5.1 Zacieranie z ryżem

Ryż jest w przerobie najtrudniejszym surowcem niesłodowanym. Ziarenka skrobi ryżu są bardzo małe i bardzo twarde (rys. 1.30). W ciepłej wodzie ziarna pęcznieją. Aby je skleikować, należy temperaturę podnieść do 75-80°C lub wyżej; ale w tej temperaturze amylazy po krótkim czasie zostają zniszczone, tak więc należy wybrać inny sposób obróbki ryżu.

Oprócz tego skrobia ryżowa przy kleikowaniu pęcznieje bardzo silnie i więcej niż inne rodzaje zbóż, przez co łatwo może dojść do zapalenia się kleiku. Jeżeli zatrze się gęsto, pęcznienie to może być tak duże, że mieszadło ma trudności w mieszaniu zacieru, a nawet zostaje unieruchomione, jeżeli nie podejmie się przeciwko temu odpowiednich działań. Dlatego należy znaleźć kompromis, doprowadzić do tego, aby α-amylazy słodu upłynniły kleik i uczyniły go mniej lepkim. Jednak α-amylazy w temperaturze 80°C już po krótkim czasie zostają unieczynnione i przestają go upłynniać. Jest kilka sposobów rozwiązania:



Rys. 3.43
Zacieranie z ryżem (przykład 1)

1. Jeżeli zacieru ryżowego nie zatrze się za gęsto, istnieje mniejsze niebezpieczeństwo, że się zapali. Do roztwarzania ryżu chętnie używa się kotła do surowca niesłodowanego. W starych urządzeniach jest to zamknięty kocioł, w którym zacier ryżowy kleikuje się pod ciśnieniem (= w temperaturach ponad 100°C) i zostaje optymalnie roztworzony; obecnie zacier surowca niesłodowanego zwykle gotuje się bez nadciśnienia, bo dodatkowa energia ledwie równoważy odzyskany dodatkowy ekstrakt.
2. Grysik ryżowy zaciera się z 10 do 20% słodowego zacieru i przez 10 do 20 min przetrzymuje w 78°C (rys. 3.43). W ten sposób prawie wszystkie ziarenka skrobi ryżowej zostają skleikowane i upłynnione.
3. Są odmiany ryżu, które kleikują dopiero powyżej 80°C. Kto więc chce postępować pewnie, powinien zacier ryżowy podgrzać do 85-90°C, skleikować i następnie znów schłodzić do 70-75°C, aby po dodaniu zacieru słodowego po krótkim czasie go scukrzyć.

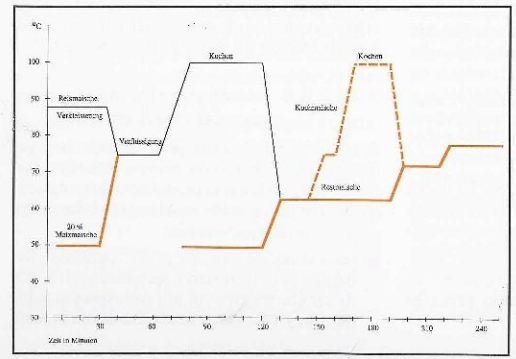
   Ta metoda ma jednak tę wadę, że bardzo trudno jest dobrze wymieszać słodowy zacier z bardzo lepkim zacierem ryżowym. Zawsze lepiej jest, jeśli znajdzie się możliwość, żeby zacier ryżowy przed skleikowaniem wymieszać z częścią zacieru słodowego (przynajmniej 10%).
4. Dalsza możliwość polega na tym, żeby zacier ryżowy z 10 do 20% zacieru słodowego powoli podgrzewać do ponad 80°C (rys. 3.44) i kleikującą się skrobię upłynniać aktywną jeszcze α-amylazą.
5. Zupełnie pewną metodą jest dodanie preparatu (np. Termamyl NOVO) termostabilnej, bakteryjnej α-amylazy, która jest czynna jeszcze w temperaturach ponad 80°C i upłynni lepki zacier ryżowy. Patrz rozdz. 3.2.4.3.5.6.

Jeżeli udało się zacier ryżowy skleikować i upłynnić, została pokonana najtrudniejsza operacja. Dalszy przerób może przykładowo tak przebiegać, jak to jest przedstawione poniżej:

Punktem wyjścia jest drobny grysik ryżowy; zacier ryżowy powinien być zatarty z nie mniej niż 5 hl wody na 100 kg grysiku ryżowego. Ryż daje ok. 2% wyższą wydajność niż słód, co należy uwzględnić w zasypie.

Zacieranie z ryżem; przykład 1 (rys. 3.43)

1. Ryż zostaje zatarty z 10 do 20% zasypu słodu w 50°C i 10 do 15 min jest zacierany dalej. Ilość nalewu wynosi ok. 4 hl na 1 dt zasypu, aby nie zrobić za gęstego zacieru.
2. Temperatura jest wolno podnoszona do 72-75°C i przetrzymana przez 10 min.
3. Temperaturę podnosi się w 10-20 min do 85°C, przy tym skrobię ryżową kleikuje i upłynnia.
4. Zacier surowca niesłodowanego podgrzewa się do zagotowania i gotuje przez 30 do 40 min.



Rys. 3.44
Zacieranie z ryżem (przykład 2)

5. Przy rozpoczęciu gotowania zacieru surowca niesłodowanego zostaje zatarty słód w 50°C (przerwa białkowa!).
6. Zacier surowca niesłodowanego jest powoli przepompowany przy stałym mieszaniu do zacieru słodowego. Temperatura całości zacieru po zmieszaniu wynosi 63°C (przerwa maltozowa!).
7. Po 15 min przerwy zostaje odebrany gęsty zacier, podgrzany do zagotowania i gotowany przez 15 min.
8. Przez połączenie zacierów temperatura całego zacieru zostaje podwyższona do 74°C (przerwa scukrzania!).
9. Po scukrzeniu całość zacieru zostaje podgrzana do 78°C i kończy się zacieranie.

Są odmiany ryżu, których skrobia kleikuje dopiero powyżej 80°C. Aby osiągnąć całkowite skleikowanie, niektóre browary podgrzewają według propozycji *Le Covaisiera* zacier z samego surowca niesłodowanego najpierw do 85-90°C (lub zacierają surowiec niesłodowany w tej temperaturze), przy czym skrobia ryżowa zostaje całkowicie skleikowana. Przez zmieszanie z zimniejszym zacierem słodowym schodzi się do ok. 75°C. Dalszy przerób jest tym samym zapewniony.

Zacieranie z ryżem; przykład 2 (rys. 3.44)

1. Ryż zostaje sam skleikowany w 85 do 90°C. Lepkość zacieru po skleikowaniu nie może być za wysoka, gdyż w przeciwnym razie zacier będzie za gęsty (w skrajnym przypadku może zostać zatrzymane mieszadło) i mogą wystąpić trudności ze scukrzeniem. Ryż trzeba więc zmieszać z co najmniej 5 hl nalewu (wody) na 1 dt (*i dodać trochę słodu! Przyp. tł.*).
2. Gorący zacier ryżowy jest połączony z zimniejszym (30 do 50°C) zacierem słodowym (20% masy słodu), tak że temperatura wynosi 72 do 75°C.
3. W 72 do 75°C stosuje się przerwę 20 do 30 min i skleikowana skrobia ryżowa zostaje upłynniona przez enzymy słodowe w dobrym stanie.
4. Upłynniony zacier ryżowy zostaje podgrzany do zagotowania i jest gotowany przez 30 do 40 min.
5. Przy rozpoczęciu gotowania zacieru ryżowego zostaje zatarta reszta słodu w 50°C (przerwa białkowa!).
6. Zacier ryżowy zostaje wpompowany do zacieru słodowego przy stałym mieszaniu i temperatura całości zacieru podniesiona do 63°C (przerwa maltozowa!).
7. Po 15 min przerwy zostaje odpompowany gęsty zacier, podgrzany do zagotowania i przez 15 min gotowany.
8. Przez połączenie zacierów temperatura ogólnego zacieru zostaje podwyższona do 74°C (przerwa scukrzania!).
9. Po scukrzeniu cały zacier podgrzewa się do 78°C i kończy zacieranie.

3.2.4.3.5.2 Zacieranie z kukurydzą

Ziarno kukurydzy posiada bardzo oleisty zarodek (do 5% tłuszczu), który przy przygotowywaniu ziarna usuwa się i odzyskuje z niego olej kukurydziany. Kukurydza przychodzi do browaru odkiełkowana jako grysik (grits) lub płatki (flakes).

Grysik (grits) jest oferowany drobno zmielony i zwykle jest roztwarzany oraz kleikowany w kotle do surowca niesłodowanego z dodatkiem lub bez dodatku słodu.

Płatki (flakes) są produktem suszonym na walcach w płatkarni, a ich skrobia jest skleikowana. Dzięki temu płatki można bez dalszej wstępnej obróbki dodać do kadzio-kotła zaciernego.

Dla dalszego przerobu kukurydzy obowiązują te same reguły co dla czystego słodu, przy czym zwykle stosuje się dwuzacierowe procesy.

3.2.4.3.5.3 Zacieranie z jęczmiennym surowcem niesłodowanym

Jęczmień niesłodowany, jako dodatek nie przekraczający 20% zasypu, można przerabiać ze słodem bez dodawania preparatów enzymatycznych. Znane są dwie możliwości wstępnego przygotowania jęczmienia:

- jako śruta jęczmienna przez rozdrobnienie bardzo twardych ziaren jęczmiennych w oddzielnym walcowym lub młotkowym młynie; przy tym silnie zrośnięta łuska zostaje także rozdrobniona, co należy uwzględnić przy filtracji w kadzi filtracyjnej lub
- jako płatki jęczmienne z obłuszczonego lub nie obłuszczonego jęczmienia otrzymane w specjalnym młynie do produkcji płatków; metoda ta oczywiście wymaga bardzo dużych nakładów i również w browarze nie może być stosowana bez wysokich kosztów.

W ten sposób przygotowany wstępnie jęczmienny surowiec niesłodowany może być przerabiany razem z zacierem słodowym. Podczas gdy z rozkładem skrobi prawie nie ma problemów, to rozkład białka trzeba mieć na oku. Kłopoty mogą być przede wszystkim z β-glukanami, gdyż nic tu nie zostało jeszcze rozłożone i należy oczekiwać problemów z filtracją. Skuteczne okazują się tu przerwy w 45 do 50°C, optimum temperatury endo-β-glukanazy (patrz rozdz. 3.2.1.4).

Jęczmień nieuchronnie wnosi mniej ekstraktu niż słód. Należy 100 kg słodu zastąpić ok. 125 kg jęczmienia (lub 120 kg obłuszczonego jęczmienia). Stosowanie jęczmienia jako surowca niesłodowanego opłaca się tylko, kiedy ceny słodu są bez porównania wyższe lub bardzo tanie są niskobiałkowe jęczmiona.

Jęczmienny surowiec niesłodowany przy większym udziale niż 20% wymaga dodatku enzymów (p. następny rozdz.).

3.2.4.3.5.4 Zacieranie z sorgo

Piwo z sorgo jest produkowane w wielu krajach afrykańskich. Stosuje się mieszaninę słodu z sorgo i surowca niesłodowanego składającego się z sorgo, kukurydzy lub prosa „Millet"; jest to rodzaj prosa o małym ziarnie, które jest używane również w Europie do celów żywieniowych.

Zwykle piwo z sorgo jest wytwarzane z udziałem kukurydzy. Kukurydza zostaje ześrutowana i zmieszana z kwaśnym mlekowym, tj. z ukwaszonym biologicznie zacierem (*przyp. tł.*). Kwas mlekowy jest tu nośnikiem smakowym, a prócz tego przedłuża trwałość piwa z sorgo. Do tej mieszaniny dodaje się wody i całość gotuje się dwie godziny, następnie schładza do 80°C, dodaje słód sorgo i całość schładza do 40°C, a następnie dodaje się resztę słodu sorgo i schładza do ok. 22°C. W tej temperaturze filtruje się i dodaje drożdże. Po trzech dniach fermentacja jest zakończona, zawartość alkoholu wynosi wtedy ok. 4% obj. Mętne piwo z sorgo obciąga się niefiltrowane.

W wielu krajach afrykańskich we wzrastającym zakresie wytwarza się zwyczajne piwo w 100% z sorgo przy pomocy zwyczajnych urządzeń browarniczych, bez dodatku słodu z jęczmienia browarnego lub technicznych enzymów; oczywiście potrzebny jest specjalny proces zacierania (131). Słód z sorgo może osiągać zawartości ekstraktu 79 do 84%, toteż uzyskuje się odpowiednio wysokie wydajności. Także wymagany ostateczny stopień odfermentowania jest osiągalny bez problemu.

Brzeczka jest zakwaszana, zanim jest gotowana razem z surowcem niesłodowanym. Dla rozkładu białka dąży się do tego, aby uzyskać w pH 4,6 i temperaturze 52°C wystarczającą ilość niskocząsteczkowych produktów białkowych dla drożdży. Składowi białka należy się szczególna uwaga. Koloidalna stabilność nie jest osiągana w piwach z prosa sorgo bez dodatkowych środków pomocniczych. W mniejszych browarach afrykańskich piwo z sorgo nie jest chmielone. Jest sprzedawane mętne i ma krótką trwałość (129).

3.2.4.3.5.5 Zacieranie z cukrem lub syropem cukrowym

Cukier jest rozpuszczalny i fermentujący. Cukru nie przerabia się naturalnie samego, lecz z zacierem słodowym z ew. dodatkiem surowca niesłodowanego. Ponieważ cukier nie potrzebuje rozkładu podczas zacierania, dodaje się go dopiero 10 min przed wybiciem do kotła warzelnego, ale musi się uwzględnić wniesioną z cukrem ilość ekstraktu: zamiast 100 kg słodu należy dodać 78 kg cukru. Z cukrem nie wprowadza się żadnego białka do brzeczki; o czym trzeba pamiętać, żeby nie było trudności z fermentacją.

Zamiast syropu cukrowego można także użyć syrop skrobiowy wysoko scukrzony, produkowany w syropiarniach z krochmalu zawierający ponad 80% suchej substancji, na którą składają się głównie glukoza i maltoza.

3.2.4.3.5.6 Dodatek enzymów przy zacieraniu

Wszystkie procesy życiowe w ożywionej naturze są sterowane enzymatycznie. Dotyczy to zarówno procesów budowy w roślinach i zwierzętach, jak również wszystkich procesów rozkładu. Enzymy są koniecznymi składnikami funkcjonowania także wszystkich żywych organizmów.

Wszystkie drobnoustroje rozporządzają specyficznym dla nich wzorem działania enzymów, przez co są zdolne rozkładać określone substancje, aby uzyskać konieczną dla siebie energię do życia.

Znaczenie enzymów

Enzymatyczne reakcje katalityczne są od wieków wykorzystywane przy wytwarzaniu żywności. Enzymy są albo od początku składnikiem środka żywności (jak np. w jęczmieniu), albo do cyklu pracy dochodzą przy pomocy drobnoustrojów (np. przy pomocy drożdży). Wiele przetrwałych starych technologii, jak np. wytwarzanie serów, opiera się na działalności drobnoustrojowych enzymów. Przy tym enzymy zostają wprawdzie wytworzone przez drobnoustroje, lecz działają także poza żywą komórką. Wykazali to bracia *Buchner* (1897) rozcierając komórki drożdży i wywołując fermentację przy pomocy bezkomórkowego wyciągu (E. Buchner otrzymał Nagrodę Nobla w 1907 r.).

Obecnie sam przemysł enzymatyczny wytwarza tonami czyste enzymy, bez których już nie do pomyślenia jest nasza codzienna praktyka. W nowoczesnych środkach myjących zawarte są wytworzone przez bakterie proteazy, lipazy, amylazy, celulazy i inne enzymy, które umożliwiają pranie brudnych tekstyliów w letnich temperaturach, a brudną wodę pozwalają dalece zagospodarować ekologicznie. Również środki do mycia i płukania maszyn oraz naczyń uzyskują w niskich temperaturach wysoką skuteczność i są przyjazne dla środowiska.
Przy wytwarzaniu tekstyliów enzymy odgrywają dużą rolę przy odklejaniu, wybielaniu, także przy udoskonalaniu dżinsów (ścieralność niebieskiego barwnika). Wytwórnie tekstyliów, także przemysł papierniczy i skórzany nie mogą się obejść bez enzymów.

Szczególne znaczenie mają enzymy przy pieczeniu, gdzie spulchniają wypiek i powodują brązowienie skórki, umożliwiają pracę ze schłodzonym lub zmarzniętym ciastem lub opóźniają starzenie się wypieków.

O znaczeniu enzymów dla przemysłu skrobiowego i cukrowniczego, winiarskiego i wytwarzania soków owocowych, pozyskiwania białka, wytwórni pasz i szczególnie dla przemysłu farmaceutycznego można tylko wspomnieć na marginesie.

Preparaty enzymatyczne można także stosować przy wytwarzaniu piwa, o ile piwo nie będzie wytwarzane wg prawa czystości (Reinheitsgebot). W takim przypadku naturalnie – prócz zawartych w jęczmieniu i drożdżach – nie mogą być użyte żadne inne enzymy.

Ponieważ jednak w wielu krajach ze względów czysto ekonomicznych pracuje się z dodatkiem surowców niesłodowanych i prócz tego mogą występować technologiczne problemy, powinno się poinformować w tym miejscu o zaletach, uzyskiwaniu i stosowaniu enzymów przy wytwarzaniu piwa.

Stosowanie enzymów przynosi w określonych warunkach szereg korzyści:

- preparaty enzymatyczne wykazują wyraźną specyficzność do substratu i reakcji,
- mają wysoką szybkość reakcji w łagodnych temperaturach,
- umożliwiają prowadzenie kierowanej i szybkiej reakcji oraz
- mogą być technicznie czyste.

Enzymy pleśni lub bakterii to zwłaszcza

- *amylazy* do wsparcia rozkładu skrobi w warzelni przy większych udziałach surowców niesłodowanych i do całkowitego rozkładu skrobi przy wytwarzaniu piw z niską zawartością węglowodanów (piwa dietetyczne),
- *proteazy* do wzmocnienia rozkładu białka i podwyższenia udziału aminokwasów,
- *glukanazy* do rozkładu wysokocząsteczkowych glukanów w warzelni lub zapobieżenia problemom filtracyjnym,
- *dekarboksylazy* do zapobieżenia wytwarzaniu dwuacetylu podczas fermentacji.

Te enzymy bakteryjne lub grzybowe są skonfigurowane inaczej niż enzymy jęczmienia czy słodu. Dlatego mają też inne optima temperatury i wartości pH niż enzymy słodu.

Wytwarzanie enzymów

Do wytwarzania enzymów jest prowadzona czysta hodowla drobnoustroju, który produkuje pożądany enzym (lub także inne), gdyż potrzebuje go do własnej przemiany materii. Ten drobnoustrój może być pleśnią lub bakterią. Taką czystą hodowlę prowadzi się podobnie jak czystą hodowlę drożdży w cylindryczno-stożkowych tankach w warunkach, które są optymalne dla tego drobnoustroju (roztwór pożywki, optymalna wartość pH, optymalna temperatura, napowietrzanie wzgl. bez tlenu itd.).
Filtrat kultury nie jest zbyt trwały. Dla koniecznej trwałości należy go zamienić w preparat enzymatyczny.

Koncentraty kultur

Powstają one przez dalszą koncentrację oczyszczonego i stężonego filtratu i przez dodatek stabilizatora mają dłuższą trwałość. Są oferowane w postaci płynnej i należy je przechowywać w chłodzie. Ogólnie jest gwarantowana trwałość ponad trzy miesiące w 25°C. Przez chłodzenie można ją przedłużyć do roku, lecz aktywność wtedy powoli się obniża.

Wysuszone produkty

Są one wytwarzane z koncentratów przez suszenie rozpyłowe, próżniowe lub liofilizację i rozprowadzane w handlu w postaci proszku. Przed dodaniem należy je wymieszać w letniej wodzie i aktywizować.

Granulaty

Granulaty enzymatyczne posiadają wielkość ziaren 0,4 do 0,6 mm, mają dobrą trwałość i również dobrze się przechowują.

Stosowanie preparatów enzymatycznych

Preparaty enzymatyczne są rozprowadzane przez wytwórców w handlu pod fantazyjnymi nazwami. W towarzyszącej dokumentacji jest opisany zakres zastosowania, specyfikacja produktu, właściwości enzymu, dozowanie, manipulowanie, przepisy bezpieczeństwa i warunki przechowywania.

Należy dokładnie przestrzegać wskazówek podanych przez wytwórcę.

3.2.5 Czasochłonność procesów zacierania

W małym browarze trwanie warki ma drugorzędne znaczenie: jeżeli zaciera się jedną warkę na dzień, wtedy zatrze się wcześnie i po południu ją wybije. Godzina nie ma wtedy znaczenia.

Im więcej warek trzeba zrobić w ciągu doby, tym ważniejszy jest czas trwania warki. W dużych nowoczesnych browarach jest często wybijanych osiem lub więcej warek na dobę.

Przy ośmiu warkach na dobę musi się co trzy godziny zatrzeć i wybić warkę, przy 12 warkach na dobę nawet co dwie godziny. Wymaga to nie tylko stosowania krótkich procesów zacierania, lecz również dokładnego czasowego konceptu, który nie znosi żadnego opóźnienia i w którym wszystko musi być zgrane co do minuty.

Tego rodzaju reżim czasowy prowadzi naturalnie do zastosowania sterowania komputerowego całego procesu w warzelni, w którym zostają wykluczone subiektywne błędy i w którym piwowar pełni funkcję kontrolną z dużą odpowiedzialnością.

Należy się liczyć z następującym czasem trwania zacierania:

- *infuzyjne procesy zacierania z dobrze rozluźnionym słodem 1,5 do 2 godzin*
- *dekokcyjne procesy zacierania do 3 godzin.*

3.2.6 Kontrola zacierania

Zacieranie następuje wg danych ustalonych przez kierownictwo browaru. W sprawozdaniu warzelany podaje wszystkie szczegóły (ilość zasypu, ilość wybitą, czas, temperatury itd.). Te zapisy należy podawać dokładnie, gdyż są podstawą do zapisów przebiegu warki, które każdy browar jest zobowiązany prowadzić (*pod nadzorem władz podatkowych - przyp. tł. WS*).

W nowoczesnych warzelniach wartości te rejestruje i protokołuje komputer i w razie potrzeby można je wywołać na ekran lub wydrukować.

W każdym przypadku jednak próbę jodową musi robić warzelany.

3.3 Filtracja zacieru

Na koniec procesu zacierania zacier składa się z wodnistej mieszaniny rozpuszczonych i nie rozpuszczonych substancji.

Wodny roztwór substancji ekstraktu nazywa się brzeczką, nierozpuszczalne części określa się jako wysłodziny. Wysłodziny składają się głównie z łuski, zarodków i innych substancji, które podczas zacierania nie przeszły do roztworu.

Do wytworzenia piwa używa się tylko brzeczki, która do tego celu powinna być oddzielona od wysłodzin. Proces oddzielenia nazywa się filtracją zacieru.

Podczas filtracji zacieru ekstrakt powinien być możliwie całkowicie pozyskany.

Filtracja zacieru jest procesem, w którym wysłodziny spełniają rolę materiału filtracyjnego.

Odbywa się ona w ***dwóch fazach***, które przebiegają jedna po drugiej:

- ***spływ przedniej brzeczki (główny nalew),***
- ***wymywanie wysłodzin (wody wysładzające).***

3.3.1 Główny nalew i wody wysładzające

Spływającą z wysłodzin brzeczkę określa się jako przednią. Kiedy przednia brzeczka spłynie z wysłodzin, pozostaje w nich ekstrakt. Ekstrakt ten należy jeszcze pozyskać. Dlatego po spływie przedniej brzeczki wysłodziny wymywa się wodami wysładzającymi. To wymywanie rozcieńcza brzeczkę coraz bardziej.

Aby uzyskać na końcu filtracji wymagane stężenie brzeczki, przednia brzeczka musi zawierać 4 do 6% ekstraktu więcej niż wytwarzane piwo, tj. przy 12-proc. piwie 16 do 20%.

Zatrzymywany przez wysłodziny ekstrakt jest wymywany gorącą wodą. Proces ten nazywa się ługowaniem. Spływające słabsze brzeczki nazywają się wodami wysłodkowymi. Ich zawartość ekstraktu wpierw obniża się szybko, a potem coraz wolniej (rys.3.45).

Ilość wód wysładzających jest zależna od ilości i stężenia przedniej brzeczki i stężenia do osiągnięcia w kotle. Przy piwie 12-proc. powstaje następujący stosunek:

przy stężeniu przedniej brzeczki w %	ilościowy stosunek przednia brzeczka:wody wysłodkowe
14	1 : 0,7
16	1 : 1
18	1 : 1,2
20	1 : 1,5
22	1 : 1,9

Im więcej wód wysładzających przepływa przez wysłodziny, tym intensywniej zostają one wyługowane i tym większa jest wydajność.

Lecz także: im więcej wody przepłynie przez wysłodziny, tym więcej wody trzeba odparować.

Należy więc znaleźć kompromis pomiędzy

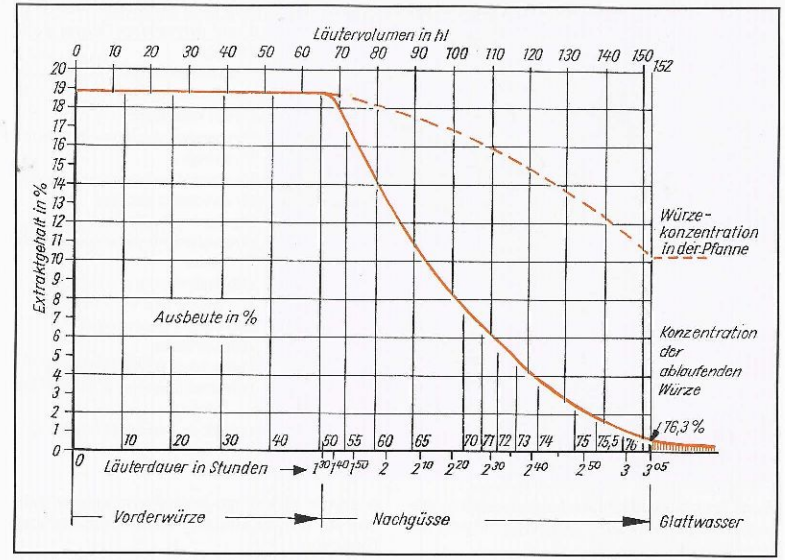
czasem filtracji zacieru a wydajnością oraz trwaniem gotowania a kosztami energii.

Przy wyższym stężeniu przedniej brzeczki jej ilość jest oczywiście mniejsza i można o tyle więcej przefiltrować wód wysładzających, o ile wyższe jest stężenie przedniej brzeczki. A więc z przednią brzeczką o wyższym stężeniu osiąga się także wyższą wydajność. Bardzo duże znaczenie ma temperatura filtracji.

Ze wzrostem temperatury obniża się lepkość cieczy.

Oznacza to, że najszybciej można by filtrować w 100°C. Ponieważ przy filtracji zacieru resztkowa skrobia w wysłodzinach nadal jest rozpuszczana (dalsze trwanie zacierania), jej scukrzanie może mieć miejsce tylko wtedy, gdy α-amylaza nie zostanie unieczynniona przez temperatury powyżej 78°C. Toteż filtracja zacieru w 100°C w wyniku dałaby „błękitną" warkę.

α-amylaza zostaje zniszczona w 80°C, należy więc filtrację zacieru prowadzić poniżej tej temperatury.



Rys. 3.45. Diagram filtracji zacieru
(- zawartość ekstraktu w %, objętość filtratu w hl, wydajność w %, czas trwania filtracji w godzinach, → przednia brzeczka, → wody wysłodkowe, brzeczka - stężenie w kotle, stężenie spływającej brzeczki, cienkusz)

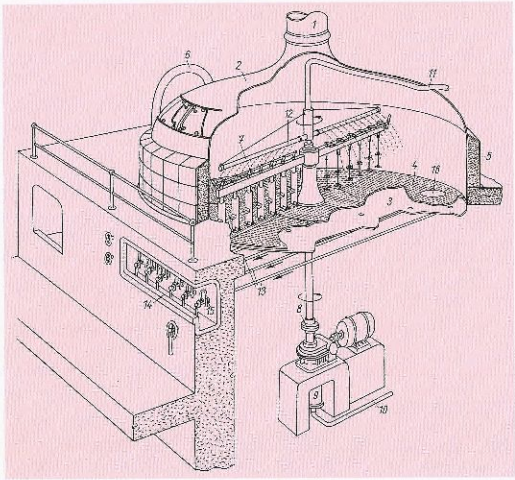
3.3.2 Cienkusz

Ługuje się tak długo, aż w kotle zostanie osiągnięte odpowiednie stężenie. Niskoprocentową brzeczkę, która spływa na końcu nazywa się ***cienkuszem***. Cienkusz w piwach pełnych ma jeszcze ok. 0,5 do 0,6% ekstraktu. Używa się go niekiedy jako wodę wysładzającą w następnej warce. Przy koźlakach nie można wyługować wysłodzin, gdyż stężenie brzeczki obniżyłoby się za mocno. Ostatnie wody wysładzające dodaje się często do piwa, które gotuje się jako następną warkę.

Pod koniec wysładzania zawsze schodzi więcej nieszlachetnych substancji (garbników i gorzkich substancji z łuski, kwasu krzemowego i in.) do roztworu:

	Skład ekstraktu w % w przedniej brzeczce	w wodach wysładzających
Maltoza	58,95	53,07
Substancje zawierające N	4,34	5,38
Substancje mineralne	1,54	2,54
Kwas krzemowy (jako SiO_2)	0,1481	0,4536

Jeżeli chce się produkować jakościowo wysokowartościowe piwo, nie można za mocno wyługowywać wysłodzin.



Rys. 3.46
Kadź filtracyjna (starej konstrukcji)
(1) komin do oparów
(2) kopuła do oparów
(3) dno kadzi filtracyjnej
(4) wstawiane dno sitowe szczelinowe
(5) izolacja
(6) przewód zacierowy
(7) spulchniacz z nożami
(8) napęd spulchniacza
(9) urządzenie do podnoszenia spulchniacza
(10) dopływ wody pod ciśnieniem
(11) dopływ wód wysładzających
(12) szkocki krzyż obrotowy
(13) rura filtratu
(14) kolektor (korytko zbiorcze)
(15) kurek filtracyjny z „łabędzią szyją"
(16) luk do wyrzucania wysłodzin.

Z tego punktu widzenia należy również rozpatrywać używanie cienkuszu jako wody do następnej warki.

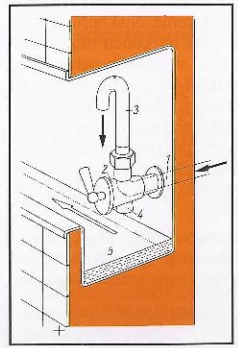
Długie ługowanie i ponowne użycie cienkuszu poprawiają wydajność, lecz pogarszają jakość.

Jeżeli mimo to ponownie używa się cienkuszu, wtedy powinno się go poddać obróbce węglem aktywnym, aby usunąć nieszlachetne substancje smakowe. Dlatego przeważnie filtrację zacieru kończy się z ostatnią wodą wysładzającą. Oprócz jakości przy ponownym użyciu nie poddanego obróbce cienkuszu pod uwagę są również brane wzrastające koszty energii, które określa się jako tzw. próg stosowania cienkuszu. Stosowanie cienkuszu jest rentowne tylko do momentu, w którym zysk z uzyskanego ekstraktu leży powyżej kosztów potrzebnej energii do odparowania wody tego cienkuszu.
Filtracja zacieru odbywa się albo w kadzi filtracyjnej, albo w filtrze zaciernym.

3.3.3 Filtracja zacieru w kadzi filtracyjnej

Kadź filtracyjna jest starszym i znacznie bardziej rozpowszechnionym urządzeniem do filtracji zacieru. Składa się ona z cylindrycznego naczynia, na którego podwójnym dnie szczelinowym leżą wysłodziny stanowiące warstwę filtracyjną.

W ostatnich dziesięcioleciach dokonano wiele zmian w budowie i sposobie pracy kadzi filtracyjnych. W Niemczech jest jeszcze w użyciu wiele kadzi filtracyjnych starej konstrukcji, dlatego chcemy najpierw rozpatrzyć budowę kadzi starej i dopiero potem nowych. Pomiędzy nimi jest naturalnie duża liczba pośrednich stopni, których rozpatrywanie nie jest możliwe.



Rys. 3.47
Zawór kurkowy z „łabędzią szyją"
(1) rura filtratu,
(2) zawór w pozycji spływu,
(3) rura pionowa „łabędzia szyja",
(4) otwór do wstępnego ściągania mętnej brzeczki,
(5) kolektor (koryto zbiorcze)

3.3.3.1 Budowa kadzi filtracyjnej starszego typu (rys. 3.46)

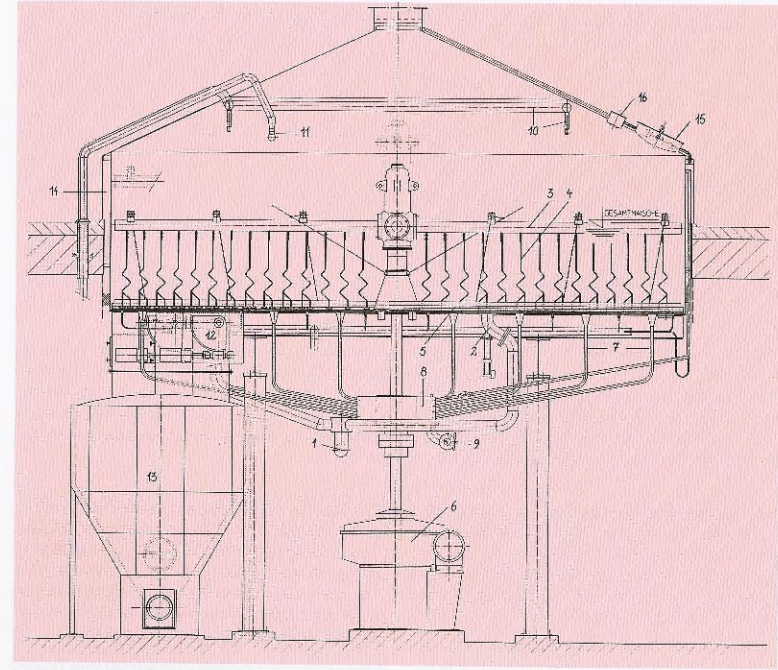
Część urządzenia	Zadanie	Uwagi
Komin do oparów (1)	wylot oparów	Jest dużo kadzi filtracyjnych, w których nie ma komina do oparów, nie jest więc niezbędnie konieczny. Dla wylotu oparów jest jednak korzystny.
Kopuła do oparów (2)	pokrywa kadzi; ochrona przed stratami ciepła	
Dno kadzi filtracyjnej (3)	zbieranie przedniej brzeczki i wód wysładzających	Dno kadzi filtracyjnej jest całkiem płaskie i posiada na każde 1,2 do 1,5 m^2 powierzchni jeden otwór, na który każdorazowo od dołu jest osadzona rura do spływu filtratu; otwory są równomiernie rozmieszczone na całym dnie kadzi.
Wstawiane sito (dno) szczelinowe (4)	zatrzymywanie wysłodzin	3 do 5 mm grubości wstawiane sito (dno) z twardego mosiądzu lub innego materiału, posiada dla spływu brzeczki na każdy 1 m^2 po ok. 2500 do 3000 szczelin długości 30 do 70 mm i szerokości 0,7 do 0,9 mm, które w dół się rozszerzają na 3 do 4 mm, dzięki czemu nie mogą się zapychać wysłodzinami. Wolna powierzchnia przelotowa wynosi ok. 10% całkowitej powierzchni. Dla łatwiejszej obsługi sito to jest podzielone na segmenty 0,6 do 0,8 m^2, które do mycia są podnoszone i można je wyjmować przez właz.
Izolacja (5)	zapobieganie schładzaniu się brzeczki	Obmurowanie kadzi filtracyjnej z cieplną izolacją; wychłodzenie występuje najpierw z brzegu, zewnętrzne warstwy brzeczki z powodu większej lepkości gorzej spływają, z tym odpowiednio zmniejsza się wydajność ekstraktu.
Przewód zacierowy (6)	wprowadzenie zacieru do kadzi filtracyjnej	Przewód zacierowy prowadzi od pompy do zacieru pod naczyniami zaciernymi do kadzi filtracyjnej. Zacier jest wpompowywany z prędkością 1,6 m/s; co trwa do 30 min.
Spulchniacz z nożami (7)	spulchnianie wysłodzin	Spulchniacz składa się z dwóch ramion, na których są rozmieszczone w jednym lub w dwóch rzędach noże. Noże przeważnie są proste, niekiedy także pofałdowane, i posiadają małe, podobne do pługa poprzeczki do spulchniania wysłodzin. Przy pomocy drążka noże są podłączone równolegle. Przy pomocy dźwigni lub ręcznego koła można je nastawiać wzdłuż lub w poprzek kierunku obrotu. Do przecinania wysłodzin noże muszą być ustawione w kierunku obrotu.
	wygarnianie wysłodzin	Do wygarniania wysłodzin noże ustawia się w poprzek kierunku obrotu.

Część urządzenia	Zadanie	Uwagi
Napęd spulchniacza (8)	poruszanie spulchniacza	Przez obracanie się osi napędowej poruszany jest spulchniacz. Posiada dwie prędkości: małą do spulchniania; dużą do wygarniania wysłodzin.
Urządzenie do podnoszenia spulchniacza (9)	podnoszenie i opuszczanie spulchniacza	Dolny koniec wału napędowego spulchniacza jest połączony z tłokiem, który może się poruszać w górę i w dół w zamocowanym na stałe cylindrze. Przez wtłoczenie wody pod tłok zostaje podniesiony spulchniacz z nożami, zaś przy obniżeniu ciśnienia zostaje on znowu obniżony.
Dopływ wody pod ciśnieniem (10)	zapewnienie dopływu wody pod ciśnieniem	Woda pod ciśnieniem jest tłoczona specjalną pompą ręczną, spulchniacz może być też podnoszony wzgl. opuszczany mechanicznie.
Dopływ wód wysładzających (11)	dopływ wód wysładzających	Woda wysładzająca, która dopływa z rezerwy gorącej wody, musi być doprowadzona do wymaganej temperatury 78 do 80°C w podłączonej baterii mieszania.
Szkocki krzyż obrotowy (12)	nawarstwianie wody wysładzającej	Urządzenie do ługowania wysłodzin składa się z dwóch ruchomych ramion, które albo poruszają się samodzielnie nad spulchniaczem (szkocki krzyż obrotowy), albo są przymocowane na stałe do spulchniacza i tylko z nim się obracają.
Rury filtratu (13)	odprowadzanie brzeczki i wód wysładzających	Rury przebiegają ze słabym spadkiem do korytka zbiorczego (kolektora).
Bateria filtratu (14)	zbieranie brzeczki i wód wysładzających do odprowadzenia do kotła	Wszystkie rury filtratu kończą się nad miedzianym naczyniem zbiorczym (kolektorem), które posiada trzy odprowadzenia: 1. do pompy zawracającej mętną brzeczkę, 2. do kotła warzelnego i 3. do odpływu brudnej wody.
Zawór z „łabędzią szyją" (15)	równomierne ługowanie	Kurki filtracyjne, wykonane jako zawory z „łabędzią szyją" (zwane też kurkami Emslandera) (rys. 3.47), zostały tak nazwane z powodu swego osobliwego kształtu. Brzeczka w pionowej rurze musi się podnieść dzięki temu do poziomu dna kadzi. Ssanie zostaje zlikwidowane, wysłodziny nie ulegają ściąganiu się i filtracja przebiega szybciej. Z kurkami filtracyjnymi jest połączona rura, przez którą przed rozpoczęciem pompowania zacieru do kadzi filtracyjnej jest podawana gorąca woda dla zapełnienia rur i przestrzeni pod sitami, aby usunąć z nich powietrze.
Luk do wysłodzin (16)	usunięcie wysłodzin	Dla usunięcia wysłodzin zostaje otwarty luk, pod którym znajduje się niecka, skąd wysłodziny usuwa transporter ślimakowy.

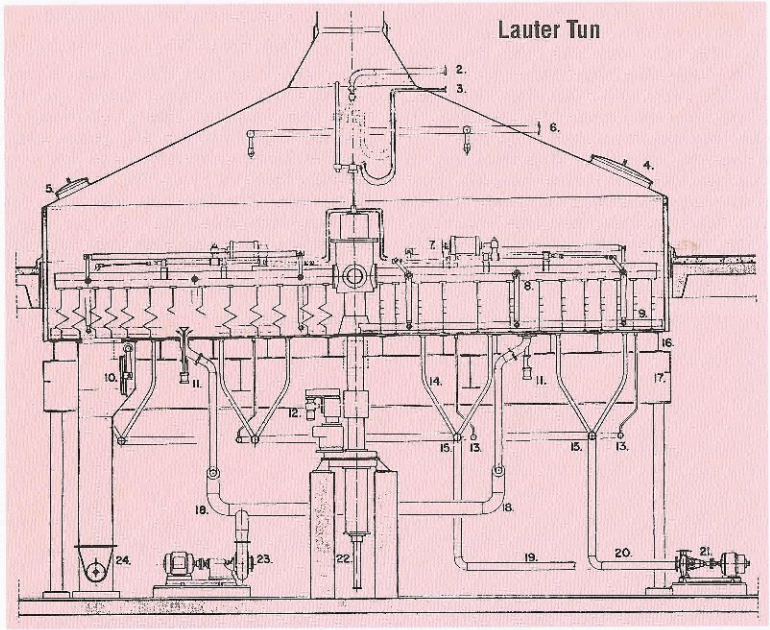
Od dłuższego czasu znany jest szkodliwy wpływ tlenu na brzeczkę. Właśnie przy wypływie brzeczki z zaworów z „łabędzią szyją" do kolektora ma miejsce bardzo silne natlenienie brzeczki. Aby nie kupować nowej kadzi filtracyjnej, wiele browarów połączyło rury filtratu za zaworami z „łabędzimi szyjami" ze zbiorczym przewodem i brzeczka bez natleniania jest kierowana bezpośrednio do kotła lub naczynia pośredniczącego. Piękny kolektor przy kadzi filtracyjnej został zachowany, pomimo że nie pełni on już swej dawniejszej funkcji. Używa się go jeszcze tylko do spływu popłuczyn.

3.3.3.2 Budowa kadzi filtracyjnych nowego rodzaju (rys. 3.48 i 3.48a)

Jak wszystkie inne urządzenia warzelni, tak również kadź filtracyjna jest obecnie wykonywana ze stali chromoniklowej i izolowana ze wszystkich stron, żeby ochronić ją przed schładzaniem. Zacier wprowadza się od dołu, aby uniknąć natleniania (rys. 3.49).
W dnie kadzi 2 do 6 ***zaworów wlotowych*** jest uruchamianych od dołu (rys. 3.50) i muszą one zapewniać czas przepompowywania zacieru w 10 min. Prędkość w otworach wlotowych nie powinna przekraczać 1 m/s.



Rys. 3.48. Kadź filtracyjna (typ Huppmann)
(1) doprowadzenie zacieru, (2) zawór wlotowy zacieru, (3) spulchniacz, (4) nóż przecinający, (5) listwa do wygarniania wysłodzin, (6) napęd i urządzenie do podnoszenia spulchniacza, (7) rury filtratu, (8) pierścieniowy zbiornik zbiorczy, (9) odprowadzenie brzeczki do pompy brzeczkowej, (10) woda wysładzająca, (11) głowica natryskowa CIP, (12) luk do wysłodzin, (13) niecka do wysłodzin, (14) izolacja, (15) zamknięcie włazu z wziernikiem, (16) oświetlenie



Rys. 3.48a. Kadź filtracyjna (typ Ziemann)
(2) CIP – głowica natryskowa, (3) podłączenie do systemu hydraulicznego, (4) właz, (5) otwór z klapą do wglądu, (6) woda wysładzająca, (7) cylinder hydrauliczny, (8) nóż przecinający, (9) listwa do wygarniania wysłodzin, (10) otwór do wysłodzin (otwarty), (11) wejście zacieru, (12) napęd, (13) natrysk pod sitami, (14) rury filtratu, (15) przewód pierścieniowy (zbiorczy), (16) dźwigar-T do stabilnego ustawienia, (17) podstawa, (18) dopływ zacieru, (19) system filtracyjny 1, (20) system filtracyjny, (21) pompa brzeczkowa, (22) cylinder hydrauliczny do podnoszenia i opuszczania spulchniacza, (23) pompa do zacieru, (24) transporter ślimakowy do wysłodzin

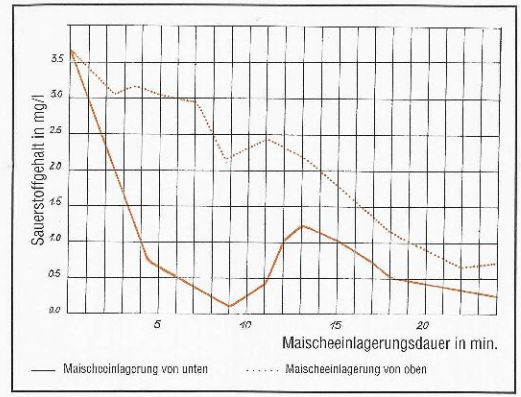
Dno sitowe jest obecnie wykonywane (rys. 3.51) ze stali chromoniklowej jako ***sita szczelinowe*** z szerokością szczelin 0,7 do 0,9 mm z czynną powierzchnią do 12% lub jako sita ***z frezowanymi szczelinami*** 0,7 x 80 mm z czynną powierzchnią 8 do 10%.

Właściwe obciążenie dna sitowego:

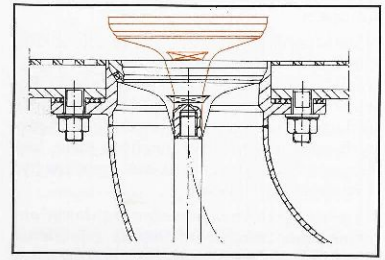
140 do 175 kg/m² przy suchym śrutowaniu
150 do 210 kg/m² przy kondycjonowanym śrutowaniu
200 do 280 kg/m² przy mokrym kondycjonowaniu.

Przez lekko pochylone ustawienie segmentów profilowanych (rys. 3.51 – 4) zostają poprawione warunki przepływu, co się wyraża w klarowniejszych brzeczkach. Podczas usuwania wysłodzin takie ustawienie elementów segmentowych zapobiega zatykaniu szczelin przez cząstki wysłodzin i łatwiej są one z nich usuwane.

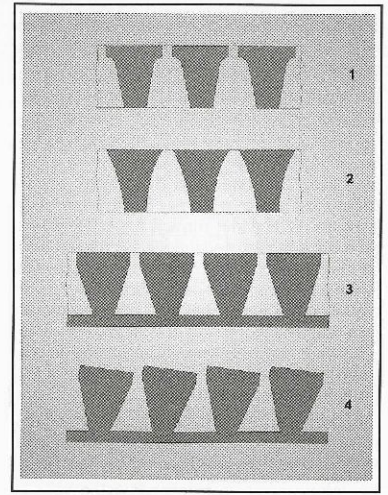
Dno sitowe jest przymocowane 20 mm powyżej właściwego dna kadzi filtracyjnej i umożliwia przez odpowiednie ukierunkowanie natrysku dysz pod sitami bezproblemowe mycie tej przestrzeni (rys. 3.52).



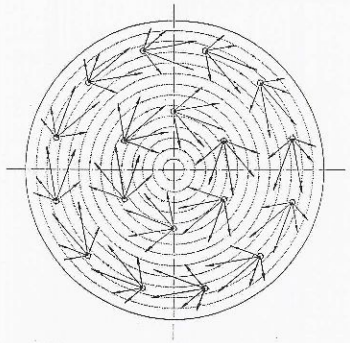
Rys. 3.49
Kształtowanie się zawartości tlenu w zacierze po przepompowaniu do kadzi filtracyjnej
Porównanie pompowania od góry i od dołu
(↑ Zawartość tlenu w mg/l, → czas trwania przepompowywania w min, linia ciągła – przepompowywanie od dołu, linia przerywana – napełnianie od góry)



Rys. 3.50
Zawór wlotu zacieru do kadzi filtracyjnej od dołu



Rys. 3.51
Różne wykonania sit filtracyjnych
(1) dwukrotnie frezowane sito z mosiądzu (stary sposób wykonania), (2) jednorazowy frez sita, (3) szczelinowe sito spawane ze stali szlachetnej, (4) szczelinowe sito spawane z lekko pochylonymi profilowanymi drutami



Rys. 3.52
CIP – mycie pod dnem sitowym

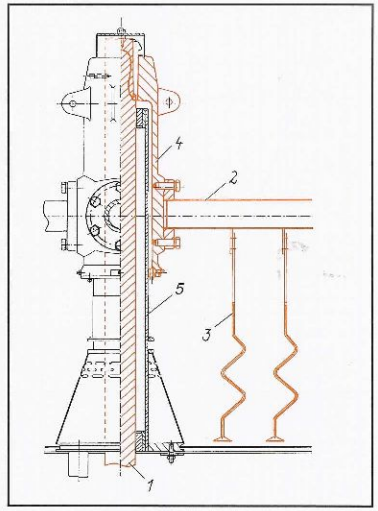
Jeżeli dno sitowe obniży się bardziej do dna kadzi, wtedy należy wykonać więcej otworów spływowych. Dolna granica wynosi ok. 10 mm, gdyż należy jeszcze zamontować dysze natryskowe urządzenia myjącego.

Podniesienie dna sitowego o 10 mm podwyższa ilość wody pod sitami o ok. 1% wybijanej brzeczki i rozcieńcza przez to niepotrzebnie przednią brzeczkę.

Na każdy 1 m² dna kadzi filtracyjnej przewidziany jest ***otwór spływowy*** ze stożkiem spływowym. W zwykłej filtracji z pierścieniowymi rurami dno jest podzielone na kilka koncentrycznych stref i z każdej strefy rury filtratu zostają sprowadzone do pierścieniowych rur zbiorczych. Daje to możliwość równomiernego wyługowania. W innym systemie (rys. 3.48) wszystkie rury filtratu są sprowadzone do centralnego naczynia zbiorczego także bez styczności brzeczki z tlenem.

We wszystkich systemach czujniki gwarantują filtrację bez powietrza i przy wciągnięciu powietrza wyłączają pompę.

Spulchniacz jest – zależnie od wielkości kadzi – wyposażony w 2, 3, 4 lub 6 ramion, a jego prędkość jest regulowana bezstopniowo. Elementami roboczymi spulchniacza są ***specjalne noże***, które na ramionach są tak zamocowane, że każdy ma własny tor. Kształt noży (rys. 3.53) i ich rozmieszczenie na ramionach zapewniają

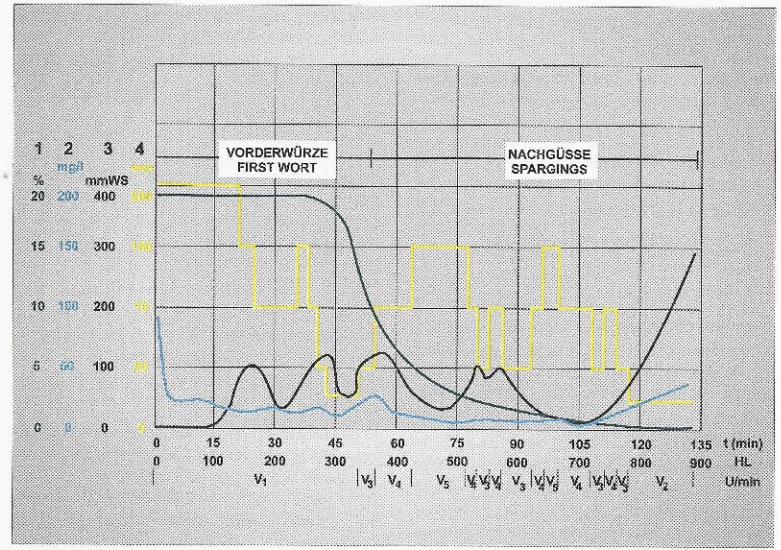


Rys. 3.53. Napęd spulchniacza
(czerwono zaznaczone części są obracane i podnoszone oraz opuszczane)
(1) wał napędowy i podnoszący,
(2) ramię spulchniacza,
(3) nóż przecinający,
(4) urządzenie podnoszące,
(5) masyw korony wału z łożyskowaniem

równomierne spulchnianie i zapobiegają tworzeniu się niepożądanych kanałów w warstwie filtrującej.

Noże są tak ukształtowane, że w możliwie krótkim czasie doprowadzają wysłodziny do „pływania", bez zniszczenia ich uwarstwienia. Powinno się mieć możliwość prowadzenia noży blisko nad sitami, przy tym prędkość zewnętrznych noży powinna być możliwie mała, lecz żeby uzyskać wymagany skutek, powinna być wystarczająca ich liczba.

Wysokość spulchniacza można regulować automatycznie zależnie od stopnia zmętnienia brzeczki: ze wzrastającym zmętnieniem spulchniacz jest podnoszony, z obniżaniem zmętnienia opuszczany (rys. 3.53a). Ze wzrastającą różnicą ciśnień (rys 3.54) spulchniacz



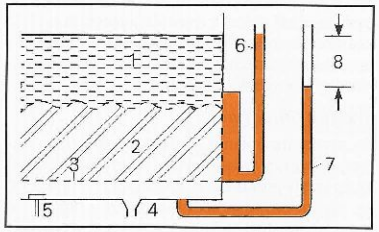
Rys. 3.53a. Przebieg różnych parametrów przy filtracji zacieru
(1 = ciemnoniebieski) zawartość ekstraktu przy wylocie z kadzi filtracyjnej, (2 = jasnoniebieski) zmętnienie w g EBC, (3 = czarny) różnica ciśnień w mm słupa wody, (4 = żółty) wysokość podnoszenia w mm
(W ramkach: Przednia brzeczka; Wody wysładzające)

jest opuszczany, gdyż wtedy wysłodziny ściągnęły się silniej razem; kiedy różnica ciśnień zmniejsza się, spulchniacz można znowu podnieść. Do automatycznej regulacji należy zainstalować odpowiednie urządzenia.

Napęd spulchniacza jest wyposażony w łagodny rozbieg przy pomocy przekładni. Odpowiednie uszczelnienie wału zabezpiecza przed przedostaniem się brzeczki do łożysk osi.

Nanoszenie wód wysładzających odbywa się przy pomocy wachlarzowatych dysz, które są zamontowane w górnej części kadzi filtracyjnej i umożliwiają bezproblemowe operacje.

Wygarnianie wysłodzin odbywa się przez kilka ***otworów klapowych***. Do tego na spulchniaczu zostają opuszczone ***listwy wygarniające młóto słodowe***, które dzięki specjalnemu wykonaniu powodują szybkie opróżnienie kadzi filtracyjnej (maksymalnie 10 min).



Rys. 3.54
Różnica ciśnień przy filtracji zacieru
(1) brzeczka/wody wysładzające
(2) wysłodziny
(3) dno sitowe
(4) otwór spływowy
(5) mycie dna sitowego
(6) poziom napełnienia w kadzi filtracyjnej
(7) ciśnienie ssące
(8) różnica ciśnień (≈ opór wysłodzin)

3.3.3.3 Przebieg pracy przy filtracji zacieru w kadzi filtracyjnej

Praca kadzi filtracyjnej przebiega następująco:

1. wypchnięcie powietrza
2. wpompowanie zacieru
3. przerwa filtracyjna
4. zawracanie mętnej brzeczki
5. spływ przedniej brzeczki
6. ługowanie/wody wysłodkowe
7. ściąganie cienkuszu
8. usuwanie młóta.

Wypchnięcie powietrza

Aby szybko rozpocząć filtrację zacieru, należy sitowe dno oczyścić z zanieczyszczeń i wypchnąć spod niego powietrze. Dlatego pod sita daje się gorącą wodę i przy tym równocześnie je ogrzewa.

Wpompowanie zacieru

Zacier zostaje możliwie szybko przepompowany do kadzi filtracyjnej i tam równomiernie, na całej powierzchni dna rozdzielony. Nierównomierne rozdzielenie wysłodzin spowoduje nierównomierne ich wyługowanie i obniżenie wydajności warzelni. Dlatego prędkość przepływu zacieru powinna być możliwie mała, natomiast wielkość przepływu duża. Żeby zdążyć z przepompowaniem w 10 min, potrzebne są duże przekroje. Korzystnie jest wpompować zacier od dołu. W kadzi zaciernej podczas opróżniania uruchamia się mieszadło, aby zacier był dobrze wymieszany.

Przerwa filtracyjna

Po przepompowaniu zacieru wysłodziny osadzają się przy właściwym obciążeniu sita 150 kg/m^2 na wysokość ok. 25 cm, przy 200 kg/m^2 na ok. 34 cm, a przednia brzeczka zbiera się ponad nimi. Jest to konieczne, gdyż wysłodziny są potrzebne jako naturalna warstwa filtracyjna. Proces ten określa się jako przerwę filtracyjną. Waha się ona pomiędzy 5 i 30 min. Pod koniec tego procesu wysłodziny osadzają się w trzech warstwach:

- warstwa dolna: cienka warstwa z grubych i ciężkich cząstek, które częściowo jeszcze zawierają skrobię;
- główna warstwa: bardzo gruba warstwa utworzona z wysłodzin;
- warstwa górna: cienka warstwa z najlżejszych cząstek zacieru, przede wszystkim z białka i drobnych cząstek łuski.

Górna warstwa składa się z dwóch warstw, z których dolna głównie z wysłodzin. Ta warstwa przeszkadza w filtracji, bo jest mniej przepuszczalna niż pozostałe. Dla równomiernego wyługowania wysłodzin jest konieczne, żeby ta warstwa została równomiernie rozdzielona wszędzie. Górną warstwę należy możliwie szybko wzruszyć.

> Im wyższa jest temperatura przepompowanego zacieru, tym luźniej leżą wysłodziny i tym szybciej przebiega filtracja.

Z tego powodu należy unikać ochłodzenia podczas filtracji zacieru.

Podczas przepompowywania zacieru do kadzi filtracyjnej spulchniacz, sterowany wskazaniami stanu filtracji, zostaje podniesiony o ok. 20 cm, pod koniec pompowania całkiem podniesiony, a jego obroty zatrzymane.

Odstrzelenie i zawracanie mętnej brzeczki

Pomiędzy dnem kadzi filtracyjnej a dnem sitowym na początku zbiera się osad składający się z cząstek, które przeszły przez sito. Zostaje on z pierwszą brzeczką, która i tak zawsze jest mętna, zawrócony do kadzi. Tę pierwszą brzeczkę nazywa się mętną brzeczką i jest ona na 5 do 10 min przed zakończeniem przepompowania z kadzi zaciernej zawracana.

W kadziach filtracyjnych, w których filtruje się jeszcze przez kurki, najpierw usuwa się osad spod sit w ten sposób, że w rzędzie – zawsze po kolei – otwiera się po dwa kurki brzeczne równocześnie całkowicie i natychmiast szybko zamyka. Powstają przez to w obszarze spływu danego kurka wiry, które porywają ze sobą osad spod sit. Proces ten nazywa się odstrzeleniem lub odczopowaniem i powtarza się go dwa do trzech razy.

Spływ przedniej brzeczki

Przednia brzeczka powinna szybko spłynąć, żeby uniknąć niepotrzebnej straty czasu. Stężenie przedniej brzeczki jest we wszystkich miejscach jednakowe.

Przednia brzeczka przepływa przez wysłodziny i zostaje przy tym przefiltrowana. Wysłodziny stawiają przepływającej brzeczce opór, który powoduje, że powstaje ssanie, bo usiłuje spłynąć więcej brzeczki niż może nadążyć przepłynąć przez wysłodziny. To ssanie powoduje, że wysłodziny zbijane razem zwiększają opór, co w końcu może prowadzić do tego, że będzie spływać coraz mniej brzeczki. To z kolei może proces filtracji znacznie wydłużać, dlatego usiłuje się utrzymywać różnicę ciśnień możliwie małą i spulchnione wysłodziny. W nowoczesnych kadziach filtracyjnych praca spulchniacza jest regulowana różnicą ciśnień.

W kadziach filtracyjnych, w których filtruje się przy pomocy kurków filtracyjnych z „łabędzimi szyjami", są one otwierane do jednej czwartej czy jednej trzeciej. Prócz tego ssanie jest zmniejszane przez poziom „szyi łabędziej".

Wysładzanie i spływ wód wysłodkowych

Spływ przedniej brzeczki prowadzi się tylko do tego momentu, aż pokażą się wysłodziny. Następnie nawarstwia się wodę wysładzającą nad odsłoniętą powierzchnią wysłodzin i powoli wypycha brzeczkę z góry w dół. Przy tym ługowane są wysłodziny, lecz proces wymaga pewnego czasu.

Wysłodziny można ługować w sposób ciągły, tzn. nalewa się stale tyle nowej wody wysładzającej, ile u dołu odpływa lub ługuje się kilkoma nalewami. Wprawdzie nieco szybciej przebiega filtracja ciągła, lecz wydajność jest większa, kiedy pracuje się z dwoma lub trzema małymi nalewami, ponieważ woda wysładzająca ma wtedy więcej czasu na ługowanie wysłodzin. Do tego przyspiesza ługowanie (ekstrakcję) małe wymieszanie oraz zwiększona różnica ekstraktów pomiędzy wodą wysładzającą a zawartym w wysłodzinach roztworem ekstraktu.

W praktyce rozpowszechnione są obie metody, jednak jedno ciągłe ługowanie ma następujące zalety:

- klarowna filtracja,
- mniejsze wyługowanie łuski,
- mniejsze natlenienie,
- oszczędność czasu,
- delikatniejsze piwa i
- lepsza stabilność smakowa.

Przed lub podczas ługowania zostaje uruchomiony spulchniacz. Zastosowanie spulchniacza jest zależne przede wszystkim od zdolności filtracyjnej słodu. Najpierw przecina się powierzchnię wysłodzin, a następnie powoli opuszcza spulchniacz, aż noże przecinają około 5 do 10 cm ponad sitami. Głębiej nie można noży opuszczać, gdyż brzeczka będzie znowu spływała mętna. Pracę ze spulchniaczem ustala głównie czas trwania filtracji i klarowność spływającej brzeczki.

Aby móc pracować optymalnie, potrzebny jest stały pomiar i wskazania

> ***przepływu brzeczki,***
> ***różnicy ciśnień*** (rys. 3.54) i
> ***wartości zmętnienia.***

Kiedy wartość zmętnienia wzrasta, należy podnieść noże i odwrotnie. Jeśli wzrasta różnica ciśnień, wtedy wzrasta opór wysłodzin i należy opuścić noże, żeby spulchnić wysłodziny. Wówczas jednak szybko wzrasta znowu zmętnienie i gra zaczyna się od nowa.

Koniec filtracji jest określany przy pomocy pomiaru stężenia brzeczki w kotle. Dzięki temu z ostatnim hektolitrem nalewu z wysłodzin osiąga się zakończenie filtracji i nie powstaje już żaden cienkusz. Jeżeli nie zagospodarowuje się cienkuszu, jest on tylko stratą energii i dodatkowym obciążeniem ścieków.

Oczywiście, można także przednią brzeczkę ściągać z góry. Nie ma przez to żadnych strat ekstraktu, bo stężenie przedniej brzeczki – w przeciwieństwie do wód wysładzających – jest zupełnie takie samo przed, jak również za warstwą wysłodzin. Problematyczna jest tylko zawartość zawiesin stałych, gdyż drobne cząstki osadzają się bardzo wolno. Jeżeli jednak ściąga się brzeczkę z góry i dokładnie filtruje, można w ten sposób skrócić czas filtracji o około 20 min, bez obniżenia wydajności. Takie dodatkowe urządzenia są obecnie oferowane przez liczne firmy.

Usuwanie młóta słodowego

Po spłynięciu cienkuszu spulchniacz zostaje podniesiony i noże ustawione w poprzek. W nowoczesnych kadziach zostają opuszczone listwy do usuwania młóta i wysłodziny są przesuwane do otworów zrzutowych.

3.3.4 Filtracja przy pomocy filtra zacierowego

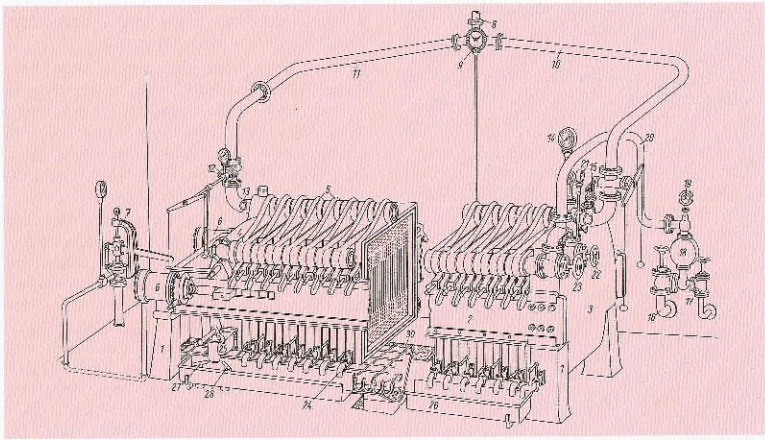
Filtr zacierowy jest konkurentem kadzi filtracyjnej, jednak nie jest tak dalece rozpowszechniony jak ona. Zamiast grubej warstwy wysłodzin w kadzi filtracyjnej, przez którą odbywa się filtracja, w filtrze zacierowym występuje warstwa wysłodzin grubości tylko 4 do 6 cm, ponieważ filtracja odbywa się tu w pierwszym rzędzie przez gęsto tkane płótna filtracyjne. Dzięki temu możliwe jest lepsze wyługowanie zawartego w wysłodzinach ekstraktu. W ostatnich latach w rozwoju filtrów zaciernych pojawiły się zupełnie nowe rozwiązania, dlatego przy rozpatrywaniu filtrów zacierowych musimy rozróżniać konwencjonalne filtry produkowane do ok. 1990 r. i nowe.

3.3.4.1 Konwencjonalne filtry zacierowe

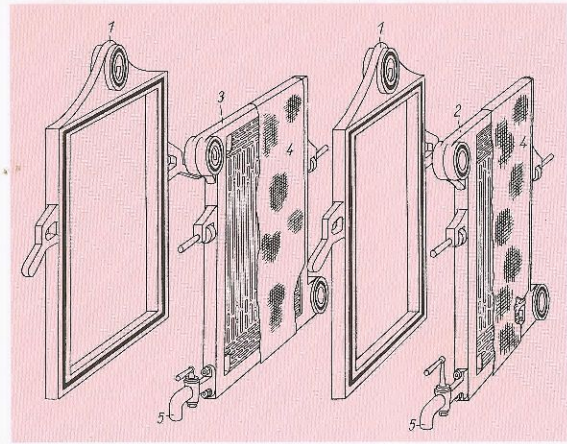
3.3.4.1.2 Budowa konwencjonalnych filtrów zacierowych

Konwencjonalny filtr zacierowy w okresie swego istnienia przeszedł szereg zmian, przy czym jednak w swej zasadniczej budowie pozostał taki sam. Należą do tego (rys. 3.55) stabilna podstawa nośna (1) z dźwigarami nośnymi (2) do ram i płyt. Przy pomocy stałej (3) i ruchomej płyty czołowej (4) pakiet ram i płyt jest ograniczany i podczas filtracji także dociskany.

Istotnymi częściami funkcyjnymi filtra są ramy i płyty (5). **Ramy** służą do przyjmowania wysłodzin. Ich kształt jest kwadratowy i zwykle wynosi 1,2 m x 1,2 m; głębokość ram wynosi



Rys. 3.55. Filtr zacierowy (konwencjonalny rodzaj budowy)
(1) podstawa nośna, (2) dźwigary nośne, (3) stała płyta czołowa, (4) ruchoma płyta czołowa, (5) ramy i płyty, (6) urządzenie dociskające, (7) pompa ręczna, (8) przewód do zacieru, (9) zawór regulujący, (10) przewód z zacierem do stałej płyty czołowej, (11) przewód z zacierem do ruchomej płyty czołowej, (12) zawór odcinający, (13) szkło wziernikowe, (14) manometr, (15) zawór bezpieczeństwa, (16) dopływ ciepłej wody, (17) dopływ zimnej wody, (18) bateria mieszania, (19) termometr, (20) dopływ wody wysładzającej, (21) manometr do wody wysładzającej, (22) kurek filtracyjny na dolny przewód wysładzający, (23) przełącze na górny przewód wysładzający, (24) przełącze filtracyjne, (25) przełącze uniwersalne, (26) korytko zbiorcze, (27) przewód spustowy brzeczki, (28) przewód brudnej wody, (29) niecka na wysłodziny, (30) ruszt



Rys. 3.59
Kolejność ram i płyt w filtrze
(1) ramy
(2) płyta z dopływem dołem (płyta wodna)
(3) płyta z dopływem górą (płyta brzeczkowa)
(4) płótno filtracyjne
(5) kurek

6 cm, tym samym pojemność ramy wynosi 0,8 do 1,0 hl. Ich liczba może się wahać w zależności od wielkości filtra pomiędzy 10 i 60. Ponieważ tylko ramy przyjmują wysłodziny, można obliczyć pojemność filtra przez pomnożenie pojemności jednej ramy przez liczbę ram.

Ponieważ po przepompowaniu do filtra całego zacieru wszystkie ramy muszą być napełnione wysłodzinami, ilość zasypu musi być dopasowana do pojemności użytkowej filtra. Oblicza się to z tego, że z 1 dt zasypu pozostaje 1,2 do 1,4 hl wysłodzin. Objętość wysłodzin jest tym mniejsza, im drobniejsza jest śruta. Ponad każdą ramą znajduje się oko, które ma dwukrotnie większą głębokość niż rama. Po skręceniu filtra oka te tworzą razem kanał doprowadzający zacier nad płytami. Oka są połączone z wnętrzem ram przy pomocy szczelin. W każdej ramie są wpuszczane uszczelki gumowe, które powinny zabezpieczać przed stratami brzeczki. Uszczelki należy co roku wymieniać na nowe, gdyż elastyczność gumy z czasem zmniejsza się i filtr staje się nieszczelny (rys. 3.59).

3.3.4.1.2 Przebieg pracy na kowencjonalnym filtrze zacierowym

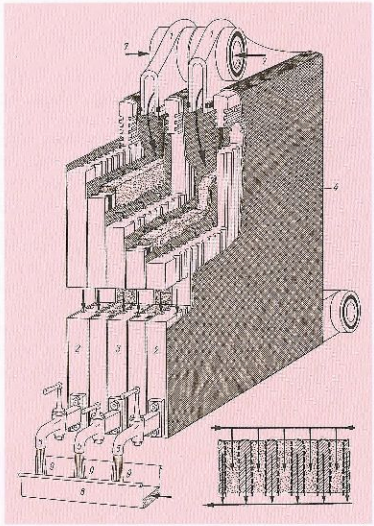
Przebieg pracy przy filtracji na konwencjonalnym filtrze zacierowym dzieli się na kilka odcinków:

- założenie płócien,
- wpompowanie zacieru i spływ przedniej brzeczki.
- wysładzanie i spływ wód wysłodkowych,
- otwarcie i mycie filtra (rozpakowanie filtra),
- pranie płócien filtracyjnych.

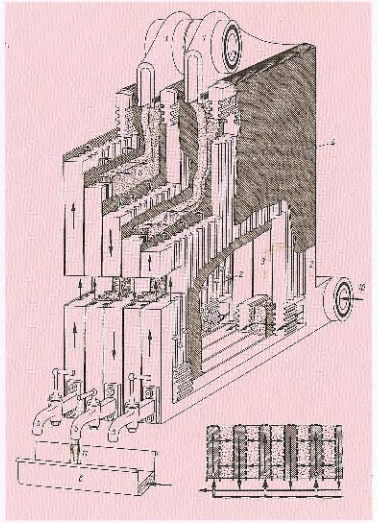
Założenie płócien albo zapakowanie filtra

Najpierw należy zawiesić płótna filtracyjne po obydwu stronach płyt. Rozpoczyna się od strony stałej płyty czołowej. Każda płyta zostaje wyposażona w płótno filtracyjne i następnie dosunięta równomiernie po obydwu stronach do znajdującej się przed nią ramy.

Filtr po zapakowaniu jest jeszcze zimny. Gdyby w tym momencie wpompować do niego zacier – zwłaszcza na początku tygodnia – schło-



Rys. 3.60. Spływ przedniej brzeczki
(1) ramy
(2) płyta wodna
(3) płyta brzeczkowa
(4) płótno filtracyjne
(5) kurek filtracyjny
(6) korytko zbiorcze
(7) wlot zacieru
(8) wysłodziny
(9) brzeczka przednia



Rys. 3.61. Spływ wód wysłodkowych
(1) ramy
(2) płyta wodna
(3) płyta brzeczkowa
(4) płótno filtracyjne
(5) kurek filtracyjny
(6) korytko zbiorcze
(7) wlot zacieru
(8) wysłodziny
(9) brzeczka przednia
(10) wlot wody wysładzającej
(11) spływ wód wysłodkowych

dziłby się, co mogłoby przeszkadzać filtracji. Dlatego filtr jest napełniany wodą 80°C, którą po pewnym czasie się spuszcza (po ok. 0,5 h). Równocześnie sprawdza się szczelność filtra.

Wpompowanie zacieru i spływ przedniej brzeczki

Zacieranie kończy się tym, że zacier wpompowuje się do kanału nad ramami. Aby zacier był podczas pompowania stale dobrze wymieszany, w kadzi zaciernej pozostawia się uruchomione mieszadło. Prędkość przepływu zacieru musi być tak utrzymana, żeby równomiernie napływał do ram. Przy szybkim pompowaniu powierzchnia filtracyjna zatyka się. Wzrasta przez to ciśnienie i praca trwa o wiele dłużej. Najszybciej pracuje się, kiedy ciśnienie wzrasta wolno i pod koniec pompowania osiąga 0,5 bar nadciśnienia. Aby to osiągnąć, silnik pompy powinien być regulowany. Wpompowywanie zacieru trwa ok. 20 do 25 min.

Podczas wpompowywania zacieru przednia brzeczka spływa już wszystkimi kurkami.

W filtrze zacierowym nie ma żadnej przerwy na początku filtracji. Wysłodziny są zatrzymywane przez płótna filtracyjne, brzeczka spływa przez płótna po żeberkach płyt w dół i wypływa z filtra wszystkimi kurkami (rys. 3.60). W tym procesie nie ma mętnej brzeczki.

Kiedy cały zacier został wpompowany i przednia brzeczka spłynęła, ramy powinny być całkowicie zapełnione wysłodzinami. Po spłynięciu przedniej brzeczki kurki filtracyjne zostają zamknięte.

Wysładzanie i spływ wód wysłodkowych

Wodę wysładzającą wprowadza się przez boczny kanał i przy tym do co drugiej płyty. Zwykle używa się do tego dolnego kanału, bo wysładzanie od góry wymaga więcej staranności. Woda wysładzająca wpływa przez otwory w co drugiej płycie u dołu, przepływa przez płótno i napełnia obie sąsiednie komory do samej góry. Napełnienie filtra sprawdza się przy pomocy małych kraników odpowietrzających, które znajdują się u góry na każdej co drugiej płycie, lub przy pomocy większego zaworu powietrznego nad filtrem.
Kiedy filtr jest napełniony, kurki na płytach brzeczkowych zostają otwarte. Dla łatwiejszego odróżnienia wysokość uchwytu na kurkach tych płyt jest niższa. Jeżeliby otworzyć kurek na płycie wodnej, to płynęłaby czysta woda.
Woda wysładzająca jest przez to zmuszona płynąć przez 6-cm warstwę wysłodzin i je wysładzać. To jednak wymaga, żeby komory były pod samą górę wypełnione wysłodzinami – w przeciwnym razie woda wysładzająca może przepływać niepotrzebnie przez górną wolną przestrzeń i wydajność będzie znacznie mniejsza (rys. 3.61).
Przy takim sposobie filtracji brzeczka zostaje jednak silnie napowietrzona na drodze przepływu przez kurki filtracyjne i korytko zbiorcze, toteż w nowszych filtrach zastosowano ***filtrację zamkniętą*** (rys. 3.62).
Odprowadzenie filtratu (brzeczki) ma przy tym miejsce nie przez kurki filtracyjne, lecz przez boczne kanały na płytach. W stałej czołowej płycie kanały są wyprowadzone w górę aż do wysokości filtra, aby zapewnić nieprzerwane napełnienie filtra. Pod koniec filtracji w nowoczesnych filtrach ostatnią porcję wody wysłodkowej wypycha się sprężonym powietrzem przez wysłodziny i przy tym wyciska jeszcze trochę ekstraktu.

W filtrze zacierowym można ługować wysłodziny także sposobem ciągłym lub okresowym.

Ługuje się tak długo, aż otrzyma się potrzebną ilość brzeczki; brzeczka przy pełnym kotle musi posiadać wymaganą zawartość ekstraktu.

Rozpakowanie filtra

Jak tylko spłynie cienkusz, można filtr rozpakować. Lecz filtr jest gorący (ok. 75°C), co utrudnia ręczną pracę. Ramy i płyty są teraz ręcznie albo mechanicznie rozsuwane, a wysłodziny spadają do niecki pod filtrem i zostają odtransportowane ślimakiem. Płótna filtracyjne z syntetycznych włókien zostają spłukane natryskiem i tylko na koniec tygodnia lub miesiąca wyjęte i wyprane. Ponownie zamknięty filtr w końcu tygodnia jest poddawany myciu w obiegu CIP.

3.3.4.2 Filtry zacierowe nowej generacji

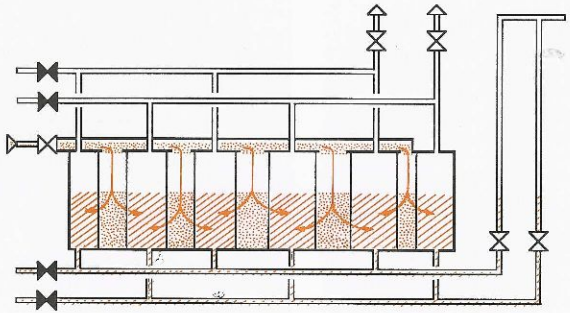
W wyniku rywalizacji o wydajność i liczbę warek na dobę pomiędzy kadzią filtracyjną a filtrem zacierowym w 1990 r. ukazał się na rynku filtr zacierowy 2001 firmy Meura/Tournai/B, jako nowa generacja filtrów, które wykazują istotne ulepszenia w odniesieniu do dotychczasowych (rys. 3.63).

3.3.4.2.1 Budowa filtra zacierowego 2001

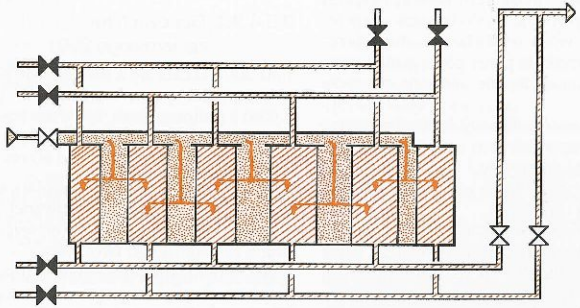
Filtr 2001 składa się z membranowych modułów komorowych i kratowanych płyt (rys. 3.63a) z polipropylenu, który ma bardzo niską wartość przewodności cieplnej. Płyty mają wymiary 2,0 x 1,8 m; filtr ma do 60 płyt.

Moduły membranowe (1) składają się z cienkiej, ok. 1 cm grubej, rowkowanej płyty (2), która z obu stron pokryta jest elastyczną membraną ze sztucznego tworzywa (3). Płyta poprzez wąż (4) ma połączenie z rurowym rozdzielaczem sprężonego powietrza nad filtrem. W odpowiednim czasie pomiędzy cienkie płyty a membrany ze sztucznego tworzywa zostaje podane sprężone powietrze. Membrany są elastyczne, rozciągają się i naciskają na wysłodziny, które znajdują się po obu stronach membran w przykręconych ramach (5), gru-

Rys. 3.62. Zamknięta filtracja na filtrze zacierowym
(1) napełnianie filtra

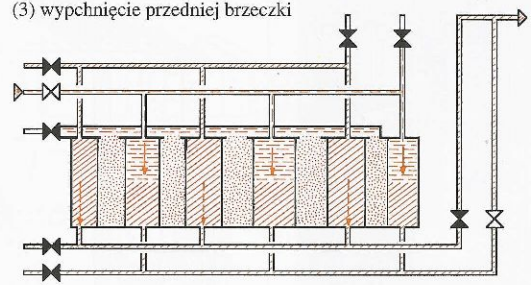


(2) spływ przedniej brzeczki

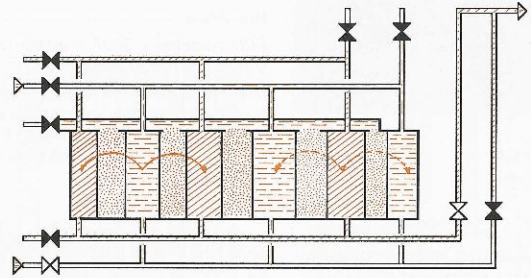


Zacier Brzeczka Woda

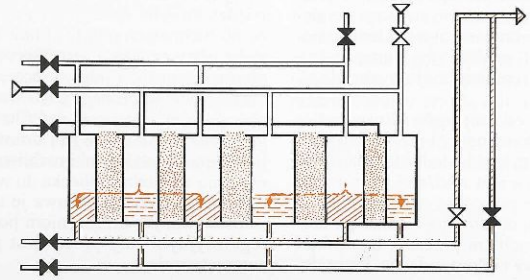
(3) wypchnięcie przedniej brzeczki

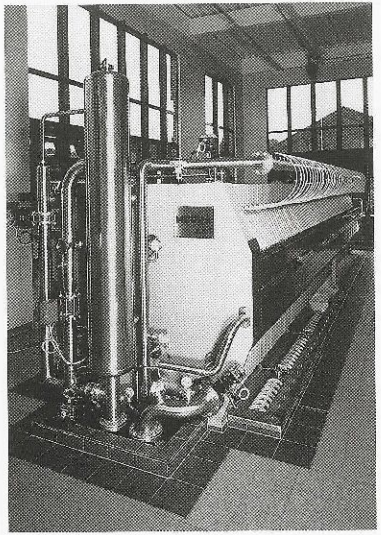


(4) ługowanie (a, b) alternatywne możliwości przy ługowaniu

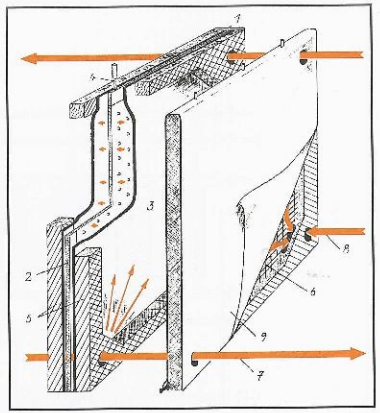


(5) opróżnianie





Rys. 3.63
Filtr zacierowy 2001
(Firma Meura, Tournai/B)

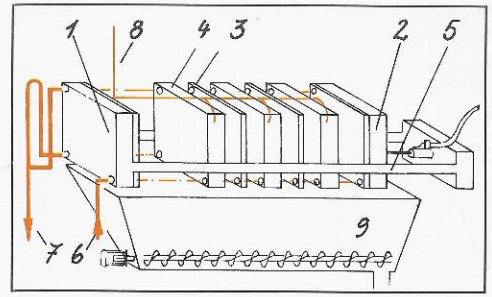


Rys. 3.63a
Filtr zacierowy 2001 – membranowy moduł komorowy i płyta kratowana

(1) moduł, (2) rowkowana płyta, (3) elastyczna membrana ze sztucznego tworzywa, (4) podłączenie wężowe do sprężonego powietrza (bocznie), (5) ramy, (6) płyta kratowana, (7) kanał dopływu zacieru, (8) kanał odpływu brzeczki, (9) płótno filtracyjne

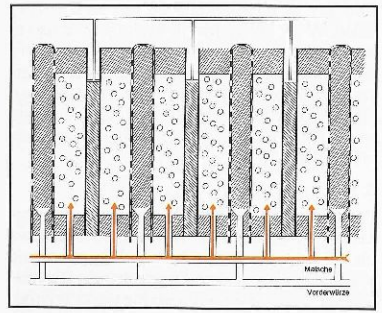
bości ok. 4 cm. Z drugiej strony wysłodziny są ograniczone przez ***kratowane płyty*** (6). Te płyty z polipropylenu o grubości również ok. 4 cm są pokryte płótnem filtracyjnym z polipropylenowej tkaniny (9), przez którą może przepływać przednia brzeczka i wody wysładzające. Po dociśnięciu filtra powstaje pomiędzy każdym membranowym modułem komorowym a każdą płytą filtracyjną komora o grubości ok. 4 cm, która przyjmuje wysłodziny.

Z przodu i z tyłu w dolnej części filtra przechodzi przez wszystkie moduły i płyty kratowane po jednym grubym kanale. Jeden kanał (7) służy do dopływu zacieru i później wód wysładzających; jest on połączony z każdym modułem komorowym obustronnie. Kanał po drugiej stronie (8) odbiera przednią brzeczkę i wody wysłodkowe i odprowadza je. Przez dopływ i odpływ od dołu osiąga się odpowietrzenie przy napełnianiu i minimalne natlenienie. Kanał w górnej części umożliwia napełnianie filtra z usuwaniem powietrza.
Filtr złożony razem składa się (rys. 3.63 b) ze stałej (1) i ruchomej płyty czołowej (2), pomiędzy którymi spoczywa na dźwigarach (5) do 60 ruchomych płyt (3) i modułów (4). Do stałej płyty czołowej jest doprowadzony dopływ zacieru (6) i odpływ brzeczki (7). Doprowadzenie sprężonego powietrza odbywa się przy pomocy stałej rury nad filtrem (8) i długich węży ciśnieniowych umożliwiających połączenie z modułami i ruchliwość przy wyrzucaniu wysłodzin. Niecka do wysłodzin (9) odbiera wysłodziny i usuwa je dalej. Dzięki zainstalowanym urządzeniom pomiarowym i regulacyjnym cały proces jest prowadzony automatycznie.



Rys. 3.63b
Filtr zacierowy 2001 (schemat)
(1) stała płyta czołowa,
(2) ruchoma płyta czołowa,
(3) płyta kratowana,
(4) moduł,
(5) dźwigar,
(6) doprowadzenie zacieru,
(7) odprowadzenie brzeczki,
(8) doprowadzenie sprężonego powietrza,
(9) niecka do wysłodzin ze ślimakiem

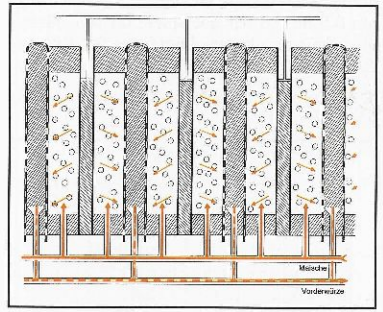
3.3.4.2.2 Przebieg pracy z filtrem 2001 (rys. 3.64)



Rys. 3.64
Przebieg pracy z filtrem zacierowym 2001

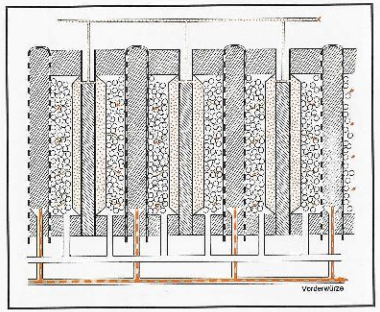
*1. **Napełnianie filtra:*** (↑zacier)
Zacier jest pompowany od dołu z nadciśnieniem 0,15 do 0,2 bar przez kanał na dolnej stronie (rys. 3.63b – 6) do komór po obu stronach modułów; przednia brzeczka natychmiast spływa przez płótna na kratowanych płytach.

*2. **Filtracja:*** (↑zacier, ↓przednia brzeczka)



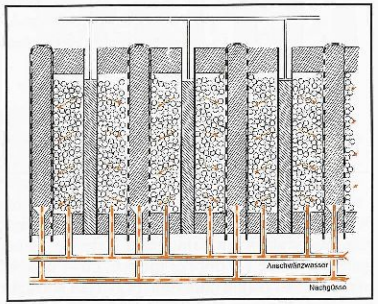
Podczas całkowitego napełniania filtra zacierem, warstwa wysłodzin, która staje się coraz grubsza, może się dobrze ułożyć, gdyż przednia brzeczka ciągle odpływa. Przy tym w ciągu pierwszych 10 min wzrasta lekko ciśnienie i potem pozostaje prawie jednakowe. Kiedy cały zacier jest wpompowany do filtra, wszystkie komory muszą być zapełnione wysłodzinami. Spływ przedniej brzeczki trwa ok. 20 min.

3. Pierwsze wyciskanie: (↓przednia brzeczka)



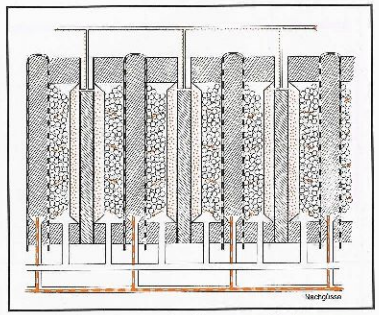
Kiedy przednia brzeczka spłynie, wysłodziny zostają wyciśnięte pierwszy raz. W tym celu membrany płyt membranowych zostają przy pomocy sprężonego powietrza przy nadciśnieniu 0,5 do 0,6 bar dociśnięte do wysłodzin i wyciskają resztki przedniej brzeczki. Ten proces trwa ok. 5 min.

4. Ługowanie: (↑wody wysładzające, ↓wody wysłodkowe)



Woda wysładzająca zostaje wpompowana – jak zacier – od dołu i rozdziela się równomiernie na powierzchni filtracyjnej. Woda wysładzająca 78°C ługuje wysłodziny podczas przepływu przez nie, podczas gdy wody wysłodkowe spływają za płótnami filtracyjnymi. Ten proces trwa najdłużej, bo 50 do 55 min.

5. Końcowe wyciskanie: (↓wody wysłodkowe)



Na zakończenie wysłodziny zostają jeszcze raz wyciśnięte, przy czym nadciśnienie w końcu zostaje podniesione do 0,7 bar. Dzięki temu zostaje wyciśnięty resztkowy ekstrakt, a wysłodziny są odwodnione do ok. 32% suchej masy. W tej konsystencji wysłodziny dają się jeszcze dobrze transportować. Zawartość wody można by jeszcze dalej obniżać przez silniejsze wyciskanie (do ponad 1,2 bar nadciśnienia), ale wysłodziny są wtedy za suche i w silosie tworzą się wówczas duże kawały utrudniające przeładunek.

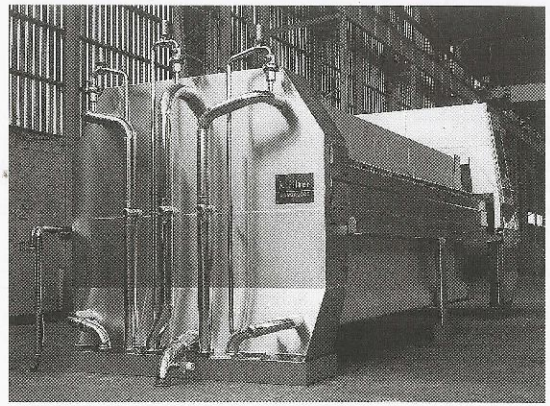
6. Zrzut wysłodzin:

Po otwarciu filtra wysłodziny spadają do niecki i zostają usunięte ślimakiem. Proces ten trwa ok. 10 min. Następnie filtr zostaje ponownie zamknięty i jest przygotowany do przyjęcia następnej warki. Płótna filtracyjne nie są wyjmowane do czyszczenia, otwieranie i zamykanie filtra odbywa się automatycznie, ale obsługa ma zawsze możliwość interwencji.

Całkowity czas trwania cyklu pracy filtra wynosi 100 do 110 min i umożliwia tym samym kolejność warek po sobie co dwie godziny = 12 warek/dobę.

Mycie na końcu tygodnia:

Na zakończenie tygodnia płótna są płukane natryskiem, bez ich wyjmowania. Celowe jest napełnienie filtra i wielogodzinne przepompowywanie rozcieńczonego roztworu ługu, by



Rys. 3.65
Filtr zacierowy nowego typu
Typ I-Filter (Fa. Landaluce, Requejada [Cantabria], Hiszpania)

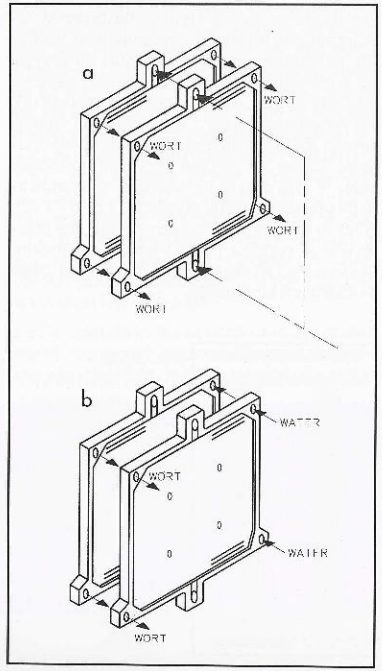
rozpuścić cząstki. Wymyte jeszcze resztki (wysłodziny i cząstki osadów) zostają usunięte i filtr dokładnie wypłukany.

Rozpoczynanie na początku nowego tygodnia:

Na początku nowego tygodnia należy filtr nagrzać i powinno się go zneutralizować słabo kwaśnym roztworem. Godne uwagi jest to, że nawet po przerwie filtr jest jeszcze ciepły.

3.3.4.2.3 Inne nowoczesne filtry zacierowe

Filtr Meura jest na całym świecie bardzo mocno rozpowszechniony i dlatego został tu bliżej opisany. W międzyczasie szereg innych znanych firm produkujących urządzenia dla browarów [(np. Ziemann, Ludwigsburg; Landaluce, Requejada (Cantabria) Hiszpania; Nordon, Nancy Cedex (Francja)] wyprodukowało z dużym sukcesem filtry zacierowe nowej generacji w różnych szeregach wielkości, częściowo aż do ponad trzymetrowej długości krawędzi płyty filtracyjnej (rys. 3.65).

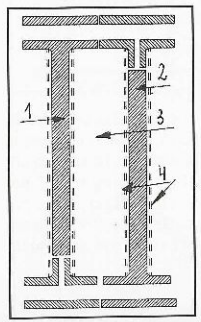


Rys. 3.65a
Przebieg pracy przy I-filtrze
(a) wpompowanie zacieru i spływ przedniej brzeczki
(b) wysładzanie i spływ wód wysłodkowych
water = woda; wort = brzeczka
(Landaluce, Requejada; Cantabria/Esp.)

Budowa i zasada pracy tych filtrów są podobne – oczywiście z odrębnościami poszczególnych producentów. Jednak w większości przypadków rezygnuje się z różnicowania na moduły i kratowane płyty, lecz filtr wyposaża się w jednakowego rodzaju płyty z polipropylenu, które posiadają różne dopływy i odpływy.

Dla dopływu zacieru (rys. 3.65a – a) filtry te posiadają po jednym kanale ponad i poniżej płyt, który ma dojście do każdej płyty i napełnia zacierem wszystkie puste przestrzenie pomiędzy płytami (rys. 3.65b – 3). Na płytach obustronnie leżą – trwale wprasowane na brzegach – filtracyjne płótna ze sztucznego tworzywa (4), przez które jest filtrowana brzeczka, podczas gdy wysłodziny pozostają w pustych przestrzeniach (3). Systemy te rezygnują z membran ze sztucznego tworzywa i tym samym z możliwości dodatkowego wyciskania wysłodzin.

Zasada pracy polega na tym, że puste przestrzenie pomiędzy płytami (i tym samym także między płótnami) są wykorzystywane do przyjęcia wysłodzin (3). Przednia brzeczka wskutek tego spływa wszystkimi bocznymi kanałami (a). Do wysładzania (rys. 3.65 a; b) wodę wpompowuje się do co drugiej płyty i wody wysłodkowe ściąga się płytami leżącymi pomiędzy nimi. W tym celu są na przemian zamontowane dwojakiego rodzaju płyty (rys. 3.65 b – 1+2). Przez to wody wysładzające są zmuszone przepływać w poprzek przez warstwę wysłodzin. Dla lepszego wysładzania zmienia się od czasu do czasu ich kierunek.



Rys. 3.65b
(1) płyta filtracyjna typ 1
(2) płyta filtracyjna typ 2
(3) pusta przestrzeń do przyjęcia wysłodzin
(4) dopasowane płótna filtracyjne ze sztucznego tworzywa

W zasadzie te nowoczesne filtry przez brak membran zbliżają się raczej do pierwotnych systemów (rys. 3.62), jednak ze znacznymi ulepszeniami.

Jako zalety nowoczesnych filtrów przytacza się:

- ***Czas filtracji wynosi nie więcej niż dwie godziny***, co umożliwia przefiltrowanie 12 warek/dobę.
- Przy tym należy się liczyć z następującymi mniej więcej czasami:

Napełnianie filtra	8 min
Przepompowywanie	3 min
Spływ przedniej brzeczki	15 min
Wysładzanie	65 min
Wyciskanie	6 min
Otwarcie filtra	1 min
Rozsuwanie płyt	13 min
Zamknięcie filtra	1 min
Razem	112 min

- Filtr daje ***klarowną jakościowo brzeczkę*** o bardzo małym zmętnieniu. Można to odnieść do b. drobnych oczek dzianiny filtracyjnej i drobnego przemiału śruty.
- ***Wydajność warzelni*** jest równa, a nawet częściowo powyżej ***wydajności laboratoryjnej***; co w istocie można odnieść do bardzo drobnego przemiału i intensywnego wysładzania. Na wydajność i czas filtracji w znacznym stopniu wpływa jakość słodu.
- ***Natlenienie*** przy wprowadzeniu zacieru od dołu jest minimalne.
- Do śrutowania używa się młewników młotkowych, gdyż można zrezygnować z łuski jako materiału filtracyjnego. ***Skład śruty*** pozostaje tu również kluczem do sukcesu wysokiej wydajności. Niektóre browary śrutują słód w zwyczajnym śrutowniku na śrutę z ok. 50% udziałem mąki, oddzielają łuskę i mielą ponownie na młewniku młotkowym.

  Dla dobrej filtracji jest proponowany następujący skład śruty:

Sito 1	< 1%
sito 2 +3	< 9%
sito 4 +5	> 55%
dno	> 35%

- Filtr jest łatwy w obsłudze z ***małym nakładem pracy***. Jednak zależy to od jakości i tym samym od żywotności płócien filtracyjnych.

- Na koszty eksploatacyjne nowoczesnych filtrów zacierowych niemały wpływ ma trwałość płócien filtracyjnych i mechanika transportu płyt oraz hydraulika.
- Nakłady energetyczne na bardzo duże rozdrobnienie słodu są większe niż przy tradycyjnym śrutowaniu.

Nie można jednak nie dostrzegać, że nowoczesne kadzie filtracyjne również umożliwiają wykonanie 12 warek/dobę, a nakład pracy jest również bardzo niski, bo nikt nie musi już wchodzić do kadzi. Tym samym znacznie maleje przewaga filtra zacierowego w odniesieniu do kadzi filtracyjnej.

W ogóle korzyści filtra zacierowego nabierają znaczenia raczej w bardzo dużych browarach z wieloma mln hl rocznej produkcji. Przeważająca liczba browarów w dalszym ciągu tradycyjnie przekłada jednak nowoczesną kadź filtracyjną nad filtr zacierowy.

3.3.5 Wysłodziny

Ze 100 kg śruty uzyskuje się ok. 100 do 130 kg wysłodzin z 70 do 80% wody, czyli 21 do 22 kg wysłodzin/hl piwa.

Sucha masa wysłodzin ma w przybliżeniu następujący skład:

Białko	28,0%
Tłuszcz	8,2%
Substancje bezazotowe ekstraktu	41,0%
Celuloza	17,5%
Substancje mineralne	7,3%

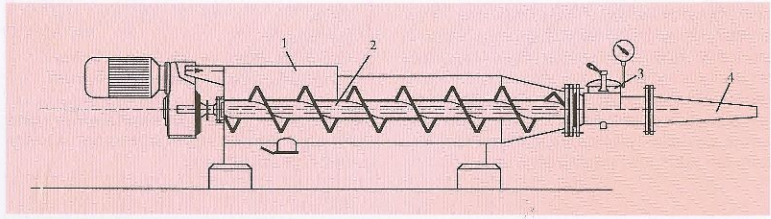
Wysłodziny są sprzedawane w miarę możliwości jako pasza dla bydła. Wartość odżywcza wysłodzin wynosi ok. jednej piątej wartości odżywczej takiej samej ilości jęczmienia. Jest to zrozumiałe, jeżeli weźmie się pod uwagę, że podczas zacierania wiele rozpuszczalnych substancji przeszło do brzeczki jako ekstrakt. Korzystne w wysłodzinach jest to, że zawarte w nich substancje mają lepszą strawność aniżeli w pierwotnej postaci (*tj. w jęczmieniu – przyp. tł.*).

Wysłodziny nie zawierają żadnych witamin i nie powinno się ich wyłącznie samych spasać. Zawierają one jeszcze cukier i dużo białka, jednak kiedy są ciepłe, mogą się szybko zepsuć, dlatego należy próbować je szybko i niezawodnie zagospodarować. Od tego są ponadregionalni kupcy, którzy nadmierną ilość wysłodzin przerabiają albo suszą. Również rolnicy utrwalają wysłodziny przeznaczając je na kiszonkę, z dodatkiem kultur bakterii mlekowych

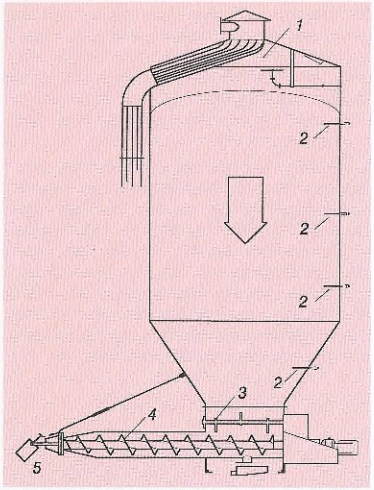
3.3.5.1 Transport wysłodzin

Mokre wysłodziny spadają z szybu spustowego kadzi filtracyjnej na transporter do wysłodzin (rys. 3.66), który znajduje się pod kadzią filtracyjną. Tam ślimak transportuje wysłodziny do wyjścia, przy czym są one lekko sprężane. Na końcu ślimaka wysłodziny są porcjami transportowane przy pomocy sprężonego powietrza przez przewód do silosu wysłodzin (rys. 3.67). Przy pomocy garnka wydmuchowego wysłodziny zostają oddzielone od powietrza transportującego Wysłodziny spadają do silosu i od dołu ślimakiem są transportowane na podstawiony samochód. Urządzenie należy chronić przed zamarznięciem; wydawana ilość wysłodzin jest mierzona.

Jeżeli wysłodziny nie są bezpośrednio sprzedawane, muszą być suszone. Do tego służy ***suszarnia wysłodzin***, w której wysłodziny zostają



Rys. 3.66. Transport wysłodzin
(1) przyjęcie wysłodzin, (2) ślimak do wysłodzin, (3) zawór klapowy zwrotny, (4) przewód do silosu wysłodzin



Rys. 3.67. Silos do wysłodzin
(1) wlot wysłodzin, (2) wskaźnik stanu napełnienia, (3) ślimak z wiosłami dla uniknięcia tworzenia się zatorów, (4) ślimak do wyrzutu wysłodzin, (5) wylot wysłodzin

wysuszone do 10-12% zawartości wody. Wysłodziny są tu transportowane ślimakiem do sekcji sprasowania, która składa się ze stożkowego ślimaka sprasowującego z dziurkowanym płaszczem sitowym. Odwodnione wysłodziny zostają następnie doprowadzone do suszarni i opuszczają ją przez kołową śluzę komorową. Zużycie pary wynosi 1,25 do 1,36 kg/kg odparowanej wody. Suszenie ma sens tylko wtedy, jeżeli wysuszone wysłodziny sprzeda się 4 do 5 razy drożej niż mokre, toteż większość browarów nie posiada żadnych suszarni, lecz stara się żeby swoje wysłodziny sprzedać okolicznym rolnikom lub zakładowi produkującemu pasze.

3.3.5.2 Analiza wysłodzin

Analiza wysłodzin daje dokładny obraz tego, w jakim zakresie są jeszcze zawarte substancje ekstraktu w wysłodzinach. Ogólny ekstrakt wysłodzin składa się z ***ekstraktu wymywalnego i niewymywalnego***. Wymywalny lub inaczej rozpuszczalny ekstrakt zwykle jest określany w wyciśniętej brzeczce z wysłodzin, ***ogólny ekstrakt*** jest pozyskiwany przez gotowanie wysłodzin i następnie enzymatyczny rozkład.

Różnica pomiędzy ogólnym ekstraktem a wymywalnym ekstraktem przedstawia niewymywalny ekstrakt.
Z tych wyników można wyciągać wnioski o pracy w warzelni.

3.3.5.2.1 Wymywalny ekstrakt

Wymywalny ekstrakt metodą szybką jest określany po wyciśnięciu wysłodzin na ręcznej prasie, przefiltrowaniu przez fałdowany sączek i pomiarze cukromierzem.

Wymywalny ekstrakt jest podawany w procentach i normalnie wynosi 0,8% wag.

3.3.5.2.2 Niewymywalny ekstrakt (analiza laboratoryjna)

Oprócz rozpuszczalnego ekstraktu są w wysłodzinach jeszcze substancje, które dają się rozłożyć, lecz podczas zacierania nie przeszły do roztworu. Te substancje to nierozpuszczalny ekstrakt. Aby go oznaczyć zaciera się 25 g zmielonych wysuszonych wysłodzin z dodatkiem preparatów enzymatycznych, gotuje 15 min i następnie zaciera z dodatkiem enzymów metodą kongresową.

Przy pomocy tej metody otrzymuje się ***ogólny ekstrakt, który wynosi 1,3 do 1,8%.***
Z różnicy
ogólny ekstrakt - wymywalny ekstrakt
otrzymuje się ***niewymywalny ekstrakt.***

Niewymywalny ekstrakt normalnie wynosi 0,8%. Daje nam to ważne informacje o pracy warzelni przed filtracją.

Przyczyny wysokiej zawartości wymywalnego ekstraktu

Przyczyna	Uzasadnienie	Pozbywanie się błędów
Słód źle rozluźniony	przemiany enzymatyczne i przenikanie zatrzymywanego w cząstkach wysłodzin ekstraktu wolniejsze i mniej całkowite niż w dobrze rozluźnionym słodzie	używanie dobrze rozluźnionych słodów
Za drobna śruta	śruta jest ciastowata i warstwa wysłodzin gorzej się wysładza	grubsze śrutowanie
Za krótki czas filtracji	zatrzymywany ekstrakt w wysłodzinach w krótkim czasie nie może przeniknąć w wystarczającej ilości do wody wysładzającej	wystarczająco długie wysładzanie, większa liczba mniejszych nalewów wysładza lepiej niż ciągłe wysładzanie
Nierównomierne ułożenie zacieru	z powodu nierównej grubości warstwy filtracyjnej w kadzi ma miejsce nierównomierne wysładzanie	równomierne rozłożenie zacieru w kadzi filtracyjnej przez rozdzielenie spulchniaczem
Ściągnięcie (zbicie) wysłodzin	ściągnięte partie wysłodzin nie są wysładzane (wyspy ekstraktu)	przymknięcie kurków filtracyjnych dla zmniejszenia zasysania; używanie manometru filtracyjnego
Niezupełne usuwanie osadów	przestrzeń pod dnem sitowym może się częściowo zapchać osadami dennymi i przez to spowodować nierównomierny spływ brzeczki	całkowite otwieranie kurków filtracyjnych przy odstrzeleniu osadów dennych
Za niskie stężenie przedniej brzeczki	do wysładzania pozostaje za mała ilość wód wysładzających	wyższe stężenie przedniej brzeczki (18 do 20%); stosunek objętościowy - przednia brzeczka: wody wysłodkowe = 1:1 do 1:1,2
Za zimna filtracja	przez wychłodzenie kadzi filtracyjnej lub za zimną wodę wysładzającą gorsze wysładzanie	temperatura podczas całego procesu filtracji powinna być możliwie bliska 78°C; kadź należy zaizolować przeciwko wychładzaniu
Nierównomierne i niewystarczające napełnienie komór filtra	przy za wolnym lub za szybkim napełnianiu komory filtra napełniają się nierównomiernie	zasyp musi być dopasowany do liczby i wielkości ram filtra; napełnianie musi się odbywać równomiernie; ciśnienie powinno wzrastać tylko powoli
Za gruba śruta	źle nastawiony śrutownik, wypracowane łożyska i zużyte walce, za szybkie śrutowanie, za wilgotny słód	zmiana ustawienia śrutownika, walce dać do przeszlifowania, wolniej śrutować
Proces zacierania za krótki lub nieodpowiedni	niewystarczająco rozłożone substancje wewnętrzne słodu i surowca niesłodowanego	dłużej i intensywniej zacierać; odbierane do gotowania zaciery dłużej gotować, gotować więcej gęstego zacieru, drobniej śrutować

3.3.5.2.3 Przeliczenie zawartości ekstraktu w wysłodzinach na słód

Pozostający w wysłodzinach ekstrakt wymywalny i niewymywalny jest dla brzeczki stracony i zmniejsza wydajność warzelni. Aby mieć dokładne dane o stracie, przelicza się zawartość ekstraktu w wysłodzinach na słód i otrzymuje się stratę w kg na 100 kg słodu. Normalnie traci się 1,1 do 2,5 kg ekstraktu na 100 kg słodu.

3.3.6 Ekstrakt słodowy

Celem zacierania było wytworzenie dużej ilości dobrego ekstraktu, który podczas filtracji zostaje oddzielony od wysłodzin. Ten ekstrakt słodowy można uzyskać w postaci zagęszczonej, jeżeli odparowuje się niechmieloną brzeczkę.

Ekstrakt słodowy jest ciemnym, gęstym syropem, który smakuje słodko i zawiera wszystkie substancje odżywcze brzeczki. Ekstrakt słodowy jest sprzedawany jako środek wzrostowy i wzmacniający w postaci syropu lub proszku. Używany jest także w przemyśle piekarniczym i czekoladowym jako dodatek słodzący.

W Niemczech obserwuje się coraz większe zapotrzebowanie na ekstrakt słodowy ze strony amatorów piwowarów. Większość z nich woli zrezygnować z procesu zacierania, a przede wszystkim z uciążliwej filtracji w domu, i rozpoczyna swoją warkę z ekstraktem słodowym (rozcieńczonym) przy pełnym kotle brzeczki. Taki ekstrakt słodowy można kupić w odpowiednich sklepach.

Jakość ekstraktu słodowego jest silnie uzależniona od jakości brzeczki, z której został wytworzony. Przede wszystkim zaciera się gęściej, gdyż inaczej do zagęszczenia brzeczki potrzeba zbyt dużo energii. Zagęszcza się 75 do 80% zawartości ekstraktu, często jednak znacznie niżej, aby ułatwić ponowne rozcieńczenie.

Jeżeli wodę z brzeczki odparowuje się przy normalnym ciśnieniu (100°C), potrzeba wiele czasu, podczas którego wytwarza się w brzeczce ogromna ilość produktów Maillarda (melanoidyny i aldehydy Streckera). Brzeczka wtedy silnie się zabarwia, jest bardzo obciążona termicznie i tak też smakuje. Aby tego uniknąć, wodę odparowuje się pod próżnią w niższej temperaturze (0,1 bar ≙ 46°C temperatura wrzenia; 0,2 bar ≙ 60°C temp. wrzenia; p. pkt. 10.2.2.1). Warunkiem do tego jest

- zamknięty, wytrzymały na próżnię kocioł warzelny z mieszadłem,
- zamknięty system przewodów ze skraplaczem i
- pompa próżniowa

W tych warunkach można utrzymać jakość brzeczki do ponownego jej rozcieńczenia prawie bez zmina.

Do zagęszczania używa się specjalnych wyparnych urządzeń próżniowych.

3.4 Gotowanie brzeczki

Uzyskana brzeczka jest gotowana przez 1 do 2 godzin. W tym czasie dodaje się chmiel.

W czasie gotowania brzeczki przechodzą do niej goryczkowe i aromatyczne składniki chmielu, a równocześnie zostają wytrącone substancje białkowe.

Gotowanie brzeczki odbywa się w kotle warzelnym, który posiada wszelkie warunki do silnego gotowania. Końcowym produktem gotowania brzeczki jest brzeczka wybita.

3.4.1 Procesy przy gotowaniu brzeczki

Przy gotowaniu brzeczki zachodzą różne procesy, które mają dla nas duże znaczenie:

- ***rozpuszczanie i przemiana składników chmielu,***
- ***wytwarzanie i wytrącanie związków białkowo-garbnikowych,***
- ***odparowanie wody,***
- ***sterylizacja brzeczki,***
- ***zniszczenie enzymów,***
- ***wzrost zabarwienia brzeczki,***
- ***zakwaszenie brzeczki,***
- ***wytwarzanie substancji redukujących oraz***
- ***wpływanie na zawartość siarczku dwumetylu (DMS) i innych lotnych substancji w brzeczce.***

3.4.1.1 Rozpuszczanie i przemiana składników chmielu

Ze składników chmielu ważnymi dla wytwarzania piwa są:

żywice chmielowe lub inaczej substancje goryczkowe chmielu,
olejki chmielowe,
garbniki chmielowe.

Żywice chmielowe, czyli substancje goryczkowe, są najważniejszymi składnikami chmielu dla produkcji piwa, gdyż one nadają piwu gorzki smak.

α-kwasy w ogóle nie rozpuszczają się w zimnej brzeczce. W gotującej się brzeczce mają miejsce przemiany w strukturze α-kwasów, które określa się jako izomeryzację. Powstające izozwiązki są o wiele bardziej rozpuszczalne niż α-kwasy, z których się wywodzą.

Izomeryzacja α-kwasów podczas gotowania wcale nie jest zupełna. Średnio w ugotowanej brzeczce tylko zaledwie jedna trzecia dodanych z chmielem α-kwasów znajduje się w postaci izozwiązków. Także w dalszym przebiegu wytwarzania piwa wytrącają się znaczne ilości substancji goryczkowych. Można więc liczyć, że z przechodzących do roztworu podczas gotowania pozostaje:

	Ilość substancji goryczkowych	ze względną wartością goryczy
w chmielinach	20%	7%
w osadach	50%	18%
w pokrywie pofermentacyjnej i w drożdżach	10%	25%
w piwie	20%	50%

Wydajność izohumulonów podczas gotowania i tym samym goryczek w piwie w znacznym stopniu jest zależna od

1. ***natury izohumulonów:*** Różne składniki α-kwasów izomeryzują z różną siłą; kohumulon daje najlepszą wydajność izohumulonów. Używanie odmian chmielu z większym udziałem kohumulonu (np. Northern Brewer) daje silniejszą goryczkę w piwie.

2. ***czasu trwania gotowania:*** Ze wzrastającym czasem gotowania wzrasta wydajność izohumulonów. Największa część α-kwasów jest izomeryzowana na początku gotowania i w miarę wzrostu czasu gotowania wydajność izomeryzacji zwiększa się coraz wolniej. Po 1 h gotowania jest zizomeryzowana największa część substancji goryczkowych.

3. ***wartości pH:*** Wyższa wartość pH daje zawsze lepszą izomeryzację, ale przy niższym pH goryczka jest zawsze odbierana jako bardziej wyrównana i przyjemniejsza.

4. ***stężenia humulonów:*** Ze wzrastającą dawką chmielu obniża się wydajność izohumulonów; spadek waha się jednak w małym zakresie (do 10%).

5. ***wytrącania się izohumulonów z osadami:*** Znaczna część izohumulonów jest adsorbowana przez osady przełomu.

6. ***wzmocnienia izomeryzacji,*** np. przy pomocy wyższych temperatur gotowania

7. ***stopnia rozdrobnienia chmielu:*** Rozdrobnienie zwiększa szybkość ekstrakcji i tym samym wydajność substancji goryczkowych (patrz także produkcja granulatów i ekstraktu).

Olejki chmielowe się ulatniają i to tym więcej, im dłużej są gotowane. Dowiedzieliśmy się (rozdz. 1.4.4.2), że różne olejki chmielowe zróżnicowanie silnie i przyjemnie pachną. W tym celu chmiel z najlepszym aromatem – chmiel aromatyczny – dodają dopiero 15 do 20 min przed wybiciem warki, żeby w piwie zatrzymać przynajmniej część najlepszych olejków chmielowych.

Garbniki chmielowe są rozpuszczalne w wodzie i przechodzą natychmiast do roztworu. Do garbników chmielowych należą ***antocyjanogeny***, tanina i katechina. Biorą one w decydującym stopniu udział w przełomie brzeczki (patrz następny rozdz.).

W dalszym przebiegu procesu produkcji piwa garbniki, szczególnie antocyjanogeny, coraz silniej polimeryzują i mogą zagrażać stabilności koloidalnej piwa. Garbniki przyczyniają się do pełni smakowej i goryczy piwa.

3.4.1.2 Wytwarzanie i wytrącanie związków białkowo-garbnikowych

Garbniki chmielu i słodu rozpuszczają się całkowicie w brzeczce i wiążą się z substancjami białkowymi brzeczki. Garbniki słodu reagują przy tym nieco trudniej niż chmielu.

Ponieważ garbniki występują częściowo w utlenionej postaci, a białka mają cząsteczki różnej wielkości, wytwarzają się różne połączenia z odmiennym zachowywaniem się:

1. ***Połączenia białek i garbników oraz substancji białkowych i utlenionych garbników są w wysokich temperaturach nierozpuszczalne i wytrącają się w czasie gotowania brzeczki jako przełom.***

Przez przełom rozumie się kłaczki gorącego osadu, które wytwarzają się podczas gotowania w brzeczce. Związki te powinno się możliwie całkowicie wytrącić i usunąć.

Przełom jest wspomagany przez:

a) **dłuższe gotowanie;** przy dwugodzinnym gotowaniu związki te zostają w dużym stopniu wytrącone.

Wymagany czas gotowania dla wytrącenia się białek zmniejsza się ze wzrastającym ciśnieniem i tym samym podwyższoną temperaturą. Dla przykładu w temperaturze 140°C potrzeba tylko 3 do 5 min.dla wytworzenia się przełomu;

b) **intensywny ruch** gotującej się brzeczki; dzięki temu reakcje pomiędzy substancjami białkowymi i polifenolami zachodzą szybciej;

c) **niska wartość pH;** optymalne pH dla przełomu wynosi 5,2. Toteż wskazane jest, aby wartość pH obniżyć przed gotowaniem brzeczki.

Pod koniec gotowania sprawdza się przełom we wzierniku: Przełom powinien być z możliwie dużych kłaczków pływających w klarownej brzeczce z połyskiem i osadzać się stożkowo. Z grubo kłaczkującego przełomu można wnioskować o dobrym wytrąceniu białka.

2. ***Związki produktów rozkładu białka i garbników pozostają w czasie gotowania brzeczki w roztworze i wytrącają się dopiero podczas chłodzenia brzeczki jako zimny osad (p. rozdz. 3.9.1.2).***

Pomimo długiego gotowania w brzeczce pozostaje rozpuszczalna mała ilość wysokocząsteczkowych, koagulujących substancji zawierających azot (< 2 mg azotu koagulującego na 100 ml brzeczki = 20 mg/l); te związki wytrącają się dopiero w piwie i biorą udział w zimnym zmętnieniu.

3.4.1.3 Odparowanie wody

Podczas gotowania odparowuje woda i następuje zagęszczenie brzeczki

Tworzenie się przełomu jest zależne od intensywności gotowania.

Intensywne gotowanie oznacza silne poruszanie się zawartości kotła i tym samym mocne odparowanie. Ilość odparowanej wody jest w bezpośrednim związku z wymaganym wytrąceniem białka. Dlatego przez długi czas odparowanie 10 do 15% było miernikiem dobrego kotła warzelnego. Ten pogląd uległ zmianie. Miarą intensywności gotowania jest odparowana ilość wody (ogólne odparowanie).

Obecnie czas gotowania przeważnie niewiele przekracza jedną godzinę, nie bierze się więc pod uwagę odparowania podawanego dawniej zwykle w procentach na godzinę. Niekiedy odparowanie podaje się w hl/hl wybitej brzeczki, co nie jest prawidłowe, gdyż ilością wyjściową jest brzeczka przy pełnym kotle.

Przykład:
Przy pełnym kotle jest 360 hl brzeczki i przy wybiciu 339 hl. Jak duże jest odparowanie?
360 hl brzeczki przy pełnym kotle
339 hl wybitej brzeczki
21 hl odparowanej wody
360 hl brzeczki przy pełnym kotle = 100%
21 hl odparowanej ilości = X%

$$X = \frac{21\,hl \cdot 100\%}{360\,hl} = 5{,}83\%$$

Odparowanie (ogólne odparowanie) wynosi 5,83%.

Odparowanie wody wymaga energii, a energia kosztuje dużo. Dlatego czyni się starania, żeby

- ***nie gotować dłużej niż to jest potrzebne,***
- ***niekoniecznie odparowywać dużo wody i***
- ***możliwie największą część zużytej energii odzyskać z powrotem.***

Jest to również jedna z zalet „high-gravity-brewing" (patrz rozdz. 4.9.1), w której wytwarza się stężone brzeczki. Przez to gotuje się mniej brzeczki (= wody) i dzięki temu pracuje się taniej.

Odparowanie ma jeszcze inny bardzo ważny aspekt.

Im więcej zostaje odparowane, tym więcej można przed tym wyługować ekstraktu i przefiltrować. Tak więc silne odparowanie daje równocześnie poprawę wydajności. Jednak nie opłacałoby się za długie i intensywne gotowanie mające na celu poprawę wydajności, bo koszty za zużytą energię byłyby wtedy większe niż zysk z ekstraktu.

Odparowuje tylko woda, w brzeczce musi więc wzrastać zawartość ekstraktu. Odpowiednio do różnie silnego odparowania w różnych kotłach wartość ta jest związana z zakładem. Wzrasta ona z wielkością odparowania i może wynosić więcej niż 2% w zawartości ekstraktu od brzeczki przy pełnym kotle do wybitej brzeczki.

Stężenie brzeczki nastawnej (≙ w przybliżeniu brzeczka podstawowa) jest ustalane przez zakład dla danego gatunku piwa. Należy przy tym mieć na uwadze, że przy chłodzeniu występuje zmiana stężenia. Zmiana ta jest uzależniona od zakładu i przy otwartym chłodzeniu jest większa niż przy zamkniętym. Przez odparowanie zawartość ekstraktu wzrasta, przez dodatek wód wysłodkowych, np. na chmieliny itd. obniża się.

Pod koniec gotowania brzeczki należy zawartość ekstraktu ustawić tak, żeby ani zmiany przy chłodzeniu brzeczki, ani późniejsze rozcieńczenie piwa przez przed- i popiwki przy filtracji nie doprowadziły do obniżenia wymaganego stężenia brzeczki podstawowej (rys. 3.107).

Należy dbać, żeby nie zejść poniżej wymaganej zawartości ekstraktu brzeczki podstawowej, przy czym dopuszcza się 0,2 do 0,3% swobody działania. Dlatego kontrola zawartości ekstraktu jest dla warzelanego bardzo ważnym zadaniem.

3.4.1.4 Sterylizacja brzeczki

Z pyłem słodu przedostaje się do zacieru wiele bakterii, które mogą szybko zakwasić piwo, jeżeli nie zostaną zabite. Podczas gotowania brzeczki wszystkie zawarte w brzeczce drobnoustroje zostają zabite.

3.4.1.5 Zniszczenie wszystkich enzymów

Przez gotowanie brzeczki obecne jeszcze nieliczne enzymy zostają zupełnie zniszczone, przez to nie jest więc możliwa późniejsza, niekontrolowana zmiana w składzie brzeczki. Jeżeli później zmiany są konieczne, np. występuje zmętnienie skrobiowe wybitej brzeczki, lub produkuje się piwo dla diabetyków (patrz odc. 7.3.2), należy później dodać wyciągu słodowego lub przednicj brzeczki, żeby skrobię rozłożyć do fermentujących cukrów.

3.4.1.6 Wzrost zabarwienia brzeczki

Brzeczka staje się nieco ciemniejsza. Podczas gotowania wytwarzają się melanoidyny i utleniają się garbniki. To powoduje przybarwienie brzeczki, która przy wybiciu jest nieco ciemniejsza niż wytworzone z niej piwo. Barwa rozjaśnia się podczas fermentacji.

Barwa przy produkcji jasnego wynosi (w jednostkach EBC):

brzeczka w pełnym kotle warzelnym	8,8
brzeczka wybita	13,0
piwo	12,3

3.4.1.7 Zakwaszanie brzeczki

Brzeczka jest nieco kwaśniejsza niż zacier, gdyż wytwarzające się podczas gotowania melanoidyny są kwaśne, a i chmiel wnosi ze sobą trochę kwasów.

Wartość pH w pełnym kotle warzelnym wynosi bez zakwaszania zacieru ok. 5,5 do 5,6,

wartość pH przy wybiciu ok. – 5,4 do 5,5.

Wiele ważnych procesów przebiega w niższym pH lepiej lub szybciej. Należą do tego przy gotowaniu brzeczki:

- wytrącanie się związków białkowo-garbnikowych przy gotowaniu brzeczki o pH 5,2,
- mniejszy przyrost zabarwienia brzeczki o niskim pH,
- przyjemna i szlachetniejsza goryczka chmielowa przy niższym pH,
- większa wrażliwość drobnoustrojów przy niższej wartości pH.

Niekorzystne przy niskiej wartości pH jest gorsze wykorzystanie substancji goryczkowych chmielu, przez co potrzebna jest większa dawka chmielu.

Dlatego jest wskazane, aby brzeczkę zakwaszać do wartości pH 5,1 do 5,2 krótko przed zakończeniem gotowania.

Możliwości i środki do tego p. rozdz. 3.2.1.8.

3.4.1.8 Wytwarzanie substancji redukujących (reduktonów)

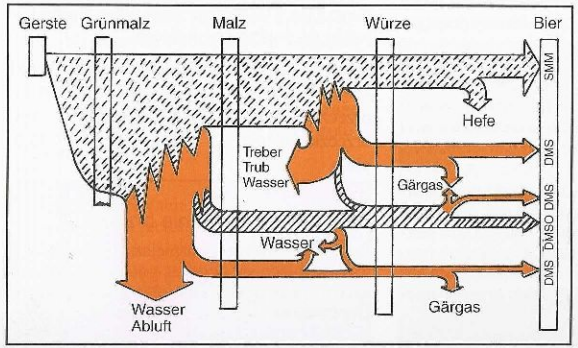
Przy gotowaniu brzeczki wytwarzają się związki, które mają zdolność wiązania tlenu z brzeczki i przez to działają redukująco. Takie substancje nazywa się reduktonami. Do nich należą np. melanoidyny, których mechanizm wytwarzania poznaliśmy już przy suszeniu słodu.

3.4.1.9 Zmiana zawartości DMS podczas i po gotowaniu brzeczki

Podczas gotowania brzeczki w kotle warzelnym nie jest już możliwe nadrobienie niewystarczającego usunięcia DMS podczas wytwarzania słodu, dlatego wymaga się, żeby zawartość SMM (prekursora DMS) w słodzie wynosiła maksymalnie 5 mg/kg (ppm) słodu. W danej chwili należy usuwać jeszcze dodatkowo powstający DMS podczas wytwarzania brzeczki i piwa (rys. 3.68).

Rysunek jeszcze raz wyjaśnia: główna ilość DMS powstaje przez rozpad prekursora S-metylo-metioniny (SMM). Tylko mniejsza część SMM przekształca się w sulfotlenek dwumetylu (DMSO) i przez redukcję enzymatyczną przy udziele drożdży lub drobnoustrojów zakażających może być zredukowana do DMS. Trzecią możliwą drogą wytwarzania DMS (na rysunku nie pokazaną) są reakcje Maillarda, jeżeli z glukozą reagują aminokwasy zawierające siarkę.

DMS jest lotnym związkiem, to znaczy: ulatnia się prawie całkowicie, jeżeli gotuje się 75 do 80 min w temperaturze 106 do 107°C. Obecnie nikt tego nie będzie już stosował i nie byłoby to dobre również ze względu na obciążenie termiczne. Obecnie gotuje się 60 do 70 min w 102 do 104°C i już wtedy wchodzi się w problematyczne zakresy.



Rys. 3.68
Wytwarzanie DMS podczas wytwarzania słodu i piwa (wg Narziba)
(Gerste = jęczmień; Grünmalz = mokry słód; Malz = słód; Würze = brzeczka; Bier = piwo; Hefe = drożdże; Treber = wysłodziny; Trub = osad; Wasser = woda; Abluft = powietrze wylotowe; Gärgas = gaz fermentacyjny)

Usiłuje się uintensywnić odparowanie lotnych składników, szczególnie DMS, przy pomocy specjalnych parasoli do rozdzielania brzeczki i „dynamicznego gotowania" (p. pkt. 3.4.2.3.2).

Półokres rozpadu SMM (prekursora DMS) jest zależny od temperatury i czasu gotowania. Skraca się ze wzrostem temperatury i czasu gotowania (rys. 3.68a). Oprócz koagulacji substancji białkowych i przemiany goryczek chmielowych sposób przeprowadzenia gotowania brzeczki określa w dużej mierze odparowanie DMS. Półokres rozpadu zostaje przedłużony przez niższe pH; dlatego pH brzeczki nastawia się krótko przed wybiciem.

Przemiany SMM w DMS przebiegają także po gotowaniu brzeczki, a mianowicie tym bardziej,

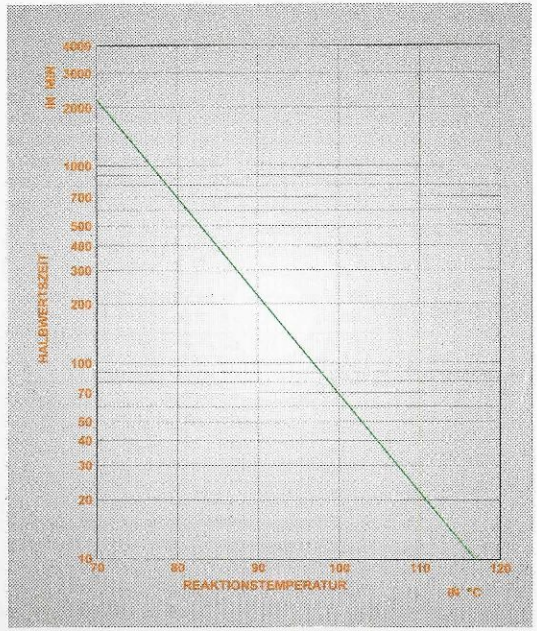
- im jest utrzymywana wyższa temperatura i
- im dłużej jest utrzymywana.

Także ze względu na dalsze wytwarzanie produktów Maillarda należy utrzymywać *obciążenie termiczne* na możliwie najniższym poziomie, np. przerwa w whirlpoolu i chłodzenie brzeczki powinny być możliwie krótkie.

Także podczas fermentacji jest jeszcze wydzielany DMS. Efekt wymywania zwiększa się ze wzrastającą temperaturą fermentacji, lecz jest hamowany przez ciśnienie. W istocie zawartość DMS brzeczki nastawnej odnajduje się w gotowym piwie.

3.4.1.10 Zawartość cynku w brzeczce

Najważniejszym elementem śladowym w brzeczce jest cynk, który powinien być utrzymany w ilości co najmniej 0,10 do 0,15 mg/l. Cynk



Rys. 3.68a
Zależność rozpadu SMM od czasu i temperatury gotowania

wzmaga syntezę białka w komórce drożdży i reguluje przemianę nukleinową i węglowodanową. Cynk jest także koniecznym czynnikiem kontaktowym w fermentacji alkoholowej (rys. 4.2; przemiana nr 12 zachodzi tylko w obecności Zn). Przy braku cynku w brzeczce należy się także liczyć z trudnościami w fermentacji. Oczywiście, można wychodzić z tego założenia, że większość brzeczek zawiera wystarczającą ilość cynku, jednak przy trudnościach fermentacyjnych należy zwrócić uwagę na możliwość jego braku.

3.4.1.11 Brzeczka przy pełnym kotle

Rozpoczęcie gotowania brzeczki następuje, gdy cała warka znajduje się w kotle. Ten moment określa się jako „pełny kocioł" i brzeczkę w tym momencie jako brzeczkę przy pełnym kotle.

Ważny dla piwowara jest skład brzeczki przy pełnym kotle (200). Wynosi on w Niemczech średnio:

Zawartość ekstraktu	10,6%
Wartość pH	5,61
Azot ogólny	972 mg/l
N koagulujący	59 mg/l
N wolno-aminowy	180 mg/l
Lepkość	1,77 mPa·s
DMS	246 µg/l
P-DMS	333 µg/l
Liczba TB (p. także rozdz. 2.5.1.3)	26

3.4.2 Budowa i ogrzewanie kotła warzelnego

W kotle warzelnym brzeczka jest gotowana intensywnie przez 60 do 70 min, toteż kocioł warzelny musi być wyposażony w ssprawne ogrzewanie. Wraz ze zmianami w systemie ogrzewania zmieniał się z czasem i kształt kotła.

Ze względu na rodzaj ogrzewania kotła warzelnego rozróżnia się:

- kotły z bezpośrednim ogrzewaniem,
- kotły ogrzewane parą i
- kotły ogrzewane gorącą wodą.

3.4.2.1 Kocioł warzelny z bezpośrednim ogrzewaniem

Najstarszym rodzajem ogrzewania kotła jest ***palenisko węglowe***. Ten rodzaj bezpośredniego spalania paliwa pod dnem kotła (rys. 3.69) jest dzisiaj bardzo rzadko spotykany w starych warzelniach. Przez wybrzuszenie dna kotła gotująca się brzeczka przewalała się ze środka na boki naczynia. Później takie kotły często przestawiano na ***ogrzewanie bezpośrednie gazem lub olejem opałowym***.

3.4.2.2 Kocioł warzelny ogrzewany parą

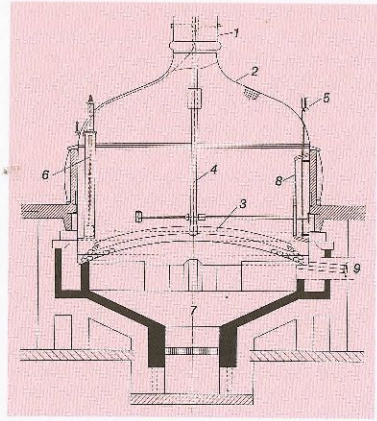
Obecnie zwyczajną formą ogrzewania kotła jest ogrzewanie parą. Dla zrozumienia zjawiska koniecznych jest kilka objaśnień.

3.4.2.2.1 Temperatura pary i ciśnienie

Woda gotuje się w 100°C, i powstająca para jest dokładnie tak gorąca. Wie to każde dziecko, ale jest to prawdziwe tylko w warunkach ciśnienia atmosferycznego. Jeżeli podniesiemy ciśnienie w naczyniu – np. kiedy je zamkniemy, jak w garnku szybkiego gotowania – wtedy woda gotuje się w wyższej temperaturze. I w ten sposób każdej temperaturze gotowania równej temperaturze pary w przypadku nasycenia jest zawsze przyporządkowane określone ciśnienie, jak to pokazuje wyciąg z tabeli pary wodnej (w stanie nasycenia):

Temperatura °C	Ciśnienie pary bar	Temperatura °C	Ciśnienie pary bar
98	0,9430	105	1,2080
99	0,9776	106	1,2504
100	1,0133	107	1,2941
101	1,0500	108	1,3390
102	1,0878	109	1,3852
103	1,1267	110	1,4327
104	1,1668		

Temperatura wrzenia jest tym wyższa, im bardziej podniesie się ciśnienie. W urządzeniach kotłowych pracuje się z o wiele wyższymi ciśnieniami i temperaturami.



Rys. 3.69

Kocioł z bezpośrednim ogrzewaniem (kocioł z paleniskiem)

(1) komin oparów, (2) kopuła oparów, (3) mieszadło z łańcuchem, (4) napęd mieszadła (od góry), (5) termometr, (6) pływakowa listwa pomiarowa, (7) pomieszczenie paleniska, (8) wejście, (9) przewód do wybicia brzeczki

Z drugiej strony, woda w bardzo niskich ciśnieniach wrze już w bardzo niskich temperaturach, i tak przy

ciśnieniu 0,06 bar w 36°C
ciśnieniu 0,02 bar w 17°C.

Wewnątrz kotła warzelnego wytwarzają się temperatury wrzenia powyżej 100°C z powodu wysokości słupa brzeczki. Dla wysokości 2,5 m słupa brzeczki oznacza to, że dolne partie brzeczki na dnie znajdują się pod nadciśnieniem 0,25 bar, co daje ciśnienie pary 1,25 bar i tu nasza tabela wykazuje już temperaturę wrzenia 106°C.

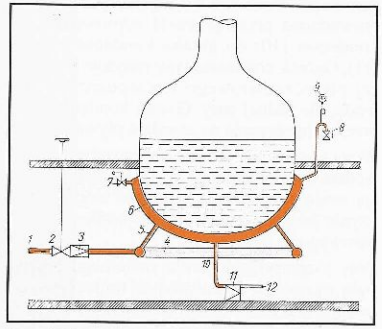
Kiedy kocioł warzelny jest ogrzewany na dnie, wtedy wszędzie na dnie powstają pęcherzyki pary, które unoszą się w górę i powodują ruch brzeczki oraz wymywanie lotnych składników. Para przepływa w płaszczu parowym na dnie kotła z nadciśnieniem 2 do 3 bar (=133 do 143°C). Para oddaje swoje ciepło brzeczce i skrapla się, podczas gdy brzeczka zagotowuje się.

Wyższe ciśnienie i wyższa temperatura z powodu wyższej *temperatury granicznej powierzchni* dna kotła może stwarzać problemy. Powstaje niebezpieczeństwo, że cząsteczki brzeczki przypalą się, co może się odbić niekorzystnie na smaku piwa.

3.4.2.2.2 Wyposażenie parowego kotła warzelnego z podwójnym dnem

Aby ogrzewanie dobrze pracowało, konieczne jest spełnienie paru zasadniczych warunków (rys. 3.70).

Para jest doprowadzona do kotła dobrze zaizolowanym przeciwko stratom ciepła przewodem parowym (1). Za zaworem dopływu pary (2) znajduje się reduktor ciśnienia (3), który redukuje ciśnienie pary do dopuszczalnego ciśnienia; w zwykłych kotłach jest to 2 do 3 bar nadciśnienia. To obniżenie ciśnienia jest konieczne, gdyż jeśliby wpuścić świeżą parę ok. 15 bar, wtedy rozerwałoby dno kotła. Para jest rozdzielana przez zaizolowany pierścieniowy kanał (4) wokół parowego płaszcza i doprowadzana równolegle kilkoma przewodami (5).



Rys. 3.70. Wyposażenie parowego kotła warzelnego z podwójnym dnem

(1) dopływ pary, (2) zawór dopływu pary, (3) zawór redukcyjny, (4) parowa rura rozdzielcza, (5) dopływy do płaszcza parowego, (6) płaszcz parowy, (7) zawór bezpieczeństwa, (8) odpowietrzenie, (9) manometr, (10) przewód odprowadzający kondensat, (11) garnek kondensacyjny, (12) odprowadzenie kondensatu

Płaszcz parowy jest na zewnątrz całkowicie izolowany, aby zmniejszyć straty ciepła możliwie do minimum. Jest on, jako naczynie ciśnieniowe, wyposażony przepisowo w zawór bezpieczeństwa (7) i manometr (9). Na początku gotowania należy najpierw wypchnąć przy pomocy pary znajdujące się w płaszczu powietrze. Służą do tego przyspawane w górnej części płaszcza cienkie przewody odpowietrzające w ilości 1 do 4, które w górnej części warzelni są zakończone zaworami. Te kurki odpowietrzające (8) są na początku gotowania otwarte tak długo, aż zacznie wypływać z nich para. Ma się wtedy pewność, że powietrze z płaszcza parowego zostało całkowicie usunięte. Na zakończenie gotowania kurki te zostają otworzone, aby zapobiec wytworzeniu się w płaszczu próżni, która mogłaby ściągnąć dno kotła. Proces ten odbywa się obecnie automatycznie.

Pomiędzy brzeczką a parą istnieje różnica temperatur, która powinna być wyrównywana przy pomocy przewodzącego ciepło dna kotła. Brzeczka ogrzewa się do zagotowania, podczas gdy para oddaje swoje ciepło skraplania.

Powstająca woda kondensacyjna, jako cięższa od pary, zbiera się w dolnej części płaszcza parowego. Woda kondensacyjna musi być odprowadzona przez przewód odprowadzający kondensat (10) do garnka kondensacyjnego (11). Garnek kondensacyjny znajduje się poniżej płaszcza parowego i przepuszcza tylko wodę, ale żadnej pary. Garnki kondensacyjne przeważnie pracują na zasadzie pływaka.

Woda kondensacyjna jest odprowadzana przewodem do kondensatu (12). Kondensat jest czystą wodą destylowaną i poprzez zbiorcze naczynie jest odprowadzany do zasilania kotła parowego.

Przy rozpatrywaniu kotła zaciernego można było zauważyć, że dawniejsze tradycyjne podwójne dna parowe obecnie zniknęły i ogrzewanie odbywa się przy pomocy ***przyspawanych półrur na dnie kotła lub jego korpusie***. W takim samym stopniu obowiązuje to w kotłach warzelnych. Kotły warzelne, które są wyposażone w zewnętrzny lub wewnętrzny podgrzewacz („kocher") i pracują pod niskim ciśnieniem, nie posiadają ogrzewania ścian, gdyż kocher dostarcza sam energię cieplną w wystarczającej ilości.

3.4.2.2.3 Kształt kotła i materiał

Kształt kotła warzelnego przeszedł z biegiem czasu różnorodne przeistoczenia.

Pierwsze kotły warzelne ok. 1850 r. wykonywano *w **kształcie kuli***. Później środek dna kotła podniesiono w górę, aby uzyskać lepszą cyrkulację brzeczki ze środka na zewnątrz.

Takiemu samemu celowi służyły wbudowane dodatkowe podgrzewacze i kotły z ***wewnętrznymi strefami grzejnymi***. Brzeczka była podgrzewana dodatkowo przy pomocy pary o wyższym ciśnieniu (do 5 bar = 158°C) i zwiększało się odparowanie.

Około 1950 r. wiele browarów zostało wyposażonych w ***warzelnie blokowe***, w których naczynia są ustawione jedno nad drugim. Leżący najniżej kocioł warzelny miał kształt graniastosłupa o dnie półcylindrycznym. Ogrzewanie z jednego boku zapewniało dobrą cyrkulację brzeczki.

Kotły w zwartej budowie były przycinane z płaskich blach i zespawane razem. Tym samym odpadło dawniejsze tradycyjne i kosztowne wykonywanie pięknych miedzianych kopuł, które jeszcze zdobią poniektóre warzelnie. Przez nierówne skośne ściany i rury grzewcze osiągano także dobrą cyrkulację (rys. 3.71), która jednak niezupełnie osiągała narożniki. Natomiast powierzchnie grzejne można było zwiększać proporcjonalnie do zasypu.

Na rys. 3.72 pokazany jest tradycyjny kocioł warzelny z elementami osprzętu, jakie jeszcze można znaleźć w niektórych browarach. W tym kotle płaszcz parowy jest podzielony (dwustrefowe ogrzewanie), aby wewnętrzną strefę podgrzewać parą o wyższym ciśnieniu i tym samym oraz uzyskać intensywniejsze gotowanie.

3.4.2.2.4 Gotowanie gorącą wodą

Jest również możliwe używanie do podgrzewania kotła warzelnego ***gorącej wody o temperaturze 160 do 170°C*** pod tak wysokim ciśnieniem, że nie dochodzi do jej zagotowania. Dzięki temu unika się strat, które powstają w związku ze zbieraniem i odprowadzaniem kondensatu. Z drugiej strony konieczne są wtedy ***znacznie większe średnice i grubości rur*** i także większa ilość energii dla pomp niż podczas pracy z parą, którą można łatwiej operować niż ciekłą wodą. Także pojemność cieplna pary jest

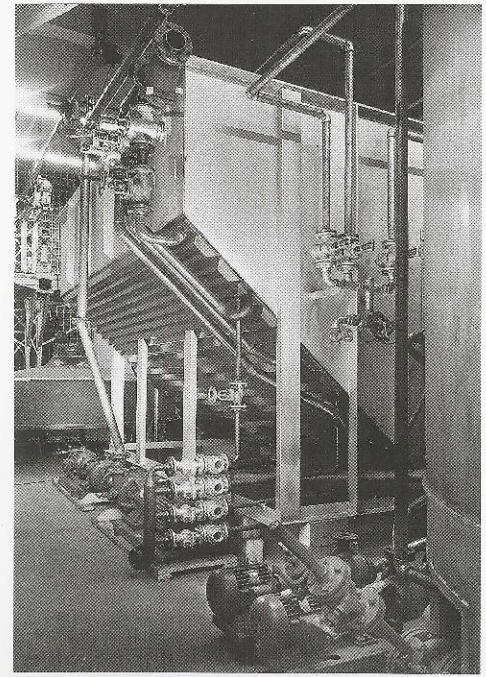
oczywiście lepsza niż gorącej wody. Toteż obecnie gotowanie gorącą wodą stosuje się rzadziej niż zwykłe gotowanie parą. Podgrzewanie brzeczki odbywa się przy pomocy przyspawanych półrur, podobnie jak w omawianych już kotłach zaciernych.

3.4.2.3 Kotły warzelne z gotowaniem przy niewielkim nadciśnieniu

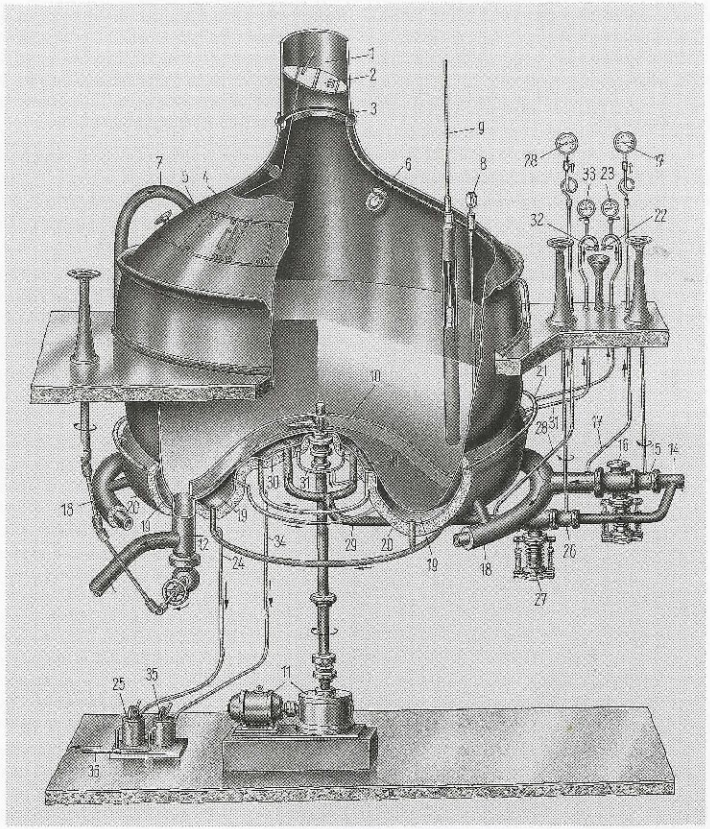
Myślą przewodnią tej metody gotowania jest to, że szereg przemian przebiega szybciej, jeżeli ciśnienie i temperatura gotowania jest wyższa niż 100°C (patrz też rozdz. 3.4.2.2.1). Kotły warzelne niskociśnieniowe są wykonywane jako zamknięte kotły do maksymalnego nadciśnienia 0,5 bar, wyposażone w niezbędną armaturę zabezpieczającą przed nadmiernym nadi podciśnieniem. Ogrzewanie brzeczki odbywa się przy pomocy wewnętrznego lub zewnętrznego podgrzewacza. Kondensator oparów kotłowych jest tak skonstruowany, że pozwala wykorzystywać ich wyższe temperatury.

Miarodajna dla szybkości reakcji i zachowania się istotnych składników podczas gotowania brzeczki jest ocena charakterystyki połowicznego czasu rozkładu prekursora DMS (172) (patrz również rozdz. 3.4.1.9).

Dla jakości gotowania ważny jest iloczyn temperatury i czasu: im dłużej się gotuje i im wyższa jest temperatura gotującej się brzeczki, tym większe jest (ujemne) obciążenie termiczne brzeczki. Z drugiej strony:



Rys. 3.71
Kocioł warzelny o zwartej konstrukcji



Rys. 3.72. Kocioł warzelny parowy (dwustrefowe ogrzewanie/stare wykonanie)
(1) komin oparów, (2) klapa do oparów, (3) odpływ wody kondensacyjnej, (4) kopuła oparów, (5) właz, (6) oświetlenie, (7) dopływ brzeczki, (8) termometr, (9) pływakowa listwa pomiarowa, (10) mieszadło, (11) napęd mieszadła, (12) zawór do wybicia brzeczki, (13) zawór do wybicia do montejusa chmielowego, (14) dopływ pary, (15) zawór parowy do strefy wewnętrznej, (16) zawór redukcyjny do strefy zewnętrznej, (17) manometr z doprowadzeniem do strefy zewnętrznej, (18) izolowany kanał pierścieniowy dla dopływu pary (strefa zewnętrzna), (19) zewnętrzny płaszcz parowy, (20) izolacja, (21) odpowietrzenie strefy zewnętrznej, (22) kurek odpowietrzający strefy zewnętrznej, (23) manometr (strefa zewnętrzna), (24) odprowadzenie kondensatu (strefa zewnętrzna), (25) garnek kondensacyjny strefy zewnętrznej, (26) zawór parowy dla strefy wewnętrznej, (27) zawór redukcyjny strefy wewn., (28) manometr z doprowadzeniem do strefy wewn., (29) dopływ pary do strefy wewn., (30) wewnętrzny płaszcz parowy, (31) odpowietrzenie strefy wewn., (32) kurek odpowietrzający (strefa wewn.), (33) manometr (strefa wewn.), (34) odprowadzenie kondensatu (strefa wewn.), (35) garnek kondensacyjny (strefa wewn.), (36) odprowadzenie wody kondensacyjnej do naczynia zbiorczego

Opis kotła warzelnego (wybrane punkty)

Część urządzenia	Zadanie	Uwagi
Komin oparów (1)	Odprowadzenie pary wodnej	Odpowiednio do wysokiej wydajności odparowania kocioł warzelny ma największy komin do oparów, który w średnicy ma 1/6 średnicy całego kotła
Klapa do oparów (2)	Regulacja odparowania w fazie wstępnej	Przy otwartym kominie podczas nagrzewania powstają niepotrzebnie straty ciepła, które przez przydławienie można zahamować.
Odprowadzenie wody kondensacyjnej (3)	Usuwanie kondensatu	Skraplająca się woda w kominie do oparów spływa w dół. Te skraplające się opary, zanieczyszczone niepożądanymi składnikami aromatycznymi wydzielającymi się podczas gotowania, są zbierane i odprowadzane.
Kopuła oparów (4)	Nakrycie kotła i ochrona przed stratami ciepła	Z powodów estetycznych kopułę wykonywano przeważnie z miedzi. Z cieplno-technicznych względów jest to niewłaściwe. Obecnie stosuje się prawie zawsze stal szlachetną.
Właz (5)	Otwór do sprawdzania zawartości kotła i do wchodzenia	Dwuczęściowe przesuwane drzwi na rolkach.
Oświetlenie (6)	Sprawdzanie zawartości kotła	Lampa musi odpowiadać wymaganiom w pomieszczeniach wilgotnych.
Doprowadzenie brzeczki (7)	Przetłoczenie brzeczki z kadzi filtracyjnej	Przewód powinien przebiegać po najkrótszej drodze od kolektora do kotła. Toteż kocioł znajduje się zawsze blisko i poniżej kadzi filtracyjnej, dzięki czemu odpada stosowanie pompy.
Termometr (8)	Wskazania temperatury	-
Pływakowa listwa pomiarowa (9)	Wskazania zawartości kotła	Tuleja, w której pływa listwa pomiarowa, jest od dołu połączona z brzeczką. Listwa pomiarowa umożliwia dzięki temu pomiar również podczas gotowania brzeczki, lecz wskazania te nie są zbyt dokładne.
Mieszadło (10)	Mieszanie brzeczki	Mieszadło pracuje tylko do zagotowania, aby uniknąć przypalania brzeczki.
Zawór do wybicia (12) i przewód do wybicia (13)	Odprowadzenie wybijanej brzeczki	Zawór jest obsługiwany od góry. Przewód i pompa do wybicia mają tak dobrane wymiary, żeby wybicie mogło być przeprowadzone w najkrótszym czasie.
Dopływ pary (14)	Dopływ pary	Para z wyższym ciśnieniem.
Ogrzewanie zewnętrznej strefy (15 do 25)	Gotowanie brzeczki	Dla zewnętrznej strefy zwykle jest używana para o nadciśnieniu 2 do 3 bar ≅ 133 do 143°C
Ogrzewanie wewnętrznej strefy (26 do 31)	Intensywniejsze gotowanie	Dla mniejszej strefy wewnętrznej używana jest para z nadciśnieniem do 5 bar ≅ 158°C. Dzięki temu brzeczka w środku gotuje się energiczniej.

- substancje goryczkowe powinny być maksymalnie zizomeryzowane i tym samym stać się rozpuszczalne,
- rozkład prekursora DMS powinien zostać przeprowadzony możliwie całkowicie.

W wyniku tego brzeczkę gotuje się 60 do 70 min w 103 do 106°C.

Ogólne odparowanie przy NCG (niskociśnieniowe gotowanie) wynosi ok. 6%.

Gotowanie odbywa się

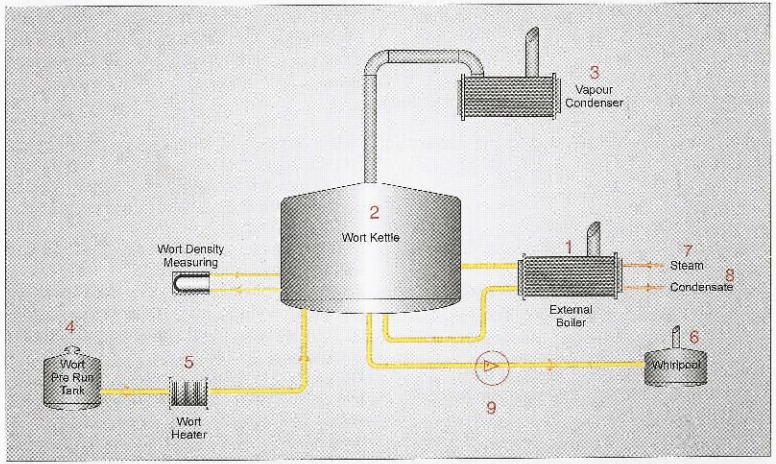
- albo w *zewnętrznym podgrzewaczu*, przez który brzeczka jest przepompowywana
- albo w *wewnętrznym podgrzewaczu*, w którym brzeczka jest podgrzewana w kotle warzelnym.

3.4.2.3.1 Niskociśnieniowe gotowanie z zewnętrznym podgrzewaczem („kocherem")

W kotłach warzelnych z zewnętrznym podgrzewaczem brzeczkę przepompowuje się siedem do osiem razy na godzinę przez podgrzewacz ustawiony na zewnątrz kotła. Przy tym brzeczkę pobiera się stale z dolnej części kotła warzelnego i przy pomocy pompy przepompowuje przez podgrzewacz (rys. 3.73 – 1).

Podgrzewaczami zewnętrznymi są przeważnie płaszczowo-rurowe wymienniki ciepła, rzadko używa się płytowych wymienników ciepła. Brzeczka przepływa przez rury, które z zewnątrz w przeciwprądzie są podgrzewane przez parę. Podczas podgrzewania brzeczki para się schładza i skrapla jako kondensat. Podgrzewacze zewnętrzne są produkowane jako stojące lub leżące, te ostatnie z lekkim pochyleniem dla lepszego odpływu kondensatu. Oba rodzaje są w użyciu.

Jeżeli brzeczce pozwoli się przepływać z małą szybkością przez rurę, powstaje niebezpieczeństwo, że brzeczka się przypali lub przynajmniej skarmelizuje i silnie się zabarwi. Oprócz tego należy się obawiać, że wskutek wysokich temperatur białko koagulujące osadzi się w rurach. Aby tego uniknąć, stosuje się obecnie zwykle większe prędkości przepływu od 2,6 do 3,0 m/s. Wynika z tego, że dla uzyskania takiej samej wymiany cieplnej



Rys. 3.73. Kocioł warzelny z zewnętrznym podgrzewaczem
(1) zewnętrzny podgrzewacz, (2) kocioł warzelny, (3) kondensator oparów kotłowych, (4) tank pośredniczący, (5) urządzenie do podgrzania brzeczki, (6) whirlpool, (7) para, (8) kondensat, (9) pompa

potrzebna jest dla każdej cząsteczki brzeczki dłuższa droga. Długość podgrzewacza jest ograniczona, toteż często końce wymiennika cieplnego są wykonywane jako płyty zwrotne zmieniające kierunek przepływu i każda cząsteczka brzeczki przepływa wymiennik wielokrotnie (rys. 3.74). Miejsca zmiany kierunku powodują niestety obciążenie cząsteczek brzeczki siłami ścinającymi i jest to wada systemu.

Stosuje się dwa warianty gotowania:

- Cały kocioł znajduje się pod lekkim nadciśnieniem, opary są odprowadzane przez zawór przelewowy. Korzyścią jest tu wyższa temperatura oparów;
- Kocioł gotuje bez ciśnienia, także odprowadzanie oparów odbywa się bezciśnieniowo, tylko w obiegu zewnętrznym brzeczka jest gotowana pod nadciśnieniem w temperaturze wrzenia od 102 do 104°C.

Potrzebne nadciśnienie (80 do 200 mbar) dla podwyższonej temperatury wrzenia osiąga się przy pomocy

- zaworu utrzymującego ciśnienie (zaworu rozprężnego) przed wlotem do kotła i
- podwyższenia liczby obrotów pompy.

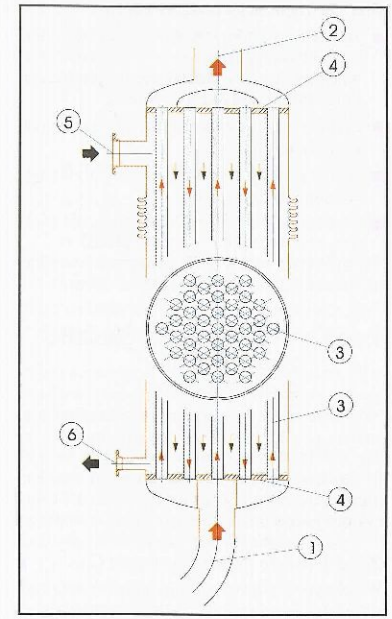
Różnica pomiędzy temperaturą pary a temperaturą brzeczki nie powinna być wyższa niż 10 K. Wymagana powierzchnia grzejna wynosi 10 do 11 m^2 na 100 hl wybitej brzeczki.

Przy wystarczająco dużej prędkości przepływu i małej różnicy temperatur pomiędzy parą a brzeczką osiąga się 30 do 40 warek bez konieczności mycia. Jeżeli te parametry nie są dobrze zgrane, może już po 6 do 8 warkach zajść potrzeba mycia.

Brzeczka rozpręża się przy powrocie do kotła, przy czym dochodzi do wymaganego silnego odparowania. Brzeczka jest wprowadzana przez urządzenie rozprowadzające ją po powierzchni zawartości kotła.

Pompa cyrkulacyjna jest tak zwymiarowana, że może przepompować zawartość kotła ok. osiem razy w godzinę. Pomimo to nie ma pewności, że *każda* cząsteczka brzeczki przejdzie osiem razy przez podgrzewacz, gdyż zawartość kotła nieuchronnie się miesza.

Zewnętrzne gotowanie, które początkowo było przewidziane dla kotłów warzelnych wykazujących złe gotowanie, okazało się ogólnie przydatne i oferuje, mimo rosnącej popularności wewnętrznego podgrzewacza, szereg *zalet:*



Rys. 3.74
Zewnętrzny podgrzewacz
(1) dopływ brzeczki, (2) wypływ brzeczki, (3) rury do brzeczki, (4) płyta zamocowania rur, (5) doprowadzenie pary, (6) wypływ kondensatu

- można dokładnie ustawić ilość przepompowywanej w obiegu brzeczki i dobrze wymieszać zawartość kotła,
- temperaturę brzeczki wychodzącej z zewnętrznego podgrzewacza można dokładnie wyregulować,
- możliwe są dokładnie określone fazy gorącego przetrzymania przy pomocy dodatkowych przetrzymywaczy,
- możliwe jest stosowanie niskiego ciśnienia nasyconej pary (0,3 bar nadciśnienia),
- można instalować dowolną wielkość powierzchni grzejnej.

Wady zewnętrznego podgrzewacza:

- zewnętrzny podgrzewacz wymaga wysokiego nakładu na urządzenia techniczne (przewody rurowe, wymiennik ciepła, pompa cyrkulacyjna) i dodatkowo izolacji,
- cyrkulacyjne pompowanie wymaga dodatkowej energii,
- przy wysokich prędkościach przepływu występują siły ścinające,
- zapotrzebowanie miejsca jest znacznie większe, podobnie jak koszty urządzeń.

Pomimo tych wad wiele browarów z powodzeniem stosuje zewnętrzne podgrzewacze.

3.4.2.3.2 Niskociśnieniowe gotowanie z wewnętrznym podgrzewaczem

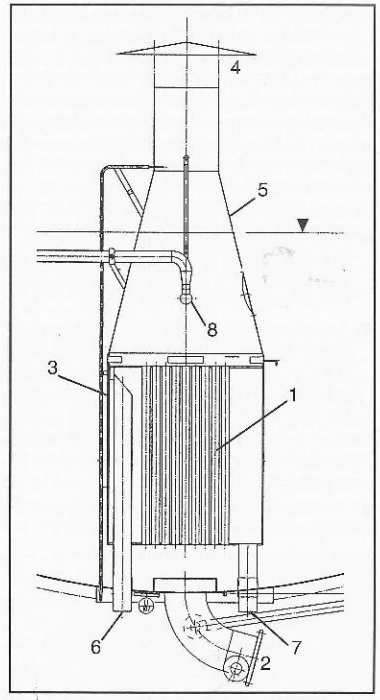
Nowoczesne kotły warzelne są obecnie wyposażane często w wewnętrzne podgrzewacze (rys. 3.75). Wewnętrzny podgrzewacz jest stojącym w kotle płaszczowo-rurowym wymiennikiem cieplnym, przez którego pionowe rury (1) podgrzewane z zewnątrz parą przepływa wrząca brzeczka. Wprowadzona od góry para (6) schładza się przy tym i skrapla (7).

W ściętym stożku (5) gotująca się brzeczka zostaje wypchnięta ponad poziom brzeczki w kotle i wystrzelona na parasol rozdzielczy (4), który brzeczkę szeroko rozbryzguje wachlarzowato i umożliwia dobre odparowanie podczas jej opadania z powrotem na powierzchnię brzeczki.

Temperatura brzeczki podczas gotowania podnosi się do 103-106°C, a temperatura pary grzejnej (i przy tym ciśnienie) jest oczywiście znacznie wyższa. Wynosi ona

- przy podgrzewaniu ok. 140 do 145°C (= 3,8 do 4,3 bar, p. rozdz. 10.2.2.1) i
- podczas gotowania ok. 130°C (= 2,8 bar).

Do rur grzejnych podgrzewacza wpływa od dołu brzeczka o temperaturze poniżej 100°C i w czasie podnoszenia się zostaje podgrzana (rys. 3.75a). Przy tym wytwarza się bardzo szybko na wewnętrznej ścianie warstwa pęcherzyków (2), która przy dalszym podnoszeniu przechodzi w przechłodzone wrzenie pęcherzykowe (3) i wreszcie w największej strefie do pełnego wrzenia pęcherzowego (4), podczas gdy na zewnątrz rur para oddaje swoje ciepło



Rys. 3.75

Budowa wewnętrznego podgrzewacza

(1) wiązka rur, (2) wlot brzeczki, (3) płaszcz, (4) parasol rozdzielczy do brzeczki, (2) ścięty stożek, (6) wlot pary, (7) wypływ kondensatu, (8) mycie CIP

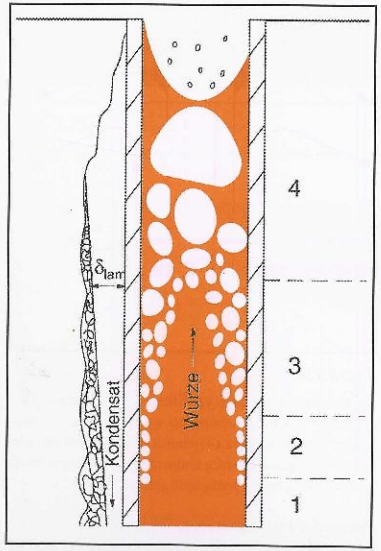
parowania (entalpia) i skrapla się. Kondensat w płaszczu spływa w coraz grubszej warstwie w dół i przeszkadza we wzrastającym stopniu w przenoszeniu ciepła.

Przy wrzeniu pęcherzowym woda przekształca się w większości w parę, która ma znacznie większą objętość niż woda, z której powstała. Powstająca przy tym mieszanina fazy gazowej i ciekłej wypływa powyżej rur grzejnych ponad poziom brzeczki w kotle i z powrotem na powierzchnię brzeczki przy pomocy parasola rozdzielczego. Parasol rozdzielczy, który

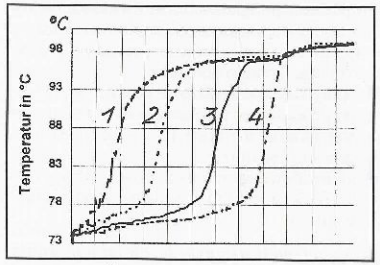
może być różnie ukształtowany, jest tak nastawiony, że w kotle zachodzi zupełna cyrkulacja brzeczki bez tworzenia się martwych stref.

Bardzo duże różnice temperaturowe dają dobry efekt gotowania, lecz powodują także problemy: podczas gdy przy zewnętrznym gotowaniu jest w dużym stopniu zapewnione stałe przetłaczanie całości kotła, z podgrzewaczem wewnętrznym, szczególnie w fazie podgrzewania, występują nierównomierności:

- Przy podgrzewaniu najniższe warstwy brzeczki w kotle są zasysane i po podgrzaniu w podgrzewaczu rozdzielone na powierzchni brzeczki. Przez to w kotle występują warstwy o różnicy temperatur do 20 K, które wyrównują się dopiero po 15-20 minutach (190) (rys. 3.75b). Wynika z tego nierównomierna obróbka brzeczki łącznie z nierówną izomeryzacją substancji goryczkowych i usuwania DMS.



Rys. 3.75a. (Opis rysunku w tekście)



Rys. 3.75b (↑Temperatura w °C)

Nierównomierności temperaturowe przy podgrzewaniu (odstępy czasu co 2 min. Przyp. tł. AB).

Miejsca pomiarów: (1) pod powierzchnią brzeczki, (2) w górnej jednej trzeciej, (3) w dolnej jednej trzeciej, (4) nad dnem kotła

- Przy podgrzewaniu różnica temperatur pomiędzy parą a wypływającą brzeczką jest jeszcze bardzo duża. Przez to dochodzi w tym zakresie najpierw do karmelizacji i następnie do odkładania się osadu na powierzchni,
- Od dołu do podgrzewacza napływa ciągle zimna brzeczka, która wydobywa się do góry dopiero gdy zaczyna się gotować. Jednak przy przejściu z wody do pary powiększa się znacznie objętość. Przez to jest przejściowo hamowany przepływ i dochodzi do silnego pulsowania gotowania w czasie podgrzewania.

Z 1 kg (= 1 l) wody powstaje przy odparowaniu ok. 1700 l pary wodnej o tej samej temperaturze. Powoduje to w rurze podgrzewacza nieuniknione przejściowe tamowanie i pulsowanie, gdyż wrząca brzeczka i powstająca para nie mogą zostać tak szybko odprowadzone do góry. To tamowanie jest tym większe, im cieńsze są rury podgrzewacza.

Aby móc się tym problemom przeciwstawić, zaproponowano, szczególnie w ostatnim czasie, kilka środków zaradczych. Należą do nich:

- zainstalowanie pompy, aby można szybciej przepompować zawartość kotła i przez wymuszony obieg w przeciągu krótszego czasu uzyskać wyrównanie temperatury brzeczki w całym kotle. Można do tego przystosować pompę do wybicia regulowaną częstotliwością. Pozwoli ona:

- podczas podgrzewania zlikwidować w kotle rozwarstwienie temperaturowe oraz
- podczas gotowania wspierać naturalny obieg. Do tego dochodzi

- zoptymalizowane fazowe gotowanie pozwalające kierować przemianami aromatu przez sterowanie ilością i temperaturą środka grzewczego oraz
- zainstalowanie parasola rozdzielczego do brzeczki w celu maksymalnego odparowywania.

Przy ***zoptymalizowanym fazowym gotowaniu*** (*Ecotherm*-Kochsystem [173], Fa. Steinecker, Freising) przez zainstalowanie sterowania, można nastawić dokładnie dla każdego punktu czasowego podgrzewania i gotowania temperaturę środka grzewczego i ustawić ilość przepompowywaną uzyskując wymagane wartości dla wybijanej brzeczki. Przez szybkie lub wolne podgrzewanie i różnicowanie faz gotowania możliwe jest kształtowanie charakteru poszczególnych typów piwa przez wpływanie na rozkład prekursora DMS oraz wytwarzanie substancji aromatu podczas gotowania przez dobór odpowiedniej temperatury środka grzewczego.

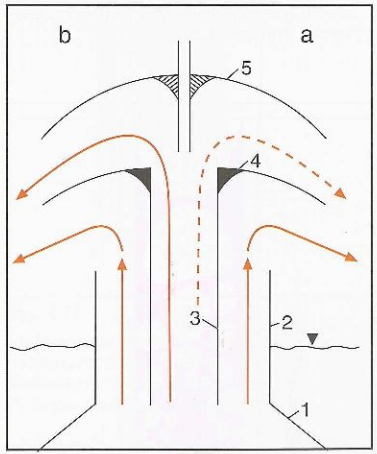
70-minutowa faza gotowania jest według tego systemu podzielona na trzy części (193):

- 20 min, przez wysoką wydajność podgrzewania łatwo wytrącający się azot zostaje szybko oddzielony
- 30 min, przy niskiej wydajności podgrzewania zostaje przeprowadzony rozkład p-DMS w stałej temperaturze (99°C) i zaoszczędzona energia,
- 20 min, wyższa wydajność podgrzewania w określonym celu: ustawienie zawartości azotu przez efektywne forsowanie jego wytrącania.

Zainstalowanie ***parasola rozdzielającego brzeczkę*** służy w pierwszym rzędzie usunięciu lotnych w parze wodnej składników aromatu, szczególnie rozkładowi prekursora DMS i usunięciu wolnego DMS. Dlatego kształtowi parasola rozdzielczego do brzeczki przypisuje się duże znaczenie.

Podwójny parasol (typ Steinecker)
W nowym podwójnym parasolu (rys. 3.75 c) w niższej temperaturze środka grzewczego (ok. 130°C) (a, prawa strona) brzeczka jest wypychana przede wszystkim do dolnego parasola (4) i przez zmianę kierunku rozprowadzana na jednej trzeciej powierzchni brzeczki w kotle, co zapewnia dobre odparowanie, podczas gdy z górnego parasola (5) spływa tylko niewiele brzeczki z małą prędkością. Zadaniem tej fazy jest przede wszystkim odparowanie nieszlachetnych substancji aromatycznych.

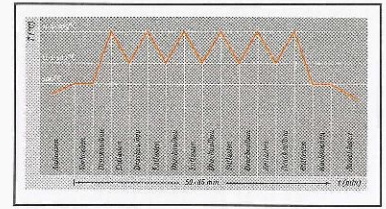
Przy maksymalnej wydajności grzejnej (temperatura środka grzewczego ok. 145°C) (b, lewa strona) gotująca się brzeczka jest wypychana zarówno przez wewnętrzną (3) jak również zewnętrzną rurę oporową do obu parasoli i przez nie rozprowadzana. Przy czym bardziej płaski dolny parasol przeszkadza górnemu, wyrzucać brzeczkę na ściany kotła, co prowadzić mogłoby do niepotrzebnego obciążenia brzeczki siłami ścinającymi.



Rys. 3.75c
Podwójny parasol (typ Steinecker, Freising)
(1) ścięty stożek, (2) zewnętrzn wylot kochera, (3) wewnętrzny wylot kochera, (4) parasol dolny, (5) parasol górny, (a) gotowanie z niższą temperaturą środka grzewczego, (b) maksymalna wydajność grzania

Parasol dwufazowy (typ Huppmann)
Dwufazowy parasol (rys. 3.75d) jest segmentowany w dwóch płaszczyznach. Wskutek korzystnej technicznie zmiany kierunku przepływu gotująca się brzeczka jest rozdzielana i rozpryskiwana w dwu płaszczyznach jedna nad drugą, przez co zostaje osiągnięty bardzo dobry efekt odparowania. Równocześnie nadaje się brzeczce lekki skręt dzięki odpowiedniemu ukształtowaniu segmentów parasola. Widoczne na rysunku u góry gwinty wskazują, że wysokość parasola można regulować. Dotyczy to wszystkich segmentów parasola, bo musi być ustalona ich optymalna wysokość.

Rys. 3.75d
Parasol dwufazowy (typ Huppmann, Kitzingen)



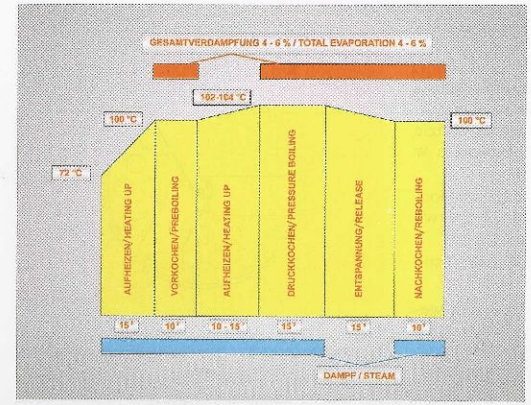
Rys. 3.75e
Dynamiczne gotowanie niskociśnieniowe

Czas gotowania i ciśnienie

Przebieg gotowania trwa obecnie z reguły 60 do 70 min i kształtuje się w „klasycznym" niskociśnieniowym gotowaniu następująco (rys. 3.76):

- podgrzewanie do 100°C ok. 15 min,
- wstępne gotowanie w 100°C ok. 10 min,
- podgrzanie do 102-104°C 10 do 15 min,
- gotowanie w 102 do 104°C ok. 15 do 30 min,
- rozprężenie do 100°C ok. 15 min i
- końcowe gotowanie w 100°C ok. 10 min.

Dynamiczne gotowanie niskociśnieniowe *(Fa. Huppmann, Kitzingen)*
W dynamicznym gotowaniu niskociśnieniowym nie ma żadnych faz przetrzymywania ciśnienia przez dłuższy czas, lecz ma miejsce stała zmiana pomiędzy podnoszeniem a obniżaniem ciśnienia (rys. 3.75e).



Rys. 3.76
(objaśnienia w tekście)

Zwykle zaczyna się fazą wstępnego gotowania od 10 do 20 min, która jest przede wszystkim fazą koagulacji białka i izomeryzacji żywic chmielowych. Następnie zostaje zamknięta klapa do oparów i podniesione ciśnienie kotła z 300 do 350 mbar. Temperatura podnosi się na 104 do 105°C i jest przetrzymana przez 3 do 5 min.

Wtedy redukuje się ciśnienie na 100 do 150 mbar, przez co obniża się temperatura na 101 do 102°C. Aby to obniżenie ciśnienia przyspieszyć, zostaje zamknięty dopływ pary i obieg wody zasobnika energii (p. rozdz. 3.4.2.5.3) wyregulowany na pełną wydajność. Po obniżeniu ciśnienia w ciągu 3 do 5 min otwiera się ponownie dopływ pary i proces rozpoczyna się od nowa. Takich cykli podnoszenia/obniżania ciśnienia jeden po drugim można wykonywać do sześciu.

Częste fazy rozprężania zapewniają znacznie intensywniejsze i lepsze odparowanie lotnych składników brzeczki (151). Następstwem intensywniejszego gotowania jest wyższe jednak termiczne obciążenie brzeczki.

Jako zalety wewnętrznego podgrzewacza są wymieniane:

- prosta i bardzo trwała silna konstrukcja, niepotrzebna żadna dodatkowa energia napędowa, o ile nie używa się przepompowywania,
- bezproblemowe mycie CIP,
- niepotrzebna żadna dodatkowa izolacja,
- niepotrzebne żadne dodatkowe miejsce.

Jako *wady* należy podkreślić, że

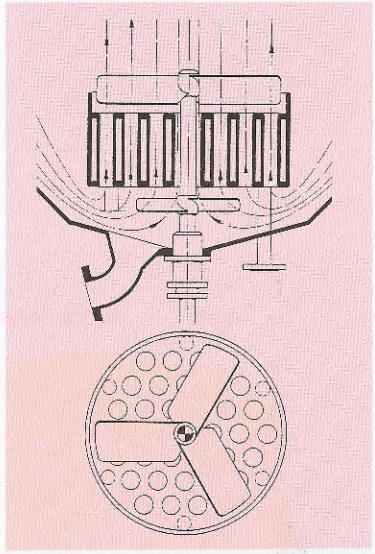
- przy podgrzewaniu do gotowania występuje faza nieustalona, która wpływa niekorzystnie na skład brzeczki. Tej znacznej wadzie można zapobiec tylko pompowaniem w obiegu zamkniętym (p. wyżej),
- z powodu wysokich temperatur przy podgrzewaniu i małych prędkości przepływu rury zostają szybciej obłożone osadami.
- powierzchnia grzejna możliwa do zainstalowania jest ograniczona.

Decyzja czy zastosować podgrzewacz wewnętrzny, czy zewnętrzny, jest w istocie sprawą wyboru firmowej filozofii, gdyż nie ma istotnych różnic pomiędzy obydwoma systemami.

Oprócz opisanego wymuszonego obiegu przy pomocy pompy jest jeszcze możliwość podgrzania brzeczki bez fazy nieustalonej dzięki zastosowaniu wewnętrznego podgrzewacza rurowego ze skrzydłami do mieszania (rys. 3.76a). Ten podgrzewacz jest niekiedy instalowany w naczyniach zaciernych do podgrzewania z delikatnym, ochronnym traktowaniem zacieru i wysoką wydajnością grzewczą.

Whirlpool-kotły

Jeżeli dno kotła jest płaskie, można takie kotły warzelne wykorzystywać także jako whirlpool (whirlpool-kotły). Do tego celu nadają się znacznie lepiej kotły z podgrzewaczem zewnętrznym, gdyż nie mają żadnej zabudowy wewnątrz. W kotłach z podgrzewaczami wewnętrznymi należy uwzględnić znaczne ograniczenie cyrkulacji (p. rozdz. 3.8.3) przez podgrzewacz, przez co może być utrudnione wydzielanie się gorącego osadu.



Rys. 3.76a

Wewnętrzny podgrzewacz rurowy ze śmigłami
(BTE Brauerei-Technik, Essen)

3.4.2.4 Gotowanie brzeczki w wysokich temperaturach

Pomysł, żeby znacznie podnieść temperaturę przy gotowaniu brzeczki, pochodzi stąd, że wiele reakcji przebiega szybciej w wyższej temperaturze i pod wyższym ciśnieniem.

Całkowita izomeryzacja α-kwasów chmielu wymaga (wg Sommera) w

100°C 90 min gotowania
120°C 5 - 8 min czasu gorącego przetrzymania
130°C 3 - 5 min czasu gorącego przetrzymania
140°C 2 - 3 min czasu gorącego przetrzymania
150°C 1 - 1,5 min czasu gorącego przetrzymania

Przy ***gotowaniu brzeczki w wysokich temperaturach*** przefiltrowana brzeczka jest odbierana do naczynia pośredniczącego (rys. 3.77 – 1) i dodaje się do niej chmiel. W tej brzeczce przy pomocy pompy (2) zostaje podniesione ciśnienie do 6 bar i

w pierwszym wymienniku cieplnym (3) zostaje podgrzana do 95°C,

w drugim wymienniku cieplnym (4) zostaje podgrzana do 115°C,

w trzecim wymienniku cieplnym (5) temperatura zostaje podniesiona do 140°C.

W następnym odcinku gorącego przetrzymania (6) w postaci rurowej wężownicy temperatura jest przetrzymana 5 min pod nadciśnieniem 6 bar. Dalej brzeczka zostaje doprowadzona do naczynia odparowującego (7), w którym zostaje rozprężona do 1 bar nadciśnienia (= 120°C); w drugim stopniu rozprężania (8) brzeczka zostaje rozprężona do ciśnienia normalnego oraz do 100°C i może być doprowadzona do whirlpoola.

Korzyści: małe natlenienie i jasna barwa brzeczki. Wady: niewystarczające odparowanie lotnych substancji. Gotowanie brzeczki w wysokich temperaturach nie jest bardzo rozpowszechnione.

3.4.2.5 Systemy gotowania brzeczki oszczędzające energię

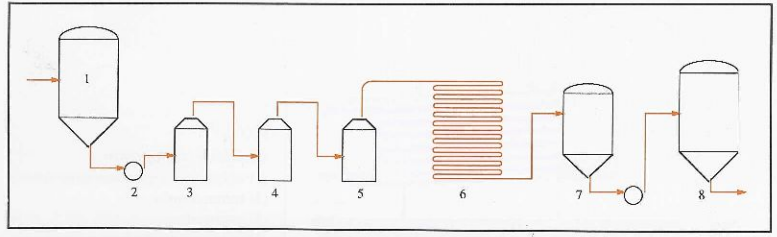
Przy gotowaniu powstaje para wodna, którą określa się jako ***opary***. Jeżeli pozwala się oparom wylatywać z komina bez przeszkód, otoczenie czuje, że browar znów gotował. To może być odczuwane jako naprzykrzanie zapachowe i wg niemieckiego prawodawstwa o emisji nie jest dopuszczalne.

Ponadto odparowana ilość wody zawiera dużo energii, która w tym przypadku niewykorzystana ulatnia się przez komin. Aby 1 kg wody o 100°C zamienić na 1kg pary o 100°C potrzeba ok. 540 kcal = 2260kJ. Kiedy para w otoczeniu znowu się skropli, ta ilość energii jest wolna i dla browaru całkowicie utracona.

3.4.2.5.1 Skraplanie oparów

Usiłuje się odzyskać z powrotem przynajmniej część ciepła parowania. Odbywa się to przez zainstalowanie ***kondensatora oparów kotłowych*** w kominie oparów kotła. Jeżeli opary skropli się w kondensatorze to ciepło parowania zostanie odzyskane.

W kondensatorze (rys. 3.78) opary przepływają po zewnętrznej stronie rur lub kieszeni, przez które płynie woda i podgrzewa się, podczas gdy opary oddają swoje ciepło parowania i



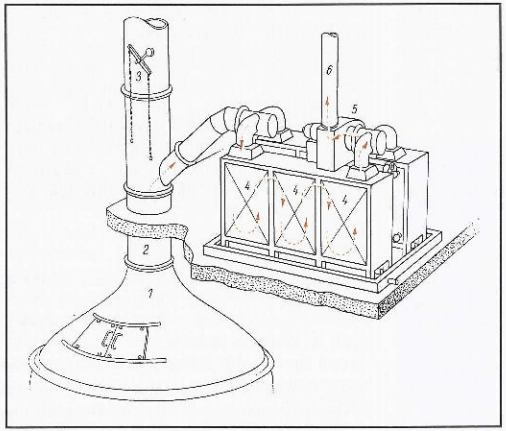
Rys. 3.77. Gotowanie brzeczki w wysokich temperaturach
(1) zbiornik pośredniczący, (2) pompa, (3-5) wymienniki ciepła, (6) odcinek przetrzymywania gorącego, (7) naczynie do odparowania, (8) drugi stopień rozprężenia

skraplają się. W zależności od dalszego celu wykorzystania, opary schładza się w jednym lub dwóch stopniach i przy tym otrzymuje się gorącą wodę. Obecnie wykonuje się kondensatory oparów kotłowych z jednostopniowym schładzaniem (rys. 3.79).

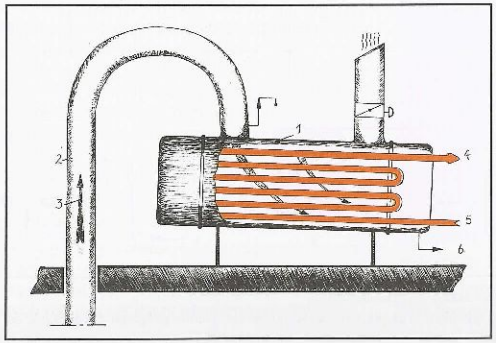
Z każdego 1 hl odparowanej wody można uzyskać do 0,8 hl gorącej wody 80°C.

Objętość oparów po przejściu przez skraplacz zdecydowanie zmniejsza się i może być łatwo usunięta.

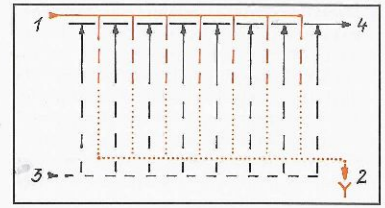
Obecnie kondensator oparów jest często produkowany w postaci płytowego wymiennika cieplnego z jednokrotnym wymuszonym przepływem, przy czym opary wpływają do co drugiej płyty od góry i skraplają się przy spływie w dół, natomiast woda chłodząca przepływa w przeciwprądzie z dołu do góry pomiędzy przepływami oparów i podgrzewa się (rys. 3.79a). Z powodów techniczno-cieplnych, używa się gorącej wody, której temperaturę skraplanie oparów podnosi możliwie blisko punktu wrzenia.



Rys. 3.78
Kondensator oparów
(1) kocioł warzelny
(2) komin oparów
(3) klapa przestawna
(4) komory wymiany ciepła
(5) wentylator
(6) przewód wywiewny



Rys 3.79
Kondensator oparów
(1) wymiennik ciepła płaszczowo-rurowy
(2) komin oparów
(3) para wodna
(4) wylot gorącej wody
(5) wlot ciepłej wody
(6) spust kondensatu



Rys. 3.79a
Płytowy wymiennik cieplny jako kondensator oparów kotłowych
(1) opary, (2) kondensat, (3) woda chłodząca, (4) woda gorąca

3.4.2.5.2 Sprężanie oparów

Powstające przy gotowaniu opary mają temperaturę ok. 100°C i nie mogą już jako takie być użyte do celów grzewczych. Jeśli jednak opary spręży się o kilka dziesiętnych bara nadciśnienia, temperatura podniesie się na 102 do 108°C i można ich wtedy znowu użyć do celów grzewczych. W taki sposób można bezpośrednio odzyskać z powrotem zużyte ciepło odparowania w procesie gotowania brzeczki.

Warunkiem takiego wykorzystania oparów są jednak opary pozbawione powietrza, które wytwarzają się tylko wtedy, kiedy kocioł gotuje bez piany i bez zaciągniętego powietrza.

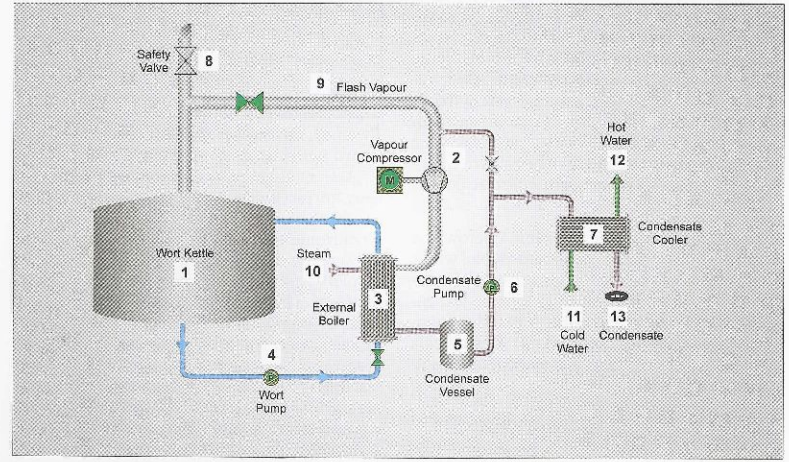
Sprężanie oparów odbywa się

- przy pomocy mechanicznej sprężarki, wtedy mówi się o **mechanicznym sprężaniu oparów**, albo
- przy pomocy strumienicy parowej („smoczka"), która wymaga pary z kotła, wtedy mówi się o **termicznym sprężaniu oparów.**

Obecnie stosowane są mechaniczne sprężarki oparów, zaś termiczne sprężanie oparów jest rzadko spotykane w browarach.

Mechaniczne sprężanie oparów

Wytwarzane opary są sprężane mechanicznie do 0,2-0,5 bar nadciśnienia przy pomocy sprężarek turbinowych, śrubowych lub rotacyjnych (Rootsa). Przez sprężenie podwyższa się tem-



Rys. 3.80. Mechaniczne urządzenie sprężania oparów
(1) kocioł warzelny, (2) sprężarka, (3) zewnętrzny podgrzewacz, (4) pompa cyrkulacyjna do brzeczki, (5) naczynie do kondensatu, (6) pompa do kondensatu, (7) kondensator oparów kotłowych, (8) zawór bezpieczeństwa, (9) opary, (10) świeża para, (11) zimna woda, (12) gorąca woda, (13) kondensat

peratura oparów i mogą one ponownie być użyte bezpośrednio do celów grzewczych, jednak przedtem następuje jeszcze wstrzyknięcie kondensatu, żeby zlikwidować przegrzanie. Przy sprężaniu oparów można zaoszczędzić parę i energię, bo jest potrzebna tylko energia do napędzania sprężarki (ok. 5% pierwotnego wsadu energii, tj. 95% ilości pierwotnej energii zostaje zaoszczędzone).

Podgrzewanie brzeczki rozpoczyna się z konieczności doprowadzeniem świeżej pary (rys. 3.80 – 10) z kotłowni do podgrzewacza. Brzeczka przy pomocy pompy cyrkulacyjnej (4) zostaje przetłoczona przez podgrzewacz zewnętrzny (3), podgrzana i zawrócona z powrotem do kotła warzelnego (1). Kiedy zostaje osiągnięta wymagana temperatura wrzenia 102 do 106°C na wylocie podgrzewacza, zostaje włączona sprężarka (2) i wytwarzające się opary (9) sprężają się do nadciśnienia 0,09 do 0,25 bar = 102 do 106°C. Proces gotowania jest teraz utrzymywany na bieżąco przez sprężone opary.

Sprężanie oparów można instalować również w istniejących urządzeniach i jest ono interesujące także dla browarów, które nie życzą sobie niskociśnieniowego gotowania ze względów jakościowych. Podwyższone ciśnienie wytwarza się tylko w podgrzewaczu zewnętrznym, a nie w kotle warzelnym. System działa tylko wówczas, kiedy proces przebiega absolutnie bez powietrza. Dlatego automatyczne odpowietrzenie jest instalowane zawsze w najniższym miejscu systemu, gdyż cięższe powietrze spływa w dół.

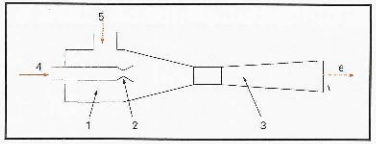
Oszczędność pary przy sprężaniu oparów jest znaczna. Prawie nie ma nadmiaru ciepłej wody, ponieważ ciepło kondensacyjne zostaje ponownie użyte do podgrzewania. Potrzebne jest zabezpieczenie kotła warzelnego przed wytworzeniem się próżni, aby uniknąć wciągnięcia powietrza [13]. Oprócz zalet system ten posiada również wady:

- technika urządzenia jest skomplikowana i droga,
- potrzebna jest duża powierzchnia wymiany cieplnej, gdyż nadająca się do wykorzystania różnica temperatur jest mała (60 do 80 m²/100 hl brzeczki),
- potrzebne są prace konserwacyjne,
- jeżeli do napędu zainstaluje się silnik elektryczny, mogą występować znaczne szczytowe pobory prądu przez sprężarkę – zastosowany do napędu silnik spalinowy (gaz lub Diesel) rozwiązuje problem poboru prądu, a prócz tego można także wykorzystywać ciepło spalin silnika.

Ogólnie można powiedzieć, że sprężanie oparów ma sens dopiero powyżej 5 warek/dobę. Zalety sprężania oparów wzrastają z dobową liczbą warek i wielkością zasypu.

Termiczne sprężanie oparów

Przy termicznym sprężaniu opary są przy pomocy strumienicy parowej (rys. 3.81) zasysane i sprężane. Ta strumienica składa się z komory mieszania (1) z dyszą (2), przez którą przepuszczana jest świeża para z kotłowni z nadciśnieniem co najmniej 8 bar, z możliwością do 18 bar. Duża prędkość świeżej pary porywa ze sobą opary i w podłączonym dyfuzorze (3) przy zmniejszającej się prędkości energia kinetyczna zostaje zamieniona w energię ciśnienia z 0,1 do 0,4 bar nadciśnienia.



Rys. 3.81. Strumienica parowa (pompa strumieniowa parowa)
(1) głowica, (2) dysza, (3) dyfuzor, (4) para napędowa, (5) opary, (6) para grzejna

Urządzenie termiczne sprężania oparów (rys. 3.82) pracuje w taki sposób (133), że brzeczka najpierw jest podgrzewana przez doprowadzenie świeżej pary z kotłowni (14). Brzeczka przy pomocy pompy cyrkulacyjnej (4) jest przetłaczana przez zewnętrzny podgrzewacz (3), podgrzewana i zawracana z powrotem do kotła warzelnego (1). Kiedy zostaje osiągnięta temperatura wrzenia 106°C za podgrzewaczem, wtedy włącza się strumienicę parową (2). Przez strumienicę parową zostaje zassana, sprężona i doprowadzona na wyższy stopień temperatury największa część oparów (9). Te sprężone opary zostają doprowadzone do zewnętrznego podgrzewacza (3) i podgrzewają dalej brzeczkę do gotowania.

Wytworzony w zewnętrznym podgrzewaczu kondensat o 106°C i nadciśnieniu 0,3 bar jest gromadzony w naczyniu zbiorczym (5) i pompą do kondensatu (6) doprowadzony do kondensatora oparów kotłowych (7).

Kiedy ogólna ilość oparów została sprężona, przez konieczność dozowania świeżej pary jako pary napędowej było doprowadzane do brzeczki ciągle więcej energii cieplnej i tym samym proces wypadł spod kontroli. Pozostała część w ilości ok. 30% jest dlatego skraplana w kondensatorze oparów i przy tym w (7) jest uzyskiwana gorąca woda produkcyjna (12).

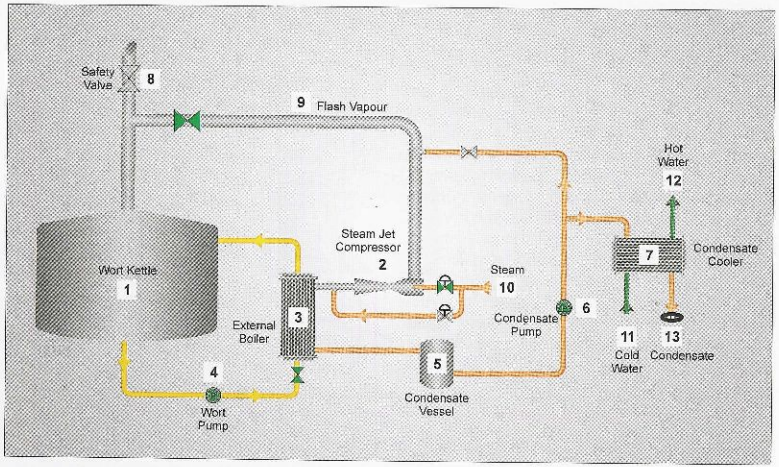
Korzystne w termicznym sprężaniu oparów są

- bezproblemowa praca przy małym nakładzie konserwacyjnym,
- brak szczytów energetycznych.

Wadami są

- z powodu niskich temperatur pary grzejnej potrzebne są duże powierzchnie wymiany cieplnej,
- podwyższona ilość odpadowej gorącej wody i
- potrzebna para o wysokim ciśnieniu (możliwie 18 bar; konieczna jest własna kotłownia).

Termiczne sprężanie oparów może przedstawiać korzystną pod względem kosztów alternatywę w odniesieniu do mechanicznego sprężania oparów nie tylko dla małych browarów, lecz również dla dużych browarów z zapotrzebowaniem na dodatkową gorącą wodę. Przy porównaniu oszczędności w kosztach energii na warkę (100 hl przy 10% odparowania) przez termiczne sprężanie oparów w odniesieniu do zwyczajowego gotowania bez sprężania wykazują znaczne różnice (132). Dużym problemem jest przeważnie pomieszczenie potrzebnych dużych powierzchni wymiany cieplnej przy wewnętrznym podgrzewaczu; prócz tego instalowanie termicznego sprężania oparów ma sens tylko wtedy, kiedy można zagospodarować nadmiar gorącej wody.



Rys. 3.82. Urządzenie termicznego sprężania oparów
(1) kocioł warzelny, (2) strumienica parowa, (3) zewnętrzny podgrzewacz, (4) cyrkulacyjna pompa do brzeczki, (5) naczynie do kondensatu, (6) pompa do kondensatu, (7) kondensator oparów kotłowych, (8) zawór bezpieczeństwa, (9) opary, (10) świeża para, (11) zimna woda, (12) gorąca woda, (13) kondensat

3.4.2.5.3 Niskociśnieniowe gotowanie z zasobnikiem energii

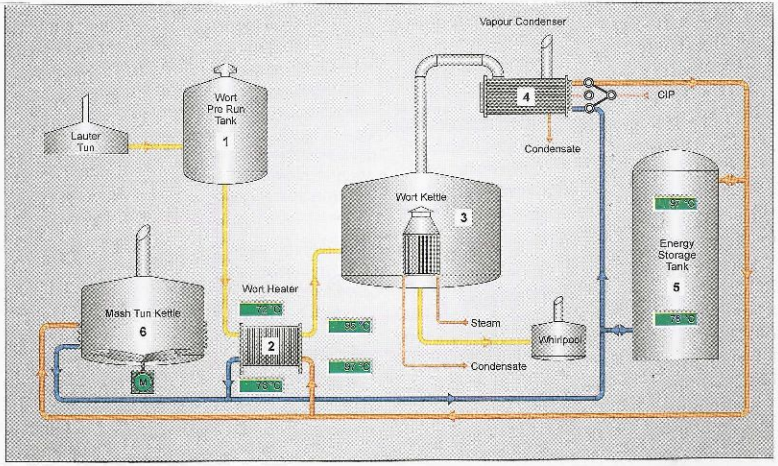
Przez wymianę ciepła na różnych stanowiskach uzyskuje się na ogół ciepłą wodę, której nie ma do czego zużyć. Potrzebna natomiast jest bardzo gorąca woda, której przy małym doprowadzeniu ciepła można by użyć do celów grzejnych. Do tego konieczne jest wykorzystanie małych różnic temperaturowych i magazynowanie gorącej wody tak, aby nie stygła i była na zawołanie. Umożliwiają to izolowane termicznie systemy zasobników energii (rys. 3.84).

Odparowana w kotle warzelnym (3) woda zostaje skroplona jako opary (4), podczas gdy chłodząca woda w przeciwprądzie zostaje podgrzana do 97°C. Podgrzana do 97°C woda zostaje odprowadzona z powrotem do górnej części zasobnika energii (5). Przy pomocy gorącej wody z górnej części zasobnika energii można podgrzewać brzeczkę ze zbiornika pośredniczącego (1) lub zacier w kadzio-kotle zaciernym (6). Są również możliwe inne źródła podgrzewania; należy jednak starać się, aby gorąca woda zbytnio się przy tym nie schłodziła.
Gorąca woda jest magazynowana w dobrze izolowanym termicznie zasobniku energii; przy tym warstwa graniczna pomiędzy bardzo gorącą wodą a gorącą wodą przesuwa się zależnie od poboru. Strefa mieszania jest zależna od kształtu zasobnika i przy wąskich naczyniach wynosi tylko ok. 10 do 20 cm.

W takim systemie składowania ciepło odpadowe można przechowywać przez dłuższy czas i w każdej chwili z niego korzystać. Ważne przy tym jest, żeby przez nieumiejętne korzystanie nie zostały obniżone temperatury zasobnika energii.

Oszczędność pierwotnej energii w odniesieniu do gotowania bez odzyskiwania ciepła wynosi

- przy niskociśnieniowym gotowaniu ok. 40 do 50%,
- to samo z zasobnikiem energii ok. 60 do 70%.



Rys. 3.84

System zasobników energii

(1) tank pośredniczący do brzeczki, (2) podgrzewacz brzeczki, (3) kocioł warzelny, (4) kondensator oparów kotłowych, (5) zasobnik energii, (6) kocioł zaciemy

3.4.2.6 Zużycie energii przy gotowaniu brzeczki

Kocioł warzelny jest największym odbiorcą energii w całym procesie wytwarzaniu brzeczki. Dlatego należy bardzo dokładnie rozważyć, jak utrzymać możliwie niskie koszty energii.

Zużycie energii jest podawane w kWh lub kJ, przy czym

- ***1 kWh = 3,6 MJ = 860 kcal.***

Wiadomo również, że zwykłe handlowe nośniki opałowe mają mniej więcej następujące wartości opałowe (p. także rozdz. 12.2 1):

gaz ziemny 11,20 kWh/m³
olej opałowy 10,14 kWh/l
olej ciężki 11,16 kWh/kg
węgiel kamienny 8,95 kWh/kg.

W warzelni możemy przy tym liczyć się ze sprawnością 80%, tj. ok. 80% dostarczanej energii w warzelni jest skuteczne.

Punktem wyjścia naszego rozważania jest zużycie energii, jakie osiągamy w zwykłym kotle warzelnym.

Zużycie energii przy podgrzewaniu brzeczki do gotowania
Brzeczka przy pełnym kotle ma ok. 75°C. Aby ją podgrzać do zagotowania, potrzebne jest ok. 3 kWh/hl = 10,5 MJ.

Zużycie energii przy zwykłym gotowaniu
Jeżeli brzeczkę gotuje się 90 min w 100°C i przy tym ogólne odparowanie wynosi ok. 12%, potrzebne jest

na 1 hl wybitej brzeczki ok. 14 kWh (= 12000 kcal).

Oszczędność energii przez przejście na gotowanie niskociśnieniowe
Przy niskociśnieniowym gotowaniu (NCG) skraca się ogólny czas gotowania przez stosowanie wyższych temperatur i przez to znacznie przyspieszonych przebiegów przemian i oddzielania osadów. Jeżeli w miejsce dotychczasowych 12% (10 do 15%) teraz odparuje tylko 5 do 7%, oszczędza się w odniesieniu do zwykłego gotowania 6 kWh/hl wybitej brzeczki, wtedy potrzeba

na 1 hl wybitej brzeczki ok. 9 kWh (= 7740 kcal).

Jest to duża oszczędność, która wynika już z samego zmniejszenia ogólnego odparowania.

Przeliczmy to krótko:
Zadanie:
Jaka duża jest oszczędność w kosztach przy przejściu na NCG, jeżeli wybija się w roku 1.700 warek po 560 hl każda i oblicza się z olejem opałowym w cenie 0,43 DM/l.

Dla zwykłego gotowania	= 14 kWh/hl
dla NCG	= 9 kWh/hl
oszczędność	= 5 kWh/hl
z 1 litra oleju opałowego uzyskujemy	10,14 kWh
z 0,49 litra oleju opałowego	5 kWh.
1 litr oleju kosztuje	0,43 DM
0,49 l oleju kosztuje	0,21 DM
dla 560 hl wynosi to	118 DM
dla 1700 warek wynosi to	200 600 DM
Oszczędność wyniesie	200 600 DM.

3.4.2.7 Kondensat oparów

Przy gotowaniu brzeczki odparowuje pewna ilość wody, którą określa się jako gorące opary. Jeżeli nie podejmuje się żadnych działań, opary te ulatniają się przez komin do oparów. Ustawa ograniczająca dopuszczalne emisje zapachów zmusza browary do skraplania oparów. Przy tym odzyskuje się nie tylko znaczną część zawartej w oparach energii (p. rozdz. 3.4.2.5.1), lecz zarazem wodę do różnych celów. Kondensat oparów zawiera jednak szereg odparowanych nieszlachetnych substancji (DMS, karbonyle starzenia i in.) i nie zaleca się używania go jako wody technologicznej (193). Odpowiednio przygotowany kondensat oparów (jeżeli to możliwe metodą odwróconej osmozy) może znaleźć zastosowanie jako:

- woda do wstępnego płukania przy myciu CIP,
- woda chłodząca w kondensatorach oparów,
- woda zasilająca w kotłowni,
- woda do mycia skrzynek do piwa,
- woda do mycia silosów do wysłodzin,

- woda do spłukiwania dna kadzi filtracyjnej i whirlpoola,
- woda do smarowania taśm ze sztucznego tworzywa w rozlewni.

3.4.2.8 Naczynie pośredniczące

Naczynia zacierne i kadź filtracyjna są tak długo zajmowane, jak długo trwa zacieranie lub filtracja zacieru. Lecz kocioł warzelny musi być do dyspozycji od spływu przedniej brzeczki aż do wybicia i w związku z tym jest najdłużej zajmowanym naczyniem. Jeżeli gotuje się kilka warek na dobę, wtedy nie odgrywa to żadnej roli, lecz jeśli gotuje się w sposób ciągły i w dobie wybija się 8 lub więcej warek, powstają problemy z kotłem warzelnym (rys. 3.85). Toteż dla zachowania rytmu wybijania warek pomiędzy kadź filtracyjną a kocioł warzelny włączono, jako naczynie buforowe, dobrze izolowane naczynie pośredniczące bez ogrzewania.

Oczywiście, można było zainstalować drugi kocioł warzelny, żeby móc spokojnie pracować – i to może być również konieczne – lecz nie ogrzewane naczynie pośredniczące jest znacznie tańsze od drogiego kotła warzelnego.

Istnieje wtedy również możliwość podgrzewania brzeczki podczas przepompowywania do kotła na wymienniku cieplnym. Jako środek grzejny może być użyta gorąca woda, z odzyskiwaniem ciepła (p. rozdz. 3.4.2.5.3).

3.4.3 Przeprowadzenie gotowania brzeczki

Proces ten trzeba rozpatrywać z dwóch punktów widzenia, które są ze sobą powiązane:

- gotowanie brzeczki i
- przemiana goryczek chmielowych.

3.4.3.1 Gotowanie brzeczki

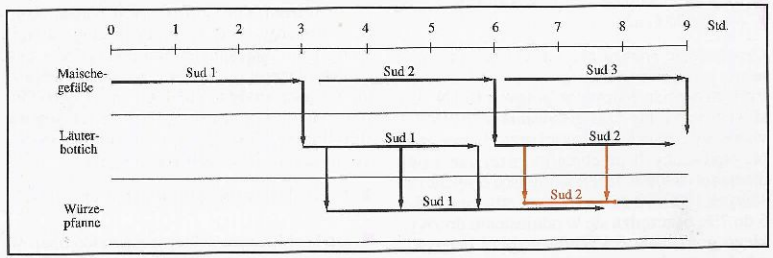
W zasadzie gotowanie rozpoczyna się, kiedy tylko w kotle jest brzeczka.

Gotowanie trwa 60 do 70 min.
Powinno się gotować długo i intensywnie, ponieważ

- więcej goryczek chmielowych przechodzi do roztworu,
- lepiej zostaje wytrącone białko koagulujące,
- zostaje lepiej usunięte DMS,

lecz koszty energetyczne wzrastają z każdą minutą i dlatego nie gotuje się dłużej, niż to jest konieczne.

Ważne jednak jest, żeby brzeczka pod koniec procesu gotowania, a więc przy wybiciu, posiadała wymaganą zawartość ekstraktu (patrz rozdz. 3.4.1.3), przewidzianą w brzeczce podstawowej. To należy mieć na uwadze przed rozpoczęciem gotowania!



Rys. 3.85. Czas pracy poszczególnych urządzeń w warzelni
(Std. - godz.; Maischegefäbe - naczynia zacierne; Sud - warka ; Läuterbottich - kadź filtracyjna; Würzepfanne - kocioł warzelny)

Ważne jest również, żeby przed rozpoczęciem gotowania jeszcze raz sprawdzić scukrzenie brzeczki (końcowe scukrzenie).

Zdarza się, że podczas przepompowywania i filtracji zacieru składniki skrobi przechodzą do roztworu i nie zostają scukrzone, bo amylazy zostały już zniszczone przez wysokie (może również za wysokie!) temperatury końcowe zacierania. Aby zapobiec zmętnieniu skrobiowcmu, należy wtedy przeprowadzić dodatkowe scukrzenie w kotle warzelnym przed podgrzewaniem brzeczki lub w piwnicy fermentacyjnej, przez dodanie przedniej brzeczki lub wyciągu słodowego (*również odpowiednich preparatów enzymatycznych - przyp. tł.*); późniejsze poprawianie jest już niemożliwe!

3.4.3.2 Dawka chmielu

Podczas gotowania brzeczki zostaje do niej dodany chmiel i jest razem z nią gotowany. Przez gotowanie osiąga się izomeryzację α-kwasów do izo-α-kwasów, dzięki czemu w piwie zostaje wytworzona szlachetna goryczka. Należy wiedzieć:

- jaka duża powinna być dawka chmielu,
- kiedy powinno się dodać chmiel
- i znać sposób dodania chmielu do brzeczki.

3.4.3.2.1 Obliczanie dawki chmielu

Dąży się do tego, żeby goryczka odpowiadała typowi piwa. Goryczka jest wyrażana w ***jednostkach goryczy (JG) = zawartości substancji goryczkowych w mg/l piwa.***

Przykładowo przeciętne jednostki goryczy i dawki substancji goryczkowych w niemieckich piwach są następujące:

Rodzaj piwa	α-kwasy dawka w g/hl piwa	jednostki goryczy (JG)
Piwa pszeniczne	5,0 - 7,0	14 - 20
Koźlaki	6,0 - 8,0	19 - 23
Marcowe	7,0 - 8,5	20 - 25
Bezalkoholowe	7,0 - 9,0	20 - 28
Eksportowe	7,5 - 11,0	22 - 30
Pilzneńskie	10,0 - 16,0	28 - 40

Jeśli więc chce się wyprodukować piwo pilzneńskie z 32 JG, wtedy należy uzyskać 32 mg substancji goryczkowych w litrze piwa.

Chmiel dodaje się do gorącej brzeczki. Brzeczka ta przy schładzaniu zmniejsza objętość o 4% (p. rozdz.3.5.1.3). Dawka chmielu powinna więc być obliczona na wybitą ilość zimnej brzeczki.

Ważne jest jeszcze: Dodane substancje goryczkowe tylko częściowo przechodzą do piwa. Ta wydajność substancji goryczkowych zależy od technologicznego procesu pracy (czas gotowania, ciśnienie, wartość pH i in.) i waha się ogólnie pomiędzy 25 a 35 %, w gotowym piwie. Kto uważnie przejrzy tabelę, zauważy że dodawanej ilości α-kwasów do brzeczki zawsze odpowiada (w przybliżeniu) jedna trzecia jednostek goryczy, którą chcemy mieć w piwie. Dla dokładnego dawkowania chmielu należy tę wydajność goryczy określić w browarze doświadczalnie.

Przykład:

Wybija się 360 hl pilznera i chce się uzyskać wartość goryczy 32 JG (EBC).

Pytanie: Ile kg α-kwasów należy dodać ?

Ilość wybita (gorąca) = 360 hl.

Ilość wybita (zimna) = 360×0,96 = 345,6 hl zimnej wybitej brzeczki.

Wymagana ilość goryczy w gotowym piwie:

32 JG = 32 mg/l piwa = 3,2 g/hl piwa
dla 1 hl = 3,2 g
dla 345,6 hl = 1.105,9 g

Wymagane jest w piwie 1,106 kg goryczy.

Konieczna ilość goryczy:

31% wydajności goryczy = 1,106 kg α-kwasów

$$100\%\ \text{goryczy} = \frac{1{,}106\,kg \cdot 100\%}{31\%}$$

$$= 3{,}57\ \text{kg α-kwasów}$$

Należy dodać 3,57 kg α-kwasów.

Następny krok polega na tym, że α-kwasy musimy podzielić na poszczególne dawki chmielu i jego produktów. Decyzja ta należy do obowiązków piwowara.

Jeżeli pozostaniemy przy poprzednim przykładzie, wtedy możemy 3,57 kg α-kwasów podzielić następująco

75% z tego jako granulat typu 45 z 9% α-kwasów i

25% z tego jako chmiel naturalny z 7% α-kwasów.

Zadanie:
a) Ile musimy dodać kg proszku chmielowego z 9% α-kwasów i
b) ile kg chmielu naturalnego z 7% α-kwasów?

a) $100\% = 3{,}57\ kg$
$75\% = X$

$$X = \frac{3{,}57\ kg \cdot 75\%}{100\%}$$

$X = 2{,}68$ kg α-kwasów

$9\% = 2{,}68$ kg
$100\% = X$ kg

$$X_1 = \frac{2{,}68\ kg \cdot 100\%}{9\%}$$

$X_1 = 29{,}78$ kg proszku chmielowego z 9% α-kwasów

b) $100\% = 3{,}57$ kg
$25\% = X$

$$X = \frac{3{,}57\ kg \cdot 25\%}{100\%}$$

$X = 0{,}89$ kg α-kwasów
$7\% = 0{,}89$ kg

$$X_2 = \frac{0{,}89 kg \cdot 100\%}{7\%}$$

$X_2 = 12{,}71$ kg naturalnego chmielu z 7% α-kwasów.

3.4.3.2.2 Skład i czas dodawania chmielu

Do dyspozycji są trzy różne produkty:

chmiel naturalny,
chmiel granulowany i
ekstrakt chmielowy

Różnice jakościowe pomiędzy tymi produktami obecnie prawie nie istnieją, ponieważ wszystkie metody przechowywania są bardzo dobre i składniki chmielu pozostają zachowane. Różnice jednak występują pomiędzy poszczególnymi odmianami chmielu, o czym już była mowa (rozdz. 1.2.6). Obecnie wielkość i urządzenia warzelni decydują o tym, jakich używa się produktów. ***Ogólnie obserwuje się wzrastające odchodzenie od naturalnego chmielu, gdyż przy jego stosowaniu trzeba usuwać chmieliny.***

Przy dodawaniu chmielu należy rozważyć:

- ***w ilu dawkach dodawać chmiel***
- ***kiedy dodawać poszczególne dawki i***
- ***jakie odmiany najpierw, a jakie na koniec.***

Jeżeli używa się kilka odmian, zawsze najpierw dodaje się chmiel goryczkowy, aby jego dużą ilość α-kwasów maksymalnie zamienić na izozwiązki. Ponadto zostają usunięte jego nieszlachetne lotne składniki (np. myrcen i in.).

Chmiel z najlepszym aromatem – chmiel aromatyczny – dodaje się na końcu, przy ciśnieniowym gotowaniu, nawet dopiero po zredukowaniu ciśnienia. Przez to pozostają zatrzymane szlachetne olejki chmielowe, jeżeli jest to wymagane dla danego gatunku piwa; jednak w tym przypadku trzeba zrezygnować z maksymalnego wykorzystania goryczek.

Decyzja o tym, kiedy jaką dawkę chmielu należy dodać, ma wpływ na jakość produkowanego piwa.

3.4.3.2.3 Dawkowanie chmielu – systemy dozowania

Dawkowanie chmielu naturalnego w postaci szyszek

Pomimo malejącej tendencji stosowania chmielu naturalnego, jest jeszcze wiele browarów na całym świecie, które go stosują. Kiedy chmiel dodaje się w postaci szyszek, należy włączyć odchmielacz lub kadź filtracyjną po wybiciu dla usunięcia chmielin, co tylko przysparza pracy i daje straty brzeczki. Dlatego niektóre browary bezpośrednio przed dodaniem mielą chmiel bardzo drobno i oddzielają drobno zmielone cząstki z osadami w whirlpoolu.

Chmieliny można dodać do następnej warki z wodami wysładzającymi i sprzedawać razem z wysłodzinami. Kompostowanie chmielin jest problematyczne.

Dawkowanie chmielu sproszkowanego lub granulowanego

Ta forma przetwarzania chmielu rozwinęła się głównie po to, żeby uprościć obsługę, uzyskać standaryzowaną ilość goryczek i zapewnić małą pojemność magazynową.

Proszki i granulaty występują w handlu w puszkach, workach foliowych napełnianych gazem obojętnym, twardych opakowaniach lub foliowych kartonach z zawartością do 150 kg.

Granulaty występują na rynku przeważnie w standaryzowanych pakunkach napełnionych gazem obojętnym, które przez zespolone folie nie dopuszczają do żadnej wymiany gazów; zawartość jest podawana przeważnie w kg α-kwasów, aby można nimi łatwo manipulować.

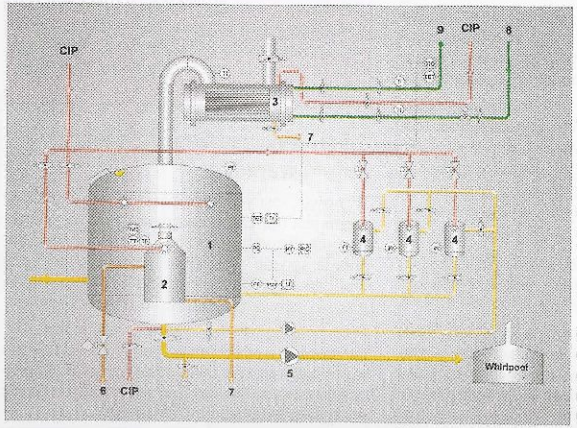
W małych browarach puszki lub worki foliowe są otwierane ręcznie i ich zawartość dodawana do kotła. Opróżnione puszki są zatrzymywane w zawieszonym koszyku z kraty. Im większy jest browar, tym bardziej dąży do automatycznego dodawania przy co 3 h wybijanej warce; gdyż zawsze w warzelni 10 t i 8 warkach na dobę jest 2,5 do 3 dt granulatów do dodania.

Jeden z wariantów dozowania polega na tym, że napełnia się kilka zbiorników dozujących z zapotrzebowaniem dla jednej warki, które następnie automatycznie na zadany czas są opróżniane przez wypłukiwanie przy pomocy brzeczki (rys. 3.86).

Dawkowanie ekstraktu chmielowego

Wysoką lepkość ekstraktu chmielowego należy wpierw znacznie obniżyć i ekstrakt uczynić płynniejszym przez podgrzanie do 45-50°C. W niektórych metodach dawkę natryskuje się automatycznie gorącym roztworem (woda lub cienkusz), przez ciągłe przepompowywanie uzyskuje oraz utrzymuje jej jednorodność i w zadanym czasie dodaje.

W dużych opakowaniach należy całą zawartość beczki w przeciągu 36 do 48 h podgrzać do przewidzianej temperatury – w żadnym przypadku ponad 50°C – opróżnić w płynnej postaci do zbiornika i po wymieszaniu można dozować. Praktykuje się również bezpośrednie dozowanie masy przy pomocy pompy wyporowej. Drogi transportu muszą być podgrzewane.



Rys. 3.86
Kocioł warzelny z naczyniami do dozowania chmielu
(1) kocioł warzelny
(2) podgrzewacz wewnętrzny
(3) kondensator oparów kotłowych
(4) naczynia do dozowania chmielu
(5) pompa do wybicia
(6) dopływ pary
(7) spływ kondensatu
(8) dopływ zimnej wody
(9) odpływ ciepłej wody

W mniejszych browarach często przedziurawia się puszki bez podgrzewania i podczas gotowania opróżnia bezpośrednio w kotle. Puszki można trzymać w koszu, co następnie umożliwia łatwe ich usunięcie.

3.4.4 Kontrola wybijanej brzeczki

Gotowanie brzeczki kończy się wybiciem, podczas gdy brzeczka zostaje przepompowana do whirlpoolu przy pomocy silnej pompy do wybicia. Do tego miejsca warzelany kontroluje brzeczkę niezależnie od instrumentów w warzelni. Należy do tego:

- ***kontrola połysku brzeczki***

przy pomocy szklanki warzelany sprawdza przed źródłem światła, czy brzeczka – tak jak się wymaga – jest klarowna z ognistym połyskiem i pływa w niej wykłaczony gruby przełom;

- ***końcowe scukrzenie przy pomocy próby jodowej***

jest możliwe, że jeszcze nierozpuszczone cząsteczki skrobi podczas gorącego wysładzania przechodzą do roztworu i jeżeli w porę nie zauważy się tego, powodują w piwie zmętnienie;

- ***ilość wybicia***

w starych urządzeniach warzelany mierzy ją za pomocą laski mierniczej lub określa przy pomocy pływającej laski mierniczej. Ilość wybicia jest ważna dla obliczenia wydajności warzelni i jako dowód ilości wyprodukowanej dla urzędu finansowego (akcyzy). Jeżeli jest zalegalizowane urządzenie do pomiaru zimnej brzeczki, można zrezygnować z określania ilości wybitej;

- ***zawartość ekstraktu w wybijanej brzeczce***

do tego warzelany ma małą stację kontrolną, w której oznacza zawartość ekstraktu (p. rozdz. 3.5.1.1). W nowoczesnych urządzeniach zawartość ekstraktu jest określana i wykazywana automatycznie (p. także rozdz. 7.5).

Brzeczka nazywa się teraz wybitą brzeczką. Jej ilość i zawartość ekstraktu są podstawą do wyliczenia wydajności warzelni.

Skład wybitej brzeczki ma oczywiście duży wpływ na jakość wyprodukowanego z niej piwa. Przebadane przez centralne laboratorium VLB wybite brzeczki wykazują następujące średnie wartości (200):

Wartość pH	5,38	
Barwa (jasne brzeczki)	9,5	EBC
Barwa (ciemne brzeczki)	43	EBC
Jednostki goryczy (pils)	34,1	JG
Jednostki goryczy (inne)	30,4	JG
Azot ogólny	1018	ppm
Azot koagulujący	18	ppm
Azot wytrącony Mg	195	ppm
Wolny aminowy N (WAN)	190	ppm
Fotometr, próba jodowa	0,62	ΔE
Lepkość	1,76	mPa·s
Dwumetylowy siarczek (DMS)	57	ppb
Prekursor DMS	95	ppb
Liczba tiobarbituranów (LTB) jasne brzeczki	46	
Liczba tiobarbituranów (LTB) ciemne brzeczki	104	
Zawartość cynku	0,19	ppm
Zawartość β-glukanów	340	ppm
Zawartość zimnych osadów	200	ppm
Kwasy tłuszczowe:		
niskie	0,8	ppm (0,3 - 3,8)
wyższe nasycone	0,4	ppm (0,0 - 1,9)
wyższe nienasycone	0,4	ppm (0,0 - 1,1)

ppm = parts per million = mg/kg (wzgl. litr)
ppb = parts per billion = µg/kg (wzgl. litr)
DE = różnica w zabarwieniu próby wytrąconej etanolem w odniesieniu do ślepej próby.

3.5 Wydajność warzelni

Wydajność warzelni podaje w procentach, jaka część zasypu pozostała w brzeczce w postaci ekstraktu. Wydajność warzelni jest zatem ważnym sprawdzianem pracy tego działu w browarze.

3.5.1 Wyliczenie wydajności warzelni

W nowoczesnych browarach wydajność warzelni jest obliczana automatycznie na podstawie ustalonych wartości. Poniższy rozdział podaje sposób myślenia i postępowania przy wyliczaniu wydajności warzelni, którą muszą jeszcze prowadzić starsze i mniejsze browary.

Przy pomocy wydajności warzelni ustala się, ile procent wydanej masy zasypu znajduje się w kotle warzelnym jako masa ekstraktu. Ta procentowa liczba (wydajność warzelni) mieści się w rzędzie wielkości od 75 do 80%.

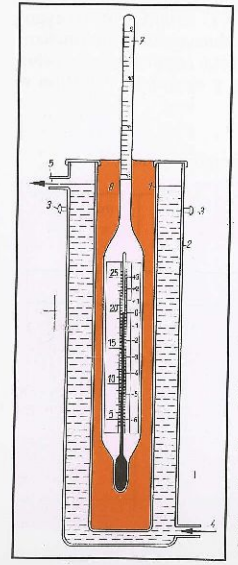
Do wyliczenia wydajności warzelni są potrzebne:

- wydana ilość zasypu,
- ustalenie ekstraktu przy pomocy pomiaru cukromierzem i
- ustalenie ilości wybitej.

Wydana ilość zasypu została dokładnie ustalona przez automatyczną wagę i zapisana przez komputer lub w sprawozdaniu warzelni „przebieg warki". Ilość zasypu jest wyjściową wartością dla wyliczenia wydajności warzelni.

3.5.1.1 Obliczenie zawartości ekstraktu

Ekstrakt oznacza się za pomocą cukromierza (rys. 3.87). Cukromierz jest rodzajem areometru: im mniejszy jest ciężar właściwy cieczy, tym głębiej zanurza się cukromierz. W cienkiej szyjce cukromierza jest umieszczona podziałka, która pokazuje procenty masy. Pierwsze cukromierze były skalowane na roztworze cukru sacharozy, dlatego nazywa się je także cukromierzami.



Rys. 3.87
Cukromierz brzeczkowy w cylindrze pomiarowym
(1) cylinder pomiarowy
(2) płaszcz chłodniczy
(3) pionowe zawieszenie
(4) dopływ wody chłodzącej
(5) wypływ wody chłodzącej
(6) wybijana brzeczka
(7) cukromierz

Pomiar odbywa się w ok. 20°C. Pobiera się małą ilość gorącej wybijanej brzeczki do metalowego cylindra – często z przegubowym zawieszeniem – który ma płaszcz do schładzania do ok. 20°C; przy czym nie można dopuścić do rozcieńczenia brzeczki oraz wzrostu stężenia brzeczki przez odparowanie wody. Cukromierz odczytuje się w miejscu, które wystaje ponad brzeczkę.

Odczytanie cukromierza wymaga ćwiczeń, ponieważ z powodu metalowego cylindra nie można odczytywać pod powierzchnią cieczy, a ciecz na szyjce cukromierza podchodzi nieco w górę, *tworząc tzw. menisk górny.* **Za ważną odczytaną wartość na cukromierzu uważa się najniższą, jeszcze wyraźnie rozpoznawalną podziałkę nad cieczą** *bezpośrednio nad górnym meniskiem.*

Cukromierze w warzelni odczytuje się od góry. Na areometrze zawsze jest zaznaczone, czy jest wyskalowany na odczyt od góry, czy od dołu.

Aby uzyskać możliwie dokładny wynik pomiaru, nie może ulec zmianie stężenie brzeczki, a więc przed zanurzeniem nie wolno spłukiwać cukromierza wodą ani żadną inną cieczą prócz mierzonej. Przed pomiarem, dla uniknięcia różnic temperaturowych, należy zawartość cylindra wymieszać czystą i suchą pałeczką ew. opłukaną mierzoną brzeczką. Należy się strzec przed zanurzeniem cukromierza za głęboko, gdyż wtedy brzeczka przyczepia się do szyjki cukromierza i ściąga go w dół, przez co odczyt jest zafałszowany. Suchy cukromierz bierze się ostrożnie za górny koniec i powoli zanurza mniej więcej do oczekiwanej wartości, przy czym należy zdmuchnąć z powierzchni powstałą pianę.

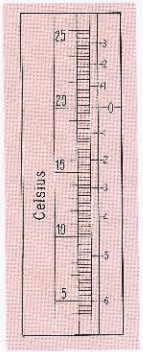
Cukromierz jest wyskalowany w 20°C. Jeżeli temperatura pomiaru odbiega od 20°C, należy dokonać korekty odczytanej wartości. Wartość tej korekty jest zależna od temperatury brzeczki. Kiedy brzeczka jest cieplejsza niż 20°C, wtedy ma ona mniejszą gęstość niż w 20°C, zatem wartość korekty należy dodać i odwrotnie.

W dolnej części cukromierza jest wbudowany termometr. Wartość poprawki otrzymuje się w ten sposób, że cukromierz wyciągamy tak daleko, aż będzie zanurzony tylko jego dolny koniec: po drugiej stronie skali termometru są naniesione czerwone liczby i kreski. Na rys.

3.88 liczby po prawej stronie odpowiadają czerwonym liczbom. Podane liczby oznaczają termometryczną redukcję w dziesiętnych procentów, o które należy skorygować cukromierz.

Przykład:

Odczyt cukromierza:	11,6%
Korekta:	- 0,2%
Procenty masy:	11,4%



Rys. 3.88
Termometr cukromierza 10 - 15% z liczbami korekcyjnymi

Skorygowane wskazanie cukromierza podaje, ile jest zawartych kg ekstraktu w 100 kg brzeczki.

W naszym przykładzie jest to 11,4 kg ekstraktu w 100 kg = 1 dt brzeczki (20°C).

3.5.1.2 Ustalenie masy ekstraktu w 1 hl brzeczki (zawartość ekstraktu w 1 hl brzeczki)

Praktycznie nigdy nie stosuje się masy ekstraktu w 1 dt brzeczki, lecz masę ekstraktu w 1 hl brzeczki, gdyż ilość brzeczki zawsze ustala się w hektolitrach.

Przeliczenie następuje przez przemnożenie przez gęstość brzeczki:

$$\text{Zawartość ekstraktu w } \frac{kg}{dt} \times \text{gęstość}$$

$$= \text{zawartość ekstraktu w } \frac{kg}{hl}$$

Gęstość substancji jest zależna od temperatury i ciśnienia, dlatego przy każdym podawaniu gęstości musi być podana temperatura pomiaru, natomiast podawanie ciśnienia przy cieczach można pominąć.

Dla naszego przeliczenia w kg ekstraktu na 100 l brzeczki zastosujemy gęstość (r) w 20°C, odniesioną do wody 4°C (20/4°C). W skorygowanych tabelach cukier-ekstrakt znormalizowanych przez komisję legalizacyjną według Plato przypadające g ekstraktu na 100 ml w 20°C (= kg ekstraktu na 1 hl) są wykazane do jednej setnej procentu masy (p. wycinek tabeli na rys. 3.89).

Rys. 3.89. Tabela do ustalania procentu wagowego i procentu mieszanego (wycinek)

Stosunek wagowy s_1 20/20°C	% wagowy g w 100 g	Gęstość ρ 20/4°C	% mieszany g w 100 ml w 20°C	Stosunek wagowy s_1 20/20°C	% wagowy g w 100 g	Gęstość ρ 20/4°C	% mieszany g w 100 ml w 20°C
1	2	3	4	1	2	3	4
1,04419	11,00	1,04229	11,47	1,04628	11,50	1,04437	12,01
423	01	233	48	632	51	441	02
427	02	237	49	636	52	445	03
431	03	241	11,50	640	53	450	04
436	04	245	51	645	54	454	05
440	05	250	52	649	55	458	06
444	06	254	53	653	56	462	08

Kto nie ma pod ręką żadnej tabeli, może ustalić gęstość również na podstawie następującego przybliżonego wzoru:

% masy roztworu	ma gęstość
0 (woda)	1,000 g/ml
1	1,004 g/ml
2	1,008 g/ml

Według tego otrzyma się przybliżoną wartość gęstości tak, że wylicza się:

gęstość = (procent masy · 0,004) + 1.

W naszym przykładzie:

11,4 · 0,004 + 1 = 1, 0456

Tabela Plato podaje 1, 04395.

Różnica jest mała, lecz dla dokładnego obliczenia za duża.

W przedstawionej poniżej uproszczonej tabeli do codziennego wstępnego obliczenia wartości dla gęstości zostały pominięte i dla każdej jednej dziesiątej procentu masy podana jest przypadająca wartość ekstraktu w g/100 ml brzeczki (w % mieszanych).

Jeżeli pozostaniemy przy naszym przykładzie, wtedy dla 11,4 procent masy odczytujemy w kolumnie „% mieszany g/100 ml w 20°C" 11,90.

To znaczy, że w 100 ml brzeczki w 20°C jest zawartych 11,90 g ekstraktu, co odpowiada 11,90 kg ekstraktu w 1 hl brzeczki (w 20°C).

Tabela do przeliczania % masy na % mieszany i współczynnik wydajności

% masy g w 100 g	% mieszany g w 100 ml w 20°C	Współczynnik wydajności	% masy g w 100 g	% mieszany g w 100 ml w 20°C	Współczynnik wydajności
0,1	0,10	0,10	2,4	2,42	2,32
0,2	0,20	0,19	2,5	2,52	2,42
0,3	0,30	0,29	2,6	2,62	2,52
0,4	0,40	0,38	2,7	2,72	2,61
0,5	0,50	0,48	2,8	2,83	2,71
0,6	0,60	0,58	2,9	2,93	2,81
0,7	0,70	0,67	3,0	3,03	2,91
0,8	0,80	0,77	3,1	3,13	3,01
0,9	0,90	0,86	3,2	3,23	3,10
1,0	1,00	0,96	3,3	3,34	3,20
1,1	1,10	1,06	3,4	3,44	3,30
1,2	1,20	1,15	3,5	3,54	3,40
1,3	1,30	1,25	3,6	3,64	3,50
1,4	1,41	1,35	3,7	3,75	3,60
1,5	1,51	1,45	3,8	3,85	3,70
1,6	1,61	1,55	3,9	3,95	3,79
1,7	1,71	1,64	4,0	4,06	3,90
1,8	1,81	1,74	4,1	4,16	3,99
1,9	1,91	1,83	4,2	4,26	4,09
2,0	2,01	1,93	4,3	4,36	4,19
2,1	2,11	2,03	4,4	4,47	4,29
2,2	2,21	2,13	4,5	4,57	4,39
2,3	2,32	2,23	4,6	4,67	4,49

% masy g w 100 g	% mieszany g w 100 ml w 20°C	Współczynnik wydajności	% masy g w 100 g	% mieszany g w 100 ml w 20°C	Współczynnik wydajności
4,7	4,78	4,59	9,5	9,84	9,45
4,8	4,88	4,69	9,6	9,95	9,55
4,9	4,99	4,79	9,7	10,06	9,66
5,0	5,09	4,89	9,8	10,17	9,76
5,1	5,19	4,99	9,9	10,27	9,86
5,2	5,30	5,09	10,0	10,38	9,97
5,3	5,40	5,18	10,1	10,49	10,07
5,4	5,51	5,29	10,2	10,60	10,18
5,5	5,61	5,39	10,3	10,71	10,28
5,6	5,71	5,48	10,4	10,81	10,38
5,7	5,82	5,58	10,5	10,92	10,49
5,8	5,92	5,68	10,6	11,03	10,59
5,9	6,03	5,79	10,7	11,14	10,70
6,0	6,13	5,89	10,8	11,25	10,80
6,1	6,24	5,99	10,9	11,36	10,91
6,2	6,34	6,09	11,0	11,47	11,01
6,3	6,45	6,19	11,1	11,57	11,11
6,4	6,55	6,29	11,2	11,68	11,22
6,5	6,66	6,39	11,3	11,79	11,32
6,6	6,76	6,49	11,4	11,90	11,42
6,7	6,87	6,59	11,5	12,01	11,53
6,8	6,97	6,69	11,6	12,12	11,63
6,9	7,08	6,80	11,7	12,23	11,74
7,0	7,18	6,90	11,8	12,34	11,85
7,1	7,29	7,00	11,9	12,45	11,95
7,2	7,39	7,10	12,0	12,56	12,06
7,3	7,50	7,20	12,1	12,67	12,17
7,4	7,60	7,30	12,2	12,78	12,27
7,5	7,71	7,40	12,3	12,89	12,38
7,6	7,82	7,51	12,4	13,00	12,48
7,7	7,92	7,61	12,5	13,11	12,59
7,8	8,03	7,71	12,6	13,22	12,69
7,9	8,13	7,81	12,7	13,33	12,80
8,0	8,24	7,91	12,8	13,44	12,90
8,1	8,35	8,02	12,9	13,55	13,01
8,2	8,45	8,12	13,0	13,66	13,11
8,3	8,56	8,22	13,1	13,77	13,22
8,4	8,67	8,32	13,2	13,88	13,32
8,5	8,77	8,42	13,3	13,99	13,43
8,6	8,88	8,53	13,4	14,10	13,54
8,7	8,99	8,63	13,5	14,21	13,64
8,8	9,09	8,73	13,6	14,32	13,75
8,9	9,20	8,83	13,7	14,43	13,85
9,0	9,31	8,94	13,8	14,55	13,97
9,1	9,41	9,04	13,9	14,66	14,07
9,2	9,52	9,14	14,0	14,77	14,18
9,3	9,63	9,25	14,1	14,88	14,28
9,4	9,74	9,35	14,2	14,99	14,39

% masy g w 100 g	% mieszany g w 100 ml w 20°C	Współczynnik wydajności	% masy g w 100 g	% mieszany g w 100 ml w 20°C	Współczynnik wydajności
14,3	15,10	14,50	17,2	18,38	17,65
14,4	15,22	14,61	17,3	18,50	17,76
14,5	15,33	14,72	17,4	18,61	17,87
14,6	15,44	14,82	17,5	18,72	17,97
14,7	15,55	14,93	17,6	18,84	18,08
14,8	15,66	15,03	17,7	18,95	18,19
14,9	15,78	15,14	17,8	19,07	18,31
15,0	15,89	15,25	17,9	19,18	18,42
15,1	16,00	15,36	18,0	19,30	18,53
15,2	16,11	15,47	18,1	19,41	18,64
15,3	16,22	15,57	18,2	19,53	18,75
15,4	16,34	15,69	18,3	19,64	18,86
15,5	16,45	15,79	18,4	19,76	18,97
15,6	16,56	15,90	18,5	19,88	19,08
15,7	16,68	16,00	18,6	19,99	19,19
15,8	16,79	16,11	18,7	20,11	19,31
15,9	16,90	16,22	18,8	20,22	19,42
16,0	17,02	16,34	18,9	20,34	19,53
16,1	17,13	16,45	19,0	20,45	19,64
16,2	17,24	16,56	19,1	20,57	19,75
16,3	17,36	16,67	19,2	20,69	19,86
16,4	17,47	16,77	19,3	20,80	19,97
16,5	17,58	16,88	19,4	20,92	20,08
16,6	17,70	16,99	19,5	21,04	20,02
16,7	17,81	17,10	19,6	21,15	20,31
16,8	17,92	17,21	19,7	21,27	20,42
16,9	18,04	17,32	19,8	21,39	20,53
17,0	18,15	17,43	19,9	21,50	20,64
17,1	18,27	17,54	20,0	21,62	20,76

W starszej literaturze % masy jest określany jako % wagowy.

3.5.1.3 Przeliczenie objętości wybitej brzeczki gorącej na jej objętość po schłodzeniu

Po zakończeniu gotowania ustala się dokładnie ilość wybijanej brzeczki przy pomocy laski mierniczej. Do tego powierzchnia brzeczki musi być całkowicie uspokojona. Laska miernicza jest wyskalowana na pojemność kotła i należy ją osadzić na przewidzianym do tego miejscu. Legalizacja kotła warzelnego, która jest rozstrzygająca dla dokładnego ustalania wydajności warzelni, odbywa się przez odmierzanie.

Dla akcyzowego odbioru warki dopuszcza się także pomiar zimnej brzeczki przy pomocy zalegalizowanego indukcyjnego przepływomierza (IPM).

Przykład:

W naszym przykładzie zostały wybite 264 hl. Pomiar jednak nastąpił w 100°C, podczas gdy pomiar ekstraktu przeprowadzono w 20°C.

Jeżeli jednak schłodzi się 264 hl do 20°C (bez najmniejszego odparowania!), pozostanie z pierwotnej ilości tylko 96%: brzeczka skurczy się o 4 %. Jeżeliby podgrzać schłodzoną brzeczkę z powrotem do 100°C, byłyby znowu 264 hl.

W tych 4% jest również uwzględnione, że w ilości zmierzonej brzeczki zmierzono także ilość chmielin i wytrąconego białka (przełom białkowy), chociaż wcale nie należą do ekstraktu.

Przeliczenie objętości gorącej wybitej brzeczki na zimną (20°C, ponieważ w takiej temperaturze dokonano pomiaru cukromierzem) przeprowadza się, przemnażając przez 0,96.

Współczynnik 0,96 nazywa się współczynnikiem kontrakcji lub korekcyjnym.

W naszym przykładzie z istniejących 264 hl gorącej wybitej brzeczki pozostaje

264 × 0,96 = 253,44 hl zimnej wybitej brzeczki 20°C.

Oczywiście, podane 4% nie jest całkiem dokładne, gdyż także ilość gorącej brzeczki z powodu rozszerzenia się kotła o ok. 0,2% została ustalona za mała. Z innej strony rolę odgrywa to, z jakiej postaci chmielu korzystamy. Przy naturalnym chmielu można wychodzić z tego, że chmieliny podwyższają tę liczbę o ok. 0,2%, lecz proszek, granulat lub ekstrakt ustawiają sprawę zupełnie inaczej.

Jednak z uwagi na to, że wydajność warzelni w pierwszym rzędzie jest wewnątrzzakładową liczbą kontrolną, odchylenie to nie odgrywa żadnej roli, jeżeli jest zachowywany taki sam skład chmielu.

3.5.1.4 Wyliczenie uzyskanej ilości ekstraktu w warzelni

W 1 hl naszej brzeczki zawartych jest w 20°C 11,90 kg ekstraktu. W całych 253,44 hl brzeczki jest w 20°C 3015,94 kg ekstraktu. Uzyskano więc 3015,94 kg ekstraktu.

Wzór na uzyskaną ilość ekstraktu w warzelni brzmi:

Ilość ekstraktu [kg] =

$$\textit{zawartość ekstraktu}\ \left[\frac{kg}{dt}\right] \cdot \rho \cdot 0{,}96 \cdot \textit{ilość wybita [hl]}$$

Ze względu na to, że współczynnik korekcyjny 0,96 jest stały, wciągnięto go w tabelę wg Plato i do ***współczynnika wydajności*** wciągnięto razem następujące wartości

$$\textit{zawartość ekstraktu}\ \left[\frac{kg}{dt}\right] \cdot \rho \cdot 0{,}96$$

Wystarczy więc np. tylko przy zawartości ekstraktu [kg/dt] wyszukać wartość w tabeli i znaleźć w ostatniej kolumnie ze „współczynnikiem wydajności" 11,42.

W naszym przykładzie jest więc:

gorąca wybita brzeczka · współczynnik wydajności = masa ekstraktu [kg]

264 · 11,42 = 3014,88 kg uzyskanego ekstraktu.

Ustalenie ilości wytworzonego ekstraktu jest ważne jako wartość wyjściowa do obliczenia zaniku ekstraktu w dalszym przerobie.

3.5.1.5 Ustalenie wydajności warzelni (W_w)

Dla ustalenia wydajności warzelni zostaje porównana wyprodukowana ilość ekstraktu z użytą ilością zasypu, przy czym zakłada się, że

masa zasypu [kg] = 100%
masa ekstraktu [kg] ≙ x% = wydajność [%].

Wydajność warzelni W_w oblicza się następująco

$$W_w = \frac{\textit{masa ekstraktu}[kg] \cdot 100\%}{\textit{zasyp}[kg]}$$

Dla uproszczenia 100 skraca się o dwa miejsca dziesiętne w zasypie i podaje go w decytonach. Obliczanie masy ekstraktu zostało podane, tak więc dla wyliczenia wydajności warzelni otrzymuje się następujący wzór:

$$W_w = \frac{\textit{zawartość ekstraktu}\left[\frac{kg}{dt}\right] \cdot \rho \cdot 0{,}96 \cdot \textit{ilość wybita}[hl]}{\textit{zasyp}[dt]}$$

lub skrócony

$$W_w = \frac{\textit{współczynnik wydajności}\left[\frac{kg}{dt}\right] \cdot \textit{ilość wybita}[hl]}{\textit{zasyp}[dt]}$$

W naszym przykładzie dla 3015 kg ekstraktu użyto 40 dt zasypu. W_w w tym przypadku wyniosła

$$W_w = \frac{3015\,kg \cdot 100\%}{4000[kg]} = 75{,}37\% = 75{,}4\%$$

3.5.2 Czynniki mające wpływ na wydajność warzelni

Wydajność warzelni jest zależna od:

surowców,
urządzenia warzelni,
procesu zacierania,
przeprowadzenia procesu filtracji zacieru,
sposobu pracy.

Wydajność kształtuje się pomiędzy 74 i 79%. Powinna być możliwie wysoka i nie przekraczać 1% poniżej wydajności laboratoryjnej mąki powietrznosuchego słodu.

Surowce

Słody wykazują różne wydajności i dlatego zwraca się uwagę na dużą zawartość ekstraktu w słodzie. Źle rozluźnione słody dają niższe wydajności niż dobrze rozluźnione słody. Wilgotność słodu ma wpływ na wydajność, gdyż zasyp zawsze jest podawany jako powietrznosuchy i ze wzrastającą wilgotnością obniża się wydajność. Wody węglanowe obniżają wydajność, wody siarczanowe i bardzo miękkie poprawiają dzięki obniżaniu wartości pH co wpływa na pracę enzymów i tym samym wydajność.

Urządzenie warzelni

Nowoczesne warzelnie są przygotowane na osiąganie wysokich wydajności przy dobrej jakości brzeczek i są wyposażone w szereg dodatkowych urządzeń, przede wszystkim do możliwie całkowitego wyługowania wysłodzin. Dlatego dają lepsze w wydajności niż stare zwykłe warzelnie.

Jakość warzelni jest również mierzona różnicą pomiędzy osiąganą wydajnością a wydajnością laboratoryjną. W nowoczesnych warzelniach różnica ta jest bardzo mała.

Proces zacierania

Dłuższy i intensywniejszy proces zacierania daje wyższą wydajność. Dłuższe gotowanie gęstego zacieru wytwarza więcej ekstraktu. Wstępne zacieranie i gotowanie zacieru pod ciśnieniem podnosi wydajność, jednak kosztem jakości. Ważny jest stosunek głównego nalewu do wtórnego nalewu, gdyż przy dużym nalewie głównym nie można prawidłowo wymyć ekstraktu, przez co obniża się wydajność.

Przeprowadzenie procesu filtracji

Nierównomierne wysładzanie i nierówny spływ brzeczki powodują straty w wydajności.

Więcej małych nalewów wtórnych daje wyższą wydajność niż ciągłe wysładzanie. Prowadzenie procesu filtracji odzwierciedla się w ilości wymywalnego ekstraktu zatrzymanego przez wysłodziny (p. rozdział 3.3.6.2). Użycie cienkuszu w następnej warce zamiast wody nalewowej poprawia nieco wydajność, ale nie poprawia jakości.

Sposób pracy

Cała praca warzelni opiera się na wspieraniu pracy enzymów, lecz optymalna praca enzymów możliwa jest tylko wtedy, kiedy będą przestrzegane zawsze dokładnie wymagane temperatury i czasy. Właśnie tego wymaga się od warzelanego: dokładności i niezawodności przez cały czas i wyklucza się powierzchowność i zawodność. W przeciwnym razie szkoda może być znaczna!

Aby tego uniknąć, w nowoczesnych warzelniach procesy zacierania i filtracji zacieru są sterowane komputerowo i przebiegają w całkowicie zautomatyzowany sposób. Rola warzelanego sprowadza się do wzrokowej kontroli i ingerencji w każdej chwili, jeśli jest to konieczne. W taki sposób zostaje wyłączona ludzka zawodność i procesy można prowadzić optymalnie (p. rozdz. 3.10).

3.5.3 Obliczenie wydajności warzelni

Do warki pilznera użyto na zasyp 4600 kg pilzneńskiego słodu i wybito 331 hl brzeczki z 10,7% ekstraktu. Jaka jest wydajność warzelni?

$$W_w = \frac{\textit{zawartość ekstraktu} \cdot \rho \cdot 0{,}96 \cdot \textit{ilość wybita}[hl]}{\textit{zasyp}[dt]}$$

$$W_w = \frac{11{,}14 \cdot 0{,}96 \cdot 331}{46} = \frac{3540}{46}\,\% =$$

$W_w = 76{,}95\%$

Wydajność warzelni wynosi 76,95%

Jeżeli policzymy ze współczynnikiem wydajności, rachunek zmieni się następująco:

$$W_w = \frac{10{,}70 \cdot 331}{46} = \frac{3541{,}7}{46} = 76{,}99\%$$

Wynik różni się więc o 4 setne. Różnica jest mała i dla wstępnego obliczenia bez znaczenia. Znaczenie ma jednak porównanie z wydajnością laboratoryjną (mąka powietrznosucha; p. rozdz. 2.8.3.2). To porównanie ma oczywiście sens, jeżeli jest przeprowadzone z tym samym słodem. Do tego potrzebne jest pobieranie średnich prób słodu przez cały okres porównawczy i wykonanie z tego analizy laboratoryjnej.

3.6 Urządzenie warzelni

3.6.7 Liczba i ustawienie naczyń

W warzelni są umieszczone wszystkie potrzebne naczynia do wytwarzania brzeczki. Małe warzelnie składają się tylko z dwóch naczyń:

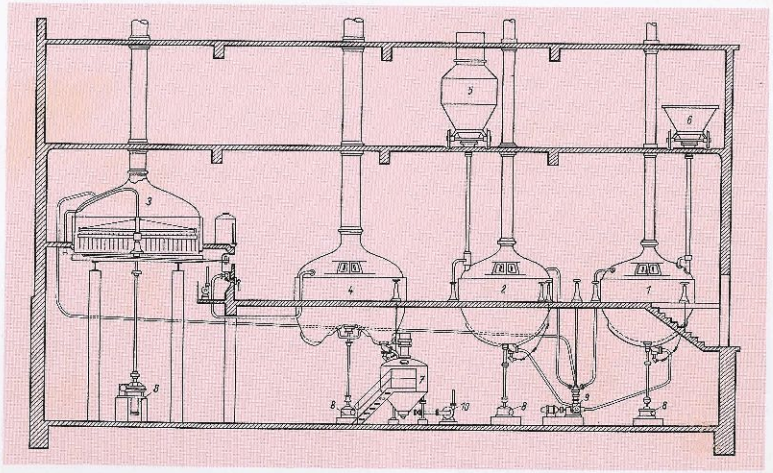
- z jednej kadzi, która jest jednocześnie kadzią zacierną i filtracyjną, i
- jednego kotła, który spełnia rolę kotła zaciernego i kotła warzelnego.

W takiej prostej dwunaczyniowej warzelni można uwarzyć 1 do 2 warek na dobę. Takie dwunaczyniowe warzelnie znajdują się często w małych browarach. W zależności od liczby dni, w których gotuje się warki, można w nich wyprodukować do 600 warek w roku.

Klasyczna czteronaczyniowa warzelnia składa się z:

- ***jednej kadzi zaciernej lub kadziokotła zaciernego,***
- ***jednego kotła zaciernego,***
- ***jednej kadzi filtracyjnej lub filtra zacierowego do filtracji zacieru i***
- ***jednego kotła warzelnego do gotowania brzeczki*** (rys. 3.89a).

Obecnie wskutek wzrostu dobowej liczby warek do warzelni należą oprócz tego:



Rys. 3.89a. Czteronaczyniowa warzelnia (klasycznego rodzaju budowy)
(1) kadziokocioł zaciemy I, (2) kadziokocioł zaciemy II, (3) kadź filtracyjna, (4) kocioł warzelny, (5+6) zbiornik do śruty słodowej (jezdny), (7) odchmielacz, (8) napęd mieszadła, (9) pompa do zacieru, (10) pompa do wybicia

- ***naczynie pośredniczące*** (z podgrzewaniem) dla przedniej brzeczki lub całej warki, dopóki jest jeszcze zajęty kocioł, i
- ***whirlpool***, o ile nie ma żadnego whirlpoolokotła.

Naczynia w małych i starszych browarach są tak ustawione, że przynajmniej kadź filtracyjna stoi wyżej i blisko kotła warzelnego, gdyż brzeczka spływa wówczas przez kolektor własnym spadem do kotła warzelnego. Obecnie wszystkie naczynia ustawia się na tej samej płaszczyźnie.

Do urządzeń warzelni należy także śrutownik.

3.6.2 Wielkość naczyń

Wielkość naczyń warzelni jest różna, ze względu na wykonywanie różnych zadań. Na 1 dt zasypu liczy się następującą pojemność naczynia:	
kadź zacierna (kadziokocioł zacierny)	*6 hl*
kocioł zacierny	*4 - 5 hl*
kadź filtracyjna	*6 hl*
kocioł warzelny	*8 - 9 hl*
naczynie pośredniczące	*7 hl.*

Wielkość naczyń warzelnych kieruje się wielkością wybicia. Najmniejsze kadzie filtracyjne mają średnicę 2 m, największe – ponad 12 m. Często browary, także duże, wolą warzelnie z dużą liczbą naczyń.

3.6.3 Materiał naczyń

Klasycznym materiałem naczyń warzelnych jest miedź. Od stuleci miedziana warzelnia jest dumą piwowara. Położona najlepiej przy głównej ulicy warzelnia taka prezentuje się znakomicie przez duże szyby wystawowe przechodzącemu mieszczaninowi i przez to robi pełną wyrazu reklamę dla browaru.

Jednak miedź z czasem staje się czarna i po latach pokrywa się śniedzią, co tylko na dachach robi dobre wrażenie. Aby utrzymać piękny miedzianoczerwony połysk naczyń, należy je stale czyścić. Nawet lakierowanie na dłużej nic nie daje, bo powłoki stają się porowate i korozja przebiega pod nim i dalej. Stałe czyszczenie jest, niestety, bardzo pracochłonne i bez ustawiania rusztowania niemożliwe.

Około 1965 r. zostały wykonane pierwsze kotły ze stali chromoniklowej. Ich wytwarzanie jest znacznie tańsze niż wytwarzanie klepanych naczyń miedzianych, ponieważ są one wycinane z płaskich blach i mechanicznie doprowadzane do wymaganych kształtów. Finansowe powody doprowadziły do tego, że obecnie prawie wszystkie naczynia warzelne są wytwarzane ze stali chromoniklowej. Do tego mają tę zaletę, że można je z zewnątrz i od wewnątrz dobrze umyć metodą CIP oraz utrzymać ich estetyczny wygląd.

Problem powstaje, kiedy stare miedziane naczynie musi zostać wymienione wskutek zużycia. W tym przypadku często usiłuje się nowe naczynie ze stali szlachetnej nakryć starą miedzianą kopułą w dobrym stanie, aby utrzymać jednakowy ogólny wygląd warzelni.

Niewątpliwie nowoczesne warzelnie ze stali chromoniklowej robią tak samo dobre wrażenie jak warzelnie z miedzi, zwłaszcza jeżeli udaje się przez odpowiedni wystrój i kolorowe ukształtowanie pomieszczenia, przez położenie wyszukanej posadzki oraz wykonanie odpowiedniego oświetlenia doprowadzić do pełnego efektu.

3.6.4 Zdolność produkcyjna warzelni

Warzelnia jest sercem browaru; od niej w decydującej mierze zależy produkcja następnych oddziałów. Aby w pełni wykorzystać czas pracy i energię oraz pracować dochodowo, każdy browar dba, żeby możliwie w pełni obciążać warzelnię.

W nowoczesnej warzelni z kadzią filtracyjną można w ciągu doby wybić do 12 warek. Liczbę tę na ogół mnoży się przez 5 dni pracy w tygodniu i 52 tygodnie w roku z odjęciem dni świątecznych. Każda przerwa w gotowaniu dla przykładu, aby wykonać naprawę – jest zaraz zauważalna jako zmniejszenie produkcji. Wybita w roku ilość brzeczki nie jest oczywiście ilością sprzedanego piwa, ponieważ występują jeszcze zaniki (p. rozdz. 5.5), które w każdym browarze kształtują się inaczej i wynoszą

ok. 8 do 10%. Zdolność produkcyjna warzelni jest podawana jako ilość zasypu w tonach słodu na warkę. Zadanie: jak można na podstawie zasypu dojść do ilości wybicia ?

Reguła przybliżona:
Na 1 hl piwa potrzeba 17 kg słodu

Jeżeli 17 kg słodu potrzeba na 1 hl piwa, wtedy z 1.000 kg słodu uzyska się

1.000:17=58,8 hl piwa.

Przy przyjętym zaniku 9% te 58,8 hl piwa otrzymano z 58,8:0,91 = 64,6 hl brzeczki. To znaczy:

w 1 t warzelni wybijamy ok. 64,6 hl,

w 10 t warzelni wybijamy ok. 646 hl itd.

Zadanie:
Ile hl piwa można wyprodukować w 10 t warzelni w roku?

Wychodzimy z wybicia 640 hl, 8 warek na dobę, 4,5 dni pracy w tygodniu i 52 tygodnie w roku, z odjęciem świąt.

Produkcja brzeczki			
na warkę		=	640 hl
na dobę	640 hl×8	=	5.120 hl
w tygodniu	5 120 hl×4,5	=	23.040 hl
w roku	23.040 hl×52	=	1.198.080 hl
odjęcie 10 świąt	5.120 hl×10	=	- 51.200 hl
produkcja brzeczki w roku		=	1.146.880 hl
z tego 91% (9% zaniku)		=	1.043.660 hl

Według tego można z warzelnią 10 t wyprodukować 1,04 milionów hl piwa w roku, lecz w tym obliczeniu wszystko jest skalkulowane w oparciu o najskrajniejsze możliwości.
Jako przybliżoną liczbę można przyjąć, że przy 5-dniowym gotowaniu w tygodniu i 8 warkach na dobę można wyprodukować w roku
na 1 t zasypu = 100 000 hl piwa.

3.6.5 Warzelnie szczególnego rodzaju

Pomiędzy mniejszymi warzelniami od kilku lat szczególną rolę zajmują dwie grupy; są to

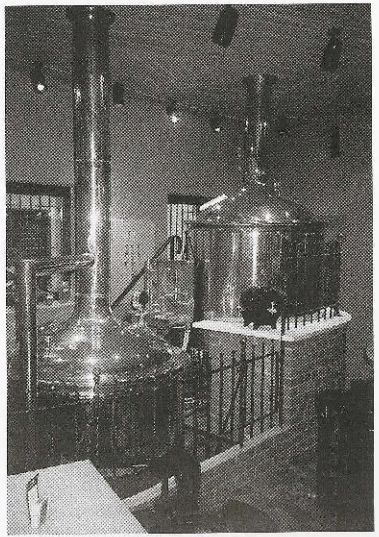
- warzelnie browarów restauracyjnych (minibrowarów) i
- warzelnie szkoleniowe i doświadczalne.

3.6.5.1 Warzelnie browarów restauracyjnych (minibrowarów)

Od początków lat 80., w większym stopniu jednak dopiero od ok. 1986 r., są budowane i z powodzeniem prowadzone browary restauracyjne wszędzie w Niemczech, szczególnie jednak w większych i dużych miastach. Obecnie jest w Niemczech ponad 230 takich browarów i ich liczba stale wzrasta.

Browary restauracyjne z reguły mają ilość wybicia 10 do 15 hl i produkują przy 3 do 4 warkach w tygodniu 1000 do 3000 hl piwa rocznie, które jest sprzedawane tylko na miejscu w restauracji.

Sercem browaru restauracyjnego jest dwunaczyniowa warzelnia, która jest atrakcyjnie ustawiona w pomieszczeniu dla gości (rys. 3.89b) i pokazuje im, jak warzy się piwo, wywierając przy tym duże wrażenie.



Rys. 3.89b
(Foto Beraplan, Härter GmbH, Chieming)

Pomieszczenie dla gości staje się przez to szczególnym przeżyciem, kiedy w określone dni można przyglądać się, jak piwowar warzy piwo. Jeśli piwo jest świeże i pije się je z przyjemnością, a dobry gospodarz również zaoferuje odpowiednie potrawy do piwa, wtedy interes kręci się doskonale. Brakuje tylko jeszcze piwnego ogródka, który cieszy się dzisiaj dużym powodzeniem.

Browary restauracyjne pracują o wiele ekonomiczniej niż duże browary, ponieważ nie muszą prowadzić kosztownej reklamy, nie mają żadnych problemów logistycznych i są niezależne od hurtu – ogromna zaleta, którą dzielą się z wieloma małymi browarami. Od strony kosztów są prawie nie do pobicia, ponieważ odpada także kosztowny obciąg do butelek i wszelkie zabiegi utrwalające (p. rozdz. 8).

3.6.5.2 Warzelnia integralna

Szczególnie oryginalną formą dwunaczyniowej warzelni, która znajduje zastosowanie zwłaszcza w browarach restauracyjnych, jest warzelnia integralna (76) (rys. 3.89c).

W tej warzelni kadź zacierna i filtracyjna (2) jest zbudowana pierścieniowo wokół kotła zaciernego i warzelnego (1). Przez wyrafinowane rozmieszczenie mechaniki kadź jest uszczelniona od kotła, a cztery ramiona spulchniacza (3) z przestawnymi nożami są dowolnie podnoszone i opuszczane.

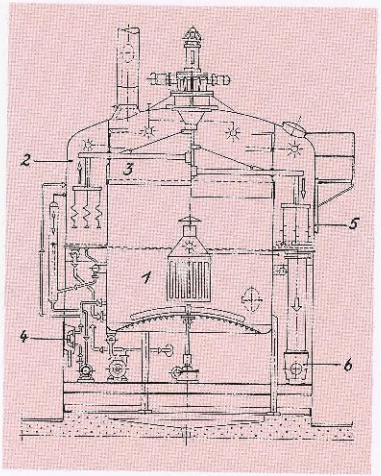
Jako korzyści są wymieniane:

- ok. 40% mniejsze zapotrzebowanie miejsca, dostarczenie i ustawienie pod klucz, 10% zaoszczędzonej energii dzięki zwartej zabudowie,
- wyższe wydajności itd.

Problemy stwarza jedynie mycie pierścieniowo leżącej wokół kotła kadzi filtracyjnej (2).

3.6.5.3 Warzelnie doświadczalne i szkoleniowe

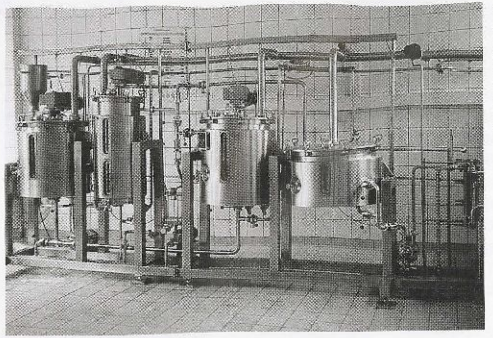
Kształcenie piwowarów i słodowników w bardzo różnych browarach pod względem wielkości i rodzaju urządzeń powoduje, że wielu z nich podczas praktycznego szkolenia nie może w wystarczającym stopniu zapoznać się z przebiegiem procesów w warzelni. Dlatego jest konieczne, żeby te procesy były przeprowadzane na zajęciach praktycznych w szkole zawodowej. Obecnie wszystkie szkoły zawodowe o kierunku piwowarskim w Niemczech posiadają szkoleniowe warzelnie oraz urządzenia do fermentacji/dojrzewania, filtracji i rozlewu wielkości od 50 do 100 l (rys 3.89d). Są one także normalnym wyposażeniem w instytutach badawczych i wyższych uczelniach z kierunkiem technologii piwowarskiej.



Rys. 3.89c. Warzelnia integralna
(1) kocioł zaciemy i warzelny, (2) kadź zacierna i filtracyjna, (3) spulchniacz, przestawiana wysokość, (4) filtracja zacieru i stacja pomiaru ekstraktu w brzeczce, 5) szkło wzierne, (6) transport wysłodzin

3.7 Wybicie

Przy wybiciu brzeczka zostaje przepompowana do kadzi z zawirowaniem Whirlpool. Proces ten powinien być przeprowadzony możliwie szybko, żeby kocioł warzelny został zwolniony dla następnej warki, ale musi być przeprowadzony również w sposób chroniący przed powstawaniem sił ścinających, które utrudnia-



Rys. 3.89d
Warzelnia szkoleniowa w Centrum Szkolenia Zawodowego Żywności w Dreźnie
(Foto BAM Apparate- und Maschinenbau, Freising)

łyby oddzielenie osadów z brzeczki (p. rozdz. 3.2 1.4).

Należy zwracać uwagę na różnorodne zmiany strukturalne w β-glukanach

- przy wolnym schładzaniu z jednej strony,
- przy szybkim schładzaniu i działaniu sił ścinających z drugiej strony,

gdyż w przeciwnym razie mogą wystąpić problemy przy filtracji.

Jeżeli używa się nie zmielonego chmielu naturalnego, należy przed whirlpoolem usunąć chmieliny, bo są bez wartości dla dalszego przerobu. Chmieliny pod koniec wybicia zawierają ok. 4,9 l brzeczki na 1 kg dawki chmielu; strata ta zmniejsza się,

do 4,4 l, kiedy pozwoli się je po prostu odsączyć,
do 4,3 l, kiedy się je dobrze spłucze wodą,
do 4,0 l, kiedy się je odprasuje,
do 2,0 l, kiedy się je spłucze i odprasuje.

Usuwanie chmielin dawniej odbywało się przez ***odchmielacz***. Odchmielacz jest naczyniem z dnem sitowym, które zatrzymuje chmieliny podczas przepływu brzeczki (specjalne wykonanie odchmielacza określa się jako montejus chmielowy).

Po spłynięciu brzeczki chmieliny były jeszcze ługowane wodą i proces ten uintensywniano przez mieszanie chmielin z wodą. Nawet przy najlepszej metodzie ługowania pozostawały resztki ekstraktu w chmielinach. Nie ma żadnego sensownego zagospodarowania chmielin, toteż są one dodawane w następnej warce do kadzi filtracyjnej, gdzie zatrzymują je wysłodziny.

3.8 Usuwanie gorącego osadu

Przełom z wybitej brzeczki nazywany jest gorącym osadem, jak również grubym osadem, lub gotowanym osadem. Składa się on z dużych cząsteczek wielkości 30 do 80 µm, które są nieco cięższe niż brzeczka i na ogół dobrze i silnie się osadzają, jeśli pozostawia się im odpowiednio dużo czasu.

Gorący osad powinien być usunięty, gdyż dla dalszego wytwarzania piwa nie tylko jest bezwartościowy, lecz także szkodliwy dla jakości piwa, bo

- utrudnia klarowanie brzeczki,
- zlepia drożdże,
- podwyższa ilość już i tak bogatego osadu osadzającego się i tym samym zanik,
- zawiera także kwasy tłuszczowe słodu,
- utrudnia filtrację piwa, jeżeli nie zostaje odpowiednio wcześnie usunięty.

Ilość gorącego osadu wynosi po wybiciu ok. 600 do 800 mg/l i po jego usunięciu powinna wynosić poniżej 100 mg/l. Celem jest jego całkowite usunięcie.

Wiele browarów jednak nie osiąga tej wartości. Jako przyczyny niedostatecznego usunięcia gorącego osadu obok wadliwych konstrukcji kadzi filtracyjnej, whirlpoola, czy wirówki są:

- mętna filtracja z powodu
  - niekorzystnego składu śruty
  - złej jakości słodu
  - błędnej pracy przy filtracji
- dawka chmielu bez lub z małą ilością garbników.

W takich przypadkach udział osadu w schłodzonej brzeczce może wzrosnąć do ponad 1.000 mg/l i prowadzi wtedy do podanych wyżej szkód.

Usuwanie gorącego osadu dawniej odbywało się przy pomocy ***tacy*** lub ***kadzi osadowej***, obecnie jednak przeważnie przy pomocy ***whirlpoola***, niekiedy także ***wirówki*** lub ***filtracji***.

3.8.1 Taca

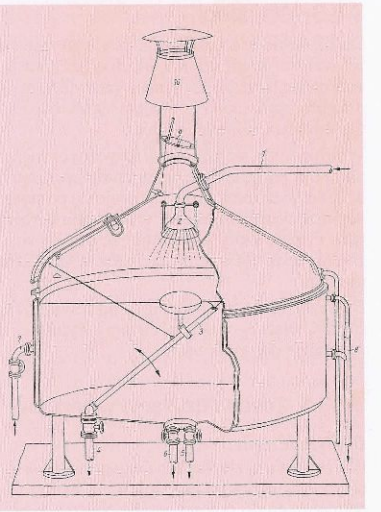
Taca jest „klasycznym" urządzeniem do usuwania osadu. Jest zupełnie płaskim, otwartym naczyniem, do którego zostaje wybita brzeczka na 15 do 25 cm wysokości. W czasie 0,5 do 2 h, podczas którego brzeczka pozostaje na tacy, osad osadza się, i to tym lepiej, im bardziej płaska jest taca. Dawniej pozostawiano warkę (na tacy) przez noc. Końcowa spływająca brzeczka nazywana jest mętną brzeczką. Mętna brzeczka jest silnie zanieczyszczona i też zakażona. Poddaje się ją obróbce w specjalnym urządzeniu.

Obecnie już prawie nie używa się tacy ze względu na bardzo częste występowanie zakażenia brzeczki i bardzo duży nakład pracy.

3.8.2 Kadź osadowa

Tacę o dużej powierzchni często zastępowano kadzią osadową, która zajmowała mało miejsca. Kadź osadowa jest naczyniem o płaskim dnie, wyposażonym w wężownicę lub płaszcz chłodniczy (rys. 3.90). Kopuła powinna zmniejszać niebezpieczeństwo zakażenia.

Brzeczkę wybija się do kadzi osadowej na wysokość 1 do 2 m. Przez rury lub płaszcz chłodniczy przepuszcza się wodę produkcyjną.



Rys. 3.90. Kadź osadowa
(1) przewód wybicia, (2) rozdzielacz, (3) odchylana rura, (4) odpływ brzeczki, (5) spust mętnej brzeczki, (6) spust wody płuczącej, (7) dopływ wody chłodzącej, (8) wypływ ciepłej wody, (9) klapa nastawna, (10) komin oparów

Brzeczka schładza się nieco, natomiast woda podgrzewa się i jako ciepła woda może być wykorzystana, np. do mycia.

W kadzi osadowej gorący osad osadza się gorzej z powodu wysokiej warstwy brzeczki. Ze względu na to, że górne warstwy brzeczki są mniej zanieczyszczone cząstkami osadu niż dolne, brzeczkę z kadzi osadowej ściąga się przez odchylaną rurę, która dzięki pływakowi ściąga brzeczkę zawsze z samej góry. Mętna brzeczka pozostaje i podobnie jak na tacy jest poddana obróbce w urządzeniu do mętnej brzeczki. Kadź osadową można zastąpić kadzią do wybicia. Jest to naczynie buforowe bez urządzenia chłodniczego, do którego wybita warka zostaje najpierw odebrana. Kadzie osadowe i kadzie do wybicia uważa się za przestarzałe i nie są już produkowane.

3.8.3 Whirlpool

Od ok. 1960 r. do usuwania osadu stosuje się we wzrastającym stopniu whirlpool. Przedstawia on najbardziej elegancką metodę usuwania gorącego osadu i jest najtańszą alternatywą dla wszystkich innych metod.

Whirlpool jest stojącym cylindrycznym naczyniem bez jakichkolwiek elementów wewnątrz, do którego brzeczkę wpompowuje się po stycznej, przez co wywołuje się w naczyniu wirowy ruch cieczy, który powoduje, że gorący osad zbiera się na dnie w postaci stożka w środku naczynia.

Brzeczka może być ściągnięta po zewnętrznej stronie. Dlaczego tak jest, chcemy wyjaśnić na podstawie doświadczenia.

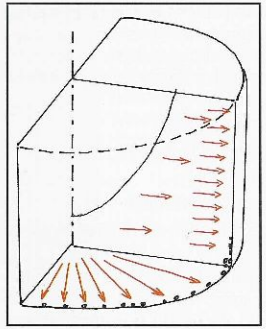
3.8.3.1 Zasada działania whirlpoola

Doświadczenie:

Bierzemy dużą zlewkę lub duży garnek o średnicy co najmniej 40 cm z płaskim dnem i napełniamy go do połowy wodą. Następnie bierzemy pełną łyżkę piasku i pełną łyżkę lżejszej ziarnistej materii, która jednak musi być cięższa niż woda (np. trochę kredy w małych kawałkach) i dodajemy do zlewki lub garnka. Cząstki opadają w dół i pozostają tam, gdzie opadły.

Teraz zanurzoną ręką wprawiamy płyn w ruch obrotowy, i to możliwie szybko. Przy tym zauważamy, że ziarnka piasku i kawałki kredy przez wytworzone przyspieszenie odśrodkowe są wypychane na zewnątrz i zbierają się na zewnętrznej ścianie, podczas gdy powierzchnia wody przyjmuje postać paraboloidy obrotowej (rys. 3.91). Nie jest to oczywiście dla nas nic nowego.

Teraz wyjmujemy rękę ze zlewki lub garnka i obserwujemy, co tam się dzieje. Widzimy, że cząstki piasku i kredy bardzo szybko się poruszają spiralnie do środka i tam zbierają się w postaci luźnej kupki, która na początku jeszcze się razem kręci. Obserwujemy u góry tworzenie się wirów, przy czym zewnętrzne cząstki kupki ciągle zmieniają swoje położenie. Na zewnętrznej ścianie obserwujemy, że tam prędkość zostaje szybko zahamowana. To hamowanie przez tarcie na ścianach i dnie jest tak duże, że rotacja w zlewce lub w garnku kończy



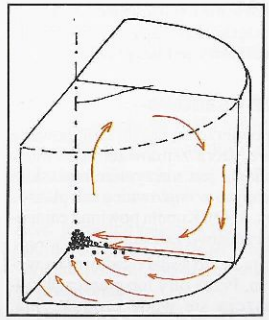
Rys. 3.91

Rys 3.91

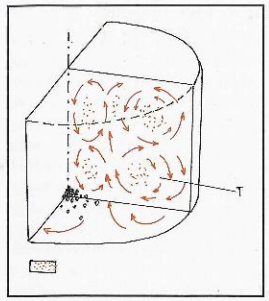
Przepływy i siły w whirlpoolu

(1) siła odśrodkowa wypycha na zewnątrz, (2) tarcie ścian i dna pcha cząstki do środka, (3) wytwarzanie wirów przeszkadza dobremu osadzaniu się w centrum, (4) rozcinanie tworzenia się wirów, (5) pierścienie Denka umożliwiają dobre osadzanie

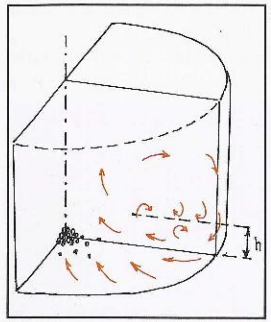
się w ciągu minuty. Dzięki temu powstaje wewnątrz naczynia silny ***pierwotny przepływ***, który powoduje, że ziarenka piasku i kredy zostają szybko ściągnięte do środka zlewki lub garnka. Przyczyna tkwi w tym, że w tzw. granicznej warstwie dna zostaje zachwiana równowaga pomiędzy ciśnieniem a siłami odśrodkowymi. W tej granicznej warstwie dna prędkość płynu zmniejsza się przez tarcie po dnie szczególnie silnie. Ten osobliwy efekt już Albert Einstein określił jako „efekt filiżanki herbaty",



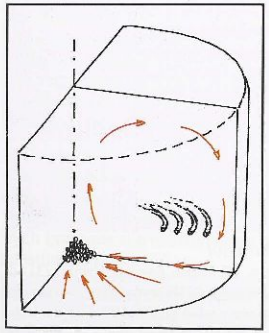
Rys 3.92



Rys. 3.93



Rys. 3.94

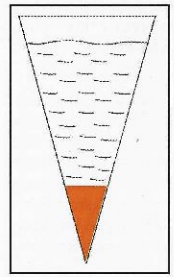


Rys. 3.95

gdyż można go także obserwować bardzo dobrze w filiżance herbaty, jeśli tylko pływają w niej listki herbaty.

Obok głównego przepływu występują jednak w whirlpoolu podczas zmniejszania się rotacji przeszkadzające ***wtórne przepływy*** w postaci ***systemów wirów***, które mogą silnie utrudniać efekt whirlpoola i tym samym wytrącenie osadów (rys. 3.93-3.95). Szczególnie ujemnie działa przy tym leżący na dnie ***bryłowy wir*** (T), który wprawia w ruch także inne chwilowo występujące wiry i uniemożliwia szybkie osiadanie.

Podstawowym warunkiem dla sprawnego whirlpoola jest przede wszystkim nadająca się do niego brzeczka (171). Do kontroli proponuje się zakończony spiczasto (izolowany) szklany lejek Imhoffa napełnić brzeczką do wysokości ok. 380 mm i ze źródłem światła obserwować osadzanie się gorącego osadu (rys. 3.96). Dobrze nadająca się do whirlpoola brzeczka osadza się po 5 do 6 min całkowicie i brzeczka ponad osadem jest klarowna. Problematyczne brzeczki nawet po 10 min lub dłużej nie wykazują żadnego zadowalającego wyniku.



Rys. 3.96

Lej Imhoffa do kontroli osadzania się gorącego osadu

Możliwe przyczyny złego oddzielania się gorącego osadu w whirlpoolu (171):

- niedostateczna filtracja zacieru,
- za duże obciążenie brzeczki siłami ścinającymi w przewodach rurowych i zagięciach,
- wadliwy dobór pomp wirowych,
- za duża prędkość wlotu brzeczki do whirlpoola,
- za silne wtórne przepływy w whirlpoolu,
- za duża prędkość ściągania brzeczki,
- niekorzystny stosunek wysokości słupa brzeczki do średnicy whirlpoola.

Szczególnie ważne jest, ażeby

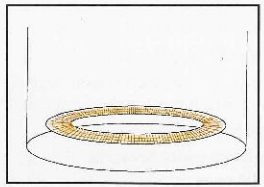
- prędkość dopływu nie była większa niż 3,5 m/s,
- brzeczka była wprowadzana w dużej masie,
- przy tym osad nie był rozbijany i
- nie było żadnych wbudowanych wewnątrz elementów utrudniających rotację.

Korzystne okazało się przeprowadzanie oddzielania gorącego osadu w tym samym naczyniu (whirlpoolokotle), ponieważ wtedy do rotacji musi być wprawiana w ruch tylko część brzeczki i dlatego tylko część kłaczków osadu jest homogenizowana. Prócz tego zaoszczędza się na czasie wybijania i wyklucza natlenianie.

W niektórych whirlpoolach występują we wzmocnionym stopniu niepożądane wtórne przepływy lub zawirowania.

Denk (20) próbował w swoich badaniach zapobiec przeszkadzającemu wpływowi wirowych przepływów, bez szkody dla efektu whirlpoola. Stało się to możliwe przez zainstalowanie krat lub pierścieni w określonej wysokości nad dnem whirlpoola (rys. 3.94).

Przez zainstalowanie krat lub pierścieni bryłowy wir zostaje „rozcięty" i staje się nieskuteczny. Wraz z bryłowym wirem zostaje zniszczony w całym whirlpoolu główny napęd tworzenia się wirów i tym samym odbudowany przepływ denny skierowany jest do środka bez zakłóceń (rys. 3.95). Te pierścienie lub kraty są ustawione w whirlpool'u koncentrycznie (rys. 3.96a).



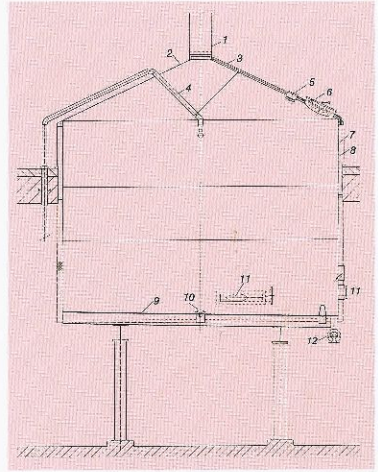
Rys. 3.96a
Kraty w whirlpoolu (wg Denka)

3.8.3.2 Budowa whirlpoola

Whirlpool jest zamkniętym naczyniem cylindrycznym z płaskim dnem i 1-proc. spadkiem do spływu (rys. 3.97). Stosunek średnicy do wysokości zawartości brzeczki może wynosić od 1:1 do 5:1, jednak obecnie wybiera się stosunek 3:1. Whirlpool przeciw schładzaniu jest na zewnątrz całkowicie zaizolowany. Dna whirlpoola z tzw. kubkiem do osadów – jest to wgłębienie w środku kadzi, w którym może się zbierać osad – nie dają żadnych korzyści. Do tego kubek do osadów pogarsza efekt whirlpoola tak, że znacznie narusza graniczną warstwę dna, a także uniemożliwia osuszanie stożka osadów.

Dopływ brzeczki odbywa się stycznie, często przez dwa otwory:

- otwór wlotowy w dnie, aby uniknąć natlenienia, i



Rys. 3.97. Whirlpool
(1) wyciąg oparów, (2) kopuła wyciągu oparów, (3) odpływ wody kondensacyjnej, (4) mycie CIP, (5) oświetlenie, (6) okno wzierne z włazem, (7) płaszcz, (8) izolacja, (9) dno whirlpoola ze spadkiem 1%, (10) dysza denna CIP, (11) dopływ styczny, (12) wypływ

- otwór wlotowy w dolnej jednej trzeciej dla wywołania rotacji. Otwór wylotowy jest zawsze z boku w najniższym punkcie whirlpoola.

Szczególną postacią whirlpoola jest ***whirlpoolokocioł***. W tym przypadku brzeczka pozostaje w kotle, który jednocześnie przejmuje czynność whirlpoola. Do tego oczywiście nadają się tylko kotły z płaskim dnem do oddzielenia osadu i bez elementów zabudowy. W tym przypadku oferuje się zewnętrzne podgrzewanie brzeczki. Także istniejące kotły z wypukłym dnem do dołu można stosować jako whirlpoolokotły, jeżeli warunki przepływów umożliwiają dobre wydzielenie osadu.

Usuwanie osadu z whirlpoola odbywa się przez

- centralne rotacyjne urządzenie natryskowe lub
- dysze zainstalowane na stałe.

3.8.3.3 Przeprowadzenie klarowania brzeczki w whirlpoolu

Szczególnie ważne jest wpompowanie brzeczki do whirlpoola.

Przede wszystkim należy uważać, żeby pompa do brzeczki nie miała za dużych obrotów i pracowała bez kawitacji, a tym samym osad nie był rozbijany występującymi siłami ścinającymi. Natomiast

prędkość wejścia brzeczki nie powinna przekraczać wartości 3,5 m/s; często wystarczają znacznie mniejsze prędkości do tego, żeby brzeczkę doprowadzić do rotacji i osiągnąć efekt whirlpoola. Ważny jest jednak możliwie duży przepływ objętościowy.

Czas przerwy w whirlpoolu wynosi 20 do 30 min; zainstalowanie krat lub pierścieni skraca czas postoju o 30 do 60% przy klarownych brzeczkach, jednak nie poniżej 20 min. Mętnych brzeczek nie można nawet w whirlpoolu zasadniczo poprawić.

Termiczne obciążenie brzeczki należy utrzymywać również po gotowaniu tak nisko, jak to tylko możliwe i dlatego przerwa w whirlpoolu powinna trwać możliwie krótko. Krótsza przerwa daje

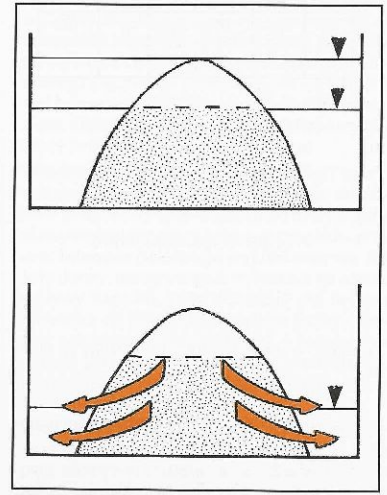
- niższą barwę
- lepszą stabilność smakową w piwie (115).

Zwykle brzeczkę zaczyna się ściągać z górnej części, podczas gdy w niższych warstwach trwa jeszcze osiadanie. Brzeczkę od dołu z bocznej strony ściąga się później, kiedy zakończy się osiadanie.

Kiedy stożek osadu wynurzy się z brzeczki, często zaczyna się rozpływać. Dzieje się tak (20), gdyż skoro tylko stożek osadu wynurzy się, ustaje siła wyporu, która go stabilizuje i przy obniżaniu się poziomu brzeczki znajdująca się w stożku brzeczka (rys. 3.99) albo

- spływa z taką samą szybkością (1); w tym przypadku stożek pozostaje utrzymany, albo
- spływa wolniej (2)
- i wtedy brzeczka wypełnia wystającą część stożka jak gąbkę, rozpycha go, przez co stożek bardziej lub mniej się rozpływa.

Zaradzić temu można przez przydławienie pod koniec szybkości wypływu brzeczki.



Rys. 3.99
Spływ brzeczki ze stożka osadu (przedstawiono nadmiernie podwyższone)

3.8.4 Wirówki

3.8.4.5 Zasada wirowania

Wiemy już, że osad jest nieco cięższy niż brzeczka i dlatego osiada w naturalny sposób, jeżeli pozostawi mu się odpowiednią ilość czasu. Długi czas osiadania, związane z tym zapotrzebowanie dużej liczby naczyń do osadzania, jak kadzie osadowe, i wzrastające niebezpieczeństwo infekcji przy obniżającej się temperaturze wymagają innych rozwiązań.

Zamiast przyspieszenia opadania oferuje się zastosowanie wielokrotnie większego przyspieszenia odśrodkowego, a tym samym znaczne przyspieszenie oddzielania osadu.

Siłę odśrodkową skierowaną promieniowo na zewnątrz oblicza się ze wzoru:

$$F_o = m \cdot a_o = \frac{m \cdot v^2}{r} = m \cdot w^2 \cdot r$$

F	m	v	w	r	a_o
N	kg	$\frac{m}{s}$	$\frac{1}{s}$	m	$\frac{m}{s^2}$

przy czym

F_o siła odśrodkowa
m masa ciała
v prędkość torowa ciała
r promień toru kołowego
w kątowa prędkość ciała.

a_o Przyspieszenie odśrodkowe

$$a_o = \frac{v^2}{r} = w^2 \cdot r$$

Prędkość w punkcie toru v oblicza się ze wzoru

$$v = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n$$

przy czym n = O/s. Jeżeli chcemy wstawić obroty w min, wtedy

$$v = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n/60.$$

Według tego występująca siła odśrodkowa jest tym większa, im szybciej obraca się ciało, im jest cięższe i im dalej znajduje się od osi obrotu.

Jak duża jest naprawdę siła występująca w wirówce, obliczmy na przykładzie zadania:

Wirówka ma średnicę bębna 0,60 m i szybkość 6000 obr./min. Jak duże jest występujące przyspieszenie odśrodkowe?

Szukany:
1. prędkości obwodowej
2. przyspieszenia odśrodkowego

1. $v = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n$
$v = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}30\ m \cdot 6000\ O/min$
$v = 11{,}304\ m \cdot x/min$
$v = 188{,}4\ m \cdot s^{-1}$

2. $a_o = \frac{188{,}4\ m \cdot 188{,}4\ m}{1\ s \cdot 0{,}30\ m \cdot 1\ s}$
$a_o = 118.315{,}2\ m \cdot s^{-2}$

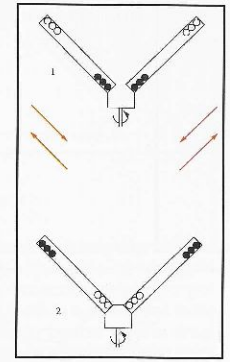
Przyspieszenie odśrodkowe wynosi 118315,2 m · s^{-2}.

Porównując tę wartość z przyspieszeniem ziemskim (opadania – 9,81 m · s^{-2}), stwierdza się, że występujące w wirówce przyspieszenie jest ponad 10000 razy większe od niego.

Tak więc siła działająca w takiej wirówce jest niewyobrażalnie duża. Lecz z tym prawem zetknęliśmy się już wszyscy w przyjemniejszej postaci – także bez wzorów – w młodych latach. Ostatecznie wesołe miasteczko ze swoimi wyrafinowanymi karuzelami z tego żyje i już za parę groszy możemy sprawdzić, jak reagują nasze organizmy, kiedy zamiast naturalnego przyciągania ziemskiego zostaje nam zaoferowana wielokrotnie większa siła odśrodkowa.

Bardzo wyraziście można to zobaczyć na zwykłej tarczy, na której można się ustawić, podczas gdy właściciel powoli wprawia ją w ruch obrotowy: stojący na zewnątrz zeskakują pierwsi, ponieważ nie mogą się utrzymać, następnie kolejno zeskakują wewnętrzne partie i pozostaje tylko jedna osoba, która stanęła dokładnie w środku – lecz tylko tak długo, jak długo może się utrzymać *dokładnie* w środku.

Ten różnicujący proces możemy także potwierdzić na następującym przykładzie: na pionowej osi obrotowej są przymocowane dwa, trzy lub więcej skośnych ramion szklanych napełnionych wodą (rys. 3.100). Do każdego ramienia wkłada się po kilka cięższych kul, np. z plastiku, oraz lżejszych, np. piłek tenisa stołowego, i ramiona zamykamy (1). Puszczamy tę małą wirówkę powoli w ruch i po przezwyciężeniu przyciągania ziemskiego występuje ruch kul w przeciwnych kierunkach (2): cięższe kule plastikowe zostają wypchnięte na zewnątrz, podczas gdy dla lekkich piłek pozostało miejsce tylko przy osi.



Rys. 3.100
Demonstracja siły odśrodkowej
(1) stan spoczynkowy
(2) wirowanie

Na takiej samej zasadzie jak w przytoczonych przykładach z życia pracują wirówki.

Bardzo wolne oddzielanie się osadu przy naturalnym osadzaniu jest zastąpione w wirówkach przez o wiele większą siłę odśrodkową skierowaną na zewnątrz, przez co oddzielenie to następuje z sekundową szybkością.

3.8.4.2 Rodzaje wirówek

Rozróżnia się między innymi

wirówki z bębnem komorowym i wirówki z bębnem talerzowym.

Wirówki z bębnem komorowym to urządzenia, które wykorzystują pole odśrodkowe wirujących bębnów. Brzeczka jest zmuszona do przepłynięcia licznych bębnów położonych jeden w drugim – cięższy osad pozostaje na ścianach bębnów i tym samym zostaje usunięty.

Bębny po każdej warce trzeba rozebrać i umyć, toteż już prawie nie używa się tych wirówek do klarowania brzeczki.

Wirówki z bębnem talerzowym są urządzeniami z bębnem, który posiada wkładki dla skrócenia drogi osadzania (talerze); są one wyposażone w urządzenie do samoczynnego usuwania osadu i stanowią obecną technikę.

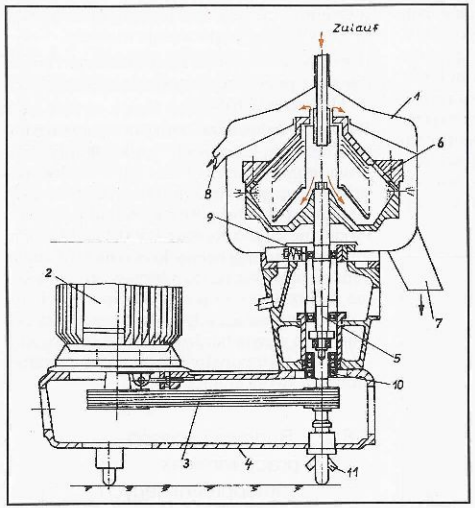
Produkuje się je o obrotach 2500 do 10000 obr./min przy średnicy bębna do 800 mm. Średnica bębna i możliwa liczba obrotów stoją do siebie w określonej proporcji i nie można ich dowolnie zwiększać, gdyż wzrastająca siła odśrodkowa stawia bardzo wysokie wymagania odnośnie wytrzymałości stali na rozrywanie, która ma swoją granicę.

3.8.4.3 Budowa i sposób pracy wirówek samoopróżniających

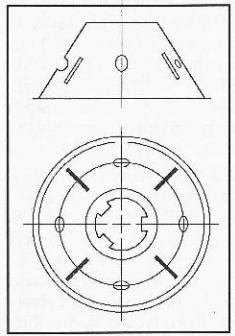
Wirówki (rys. 3.101) są zbudowane ze stabilnej płyty fundamentowej (4), która łączy ze sobą silnik napędowy o dużej mocy (2) i właściwą wirówkę za pomocą przekładni pasa klinowego (3). Napęd bębna odbywa się poprzez wał bębna wirówki (5), zwany również trzpieniem. Główną częścią jest bęben talerzowy (6), który zawiera talerze.

Wirujące części (wał i bęben talerzowy) są wyważone dynamicznie i muszą być stale składane w przepisowy sposób. Pomimo to występują niewywarzenia w pracy bębna, szczególnie przy uruchamianiu (tolerancje wykończeniowe, luz łożyskowy, niewyważenie wyrzucanego osadu, wpływy napędu), które obciążają wał bębna i prowadzą do drgań. Te krytyczne liczby obrotów należy przy uruchamianiu i hamowaniu szybko przejść. Zjawisko to jest zmniejszane również przez elastyczne łożysko kołnierzowe (9) wału bębnowego.

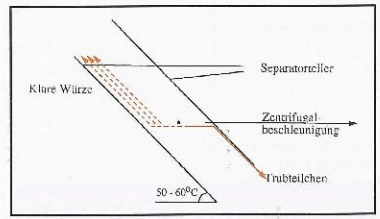
Bieg wirówki dobrze wyważony jest podstawowym warunkiem pracy bez zarzutu, gdyż przy niewyważeniu mogą wystąpić siły, które mogą spowodować pęknięcie osi. Nie do przewidzenia jest wielkość szkody, ponieważ wirujący bęben posiada bardzo dużą energię kinetyczną.



Rys. 3.101
Wirówka (schematycznie)
(1) obudowa bębna
(2) silnik napędowy
(3) przekładnia pasów klinowych
(4) płyta fundamentowa
(5) wał bębna wirówki
(6) bęben talerzowy
(7) wyrzut substancji stałych
(8) wypływ odwirowanej cieczy
(9) łożysko szyjki
(10) łożysko trzpienia
(11) amortyzator drgań



Rys. 3.102
Talerz bębna

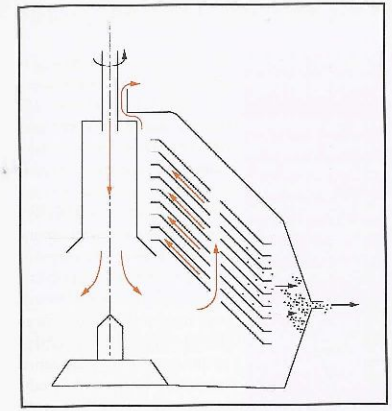


Rys. 3.103
Proces rozdziału między talerzami bębna

3.8.4.3.1 Sposób działania bębna talerzowego

Bębny talerzowe zawierają do 200 stożkowych wstawek talerzowych. Wstawki talerzowe mają kąt nachylenia 50 do 60°; kąt ten jest uzależniony od szorstkości powierzchni talerzy i współczynnika tarcia ślizgowego cząstek stałych (rys. 3.102). Grubość talerzy wynosi 0,4 do 0,6 mm, ich odstęp pomiędzy sobą 0,3 do 0,4 mm; odstęp ten jest ustalony przez naspawane dystansowe paski. W środku talerza są otwory, tzw. otwory wznoszenia, które po złożeniu tworzą kanały wznoszenia służące rozdziałowi wirowanej cieczy.

Wirujący pakiet bębna oddziela cząstki brzeczki w następujący sposób (rys. 3.103): nieklarowna brzeczka jest wprowadzana od dołu do otworów wznoszących i wznosi się w górę. Cięższe cząstki osadu są pchane na ścianę talerza i zsuwają się po jego dolnej stronie na zewnątrz. Natomiast lżejsza brzeczka płynie po powierzchni talerza do środka i oczyszczona może być tam usunięta. Przez bardzo krótkie drogi osadzania się (na rysunku przedstawione z przesadą) proces ten przebiega bardzo szybko (rys. 3.104).



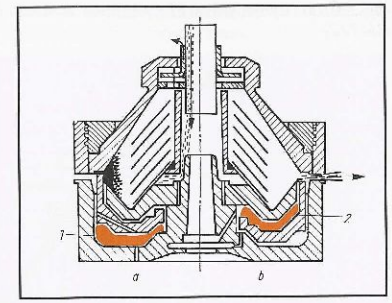
Rys. 3.104
Sposób pracy wirówki

Osad zbiera się na obwodzie wirującego bębna i musi być usuwany. Są dwa rodzaje takiego usuwania substancji stałych.

3.8.4.3.2 Bębny talerzowe umożliwiające okresowy wyrzut substancji stałych

Są one wykonane jako podwójny stożek (rys. 3.105), który na obwodzie posiada kilka otworów (szczelin) do wyrzutu, zamkniętych pierścieniowym tłokiem. Przez pionowe przesunięcie pierścieniowego tłoka otwory te zostają otwarte i osad zostaje wypchnięty.

Tłok pierścieniowy jest utrzymywany zamknięty przez hydrostatyczne ciśnienie wirującej cieczy, przeważnie wody (a). Otwarcie następuje przy pomocy wody pod ciśnieniem, która działa na dolną stronę pierścieniowego tłoka (b). Czasy otwarcia dają się przy tym tak dalece zmniejszać, że możliwe jest również częściowe usuwanie szlamu, tak że proces wyrzutu można przeprowadzać bez strat cieczy.



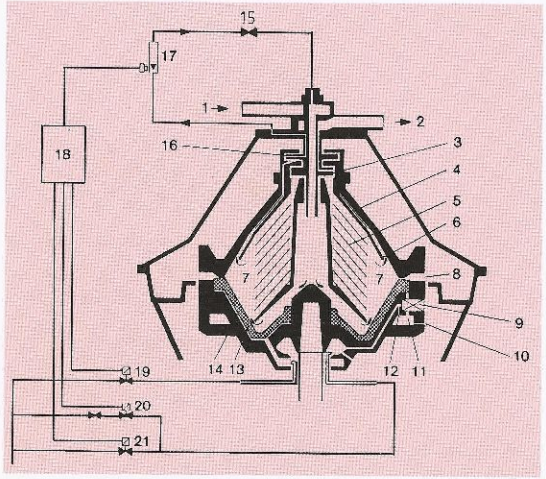
Rys. 3.105
Wirówka z okresowym wyrzutem substancji stałych
(a) szczelina wyrzutu szlamu zamknięta
(b) szczelina wyrzutu szlamu otwarta
(1) woda pod ciśnieniem do zamknięcia szczeliny
(2) woda pod ciśnieniem do otwarcia szczeliny

Wirówka klarująca SC 120 (rys. 3.106) pracuje według tej zasady. Wyrzut substancji stałych (8) jest sterowany przez komórkę fotoelektryczną.

3.8.4.3.3 Bębny talerzowe umożliwiające ciągłe usuwanie substancji stałych

Bębny te posiadają na obwodzie podwójnego stożka otwory do wyrzutu, tzw. ***dysze.*** Można wpływać na ilość usuwanej fazy stałej przy pomocy liczby oraz średnicy otworów w dyszach, która waha się pomiędzy 0,5 i 2,5 mm. Dysze te są wykonywane z twardego metalu lub syntetycznych kamieni szlachetnych, np. agatu, ponieważ są nadmiernie eksploatowane. W nowszych wirówkach istnieje możliwość usuwania substancji stałych przy pomocy sterowanych dysz.

Rys. 3.106. Bęben wirówki z własnym sterowaniem przy pomocy cieczy kontaktowej (S.C. 120-36-777)



(1) dopływ, (2) odpływ, (3) chwytak, (4) talerz klarujący dla cieczy kontaktowej, (5) pakiet talerzy, (6) talerz rozdzielający dla cieczy kontaktowej, (7) przestrzeń dla osadu, (8) wylot osadu, (9) zawór pierścieniowy, (10) dysza spustowa, (11) komora zasobnikowa, (12) dysza, (13) suwak tłokowy, (14) komora zamykająca, (15) zawór regulacyjny, (16) chwytak sterujący, (17) przepływomierz, (18) urządzenie sterujące, (19) zawór wody zamykającej, (20) zawór wody sterującej do ustawienia wstępnego ilości do opróżnienia, (21) zawór wody do otwarcia

3.8.4.4 Ocena wirowania gorącej brzeczki

Przy pomocy wirówki można gorącą brzeczkę oddzielić szybko i bez problemu od gorącego osadu; również zaniki są względnie korzystne ze średnią poniżej 0,3%. Wadą są wysokie koszty inwestycyjne i produkcyjne, szczególnie wysokie zużycie energii elektrycznej do napędu bębna z 0,65-0,8 kWh/m³ oraz złożoność urządzeń.

Obecnie przekłada się whirlpool nad wirówkę, jednak wirówka ma w dalszym ciągu swoje miejsce przy usuwaniu zimnego zmętnienia i wygrywa również przy filtracji piwa (p. rozdz. 3.9.4.3).

3.8.5 Eksploatacja mętnej brzeczki

Na koniec usuwania gorącego osadu pozostaje osad w postaci mętnej brzeczki. Jest to mulista mieszanina z zawartością ok. 75% brzeczki i 25% osadu. Osad należy oddzielić i pozyskać brzeczkę.

Do oddzielenia osadu i brzeczki stosuje się filtr lub wirówkę; w ten sposób można odzyskać większą część brzeczki. Jednak istnieje prawdopodobieństwo, że brzeczka w międzyczasie została zakażona, wobec czego należy ją wyjałowić. Można to uczynić również przez przepompowanie jej do następnej warki, jeżeli chce się uniknąć dużych nakładów na robociznę i aparaturę przy drogiej sterylizacji.

Obecnie coraz więcej browarów stosuje metodę dodawania nie poddanej obróbce mętnej brzeczki bezpośrednio do następnej warki. W miarę możliwości powinno to nastąpić na początku wysładzania w kadzi filtracyjnej, aby osiągnąć całkowite, lecz nie nadmierne wyługowanie. *(Wpływa to jednak na jakość piwa. Przyp. tł. AB).*

Aby nie liczyć tej ilości brzeczki dwukrotnie, należy do obliczania wydajności warzelni odliczyć od następnej warki 75% zawróconej ilości mętnej brzeczki.

Eksploatacja mętnej brzeczki jest konieczna z kilku względów:

- ***jeżeli ją spuścimy do ścieków, obciąży środowisko oraz nasze koszty za jej wprowadzenie,***
- ***jeżeli mętną brzeczkę zawrócimy do następnej warki, nie będzie więcej żadnego osadu, gdyż zostanie on zmieszany z o wiele większą ilością wysłodzin,***
- ***dla nas każdy litr odzyskanej brzeczki ma znaczenie! Jeżeli z każdej warki odzyskamy dodatkowo chociaż jeden hektolitr, to przy 1500 warkach w roku będzie już 1500 hl!***

3.9 Chłodzenie i klarowanie brzeczki

Drożdże mogą fermentować tylko w niskich temperaturach, dlatego gorącą brzeczkę należy możliwie szybko schłodzić do 5-6°C, często również do 7-10°C. Odbywa się to w dziale chłodzenia brzeczki. Podczas tego procesu klarowna początkowo brzeczka mętnieje z powodu ***tworzenia się zimnego osadu.*** Dla szybkiego przeprowadzenia fermentacji i dojrzewania wymagane jest optymalne usunięcie tego zimnego osadu przy chłodzeniu. Dla szybkiego przeprowadzenia fermentacji należy optymalnie napowietrzyć drożdże. Jednocześnie należy zwracać uwagę na zmiany stężenia przy chłodzeniu przez odparowanie lub dopływ wody.

3.9.1 Procesy przy chłodzeniu

Przy chłodzeniu brzeczki występuje szereg procesów, które mają decydujący wpływ na szybkość fermentacji i dojrzewania. Należą do nich:

- ***schłodzenie brzeczki,***
- ***wytworzenie się i optymalne usunięcie zimnego osadu i***
- ***intensywne napowietrzenie brzeczki.***

Prócz tego zmienia się zawartość ekstraktu i ilość brzeczki. Ponadto przebiegają w brzeczce przemiany substancji, które dają się określić analitycznie w zabarwieniu i innych parametrach.

3.9.1.1 Chłodzenie brzeczki

Brzeczka zostaje szybko schłodzona do temperatury nastawienia 5 do 7°C za pomocą płytowego wymiennika ciepła. Jest to ważne, ponieważ dłuższe przebywanie w temperaturach pośrednich podwyższa niebezpieczeństwo rozmnażania się drobnoustrojów szkodliwych dla piwa.

Brzeczka przy wybiciu jest wolna od drobnoustrojów. Jeżeli podczas procesu produkcji przenikną do piwa drobnoustroje szkodliwe i rozmnożą się, mogą przez wytworzenie produktów przemiany materii ujemnie wpłynąć na jakość piwa lub nawet uczynić je nie nadającym się do spożycia.

3.9.1.2 Wytwarzanie się i usunięcie zimnego zmętnienia

Uprzednio klarowna brzeczka poniżej ok. 60°C zaczyna mętnieć. To zmętnienie składa się z maleńkich cząstek o średnicy ok. 0,5 µm, dlatego określa się je jako drobny osad, chłodny osad lub zimny osad.

Z powodu małej wielkości cząstek zimny osad bardzo trudno osiada. Ma właściwość osadzania się na innych cząstkach, np. drożdżach lub pęcherzykach powietrza. Jeżeli uda mu się osadzić na komórkach drożdży, zmniejsza przez to ich powierzchnię kontaktową i hamuje szybkość fermentacji. W takim przypadku mówi się o „zalepianiu" drożdży.

Problem ten przybiera na znaczeniu przy ponownym stosowaniu tych samych drożdży; jeśli natomiast stosuje się stale nowo wyprowadzone drożdże z propagacji, wtedy usuwanie zimnego osadu nie jest konieczne.

Zimny osad składa się ze związków białkowo-garbnikowych, które w zimniejszym środowisku silniej się wytrącają i po podgrzaniu ponownie częściowo się rozpuszczają. Np. brzeczka przy schłodzeniu do 5°C zawiera jeszcze 14% ogólnego zimnego osadu w postaci rozpuszczonej.

Usunięcie wytrąconego zimnego osadu jest problemem, któremu usiłuje się na różny sposób podołać. Poza tym nie chodzi o zupełne usunięcie zimnego osadu, ponieważ powoduje to pusty smak piwa.

Resztkowa zawartość zimnego osadu w wysokości 120 do 160 mg/l jest pożądana (199).

Przez zmniejszenie zawartości zimnego osadu do mniej więcej tego poziomu osiąga się

- zaokrąglenie smaku piwa,
- poprawę piany (przez usunięcie kwasów tłuszczowych),
- poprawę stabilności smakowej i
- intensywną fermentację.

Aby usunąć zimny osad stosuje się alternatywnie następujące procesy (p. rozdz. 3.9.4):

- filtracji (z perlitami),
- flotacji,
- sedymentacji lub
- wirowania.

Ostatnie badania wykazują (199), że szczególnie przez zastosowanie nowoczesnych wirówek do klarowania zimnej brzeczki można znacznie powiększyć zakres wydajności przy takiej samej ostrości rozdziału (p. rozdz. 3.9.4.3).

Niemożliwe jest usuwanie przy pomocy jednego urządzenia gorącego i zimnego osadu, ponieważ urządzenia, które usuwają zadowalająco zimny osad, nie potrafią równocześnie usuwać gorącego. Dlatego potrzebne są oddzielne urządzenia dla oddzielania gorącego i zimnego osadu, jednak w wielu przypadkach rezygnuje się z usuwania zimnego osadu.

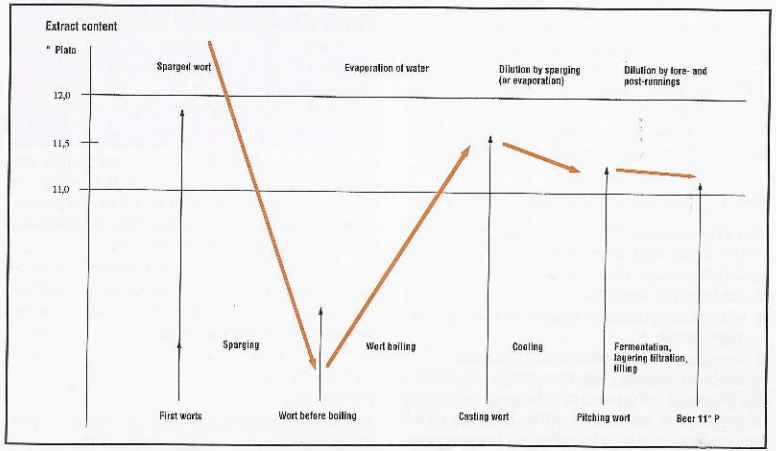
3.9.1.3 Napowietrzanie brzeczki

Napowietrzanie brzeczki w wysokich temperaturach powoduje silne utlenianie. Brzeczka staje się przez to ciemniejsza i gorzka. W zimnej brzeczce obecność tlenu jest niezbędna dla rozmnażania drożdży. W warunkach beztlenowych (tj. przy nieobecności powietrza) rozmnażanie drożdży zostaje zahamowane i fermentacja przebiega rozwlekle. Wady te zostają usunięte przez optymalne napowietrzenie zimnej brzeczki (p. rozdz. 3.9.3).

3.9.1.4 Zmiany w stężeniu brzeczki

Przy stosowaniu otwartych urządzeń chłodniczych odparowuje nieco wody; odparowana ilość wody na tacy chłodniczej może być znaczna przy dłuższym przetrzymaniu. Wzrasta wówczas stężenie brzeczki.

Przy stosowaniu zamkniętych linii chłodniczych nie może oczywiście nic odparować, natomiast przez wypychanie brzeczki wodą, dla zmniejszenia strat, następuje nieznaczne rozcieńczenie i obniżenie zawartości ekstraktu. Ażeby osiągnąć wymaganą zawartość ekstraktu, należy możliwe zmiany w stężeniu brzeczki przy chłodzeniu uwzględniać przy wybiciu (rys. 3.107).



Rys. 3.107. Zmiany zawartości ekstraktu przy wytwarzaniu brzeczki i piwa
(Zawartość ekstraktu w Plato; Wody wysłodkowe; Odparowanie wody; Rozcieńczenie przez ługowanie (lub odparowanie); Rozcieńczenie przez przed- i popiwki; Ługowanie; Gotowanie brzeczki; Chłodzenie; Fermentacja, leżakowanie, filtracja, rozlew; Przednia brzeczka; Brzeczka przy pełnym kotle; Brzeczka wybita; Brzeczka nastawna; Piwo 11P)

3.9.2 Urządzenia do chłodzenia brzeczki

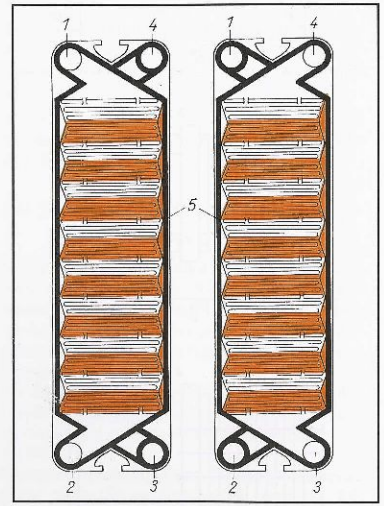
Szybkie schłodzenie brzeczki odbywa się obecnie wyłącznie przy pomocy płytowego wymiennika ciepła, nazywanego krótko wymiennikiem płytowym, w którym brzeczka jest schładzania przez zimniejszą wodę; przenoszenie ciepła odbywa się przy tym przez cienkie płyty ze stali chromoniklowej.

3.9.2.1 Budowa płytowego wymiennika ciepła

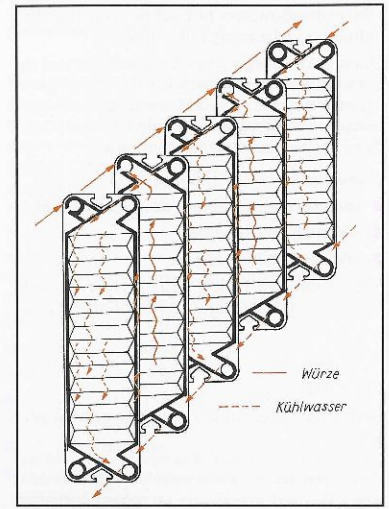
Płytowy wymiennik ciepła składa się z dużej liczby równolegle ułożonych cienkich płyt metalowych, pomiędzy którymi na przemian przepływa brzeczka i woda chłodnicza. Dwie płyty razem tworzą zawsze podstawowy element (drogi przepływu), ponieważ każdą płytę omywa z jednej strony brzeczka i z drugiej strony woda chłodnicza (rys. 3.108).

Aby osiągnąć dobrą wymianę cieplną, stosuje się

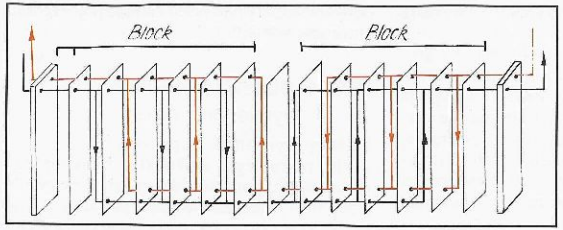
- ***bardzo cienkie płyty metalowe,***
- ***profilowane płyty, aby wytwarzały burzliwy przepływ,***
- ***małe odstępy pomiędzy płytami,***



Rys. 3.108
Płyty wymiennika płytowego (element podstawowy)
(1) dopływ brzeczki, (2) odpływ brzeczki, (3) dopływ wody chłodniczej, (5) gumowe uszczelki



Rys. 3.109
Wymiana ciepła w wymienniku płytowym
(brzeczka, woda chłodnicza)



Rys. 3.109a
Zasada działania wymiennika płytowego (Block = blok)

- ***przepływ brzeczki i wody chłodniczej w przeciwprądzie i***
- ***częstą zmianę kierunku przepływu*** (rys. 3.109).

Płyty są zawieszone na dźwigarach w statywie i dociśnięte razem. Dopływ i odpływ odbywa się przez płyty podłączeniowe. Płyty, przez które przepływ odbywa się w jednym kierunku (rys. 3.109a), określa się jako blok. Zmiana kierunku do następnego bloku odbywa się przez płytę odwracającą.

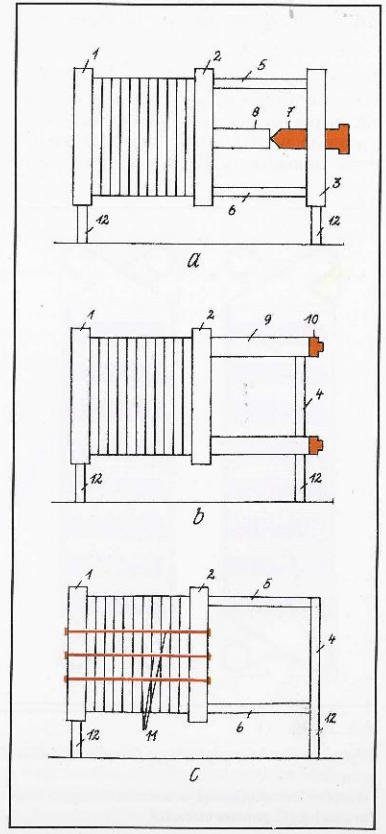
Dla zainstalowania potrzebnej powierzchni chłodzącej włącza się kilka bloków.

Dla niezawodnego wykluczenia mieszania się płynów, otwory tworzące kanały i drogi przepływu innej cieczy są oddzielone podwójnymi uszczelkami. Przestrzeń pomiędzy nimi posiada rowek wyciekowy do otoczenia.

Wymiennik płytowy składa się ze

- ***statywu z urządzeniem do dociskania płyt,***
- ***płyt podłączeniowych i***
- ***płyt do wymiany ciepła.***

Szczególnie ważne jest, żeby płyty były silnie dociśnięte, tak aby układ był absolutnie szczel-



Rys. 3.110
Urządzenia dociskające w wymiennikach płytowych
(a) docisk centralny, (b) docisk dźwigarowy, (c) docisk cięgłami prętowymi, (1) kozioł podporowy, (2) płyta dociskowa, (3) kozioł wrzecionowy, (4) podpora dźwigarów, (5) dźwigar nośny, (6) dźwigar prowadzący, (7) wrzeciono centralne, (8) łącznik, (9) tuleja dociskowa, (10) nakrętka dociskowa, (11) dociskowe cięgła prętowe, (12) noga statywu

ny. Dociskanie płyt odbywa się za pomocą urządzenia dociskowego. Przy czym rozróżnia się

- docisk centralny,
- docisk dźwigarowy i
- docisk cięgłami prętowymi.

Przy ***docisku centralnym*** płyta dociskowa jest dociskana śrubą. Aby zmniejszyć długość, wkłada się przy skręcaniu pomiędzy płytę dociskową i śrubę łącznik dystansowy (rys. 3.110 – a). Do otwarcia łącznik dystansowy usuwa się i tak powstaje wystarczająca ilość wolnego miejsca.

Przy ***docisku dźwigarowym*** płyty są dociskane przez przycięte tuleje dociskowe za pomocą nakrętek dociskowych (rys. 3.110 – b).

Przy wyższych ciśnieniach roboczych używa się przede wszystkim ***docisku cięgłami prętowymi***. Pakiet płyt jest tu dociskany przez kilka par cięgieł prętowych, które oczywiście należy dociągać równomiernie (rys. 3.110 – c).

We wszystkich przypadkach należy jednak zachować umiar w dociskaniu, gdyż za silne dociśnięcie pakietu może uszkodzić wymiennik płytowy.

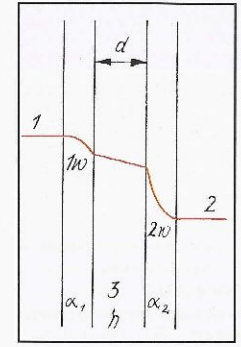
Zwracać należy uwagę na rozszerzalność materiału przy ogrzewaniu, np. przy myciu metodą CIP.

3.9.2.2 Sposób działania płytowego wymiennika ciepła

W płytowym wymienniku gorąca brzeczka zostaje schłodzona z ok. 95°C do temperatury nastawienia, tj. na 6 do 8°C za pomocą zimnej wody; woda podgrzewa się przy tym do temperatury, którą możemy regulować ilością przepływu.
Następuje przy tym wymiana ciepła z cieplejszej brzeczki do zimniejszej wody. Ta wymiana ciepła jest zależna od kilku czynników (rys. 3.110a).
Energia cieplejszej cieczy (1) jest przenoszona przez płytę (3) na zimniejszą ciecz (2). Dla wymiany ciepła jest ważne

- grubość ściany (3) i materiał ściany ze swoim współczynnikiem przewodzenia ciepła (λ);

do tego wiemy już, że np. czarna stal lepiej przewodzi ciepło niż stal chromoniklowa, a miedź najlepiej



Rys. 3.110a
Wymiana ciepła na płycie wymiany

(1) temperatura cieplejszej cieczy, (2) temperatura zimniejszej cieczy, (3) płyta, (1w+2w) temperatury powierzchni granicznych faz, (d) grubość płyty, (a_1 i a_2) współczynniki przejmowania ciepła, (λ) współczynnik przewodzenia ciepła

W powierzchniach granicznych pomiędzy cieczami 1+ 2 a ścianą wytwarza się powierzchnia granicznych faz (1w+2w), w której temperatura obniża się albo podnosi do temperatury drugiej cieczy. Grubość tej powierzchni granicznej faz jest w spokojnych cieczach większa niż przy szybkim ich poruszaniu się.

Taką powierzchnię graniczną można dobrze rozpoznać, jeżeli na pływalni w spokojnej wodzie krótko spokojnie odczeka się: kiedy się następnie znowu poruszy, zauważy się, że woda wokół ciała nieco się podgrzała.

Do przeniknięcia ciepła przez naszą ścianę mają jednak znaczenie jeszcze

- współczynnik przejmowania ciepła cieczy (1) na ścianie (a_1),
- zdolność przewodzenia ciepła ściany i
- współczynnik przewodzenia ciepła ściany d2 na ciecz (2),

co jest wyrażone we współczynniku przenikania ciepła "k".

Według tego oznacza to:

$$\frac{1}{k}=\frac{1}{\alpha_1}+\sum\frac{\rho_i}{\lambda_i}+\frac{1}{\alpha_2}$$

Ze wzoru wynika, że najmniejszy współczynnik w mianowniku (a_1, a_2, l) określa wartość liczbową dla współczynnika przenikania ciepła. Dlatego dla poprawienia wartości "k" należy zawsze najpierw poprawić najmniejszą wartość.

Należy dbać o to, żeby

- ***ciecze przenoszące ciepło przepływały w przeciwprądzie względem siebie,***
- ***ciecze przepływały szybko,***
- ***powierzchnie materiału (przewodzącego ciepło) były czyste i***
- ***stosować płyty wymiennika z dobrą zdolnością przewodzenia.***

Stosowanie względnie źle przewodzącej stali chromoniklowej jest oczywiście uwarunkowane przez

konieczność stabilności płyt względem siebie wskutek występujących różnic ciśnienia i wymaganie odporności na korozję,

dobrą możliwość mycia metodą CIP.

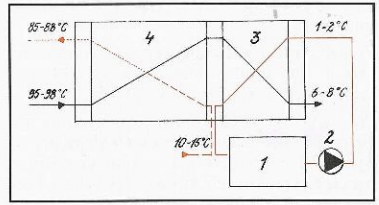
Należy mieć również na uwadze, co następuje: Przejmowanie ciepła ma znacznie większy wpływ niż przewodność cieplna uwarunkowana przez materiał. Wysokie prędkości przepływu o dużej burzliwości nie tylko zmniejszają przejmowanie ciepła, lecz również wymagają

- znacznie wyższej wydajności pomp i
- wyższych i możliwych do uniknięcia kosztów produkcyjnych.

Dla przeprowadzenia przejmowania ciepła wynikają dwa problemy:

1. Nie można przez chłodzenie wodą studzienną 10 do 15°C osiągnąć temperatury nastawnej; do tego jest potrzebna woda lodowa, którą należy uprzednio schłodzić o ≥ 3 K poniżej temperatury nastawnej;
2. Podczas schładzania woda chłodząca podgrzewa się. Jeżeli woda podgrzeje się tylko do temperatur 30-60°C, wtedy do niczego się nie przydaje. Dąży się, aby uzyskać możliwie wysoką temperaturę wody wychodzącej, o wysokim potencjale temperaturowym i aby móc ją dalej wykorzystywać jako gorącą wodę lub w systemie energetycznego zasobnika.

Chłodzenie brzeczki można przeprowadzać jednostopniowo i dwustopniowo. ***Dwustopniowe chłodzenie*** było dotychczas zwyczajnym chłodzeniem (rys. 3.111).



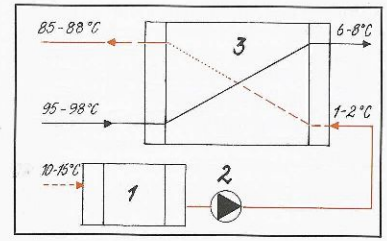
Rys. 3.111

Płytowy wymiennik z dwustopniowym chłodzeniem

(1) zbiornik wody lodowej, (2) pompa wody lodowej, (3) dział głębokiego schłodzenia, (4) dział wstępnego schłodzenia

W większym dziale wstępnego schłodzenia brzeczka oddaje swoje ciepło zimnej wodzie produkcyjnej. Podczas gdy brzeczka zostaje schłodzona do ok. 3 do 4 K ponad temperaturę wody, woda podgrzewa się do 80-88°C. W mniejszym dziale głębokiego schłodzenia brzeczka zostaje schłodzona do wymaganej temperatury nastawnej przez wodę lodową o temperaturze 1 do 2°C. Woda lodowa podgrzewa się przy tym nieco, pozostaje jednak przy temperaturze poniżej temperatury wody produkcyjnej i zostaje zawrócona do układu schładzania wody lodowej.

Obecnie coraz częściej schładza się ***jednostopniowo*** (rys. 3.112). Schłodzona woda lodowa 1 do 2°C zostaje podgrzana do 80-88°C, podczas gdy gorąca brzeczka 95 do 98°C jest schłodzona do temperatury nastawnej. Zużyta woda lodowa musi być zastąpiona świeżą wodą.



Rys. 3.112

Płytowy wymiennik z jednostopniowym chłodzeniem

(1) schładzanie wody lodowej, (2) pompa, (3) pakiet płyt

Zapotrzebowanie zimna przy dwustopniowym chłodzeniu jest mniejsze niż przy jednostopniowym (p. rozdz. 10.3.4.3), zużywa się za to więcej wody; pomimo to wiele browarów woli jednostopniowe chłodzenie, ponieważ

- jest prostsze w budowie i obsłudze,
- tańsze w zakupie i
- przypisuje się mu takie samo zapotrzebowanie energetyczne jak dwustopniowemu.

Dopuszczalne ciśnienie robocze płytowego wymiennika wynosi ogólnie p_n = 10 bar. Pomiędzy stroną wodną a stroną brzeczkową płyt istnieje różnica ciśnień, która zwykle wynosi ok. 2 bar, maksymalnie 4 bar. Ta różnica ciśnień nie może być dowolnie podnoszona, gdyż może doprowadzić do deformacji płyt i nieszczelności wymiennika. Płyty wymiany ciepła muszą być odporne na maksymalne występujące różnice ciśnień (możliwe są $D_p \cong 20$ bar).

3.9.2.3 Zalety płytowych wymienników ciepła

Wymienniki płytowe nie mają konkurencji. Mimo to powinno się wymienić następujące ich zalety:

- wymiennik płytowy zajmuje bardzo małą powierzchnię,
- posiada bardzo dobre przejmowanie ciepła przy małych stratach ciśnienia,
- łatwo go myć i podłączyć do systemu CIP,
- brzeczka pozostaje tylko krótki czas w wymienniku,
- nie ma żadnego niebezpieczeństwa zakażeń, jeżeli jest regularnie myty na gorąco,
- daje się dopasować do zmieniających się warunków produkcyjnych.

3.9.3 Napowietrzanie brzeczki

Drożdże potrzebują do rozmnażania tlen. Jeżeli opuścimy napowietrzanie lub wykonujemy je tylko w niewielkim stopniu, wpływa to bezpośrednio ujemnie na szybkość fermentacji i rozmnażanie drożdży.

Napowietrzanie zimnej brzeczki dla zaopatrzenia drożdży w tlen jest jedynym momentem podczas całego procesu wytwarzania piwa, kiedy dostarczenie tlenu jest celowe. Tlen ten zostaje zużyty przez drożdże w przeciągu kilku godzin i nie szkodzi jakości brzeczki.

Aby rozpuścić powietrze w zimnej brzeczce, należy je rozbić na możliwie najdrobniejsze pęcherzyki i wymieszać z brzeczką w burzliwym przepływie. Dąży się do natlenienia brzeczki w ilości 8 do 9 mg O_2/l. Aby uzyskać takie natlenienie, należy użyć wielokrotności powietrza. Teoretycznie wymagane jest tylko ok. 3 l powietrza na hl brzeczki dla rozpuszczenia się takiej ilości tlenu, jednak w praktyce potrzebna jest wielokrotnie większa jego ilość, gdyż

- **część pęcherzyków powietrznych nie rozpuszcza się w brzeczce i**
- **powietrza również nie daje się tak równomiernie rozbić.**

Problem jest w rozbiciu powietrza, które musi się w brzeczce rozdzielić na bardzo drobne pęcherzyki i rozpuścić się. Pęcherze powietrza, które wydostają się na powierzchnię brzeczki, tworzą tylko uciążliwą pianę. Ilość tej piany może być bardzo duża i przez to utrudniać proces napowietrzania.

Wtłaczane powietrze musi być sterylne, toteż przepuszcza się je przez **sterylizujący filtr do powietrza** (p. rozdz. 10.5.3.7). Jeżeli nie filtruje się powietrza, wtedy istnieje duże niebezpieczeństwo wprowadzenia z nim zakażenia do drożdży.

Rozpuszczalność gazów jest zależna od temperatury i ciśnienia. Każdy gaz posiada swoisty „techniczny współczynnik rozpuszczalności" (l), który zależny jest od temperatury. Jest on podany w poniższej tabeli w ml gazu (1 kg wody · 1 bar) i wynosi:

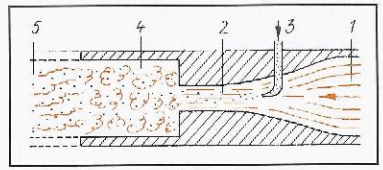
Temperatura	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C
Tlen	47,4	41,5	36,8	33,0	30,0
Powietrze	28,0	25,0	22,0	20,0	18,0
Azot	22,5	20,0	18,1	16,5	15,2
CO_2	1658	1378	1159	987	851

Aby zapewnić wymagane ilości tlenu w brzeczce, ważne jest utrzymanie możliwie stałego ciśnienia podczas rozpuszczania gazu (przy napełnianiu wysokich tanków zmienia się stale ciśnienie statyczne!).

3.9.3.1 Metody napowietrzania brzeczki

Do napowietrzania brzeczki stosuje się następujące metody:

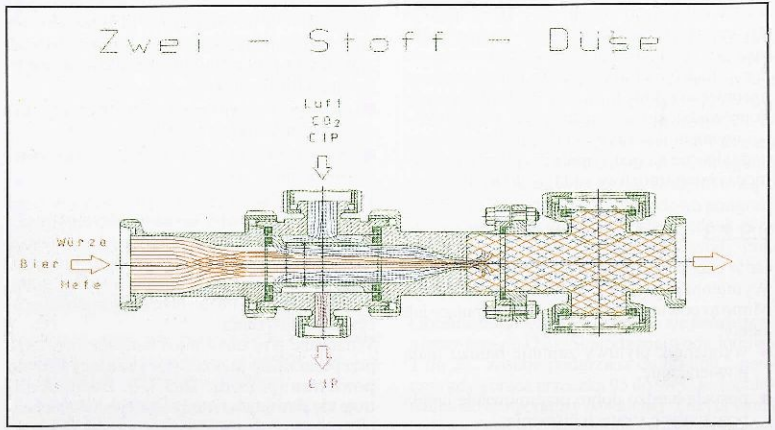
- świece ceramiczne lub ze spiekanego metalu,



Rys. 3.113. Zwężka Venturiego (sposób działania)
(1) przepływ laminarny, (2) zwężenie w obrębie dyszy z podwyższeniem prędkości przepływu, (3) dysza dopływu sterylnego powietrza, (4) przepływ burzliwy, (5) szkło wzierne

- urządzenia napowietrzające z rurami Venturiego (dysze mieszające),
- urządzenia napowietrzające z dwumateriałowymi dyszami,
- urządzenia napowietrzające ze statycznym mieszalnikiem i
- mieszalnik odśrodkowy.

Świece ceramiczne lub ze spiekanego metalu
W tych świecach powietrze jest rozdzielane przez ich drobne pory na bardzo drobne pęcherzyki, omywane przez przepływający prąd brzeczki i w niej rozpuszczane. Jest to bardzo prosta i skuteczna metoda, ale mycie takiej porowatej świecy, jeżeli nie chcemy się narazić na niebezpieczeństwo zakażenia, wymaga bardzo dużego nakładu pracy.



Rys. 3.114. Dwumateriałowa dysza (Fa. Essau & Hueber, Schrobenhausen)

Urządzenia z rurami Venturiego (rys. 3.113)
W rurze Venturiego występuje w odcinku przewężenia rury znaczne zwiększenie prędkości przepływu. Przez dyszę dozowane jest powietrze i w następującym burzliwym przepływie w obrębie rozszerzenia rury intensywnie wymieszane przez silne wiry z brzeczką. Powstaje przy tym znaczny spadek ciśnienia.

Urządzenia z dwumateriałowymi dyszami
Dwumateriałowa dysza (rys. 3.114) ma budowę podobną do rury Venturiego. Powietrze jest tu wprowadzane przez drobne dysze w ścianie i w ten sposób osiąga się wytwarzanie najdrobniejszych pęcherzyków w bardzo wąskim przedziale wielkości.
Po domieszaniu powietrza mieszanina zostaje przeprowadzona przez wąską dyszę. Przez rozszerzenie przestrzeni za dyszą mieszanina powietrze-drożdże-brzeczka zostaje wewnętrznie ze sobą wymieszana.
Przez domieszanie CO_2 do piwa można w taki sam sposób przeprowadzać karbonizację (patrz także rozdz. 4.7).

Urządzenia ze statycznym mieszalnikiem
Ze statycznym mieszalnikiem (rys. 3.115 i 3.115a) osiąga się wewnętrzne wymieszanie brzeczki i powietrza w odcinku działania wbudowanych elementów. Duża liczba kątów zmusza brzeczkę do stałej zmiany kierunku, co wytwarza burzliwy przepływ i tym samym dobre rozdzielenie powietrza w brzeczce.

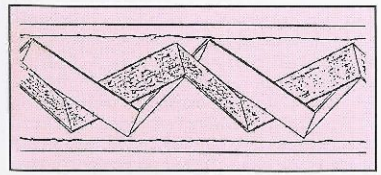
Mieszalnik odśrodkowy
W mieszalniku odśrodkowym powietrze jest wbijane do brzeczki przez wirnik dyspergujący i bardzo silnie rozdrabniane. Osiąga się tu bardzo dobre i intensywne rozpuszczanie powietrza.

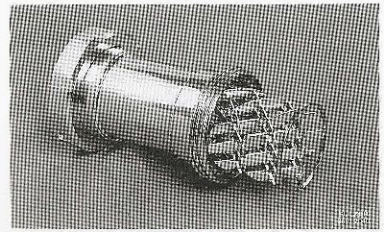
3.9.3.2 Napowietrzanie drożdży

Drożdże powinno się intensywnie napowietrzać dopiero przy nastawianiu! Jeżeli drożdże napowietrza się intensywnie już po zebraniu, ponownie się uaktywniają. Nie znajdując żadnych węglowodanów fermentujących zaczynają się odżywiać własnymi rezerwowymi węglowodanami, przez co osłabiają się i brakuje im rezerwowego potencjału do rozpoczęcia fermentacji. Wyrazem tego jest wyższy udział martwych komórek i gorszy stan drożdży. Ważne jest usunięcie CO_2 pozostałego w zebranych drożdżach.

Intensywne napowietrzenie drożdży do nastawienia jest bardzo ważne, lecz ponadto powinno się napowietrzać drożdże w pierwszych godzinach po nastawianiu, aby pobudzić ich aktywność. Wprowadzony tlen zostaje wykorzystany w przeciągu paru godzin; potem nie powinno się stosować już żadnego napowietrzania.

Napowietrzanie i dozowanie drożdży można wykonać w jednym urządzeniu (rys. 4.17). Dawka drożdży jest przez cały czas przepływu brzeczki dozowana, żeby drożdże rozdzielić równomiernie w tanku. Dozowanie drożdży odbywa się pompą z regulowaną częstotliwością. Całą ilość drożdży odmierza się przy po-





Rys. 3.115 i 3.115a. Elementy mieszające ze statycznymi mieszalnikami

mocy komórki wagowej w tanku do drożdży. Możliwe jest dokładne ustalenie

- wymaganego stężenia komórek drożdży nastawnych i
- ilości powietrza.

3.9.4 Urządzenia do usuwania zimnego zmętnienia

Mozliwie daleko idące usunięcie zimnych osadów daje korzyści (rozdz. 3.9.1.2). Do ich usuwania używa się następujących metod:

- filtracji przez perlity,
- flotacji brzeczki lub
- wirowania zimnej brzeczki.

3.9.4.1 Filtr na ziemię okrzemkową

Filtracja brzeczki przez perlity jest najpewniejszą metodą optymalnego usuwania zimnego osadu (około 90%).

O budowie i sposobach pracy z filtrami na ziemię okrzemkową oraz o filtracyjnych środkach pomocniczych informuje rozdział 4.5.

Zamiast ziemi okrzemkowej używa się zwykle przy filtracji brzeczki lżejszych i tańszych perlitów.

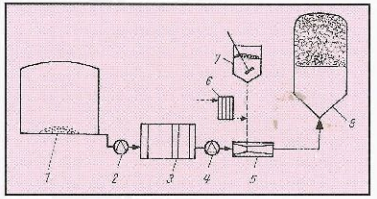
3.9.4.2 Flotacja

Zimny osad osadza się na małych cząstkach zawiesiny (komórki drożdży, pęcherzyki powietrza) Jest to efekt granicy międzyfazowej. Efekt ten wykorzystuje się przy flotacji. Do brzeczki dodaje się w nadmiarze powietrze rozbite na bardzo drobne pęcherzyki. W naczyniu flotacyjnym pęcherzyki podnoszą się ku powierzchni brzeczki i wzbogacają się w cząsteczki zimnego osadu. W przeciągu kilku godzin, na powierzchni tworzy się zbita warstwa osadu, którą po opróżnieniu tanku można usunąć.

Dla przeprowadzenia flotacji jest ważne

- dostarczenie powietrza,
- naczynie flotacyjne i
- przeprowadzenie procesu.

Dostarczenie ***powietrza transportującego*** jest głównym problemem przy efektywnym kształtowaniu się procesu flotacji. Aby pracować ekonomicznie, należy przy możliwie małej ilości powietrza rozdzielanego w dyszach na bardzo drobne pęcherzyki uzyskiwać dużą powierzchnię transportującą. Dzięki temu przestrzeń potrzebna na pianę, a z nią pojemność całego zbiornika może być mniejsza (rys. 3.116).



Rys. 3.116. Urządzenie flotacyjne
(1) whirlpool, (2) pompa, (3) płytowy wymiennik ciepła, (4) pompa podwyższająca ciśnienie, (5) dysza mieszająca, (6) filtr do powietrza, (7) naczynie do prowadzenia drożdży, (8) tank flotacyjny

Istnieje cały szereg sposobów na to, żeby powietrze transportujące doprowadzać do brzeczki w stanie rozbitym na najdrobniejsze pęcherzyki. Producenci oferują do tego celu odpowiednie urządzenia.

Flotacja może się odbywać albo bez drożdży, albo z drożdżami. Obecnie powszechnie flotację przeprowadza się z drożdżami, ponieważ

- postój bez drożdży oznacza niebezpieczeństwo zakażenia,
- także tlen jest zaraz optymalnie zużywany przez drożdże,
- czas flotacji zostaje wykorzystany już jako faza zafermentowania.

Brzeczka wzbogacona nadmierną ilością powierza zostaje doprowadzona do tanku flotacyjnego. Jako naczynia flotacyjne wchodzą w rachubę otwarte kadzie lub zamknięte „unitanki" i inne. Brzeczka pozostaje w nich 4 do 8 h. W tym czasie wytwarza się najpierw bardzo gruba, gęsta warstwa piany, która po ok. 8 h opada do ok. 5 do 10 cm i po przepompowaniu brzeczki do fermentora pozostaje w naczyniu flotacyjnym. Powstały przez to zanik wynosi 0,2 do 0,4%, usunięcie zimnego osadu osiąga ok. 60 do 65%.

Jeżeli używa się zamkniętych naczyń flotacyjnych, można pracować z przeciwciśnieniem, a więc uniemożliwia się dzikie pienienie brzeczki i zaoszczędza cenną pojemność naczynia. Stojące tanki flotacyjne mają płaskie dno z lekkim spadkiem do środka naczynia. Leżące tanki zatrzymują pokrywę piany na ścianach i dnie. Wszystkie zamknięte tanki można łatwo myć przy pomocy CIP-u.

Korzyści flotacji w porównaniu z filtracją są następujące:

- mniejsze zużycie urządzeń,
- mniejszy nakład pracy,
- nie używa się filtracyjnych środków pomocniczych (perlity, ziemia okrzemkowa).

Natomiast należy usunąć osad i umyć tank flotacyjny. Ma miejsce obciążenie ścieków. Nowe urządzenia flotacyjne instaluje się już tylko w nielicznych przypadkach.

3.9.4.3 Wirowanie zimnej brzeczki

Wirówki do zimnej brzeczki pracują oczywiście na tej samej zasadzie jak opisano w rozdz. 3.8.4. Z nowoczesnymi wysoko wydajnymi wirówkami klarującymi (199) o wydajności 700 hl/h zostaje oddzielone więcej niż 50% zimnego osadu i osiąga się wartości w brzeczce 120 do 160 mg osadu/l. Zanik w tych urządzeniach wynosi 0,15 do 0,20% ilości wybitej brzeczki. Umożliwia to standaryzację zimnej brzeczki przed rozpoczęciem fermentacji oraz osiągnięcie wyrównanej jakości.

3.9.5 Linie chłodzenia brzeczki

Po usunięciu gorącego osadu brzeczka przechodzi przez:

- urządzenie do chłodzenia brzeczki (płytowy wymiennik),
- przyrząd do napowietrzania brzeczki i ewentualnie
- urządzenie do usuwania zimnego osadu .

Urządzenia te znajdują się w pomieszczeniu chłodzenia, które w klasycznym układzie mieści się nad fermentownią.

Przyrząd do napowietrzania brzeczki jest stosunkowo mały i umieszczony w odpowiednim miejscu na ścianie.

Obecnie z chłodni przeważnie pozostaje tylko płytowy wymiennik ustawiany na terenie warzelni.

W rozmieszczeniu urządzeń jest wiele możliwości. Przy stosowaniu filtra intensywne napowietrzenie brzeczki w zasadzie należy przeprowadzić jednak po filtracji, gdyż w przeciwnym razie mogą wystąpić problemy.

3.10 Sterowanie i kontrola procesów przy wytwarzaniu brzeczki

Jeżeli w małym browarze gotuje się jedną warkę na dobę, wtedy piwowar jest w stanie kontrolować wszystkie procesy. Zna on ich temperatury oraz czasy i dopilnowuje stale swoimi pięcioma zmysłami przebieg procesu. Ten piwowar ma godne pozazdroszczenia powiązanie ze swoim produktem, którego jego kolega w dużej warzelni nigdy nie jest w stanie osiągnąć.

Jednak im większy jest zakład i im więcej warek gotuje się w dobie, tym mniej jeden człowiek jest w stanie dopilnować. Jeżeli gotuje się i wybija osiem warek na dobę, wiele procesów zachodzi czasowo jeden na drugi. Wzrasta także niebezpieczeństwo, że któryś z elementów procesu zostanie przeoczony.

Konieczność utrzymywania napiętych reżimów czasowych, realizowania dokładnie wszystkich podanych parametrów (temperatura, czas, ciśnienie itd.) i uzyskiwania stale najwyższych wydajności i najlepszej jakości zmusza każdy większy zakład coraz bardziej do automatycznego sterowania procesami przy wytwarzaniu brzeczki.

Kiedy jest mowa o sterowaniu, myśli się o dużych nastawniach lub automatach, jednak sterowanie zaczyna się od całkiem prostych spraw. Przykładowo: łącznik światła stanowi już dwupunktowy regulator.

Tak prosto oczywiście nie przebiega sterowanie w warzelni. Obecnie dzieli się je na różne

płaszczyzny. Do nich należą przede wszystkim mechaniczne styczniki. Są to wyłączniki uruchamiane magnetycznymi cewkami. Prócz tego używa się przekaźników czasowych, przekaźników prądowych i zaworów elektropneumatycznych. Używa się też małych napięć sterowniczych, aby włączyć duże napędy lub żeby zapewnić blokadę. Rozróżnia się styki rozwierne i styki zwierne. Kiedy stycznik znajduje się w stanie bezprądowym, kontakt jest albo otwarty, albo zamknięty; następnie rozróżnia się styki rozwierne i styki zwierne, ponieważ przy włączeniu prądu położenie łącznika odwraca się i tym samym osiąga się otwarcie lub zamknięcie zaworu. Taki rodzaj blokady istnieje już bardzo długo. Na przykład przy napędzie kadzi filtracyjnej silnik do wyrzutu wysłodzin może być włączony tylko wtedy, kiedy silnik spulchniacza jest zatrzymany lub odwrotnie.

Naturalnie w warzelni przebiega bardzo dużo procesów obok siebie i jeden w drugim, tak że przy pomocy sterowania przekaźnikami łącznie z przekaźnikami czasowymi w dużych warzelniach nie można w pełni kontrolować całego procesu. Obecnie stosuje się do tego **sterowanie mikroprocesorowe.** *(Uwaga: sprawy te fachowo opisane są w rozdziale 11. Przyp. tł. AB).* Program jest ułożony w języku programowym ukierunkowanym na dany obiekt i zabezpieczony przed zanikiem prądu. Program ten jest okresowo sprawdzany i przerabiany, przy czym możliwe są rozgałęzienia i odskoki. Aby uniknąć awarii, przy bardzo skomplikowanych programach zmiana programu lub receptury może być dokonana tylko przez specjalistów w danej dziedzinie. Z tego powodu obecnie przeważnie w programie jest utworzona trzecia płaszczyzna, która jest dostępna tylko określonym osobom.

Komputery, lub lepiej stanowiska robocze (workstations), z dużymi twardymi dyskami i barwnymi ekranami (monitorami) umożliwiają także obszerne ujęcie danych produkcyjnych. Banki danych umożliwiają wymianę z innymi programami wewnątrz browaru.

Jeżeli połączy się kilka pojedynczych sterowań ze sobą, da to w wyniku pełnoautomatyczne sterowanie całym urządzeniem, o ile proces technologiczny zezwala na pracę bez ręcznej ingerencji.

W nowych urządzeniach instaluje się obecnie prawie wyłącznie automatyczne sterowanie, również coraz więcej istniejących urządzeń przerabia się na pełnoautomatyczną pracę. Korzyści są następujące:

- wyrównany produkt przez wykluczenie braków,
- odciążenie personelu obsługującego,
- redukcja personelu obsługującego,
- lepsza koordynacja procesów,
- lepsze wykonawstwo procesów,
- małe przestoje,
- proste zmiany przebiegów procesu,
- proste uzupełnianie składników urządzeń.

W sterowaniu urządzeniami warzelni rozróżnia się dwa zasadnicze warianty:

- ***sterowanie mozaikowe i***
- ***sterowanie graficzne.***

Sterowanie mozaikowe

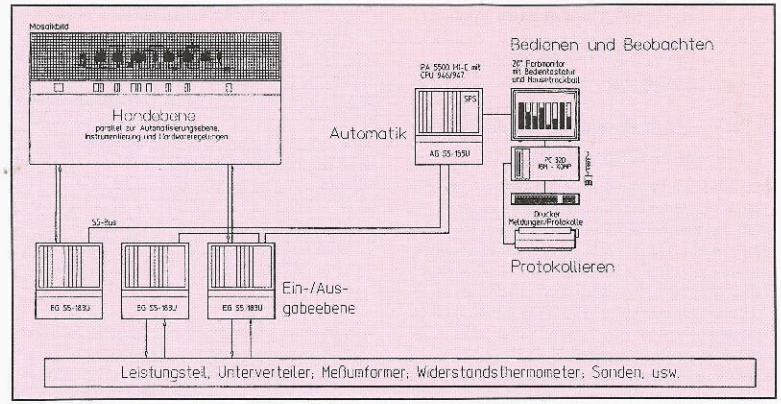
W nastawni mozaikowej wszystkie technologiczne przebiegi procesów są przedstawione graficznie. Dla wszystkich napędów są przewidziane przyciski. Wszystkie sygnały zwrotne są pokazywane sygnałami świetlnymi.

Do pomiarów są zamontowane wskaźniki, regulatory i liczniki, żeby warzelany w każdej chwili był dokładnie zorientowany o wszystkich sprawach i mógł odpowiednio reagować. Ten typ sterowania, jeszcze znacznie rozpowszechniony, jest zwykle bardzo przejrzysty i prosty w obsłudze lecz nie instaluje się go, ponieważ jest za drogi i wymaga dużych nakładów.

Sterowanie graficzne (display-technik)

Przedstawienie części urządzeń i technologicznych przebiegów w graficznym sterowaniu odbywa się wyłącznie na ekranie monitora. Napędy, sygnały zwrotne, wskaźniki i regulacje są pokazane na ekranie i obsługiwane klawiaturą. Zmiana parametrów odbywa się również poprzez ekran, protokołowanie przez drukarkę. Możliwe jest stopniowe przejście ze sterowania mozaikowego do sterowania graficznego. Korzystne w graficznym sterowaniu są prostsze uzupełnienia sterowania i proste rozszerzenie graficznych możliwości. Obecnie coraz więcej browarów przechodzi z tego powodu na sterowanie graficzne.

Przy pomocy zadanego programu sterującego procesy przebiegają automatycznie jeden po



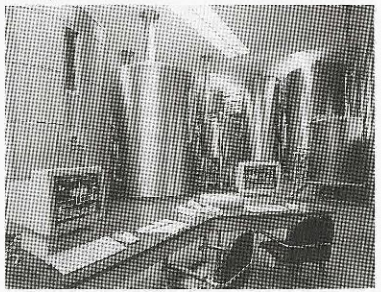
Rys. 3.117. Automatyzacja procesów w warzelni
(Obraz mozaikowy, Obsługa i nadzorowanie, Płaszczyzna obsługi ręcznej, Automatyka, Monitor kolorowy z klawiaturą i myszką, równoległa do płaszczyzny automatyzacji, oprzyrządowania i regulacji hardware, Drukarka, meldunki/protokoły, Protokołowanie, Płaszczyzna wejścia/wyjścia, Rozdzielnia mocy; podrozdzielnic; przetworniki pomiarowe; termometry oporowe; czujniki; itd.)

drugim. Warzelany śledzi przebiegi na ekranie i w razie potrzeby może się ingerować. Płaszczyzna automatyki samodzielnie kontroluje przebieg procesu. Odbiera i przetwarza sygnały z urządzenia. Ważne jest przy tym, że występujące zakłócenia i nieregularności są natychmiast sygnalizowane optycznie lub akustycznie, tym samym warzelany może podjąć konieczne środki.

Komputer gromadzi ogromną ilość danych i informacji, które w każdej chwili są dostępne na ekranie monitora lub w postaci wydruku.

Bardzo często jeszcze spotyka się w warzelniach ***automatyzację procesową***, w której obok automatyki poprzez ekran pozostaje również obraz mozaikowy jako płaszczyzna ręczna (rys. 3.117). Utrzymywanie czynnej płaszczyzny sterowania ręcznego poprzez monitorowy schemat połączeń równoległy do sterowania mikroprocesorowego (SPS – speicher-programmierbare Steuerung) oznacza duże koszty, gdyż przeważnie muszą być podwójne wejścia i wyjścia, przede wszystkim wtedy, kiedy warunki ryglowania mają być czynne także w wariancie schématu mozaikowego.

Ponieważ również inne działy produkcyjne, ze względu na bliskie położenie, są we wzrastającym stopniu automatyzowane, istnieje trend do koncepcji automatyzacji całości (p. rozdz. 11). Nie do pomyślenia jest już, żeby dzisiejsza warzelnia mogła obyć się bez monitora (rys. 3.118).



Rys. 3.118
Komputerowe miejsce pracy w warzelni browaru Schloßbrauerei Au/Hallertau
(Foto: Huppmann, Kitzingen)

3.11 Bezpieczeństwo pracy przy wytwarzaniu brzeczki

3.11.1 Zapobieganie wypadkom przy śrutowaniu

Wszystkie ruchome części, do których jest dostęp, są potencjalnymi miejscami wypadków. Duże zagrożenie dla obsługi stwarza możliwość wciągnięcia przez ruch maszyny części ubrania, pasma włosów lub kończyn. Pochwycony bezlitośnie zostaje wtedy wciągnięty do o wiele silniejszej maszyny. Skutki są katastrofalne. Dlatego obowiązuje zasada: ***Zawsze nosić ochronne obcisłe ubrania; długie włosy ochronnie zakryte czapką lub chustką.***

Ten warunek jest szczególnie ważny ***przy obsługiwaniu śrutownika.***

Zgodnie z przepisami bhp (niemieckimi-ASI 2.91/78)) walce śrutownika muszą być tak zabezpieczone, żeby dojście do nich nie było osiągalne. O ile śrutownik nie jest fabrycznie zabezpieczony, tak żeby nawet szczupłą ręką nie można było w żadnym przypadku dojść do miejsca wciągnięcia przez walce, potrzebne jest specjalne zabezpieczenie przy pomocy jednego lub kilku prętów. Pręty te muszą być na stałe zamocowane od wewnątrz obudowy śrutownika lub przymusowo wykonane tak, żeby przy otwartej klapie (oknie) zabezpieczały dostęp.

Przed śrutownikiem musi być zainstalowany magnes o wystarczającej mocy – stały lub wzbudzany elektrycznie – który powinien zabezpieczać urządzenia przed uszkodzeniami i przed wytwarzaniem iskrzenia przez żelazne części.

Iskrzenie może spowodować w śrutowniku wybuch pyłu. To niebezpieczeństwo jest bardzo duże, gdyż pył w określonej mieszaninie z powietrzem jest wybuchowy. Śrutownik powinien być dobrze uziemiony, a obudowa pyłoszczelna, ponieważ następują tu wyładowania elektrostatyczne przez pył.

Nie wolno zmieniać blach zabezpieczających przed wybuchem. Zabezpieczenia techniczne (rury-Q, płytki bezpieczeństwa) muszą być w pełni sprawne.

Również pomieszczenie śrutownika musi być wolne od pyłu, który należy regularnie usuwać. Ze względu na podwyższone niebezpieczeństwo pożaru w obrębie śrutowni, powinna ona być wyposażona w sprawne gaśnice i hydranty.

Elementy transportowe muszą być wyposażone w samoczynne wyłączniki, które zareagują w anormalnych warunkach pracy.

3.11.2 Zapobieganie wypadkom przy pracy w naczyniach warzelni

Przy myciu starszych naczyń warzelanych trzeba wchodzić do środka, w nowoczesnych myciu jest przeprowadzane metodą CIP. Pomimo to od czasu do czasu trzeba wejść również do tych nowoczesnych, żeby przeprowadzić kontrolę lub usunąć wady.

Wejście do takich naczyń wiąże się z dużymi niebezpieczeństwami, szczególnie gdy nastąpi niezamierzone włączenie mieszadła lub spulchniacza, kiedy pracownik jest zajęty naprawą wewnątrz.

Aby uniknąć takich wypadków, wydane zostały w Niemczech ***Wytyczne do prac w zbiornikach i w ciasnych pomieszczeniach*** (ZH1/77 Ausg. April 1991).

Dobrym środkiem zabezpieczającym przed niezamierzonym załączeniem mieszadła lub innego ruchomego urządzenia okazało się wykręcenie bezpiecznika elektrycznego i przechowanie go na czas pracy. W tym przypadku również przy załączaniu elektronicznym nie jest możliwe niezamierzone włączenie.

Przy automatycznych urządzeniach wystarczy wyjąć klucz załączający i przechować go przez pracującego wewnątrz naczynia.

3.11.3 Zapobieganie wypadkom przy pracy z wirówkami

Wirówki powinny pracować zupełnie równomiernie. Na stanowisku kontrolnym są one sprawdzane pod tym względem. Nie może wystąpić żadne niewyważenie, gdyż może ono doprowadzić do bicia i w końcu do zniszczenia wirówki. W tym przypadku zostanie zniszczone wszystko w dalekim otoczeniu wirówki.

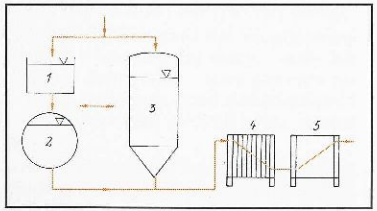
(Zerwany z łożysk podczas pracy bąk wirówki ma siłę niszczącą pocisku artyleryjskiego. Zdarzyło się to dawno temu w jednej z polskich krochmalni. Przyp. tł. AB).

Aby tego uniknąć, przy wyważaniu wirówki stosuje się trwałe oznakowanie na wszystkich składanych jedna w drugą i skręcanych ze sobą częściach. Należy tylko przy składaniu przestrzegać ściśle oznakowania części wirówki i złożyć dokładnie według tych znaków.

4 Produkcja piwa (fermentacja, dojrzewanie i filtracja)

Aby brzeczka stała się piwem, znajdujące się w niej cukry muszą zostać przetworzone przez enzymy drożdży w etanol i dwutlenek węgla. Proces ten nazywamy fermentacją. Podczas fermentacji powstają ***produkty uboczne***, które wpływają w sposób bardzo istotny na smak, zapach i inne cenne właściwości piwa. Tworzenie i częściowy rozkład produktów ubocznych fermentacji wiąże się ściśle z przemianą materii czyli metabolizmem drożdży i może być rozpatrywany tylko w świetle tych procesów.

W wielu jeszcze browarach fermentacja i dojrzewanie piwa prowadzone są według metody zwanej klasyczną, w piwnicach: fermentacyjnej i leżakowej (rys. 4.1 – 1+2). Nowoczesne browary, wyposażone w tanki cylindryczno-stożkowe (3), prowadzą fermentację i dojrzewanie w jednym i tym samym naczyniu. Różnice między urządzeniami i prowadzeniem procesów są tak duże, że obydwa systemy trzeba rozpatrywać osobno.



Rys. 4.1. Fermentacja, dojrzewanie i filtracja
(1) kadź fermentacyjna, (2) tank leżakowy, (3) tank cylindryczno-stożkowy, (4) filtr, (5) pasteryzator płytowy

Po fermentacji, dojrzewaniu i leżakowaniu piwo poddawane jest filtracji oraz stabilizacji biologicznej i koloidalnej, czyli utrwalaniu. Do zabiegów tych służą różnego rodzaju filtry (4), a także w miarę potrzeby pasteryzatory płytowe (5). W dalszym etapie piwo tak przygotowane można już skierować do rozlewu.

4.1 Przemiany zachodzące podczas fermentacji i dojrzewania

Najważniejszym procesem jest odfermentowanie przez drożdże cukrów znajdujących się w brzeczce i ich przemiana w alkohol i dwutlenek węgla. Procesy zachodzące podczas fermentacji głównej i podczas dojrzewania z trudem dają się rozdzielić, gdyż przemiany te przechodzą jedne w drugie. Dlatego musimy rozpatrywać fermentację i dojrzewanie piwa jako procesy ściśle ze sobą powiązane.

Szczególną rolę w tym układzie odgrywa fakt, że niektóre metabolity drożdży, wytworzone podczas fermentacji głównej, zostają przez te same drożdże częściowo przetworzone i zawartość ich w piwie wydatnie się zmniejsza. Te uboczne produkty fermentacji decydują w dużym stopniu, obok składników chmielu, o smaku i aromacie piwa. Z tego względu znajomość procesów ich tworzenia i warunków, w jakich ulegają one dalszym przemianom, jest dla nas szczególnie ważna.

4.1.1 Drożdże jako najważniejszy sprzymierzeniec piwowara

Niektórzy piwowarzy, dodając jako jeszcze jeden surowiec do brzeczki jasnobrunatną gęstwę drożdżową, myślą sobie po prostu, że z tego musi być piwo. Zapominają przy tym, że ta breja składa się z miliardów osobnych komórek, z których każda prowadzi, niezależnie od innych, swoje własne złożone życie, w sposób wypracowany przez miliardy poprzednich pokoleń i zakodowany w odziedziczonych genach.

To nie my decydujemy, jaką pracę mają wykonać drożdże. Możemy jedynie stwarzać warunki, które tę pracę we właściwy sposób ukierunkują. Trzeba przy tym pamiętać, że interesy komórki drożdżowej jako organizmu bynajmniej nie są zbieżne z interesami piwowara. Podczas gdy dla niego najważniejsze jest wytwarzanie alkoholu i CO_2, to dla komórki drożdżowej są to właśnie substancje trujące, których musi się pozbyć i dlatego osiada na dnie kadzi. Dla drożdży ważne jest tylko pozyskiwanie niezbędnej dla życia energii, aby przy dopływie odpowiednich substancji odżywczych budować nowe komórki.

Rozpatrując sprawę pod tym kątem, optymalne warunki do produkcji piwa mają miejsce wówczas, gdy zapewnione są również najlepsze warunki dla drożdży. Pamiętać trzeba przy tym, że jakość piwa w wielkim stopniu zależy od procesów zachodzących w komórkach drożdżowych i od produktów ich przemiany materii.

Zanim przejdziemy do szczegółów, trzeba dokonać przeglądu najważniejszych procesów, zachodzących w komórkach drożdżowych podczas fermentacji i dojrzewania piwa.

Po nastawieniu fermentacji, komórki drożdżowe muszą najpierw przyzwyczaić się do nowego otoczenia, którego warunki w pierwszej chwili są dla nich szokujące: inna temperatura, inne pH, wysoka koncentracja cukrów itp. Przez pierwszych kilka godzin wydzielają one do środowiska aminokwasy i nukleotydy, ale część z nich szybko pobierają z powrotem. Im wyższa jest temperatura brzeczki, tym większe to wydzielanie, ale okres przyzwyczajania drożdży do nowych warunków (faza wstępna) w sumie nie trwa długo. Zanim jednak komórka wejdzie w bliższy kontakt z otoczeniem i zacznie korzystać z jego zasobów, sięga najpierw do nagromadzonych substancji rezerwowych, które zapewniają jej pierwsze, bezpośrednio dostępne źródło energii.

Mając do dyspozycji bogaty wybór cukrów fermentujących, jakie znajduje w brzeczce, komórka drożdżowa nie traci jednak czasu i bardzo szybko zaczyna z nich korzystać. Początkowo brzeczka zawiera także rozpuszczony tlen, którym została nasycona podczas nastawiania fermentacji, a więc rozpoczyna się również proces oddychania, dostarczający dużych ilości energii, wytwarzanej w mitochondriach, spełniających rolę silników komórki.

Obfitość źródeł energii umożliwia drożdżom w tym okresie nie tylko rozpoczęcie fermentacji, ale także podjęcie budowy nowych komórek i procesu rozmnażania przez pączkowanie. Surowce do syntezy substancji komórkowych są również obficie reprezentowane w brzeczce. Zadaniem piwowara jest czuwać nad tym, aby cegiełek do budowy komórek drożdży nigdy nie zabrakło. Należą do nich na przykład:

- aminokwasy do budowy nowych, białkowych struktur komórkowych (mimo że drożdże są zdolne syntetyzować aminokwasy z innych źródeł azotu),
- fosforany niezbędne dla wiązań w ATP (patrz rozdz. 4.1.2.2.2) oraz w podwójnej warstwie fosfolipidów błony komórkowej i innych struktur we wnętrzu komórki,
- kwasy tłuszczowe niezbędne do budowy błon komórkowych,
- cukry do budowy substancji zapasowych komórki,
- sole mineralne i mikroelementy (np. cynk),
- w fazie początkowej dostatek tlenu dla oddychania i szeregu przemian.

Większość tych substancji znajduje się niemal zawsze w wystarczającej ilości w brzeczce. Niektóre z nich drożdże mogą syntetyzować same. Jednak niedostatek poszczególnych składników może prowadzić do zakłóceń w fermentacji. Piwowar musi o tym pamiętać przy zmianie surowca lub zastępowaniu części słodu zbożem niesłodowanym albo cukrem, zwłaszcza że ten ostatni na przykład nie wprowadza do brzeczki żadnych aminokwasów ani też soli.

W tej fazie fermentacji, nadzwyczaj pracowitej dla komórek drożdżowych, gdy w środowisku występuje obfitość cukrów fermentujących, odkładają sobie drożdże zapasy węglowodanów rezerwowych (glikogen i trehaloza), aby w warunkach niedostatku pożywienia mieć z czego czerpać stale potrzebną do życia energię.

Faza logarytmicznego przyrostu komórek, o której mowa, jest najważniejszym odcinkiem całego procesu fermentacji. Podczas jej trwania

zanika typowy smak brzeczki i zostaje zastąpiony przez bardzo różnorodne produkty przemiany materii drożdży, ustalające podstawowe parametry jakości przyszłego piwa.

Z chwilą gdy tlen rozpuszczony w brzeczce zostanie wyczerpany na oddychanie komórek drożdżowych, muszą one ograniczyć swoją gospodarkę energetyczną do beztlenowego procesu glikolizy, pozwalającego uzyskiwać niezbędne im do życia skromne ilości energii przez fermentacyjną przemianę cukrów na alkohol i CO_2.

W tych warunkach faza logarytmicznego przyrostu komórek zbliża się powoli ku końcowi. Zapas cukrów fermentujących w brzeczce został już niemal wyczerpany i bliski jest moment, gdy z braku substratu do przetworzenia proces fermentacji ulegnie zahamowaniu. Drożdże przestają pączkować i zbierają się w konglomeraty wielu komórek, tworząc kłaczki osiadające na dnie kadzi. Alkohol i dwutlenek węgla działają hamująco na procesy przemiany materii zachodzące w komórkach drożdżowych. Ruch cieczy w tanku, intensywny w czasie fermentacji głównej, ustaje teraz niemal całkowicie, ułatwiając osadzanie się drożdży na dnie lub w stożku, skąd zostaną zebrane do ponownego użycia.

Nastaje teraz zła chwila w życiu drożdży. Wobec braku źródeł energii zmuszone są sięgnąć do zapasów nagromadzonych w komórce, a jednocześnie zaczynają wydzielać do otoczenia enzymy i produkty przemiany materii. Jest to moment, kiedy trzeba już oddzielić je od piwa i zebrać.

Mimo niskich temperatur podczas leżakowania piwa drożdże potrzebują jednak niewielkich ilości energii do podtrzymywania swych procesów życiowych. W tym celu zaczynają wykorzystywać odłożone w komórce zapasy węglowodanów i innych substancji rezerwowych, wydzielając do otoczenia wzrastające ciągle ilości metabolitów. W końcu część komórek obumiera i uwolnione ze struktur enzymy zaczynają trawić jej wnętrze, następnie ścianę komórkową i zawartość trawionej (ulegającej autolizie) komórki przedostaje się do piwa. Wpływa to bardzo negatywnie na smak i pienistość napoju. Wartość pH w piwie wzrasta, a rozpuszczone substancje komórkowe drożdży stanowią doskonałą pożywkę dla bakterii zakażających produkt. Piwowar w czasie leżakowania piwa musi więc dbać o wielokrotny i we właściwym czasie przeprowadzany zbiór drożdży.

Drożdże wymagają troskliwego traktowania nawet jeśli ich zbioru dokonano we właściwym momencie. Zebrana gęstwa drożdżowa musi być wychłodzona do właściwej temperatury i przechowywana możliwie krótko oraz w taki sposób, aby mogła zostać użyta do nastawienia następnej fermentacji i wielu dalszych bez utraty walorów technologicznych komórek drożdżowych i ich zdolności do szybkiego odzyskiwania pełnej aktywności.

Te wstępne rozważania mają na celu wyjaśnienie każdemu piwowarowi, że jego najważniejszym partnerem w produkcji piwa są drożdże. Tylko wówczas, gdy zapewni temu partnerowi najlepsze warunki działania, może liczyć na uzyskanie wysokiej jakości piwa i optymalnych wyników produkcji. W dalszych rozdziałach będzie o tym mowa.

4.1.2 Przemiana materii u drożdży

Dla technologa w browarze fundamentalne znaczenie ma znajomość procesów przemiany materii, które zachodzą w komórkach drożdżowych. Niektóre z nich wpływają decydująco na jakość piwa. Do takich należą:

- odfermentowanie cukrów i przemiany węglowodanów,
- przemiany ciał białkowych,
- przemiany tłuszczów,
- przemiany związków mineralnych.

4.1.2.1 Odfermentowanie cukrów

Drożdże są jednym z nielicznych gatunków istot żywych, zdolnych w braku tlenu przestawić się z intensywnego pozyskiwania energii przez oddychanie na o wiele mniej wydajne źródło, jakim jest fermentacja. Pozostaje do bardziej szczegółowego wyjaśnienia:

na czym polega proces fermentacji alkoholowej, a także

jaka jest energetyka tego procesu.

4.1.2.1.1 Fermentacja alkoholowa jako beztlenowy proces glikolizy

Jak wszystkie żywe organizmy – roślinne czy zwierzęce – komórka drożdżowa musi pozyskiwać energię niezbędną jej do procesów życiowych, jak np.:

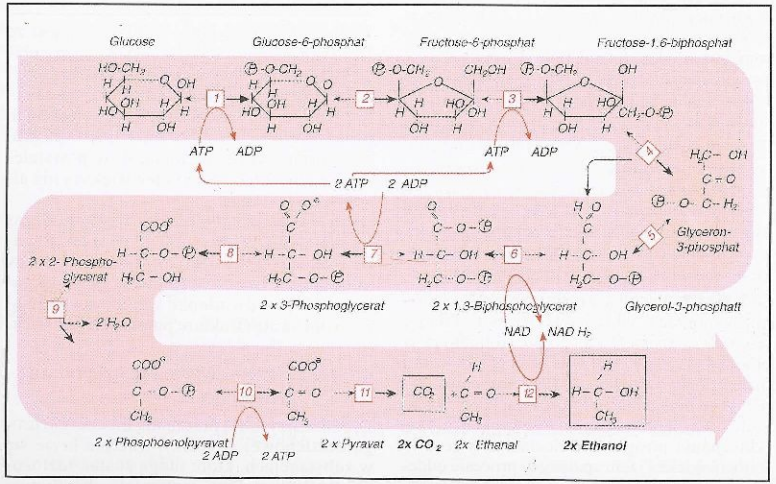
- budowa nowych substancji komórkowych,
- pobieranie i przyswajanie potrzebnych jej związków z otoczenia,
- rozkład i wydalanie zbytecznych lub szkodliwych substancji,
- przemieszczanie substancji wewnątrz komórki.

Wszystkie istoty żywe uzyskują potrzebną im energię przez oddychanie. Dla drożdży fermentacja jest jego formą beztlenową. Proces zaczyna się od rozkładu glukozy w cytoplazmie komórki, w toku procesu zwanego glikolizą (rys. 4.2).

Szereg złożonych przemian prowadzi do powstania kwasu pirogronowego, który w końcu zostaje przetworzony w alkohol i dwutlenek węgla.

W procesie glikolizy zachodzi najpierw połączenie cząsteczki glukozy z fosforem, czyli jej fosforylacja. Następuje to w wyniku pobrania atomu fosforu z ATP i jego przemiany w ADP (1). Powstaje 6-fosforan glukozy, który w wyniku działania izomerazy fosforanu glukozy ulega izomeryzacji i przemianie w 6-fosforan fruktozy (2). Związek ten ulega dalszej fosforylacji do 1,5-bisfosforanu fruktozy z udziałem następnej cząsteczki ATP i enzymu fosfofruktokinazy (3).

Dalszym etapem przemian jest rozpad 1,6-bisfosforanu fruktozy do 3-fosforanu gliceraldehydu i fosforanu dihydrosyacetonu, katalizowany przez aldolazę bisfosforanu fruktozy (4). Powstały 3-fosforan gliceraldehydu (5) zostaje następnie przy udziale dehydrogenazy fosforanu gliceraldehydu odwodorowany do 3-fosforanu glicerynianu (6) przy czym jon wodoru zostaje pobrany przez NAD^+. Kolejny etap obejmuje dwukrotną defosforylację przy udziale fosfomutazy glicerynianowej, wynikiem czego jest 2-fosforan glicerynianu (7). Reszta fosforanowa jest przy tym dwukrotnie przenoszona na ADP z utworzeniem cząsteczki ATP, któ-



Rys. 4.2. Schemat fermentacji alkoholowej wg Embdena, Meyerhofa i Parnasa

ra powraca do cyklu (8). Reakcja jest katalizowana przez hydratazę fosfoglicerynianową oraz kinazę pirogronianową przy współdziałaniu jonów Mg i K. Powstały kwas enolopirogronowy (9) jest następnie przez kinazę pirogronianową przetwarzany w kwas pirogronowy (10). Podczas opisanej tu fosforylacji substratowej pozyskiwana jest, po raz pierwszy w całym procesie, niewielka ilość energii chemicznej (30,5 kJ na gramocząsteczkę), którą mogą wykorzystać komórki drożdżowe.

Od etapu kwasu pirogronowego następuje rozgałęzienie dróg metabolicznych. Jego dekarboksylacja oksydacyjna rozpoczyna rozpad tlenowy. Natomiast w beztlenowym procesie fermentacji alkoholowej dekarboksylaza pirogronianowa drożdży, przy współdziałaniu z difosforanem tiaminy i jonami Mg, katalizuje dekarboksylację nieoksydacyjną (11). Powstały obok CO_2 aldehyd octowy służy jako akceptor atomów wodoru i przy udziale dehydrogenazy alkoholowej (w obecności jonów cynku) następuje przeniesienie tych atomów z utworzeniem alkoholu etylowego czyli etanolu (12), przy czym $NADH_2$ oddaje swoje wodory i z powrotem pozostaje NAD.

W tych przemianach musi być przenoszony atom wodoru (patrz etapy 6 i 12). W naturze, w procesach redukcyjnych, dokonuje się to przy współudziale koenzymu, dinukleotydu nikotynamidoadeninowego (NAD^+), co zapobiega wydzielaniu się niebezpiecznego wodoru do środowiska.

Rozpatrując przemiany ATP/ADP można zaobserwować, że na etapach 1 i 3 oraz 7 następuje ponowna przemiana adenozynodifosforanu ADP w adenozynotrifosforan, dzięki czemu cykl nie ulega przerwaniu. Energia jest uzyskiwana w etapie 10, przy dwukrotnej defosforylacji i dwukrotnej przemianie ADP-ATP.

Glikoliza beztlenowa, z małą wydajnością energii, wynoszącą tylko 2 ATP na mol glukozy, jest procesem metabolicznym zrodzonym w odległej przeszłości, gdy w atmosferze naszej planety było bardzo mało tlenu lub nawet zupełnie go brakowało. Glikoliza zachodzi w plazmie wszystkich żywych komórek. Podczas oddychania pirogronian dostarczany jest do mitochondriów i tam spalany w procesie oddechowym do CO_2 i H_2O, z niewspółmiernie większą wydajnością energii, wynoszącą aż 38 ATP na mol glukozy.

Drożdże są jednym z niewielu gatunków organizmów żywych zdolnych wykorzystywać pirogronian drogą beztlenowej fermentacji. Jednak gdy w środowisku znajdzie się tlen, fermentacja zostaje zahamowana częściowo lub nawet całkowicie (*Efekt Pasteura*). Z drugiej strony jeśli koncentracja cukru w podłożu jest większa niż 0,1 kg w litrze, co ma miejsce właśnie w brzeczce, to kompleks enzymów oddechowych zostaje przyhamowany i obok oddychania wystąpi również częściowo fermentacja alkoholowa (*Efekt Crabtree*).

Sumarycznie przebieg fermentacji alkoholowej wyraża wzór Gay-Lussaca:

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 \quad \Delta G = -230 \text{ kJ}$$

Bilansując stechiometrycznie powstające produkty według mas atomowych ich składników, otrzymamy następujące proporcje:

Glukoza	Alkohol	Dwutlenek węgla
6 C = 72	4 C = 48	2 C = 24
12 H = 12	12 H = 12	
6 O = 96	2 O = 32	4 O = 64
180	(2 · 46) = 92	(2 · 44) = 88

Tak więc z jednego mola glukozy, to jest ze 180 gramów, powstają w wyniku fermentacji alkoholowej 92 g etanolu i 88 g CO_2, czyli cukier zostaje podzielony na te dwa produkty przemiany w niemal równych częściach (p. rozdz. 7.4.3.1). natomiast objętościowo, pod normalnym ciśnieniem, ilość powstałego gazu jest niemal 390 razy większa niż alkoholu.

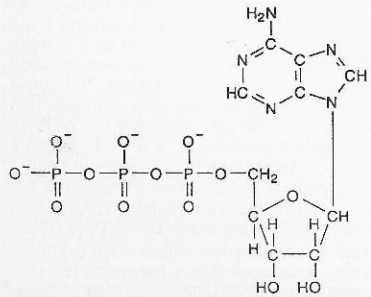
Dużą wydajność dwutlenku węgla podczas fermentacji wykorzystują od wieków piekarze. Ciasto zawiera kilka gramów cukru w kilogramie i ta ilość wystarcza, aby powstało parę litrów dwutlenku węgla zapewniających porowatą strukturę pulchnych bułeczek.

4.1.2.2.2 Pozyskiwanie energii podczas fermentacji

Drożdże uzyskują potrzebną im energię drogą beztlenowej glikolizy. Energia kryje się w substancjach, które mogą zostać rozłożone. Rośliny zielone zamieniają absorbowaną przez liście energię świetlną w chemiczną, tworząc w procesie fotosyntezy złożone związki organiczne z substancji prostych – dwutlenku węgla i wody. Reakcja tworzenia glukozy, przy udziale chlorofilu, przebiega w kierunku odwrotnym niż w opisanym wcześniej procesie oddychania, przy uwolnieniu równoważnej do pobranego CO_2 liczby cząsteczek tlenu. Powstała w tym procesie glukoza jest następnie przetwarzana w skrobię, polisacharyd odkładany jako zapas w owocach, nasionach i bulwach, lub też w inne cukry. Substancje te są więc w pewnym sensie skoncentrowaną energią chemiczną. W procesie spalania lub oddychania energia ta zostaje uwolniona, a jej ilość można dokładnie zmierzyć.

Energia tkwi w wiązaniach chemicznych, w których elektrony przy nakładzie energii zostały pobudzone do przejścia na wyższe tory. Wracając na swe poprzednie tory, elektrony te oddają pobraną energię.

W organizmach żywych rozwinęło się jedyne w swoim rodzaju połączenie, które zapewnia stałe przenoszenie energii, można powiedzieć energetyczna jednostka monetarna, będąca w stanie dostarczać organizmowi poszczególne ładunki energii chemicznej w formie najbardziej dla niego użytecznej. Tym połączeniem jest *adenozynotrifosforan* (*ATP*). Występuje ono we wszystkich organizmach żywych i składa się z jednej zasady purynowej (adeniny), jednej reszty cukrowej o pięciu atomach C (rybozy) i trzech reszt fosforanowych:



Wzór strukturalny ATP

Wiązanie między peryferyjnym a środkowym atomem fosforu jest szczególnie bogate w energię. Przez rozerwanie tego wiązania powstaje fosforan oraz adenozynodifosforan, ale także każdy mol ATP wyzwala energię 30,5 kJ. Można to zapisać następująco:

$$ATP \rightarrow ADP + P + 30{,}5 \text{ kJ/mol}.$$

Uwolniona energia jest do dyspozycji organizmu.

W kierunku przeciwnym, aby z ADP otrzymać z powrotem ATP, trzeba dostarczyć tej samej ilości energii. Dlatego też ATP stało się swego rodzaju „walutą energetyczną", którą wszystkie organizmy roślinne i zwierzęce potrafią się posługiwać. ATP jest bezpośrednim dostawcą energii dla wielu zależnych od niej procesów. Proces taki musi zachodzić w sposób ciągły. Magazynowanie wielkich „bomb energetycznych" w organizmach żywych nie jest możliwe. Brak dostaw glukozy lub innych substratów, które mogą jako źródło energii ją zastąpić, powoduje w końcu śmierć komórki.

Utworzony w cytoplazmie kwas pirogronowy, we wszystkich żywych komórkach tak roślinnych jak i zwierzęcych, jest transportowany do mitochondriów, pełniących rolę „silników komórki", gdzie w obecności tlenu, drogą oddychania zostaje bez reszty rozłożony do dwutlenku węgla i wody. Uwalniana przy tym ilość energii, 38 ATP/mol glukozy jest, wielokrotnie większa niż przy glikolizie beztlenowej, czyli fermentacji. Dlatego też drożdże, z chwilą dopływu tlenu, przestawiają się natychmiast na oddychanie, o wiele wydajniejsze pod względem energetycznym, w którym znajdują zatrudnienie ich mitochondria.

Wartość energetyczną substancji organicznej można dokładnie oznaczyć spalając ja w tlenie, w tzw. bombie kalorymetrycznej. Tak oznaczona wartość energetyczna wynosi:

- dla glukozy 2870 kJ/mol
- dla alkoholu etylowego 2640 kJ/mol

Różnica 230 kJ/mol

O tyle zmniejszyła się wartość energetyczna produktu w porównaniu z substratem fermentacji, w wyniku której została uwolniona ta ilość energii.

Wartość tę określa się jako energię swobodną G, jej zmiany są wyrażane jako ΔG, a różnica potencjałów chemicznych między substratami a produktami reakcji jest wielkością złożoną i zawiera składnik cieplny, czyli entalpię.

Z tej przemiany energetycznej organizm, w tym wypadku komórka drożdżowa, może wykorzystać tylko tę część, która pozostaje związana w ATP. Pozostała reszta jest tracona jako wydzielone ciepło reakcji chemicznej.

Ściśle biorąc oznacza to, że:

$\Delta G = 230$ kJ/mol glukozy

z czego drożdże mogą wykorzystać
tylko $2 \cdot 30{,}5 = 61$ kJ/mol glukozy

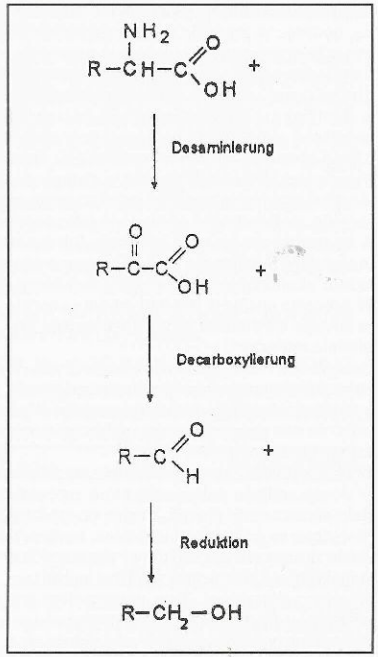
różnica, czyli 169 kJ/mol glukozy

wydziela się jako ciepło i trzeba ją odprowadzić chłodząc kadź lub tank fermentacyjny.

W praktyce trzeba się liczyć z wydzielaniem ciepła w ilości od 4.500 do 4.700 kJ na hektolitr piwa pełnego (patrz rozdz. 4.4.2.2.1).

4.1.2.2 Przemiany ciał białkowych

Białka stanowią od 35 do 60% suchej substancji drożdży. Do budowy nowych komórek drożdże wymagają więc obfitych źródeł azotu. W brzeczce takim źródłem są przede wszystkim wolne aminokwasy (FAN). Są one pobierane przez drożdże w określonej kolejności, na co piwowar nie ma żadnego wpływu. Drożdże wykorzystują tylko aminokwasy o małej cząsteczce, do czterech atomów węgla. Dla drożdży cenna jest tylko wolna grupa aminowa NH_2, którą pobierają i wykorzystują do budowy własnych białek (patrz rozdz. 1.1.4.2.2). Z aminokwasu powstaje drogą deaminacji (oddzielenia i przeniesienia grupy aminowej), dekarboksylacji (oddzielenia CO_2) oraz redukcji (oddzielenie tlenu) alkohol wyższy, który zostaje wydzielony jako produkt uboczny fermentacji (patrz rozdz. 4.1.3). W przytoczonym wzorze reakcji rodnik R oznacza różnej długości łańcuch $(CH_2)_n + H$:



Normalna zawartość wolnego azotu α-aminowego (FAN) w brzeczce 12-proc., aby zapewnić wystarczającą pożywkę azotową dla drożdży, powinna wynosić 200 do 230 mg/l. W brzeczkach z dobrze rozluźnionego słodu wartość ta zawsze jest osiągana. Natomiast brzeczki z zacierów z udziałem surowców niesłodowanych lub cukru powinny być pod tym względem kontrolowane, a w razie potrzeby należy stosować przedłużoną przerwę białkową. Pobieranie aminokwasów z brzeczki zachodzi za pośrednictwem białek tworzących u drożdży pory ściany komórkowej. Po przejściu przez ścianę następuje najpierw ich nagromadzenie, a następnie dalszy transport i przetwarzanie stosownie do potrzeby na białka komórki drożdżowej. W transporcie aminokwasów znane są co najmniej trzy systemy wyspecjalizowane w przenoszeniu związków o łańcuchach rozgałęzionych, aromatycznych oraz alaniny, seryny i glicyny.

Przemiany ciał białkowych mają wielkie znaczenie dla jakości powstającego piwa z tego względu, że wiele z nich trafia z powrotem do produktu i wywiera duży wpływ na jego smak, trwałość koloidalną, pienistość i inne czynniki decydujące o walorach handlowych wyrobu.

4.1.2.3 Przemiany substancji tłuszczowych (lipidów)

W skład błon komórkowych otaczających komórki drożdży i ich struktury wewnętrzne wchodzą substancje tłuszczowe połączone z białkami i fosforem w postaci fosfolipidów (patrz rozdz. 1.4.1). Podczas fermentacji biomasa drożdży zwiększa się cztero-, a nawet i sześciokrotnie. Do budowy nowych komórek trzeba wytworzyć odpowiednią ilość lipidów, budowa lipidów natomiast wymaga dopływu tlenu.

Drożdże pobierają z brzeczki występujące w niej kwasy tłuszczowe, ale są także zdolne syntetyzować je same. Ta synteza zaczyna się na etapie pirogronianu poprzez uaktywniony kwas octowy. Drożdże są w stanie budować także kwasy tłuszczowe nienasycone. Również do ich wytwarzania potrzebny jest tlen. Nienasycone kwasy tłuszczowe zapewniają elastyczność i selektywną przepuszczalność błon komórkowych. Kiedy w błonie jest za mało kwasów tłuszczowych nienasyconych o długich łańcuchach, może to obniżyć poważnie jej przepuszczalność, a niekiedy nawet całkowicie zatrzymać pobieranie aminokwasów.

Przemiany ciał białkowych wyprzedzają metabolizm tłuszczów. Procesy przemiany lipidów zaczynają się dopiero wówczas, gdy źródła azotu w dużym stopniu są już wyczerpane. Z drugiej strony jednak przemiany tłuszczów są w dużym stopniu uzależnione od udziału tlenu i obfite napowietrzenie brzeczki na początku fermentacji bardzo wspomaga syntezę kwasów tłuszczowych.

Syntetyzowane przez drożdże kwasy tłuszczowe o długich łańcuchach nie mają wpływu na smak piwa, gdyż są mocno związane ze strukturami komórkowymi (patrz rozdz. 4.6.4). Z początkiem autolizy komórek powstaje wielkie niebezpieczeństwo przedostania się tych bardzo reaktywnych kwasów tłuszczowych do piwa.

4.1.2.4 Przemiany węglowodanów

Drożdże pobierają z brzeczki najpierw zawarte w niej cukry proste, jak glukoza i fruktoza, następnie dwucukry, maltozę i sacharozę, a w końcu maltotriozę i odfermentowują je w tej kolejności. Można liczyć przy tym, że około 98% cukrów ulega fermentacji, a tylko 2% zostaje zużyte na oddychanie (p. rozdz. 4.1.2.1).

Drobna część maltozy (ok. 0,25%) zostaje przetworzona także na węglowodany zapasowe. Najważniejszym z nich jest *glikogen*, polimer glukozy, tworzony i odkładany w cytoplazmie w postaci charakterystycznych, barwiących się z jodem, złogów glikogenu. Przed rozpoczęciem fermentacji komórki drożdżowe wykorzystują odłożony w nich glikogen jako pierwsze dostępne źródło energii. Dlatego też w ciągu pierwszych dziesięciu godzin po nastawieniu fermentacji zawartość glikogenu w komórkach wyraźnie maleje, by następnie znowu wzrastać. W czasie fermentacji może ona stanowić nawet do 30% suchej substancji komórek drożdży. Podczas przechowywania gęstwy drożdżowej zawartość glikogenu w komórkach spada i to tym więcej, im cieplej i dłużej drożdże są przechowywane. Przy zimnym przechowywaniu znaczna część glikogenu zostaje w drożdżach zachowana (175). Dla utrzymania aktywności fermentacyjnej komórek ma to wielkie znaczenie.

Obok glikogenu, jako węglowodan zapasowy, występuje w drożdżach trehaloza, w ilościach do 6% suchej substancji komórek. Trehaloza jest dwucukrem złożonym z reszt glukozowych. Trehaloza znajduje się głównie w cytoplazmie komórki, ale część jej powiązana jest ze ścianą komórkową, gdzie spełnia rolę ochronną przeciw wpływom otoczenia. Także w przypadku trehalozy, rozkład w pierwszych godzinach fermentacji powoduje obniżenie jej zawartości, a następnie zaczyna się jej tworzenie i odkładanie w komórkach, przebiegające tym szybciej i intensywniej, im wyższa jest temperatura (176).

Węglowodany zapasowe, a w szczególności glikogen, mają wielkie znaczenie dla drożdży. Komórka drożdżowa może te zapasy uruchamiać w każdej chwili, gdy kończy się dopływ substancji odżywczych z zewnątrz. Dzięki temu jest ona w stanie pokryć swe zapotrzebowanie energetyczne i utrzymywać stale w biegu podstawowe dla życia procesy przemiany materii. Dotyczy to szczególnie końcowego okresu leżakowania piwa w tanku oraz przechowywania gęstwy drożdżowej do czasu nastawienia następnej fermentacji.

4.1.2.5 Przemiany substancji mineralnych

Spośród substancji mineralnych drożdże potrzebują przede wszystkim fosforu i siarki, a ponadto niewielkich ilości jonów różnych metali.

Fosfor pobierany jest w postaci fosforanów i pochodzi ze słodu. W brzeczkach z dobrze rozluźnionych słodów jest zawsze w wystarczającej ilości. Drożdżom fosfor potrzebny jest do:

- budowy ATP (patrz rozdz. 4.1.2.2.2),
- tworzenia fosfolipidów niezbędnych w podwójnej błonie komórkowej,
- buforowania treści komórki przeciw większym zmianom pH.

Niedobór fosforu powoduje:

- zakłócenia w przebiegu fermentacji oraz
- ograniczenie rozmnażania komórek drożdżowych.

Siarka pobierana jest przez drożdże w postaci nieorganicznych siarczanów, ale także w formie siarkowych aminokwasów (metionina, cysteina). Oddzielona grupa SO_2 wchodzi następnie do komórkowej przemiany aminokwasów. Nawet gdy wzrost liczby komórek zostanie zahamowany, tworzony dalej SO_2 jest wydzielany do otoczenia, aż do chwili, gdy po całkowitym zatrzymaniu przemiany materii zahamowane zostanie także jego wytwarzanie (181).

Wytwarzanie SO_2 jest hamowane przez czynniki aktywujące rozmnażanie drożdży, jak np.:

- mocne napowietrzanie brzeczki nastawnej,
- kilkakrotne dodawanie „wysokich krążków", czyli drożdży w fazie burzliwej fermentacji,
- użycie do nastawienia fermentacji drożdży aktywnych, bogatych w glikogen.

Zwiększone ilości dwutlenku siarki powstają przy podwyższonej temperaturze fermentacji, długim leżakowaniu piwa i niewłaściwym napowietrzaniu brzeczki.

Ważne jest, że aldehyd octowy razem z SO_2 może opóźniać starzenie się piwa, tworząc związki karbonylowe. Dzięki temu można powiedzieć, że wytwarzany podczas fermentacji SO_2 wpływa korzystnie na stabilność smaku piwa.

Warto tu nadmienić, że w wielu krajach stosuje się dodatek siarczynów do piwa jako sposób stabilizacji smaku (w Niemczech jest to zabronione).

W przemianach związków siarkowych, obok tworzenia siarczynów, ważną, ale negatywną rolę odgrywa powstawanie *siarczków*, a w szczególności siarczku dwumetylu, DMS (patrz nast. rozdz.).

- *Potas* odgrywa szczególnie ważną rolę w przemianie węglowodanów i jest niezbędny dla przebiegu reakcji, w których bierze udział ATP. Duże znaczenie ma także jego rola w regulacji pH przez wymianę powstających jonów wodoru na jony potasu („pompa jonowa").
- *Sód* aktywuje enzymy; jednocześnie odgrywa on ważną rolę w transporcie składników odżywczych przez błony komórkowe.
- *Magnez* jest bardzo istotny dla właściwego przebiegu reakcji z fosforem, przede wszystkim tych, które zachodzą podczas fermentacji. W tej roli żadne inne jony nie mogą go zastąpić.
- *Wapń* opóźnia degenerację drożdży i ułatwia ich flokulację, czyli tworzenie kłaczków; niedostatek wapnia może być zastąpiony przez mangan lub magnez.
- *Żelazo i mangan* są ważnymi mikroelementami, odgrywającymi istotną rolę w procesach oddychania i pączkowania drożdży.
- *Cynk* wpływa na procesy syntezy białek i jest ważnym mikroelementem dla właściwego przebiegu fermentacji. Zapotrzebowanie na ten pierwiastek wynosi około 0,1 do 0,15 mg Zn/litr brzeczki. Cynk jest mikroelementem, którego niedobór w brzeczce często może

występować, bo większość pozostaje w młócie słodowym. Niektóre browary muszą więc pamiętać o uzupełnianiu tego pierwiastka, aby ich drożdże nie odczuwały braku (patrz rozdz. 3.2.1.7).

Azotany nie są wykorzystywane przez drożdże, lecz są przez nie redukowane do azotynów. Natomiast azotyny są dla drożdży trujące, hamują ich rozmnażanie i fermentację. Azotany pochodzą głównie z wody produkcyjnej. Intensywne nawożenie azotowe pól położonych w pobliżu źródeł wody, z których czerpie browar, może prowadzić do podwyższonej zawartości azotanów w wodzie. Dla drożdży zagrożeniem jest już 20 mg azotanów w litrze wody.

Dodawanie związków mineralnych do brzeczki, jako pożywki dla drożdży jest przez niemieckie „Reinheitsgebot", czyli prawo czystości składu piwa, zabronione. Natomiast w przemyśle drożdżowym, przy intensywnym napowietrzaniu i wzbogacaniu podłoża w sole amonowe i fosforowe, uzyskuje się bardzo bogate przyrosty biomasy drożdży. Wniosek z tego jest taki, że drożdże są wówczas zdolne tworzyć wystarczające ilości nowych substancji komórkowych, gdy mają zapewniony stały dopływ dostatecznych ilości odpowiednich substancji odżywczych, a przede wszystkim tlenu.

4.1.3 Powstawanie i przemiany ubocznych produktów fermentacji

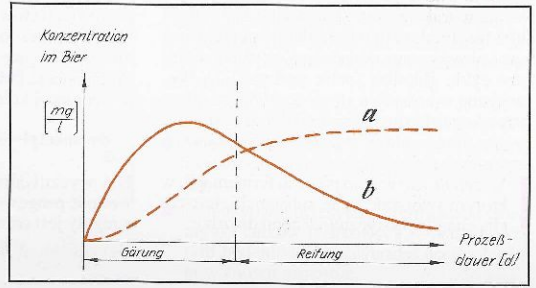
Szereg produktów przemiany materii u drożdży, wytwarzanych podczas fermentacji, przechodzi do piwa. Niektóre z tych substancji reagują między sobą lub też ulegają zmianom pod względem ilości i składu chemicznego. Te uboczne produkty fermentacji mają bardzo duży wpływ na jakość piwa. Trzeba więc rozpatrywać metabolizm drożdży w powiązaniu z tworzeniem i przemianami ubocznych produktów fermentacji. Jeśli mimo to będziemy te substancje traktować oddzielnie, to głównie dlatego, że piwowar musi przez odpowiednie zabiegi technologiczne starać się utrzymywać ich zawartość w piwie na optymalnym poziomie.

W związku z powyższym, rozpatrzymy osobno powstawanie i przemiany ubocznych produktów fermentacji, takich jak:

- dwuacetyl,
- alkohole wyższe,
- estry,
- aldehydy,
- związki zawierające siarkę.

Należy tu rozróżnić (rys. 4.3):

- *Substancje tworzące bukiet młodego piwa (dwuacetyl, aldehydy, związki zawierające siarkę)* – nadają one piwu niemiły, nieczysty, niedojrzały, nieharmonijny smak i zapach, a przy większej zawartości obniżają wyraźnie jakość produktu. Podczas fermentacji i dojrzewania mogą one w wyniku przemian biochemicznych zostać z piwa usunięte. Dojrzewanie piwa ma to właśnie na celu.
- *Substancje tworzące bukiet piwa (wyższe alkohole i estry)* – tworzą one głównie aromat piwa, a ich obecność w określonych ilościach jest nieodzowną cechą charakteryzującą piwa szlachetne. W odróżnieniu od bukietu piwa młodego, tych składników aromatu metodami technologicznymi z produktu usunąć nie można.



Rys. 4.3
Zmiany stężenia produktów ubocznych w piwie podczas fermentacji i dojrzewania
a) składniki aromatu,
b) składniki bukietu piwa młodego

4.1.3.1 Dwuacetyl (dwuketony pokrewne lub ściślej: „dwuketony o sąsiadujących grupach ketonowych")

Dwuacetyl jest najważniejszym ze składników bukietu piwa młodego. W ilościach przekraczających próg wyczuwalności nadaje on piwu nieczysty, słodkawy, czasem nawet odpychający smak, przypominający aromat masła. Wobec tego, że również pentanodion oddziałuje w ten sam sposób, mimo znacznie wyższego progu wyczuwalności smakowej, nazwano obydwa te związki dwuketonami pokrewnymi, gdyż mają budowę dwuketonów, o położonych jedna obok drugiej grupach ketonowych:

Dwuacetyl $H_3C-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_3$

2,3-pentanodion $H_3C-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-C_2H_5$

Rozkład tych związków – dwuketonów pokrewnych – zachodzi podczas dojrzewania piwa, równolegle do innych procesów o podobnym znaczeniu dla jakości produktu. Zawartość dwuketonów (dwuacetylu) uznano za kryterium stopnia dojrzałości piwa.

Powstawanie i rozkład dwuketonów pokrewnych przebiega w trzech etapach.

1 etap: tworzenie prekursorów

Drożdże w swym procesie przemiany materii wytwarzają tylko prekursory dwuketonów pokrewnych. Nie mają one smaku ani zapachu i w piwie trudno je wykryć. Prekursory te powstają w trakcie syntezy aminokwasów przez drożdże. Punktem wyjścia dla tej syntezy jest kwas pirogronowy powstający w jednym z etapów cyklu glikolizy (patrz rozdz. 4.1.1). Wytwarzane w kolejnym etapie acetomleczany są przez komórki drożdżowe wydzielane do otoczenia. Tworzenie ich zależy od następujących czynników (34):

***Szczep drożdży*:** etap procesu fermentacji, w którym tworzone są te substancje, jest cechą charakterystyczną szczepu drożdży.

***Dawka drożdży*:** zwiększona dawka drożdży powoduje intensywniejsze wytwarzanie acetomleczanów. Jednak większa dawka drożdży powoduje także szybszy i intensywniejszy ich rozkład.

***Tlen*:** obecność tlenu powoduje zwiększenie wytwarzania acetomleczanów przez drożdże.

Wpływ powyższych czynników nie jest jednak tak duży, aby przez odpowiednie zabiegi technologiczne nie można było skutecznie ograniczyć wytwarzania tych związków przez drożdże.

2 etap: przemiany prekursorów

Z acetomleczanów powstają dwuketony pokrewne, dwuacetyl i pentanodion, poza komórką drożdżową i niezależnie od niej, na drodze oksydatywnej dekarboksylacji. Ta przemiana zachodzi stosunkowo łatwo. Korzystne dla niej są następujące czynniki:

***Obniżenie wartości pH*:** przy wartościach między 4,2 i 4,4 przemiana zachodzi najszybciej. Wzrost wartości pH wpływa hamująco.

***Podwyższenie temperatury*:** ogrzanie powoduje szybszą przemianę.

***Dopływ tlenu*:** kontakt piwa z powietrzem i rozpuszczenie tlenu prowadzi do szybkiej przemiany prekursorów w pokrewne dwuketony.

Przemiana prekursorów w ich pokrewne dwuketony ogranicza szybkość dojrzewania piwa.

3 etap: redukcja dwuketonów

Dwuacetyl i pentanodion, powstałe podczas fermentacji głównej, mogą w dalszych etapach być przetworzone przez drożdże na substancje nie wpływające negatywnie na smak piwa. Przemiana ta polega na redukcji i przebiega w następującej kolejności:

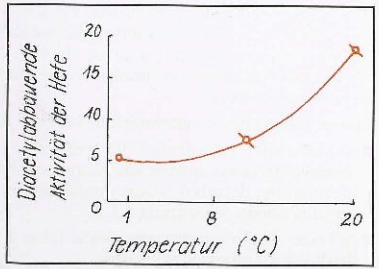
dwuacetyl → acetoina → butanodiol

Dla wyczuwalności smakowej butanodiolu wartość progowa leży tak wysoko, że w piwie z reguły jest on sensorycznie niewykrywalny.

Redukcję dwuacetylu ułatwiają następujące czynniki:

- obecność aktywnych drożdży w czasie dofermentowania i dojrzewania piwa. Aktywność reduktazy dwuacetylu u świeżo dodanych, energicznie fermentujących drożdży może być kilkakrotnie większa;
- odpowiedni szczep drożdży, odznaczający się dobrą zdolnością redukcji dwuacetylu. Zwykle jednak różnice pod tym względem są małe;
- temperatura ma duży wpływ na proces redukcji dwuacetylu, który przy jej podwyższeniu ulega dużej intensyfikacji (rys. 4.4);
- zwiększenie liczby komórek drożdżowych, pozostających w zawiesinie w dojrzewającym piwie, przyśpiesza redukcję;
- redukcja dwuacetylu jest przyspieszana przez dobry kontakt drożdży z dojrzewającym piwem. Poprawia go wszystko to co opóźnia osadzanie się drożdży na dnie tanku, a więc przepompowanie, zmniejszanie ciśnienia w tanku itp.;
- dodawanie świeżych drożdży w pełni aktywnych z fermentacji głównej do piwa dojrzewającego, czyli dodawanie „wysokich krążków", przyśpiesza redukcję dwuacetylu.

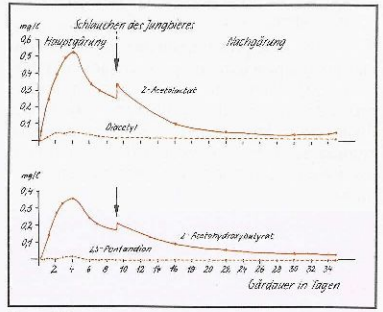
Acetomleczany są prekursorami pokrewnych dwuketonów. Ilość tych ostatnich w powstającym piwie zależy od ilości prekursorów (111).



Rys. 4.4

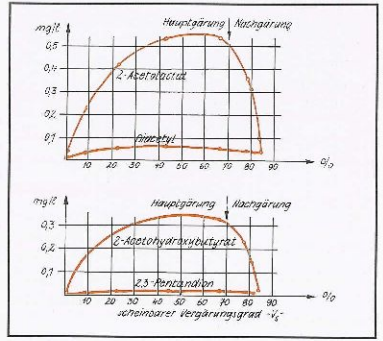
Wpływ temperatury na redukcję dwuacetylu przez drożdże

Pokazuje to wyraźnie przebieg krzywych na rysunkach 4.5 i 4.6:



Rys. 4.5

Zawartość dwuketonów i ich prekursorów (acetomleczanów) w zależności od czasu trwania fermentacji i dojrzewania piwa (97)



Rys. 4.6

Zawartość dwuketonów i ich prekursorów w zależności od pozornego stopnia odfermentowania piwa (97)

- W pierwszych dniach fermentacji głównej zawartość acetomleczanów mocno przyrasta,
- jeśli piwo jest przesyłane z fermentacji głównej do tanków leżakowych i zostanie przy tym natlenione, to zawartość acetomleczanów znowu wzrośnie,

- podczas dofermentowania i dojrzewania piwa zawartość dwuketonów i ich prekursorów w wyniku dalszych przemian wydatnie maleje.

Trzeba zwrócić przy tym uwagę, że każdy kontakt piwa z powietrzem, powodujący rozpuszczanie się tlenu w fermentującym produkcie, prowadzi zawsze do zwiększenia zawartości dwuacetylu, który będzie później musiał być zredukowany przez drożdże podczas dofermentowania, czyli fermentacji wtórnej i dojrzewania piwa.

Wnioski dotyczące prowadzenia fermentacji

- Zawartość dwuacetylu (dwuketonów) można traktować jako kryterium oceny stopnia dojrzałości piwa. Ciągłe dążenie do skracania czasu trwania fermentacji i dojrzewania piwa, powoduje rosnące znaczenie tej metody kontroli dojrzałości produktu.
- Acetomleczan powinien być jak najszybciej przetwarzany na dwuacetyl (dwuketony), czemu służy sprawna, nieprzerwana fermentacja, niemal aż do stopnia odfermentowania końcowego, niskie pH, unikanie wszelkiego kontaktu z tlenem po nastawieniu oraz fermentacja i dojrzewanie piwa przy podwyższonych temperaturach (nawet do 18°C przy dojrzewaniu piw dolnej fermentacji).
- Dojrzewanie piwa wymaga obecności aktywnych, żywotnych komórek drożdżowych. Przez odpowiednie zabiegi trzeba utrzymywać wystarczającą liczbę komórek w zawiesinie i przeciwdziałać ich osiadaniu.

Zawartość dwuacetylu w dojrzałym piwie nie może przekraczać 0,1 mg/l.

4.1.3.2 Aldehydy

Wśród aldehydów w piwie najważniejszy jest aldehyd octowy, powstający w toku fermentacji alkoholowej jako jeden z produktów pośrednich (patrz schemat fermentacji). W ciągu pierwszych trzech dni fermentacji drożdże wydzielają go do piwa młodego. Aldehyd octowy jest przyczyną charakterystycznego smaku piwa młodego, zwanego także smakiem piwnicznym.

W późniejszym okresie fermentacji i podczas dojrzewania piwa zawartość aldehydu octowego zmniejsza się wydatnie, co jest wynikiem zachodzących przemian. Dzięki temu zanikają również niekorzystne cechy smakowe, charakterystyczne dla piwa młodego.

W młodym piwie zawartość aldehydu octowego waha się między 20 a 40 mg/l, by następnie obniżyć się do 8 lub 10 mg/l w piwie gotowym.

Zawartość aldehydu w piwie zwiększają:

- intensywna fermentacja,
- podwyższona temperatura fermentacji głównej,
- zwiększona dawka drożdży,
- fermentacja główna pod zwiększonym ciśnieniem,
- zbyt słabe natlenienie brzeczki oraz infekcje.

Przemiany usuwające wytworzony aldehyd są wspierane przez:

- wszystkie zabiegi zwiększające intensywność dofermentowania i dojrzewania piwa,
- podwyższenie temperatury dojrzewania piwa,
- dobre napowietrzanie brzeczki nastawnej,
- podwyższoną liczbę komórek drożdży w zawiesinie podczas dojrzewania piwa.

4.1.3.3 Alkohole wyższe

W przeciwieństwie do dwuketonów i aldehydów, należących do niekorzystnych dla smaku składników piwa młodego, wyższe alkohole, czyli **„fuzle"** zaliczane są do elementów bukietu piwa gotowego.

Istnieje kilka dróg powstawania alkoholi:

- drożdże produkują alkohole wyższe z obecnych w brzeczce aminokwasów, przez ich deaminację, dekarboksylację i redukcję, co już omówiono w rozdziale 4.1.2.3,
- wyższe alkohole mogą powstawać także z hydroksykwasów i ketokwasów,
- alkohole wyższe mogą powstawać także z cukrów, przy czym substancją pośrednią jest octan.

Alkohole wyższe powstają przede wszystkim podczas fermentacji głównej. W tym okresie wytwarza się ponad 80% ich ogólnej ilości. Przyrost w czasie leżakowania piwa jest już niewielki. Zawartości raz powstałych alkoholi wyższych nie można już obniżyć zabiegami technologicznymi. Wpływ piwowara na ten ważny element bukietu piwa ograniczony jest do odpowiedniego kierowania przebiegiem fermentacji głównej.

Czynniki wpływające na zawartość alkoholi wyższych w piwie.

Zwiększenie wytwarzania wyższych alkoholi powodują:

- podwyższona temperatura fermentacji głównej,
- mieszanie i przepompowywanie młodego piwa,
- niska zawartość azotu alfa-aminowego w brzeczce,
- intensywne napowietrzanie brzeczki nastawnej,
- obfite stosowanie dodatku drożdży w fazie logarytmicznego wzrostu do dojrzewającego piwa (dodawanie „wysokich krążków"),
- stosowanie temperatur nastawienia fermentacji powyżej 8°C,
- fermentowanie brzeczek o zawartości ekstraktu powyżej 13%.

Powstawanie wyższych alkoholi hamowane przez:

- podwyższoną dawkę drożdży nastawnych,
- niższe temperatury nastawiania fermentacji,
- niższe temperatury prowadzenia fermentacji głównej,
- stosowanie ciśnienia już przy zafermentowaniu,
- unikanie kontaktu z powietrzem po nastawieniu fermentacji,
- wystarczającą ilość wolnych aminokwasów w brzeczce nastawnej.

Zawartość wyższych alkoholi przekraczająca 100 mg/l wpływa ujemnie na smak piwa.

W pełnym piwie jasnym normalna zawartość wyższych alkoholi wynosi od 60 do 90 mg w litrze.

4.1.3.4 Estry

Estry są najważniejszymi składnikami aromatu i bukietu piwa, decydująco wpływającymi na jego charakter. Jednak zbyt wysoka zawartość estrów może być powodem nieprzyjemnego, gorzko-owocowego smaku piwa.

Estry tworzą się podczas fermentacji w wyniku estryfikacji kwasów tłuszczowych, a także przez estryfikację alkoholi wyższych.

Zawartość estrów wzrasta przede wszystkim podczas intensywnej fermentacji. Dalszy ich przyrost podczas dojrzewania piwa zależy od przebiegu dofermentowania i przy długim jego okresie może nastąpić nawet podwojenie zawartości estrów w produkcie gotowym.

W piwie wykryto około 60 różnych estrów, ale z tej liczby tylko jedna dziesiąta odgrywa znaczącą rolę w kształtowaniu się smaku piwa. Są to:

- octan etylu,
- octan izoamylu,
- octan izobutylu,
- octan beta-fenylu,
- kapronian etylu,
- kaprylan etylu.

Zawartość estrów zależy od rodzaju piwa i ekstraktu brzeczki podstawowej.
Piwa górnej fermentacji zawierają do 80 mg estrów w litrze. Piwa dolnej fermentacji zawierają zwykle do 60 mg estrów/litr.
Często jednak nie mamy jasnego poglądu, czy wolelibyśmy mieć trochę więcej czy mniej estrów w naszym piwie.
Większa zawartość ekstraktu w brzeczce nastawnej wpływa zdecydowanie na zwiększenie zawartości estrów w piwie, natomiast z większą wysokością tanków fermentacyjnych wiąże się mniejsza zawartość estrów, gdyż duże ciśnienia hydrostatyczne, będące wynikiem tej wysokości, zwiększają rozpuszczanie i zawartość dwutlenku węgla w produkcie (33).

na tworzenie estrów wpływa także dostępność tlenu na początku fermentacji dla drożdży, co poza ich oddychaniem ma także związek z syntezą tłuszczów. Tak długo jak tworzone są kwasy tłuszczowe, zahamowana jest synteza estrów. Powstawanie estrów jest więc procesem złożonym, na którego przebieg niełatwo wpływać. Niemniej jednak następujące czynniki mają wpływ na tworzenie estrów:

Na zwiększenie powstawania estrów wpływają:
- wyższa niż 13% zawartość ekstraktu w brzeczce nastawnej,
- zwiększenie stopnia odfermentowania piwa,
- słabsze napowietrzanie brzeczki nastawnej,
- wyższe temperatury fermentacji,
- energiczny ruch i mieszanie podczas fermentacji i dojrzewania piwa.

Wpływ na zmniejszenie powstawania estrów mają:
- niskie stężenia brzeczki,
- niski stopień odfermentowania piwa,
- zwiększenie napowietrzania brzeczki nastawnej,
- niskie temperatury fermentacji,
- wzrastające ciśnienie podczas fermentacji.

W piwach górnej fermentacji, a w szczególności przy zastosowaniu specjalnych drożdży do produkcji piwa pszenicznego (Weizenbier), tworzą się pewne składniki nadające charakterystyczny aromat tym piwom. Należy do nich na przykład gwajakol 4-winylowy i inne związki, które będą szerzej omówione w rozdziale 7.3.1.2.

4.1.3.5 Związki zawierające siarkę

W toku przemiany drożdży powstają lotne połączenia siarki, które jak H_2S, merkaptany i inne, już w bardzo małych ilościach wywierają wyraźny wpływ na smak i zapach piwa.

Po przekroczeniu progu wyczuwalności smakowej związki te nadają produktowi niemiły, nieczysty smak piwa młodego.

Pogorszenie smaku piwa przez lotne związki siarki może być również wynikiem infekcji brzeczki termofilnymi bakteriami, które też wytwarzają te połączenia jako produkty uboczne swego metabolizmu.

Siarkowodór powstaje podczas fermentacji z aminokwasów zawierających siarkę. Niedobór lub brak w brzeczce niezbędnych dla drożdży substancji wzrostowych może prowadzić do zwiększonego wytwarzania H_2S.

Siarkowodór jest bardzo lotny i dzięki temu w ogromnej większości jest usuwany z wydzielającym się podczas fermentacji i dojrzewania piwa dwutlenkiem węgla. Skuteczność usuwania siarkowodoru wzrasta:
- ze wzrostem temperatury fermentacji i
- ze zwiększeniem wysokości słupa cieczy w tanku.

Chemiczne i biochemiczne przemiany H_2S w piwie należy rozpatrywać jako istotny czynnik w procesie fermentacji i dojrzewania produktu.

Merkaptany są tioalkoholami. Są to związki, w których grupa -OH alkoholu została zastąpiona przez grupę -SH. Należą one do substancji najbardziej szkodliwych dla aromatu piwa. Są one także w części odpowiedzialne za tzw. smak świetlny piwa.

Zawartość merkaptanów wzrasta w początkowych okresach fermentacji, a pod koniec maleje.

Siarczek dwumetylu (DMS)

Przy ciepłej fermentacji zwykle zostaje usunięte z dwutlenkiem węgla więcej DMS niż przy fermentacji zimnej. Zastosowanie ciśnienia hamuje usuwanie DMS. W miarę przedłużającego się leżakowania zawartość DMS lekko wzrasta. Ogólnie biorąc – ilość DMS, która była w brzeczce nastawnej, odnajduje się bez większych zmian w gotowym piwie.

4.1.3.6 Kwasy organiczne

Większość kwasów organicznych, które występują w piwie, pochodzi z deaminacji aminokwasów przez drożdże. Rozwijające się komórki drożdżowe wykorzystują z aminokwasów ich grupę aminową -NH_2, która służy im do budowy ich własnych białek komórkowych, a utworzone w ten sposób, pozbawione grupy aminowej kwasy organiczne pozostają w piwie. Daje to w rezultacie, obok wyższych alkoholi, które powstają w podobnym cyklu przemian, także szeroką paletę kwasów organicznych, które wraz z nimi składają się na bukiet i smak piwa.

4.1.3.7 Kryteria oceny zawartości substancji tworzących aromat piwa (według Miedanera)

Składnik aromatu	Normalna zawartość mg/l	Próg wyczuwalności mg/l	Wrażenie zapachowo-smakowe
Alkohole wyższe:			
n-propanol	5-20	10-(200)	alkohol
izobutanol	10-20	10-(65)	alkohol, rozpuszczalnik
alkohol izoamylowy	35-70	30-(70)	alkohol, banany
dwufenyloetanol	10-20	28-(125)	róże
	30-50		(w piwie pszenicznym)
Estry:			
octan etylu	5-30	25-30	owoce, landrynki
octan izobutylu	0,1	0,4-(1,6)	owoce, banany
octan izoamylu	0,5-2,5	1-1,6	owoce, banany
maślan etylu	0,3	0,4	papaja, jabłko
kapronian etylu	0,1-0,3	0,12-0,23	jabłko, owoce
dodekanian etylu	0,02	3,5	mydlany, estrowy
mleczan etylu	0,1-0,5	250	owoce, truskawki
	0,4-0,8		(przy kwaszeniu biol.)
Kwasy organiczne:			
kwas masłowy	0,2-0,6	1,2-2,2	serowy, zjełczały
kwas izowalerianowy	0,5-1,2	1,5-1,6	ser, stary chmiel
kwas oktanowy	3-10	10-13	olej
kwas dekanowy	0,8	10	zjełczały
kwas dodekanowy	0,1-0,5	6	mydlany
Inne związki:			
dwuacetyl	0,1	0,10-0,15	słodkawy, odrażający
acetoina	3	8-20	owocowy
siarczek dwumetylu (DMS)	0,03-0,12	0,10-0,12	warzywa, stęchły

Możliwości wpływania na powstawanie i rozwój produktów ubocznych fermentacji, takich jak aldehydy i związki siarkowe, opierają się w zasadzie na podobnych zabiegach technologicznych jak te, które stosowane są dla ograniczania zawartości dwuacetylu i pentandionu. Fermentacja i dojrzewanie piwa muszą być tak prowadzone, aby gwarantowały określoną zawartość substancji tworzących bukiet gotowego produktu.

Zawartość estrów w gotowym piwie zależy głównie od jakości brzeczki nastawnej, natomiast na zawartość wyższych alkoholi wpływa bardziej sposób prowadzenia procesów fermentacji i dojrzewania.

4.1.4 Inne procesy i przemiany podczas fermentacji

Poza tworzeniem ubocznych produktów zachodzą podczas fermentacji liczne procesy i przemiany, bardzo istotne dla jakości piwa. Należą do nich:

- zmiany w składzie chemicznym ciał białkowych,
- obniżanie się wartości pH,
- zmiany potencjału oksydoredukcyjnego piwa,
- pojaśnienie barwy piwa,
- wytrącanie garbników i żywic chmielowych,
- rozpuszczanie CO_2 w piwie,
- klarowanie piwa.

4.1.4.1 Zmiany w składzie chemicznym ciał białkowych

Podczas fermentacji i dojrzewania piwa drożdże wydalają część swych ciał białkowych w postaci aminokwasów i niskocząsteczkowych peptydów z powrotem do otoczenia. Procesy te można ująć jako dwa odrębne etapy:

pierwszy stopień tych przemian to procesy wydalania związków azotowych z komórki zachodzące po zakończeniu fermentacji głównej.

Po wyczerpaniu zapasów substancji odżywczych w brzeczce drożdże żyją, ale ich procesy życiowe są osłabione. Komórka wydziela substancje białkowe przyczyniające się do zaokrąglenia smaku piwa. Są to aminokwasy i peptydy, witaminy, fosfoproteiny, glikoproteiny i enzymy. Towarzyszą temu zmiany smakowe, które trzeba rozpatrywać jako ważną część procesu dojrzewania piwa. W świetle powyższego zbyt wczesne całkowite oddzielenie drożdży od piwa może dawać pusty w smaku i „suchy" produkt, mimo długiego nawet okresu leżakowania.

Drugi stopień tych przemian stanowią nieodwracalne procesy autolizy substancji komórkowych, zachodzące w wyniku działania własnych enzymów drożdży w zamierających i martwych komórkach.

Proces samotrawienia się, czyli autolizy komórek drożdżowych (patrz rozdz. 4.4.4) powoduje wyraźne pogorszenie jakości piwa przez:

- wystąpienie obcego, drożdżowego lub kreozotowego smaku,
- wzrost wartości pH w wyniku wydzielania zasadowych aminokwasów,
- pogorszenie barwy piwa,
- osłabienie trwałości biologicznej i koloidalnej,
- zmniejszenie trwałości piany,
- pogorszenie charakteru goryczy, która staje się pozostająca,
- wzrost zawartości dwuacetylu w wyniku osłabienia jego redukcji,
- zwiększenie podatności na infekcję szkodliwymi drobnoustrojami,
- zmniejszona stabilność smaku w wyniku osłabionej redukcyjności,
- trudności przy filtracji produktu.

Ciałka białkowe drożdży, rozpuszczane w procesie autolizy komórek, trafiają do piwa w 70% w postaci wolnych aminokwasów, dzięki czemu, kontrolując systematycznie zawartość azotu aminowego (FAN) w piwie, można wykryć początek tego niekorzystnego zjawiska.

4.1.4.2 Obniżanie się wartości pH

Wartość pH podczas fermentacji znacznie się obniża, a mianowicie:

- pH brzeczki nastawnej wynosi 5,3 do 5,6, a przy biologicznym kwaszeniu zacieru waha się od pH 5,0 do 5,3;
- w piwie wartość pH wynosi 4,2 do 4,6.

Największe obniżenie wartości pH ma miejsce podczas zafermentowania oraz fazy logarytmicznego przyrostu komórek drożdży. Przyczyną tego zjawiska są:

- przemiany prowadzące do tworzenia kwasów przez deaminację,
- zużycie rozpuszczonych w brzeczce fosforanów przez drożdże,
- pobieranie jonów amonowych przez drożdże,
- pobieranie jonów potasowych przez drożdże i uwalnianie jonów wodorowych do piwa.

Podczas fermentacji wartość pH obniża się jeszcze trochę, ale proces ten zachodzi powoli, a w końcu ustaje i pH pozostaje na stałym poziomie.

Wzrost wartości pH wskazuje na początek autolizy drożdży.

Wartość pH ma istotny wpływ na jakość piwa. Staramy się utrzymać ją na poziomie pomiędzy 4,2 do 4,4. Wartość pH poniżej 4,4 jest korzystną dla:

- wytrącania koloidalnych połączeń białkowo-garbnikowych,
- szybkości dojrzewania piwa,
- doskonalenia smaku piwa,
- poprawy biologicznej trwałości piwa.

Niższe wartości pH, zwłaszcza przekraczające 4,1 i poniżej, powodują kwaśny smak piwa, czego należy unikać. Wykluczyć należy także zakwaszanie piwa podczas fermentacji i dojrzewania, będące wynikiem infekcji bakteryjnych.

Czynniki wpływające na obniżenie pH piwa:

- zmiękczanie wody produkcyjnej (alkaliczność resztkowa poniżej 5°),
- biologiczne zakwaszanie zacieru i brzeczki,
- zabiegi mające na celu podwyższenie stopnia odfermentowania,
- mała różnica między stopniem odfermentowania piwa gotowego a oznaczonym wcześniej końcowym stopniem odfermentowania,
- unikanie procesów autolizy drożdży,
- jakość brzeczki i zabiegi zapewniające dobry rozwój drożdży,
- zabiegi zapewniające dobrą intensywność fermentacji (wyższe temperatury, większe dawki drożdży).

4.1.4.3 Zmiany potencjału oksydo-redukcyjnego w piwie

Pod pojęciem warunków oksydoredukcyjnych lub potencjału oksydoredukcyjnego rozumiemy układ sił istniejący w roztworze pomiędzy substancjami redukującymi a utleniającymi. Podczas fermentacji brzeczki do piwa następuje znaczny wzrost sił redukujących. Wzrost redukcyjności wiąże się na początku fermentacji ze zużywaniem przez drożdże tlenu rozpuszczonego w brzeczce.

Jako miarę stosunków oksyredukcyjnych w piwie stosowano:

- wartość rH (ujemny logarytm ciśnienia cząstkowego wodoru),
- wartość ITT (Indikator Time Test wg Gray i Stone), a także
- zawartość tlenu w piwie.

Wartość rH i wartość ITT podczas fermentacji mocno się obniżają:

	Wartość rH	Wartość ITT
Brzeczka	20-30	250-500
Młode piwo	8-12	70-200

Tlen zawarty w brzeczce nastawnej po zaszczepieniu jej drożdżami zostaje bardzo szybko zużyty przez rozmnażające się komórki. Piwo w tanku leżakowym zawiera od 0,00 do 0,01 mg O_2/litr. Zobaczymy jednak później, że na odcinku rozlewu trzeba wielu starań, aby utrzymać na tak niskim poziomie zawartość tlenu w piwie.

W procesie fermentacji i dojrzewania można utrzymać niskie wartości rH w piwie dzięki zastosowaniu:

- energicznej fermentacji w zamkniętych kadziach i tankach,
- wszelkich zabiegów wykluczających kontakt piwa z tlenem po nastawieniu fermentacji.

4.1.4.4 Zmiany barwy piwa

W pierwszych dniach fermentacji następuje rozjaśnienie barwy o około trzech jednostek EBC. Można to wytłumaczyć przez:

- odbarwienie niektórych substancji spowodowane obniżeniem pH,

- adsorpcję barwnych składników brzeczki na komórkach drożdżowych oraz ich wytrącanie się i gromadzenie w pianie lub w osadzie, na dnie kadzi.

4.1.4.5 Wytrącanie się ciał goryczkowych i garbników

Obniżenie pH podczas fermentacji powoduje, że cały szereg garbników i ciał goryczkowych, znajdujących się w piwie w postaci roztworu koloidalnego, osiąga okolicę swego punktu izoelektrycznego i wytrąca się jako substancje powierzchniowo czynne w banieczkach CO_2 w pianie lub przez adsorpcję na cząstkach osadu białkowego i komórkach drożdżowych.

Alfa-kwasy, nieizomeryzowane podczas gotowania brzeczki z chmielem, wypadają z roztworu, gdyż przy pH poniżej 5,0 i w temperaturach niższych od 10°C są mało rozpuszczalne.

Także część izohumulonów wytrąca się w pianie na powierzchni fermentującej brzeczki, gdyż jako substancje mocno powierzchniowo czynne łatwo są porywane przez banieczki CO_2 i unoszone ku górze.

Piana wytworzona na powierzchni fermentującego płynu, zawierająca wytrącone substancje, nazywana jest w browarze „krążkami". Przy fermentacji w otwartych kadziach piana ta jest zdejmowana pod koniec fermentacji głównej. W zamkniętych naczyniach fermentujących nie można tego dokonać i przy końcu fermentacji piana opada na dno tanku, przy czym część wytrąconych ciał goryczkowych ponownie przechodzi do roztworu.

W tankach cylindryczno-stożkowych trzeba pozostawiać co najmniej 20% wolnej przestrzeni na pianę.

Przy tradycyjnej metodzie fermentacji i dojrzewania piwa z ciał goryczkowych zawartych w brzeczce nastawnej, liczonych jako 100%

- **traci się 25 do 30% podczas fermentacji, z czego 70 do 80% podczas fermentacji głównej,**
- **przy bardzo ciepłym prowadzeniu fermentacji straty sięgają 50%.**

4.1.4.6 Zawartość CO_2 w piwie

Zawartość CO_2 jest jednym z najważniejszych kryteriów jakości piwa.

Dla dobrej piany i orzeźwiającego smaku piwo powinno zawierać od 0,45 do 0,50% CO_2.

Tylko około 15% powstającego w czasie fermentacji CO_2 pozostaje rozpuszczone w piwie. Większość ulatuje podczas trwania procesów fermentacji i dojrzewania piwa i przy zamkniętych tankach może być odzyskiwana.

Rozpuszczalność CO_2 w piwie zależy od temperatury i ciśnienia. Wzrasta ona w miarę obniżania temperatury i wzrostu ciśnienia (patrz rozdział 4.3.5.1).

4.1.4.7 Klarowanie i stabilizacja koloidalna piwa

W ostatniej fazie procesu dojrzewania ma miejsce klarowanie, poprawa filtracyjności i podwyższanie trwałości koloidalnej, czyli stabilności piwa (patrz rozdz. 4.6.2.2).

Miarą procesu klarowania piwa jest liczba pozostających w zawiesinie komórek drożdżowych. Przy wlocie do filtra nie powinna ona być większa niż $2 \cdot 10^6$ komórek w jednym mililitrze.

Na klarowanie piwa mają wpływ:

- **intensywne zafermentowanie i związany z tym duży spadek pH,**
- **zawartość beta-glukanu w piwie,**
- **ilość i rodzaj cząstek osadu w piwie,**
- **temperatura piwa** (właściwy moment głębokiego schłodzenia),
- **intensywność dofermentowania** (mieszanie piwa),
- **właściwa wartość pH piwa** (pH 4,2 do 4,4 ułatwia klarowanie),
- **kształt tanku leżakowego i wysokość słupa cieczy** (im niższy słup cieczy, tym lepsze klarowanie),
- **czas trwania okresu klarowania** (1 do 2 tygodni przy 0 do -1°C),
- **lepkość cieczy, tj. piwa.**

4.1.5 Wpływ różnych czynników na drożdże

Podczas propagacji drożdży, fermentacji i dojrzewania piwa oraz przechowywania gęstwy drożdżowej mogą występować czynniki działające niekorzystnie na komórki drożdży, ograniczające ich aktywność przemiany materii lub wręcz prowadzące do utraty żywotności. Czynniki te, nazywane stresującymi, powodują zakłócenia w procesie fermentacji (177). Należą do nich:

Zwiększona zawartość ekstraktu w brzeczce

Przy fermentacji brzeczek o podwyższonej zawartości ekstraktu występują nieraz zakłócenia w przebiegu procesu spowodowane wysokim stężeniem cukrów i niedostateczną ilością wolnych aminokwasów. Zahamowaną fermentację można ponownie ożywić tylko dodaniem świeżych drożdży, najlepiej w postaci fermentującej brzeczki z innego tanku w fazie „wysokich krążków", czyli logarytmicznego przyrostu komórek drożdżowych.

Zwiększona zawartość alkoholu

Przeciętną zawartość alkoholu, spotykaną w najpowszechniej produkowanych piwach dolnej fermentacji, tj. 4,7 do 5,0% objętościowych, drożdże znoszą bez żadnych problemów. Większość szczepów drożdży odfermentowuje dobrze również piwa o zawartości alkoholu 6 do 7% obj. Dopiero przy wyższych zawartościach alkoholu zaczynają się trudności.
Alkohol działa na przemianę materii i życie komórek drożdżowych w trojaki sposób:

- hamuje przyrost masy komórek,
- obniża żywotność komórek,
- hamuje fermentację.

W miarę zwiększania zawartości alkoholu w piwie stwierdzono występowanie istotnych zmian w ilości poszczególnych kwasów tłuszczowych wchodzących w skład fosfolipidowej błony komórkowej. Te zmiany mają negatywny wpływ na jakość produktu.

Mikroelementy

Zbyt niska zawartość cynku, spotykana w niektórych brzeczkach, może hamować normalny bieg fermentacji. Za dolną granicę, która jeszcze nie wywołuje negatywnych skutków, uważa się zawartość 0,12 mg Zn/l.

Wobec tego, że większość cynku pozostaje w młócie słodowym, trzeba czasem szukać sposobu, aby podwyższyć jego zawartość w brzeczce do niezbędnego poziomu (patrz rozdz. 3.2.1.7).

Zaopatrzenie drożdży w tlen

Aby rozmnażać się bez zahamowań, drożdże potrzebują także tlenu. W jego obecności tworzone są niezbędne lipidy i nienasycone kwasy tłuszczowe, potrzebne do budowy komórki. Brak napowietrzenia lub niedostateczne napowietrzenie brzeczki nastawnej powoduje:

- zubożenie drożdży w ww. substancje,
- przedwczesne zahamowanie rozwoju komórek,
- wydłużenie czasu fermentacji i jej zakłócenia,
- znaczne powiększenie udziału martwych komórek w populacji.

Kontrolowane zaopatrzenie drożdży w tlen na początku fermentacji jest więc bardzo ważne. Za minimum uważa się 8 do 10 mg O_2 w litrze brzeczki nastawnej. Dodany tlen zostaje całkowicie zużyty w ciągu pierwszych godzin fermentacji i nie wywiera żadnego wpływu na jakość piwa.

Niskie temperatury

Temperatury stosowane w dolnej fermentacji leżą wyraźnie poniżej optymalnych temperatur działania enzymów drożdży. Już podczas propagacji drożdży stosuje się temperatury coraz bardziej zbliżone do przyszłych temperatur fermentacji.
Przy przeniesieniu drożdży do znacznie zimniejszej brzeczki lub przy silnym schłodzeniu włącza się u nich natychmiast mechanizm „szokowej sekrecji", skutkiem czego wydzielane są do otoczenia aminokwasy i nukleotydy. Rozmnażanie komórek ulega spowolnieniu lub zupełnemu zahamowaniu i to samo dotyczy procesu fermentacji. Drożdże są bardzo wrażliwe na skoki temperatury ku dołowi (szok zimna).

Wyższe temperatury

Krótkotrwałe ogrzanie drożdży do 37-40°C powoduje tzw. szok gorący. Następuje przy tym wzmocnienie syntezy pewnych białek (177), ale po kilku godzinach wszystko wraca do normy. Ten zabieg nie znajduje zastosowania przy normalnym prowadzeniu procesu fermentacji.

Wyższe ciśnienie

Przy prowadzeniu fermentacji ciśnieniowej wytwarza się w tanku, za pomocą odpowiednich zaworów, nadciśnienie sięgające 1,8 bara. Powoduje to znaczny wzrost zawartości CO_2 w piwie. Stresująco na drożdże działa przy tym nie podwyższone ciśnienie statyczne, lecz zwiększone ciśnienie cząstkowe CO_2 w piwie.

Podwyższona zawartość CO_2 hamuje proces odtwarzania substancji komórkowych drożdży, jakkolwiek ich rozkład także jest spowolniony, ale nie w tym stopniu. Dzięki temu, przy podwyższonym ciśnieniu można prowadzić fermentację w wyższych temperaturach, nie ryzykując zbyt dużego nagromadzenia w piwie wyższych alkoholi i estrów, będącego wynikiem intensywnego rozmnażania się drożdży.

Jak widać z powyższego, istnieje cały szereg czynników stresujących, które nawet przy względnie prawidłowo przebiegającej fermentacji, mogą wpływać na drożdże i w większym lub mniejszym stopniu zakłócać ich działanie.

4.1.6 Kłaczkowanie drożdży (flokulacja)

Pod koniec fermentacji głównej komórki drożdżowe zaczynają łączyć się w aglomeraty widoczne gołym okiem w postaci kłaczków, które znacznie szybciej niż pojedyncze komórki osiadają na dnie tanku (sedymentują). Nie wszystkie rasy drożdży posiadają tę właściwość w równym stopniu. W praktyce rozróżnia się:

- ***drożdże pyliste,*** które niemal wcale nie tworzą kłaczków oraz
- ***drożdże kłaczkujące,*** u których zdolność do tworzenia kłaczków jest mniej lub więcej zaakcentowana.

Zdolność kłaczkowania jest cechą dziedziczną szczepu drożdży, która jednak, w wyniku degeneracji danej populacji, może całkowicie zaniknąć.

Przyczyny i mechanizm procesu kłaczkowania nie są jeszcze dokładnie poznane. Wiadomo jednak, że zdolność do tworzenia kłaczków jest u drożdży:

- cechą genetyczną, przekazywaną za pośrednictwem co najmniej jedenastu genów (205),

oraz

- cechą, na którą mają wpływ określone czynniki środowiska, jak temperatura, jony wapniowe i inne, wartość pH, ciśnienie itp.

Nie ustalono jednak jeszcze, które czynniki są decydujące i jak powinny współdziałać ze sobą, aby wywołać tworzenie kłaczków. Istotną rolę odgrywa ściana komórkowa drożdży, której złożona struktura (patrz rozdz. 1.4.1) może ułatwiać lub utrudniać łączenie się komórek.

Piwowar tylko w niewielkim stopniu może wpływać na proces kłaczkowania.

Główną jego bronią jest dobór właściwej rasy drożdży.

Proces kłaczkowania może wystąpić raptownie lub stopniowo. Ma on znaczący wpływ na szereg wyników fermentacji, jak np.:

- osiągany stopień odfermentowania,
- zbiór drożdży,
- klarowanie się piwa,
- czasy trwania filtracji piwa, od przerwy do przerwy.

4.2 Hodowla czystych kultur drożdży

Ilość drożdży potrzebną do zapoczątkowania fermentacji można uzyskać z czystej kultury laboratoryjnej drogą propagacji.

Zasada hodowli czystych kultur drożdży polega na izolowaniu wybranych komórek o pożądanych cechach i namnażaniu ich w jałowych brzeczkach, w warunkach wykluczających zakażenie obcymi drobnoustrojami, aż do osiągnięcia ilości potrzebnej do nastawienia fermentacji.

W hodowli czystych kultur drożdży rozróżnia się trzy etapy:

1. ***uzyskanie i wyizolowanie odpowiednich komórek drożdżowych,***
2. ***rozmnażanie czystej kultury w laboratorium, aż do uzyskania 5 do 10 litrów brzeczki fermentującej pod pianą,***
3. ***propagacja drożdży w browarze, aż do uzyskania ilości potrzebnej do nastawienia fermentacji w kadzi lub w tanku.***

Zanim przejdziemy do szczegółów, trzeba jednak omówić zasady prowadzenia drożdży, czyli ich propagacji.

4.2.1 Zasady propagacji drożdży

Celem propagacji drożdży jest uzyskanie w możliwie krótkim czasie, w warunkach wykluczających zakażenie obcymi drobnoustrojami, odpowiedniej ilości drożdży nastawnych, o prawidłowej przemianie materii, zapewniających normalny przebieg fermentacji i dobrą jakość piwa. Właściwe prowadzenie namnażania drożdży i obchodzenie się z nimi ma dla osiągnięcia tego rezultatu podstawowe znaczenie.

Dla dobrego rozmnażania drożdży potrzebne są trzy czynniki: natlenienie brzeczki, dostatek wolnych aminokwasów i obecność związków mineralnych oraz mikroelementów.

Napowietrzanie brzeczki

Zaopatrzenie w odpowiednią ilość rozpuszczonego w brzeczce tlenu jest ważnym czynnikiem uaktywniającym proces rozmnażania drożdży. Dzięki oddychaniu uzyskują one znacznie więcej energii, co pozwala na aktywniejszą przemianę materii i budowanie nowych komórek. Duża zawartość cukrów w brzeczce utrudnia jednak oddychanie wymusza proces fermentacji (efekt Crabtree, p. rozdz. 4.2.1.1). W wyniku tego nie można ciągle zwiększać rozmnażania drożdży przez coraz intensywniejsze napowietrzanie brzeczki.

Wraz z budową nowych komórek zaczyna się intensywne tworzenie fosfoglicerydów stanowiących główny składnik w podwójnej warstwie błony komórkowej. W obecności tlenu część kwasów tłuszczowych przetwarzana jest w nienasycone kwasy tłuszczowe o niższym punkcie topienia, które umożliwiają lepszą wymianę substancji przez błonę komórkową.

Tlen jest wykorzystywany także w syntezie sterydów. Ich synteza jest związana z jednej strony ze wzrostem biomasy drożdży, z drugiej zaś ze wzbogaceniem komórek drożdżowych w glikogen.

Między syntezą lipidów a powstawaniem estrów istnieje odwrotna zależność: tak długo, jak w obecności tlenu tworzone są lipidy, zahamowane jest powstawanie estrów.

Aminokwasy, związki mineralne i mikroelementy

Znajdująca się w brzeczce ilość wolnych aminokwasów i związków mineralnych jest wystarczająca dla procesu fermentacji. Rozmnażanie drożdży w propagatorze wymaga jednak dużo większej ilości wolnych aminokwasów i związków mineralnych, koniecznych do budowy nowych komórek, wobec czego nawet przy bardziej intensywnym napowietrzaniu przyrost biomasy zatrzymuje się po osiągnięciu liczby około 100 milionów komórek w mililitrze, czynnik ograniczający stanowią tu przede wszystkim aminokwasy, których zawartość w normalnej brzeczce wynosi 200 do 240 mg/l, a w dodatku nie wszystkie (np. prolina) mogą być wykorzystane przez drożdże.

Wymagania stawiane brzeczce i drożdżom nastawnym

W stosunku do brzeczki nastawnej można sformułować następujące wymagania:

- brzeczka powinna wykazywać wobec jodu normalne scukrzenie,
- jej barwa i wygląd powinny odpowiadać typowi piwa,
- powinna zawierać 8 do 10 mg O_2 w litrze,
- powinna zawierać 200 do 230 mg wolnych aminokwasów (FAN) w litrze,
- powinna zawierać co najmniej 0,15 mg cynku w litrze,
- powinna wykazywać lepkość nie większą niż 1,7 mPa·s (w przeliczeniu na brzeczkę 10-proc.),
- powinna wykazywać pH od 5,0 do 5,2,
- brzeczka nie może zawierać żadnych drobnoustrojów zakażających.

Drożdże nastawne powinny pochodzić z czystej kultury szczepu, który zapewni piwu pożądane cechy sensoryczne. Ponadto drożdże powinny:

- wykazywać dobrą żywotność,
- nie zawierać obcych drożdży ani żadnych zakażeń,
- udział martwych komórek nie może być większy niż 3%,
- gęstwa drożdżowa powinna mieć konsystencję gęstej brei.

4.2.2 Pozyskiwanie i selekcja odpowiednich drożdży w praktyce

Do sporządzenia czystej kultury wykorzystuje się komórki takich drożdży, które się sprawdziły w praktyce jako dobre. Materiał do izolowania komórek pobiera się z kadzi fermentacyjnej lub tanku w fazie logarytmicznego wzrostu, czyli „wysokich krążków".

Po odpowiednim rozcieńczeniu dokonuje się izolacji pojedynczych komórek jedną ze znanych metod, np. metodą Lindnera, czyli „w wiszącej kropelce". Tak otrzymane jednokomórkowe kultury przechowuje się w temperaturze 8 do 10°C i obserwuje ich rozwój pod mikroskopem. Najenergiczniej rosnące wybiera się do dalszego rozmnażania i w sposób jałowy przenosi do pożywki płynnej. Jest to zwykle 5 ml sterylnej brzeczki, która po rozmnożeniu drożdży służy do zaszczepienia następnej, 10-krotnie większej poreji itd. aż do uzyskania potrzebnej ilości.

Czyste kultury, nie wykorzystywane bezpośrednio do produkcji, przechowuje się w laboratorium browaru na pożywce stałej, najczęściej na pożywce z agarem, na tzw. „skosach" w temperaturze od 0 do 10°C, pod warstwą jałowej parafiny oleistej, chroniącej przed wysuszeniem. Kultury można tak przechowywać do 6 miesięcy.

4.2.3 Prowadzenie drożdży w laboratorium browaru

Naczynie zawierające 5 ml sterylnej brzeczki, do którego przeniesiono kolonię drożdży otrzymaną z jednej komórki, stanowi pierwszy etap rozmnażania czystej kultury w laboratorium.

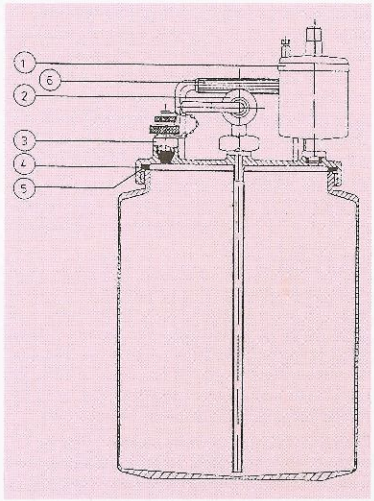
Dalsze rozmnażanie polega na przenoszeniu fermentującej pod pianą zawartości naczynia do za każdym razem 10-krotnie większej objętości jałowego podłoża, przy zachowaniu podczas całego postępowania warunków czystości mikrobiologicznej.

Przykładowo można to przedstawić następująco:

Naczynie nr	1	2	3
Pojemność naczynia	10 ml	100 ml	1000 ml
Objętość jałowej brzeczki	5 ml	50 ml	500 ml
Objętość wysiewu drożdży	-	5 ml	50 ml
Objętość zaszczepionej brzeczki	5 ml	55 ml	550 ml

Naczynia 10-litrowe i większe wykonywane są z metalu i nazywane kolbami Carlsberga (od duńskiego browaru Carlsberg). Browar zwykle wyposażony jest w małą kolbę typu Carlsberg, o pojemności 20 do 25 litrów oraz dużą, o pojemności 20 do 25 litrów.

Kolba Carlsberga (rys. 4.7) jest szczelnie zamknięta przykręconą (4, 5) pokrywą. Większość



Rys. 4.7. Kolba Carlsberga
(1) filtr sterylnego powietrza, (2) zawór opróżniający, (3) króciec do zaszczepiania drożdżami, (4+5) uszczelki, (6) uchwyt

z nich zaopatrzona jest w uchwyt (6) służący do przenoszenia kolby, filtr sterylnego powietrza (1) i zawór opróżniający (2), połączony na stałe rurką sięgającą do dna naczynia.

Naczynie razem z zawartością, czyli z brzeczką, sterylizuje się przez ogrzewanie, a po ochłodzeniu zaszczepia drożdżami. Do tego celu służy specjalny króciec (3) z gumową membraną, przez którą można jałowo wprowadzić drożdże za pomocą odpowiedniej strzykawki. (*To samo zadanie, po niewielkim przystosowaniu, może spełnić 30-litrowy keg – przypisek tłumacza*).
Kiedy drożdże w kolbie rozmnożą się w wystarczającym stopniu, przez filtr (1) wprowadza się sprężone powietrze i zawartość, przez zawór opróżniający (2), przetłacza do następnego etapu, do propagacji.
Ze względów praktycznych, aby nie przenosić ciężkich naczyń, większych ilości drożdży nie rozmnaża się w laboratorium.
Dalsze etapy rozmnażania mają miejsce w dziale propagacji, w browarze.

4.2.4 Prowadzenie drożdży w browarze

Dalsze rozmnażanie drożdży czystej kultury, dostarczonych przez laboratorium, odbywa się w browarze. Stosowane są dwie metody:

- propagacja w zamkniętym układzie, w sterylnych warunkach i
- prowadzenie drożdży w naczyniach otwartych.

Podczas namnażania drożdży każda komórka wielokrotnie pączkuje i buduje na nowo masę swego organizmu. Pod koniec procesu w każdym mililitrze rozmnożonej kultury znajduje się 100 do 140 milionów komórek drożdżowych. Do osiągnięcia w krótkim czasie tak wielkiej liczebności drożdże, poza substancjami odżywczymi, potrzebują tlenu. Synteza związków organicznych wymaga dużych ilości energii, którą drożdże mogą uzyskać tylko drogą oddychania. Małe ilości energii uzyskiwane przy fermentacji w warunkach beztlenowych nie byłyby w tym przypadku wystarczające. Do oddychania drożdże potrzebują dużych ilości tlenu, który trzeba dostarczyć przez intensywne napowietrzanie brzeczki. Dla dobrego rozpuszczania tlenu w brzeczce konieczne jest, aby powietrze było wprowadzane w postaci możliwie drobnych baniecczek, co zapewni dużą powierzchnię kontaktu fazy gazowej i ciekłej. Zawsze pracuje się z pewnym nadmiarem powietrza, ale duże jego baniecczki, unosząc się zbyt szybko ku powierzchni, pozostawiają mało czasu na dyfuzję tlenu do brzeczki i przyczyniają się tylko do tworzenia niepotrzebnej piany.

4.2.4.1 Urządzenia do propagacji drożdży

Urządzenia do propagacji drożdży składają się z różnej wielkości zamkniętych zbiorników, zbudowanych ze stali nierdzewnej, w których rozmnaża się drożdże aż do uzyskania ilości wystarczającej do zaszczepienia brzeczki nastawnej w kadzi lub tanku fermentacyjnym.

Istnieje kilka sposobów propagacji drożdży.

W skład zestawu urządzeń wchodzi sterylizator brzeczki, w którym wyjaławia się przez ogrzewanie, a następnie chłodzi brzeczkę stanowiącą podłoże do rozmnażania drożdży. Namnażanie drożdży odbywa się w różnej wielkości tankach-propagatorach, z których największy, ostatni w szeregu, musi wystarczyć do nastawienia fermentacji.

Przy prowadzeniu drożdży trzeba przestrzegać kilku podstawowych reguł:

- Aż do etapu tanku-propagatora trzeba pracować w warunkach sterylnych. Drobnoustroje zakażające rozwijają się w tych samych warunkach co drożdże i dlatego raz wprowadzonych bardzo trudno się pozbyć. Intensywne nawietrzanie sterylnym powietrzem ma decydujące znaczenie dla szybkiego przyrostu komórek i uzyskania zdrowych, aktywnych drożdży;
- Drożdże rozmnażają się dużo szybciej przy temperaturze 20-25°C niż w temperaturach niskich. Podczas propagacji trzeba je jednak stopniowo przyzwyczaić do temperatury, jaką napotykają w tanku fermentacyjnym, aby mogły rozwinąć swoją pełną wydajność. Jako podłoże do propagacji drożdży stosuje się brzeczkę chmieloną, gdyż ciała goryczkowe działają hamująco na rozwój ewentualnych infekcji.

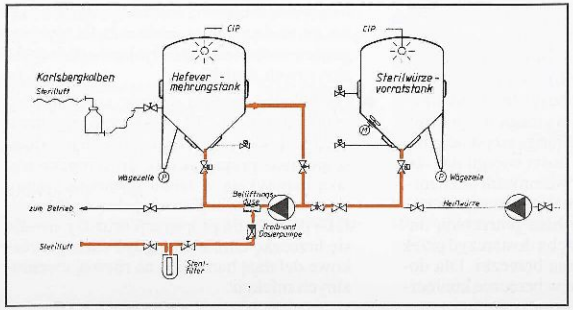
Praca w propagacji ma przebieg następujący:

- Brzeczkę wyjaławia się w sterylizatorze przy 100°C, w ciągu 30 minut, a następnie schładza do około 14 do 16°C;
- Jeśli dział propagacji wyposażony jest w kilka propagatorów różnej wielkości to najpierw zaszczepia się drożdżami najmniejszy. W tym celu wyjałowiony wcześniej propagator napełnia się sterylną brzeczką, pozostawiając około 1/3 wolnej przestrzeni. Następnie do tego propagatora przenosi się jałowo zawartość kolby Carlsberga z namnożonymi drożdżami. Złącza zaworów kolby i propagatora, przed połączeniem ich wyjałowionym przewodem, sterylizuje się płomieniem. Ważne jest, aby rozmnażanie drożdży zachodziło jak najszybciej, a do tego potrzebne jest intensywne napowietrzanie brzeczki. W niektórych systemach wykorzystuje się moment przesyłania sterylnej brzeczki z tanku-sterylizatora do propagatora, aby pompując ja przez pewien czas w obiegu zamkniętym, przy jednoczesnym doprowadzaniu sterylnego powietrza, uzyskać intensywne napowietrzanie podłoża (rys. 4.8), którego objętość, podobnie jak i ilość tłoczonego powietrza, jest mierzona jedną ze znanych metod;
- Po 24 do 36 godzinach intensywnego rozmnażania cała zawartość pierwszego propagatora jest w stadium logarytmicznego przyrostu komórek i zostaje, przy zachowaniu zasad sterylnego postępowania, przeniesiona do następnego, odpowiednio większego zbiornika i dopełniona sterylną, napowietrzaną intensywnie brzeczką. Taki cykl postępowania jest powtarzany aż do uzyskania ilości drożdży potrzebnej do nastawienia fermentacji w kadzi lub w tanku;
- Drożdże z ostatniego etapu propagacji, w stadium „wysokich krążków", czyli w fazie logarytmicznego przyrostu, przepompowuje się do tanku fermentacyjnego, przy dalszym intensywnym natlenianiu, a następnie wprowadza do niego wychłodzoną i dobrze napowietrzoną brzeczkę nastawną;
- W propagatorze pozostawia się część drożdży w fazie logarytmicznego przyrostu i uzupełnia świeżą porcją sterylnej, napowietrzonej brzeczki, aby niezwłocznie rozpocząć następny cykl namnażania czyli propagacji drożdży. Co kilka dni, stosownie do programu, propagator musi być opróżniany dla dokładnego umycia.

Dzięki wyżej opisanej metodzie „fermentacji półciągłej" można w warunkach produkcyjnych zapewnić stały dopływ czystej kultury i możliwie wyrównaną jakość procesu fermentacji (rys. 4.9) (63, 107).

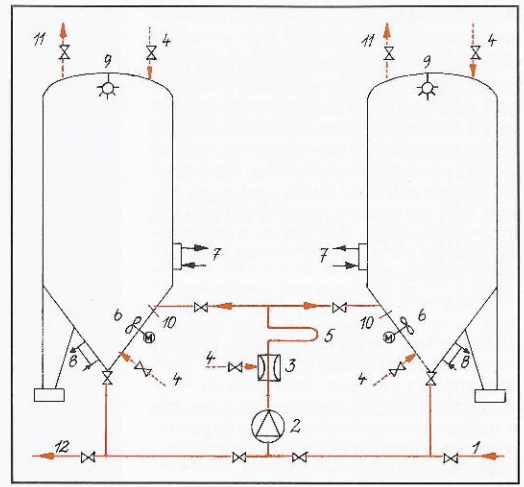
Uzyskanie drożdży w optymalnym stanie fizjologicznym dla każdego nastawu fermentacji jest dla browaru trudnym zadaniem. Jak już wyżej wspomniano, drożdże nastawne dodane w fazie logarytmicznego rozwoju mają dla fermentacji wiele zalet (99), a mianowicie zapewniają one:

- **szybkie zafermentowanie,**
- **skrócony czas fermentacji,**
- **szybkie obniżenie wartości pH,**



Rys. 4.8
Urządzenie do sterylnej hodowli drożdży (propagacji) syst. Conti-Prop.
(wg firmy Essau-Hueber)

Rys. 4.9
Optymalizacja gospodarki drożdżami
(Autor: prof. Back)
(I) tank-asymilator 1,
(II) tank-asymilator 2,
(1) dopływ brzeczki,
(2) pompa o sterowanej wydajności,
(3) dysza,
(4) powietrze sterylne,
(5) przewód wysycania,
(6) mieszadło napowietrzające,
(7) chłodzenie,
(8) ogrzewanie,
(9) system CIP,
(10) urządzenie pomiarowe,
(11) CO_2,
(12) drożdże



- **szybką redukcję dwuacetylu,**
- **pełnię i czystość smaku piwa.**

W zależności od metody zaszczepienia propagatorów rozróżnia się dwa warianty procesu propagacji:

- pierwszy z nich polega na pozostawianiu w tanku-propagatorze części rozmnożonych drożdży w fazie logarytmicznego przyrostu komórek i dopełnianiu ich świeżą brzeczką, co daje w rezultacie stałe namnażanie tych samych drożdży, jak w metodzie półciągłej fermentacji;
- drugi wariant polega na zaszczepianiu brzeczki w tanku-propagatorze za każdym razem świeżymi drożdżami rozmnożonymi z czystej kultury w poprzednich stadiach propagacji.

4.2.4.2 Metoda propagacji półciągłej

Metoda ta, którą opracował Back (Weihenstephan), polega na odfermentowaniu brzeczki w tanku, nazwanym tu asymilatorem, przy zachowaniu optymalnych warunków dla rozmnażania drożdży, takich jak temperatura, natlenienie, pH i skład chemiczny brzeczki. Tank zwany asymilatorem ma zwykle formę cylindryczno-stożkową oraz całą armaturę normalnego tanku, tj. zawory zabezpieczające nadciśnienia i podciśnienia, dysze systemu mycia CIP itd. (rys. 4.9). Kiedy zawarta w tym tanku, wystarczająca do nastawienia fermentacji produkcyjnej, ilość piwa z namnożonymi drożdżami znajduje się w fazie logarytmicznego przyrostu komórek (100 do 120 milionów komórek/ml), a ekstrakt pozorny wynosi 6-7%, przepompowuje się 80 do 85% zawartości „tanku-asymilatora" do kadzi lub tanku produkcyjnego.

Około 15-20% zawartości „tanku-asymilatora" wraz z drożdżami pozostaje na dnie i zostaje dopełnione świeżą, dwunastoprocentową brzeczką o takiej samej temperaturze (203, 204). Drożdże, będące nadal w fazie logarytmicznego wzrostu biomasy komórek, odfermentowują sprawnie dodaną brzeczkę znów do zawartości 6 do 7% ekstraktu pozornego i cała operacja może powtarzać się od nowa (rys. 4.9a).

Podstawowe parametry sterowania tym procesem to:

- stosunek ilościowy brzeczki fermentującej do świeżej,
- zawartość i skład chemiczny ekstraktu,

- temperatura,
- napowietrzanie brzeczki.

Napowietrzanie brzeczki prowadzi się z przerwami, tłocząc sterylne powietrze w ciągu 1 do 2 minut, po czym następuje przerwa trwająca 8 do 9 minut. Powietrze wprowadza się do przewodu, którym płynie brzeczka, na 2 lub 3 metry przed wejściem do tanku. Ilość wprowadzanego powietrza trzeba ograniczać dlatego, żeby nie tworzyć zbyt dużych ilości piany w propagatorze. temperatura wprowadzanej brzeczki jest o 4 do 5°C wyższa od temperatury fermentacji.

Przy zastosowaniu metody „tanków-asymilatorów" uzyskuje się duży plon komórek drożdżowych. Oznacza to jednak również zwiększone ilości gęstwy drożdżowej do zagospodarowania i większe ilości piwa do odzyskania z osadów. Wiąże się to z kosztami, które można zmniejszyć wykorzystując do ponownego użycia nie wszystkie uzyskane drożdże, a tylko ich część (40:60 albo 50:50).

Jako zalety tej metody wymienia się (90, 203):

- krótki czas namnażania i pewność zaopatrzenia w drożdże,
- obniżenie udziału martwych komórek do poniżej 3%,
- obniżenie niezbędnej ilości drożdży nastawnych do 10-15 milionów komórek/ml,
- przyspieszone obniżanie wartości pH,
- skrócenie czasu redukcji dwuacetylu,
- skrócenie o jeden dzień fermentacji i dojrzewania piwa,
- poprawę czystości mikrobiologicznej na odcinku przed filtracją,
- poprawę jakości piwa.

Do tych zalet dodać trzeba oszczędność w zużyciu prądu elektrycznego, ziemi okrzemkowej i wody oraz zmniejszenie ilości ścieków (203).

4.2.4.3 Metoda prowadzenia drożdży w jednym tanku

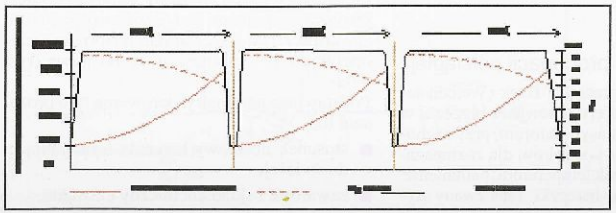
W „metodzie jednego tanku" wg Wackerbauera (182, 202) każde rozmnażanie zaczyna się od czystej kultury drożdży z laboratorium, którą prowadzi się aż do uzyskania całego nastawu produkcyjnego. Nie pozostawia się tu więc żadnego „osadu" jako zaczątku następnej fermentacji, tylko od nowa, w sterylnych warunkach, rozmnaża czystą kulturę.

Urządzenie do rozmnażania drożdży to tank cylindryczno-stożkowy ze stali nierdzewnej (rys. 4.10), wyposażony w ogrzewanie płaszczowe (4), którego układ wykorzystuje się również do chłodzenia. Poza zaworami zabezpieczającymi przed nadciśnieniem i podciśnieniem tank posiada również dysze do mycia systemem CIP oraz doprowadzenie sterylnego powietrza (3).

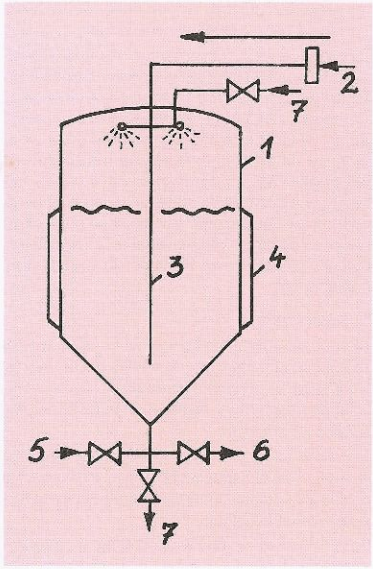
Przebieg pracy urządzenia

Tank napełnia się do połowy brzeczką i sterylizuje w ciągu 15 minut, a następnie chłodzi do temperatury 20°C, po czym zaszczepia drożdżami czystej kultury. Następnie zaczyna się napowietrzanie sterylnym powietrzem według następującego programu:
pierwszego dnia w ciągu jednej minuty co 15 minut,
drugiego dnia w ciągu jednej minuty co 5 minut.
Różnica pochodzi stąd, że w pierwszym dniu nieliczne jeszcze komórki drożdży zużywają znacznie mniej tlenu niż w drugim, gdy ich liczba wzrasta w logarytmicznym tempie. Napowietrzanie spełnia dodatkową rolę mieszania zawartości tanku utrzymując komórki drożdży w zawiesinie i w ciągłym ruchu, co ułatwia ich aktywną przemianę materii.

Szczególnej uwagi i staranności wymaga sterylizacja brzeczki oraz zapewnienie sterylności powietrza, aby uniknąć zakażenia drożdży obcymi drobnoustrojami.



Rys. 4.9a
Główne liczby charakteryzujące przebieg procesu rozmnażania drożdży w „tankach-asymilatorach"



Rys. 4.10
Prowadzenie drożdży czystej kultury w jednym tanku wg Wackerbauera
(1) ściana tanku,
(2) dopływ sterylnego powietrza,
(3) przewód napowietrzania,
(4) płaszcz ogrzewania i chłodzenia,
(5) dopływ brzeczki,
(6) odpływ drożdży nastawnych,
(7) doprowadzenie i odpływ środków myjących CIP

Zalecany w tej metodzie stosunek objętości wysiewu, czyli inokulum do ilości podłoża płynnego tj. brzeczki, jest w poszczególnych etapach następujący:

z kultury laboratoryjnej do kolby Carlsberga 1:200
z kolby Carlsberga do propagatora (tanku) 1:250
do nastawienia fermentacji 500 hl brzeczki 1:20.

Jak stąd widać, w ciągu 2 1/2 do 3 dni można uzyskać rozmnożone drożdże czystej kultury do nastawienia fermentacji brzeczki z jednej przeciętnie dużej warki.

Wielkość propagatora oblicza się w stosunku do wielkości warki następująco:

$$\text{pojemność propagatora} = \frac{\text{objętość warki w hl} \cdot 2}{20}$$

(Można też powiedzieć – jedna dziesiąta objętości warki – i cały ten wzór jest zbyteczny. Przyp. tłumacza AB).

Stale powtarzane napowietrzanie sterylnym powietrzem zapewnia szybki przyrost biomasy drożdży. Jako zalety tej metody prowadzenia drożdży wymienia się:

- krótki czas namnożenia aktywnych drożdży czystej kultury,
- dzięki skróceniu dróg przesyłania brzeczki, drożdży i in. znacznie ograniczone są możliwości infekcji,
- wprowadzanie za każdym razem świeżej kultury drożdży eliminuje możliwość ich degeneracji,
- metoda jest tania i łatwa w obsłudze dzięki swej prostocie.

4.2.4.4 Prowadzenie drożdży w naczyniach otwartych

Mały browar nie zawsze może sobie pozwolić na instalację kosztownych urządzeń do propagacji drożdży. Zaopatrywanie się w drożdże z dużego browaru bywa czasem zawodne, zwłaszcza gdy potrzebne są jakieś specjalne szczepy, których ten browar nie prowadzi. W tej sytuacji istnieje możliwość poprowadzenia samemu drożdży w browarze bez urządzeń do

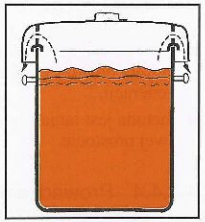
propagacji, ale trzeba się liczyć z faktem, że czystość biologiczna nastawu nie będzie gwarantowana.

Istnieje szereg metod prowadzenia drożdży w naczyniach otwartych, z których tylko dwie zostaną tu omówione:

- metoda wg Stockhausena-Coblitza i
- metoda prowadzenia drożdży w bańkach do mleka.

Klasyczną metodą namnażania drożdży w naczyniach otwartych jest sposób wg Stockhausena-Coblitza, gdzie wykorzystuje się tylko dwa metalowe naczynia z luźno nałożonymi pokrywami (rys. 4.11). Zasada postępowania jest podobna jak przy rozmnażaniu drożdży w laboratorium, ale z uwagi na to, że brzeczka nie jest napowietrzana, kolejne stosowane wysiewy drożdży muszą być znacznie większe:

	Rodzaj naczynia			
	Mały Coblitz w l	Duży Coblitz w l	Mała kadź w l	Większa kadź w hl
ilość ugotowanej brzeczki	17	50	225	9
wysiew młodego piwa	8	25	75	3
razem	25	75	300	12



Rys. 4.11 Naczynie do rozmnażania drożdży metodą Stockhausena-Coblitza

W powyższy sposób można, bez dużych nakładów pracy i kosztów urządzeń, namnażać do 50 hl drożdży nastawnych.

Ściśle biorąc – prowadzenie drożdży w naczyniach otwartych jest rozszerzoną fermentacją w kadziach, tym bardziej, że po dużym naczyniu Coblitza pracuje się już dalej na brzeczce przemysłowej, a więc niesterylnej.

Inną metodą jest prowadzenie drożdży w bańkach do mleka *(trzeba do tego mieć takie bańki, jakie były w NRD; polskie z gumową zaciskaną uszczelką mogą się nie nadawać – przyp. tłum.)*. Polega ona na rozmnażaniu drożdży w łatwych do umycia bańkach do transportowania mleka. Mając do dyspozycji 5 takich baniek, z których jedna stale służy do zachowania kultury „matecznej" do dalszego prowadzenia rozmnażania, można w prosty sposób zapewnić sobie własne drożdże do nastawiania fermentacji.

Postępowanie

Dokładnie umytą bańkę wyjaławia się parą lub wrzącą wodą, a następnie wlewa do niej 20 litrów gorącej brzeczki. Zamkniętą bańkę wstawia się do piwnicy fermentacyjnej dla ochłodzenia do 10-11°C.

Do ochłodzonej brzeczki dodaje się drożdże rozmnożone w 8-litrowej kolbie Carlsberga. Po niedługim czasie zawartość bańki zaczyna fermentować pod pianą.

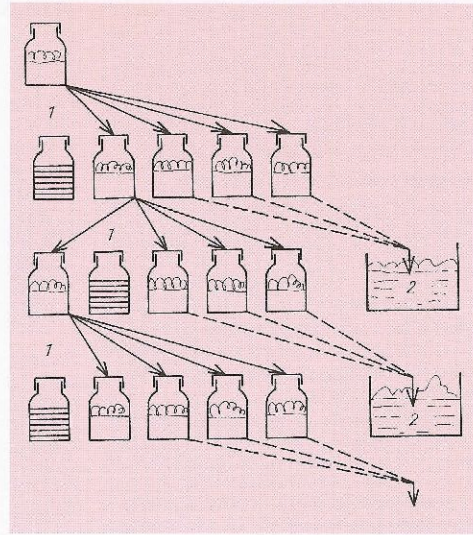
Teraz zawartość pierwszej bańki z rozmnożonymi drożdżami rozdziela się na cztery podobnie przygotowane bańki, zawierające po 20 l ochłodzonej brzeczki każda. Po następnych 2-4 dniach zawartość tych baniek fermentuje, z wytwarzaniem piany jak w stadium „wysokich krążków".

Rozmnożone drożdże z trzech baniek (około 0,8 hl) służą do zaszczepienia około 3 hektolitrów w starannie umytej i zdezynfekowanej kadce drożdżowej. Zawartość czwartej bańki służy jako drożdże mateczne dla następnego etapu. *(Piąta bańka, jak widać nie znajduje zastosowania i pozostaje jako rezerwowa – przyp. tłumacza A.B.)* Ten cykl rozmnażania drożdży można przy starannej pracy powtórzyć parę razy.

We wszystkich otwartych systemach prowadzenia drożdży należy przestrzegać następujących zasad:

- stosunek ilościowy inokulum, czyli piwa młodego do brzeczki powinien mieścić się w granicach między 1:3 a 1:4,

Rys. 4.12 Prowadzenie drożdży metodą Carriere
(1) 40-litrowa bańka z 25 litrami młodego piwa,
(2) kadź nastawna drożdżowa



- temperatura zaszczepianej brzeczki powinna odpowiadać temperaturze drożdży, aby uniknąć „szoku zimna" i zahamowania fermentacji,
- temperatury prowadzenia drożdży powinny odpowiadać temperaturom fermentacji głównej, aby przyzwyczaić je do warunków produkcyjnych.

W zakresie prowadzenia fermentacji i dojrzewania piwa najbardziej rozpowszechnione są dwa systemy:

- spotykany jeszcze w wielu browarach klasyczny system prowadzenia fermentacji w kadziach otwartych i dojrzewania piwa w zamkniętych tankach leżakowych,
- stosowany w nowych i modernizowanych browarach system fermentacji i dojrzewania piwa w tankach cylindryczno-stożkowych.

Urządzenia i sposób prowadzenia procesów w tych dwóch systemach różnią się bardzo.

4.3 Klasyczna fermentacja i dojrzewanie piwa

Sporo browarów posiada jeszcze otwarte kadzie fermentacyjne i tanki leżakowe, w których prowadzi w tradycyjny sposób procesy fermentacji i dojrzewania piwa. Z tego względu zostaną tu omówione:

wyposażenie i urządzenie piwnicy fermentacyjnej i leżakowej,

prowadzenie procesów fermentacji i dojrzewania piwa.

4.3.1 Kadzie fermentacyjne i urządzenie fermentowni otwartej

Fermentacja w systemie otwartym odbywa się w kadziach ustawionych w piwnicy fermentacyjnej, czyli fermentowni *(która nie zawsze jest w piwnicy – bywa i na piętrze! Przyp. tł.)*.

4.3.1.1 Kadzie fermentacyjne

Kadzie fermentacyjne różnią się między sobą kształtem, wymiarami, materiałem, z którego zostały zbudowane i różnym wykorzystaniem przestrzeni budynku. Kadzie wyposażone są w układy chłodzenia celem odprowadzania ciepła wytwarzanego podczas fermentacji.

Materiał konstrukcyjny i wykładzina

Kadzie fermentacyjne mogą być z drewna, stali, aluminium i betonu z wykładzinami z lepiku, tj. masy bitumicznej, z żywic sztucznych, emalii i blach.

Chłodzenie kadzi

Trzeba się liczyć z tym, że podczas fermentacji w warunkach produkcyjnych na każdy kilogram odfermentowanego ekstraktu przypada 587 kJ wydzielonego ciepła.

W czasie fermentacji głównej odfermentowuje około 2/3 ekstraktu. Jeśli jeden hektolitr nastawionej brzeczki zawiera np. 12 kg ekstraktu, to z tej ilości odfermentowuje około 8 kg. A zatem w czasie fermentacji głównej z każdego hektolitra brzeczki powstanie 587 · 8 = 4696 kJ ciepła, które system chłodzenia musi odprowadzić na zewnątrz, aby utrzymać stałą temperaturę w kadzi. Chłodzenie może być płaszczowe, ale są też w użyciu wężownice i różnego rodzaju chłodnice rurowe, w których krąży lodowata woda, wychłodzona do temperatury około 0 do 1°C. Dopływ wody lodowatej jest regulowany tak, aby zapewnić utrzymanie stałej temperatury w kadzi fermentacyjnej.

Przy korzystaniu z otwartych kadzi fermentacyjnych specjalny nacisk trzeba położyć na czynności i zabiegi mające na celu zapobieżenie infekcjom piwa obcymi drobnoustrojami z otoczenia.

4.3.1.2 Urządzenie fermentowni otwartej

Kadzie fermentacyjne muszą być tak ustawione, aby obsługujący mieli do nich łatwy dostęp. Pomieszczenia fermentowni są chłodzone i muszą być wyposażone w odpowiednią wentylację do usuwania CO_2.

Układ pomieszczeń fermentowni

Piwnica fermentacyjna mieści się zwykle poniżej urządzeń do chłodzenia brzeczki, co ułatwia jej przesyłanie do kadzi nastawnych. Klasyczna piwnica fermentacyjna często składa się z trzech działów:

1. dział kadzi nastawnych jest małą, nieco wyżej położoną piwnicą, z nielicznymi kadziami, bez chłodzenia,
2. dział kadzi fermentacyjnych, główny dział fermentacji z kadziami wyposażonymi w chłodzenie,
3. drożdżownia, mała, dobrze chłodzona piwnica do przechowywania gęstwy drożdżowej.

Piwnica fermentacyjna składa się zwykle z dwóch pięter. Kadzie muszą być tak wbudowane, aby zarówno od góry, jak i od dołu były łatwo dostępne. Dla wydajnej pracy obsługujących jest bardzo istotne, aby kadzie były tak wysoko wstawione, żeby praca w dolnym korytarzu obsługi nie była uciążliwa.

Wyjątek stanowią niezmiernie rzadko już spotykane fermentownie wyposażone w kadzie drewniane. Takie piwnice są jednopoziomowe, a do kadzi wchodzi się po drabinie i zawieszonych pomostach.

Dawne, klasyczne browary budowano tak, aby brzeczka, a później piwo mogły być przesyłane bez użycia pomp, na zasadzie różnicy poziomów. W dawnych browarach najwyżej znajdowała się taca chłodnicza, pod nią chłodnica ociekowa, jakich obecnie już nigdzie się nie spotyka, pod nimi dopiero były kadzie nastawne i fermentacyjne, które częstokroć lokowano już poniżej poziomu gruntu. To było logiczne, gdyż transport półproduktów z jednego poziomu na drugi odbywał się bez użycia pomp, a więc i bez nakładu energii. Wszystko to ma jeszcze swój aspekt historyczny: piwo warzone jest od wielu stuleci, było wytwarzane nawet na wiele lat przed wynalezieniem pompy przy zastosowaniu prymitywnych, ale w zasadzie podobnych metod pracy i też trzeba było przesyłać półprodukt z jednego do drugiego naczynia. Wówczas odpowiednie usytuowanie naczyń było jeszcze ważniejsze, bo to wszystko co nie spłynęło samo, trzeba było przenosić w ręku i przelewać za pomocą prymitywnych czerpaków i naczyń. Przypomina o tym rysunek godła związku piwowarów (rys. 4.15).

Rys. 4.15
Zabytkowy sprzęt piwowarski w godle związku

Urządzenia piwnicy fermentacyjnej (rys. 4.16)

W otwartym systemie fermentacji brzeczka i piwo mają bezpośredni kontakt z otaczającym powietrzem, z którego mogą trafić do nich szkodliwe w produkcji drobnoustroje. Za infekcję uważa się obecność w piwie wszelkich drobnoustrojów, które nie są drożdżami piwnymi czystej kultury i które mogą rozwijać się w tym środowisku, powodując zmętnienia oraz zmiany smakowo-zapachowe.

Do mycia kadzi fermentacyjnych zużywa się duże ilości wody, która następnie musi być szybko odprowadzona na zewnątrz. W związku z tym, trzeba temu działowi zapewnić sprawnie działającą kanalizację.

Lokal fermentacji powinien mieć grube mury, zabezpieczające go przed wpływami zmian temperatury zewnętrznej.

Chłodzenie pomieszczenia

Samo chłodzenie zawartości kadzi nie wystarcza, aby odprowadzić całą ilość ciepła wytwarzaną podczas fermentacji głównej i dlatego konieczne jest także chłodzenie pomieszczenia, aby utrzymać jego temperaturę na poziomie 5,5 do 6°C. Dobowe zapotrzebowanie zimna na ten cel wynosi latem około 4 MJ na 1 m² powierzchni lokalu.

Szczególnie potrzebne jest chłodzenie powietrza, które z uwagi na konieczność usuwania CO_2 powstającego w pomieszczeniu musi być kilkakrotnie w ciągu doby wymieniane. Najczęściej instaluje się pośrednie chłodzenie piwnicy fermentacyjnej, polegające na oziębianiu powietrza krążącego w obiegu zamkniętym. Przy tym sposobie chłodzenia rury z chłodziwem lub parowniki znajdują się w sąsiadującym z piwnicą pomieszczeniu, przez które przetłacza się ochładzane powietrze. Jednocześnie następuje jego osuszenie, gdyż para wodna skrapla się na zimnych powierzchniach i osiada w postaci rosy lub lodu. Suche i zimne powietrze przepływa powoli przez piwnicę fermentacyjną i zostaje z przeciwległej strony zassane do ponownego ochłodzenia.

Przewietrzanie pomieszczenia

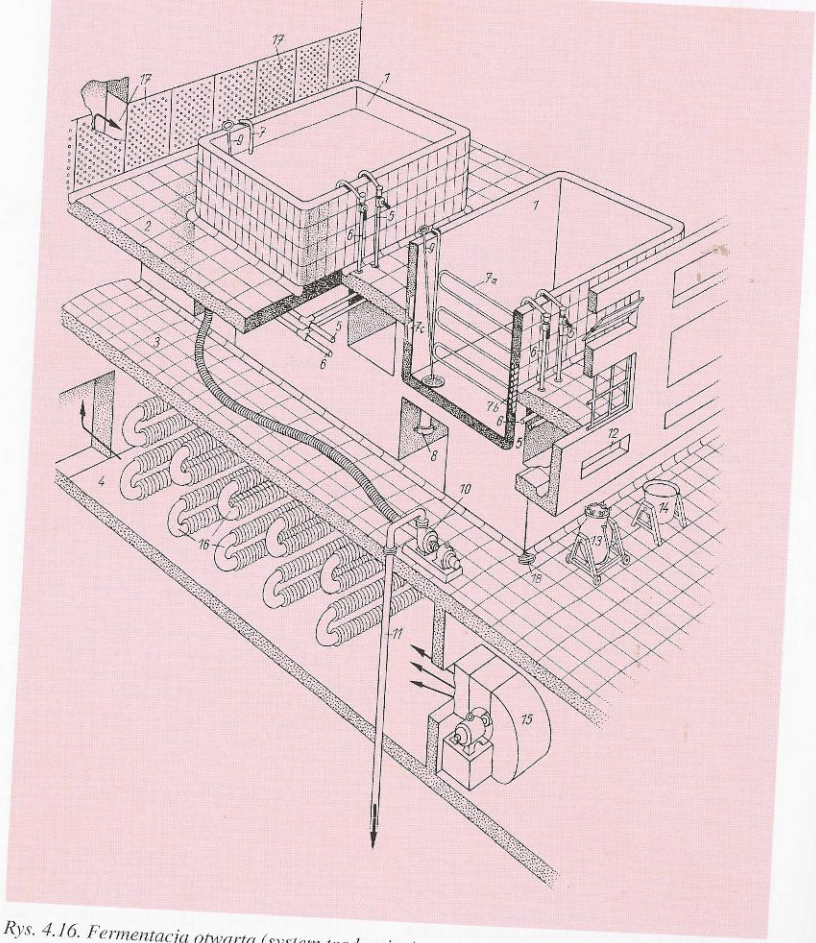
Podczas fermentacji alkoholowej powstaje dwutlenek węgla. Jako gaz cięższy od powietrza gromadzi się on w dolnych częściach zbiorników i pomieszczeń.

Dwutlenek węgla jest gazem trującym.

Zawartość 4% dwutlenku węgla w powietrzu może już powodować skutki śmiertelne (*według innych źródeł, wystarczy 2% – przyp. A.B.*)
Wobec tego wydzielający się w czasie fermentacji CO_2 musi być sprawnie usuwany (patrz rozdz. 4.10.1).
Niewielka część wytworzonego dwutlenku węgla pozostaje rozpuszczona w młodym piwie, ale ogromna większość ulatnia się.
Gęstość dwutlenku węgla w normalnych warunkach ciśnienia i temperatury wynosi 1,96kg/m³, czyli 1m³ CO_2 „waży" około 2 kg.

4.3.2 Wydajność piwnicy fermentacyjnej

Niezwłocznie po spłynięciu brzeczki nastawnej do piwnicy fermentacyjnej dokonuje się pomiaru jej objętości i zawartości ekstraktu. W ten sposób uzyskuje się podstawy do obliczenia wydajności fermentacji. Istnieje ścisła zależność między wydajnością warzelni a wydajnością fermentacji. Dlatego też ta druga zasługuje na szczególną uwagę.



Rys. 4.16. Fermentacja otwarta (system tradycyjny)
(1) kadź fermentacyjna, (2) górne piętro pomieszczenia, (3) dolne piętro pomieszczenia, (4) komora chłodzenia powietrza, (5) dopływ wody chłodzącej, (6) odpływ wody chłodzącej, (7) zawieszenie rur chłodzących, (7a) rury chłodzące, (7b) chłodzenie płaszczowe typu Schmid, (7c) chłodzenie płaszczowe zwykłe, (8) króćce odpływowe do opróżniania kadzi, (9) otwieranie i zamykanie zaworu, (10) pompa piwna, (11) rurociąg piwny, (12) odpływ CO_2, (13) „gruszka" do drożdży, (14) kadka do drożdży, (15) wentylator, (16) rury obiegu ochładzania powietrza, (17) wlot ochłodzonego powietrza do piwnicy fermentacyjnej, (18) ściek

Wydajność w fermentacji jest to wartość, która mówi jaki procent zasypu w postaci ekstraktu brzeczki nastawnej trafi do piwnicy fermentacyjnej.

W zasadzie wydajność w fermentacji oblicza się tak samo jak wydajność w warzelni, z tym że odpada potrzeba mnożenia wyniku przez współczynnik 0,96, gdyż objętość brzeczki nastawnej mierzy się po wychłodzeniu, a więc nie zmniejsza się już ona później, tak jak to ma miejsce w przypadku gorącej brzeczki z kotła warzelnego.
W jakim stopniu ta objętość się kurczy, nie biorąc pod uwagę wyparowania lub innych strat, pokazuje następujący przykład:

Objętość gorącej brzeczki zmierzona w kotle warzelnym wynosi 543 hl. Ile to będzie po ochłodzeniu?

$$543 \cdot 0{,}96 = 521 \text{ hl}$$

czyli objętość brzeczki zmniejszyła się o 22 hl wskutek ochłodzenia jej do temperatury nastawienia fermentacji.

Do obliczenia wydajności w piwnicy fermentacyjnej stosuje się następujący wzór:

$$\text{Wydajność} = \frac{\text{ilość hl brzeczki nastawnej} \cdot \% \text{ ekstraktu} \cdot \text{gęstość } 20/4^{\circ}\text{C}}{\text{zasyp surowców w q (kwintalach)}}$$

Między ilością brzeczki mierzoną w kotle warzelnym a ilością w kadzi nastawnej występuje także pewne niewielkie zmniejszenie objętości wraz ze stratą ekstraktu wynikające z pozostania w naczyniach i rurociągach brzeczki zwilżającej ich powierzchnie oraz brzeczki tracone j w chmielinach i osadzie białkowo-garbnikowym. Dlatego wydajność liczona w piwnicy fermentacyjnej jest zawsze trochę mniejsza niż w warzelni. Wiele browarów nie stosuje naturalnego chmielu i zawraca osady z brzeczki do następnej warki. Można liczyć, że osady te składają się w 75% z brzeczki i tylko w 25% z części nierozpuszczalnych. Te 75% brzeczki odzyskuje się w następnej warce i ta ilość powinna być odjęta, ale jednocześnie dodaje się taką samą ilość z poprzedniej warki, więc w rezultacie wszystko pozostaje bez zmiany.

Sama wydajność liczona w piwnicy fermentacyjnej nie jest żadną cenną informacją. Interesująca jest różnica wydajności liczonej w warzelni i w kadzi nastawnej. Na tę różnicę miały kiedyś wpływ urządzenia i sposób chłodzenia brzeczki. Jest to czynnik stały dla danego browaru. Drugim czynnikiem jest przebieg operacji, jakie mają miejsce między wybiciem brzeczki a nastawieniem fermentacji.

Każda zmiana normalnej różnicy między wydajnością liczoną w warzelni i w piwnicy fermentacyjnej świadczy o zakłóceniu biegu operacji na tym odcinku.

Przykład liczenia:
W warzelni z zasypu 4.960 kg słodu pilzneńskiego (jasnego) otrzymano 331 hl brzeczki o zawartości ekstraktu 11,4%, czyli 11,90 g/100 ml.

Jaka jest wielkość różnicy między wydajnością liczoną w warzelni (Ww) a wydajnością liczoną w piwnicy fermentacyjnej (Wf)?

$$Ww = \frac{11{,}90 \cdot 0{,}96 \cdot 331 \text{ hl}}{49{,}6 \text{ q}} = 76{,}24\%$$

$$Wf = \frac{11{,}68 \cdot 321 \text{ hl}}{49{,}6 \text{ q}} = 75{,}59\%$$

Różnica Ww-Wf = 0,65%

Można to wyrazić jeszcze krócej, jeśli weźmie się pod uwagę tylko różnicę w ilościach ekstraktu

ekstrakt w warzelni = $11{,}90 \cdot 0{,}96 \cdot 331 = 3.781{,}3$ kg

ekstrakt w brzeczce nastawnej = $11{,}68 \cdot 321 = 3.749{,}3$ kg

Strata ekstraktu = 32,0 kg

4.3.3 Prowadzenie otwartej fermentacji głównej

Fermentację główną zapoczątkowuje nastawienie brzeczki z drożdżami. Prowadzenie fermentacji polega na kierowaniu temperaturą i czasem trwania procesu. Oznaczenie stopnia odfermentowania poprzedza przesłanie młodego piwa do leżakowni.

4.3.3.1 Nastawienie fermentacji

Pod pojęciem nastawienia fermentacji rozumie się dodanie do brzeczki drożdży, które będą ten proces prowadziły.

Brzeczka przed dodaniem drożdży nazywa się brzeczką nastawną. Zawartość ekstraktu w brzeczce podaje się w % Plato, które dawniej nazywano stopniami.

Brzeczka nastawna od chwili dodania drożdży nazywa się młodym piwem.

Przy nastawianiu fermentacji trzeba pamiętać, aby drożdże znalazły w brzeczce dosyć tlenu, który przyspieszy ich rozmnażanie i rozpoczęcie fermentacji. Ponadto drożdże powinny zostać wymieszane z brzeczką i temu celowi służy zabieg zwany podnoszeniem drożdży.

4.3.3.1.1 Podnoszenie drożdży

Zabieg ten ma na celu nie tylko napowietrzanie brzeczki, ale przede wszystkim rozdzielenie pojedynczych komórek i dokładne wymieszanie ich z brzeczką. Jest to bardzo istotne dla szybkiego zafermentowania i pozwala osobno rozproszonym w brzeczce komórkom drożdżowym całą powierzchnią korzystać z nagromadzonych w niej substancji odżywczych. W nowoczesnych browarach drożdże dawkowane są sukcesywnie, podobnie jak i powietrze, do przewodu-rurociągu, którym płynie brzeczka.

W mniejszych browarach zabieg ten przeprowadza się jeszcze przez:

- przelewanie z naczynia do naczynia drożdży z brzeczką,
- użycie specjalnego aparatu do „podnoszenia drożdży",
- użycie „gumki do drożdży".

W nowoczesnych zakładach stosowane są specjalne urządzenia rozdrabniające strumień powietrza wchodzący do brzeczki na bardzo drobne banieczki dla lepszego rozpuszczenia, jak podano w rozdziale 3.9.3.

Złe napowietrzanie brzeczki może mieć przykre następstwa, jak:

- słaby początek fermentacji (zafermentowania),
- wydłużony czas fermentacji (nawet o trzy i więcej dni),
- wrażliwość na chłodzenie,
- powolne przetwarzanie ekstraktu,
- słabe dofermentowanie, problemy z jakością piwa.

Nie trzeba się wcale obawiać intensywnego napowietrzania brzeczki. Drożdże potrzebują tlenu do swego rozmnażania i zużyją go bardzo szybko, tak że po paru godzinach nie ma go już ani śladu w brzeczce, tj. w młodym piwie i nie może wywierać żadnego negatywnego wpływu na jakość. Szkodliwe jest właśnie słabe napowietrzanie.

4.3.3.1.2 Dawka drożdży

Drożdże dodaje się równomiernie do płynącej do kadzi brzeczki nastawnej, jednocześnie z jej napowietrzaniem, aby fermentacja zaczęła się szybko i intensywnie.

Dawka drożdży powinna wynosić 20 do 30 mln komórek/ml brzeczki = 0,6 do 1 l gęstwy drożdżowej na hl brzeczki.

Można przy tym przyjmować, że gęstwa drożdżowa zawiera około $3 \cdot 10^9$ komórek w mililitrze.

1/2 litra gęstwy/hl brzeczki da około $15 \cdot 10^6$ komórek/ml

1 litr gęstwy/hl brzeczki da około $30 \cdot 10^6$ komórek/ml

Dawkowanie drożdży odbywa się za pomocą pompy lub zaworu ciśnieniowego z zasobnika („gruszki").

W nowoczesnych browarach dawkowanie drożdży może być regulowane na podstawie zmętnienia zawiesiny komórek.

Nikt, oczywiście, tych komórek drożdżowych tak naprawdę nie liczy. Pomiar oparty jest na wcześniej ustalonej zależności między liczbą komórek w zawiesinie a wielkością zmętnienia. Urządzenie pomiarowe, tj. nefelometr, może być włączone do linii i użyte do sterowania dawkowaniem drożdży (*obecnie są już nie tylko urządzenia liczące komórki drożdży w zawiesinie, ale także takie, które liczą tylko komórki żywe, jak np. Dynapitch Alfa Laval. Przyp. tł.*)

Inną możliwość sterowania dawkowaniem drożdży stanowi pomiar substancji stałych w przepływającej cieczy (135) wyrażony w g/l.

Przy odpowiednim ustawieniu sygnału do sterowania procesem można kontrolować dozowanie według ilości suchej masy ciał stałych, co pozwala uniezależnić się od konsystencji gęstwy drożdżowej.

Zwiększenie dawki drożdży jest najłatwiejszym sposobem przyspieszenia fermentacji, nie powodującym żadnych szkodliwych następstw (39).

Intensywne zafermentowanie wpływa także dodatnio na łatwość filtracji piwa i trwałość jego piany.

Urządzenie do dawkowania drożdży i napowietrzania brzeczki z drożdżami przedstawione jest na rysunku 4.17. Brzeczka z kadzi osadowej z zawirowaniem whirpool (1) płynie przez płytowy wymiennik ciepła (4), skąd ochłodzona trafia do tanku flotacyjnego (3). Do rurociągu, którym płynie brzeczka, dozowane są drożdże ze zbiornika (2) za pomocą pompy dozującej, a w dalszym odcinku do brzeczki z drożdżami tłoczone jest sterylne powietrze za pomocą urządzenia zapewniającego intensywne natlenianie. Zamiast tanku flotacyjnego można w tym układzie postawić tank fermentacyjny.

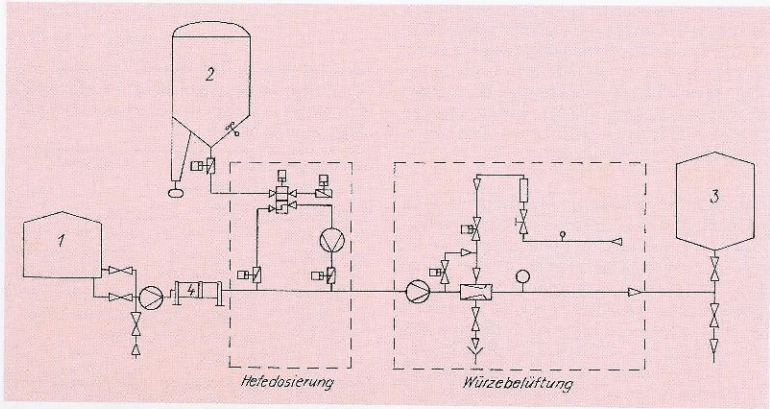
Nastawienie fermentacji odbywa się najczęściej bezpośrednio w kadzi fermentacyjnej. Ochłodzona brzeczka zawiera jeszcze pewną ilość substancji stałych, które osadzają się w ciągu doby na dnie kadzi, są to:

- drobne cząstki osadu białkowo-garbnikowego, które nie osiadły wcześniej,
- żywice chmielowe wytrącone wskutek ochłodzenia brzeczki.

Ponadto osiadają na dnie martwe lub osłabione komórki drożdży. Z tego względu czasem jeszcze wykorzystuje się kadzie nastawne. Wówczas fermentację nastawia się w nich i dopiero po 12 do 24 h spuszcza się młode piwo do kadzi fermentacyjnych. Te browary, które korzystają z kadzi nastawnych, uzyskują zbiór drożdży o jaśniejszej barwie i mniej zanieczyszczony.

Klasyczna temperatura nastawienia fermentacji wynosi 6 do 7°C, ale stosuje się także inne.

Osobnym rodzajem nastawienia fermentacji jest system dolewowy.



Rys. 4.1.7. Ciągłe dozowanie drożdży z napowietrzaniem młodego piwa
Urządzenie typu Turbo-Air (wg F-my Esau i Hueber GmBH)
(1) whirpool, (2) zbiornik drożdży, (3) tank flotacyjny, (4) chłodzenie brzeczki

4.3.3.1.3 Metoda dolewowa

Pod nazwą system dolewowy rozumie się sposób nastawiania fermentacji polegający na tym, że do fermentującego młodego piwa dolewa się świeżą, natlenioną brzeczkę o tej samej temperaturze, co bardzo uaktywnia przemianę materii u drożdży. Dzięki tej metodzie można wydatnie skrócić czas zafermentowania piwa młodego.

Trzeba tu jeszcze raz podkreślić duże znaczenie tego, aby dopływająca brzeczka miała tę samą temperaturę co fermentujące młode piwo. Termiczny szok spowodowany przez zbyt zimną brzeczkę może przyhamować fermentację lub nawet całkowicie ją zatrzymać.

Stosując metodę dolewową można zgodnie z rytmem pracy warzelni nastawiać kolejne fermentacje (patrz rozdz. 1.6.4). W tym celu z dużej kadzi fermentacyjnej, której zawartość znajduje się w fazie „wysokich krążków", czyli burzliwej fermentacji, pompuje się lub spuszcza część młodego piwa do mniejszych kadzi, w których jego fermentacja biegnie dalej, a na to miejsce wprowadza się świeżą, dobrze napowietrzoną brzeczkę, o tej samej temperaturze 8,5°C, jaką ma fermentujące młode piwo, uzupełniając zawartość kadzi do poprzedniego poziomu. Po zmieszaniu brzeczki nastawnej z fermentującym młodym piwem drożdże rozmnażają się dalej, pozostając w fazie logarytmicznego przyrostu komórek.

Przy takim uregulowaniu dodawanych ilości brzeczki, aby różnica między ekstraktem nastawionym a ekstraktem odpompowanego młodego piwa wahała się w granicach od 1,5 do 2,5%, można teoretycznie powtarzać tę operację tak długo, na jak długo brzeczki wystarczy. Stosując tę metodę ma się do dyspozycji niemal wyłącznie młode komórki drożdży, bardzo energicznie fermentujące i nie zanieczyszczone. Bardzo ważne dla uzyskania dobrych wyników jest intensywne napowietrzanie brzeczki nastawnej, aby pobudzić rozmnażanie drożdży. Przy słabym napowietrzaniu nie udaje się skrócić czasu fermentacji.

4.3.3.2.1 Stadia fermentacji

Młode piwo podczas fermentacji głównej przechodzi normalnie następujące stadia:

Stadium fermentacji	Obraz powierzchni fermentującego młodego piwa
Zafermentowanie	Powierzchnia piwa w kadzi powleka się cienką warstewką drobnych baniczek białej piany. Fermentacja ruszyła.
Młode albo „niskie krążki"	Drobna nadal piana staje się jednak wyższa i występują na niej brunatne plamy. Cała powierzchnia powinna mieć barwę śmietany i wygląd możliwie jednolity.
„Wysokie krążki"	Fermentacja weszła w swój najbardziej intensywny okres. Piana jest wysoka, a jej bańki znacznie większe.
„Opadające krążki"	Intensywność fermentacji maleje i wysoka piana stopniowo opada, gdyż wytwarza się znacznie mniej dwutlenku węgla. Barwa piany staje się bardziej brunatna.
Żywiczna piana, czyli „deka"	W wyniku coraz słabszej fermentacji piana nadal opada i w końcu pozostaje już tylko cienka, poprzerywana, brudnobrunatna warstwa, tzw. deka, którą trzeba w porę zdjąć, żeby opadając na dno nie zanieczyściła drożdży.

Oprócz tych normalnych obrazów fermentacji występują czasami pewne anomalia w jej przebiegu, a mianowicie:

Nazwa nienormalnego obrazu fermentacji	Opis nienormalnego obrazu fermentacji	Następstwa
„Gotująca się" fermentacja	Młode piwo burzy się z jednej strony kadzi tak, że sprawia to wrażenie jakby jej zawartość się gotowała.	Jakość piwa nie jest gorsza z tego powodu. Natomiast gdy można należy, jak najszybciej zdjąć „dekę"
Fermentacja z dużymi bańkami (bąblami)	Przy końcu fermentacji w pianie pojawiają się bąble wielkości głowy kapusty.	Jakość piwa nie cierpi na tym

4.3.3.2.2 Temperatura fermentacji

Przy prowadzeniu fermentacji głównej piwa typu pilzneńskiego najważniejsze są temperatura nastawienia oraz najwyższa temperatura, jaką piwo młode osiąga w czasie trwania tego procesu. Przy końcu fermentacji głównej młode piwo musi zostać schłodzone.

Temperatura nastawienia fermentacji

Tradycyjnie temperatura nastawienia fermentacji wynosi 5 do 6°C. Przy metodach fermentacji skróconych stosuje się zwykle podwyższone temperatury nastawienia.

Najwyższa temperatura fermentacji głównej

Ciepło wydzielane w procesie fermentacji podnosi temperaturę młodego piwa (patrz rozdz. 1.6.3.2). Mimo że przy wyższych temperaturach fermentacja przebiega szybciej, to jednak ze względu na jakość produktu nie można przekraczać pewnych ustalonych granic najwyższej dopuszczalnej temperatury fermentacji głównej.

Według tej najwyższej granicy temperatury rozróżnia się:

zimne prowadzenie fermentacji z najwyższą temperaturą do 8-9°C,

ciepłe prowadzenie fermentacji z najwyższą temperaturą do 10-15°C.

Schładzanie młodego piwa

Najwyższą temperaturę fermentacji, w miarę możliwości bez wahań, utrzymuje się w ciągu jednego lub dwóch dni, a następnie młode piwo trzeba powoli schłodzić. Wobec znacznej wrażliwości drożdży na szybkie obniżenia temperatury, w metodzie tradycyjnej zimnej fermentacji za idealne przyjęto, aby temperatura młodego piwa malała średnio o 1°C na dobę i przy spuszczania go do tanków leżakowych wynosiła 4 do 5°C.

Na rys. 4.18 pokazano przebieg zmian podczas fermentacji kilku ważnych parametrów, jak temperatura, zawartość ekstraktu i wartość pH.

Jednym z najważniejszych zadań nadzorującego fermentację jest obserwowanie i regulowanie temperatury młodego piwa oraz dokonywanie pomiarów zawartości ekstraktu, istotne zwłaszcza w ostatnich dniach fermentacji głównej. Klasyczna fermentacja główna trwa 6 do 8 dni.

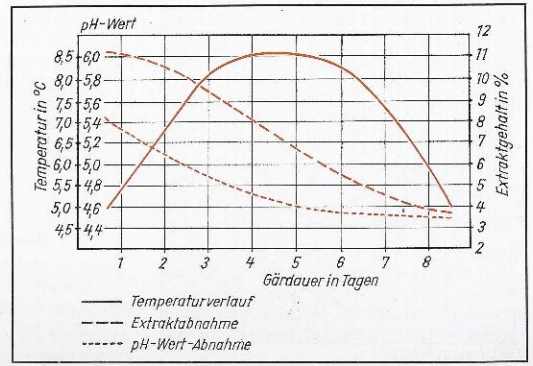
Inne metody fermentacji omówione są w rozdziale 4.4.3.

4.3.3.3 Stopień odfermentowania

W czasie fermentacji zawartość ekstraktu ulega ciągłym zmianom. Miarą tych zmian jest stopień odfermentowania.

Stopień odfermentowania informuje o tym jaki procent nastawionego ekstraktu uległ fermentacji.

Różnica między zawartością ekstraktu w brzeczce nastawnej a zawartością ekstraktu w młodym piwie w danym momencie fermentacji stanowi



Rys. 4.18
Przebieg zmian temperatury, zawartości ekstraktu i wartości pH podczas fermentacji głównej

ekstrakt odfermentowany. Obliczenie stopnia odfermentowania (A) przeprowadza się według wzoru:

$$\%A = \frac{\text{ekstrakt odfermentowany} \cdot 100}{\text{zawartość ekstraktu w brzeczce nastawnej}}$$

Przykład:
W brzeczce nastawnej areometr wykazał 12% ekstraktu. W piwie młodym po fermentacji głównej arcometr wykazał 4% ekstraktu.
Ekstrakt odfermentowany stanowi zatem 8%.
12% ekstraktu reprezentuje 100%.

$$8\%\ \text{ekstraktu} = \frac{8 \cdot 100\ \%}{12} = 66{,}66\%$$

i to jest właśnie stopień odfermentowania.

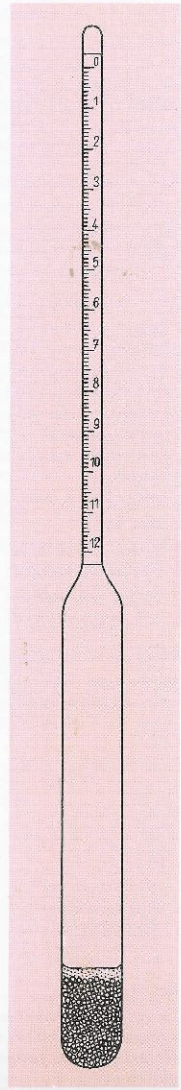
Pozorny i rzeczywisty stopień odfermentowania

Pozorny stopień odfermentowania (A_p)

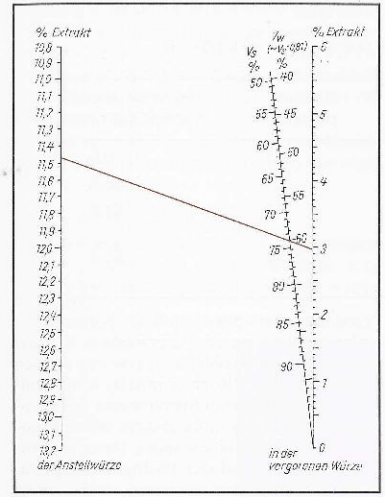
W piwie młodym oznaczono zawartość ekstraktu areometrem (rys. 4.19). Odczytany wynik jest jednak wartością pozorną i nie odpowiada rzeczywistej zawartości ekstraktu w piwie, gdyż na wskazania areometru wpływa również wytworzony alkohol. Różnica między odczytaną a rzeczywistą zawartością ekstraktu wzrasta proporcjonalnie wraz z wyższym odfermentowaniem, a że wykonanie pomiaru jest łatwe, więc w praktyce korzysta się przede wszystkim ze wskazań odfermentowania pozornego.

Rzeczywisty stopień odfermentowania (A_r)

Aby obliczyć z wyżej podanego wzoru rzeczywisty stopień odfermentowania, trzeba najpierw ze 100 g piwa oddestylować alkohol i pozostałość uzupełnić wodą do pierwotnej wagi, a następnie zmierzyć areometrem ekstrakt rzeczywisty.



Rys. 4.19
Areometr do oznaczania ekstraktu



Rys. 4.20
Nomogram do określania pozornego i rzeczywistego stopnia odfermentowania na podstawie ekstraktu pozornego w piwie i w brzeczce nastawnej

Można także, mając zmierzony tylko ekstrakt pozorny, obliczyć w przybliżeniu ekstrakt rzeczywisty stosując wzór:

- $A_r = A_p \cdot 0{,}81$.

Mnożnik 0,81 jest wartością ustaloną empirycznie przez Ballinga około roku 1870. Jeszcze łatwiej odczytać pozorny i rzeczywisty stopień odfermentowania z nomogramu (rys. 4.20). Łącząc linijką odpowiedni % ekstraktu brzeczki nastawnej ze znalezionym ekstraktem pozornym młodego piwa odczytujemy na przecięciu z linią pochyłą na rysunku szukane przybliżone wartości.

Wielkość stopnia odfermentowania

Wysokość odfermentowania zależy w pierwszym rzędzie od tego, w jakim momencie procesu fermentacji pobieramy próbki piwa i dokonujemy pomiaru zawartości ekstraktu.

Ważnymi momentami, w których należy oznaczyć stopień odfermentowania, są:

- koniec fermentacji głównej, przed spuszczaniem piwa do leżakowni,
- koniec leżakowania, piwo gotowe do rozlewu.

Aby mieć skalę porównawczą dla stopnia odfermentowania warto wiedzieć, jaki procent ekstraktu w ogóle zdolny jest przefermentować. W tym celu w laboratorium oznacza się końcowy, tj. maksymalny możliwy stopień odfermentowania danej brzeczki.

Wykonanie oznaczenia końcowego stopnia odfermentowania

Do 0,3 litra przefiltrowanej brzeczki dodaje się 3 g odsączonych do sucha drożdży i pozostawia przez około 8 godzin dla odfermentowania w termostacie przy 25°C lub w zacierniku przy 30°C. Można też w tym celu pobrać brzeczkę z kadzi nastawnej. Po dwóch dobach oznacza się po raz pierwszy arcometrycznie ekstrakt pozorny, a następnie powtarza się to oznaczenie dwa razy dziennie, do czasu aż ekstraktu przestanie ubywać. Wówczas dopiero oznacza się końcowy pozorny stopień odfermentowania.

(Uwaga: powyższy opis jest niezgodny z metodą wg Analytica EBC p. 8.4 obowiązującą w państwach członkowskich tej organizacji, do której Niemcy także należą. Metoda EBC wymaga oznaczenia gęstości brzeczki piknometrem. Kolba fermentacyjna o pojemności 500 ml musi być zamknięta szklanym czopem fermentacyjnym („U-rurka") z wodą i stale wstrząsana, tak aby drożdże nie osiadły na dnie. Temperatura fermentacji 20 lub 25°C, czas 18 do 30 godzin. Próbka 200 ml brzeczki + 15 g drożdży prasowanych. Przypisek tłumacza A.B.)

Końcowy stopień odfermentowania to najwyższy możliwy stopień odfermentowania danej brzeczki nastawnej, uzyskany w wyniku przefermentowania wszystkich zdolnych fermentować składników ekstraktu. Powinien być znany już na kilka dni przed zakończeniem fermentacji głównej.

Przykład (rys. 4.21):
Zmiany zawartości ekstraktu i odfermentowania pozornego w toku procesu

Moment pomiaru gęstości	Kolejność operacji	Ekstrakt pozorny %	Pozorny stopień odfermentowania %
Brzeczka przed nastawieniem	1.	12,5	0,0
Koniec fermentacji głównej	3.	3,9	68,8
Koniec leżakowania	4.	2,3	81,6
Końcowy stopień odfermentowania	2.	2,2	82,4

Przykładowo, dla piw jasnych dolnej fermentacji pozorny końcowy stopień odfermentowania powinien wynosić od 80 do 84%.

Odfermentowanie ekstraktu nie przebiega równomiernie, lecz zależy od intensywności procesu fermentacji w poszczególnych jej etapach (patrz rozdz. 4.3.3.2.1).

Dla kierowania dalszymi procesami ważna jest znajomość:

- różnicy między stopniem odfermentowania piwa młodego a końcowym oraz
- różnicy między stopniem odfermentowania piwa gotowego a końcowym.

Różnice między stopniem odfermentowania piwa młodego przy końcu fermentacji głównej a końcowym stopniem odfermentowania.

Piwo młode w chwili przesyłania do tanków leżakowych musi zawierać jeszcze taką ilość cukrów, aby ich dofermentowanie pod zwiększonym ciśnieniem i przy obniżonej temperaturze wystarczyło dla odpowiedniego wysycenia piwa dwutlenkiem węgla. Z praktyki wiadomo, że trzeba na to pozostawić w piwie młodym 1% nie dofermentowanego ekstraktu, co odpowiada ok. 10% różnicy między wyżej wymienionymi obydwoma stopniami odfermentowania.

Pozorny stopień odfermentowania piwa młodego dla zwykłych piw jasnych wynosi od 66 do 74%, natomiast dla piw ciemnych oraz mocnych nie przekracza 60%.

Różnicę między stopniem odfermentowania piwa gotowego i końcowym oznacza się przed obciągiem i rozlewem.

Przed obciągiem piwa gotowego pobiera się z tanku próbkę i oznacza areometrem ekstrakt pozorny, z którego oblicza się pozorny stopień odfermentowania. Różnica między nim a końcowym stopniem odfermentowania reprezentuje ekstrakt, który może jeszcze odfermentować. Jeśli różnica ta jest spora, stanowi to zagrożenie dla trwałości biologicznej piwa, zwłaszcza nie pasteryzowanego, w którym na tej pożywce mogą rozwinąć drobnoustroje.

Stopień odfermentowania piwa gotowego powinien być możliwie bliski końcowego stopnia odfermentowania i do tego na ogół obecnie się dąży.

4.3.3. 4 Spuszczanie piwa do leżakowni

Ta operacja obejmuje przesyłanie młodego piwa z kadzi fermentacyjnych do tanku leżakowego. Ważne tu jest, aby rozpoznać właściwy moment, czyli dojrzałość piwa do tej operacji. Można przy tej okazji mieszać młode piwa pochodzące z różnych warek, aby ewentualnie poprawić ich skład. Dawniej piwo leżało w kufach drewnianych, obecnie wszędzie stosuje się już tanki (patrz rozdz. 4.3.6).

Rozpoznawanie dojrzałości piwa do leżakowania

Dojrzałość młodego piwa do spuszczenia z kadzi rozpoznaje się po różnych objawach.

Ekstrakt pozorny

W większości browarów mierzy się systematycznie ekstrakt pozorny młodych piw, przynajmniej w ostatnich dniach fermentacji głównej. Ekstrakt pozorny dojrzałego, młodego piwa jest zwykle w browarze znany z praktyki i w zwykłych jasnych piwach wynosi około 3,4 do 4%. Odpowiada to pozornemu stopniowi odfermentowania około 66 do 69%.

W ostatniej dobie fermentacji głównej obniżenie ekstraktu pozornego nie powinno być większe niż 0,2 do 0,3%.

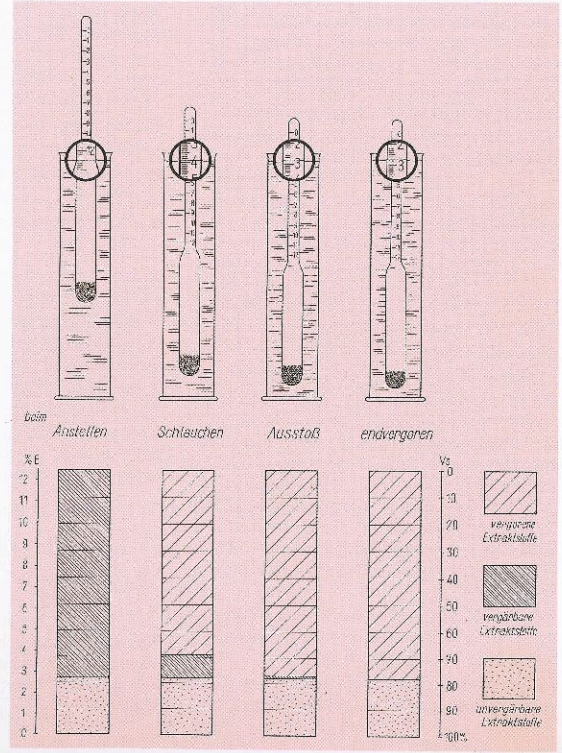
Pokrywa piany („deka")

Przy mocnym uderzeniu w nie zdjętą jeszcze pokrywę piany, czyli „dekę", uderzone miejsce powinno zostać gołe, a lustro piwa wyglądać czarno.

Jeśli dojrzałość do leżakowania nie jest jeszcze osiągnięta, to powstałe w miejscu uderzenia lustro piwa szybko wypełnia się pianą i za chwilę cała powierzchnia piwa w kadzi wraca do poprzedniego wyglądu.

Zachowanie się zawiesiny drożdży w szklance lub w zlewce

Dla sprawdzenia dojrzałości piwa do leżakowania pobiera się próbkę młodego piwa do szklanki lub zlewki i odstawia na jakiś czas. Jeśli piwo w szklance klaruje się, to można wnioskować, że drożdże w kadzi też się dobrze osadzają.



Rys. 4.21. Pozorny ubytek ekstraktu podczas fermentacji głównej i dojrzewania piwa (uwaga: podane w dolnej części rysunku składników są zaniżone, gdyż oparte na odfermentowaniu pozornym. Przyp. tł. A.B.)

Oczywiście, szczep drożdży odgrywa tu istotną rolę. Moment dojrzałości młodego piwa i liczba komórek drożdżowych w mililitrze są ze sobą ściśle związane.

Zależnie od zawartej w piwie młodym liczby komórek drożdżowych można mówić o:

bogatym piwie młodym, w którym jest dużo drożdży i dużo ekstraktu do przefermentowania w tanku leżakowym albo o

ubogim piwie młodym, w którym jest mało drożdży i mało ekstraktu.

Decyzja, czy spuszczać do tanku leżakowego piwo młode bogate, czy ubogie w drożdże, zależy od ich szczepu oraz warunków leżakowania.

Piwo młode ubogie w drożdże	Piwo młode bogate w drożdże
przy słabo fermentujących drożdżach i różnicy odfermentowania pozornego z końcowym od 10 do 12%	przy mocno fermentujących drożdżach, pozostawiając dużo ekstraktu i różnicę odfermentowania pozornego i końcowego około 15%,
przy krótkotrwałym leżakowaniu	przy długim czasie leżakowania,
przy zimnych piwnicach	przy ciepłych piwnicach,
przy dużych tankach	przy małych tankach

Mieszanie różnych piw

Surowce wykorzystywane do produkcji piwa nie są zawsze jednakowe i każda warka może wypaść trochę inaczej, co w końcowym efekcie odbije się na nierównej jakości piwa. Aby zniwelować te nieuniknione wahania jakości, miesza się piwa z różnych warek tego samego gatunku. Ma to częściowo miejsce już podczas fermentacji głównej, przy stosowaniu zabiegu dodawania „wysokich krążków" lub metody dolewowej, w której miesza się brzeczkę z różnych warek.

Także podczas spuszczania młodego piwa rozdziela się zawartość jednej kadzi fermentacyjnej na kilka tanków leżakowych.

Można również mieszać piwa z brzeczek o różnej zawartości ekstraktu i różnej mocy.

Przy mieszaniu należy pamiętać o tym, że dwa różne roztwory jest tym trudniej dokładnie zmieszać, im bardziej się one różnią:

- gęstością,
- zawartością ekstraktu,
- zawartością alkoholu,
- temperaturą, barwą itp.

Dokładne zmieszanie można osiągnąć tylko drogą sporego nakładu energii na pracę mieszadeł, pompowanie w obiegu zamkniętym, przetłaczanie z tanku do tanku itp.

W poniższych przykładach obliczeń te ważne okoliczności zostaną jednak pominięte.

Zadanie:

Nasza warka o objętości 643 hl brzeczki i zawartości 12,2% ekstraktu wypadła przez przeoczenie trochę za gęsta i trzeba ją rozcieńczyć wodą do planowanej zawartości ekstraktu 11,3%. Ile hektolitrów wody trzeba dodać?

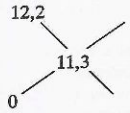
Można obliczyć tę ilość kilkoma sposobami, spośród których omówimy tu

- obliczenie za pomocą „krzyża mieszanin" oraz
- obliczenie za pomocą wzoru sporządzania mieszanin.

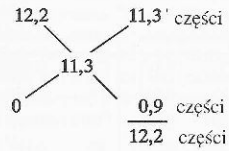
„Krzyż mieszanin"

W tej metodzie ustala się tylko współczynnik (stosunek mieszania), przez który mnoży się następnie daną ilość piwa do rozcieńczania.

Zawartość ekstraktu piw do zmieszania pisze się jedną nad drugą, pozostawiając jedną linię wolną i opuszczając znaki procentów, a pożądany ekstrakt w wolnej linii, przesuwając go nieco ku prawej stronie:



Na wolnych końcach ramion krzyża wpisuje się wyniki różnic między obydwoma wcześniej wpisanymi wartościami a liczbą wpisaną w środku krzyża:



Z powyższych liczb uzyskujemy jako rezultat wielkość części składowych mieszaniny. W rozpatrywanym przykładzie wygląda to tak:

jeśli zmieszamy 11,3 części obj. o zawartości ekstraktu 12,2% z 0,9 części (wody) o zawartości ekstraktu 0%, to otrzymamy 12,2 części obj. o zawartości ekstraktu 11,3%.

Podstawiając wartości z naszego przykładu otrzymamy:

11,3 części (objętości) = 643 hl

$$0{,}9 \text{ części} = \frac{643 \cdot 0{,}9 \text{ części}}{11{,}3 \text{ części}} = 51{,}2 \text{ hl}$$

Trzeba więc dodać 51,2 hl wody, aby uzyskać potrzebną zawartość 11,3% ekstraktu. Ogólna ilość brzeczki (lub piwa) wzrośnie przy tej operacji: 643 + 51,2 = 694,2 hl.

Wzór obliczania mieszanin

objętość I · zawartość ekstraktu I
+ objętość II · zawartość ekstraktu II
= objętość I + II · zawartość ekstraktu III

Jak widać, obydwoma metodami uzyskujemy ten sam wynik. Oczywiście, dla uproszczenia pomijamy tu pewne źródła drobnych błędów, jak np. temperatura brzeczki czy piwa.

4.3.4 Zbiór drożdży w kadzi fermentacyjnej

Po spuszczeniu młodego piwa do leżakowni na dnie kadzi fermentacyjnej pozostaje osad komórek drożdżowych, czyli gęstwa drożdżowa.

Drożdże osadzone na dnie kadzi dzieli się, ale tylko teoretycznie, na trzy warstwy:

- **górne drożdże, czyli warstwa pierwsza od góry, zawierają komórki, które osadziły się najpóźniej, oraz drobne zanieczyszczenia, które osiadły ze zbieranej z powierzchni piwa piany, czyli „deki",**
- **środkowe drożdże, warstwa znajdująca się w środku, zawierają zdrowe, energicznie fermentujące komórki. Jej barwa powinna być możliwie jasna,**
- **dolne drożdże, to cienka warstwa znajdująca się na samym dnie kadzi, zawiera martwe komórki drożdży, cząstki osadu białkowego i żywic chmielowych, które osiadły na dnie jako pierwsze.**

Zbiór drożdży dokonywany warstwami jest tylko teoretycznie możliwy. Nie jest on nigdy praktykowany. Różnic fizjologicznych w warstwie drożdży nie da się określić, a jedynie różną zawartość zanieczyszczeń, których jednak podczas zbioru nie daje się oddzielić.

Kiedy podstawimy wartości z naszego przykładu, będzie to wyglądało następująco:

643 · 12,2% + objętość II · 0% = 643 hl · 11,3% + objętość II · 11,3%

643 · 12,2% - 643 · 11,3% = objętość II · 11,3% - objętość II · 0%

Objętość II (11,3% -0%) = 643 hl (12,2%-11,3%)

$$\text{Objętość II} = \frac{643(12{,}2\text{-}11{,}3\%)}{11{,}3\text{-}0\%} = \frac{643 \text{ hl} \cdot 0{,}9\%}{11{,}3\%} = 51{,}2 \text{ hl}$$

Zbiór drożdży wynosi średnio 2 do 2,5 l gęstwy drożdżowej na 1 hl piwa. Przy użyciu kłaczkujących szczepów drożdży jest on, oczywiście, większy niż przy użyciu szczepów pylistych. Zebrane drożdże wykorzystuje się bądź bezpośrednio do nastawiania kolejnej fermentacji, bądź też po przemyciu przechowuje się pod wodą.

Zebrana gęstwa drożdżowa zawiera zawsze pewną ilość piwa – tym większą, im bardziej luźna jest jej struktura. Przy bezpośrednim wykorzystaniu drożdży do nastawienia następnej fermentacji to piwo trafia z powrotem do produkcji i nie jest tracone. Natomiast przy myciu gęstwy drożdżowej idzie ono do kanału i zwiększa obciążenie ścieków. Więcej na ten temat – patrz. rozdz. 4.4.5.

4.3.5. Procesy zachodzące przy dojrzewaniu piwa w tradycyjnych tankach

Podczas dojrzewania piwa mają miejsce, poza odfermentowaniem, dwa procesy podstawowego znaczenia, z których każdy zasługuje na osobne omówienie. Są to:

- wysycenie piwa dwutlenkiem węgla przy zastosowaniu nadciśnienia,
- klarowanie piwa przez osadzenie się różnych substancji tworzących zawiesiny, w tym także i drożdży.

4.3.5.1 Nasycenie piwa dwutlenkiem węgla

Rozpuszczalność dwutlenku węgla w wodzie i w piwie zależy od temperatury i ciśnienia.

Zależność rozpuszczalności dwutlenku węgla od temperatury

Rozpuszczalność dwutlenku węgla w piwie jest niemal tak duża jak w wodzie. Występują jednak niewielkie różnice na niekorzyść piwa, jak wynika z poniższej tabeli, w której podano rozpuszczalność dwutlenku węgla w gramach na 100 g wody i piwa dwunastki, przy normalnym ciśnieniu, w różnych temperaturach.

Temperatura w °C	Rozpuszczalność CO_2 w wodzie	w piwie	Temperatura w °C	Rozpuszczalność CO_2 w wodzie	w piwie
0	0,335	0,317	6	0,268	0,258
1	0,321	0,306	8	0,249	0,241
2	0,309	0,296	10	0,232	0,226
3	0,298	0,286	15	0,197	0,193
5	0,277	0,267			

Podane w tabelce ilości CO_2 to gramy w 100 g piwa lub wody, a zatem są to jednocześnie procenty wagowe.

Rozpuszczalność dwutlenku węgla w piwie jest tym większa, im niższa jest temperatura napoju. W piwie ciepłym rozpuszczalność dwutlenku węgla gwałtownie maleje.

Ta zasada dotyczy wszystkich gazów, ale rozpuszczalność różnych gazów jest ilościowo bardzo różna.

(Ta informacja wymaga uzupełnienia: dwutlenek węgla jest gazem, który wchodzi w reakcję z wodą, tworząc nietrwały związek – kwas węglowy. Reakcja przebiega następująco: $H_2O+CO_2 \Leftrightarrow H_2CO_3$, a jej kierunek zależy od warunków fizycznych. To dlatego nasycenie dwutlenkiem węgla obniża pH piwa, a ponadto dopiero tworzenie kwasu węglowego wyjaśnia, dlaczego w wodzie lub piwie może się rozpuścić około 300 razy więcej dwutlenku węgla niż tlenu. Przyp. tłum. A.B.)

Zależność rozpuszczalności dwutlenku węgla od ciśnienia

W myśl prawa, które dla gazów sprecyzował Henry, rozpuszczalność ich w wodzie wzrasta wprost proporcjonalnie do ciśnienia. Oznacza to w praktyce, że tym więcej dwutlenku węgla rozpuści się w piwie, im bardziej zwiększymy ciśnienie w tanku leżakowym.

Przykład:

Przy temperaturze +1°C w warunkach normalnego ciśnienia atmosferycznego rozpuszcza się w piwie 0,306% wagowych dwutlenku węgla. Jak będzie wzrastać rozpuszczalność przy rosnącym ciśnieniu, jeśli temperatura +1°C nie będzie się zmieniać?

Aby to obliczyć, mnoży się ilość dwutlenku węgla, rozpuszczającą się w piwie przy tej temperaturze i ciśnieniu atmosferycznym, przez ciśnienie w barach jakie wskazuje manometr:

1,0 bar = 0,306% · 1,0 = 0,306% CO_2
1,1 bar = 0,306% · 1,1 = 0,337% CO_2
1,2 bar = 0,306% · 1,2 = 0,367% CO_2
1,3 bar = 0,306% · 1,4 = 0,428% CO_2
1,5 bar = 0,306% · 1,5 = 0,459% CO_2

Rozpuszczalność dwutlenku węgla w piwie wzrasta więc wraz ze wzrostem ciśnienia.

Piwo po rozlewie powinno zawierać około 0,5% dwutlenku węgla. Ciśnienie w tanku leżakowym, uwzględniając temperaturę, trzeba więc tak ustawić, aby w piwie rozpuściło się trochę więcej niż 0,5% CO_2, bo podczas rozlewu zawsze pewną jego ilość się traci. Wytworzony podczas fermentacji wtórnej w tanku leżakowym nadmiar dwutlenku węgla, który nie został zatrzymany w piwie przez zwiększone ciśnienie, ulatuje z tanku spełniając ważną rolę „płuczki gazowej", gdyż porywa z sobą szereg lotnych substancji wytworzonych podczas fermentacji, przyczyniając się w ten sposób do dojrzewania produktu.

W rozdziale 4.1.2.5 wspomniano o tym, że część lotnych związków siarki jest usuwana tą drogą, podczas gdy ich większość wchodzi w reakcje biochemiczne ze składnikami piwa. Są jednak i inne lotne składniki, które dzięki przemywaniu piwa ulatniającym się z tanku dwutlenkiem węgla w znacznym stopniu usuwane są z produktu. Intensyfikując ten proces można więc w zasadzie skrócić dojrzewanie piwa. Aby to przeprowadzić, konieczne jest jednak sztuczne dodawanie dwutlenku węgla.

4.3.5.2 Klarowanie się piwa w sposób naturalny

W młodym piwie spuszczonym do tanków leżakowych obok komórek drożdżowych znajdują się w zawiesinie cząstki osadu białkowego, które stopniowo, wraz z drożdżami, osiadają na dnie zbiornika. Osadzanie drożdży uwarunkowane jest długością okresu leżakowania. Korzystnie na przebieg procesu wpływa niezmienna temperatura leżakowni, która zapobiega przemieszczaniu się warstw piwa w tanku, oraz małe wymiary tanków leżakowych. W małych tankach wysokość słupa cieczy jest znacznie mniejsza niż w dużych.

W młodym piwie, które w leżakowni ulega znacznemu ochłodzeniu, następuje dalsze wytrącanie się bardzo drobnych cząstek tzw. osadu zimnego, złożonego z białek i garbników oraz części żywic chmielowych. Im mocniej piwo jest ochłodzone, tym więcej wytrąca się tego osadu. Jako bardzo drobne cząstki te osiadają też bardzo wolno. Część z nich adsorbuje się na powierzchni komórek drożdżowych. Korzystne jest więc usunięcie tego osadu i tworzących go substancji przed lub podczas filtracji. W tym celu, w okresie poprzedzającym filtrację, obniża się temperaturę piwa w tanku leżakowym do -1°C.

Klarowanie piwa można też przyspieszyć dodając różnego rodzaju środki klarujące. Jednak sposób ten jest rzadko i niechętnie stosowany z uwagi na koszty i dodatkową robociznę. Natomiast dodatnią stroną zastosowania tych środków jest ułatwienie pracy filtra, który nie zamula się tak szybko i nie wymaga częstego czyszczenia.

Na naturalne klarowanie piwa dodatnio wpływają:

długie leżakowanie,
małe tanki leżakowe,
wyrównana, niska temperatura leżakowni,
dodawanie środków klarujących.

Dla spowodowania wytrącenia się składników „zimnego osadu" piwo przez ostatnie 7 dni przed filtracją powinno w układzie klasycznym leżakować w temperaturach ujemnych, między -1 a -2°C.

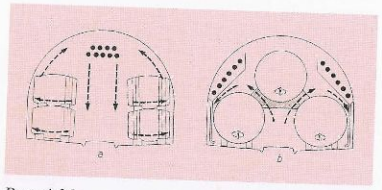
4.3.6 Urządzenia klasycznej leżakowni

4.3.6.1 Urządzenia piwnicy leżakowej

W ciągu całego procesu produkcyjnego piwo przebywa najdłużej w piwnicy leżakowej. Z tego względu leżakownia jest największym pomieszczeniem tradycyjnego browaru. Składa się zwykle z głównego korytarza, od którego na boki odchodzą poszczególne oddziały tanków, zwane tradycyjnie piwnicami. Oddział, do którego spuszcza się młode piwo musi być utrzymany w nieco wyższej temperaturze, aby umożliwić rozpoczęcie procesu dofermentowania. Leżakownia musi być dobrze izolowana od zmian cieplnych otoczenia przez grube mury i warstwy izolacyjne oraz wyposażona w intensywne chłodzenie pomieszczeń. Rury z chłodziwem, np. solanką, powinny być tak zainstalowane, aby kondensująca się na nich woda nie kapała na zbiorniki i nie powodowała korozji (rys. 4.23). Zapotrzebowanie zimna na chłodzenie pomieszczeń leżakowni wynosi w przybliżeniu 3.000 kJ na 1 m^2 powierzchni lokalu dziennie. Przy swoich wielkich rozmiarach piwnice leżakowe są największym konsumentem zimna w browarze.

4.3.6.2 Tanki leżakowe

W starych, bardzo małych niemieckich browarach, można było do niedawna spotkać jeszcze czasem drewniane kufy do leżakowania piwa (*w Polsce już nigdzie. Przyp. tłum.*). Z reguły więc mówi się o tankach leżakowych.



Rys. 4.23

Chłodzenie pomieszczenia przy tradycyjnych zbiornikach leżakowych.

a) kufy drewniane, b) tanki leżakowe

Kufy drewniane

W dawnych browarach, w XIX wieku i w pierwszej połowie naszego stulecia, przeważały drewniane naczynia fermentacyjne. Obecnie można je zobaczyć niezwykle rzadko i tylko w niektórych krajach. Pojemność drewnianych kuf, czyli zbiorników do leżakowania piwa wahała się od 15 do 150 hl. Dla lepszego wykorzystania przestrzeni w piwnicy kufy i tanki ustawiano w sposób pokazany na rys. 4.23b.

Wskutek swojego beczkowatego kształtu kufy drewniane źle wykorzystywały przestrzeń w piwnicy. Ich obustronne mycie, wewnętrzne i zewnętrzne, wymagało bardzo dużego nakładu pracy ręcznej, ale główną wadę stanowiło to, że trzeba je było raz do roku smołować. Wymagało to dużych nakładów na materiały i prace ludzką i w dużej mierze przesądziło o wycofaniu drewnianych naczyń z produkcji. W niemieckich malutkich browarach można je jeszcze spotkać, ale bardzo rzadko.

Tanki metalowe

Do budowy tanków metalowych stosowano stal i aluminium. Najczęściej spotyka się tanki stalowe. Powierzchnia zwykłej stali musi być odizolowana od produktu ze względu na ujemny wpływ jonu żelazowego na smak, barwę i trwałość koloidalną piwa. Jako wykładziny stosuje się masy bitumiczne na bazie parafin, emalie i żywice sztuczne.

W Niemczech za najlepsze uważa się tanki ze stali V2A, które nie wymagają żadnej wykładziny (patrz rozdz. 6.1.2).

Tanki stalowe budowano najczęściej w postaci leżącego walca. Większe mogą składać się z szeregu zespawanych ze sobą segmentów, które w starszych wykonaniach bywały nitowane lub nawet łączone śrubami. Rzadziej spotykane są tanki w postaci stojącego walca, głównie ze względu na trudności przy ręcznym myciu.

Tanki aluminiowe również spotykano dość często w niemieckich browarach. Zaleta ich polega na tym, że przy właściwym wykonaniu (pasywizacji) powierzchni nie wymagają żadnej wykładziny. Przy obchodzeniu się z nimi obowiązują te same zasady, co przy obchodzeniu się z wszelkiego rodzaju naczyniami i sprzętem aluminiowym (patrz rozdz. 6.1.1).

Wadą aluminium jest jego miękkość, w wyniku czego przy każdej okazji naczynia aluminiowe łatwo się deformują w przypadku nieostrożnego obchodzenia się z nimi. Tanki aluminiowe są wrażliwe na podciśnienie jeszcze bardziej niż tanki stalowe.

4.3.7 Prowadzenie leżakowania piwa w tradycyjnych tankach

Dla przeprowadzenia procesu leżakowania spuszcza się młode piwo z kadzi fermentacyjnych do tanków leżakowych. Tanki zaopatrzone są w tzw. aparaty czopujące, zawory utrzymujące podwyższone ciśnienie, aby zapewnić odpowiednie nasycenie piwa dwutlenkiem węgla.

Długość okresu leżakowania regulowała dawniej stara zasada piwowarska: tyle tygodni, ile procent ekstraktu ma nastawiona brzeczka. Regułą przy tym była niska temperatura, około 0-1°C. Ustawienie jej od razu na najniższym poziomie nie jest jednak dobre, bo utrudnia dofermentowanie i redukcję dwuacetylu, skutkiem czego nawet po długotrwałym leżakowaniu w tych warunkach jego zawartość może być stosunkowo wysoka.

Obecnie leżakuje się piwo co najmniej dwa do trzech tygodni. Przed końcowym obniżeniem temperatury bada się zawartość dwuacetylu. Tradycyjne tanki nie mają jednak indywidualnego chłodzenia, więc zanim obniży się temperaturę całego działu, trzeba się upewnić, że dwuacetyl został wystarczająco zredukowany we wszystkich tankach, które w nim się znajdują. To przedłuża trochę czas leżakowania. Należy też dążyć do tego, aby końcowy etap przetrzymywania piwa w temperaturze bliskiej zera trwał nie mniej niż tydzień.

4.3.7.1 Spuszczanie młodego piwa do leżakowni

Aby spuścić młode piwo z kadzi fermentacyjnej do tanku leżakowego, łączy się te naczynia elastycznymi wężami, gumowymi lub z tworzyw sztucznych, którymi po otworzeniu zaworów produkt przepływa z kadzi do tanku. Tank napełnia się do poziomu 10-15 cm poniżej otworu, którym przez ciśnieniowy zawór czopujący uchodzić będzie dwutlenek węgla. Tank napełnia się powoli, od dołu, aby uniknąć nadmiernych strat dwutlenku węgla i kontaktu piwa z powietrzem.

Podczas napełniania tanku fermentacja jeszcze trwa, wobec czego zawór czopujący przez jeden lub dwa dni pozostawia się jeszcze otwarty i zamyka dopiero po upływie tego czasu. Przy zbytnim napełnieniu tanku leżakowego przez zawór czopujący wydostaje się piana, tworząc białą warstwę na powierzchni zbiornika. Żeby uniknąć związanych z tym strat, tanki leżakowe początkowo napełnia się niezupełnie i dopiero po paru dniach dopełnia do właściwego poziomu.

Dla ujednolicenia jakości piwa zawartość każdej kadzi fermentacyjnej powinna być rozdzielona na kilka tanków leżakowych, tak aby w każdym tanku znajdowało się piwo pochodzące z kilku różnych warek.

4.3.7.2 Czopowanie tanków

Zamykając przewód odpowietrzający tanku leżakowego zaworem czopującym, zatrzymujemy w przestrzeni wolnej nad piwem część wydzielonego dwutlenku węgla i powodujemy wzrost ciśnienia w zbiorniku. Zawór czopujący pozwala regulować poziom ciśnienia w tanku.

Rozkład ciśnienia w tanku leżakowym

Jak wiadomo, w zamkniętej przestrzeni wypełnionej gazem ciśnienie tego gazu działa równomiernie we wszystkich kierunkach.

Jednak w zbiorniku wypełnionym także cieczą, jak tank leżakowy, do ciśnienia gazu w wolnej przestrzeni nad jego powierzchnią trzeba dodać ciśnienie hydrostatyczne słupa cieczy, zależne od jego wysokości i jej gęstości. W dolnych partiach wysokich tanków suma tych ciśnień bywa wielokrotnie większa niż ciśnienie ustawione przez nas za pomocą zaworu czopującego.

Zawory czopujące

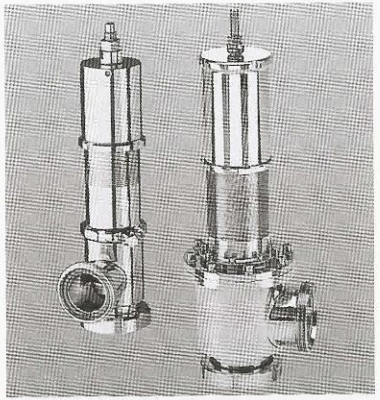
Ciśnienie dwutlenku węgla w tanku leżakowym trzeba nie tylko utrzymać na potrzebnym poziomie, ale także trzeba zapobiec jego wzrostowi ponad pożądany poziom. Te rolę zaworów bezpieczeństwa spełniają także urządzenia czo-

pujące. Tak więc zawór czopujący jest jednocześnie regulatorem ciśnienia w tanku i jego zaworem bezpieczeństwa. Jest to oczywiste. Najstarsze urządzenia czopujące działały na zasadzie słupa wody, której hydrostatyczny opór musiał być pokonany przez wydzielający się w tanku dwutlenek węgla, aby gaz mógł ulecieć do atmosfery. Dla utrzymania nadciśnienia 0,3 bar potrzebny był słup wody wysokości 3 m i odpowiednio do tego rura urządzenia czopującego musiała mieć długość co najmniej 4 m, co w praktyce nie było wygodne.

Aby zmniejszyć rozmiary tych urządzeń, zamiast wody zastosowano wielokrotnie od niej cięższą rtęć. Pary rtęci są jednak trujące i jej stosowanie jest zakazane.

Obecnie w browarach do czopowania tanków leżakowych stosuje się zawory grawitacyjne z ciężarkiem lub sprężynowe dające się dokładnie regulować. Przy przekroczeniu określonego ciśnienia zawór się otwiera i gaz ulatuje z tanku.

Na zdjęciu 4.24 pokazano takie współczesne zawory czopujące.



Rys. 4.24
Nowoczesne zawory czopujące

Przyczyny niedziałania zaworu czopującego

Może się zdarzyć, że zawór czopujący nie pracuje i nie wypuszcza gazu z tanku. Przyczyny tego mogą być różne:

- Piwo za głęboko odfermentowało w kadzi i nie zawiera dość cukrów fermentujących, aby w toku fermentacji wtórnej wytworzyć dostateczną ilość dwutlenku węgla lub też drożdże są osłabione i już osiadły na dnie tanku. W obydwu tych przypadkach można poprawić sytuację dodając do tanku pewną ilość piwa z kadzi fermentacyjnej w stadium „opadających krążków", które wprowadzi ekstrakt zawierający cukry oraz świeże, energicznie fermentujące drożdże. Przy tym zabiegu należy zwracać uwagę, aby nie nastąpiło zbyt raptowne ochłodzenie drożdży, które może zahamować fermentację i spowodować ich osadzenie się na dnie tanku. Niektóre browary niemieckie stosowały ten zabieg jako regułę, będąc zdania, że poprawia on i „zaokrągla" smak piwa.
- Drugą przyczyną tego, że zawór czopujący nie pracuje, mogą być po prostu nieszczelności tanku. W celu ich wykrycia smaruje się podejrzane miejsca roztworem myjącym, który będzie się pienił w punktach, przez które ucieka gaz.
- Ostatnią przyczyną braku działania zaworu czopującego, której trzeba się obawiać, jest jego zablokowanie. Zawór, do którego przy poprzedniej fermentacji dostała się piana i nie został on dokładnie umyty, może po prostu być zaklejony przez zaschniętą pianę i dlatego nie działać. Jest to o tyle niebezpieczne, że przy słabszej konstrukcji zbiornika leżakowego może doprowadzić nawet do jego pęknięcia.

4.3.8 Łączenie węży do przewodów piwnych

Łączenie przeznaczonego do obciągu tanku leżakowego z układem rurociągów prowadzących do działów filtracji i rozlewu piwa jest operacją ważną i delikatną, przy której trzeba przestrzegać następujących podstawowych reguł:

- we wszystkich połączeniach i rurociągach musi być utrzymane takie ciśnienie jak w opróżnianym tanku leżakowym, gdyż w przeciwnym razie nastąpi wydzielanie się i straty CO_2,

- należy robić wszystko, aby nie dopuścić do kontaktu piwa z powietrzem i rozpuszczania się w nim tlenu.

4.3.8.1 Technika łączenia tanków do przewodów piwnych

Łączenie i opróżnianie kuf leżakowych było niełatwą sztuką z uwagi na ich beczkowaty kształt i budowę. W muzeach można oglądać służące do tego celu urządzenia.

Metalowe tanki leżakowe posiadają zawsze króciec, zaopatrzony w zawór i służący do opróżniania zbiornika. Ten króciec, nagwintowanym lub kłowym złączem, łączy się szczelnie z elastycznym wężem, który drugim swym końcem połączony zostaje z rurociągiem piwnym, prowadzącym do działów filtracji i rozlewu. Gdyby przy tej operacji piwo zetknęło się z powietrzem, to ten kontakt z tlenem byłby bardzo szkodliwy dla jakości produktu. Jednocześnie mogłoby nastąpić pienienie się piwa oraz straty CO_2.

Aby tego wszystkiego uniknąć, napełnia się węże i przewody piwne odpowietrzoną wodą albo dwutlenkiem węgla o takim ciśnieniu jak w opróżnianym tanku leżakowym. Przed napełnieniem węży i rur dwutlenkiem węgla trzeba usunąć z nich powietrze bądź przez „przepłukanie" ich strumieniem CO_2 bądź napełnienie ich wodą i następnie wypchnięcie tej wody z przewodów piwnych za pomocą dwutlenku węgla. Dopiero po wykonaniu tych zabiegów można otworzyć zawór tanku, łączący go poprzez wąż z rurociągiem piwnym.

Przy odpowietrzaniu rurociągów wodą, którą następnie wypycha się z rur piwem, kontrolując przepływ według barwy w „latarce", następuje pewne przemieszanie się wody z piwem na granicy ich zetknięcia i przez niewielki czas wypływa z rury już nie woda a jeszcze nie piwo. To samo powtarza się przy końcu obciągu, gdy piwo z rur wypychane jest wodą. Te zmieszane z wodą „początki" i „końcówki" obciągu niemieccy piwowarzy łapali, magazynowali i traktowali osobno. (*Z mojej praktyki w browarze Vandenheuvel w Brukseli pamiętam, że ich belgijscy koledzy nie byli tak oszczędni – po prostu puszczali te zmieszane z wodą piwo do kanału, uważając że nie warto sobie zawracać głowy tak drobnymi ilościami. Piwowarów za Odrą widocznie obowiązywały inne zasady. Przyp. tłum.* AB).

4.3.8.2 Ciśnienie przy obciągu

Nadciśnienie w tanku leżakowym przed obciągiem wynosi zwykle około 0,5 bar. Podczas obciągu ciśnienie to będzie się obniżać, jeśli nie wprowadzimy gazu na miejsce piwa, które opuszcza tank. W praktyce do tanku wprowadza się CO_2 albo sprężone powietrze.

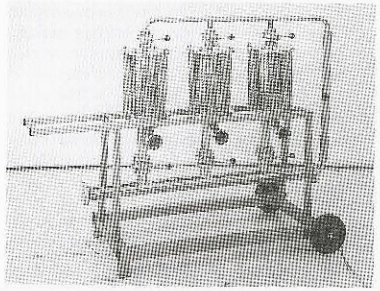
Sprężone powietrze ma jednak tę poważną wadę, że powoduje natlenianie piwa i pogorszenie jego jakości. Aby tego uniknąć wskazane jest stosowanie dwutlenku węgla, którego w zasadzie nie powinno w browarze brakować, bo masowo powstaje podczas fermentacji, ale jego odzyskanie możliwe jest tylko przy zamkniętych tankach fermentacyjnych. Przy otwartej fermentacji takich możliwości nie mamy. Ciśnienie w tanku przyśpiesza obciąg, ale materiał, z którego buduje się tanki, nie wytrzymuje dowolnego ciśnienia. Zwykle przy obciągu daje się do tanku nadciśnienie rzędu 0,9 do 1,0 bar.

Bardziej jeszcze niż zbyt wysokie ciśnienie groźne jest dla tanków podciśnienie, które może spowodować wielkie szkody. Kiedy podczas obciągu zawór doprowadzający dwutlenek węgla lub sprężone powietrze pozostaje cały czas zamknięty, opróżnienie tanku z piwa może wywołać powstanie w nim podciśnienia, w wyniku czego zewnętrzne ciśnienie atmosferyczne może sprasować zbiornik.

Szczególnie zagrożone są tanki aluminiowe z uwagi na miękkość tego materiału. Ciśnienie atmosferyczne zgniata tank całkowicie i jego naprawa, jeśli w ogóle możliwa, jest bardzo kosztowna. Bardzo wrażliwe na niewielkie nawet podciśnienie są także tanki cylindryczno-stożkowe, zwane niekiedy „unitankami".

4.3.9 Obciąg piwa z tradycyjnych tanków

Obciągane z tanków piwo poprzez mieszalnik i regulator ciśnienia trafia do filtra. Często też wychładza się je jeszcze dodatkowo dla lepszej stabilizacji i poprawienia trwałości koloidalnej.



Rys. 4.25

Potrójny mieszalnik ręcznie obsługiwany

4.3.9.1 Mieszalnik

Piwo z tanku trafia najpierw do mieszalnika. Za pomocą tego urządzenia można:

- dwa lub więcej tanków obciągać jednocześnie, mieszając piwo, aby ujednolicić jego jakość;
- zobaczyć kiedy jeden z tanków się kończy, co widać po zmętnieniu piwa w szkle kontrolnym, czyli „latarce", a następnie po pienieniu się jej zawartości, dzięki czemu można bez żadnej przerwy w obciągu przełączyć go na inny tank, unikając skoków ciśnienia na filtrze i kontaktu piwa z powietrzem.

Mieszalnik może mieć 2 do 6 połączeń dla węży doprowadzających piwo z tanków, każde zaopatrzone w szkło kontrolne („latarkę"). Mieszalnik zapewnia ciągły, niezakłócony przebieg obciągu i kontrolę klarowności piwa w „latarce" (rys. 4.25).

Zwykle instaluje się szkło kontrolne także na rurze doprowadzającej i odprowadzającej wodę, aby móc obserwować zastępowanie jej piwem na początku obciągu i wytłaczanie piwa z rur wodą przy końcu tej operacji.

4.3.9.2 Regulator ciśnienia

Ostatnim urządzeniem w piwnicy leżakowej jest regulator ciśnienia, który zapewnia stały dopływ piwa pod stałym ciśnieniem do działu filtracji. Dzieje się to za pomocą pomp o regulowanej liczbie obrotów. Regulacja musi eliminować wszelkie skoki ciśnienia. Podczas filtracji ciśnienie potrzebne na wejściu do filtra stopniowo wzrasta, wobec czego pompa musi być stale na nowo regulowana, jeśli to ona spełnia rolę regulatora ciśnienia. Jeśli natomiast filtr ma swoją osobną pompę, to regulator ciśnienia może pracować ze stałą wydajnością, to jest taką, aby poziom piwa w tanku pośredniczącym (buforowym) przed filtrem był stały.

4.3.9.3 Odzyskiwanie piwa z gęstwy drożdżowej

Osad pozostający na dnie tanków leżakowych zawiera sporo piwa. To piwo resztkowe jest pozbawione CO_2 i często, przy otwartym systemie fermentacji, już zainfekowane. Piwo resztkowe można oddzielić od osadu drożdżowego za pomocą specjalnej prasy filtracyjnej. Drożdże sprzedaje się rolnikom jako paszę, a odzyskane piwo traktuje osobno (patrz rozdz. 4.4.6.4).

4.3.9.4 Głębokie wychładzanie piwa

Niektóre browary stosują dodatkowo bardzo mocne wychładzanie piwa przed filtracją, aby spowodować wytrącenie się tzw. zimnego osadu i w ten sposób zabezpieczyć produkt przed ryzykiem występowania „zmętnienia na zimno" w butelce, po schłodzeniu w lodówce u konsumenta.

Stosuje się w tym celu rurowe lub płytowe wymienniki ciepła, w których piwo zostaje schłodzone do -2°C lub -3°C, za pomocą chłodziwa jak solanka lub roztwór glikolu. Skuteczność tego zabiegu jest z reguły przeceniana, gdyż substancje białkowe i inne wchodzące w skład zawiesiny wywołującej zmętnienie na zimno, wytrącają się z roztworu koloidalnego, jakim jest piwo dopiero po kilkudniowym działaniu obniżonej temperatury. Tak więc wynik krótkotrwałego wychładzania piwa przed samą filtracją jest mocno wątpliwy. (*Belgijskie browary stosowały ten zabieg już 40 lat temu, ale piwo wychłodzone po wirówce do -2°C czekało w tanku pośredniczącym na filtrację 2 doby. Przyp. tłum. A.B.*).

Dla całkowitego pewnego wytrącenia substancji wywołujących zmętnienie na zimno, piwo powinno co najmniej przez tydzień przed filtracją leżakować w temperaturze -2 do -1°C.

4.3.8.5 Traktowanie zmieszanych z wodą resztek piwa z rurociągów

Niektóre browary wykorzystują te kłopotliwe resztki po przepuszczeniu ich przez filtry mikrobiologiczne. W nowoczesnych urządzeniach browarów problem ten został w zasadzie wyeliminowany.

4.4 Fermentacja i dojrzewanie piwa w tankach cylindryczno-stożkowych

Przy zastosowaniu zwykłych kadzi fermentacyjnych i tanków leżakowych można zwiększać produkcję tylko do pewnej określonej granicy. Dążenie do uzyskiwania bardziej ekonomicznych wyników osiąganych przy dużych objętościach przerobu musiało doprowadzić także do zwiększenia pojemności naczyń fermentacyjnych i leżakowych do dojrzewania piwa. Jako rezultat tych dążeń, w większości browarów pojawiły się tanki cylindryczno-stożkowe, bez których trudno sobie wyobrazić nowoczesną produkcję piwa. Tanki te rozpowszechniły się tak bardzo dzięki swym zaletom technicznym, funkcjonalności i zapewnieniu dobrej jakości fermentacji oraz kierowania warunkami dojrzewania piwa.

(*Potrzeba zwiększenia pojemności naczyń jako przyczyna sukcesu tanków cylindryczno-stożkowych nie jest uzasadnieniem. Londyński browar Guiness miał przed czterdziestu laty większe kadzie fermentacyjne niż te, o których mowa w rozdziale i bynajmniej nie były to tanki cylindryczno-stożkowe. O sukcesie tych ostatnich zadecydowały ich zalety omówione w moim artykule w numerze 10 „Przemysłu Fermentacyjnego" z roku 1995. Dziwne też, że Autor nie zna niemieckiego patentu L. Nathana, który pierwszy zastosował ten kształt tanku, oraz że to polski tłumacz musi o tym przypominać. Przyp. tłum. A.B.*).

4.4.1 Budowa i montaż tanków cylindryczno-stożkowych

W tym rozdziale zajmiemy się w szczególności następującymi sprawami:

- kształt i budowa tanków cylindryczno-stożkowych,
- wysokość, średnica i pojemność naczyń,
- wolna przestrzeń, którą trzeba w tanku pozostawić na pianę,
- ustawienie tanków, montaż i połączenia.

4.4.1.1 Budowa, kształt i materiał tanków cylindryczno-stożkowych

Tanki cylindryczno-stożkowe mają górną część cylindryczną zamkniętą od dołu stożkiem odwróconym podstawą do góry. Wynikiem takiego ukształtowania jest zbieranie się drożdży w stożku, skąd mogą być łatwo i całkowicie usuwane. Dzięki temu kształtowi także opróżnianie tanku z piwa oraz jego mycie są bardzo ułatwione.

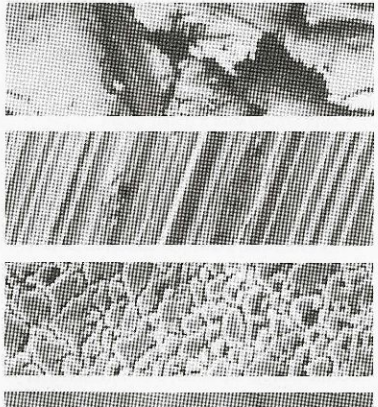
Pierwotnie budowano tanki cylindryczno-stożkowe ze zwykłej, „czarnej" stali i powlekano je od wewnątrz żywicą epoksydową, której całość musiała być regularnie kontrolowana, a powstałe pęknięcia i uszkodzenia trzeba było niezwłocznie naprawiać. W odstępach kilkuletnich cała wykładzina musiała być wymieniana.

Obecnie buduje się tanki, podobnie jak naczynia warzelni, niemal wyłącznie ze stali nierdzewnej, której istnieje bardzo wiele gatunków. Więcej o tym będzie powiedziane w rozdziale 6.1.2.

Ważny jest nie tylko materiał, z którego zbudowany jest tank. Równie ważny jest stan powierzchni wewnętrznej tanku. Musi ona być możliwie najbardziej gładka i w żadnym razie nie posiadać mikroskopijnych zagłębień. Ta nierówność powierzchni, zależna od obróbki przy wykończeniu w fabryce, określana jest

jako matowość lub „przydymienie". Nierówności powierzchni można przez odpowiednią obróbkę znacznie zmniejszyć lub wyeliminować. Gładkość powierzchni mierzy się amplitudą tych nierówności. Nie powinna ona przekraczać 1,6 µm, a należy dążyć do tego, aby była mniejsza od 0,8 µm. Przez odpowiednie szlifowanie i polerowanie można tę wartość obniżyć do 0,3 lub 0,4 µm, ale wiąże się to z dodatkowymi kosztami.

Duża gładkość powierzchni ważna jest szczególnie w części stożkowej tanku aby zapobiec osadzaniu się tam drobnoustrojów zakażających fermentację (*a przede wszystkim aby umożliwić łatwe ześlizgiwanie się gęstwy drożdżowej. Przyp. tłum. A.B.*). Dotyczy to również szwów spawalniczych, które zeszlifowuje się dokładnie aby nie dopuścić do zagnieżdżania się infekcji w tych miejscach (rys. 4.26).



Rys. 4.26. Różne rodzaje powierzchni wewnętrznej tanku
a) po czyszczeniu strumieniowo-ściernym korundem,
b) szlifowane, grubość ziarna 180,
c) powierzchnia gładzona (IIIc),
d) powierzchnia elektropolerowana
(Zdjęcia: Hilge Pumpen, Bodenheim)

Bakterie i dzikie drożdże, których komórki są znacznie mniejsze niż komórki drożdży piwnych, mogą osadzić się w zagłębieniach takiej źle oszlifowanej powierzchni tanku i stanowić źródło stałej infekcji. Z tego względu wnętrze tanku musi być co pewien czas dokładnie badane na obecność drobnoustrojów zakażających piwo i w razie potrzeby stosuje się specjalny, dezynfekujący program mycia (patrz rozdz. 6.3). Ważną rolę ma tu do odegrania mikrobiologiczna kontrola produkcji.

4.4.1.2 Wielkości tanków cylindryczno-stożkowych

Tanki cylindryczno-stożkowe budowane były niemal w dowolnych wymiarach, do 40 m wysokości i ponad 10 m średnicy. Obecnie, zwłaszcza co do wymiarów tanków fermentacyjnych, jesteśmy trochę ostrożniejsi. Na podstawie badań i doświadczenia praktycznego dochodzi się do wniosku, że przy chłodzeniu płaszczowym tanków cylindryczno-stożkowych, pewne ich wymiary nie powinny być przekraczane (46). *(Ze względu na warunki fermentacji, drożdże i tworzenie produktów ubocznych, wysokość słupa cieczy w tanku ogranicza się obecnie do co najwyżej 15 m, a same tanki buduje się o połowę niższe od wyżej podanego maksymalnego wymiaru. Przyp. tłum. A.B.).*

4.4.1.2.1 Poziom brzeczki w tankach fermentacyjnych cylindryczno-stożkowych

W wyniku licznych badań stwierdzono, że wysokość słupa brzeczki w tanku fermentacyjnym wpływa na skład ubocznych produktów fermentacji. Trzeba pamiętać, że na komórkę drożdżową znajdującą się na głębokości 20 m, wywiera ciśnienie słup brzeczki tejże wysokości, zawierający rozpuszczony CO_2. Dopuszczalna wysokość słupa brzeczki będzie więc ograniczana zawartością CO_2. Aktualne dane (*już nieaktualne; przyp. tłum.A.B.*) prowadzą do wniosku, że wysokość słupa brzeczki w tanku fermentacyjnym nie powinna przekraczać 20 m. Istnieje jednak wiele tanków fermentacyjnych, w których wysokość napełnienia wynosi 23 do 27 m. W leżakowych tankach cylindryczno-stożkowych wysokość słupa brzeczki nie odgrywa roli, jeśli dojrzewanie piwa (redukcja dwuacetylu) jest już zakończone.

4.4.1.2.2 Stosunek średnicy tanku do wysokości słupa brzeczki

W dotychczas zbudowanych tankach cylindryczno-stożkowych spotyka się wielką różnorodność form. Stosunek średnicy tanku do wysokości słupa brzeczki waha się od 1:1 do 1:5. Ostatnio zainteresowano się bardziej formami mniej wysmukłymi (46):

- według jednych stosunek średnicy do wysokości słupa brzeczki razem ze stożkiem powinien wynosić 1:2,
- według innych stosunek średnicy do wysokości słupa brzeczki w części cylindrycznej powinien mieścić się w granicach między 1:1 a 1:1,5.

W tankach cylindryczno-stożkowych z chłodzeniem płaszczowym (*a takich jest ogromna większość; przyp. tłum.A.B.*), stosunek średnicy do wysokości nie pozostaje bez wpływu na równomierne wymieszanie ich zawartości, zwłaszcza w sytuacji, gdy wydzielają się małe ilości CO_2.

Najczęściej spotykane tanki cylindryczno-stożkowe mają średnicę między 3,5 a 4,5 m, co już stwarza problemy przy transporcie. Wewnętrzny kąt stożka waha się między 60 i 90°, najczęściej między 60 i 75°. Warto też pamiętać przy obliczeniach, że wysokość stożka, którego kąt wewnętrzny wynosi 60° jest równa średnicy pomnożonej przez 0,866. Pojemność tanku cylindryczno-stożkowego oblicza się jako sumę jego części (rys. 4.27):

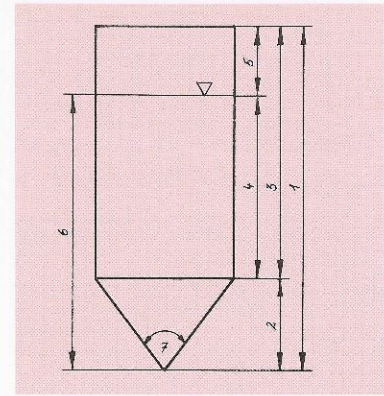
$$\text{cylindrycznej} = r^2 \cdot \pi \cdot h$$

$$\text{stożkowej} = \frac{r^2 \cdot \pi \cdot h}{3}$$

Przykład:
Wysokość całkowita słupa brzeczki w tanku cylindryczno-stożkowym wynosi 9,40 m, średnica tanku 4,20 m, a wysokość stożka 3,60 m. Ile brzeczki mieści się w tanku?

wysokość słupa brzeczki	9,40 m
- wysokość stożka	3,60 m
= wysokość cylindra	5,80 m

Część cylindryczna
= 2,10 m · 2,10 m · 3,14 · 5,80 m = 80,31 m³



Rys. 4.27. Tank cylindryczno-stożkowy jako figura geometryczna
(1) wysokość całkowita, (2) wysokość stożka, (3) wysokość cylindra, (4) wysokość słupa brzeczki w cylindrze, (5) wolna przestrzeń na pianę, (6) całkowita wysokość słupa brzeczki, (7) wewnętrzny kąt stożka

Część stożkowa
= (2,10 m · 2,10 m · 3,14 · 3,60) : 3 = 16,62 m³

Cała pojemność tanku wynosi:
80,31 + 16,62 = 96,93 m³ = 969,3 hl

4.4.1.2.3 Wybór pojemności tanku

Wielkość tanków cylindryczno-stożkowych powinna być dostosowana do wydajności warzelni. W zasadzie lepiej jest, aby tank mieścił połowę dziennej produkcji warzelni. W niektórych browarach instalowane są jednak tanki, których napełnienie wymaga całodziennej pracy warzelni. Tak wielkie tanki mają niestety, pewne wady, a mianowicie:

- im większy jest tank, tym dłużej trwa jego napełnianie. W wyniku tego, pierwsza warka już zafermentowała, gdy wprowadzana jest brzeczka z następnych warek;
- jeśli brzeczka z ostatniej warki dodana będzie bez drożdży, to pozostanie ona długo bez zafermentowania, bo zawartość tanku źle się miesza. Stworzy to możliwość rozwoju

infekcji. (*Nikt nie proponuje takiego postępowania, a wręcz przeciwnie: do brzeczki z pierwszych warek dodaje się mniej drożdży, a najwięcej do ostatniej! Przyp. tłum. A.B.*);

- bardzo duże tanki mają długie, nieproduktywne przerwy w pracy, potrzebne na opróżnianie, mycie i ponowne napełnianie tanku;
- wielkie tanki służą tylko do głównych gatunków piwa;
- szczytowe zapotrzebowania na zimno są przy wielkich tankach wyższe niż przy szeregu małych tanków.

Najczęściej jednak przy swych decyzjach inwestycyjnych browary kierują się według warunków przedsiębiorstwa i potrzeb technologicznych. Często też możliwości transportu ograniczają średnicę i długość tanku.

4.4.1.2.4 Wolna przestrzeń na pianę

W tankach fermentacyjnych cylindryczno-stożkowych trzeba zawsze pozostawić wystarczająco dużą wolną przestrzeń na pianę tworzoną przez wydzielający się obficie podczas fermentacji CO_2. Ilości piany nie można lekceważyć i trzeba unikać sytuacji, gdy dostaje się ona do zaworów bezpieczeństwa i przewodów odprowadzających dwutlenek węgla. Jest to związane z dużym niebezpieczeństwem, bo lepka piana może tak zablokować armaturę tanku, że zalepione nią zawory przestaną działać. Zasadniczo w tanku fermentacyjnym należy pozostawić 25% wolnej przestrzeni, a w żadnym razie nie mniej niż 18%, licząc w stosunku do objętości nastawionej brzeczki.

W naszym wyżej podanym przykładzie do 696 hl objętości brzeczki trzeba doliczyć jeszcze 25% wolnej przestrzeni. Jaka wobec tego musi być łączna wysokość tanku fermentacyjnego?

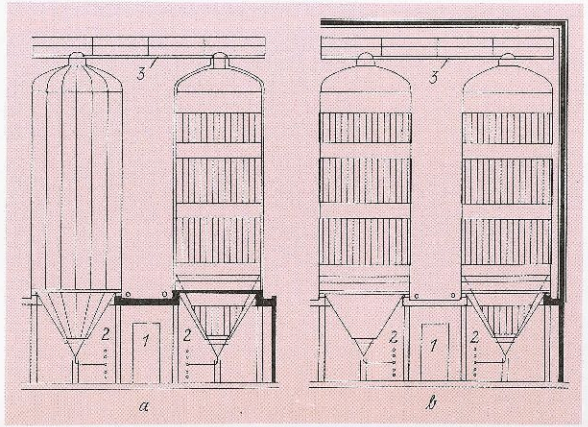
Objętość brzeczki = 969 hl
+ 25% = 242 hl
Razem pojemność tanku = 1211 hl

Wysokość wolnej przestrzeni na pianę oblicza się na podstawie potrzebnej objętości. Jeśli objętość ta = $r^2 \cdot n \cdot h$ – to jej wysokość

$$h = \frac{\text{objętość}}{r^2 \cdot n} = \frac{24{,}2\ m^3}{13.8\ m^2} = 1{,}75\ m$$

Całkowita wysokość tanku będzie zatem wynosiła:

wysokość słupa brzeczki		wolna przestrzeń na pianę		całkowita wysokość tanku
9,40	+	1,75	=	11,15 m



Rys. 4.28
Sposoby ustawienia tanków cylindryczno-stożkowych
(a) tanki wolno stojące
(b) tanki obudowane,
(1) korytarz dla obsługi,
(2) panele z łukowymi łącznikami rurociągów,
(3) górny pomost dla obsługi

Tanki fermentacyjne do piwa pszenicznego („Weizenbier"), ze względu na mocne pienienie podczas fermentacji, wypełnia się tylko do 50 % ich pojemności. Wolna przestrzeń na pianę musi zawsze wynosić co najmniej 40 % objętości brzeczki.

Tanki leżakowe wymagają mniej wolnej przestrzeni na pianę, ale zależnie od tego, jaki proces w tanku cylindryczno-stożkowym ma przebiegać, trzeba pozostawić:

- na samo tylko zimne leżakowanie 5-8 %
- na redukcję dwuacetylu 10-12 %
- przy dofermentowaniu z dodatkiem „krążków" 25 %

4.4.1.3 Ustawianie i montaż tanków cylindryczno-stożkowych

Bardzo wysokie tanki cylindryczno-stożkowe pierwotnie ustawiano najczęściej na zewnątrz budynków, jako wolno stojące (outdoor tanks), z odpowiednią izolacją termiczną i zabezpieczeniem przed zmianami pogody. Później zaczęto tanki obudowywać. Obecnie mają zastosowanie obydwa warianty oraz rozwiązania pośrednie (rys. 4.28).

System tanków wolno stojących jest bardzo rozpowszechniony i wymaga indywidualnej izolacji cieplnej dla każdego tanku. Do ustawienia tanków stosuje się szereg rozwiązań, wśród których występują:

- segment z pierścieniem oporowym, utrzymywanym przez odpowiedni strop,
- stalowy segment podpierający, ustawiony na fundamencie,
- segment z pierścieniem oporowym, podparty kilkoma filarami.

Przy ustawieniu na segmencie nośnym, podpierającym, pomieszczenie obsługi lokuje się obok lub też sam segment pełni jego role. Przy innych ustawieniach stożki tanków zwisają wolne w przestrzeni obsługi. Ustawienie tanków w budynku może mieć różne uzasadnienia:

- obudowanie tanków jest pożądane ze względu na wygląd browaru;
- obudowanie tanków spełnia wymagania władz;
- obudowanie tanków spełnia część zadań izolacji cieplnej.

Decyzje o tym, który wariant budowy zostanie wybrany powinny zapadać po głębokim rozważeniu wszystkich wchodzących w grę argumentów. Na rzecz tanków wolno stojących przemawia:

- możliwość indywidualnego regulowania temperatury w każdym tanku z osobna;
- brak oddziaływania temperatury jednego tanku na drugi.

Wady tanków wolno stojących są następujące:

- potrzeba większej grubości izolacji cieplnej na każdym tanku;
- większa powierzchnia kontaktu z otoczeniem powoduje zwiększone straty energii.

(*Nie są to mocne argumenty. Znane mi browary afrykańskie na równiku z reguły nie zabudowują swych tanków cylindryczo-stożkowych. Izolacja cieplna wystarcza. Przyp. tłum. A.B.*)

Główną wadą systemu tanków zabudowanych są oczywiście wysokie koszty budowlane całej konstrukcji.

4.4.2 Wyposażenia tanków cylindryczno-stożkowych

Do wyposażenia tanków cylindryczno-stożkowych należą w szczególności:

- urządzenia kontrolne i obsługi oraz armatury zabezpieczające,
- instalacje do chłodzenia tanków,
- urządzenia do automatyzacji kierowania warunkami fermentacji.

Rozmieszczenie tych urządzeń pokazane jest na rysunku 4.29.

4.4.2.1 Urządzenia kontroli, obsługi oraz zabezpieczające

Dla obsługi, kontroli i niezbędnego bezpieczeństwa mają zastosowanie następujące urządzenia:

- panele, zawory i rurociągi do napełniania i opróżniania tanków,
- armatura i zawory bezpieczeństwa,
- urządzenia kontrolno-pomiarowe,
- układ mycia w systemie CIP.

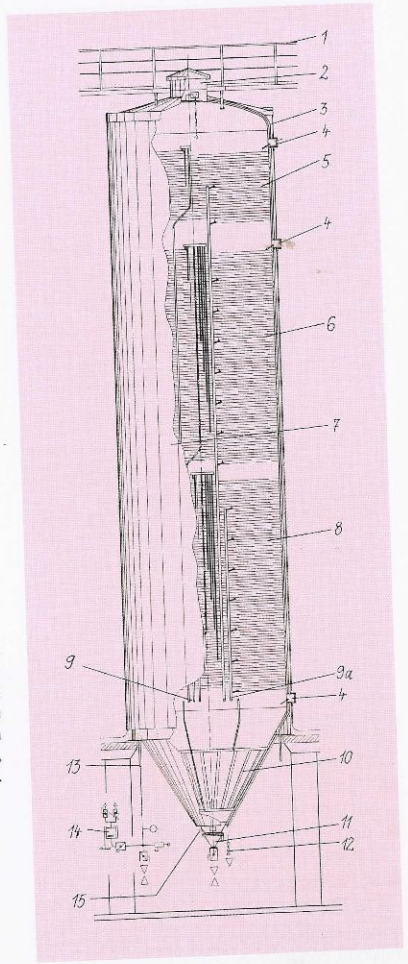
4.4.2.1.1 Urządzenia służące do napełniania i opróżniania tanków

Tanki cylindryczno-stożkowe są napełniane i opróżniane od dołu. W tym celu muszą być łączone z szeregiem rurociągów a mianowicie:

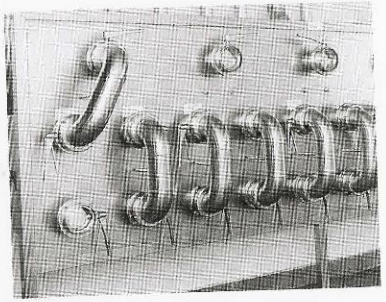
- z rurociągiem doprowadzającym brzeczkę,
- z rurociągiem do odbioru drożdży,
- z rurociągiem piwnym,
- z przewodami doprowadzającymi i odprowadzającymi systemu mycia CIP.

Jest przy tym ważną rzeczą, aby te połączenia były skonstruowane w sposób zabezpieczający od infekcji i dostępu tlenu.

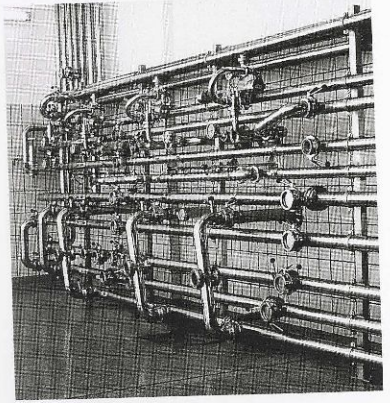
Przy łączeniu tanków wężami elastycznymi trudno jest uniknąć infekcji, gdyż powierzchnia wewnętrzna węży często jest spękana, mimo że ich stan oglądany od zewnątrz wydaje się dobry. Węże gumowe i z tworzyw sztucznych wymagają delikatnego obchodzenia się z nimi, starannej obsługi i konserwacji (patrz rozdz. 6.1.3).



Rys. 4.29. Tank cylindryczno-stożkowy (izolacja częściowo zdjęta)
(1) pomost obsługi, (2) kopuła tanku z armaturą, (3) kable i rura odwadniająca w warstwie izolacyjnej, (4) czujnik termometru, (5) mała strefa chłodzenia dla leżakowania, (6+8) strefy chłodzenia fermentacji głównej, (7) izolacja, (9), przewody ciekłego amoniaku, (9a) odprowadzenie par amoniaku, (10) strefa chłodzenia stożka, (11) króciec spustowy stożka i zamknięcie włazu, (12) kurek probierczy, (13) przewody łączące z kopułą (CO_2, odpowietrzanie, CIP), (14) zawór czopujący, (15) sonda poziomu zawartości tanku



Rys. 4.30
Tablica rozdzielcza z łącznikami łukowymi



Rys. 4.30a
Układ rurociągów z łącznikami łukowymi

Większość browarów do łączenia tanków wykorzystuje tablice rozdzielcze, czyli panele z łącznikami łukowymi (rys. 4.30), z pomocą których łatwo uzyskuje się potrzebne połączenia rurociągów (rys. 4.30a). Do otwierania i zamykania tych połączeń służą zawory motylkowe (rys. 4.31) ręcznie lub zdalnie obsługiwane.

Bardzo ważne jest przy tym unikanie kontaktu piwa z powietrzem, które zawsze powoduje pogorszenie jakości produktu. Dla usunięcia powietrza z rurociągów piwnych napełnia się je przed obciągiem odpowietrzoną wodą. Aby łącznik łukowy nie wprowadził do rurociągu powietrza, trzeba go już po podłączeniu odpowietrzyć przez kurek odpowietrzający, zainstalowany w najwyższym punkcie połączenia. Jeszcze lepszym sposobem odpowietrzenia rurociągów i połączeń jest wypełnienie ich CO_2, który usuwa powietrze całkowicie. *(Jeśli się z nim nie zmiesza. Przyp. tłum. A.B.).*

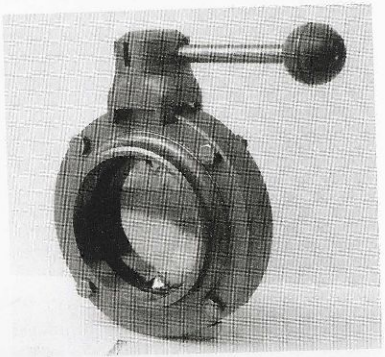
W większości browarów instaluje się stałe układy rurociągów. Zawory są mechanicznie zdalnie obsługiwane przy zastosowaniu sterowania z pulpitu operatora lub komputerem. Instalacje te są droższe, ale wymagają mniej licznego personelu do ich obsługi. Zawory takie są albo:

- zainstalowane na każdym tanku z osobna (łączenie indywidualne),

albo

- zainstalowane grupowo dla wszystkich tanków na jednej ramie nośnej w systemie rozgałęzionych rurociągów (łączenie grupowe).

Przy tym drugim wariancie wielka liczba zaworów zgromadzona bywa w małej przestrzeni. Zawory z upływem czasu muszą tracić szczelność. Straty z tej przyczyny mogą być duże, zwłaszcza gdy płyny myjące dostaną się



Rys. 4.31. Zawór motylkowy

do piwa. Dlatego też robiono wszystko, aby takich sytuacji uniknąć i skonstruowano zawory ze „wskaźnikiem przecieku".

Zawory ze wskaźnikiem przecieku

Zadaniem zaworów jest otwieranie i zamykanie połączeń miedzy przewodami rurowymi. Dla bezpieczeństwa powinno się stosować zawory dwugniazdowe ze wskaźnikiem przecieku ostrzegającym o nieszczelności któregoś z nich.

Taki dwugniazdowy zawór pracuje następująco (rys. 4.32):

Mocna sprężyna (6) naciska za pośrednictwem trzonka (1) na dolny dysk zamykający (2) ku dołowi i uszczelnia gniazdo zaworu. Górny dysk zaworu także jest dociskany sprężyną (6), ale za pomocą sprężyny (7), położenie jego wobec dolnego dysku może być nieco zmienione. Przestrzeń między dyskami łączy się z atmosferą za pomocą rurki przeciekowej (8). Przestrzeń ta jest myta osobnym przewodem CIP (9), (*Tej dziewiątki na omawianym rysunku brakuje. Przyp. tłum. A.B.*).

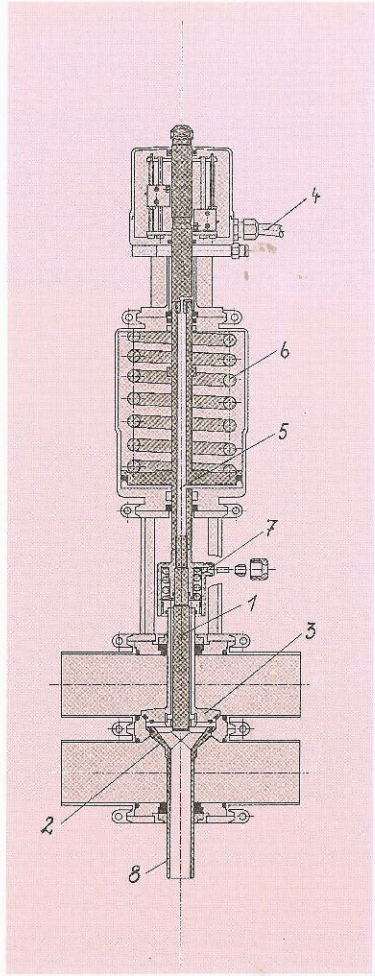
Kiedy przychodzi polecenie otwarcia zaworu, sprężone powietrze zostaje doprowadzone przewodem (4) i przez trzonek zaworu (5) trafia pod tłok unoszący do góry sprężynę i wraz z nią cały dwugniazdowy zawór, przy czym dolny dysk unosi z sobą górny, uszczelniając jeden od drugiego.

Zawór zamyka z powrotem sprężyna po wyłączeniu działania sprężonego powietrza. Naciska ona tłok ku dołowi, a za pośrednictwem trzonka (1) dolny dysk zaworu (2). Najpierw przy tym zamyka się zawór górny, a dopiero po nim dolny. Między nimi pozostaje mała wolna przestrzeń. Kiedy jeden z dysków nie jest szczelny, wyciek przez otwartą rurkę (8) wypływa na zewnątrz i może zostać zauważony.

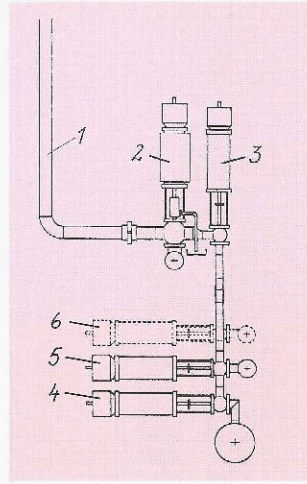
Zawory wytwarzane przez różne firmy mają oczywiście różną budowę. Gdy są to jednak zawory dwugniazdowe, zawsze mają między tymi dwoma gniazdami małą, wolną przestrzeń z bezciśnieniowym odpływem wycieku.

Odprowadzanie i doprowadzanie CO_2

Powstający podczas fermentacji dwutlenek węgla zbiera się w górnej przestrzeni tanku i musi być stamtąd odprowadzany na zewnątrz. W czasie obciągu piwa trzeba natomiast uzupełniać spadające ciśnienie w tanku doprowadzając CO_2 lub w jego braku sprężone powietrze. Ponadto u samej góry w tanku zainstalowane są głowice natryskowe CIP, do których muszą być doprowadzone roztwory myjące. Odpowiednie zawory, zgrupowane w miejscu dostępnym dla obsługi, połączone są rurami z kopułą tanku (rys. 4.33).



Rys. 4.32. Zawór dwugniazdowy
(1) trzonek zaworu, (2) dolny dysk, (3) górny dysk, (4) dopływ sprężonego powietrza, (5) kanał dopływu sprężonego powietrza pod tłok, (6) sprężyna dociskająca, (7) mała sprężyna dociskająca, (8) rurka dla przecieku



Rys. 4.33
Zawory armatury gazowej
(1) przewód łączący z kopułą tanku, (2) zawór CIP, (3) zawór regulujący ciśnienie gazu, (4) zawór odpływu CO_2, (5) zawór dopływu CO_2, (6) zawór dopływu sterylnego powietrza

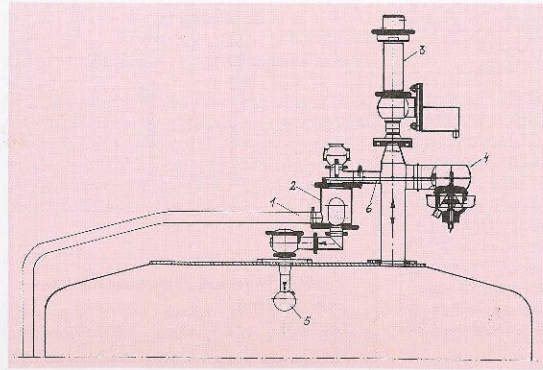
Do tej grupy zaworów należą:

- zawór doprowadzający płyny myjące CIP,
- zawór regulujący ciśnienie gazu,
- zawór przewodu odprowadzającego CO_2,
- zawór doprowadzający CO_2 przy obciągu,
- ewentualnie zawór doprowadzający sprężone, jałowe powietrze.

4.4.2.1.2 Armatura kopuły tanku

Najwyżej położona, górna część tanku nazywa się kopułą tanku. Po kopule można chodzić, a w jej środkowej części znajduje się płyta, na której umocowane są poszczególne elementy armatury tanku. Armatura kopuły tanku powinna być zabezpieczona przed wpływami atmosferycznymi. Obejmuje ona następujące urządzenia:

- zawór nadciśnienia,
- zawór podciśnienia,



Rys. 4.34. Armatura kopuły tanku
(1) przewód łączący z kopułą tanku (CO_2, sprężone powietrze, CIP), (2) mechanizm oddzielania cieczy od gazu, (3) zawór nadciśnienia, (4) zawór podciśnienia, (5) głowica natryskowa, (6) CIP - układ do mycia armatury

- system mycia CIP z przewodami doprowadzającymi,
- czujnik stopnia napełnienia (zabezpieczenie przed przepełnieniem),
- czujnik ciśnienia w tanku.

Elementy armatury kopuły tanku muszą być włączone do systemu mycia CIP, aby zapewnić ich pełną sprawność. Ponadto muszą być zabezpieczone przed zamarznięciem.

4.4.2.1.2.1 Zawór nadciśnienia

O niebezpieczeństwie nadciśnienia była już mowa przy tradycyjnej leżakowni. W wielkich tankach cylindryczno-stożkowych niebezpieczeństwo to jest jeszcze większe, zwłaszcza gdy ciśnienie wzrośnie w niemal pustym tanku. Zawór zabezpieczający przed nadmiernym ciśnieniem jest częścią uzbrojenia, czyli armatury kopuły tanku i może być regulowany za pomocą obciążenia lub sprężyny (rys. 4.35 i 4.36).

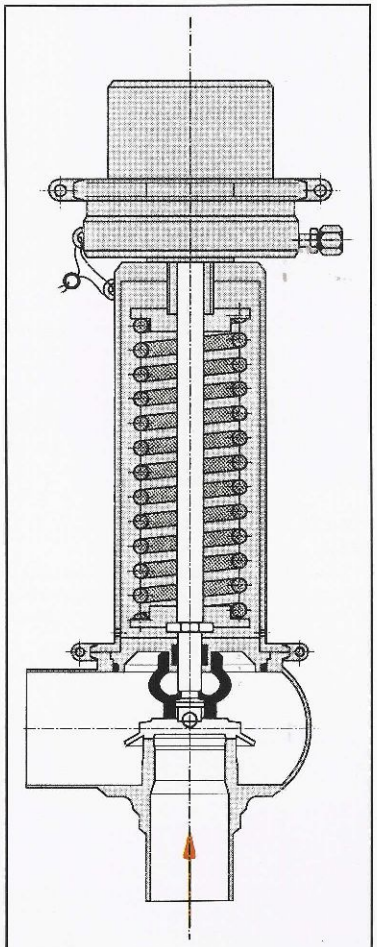
4.2.1.2.2 Zawór podciśnienia

Wielkie tanki są ogromnie wrażliwe na podciśnienie i już przy bardzo niewielkim mogą ulegać zniekształceniu. Niebezpieczeństwo implozji jest nieporównywalnie większe niż obawa, że jakiś tank może eksplodować.

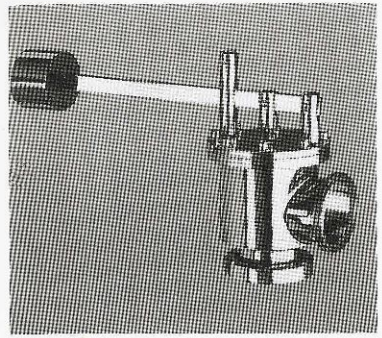
Przyczyny tego są następujące:

Gazy rozszerzają się przy ogrzaniu o 1 K (1°C) dokładnie z 1/273 swej objętości, a przy ochłodzeniu o tyle samo się kurczą. Ciepły gaz w tanku pod wpływem zimnego natrysku może się tak skurczyć, że powstałe podciśnienie spowoduje odkształcenie blach zbiornika.

Jest to szczególnie niebezpieczne, gdy pracuje się przy wyższych temperaturach, w których powstaje dużo pary wodnej. Para wodna nie tylko kurczy się przy ochłodzeniu, ale także kondensuje, czyli skrapla się. Jeśli porównamy to, że 1 m^3 pary wodnej przy normalnym ciśnieniu waży 560 g, a 1m^3 wody 1000 kg, to jak widać, skraplająca się para zmniejsza swoją objętość 1786-krotnie! To już może źle się skończyć. *(Również niebezpieczne jest wprowadzanie alkalicznego roztworu myjącego do tanku wypełnionego dwutlenkiem węgla. Przyp. tłum. A.B.).*



Rys. 4.35
Zawór nadciśnienia z dyskiem dociskanym sprężyną



Rys. 4.36. Zawór nadciśnienia z dyskiem dociskanym ciężarkiem

Aby uniknąć kondensacji pary, większość browarów nie stosuje do mycia tanków cylindryczno-stożkowych żadnych płynów myjących o temperaturze przekraczającej 35°C. Jeśli mimo to zachodzi potrzeba pracy przy wyższych temperaturach, to zaleca się nie spuszczać podwyższonego gorącym myciem ciśnienia, a przy ochłodzeniu uzupełnić ciśnienie w tanku, aby uniknąć powstawania podciśnienia.

Zawory zabezpieczające przed powstaniem podciśnienia muszą otwierać się bardo lekko (rys. 4.37).

Przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym lub przy nadciśnieniu w tanku pokrywa zaworu zamyka gniazdo naciskając własnym ciężarem. Przy wystąpieniu podciśnienia duży i lekki talerz zaworu (pokrywa) unosi się z łatwością i przepuszcza zassane powietrze z zewnątrz do tanku.

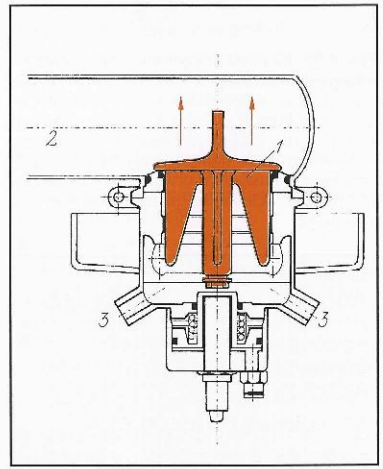
Należy wystrzegać się zaklejenia lub przymarznięcia pokrywy tego zaworu. Z tego względu zawór podciśnienia musi być regularnie myty w systemie CIP i trzeba go otwierać podczas mycia. Zawór podciśnienia zalicza się do uzbrojenia (armatury) kopuły tanku.

4.4.2.1.2.3 Urządzenia myjące systemu CIP

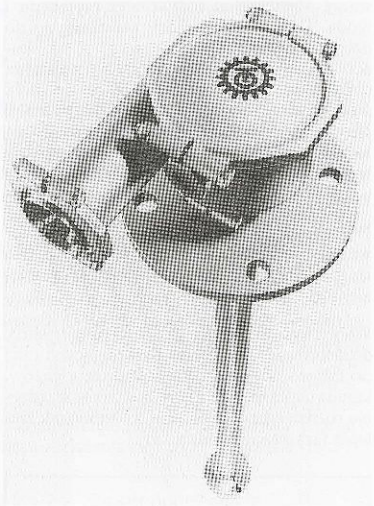
Tanki cylindryczno-stożkowe mogą być myte oczywiście tylko systemem CIP, przez spłukiwanie powierzchni roztworami myjącymi i wodą. Urządzenia myjące zaliczają się do uzbrojenia kopuły tanku i muszą być tak zbudowane, aby spływający po ścianach wewnątrz tanku roztwór myjący tworzył od góry do dołu nieprzerwany film, tak w części cylindrycznej, jak i w stożku. Aby to zapewnić, potrzeba około 30 hl roztworu myjącego na godzinę i każdy metr obwodu tanku. Taka musi być wydajność pompy.

Przy większych tankach zwykłe kule natryskowe nie wystarczają. W tych wypadkach stosuje się specjalne dysze z ukierunkowanym strumieniem (rys. 4.38).

Wobec tego, że ten sam przewód rurowy służy do doprowadzenia roztworów myjących oraz do odprowadzania i doprowadzania gazów, kopuła tanku musi być wyposażona w urządzenie rozdzielające, w którym następuje oddzielenie fazy gazowej od ciekłej.



Rys. 4.37
Zawór podciśnienia
(1) lekki talerz zaworu zamyka tylko własnym ciężarem, (2) połączenie z wnętrzem tanku, (3) połączenie z atmosferą, odprowadzenie przecieku.



Rys. 4.38. Element myjący z dyszą o ukierunkowanym strumieniu

Podczas mycia armatury kopuły tanku wszystkie zawory muszą być otwarte, aby nie dopuścić do ich zaklejenia i gniazda zaworów dobrze umyć.

Zadanie:
Jakiego przepływu roztworów myjących w jednostce czasu wymaga tank z naszego wcześniej omawianego przykładu?
Średnica tanku wynosi 4,20 m
Obwód tanku: średnica · 3,14 = 13,2 m
Na 1 m obwodu potrzeba 30 hl/h
na obwód 13,2 m potrzeba:
13,2 · 30 = 396 hl/h
na minutę potrzeba 396 : 60 = 6,6 hl
na sekundę potrzeba 6,6 hl : 60 = 11 litrów
Pompa podająca roztwór myjący CIP musi mieć wydajność 11 litrów/sek.

4.4.2.1.3 Urządzenia pomiarowe i kontrolne

Zawartość tanku cylindryczno-stożkowego jest dla piwowara niedostępna. Tym ważniejsza jest więc w tym wypadku rola urządzeń pomiarowych, za pomocą których można kontrolować procesy, aby odpowiednio wpływać na ich przebieg. Do urządzeń takich należą:

- termometry (czujniki temperatury),
- wskaźnik stanu napełnienia,
- wskaźnik ciśnienia,
- sondy minimalnego i maksymalnego poziomu cieczy w tanku,
- urządzenia do pobierania próbek zawartości tanku.

4.4.2.1.3.1 Termometry

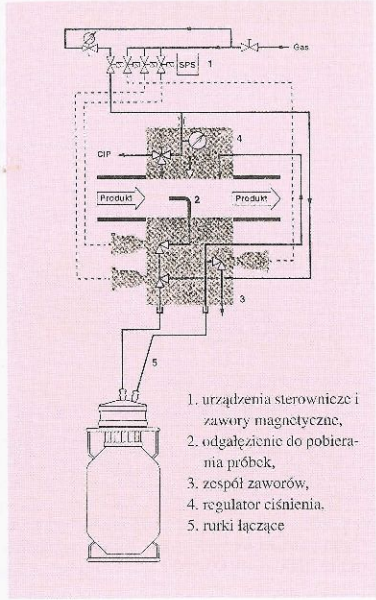
Dokładne regulowanie temperatury podczas fermentacji oraz w fazie głębokiego schłodzenia jest rzeczą ważną i w tym celu potrzebne jest także precyzyjne mierzenie temperatury. W wysokim tanku mogą występować spore różnice temperatury na różnych poziomach i dlatego tank cylindryczno-stożkowy musi być wyposażony w kilka czujników termometrycznych, a co najmniej po jednym w górnej i dolnej części tanku. Czujniki te przekazują regularnie wyniki swych pomiarów.

4.4.2.1.3.2 Wskaźniki stopnia napełnienia

Bardzo ważna jest też kontrola stopnia napełnienia tanku. Można go mierzyć za pomocą czujników ciśnienia, których wskazania ulegają, dalszemu przetworzeniu. Nowczesne urządzenia podają na tej podstawie nie tylko wysokość słupa cieczy, ale także jej objętość w tanku.

Pomiar stanu napełnienia tanku może opierać się na:

- różnicy ciśnień w przestrzeni gazowej i na dnie tanku,
- zastosowaniu czujników ultradźwiękowych (montowanych od zewnątrz),
- urządzeniach działających na zasadzie echosondy (rzadko stosowane),
- wskazaniach przepływomierza działającego podczas napełniania tanku,



Rys. 4.39
Urządzenie do pobierania próbek z rurociągu

- wskazaniach manometru zainstalowanego u podstawy tanku.

4.4.2.1.3.3 Wskaźniki ciśnienia

Podczas fermentacji ciśnieniowej i leżakowania piwa trzeba nadzorować poziom ciśnienia w tanku. Jest to szczególnie ważne, gdy występują trudności z osiągnięciem zaplanowanego ciśnienia. Natomiast przed nadmiernym ciśnieniem chroni zawór bezpieczeństwa opisany wcześniej.

4.4.2.1.3.4 Czujniki minimalnego i maksymalnego poziomu cieczy w tanku

Każdy tank cylindryczno-stożkowy musi być wyposażony w czujniki maksymalnego i minimalnego poziomu cieczy, które automatycznie zamykają odpowiednie zawory po przewidzianym napełnieniu lub po opróżnieniu tanku.

Precyzyjne ustawienie tych czujników jest bardzo ważne. Wyobraźmy sobie, że dopływ brzeczki do tanku nie zostanie zatrzymany we właściwym momencie. W rezultacie wolna przestrzeń pozostawiona u góry tanku będzie zbyt mała i piana dostanie się do zaworów oraz przewodów, zaklejając wszystkie urządzenia. Straty mogą być bardzo duże.

Z drugiej strony, jeśli tank zostanie opróżniony i w odpowiedniej chwili zawór u dołu tanku nie zostanie zamknięty, to nastąpi zassanie powietrza do rurociągów piwnych, co spowoduje istotne pogorszenie jakości produktu.

Czujnik sygnalizujący opróżnienie tanku spełnia ważną rolę również przy sterowaniu myciem w systemie CIP, przede wszystkim dla uniknięcia mieszania się poszczególnych roztworów myjących.

4.4.2.1.3.5 Pobieranie próbek

Do pobierania próbek z tanków cylindryczno-stożkowych stosuje się specjalne urządzenia, wyposażone w zainstalowaną na stałe małą pompkę pracującą w obiegu zamkniętym, co umożliwia pobranie w każdej chwili próbki drożdży lub młodego piwa.

Istnieją trzy możliwości pobierania próbek z przewodów piwnych:

- *próbka pobrana wyrywkowo*
  Pobiera się ją w dowolnym momencie, a rezultat badania obrazuje stan produktu w chwili jej pobrania;
- *próbka wielokrotna*
  Pobiera się ją w przewidzianych odstępach czasu, aby uzyskać obraz zmian zachodzących w produkcie;
- *reprezentatywna próbka średnia*
  Przy pobieraniu tej próbki ciśnienie w odbieralniku ma ustawiony taki sam poziom jak w przewodzie piwnym, a pobór próbki przebiega proporcjonalnie do szybkości przepływu piwa. Dzięki temu próbka stanowi średnią, pobraną z całej masy produktu, jaka przepływa tym rurociągiem (rys. 4.39).

4.4.2.1.3.6 Włazy do kontroli tanku

Wnętrze tanku cylindryczno-stożkowego musi być od czasu do czasu kontrolowane przez obsługę, dla sprawdzenia czy:

- nie powstają rysy albo objawy korozji,
- cała powierzchnia wewnętrzna tanku jest równomiernie spłukiwana,
- nie tworzą się wysepki pozostawionych zanieczyszczeń.

W tym celu każdy tank wyposażony jest od dołu i od góry we włazy o średnicy około 50 cm. Dolny właz stanowi jednocześnie zakończenie stożka (patrz rozdz. 4.9.2).

4.4.2.2 Chłodzenie tanków cylindryczno-stożkowych

W czasie fermentacji piwa trzeba zapewnić optymalny przebieg temperatur i w tym celu należy zabezpieczyć możliwość odpowiedniego chłodzenia. Możliwości i zakres chłodzenia wynikają z zapotrzebowania zimna.

4.4.2.2.1 Zapotrzebowanie zimna

Podczas fermentacji powstaje ciepło procesu, które trzeba odprowadzić. Ponadto w okresie zimnego leżakowania piwo musi być schłodzone do temperatur -1 a nawet -2°C. Na ilości ciepła, które trzeba odprowadzić, składają się:

- ciepło powstające podczas fermentacji,
- ciepło, które trzeba odprowadzić przy chłodzeniu piwa do temperatury leżakowania,
- ciepło przenikające z otoczenia.

Ciepło powstające przy fermentacji

Ilość ciepła powstająca przy fermentacji wynosi na każdy kilogram ekstraktu:

587 kJ = 140 kcal = 0,16 kWh.

Przy fermentacji brzeczek o zawartości ekstraktu od 11,5 do 12% i odfermentowaniu pozornym od 75 do 85%, trzeba liczyć, że z każdego hektolitra odfermentowuje 7 do 8,3 kg cukrów. Powstaje przy tym ilość ciepła, którą w kJ/hl przedstawić można następująco:

Ekstrakt brzeczki	Odfermentowanie pozorne		
	75 %	80 %	85 %
12,0 %	4287	4573	4845
16,0 %	5700	6086	6285

Przy piwie pełnym można liczyć średnio wartości od 4300 do 4600 kJ/hl.

Ciepło odprowadzane przy chłodzeniu do temperatury leżakowania

Dla ochłodzenia z 9°C do -1°C (tj. o 10 stopni) potrzeba około 4200 kJ, tzn. że zapotrzebowanie zimna w tym celu jest niemal tak duże, jak na chłodzenie fermentacji głównej.

Ciepło przenikające z otoczenia

Ciepło z otoczenia przenika do tanku drogą promieniowania i konwekcji. Straty energii z tego tytułu można obecnie zmniejszać dzięki doskonałym materiałom izolacyjnym oraz odpowiedniej obudowie tanków.

> Całkowite zapotrzebowanie zimna wynosi około 8600 do 9600 kJ/hl.

Ta ilość ciepła powstaje jednak nierównomiernie i musi także być nierównomiernie odprowadzana. Czas i zakres odprowadzania ciepła zależy od:

- metody fermentacji i dojrzewania piwa,
- momentu i szybkości chłodzenia.

Największe zapotrzebowanie zimna powstaje przy chłodzeniu piwa w ciągu 24 do 48 godzin po zakończeniu fermentacji głównej.

4.4.2.2.2 Metody chłodzenia

Do wytwarzania zimna stosuje się w browarnictwie prawie wyłącznie sprężarki amoniakalne. Rzadziej używane są urządzenia absorpcyjne (patrz rozdz. 10.3.2 i 10.3.3). Zasada pracy tych pierwszych polega na wykorzystaniu ciepła parowania sprężonego, skroplonego amoniaku. W czasie parowania amoniak pobiera

energię cieplną z otoczenia, które się przez to ochładza. Praktycznie istnieją dwie możliwości chłodzenia:

- amoniak odparowuje się bezpośrednio w płaszczu chłodzącym tanku (chłodzenie przez bezpośrednie odparowanie),
- amoniak odparowuje się w parowniku, w którym ochładza się nośnik zimna, czyli chłodziwo. Jako chłodziwo stosuje się najczęściej glikol, który krąży w przewodach i w płaszczu chłodzącym tanku (chłodzenie pośrednie).

Do chłodzenia piwa w leżakowni nie nadaje się woda lodowata, gdyż przy końcu leżakowania trzeba wychładzać je do temperatury poniżej 0°C, a dla wymiany cieplnej chłodziwo musi mieć temperaturę o 2 do 3 stopni niższą.

Chłodzenie przez bezpośrednie odparowanie

Zaletą bezpośredniego odparowania jest przede wszystkim mniejsze zużycie energii elektrycznej, z którym wiążą się spore oszczędności. W porównaniu z chłodzeniem pośrednim, za pomocą glikolu, chłodzenie bezpośrednie ma następujące zalety:

- odpada instalowanie urządzeń do chłodzenia glikolu,
- można pracować stosując wyższe temperatury odparowania, około -5 do -6°C, zamiast -10°C,
- potrzeba znacznie mniejszych pomp, ponieważ mniej jest cieczy do przesyłania,
- potrzeba znacznie mniejszych przewodów,
- mniejsze są wydatki na izolację i montaż,
- sterowanie temperaturą jest dokładniejsze i system jest bardziej elastyczny.

Oszczędność energii przy tym systemie wynosi 15 do 20 %.

System ma jednak pewne wady i są one następujące:

- w układzie występują wyższe ciśnienia i w związku z tym instalacje są kosztowniejsze,
- temperatury odparowania nie są stałe,
- urządzenie musi być stale w ruchu,
- urządzenie wymaga większych ilości czynników chłodzących, na które w wielu krajach wymagane są zezwolenia (w Niemczech od 3 ton NH_3 potrzebne jest zezwolenie),
- koszty armatury ze względów bezpieczeństwa są stosunkowo wyższe,
- istnieje niebezpieczeństwo wycieku czynnika chłodzącego,
- brak jest możliwości stworzenia zapasu zimna.

Chłodzenie pośrednie

Chłodziwo, czyli nośnik zimna zostaje wychłodzone w parowniku NH_3 do temperatury o 3 do 4 stopnie niższej, niż najniższa temperatura, do której ma być schłodzone piwo. Zapas zimnego chłodziwa zmagazynowany zostaje w izolowanym zbiorniku. W miarę potrzeb pompuje się chłodziwo przez układ rur chłodniczych do płaszcza tanku.

Jako chłodziwo stosuje się niemal wyłącznie roztwory glikolu etylenowego lub propylenowego, które nie zamarzają przy temperaturach -10 do -15°C. Także ta metoda ma swoje zalety i wady.

Jej zalety są następujące:

- mniejsze ciśnienia działające na powierzchnie wymiany ciepła,
- wyrównanie obciążenia urządzeń chłodniczych dzięki wykorzystaniu zbiornika magazynującego zapas chłodziwa,
- można stosować stałe temperatury parowania, wynoszące o 3 do 4 stopnie poniżej wymaganej temperatury chłodziwa,
- urządzenia wymagają znacznie mniejszych ilości amoniaku.

Wady są następujące:

- większe zapotrzebowanie energii dla maszyn chłodniczych,
- większe pompy i większe średnice rur,
- brak zalet systemu bezpośredniego odparowania.

4.4.2.2.3 Wymiana ciepła

Przenoszenie ciepła zachodzi za pośrednictwem segmentów rur i różnych form płaszczy chłodzących.

Instalacje muszą być tak skonstruowane, aby na danym odcinku jak największa powierzchnia ściany tanku była poddawana chłodzeniu. Przy chłodzeniu przez bezpośrednie odparowanie powierzchnie chłodzenia tanku podlegają obowiązkowej kontroli, gdyż ciśnienie par amoniaku, jakie muszą wytrzymywać w przerwach pracy wynosi 11,6 bar (1 bar = 0,1 MPa).

W użyciu są następujące formy płaszczy chłodzących:

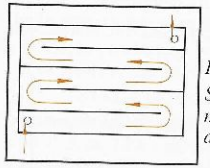
Segmenty rur z poziomym obiegiem chłodziwa

Przy chłodzeniu za pomocą glikolu (rys. 4.40) chłodziwo wprowadza się od dołu i odprowadza górą.

W przeciwieństwie do tego przy bezpośrednim chłodzeniu amoniakiem (rys. 4.42) czynnik chłodzący wprowadza się od góry. W takim układzie 4 do 6 nawrotów rur w strefie chłodzenia łączy się w jeden odcinek, aby zapewnić bardziej równomierne przenoszenie ciepła.

Dążymy do tego, aby mieć jak najmniejszą objętość amoniaku w segmentach chłodzących, gdyż wówczas:

- ogólna ilość amoniaku, którą browar musi posiadać może być mniejsza,
- skraplacz może być mniejszy,
- dodatkowe odparowywanie jest mniejsze.



Rys. 4.40
Segmenty rur z poziomym obiegiem (chłodzenie glikolem)

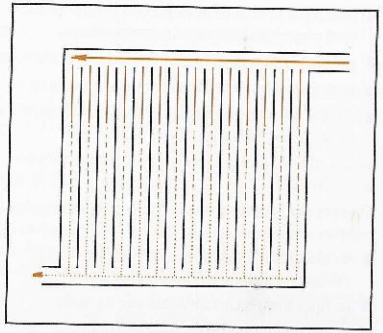
Podczas gdy zwykłe rury segmentowe z NH_3 mają pojemność 12 do 15 l/m² (rys. 4.42a – 1) to w nowocześniejszych urządzeniach ich pojemność wynosi już tylko 4,5 l/m² (rys. 4.42a – 2). W najnowszych konstrukcjach ta wielkość została obniżona nawet do 1,9 l/m².

Parowniki o pionowym przepływie (rys. 4.41) są rzadziej spotykane, gdyż proces parowania nie daje się tak dobrze regulować jak w parownikach o przepływie poziomym. Amoniak w tych parownikach także wprowadzany jest od góry.

Pod określeniami „Temp-plates", „Meura-plates", „Dimple jackets" i in. rozumie się parowniki utworzone bezpośrednio między powierzchnią tanku i blachą, w równych odstępach przyspawaną punktowo do jego powierzchni (rys. 4.43). Za pomocą bardzo wysokiego ciśnienia uwypukla się blachę między przyspawanymi punktami, tworząc w ten sposób przestrzenie, do których także można wprowadzić obieg chłodziwa.

Największe zapotrzebowanie zimna występuje po fermentacji i dojrzewaniu, gdy piwo trzeba szybko schłodzić do temperatury leżakowania. Dla sprawnego przebiegu chłodzenia przy konstrukcji tanku powinny być przewidziane następujące powierzchnie:

- Do chłodzenia cylindryczno-stożkowych tanków fermentacyjnych
  metodą bezpośredniego odparowania:
  - 3,4 m² powierzchni chłodzonej/100 hl przy temperaturze odparowania 1°C
  - 1,6 m² powierzchni/100 hl przy temperaturze odparowania -4°C

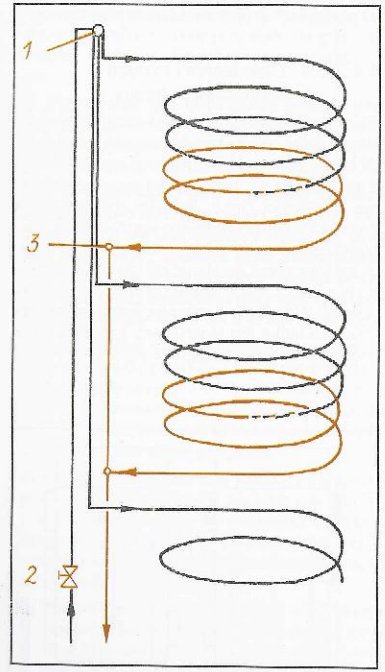


Rys. 4.41
Parownik rurowy o pionowym przepływie (chłodzenie amoniakiem)

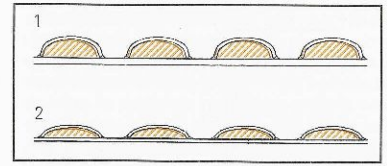
metodą chłodzenia pośredniego:

- 3,8 do 4,4 m² powierzchni chłodzonej/100 hl przy temperaturze chłodziwa +1°C
- 1,7 do 1,8 m² powierzchni/100 hl przy temperaturze chłodziwa -4°C

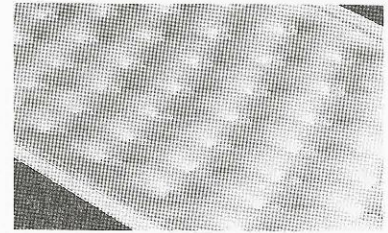
- **Do chłodzenia cylindryczno-stożkowych tanków leżakowych:**
  - 0,9 m² powierzchni chłodzonej/100 hl przy temperaturze odparowania -4°C.



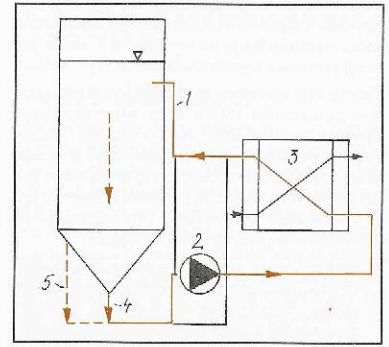
Rys. 4.42
Poziome rury chłodzące, chłodzenie amoniakiem
(1) rozdzielacz czynnika chłodzącego na poszczególne odcinki
(2) regulowany zawór doprowadzający
(3) odprowadzenie par amoniaku



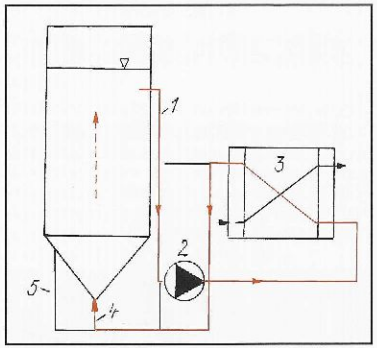
Rys. 4.42 a
Segmentowe rury parownika
(1) stary profil, (2) nowy, płaski profil



Rys. 4.43
„Meura-plates" albo „Dimple jackets" do chłodzenia amoniakiem



Rys. 4.44
Tank cylindryczno-stożkowy z chłodzeniem przez płytowy wymiennik ciepła
(1) przewód do górnej części tanku, (2) pompa, (3) płytowy wymiennik ciepła, (4) przewód do obciągu piwa, (5) przewód z górnej części stożka



Rys. 4.45

Szybkie chłodzenie tanku cylindryczno-stożkowego

(1) przewód do górnej części tanku, (2) pompa, (3) płytowy wymiennik ciepła, (4) przewód do obciągu piwa, (5) przewód z górnej części stożka

Można również chłodzić piwo w płytowym wymienniku cieplnym poza tankiem fermentacyjnym. Piwo pobrane przez pompę z górnej części stożka po przejściu przez płytowy wymiennik ciepła zawracane jest do tanku rurą, która wprowadza je na wysokości 1 metra poniżej poziomu wypełnienia tanku (rys. 4.44).

Zaletą tego sposobu chłodzenia jest wymieszanie zawartości tanku oraz utrzymywanie drożdży w zawiesinie. Aby w okresie osadzania się drożdży nie utrudniać tego procesu, obieg chłodzenia ogranicza się do samego tylko stożka (rys. 4.45). Ta metoda chłodzenia jest w Niemczech stosowana z powodzeniem od 1970 roku. Jej zalety są następujące:

- niskie koszty instalacji – płaszcze chłodzące stanowią 25 do 30% całkowitego kosztu tanku cylindryczno-stożkowego. Płytowy wymiennik ciepła bywa zwykle w porównaniu z tą instalacją tańszy;
- chłodzenie w obiegu za pomocą płytowego wymiennika ciepła wymaga stosunkowo niższych nakładów eksploatacyjnych.

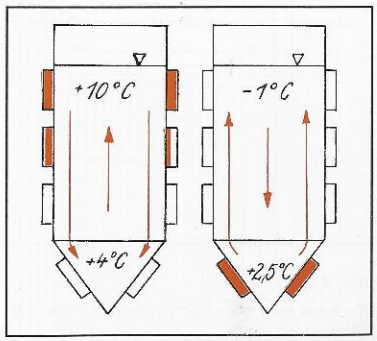
Zamiast płytowego wymiennika ciepła można również zainstalować rurowy parownik, który chłodzi piwo w obiegu przez bezpośrednie odparowanie NH_3. Ta forma chłodzenia jest tańsza w eksploatacji. Dodatkową zaletą chłodzenia zewnętrznego jest przyspieszenie wszystkich procesów przez stałe utrzymywanie drożdży w ruchu.

Dzięki skróceniu czasu fermentacji i dojrzewania można lepiej wykorzystać pojemność tanków.

Za jedyną wadę tego systemu można by uważać zużycie prądu do napędu pomp, ale i tak jest ono mniejsze od tego, które jest konieczne do pompowania przy chłodzeniu płaszczowym.

4.4.2.2.4 Chłodzenie i rozkład temperatur w tanku

Temperatura wewnątrz tanku cylindryczno-stożkowego nie jest rozłożona równomiernie. W czasie fermentacji burzliwej, na skutek wydzielania się CO_2 następuje intensywne mieszanie zawartości tanku. Ponadto działają prądy konwekcyjne, powodujące unoszenie się cieplejszego piwa ku górze, a chłodniejsze - wychłodzone przez działanie płaszcza chłodzącego w górnej części tanku - przemieszcza się ku dołowi. W tej fazie fermentacji ruch piwa przy ścianach tanku jest skierowany ku dołowi, a w części środkowej – ku górze (rys. 4.46 – a).



Rys. 4.46

a) kierunki konwekcji w tanku

b) Zimne leżakowanie piwa

Niezależnie od metody fermentacji i dojrzewania w końcowym etapie obniża się temperaturę leżakowania do 0, a nawet -2°C i w tej temperaturze utrzymuje się piwo w ciągu co najmniej tygodnia, aby umożliwić wytrącenie się i osadzenie cząstek tak zwanego zimnego zmętnienia oraz reszty drożdży przed filtracją. Przy tej temperaturze ujawnia się zupełnie inne rozłożenie temperatur w piwie, niż ma to miejsce w zbiornikach wodnych.

Woda ma największą gęstość przy +4°C i ta temperatura utrzymuje się zimą na dnie jezior i innych zbiorników wodnych, podczas gdy zimniejsza woda i lód wypływają na powierzchnie.

Piwo pełne ma największą gęstość przy około 2,5°C; największa gęstość piw mocnych występuje przy około +1°C, a piwa lekkie mają największą gęstość przy 3°C.

Dla przykładu, jeśli będziemy chłodzić pełne piwo do temperatury -1°C, to u dołu tanku, w stożku, będzie zbierać się piwo o najwyższej gęstości, czyli o temperaturze 2,5°C, a w górnej części tanku będzie piwo coraz zimniejsze i przy dalszym chłodzeniu może dojść do wytworzenia lodu.

Przy tej okazji trzeba pamiętać, że piwo zaczyna zamarzać przy -2°C; pełne piwo pilzneńskie zamarza przy -2,2°C, a piwo mocne – przy -2,9°C. Te wartości stanowią dolne granice dla procesu chłodzenia, gdyż tworzenie lodu wpływa negatywnie na jakość piwa.

Piwo zamarza powoli. Lód tworzy się najpierw przy ściankach zbiornika, podczas gdy alkohol i rozpuszczone w piwie składniki ekstraktu koncentrują się w części niezamarzniętej (o wzmacnianiu piwa przez zamrażanie /ice beer/ patrz rozdz. 4.8.2).

Dla schłodzenia piwa do 0 lub -2°C na czas zimnego leżakowania stożek tanku musi być wyposażony w płaszcz chłodzący, gdyż w przeciwnym razie w tym rejonie nie da się osiągnąć tak niskiej temperatury (rys. 4.46 – b).

Chłodzenie stożka jest szczególnie ważne dla jakości drożdży zbieranych po fermentacji. Bez zapewnienia tych warunków cieplejsze piwo i drożdże opadają na dno, w wyniku czego zawartość stożka jest wyraźnie cieplejsza niż górna część tanku. Ponieważ jednak piwo nie zawiera już żadnych składników odżywczych dla drożdży, ich przemiana materii powinna być ograniczona do minimum, tymczasem wyższa temperatura pobudza tę przemianę i prowadzi do tego, że następuje wzmożone zużycie substancji zapasowych drożdży, jak glikogen i mannan. Osłabione komórki drożdżowe zaczynają rozkładać również inne grupy związków, przemiana materii staje się nieuporządkowana i komórka ulega autolizie. Ściana komórkowa zostaje zniszczona i składniki cytoplazmy, jak białka, enzymy, nienasycone kwasy tłuszczowe i inne, rozpuszczają się powoli w piwie. Wynikiem tego procesu jest:

- podwyższenie wartości pH piwa,
- pogorszenie smaku,
- zmniejszenie stabilności smaku,
- obniżenie trwałości mikrobiologicznej.

Przy tankach z zewnętrznym chłodzeniem w płytowym wymienniku ciepła piwo ochłodzone do -1, -2°C pompowane jest od dołu do zbiornika (rys. 4.45). Dzięki temu osiąga się równomierne wychłodzenie zawartości tanku i wytrącenie cząstek „zimnego osadu".

Tank podzielony jest na kilka stref chłodzenia. Zwykle są trzy strefy w części cylindrycznej i osobno, u dołu, chłodzenie stożka. Dzięki temu można kierować chłodzeniem stosownie do sytuacji w tanku.

4.4.2.2.5 Izolacje cieplne

Wolno stojące tanki muszą być oczywiście chronione przed wpływem wysokich i niskich temperatur otoczenia, dlatego muszą być dobrze izolowane od warunków zewnętrznych. Tanki ustawione w budynku także wymagają indywidualnego chłodzenia i też są najczęściej izolowane. Jako materiał izolacyjny stosuje się najczęściej twardą piankę poliuretanową, którą nakłada się w warstwach o grubości 100 do 150 milimetrów. Ta izolacja jest od zewnątrz chroniona blachą aluminiową lub ze stali nierdzewnej. Nie można dopuścić, by woda dostała się do izolacji, gdyż jest ona później trudna do usunięcia. Twarda pianka poliuretanowa ma bardzo dobre właściwości izolujące, tak że nawet bardzo niskie temperatury otoczenia nie mają wpływu na temperaturę procesów w tanku.

Trzeba szczególnie pamiętać o dwóch sprawach:

- po pierwsze, że poliuretan jest materiałem palnym, ale pali się tylko przy dostępie tlenu,
- po drugie, jeśli izolacja nie jest całkowicie szczelna, to do warstwy pianki poliuretanowej przedostaje się para wodna i wilgotna warstwa w znacznym stopniu traci swoje właściwości izolujące. Już drobne miejsca, jak na przykład połączenia śrubami, mogą stanowić ryzyko przenikania pary wodnej.

Trzeba liczyć się z tym, że z czasem pianka może w dużym stopniu utracić swoje własności izolujące. Z tego względu konieczna jest szczelna zewnętrzna osłona, którą wykonuje się z blachy aluminiowej, blach ze stali nierdzewnej lub zwykłej, powlekanej albo cynkowanej. Utrata własności izolujących jest optycznie nie do rozpoznania, z tego względu trzeba powierzać wykonanie i kontrolę izolacji wyspecjalizowanym firmom i żądać od nich długoletnich gwarancji.

4.4.2.3 Automatyczne sterowanie chłodzeniem

Zmiany zachodzące w otwartej kadzi fermentacyjnej można bezpośrednio obserwować przy pomocy zmysłów. W tanku cylindryczno-stożkowym tego zrobić nie można. W tym celu należy oprzeć się na działaniu instrumentów kontrolnych, ale trzeba również niezwłocznie reagować na ich sygnały, aby nie dopuścić do szkodliwych zmian w olbrzymich masach brzeczki i piwa. Z tego względu browar jest zainteresowany prawidłowym sterowaniem procesami i w miarę możliwości ich automatyzacją. To ostatnie zależy w dużym stopniu od możliwości finansowych przedsiębiorstwa.

4.4.2.3.1 Różne metody sterowania procesem fermentacji

Procesem fermentacji można kierować różnymi sposobami:

- sterowanie ręczne jako forma najprostsza,
- półautomatyka z zaprogramowanymi temperaturami,
- pełna automatyka sterowania procesem w zależności od temperatury, czasu oraz stopnia odfermentowania.

Dla w pełni automatycznego sterowania procesem fermentacji stosuje się szereg systemów pomiarowych o odpowiedniej dokładności:

- ***pomiar ilości CO_2***

mierzy się ilość wydzielonego CO_2 i na podstawie tego pomiaru, oraz pomiarów temperatury i czasu, wybiera odpowiednie decyzje;

- ***różnicowy pomiar ciśnienia***

w tym wypadku oparto się na stopniowo malejącej gęstości fermentującej brzeczki. Precyzyjny pomiar ciśnienia w przestrzeni gazowej tanku i dolnej części stożka pozwala określić ciężar słupa cieczy w tanku, a z niego pośrednio gęstość i stopień odfermentowania.

Obecnie stosuje się jeszcze proste programy czasowe, które mogą dawać dobre rezultaty pod warunkiem, że utrzymuje się stałe wyjściowe parametry procesu, jak:

- gęstość brzeczki,
- zawartość tlenu w brzeczce,
- temperatura nastawienia fermentacji,
- liczba komórek drożdży w nastawionej brzeczce.

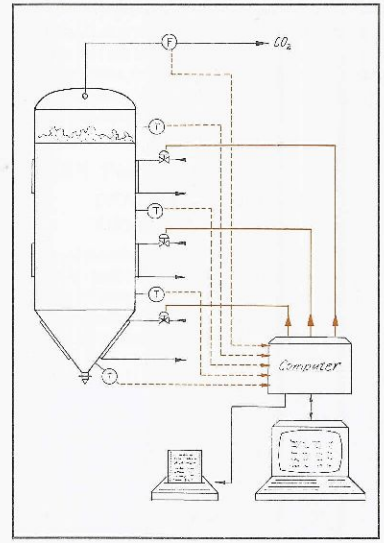
Wszystkie powyższe warianty mogą być dalej ulepszane przez sterowanie komputerowe.

4.4.2.3.2 Wizualizacja automatycznego sterowania procesem

Podobnie jak w przypadku warzelni, o czym była mowa w poprzednim rozdziale, coraz częściej przechodzi się na całkowitą automatyzację kierowania procesem oraz wizualizację jego przebiegu w monitorze.

Automatyzacja i wizualizacja obejmuje:

- całkowicie automatyczne kierowanie procesami fermentacji i leżakowania,
- mierzenie zawartości ekstraktu i stopnia odfermentowania za pomocą wbudowanych w tank czujników,
- stały przegląd stanu wszystkich tanków w monitorze,
- indywidualne parametry mogą być zmieniane, każdy z osobna, za pomocą komputera,



Rys. 4.47

Sterowanie procesem i wizualizacja na monitorze. Stałe wskazania temperatury

- wszystkie dane są gromadzone w pamięci i w każdej chwili mogą być przywołane,
- po przyłączeniu drukarki można wydrukować wszystkie dane.

W dużych i nowoczesnych zakładach trudno już sobie wyobrazić sterowanie procesem fermentacji i leżakowania piwa inaczej jak za pomocą komputera. Tylko tą drogą można uzyskać najwyższą pewność sprawnego kierowania tymi procesami przy minimalnym stanie liczebnym personelu obsługi (rys. 4.47 i 4.47a).

Dla większej pewności komputer sygnalizuje obsłudze przez sygnały świetlne lub dźwiękowe każde odchylenie od wyznaczonego parametru, tak aby operator mógł natychmiast reagować.

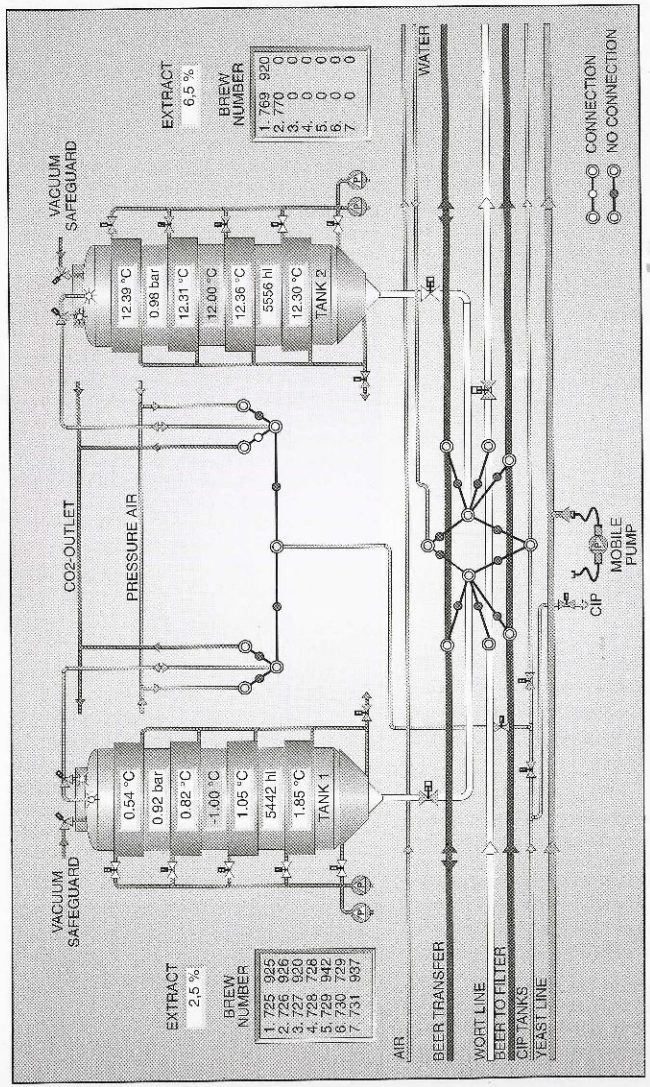
4.4.3 Prowadzenie fermentacji i dojrzewania piwa w tankach cylindryczno-stożkowych (TCS)

Większość przedsiębiorstw dąży dziś do wyposażenia swoich browarów w tanki cylindryczno-stożkowe i prowadzenia fermentacji oraz dojrzewania piwa tylko w tych zbiornikach. Niemniej wiele browarów wykorzystuje jeszcze tradycyjne naczynia fermentacyjne, łącznie z nowo zainstalowanymi tankami.

Warunkiem szybkiego rozpoczęcia fermentacji jest w każdym przypadku intensywne napowietrzenie brzeczki. Wiadomo, że w dalszych etapach tlen jest śmiertelnym wrogiem jakości piwa i że trzeba robić wszystko, aby do jego kontaktu z piwem nie dopuścić. Niemniej, gdy chcemy w pełni wykorzystać zdolności fermentacyjne drożdży i doprowadzić do szybkiego zapoczątkowania fermentacji, musimy na początku dostarczyć brzeczce dużo tlenu. Ten tlen jakości produktu nie zaszkodzi, gdyż drożdże bardzo szybko go wykorzystają, a następnie przestawią się na fermentację beztlenową. Natomiast, jeśli na początku nie zapewnimy dostatecznych ilości tlenu w brzeczce, to fermentacja będzie zaczynać się opornie i narazi nas to na dużą stratę czasu.
Gdy tylko fermentacja ruszy, zasada, że tlen jest śmiertelnym wrogiem jakości zacznie znów obowiązywać w ciągu całego procesu, aż do chwili, gdy piwo znajdzie się w butelce.

Stara zasada piwowarska mówiła: fermentacja ma trwać tydzień, a leżakowanie tyle tygodni, ile procent ekstraktu zawierała brzeczka. Ta reguła już od dawna nie obowiązuje i nawet połowa tradycyjnego czasu leżakowania nie jest dziś stosowana.

Czas fermentacji i dojrzewania piwa powinien być możliwie jak najkrótszy, ze względu na rentowność przedsiębiorstwa. Na fermentację, dojrzewanie i leżakowanie piwa przeznacza się obecnie nie więcej niż 17 do 20 dni, z tendencją do dalszego skracania tego okresu, przy niezmienionej jakości produktu.



Rys. 4.47 a
Obraz tanków fermentacyjnych i leżakowych oraz ich połączeń
(1) sprężone powietrze, (2) rurociąg piwny, (3) brzeczka, (4) piwo do filtru, (5) przewody układu CIP, (6) drożdże, (7) do- i odprowadzenie CO_2, (8) sprężone powietrze, (9) zabezpieczenie przed podciśnieniem

Przy tradycyjnym wyposażeniu działów fermentacji i dojrzewania piwa skracanie tych procesów jest także możliwe, ale tanki cylindryczno-stożkowe mają tę wyższość, że pozwalają na dokonanie tych zmian bez pogorszenia jakości produktu.

4.4.3.1 Podstawowe zasady prowadzenia fermentacji i dojrzewania piwa w TCS

Przy prowadzeniu fermentacji i dojrzewania piwa w tankach cylindryczno-stożkowych w czasie krótszym niż trzy tygodnie, trzeba przestrzegać kilku podstawowych zasad, skoro nie ma możliwości bezpośredniej obserwacji procesu.

Szczególne znaczenie ma zawartość w brzeczce przyswajalnych dla drożdży związków azotowych, na których ilość ma wpływ praca warzelni. Jako zasadę trzeba uznać, że brzeczka musi zawierać w 100 ml co najmniej 23 mg wolnego azotu aminowego (FAN) i w żadnym razie nie schodzić poniżej 20 mg/100 ml. Przy brzeczkach z zacierów z dodatkiem surowców niesłodowanych, zawartość FAN powinna być nie mniejsza niż 15 mg/100 ml.

Napowietrzenie brzeczki i dawka drożdży są decydującymi czynnikami dla szybkiego i energicznego zapoczątkowania fermentacji. 30 milionów komórek w mililitrze odpowiada dawce 1 l gęstwy drożdżowej/hl.

Drożdże są wrażliwe na gwałtowne zmiany temperatury i przy nagłym ochłodzeniu ulegają szokowi, którego następstwem jest zahamowanie procesów rozmnażania komórek i fermentacji. W okresie nastawienia fermentacji i w fazie logarytmicznego wzrostu szczególnie należy unikać takiego ochładzania drożdży. Dotyczy to także dodawania „wysokich krążków", które powinno być przeprowadzane przy wyrównanych temperaturach.

Wskaźnikiem stanu dojrzałości piwa jest redukcja dwuacetylu. Zakłada się zwykle, że równolegle z redukcją dwuacetylu znikają z piwa także i inne składniki uczestniczące w tworzeniu bukietu młodego piwa. Przy końcu okresu dojrzewania ogólna zawartość dwuacetylu nie powinna przekraczać 0,10 mg/l. Pewna niewielka redukcja dwuacetylu zachodzi także podczas leżakowania piwa. Zawartość jego w gotowym produkcie powinna być niższa od 0,10 mg w litrze.

Osadzone drożdże powinny być usuwane z tanku jak tylko konsystencja gęstwy na to pozwoli. Autoliza drożdży pogarsza jakość piwa.

Po zakończeniu procesu dojrzewania wszystkie typy piwa powinny być schładzane do temperatury -1 do -2°C, na czas co najmniej 7 dni, aby mogły osiągnąć pożądaną trwałość koloidalną. Krótsze okresy leżakowania i wyższe temperatury wymagają znacznie więcej zabiegów stabilizacyjnych. Krótkotrwałe schłodzenie nie jest zabiegiem skutecznym.

Fermentację i dojrzewanie można przeprowadzić w jednym tanku cylindryczno-stożkowym i jest to metoda „jednotankowa" lub osobno, w jednym tanku fermentację, a w drugim leżakowanie i wówczas będzie to metoda „dwutankowa".

Można także przeprowadzić fermentację w TCS, a następnie leżakować piwo w tankach tradycyjnych. W tym przypadku proces dojrzewania, czyli redukcję dwuacetylu trzeba przeprowadzić jeszcze w tanku cylindryczno-stożkowym, aby uzyskać jednolitą jakość piwa. W kilku mniejszych tankach tradycyjnych przeprowadza się już tylko leżakowanie w niskich temperaturach, dla uzyskania stabilizacji koloidalnej, sklarowania i zaokrąglenia smaku piwa.

Metoda jednotankowa ma więcej zalet:

- koszty mycia są mniejsze, gdyż do umycia jest tylko jedno naczynie,
- straty CO_2 są mniejsze, ponieważ nie przetłacza się piwa do pustego tanku,
- ubytki piwa są mniejsze, gdyż nie powstają straty w rurociągach,
- potrzeba mniej roboczogodzin, gdyż odpada operacja przetłaczania piwa z tanku do tanku,
- oszczędza się energię, bo nie trzeba niczego przepompowywać,
- unika się niebezpieczeństwa kontaktu piwa z powietrzem.

Wadą metody jest gorsze wykorzystanie pojemności tanku na etapie leżakowania. W jakości piwa nie ma żadnej dostrzegalnej różnicy między obiema metodami. W zasadzie każdą fermentację można przeprowadzić metodą jednolub dwutankową.

Pozyskiwanie CO_2, zarówno z punktu widzenia ekonomicznego, jak i ochrony środowiska, jest gorąco polecane. Dosycanie piwa dwutlenkiem węgla jest potrzebne tylko przy ciepłym dojrzewaniu i niskim ciśnieniu podczas leżakowania. System chłodzenia jest niezbędny w każdym tanku.

Metody fermentacji i dojrzewania piw typu pilzneńskiego można podzielić na następujące trzy grupy:

zimna fermentacja – zimne dojrzewanie,
zimna fermentacja – ciepłe dojrzewanie,
ciepła fermentacja – zimne dojrzewanie.

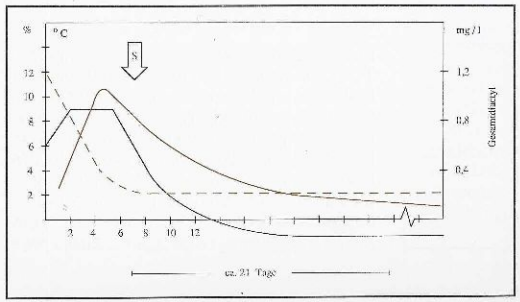
Na podanych niżej wykresach, wg prof. Miedanera, przedstawione są procesy fermentacji i dojrzewania piwa. Na rysunkach pokazano:

- przebieg temperatur przedstawiony w postaci czarnej krzywej w ciągu około 21 dni,
- zawartość dwuacetylu, jako krzywą czerwoną,
- zawartość ekstraktu, jako przerywaną krzywą czerwoną,
- przebieg zmian ciśnienia, jako krzywą kropka/kreska,
- litera S w strzałce oznacza moment przesyłania piwa do leżakowni,
- małe strzałki oznaczają moment zbioru drożdży.

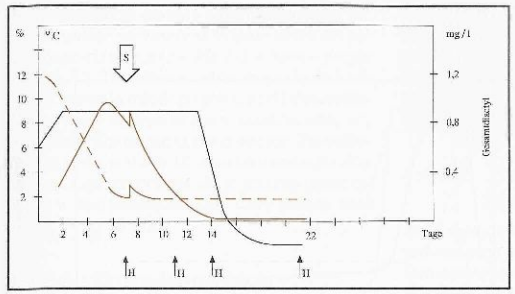
4.4.3.2 Zimna fermentacja – zimne dojrzewanie

Metoda ta jest znana jako tradycyjna fermentacja i dojrzewanie. Fermentację nastawia się przy temperaturze 6 do 7°C i dopuszcza się jej wzrost do 8 lub 9°C (rys. 4.48). Po około dwóch dobach zostaje osiągnięta najwyższa temperatura, którą utrzymuje się przez dwa dni, a następnie zawartość kadzi schładza się powoli do 3 lub 4°C. Młode piwo, z resztką fermentującego ekstraktu, przesyła się do leżakowni. Różnica ekstraktu piwa młodego w tym momencie, w stosunku do końcowego stopnia odfermentowania powinna wynosić od 0,8 do 1%.

W leżakowni młode piwo schładza się do temperatury leżakowania tak wolno, aby drożdże zdążyły zredukować dwuacetyl do poziomu



Rys. 4.48
Zimna fermentacja - zimne dojrzewanie (objaśnienia w tekście)



Rys. 4.49
Zimna fermentacja i dojrzewanie w TCS

poniżej progu wyczuwalności smakowej, czyli 0,1 mg/l. Następnie, co najmniej w ciągu tygodnia, leżakuje się piwo w temperaturze -1°C. Tradycyjnego niegdyś leżakowania w ciągu pięciu tygodni dzisiaj się nie stosuje. W każdym wypadku należy prowadzić kontrole leżakowania piwa dla uniknięcia:

- posmaku drożdżowego,
- początków autolizy drożdży ze wzrostem wartości pH,
- pogorszenia smaku, pienistości i trwałości piwa.

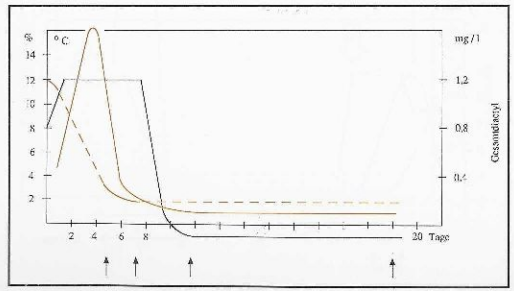
4.4.3.3 Zimna fermentacja z dojrzewaniem w TCS

Przy zastosowaniu tej metody nastawia się fermentację w temperaturze 6 do 7°C i pozwala jej wzrosnąć do 8-9°C. Tę temperaturę utrzymuje się do momentu ściągania młodego piwa do tanku leżakowego (rys. 4.49). Przy przepompowywaniu do piwa dodaje się około 10% młodego piwa z innego tanku w stadium zafermentowania („niskich krążków"). Dzięki temu do piwa wchodzą energicznie fermentujące, aktywne drożdże, które redukują pozostały w nim jeszcze dwuacetyl. Dopiero po zakończeniu tego procesu piwo schładza się do temperatury -1°C i w tej temperaturze przechowuje w ciągu tygodnia.

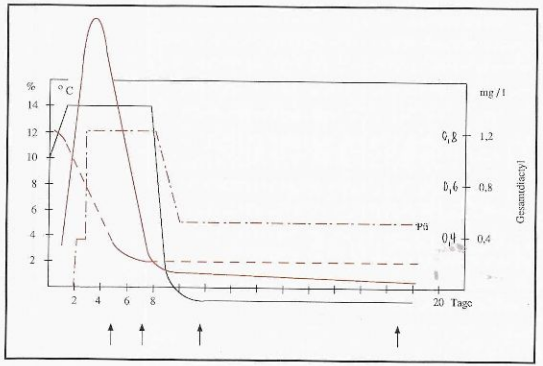
Po osiągnięciu dojrzałości piwa i stopnia odfermentowania bliskiego wartości granicznej, możliwej do osiągnięcia, trzeba co 2 lub 4 dni ściągać drożdże, ostatni raz przed samą filtracją. Przy tej metodzie cały proces fermentacji i leżakowania trwa 20 dni.

4.4.3.4 Ciepła fermentacja – zimne dojrzewanie

W poszukiwaniu możliwości skrócenia fermentacji i dojrzewania piwa wykorzystano powszechnie znane zjawisko, że w wyższych temperaturach procesy te przebiegają szybciej.



Rys. 4.50
Ciepła fermentacja - zimne dojrzewanie



Rys. 4.51
Fermentacja ciśnieniowa

Kiedy nastawia się fermentację przy 8°C i pozwala wzrosnąć temperaturze do 12-14°C (rys. 4.50), to tworzy się dużo więcej dwuacetylu, ale także jest on dużo szybciej i intensywniej redukowany.

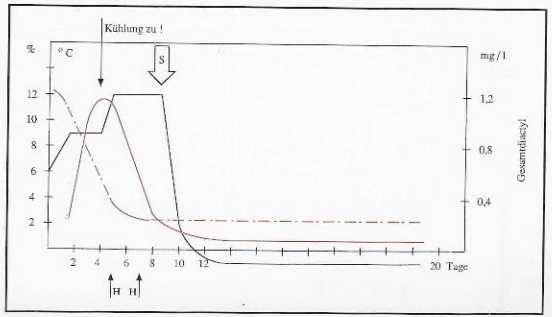
Dopiero po zredukowaniu dwuacetylu ochładza się piwo do temperatury -1°C i leżakuje w ciągu jednego tygodnia. Cały proces trwa w sumie 17 do 20 dni i można go przeprowadzić także w browarze wyposażonym w tradycyjne zbiorniki fermentacyjne.

Zalety tej metody postępowania są następujące:

- końcowy stopień odfermentowania osiąga się bardzo szybko,
- dwuacetyl zostaje szybko i pewnie zredukowany,
- wyprodukowane tą metodą piwa mają dobrą jakość,
- metoda sprawdza się także w warunkach fermentacji ciśnieniowej.

4.4.3.5 Fermentacja ciśnieniowa

Kiedy podnosi się temperaturę fermentacji powyżej 20°C, to oczywiście tworzy się jeszcze więcej ubocznych produktów. Jednak proces ten może wymknąć się spod kontroli i przebiegać chaotycznie, jeśli jednocześnie nie podniesie się ciśnienia, które zahamuje nadmierne tworzenie dwuacetylu i innych produktów ubocznych (rys. 4.51). Zakładamy oczywiście, że mamy do dyspozycji tanki ciśnieniowe, w których jest dopuszczone odpowiednie ciśnienie.



Rys. 4.52
Zimna fermentacja - ciepłe dojrzewanie

Przy osiągnięciu stopnia odfermentowania ok. 50% reguluje się zawór w kopule tanku do pożądanego ciśnienia (*zwykle 1-1,8 bara – przyp. tłum. A.B.*). To ciśnienie utrzymuje się do końca dojrzewania młodego piwa, a później, schładzając piwo do temperatury leżakowania, odpowiednio obniża się także ciśnienie. Po ochłodzeniu piwa w 9 lub 10 dniu fermentacji i dojrzewania, przetrzymuje się je jeszcze przez tydzień w temperaturze -1°C. Cały proces trwa około 17 do 20 dni.

4.4.3.6 Zimna fermentacja – ciepłe dojrzewanie

Wynikiem ciepłej fermentacji jest zawsze duża ilość produktów ubocznych. Zaletą fermentowania na zimno jest to, że niewielka ilość produktów ubocznych powstała w tych warunkach zostanie skutecznie zredukowana w czasie ciepłego dojrzewania (rys. 4.52).

Proces zimnej fermentacji głównej, z następującym dojrzewaniem w tym samym tanku, prowadzi się w temperaturach od 8 do 9°C, aż do osiągnięcia stopnia odfermentowania około 50%. Następnie wyłącza się chłodzenie i pozwala wzrosnąć temperaturze do 12-13°C. Po kilkudniowym dojrzewaniu, w czasie którego systematycznie kontroluje się zawartość dwuacetylu, schładza się piwo do -1°C i leżakuje w ciągu tygodnia, w tym samym tanku lub w tankach leżakowych. Przy nadciśnieniu 1 bara można bez dodatkowej karbonizacji uzyskać piwo o zawartości 5,4 do 5,6g CO_2/l. Fermentację tą metodą można prowadzić także w tradycyjnie wyposażonym browarze.

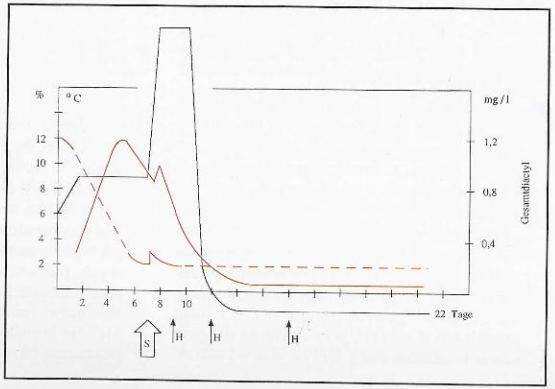
Cały proces trwa około 20 dni.

4.4.3.7 Zimna fermentacja główna ze sterowanym dojrzewaniem

W tej metodzie fermentacja główna przy 8-10°C prowadzona jest aż do niemal całkowitego odfermentowania cukrów (rys. 4.53). Następnie pompuje się młode piwo z dodatkiem 10% „wysokich krążków" (piwa z innego tanku w stadium fermentacji burzliwej) przez płytowy wymiennik cieplny, gdzie zostaje ogrzane do 20°C. Dojrzewanie w tej temperaturze trwa 1,5 do 2 dni, w tym samym tanku lub w tanku leżakowym, przy czym kontroluje się redukcje dwuacetylu. Następnie wychładza się piwo do temperatury -1°C i leżakuje jeszcze przez tydzień.

Zaleca się, aby drożdże odbierać po fermentacji, ale przed dodaniem „wysokich krążków". Najlepiej w tym celu zastosować wirówkę, która musi pracować w atmosferze CO_2, aby uniknąć kontaktu piwa z powietrzem.

Cały ten proces trwa około 20 dni i charakteryzuje się skróceniem okresu dojrzewania do 2, a najwyżej 3 dni.



Rys. 4.53
Zimna fermentacja główna ze sterowanym dojrzewaniem

4.4.3.8 Ciepła fermentacja główna z normalnym lub przyspieszonym dojrzewaniem

Fermentację można znacznie skrócić podnosząc temperaturę, ale przy tym zmienia się cały szereg czynników:

- wzrasta ilość ubocznych produktów fermentacji,
- aromat piwa ma tendencje do nabrania drożdżowo-kwiatowych odcieni,
- stabilność koloidalna i pienistość ulegają pogorszeniu.

Zaletą ciepłej fermentacji jest skrócenie tego procesu do 4 dni, a w konsekwencji zwiększenie zdolności produkcyjnej browaru.

Ciepła fermentacja ma sens tylko w połączeniu z dodawaniem „wysokich krążków" i zastosowaniem specjalnych warunków dojrzewania.

4.4.4 Zbiór drożdży w tankach cylindryczno-stożkowych

Zbiór drożdży jest dla piwowara sprawą bardzo ważną. Trzeba umiejętnie wybrać i ustalić:

– moment zbioru drożdży i

– sposób zbioru drożdży.

4.4.4.1 Moment zbioru drożdży

Drożdże z tanku powinny być odbierane tak wcześnie i tak często jak to jest możliwe. Istnieje do tego kilka powodów:

- Drożdże nie zawsze osiadają w tanku tak jak byśmy sobie tego życzyli. Po burzliwym okresie fermentacji głównej, aż do końca etapu dojrzewania piwa występują jeszcze podwyższone koncentracje komórek drożdżowych w strefie powierzchniowej, jako wynik przemieszczania się ku górze tych, które są bardziej aktywne (178). Nawet podczas zimnej fazy leżakowania podnoszą się czasem „chmurki" drożdży z cieplejszego stożka. Mimo to, główna masa drożdży osiada stopniowo w stożku, przy czym na długość czasu osiadania duży wpływ ma wysokość tanku. Osadzone już drożdże powinno się możliwie szybko z tanku usuwać.
- W miarę dojrzewania piwa drożdże pozostające w tanku wydzielają przede wszystkim niskocząsteczkowe związki azotowe, które nie będą już użyte do budowy nowych komórek. Związki te pozostając w piwie wpływają ujemnie na trwałość piany.
- W końcowej fazie dojrzewania i w trakcie zimnego leżakowania piwa drożdże wydzielają enzym proteinazę A(179), która atakuje białka wchodzące w skład zespołu substancji pianotwórczych, przez co może nastąpić znaczne pogorszenie pienistości. Szczególne znaczenie ma to dla piwa beczkowego, które nie jest pasteryzowane, w wyniku czego enzym działa nadal w rozlanym produkcie.

  Stwierdzono przy tym, że wcześnie zbierane drożdże wydzielają mniej proteinazy niż później zebrane, a komórki pozostające w zawiesinie wydzielają jej mniej niż osadzone. Z tych rozważań wynika, że wczesny zbiór drożdży poprawia jakość piwa.
- Zły stan fizjologiczny drożdży prowadzi do wydzielania produktów autolizy komórek do piwa. Substancje te utrudniają przebieg dalszych etapów produkcji. Rozpuszczanie substancji komórkowych, jak białka, glikogen i mannan nadaje piwu posmak i zapach drożdżowy oraz prowadzi do zmętnień i trudności przy filtracji.
- W wysokich tankach na drożdże osadzone w stożku źle wpływa wysokie ciśnienie cząstkowe CO_2, który nagromadza się także w komórkach i jest dla nich do pewnego stopnia trujący. Samo ciśnienie, jako takie, drożdżom nie szkodzi. Im dłużej osadzone drożdże przebywają w stożku tanku, tym bardziej będą osłabione, bo leżąc w grubej warstwie pozbawione są także dopływu substancji odżywczych. W tych warunkach starsze komórki, które już wielokrotnie pączkowały, co można policzyć po ich „bliznach", po wyczerpaniu swych substancji zapasowych, pierwsze zaczynają rozkładać i zużywać substancje budulcowe organizmu. To właśnie jest autoliza, czyli „samorozpuszczanie" się komórki. Enzymy wewnętrzne rozpuszczają błony komórkowe wewnątrz i na zewnątrz komórki. Aminokwasy, enzymy, kwasy tłuszczowe i inne związki wydostają się do otoczenia. Cała przemiana materii rozprzęga się i komórka zamiera. Uwolnione w tym procesie substancje wpływają bardzo źle na jakość piwa:
  - aminokwasy i enzymy proteolityczne psują smak i obniżają trwałość piany,
  - kwasy tłuszczowe, zwłaszcza nienasycone, mają negatywny wpływ na stabilność smaku piwa w czasie przechowywania po rozlewie,
  - składniki rozłożonych komórek drożdży, znane w praktyce mikrobiologicznej jako autolizat drożdżowy, stanowią doskonałą pożywkę dla drobnoustrojów i mogą ułatwić rozwój ewentualnych infekcji,
  - wzrasta wartość pH w piwie, co jednocześnie jest nieomylną oznaką rozpoczętego procesu autolizy drożdży.

Udział martwych komórek w populacji drożdży powinien być możliwie jak najniższy i wynosi zwykle około 3%. Komórki martwe barwią się roztworem błękitu metylenowego, rozcieńczonym w stosunku sto miligramów w litrze wody i bardzo łatwo określić ich ilość pod mikroskopem. Zwiększony udział martwych komórek stanowi również sygnał ostrzegawczy zagrażającej autolizy.

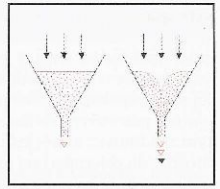
> Wielkość tego zagrożenia rozpatrzymy na następującym przykładzie: jeśli z jednego hektolitra młodego piwa zbieramy średnio 2,5 litra gęstwy drożdżowej, to na dnie tanku o pojemności 1000 hl zbierze się 25 hl gęstwy. Jeśli w tej masie drożdży będzie tylko 3% komórek martwych, to mamy w tanku 75 litrów martwej masy komórkowej, której składniki szkodliwe dla jakości produktu ulegają rozpuszczeniu i przechodzą do piwa.

Wszystkie powyższe rozważania zgodnie wskazują na to, że drożdże z tanku powinny być odbierane możliwie wcześnie. Powinno się to odbywać w kilku etapach.

4.4.4.2 Metody przeprowadzania zbioru drożdży

Drożdże odbiera się ze stożka przed spuszczeniem piwa z tanku.

Odbiór drożdży może zachodzić przy wykorzystani ciśnienia panującego w tanku albo też specjalnej pompy, której głównym zadaniem jest zapewnienie równomiernego dozowania pobieranej ilości, czyli stałego, niezbyt szybkiego strumienia odbioru. Stosowane w tym celu mogą być pompy membranowe, pierścieniowo-tłokowe albo mimośrodowe pompy ślimakowe. Wszystkie one mogą pracować w sprzężeniu ze zmętnieniomierzem, czyli nefelometrem.



Rys. 4.53b
Zbiór drożdży z tanku
a) gęstwa drożdżowa spływa równomiernie ku dołowi
b) powstawanie lejka przez zbyt szybki obciąg

Przy zbiorze drożdży ważne jest, aby osadzona w stożku gęstwa spływała powoli i równomiernie, zachowując poziomą granicę między masą drożdży i piwem (rys. 4.53b – a). Jeśli ściąganie drożdży ze stożka przebiega zbyt szybko albo kąt stożka jest zbyt rozwarty, to gęstwa znajdująca się na bokach nie ześlizguje się dostatecznie szybko ku środkowi, gdzie w wyniku tego powstaje lejek (rys. 4.53b – b), którym zamiast drożdży popłynie piwo. To piwo z nakładem pracy i kosztów trzeba będzie od drożdży później oddzielać.

Przewody piwne stosowane przy tankach cylindryczno-stożkowych są zwykle dużej średnicy, 80 do 100 mm, więc powolne ściąganie drożdży napotyka tu na trudności. Aby temu zaradzić, stosuje się reduktory średnicy zwężające światło przewodu i dławiące przepływ, co zapewnia równomierny, powolny odbiór drożdży i równe schodzenie całej masy osadzonej w stożku.

Równomierne ześlizgiwanie się masy drożdży z całego stożka wspomagają:

- doskonale wypolerowane powierzchnie wewnętrzne stożka,
- mały kąt stożka – w granicach 60 do 70°,
- pobór drożdży pulsującymi pompami, których pulsacje są przenoszone na gęstwę osadzoną w stożku.

Drożdże znajdujące się w tanku podczas fermentacji i dojrzewania piwa, a zwłaszcza te osadzone w stożku, poddane są działaniu ciśnienia uregulowanego zaworem czopującym i powiększonego o 1 bar na każde 10 m wysokości słupa piwa. Sumie tych ciśnień musi odpowiadać ciśnienie wewnętrzne komórki drożdżowej. Jeśli odbieramy drożdże z tanku do bezciśnieniowego zbiornika, to dwutlenek węgla znajdujący się w komórkach rozpręża się gwałtownie. Dla komórki drożdżowej jest to sytuacja stresowa, w której musi ona dostosować się do nowych warunków otoczenia. Gęstwa drożdżowa wraz z zawartym w niej piwem tworzy w tych warunkach dużo dość trwałej piany, na którą trzeba przewidzieć do 50% wolnej przestrzeni w naczyniu. Nie można o tym zapominać, nawet jeśli przepompowuje się drożdże do zbiornika pod równoważnym ciśnieniem, w którym przeprowadza się najpierw napowietrzanie ich sterylnym powietrzem, usuwającym jednocześnie nagromadzony CO_2, a dopiero po tej operacji wyrównuje ciśnienie z atmosferycznym. Usunięcie dwutlenku węgla i dostarczenie tlenu są bardzo ważne dla pobudzania żywotności drożdży, zwłaszcza jeśli mają być zaraz użyte do nastawienia następnej fermentacji.

4.4.4.3 Pielęgnowanie i przechowywanie zebranych drożdży

Drożdże po zbiorze muszą być traktowane we właściwy sposób i przechowywane w odpowiednich warunkach. Do spraw, które trzeba tu rozpatrzyć należą:

- napowietrzanie lub nienapowietrzanie gęstwy drożdżowej,
- temperatura przechowywania drożdży,
- sposób przechowywania drożdży,
- kontrola jakości zebranych drożdży.

4.4.4.3.1 Napowietrzanie gęstwy drożdżowej

Zebrane drożdże powinny być jak najszybciej użyte do nastawienia następnej fermentacji. Napowietrzanie drożdży bardzo pobudza ich żywotność. Zanim jednak rozpuszczony tlen będzie mógł być wykorzystany przez komórkę drożdżową, trzeba z jej otoczenia i z niej samej usunąć CO_2. Ten okres napowietrzania i usuwania dwutlenku węgla z drożdży trwa około dwóch do trzech godzin (176). Po jego zakończeniu drożdże są gotowe do ponownego użycia. Dzięki napowietrzeniu przemiana materii w drożdżach zostaje przestawiona na uzyskiwanie energii drogą oddychania, co zapewnia jej dużą wydajność przy niskim zużyciu substancji rezerwowych.

Jeśli natomiast nie przewiduje się niezwłocznego wykorzystania zebranych drożdży do nastawienia następnej fermentacji, to lepiej pozostawić je bez napowietrzania, aby nie pobudzić ich przemiany materii i wzrostu biomasy w warunkach braku zewnętrznego źródła pożywki energetycznej, czyli brzeczki (158). W tych warunkach pobudzone dopływem tlenu komórki drożdżowe przystąpiłyby do energicznego zużywania własnych substancji rezerwowych, których brak dałby się później odczuć przy nastawieniu następnej fermentacji. Ich zły stan wyraziłby się także zwiększonym udziałem martwych komórek. Takiego osłabienia drożdży należy unikać i z tego względu, w przypadku dłuższego przechowywania, drożdże napowietrza się dopiero przed samym nastawieniem fermentacji.

4.4.4.3.2 Temperatura przechowywania drożdży

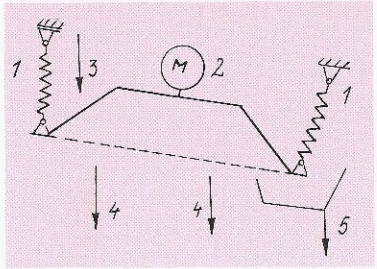
Im dłużej drożdże muszą być przechowywane, tym niższa powinna być ich temperatura. Najlepszy wariant to możliwie krótkie przechowanie przy niskiej temperaturze. Nawet przy ciepłej fermentacji i ciepłym dojrzewaniu drożdże zachowują najlepiej swą sprawność, gdy między zbiorem i następnym nastawieniem fermentacji są dobrze wychłodzone i przechowywane w zimnie (175). Przeciw zbyt niskim temperaturom przechowania przemawia ryzyko szoku temperaturowego, przy którym komórki drożdżowe mogą wydzielać do otoczenia aminokwasy i nukleotydy, a z nich tylko te pierwsze są w ciągu kilku następnych godzin ponownie pobrane z nastawionej brzeczki i użyte do budowy biomasy drożdży. W przypadku krótkotrwałego przechowania drożdże powinno się wychłodzić do temperatury brzeczki nastawnej, ale nie wyższej niż 8°C. Przy przechowywaniu przez sobotę i niedzielę trzeba wychłodzić w granicach 3 do 5°C. Jeśli przechowanie ma trwać trzy lub cztery dni, temperaturę obniża się do poziomu 0°C lub 1°C. Gęstwę drożdżową przechowuje się pod warstwą młodego, nie dofermentowanego piwa lub pod piwem z małym dodatkiem brzeczki.

Gdy zachodzi konieczność dłuższego przechowania, drożdże magazynuje się jako prasowane (*o zawartości 25 do 27% suchej substancji – przyp. tłum. A.B.*), w temperaturze 0 do 1°C.

4.4.4.3.3 Sposób przechowywania zebranych drożdży

Metodą powszechnie dawniej stosowaną było przemywanie drożdży wodą, odcedzanie ich na gęstych sitach i przechowywanie ich pod warstwą wody. Cedzenie przeprowadzano na sitach wibrujących (rys. 4.54), za pomocą których oddzielano grubsze zanieczyszczenia pochodzące z wytrąconych żywic chmielowych i białek, a drożdże rozdzielano na pojedyncze komórki. Jednak ryzyko infekcji drożdży przy tych zabiegach było bardzo duże, tak że obecnie zaprzestano zupełnie ich stosowania.

Podobnie jest z przechowywaniem drożdży pod warstwą wody w otwartych zbiornikach. Woda na zasadzie różnicy ciśnienia osmotycznego wyługowuje z drożdży związki mineralne, aminokwasy i witaminy, obniżając przez to ich wartość techniczną. Z tego względu obecnie przechowuje się drożdże pod piwem, z którym zostały zebrane z tanku. Jeśli jednak mimo tych przeciwwskazań chcemy przechowywać drożdże pod wodą, to zawsze mocno ochłodzone oraz z niewielkim dodatkiem brzeczki i bez przewietrzania. Przewietrzanie, obok wcześniej omówionych niekorzystnych następstw, stwarza zagrożenie rozwojem bakterii octowych. W niektórych krajach stosuje się zakwaszanie drożdży kwasem siarkowym, fosforowym lub cytrynowym do pH 2,5, a nawet do 2,0, na czas do 12 godzin. (*Według specjalistów z laboratorium Jörgensena w Kopenhadze, drożdże bez szkody dla ich żywotności można w celu oczyszczenia z zakażających drobnoustrojów zakwaszać przy 4°C do pH 2,5, kwasem spożywczym, na czas nie dłuższy niż 2h. Przyp. tłum. A.B.*). Niskie pH hamuje rozwój szkodliwych zakażeń, podczas gdy drożdże są odporne na kwaśne środowisko. Mimo to trzeba zawsze się liczyć z pewnym ich osłabieniem.



Rys. 4.54. Sito do drożdży

(1) zawieszenie, (2) mimośród, (3) dopływ drożdży, (4) przecedzone drożdże, (5) odpady

W takich przypadkach zawsze lepiej jest wprowadzić nowe drożdże z czystej kultury.

4.4.4.4 Kontrola jakości drożdży

Dobra jakość drożdży nastawnych jest jedną z najważniejszych spraw dla browaru. Zły stan drożdży jest przyczyną wielu trudności technologicznych i sensorycznych wad piwa, spośród których warto wymienić:

- siarkowo-drożdżowy posmak,
- słaba trwałość piany,
- nieprzyjemna, pozostająca goryczka,
- wzrost wartości pH w piwie o 0,1 do 0,2,
- przedłużanie się czasu fermentacji,
- wzrost zawartości dwuacetylu i słaba jego redukcja,
- ułatwiony rozwój infekcji,
- wzrost udziału martwych komórek drożdżowych,
- utrata zdolności kłaczkowania (flokulacji) drożdży,
- słabe osadzanie się drożdży,
- zmniejszona stabilność smaku w gotowym piwie,
- trudności z filtracją piwa.

W związku z powyższym, należy przy każdym nastawieniu fermentacji sprawdzać jakość drożdży, a w szczególności badać je na:

- obecność obcych, zakażających drobnoustrojów,
- udział martwych komórek drożdżowych, których ilość nie powinna przekraczać 3%.

Ponadto należy regularnie kontrolować ubytki ekstraktu pozornego przypadające na jednostkę czasu oraz przebieg dojrzewania piwa. Na podstawie tych wyników można również ocenić żywotność drożdży. Drożdże dolnej fermentacji wykorzystuje się do nastawiania kolejnych warek zazwyczaj 5 do 6 razy, a bywa że po 1-2 razach wprowadza się nową czystą kulturę. Drożdże górnej fermentacji można wykorzystywać do ponownych nastawień znacznie więcej razy, nierzadko 15-krotnie, a są browary, które chlubią się tym, że przez cały rok nie zmieniają drożdży. Jednak przy produkcji piw pszenicznych w tankach cylindryczno-stożkowych trzeba pamiętać o pewnych szczególnych problemach przy zbiorze drożdży (patrz rozdz. 7.3.1.2).

Przy każdym zbiorze gęstwa drożdżowa powinna być badana na obecność bakterii. Zainfekowane drożdże ciągną ze sobą zakażenie z jednego nastawu do drugiego i utrzymywanie czystości naczyń i rurociągów nic w tym wypadku nie pomoże.

Dobre drożdże nastawne powinny odpowiadać następującym wymaganiom:

- muszą być wolne od infekcji szkodliwymi dla piwa drobnoustrojami,
- udział martwych komórek nie może przekraczać 3%,
- drożdże muszą mieć zdolność szybkiego zafermentowania,
- drożdże muszą mieć zdolność dobrego, głębokiego dofermentowania,
- jakość drożdży musi umożliwiać 8 do 10-krotne ich użycie do nastawienia fermentacji bez obniżenia wydajności procesu,
- drożdże zebrane z tanku powinny mieć konsystencję gęstej brei,
- gęstwa drożdżowa musi mieć wygląd czysty, bez innych osadów,
- zapach i smak gęstwy ma odpowiadać gatunkowi piwa z którego została zebrana.

Badanie mikroskopowe na zawartość martwych komórek przeprowadza się barwiąc drożdże roztworem błękitu metylenowego (*100 mg barwnika w litrze wody. Przyp. tłum. A.B.*). Martwe komórki zabarwiają się na niebiesko.

4.4.5 Jakość piwa przy obciągu

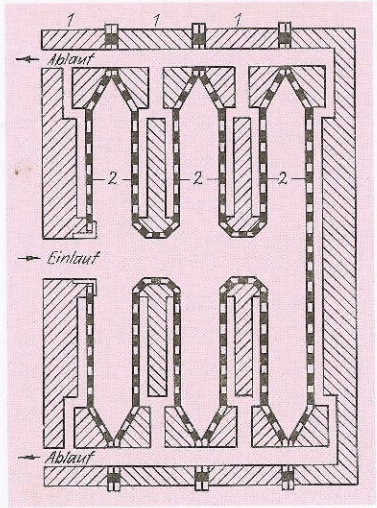
Po ściągnięciu drożdży piwo z tanku kieruje się do działu filtracji. Obciągane piwo powinno być stabilne pod względem koloidalnym. Ponadto stawia mu się następujące wymagania:

- temperatura powinna wynosić 0 do -1°C (po tygodniowym leżakowaniu w temperaturze -1 do -2°C),
- zawartość CO_2 powinna bez dodatkowej karbonizacji osiągać 0,5%,
- wartość pH 4,2 do 4,4, nigdy nie wyżej niż 4,6,
- liczba komórek drożdżowych w zawiesinie ok. 2 mln/ml, nie więcej niż 5 milionów/ml,
- zawartość dwuacetylu nie większa niż 0,10 mg w litrze,
- zawartość tlenu 0 mg/l (niewykrywalna).

4.4.6 Odzyskiwanie piwa z gęstwy drożdżowej z tanków leżakowych

Pod nazwą drożdży odpadowych rozumiemy gęstwę drożdżową z dna tanków leżakowych oraz drożdże nie wykorzystane do nastawienia następnej fermentacji. Gęstwa ta zawiera oczywiście część piwa. Na każdy hektolitr można liczyć, że przypada 3 litry osadów drożdżowych z zawartym w nich piwem, albo inaczej, że drożdże odpadowe zawierają 1,5 do 2% wyprodukowanego piwa.

Z ogólnej ilości piwa w tanku około 1% można odzyskać dodatkowo z gęstwy drożdżowej (54). Istnieje kilka sposobów przeprowadzenia tej operacji.



Rys. 4.54a. Komorowa prasa filtracyjna (zasada działania)
(1) płyty komorowe z kanalikami odpływowymi
(2) płótna filtracyjne

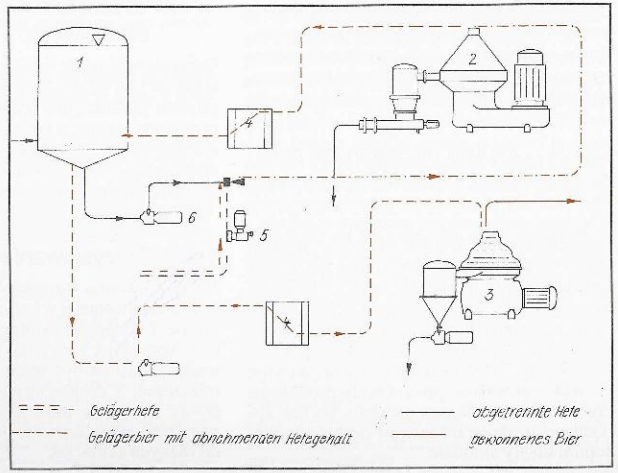
4.4.6.1 Prasowanie drożdży

Drożdże odsącza się w komorowej prasie filtracyjnej przez płótna (rys. 4.54a). Dzięki zastosowaniu ciśnień 4 do 6, a w końcu 15 do 18 bar, gęstwa drożdżowa zostaje wyciśnięta jak drożdże prasowane i po rozkręceniu filtra można ją wyjąć i korzystnie sprzedać.

W odzyskanym przez prasowanie piwie mogą występować pewne niekorzystne zmiany, jak podwyższone pH, zwiększone ilości białek i kwasów nukleinowych, zwłaszcza gdy drożdże przed prasowaniem były przez dłuższy czas przechowywane w cieple (5). Dlatego odebrane z tanku drożdże należy niezwłocznie odprasować, a gdy jest to utrudnione i trzeba je przechować, to odzyskane z nich piwo, ze względu na wspomniane wady, po przefiltrowaniu i krótkiej pasteryzacji, dodać do nastawu następnej fermentacji, podczas której drożdże wykorzystają jako pożywkę zagrażające jakości piwa składniki. Dzięki temu unika się pogorszenia jakości produktu (patrz rozdz. 4.4.6.4).

4.4.6.2 Odwirowywanie drożdży

Bardzo dobrą metodą oddzielenia piwa od gęstwy drożdżowej jest wirowanie (rys. 4.55). Do tanku recyrkulacyjnego (1) wprowadza się pew-



Rys. 4.55
Oddzielanie drożdży na wirówkach
(1) tank recyrkulacyjny
(2) wirówka wstępnego klarowania
(3) wysokosprawna wirówka klarująca
(4) płytowy wymiennik ciepła (chłodzenie)
(5) pompa dozująca drożdże
(6) pompa

ną ilość odgazowanej wody, która następnie przez pompę (6) kierowana jest do pompy dozującej gęstwę drożdżową (5), w wyniku czego drożdże ze zbiornika gęstwy zostają dobrze wymieszane z wodą. Wirówka wstępnego klarowania (2) oddziela natychmiast główną masę drożdży, a rozcieńczone wodą piwo drożdżowe kierowane jest z powrotem do tanku recyrkulacyjnego. Ten proces powtarza się przy ciągłym rozcieńczaniu piwa i oddzielaniu drożdży. Następnie obieg przestawia się na wysokowydajną wirówkę klarującą (3), gdzie piwo zostaje całkowicie pozbawione drożdży.

4.4.6.3 Oddzielanie drożdży na filtrze membranowym

Filtry membranowe (patrz rozdziały 4.5.1.2 i 4.5.2.6) są to filtry, w których strumień cieczy nie jest skierowany prostopadle do warstwy filtrującej, lecz przepływa obok porowatej membrany, przez którą może przenikać tylko rozcieńczone piwo, podczas gdy strumień niosący zawiesinę drożdży płynie dalej. Warstwę filtracyjną może tu stanowić porowata masa ceramiczna (patrz rozdz. 4.5.2.8).

Ten proces nazywa się filtracją z przepływem krzyżowym (cross-flow). Nie wymaga ona żadnych pomocy filtracyjnych i zyskuje coraz szersze zastosowanie do odzyskiwania piwa z drożdży. Przy zastosowaniu urządzeń o prawidłowo zaprojektowanych wymiarach można osiągnąć spore finansowe korzyści bez pogorszenia jakości piwa (56, 57).

4.4.6.4 Obróbka odzyskanego piwa

Piwo odzyskane z drożdży musi być poddane odpowiedniej obróbce. W przeciwnym razie może stworzyć poważne problemy smakowe i mikrobiologiczne. Wartość pH w odzyskanym z drożdży piwie często przekracza 5,0, co już prowadzi do wytrącania się białek, ciał goryczkowych i kwasów tłuszczowych. Kwasy tłuszczowe o średniej długości łańcucha są produktami autolizy drożdży, które już występując w bardzo małych ilościach wpływają negatywnie na smak i pienistość piwa. Osady drożdżowe trzeba traktować bardzo nieufnie, bo bez dokładnego zbadania trudno jest ocenić w jakim stopniu uległy autolizie.

Wzrost wartości pH powyżej 4,5 stwarza możliwość rozwoju mikroflory szkodliwej dla jakości piwa, jak np. Megasphaera (patrz rozdz. 7.4.2) (158).

Ze zwiększającym się udziałem martwych komórek drożdżowych wzrasta skłonność do blokowania filtracji. Przy 15-20% martwych komórek, co w piwie odzyskanym z gęstwy drożdżowej jest często spotykane, można się liczyć z trudnościami podczas filtracji.

Aby uniknąć pogorszenia smaku, do piwa odzyskanego z drożdży dodaje się na każdy hektolitr:

50 g węgla aktywnego i
50 g żelu krzemionkowego.

Piwo to następnie filtruje się przez ziemie okrzemkową i poddaje błyskawicznej pasteryzacji w płytowym wymienniku ciepła. Wyjałowione piwo może być następnie dodane w ilości do 5%, do tanku fermentacyjnego, na początku fermentacji głównej. Rozmnażające się drożdże wykorzystają jako pożywkę rozpuszczone w piwie produkty autolizy, dzięki czemu żadne pogorszenie jakości przez dodanie odzyskanego piwa nie nastąpi.

4.4.7 Mycie tanków cylindryczno-stożkowych

Odpowiednie mycie tanków cylindryczno-stożkowych jest sprawą bardzo istotną. Z całego procesu produkcyjnego najdłuższy jest okres przebywania piwa w tankach i tu właśnie mogą rozwinąć się najgroźniejsze dla jakości infekcje. Istnieje szereg sposobów mycia tanków, które zostaną omówione w rozdziałach 6.3 i 6.4.

4.4.8 Pozyskiwanie CO_2

Jak powiedziano w rozdziale 4.3.1.2, przy tradycyjnej fermentacji w kadziach otwartych ulatnia się z każdego hektolitra piwa około 4 kg CO_2, sprawiając nam tylko kłopot, bo jako gaz trujący, musi on być sprawnie usuwany z pomieszczeń. Z drugiej strony browar musi kupować za ciężkie pieniądze dwutlenek węgla w butlach, gdyż jest on w produkcji potrzebny do różnych celów jak:

Rodzaj zapotrzebowania:	Ilość kg CO_2/hl:
Wstępne napełnianie i opróżnianie tanków leżakowych	0,35-0,50
Wstępne napełnianie i opróżnianie filtra komorowego	0,40-0,50
Tank ciśnieniowy	0,30-0,50
Monoblok rozlewu butelkowego bez wstępnej próżni	0,18-0,22
Monoblok rozlewu butelkowego ze wstępną próżnią	0,35-0,40
Rozlew do kegów ze wstępnym napełnianiem ich gazem	0,90-1,10
Rozlew piwa do puszek	0,60-0,80
Dosycanie piwa dwutlenkiem	0,10-0,20
Pełna karbonizacja piwa	0,50-0,70
Cysterny do przewozu piwa	0,30-0,50
Wyszynk piwa z beczek i kegów	0,20-0,50
Produkcja lemoniad	0,60-0,70

Jak widać zapotrzebowanie browaru na CO_2 jest ogromne, ale trzeba tu dodać, że niektóre z wyżej podanych liczb są zmienne, względnie wykluczają się wzajemnie. Pod nazwą karbonizacji (rozdz. 4.7) rozumiemy dodawanie CO_2 do piwa, aby osiągnąć pożądaną jego zawartość w produkcie.

Ogólnie można liczyć, że na każdy hektolitr piwa browar potrzebuje ok. 1,8 do 2,0 kg CO_2.

Przy fermentacji i dojrzewaniu piwa w tankach cylindryczno-stożkowych otrzymuje się CO_2 pod pewnym ciśnieniem, dzięki czemu można go łatwo odprowadzić i zebrać. Nie można oczywiście liczyć na to, że cały CO_2 uda się bez żadnych strat pozyskać, ale w praktyce na każdy hektolitr piwa można zebrać 2 kg CO_2, co wystarcza na pokrycie własnych potrzeb browaru.

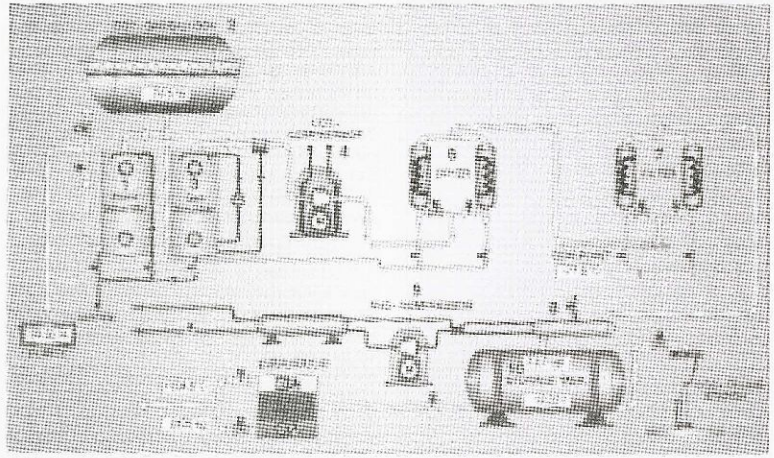
Wiele browarów wyposażonych w tanki cylindryczno-stożkowe przeszło więc na własne zaopatrzenie w CO_2, instalując odpowiednie urządzenia. Urządzenie do pozyskiwania CO_2 (rys. 4.56) składa się z zainstalowanego na wstępie wychwytywacza piany (1), w którym zatrzymywane są porwane strumieniem gazu cząstki piany, podczas gdy sam gaz gromadzi się w wielkim, elastycznym zbiorniku (2), czyli balonie. W poniedziałek rano jest on oczywiście najbardziej wypełniony i w ciągu tygodnia częściowo się opróżnia. Balon ten stanowi zbiornik buforowy, niwelujący wahania w ilościach wytwarzanego i pobieranego dwutlenku węgla. Płuczka (3) zatrzymuje zanieczyszczenia rozpuszczalne w wodzie. Kompresor (4) zasysa CO_2 i spręża go dwustopniowo do ciśnienia 18-22 bar, przy którym następuje skroplenie. *(Po odpowiednim ochłodzeniu. Przyp. tł. AB).*)

Gaz przy sprężaniu ogrzewa się mocno i musi być schładzany w oziębialnikach (5). Następnie w kolumnach osuszających (6), pracujących na przemian, usuwa się z CO_2 zawartą w nim jeszcze wilgoć. Jako środki osuszające stosuje się najczęściej żele krzemionkowe i tlenek glinu. Następnie w filtrach z węglem aktywnym (7), również pracujących na przemian, usuwane są niepożądane składniki zapachowe. W skraplaczu dwutlenku węgla (8), przy niskich temperaturach, następuje skroplenie CO_2. Odpowiednią temperaturę zapewnia układ chłodniczy (9). Ciekły CO_2 jest następnie gromadzony w zbiorniku (10), skąd może być pobierany do wykorzystania dla potrzeb browaru.

4.4.9 Unieruchomione drożdże

Od dawna myślano już o tym, aby unieruchomić komórki drożdżowe na nośniku, tak aby przetwarzały przepływający przez ich warstwę strumień substratu. Zastosowanie unieruchomionych drożdży w piwowarstwie jest alternatywą bardzo interesującą. Fermentacja zachodzi w bardzo krótkim czasie, a jedne i te same drożdże mogą długo pracować. Dzięki niewielkim wymiarom fermentora nakłady na aparaturę są też stosunkowo małe.

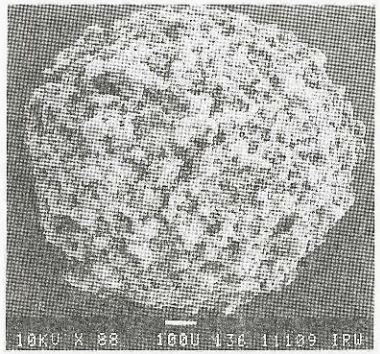
Podstawową sprawą jest unieruchomienie drożdży na porowatym materiale, czyli nośniku. Jako nośnik znalazło zastosowanie szkło porowate „Siran" firmy Schott. Do jego produkcji stosuje się mączkę szklaną z dodatkiem soli. Po jej prażeniu otrzymuje się kulki o średnicy 1-2 mm (*wg materiałów Alfa Laval 2 do 3 mm. Przyp. tłum. A.B.*), z których następnie wymywa się sól, aby otrzymać porowaty materiał, o porach bardzo różnego kształtu i wielkości, których średnica waha się między 60 a 300 µm (rys. 4.57).



Rys. 4.56. Urządzenia do pozyskiwania CO_2 w browarze

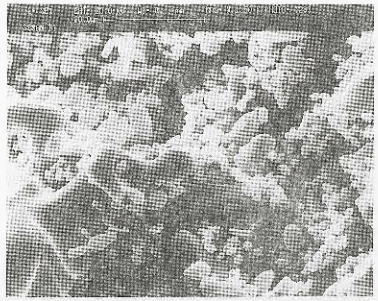
(1) odpieniacz, (2) balon zbiorczy do gazu, (3) płuczka gazu, (4) kompresor, (5) oziębialnik, (6) osuszacze, (7) filtry z węglem aktywnym, (8) układ skraplania, (9) sprężarka amoniakalna, (10) zbiornik ciekłego CO_2

Oglądane w powiększeniu pory mają strukturę bardzo rozgałęzioną i stwarzają mnóstwo możliwości dla osiedlenia się w nich komórek drożdżowych, ale nie każdy szczep drożdży do tego się nadaje. Odpowiadające temu celowi szczepy drożdży muszą mieć zdolność wydzielania substancji przyklejających komórki do nośnika. Kiedy jednak komórki drożdżowe osiedlą się na nośniku (rys. 4.58), to mogą bardzo długo pracować bez wymieniania ich na nowe. Powstaje pewna równowaga między ilością komórek wymywanych ze złoża przez przepływający substrat a przyrostem liczby komórek unieruchomionych na nośniku.



Rys. 4.57. Ziarno porowatego szkła Siran

(zdjęcie Schott/Mainz)



Rys. 4.58. Komórki drożdży unieruchomione w szkle Siran

W razie potrzeby można zawsze wymyć drożdże z nośnika odpowiednimi chemikaliami i po zobojętnieniu zasiedlić go nową kulturą drożdży. Drożdże unieruchomione znajdą dziś zastosowanie przede wszystkim do produkcji piwa bezalkoholowego (patrz rozdz. 4.9.3.3.1.3).

Reaktory ze złożem drożdży unieruchomionych mogą być również instalowane w celu przeprowadzenia fermentacji normalnego piwa lub też dla dofermentowania i redukcji dwuacetylu.

Dzięki opisywanej metodzie można drogą przemiany termicznej skrócić do 10 minut proces przechodzenia alfa-acetomleczanu w dwuacetyl, co normalnie, w warunkach klasycznej fermentacji i dojrzewania piwa jest przemianą bardzo powolną (patrz rozdz. 4.1.3.1). Proces ten zachodzi bez udziału drożdży i następnie dwuacetyl przetwarzany jest szybko w butandiol i acetoinę, których próg wyczuwalności smakowej leży w porównaniu z dwuacetylem bardzo wysoko. Przy zastosowaniu tej metody dojrzewania (rys. 4.58a, Alfa Laval Brewery Systems), piwo młode po fermentacji głównej pozbawiane jest zawiesiny drożdży przez wirówkę (1), a następnie w wymienniku ciepła (2) ogrzewane jest do temperatury 80°C, utrzymywanej za pomocą pętli (3) w ciągu 10 minut. W drugiej strefie płytowego wymiennika ciepła (4) następuje schłodzenie piwa z powrotem do temperatury 15°C. Piwo o tej temperaturze trafia do reaktora ze złożem drożdży unieruchomionych (5), przez które powoli przepływa od dołu ku górze, a drożdże zasiedlające pory w kulkach ze szkła Siran, redukują dwuacetyl do niewyczuwalnego smakowo poziomu. Dojrzałe piwo gromadzone jest w tankach pośredniczących i traktowane dalej w zwykły sposób.

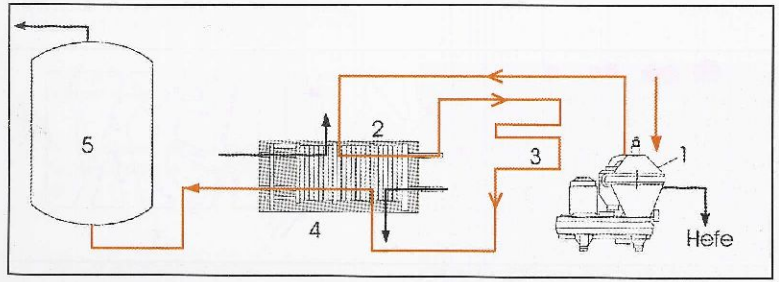
4.5 Filtracja piwa

Filtracja jest operacją mającą na celu oddzielenie od siebie dwóch faz znajdujących się w mieszaninie, przez zatrzymanie jednej z nich, zawiesiny cząstek ciała stałego, na porowatej przegrodzie filtracyjnej. Za pomocą filtracji usuwa się z piwa komórki drożdży i inne zawiesiny, aby uzyskać klarowny produkt.
Przy tym zabiegu można usunąć również takie substancje, które przy dłuższym przechowaniu piwa mogą spowodować powstanie zmętnienia w butelkach.

Celem filtracji jest, aby uczynić piwo tak trwałym, żeby przez długi czas nie występowały żadne widoczne zmiany, a piwo zachowało swój wygląd.

4.5.1 Możliwości filtracji

Filtracja ma miejsce, gdy **mętna ciecz** przy pomocy środka filtracyjnego zostaje rozdzielona na **przezroczysty filtrat** i pozostający **osad filtracyjny**. **Siłą napędową przy tym jest zawsze różnica ciśnień pomiędzy wlotem i wylotem filtra.**



Rys. 4.58a. Skrócony proces dojrzewania piwa w systemie drożdży unieruchomionych

(1) wirówka, (2) płytowy wymiennik ciepła, strefa ogrzewania, (3) pętla wytrzymywania w wysokiej temperaturze, (4) płytowy wymiennik ciepła, strefa chłodzenia, (5) reaktor ze złożem drożdży unieruchomionych

Ciśnienie po stronie wlotu jest zawsze większe niż ciśnienie po stronie wylotu. Im większa jest różnica ciśnień, tym większy jest opór filtra. Opór ten wzrasta szczególnie silnie pod koniec filtracji.

4.5.1.1 Mechanizmy oddzielania

Rozróżnia się następujące mechanizmy oddzielania (rys. 4.59):

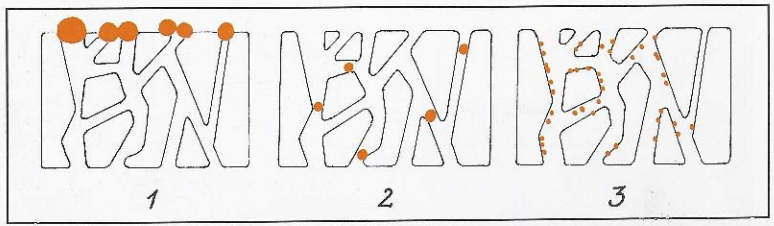
- **Sitowa lub powierzchniowa filtracja (1);** cząsteczki nie mogą przecisnąć się przez pory przegrody filtracyjnej i zostają zatrzymane w warstwie stającej się coraz grubszą. Filtracja jest coraz lepsza, lecz jej przepływ staje się coraz mniejszy. Do takiego typu operacji należy także filtracja krzyżowa (cross-flow-filtration), o której jest mowa poniżej.
- **Filtracja wgłębna;** w coraz większym stopniu są wykorzystywane mechanizmy oddzielania, które powstają w wysokoporowatych materiałach i które poprzez bardzo dużą powierzchnię oraz labiryntową budowę zmuszają ciecz do dużych okrążeń. Przy tym
  - poprzez **efekt sita mechanicznego** cząstki ze względu na ich wielkość zostają zatrzymane, powoli zatykają pory (2) i zmniejszają przez to przepływ filtra, lub
  - dzięki adsorpcji na swej powierzchni pory zatrzymują drobne cząstki (3); adsorpcja ta odbywa się na podstawie różnych ładunków elektrycznych.

Działanie sitowe i adsorpcyjne zwykle występuje łącznie.

4.5.1.2 Środki filtracyjne

Jako środki filtracyjne wchodzą w rachubę:

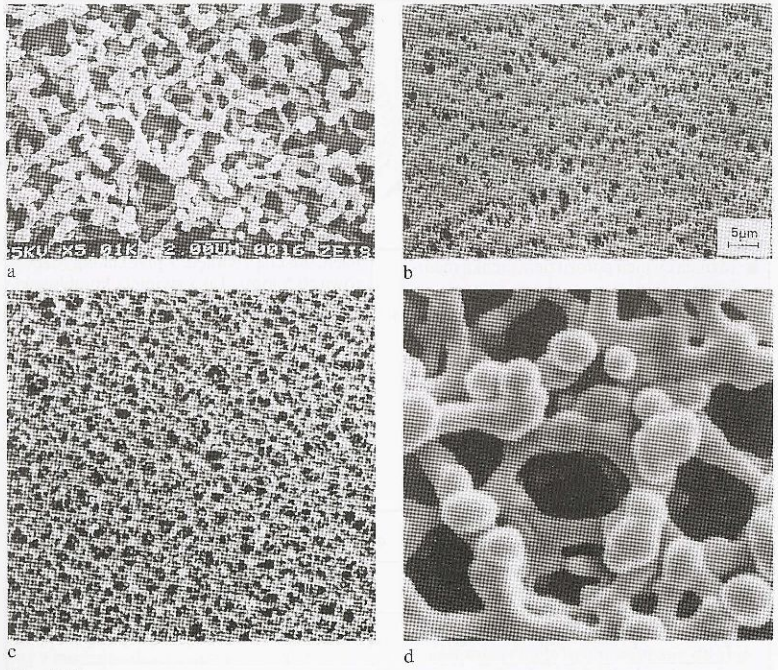
- Wszelkiego rodzaju **sita,** np. sita metalowe, sita szczelinowe lub równoległe uporządkowanie profilowanych drutów w filtrach świecowych.
- **Tkanina metalowa lub tekstylna;** przy czym tkaniny metalowe dają się lepiej czyścić i dezynfekować, ale nowoczesne tkaniny tekstylne, np. na bazie polipropylenu, są w wielu pozycjach prawie równowartościowe (patrz filtr zacierowy), jednak w technice filtracji piwa nie używa się ich, ponieważ nie można ich dobrze sterylizować.
- **Warstwy filtracyjne** z celulozy, bawełny, ziemi okrzemkowej, perlitów, włókna szklanego i innego materiału (azbest oczywiście nie może być więcej stosowany z powodu zagrażania zdrowiu). Warstwy filtracyjne tj. kartony są obecnie oferowane i stosowane w bardzo dużym wyborze z różną ostrością filtracji aż do sterylizacji włącznie.
- **Luźne nasypy,** np. filtr żwirowy do filtracji wody, warstwy namulane pomocniczych środków filtracyjnych.
- **Porowate masy,** jak spieki metali lub szkła, jakie są w użyciu do rozpylania powietrza, w cieczy i we wzrastającym stopniu.
- **Membrany:** wytwarzane z poliuretanów, poliamidów, polietylenu, polikarbonu, octanu celulozy i innych materiałów. Membrany są bardzo cienkie (0,02 do 1 µm) i dlatego są nanoszone na podstawy o dużych porach, gdyż w przeciwnym razie zostałyby porozrywane.



Rys. 4.59

Mechanizmy filtracji

(1) filtracja powierzchniowa, (2) filtracja wgłębna (cząstki zawiesiny zatrzymywane są mechanicznie), (3) filtracja wgłębna połączona z adsorpcją cząstek



Rys. 4.60

(a) membrana z udziałem estrów celulozy (pow. ok. 1000x), (b) membrana z difluorku poliwinylu (pow. ok. 1000x), (c) membrana polisulflonowa (pow. ok. 1000x), (d) membrana polisulflonowa (pow. ok. 10.000x)

(Zdjęcia a+b Schenk GmbH, c+d Seitz-Filter-Werke)

Wytwarzanie odbywa się poprzez nasączanie, natryskiwanie lub namulanie.

Pory są wytwarzane przez

- wtopienie i następnie ponowne rozpuszczenie soli tworzących pory lub
- wytrawianie.

Odpowiednio do różnych wytwarzanych materiałów obecnie jest możliwe produkowanie membran z każdą dowolną wielkością porów (rys. 4.60) i odpowiednio do tego można oddzielić na takim filtrze substancje o cząsteczkach dowolnej wielkości [115].
Ponieważ filtry te posiadają bardzo małe pory, nazywa się je

- **mikrofiltrami, kiedy chodzi o zakresy w µm (10^{-1} do 10^{2}) i**
- **ultra- lub nanofiltrami, kiedy chodzi o zakresy w nm (10^{-3} do 10^{-1} µm).**

Rys. 4.61 wyjaśnia zakresy wielkości cząstek i porów, z którymi mamy tu do czynienia. Należy przestrzegać przy tym, że każda część odcinka na lewo jest dziesięć razy mniejsza jak poprzednia. Tak więc w tych membranach mamy do czynienia z nadzwyczaj drobnymi porami.

Naturalnie nie można, jak w statycznej filtracji, prowadzić piwa w poprzek przez te cienkie warstwy, gdyż

- membrana natychmiast się zapcha i
- różnica ciśnień porozdziera cienką membranę.

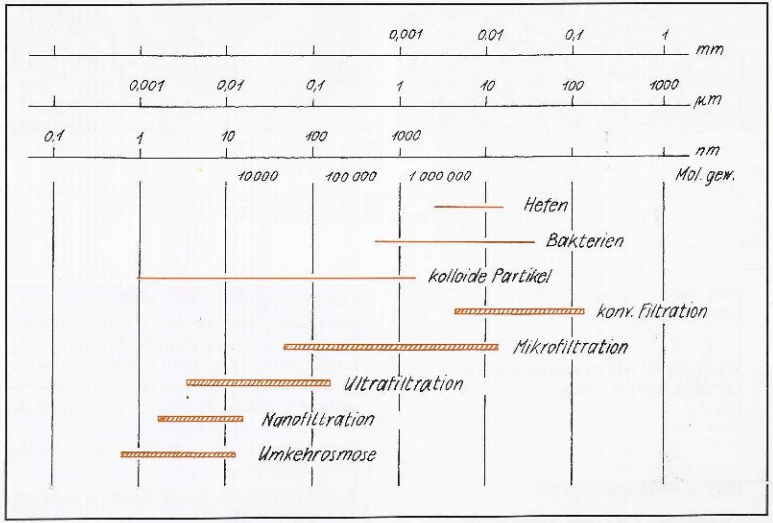
Dlatego piwo prowadzi się stycznie do membrany i ciągle ją spłukuje, tak że może się wytworzyć tylko bardzo ograniczona warstwa; drobnoustroje i zanieczyszczenia pozostają jako

- **retentat** lub **mętna ciecz,** podczas gdy
- **permeat** lub **filtrat** przepływa **przez pory** membrany.

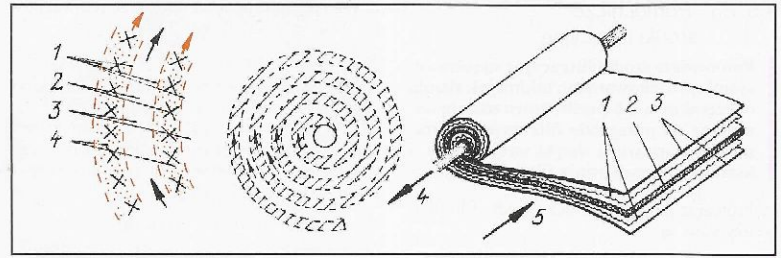
Ten rodzaj filtracji nosi nazwę: filtracja krzyżowa (cross-flow-filtration)

Ponieważ tylko część cieczy przechodzi przez pory membrany, a większość przepływa wzdłuż membrany, potrzebna jest duża jej powierzchnia. Membrany przeważnie się zwija, aby nie trzeba było pracować z tak dużymi rozpostartymi powierzchniami filtra. Przy czym dwie membrany połączone porowatym materiałem wsporczym o grubości ok. 0,7 mm i sklejone na trzech stronach, zostają zwinięte z przekładką rozporową (0,5 mm). Taką zwiniętą kombinację z membran, materiału wsporczego i przekładki określa się jako moduł zwijany (rys. 4.62).

Dla podwyższenia przepustowości urządzenia należy włączyć wiele takich modułów równolegle. Dlatego urządzenie do mikrofiltracji (rys. 4.63) zawsze składa się z szeregu takich modułów, po tym się je też rozpoznaje.



Rys. 4.61
Zakresy wielkości cząstek zawiesiny i porów filtra

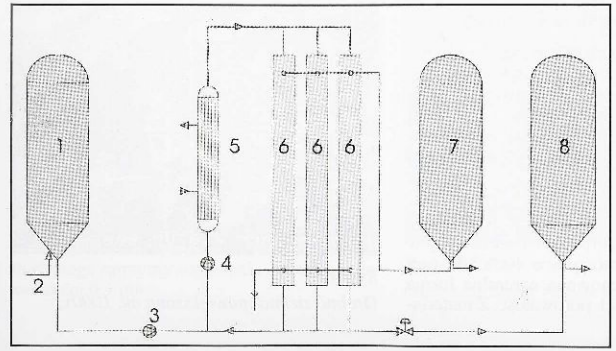


Rys. 4.62
Moduł zwijany (zasada)
(1) membrana, (2) porowaty podkład, (3) przekładka utrzymująca odstępy, (4) odpływ filtratu, (5) dopływ mętnej cieczy

Szczególnym rodzajem membran są **puste włókna** ze ścianami grubości 10 do 25 µm przy średnicy 50 do 200 µm i długości 2 do 3 m. Puste włókna można używać tylko przy absolutnie czystych cieczach, ponieważ łatwo się zatykają. Puste włókna zobaczymy ponownie przy produkcji piwa bezalkoholowego metodą dializy. Moduły pustych włókien, które można uporządkować w prostej postaci lub w formie U, umożliwiają zmieszczenie 20 000 m^2 powierzchni membranowej/m^3 pomieszczenia.

Zamiast membran używa się obecnie do mikrofiltracji najczęściej **materiał ceramiczny** z bardzo małymi kanalikami. W elementach wielokanalikowych każdy kanalik jest otoczony bardzo drobnym porowatym materiałem ceramicznym, od drobnej budowy którego oczywiście zależy ostrość filtracji. Przez równoległe łączenie wielu elementów i modułów można także osiągać duże wydajności (patrz również rozdz. 4.5.2.8).

Należy jeszcze wyjaśnić, że w „cross-flow-filtration" zostaje przefiltrowana przez membranę zawsze tylko mała część filtratu i aby uzyskać dobre wyniki filtracji, wzbogacany substancjami zmętnienia retentat musi ciągle być zawracany do obiegu (patrz rozdz. 4.5.2.6).



Rys. 4.63
Urządzenie do filtracji krzyżowej („cross-flow")
(1) tank buforowy, (2) dopływ piwa, (3) pompa, (4) pompa ciśnieniowa, cyrkulacyjna, (5) chłodnica, (6) elementy filtrujące, (7) tank piwa przefiltrowanego, (8) tank buforowy (pośredniczący) do piwa mętnego

4.5.1.3 Pomocnicze środki filtracyjne

Pomocnicze środki filtracyjne są substancjami sproszkowanymi, takimi jak ziemia okrzemkowa lub perlit, które zostają namulone na przegrodę filtracyjną (tkanina lub warstwa) i dzięki swej formie, i kształtowi umożliwiają filtrację.

W browarze jako pomocnicze środki filtracyjne używane są

- ziemia okrzemkowa do filtracji piwa i
- perlit do filtracji brzeczki.

4.5.1.3.1 Ziemia okrzemkowa

Ziemia okrzemkowa to krzemionkowe pancerze jednokomórkowych glonów, okrzemek (Diatomeae), których występuje ponad 10 000 gatunków. Przed milionami lat musiały one występować w takich ilościach, że ich skorupki z czasem pokryły dno morza bardzo grubą warstwą.

W następstwie ruchów skorupy ziemskiej powstały złoża ziemi okrzemkowej wielosetmetrowej grubości, jak w Lompoc, Kalifornia/USA. W wielu złożach eksploatacja jest jednak nieopłacalna ze względów ekonomicznych. Eksploatacja ma miejsce obecnie w wymienionym Lompoc, Kalifornia oraz w:

Jalisko, Meksyk
Myvatn, Islandia
Murat, Francja
Alicante, Hiszpania
Arica, Chile oraz dwa złoża w Chinach.

Eksploatacja odbywa się w kopalniach odkrywkowych przy pomocy wydajnych koparek i olbrzymich samochodów ciężarowych, które wydobyty materiał po jakościowej segregacji transportują z tych naturalnych silosów. Przygotowanie ziemi odbywa się w trzech różnych wariantach [160]:

Wysuszona ziemia

Surowiec zostaje rozkruszony i wysuszony w rurowym piecu obrotowym w 400°C. W tym stadium zostaje zachowana naturalna forma okrzemek glonów i ich porowatość. Z materiału tego produkuje się ziemię okrzemkową, która filtruje najostrzej (rys. 4.65).

Kalcynowana ziemia

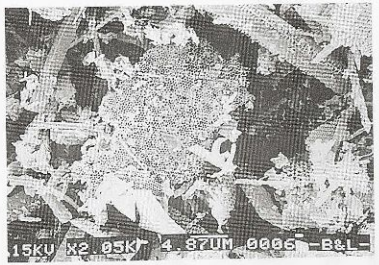
Aby móc uzyskać szybciej filtrującą ziemię, po wysuszeniu podgrzewa się ją do 800°C. Cząsteczki ziemi stapiają się powierzchniami razem i powstają większe cząstki. Zostaje przy tym zachowana ich wewnętrzna porowata struktura i aktywność filtracyjna.

Ziemia kalcynowana z topnikiem

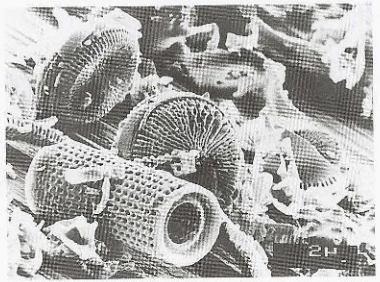
Dla wyprodukowania jeszcze szybciej filtrujących ziem dodawany jest do surowej ziemi okrzemkowej w rurowym piecu obrotowym jako topnik chlorek sodu lub węglan sodu. Zostaje w ten sposób obniżony punkt topnienia dwutlenku krzemu (wchodzącego w skład okrzemek) i ziemię wyżarza się w 800-900°C. Tworzą się przy tym przez spiekanie jeszcze większe konglomeraty. Towarzyszące substancje nieorganiczne, takie jak tlenki żelaza i aluminium, zostają zamienione w trudno rozpuszczalną mieszaninę krzemianów, które grubym ziemiom okrzemkowym kalcynowanym topnikiem nadają prawie biały wygląd. Te grube ziemie są brane w pierwszym rzędzie do nakładania warstwy podstawowej (rys. 4.66).

Szybkość filtracji zależy od stopnia rozdrobnienia ziemi.

Im ziemia jest drobniejsza, tym lepiej klaruje, ale tym mniejsza jest również szybkość filtracji. Natomiast grube ziemie filtrują szybciej, ale nie tak dokładnie.



Rys. 4.65
Drobna ziemia (powiększona ok. 1000x)



Rys. 4.66
Gruba ziemia (powiększona ok. 1000 x)
(REM-Aufn. Schenk-Filterbau GmbH, Waldstetten)

Przepływ i współczynnik klarowności są odwrotnie proporcjonalne do siebie, co pokazuje następujące badanie:

Rodzaj ziemi okrzemkowej	Względna ilość przepływu	Względny współczynnik klarowności	dla filtracji piwa
Filter-Cel	100	100	drobna ziemia
Celite 577 i 505	115	98	
Standard Super-Cel	213	85	
Celite 512	326	76	średnia ziemia
Hyflo Super-Cel	534	58	
Celite 503	910	42	
Celite 535	1 269	35	
Celite 545	1 830	32	
Celite 560	2 670	29	gruba ziemia

Duża porowatość jest najważniejszą właściwością ziemi okrzemkowej. Wskutek tej porowatości i szczególnego ukształtowania skorupek okrzemkowych utworzony placek filtracyjny przedstawia warstwę o bardzo drobnych porach, które mogą zatrzymywać cząstki zmętnienia do wielkości 0,1 µm.

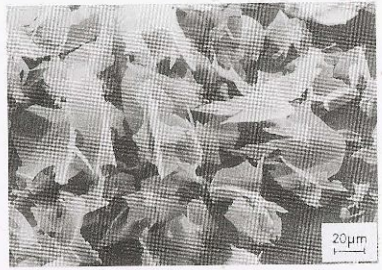
Powierzchnia zbiorowa okrzemek może wynosić do 20 m^2/g. Tym samym leży znacznie poniżej zdolności adsorpcyjnej żeli krzemionkowych (400-700 m^2/g). Dlatego też zdolność adsorpcyjna ziemi okrzemkowej jest bardzo mała. Ważne jednak jest, żeby ziemia była wolna od różnego rodzaju domieszek.

Ważną cechą ziemi okrzemkowej jest jej **mokra gęstość**. Rozumie się przez to objętość, jaką ziemia przyjmuje pod ciśnieniem. Mokrą gęstość podaje się w g/l. Najlepiej nadają się do filtracji ziemie okrzemkowe z mokrą gęstością poniżej 300 g/l. Przy wyższej gęstości należy się liczyć przy takim samym klarowaniu i przepływie z wyższym zużyciem ziemi i wyższym przyrostem ciśnienia.

Zużycie ziemi okrzemkowej może się wahać pomiędzy 80 a 200 g/hl, normalnie wynosi ok. 150 do 180 g/hl. Ziemia okrzemkowa jest nie tylko bardzo drogim środkiem pomocniczym; dochodzą również koszty zagospodarowania szlamu zużytej ziemi okrzemkowej.

4.5.1.3.2 Perlity

Perlity są materiałem wulkanicznego pochodzenia, zbudowane przeważnie z krzemianu aluminium. Surowy perlit jest podgrzewany do 800°C. Zamknięta w nim woda rozszerza się przy tym i prowadzi do jego rozdęcia i spękania. Powstała szklista struktura zostaje zmielona (rys. 4.67).



Rys. 4.67. Perlity (ok. 1000 x powiększone)
(REM-Aufn. Schenk Filterbau GmbH, Wadstetten)

Powstaje zupełnie lekki i luźny proszek, który waży o 20 do 40% mniej niż ziemia okrzemkowa. Perlit w niskim pH wydziela wapń i żelazo; z tego powodu jest stosowany tylko do filtracji brzeczki, ponieważ pH wynosi tam 5,4 do 5,5.

Szybkość filtracji zależy także od gatunku perlitu.

4.5.2 Rodzaje filtrów

Do celów filtracji w browarze używa się następujących filtrów:

- filtry namułowe:
  - kartonowe,
  - świecowe,
  - tarczowe,
  - płytowe;
- filtry kartonowe;
- filtry komorowe (np. filtr do zacieru);
- filtry talerzowe (np. filtr na masę) i
- filtry membranowe.

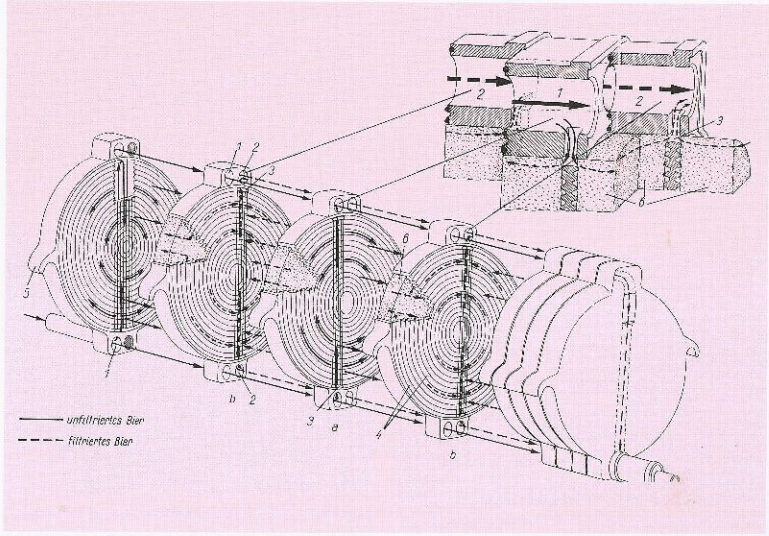
Do filtracji piwa są obecnie stosowane prawie wyłącznie filtry namułowe, kartonowe i membranowe; filtr na masę, który na wiele dziesięcioleci opanował filtrację piwa, obecnie już prawie wyszedł z użycia.

Taki rodzaj filtra, w którym filtracja przebiega w poprzek środka filtracyjnego, nazywany jest ***filtrem statycznym*** lub ***„dead-end-filter"***.

4.5.2.1 Filtr na masę

Filtr na masę to zabytek muzealny. Pomimo to należy tu krótko o nim wspomnieć, bo przez wiele dziesięcioleci panował w filtracji piwa.

W filtrze tym piwo przepływa przez warstwę masy grubości ok. 6 cm (placek masy filtracyjnej) i przy tym zostaje pozbawione zawiesin (rys. 4.68).



Rys. 4.68. Przepływ piwa przez filtr na masę
a) płyta filtra I, b) płyta filtra II, (1) kanał piwa niefiltrowanego, (2) kanał piwa filtrowanego, (3) otwór rozdzielczy, (4) rynna rozdzielcza, (5) zawieszenie, (6) masa filtracyjna

Masa filtracyjna składa się z bawełny, do której dodawano 1% azbestu, aby osiągnąć ostrzejszą filtrację. Jednak już przed zakazem stosowania azbestu filtr na masę zniknął z browaru, ze względu na bardzo wysokie koszty eksploatacji:

- po każdej filtracji trzeba filtr rozpakować,
- placki masy rozdzielić, wyprać i wysterylizować, masa filtracyjna musi być sprasowana ponownie w placki,
- filtr należy ponownie zapakować.

Do tego dochodzi cały szereg prac, które w sumie już w średnim browarze wymagają dodatkowej siły roboczej.

Jako wady filtra na masę należy wymienić:

- wysoki nakład pracy ludzkiej przy regeneracji masy,
- wysokie zapotrzebowanie energii do prania masy,
- wysokie zapotrzebowanie wody do prania masy,
- mała powierzchnia filtracyjna i wydajność filtra.

4.5.2.2 Filtry namułowe

Filtry namułowe są filtrami, w których filtracja przebiega przy pomocy pomocniczego środka filtracyjnego – przeważnie ziemi okrzemkowej lub perlitu – które są namulane na przegrodę filtracyjną.

Namulanie jest potrzebne, gdyż cząsteczki pomocniczego środka filtracyjnego są tak drobne, że nie mogą być zatrzymane przez samą przegrodę filtracyjną. Dlatego należy rozróżniać:

- namulanie podstawowej warstwy filtracyjnej i
- bieżącą filtrację.

4.5.2.2.1 Namulanie

4.5.2.2.1.1 Zasada procesu namulania

Przegrodę przy filtracji przez ziemię okrzemkową tworzy gęsta tkanina filtracyjna z drutu z oczkami wielkości 70 do 100 µm lub inne drobnoszczelinowe przegrody filtracyjne, które jednak wszystkie mają dużo większe otwory niż małe okrzemki o wielkości cząstek 2 do 4 µm. Gdyby jedynie dozowało się ziemię okrzemkową drobnych frakcji (*bez nałożenia uprzednio warstwy podstawowej – przyp. tł.*), to mogłaby ona bez przeszkody przechodzić przez siatkę i piwo byłoby jeszcze mętniejsze niż przed tym.

4.5.2.2.1.2 Nakładanie warstwy podstawowej i bieżące dozowanie

Dla osiągnięcia efektów filtracji bez zarzutu nakłada się placek filtracyjny z trzech namulonych warstw:

- **Pierwsza warstwa podstawowa** lub **wstępna warstwa namułowa;** przez filtr podaje się odgazowaną wodę lub filtrowane piwo w obiegu ze stężoną zawiesiną grubej ziemi pod ciśnieniem 2 do 3 bar. Tworzy się w ten sposób odporna na ciśnienie pierwsza warstwa, która powinna zapobiec przedostawaniu się najdrobniejszego pomocniczego środka filtracyjnego do filtratu. Ta pierwsza warstwa tworzy najważniejszy element dla dalszego powstawania warstwy filtracyjnej i filtracji w ogóle. Cząsteczki tej pierwszej warstwy wspierają się wzajemnie i przeszkadzają sobie nawzajem w dalszym przepływie (rys. 4.69).

  Do pierwszej warstwy namułowej zużywa się 700 do 800 g/m², tj. ok. 70% warstwy podstawowej.

- **Druga warstwa podstawowa** lub **warstwa zabezpieczająca;** służy do tego, żeby już pierwszy filtrat po nałożeniu warstwy podstawowej płynął klarowny. Warstwa ta zostaje nałożona ponownie odgazowaną wodą lub przefiltrowanym piwem, ale używa się do tego drobniejszej, aktywniejszej filtracyjnie mieszanki ziemi okrzemkowej, dzięki czemu zostają zatrzymane substancje zmętnienia i unika się zatkania filtra. Bardzo duże znaczenie przypisuje się równomiernemu rozdzieleniu podstawowego namulenia na całej powierzchni filtra. Cieńsze miejsca lub brzegi w podstawowym namuleniu powodują nierównomierny przepływ i ewentualnie nawet zmętnienia.

  Cała warstwa podstawowa ma ostatecznie ok. 1 000 g/m² i grubość 1,5 do 3 mm. Proces ten trwa ok. 10 do 15 min.
- **Bieżące dozowanie;** służy przede wszystkim do tego, aby utrzymać przepustowość namulenia po przestawieniu na filtrację przy niezmiennym przepływie objętościowym. Niezmienny przepływ objętościowy jest konieczny, ponieważ przy uderzeniach ciśnienia i nieregularnym wypływie wytworzone mostki warstwy namułowej na sicie lub świecach zostaną przerwane i piwo będzie płynęło mętne. Należy temu koniecznie zapobiec. Równomierny przepływ objętościowy powoduje jednak stały wzrost różnicy ciśnienia pomiędzy wlotem i wylotem. Kładzie się nacisk na to, żeby ten przyrost ciśnienia następował wolno i stale aż do określonego nadciśnienia

  • w namułowych filtrach ramowo-płytowych od 2 do 5 bar i

  • w namułowych filtrach komorowych od 6 do 8 bar.

  Różnica ciśnienia powinna wzrastać średnio maksymalnie 0,2 do 0,3 bar na godzinę (w normalnie filtrującym się piwie). O składzie mieszanki ziemi decyduje zakład na podstawie doświadczeń. Normalnie bieżące dozowanie składa się z mieszanki
- 2/3 średniej ziemi i
- 1/3 drobnej ziemi.

  Zużycie ziemi okrzemkowej w bieżącym dozowaniu waha się od 60 do 120 g/hl piwa.

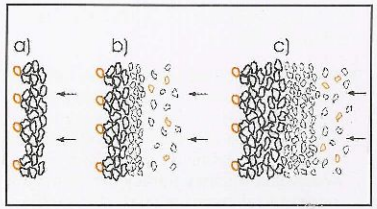
4.5.2.2.1.3 Tlen przy filtracji

W początkowej fazie filtracji – tj. nakładaniu pierwszej i drugiej warstwy podstawowej oraz rozpoczęciu bieżącego dozowania – należy poświęcić szczególną uwagę **niepożądanemu natlenieniu grożącemu pogorszeniem jakości piwa.** Pod koniec fermentacji i dojrzewania zawartość tlenu zostaje obniżona do 0,0-0,01 mg O_2/l.

Bardzo trudne, lecz możliwe jest utrzymanie tej wartości. Jednak nie ma już żadnej możliwości usunięcia ponownie rozpuszczonego tlenu. Dostęp tlenu następuje przede wszystkim przez:

- pęcherze powietrza z niezupełnie odpowietrzonych wklęsłych przestrzeni,
- używanie nieodgazowanej całkowicie wody,
- używanie CO_2 zmieszanego z powietrzem,
- nieszczelności.

Ponieważ od tego momentu musimy zwalczać każdą setną mg O_2/l, ważną rolę odgrywają już najmniejsze ilości tlenu.



Rys.4.69. Namulanie ziemi okrzemkowej
(a) nałożenie pierwszej warstwy podstawowej,
(b) nałożenie drugiej warstwy podstawowej,
(c) bieżące dozowanie

Ile wnosi nawet małe natlenienie, powinno nam wyjaśnić następujące wyliczenie:

Powietrze zawiera do 23,01% wag. tlenu = 20,93% obj. 1 m³ powietrza waży 1,29 kg.

23,93% tej ilości wynosi 0,297 kg ≅ 300 g.

Przy ciśnieniu 1 bar, 1 m³ powietrza zawiera 300 g O_2, zaś 1 litr – 300 mg O_2.

Przy 0,5 bar (nadciśnienia) = 1,5 bar litr ten zawiera $300 \cdot 1{,}5 = 450$ mg O_2.

Po zmieszaniu (z piwem) tej ilości powietrza otrzymamy

w 450 l = 4,5 hl = 1 mg O_2/l

w 4500 l = 45 hl = 0,1 mg O_2/l

w 45 000 l = 450 hl = 0,01 mg O_2/l

Przykład ten pokazuje, że już mały pęcherz objętości 1 litra wystarczy, aby podnieść wyraźnie zawartość tlenu w tak dużej ilości piwa.

Dlatego używa się do wstępnego namulania odgazowanej, biologicznie bez zarzutu wody i CO_2 jako gazu sprężającego. Zobaczymy, że oddzielenie bez strat wody i piwa nie przebiega przy tym bez problemów.

Również przy zakończeniu filtracji należy oszczędnie obchodzić się z przypadającym piwem resztkowym. Dotyczy to także obchodzenia się z przedpiwkiem i popiwkiem; te partie do zmieszania przeważnie są bardzo natlenione i w swoim układzie koloidalnym odbiegają od normalnego piwa. Dlatego wskazane jest, aby filtrować bez przed- i popiwków i tym samym nie mieszać ich z piwem.

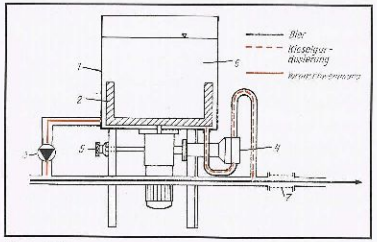
Każde natlenienie piwa w czasie filtracji oddziaływuje jeszcze szkodliwiej niż dotąd na piwo. Mniejsze natlenienie niż 0,01 mg O_2/l piwa w czasie filtracji umożliwiają następujące środki zaradcze:

- **unikanie wciągania powietrza przy opróżnianiu tanku,**
- **używanie CO_2 jako gazu sprężającego,**
- **całkowite odpowietrzenie wszystkich przewodów rurowych i zbiorników przed uruchomieniem przy pomocy odtlenionej wody oraz podczas filtracji ciągły nadzór armatury odpowietrzającej,**
- **usunięcie z przewodów „poduszek powietrznych",**
- **prawidłowo wykonana instalacja przewodów rurowych z armaturą odpowietrzającą,**
- **unikanie zwężeń poprzecznych,**
- **wystarczająco wysokie ciśnienie cieczy przed pompą filtracyjną, żeby uniknąć wydzielania się CO_2 i zasysania powietrza,**
- **stosowanie obojętnego gazu (CO_2, N_2) do wyrównywania ciśnienia przy napełnianiu i opróżnianiu systemów przewodów i zbiorników,**
- **odpowietrzanie zawiesiny ziemi okrzemkowej w dozowniku przez gazowanie CO_2,**
- **używanie w tankach tarcz dla uniknięcia zawirowań przy wypływie i płyt odbojowych dla uniknięcia tworzenia się fontann przy napełnianiu.**

4.5.2.2.1.4 Dozownik

Przygotowywanie zawiesiny ziemi okrzemkowej z odtlenioną wodą do nakładania warstwy podstawowej lub z piwem do bieżącego dozowania odbywa się w dozowniku (rys. 4.70). Stosowanie piwa zakłada naczynie ciśnieniowe do zawiesiny ziemi okrzemkowej: piwo do pompy dozującej należy doprowadzać pod ciśnieniem, aby uniknąć wydzielania się CO_2.

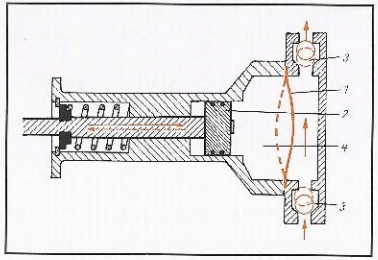
Dozownik składa się ze zbiornika zapasowego (1), w którym mieszadło (2) służy do gruntownego wymieszania zawiesiny. Ponieważ do wstępnego namulania konieczny jest silny przepływ, zawiesina jest pompowana przez oddzielną pompę wirową (3). Później dozowanie odbywa się przy pomocy membranowej pompy dozującej (4).



Rys.4.70

Dozownik (zasada)

(1) zbiornik zapasowy, (2) mieszadło z silnikiem napędowym, (3) pompa szybkiego namulania warstwy podstawowej, (4) pompa dozująca, (5) nastawianie dozowania, (6) mieszanka do dozowania, (7) wziernik ze wskaźnikiem przepływu



Rys. 4.71

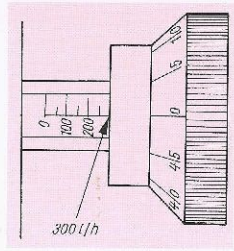
Pompa dozująca (membranowa pompa tłokowa)

(1) membrana, (2) tłok, (3) kulki zaworowe, (4) olej silikonowy

Do wysycania zawartości dozownika dwutlenkiem węgla, którego niewielkie nadciśnienie musi być stale utrzymywane, zbiornik jest wyposażony w przewód doprowadzający CO_2.

Membranowa pompa dozująca reguluje dopływ zawiesiny; daje się ona bardzo dokładnie nastawiać. Jest to niezbędne, gdyż wymaga się, żeby filtrację przeprowadzać z możliwie małym zużyciem ziemi. Główną częścią **membranowej pompy tłokowej** (rys. 4.71) jest gumowa membrana (1), poruszana przez tłok (2). Przestrzeń między tłokiem i membraną wypełniona jest olejem silikonowym (4), więc każdy ruch tłoka oddziaływuje na gumową membranę. Wraz z długością skoku tłoka zmienia się również amplituda gumowej membrany i przepływ pobieranej mieszaniny ziemi okrzemkowej z piwem. Długość skoku tłoka jest nastawiana przy pomocy nastawnej śruby (rys. 4.72). Ponieważ śruba nastawna przy obracaniu przesuwa się na osi do przodu i z powrotem, można na styku śruby i osi odczytywać bezpośrednio wielkość bieżącego dozowania.

Dozownik (rys. 4.73) jest niezbędny dla każdego filtra namułowego, niezależnie od tego, czy chodzi o filtr kartonowy, świecowy lub tarczowy.

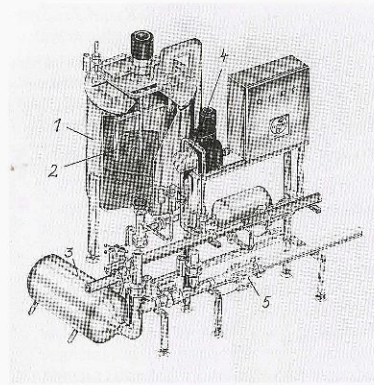


Rys. 4.72

Nastawianie dozowania przez zmianę skoku tłoka

4.5.2.2.2 Kartonowy filtr namułowy

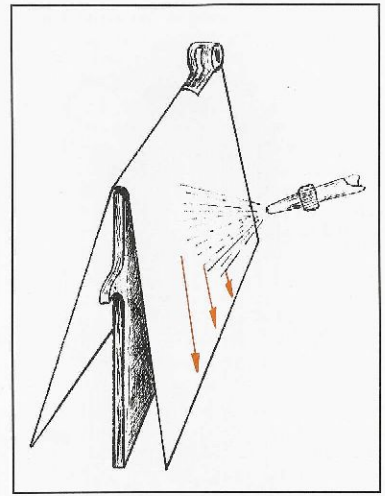
Kartonowe filtry namułowe składają się ze statywu, w którym zawieszone są na przemian kwadratowe ramy i płyty. Na płytach są zawieszone po obu stronach kartony filtracyjne, które jednocześnie uszczelniają między sobą ramy i kartony. Kartony filtracyjne są wytwarzane z celulozy i żywicy kondensowanej. Wytrzymałość osiąga się przez utwardzenie masy, tak że kartony są zmywalne i dzięki temu mogą być używane przez dłuższy czas. Po filtracji ziemia zostaje spłukana lub usunięta na sucho sprężonym powietrzem, i karton można stosować ponownie (rys. 4.74).



Rys. 4.73

Dozownik ziemi okrzemkowej

(1) zbiornik zawiesiny
(2) mieszadło z silnikiem napędowym
(3) pompa do nakładania warstw podstawowych
(4) pompa dozująca
(5) szkło wziernе ze wskaźnikiem przepływu objętościowego



Rys. 4.74

Usuwanie natryskiem warstwy namulonej ziemi okrzemkowej

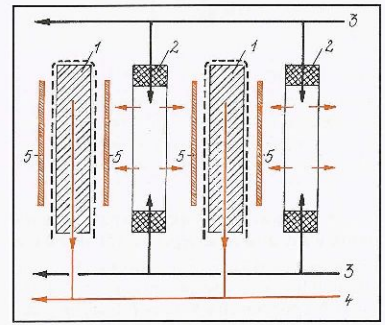
Przebieg pracy ramowo-płytowego filtra namułowego (rys. 4.75)

Filtr namułowy tego typu składa się na przemian z ram (2) i płyt (1). Na płytach (1) są zawieszone obustronnie kartony, więc po sprasowaniu filtra w ramach powstają puste przestrzenie dla przyjmowania namulanej ziemi okrzemkowej (5). Wstępne namulenie i następnie bieżące dozowanie są prowadzone omówionym wcześniej sposobem. Piwo z ziemią okrzemkową są wpompowywane do ram od góry i od dołu i karton zostaje obłożony pogrubiającą się coraz bardziej warstwą.

4.5.2.2.3 Świecowy filtr namułowy

Świecowe filtry namułowe (rys. 4.76) są cylindrycznymi, stojącymi zbiornikami ciśnieniowymi (1) ze stożkowym dnem. Poniżej pokrywy filtra znajduje się **płyta świec filtracyjnych** (3), do której przymocowane są zwisające **świece filtracyjne** (2).

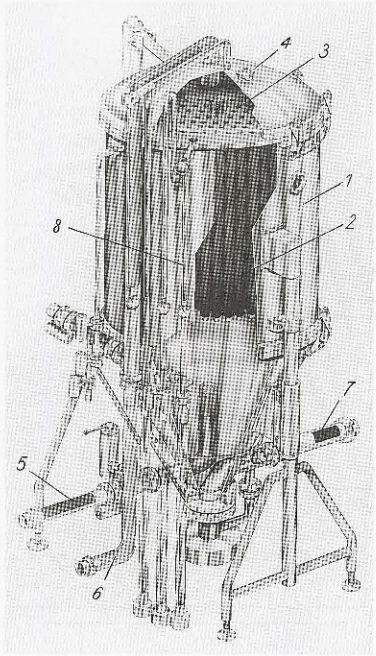
Świece filtracyjne są podkładem, na którym namulany jest pomocniczy środek filtracyjny – zie-



Rys. 4.75

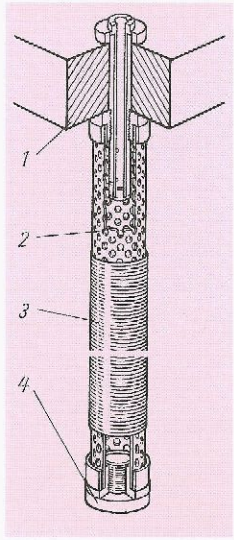
Kartonowa filtracja namułowa (zasada)

(1) płyty z przewieszonymi kartonami
(2) ramy
(3) dopływ mętnej cieczy
(4) odpływ filtratu
(5) namulanie ziemi okrzemkowej



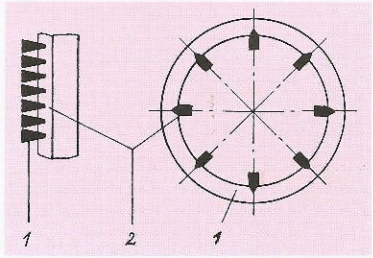
Rys. 4.76. Filtr świecowy

(1) zbiornik filtra, (2) zwisające świece filtracyjne, (3) płyta z otworami do mocowania świec, (4) pokrywa filtra, (5) dopływ mętnego piwa, (6) odpływ filtratu, (7) usuwanie ziemi okrzemkowej, (8) przewód odpowietrzający



Rys. 4.77. Świeca filtracyjna

(1) płyta świec filtracyjnych, (2) dziurkowana rura, (3) zwój profilowanego drutu, (4) śruba zamykająca



Rys. 4.78. Świeca filtracyjna (wycinek)

(1) zwój profilowanego drutu, (2) wspornik dystansowy z profilowanych sztabek

mia okrzemkowa. Na wsporniku nawinięty jest profilowany drut w odstępach co 50 do 80 µm.

Profil świecy składa się z podłużnych wsporników lub z dziurkowanej blachy (rys. 4.78 i 4.77). Na powierzchni świecy filtracyjnej, której długość może wynosić do 2 m, a nawet więcej, powstaje między zwojami profilowanego drutu ogromnie długa szczelina o szerokości poniżej jednej dziesiątej milimetra. Liczba świec w filtrze może dochodzić nawet do 700, co w sumie daje dużą powierzchnię filtracji i dużą przepustowość. Filtr ten nie ma żadnych ruchomych części.

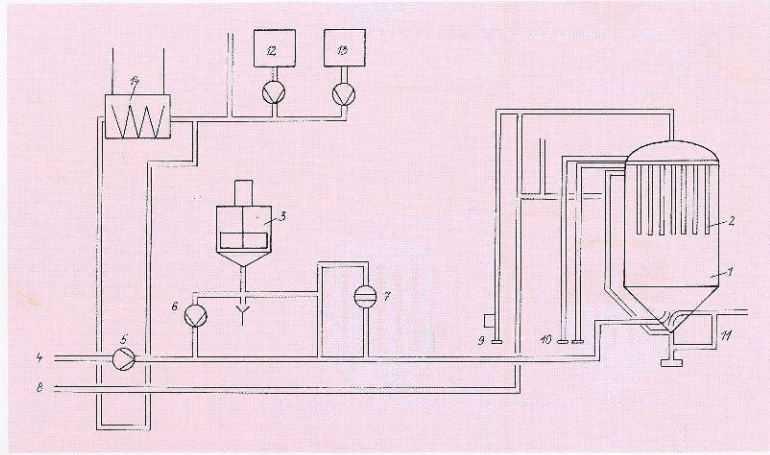
Powierzchnia świeccy filtracyjnej o:
średnicy 25 mm i długości 1,5 m
wynosi 0,118 m²,
średnicy 30 mm i długości 1,5 m
wynosi 0,141 m²,
średnicy 35 mm i długości 2 m
wynosi 0,220 m².

Do armatury świecowego filtra namułowego należy szereg zaworów, przewodów, połączeń i przyrządów kontrolnych. Wszystkie dodatkowe urządzenia filtra są tak wykonane, aby w żadnym razie nie dopuścić do nawet najmniejszego natlenienia piwa, podczas i po filtracji.

Przebieg pracy przy filtracji i myciu filtra (rys. 4.79 a do i):

- Napełnić filtr wodą. Woda ta zetknie się później z piwem, więc należy używać wodę odpowietrzoną, którą przepompowuje się w obiegu (a). Do wody dodaje się pomocniczy środek filtracyjny do nałożenia pierwszej warstwy podstawowej i nanosi go ok. 10 min na świecce; do czasu zbudowania warstwy wspierającej (pierwsza część namulania) wypływa z filtra mętna woda. Następnie zostaje nałożona druga warstwa podstawowa w taki sam sposób (b), w obiegu (c). Po tym rozpoczyna się filtracja. Niefiltrowane piwo wypiera powoli wodę od dołu do góry w filtrze oraz przez świece. Przed tym zostaje przygotowana zawiesina ziemi okrzemkowej w urządzeniu dozującym i przy pomocy pompy jest dozowana do piwa. Należy jednak zaznaczyć, że granica pomiędzy wodą i piwem jest wprawdzie mała, lecz nie absolutna. Powstaje więc pewna ilość mieszaniny. przedpiwka (d).
- Filtracja przebiega teraz w ten sam sposób, przy czym poprzez dozowanie ziemi okrzemkowej tworzy się coraz grubsza warstwa na świeccach, która filtruje coraz klarowniej, lecz powoduje coraz większy wzrost ciśnienia na wlocie. Kiedy zostaje osiągnięte najwyższe dopuszczalne ciśnienie od 6 do 8 bar (nadciśnienia), wtedy należy filtrację zakończyć (e).
- Koniec filtracji. Piwo teraz od dołu jest wypychane przez wodę odgazowaną i opuszcza filtr. Także tu małą ilość popiwka, który powstaje przez zmieszanie piwa z wodą (f) należy oddzielnie odebrać.
- Usunięcie ziemi okrzemkowej w postaci pasty lub płynnej następuje przez uderzenia sprężonego powietrza względnie mieszaniny wody i sprężonego powietrza (g).

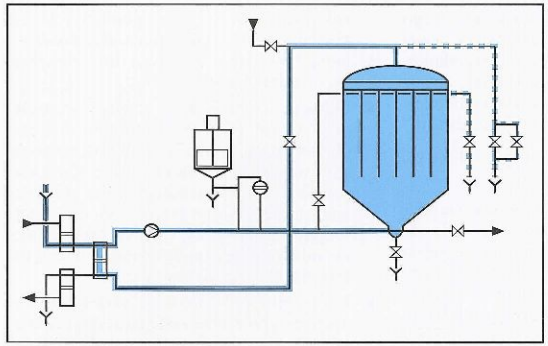
  Mycie odbywa się w odwrotnym kierunku i dzięki temu zupełnie do czysta wypłukuje świece od wewnątrz (h).



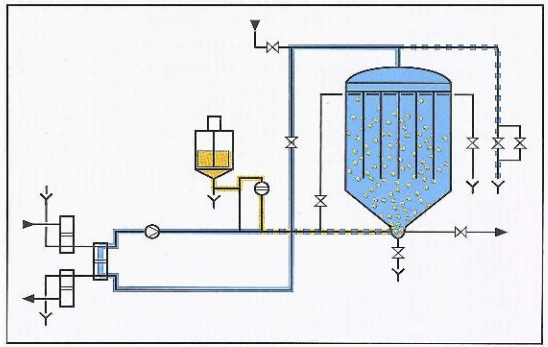
Rys. 4.79. Przebieg pracy przy filtracji z filtrem świecowym

(1) zbiornik filtra, (2) świece filtracyjne, (3) dozownik, (4) dopływ piwa mętnego, (5) pompa filtracyjna, (6) pompa nakładania warstwy podstawowej, (7) pompa dozująca, (8) odpływ filtratu, (9) odpowetrzenie kopuły pokrywy, (10) odpowietrzanie filtra, (11) usuwanie osadu ziemi okrzemkowej, (12) zbiornik ługu, (13) zbiornik kwasu, (14) podgrzewanie

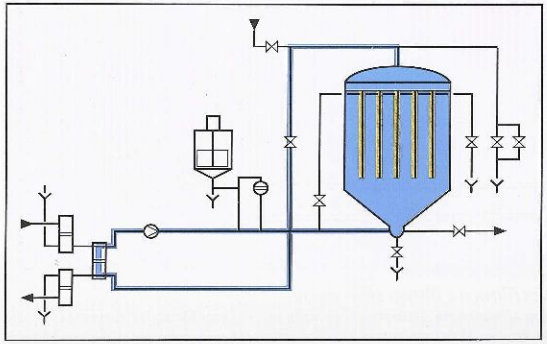
Rys. 4.79 a-c



a) Rozpoczęcie
Filtr zostaje napełniony odgazowaną wodą lub filtrowanym piwem i odpowietrzony; urządzenie uruchamia się w obiegu zamkniętym

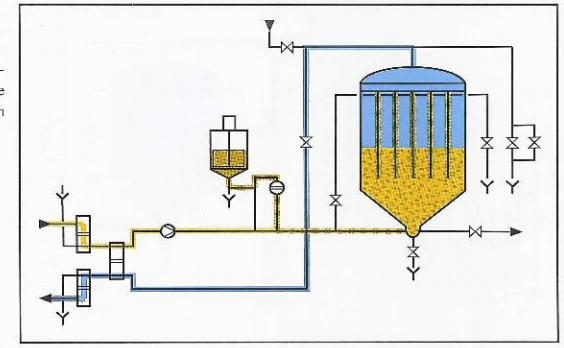


b) Nałożenie warstwy podstawowej
Naniesienie pierwszej warstwy podstawowej i warstwy zabezpieczającej (pierwsza + druga warstwa podstawowa)

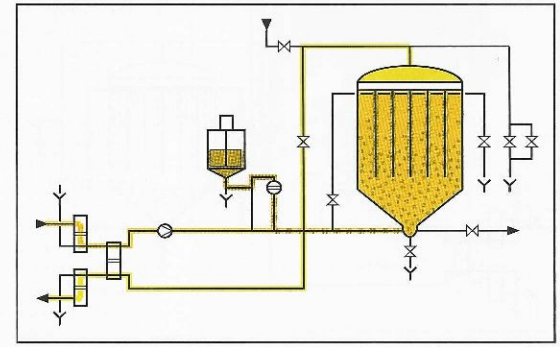


c) Obieg
Przy każdym nakładaniu warstwy podstawowej (pierwszej i drugiej) urządzenie zostaje uruchomione w obiegu zamkniętym przez 10 do 15 min

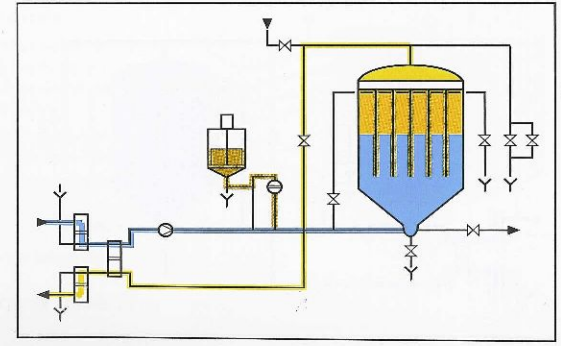
Rys. 4.79 d-f



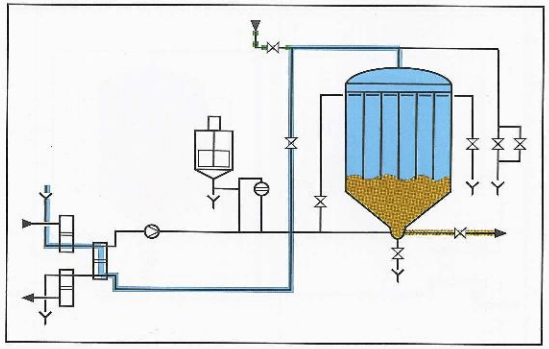
d) Rozpoczęcie filtracji
Rozpoczęcie filtracji przez wypchnięcie wody piwem, o ile nie nakładano warstw podstawowych za pomocą piwa



e) Filtracja
Filtracja piwa przy dozowaniu na bieżąco ziemi okrzemkowej; różnica ciśnień w filtrze wzrasta powoli

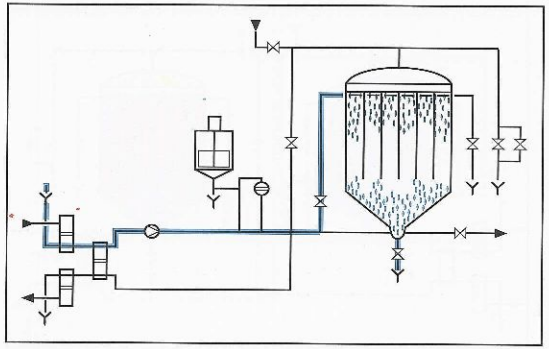


f) Koniec filtracji
Filtracja kończy się tym, że piwo zostaje wypchnięte odgazowaną wodą

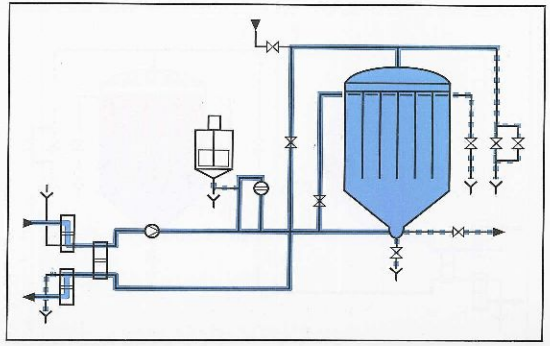


Rys. 4.79 g-i

g) Wypchnięcie osadu
Odstrzelenie osadu za pomocą sprężonego powietrza z wewnątrz i wypchnięcie w postaci pasty



h) Mycie
Mycie przez płukanie w odwrotną stronę, wspomagane uderzeniami powietrza



i) Sterylizacja
Całe urządzenie zostaje wysterylizowane za pomocą gorącej wody

- Na koniec filtr i wszystkie przewody oraz połączenia są jeszcze sterylizowane za pomocą zakwaszonej gorącej wody i tak przygotowane do ponownego użycia (i).

4.5.2.2.4 Namułowy filtr tarczowy

Na wydrążonej osi znajduje się szereg okrągłych elementów filtracyjnych, przez które odbywa się filtracja (rys. 4.80). Elementy filtracyjne są obciągnięte od góry gęstą drucianą tkaniną filtracyjną z chromoniklowej stali o wielkości oczek od 50 do 80 µm.

Przebieg pracy przy tarczowym filtrze namułowym jest w zasadzie taki sam jak przy świecowym.

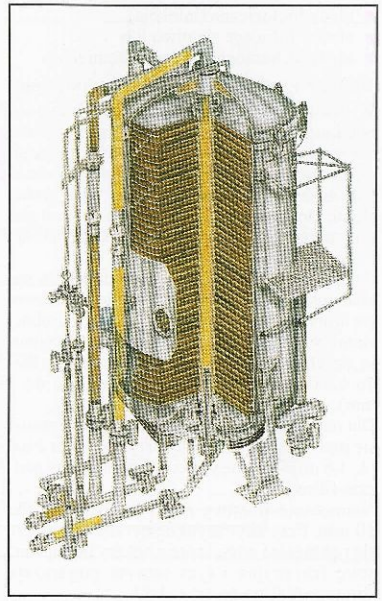
Niektóre urządzenia pracują z dwoma kanałami w osi, aby osiągnąć przez lepszy rozdział namulania i bieżącego dozowania równomierniejsze ukształtowanie placka filtracyjnego na wszystkich elementach filtracyjnych (rys. 4.81).

Usuwanie zużytej ziemi okrzemkowej po zakończeniu filtracji następuje przez wprawienie w ruch obrotowy osi z płytami, dzięki czemu ciastowata masa zostaje przez siłę odśrodkową rzucona na cylindryczne ściany obudowy filtra, po których ześlizguje się ku dołowi. Końcowe spłukiwanie intensywnym strumieniem wody zachodzi przy nieco powolniejszych obrotach osi. Zużyta ziemia okrzemkowa w postaci pasty usuwana jest do dalszego zagospodarowania, tj. unieszkodliwienia.

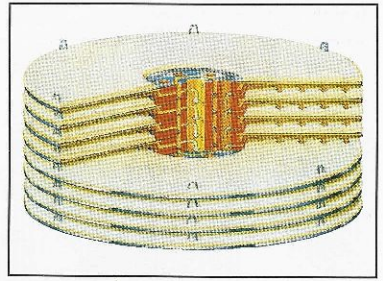
4.5.2.2.5 Problemy filtracyjne

W filtracji przez ziemię okrzemkową często występują problemy. Małe błędy mogą powodować duże szkody. Takimi źródłami zakłóceń w czasie filtracji mogą być (184):

- wydzielanie się gazu, tworzące się poduszki powietrzne w latarkach lub w filtrze,
- za duża lub za mała szybkość przepływu,
- nierównomiernie nałożona warstwa podstawowa,
- wadliwe uszczelnienie wału lub za luźno osadzone świece,
- nie nadający się pomocniczy środek filtracyjny,



Rys. 4.80
Namułowy filtr „Fliteromat"
(F-ka. Filtrox, St. Gallen)



Rys. 4.81
Elementy filtra z dwoma kanałami w wydrążonej osi, typ „Primus"
(F-ka Schenk Filterbau, Waldtetten)

- błędy biologiczne (infekcja),
- ciężko filtrujące się piwo lub
- błędy technologiczne (np. natlenienie).

Błędy przy nakładaniu warstwy podstawowej

W czasie nakładania warstwy podstawowej powinna zostać zbudowana odporna na ciśnienie pierwsza warstwa. Warunkiem jest właściwe dobranie grubej i drobnej ziemi. Pierwsze nałożenie powinno zawierać ok. 70% grubej ziemi. Druga warstwa składa się z drobnej ziemi – mniej więcej takiej, przez jaką będzie się następnie filtrować.

Często rezygnuje się z dwóch oddzielnie nakładanych warstw i przygotowuje podstawową warstwę jako mieszaninę grubej i drobnej ziemi w jednym procesie roboczym. Przyjmuje się dla warstwy podstawowej zużycie 800 do 1200 g/m² (= grubości warstwy 1,5 do 3 mm).

Dla naniesienia warstwy podstawowej stosuje się przepływ cyrkulacyjny przy ciśnieniu 2 bar ok. 1,5 do 2-krotnie większy niż przepływ podczas filtracji.

Nanoszenie warstwy podstawowej trwa ok. 10 min. Przy zbyt szybkiej cyrkulacji tworzą się pęknięcia i wiry, które z boków burzą warstwę filtracyjną i tym samym pogarszają sprawność filtracji. (rys. 4.82 – a).

Błędy przy bieżącym dozowaniu

Podczas filtracji wzrasta stale różnica ciśnienia pomiędzy wlotem i wylotem filtra, gdyż pogrubiająca się warstwa stwarza coraz większy opór.

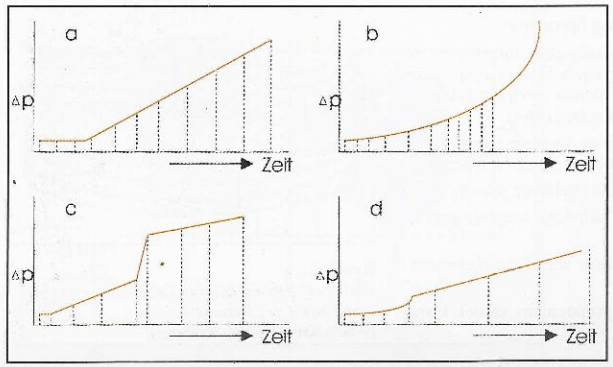
Przy bieżącym dozowaniu chodzi przede wszystkim o to, aby ten przyrost różnicy ciśnień utrzymywać na możliwie stałym poziomie wartości od 0,1 do 0,2 bar/h (w filtrach zbiornikowych do 0,5 bar/h). Kiedy pracuje się z mieszanymi ziemiami, można stosunek ziem do siebie zmieniać. Jeśli pracuje się tylko z jedną ziemią, dopasowanie można osiągnąć tylko przez wielkość dozowania.

Normalnie zużycie ziemi okrzemkowej w całej filtracji wynosi pomiędzy 80 i 120 g/hl.

Podczas gdy różnica ciśnienia normalnie wzrasta liniowo o 0,2 bar/h (rys. 4.82), przy za małym dozowaniu (b) nie udaje się komórek drożdży obłożyć w mieszaninie ziemi okrzemkowej. Prowadzi to do utworzenia warstwy zagradzającej, która w końcu będzie przyczyną podwyższonego przyrostu ciśnienia (zablokowania). A przez tzw. uderzenie drożdży, może dojść do bardziej lub mniej dużego zablokowania (c). Za wysokie dozowanie prowadzi natomiast do spłaszczonej krzywej filtracji i do przedwczesnego wyczerpania przestrzeni dla osadu w filtrze (d).

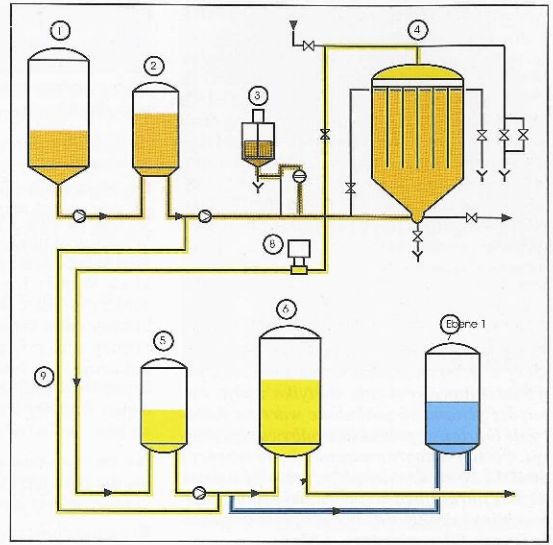
Błędy przy sterylizacji filtra

Za krótkie czasy sterylizacji gorącą wodą prowadzą do problemów biologicznych. Wymagane jest co najmniej 30 min czasu działania po osiągnięciu wymaganej temperatury (90 do 95°C na wylocie). Czujniki temperatury należy regularnie kontrolować na dokładność wskazań.



Rys.4.82
Źródła błędów przy bieżącym dozowaniu
(a) normalny przyrost ciśnienia
(b) za małe dozowanie
(c) zablokowanie przez uderzenie drożdży
(d) za wysokie dozowanie

4.82a
Urządzenie do filtracji przez ziemię okrzemkową
(1) tank leżakowy
(2) tank buforowy
(3) urządzenie dozujące
(4) filtr do ziemi okrzemkowej
(5) tank buforowy
(6) tank pośredniczący do filtrowanego piwa
(7) tank do przed- i popiwku
(8) przyrząd do pomiaru zmętnienia
(9) przewód do obiegu (cyrkulacji)



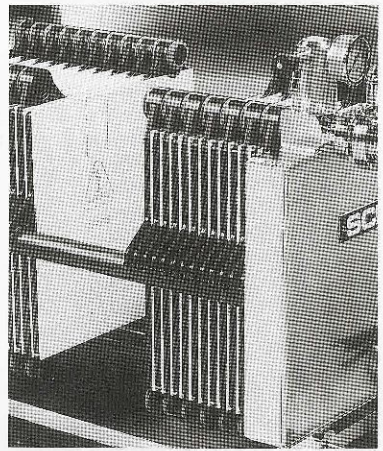
4.5.2.2.6 Przerób przed- i popiwków

Przed- i popiwki zawierają tlen i są rozcieńczone wodą. Przed- i popiwki są silnie podatne na zakażenia, również przez wyższą wartość pH. Dlatego powinno się je poddać dalszemu przerobowi tak szybko jak to tylko możliwe. Piwo, do którego je dodajemy powinno być ugotowane z wyższym ekstraktem o 0,2 do 0,3%, aby po dodaniu przed- i popiwków zapewnić przewidziane jego stężenie. Przed- i popiwki można przerabiać oddzielnie i wówczas należy je poddać co najmniej pasteryzacji (potrzebne 38 do 30 jednostek pasteryzacyjnych). Lepiej dodać „wysokich krążków" i fermentować w oddzielnym tanku.

(Wg innych autorów wykorzystywanie tego piwa nie opłaca się. A.B.)

4.5.2.2.7 Urządzenia do filtracji przez ziemię okrzemkową

Filtracja przez ziemię okrzemkową zakłada pracę bez skoków ciśnienia. Każde uderzenie pro-



Rys. 4.82b. Filtr kartonowy

wadzi natychmiast do tego, że warstwy ziemi okrzemkowej są przerywane i piwo leci mętne. Dlatego urządzenia do filtracji przez ziemię okrzemkową, aby uniknąć uderzeń ciśnienia, przewidują przed i po filtrze tanki buforowe (rys. 4.82a – 2 i 5). Tanki buforowe napełnia się w tym celu tylko częściowo, bo posiadają wtedy poduszkę gazową CO_2. Przyrząd do pomiaru zmętnienia (8) sygnalizuje, kiedy wzrasta wartość zmętnienia. W takim wypadku powinien on samoczynnie przełączać urządzenie na pracę w cyrkulacji, aż wartość zmętnienia osiągnie normalny poziom.

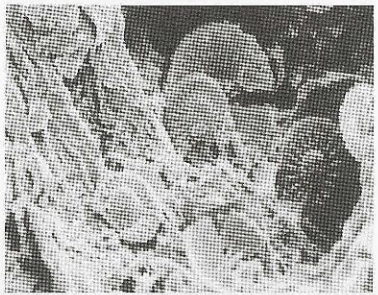
4.5.2.3 Filtr kartonowy (płytowy)

Przez filtr kartonowy należy rozumieć filtr, który w przeciwieństwie do kartonowego filtra namułowego składa się tylko z płyt. Pomiędzy płytami są zakładane warstwy filtracyjne (kartony), przez które odbywa się filtracja. Piwo jest doprowadzane równo od góry i od dołu do co drugiej płyty, przepływa przez karton filtracyjny i na sąsiedniej płycie zostaje odprowadzone. Każde dwie płyty przydziela karton filtracyjny (rys. 4.82b)

Tym kartonom filtracyjnym przypisuje się szczególne znaczenie. Składają się one z *celulozy i ziemi okrzemkowej.*

Decydującą rolę odgrywa nie tylko stosunek mieszanki, lecz również struktura włókna, z którego uzyskano celulozę.

Należy pamiętać o zależności pomiędzy ostrością klarowania kartonu i przepływem filtratu.



Rys. 4.83. Powierzchnia warstwy filtracyjnej
(REM Foto: Seitz-Filter-Werke, Bad Kreuznach)

Ze wzrastającą ostrością filtracji zmniejsza się przepływ przez środek filtracyjny.

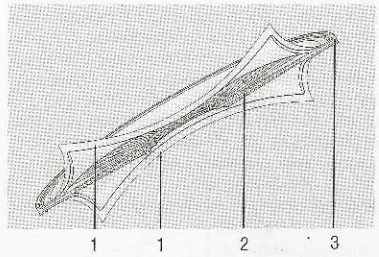
Dlatego odpowiednio do celu dobiera się kartony dla filtracji:

- zgrubnej,
- klarującej,
- polerującej i
- wyjaławiającej (EK-Filtr).

W browarze filtr kartonowy stosuje się czasem jako uzupełnienie po filtrze na ziemię okrzemkową. W małych browarach stosuje się do tego celu często także oba filtry, namułowy filtr kartonowy i filtr kartonowy, z płytą odwracającą między nimi, połączone w jeden filtr. Rys. 4.83 pokazuje, jak ostatnie komórki drożdży w skomplikowanej strukturze takiej wysoko wydajnej warstwy zostają wyłapane i uzyskuje się piwo wolne od drożdży.

Nie można jednak przeoczyć, że filtr kartonowy ma kilka niebłahych wad, które ograniczają jego ogólne stosowanie:

- kartony można przemywać w browarze tylko wstecznie,
- filtr zajmuje dużo miejsca i wymaga znacznego nakładu pracy,
- koszty produkcji są względnie wysokie (kartony, zużycie wody),
- filtr musi być sterylizowany gorącą wodą i następnie przepłukany na zimno, powietrze musi być usunięte,



Rys. 4.84. Budowa modułu filtracyjnego
(1) specjalna warstwa filtracyjna,
(2) system drenażowy,
(3) zakończenie modułu

- nie nadaje się do zautomatyzowania i musi być myty ręcznie oraz
- wymaga przeprowadzenia filtracji wstępnej.

Wady te są przyczyną, że czasem zamiast niego stosuje się drugi namułowy filtr kartonowy.

Do usuwania drobnoustrojów i wyjaławiania stosuje się obecnie coraz częściej ***filtry membranowe.*** Są to filtry, w których piwo jest filtrowane przez membrany o bardzo małych porach, na których zostaje uwolnione od drobnoustrojów i od zmętnienia. Membrany są oferowane w postaci:

- modułów filtracyjnych (filtr modułowy),
- świec membranowych (filtry świecowe)
- lub innej formie.

Warunkiem skutecznej filtracji membranowej jest zawsze wstępne sklarowanie piwa.

4.5.2.4 Filtr modułowy

Filtr modułowy zawiera płaskie, okrągłe, wzmocnione wewnątrz elementy (rys. 4.84) filtracyjne o średnicy do 40 cm. Filtracja przebiega od zewnątrz do środka. Warstwa filtracyjna modułu składa się z celulozy ze zmagazynowaną ziemią okrzemkową, o różnej ostrości rozdziału.

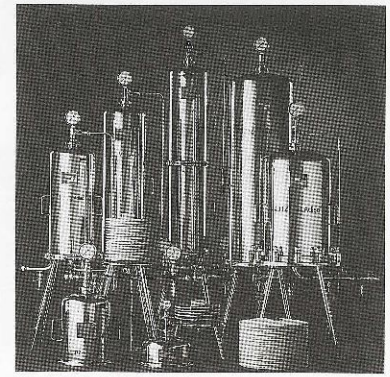
Moduły uszeregowane jeden nad drugim, są umieszczone w cylindrycznym naczyniu filtra (rys. 4. 85).

Są także filtry modułowe ze zmagazynowanym PVPP do równoczesnego usuwania polifenoli.

4.5.2.5 Membranowy filtr świecowy

W membranowym filtrze świecowym filtracja odbywa się przez wiele świec filtracyjnych podłączonych równolegle w tej samej obudowie (rys. 4.86).

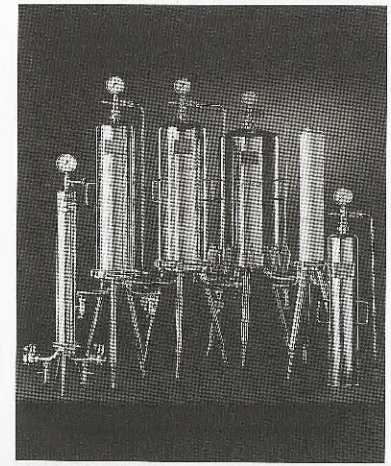
Świece filtracyjne (rys. 4.87 i 4.87 a) posiadają wiele warstw filtracyjnych najczęściej z polipropylenu, których struktury z zewnątrz do środka są coraz bardziej zbite i tym samym przy dużych powierzchniach filtracyjnych wykazują frakcjonowaną technikę zatrzymywania. Dlatego takie świece określa się także jako świece głębokiej filtracji i używa je w mniejszych i



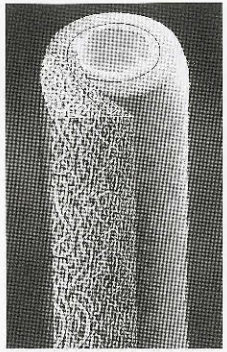
Rys. 4.85. Filtr modułowy z pakietem modułów filtracyjnych
(Foto: Seitz-Filter-Werke, Bad Kreuznach)

średnich browarach zamiast filtrów kartonowych do dokładniejszej filtracji.

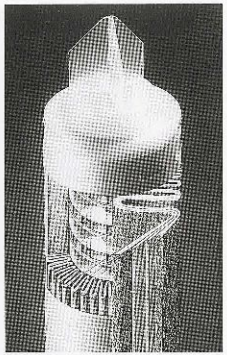
Zamiast uwarstwienia w niektórych świecach występuje sfałdowanie lub plisowanie głów-



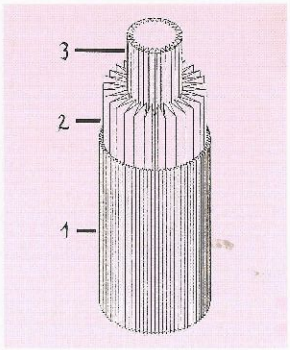
Rys. 4.86. Filtry świecowe
(Foto: Seitz-Filter-Werke, Bad Kreuznach)



Rys. 4.87
Świeca głębokiej filtracji o wzrastającej ku środkowi gęstości por
(Firma Pall)



Rys. 4.87a
Świeca filtracyjna z plisowaną membraną
(Firma Pall)



Rys. 4.88. Świeca filtracyjna o dużej powierzchni
(1) zewnętrzne plisowanie wzmocnione włóknem szklanym, (2) kombinacja filtra o głębokiej filtracji i filtra membranowego, (3) wewnętrzne plisowanie filtra membranowego 0,65 µm

nych warstw filtracyjnych, przez co powierzchnia filtracyjna zostaje znacznie powiększona. Jest nawet możliwe rozmieszczanie wielu warstw plisowanych jedną nad drugą, jak na przedstawionym filtrze o dużej powierzchni do dokładniejszej filtracji (rys. 4.88), którego średnica wynosi 26,5 cm.

4.5.2.6 Filtr systemu „multi micro"

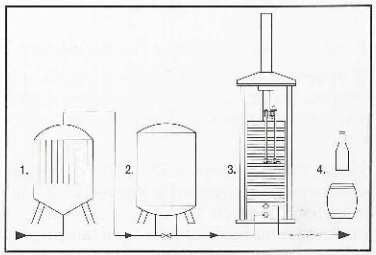
Zupełnie inną drogą kroczy firma Handtmann/Biberach z filtrem systemu „multi micro". W tym filtrze wkłada się – odpowiednią do wielkości przepływu – ilość elementów filtracyjnych lekko stożkowych do pionowo stojącego filtra (rys. 4.89). Elementy filtracyjne (rys. 4.89a – 5) składają się z celulozy i ziem okrzemkowych i są sprasowane do ok. 5 cm grubej wielowarstwowej masy, która składa się z

- grubocząsteczkowej warstwy wlotowej,
- drobnocząsteczkowej warstwy klarującej i
- grubocząsteczkowej warstwy nośnej na wylocie do wstecznego płukania (rys. 3.89a).

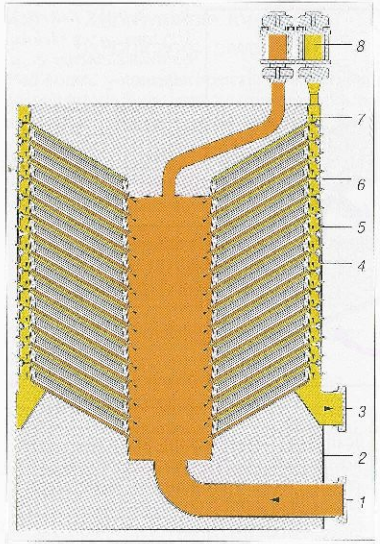
Piwo filtrowane przez ziemię okrzemkową wpływa centralnie od dołu – 1 (czerwony) do filtra i do każdego elementu filtracyjnego, jest przy przepływie filtrowane przez dany element i wypływa w – 3 (żółty). W zależności od dziedziny stosowania są oferowane elementy filtracyjne z ostrością rozdzielczą do filtracji wyjaławiającej włącznie.

4.5.2.7 Zakresy filtracji

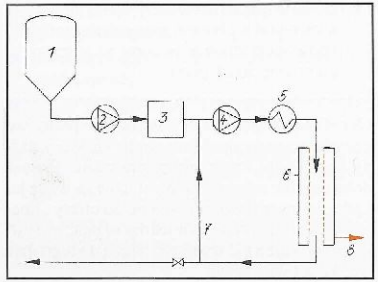
Wobec rozlewanego piwa są stawiane różne wymagania odnośnie jego klarowności.



Rys. 4.89. Filtr systemu „multi micro"
(1) filtr na ziemię okrzemkową, (2) tank buforowy, (3) filtr multi micro, (4) obciąg



Rys. 4.89a.
Przebieg filtracji w filtrze „multi micro"
(1) dopływ piwa, (2) podstawa, (3) wylot filtrowanego piwa, (4) wypływ z filtra, (5) korpus filtra, (6) element filtra ze stali szlachetnej, (7) płyta głowicy, (8) odpowietrzanie



Rys. 4.90. Filtr krzyżowy (zasada pracy) (cross-flow-filter)
(1) zbiornik, (2) pompa zasilająca, (3) filtr wstępny, (4) pompa cyrkulacyjna, (5) wymiennik cieplny, (6) filtr membranowy, (7) przewód cyrkulacyjny, (8) odprowadzenie filtratu

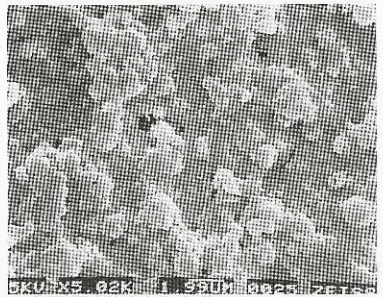
Podczas gdy niektóre piwa produkuje się o mniejszej klarowności i trwałość biologiczną uzyskuje metodami termicznymi, to inne stabilizuje się biologicznie przez wyjaławiającą filtrację. Jest zrozumiałe, że dlatego nie może być żadnego jednolitego systemu filtracji.

Materiały filtracyjne zależnie od ich ostrości rozdzielczej dają się uporządkować następująco:

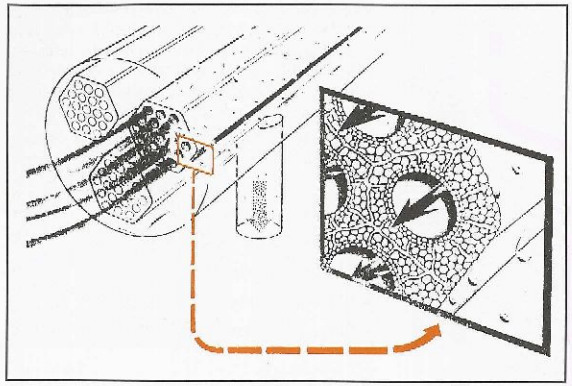
- filtracja zgrubna
- filtracja klarująca
- filtracja polerująca
- filtracja redukująca drobnoustroje
- filtracja wyjaławiająca.

4.5.2.8 Filtr krzyżowy (cross-flow-filter)

W rozdziale 4.5.1.2 widzieliśmy, że możliwa jest wydajna filtracja przez materiał o bardzo drobnych porach. Ciecz do filtracji jest przepompowywana pod ciśnieniem w obiegu przy membranie o drobnych porach (rys. 4.90). Część cieczy (filtrat lub permeat) przechodzi przez membranę i przy tym jest filtrowana. Reszta cieczy wzbogacona substancjami zmętnienia (niefiltrat lub retentat) pozostaje w obiegu. Z czasem retentat wzbogaca się coraz bardziej substancjami zmętnienia i zostaje odprowadzony.



Rys. 4.90a. Osadzone substancje zmętnienia na powierzchni membrany
(REM-Aufn. Schenk Filterbau GmbH, Waldstetten)



Rys. 4.90b. Filtracja krzyżowa przez wielokanałowe elementy ceramiczne

(Fa. Schenk Filterbau, Waldstetten)

Aby wywołać i obsłużyć obieg, potrzebne są
- pompa cyrkulacyjna dla utrzymywania obiegu i
- płytowy wymiennik, aby odprowadzać powstające ciepło.

Podczas filtracji na powierzchni membrany powoli osadzają się substancje zmętnienia (rys. 4.90a). Kiedy osadzi się ich dużo, należy przerwać filtrację i powierzchnię spłukać wodą, a następnie potraktować gorącym kwasem lub ługiem. Usunięcie substancji zmętnienia osadzonych na membranie sprawia jednak znaczne trudności i samymi chemikaliami jest ledwie możliwe. Dlatego zastosowanie membran do filtracji krzyżowej ogranicza się do bardzo nielicznych przypadków i małych ilości.

Zamiast membran z tworzywa sztucznego coraz częściej stosuje się dla celów technicznych wytrzymalsze elementy ceramiczne. Filtry krzyżowe są obecnie głównie stosowane w postaci modułów membranowo-ceramicznych (rys. 4.90b) do odzysku piwa resztkowego z drożdży.

4.6 Uzyskiwanie trwałego piwa

Kto jak piwowar browaru restauracyjnego może serwować swoje piwo natychmiast, możliwie niefiltrowane i świeże w kuflu, nie potrzebuje się troszczyć o trwałość piwa. Jest to duża zaleta!

Jeśli jednak sprzedajemy nasze piwo daleko, trwałość odgrywa decydującą rolę, gdyż produkt może w krótkim czasie zepsuć się i stracić przydatność do spożycia.

Jest po temu parę podstawowych przyczyn:

- zawarte jeszcze w piwie drobnoustroje mogą się rozmnażać, czyniąc piwo mętnym i przez wydzielenie produktów przemiany materii – nie nadającym się do spożycia,
- zawarte w piwie koloidy łączą się stopniowo pod wpływem różnych czynników i powodują zmętnienia, oraz z czasem pogarsza się smak piwa.

Określony połysk piwa obok smaku i piany jest decydującym czynnikiem wartości, który każdy konsument może łatwo sprawdzić. Piwosz dostrzegalne zmętnienie piwa uzna za wadę jakości, która może doprowadzić do utraty „image" i klientów. Dlatego musimy czynić wszystko, żeby zapewnić trwałość. Służą do tego dwa środki, a mianowicie

- **zapewnienie trwałości biologicznej** i
- **koloidalna stabilizacja piwa.**

Ponadto musimy podjąć wysiłki, aby zapewnić przez długi okres czasu stabilność smakową piwa.

4.6.1 Zapewnienie trwałości biologicznej piwa

Pod koniec gotowania brzeczka jest sterylna. Szkodliwe dla piwa drobnoustroje mogą dostać się do piwa tylko przez zanieczyszczenia. Rozmnażają się one w piwie, prowadząc do wytworzenia zmętnienia i wytwarzają produkty przemiany materii, które mogą piwo uczynić całkowicie nie nadającym się do spożycia.

Najwyższym nakazem w browarze jest utrzymywanie skrupulatnej czystości we wszystkich jego działach!

W związku z tym należy przestrzegać następujących zasad:

- utrzymywać czystość osobistą i higienę ciała, nosić stale czystą odzież;
- w starym, tradycyjnym browarze, specjalne buty zakładać tylko przy myciu kadzi i tanków i później je oczyścić, sprzęt do mycia, jak szczotka do szorowania (na kiju) i szczotki przechowywać oczyszczone w roztworze dezynfekcyjnym i po użyciu znów oczyścić;
- nie używać żadnych zużytych szczotek, mechanicznie usuwać wszystkie zanieczyszczenia i osady na ścianach naczyń, aż nic nie zostanie; zwracać uwagę na małe dziurki i rowki;
- zawory kurkowe, kurki probiercze zdemontować, umyć, zdezynfekować i nasmarować pastą silikonową;
- poziomowskazy i węże szczotkować i dezynfekować;
- ściśle przestrzegać ustalony w zakładzie schemat robót mycia i dezynfekcji;
- roztwory myjące i dezynfekcyjne stale sprawdzać na skuteczność, usunąć wszystkie możliwe źródła zakażeń.

Jeżeli wszyscy pracownicy browaru będą przestrzegali te wymagania, to zostanie wykonany decydujący krok do poprawy biologicznej trwałości piwa.

Jako niepożądane, szkodliwe drobnoustroje piwa występują szczególnie:

- dzikie drożdże, jak Saccharomyces diastaticus lub Saccharomyces pastorianus i szkodliwe bakterie, jak Pectinatus, Megasphera, Lactobacillus brevis, Lactobacillus frigidus, Pediococcus damnosus i inne (patrz ustęp 7.42), które powodują zmętnienie piwa i przez wydzielanie produktów przemiany materii wywołują niekorzystne zmiany smakowe.

Naturalnie należy teraz ustalić, na jakim stanowisku te obce drobnoustroje dostają się do piwa, aby wykryć źródło zakażenia i przedsięwziąć odpowiednie środki zapobiegawcze. Na tym polega główne zadanie mikrobiologicznej kontroli zakładowej (ustęp 7.3).

Piwo musi pozostać bez zarzutu przynajmniej do daty minimalnej trwałości, należy więc wszystkie znajdujące się w nim drobnoustroje usunąć lub uczynić nieszkodliwymi.

Piwowar ma do dyspozycji następujące możliwości:

- pasteryzację,
- pasteryzację w przepływie,
- rozlew piwa na gorąco,
- wyjaławiającą filtrację na zimno i rozlew piwa.

4.6.1.1 Pasteryzacja

Przez pasteryzację rozumie się zabicie drobnoustrojów w roztworach wodnych przez ogrzanie. Pojęcie i nazwa pochodzi od Ludwika Pasteura.

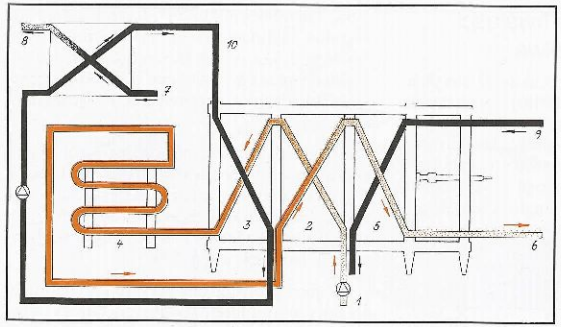
4.6.1.2 Pasteryzacja w przepływie (ogrzewanie w krótkim czasie)

nazywane również wysokim ogrzewaniem w krótkim czasie.

Podczas pasteryzacji w przepływie ogrzewa się piwo za pomocą płytowego wymiennika ciepłnego do co najmniej 68-72°C i tę temperaturę utrzymuje ok. 50 sek.; następnie piwo zostaje ponownie schłodzone.

4.6.1.2.1 Urządzenie do pasteryzacji w przepływie

Podgrzanie i schłodzenie piwa odbywa się z reguły w płytowym wymienniku ciepła, który umożliwia intensywną.



Rys. 4.92. Schemat urządzenia do pasteryzacji piwa w przepływie
(1) wlot zimnego piwa, (2) podgrzanie wchodzącego/schłodzenie gorącego piwa, (3) strefa ogrzewania do temperatury pasteryzacji, (4) strefa gorącego przetrzymania, (5) strefa schładzania do temperatury rozlewu, (6) wypływ spasteryzowanego piwa, (7) wejście pary, (8) wyjście kondensatu, (9) wejście solanki, (10) obieg gorącej wody

W urządzeniu (rys. 4.92) zimne piwo zostaje w pierwszej sekcji (2) podgrzane przez gorące piwo i w drugiej sekcji (3) gorącą wodą (10) ogrzane do temperatury pasteryzacji, która w przetrzymywaczu cieplnym (4) jest utrzymana przez zadany czas. Ten przetrzymywacz temperatury może być wykonany jako sekcja płytowego wymiennika, lecz obecnie przeważnie jest to pętla z rur odpowiedniej długości. Następnie piwo (2+5) zostaje ponownie schłodzone do temperatury rozlewu. Schładzanie następuje obecnie zawsze przez wchodzące do wymiennika zimne piwo. Dzięki powiększeniu sekcji 2 wpływające zimne piwo o temperaturze 0°C może schłodzić wypływające piwo do ok. 3 do 4°C i takie piwo można doprowadzać bez problemu do rozlewu.

Cały przebieg trwa tylko ok. 2 min i prawie nie szkodzi jakości piwa. Można też odzyskać do 96% energii. Zalety tej metody przyczyniły się do jej rozpowszechnienia.

Ważne jest, żeby ciśnienie odpowiadające wysyceniu piwa CO_2 nie spadało poniżej wymaganego minimum, bo nastąpi pienienie. Potrzebne są do tego pompy wysokociśnieniowe do 12 bar.

4.6.1.2.2 Temperatura i czas trwania termicznej obróbki

Dla zabicia drobnoustrojów potrzeba dużo mniej czasu, jeżeli podniesie się tylko nieznacznie temperaturę.

Wynikiem badań w tej dziedzinie było określenie i wprowadzenie **jednostki pasteryzacyjnej (JP).**

Przez jednostkę pasteryzacyjną rozumie się czas przetrzymania gorącego piwa przez 1 min w 60°C. Oblicza się ją ze wzoru:

JP = czas · 1,393 (temperatura zastosowana -60°C)

We wzorze wynik odejmowania w nawiasie należy zastosować jako potęgę.

Jeżeli więc nasza temperatura wynosi 60°C, to potęga (60 - 60) = 0 i wynik wynosi 1, gdyż każda liczba do potęgi 0 wynosi zawsze 1.

Jeżeli podniesiemy temperaturę do 61°C, otrzymamy

JP = czas · $1{,}393^{(61-60°C)}$ = czas · $1{,}393^{1}$ =

= czas · 1,393

Jeśli podniesiemy temperaturę grzania do 62°C, wynik wyniesie:

JP = czas · $1{,}393^{(62-60°C)}$ = czas · $1{,}393^{2}$ =

= czas · 1,940

lub dalej

dla 64°C: czas · $1{,}393^{4}$ = czas · 3,76
(czyli 1 minuta przy 64°C stanowi dawkę 3,76 JP itd. Przyp. tł. AB).
dla 66°C: czas · $1{,}393^{6}$ = czas · 7,30
dla 68°C: czas · $1{,}393^{8}$ = czas · 14,18
dla 70°C: czas · $1{,}393^{10}$ = czas · 27,51
dla 72°C: czas · $1{,}393^{12}$ = czas · 53,4

Dla pasteryzacji piwa potrzebne jest 14 do 15 JP. Im mniej JP stosuje się, tym więcej chroni się cechy wartościowe piwa, ale tym bardziej zbliżamy się do granicy, gdzie drobnoustroje mogą pozostać jeszcze żywe.

Wymagane JP są zależne przede wszystkim od stopnia zakażenia. Im więcej drobnoustrojów piwo zawiera, tym więcej potrzeba JP. Jest to zwykle 22 do 27 JP (rys. 4.93).

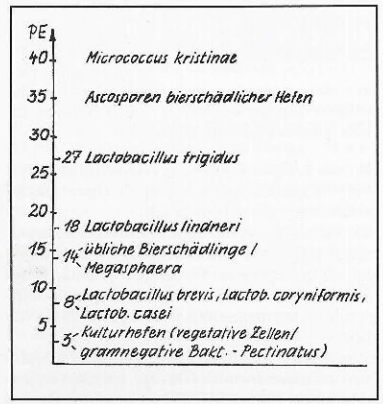
Weźmy jako przykład 15 JP jako konieczne dla utrwalenia naszego piwa. Wtedy np. czas pasteryzacji powinien wynosić przy:

64°C = 15 JP : 3,76 = 3,98 min.
66°C = 15 JP : 7,30 = 2,06 min.
68°C = 15 JP : 14,20 = 1,07 min. = 64 s
70°C = 15 JP : 27,50 = 0,545 min. = 33 s
72°C = 15 JP : 53,40 = 0,28 min. = 17 s

Przy wyższych temperaturach efekt wykładniczy jest bardzo wyraźny.

Wyższa temperatura oznacza krótszy czas gorącego przetrzymywania, ale wymaga dokładnego utrzymywania temperatury.

Utrzymywanie temperatury musi być bardzo starannie kontrolowane i dokładnie regulowane, aby uniknąć pogorszenia jakości piwa.



Rys. 4.93
Liczba jednostek pasteryzacyjnych niezbędna dla zabicia różnych drobnoustrojów

4.6.1.2.3 Wpływ pasteryzacji w przepływie na jakość piwa

Istnieje szeroko rozpowszechniony pogląd, że wyższe temperatury pasteryzacji w przepływie są równoznaczne z pogorszeniem smaku piwa. Jednak, jak wynika z szeroko przeprowadzonych badań [187], czas działania temperatury pasteryzacji odgrywa tu znacznie ważniejszą rolę.

Przewidywanie, jaki wpływ na jakość piwa ma termiczne obciążenie, nie może się opierać tylko na jednym parametrze, np. na JP, lecz należy brać pod uwagę kilka czynników. Do najważniejszych należą:

– czas pasteryzacji,
– panująca przy tym temperatura i
– przede wszystkim zawartość tlenu w piwie.

4.6.1.3 Gorący rozlew piwa

Metoda ta wprowadzana w latach sześćdziesiątych, miała zbyt dużo wad i nie jest już stosowana do rozlewu piwa.

4.6.1.4 Pasteryzacja w pasteryzatorze tunelowym

Jeśli chcemy mieć zupełną pewność, powinniśmy pasteryzować piwo w rozlanych już butelkach lub puszkach w tunelowym pasteryzatorze. Ponieważ butelki czy puszki potrzebują prawie godzinę dla przejścia przez pasteryzator, zajmuje on w rozlewni najwięcej miejsca. Tym samym jest inwestycyjnie urządzeniem najdroższym i ma największe zapotrzebowanie energii, która wynosi 14 do 24 MJ/hl i 70 do 120 MJ/1000 butelek.

Pasteryzacja tunelowa opisana jest w rozdziale 5.1.8.

4.6.1.5 Sterylny zimny rozlew piwa

Pasteryzacja tunelowa i pasteryzacja w przepływie są niezawodnymi metodami biologicznej stabilizacji piwa. Pomimo oszczędnego obchodzenia się z piwem – nawet przy pasteryzacji w przepływie – termiczna obróbka piwa stwarza zawsze niebezpieczeństwo zmian zawartych w nim substancji.

Obecnie w coraz większym zakresie czyni się starania, aby piwo uwalniać od drobnoustrojów na zimno. Oferuje się do tego celu filtry z kartonami EK (wyjaławiającymi), membranowe i modułowe. Można bardzo dokładnie filtrować przez dobrane odpowiednio membrany, lecz wtedy przepływ jest bardzo mały i potrzeba bardzo dużo modułów, aby uzyskać zadowalającą przepustowość. Z tego powodu metoda ta jest bardzo droga. Dlatego wszystkie wysiłki skierowuje się na to, żeby pracować ekonomiczniej.

Jeżeli chce się osiągnąć jałowość przy pomocy filtracji na zimno, należy cały proces produkcyjny przystosować do tego [109].

Oznacza to:

- **dobrą filtracyjność piwa,**
- **ostrą kontrolę wszystkich możliwych dróg zakażania, szczególnie podłączeń wody, CO_2, powietrza itd.,**
- **nalewaki i zamykarki muszą odpowiadać najnowszemu stanowi wiedzy i techniki mycia CIP. Warunki może poprawić stosowanie pary do sterylizacji urządzeń przed rozlewem.**

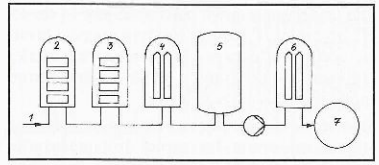
Biologiczna trwałość bez termicznej obróbki jest możliwa, gdy

- jest dobrze dopasowany filtr,
- panuje czystość mikrobiologiczna w piwie niefiltrowanym i filtrowanym,
- piwo posiada wysoką koloidalną stabilność i
- jest sprawna biologiczna kontrola produkcji.

Najczęściej po filtracji przez ziemię okrzemkową stosuje się trzy lub cztery filtry membranowe ze wzrastającą ostrością filtracyjną, a z tym malejącą wydajnością. Naturalnie dla większych wydajności potrzeba odpowiednią ilość połączonych równolegle filtrów.

Uszeregowanie filtrów po filtracji przez ziemię okrzemkową jest na ogół następujące

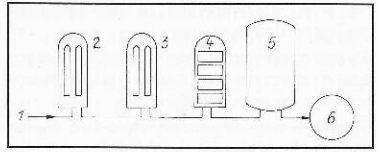
- drobny filtr z wielkością porów ok. 5µm,
- filtr polerujący z wielkością porów ok. 1µm,
- filtr wyjaławiający z wielkością porów ok. 0,45µm.



Rys.4.94a

Wyjaławiająca filtracja piwa na zimno (Przykład 1)

(1) piwo z filtra na ziemię okrzemkową, (2) filtr modułowy jako drobny filtr I (wielkość porów 10 µm), (3) filtr modułowy jako drobny filtr II (wielkość porów 5 µm), (4) filtr świecowy jako filtr polerujący (wielkość porów 1 µm), (5) tank buforowy, (6) filtr świecowy jako filtr wyjaławiający (wielkość porów 0,45 µm), (7) rozlewaczka



Rys.4.94b

Wyjaławiająca filtracja piwa na zimno (Przykład 2)

(1) piwo z filtra na ziemię okrzemkową, (2) filtr modułowy jako drobny filtr (wielkość porów 5 µm), (3) filtr świecowy jako filtr polerujący (wielkość porów 1 µm), (4) filtr modułowy jako filtr wyjaławiający (wielkość porów 0,5 µm), (5) tank buforowy, (6) rozlewaczka

Na rys. 4.94a i 4.94b są przedstawione przykłady filtracji wyjaławiającej na zimno, takie jakie stosuje się w browarach.

Przy pomocy wyjaławiającej filtracji na zimno osiąga się prawie taki sam efekt jak z pasteryzacją w przepływie. Ważne jest jednak, żeby także urządzenie do rozlewu odpowiadało wszelkim wymaganiom jałowego rozlewu na zimno.

Ze względu na smak piwa, istnieje obecnie duże zainteresowanie filtracją wyjaławiającą na zimno.

Wadą metody jest częściej obserwowana gorsza trwałość piany w wyniku obecności w piwie (czasami) czynnej proteinazy pochodzenia drożdżowego (patrz rozdz. 4.4.4.1).

4.6.2 Koloidalna stabilizacja piwa

Piwo pasteryzowane po pewnym czasie, często długim, mętnieje. Zmętnienia te są przede wszystkim spowodowane przez koloidalne substancje rozpuszczone w piwie. Musimy zapoznać się z powstawaniem tych zmętnień i z tego wyciągnąć wnioski, jak im zapobiegać.

4.6.2.1 Charakter zmętnień koloidalnych

Doświadczenie:

Butelka piwa zostaje wstawiona do wiadra z wodą i lodem. Po pewnym czasie zauważa się, że piwo lekko mętnieje. Butelka zostaje ogrzana do 60°C; przy tym można zobaczyć, że zmętnienie znika. To doświadczenie powtarzano kilka razy i w końcu zauważono, że zmętnienie przy ogrzewaniu nie znika, lecz pozostaje.

Ten „test forsowania", któremu piwo normalnie nie jest poddawane, służy do zdefiniowania dwu rodzajów zmętnień koloidalnych, zimnego zmętnienia i trwałego zmętnienia.

Zimne zmętnienie to zmętnienie koloidalne, które występuje w piwie po schłodzeniu i rozpuszcza się po ogrzaniu do 20°C. Z czasem zimne zmętnienie przechodzi w zmętnienie trwałe, które nie znika.

Zimne zmętnienie

Zimne zmętnienie, czyli zmętnienie „na zimno" jako wstępny etap trwałego zmętnienia, jest dla piwowara szczególnie interesujące. Zimne zmętnienie piwa składa się z luźnego wiązania wysokocząsteczkowych produktów rozkładu białka (patrz rozdz. 1.1.4.2.2), z polifenolami (przede wszystkim antocyjanogenami), których małe ilości zostają powiązane z węglowodanami oraz substancjami mineralnymi, głównie metalami ciężkimi. To luźne wiązanie zostaje rozbite przy ogrzaniu (59).

Tworzenie tego zmętnienia należy sobie wyobrazić następująco: Zawarte w piwie rozpuszczalne **cząstki koloidalne** wskutek ruchów Browna zderzają się i tworzą między sobą mostki wodorowe. Z biegiem czasu łączy się ich w ten sposób coraz więcej i w coraz większe cząsteczki, aż w końcu stają się one widoczne jako zmętnienie.

Tworzenie się zmętnienia jest przyspieszane przez następujące czynniki:

podwyższoną temperaturę,
obecność tlenu,
metale ciężkie,
wstrząsy,
światło.

Temperatura przechowywania ma na tworzenie się zmętnienia największy wpływ, gdyż jak wiadomo przebieg reakcji w wyższych temperaturach zostaje przyspieszony. Z powyższego wynika również, że pasteryzacja przyspiesza zmętnienie koloidalne.

Także ***utlenienie*** ma bardzo duży wpływ na tworzenie zmętnienia piwa. Natlenienie może zwiększyć nawet pięciokrotnie szybkość zmętnienia.

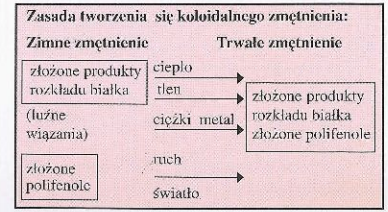
Ciężkie metale wspomagają jako katalizatory tworzenie zmętnień koloidalnych. Poruszanie piwa przyspiesza tworzenie zmętnienia przez szybsze zderzanie się koloidów, a światło wspomaga utlenienie i z tym zmętnienie.

Z wszystkich tych czynników najbardziej ujemnie na koloidalną trwałość wpływa tlen; dlatego powinniśmy być zainteresowani tym, aby nie dopuścić do natlenienia piwa.

Trwałe zmętnienie

Zimne zmętnienie z czasem przechodzi pod wpływem omówionych wyżej czynników w zmętnienie trwałe. Świadczy o tym prawie taki sam skład zawiesiny obu rodzajów zmętnienia. Czas do pojawienia się trwałego zmętnienia bywa bardzo różny. Na ogół występuje ono w kilka tygodni po rozlewie. Dlatego ważne jest podejmowanie kroków dla opóźnienia lub uniemożliwienia wystąpienia koloidalnych zmętnień.

4.6.2.2 Poprawa koloidalnej trwałości piwa



Z tego wynika, że zmętnienie koloidalne nie powstanie lub wystąpi ze znacznym opóźnieniem, jeżeli się usunie jeden z komponentów całkowicie lub częściowo, albo wyłączy udział czynników powodujących te przemiany.

Są następujące możliwości:

1. uniemożliwić powstawanie wielu złożonych produktów rozkładu białka w czasie produkcji,
2. usunąć część złożonych produktów rozkładu białka,
3. zapewnić enzymatyczny rozkład złożonych produktów białkowych,
4. częściowo usunąć fenole podczas produkcji,
5. usunąć polifenole z piwa,
6. zapewnić enzymatyczny rozkład polifenoli,
7. stosować zimne leżakowanie,
8. unikać natlenienia,
9. unikać metali ciężkich i ich soli w piwie,
10. w miarę możliwości unikać wstrząsów,
11. zabezpieczyć piwo przed światłem.

4.6.2.3 Technologiczne środki poprawy koloidalnej trwałości piwa

Część tych możliwości można zrealizować środkami technologicznymi. Ponadto, żeby osiągnąć dobrą trwałość, potrzebne jest stosowanie środków stabilizujących.

Do środków technologicznych zalicza się:

- przerabianie jęczmion z niską zawartością białka i cienką łuską; zawartość białka poniżej 11%,
- przerabianie jęczmion bez antocyjanogenów, z niską zawartością szczawianów,
- długie i zimne prowadzenie grzędy, dobre rozluźnienie w ziarnie,
- intensywne dosuszenie,
- alkaliczność resztkowa wody technologicznej poniżej 5°n,
- mało rozdrobnić łuskę, oddzielnie ją zacierać (metoda Kubessa),
- nie stosować długiej przerwy białkowej, dążyć do uzyskania wysokiego odfermentowania,
- zwracać uwagę na zupełne, dobre scukrzenie zacieru,
- nie stosować silnego ługowania wysłodzin (garbniki),
- przez długie i intensywne gotowanie doprowadzić do wytrącenia się białka koagulującego (ma pozostać nie więcej niż 2 mg N/100 ml brzeczki),
- kontrolować przełom,
- zakwaszać wybijaną brzeczkę (pH 5,1 do 5,2),
- unikać natlenienia,
- dbać o całkowite usunięcie gorącego osadu i optymalne zimnego osadu,
- intensywnie napowietrzać brzeczkę dla szybkiego rozpoczęcia fermentacji,
- prowadzić zimną i silną fermentację,
- prowadzić zimne leżakowanie co najmniej 7 dni w -2 do 0° C przed filtracją dla wytrącenia się cząsteczek zimnego zmętnienia,
- unikać zetknięcia z gołymi częściami metalowymi (poza stalą kwasoodporną),
- unikać jakiegokolwiek zetknięcia z powietrzem i w tym celu należy:
  - unikać wciągania powietrza do rur i in.,
  - odpowietrzać filtr i urządzenie dozujące oraz nagazowywać je CO_2,
  - unikać na drodze rozlewu wszelkiego napowietrzania, nawet w najmniejszych ilościach,
  - używać tylko czysty CO_2, zważać aby nie wprowadzać powietrza!

4.6.2.4 Dodatek środków stabilizujących

Przestrzeganie cytowanych czynników może znacznie opóźnić wytwarzanie zmętnienia koloidalnego, ale nie uniemożliwić. Piwa z wymaganą długą trwałością są więc dodatkowo stabilizowane.

Jako środki stabilizujące obecnie wchodzą w rachubę przede wszystkim

preparaty żelu krzemionkowego i/lub poliwinylopolipirolidon (PVPP).

Oba środki można stosować w kombinacji.

Oprócz tego można dodawać antyutleniacze, jeżeli nie respektuje się prawa czystości (Reinheitsgebot).

4.6.2.4.1 Preparaty żelu krzemionkowego

Ważnymi środkami stabilizującymi są preparaty żelu krzemionkowego, które wiążą substancje białkowe wytwarzające zmętnienia, lecz pozostawiają substancje wytwarzające pianę. Są dozowane w ilości 50 do 150 g/hl i dodawane do dozownika przed filtracją lub przy przepompowywaniu piwa do leżakowania.

Rozróżnia się:

- **hydrożele** z zawartością wilgoci ponad 50% i
- **kserożele** (suche żele) z zawartością wilgoci 5%.

Żele krzemionkowe są wytwarzane z kwasu siarkowego i sodowego szkła wodnego. Powstają preparaty z dużymi i małymi porami. Żele z małymi porami nie mogą swej powierzchni całkowicie wykorzystać, a z za dużymi porami mają za małą siłę adsorpcyjną. Obecnie daje się pierwszeństwo preparatom z porami o promieniu pomiędzy 3,0 do 3,5 µm, przy których uzyskuje się optymalną adsorpcję białek powodujących zmętnienia w piwie.

Ważnym kryterium dla stosowania preparatów żelu krzemionkowego jest podział według wielkości ziaren. Im drobniejsze są ziarna, tym szybciej filtr może się zatkać. Duże cząstki (ponad 40 µm) są mało skuteczne. Najlepiej działają cząstki z średnią wielkością 8-20 µm.

4.6.2.4.2 Poliwinylopolipirolidon (PVPP)

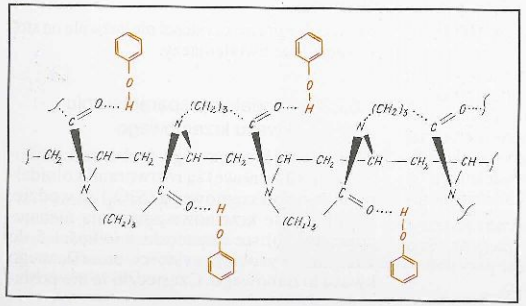
PVPP jest związkiem organicznym (rys. 4.95), który jest trójwymiarowo usieciowany i utrwalony przez łańcuchy cząsteczek. PVPP jest proszkiem, który jest nierozpuszczalny we wszystkich znanych rozpuszczalnikach i jedynie w wodzie pęcznieje.

PVPP odznacza się tym, że wiąże i usuwa związki zawierające garbniki (związki fenolowe). Wiązanie to opiera się na wykształceniu w kwaśnym pH mostków wodorowych, które w zasadowym roztworze ponownie uwalniają związki fenolowe. Na tym opiera się regeneracja PVPP. W Niemczech można dodawać do piwa maksymalnie 50 g PVPP/hl.

Obecnie PVPP stosuje się przeważnie w powiązaniu z preparatem żelu krzemionkowego, niekiedy również sam. Można PVPP dodawać do dozownika ziemi okrzemkowej - wtedy używa się go tylko raz - lub

- stabilizować przez kartony zawierające PVPP lub
- stabilizować piwo metodą recyklingu (recycling), czyli z odzyskiwaniem PVPP.

Ta ostatnia metoda jest obecnie coraz częściej stosowana.



Rys. 4.95
Struktura PVPP
czerwone: zaadsorbowane substancje fenolowe

Stabilizacja piwa z odzyskiwaniem PVPP

Urządzenie składa się z namułowego tarczowego filtra wirowego z naczyniem dozującym i pompą (rys. 4.96).

Przed rozpoczęciem stabilizacji filtr napełnia się odpowietrzoną wodą, którą następnie wypycha się wprowadzanym od góry dwutlenkiem węgla, aby uniknąć kontaktu piwa z powietrzem (1).

Znajdujący się jeszcze na tarczach filtra zregenerowany PVPP zostaje przez wprowadzenie ich w ruch wirowy zrzucony i przepompowany z powrotem do urządzenia dozującego (2).

Podczas obracania filtr zostaje spłukany i resztki PVPP przepompowane do urządzenia dozującego (3). Filtr w dalszym ciągu pozostaje pod ciśnieniem CO_2.

Następnie filtr napełnia się świeżo przefiltrowanym piwem, a z nim zostaje naniesiona część PVPP (4), która odkłada się na tarczach filtracyjnych, przy pompowaniu przez pewien czas w obiegu zamkniętym.

W przepływie przy bieżącym dozowaniu następuje stabilizacja piwa przez PVPP (5). Porywane cząsteczki PVPP zostają zatrzymane na małym filtrze końcowym, tzw. trapfiltrze.

Pod koniec stabilizacji pozostałe piwo zostaje wypchnięte odgazowaną wodą (6).

Do regeneracji warstwa PVPP zostaje najpierw przepłukana ciepłą wodą (7), o temperaturze 45°C.

Następnie wpompowuje się do filtra 1% ług sodowy 85°C do regeneracji (8).

Gorący ług krąży w obiegu zamkniętym.

Następnie ług zostaje wypchnięty gorącą wodą.

W końcu zostaje wpompowany 0,1 do 0,2% kwas HNO_3 (9) i całe urządzenie wysterylizowane w obiegu.

Regeneracja PVPP gorącym ługiem sodowym jest bardzo skuteczna. Większość polifenoli zostaje wypłukana już z pierwszym ługiem. Z powodu zabarwienia i temperatury nie można go odprowadzać bezpośrednio do sieci kanalizacyjnej, lecz należy go wpierw rozcieńczyć w zasobniku wyrównawczym innymi ściekami.

Drugi ług nie zużywa się tak mocno i jest używany w następnej operacji jako pierwszy ług. Próbuje się obecnie ług oczyszczać przy pomocy filtracji i ponownie go używać.

PVPP jest dozowany jako zawiesina sporządzona z 1 kg PVPP/9 litrów wody. Na 1 m^2 powierzchni filtracyjnej potrzeba ok. 200 g PVPP. W każdym cyklu traci się ok. 0,5 do 1% PVPP.

Zamiast dodawania PVPP do filtra można także w mniejszych urządzeniach używać moduły filtracyjne zawierające PVPP. Filtr można do 30 razy przemywać, regenerować i sterylizować. Wydajność takiego filtra wynosi średnio 20 hl/m^2 powierzchni filtracyjnej.

Filtracja ta daje jednak nierównomierne usuwanie polifenoli podczas całej szarży, ponieważ wyczerpuje się zdolność adsorpcyjna modułów. W takich przypadkach potrzebne jest mieszanie i wyrównywanie piwa w tanku pośredniczącym.

4.6.2.4.3 Przeciwutleniacze

Smak piwa zmienia się z czasem z powodu starzenia się. Dodatek środków, które przeciwdziałają utlenieniu – antyutleniaczy, może proces ten opóźnić.

Bardzo wyraźnie zmniejsza utlenianie karbonyli i opóźnia starzenie smakowe dwutlenek siarki. SO_2 jest wprawdzie wytwarzany przez drożdże w czasie fermentacji, ale wytwarzanie to jest zależne od szczepu drożdży (144), i ilość nie wystarcza dla daleko idącej stabilizacji. Wytworzony SO_2 daje jednak określoną ochronę przed starzeniem.

Jeżeli chce się być pewnym tej ochrony, dodac można przy rozlewie SO_2 w postaci **siarczynów.** Daje to znaczne opóźnienie wytwarzania posmaku starzenia.

W równej mierze działa dodatek **kwasu l-askorbinowego**.

Niemieckie prawo czystości nie zezwala na stosowanie przeciwutleniaczy.

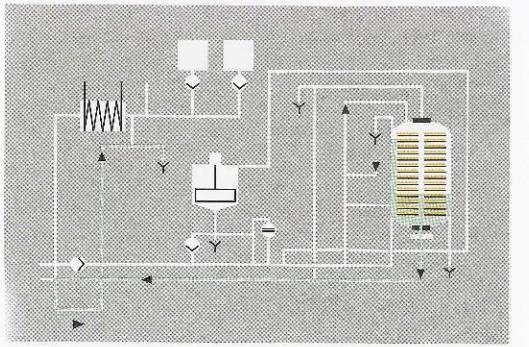
4.6.2.4.4 Dodatek preparatów zolu kwasu krzemowego

Zole kwasu krzemowego (zol krzemionkowy, zole silikonowe) są roztworami koloidalnymi kwasu krzemowego (SiO_2) w wodzie. Stabilne zole krzemowe zawierają nieusieciowane, kuliste cząsteczki wielkości 5 do 150 µm z wysokiej czystości amorficznego kwasu krzemowego. Cząsteczki te nie posia-

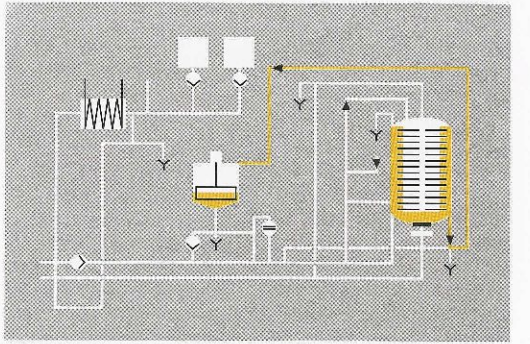
Rys. 4.96; 1-3

Stabilizacja piwa z odzyskiwaniem PVPP

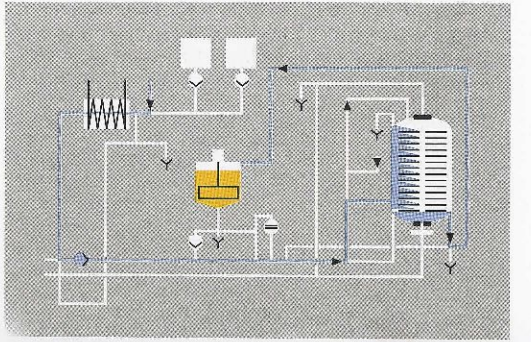
(opis kolejnych etapów w tekście)



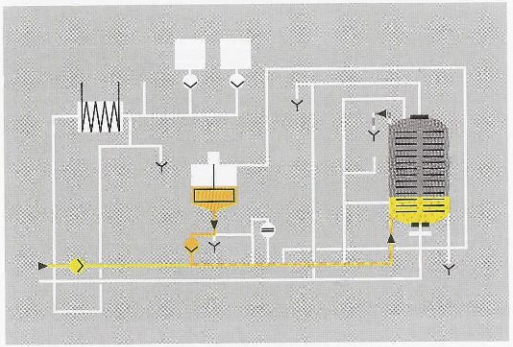
(1) Na początku stabilizacji filtr zostaje napełniony odgazowaną wodą: woda zostaje wypchnięta CO_2 i w ten sposób unika się wprowadzenia tlenu



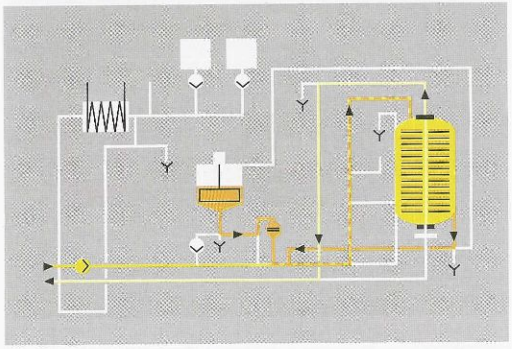
(2) Znajdujący sie jeszcze na tarczach zregenerowany PVPP przez obracanie pakietem filtracyjnym zostaje zrzucony i PVPP po dodaniu wody zostaje przepompowane z powrotem do urządzenia dozującego



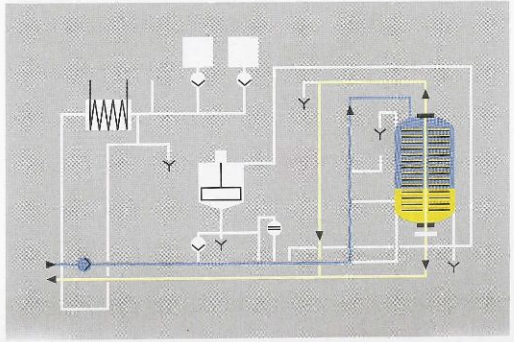
(3) Podczas obracania filtr zostaje spłukany i pozostały jeszcze PVPP przepompowany do urządzenia dozującego. Filtr zostaje w dalszym ciągu pod ciśnieniem CO_2



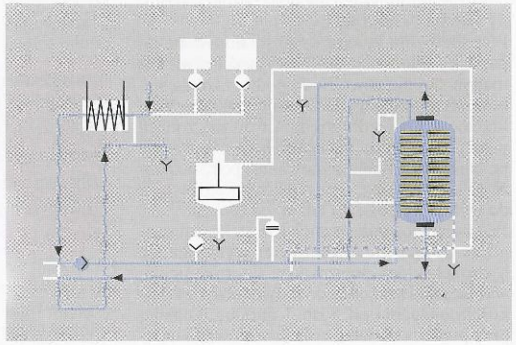
(4) Filtr zostaje napełniony przefiltrowanym piwem i przy tym naniesiony PVPP z urządzenia dozującego. PVPP rozdziela się równomiernie na tarczach filtracyjnych. Po napełnieniu piwo jest pompowane w obiegu (nanoszenie warstwy podstawowej)



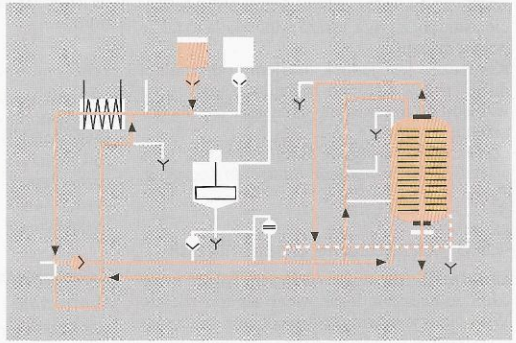
(5) Piwo jest stabilizowane przez PVPP. Przy tym nie ma żadnej filtracji. Porwane cząsteczki PVPP usuwa się na małym filtrze końcowym (trapfilter)



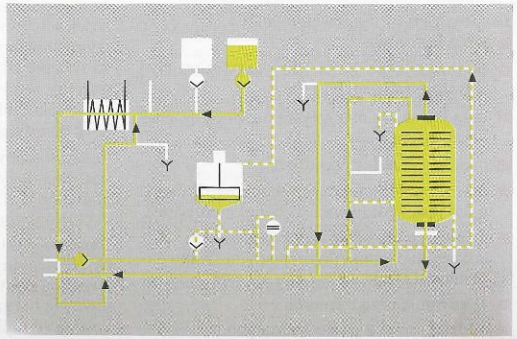
(6) Kiedy proces zostaje zakończony, resztę piwa wypycha się odgazowaną wodą i na tym filtracja się kończy



(7) Regeneracja rozpoczyna się tym, że warstwa PVPP zostaje przepłukana ciepłą wodą 45°C



(8) Regenerację PVPP przeprowadza się 1% ługiem sodowym ciepłym do gorącego. Ług krąży przy tym w obiegu i przez reakcję z uwalnianymi polifenolami zabarwia się na czarno



(9) Dla zobojętnienia filtr przemywa się wodą zakwaszoną 0,1 do 0,2% HNO_3 o temperaturze 40-50°C i na koniec sterylizuje w obiegu zamkniętym

dają żadnej innej porowatości i mają ujemny ładunek elektryczny.
Preparaty zolu krzemowego są stosowane do poprawy klarowania i filtracyjności piwa i w małym stopniu również do podwyższenia stabilności koloidalnej. Dodatek preparatów zolu krzemowego rzędu wielkości 50 ml zolu/hl piwa (30 do 60 ml/hl) ma miejsce przeważnie po końcowym odfermentowaniu i po fazie zimnego leżakowania, lecz możliwy jest również do wybijanej brzeczki lub przed filtrem.
Przez usieciowanie cząstek kwasu krzemowego ze związkami białkowymi wytwarza się hydrożel, który doprowadza do zmętnienia, wykłaczenia i w końcu do sedymentacji z szybkością opadania od 5 do 7 m/dobę. Dlatego przy pomocy dodatku zolu krzemowego można osiągnąć poprawę klarowania i filtracyjności piwa. Hydrożel zostaje ponownie całkowicie usunięty z piwa, tak że odpowiada to także prawu czystości.
Konieczne jest jednak ustalenie optymalnej dozy przez wstępne badania, zarówno ze względu na uzyskiwane działanie, jak dla obniżenia kosztów.
(Żel krzemowy o nazwie Stabifix stosowany był w Polsce już w połowie lat sześćdziesiątych. Przyp. tł. AB).

4.6.3 Urządzenie działu filtracji

Urządzenie filtracyjne obejmuje całość urządzeń od naczynia leżakowego aż do rozlewu. Wysokie wymagania, które obecnie są stawiane odnośnie stabilnej jakości rozlanego piwa, wymagają wielostopniowej jego obróbki.
Do urządzeń filtracyjnych należą:

- tanki buforowe
- podłączone po kolei filtry ze wzrastającą ostrością filtracji,
- urządzenia do otrzymywania wody pozbawionej tlenu,
- tanki do przed- i popiwku,
- magazyn pomocniczych środków filtracyjnych i przygotowania ziemi okrzemkowej,
- technika pomiarowa do zmętnienia, O_2, CO_2, ciśnienia; czujniki do rozpoznania stanu napełnienia i inne,
- sterowanie urządzeniem i
- oddział tanków pośredniczących.

Dyrekcja firmy decyduje o tym, jakie rodzaje filtrów będą używane i w jakiej kolejności będą podłączone.

Przepustowość oblicza się wg następującej wydajności jednostkowej w hl na $m^2 \cdot h$	
namułowy filtr świecowy	4- 6
namułowy filtr kartonowy	3- 4
filtr kartonowy	1-1,5
filtr wyjaławiający	0,8-1,0
filtr PVPP	8- 12.

Rys. 4.97 przedstawia kolejność urządzeń i postępowania przy filtracji piwa. Zostały pominięte te operacje, które dotyczą mniejszych ilości piwa, np. filtracji resztkowego piwa z drożdży metodą krzyżową (cross-flow-filtration).

Tanki buforowe

Dla uniknięcia skoków ciśnienia i umożliwienia równomiernego przebiegu filtracji instaluje się w linii filtracyjnej po jednym tanku buforowym na początku i na końcu. W celu zapewnienia lepszych warunków mycia tanki buforowe ustawia się najczęściej w pozycji stojącej i wyposaża w głowice myjące CIP.

Zastosowanie wirówki do wstępnego klarowania

Wysokie koszty zakupu ziemi okrzemkowej (ok. 900 do 1000 DM/t) i zagospodarowania zużytej zmuszają do poszukiwania sposobu jej oszczędności. Możliwość taka, stosowana w coraz większym stopniu przez duże browary, to włączenie na wstępie filtracji wirówki (rys. 4.97a). Przy pomocy wirówki można usunąć już znaczną część komórek drożdży i utrzymać obciążenie piwa drożdżami na stałym niskim poziomie.
Przez włączenie wirówki na początku drogi filtracyjnej zużycie ziemi okrzemkowej zostaje obniżone o 20-50% i dwukrotnie wydłuża się cykl filtracyjny (szarża).
Pomimo wysokich kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych wirówki, w wielu browarach zwracają się one w krótkim czasie. Wirowanie piwa nie ma żadnego ujemnego wpływu na jakość, jeśli uniknie się strat CO_2 i natlenienia.

Możliwości filtracji i stabilizacji piwa

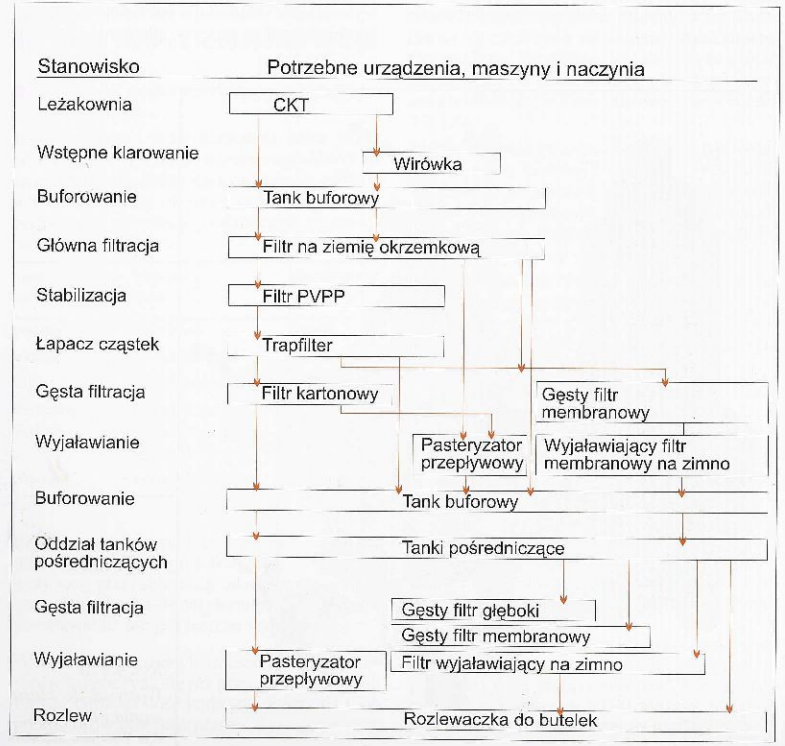
Jest dużo możliwości, żeby piwo filtrować i stabilizować biologicznie i koloidalnie.

Zasadniczo zawsze ma miejsce uszeregowanie filtrów w kolejności „od usuwających grubsze cząstki do usuwających bardzo drobne cząsteczki". Ze wzrastającą ostrością filtracji zawsze zmniejsza się wydajność, wobec czego przy wzrastającej ostrości filtracji należy zawsze zwiększać również powierzchnię filtracyjną.

Główna filtracja została opanowana przez filtry na ziemię okrzemkową, natomiast dalsze klarowanie, o ile w ogóle takie jest potrzebne, jest bardzo zróżnicowane.

Obok „normalnych" piw, pasteryzowanych termicznie w przepływie, wzrastającą rolę w szeregu krajów odgrywają obecnie obrabiane nie termicznie, filtrowane na zimno piwa „draft", dla wyjaławiania których przewidziane są cytowane filtry membranowe i wyjaławiające.

Rys. 4.97. Drogi postępowania przy filtracji piwa



Oddział tanków pośredniczących (oddział piwa filtrowanego)

Przefiltrowane piwo jest składowane w tankach pośredniczących, które są tankami buforowymi przy rozlewie piwa.

Tanki pośredniczące są zbiornikami ciśnieniowymi ze stali chromoniklowej bez elementów wbudowanych, które mogą pomieścić zapas filtrowanego piwa na trzy dni. Utrzymywana jest temperatura 0 do 1°C przy pomocy chłodzenia pomieszczenia. Ponadto obecnie często są izolowane i chłodzone indywidualnie.

Mycie wykonuje się metodą CIP; gładkość ścian i wylotu powinna odpowiadać najwyższym wymaganiom (elektryczne polerowanie powierzchni).

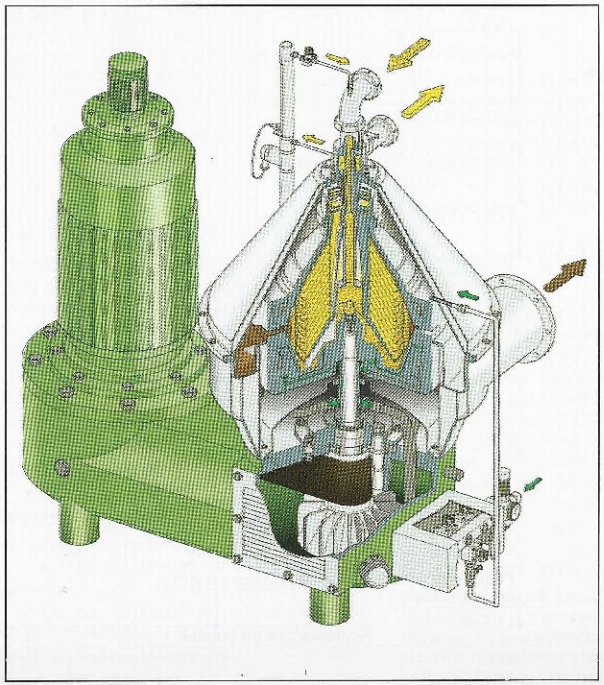
Należy unikać wszelkiego natlenienia (tank napełnić odgazowaną wodą, wypchnąć wodę czystym CO_2, napełniać od dołu).

4.6.4 Stabilność smakowa

Z upływem czasu smak piwa pogarsza się, nawet kiedy jest biologicznie utrwalone i stabilizowane koloidalnie: piwo smakowo starzeje się. Proces starzenia może być zauważalny już po krótkim czasie, lecz może to trwać także kilka miesięcy.

4.6.4.1 Karbonyle starzenia

Pomiędzy reakcjami, które mogą prowadzić do wytworzenia składników starzenia smaku, najistotniejszymi są procesy utlenienia. Zależnie



Rys. 4.97a
Wirówka do klarowania piwa
(Fa. Westfalia Separator AG, Oelde)

od upływu czasu i stopnia natlenienia występują różne formy starzenia. Najczęściej występującymi substancjami starzenia są karbonyle (karbonyle starzenia). Prawie wszystkie odznaczają się niską wartością progu smakowego. Karbonyle (aldehydy) są produktami utlenienia alkoholi i posiadają grupę -CHO. Istotnymi karbonylami starzenia są np.

- 2-metylopropanal
- 2-metylobutanal
- 3-metylobutanal i
- fenyletanal.

Powstają one

- przede wszystkim przez utlenienie wyższych alkoholi,
- w starym piwie ich oddziaływanie na smak wzmacnia się,
- cechuje je słodkawo-słodowy aromat (posmak chleba).

Jest pewna ilość takich karbonyli, które jeden po drugim i obok siebie wytwarzają różne niuanse smakowe, które następnie znów znikają lub nakładają się na inne; są one wywołane przez różne substancje i odznaczają się następującym smakiem:

Smak jak	Wywołany przez	Wyczuwalny przy
porzeczka	natlenienie	5mg/l
tektura	rozkład tłuszczu	0,1- 0,3 µg
chleb	związki Maillarda	
słodkawo-słodowy	rozkład Streckera i utlenienie wyższych alkoholi	
Sherry	związki Maillarda	

Zapach porzeczki przy dużym obciążeniu tlenem występuje już po kilku dniach, i jest wywoływany przez substancję aromatyczną, mrówczan 3-merkapto-3-metylobutylowy, którego powstawanie nie jest jeszcze wyjaśnione.

Wytwarzanie karbonyli starzenia i ich prekursorów rozpoczyna się już przy produkcji słodu i piwa. Główna ilość karbonyli starzenia i ich prekursorów powstaje przez:

- samoutlenienie nienasyconych kwasów tłuszczowych,
- enzymatyczny rozkład nienasyconych kwasów tłuszczowych,
- utlenienie wyższych alkoholi,
- reakcje Maillarda,
- utleniający rozkład izohumulonów i in.

Z substancji, które są podstawą tworzenia karbonyli starzenia, występują szczególnie dwa:

- **nienasycone kwasy tłuszczowe i**
- **związki Maillarda.**

Kwasy tłuszczowe

Podczas kiełkowania i zacierania kwasy tłuszczowe są częściowo rozkładane przez lipazy. Oprócz tego, jak dalece dopuszczają to niższe temperatury i wyższa wartość pH, lipooksygenazy rozkładają już kwasy tłuszczowe (p. rozdz. 3.2.1.6).

Przez utlenienie kwasów tłuszczowych powstają prekursory karbonyli starzenia. Przy czym szczególnie aktywnie i szybko reagują nienasycone kwasy tłuszczowe z wytwarzaniem nadtlenku, który w końcu powoduje wytworzenie łańcuchowej reakcji rodnikowej.

Nie można jednak również przeoczyć, że kwasy tłuszczowe, szczególnie nienasycone kwasy tłuszczowe, jako główne składniki błony komórkowej, mają duży wpływ na wytwarzanie biomasy drożdży podczas fermentacji.

Znaczny wpływ na wytwarzanie starego smaku mają *związki Maillarda*, które powstają przede wszystkim podczas suszenia słodu i gotowania brzeczki. Istotną rolę odgrywa wytwarzanie prekursorów (aminokwasów) i termiczne obciążenie słodu przy suszeniu i brzeczki podczas i po gotowaniu.
Znaczna część produktów reakcji Maillarda wytwarza się już przy słodowaniu i nie można jej później już zredukować. Ważny składnik jakości piwa jest więc wytworzony już wcześniej i należy to brać pod uwagę.
Karbonyle starzenia mają nie tylko niską wartość progu smakowego, lecz w obciągniętym piwie ich ilość jeszcze wzrasta. W oparciu o badania pokazano, w jakim zakresie te składniki wzrastają (106). (Dane w mg/l):

składniki	świeże piwo	zestarzałe piwo
2-metylobutanal	60	180
3-metylobutanal	20	110
3-metyl-butan-2-on	16	110
fenyletanal	45	250
benzaldehyd	4	259
2-furfural	40	3000
γ-nonalakton	60	150

Pomiędzy rozlewem a spożyciem piwa mijają tygodnie, ewentualnie miesiące, więc potrzebne jest uzyskanie już w świeżym piwie informacji o prawdopodobnej jego stabilności, aby wyciągnąć wnioski dla dalszego postępowania.

Obecnie jest możliwe metodami forsowania (154) szybkie zestarzenie piwa i uzyskanie w przeciągu bardzo krótkiego czasu informacji o rodnikowych reakcjach w piwie.

We wszystkich przypadkach tlen wspomaga wytwarzanie karbonyli starzenia.

Tlen jest więc głównym wrogiem piwa!

Ponieważ tlen jest czynnikiem wywołującym wytwarzanie karbonyli starzenia lub ich prekursorów, należy konsekwentnie unikać dostępu tlenu od początku wytwarzania piwa aż do jego obciągu. Należy jednakże zwrócić uwagę na to, że szereg przemian przebiega również bez dostępu tlenu.

4.6.4.2 Czynniki wspomagające stabilność smakowś

Od początku procesu konieczne jest wykluczenie wszystkich czynników, które pomniejszają stabilność smakową i wspomaganie wszystkich czynników, które poprawiają stabilność smakową.

Dla dobrej stabilności smakowej wspomagającymi są następujące czynniki (151, 183):

Przy słodowaniu:

- stosowanie odmian jęczmienia ze skłonnością do niskiego stopnia rozluźnienia białkowego,
- niski stopień namoczenia,
- redukcja natleniania podczas słodowania od trzeciego dnia kiełkowania,
- utrzymywanie stopnia rozluźnienia białkowego poniżej 41% (liczba Kolbacha),
- niskie temperatury więdnięcia (30-40°C)
- i dłuższy czas wstępnego suszenia,
- niskie termiczne obciążenie przy dosuszaniu (5 h w 85°C do 3 h w 90°C),
- utrzymywanie liczby tiobarbituranów (LTB) w słodzie < 14.

Przy zacieraniu

- nawilżanie łuski słodu gorącą, nasyconą parą przed śrutowaniem,
- unikanie natleniania śruty podczas mieszania z wodą,
- stosowanie na początku temperatury 60 do 62°C,
- pH zacieru poniżej 5,4,
- zakwaszanie biologiczne kwasem mlekowym do wartości pH 5,2,
- bezstopniowa regulacja mieszadła i pompy zacierowej,
- unikanie natleniania przy zacieraniu, ew. stosowanie nagazowywania śruty azotem,
- przepompowywanie zacieru dołem, z minimalnym natlenianiem,
- w przewodach żadnych wąskich krzywizn, żadnego zaciągania powietrza,
- przepompowywanie zacieru do kadzi filtracyjnej od dołu.

Przy filtracji zacieru i gotowaniu brzeczki:

- krótkie czasy kontaktu brzeczka/wysłodziny i woda/wysłodziny,
- dopływ od dołu, unikanie napowietrzania gorącej brzeczki,
- minimalizowanie termicznego obciążenia przed gotowaniem brzeczki i po gotowaniu,
- ograniczenie czasu przetrzymywania gorącej brzeczki w whirpoolu do poniżej 30 min.

Przy fermentacji i dojrzewaniu:

- mocne napowietrzanie zimnej brzeczki i drożdży,
- wczesne oddzielanie drożdży osiadających w stożku „unitanku",
- niskie temperatury leżakowania bez zbyt długich okresów leżakowania,
- unikanie wszelkiego natlenienia od filtracji aż do obciągniętego piwa w butelce lub kegu,
- dążenie do obniżenia ogólnego O_2 w butelce/puszce < 0,15 mg/l.

Dla zapobieżenia dalszemu utlenieniu stosuje się – (w krajach, w których nie obowiązuje prawo czystości Reinheitsgebot) – kwas askorbinowy lub inne środki redukujące.

4.6.4.3 Unikanie natleniania podczas filtracji i rozlewu

Dla uniknięcia natleniania na drodze od wylotu z tanku leżakowego poprzez urządzenie filtracyjne, tanki pośredniczące aż do rozlewu, trzeba pamiętać o szeregu spraw:

Na wylocie z tanku leżakowego piwo zawiera 0,00 do 0,01 mg O_2/l.

Przyrost tlenu na wlocie do rozlewaczki może wynosić najwyżej 0,01 do 0,02 mg/l.

Możliwe źródła natlenienia na tej drodze to (152):

- gaz sprężający do opróżniania tanku leżakowego,
- zawiesina pomocniczego środka filtracyjnego i urządzenie filtracyjne,
- przed- i popiwki podczas filtracji,
- dokarbonizowanie piwa,
- skład gazu sprężającego przy napełnianiu i opróżnianiu tanku pośredniczącego,
- uszczelnienia wałów pomp,
- przewody rurowe, węże i armatura,
- urządzenia, jak pompy, pasteryzatory w przepływie i
- wszystkie nieszczelności (gdzie wycieka piwo, tam może przenikać tlen).

Środki do usuwania tlenu w naczyniach i przewodach rurowych

Konieczne środki do uniknięcia względnie zmniejszenia natlenienia zostały, względnie zostaną, opisane w stosownych rozdziałach. Szczególnie zwraca się uwagę na konieczne zabiegi przy „nabijaniu" gazem sprężającym pustych naczyń i przewodów:

Zazwyczaj naczynie zostaje najpierw napełnione wodą i następnie woda od góry wypchnięta przez CO_2. Ponieważ woda zawiera większe ilości rozpuszczonego tlenu, rozpuszczają się one częściowo znowu w CO_2 i tym samym podwyższają zawartość tlenu w tanku. Dlatego należy tę wodę uprzednio odgazować przez:

- przemywanie CO_2 (stripping), termiczne odgazowanie,
- metodą membranową pustych włókien, próżniowe odgazowanie lub
- metodą redukcji wodorem (katalitycznie),

zanim się ją będzie usuwać z tanku przy pomocy CO_2. Odgazowanie kosztuje, nawet jeśli wodę używa się ponownie. Odgazowana woda powinna być przechowywana w atmosferze CO_2.

Usunięcie tlenu z rurociągów, armatury, krzywizn, przestawnych łuków i in. może sprawiać znaczne trudności, gdyż w określonych miejscach mogą się tworzyć kieszenie powietrzne, które spowodują natlenienie piwa. Typowym przykładem są *przestawne łuki,* które montuje się wypełnione powietrzem. Odpowietrzenie jest tu możliwe zaworem odpowietrzającym.

Trudniejsze jest to w rurociągach, które pionowo zmieniają wielokrotnie kierunek lub przebiegają na długich odcinkach w poziomie. Wprawdzie duża prędkość przepływu umożliwia przepchnięcie pęcherzy powietrza, powoduje jednak znacznie wyższe zużycie wody – również przy użyciu wody odgazowanej.

Możliwe jest także wypłukanie powietrza z przewodów i zbiorników z dwutlenkiem węgla. Rurociąg można wtedy nabić zaraz CO_2. Wariant ten jest ze względu na koszty korzystniejszy niż użycie odgazowanej wody.

Duże znaczenie przypisuje się czystości CO_2. Czystość CO_2 99,97 % nie wystarcza już dzisiaj, gdyż następuje za duże natlenienie (153). Żeby uniknąć natlenienia, należy obecnie stosować CO_2 o czystości 99,998 %.

4.6.4.4 Środki dla uniknięcia ujemnego wpływu na stabilność smakową po obciągu

Po obciągu często piwo zostaje poddane działaniu czynników ujemnie wpływających na sta-

bilność smakową, na które browar często ma tylko pośredni wpływ:

- wyższe temperatury składowania w handlu pogarszają trwale profil smakowy piwa,
- częste poruszanie działa w taki sam sposób,
- wpływ światła prowadzi do wytwarzania posmaku świetlnego w piwie, który jest bardzo nieprzyjemny. Posmak świetlny wytwarza się w taki sposób, że pod wpływem światła zostaje odszczepiony, z bocznego łańcucha izo-α-kwasu chmielu, poprzez przykro pachnący merkaptan.

Odszczepienie bocznego łańcucha następuje poprzez indukcję świetlną przy długości fali 350 do 500 µm. To jest podstawa do tego, żeby z zasady piwo rozlewać do brązowych butelek, których kolor w znacznym stopniu – ale nie zupełnie - chroni przed tymi przemianami (patrz rys. 5.1). Zielone butelki chronią piwo nie wystarczająco przed posmakiem świetlnym; jeżeli pomimo to ze względów reklamowych piwo obciąga się do zielonych lub innego koloru butelek, należy je chronić przed światłem przez odpowiednie opakowanie.

Światło słoneczne i dzienne szkodzi piwu bardziej niż sztuczne. Dlatego należy wywierać nacisk na spedytorów i handlarzy, żeby piwa nie wystawiali – także w handlu – w dzień na bezpośrednie działanie światła; również w transporcie! Lecz nawet długotrwałe światło sztuczne uszkadza smak piwa.

Obecnie są również browary, które rozlewają swoje piwo z reklamowych powodów do bezbarwnych butelek. O ile nie uwzględniono przy tym z góry w planie znacznego obniżenia jakości, wtedy do produkcji tych piw

- nie używano żadnego chmielu lub tylko bardzo małe ilości lub
- chmielono tetrahydro-izo-ekstraktem (p. rozdział 1.2.7.2.6).

Stabilność smakowa piwa jest ważnym czynnikiem dla utrzymania i rozszerzenia grona stałych klientów browaru. Dlatego koniecznością jest stanowcze zobowiązanie wszystkich pracowników browaru do współpracy w utrzymaniu stabilności smakowej.

Ważne jest również, żeby pracownicy na kierowniczych stanowiskach browaru stale sprawdzali, jakiej jakości ich piwo jest ostatnio oferowane w handlu detalicznym, po tym jak postało już w różnych hurtowniach. **Klient jest królem – on powinien ostatecznie kupować i pić nasze piwo.**

Według jakości piwa w sprzedaży określa on swoją opinię i według niej postępuje - nasze zdanie nie jest tu ważne!

W zasadzie zawsze najlepiej smakuje piwo świeże!

Wymagana w wielu krajach data przydatności do spożycia nic a nic nie mówi o jakości piwa, tym bardziej że piwa na skutek stabilizacji są długo klarowne. Dużo ważniejsza jest – zarówno dla browaru, jak również dla klienta – data obciągu, ponieważ gwarantuje świeże i smaczne piwo.

Ważne jest także, żebyśmy sami dokładnie rejestrowali, jak szybko lub wolno ulega zepsuciu smak naszego piwa. Jeżeli będziemy próbowali zawsze tylko świeże piwo własne, nie dowiemy się tego. Nasi klienci piją piwo, kiedy już (ostrożnie powiedziane) postało ono tu i tam. Bez sensu jest chwalenie świeżego, a więc dobrego własnego piwa, kiedy klienci zmuszeni są pić tylko zestarzałe i tym samym mają całkiem inne zdanie o naszym piwie (o degustacji p. także 7.4.1).

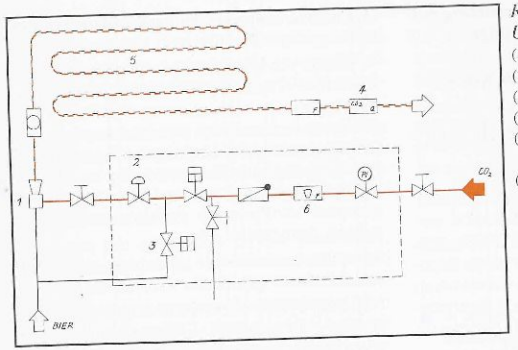
4.7 Karbonizacja piwa

Normalnie traktowane piwo zachowuje swoją zawartość CO_2 aż do butelki. Może się jednak zdarzyć, że zawartość CO_2 została obniżona na skutek niższego ciśnienia lub wyższej temperatury i w tej sytuacji przed obciągiem trzeba ją uzupełnić.

W takim przypadku należy dodać odpowiednią ilość CO_2. Proces ten określa się jako karbonizacja (z łacińskiego carbo = węgiel dwutlenek węgla). W tym celu włącza się w przepływ piwa urządzenie do karbonizacji.

W wielu browarach naturalną zawartość CO_2 dostosowuje się do wymagań piwa kegowego lub puszkowego, a piwo butelkowe dokarbonizowuje się. W innym razie piwa z różną zawartością CO_2 muszą być produkowane pod różnym ciśnieniem czopowym.

W urządzeniu karbonizacyjnym (rys. 4.98 i 4.98a).



Rys. 4.98
Urządzenie do karbonizacji
(1) dysza Venturiego
(2) zawór regulacyjny do CO_2
(3) zawór CIP
(4) czujnik CO_2
(5) odcinek rozpuszczania (statyczny mieszalnik)
(6) miernik ilości CO_2

CO_2 zostaje rozpylone w rurociągu piwnym i rozpuszcza się w piwie w następnym odcinku, który przeważnie jest wykonany w postaci pętli. W zasadzie ważne jest to samo, co przy napowietrzaniu brzeczki:

- CO_2 musi być dokładnie rozpylone i mieć możliwość rozpuszczenia się w piwie;
- związanie się CO_2 (rozpuszczenie) jest początkowo luźne; mocne związanie z piwem wymaga czasu.

Urządzenie do karbonizacji zawiera także zawór utrzymywania stałego ciśnienia (konstant), który jest potrzebny, gdyż z napełnianiem się tanku pośredniczącego zmienia się stale ciśnienie statyczne.

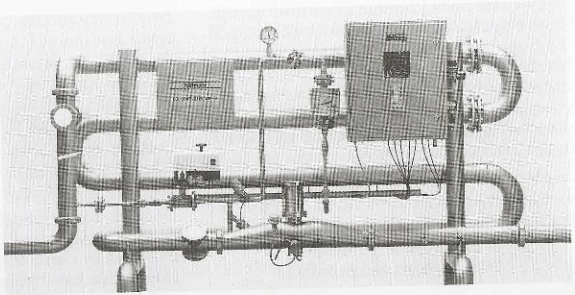
Ze względu na jakość należy wymagać, aby był najwyższy stopień czystości CO_2, gdyż wprowadzony na tym etapie tlen wyrządza wielkie szkody.

Ponieważ za urządzeniem do karbonizacji nie ma już zainstalowanego żadnego filtra, w urządzeniu tym musi być utrzymany najostrzejszy reżim czystości. Z tego punktu widzenia szczególnego znaczenia nabiera sposób wpowadzenia CO_2: Urządzenie do rozpylania musi się dać łatwo myć; świece ze spiekanego metalu i podobne przyrządy, które z trudem można utrzymać stale w higienicznym stanie nie powinny być stosowane w żadnym przypadku.

Dlatego wskazane jest, aby pracować w miarę możliwości bez karbonizacji.

4.8 Specjalne metody wytwarzania piwa

Jest kilka metod, z pomocą których można osiągnąć określone efekty. Należą do nich szczególnie:



Rys. 4.98a
Urządzenie do karbonizacji
(foto Haffmans GmbH, Venlo, NL)

- zacieranie z podwyższoną zawartością ekstraktu brzeczki podstawowej (high gravity brewing),
- wymrażanie wody z piwa (piwo lodowe)

i

- metody zmniejszania zawartości alkoholu w piwie.

4.8.1 High gravity brewing

Jest możliwe wytwarzanie brzeczki ze znacznie wyższą zawartością ekstraktu niż to odpowiada wytwarzanemu piwu. Po fermentacji można takie piwo rozcieńczyć wodą do wymaganej zawartości ekstraktu. Metodę nazywa się „high gravity brewing", czyli HGB.

Przyczyną wprowadzenia metody może być za mała produkcja warzelni, która stanowi „wąskie gardło" browaru. Główna zaleta polega jednak na tym, że dodawana później ilość wody do rozcieńczenia nie musi być podgrzewana i gotowana. Daje to znaczne korzyści ekonomiczne. Zróbmy krótko wstępne przeliczenie:

Browar wybija 300 hl 11% brzeczki. Tym samym w kotle znajduje się około (300·11=) 3300 kg ekstraktu. Decydując się na wybicie warki z zawartością 15% ekstraktu, dla 3300 kg ekstraktu potrzebne będzie wybicie (3300 : 15 =) 220 hl; co w naszym przypadku zawsze będzie 80 hl = 26.7% mniej niż uprzednio do podgrzewania, gotowania i chłodzenia.

Ta ogromna oszczędność energii pokazuje jednak także, że już widoczne oszczędności można osiągnąć również przy mniejszym podwyższeniu zawartości ekstraktu, mniej więcej do 13 lub 14%.

Oczywiście podwyższenie zawartości ekstraktu w brzeczce wymaga odpowiedniego podwyższenia zawartości ekstraktu przednicj brzeczki, która na ogół jest o 4 do 6% wyższa niż zawartość ekstraktu w wybijanej brzeczce, gdyż potrzebna jest jeszcze odpowiednia ilość wody wysładzającej do wyługowania wysłodzin.

Jeżeli pozostaniemy przy naszym przykładzie, to przednia brzeczka wyniesie ok. 19-20%. Wg przybliżonej reguły zacier sporządza się:

1 dt zasypu + 3 hl wody =
20 proc. brzeczka przednia.

W zacierze z samego słodu na ogół nie stwarza to żadnych problemów.

W niektórych krajach po prostu podwyższa się zawartość ekstraktu przez dodatek cukru, handlowego syropu sacharozowego lub skrobiowego. Syrop sacharozowy przedstawia czysty fermentujący cukier; dzięki czemu podwyższa końcowy stopień odfermentowania w piwie, co należy uwzględniać w metodach zacierania. W syropach skrobiowych podaje się zawartość cukrów fermentujących.

Syrop lub cukier dodaje się dopiero ok. 10 min przed końcem gotowania w kotlę warzelnym.

Najlepiej byłoby oczywiście dodawać ekstrakt słodowy do brzeczki. Ekstrakt słodowy jest wytwarzany przez zagęszczenie brzeczki w próżni i sprzedawany jako gęsta płynna masa (p. także rozdz. 3.36).

Brzeczki z wyższą zawartością ekstraktu filtrują się łatwiej w filtrach zacierowych nowej generacji niż w kadziach filtracyjnych. Wyższa zawartość ekstraktu w przedniej brzeczce i większe ilości wysłodzin są także czynnikami ograniczającymi w nowoczesnych kadziach filtracyjnych.

Ważne jest prócz tego, że więcej czasu zyskuje się, żeby utrzymać małą zawartość ekstraktu w cienkuszu.

Dodatek zimnej wody ma miejsce albo przed fermentacją, po fermentacji, albo dopiero po filtracji.

Jeżeli dodaje się wodę przed fermentacją, przebiega ona normalnie i raczej nie trzeba się obawiać problemów.

Przy dodaniu po fermentacji burzliwej zyskuje się (*Traci się jednak główną korzyść, jaką jest zwiększenie produkcji bez zwiększania pojemności tanków. A.B.*) – gdyż nastąpiło w międzyczasie zmniejszenie objętości piwa na skutek zniknięcia piany i tanki można całkowicie wypełnić (*pozostawiając tylko 1-2% wolnej przestrzeni. Przyp. tł. A.B.*).

Dodatek zimnej wody przed lub po filtracji, jak zobaczymy, wymaga najwyższej uwagi, żeby zagwarantować pełną jakość piwa.

Dodatek wody przed fermentacją ma miejsce z reguły przy wymienniku płytowym. Woda musi być o takiej samej temperaturze jak brzeczka. Dozowanie musi być jednakowe przez cały czas przepływu brzeczki, aby uzyskać równomierne wymieszanie. Jest niemożliwe uzyskanie równomiernego wymieszania, na przykład przez dodanie określonej ilości wody do napełnionego tanku.

Woda ta powinna być zmiękczona i absolutnie nienaganna biologicznie. Nie potrzeba jej odpowietrzać, gdyż drożdże wykorzystają zawarty w niej tlen w kilka minut. Tak więc można proces prowadzić dalej.

Możliwe jest również, i zwykle stosowane, przefermentowanie wysokoekstraktywnej brzeczki i dopiero wtedy jej rozcieńczenie. Wprawdzie daje to niewiele oszczędności energii, ponieważ ciepło fermentacji musi być i tak odprowadzone, ale oszczędza się na pojemności tanków.

Jednak odfermentowanie wysoko ekstraktywnej brzeczki trwa dłużej i wytwarza się więcej ubocznych produktów fermentacji, przede wszystkim estrów i wyższych alkoholi. Zwłaszcza wyższa zawartość estrów jest zauważalna w ponownie rozcieńczonym piwie, jeśli nie udaje się przyspieszyć fermentacji i poprawić rozmnażania. Do tego należy stosować:

- podwyższoną dawkę drożdży,
- lepsze napowietrzenie drożdży,
- intensywne napowietrzanie brzeczki przy pomocy statycznego mieszalnika lub innego urządzenia do napowietrzania,
- w kilka godzin po napełnieniu tanku ściągnąć osiadły osad i próbować przemieścić drożdże z dolnego obszaru na górę, np. przez wdmuchiwanie powietrza,
- jak to tylko możliwe, wcześnie odbierać drożdże i po ich napowietrzeniu ponownie użyć do nastawienia,
- wskazane jest starać się odpowiednio wcześnie o świeże drożdże z propagacji,
- ponadto wskazane jest zastosowanie takich drożdży, które wytwarzają mniej ubocznych produktów fermentacji lub
- używać stymulujące sole dla drożdży (yeast food).

Generalnie w wyższych temperaturach i przy wyższej zawartości ekstraktu w brzeczce podstawowej wytwarza się więcej ubocznych produktów fermentacji.

Jako wartość graniczna obowiązuje zawartość ekstraktu w brzeczce podstawowej 14,5-15,0%; powyżej tej wartości produkty uboczne stają się już wyczuwalne w gotowym piwie.

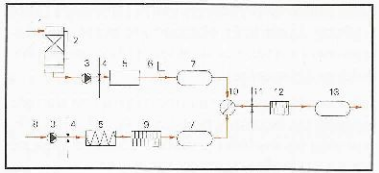
Dodatek wody po fermentacji z reguły ma miejsce w drodze do filtra lub dopiero za filtrem (rys. 4.99). Jest to najbardziej skomplikowana część całego procesu, gdyż ta woda musi odpowiadać wielu wymaganiom. Woda ta musi:

- w chemicznym składzie odpowiadać wodzie technologicznej do piwa (wartość pH, zawartość soli),
- być schłodzona do - 1°C,
- wyjałowiona na filtrze wyjaławiającym,
- całkowicie odgazowana (w próżni, przemyta CO_2),
- nakarbonizowana do zawartości CO_2 w piwie, i
- dokładnie dozowana przez cały czas przepływu piwa.

Dozowanie tej wody wymaga skomplikowanych urządzeń (*jak np. ALDOX firmy Alfa Laval. Przyp. tł. AB*). Potrzebne do tego nakłady finansowe są opłacalne tylko w dużych browarach.

Smak piwa wyprodukowanego metodą high-gravity-brewing po rozcieńczeniu wodą trudno odróżnić od normalnego, jeżeli ekstrakt wyjściowej brzeczki podstawowej nie przekracza 14,5 do 15%.

W ogóle przez rozcieńczenie cierpi piana i to tym bardziej, im więcej się rozcieńcza. W odniesieniu do goryczek chmielu, jak już podano, można przeprowadzić korektę również dodając izomeryzowane ekstrakty chmielowe lub esencję aromatu chmielowego. Takie dodatki są niedopuszczalne przez „Reinheitsgebot".



Rys. 4.99. Wytwarzanie pożądanego stężenia przez dodatek wody
(1) woda technologiczna do piwa
(2) odpowietrzacz próżniowy
(3) pompa
(4) dodatek CO_2
(5) płytowy wymiennik cieplny
(6) przyrząd do pomiaru tlenu
(7) tank buforowy
(8) piwo z tanku pośredniczącego
(9) filtr świecowy
(10) stanowisko mieszania
(11) pomiar CO_2
(12) trapfilter
(13) tank buforowy

4.8.2 Piwo „lodowe"

Jak wiadomo, woda zamarza w 0°C, piwo dopiero poniżej tej temperatury, a mianowicie w zależności od zawartości ekstraktu i alkoholu:

Ekstrakt brzeczki podstawowej 11,5%
Zawartość alkoholu 4,6% obj.
Temperatura zamarzania -2,3°C

Ekstrakt brzeczki podstawowej 15,5%
Zawartość alkoholu 6,0% obj.
Temperatura zamarzania -2,9°C

Piwo nie zamarza jednorodnie (homogenicznie), lecz najpierw zaczyna zamarzać woda. Kiedy temperatura obniży się poniżej 0°C, woda wytrąca się na najzimniejszych częściach jako lód. Z wodą wytrącają się w lodzie także niektóre nierozpuszczalne w zimnie części składowe piwa, zwłaszcza polifenole i białka, podczas gdy alkohol z innymi substancjami ekstraktu wzbogacają się.

W taki sposób piwowarzy produkowali dawniej chętnie „swojego" lodowego koźlaka, przy czym beczkę koźlaka (możliwie metalową) wstawiali do zbiornika z solanką lub w zimną noc zimową pozostawiali na zewnątrz: na ścianach beczki wytwarzała się wtedy coraz grubsza warstwa lodu, gdy tymczasem wewnątrz gromadził się koźlak z coraz wyższą zawartością alkoholu. Ta niekotrolowanie wysoka zawartość alkoholu i przyjemnie miękki, łagodny smak czynił takiego lodowego koźlaka „niebezpiecznym" napojem.

Dla produkcji lodowego piwa jest konieczne wytrwałe poruszanie podczas wymrażania i tworzenia się dużych kryształów lodu. W tym przypadku tworzą się w wymrażanym piwie najpierw małe kryształy lodu, które przez odpowiedni ruch i odkładanie się na większych kryształach coraz bardziej je powiększają. Dzięki temu staje się możliwe, żeby je odfiltrować lub oddzielić w hydrocyklonach.

Powstałe piwo ma zawsze wyższą zawartość alkoholu niż piwo wyjściowe; następnie dodaje się odgazowanej wody wysyconej CO_2 i nastawia wymaganą zawartość alkoholu lodowego piwa. Zawartość alkoholu lodowego piwa przeważnie jest nieco wyższa niż w piwie wyjściowym i określana przez wytwarzający je browar.

Przez częściowe usunięcie polifenoli i substancji białkowych uzyskane tym sposobem piwo lodowe ma smak bardziej miękki i zaokrąglony; także piana i stabilność w porównaniu z piwem wyjściowym są przeważnie lepsze.
Nazwa piwo lodowe odnosi się więc do sposobu wytwarzania, wcale nie ma związku z jego temperaturą!
Rys. 4.100 pokazuje zasadę urządzenia do lodowego piwa (Labatt/Niro): Odfermentowane do końca piwo zostaje schłodzone na wymienniku i drożdże usunięte na wirówce. Następnie jest schładzane dalej na wymienniku głębokiego wychładzania i wtedy przepompowane przez trzy dalsze wymienniki ciepła, w których temperatura piwa obniża się do -4 °C i zostają wytworzone małe kryształy lodu. W przyłączonym oddzielaczu piwo jest mechanicznie poruszane i bardzo zimne małe kryształy lodu nakładane na istniejące duże; przy tym łączą się z nimi do wielkości nadającej się do filtracji. W tym oddzielaczu pozostaje zachowana stale określona (procentowo) ilość tego lodu. Lód ten usuwa się teraz przez filtrację lub w hydrocyklonie, gdy w tym czasie

piwo wzbogacone w alkohol zostaje wpierw odpompowane do tanku do przechowania, zanim zostanie nastawione karbonizowaną wodą na ustaloną zawartość alkoholu.

Główną zaletą metody jest odczuwalna poprawa jakości piwa, podczas gdy podwyższoną zawartość alkoholu można osiągnąć także, stosując "high gravity brewing". Techniczne nakłady dla metody piwa lodowego opłacają się tylko, kiedy można osiągnąć odpowiednio wysoką cenę za produkt.

4.8.3 Metody usuwania alkoholu

Można podać dużo powodów usuwania alkoholu częściowo lub całkowicie z piwa:

– bezalkoholowe piwo mogą spożywać również kierowcy, bez obawiania się ujemnych skutków,

– są religijne zasady zakazujące alkoholu.

Usunięcie alkoholu może być całkowite lub tylko częściowe; ustawodawstwa w różnych krajach są co do tego bardzo zróżnicowane.

Usuwanie alkoholu z piwa odbywa się różnymi sposobami. Powszechnie znane można uporządkować w trzy grupy:

- **membranowe metody usuwania,**
- **metody termiczne i**
- **przerywanie fermentacji lub unikanie wytwarzania alkoholu.**

Wszystkie te grupy są stosowane i mają swoje zalety i wady, które powinno się rozpatrywać oddzielnie.

4.8.3.1 Membranowe metody usuwania

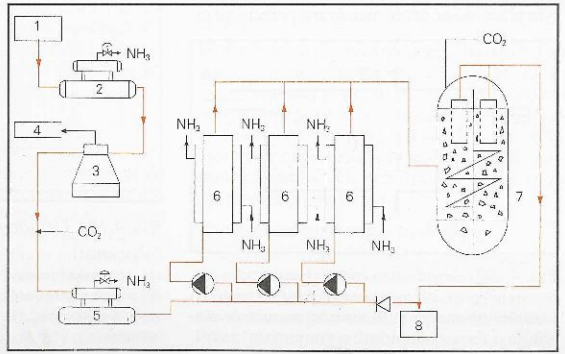
W membranowych metodach usuwania piwo przeprowadza się przez bardzo cienką folię z celulozy bawełnianej lub octanu celulozy i przy tym usuwa alkohol. W metodach oddzielania alkoholu są używane różne fizyczne sposoby.

4.8.3.1.1 Odwrócona osmoza

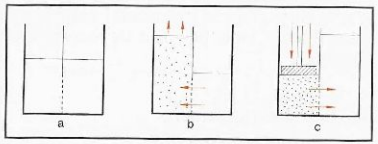
Co to jest odwrócona osmoza, albo najpierw osmoza, może zademonstrować następujące doświadczenie:

Naczynie zostaje przedzielone przez środek, w dolnej części pozostaje otwór, który zamykamy membraną. Membrana ta jest o tak małych porach, że przepuszcza tylko czystą wodę. Błony, które mają takie drobne pory, że dopuszczają tylko przenikanie cząstek określonej wielkości nazywamy półprzepuszczalnymi.

Teraz napełniamy naczynie całkowicie wodą, która po obu stronach membrany sięga do równej wysokości (rys. 4.101). Do lewej części naczynia dodajemy ładunek soli i rozpuszczamy ją. Cząsteczki soli, które są za duże, żeby przejść przez membranę, ciągną wodę przez



Rys. 4.100
Wytwarzanie piwa lodowego (Labatt Niro)
(1) z fermentacji/dojrzewania,
(2) schładzanie piwa,
(3) wirówka,
(4) drożdże,
(5) schładzanie piwa,
(6) wymienniki głębokiego schładzania piwa,
(7) oddzielacz lodu,
(8) do rozlewu



Rys. 4.101. Osmoza/odwrócona osmoza
(a) stan równowagi, (b) osmoza, (c) odwrócona osmoza

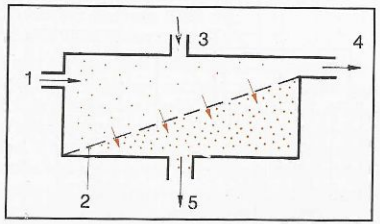
membranę tak długo na swoją stronę, aż stężenie rozpuszczalnych substancji po obu stronach jest takie same. Występujące przy tym hydrostatyczne ciśnienie wyższego słupa cieczy, przy którym proces ustaje, to ciśnienie osmotyczne (= ciśnieniu równowagi) pomiędzy wchodzącymi cząsteczkami wody i cząsteczkami, które na skutek ciśnienia hydrostatycznego wychodzą.

Proces ten nazywa się osmozą i jest doskonale znany, gdyż wszystkie procesy życiowe, także np. w drożdżach, są regulowane osmotycznie.

Teraz tłokiem dajemy ciśnienie na lewej stronie naczynia i ciśniemy przeciwko ciśnieniu osmotycznemu czystą wodę przez membranę na prawą stronę (c). Ten proces jest odwrotnością osmozy i jest nazywany odwróconą osmozą.

Zasada zmniejszania zawartości alkoholu za pomocą odwróconej osmozy

Przy usuwaniu alkoholu za pomocą odwróconej osmozy (rys. 4.102-1) piwo jest przepompowywane porcjami lub w sposób ciągły przez moduły rozdzielające. Woda i alkohol są przy tym przeciskane przez membranę przeciwko ciśnieniu osmotycznemu (2). Natomiast wszystkie większe cząsteczki, jak substancje smakowe i aromatyczne, pozostają w piwie. Objętość piwa należy ciągle uzupełniać odsoloną i odgazowaną wodą (3). Dzięki temu stale zmniejsza się zawartość alkoholu. Wytwarzanie ciśnienia przy pomocy pompy powoduje także podgrzewanie, więc należy urządzenie chłodzić, żeby temperatura piwa nie wzrosła powyżej 15°C.



Rys. 4.102. Zasada odwróconej osmozy
(1) dopływ piwa, (2) membrana, (3) dodatek wody, (4) odalkoholizowane piwo, (5) rozcieńczony roztwór alkoholu

W metodzie tej przepływ jest styczny do membrany i powierzchnia membrany dzięki występującym siłom ścinającym jest spłukiwana do czysta. Metodę tego rodzaju nazywa się **filtracją krzyżową lub cross-flow-filtration** (patrz rozdz. 4.5.2.6).

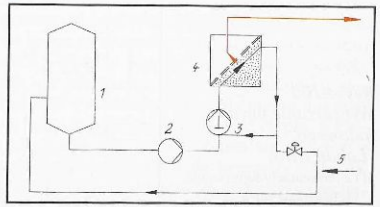
Odprowadzona przez membranę mieszanina, permeat (5), zawiera alkoholu 1,5-1,8%. Permeat używa się np. do ługowania wysłodzin.

Przeprowadzenie odwróconej osmozy (37)

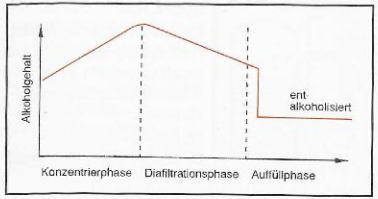
Piwo zostaje doprowadzone poprzez wysokociśnieniową pompę i pompę pracującą w obiegu do modułów, które przeważnie ujęte są w grupach po sześć. Częściowo odalkoholizowane piwo na początku jest zawracane do tanku przez zawór redukcyjny, który redukuje wysokie ciśnienie 40 bar w modułach. W tej fazie nie dodaje się jeszcze żadnej wody.

Podczas odalkoholizowania rozróżnia się trzy fazy:

- koncentracji,
- diafiltracji i
- uzupełnienia.



Rys. 4.103. Urządzenie do odwróconej osmozy (okresowa)
(1) tank pośredniczący, (2) wysokociśnieniowa pompa, (3) pompa w obiegu,(4) moduły filtracyjne, (5) dodatek wody diafiltracyjnej, (6) permeat, (7) zawór utrzymujący ciśnienie



Rys. 4.104. Fazy dealkoholizacji metodą odwróconej osmozy
f. koncentracji f. diafiltracji f. uzupełniania odalkoholizowane
y) zawartość alkoholu

Faza koncentracji

Przy przechodzeniu przez moduły nagromadza się ok. 2,2 l permeatu na hl piwa. Przez to podwyższa się zawartość alkoholu i stężenie piwa (rys. 4.104).

Kilka substancji zawartych w piwie utrudnia od określonego stężenia przepuszczalność membran, szczególnie żel β-glukanowy, co ogranicza dalszą koncentrację.

Faza diafiltracji

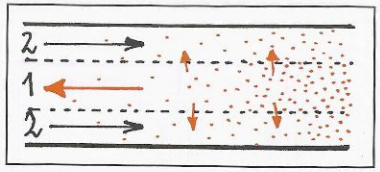
Podczas fazy diafiltracji odciągnięta ilość permeatu jest tak długo uzupełniana odsoloną wodą, aż zostanie osiągnięta wymagana zawartość alkoholu.

Faza uzupełnienia

Koncentrat zostaje teraz uzupełniony do pierwotnej objętości wyjściowego piwa i dzięki temu zawartość alkoholu spada poniżej 0,5%. Jednocześnie piwo należy nasycić CO_2, ponieważ przez odwróconą osmozę i dodatek wody pozostało go w piwie niewiele.

4.8.3.1.2 Metoda dializy

W metodzie dializy membrana jest wykonana z pustych włókien o bardzo cienkich ścianach. Średnica tych pustych włókien ma ułamkowe części milimetra (50 do 200 µm) i posiadają one bardzo drobne pory. W jednym module są tysiące takich membran o drobnych porach, połączonych w wiązki i są one na obydwu końcach uszczelnione. Przez nie piwo jest równomiernie przepychane, podczas gdy dializat (lub woda) przepływa przez puste włókna w przeciwprądzie. Wymiana substancji odbywa się przez drobne pory membran (grubość ścian 10 do 25 µm).



Rys. 4.105. Zasada dializy
(1) kierunek przepływu odalkoholizowanego piwa w pustych włóknach, (2) kierunek przepływu dializatu na zewnątrz powłoki

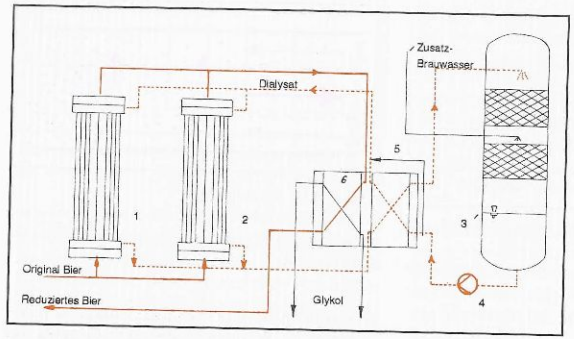
Rysunek pokazuje , że piwo z alkoholem wpływa z prawej strony. Ponieważ dializat w tym miejscu zawiera mniej alkoholu, alkohol przepływa przez membrany do dializatu, żeby wyrównać jego zawartość. Im dalej piwo przepływa „na prawo", tym zawiera mniej alkoholu, bo dializat płynący w przeciwnym kierunku zawiera go jeszcze mniej – przy wpływaniu „z lewej strony" w ogóle żadnego, tak że prawie wszystkie cząsteczki alkoholu na końcu przepływu piwa z prawej strony na lewą zostają oddane do dializatu, który płynie w przeciwprądzie obok membrany.

Alkohol zostaje prawie usunięty z piwa, lecz pozostaje w dializacie i należy go teraz stamtąd odzyskać. Alkohol z dializatu usuwa się ostrożnie przy pomocy ciągłej destylacji pod próżnią.

W porównaniu do odwróconej osmozy dializa wymaga znacznie większego nakładu. Za to chroni bardziej piwo, dzięki temu, że rozdział odbywa się w niskiej temperaturze i podczas procesu podgrzewa się tylko o 1 do ok. 6°C. System pracuje po stronie piwa pod bardzo niskim ciśnieniem ok. 0,5 bar, które wystarcza dla wymiany substancji.

Przeprowadzenie procesu dializy

Urządzenie do dializy (rys. 4.106) składa się z **membranowych modułów do dializy** (1+2) jako jądra urządzenia. Moduły te są przeważnie wykonane jako **moduły z pustych włókien**. Przez membrany o drobnych porach tych mo-



Rys. 4.106
Przeprowadzenie dializy
(1+2) moduły dializy membranowej,
(3) kolmna rektyfikacyjna,
(4) pompa,
(5) regulacja temperatury,
(6) płytowy wymiennik ciepła

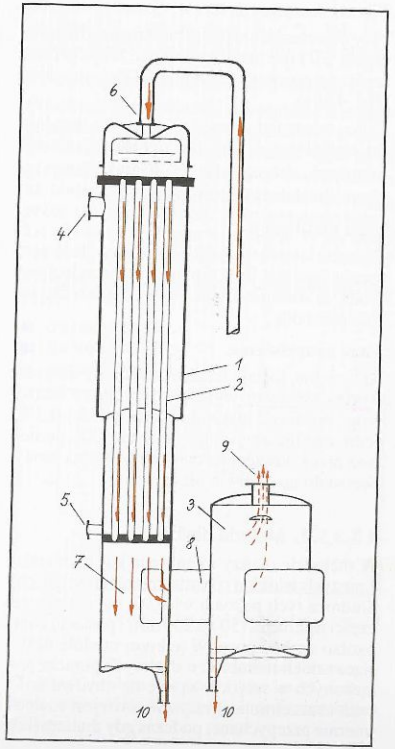
dułów odbywa się wymiana substancji (dyfuzja) w przeciwprądzie. Piwo o zredukowanym alkoholu jest schładzane przez płytowy wymiennik (6) do ok. 1°C i zawrócone do tanku pośredniczącego.

Wzbogacony alkoholem dializat w kolumnie rektyfikacyjnej (3) zostaje uwolniony z alkoholu i pompą dializacyjną (4) przepompowany z powrotem do modułów. Przy tym odbywa się wyregulowanie temperatury (5).

Względną prawdą jest powiedzenie, że tylko alkohol przenika przez membranę. W rzeczywistości w czasie dializy zostają odciągnięte z piwa w dużym stopniu łatwo ulatniające się uboczne produkty fermentacji, również CO_2 [38] i z nim znaczna część innych lotnych substancji, szczególnie estrów i wyższych alkoholi. Straty niektórych estrów sięgają 65%. Z drugiej strony również substancje z dializatu mogą przechodzić do piwa; dotyczy to np. soli z wody, które wzbogacają piwo (sód, wapń, azotany).

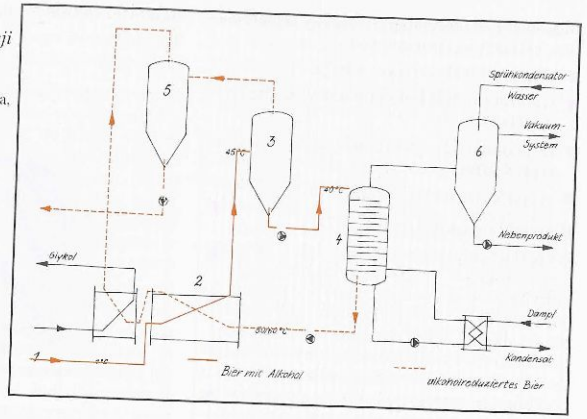
4.8.3.2 Metody termiczne/destylacja

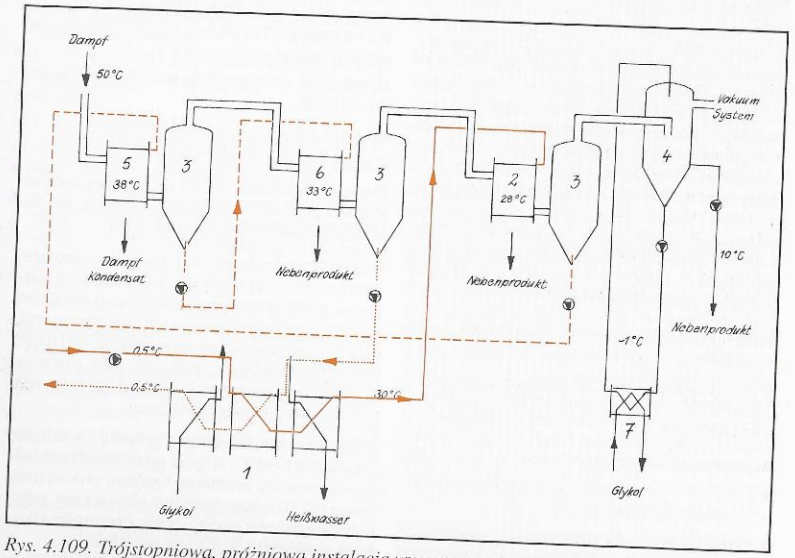
Wszystkie stosowane metody termiczne opierają się na próżniowych urządzeniach destylacyjnych z różną budową przenośnika ciepła.



Rys. 4.107. Wyparka opadowa
(1) kolumna wyparna, (2) rura grzewcza, (3) oddzielacz, (4) dopływ pary, (5) odpływ kondensatu, (6) dopływ piwa, (7) kondensacja częściowo odalkoholizowanego piwa, (8) przejście, (9) odprowadzenie oparów zawierających alkohol, (10) odprowadzenie odalkoholizowanego piwa

Rys. 4.108
Urządzenie do destylacji próżniowej
(1) dopływ piwa,
(2) płytowy wymiennik ciepła,
(3) łapacz aromatu,
(4) kolumna próżniowa,
(5) mieszalnik,
(6) skraplacz natryskowy





Rys. 4.109. Trójstopniowa, próżniowa instalacja wyparna
(1) wymienniki ciepła, (2) wyparka 1-stopnia, (3) zbiornik rozprężania, (4) skraplacz natryskowy, (5) wyparka 2-stopniowa, (6) wyparka 3-stopniowa, (7) oziębialnik płytowy

Stosowane są następujące warianty odparowania destylacyjno-próżniowego:

- wyparki opadowe (rys. 4.107),
- wielostopniowe kolumny destylacyjne (rys. 4.108),
- trójstopniowe płytowe urządzenie wyparne (rys. 4.109) i
- wyparki wirówkowe (rys. 4.110).

Wyparki opadowe (rys. 4.107)

Wyparka opadowa składa się z 4 do 5 m wysokiej kolumny (1) z grzewczymi rurami (2), w których piwo jest podgrzewane pod próżnią do najwyżej 45 °C. W opadającym spływie ulatnia się alkohol, który zostaje oddzielony w rozdzielaczu (3) i w końcu skroplony w chłodnicy. Częściowo już odalkoholizowane piwo poddaje się ponownie takiemu procesowi w drugiej wyparce opadowej gdzie zostaje odalkoholizowane do ok. 0,03% obj.

Destylacja próżniowa (rys. 4.108)

W tej metodzie piwo (1) zostaje podgrzane do 45°C na płytowym wymienniku (2) i w oddzielaczu aromatów (3) poddane na krótki czas rozprężeniu. Odparowują tu łatwo ulatniające się składniki aromatyczne z piwa, które dodaje się ponownie później w mieszalniku (5). W kolumnie próżniowej (4) w ok. 40°C piwo zostaje pozbawione alkoholu, który zostaje zatrzymany w natryskowym skraplaczu (6) i odprowadzony. Odalkoholizowane piwo zostaje schłodzone na wymienniku płytowym (2) do 4-5°C, w końcowym wychładzaczu do 0-1°C i połączone w mieszalniku (5) z lotnymi substancjami aromatycznymi.

Trójstopniowe próżniowe urządzenie wyparne

W tym urządzeniu (rys. 4.109) podgrzewa się i odparowuje w trzech stopniach. Korzystne jest one z uwagi na:

- mniejsze różnice temperatur,
- płytowe wyparki posiadają wysokie współczynniki wymiany ciepła i
- czas przebywania na powierzchniach wymiennika cieplnego jest zminimalizowany.

Budowa i sposób pracy

Trójstopniowe urządzenie składa się z trzech płytowych wyparek opadowych (2, 5, 6).

W płytowym wymienniku cieplnym (1) piwo zostaje ogrzane odalkoholizowanym piwem i gorącą wodą do 30°C. Ogrzane piwo jest ostrożnie dalej ogrzewane w pierwszej wyparce (2), ulatniająca się para alkoholu zbierana jest w podłączonym naczyniu rozprężania (3) i skroplona schłodzonym kondensatem (-1°C) w skraplaczu ze zraszaniem (4) oraz odprowadzona.

Piwo zawierające jeszcze dużo alkoholu jest w dalszej wyparce (5) podgrzane aż do maksymalnie 38-40°C i powstające alkoholowe opary zostają doprowadzone do trzeciej wyparki (6) oraz skondensowane. Przy tym odparowują dalszy alkohol, który potem podgrzewa to piwo w pierwszym stopniu odparowania (2).

Odalkoholizowywane piwo drugiego stopnia jest w trzecim stopniu odalkoholizowane do końca (0,3 - 0,4% alkoholu) i po wychłodzeniu we wstępnym (1) i końcowym (1) schładzaczu odprowadzone.

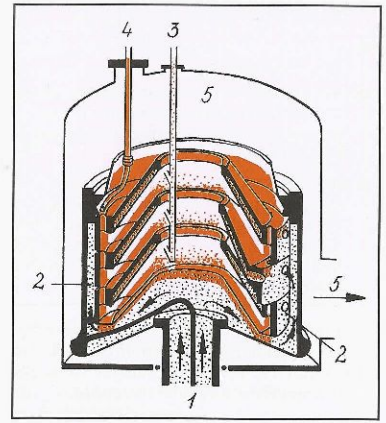
Urządzenia te są produkowane o wydajności do 200 hl/h.

Wysokowydajna wyparka wirówkowa Centri Therm (Alfa Laval)

Dalsza możliwość polega na odparowaniu alkoholu z piwa w cienkiej warstwie na powierzchni talerzy wirówki [42, 43].

Pod wpływem siły odśrodkowej piwo jest przepuszczane w cienkiej warstwie pomiędzy talerzami podgrzewanymi nasyconą parą, którą przepuszcza się przez ich podwójną ścianę (rys. 4.110). Alkohol odparowuje, ulatnia się i może być odprowadzony, podczas gdy piwo ze zmniejszoną zawartością alkoholu zostaje wypchnięte na zewnątrz i zebrane.

Pracuje się tu również pod próżnią i w temperaturach 30 -34 °C, aby osiągnąć możliwie najlepszą ochronę produktu. Ogółem proces trwa mniej niż 10 s, lecz musi być powtarzany, gdyż natychmiastowe zmniejszenie zawartości alkoholu poniżej 0,5% nie jest możliwe.



Rys. 4.110

Zasada działania wysokowydajnej wyparki wirówkowej Centri Therm firmy Alfa Laval

Smakowe zmiany piw odalkoholizowanych metodami membranowymi lub destylacji próżniowej

Odalkoholizowane piwo nie smakuje już jak piwo wyjściowe. Są to dwie przyczyny:

- sam alkohol współtworzy smak piwa i
- przy odalkoholizowaniu usuwa się nie tylko etanol, lecz również wiele innych lotnych substancji aromatycznych. Dotyczy to szczególnie
  - wyższych alkoholi i
  - estrów, które są usuwane aż do 80%.

Pracuje się nad ulepszaniem metod, szczególnie w odniesieniu do polepszenia aromatu piwa. Praca z unieruchomionymi drożdżami umożliwia dokładne sterowanie procesem fermentacji i dojrzewania oraz stwarza podstawy dla metody ciągłego wytwarzania piwa bezalkoholowego (patrz rozdz. 4.4.9).

4.8.3.3 Metody polegające na zahamowaniu wytwarzania alkoholu

Otrzymywanie piwa bezalkoholowego tymi metodami polega na zqatrzymaniu fermentacji zanim większa ilość alkoholu zdąży się wytworzyć. Wadą tych metod jest to, że również nie wytwarzają się inne cechy charakterystyczne dla smaku piwa i produkt przypomina słodkawą mieszaninę piwa z brzeczką.

Dla pozbycia się tego brzeczkowego smaku w piwie zaleca się (112):

- zacierać jak dla piwa o zawartości ekstraktu w brzeczce podstawowej 7-8%,
- do zasypu dodać 8-15% jasnego słodu karmelowego (patrz rozdz. 2.9.10),
- brzeczkę długo gotować, żeby odpędzić aldehydy („aromat brzeczkowy"),
- stosować drożdże obficie wytwarzające uboczne produkty fermentacji,
- starać sie obniżyć pH piwa *(np. przez dokwaszanie brzeczki. Przyp. tł. AB).*

Wśród metod hamowania fermentacji alkoholowej rozróżnia się:

Użycie specjalnej rasy drożdży

Jednym z najprostszych sposobów jest uzycie drożdży *Saccharomycodes ludwigii*, które fermentują tylko cukry proste, glukozę i fruktozę. Fermentacja zatrzymuje sie po wyczerpaniu tych cukrów na poziomie poniżej 0,5% alkoholu, ale cała maltoza zostaje i piwo jest słodkie.

Metoda „zimnego kontaktu z drożdżami" (53)

Brzeczkę miesza sie dokładnie z drożdżami przy temperaturze -2°C. W tych warunkach drożdże nie produkują wcale alkoholu, przejawiają jednak pewną działalność życiową, która wystarcza do wytworzenia pewnych elementów smaku piwa, usunięcia zapachu brzeczki i zredukowania związków karbonylowych, głównych nośników brzeczkowego smaku. Piwa bezalkoholowe, wyprodukowane ta metodą, wykazują szereg pozytywnych cech organoleptycznie i analitycznie potwierdzonych.

Przerwanie fermentacji po osiągnięciu zawartości 0,5% alkoholu

Do fermentacji nastawia się brzeczkę o zawartości 9% ekstraktu i prowadzi proces proces przy temperaturze poniżej 8°C aż do osiągnię-

cia zawartości 0,5% alkoholu. W tym momencie przerywa się fermentację jedną z trzech metod:

- odwirowanie drożdży,
- przefiltrowanie młodego piwa,
- błyskawiczna pasteryzacja.

Otrzymane tak piwo musi następnie leżakować przy temperaturze 0 do 1°C, dla pozbycia się smaku „siarkowego", w ciągu co najmniej 10 dni. Następnie jest filtrowane, stabilizowane, karbonizowane i utrwalane przez pasteryzację.

4.9 Bezpieczeństwo pracy (BHP) podczas fermentacji, dojrzewania i filtracji piwa

4.9.1 Niebezpieczeństwa wypadków spowodowanych dwutlenkiem węgla

Największe zagrożenia stwarza niewątpliwie CO_2 powstający podczas fermentacji. Jak ogromne są jego ilości, mieliśmy okazję zobaczyć w rozdziale 4.3.1.2. Dla piwowara, który stale styka się z CO_2 w powszechnie stosowanych jeszcze starszego typu urządzeniach jest szczególnie ważne, żeby znał dokładnie właściwości tego gazu:

CO_2 jest bez zapachu i smaku, jest 1,5-krotnie cięższy niż powietrze i dlatego gromadzi się w dolnej części naczyń i pomieszczeń. W będącej w ruchu atmosferze podczas pracy nie tylko dochodzi do gromadzenia się w dolnych częściach naczyń i pomieszczeń, lecz przez zawartość CO_2 zostaje zmniejszony udział O_2 w powietrzu, i dochodzi do trudności w oddychaniu. Przy stężeniu CO_2 poniżej 1% obj. jego ujemne działanie nie jest jeszcze zauważalne przez dłuższy czas. Dlatego w Niemczech ustalono:

- maksymalne stężenie CO_2 w miejscu pracy na 0,5% obj.,
- wartość krótkotrwałą, która może wystąpić maksymalnie 3-razy podczas zmiany przez 60 min. i nie może być przekroczona, na 1,0% obj. CO_2.

W wyższych stężeniach występują

- przy 1 do 2% obj. i pracy fizycznej zmiany w obrazie krwi,
- przy ponad 2% obj. utrudnione oddychanie, zaburzenia w ukrwieniu mózgu z pierwszymi zakłóceniami widzenia (pierścienie i plamy),
- przy jeszcze wyższych stężeniach CO_2 występuje podwyższenie tętna, ból głowy, zawroty głowy, szum w uszach i tym podobne, aż wreszcie przy stężeniach 8 do 10% utrata świadomości i w końcu śmierć.

Historia notuje w browarach wiele nieszczęśliwych wypadków ze śmiertelnym zejściem z powodu CO_2. Przykład „pułapki" w większości wypadków wyglądał następująco: „Idź spokojnie już jeść – ja jeszcze tylko dokończę ten tank (lub kadź)". Pojawiające się zmęczenie, dziwne zjawisko osłabienia zostają ocenione jako skutki minionego weekendu i po prostu pracuje się dalej, aż napad osłabienia zgina pracownika na kolana i wyższe stężenie CO_2 na dole doprowadza do omdlenia i w końcu do śmierci.

Wracający z posiłku w większości wypadków mógł stwierdzić już tylko śmierć kolegi.

Jednak również w przypadku przeżycia należy się liczyć z bardzo ciężkimi uszkodzeniami. Dlatego konieczne jest przestrzeganie następujących wskazówek usuwania CO_2 przed wejściem do zbiorników.

Usuwanie CO_2 przed wejściem do zbiornika

W cylindryczno-stożkowych naczyniach usuwanie CO_2 jest pod tym względem rozwiązane, ponieważ dąży się do wykorzystania dwutlenku węgla z fermentacji na własne potrzeby po jego przygotowaniu w urządzeniach do odzysku CO_2.

W otwartych kadziach fermentacyjnych CO_2 ulatnia się do pomieszczenia i musi być odprowadzany z dolnej części piwnicy fermentacyjnej. Należy uważać przy rozpoczynaniu pracy wcześnie rano, szczególnie w poniedziałki, ze względu na możliwość dużego nagromadzenia CO_2. W dużych browarach naturalny spływ CO_2 musi być wspomagany wentylatorami dużej mocy.

Dla wchodzenia do kadzi fermentacyjnych i tanków leżakowych obowiązują specjalne wytyczne. Jest to szczególnie ważne dlatego, że w tych naczyniach na skutek złej możliwości przewietrzania należy się liczyć z dużym nagromadzeniem CO_2. Ważne jest:

- Zawartość kadzi lub tanku należy przed wejściem do nich przez odsysanie lub spłukiwanie tak dalece uwolnić od CO_2, żeby osiągnąć jego zawartość 0,5% obj., na krótki czas 1,0% obj.
- Wchodzący do zbiornika musi posiadać zezwolenie na piśmie, w którym są określone właściwe środki zapobiegawcze.
- Wchodzący do kadzi musi być przedtem regularnie szkolony przez rzeczoznawcę w zakresie występujących niebezpieczeństw i to powinno zostać odnotowane w dokumentach.
- Na straży powinien być ubezpieczający, który utrzymuje kontakt ze znajdującym się wewnątrz zbiornika.
- Należy wyznaczyć prowadzącego nadzór, który pilnuje przestrzegania środków bezpieczeństwa.

Obowiązek pomiarów

W Niemczech jest obowiązek dokonywania pomiarów przy otwartych kadziach fermentacyjnych i tankach leżakowych.

Dawniej pomiaru dokonywano przy pomocy zapalonej świecy, którą opuszczano do kadzi: jeżeli świeca gasła, wtedy w kadzi był jeszcze CO_2. Lecz świeca gaśnie dopiero przy stężeniu 8 do 10% CO_2, a więc w zakresie gwałtownego zagrożenia i dlatego nie nadaje się do pomiaru.

Obecnie używa się do tego celu wykrywaczy gazu, do próbek losowych lub korzystniej do ciągłego pomiaru.

4.9.2 Praca w zbiornikach ciśnieniowych

Zasadniczo jest ustalone, że wszystkie naczynia w których ponad płynem może wytwarzać się nadciśnienie większe niż 0,1 bar należy oceniać jako naczynia ciśnieniowe i stosować ustalenia takiego zarządzenia.

Do takich zbiorników należą zwykłe tanki leżakowe i cylindryczno-stożkowe tanki fermentacyjne i leżakowe (CSF i CSL). Z powodu dużej wysokości i ilości zawartej brzeczki/piwa tanki cylindryczno-stożkowe muszą spełniać szczególne wymagania.

Włazy

Dla bezpiecznego dozoru każdy tank powinien być wyposażony w dolny i górny właz kontrolny o przekroju co najmniej 450 mm. Dolny właz, który obejmuje najniższą część stożka wylotowego, należy wykonać tak, żeby wylot nie spadał w dół, kiedy rozluźni się wszystkie śruby.

Górny właz powinien się znajdować w płycie kopuły. Przy wchodzeniu od góry – szczególnie do kontroli stanu ścian – wchodzącego należy ubezpieczyć pasem i liną; nie wolno używać drabinki sznurowej lub nakładanej. Do wejścia są specjalne

- zjazdowe urządzenia osobowe i
- przyrządy do wchodzenia do tanku, które umożliwiają pracę na ścianach.

W każdym przypadku przed wejściem należy przeprowadzić dokładne przewietrzenie tanku, przy czym należy przestrzegać „Wytycznych do prac w zbiornikach i ciasnych pomieszczeniach".

Urządzenia zabezpieczające przed przekroczeniem ciśnienia

Przekroczenie ciśnienia w tanku jest w każdej chwili możliwe. Nadciśnienie może nastąpić już przez to, że tank zostanie przepełniony pomyłkowo. Przeciwdziała temu czujnik maksymalnego napełnienia, który po osiągnięciu stanu napełnienia wyłącza pompę i w ten sposób unika się przepełnienia. Jednak nie można wykluczyć możliwości przekroczenia ciśnienia również przy napełnianiu naczynia przy przeciwciśnieniu lub pustego.

Dlatego każdy tank posiada zawór bezpieczeństwa sprężynowy lub obciążony odpowiednią masą (p. rozdz. 4.4.2.1.2.1).

Urządzenie zabezpieczające przeciwko podciśnieniu

O konieczności i sposobie pracy z zaworami podciśnieniowymi była mowa w rozdziale 4.4.2.1.2.2.

Mycie i ogrzewanie urządzeń zabezpieczających

Urządzenia zabezpieczające w tanku mogą stać się niesprawne przez zaklejenie: przy zamarznięciu, zwłaszcza przy ustawieniu tanków na zewnątrz, sprawność działania wszelkich zaworów na kopule stoi pod znakiem zapytania. Dlatego konieczne jest:

- mycie urządzeń zabezpieczających metodą CIP,
- podgrzewanie urządzeń zabezpieczających w razie potrzeby.

Obsługa płyty kopułowej

Zainstalowanie części wyposażenia na płycie kopuły muszą być w każdej chwili łatwo i bezpiecznie osiągalne. W tym celu należy nad tankami zbudować pomost do obsługi na jednym poziomie z płytami kopułowymi, niezależnie od tego, czy to są tanki ustawione na zewnątrz, czy obudowane.
Jeszcze z innego powodu tanki te są zaliczane do zbiorników ciśnieniowych w świetle zarządzenia o zbiornikach ciśnieniowych: Amoniak jest wtłaczany pod wyższym ciśnieniem do płaszcza chłodniczego. Jest to ciśnienie znacznie przekraczające ciśnienia panujące wewnątrz tanku. Tworzenie się pęknięć, źle wykonane spawy i inne czynniki mogą doprowadzić do wycieku amoniaku z systemu. Może to być powodem bardzo ciężkich szkód. Z tej przyczyny używanie zwiększonych ilości amoniaku zostało podciągnięte pod zaostrzoną prawnie kontrolę.

4.9.3 Prace z ziemią okrzemkową

Przy pracy z ziemią okrzemkową powstaje pył silikonowy, który zagraża zdrowiu.
Silikonowy pył jest wdychany i duża jego część zostaje z płuc wydalona.
Jednak część najdrobniejszego pyłu odkłada się w płucach. Makrofagi znajdujące się tam mają zdolność pożerania obcych ciał i unieszkodliwiania ich.

Z wdychanym pyłem makrofagi te giną i w wyniku tego z czasem w obrębie dróg oddechowych i naczyń płucnych dochodzi do wytworzenia stwardnień i deformacji. Wynikiem jest silikoza i siliko-gruźlica.

Z tego względu zostały wprowadzone ostre zarządzenia w zakresie obchodzenia się z kwarcem i pyłem zawierającym krzem, do którego należy również ziemia okrzemkowa.

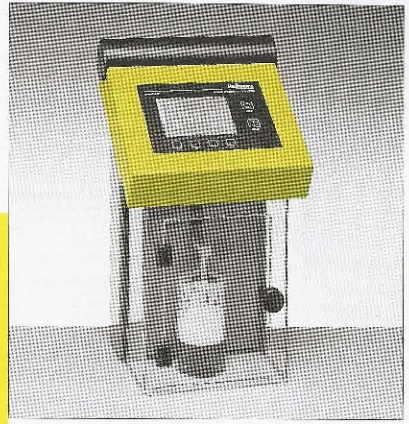
Jako środki zapobiegawcze przed wytwarzaniem się pyłu ziemi okrzemkowej proponuje się:

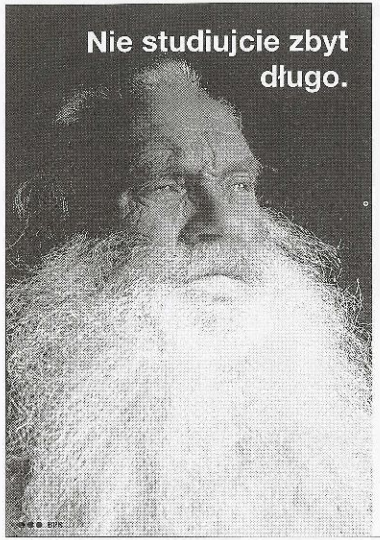
- odpylanie urządzenia i filtracja pyłu (drobny filtr papierowy lub inne membranowe),
- odsysanie pyłu w urządzeniu dozującym przy pomocy strumienicy wodnej,
- bezpyłowe opróżnianie worków z ziemią okrzemkową przy pomocy urządzenia do opróżniania worków,
- bezpyłowe usuwanie pustych worków przy pomocy kompresora ślimakowego,
- noszenia ochrony do oddychania (urządzenie filtrujące z filtrem P2),
- dostarczanie ziemi samochodem zbiornikowym i składowanie jej w silosie.

Pracownicy, którzy są narażeni na działanie pyłu silikonowego, powinni być regularnie poddawani badaniom przez upoważnionego lekarza.

4.9.4 Ogólne wskazówki do ochrony przed wypadkami

Ochrona przed wypadkami jest ogólnym pragnieniem pracujących przy urządzeniach. Przestrzeganie przepisów bezpieczeństwa pracy (BHP) powinno być dla wszystkich pracowników oczywiste.


Haffmans



Mamy gotowe rozwiązanie.

Kartony filtracyjne FibraFix
Swiece filtracyjne CLAROX
Moduły filtracyjne Discostar
Aparaty i urządzenia filtracyjne (również jako układy) z zastosowaniem kartonów filtracyjnych, modułów i świec.
Urządzenia CMF (filtracja krzyżowa) od 20 m² powierzchni filtracyjnej.

VULCASCOT Getränkeindustriebedarf Handels Ges. m. b. H.,
Muthgasse 25, A-1190 Wien, Austria
Tel. 0043136944770
Fax 00431369447754
E-Mail: info@vulcascot.at

VULCASCOT Warszawa
Ul. Nowogrodzka 22, PL 511 Warszawa
Tel. 226/221277
Fax 22/290479

FILTROX AG
CH-9001 St.Gallen/Schweiz
Telefon 0041 71 272 91 11
Telefax 0041 71 277 94 62
E-Mail: filtrox@access.ch

5 Rozlew piwa

Piwo rozlewa się głównie do butelek, część do puszek, kegów, beczułek, itp. W tym celu browar musi dysponować odpowiednim *systemem urządzeń rozlewniczych, opakowania i transportu.*

5.1 Rozlew do szklanych butelek wielokrotnego użycia

Większość piwa rozlewa się do butelek szklanych, które są opakowaniem wielokrotnego użycia. Pozostała część rozlewana jest do różnego rodzaju opakowań jednorazowych. Wśród nich coraz większe znaczenie mają butelki z tworzyw sztucznych, jak PET, PEN i innych.

5.1.1 Butelki szklane wielokrotnego użycia

5.1.1.1 Zalety i wady butelek szklanych

Szkło pod wieloma względami jest idealnym materiałem na opakowania dla napojów. Jest ono:

- obojętne smakowo,
- nieprzepuszczalne dla gazów,
- odporne na wysokie temperatury i
- nie odkształca się.

Z drugiej strony butelki szklane mają szereg wad, do których należą:

- duży ciężar (opakowanie razem ze skrzynką waży niemal tyle, co cała jego zawartość),
- są tłukące; stłuczki mają ostre brzegi i łatwo się o nie skaleczyć,
- pozbycie się stłuczek stanowi dodatkowy problem.

5.1.1.2 Produkcja butelek szklanych

Produkowane w hutach szkło najczęściej wytwarza się z 72% piasku kwarcowego (SiO_2), 13 % Na_2O, 10 % CaO, 2 % MgO, 1,5 % Al_2O_3 i barwiących dodatków tlenków metali (Fe_2O_3 i Cr_2O_3).

Butelki formowane są na wysokowydajnych, automatycznych maszynach, które nadają im pożądany kształt i wielkość.

5.1.1.3 Kształty butelek

Na świecie występuje ogromna różnorodność typów i kształtów butelek, ale do piwa w Niemczech i innych krajach europejskich (*w tym także w Polsce, przyp. tłum. A.B.*) największe zastosowanie znalazła półlitrowa butelka typu „euro".

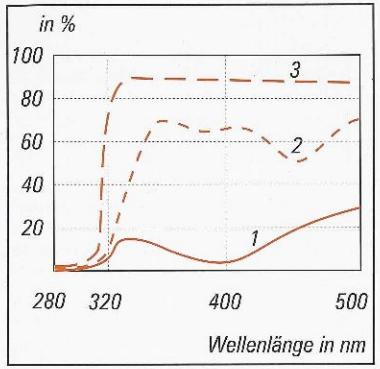
Cylindryczna część butelki była pierwotnie uformowana jako idealnie równy walec, co miało tę wadę, że na taśmach transporterów i przy innych okazjach etykiety naklejone na butelkach tarły się jedna o drugą, powodując różne ich deformacje i uszkodzenia. Był to typ butelki „euro 1". Dla wyeliminowania tej wady opracowano nowy typ – butelkę „euro 2", która u góry i u dołu części cylindrycznej ma lekkie zgrubienie zapobiegające zetknięciu się etykiet dwóch sąsiadujących butelek. Od 1990 roku w Niemczech wprowadzana jest coraz szerzej półlitrowa butelka typu NRW, o ustalonej masie 380 gramów (± 20g), również ze zgrubieniami chroniącymi etykietę.

5.1.1.4 Barwa butelek

Światło o długości fali między 350 i 500 nm wpływa ujemnie na smak piwa, gdyż powoduje wydzielenie siarkowych połączeń, merkaptanów powstających przy udziale izo-α-kwasów chmielu i tworzących charakterystyczny, nieprzyjemny „posmak słoneczny". Powstaje on tym szybciej, im intensywniej działa na piwo światło o tych długościach fal.

Najlepiej, ale też nie całkowicie, chronią piwo przed powstaniem „posmaku słonecznego" butelki ze szkła brunatnego (rys.5.1). Jeżeli ze względów handlowych stosowane są butelki ze szkła zielonego lub bezbarwne, to trzeba za-

pewnić im całkowitą ochronę przed światłem przez odpowiednie opakowanie, aż do chwili konsumpcji. Posmak słoneczny może powstać w bardzo krótkim czasie i znacznie obniżyć jakość produktu (patrz rozdz. 4.6.4.4).



Rys. 5.1

Przenikanie światła o różnej długości fal przez szkło zależnie od jego barwy

(1) szkło brunatne
(2) szkło zielone
(3) szkło bezbarwne

Ostatnio pojawiła się moda na butelki o zupełnie innych barwach, między innymi niebieskie, które jednak nie zapewniają lepszej ochrony przed światłem.

5.1.1.5 Obróbka powierzchni butelek

Świeżo wydmuchana butelka ma chropowatą, surową powierzchnię, która nie odpowiada wymaganiom dzisiejszych urządzeń rozlewniczych o wielkich szybkościach rozlewu. Dopiero po kolejnej gorącej i zimnej obróbce butelka uzyskuje w hucie szkła swoją gładką powierzchnię.

Przy końcowej obróbce na gorąco, w temperaturze około 600°C, tlenki metali (SnO i TiO) wypełniają mikrorysy na powierzchni szkła, wygładzając ją i jednocześnie utwardzając (185). Ten zabieg zwiększa ogólną wytrzymałość butelki.

Obróbka na zimno, przy około 100°C, polega na traktowaniu butelki wodnymi zawiesinami polietylenu, które powierzchni szkła zapewniają gładkość i śliskość, niezbędną na szybkich przenośnikach taśmowych.

5.1.1.6 Scuffing, czyli matowienie butelek

Po pięcio-siedmiokrotnym użyciu ochronna warstwa nabyta w czasie zimnej obróbki zostaje zniszczona podczas mycia butelek przez gorące roztwory ługu. W ten sposób traci swoją osłonę warstwa ochronna nabyta w czasie obróbki gorącej i także zostaje wystawiona na działanie gorącego ługu (scuffing chemiczny). Od tej chwili powierzchnia butelki jest wystawiona bez osłony na wszystkie czynniki powodujące ścieranie i stopniowo matowieje.

Zmatowienia ujawniają się w pierwszym rzędzie w tych miejscach, gdzie powierzchnia sąsiadujących butelek może się stykać, czyli na zgrubieniach u góry i u dołu części cylindrycznej. Stają się one wyraźnie widoczne jako matowe obrączki na butelkach. Ten stan określa się jako scuffing mechaniczny. Główną przyczyną tego zjawiska jest uderzanie o siebie i ocieranie się butelek na przenośnikach taśmowych w browarze. Szczególnie krytycznymi strefami są tu:

- zatory, stłoczenia i miejsca odbioru,
- zakręty,
- miejsce załadunku do myjki.

Szersze omówienie tych zagadnień znajduje się w rozdziale 5.7.1.

5.1.1.7 Zabezpieczanie zniszczonych powierzchni butelek

Istnieje możliwość ponownego zabezpieczenia zniszczonej powierzchni butelek. Można tego dokonać na odcinku między myjką i rozlewem, albo po napełnieniu i zamknięciu butelek. Zastosowanie mają dwie metody:

- powlekanie warstewką wosku,
- pokrywanie cienką warstwą polietylenu.

W pierwszym przypadku jest to tylko „zabieg kosmetyczny". W drugim, butelka jest przed zaetykietowaniem pokryta nową warstwą polietylenu, który optycznie usuwa zmatowienia oraz przywraca gładkość i śliskość powierzchni, osłaniając ją przed dalszym ścieraniem. Ta powtórna obróbka polega na kontaktowym nałożeniu warstwy polietylenu; trzeba przy tym unikać przedostania się go do wnętrza butelki i na krawędź otworu.

5.1.1.8 Lekkie butelki szklane wielokrotnego użycia, pokryte warstwą tworzywa sztucznego

W ostatnich czasach wprowadzono, przede wszystkim do wód mineralnych, lekkie szklane butelki wielokrotnego użycia, pokryte warstwą tworzywa sztucznego. Zaletą tego typu butelek jest całkowite wykluczenie matowienia (scuffing). Inną ich zaletą jest to, że wprawdzie butelki czasem się tłuką, ale nie rozpadają się na kawałki, bo warstwa tworzywa sztucznego trzyma je w całości.

Najnowszym pomysłem jest zastosowanie podwójnej zewnętrznej ścianki z tworzywa; jeśli jedna ulegnie uszkodzeniu, druga jeszcze chroni butelkę.

5.1.1.9 Tryb postępowania przy rozlewie do butelek wielokrotnego użycia

Wstępne traktowanie butelek szklanych wielokrotnego użycia przed rozlewem i ich obróbkę końcową po napełnieniu można podzielić na szereg kolejnych operacji:

- *kontrola* przyjmowanych w browarze butelek zwrotnych,
- *mycie* butelek zwrotnych,
- *inspekcja umytych butelek* na czystość i uszkodzenia,
- *napełnianie i zamykanie* butelek,
- *kontrola napełnionych* butelek,
- ewentualna *pasteryzacja* tunelowa,
- *etykietowanie* i ewentualna *dekoracja* butelek.

Wszystkie te operacje obsługiwane są przez bogaty zespół przenośników dla butelek, skrzynek i palet.

5.1.2 Mycie szklanych butelek wielokrotnego użycia

Wszystkie butelki zwrotne, zanim zostaną ponownie napełnione, muszą być dokładnie umyte. Zadaniem mycia jest dostarczyć butelki:

- czyste,
- wyjałowione,
- wolne od wszelkich pozostałości.

Butelki wracają od konsumentów częstokroć mocno zanieczyszczone, z przyschniętymi pozostałościami, wobec czego umycie ich jest poważnym zadaniem. Myjka butelek jest największą maszyną w całym dziale rozlewu.

Zanim butelki trafią do myjki, trzeba je przesortować i usunąć te, które:

- są niewłaściwego kształtu, wysokości i barwy,
- mają niewłaściwy brzeg otworu (wyszczerbienia),
- są zamknięte i wymagają zdjęcia kapsla (patrz rozdz. 5.7.3.3).

5.1.2.1 Czynniki działające podczas mycia butelek

Dla skutecznego umycia butelek musi zadziałać wspólnie kilka czynników(165):

- ***działanie środków myjących***

Najważniejszym środkiem myjącym jest niewątpliwie woda. Skuteczność mycia samą wodą jest jednak niewielka, wobec czego podwyższa się ją dodatkiem różnych substancji, najczęściej ługu sodowego.

Środki myjące są alkaliczne i działają również bakteriobójczo, zwłaszcza przy wyższych temperaturach. Działanie ich polega na rozpuszczaniu i usuwaniu zanieczyszczeń.

Ług myjący wzbogaca się dodatkami, których zadaniem jest poprawa skuteczności mycia i ograniczenie wytwarzania piany w myjce oraz nadanie butelkom połysku.

- ***działanie wyższych temperatur***

Podwyższone temperatury zawsze przyspieszają rozpuszczanie zanieczyszczeń. Dla uzyskania dobrej skuteczności mycia, do szklanych butelek zwrotnych stosuje się temperatury roztworów w granicach 80-85°C.

Butelek nie można gwałtownie ogrzać do tak wysokich temperatur, gdyż mogą popękać. Aby uniknąć niebezpiecznych napięć w szkle, nie powinno się poddawać go skokom temperatury większym niż 30° przy ogrzewaniu i 20° przy ochładzaniu. Szczególnie ostrożnym trzeba być przy niskich temperaturach zewnętrznych zimą: obmarznięte butelki przed wprowadzeniem do myjki muszą odtajać.

- ***czas działania środków myjących***

Im dłużej działa gorący środek myjący, tym większa jest skuteczność mycia.

Czas moczenia w gorącym ługu wynosi średnio 6 do 7 minut, w razie potrzeby można go trochę przedłużyć. W zasadzie jest on określony przez konstrukcję maszyny i później można go zmieniać tylko w ograniczonym stopniu.

- ***działanie mechaniczne natrysków***

Dla rozpuszczenia zanieczyszczeń konieczne jest odpowiednio długie moczenie butelek w środkach myjących. Dotyczy to także rozpuszczania kleju oraz usuwania etykiet i folii ozdobnych. Z tego względu myjki butelek wyposażone są w obszerne sektory moczenia.
Kiedy główna część zanieczyszczeń zostanie rozpuszczona, mycie wspomagane jest mechanicznie działaniem natrysków. Dla umycia wnętrza butelki wielkie znaczenie ma zwłaszcza natrysk wewnętrzny.

5.1.2.2 Myjki butelek

Praca myjki dzieli się na następujące etapy:

- usuwanie resztek z butelek,
- moczenie wstępne,
- kąpiele w roztworze ługu,
- natryski ługiem,
- natryski między kąpielami,
- natryski gorącą wodą,
- natryski zimną wodą,
- natryski świeżą wodą.

5.1.2.2.1 Rodzaje konstrukcji myjek

Istnieje szereg możliwości przeprowadzenia wyżej wymienionych etapów mycia. Zasadniczo zastosowanie mają dwa różne typy budowy maszyn myjących:

- ***myjki z podawaniem i odbiorem butelek z tej samej strony oraz***
- ***maszyny działające w jednym kierunku.***

Stosownie do potrzeb linii rozlewu myjki budowane są o wydajności od 10.000 do 150.000 butelek na godzinę.

Myjki z jednostronnym podawaniem i odbiorem butelek

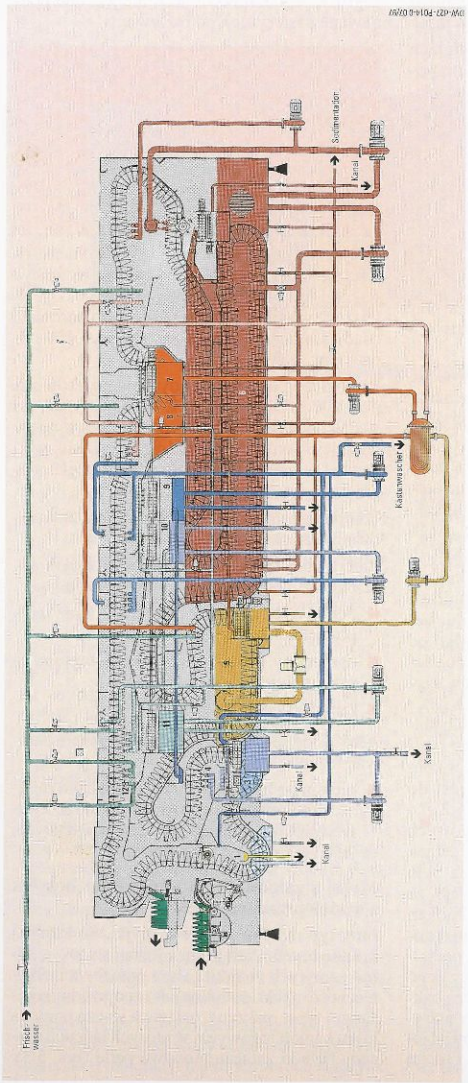
W tych najbardziej rozpowszechnionych w Niemczech maszynach myjących podawanie brudnych butelek i odbiór umytych znajduje się po tej samej stronie (rys. 5.2).
Przebieg pracy myjki z jednostronnym podawaniem i odbiorem butelek jest następujący: po załadowaniu butelek następuje najpierw opróżnianie ich z resztek (1). Butelki zwrotne bardzo często zawierają skwaśniałe resztki piwa i dlatego ta operacja przebiega w odseparowaniu od dalszych sektorów myjki. Spływające resztki piwa są silnie zainfekowane i powinny być bezpośrednio kierowane do kanału.

Następnie butelki trafiają kolejno do dwóch kąpieli (2+3), w których zanieczyszczenia zostają wstępnie rozpuszczone. W tych kąpielach butelki ogrzewają się do około 40°C i po odwróceniu zostają spłukane od wewnątrz natryskiem o temperaturze 40 do 50°C.

We wstępnej kąpieli ługowej (5) następuje dalsze ogrzanie do około 60°C i dalsze rozpuszczanie zanieczyszczeń. Na tym odcinku wykorzystuje się wyłącznie popłuczyny z gorących natrysków umytych butelek. Woda w tych wstępnych kąpielach ochładza się od butelek, szczególnie zimą, i trzeba ją odpowiednio podgrzewać.
Teraz następuje najdłuższy i najbardziej intensywny etap mycia od wewnątrz i od zewnątrz, polegający na moczeniu w kąpieli *(0,8 do 2%. Przyp. tł. AB)*

z roztworu ługu (6) o temperaturze co najmniej 80°C, trwającym od 6 do 8 minut, a czasami nawet 10 minut.

W tym czasie muszą zostać rozpuszczone wszystkie zanieczyszczenia, niezależnie od ich rodzaju. Musi także nastąpić rozpuszczenie kleju i usunięcie etykiet.
W myjkach wyposażonych w dwie kąpiele ługowe, w drugiej z nich utrzymuje się nieco niższą temperaturę, 65-70°C. Również koncentracja NaOH może być tu nieco mniejsza,


Frisch-Wasser
Kanal
Kanal
Kanal

0,6-0,8%, gdyż butelki z poprzedniej kąpieli wnoszą stale niewielkie ilości gorącego ługu.

Temperatura ługu we wszystkich kąpielach musi być utrzymywana na wyznaczonym poziomie. W tym celu ług jest pompowany w obiegu zamkniętym i odpowiednio podgrzewany w wymienniku ciepła. Średnia wydajność pompy wynosi 100 do 150 m^3/h.

Jakość papieru etykiet musi być taka, aby odklejały się w całości i nie tworzyły papki utrudniającej proces mycia. Odklejone etykiety oddzielane są na specjalnych urządzeniach i usuwane (patrz pkt. Usuwanie etykiet). Mimo to na dnie maszyny zbiera się szlam, który musi być usuwany, gdyż stopniowo zmniejsza skuteczność mycia (patrz pkt. Obróbka roztworu ługu).

Napełnione ługiem butelki zostają odwrócone i poddane natryskowi, który zmywa trzymające się jeszcze etykiety. Butelki opróżniają się, a ług spływa z powrotem do kąpieli.

W drugiej kąpieli zanurzone w ługu butelki zostają jeszcze raz zewnętrznie umyte, a następnie poddane natryskowi o temperaturze 50-55°C i przez to nieco ochłodzone. Ciepły ług z tego natrysku zawracany jest do wstępnej kąpieli (5).

W następnych etapach (9,10 i 11) butelki poddawane są natryskom wodnym o stopniowo malejących temperaturach, najpierw od wewnątrz i od zewnątrz, a w końcu już tylko od wewnątrz, aby usunąć wszelkie resztki ługu i dodatków myjących. Do ostatnich natrysków używa się wody świeżej o temperaturze 10-12°C, która ochładza butelki. Po ociekнięciu w butelce pozostaje około 0,5 do 1 mililitra wody zwilżającej ścianki. Woda użyta do natrysków w końcowych sektorach myjki zawracana jest do wstępnych kąpieli namaczających (rys. 5.2 a). Można założyć, że gorących kąpieli ługowych ni przeżyją żadne drobnoustroje. Na to jednak aby butelki opuszczające myjkę można było uważać za jałowe, trzeba mieć gwarancję, że woda z ostatnich natrysków nie jest źródłem ponownego ich zakażenia. Wieloletnie doświadczenie wskazuje jednak, że woda pochodząca z własnych studni browaru lub z jego zbiorników rezerwowych często zawiera bakterie, a nawet drożdże i użyta do tych natrysków może spowodować infekcję. Wprowadzone drobnoustroje dostaną się do piwa i mogą zagrozić jego trwałości, jeśli nie jest ono poddawane pasteryzacji po rozlewie.

Szczególnie niebezpieczne są dysze i przewody natrysków ciepłej wody, gdzie przy temperaturach 30 do 50°C drobnoustroje znajdują optymalne warunki wzrostu. Miejsca te, jak również części myjki nad i obok dysz, muszą być regularnie oczyszczane i odkażane, gdyż przy panujących tam warunkach mogą tworzyć się gniazda infekcji.

W tych miejscach istnieje prawdopodobieństwo zakażenia butelek, które nie zawsze może być w pełni usunięte natryskami świeżej wody. W tej części myjki tworzą się też często porowate osady kamienia, stanowiące siedlisko drobnoustrojów.

Biologiczna czystość wody do natrysków ma podstawowe znaczenie. Z tego względu, na wszelki wypadek, wodę do ostatnich natrysków chętnie się chloruje. Za źródło zakażenia można też uważać stale wilgotną górną część obudowy myjki.

Po opuszczeniu myjki butelki trafiają do urządzenia inspekcyjnego.

Zalety opisanych myjek z jednostronnym podawaniem i odbiorem butelek są następujące:

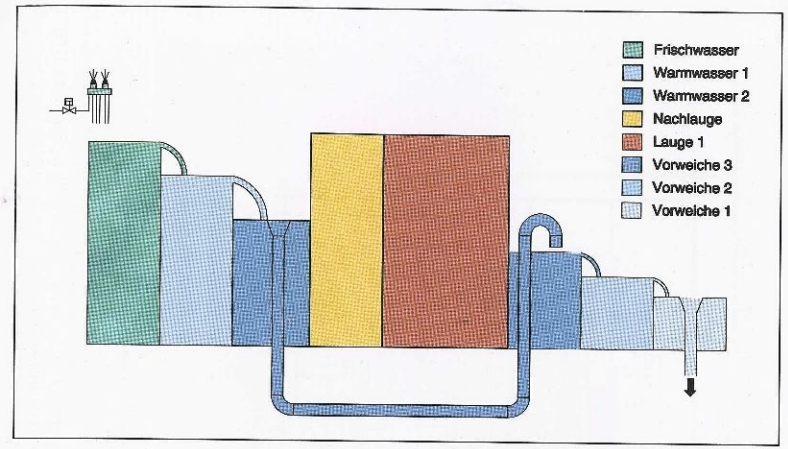
- dobre wykorzystanie przestrzeni oraz mała powierzchnia i wysokość,
- oszczędny sposób pracy, w szczególności przy mniejszych urządzeniach,
- mniejsza cena urządzenia.

Jako wadę tego typu urządzeń można traktować to, że

- nie umyte butelki podawane są blisko miejsca odbioru butelek umytych, co może stwarzać problemy zakażeń mikrobiologicznych, jeśli się temu nie przeciwdziała.

Myjki z załadunkiem i odbiorem butelek z dwóch przeciwnych stron

Inny typ maszyn stanowią myjki, do których brudne butelki ładuje się z jednej strony, a odbiór umytych znajduje się z przeciwnej. Skuteczność mycia, podobna jak w poprzednio opisanym typie maszyny, osiągana jest za pomocą kilku kąpieli ługowych, w których łańcuch niosący butelki zatacza pionowe pętle (rys. 5.3).



Rys. 5.2 a. Obiegi wody i roztworów w myjce butelek; od góry: świeża woda, ciepła woda 1, ciepła woda 2, ług po użyciu, ług 1, kąpiel 3, kąpiel 2, kąpiel wstępna 1

Buduje się myjki mające nawet do sześciu takich pętli. Czas moczenia w ługu wynosi przy tych maszynach również 6 do 8 minut, ale w razie potrzeby może być dłuższy (do 25 min.).

Po załadowaniu butelki są unoszone do góry i przechylane w celu opróżnienia z resztek (1). Przy butelkach zwrotnych jest to bardzo istotne, co omówiono już przy poprzednim typie myjki.

W przedstawionym na rysunku typie myjki butelki poddawane są wstępnym natryskom ciepłej wody (3), a następnie trafiają do kąpieli ługowej (4), gdzie następuje ich ogrzanie do temperatury 50-60°C.

W następnych dwóch (5 i 6) albo trzech kąpielach ługowych o różnych temperaturach butelki zostają intensywnie odmoczone, a następnie poddane natryskom. Długie i intensywne działanie ługiem będącym w ciągłym ruchu umożliwia skuteczne umycie butelek i usunięcie etykiet.

Pierwsza kąpiel ługowa (5) ma temperaturę 80-85°C, druga kąpiel ługowa (6) ma zwykle temperaturę nieco niższą, 65-70°C.

Ostatnia pętla transportera butelek przechodzi przez kąpiel ciepłej wody (12), a następnie przez natryski o malejących temperaturach i natryski świeżej wody (13), które usuwają resztki ługu i dodatków myjących, jednocześnie ochładzając butelki.

Odbiór butelek umytych jest tu znacznie oddalony od załadunku brudnych, a może być ponadto oddzielony ścianką od brudnej strefy. Ta zaleta wymaga jednak dodatkowego stanowiska pracy, gdyż jedna osoba nie może nadzorować obydwu końców myjki.

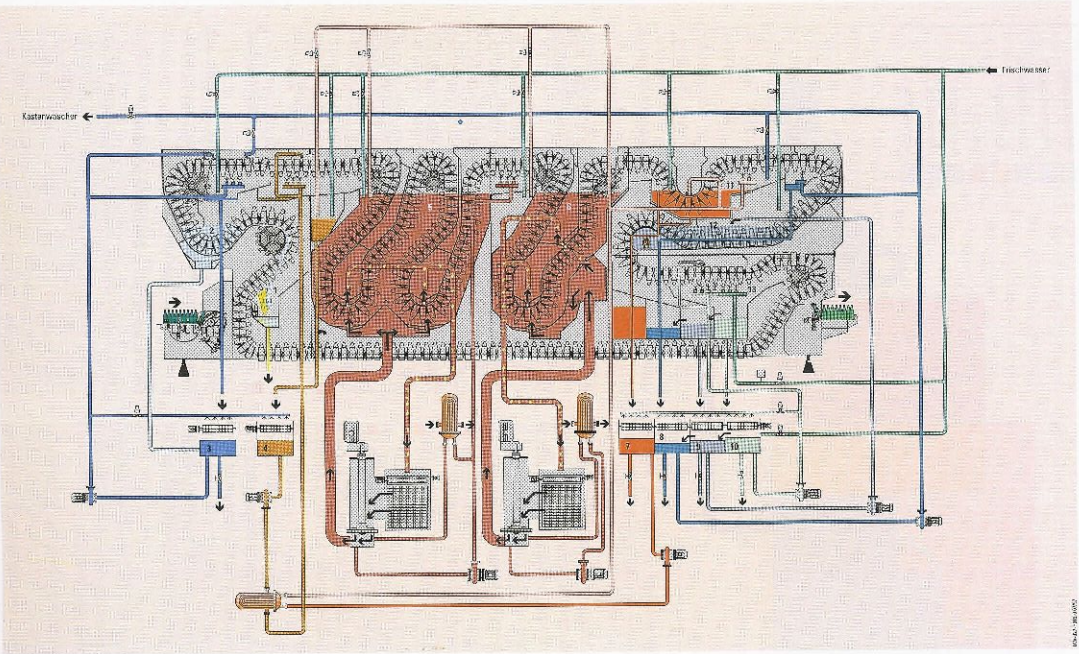
Prowadzenie łańcucha nośnego w opisywanym typie maszyny nie przebiega pionowo, lecz jest lekko nachylone z dwóch przyczyn:

- leżąca poziomo butelka nie byłaby całkowicie napełniona i zawsze pozostałoby w niej powietrze utrudniające mycie,
- poziomo leżąca butelka nie mogłaby zostać do końca opróżniona z ługu.

We wszystkich tego typu myjkach łańcuch transportujący biegnie pusty dołem maszyny do ponownego załadowania.

Odmiana myjki o budowie płaskiej

Istnieje możliwość bardziej poziomego ułożenia pętli, aby zmniejszyć wysokość całej maszyny i uzyskać bardziej płaską jej formę. Zasada budowy i działania pozostaje ta sama, a przez zwiększenie ilości pętli uzyskuje się także ten sam efekt mycia (rys. 5.4).

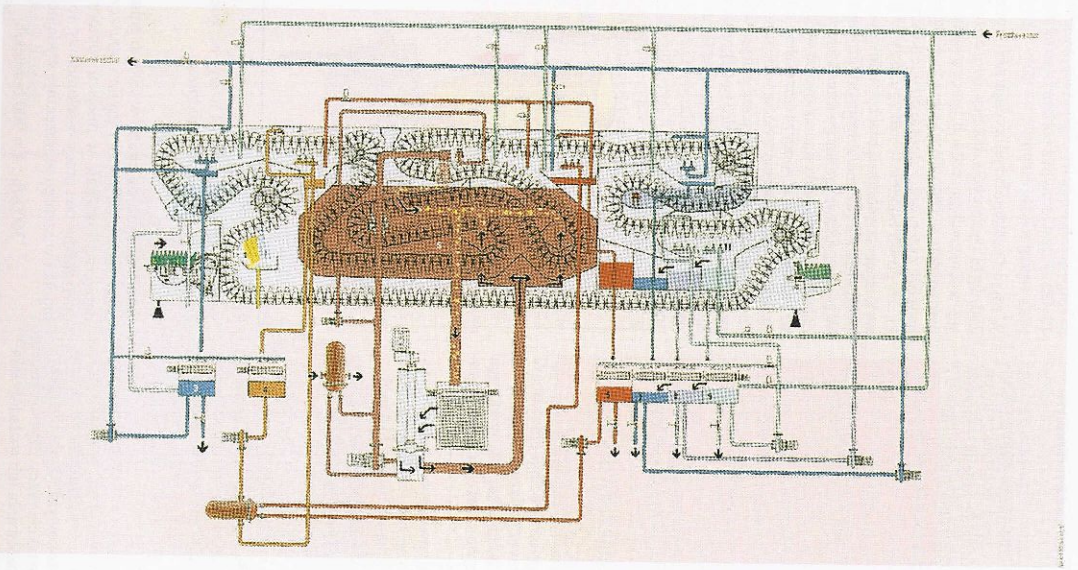


Rys. 5.3

Budowa i sposób działania myjki z załadunkiem i odbiorem butelek z dwóch przeciwnych stron

(typ Lavatec KD-1, firmy Krones)

(1) opróżnianie z resztek, (2) wstępne natryski 1, (3) wstępne natryski 2, (4) kąpiel ługowa 1, (5) kąpiel ługowa 2, (6) kąpiel ługowa 3, (7) natryski ciepłej wody 1, (8) doprowadzenie ciepłej wody do kąpieli wodnej 2, (9) natryski zimnej wody, (12) kąpiel w ciepłej wodzie 2, (13) natryski świeżej wody



Rys. 5.4

Schemat działania myjki o budowie płaskiej

(typ Lavatec KD, firmy Krones)

(1) Opróżnianie butelek z resztek, (2) wstępne moczenie, (3) wstępne natryski, (4) odzyskiwanie ciepła, (5) główna kąpiel ługowa, (6) natryski ługiem, (7) natryski ciepłą wodą 1, (8) doprowadzenie ciepłej wody do kąpieli wodnej 1, (9) natryski zimnej wody, (10) kąpiel ciepłej wody 2, (11) natryski świeżej wody

5.1.2.2.2 Podstawowe części maszyn myjących

Wszystkie maszyny myjące mają szereg wspólnych podstawowych części konstrukcyjnych, które zostaną w tym rozdziale kolejno omówione. Należą do nich urządzenia służące do:

- doprowadzania i odzyskiwania ciepła,
- transportu butelek,
- załadunku i odbioru butelek,
- natrysków wewnętrznych i zewnętrznych,
- napędu maszyny,
- usuwania etykiet i stłuczki,
- odsysania oparów i wodoru,
- dezynfekcji górnej części obudowy,
- sterowania maszyną.

Na specjalną uwagę zasługuje roztwór ługu w myjce, jego obróbka i utrzymywanie stałego poziomu stężenia.

System doprowadzania i odzyskiwania ciepła

Wody spływające z natrysków zbierane są w systemie zbiorników i przez rurociągi oraz pompy zawracane do ponownego użycia. Część tej wody służy do ogrzewania kąpieli, w których brudne butelki moczone są przed traktowaniem ich ługiem.

Zawartość kąpieli ługowych jest stale pompowana w obiegu zamkniętym zasilając natryski, przez pompy o wydajności 100 do 150 m^3/h.

Temperatura ługu w kąpielach utrzymywana jest na wyznaczonym poziomie przez automatyczny regulator.

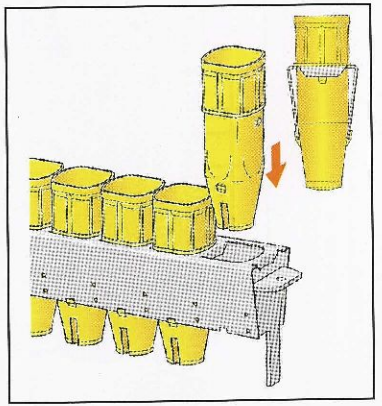
Woda z natrysków, jeśli nie jest zbyt brudna, może być używana kilkakrotnie.

Odzyskiwanie ciepła z natrysków i kąpieli ługowych i przenoszenie go do innych sektorów myjki odbywa się za pomocą płytowego wymiennika ciepła.

Transport butelek

Butelki są transportowane w koszach-gniazdach ustawionych szeregowo przez wszystkie sektory myjki. Łańcuch nośny przesuwa się ruchem jednostajnym lub skokowym. W obydwu przypadkach mówimy o takcie pracy, czyli o czasie potrzebnym do załadowania lub rozładowania jednego szeregu butelek. Takt pracy wynosi 3 do 4 sekund i jest jednym z parametrów określających wydajność maszyny.

W myjce, zależnie od jej wydajności, może być 200 do 600 szeregów butelek, które znajdują się w koszach-gniazdach umocowanych na przenośniku w stalowych szynach. Każda szyna może przenosić, zależnie od wielkości myjki, 16 do 40 butelek w szeregu. Szyny nośne wykonane są z solidnej blachy stalowej i są tak ukształtowane, że nie ulegają odkształceniom. W otworach szyn są zamocowane kosze (gniazda) dla butelek, wykonane z tworzywa sztucznego lub ze stali łączonej z tworzywem sztucznym (rys. 5.5). Tworzywo sztuczne konieczne jest do ochrony butelek przed porysowaniem przez twardy metal. Ponadto butelki ustawiają się w koszach centrycznie, co jest istotne dla natrysków wewnętrznych.



Rys. 5.5
Szyna przenośnika butelek w myjce z koszami-gniazdami z tworzywa sztucznego

Butelki biegną szeregami w swoich gniazdach przez wszystkie sektory myjki i opuszczają je dopiero po umyciu, w miejscu odbioru. Jeśli przyjmiemy takt pracy 4-sekundowy, to każda butelka w szeregu reprezentuje wydajność

3600s/h : 4 = 900 butelek/h

Zakładając, że browarowi potrzebna jest wydajność mycia = 30 000 butelek na godzinę, to w myjce każdy szereg musi mieć co najmniej

30 000 : 900 = 33 butelki.

Takt pracy myjki można regulować i zależy on w zasadzie od wielkości butelek. Zwykle im większa butelka, tym powolniejszy takt pracy.

Załadunek do myjki i odbiór butelek

Pierwszy etap załadunku butelek, polegający na ustawieniu ich w szeregu wzdłuż całej szerokości myjki, przebiega przy pomocy transportera, który utrzymywany jest w ruchu oscylacyjnym i rotacyjnym (rys. 5.6). Następnie, ustawione w rzędzie przez zainstalowane na transporterze prowadnice, butelki dociskane są do wału, który popycha je do góry, do poziomo ustawionych koszy.
Odbiór umytych butelek odbywa się przy pomocy dźwigni (rys. 5.7). Każdy kolejny szereg butelek wysuwający się z gniazd jest przez nią łagodnie ustawiany na przenośniku.

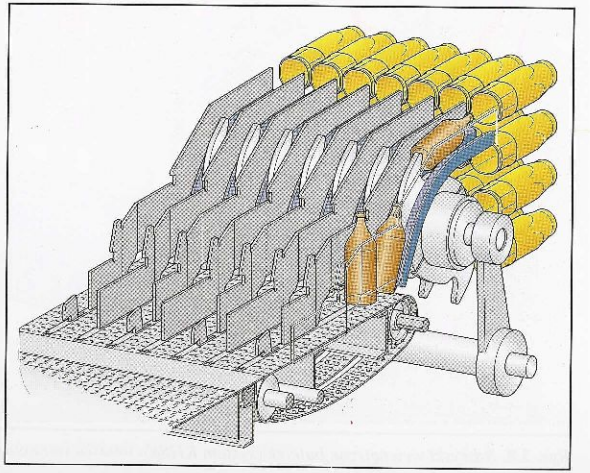
Natryski

Po szeregu kąpieli, we wszystkich myjkach butelki przechodzą przez sektory natrysków o malejących temperaturach, które dokładnie spłukują ich wnętrze, aby usunąć wszelkie resztki ługu i dodatków myjących. Konieczne jest przy tym, aby ostry strumień natrysku, wydobywający się z dyszy pod ciśnieniem, dotarł do każdego zakamarka wnętrza butelki, a w szczególności zagłębienia okalającego dno.

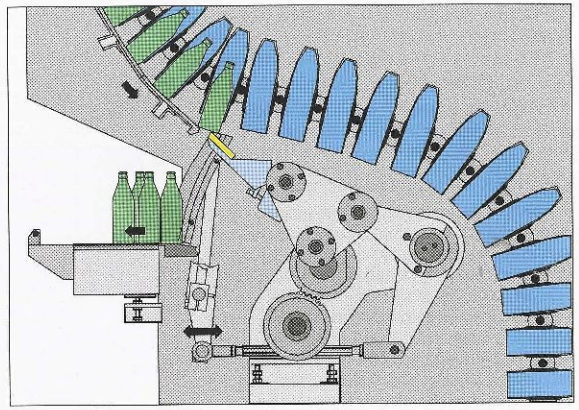
Aby natrysk był skuteczny, trzeba brać pod uwagę następujące warunki:

- Otwór butelki ma małą średnicę, która w większości wypadków wynosi około 16 milimetrów,
- Ostry strumień natrysku powinien być skierowany na wszystkie części dna butelki. W tym celu ruchy wału z natryskami muszą być dokładnie zsynchronizowane z postępowym ruchem przenośnika butelek.
- Objętość strumienia wprowadzonego do butelki musi być tak obliczona, aby w szyjce nie tworzył się zator, gdy cieczy będzie wstrzykiwanej więcej niż może wypłynąć. W takim wypadku strumień z dyszy będzie hamowany przez wypływający z butelki płyn i skuteczność mycia znacznie się obniży.

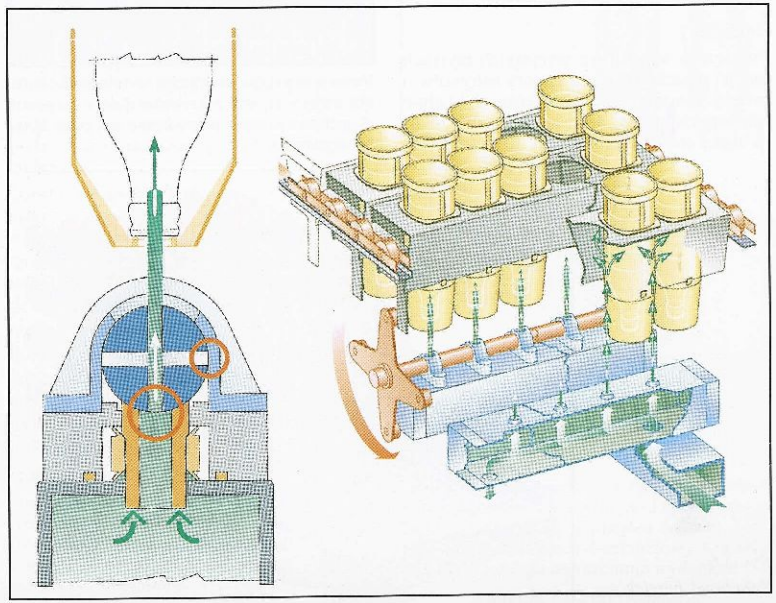
Praca natrysków przebiega w taki sposób, że obracający się wał natrysków działa w sposób zsynchronizowany z każdym szeregiem butelek (rys. 5.8).



Rys. 5.6
Załadunek butelek do myjki



Rys. 5.7
Rozładunek butelek z myjki



Rys. 5.8. Natryski wewnętrzne butelek (system KHS)

Wał natrysków ma przewiercenia, które przepuszczają strumień dostosowany precyzyjnie do powolnie przesuwających się butelek, przy czym ich ściany i dno są intensywnie spłukiwane pod różnymi kątami i w różnych kierunkach (rys. 5.9). Ten system zapewnia dobre umycie wnętrza butelki.

Znajdujące się na wale dysze ustawione w stosunku do siebie pod katem 90°. Obrót wału powoduje ciągłe zmiany kierunku natrysku, a jednocześnie dzięki temu nie mogą się na dyszach osadzać resztki etykiet.

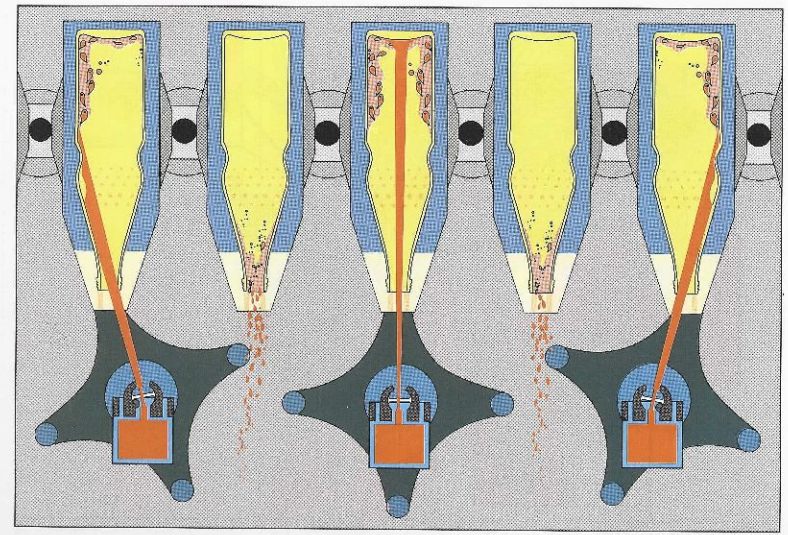
Ciśnienie natrysku wynosi 2-2,5 bar (0,3 do 0,35 MPa). Średnica otworów dysz wynosi od 2 do 4 mm. Musi ona pozostawać stała, gdyż od niej zależy skuteczność mycia. Strumień myjący nie może utrudniać wypływu wody z butelki.

Przy wysokich temperaturach, jakie panują wewnątrz myjki, na dyszach osadza się z wody kamień, który może spowodować ich zaczopowanie, jeśli się temu nie przeciwdziała. W związku z tym do płynów myjących dodaje się środki zapobiegające osadzaniu się kamienia, zarówno na dyszach, jak i na butelkach.

Aby zapobiec wtórnej infekcji butelek, do zimnej wody spłukującej dodaje się często odpowiednią ilość nadchloranów (do 4 mg ClO_2/l). Zabieg ten przeprowadza się w osobnym zbiorniku poza myjką.

Napęd maszyny

Łańcuchy przenośnika, niosącego kosze z butelkami, napędzane są przez silniki prądu zmiennego za pośrednictwem mechanicznych przekładni ślimakowych, obracających nośne koła zębate we wszystkich punktach zawieszenia łańcucha. Szybkość obrotów każdego silnika regulowana jest elektronicznie przez centralny układ sterujący, który synchronizuje napęd całego przenośnika (rys. 5.10).



Rys. 5.9 Natryski z obrotowymi wałami dysz

Usuwanie etykiet

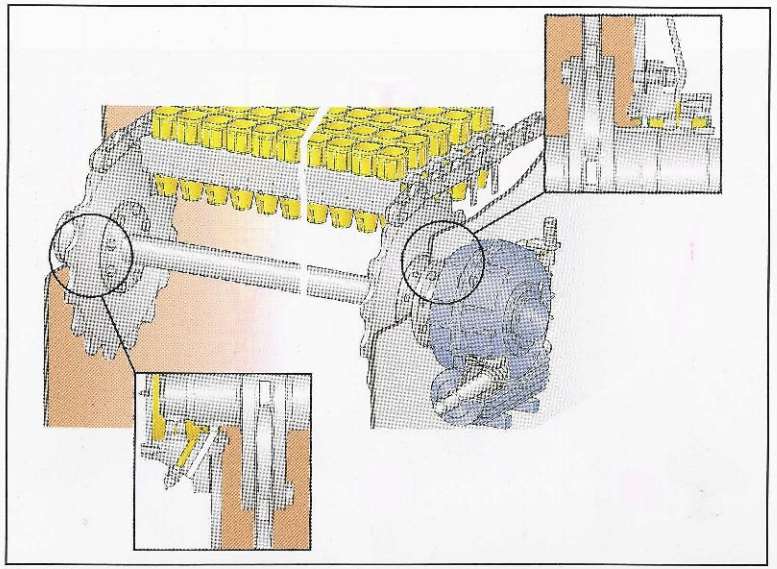
W gorącej kąpieli ługowej odklejają się wszystkie etykiety i folie. Odklejenie musi być całkowite, a etykiety nie mogą się przy tym rozpadać. Im dłużej jednak etykiety pozostają w kąpieli ługowej, tym większe jest niebezpieczeństwo, że się rozpadną i utworzą papkę. Z tego względu trzeba jak najszybciej usuwać z myjki odklejone etykiety.

Usuwanie etykiet odbywa się na zasadzie energicznej cyrkulacji roztworu ługu, który porywa odmoczone etykiety i niesie na sito. W większych myjkach stosuje się ażurowe taśmy z tworzywa sztucznego lub drutu ze stali nierdzewnej (rys. 5.11 i 5.12). Potrzebną cyrkulację ługu zapewniają pompy śrubowo-wirowe o wielkiej wydajności (do 3 000 m³/h).

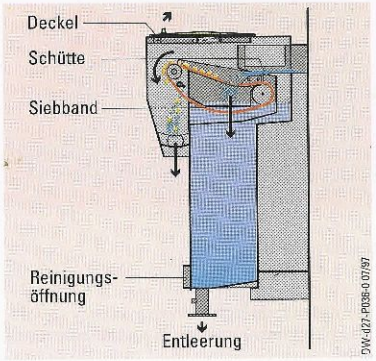
Usunięte etykiety zawierają jeszcze bardzo dużo ługu, który można odzyskać. Z tego względu mokre etykiety kierowane są na odpowiednią prasę, która znajduje się pod odbieralnikiem etykiet (rys. 5.13).
W cylindrze prasy etykiety są tłoczone ciśnieniem 12 barów i pozbawiane 80 % znajdującego się w nich ługu, przy czym ich objętość zmniejsza się o 50-75 %. Wyprasowane etykiety ładowane są do stojącego obok prasy kontenera. Usuwanie tego odpadu zwykle nastręcza pewne trudności.

Usuwanie stłuczki

Zdarza się, że pojedyncze butelki przed oraz podczas mycia pękają, a kawałki szkła gromadzą się w dolnej części maszyny. Z uwagi na to, że odłamki szkła są bardzo twarde i mogą powodować blokowanie maszyny, a nawet uszkodzenia, niektóre myjki wyposażone są w rzadkie ruszty, przez które stłuczka przelatuje i może być usunięta.



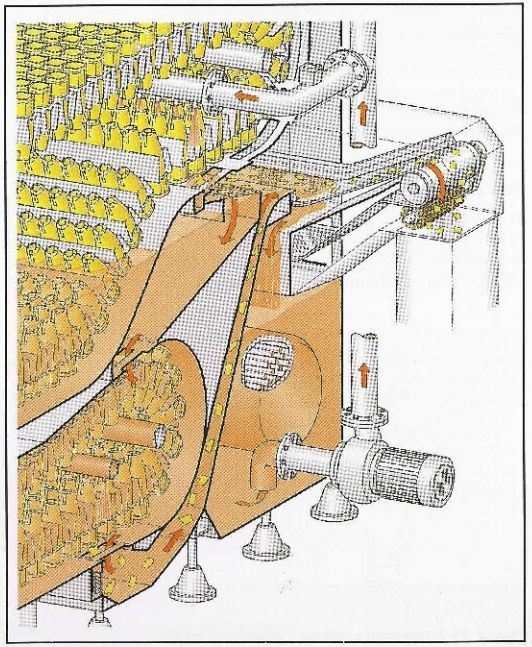
Rys. 5.10



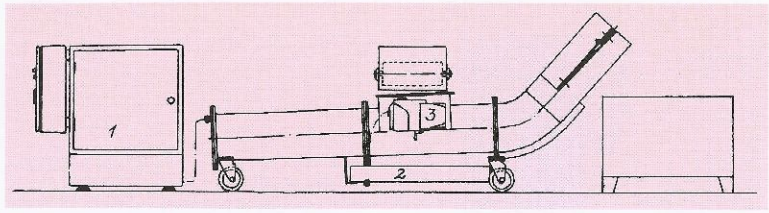
Rys. 5.11
Usuwanie etykiet na ażurowej taśmie

Usuwanie oparów

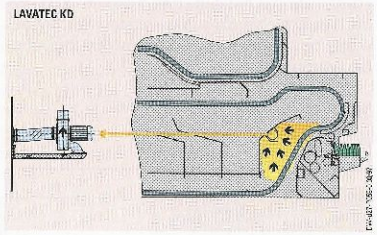
Górna część obudowy myjki stygnie. Na zimnej powierzchni blachy skraplają się opary i wraz z zanieczyszczeniami kapią na umyte butelki, co stwarza ryzyko ich wtórnej infekcji. Można temu zapobiec przez usuwanie oparów wentylatorem ssącym z sektora myjki bliskiego wyładunku butelek (rys. 5.14). W krytycznych punktach można także zastosować ogrzewanie zewnętrzne zimnych powierzchni obudowy myjki.



Rys. 5.12
Usuwanie etykiet za pomocą ukierunkowanego strumienia i ażurowej taśmy



Rys. 5.13. Prasa do etykiet starego typu
(1) szafa z wyłącznikami, (2) wanna, w której zbierane są etykiety, (3) prasa



Rys. 5.14
Wentylacja sektora wyładunku butelek

Usuwanie wodoru z myjki

Przy myciu butelek ozdobionych folią aluminiową może gromadzić się w myjce wodór, co stwarza ryzyko wybuchu i odkształcenia blach obudowy. Glin (aluminium) jest metalem, który z nadmiarem ługu sodowego tworzy sześciohydroksoglinian sodowy z wydzieleniem wodoru:

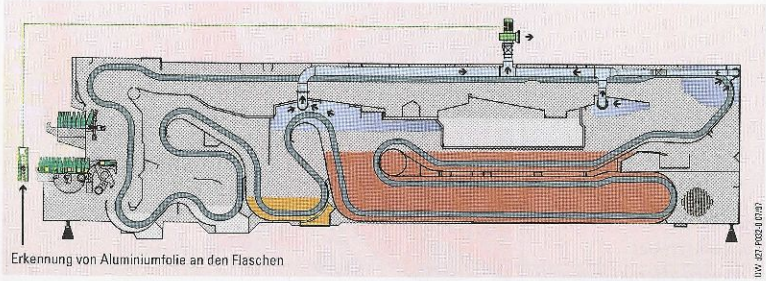
$$2Al + 6NaOH + 6H_2O \longrightarrow 2Na_3[Al(OH)_6] + \mathbf{3H_2}$$

Wydzielający się wodór musi być usuwany na zewnątrz, aby w myjce nie wytworzyło się jego niebezpieczne stężenie zagrażające wybuchem (rys. 5.15). W niektórych krajach folie aluminiowe wycofano z użycia, w związku z czym to zagrożenie przestało być aktualne. Zawsze trzeba jednak sprawdzić, z jakim materiałem mamy do czynienia.

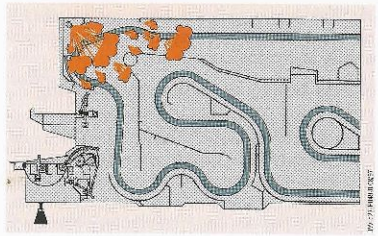
Dezynfekcja górnej przestrzeni myjki

W górnej części myjki, która stwarza zagrożenie infekcji można wbudować na stałe urządzenie do mycia i dezynfekcji blach obudowy.

Dezynfekcję górnej przestrzeni myjki można przeprowadzać na zimno lub za pomocą gorącej pary (rys. 5.16).



Rys. 5.15 Usuwanie wodoru z obudowy myjki



Rys. 5.16. Dezynfekcja górnej przestrzeni myjki za pomocą gorącej pary

Sterowanie pracą myjki

Myjki butelek, podobnie jak inne maszyny i urządzenia w nowoczesnym browarze, wyposażone są w indywidualnie programowane systemy sterujące, które pozwalają także śledzić na monitorze aktualny stan operacji mycia, parametry charakteryzujące jej przebieg i miejsca ewentualnych zakłóceń w pracy. Istnieje do wyboru wiele systemów przetwarzania informacji.

5.1.2.3 Roztwór ługu myjącego

Ług w myjce musi spełniać dwa zasadnicze warunki: po pierwsze jego stężenie powinno być utrzymywane na stałym, jednakowym poziomie, po drugie musi on być stale oczyszczany z części stałych i zawiesin.

5.1.2.3.1 Wymagania stawiane alkalicznym roztworom myjącym

Roztwory do myjki powinny spełniać następujące podstawowe wymagania:

- ich zdolność usuwania zanieczyszczeń powinna być wysoka, na co składają się:
  - sprawne rozpuszczanie brudu,
  - wysoka zdolność zwilżania powierzchni,
  - szybkie przenikanie papieru etykiet,
  - własności bakteriobójcze.
- Roztwór nie może być trujący i toksycznie obciążać ścieków,
- nie może osadzać kamienia na powierzchniach myjki i butelek,
- nie może się pienić w myjce,
- powinno się go łatwo dozować,
- w miarę możności nie powinien drogo kosztować.

5.1.2.2.2 Składniki roztworów do mycia butelek

Do mycia butelek stosuje się

1,5 do 2,0% roztwory ługu sodowego (NaOH) z różnymi dodatkami zależnie od warunków i aktualnych potrzeb mycia.

Zwykle wypada 3 do 5 części NaOH na jedną część dodatku (preparatu).

Pod wpływem dwutlenku węgla, którego w powietrzu hali rozlewu nie brak, stopniowo coraz większa część NaOH zmienia się w Na_2CO_3 i $NaHCO_3$, o znacznie słabszych zdolnościach myjących. Z tego względu trzeba stale kontrolować udział NaOH w roztworze, aby zachować skuteczność mycia.

Dodatki są to często substancje powierzchniowo czynne, których koncentraty znajdujące się w handlu zawierają zwykle 0,3 do 0,5 % ługu.

Potrzebne ilości dodatków odmierzane są proporcjonalnie do ilości NaOH przez automatyczne urządzenie dozujące, w odpowiednio zaprogramowanym stosunku. Urządzenie to umieszcza się zwykle w pobliżu myjki, w osobnym pomieszczeniu. Dla zabezpieczenia przed wyciekiem i zanieczyszczeniem terenu zakładu oraz środowiska, zbiorniki ługu i dodatków myjących ustawia się na specjalnych, nie korodujących wannach ochronnych.

Przy pracy z foliami aluminiowymi na butelkach, stężenie ługu musi być wyższe, aby zapobiec wytrącaniu się i osadzaniu związków glinu.

Druga kąpiel ługowa, jeśli taka jest w myjce, zawiera roztwór o mniejszej koncentracji **(0,5-0,8 % NaOH)**, bez żadnych dodatków, gdyż pewna ich ilość z poprzedniej kąpieli jest wnoszona na butelkach.

Do ługu dodaje się gotowe preparaty środków usprawniających mycie lub pojedyncze substancje o konkretnym zadaniu. Należą tu:

Środki do gaszenia piany

Przyczyną powstawania piany w myjce jest klej pochodzący z etykiet. Środki do gaszenia piany najczęściej nie wchodzą w skład gotowych preparatów, lecz są dodawane osobno. Ilości ich muszą być dokładnie kontrolowane analitycznie (194), gdyż niektóre, jak na przykład czwartorzędowe zasady amonowe, są trudne do spłukania i w pewnych warunkach ślady ich mogą pozostać w butelce. Poczynając od 100 µg/l środki te wpływają negatywnie na pienistość piwa. Rozpuszczając brud poprawiają one także efekt mycia.

Ponadto dodatki do środków myjących zawierają substancje zapobiegające osadzaniu się kamienia.

Przechodząc przez myjkę kosze z butelkami poddawane są na przemian ogrzewaniu i chłodzeniu. W wyniku tego następuje wytrącanie jonów Ca przez ług. Także rozpuszczalne kwaśne węglany w wyższych temperaturach przechodzą w nierozpuszczalne węglany i osadzają się na elementach przenośnika i na butelkach. Zachodzą przy tym następujące reakcje:

$$Ca^{2+} + 2HCO_3^- + 2Na^+ + 2OH^- \longrightarrow$$

$$CaCO_3 + 2Na^+ + CO_3^{2-} + 2H_2O$$

1° niemiecki twardości wody odpowiada około 18 g $CaCO_3/m^3$ wody (patrz rozdz. 1.3.5.2.3). Z tego względu korzystne jest stosowanie do myjki, zwłaszcza do ostatnich natrysków, wody o możliwie niskiej twardości. W braku takiej wody trzeba stosować kwaśne środki przeciwdziałające osadzaniu się kamienia w dyszach natrysków i na butelkach, utrzymując nimi pH wody < 8,5 (6,5-8,5).

Inną metodą, ekologicznie korzystniejszą, jest nasycanie wody dwutlenkiem węgla pod ciśnieniem, w wyniku czego węglany przechodzą w rozpuszczalne kwaśne węglany, co hamuje osadzanie się kamienia (Rehmann Process Eng.).

Jako środki kompleksujące rozpuszczone związki glinu z aluminiowych etykiet i zapobiegające ich wytrącaniu się na butelkach, stosuje się z reguły kwasy organiczne. Mają one tę dodatkową zaletę, że rozpuszczają osady i zanieczyszczenia mineralne.

Środki hamujące chemiczny „scuffing"

Gorący ług stopniowo nagryza powierzchnię butelek, powodując przy wielokrotnym ich użyciu utratę połysku przez tzw. scuffing chemiczny (166). Przeciwdziałać temu można dodając do roztworów myjących specjalne środki zawierające pewne jony i emulgatory hamujące ten proces.

5.1.2.3.3 Utrzymywanie stałego poziomu stężenia ługu

Na ściankach i wewnątrz każdej butelki, po ociekięciu, pozostaje pewna ilość wody lub ługu z poprzedniego etapu mycia. Po 10 sekundach ociekania jest to jeszcze 2 do 3 ml, po 30 sekundach ilość ta maleje do około 1 ml. Do tego trzeba doliczyć wodę lub ług niesiony przez kosze i inne elementy przenośnika, co w sumie daje 10 do 15 ml na każdą mytą butelkę. Zjawisko to nazywamy zawlekaniem środków myjących z poprzedniego etapu mycia.
Przyjmując do obliczenia tę mniejszą wartość, czyli tylko 10 ml na butelkę, przy myjce o wydajności 30000 butelek/h i dziesięciogodzinnym czasie pracy, ilość środka myjącego, zawleczonego w tym czasie z poprzedniego etapu do następnego, wyniesie
0,01 l · 30000 · 10 h = 3000 l = 30 hl.

Objętość roztworów myjących w kąpielach kolejnych etapów pozostaje bez zmiany, tylko ług ulega rozcieńczeniu wodą z kąpieli wstępnego moczenia, a że jej temperatura jest niższa, więc także i ochłodzeniu. Jednocześnie z kąpieli wstępnej trafiają tą drogą do ługu zanieczyszczenia.

Z powyższych przyczyn użytkownik myjki jest zainteresowany, aby ilości płynów myjących zawlekane z jednej sekcji do drugiej były jak najmniejsze. Konstruktor myjki może spełnić te oczekiwania wydłużając czas ociekania i ograniczając natryski w końcu strefy tylko do wewnętrznych.
Ług z biegiem czasu ulega rozcieńczeniu i trzeba go stale uzupełniać. W tym celu w nowoczesnych urządzeniach odpowiednia konduktometryczna sonda stale kontroluje stężenie ługu na podstawie przewodności elektrycznej.

Jej sygnał powoduje automatyczne uzupełnianie ługu ze zbiorników zapasowych, które buduje się z tworzyw sztucznych lub stali nierdzewnej.

5.1.2.3.4 Uzdatnianie ługu myjącego

Samo uzupełnianie ługu nie wystarcza. Jego jakość ulega pogorszeniu ze względu na gromadzące się w roztworze zanieczyszczenia stałe, koloidalne i rozpuszczalne. Należą do nich:

- włókna papierowe z rozmiękczonych etykiet,
- różnego rodzaju barwniki z etykiet,
- środki wiążące papier i wypełniacze (kaolin, skrobia),
- kleje wodoodporne, żywice,
- wytrącone osady wapienne,
- wszelki brud z butelek,
- klej pozostały z etykiet.

Te zanieczyszczenia muszą być usuwane, gdyż inaczej po 6-8 tygodniach cały ług musiałby być wymieniany. Do usuwania zanieczyszczeń można wykorzystać szereg metod:

Dekantacja

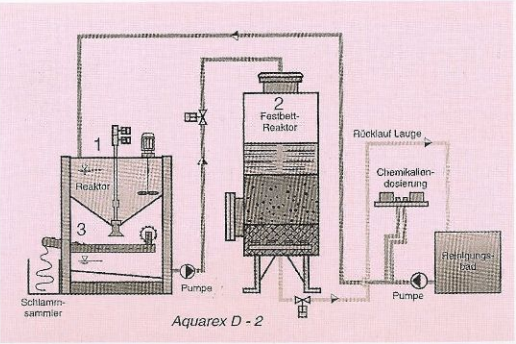
Jest to najprostszy i najczęściej stosowany sposób. Przy końcu tygodnia pompuje się cały ług do tanku osadowego z izolacją cieplną. Kiedy po dwóch dniach ściąga się ług z górnej części tanku, jest on pozbawiony zawiesiny części stałych, ale pozostają w nim zanieczyszczenia, które się rozpuściły. W rezultacie ług jest stopniowo coraz bardziej zanieczyszczony i efekt mycia coraz gorszy. Osad z tanku stanowi uciążliwy pod względem ekologicznym odpad.

Wirowanie

Zamiast zbiornika osadowego można zastosować separator samo oczyszczający. Wirówka taka ustawiona w pobliżu myjki może być stale połączona z nią dodatkowym obiegiem, co pozwala na codzienne oczyszczanie ługu z zawiesin.

Wytrącanie zanieczyszczeń i filtracja

W systemie oczyszczania ługu „Aquarex" (Rechmann Process Eng.) ług myjący jest partiami pompowany do reaktora (rys. 5.17-1), gdzie dodaje się precyzyjnie odmierzoną ilość środków strącających, flokulantów i środków utleniających. Rozpuszczone zanieczyszczenia zostają wytrącone lub zneutralizowane. Po pewnym czasie wytrącone substancje osadzają się na stożkowym dnie zbiornika. Następnie oczyszczony ług ściąga się znad osadu i przepompowuje do reaktora ze złożem stałym (2). Osad z reaktora (1) jest transportowany przez ażurową taśmę filtrującą (3), a resztki odcedzonego ługu są pompowane również do reaktora (2). W reaktorze ze złożem stałym (2) wytrąca się reszta zanieczyszczeń i oczyszczony ług po przefiltrowaniu odprowadzany jest z powrotem do myjki.



Rys. 5.17
Wytrącanie zanieczyszczeń i filtracja ługu systemem „Aquarex"
(1) reaktor cylindryczno-stożkowy
(2) reaktor ze złożem stałym
(3) taśma filtrująca

Filtracja membranowa

Użycie filtrów membranowych (typu Ultra i Nano) do oczyszczania ługu znajduje coraz szersze zastosowanie. Metoda pozwala na niemal ciągłe wykorzystywanie tego samego roztworu, gdyż przy odpowiedniej membranie można obniżyć ilość rozpuszczonych zanieczyszczeń nawet o 80 %. Pozostaje tylko uzupełniać kąpiele w myjce świeżym ługiem dla utrzymania jego koncentracji na stałym poziomie. Dzięki oszczędności środków myjących, energii cieplnej i wody oraz ograniczeniu obciążenia ścieków, koszty instalacji w wielu wypadkach zwracają się już po 2 lub 3 latach. W warunkach, gdy wysokość opłat za zrzuty ścieków mocno obciążonych chemicznie ciągle wzrasta, filtracja membranowa okazuje się opłacalną i najbardziej nowoczesną metodą oczyszczania ługu.

Jakość roztworów ługu w myjce musi być stale kontrolowana, aby zapewnić pełną skuteczność mycia, a zatem czystość i sterylność butelek.

5.1.2.3.5 Zużycie wody do mycia butelek

Na jedną butelkę o pojemności 0,5 l zużywa się od 150 do 350 ml, średnio 250 ml wody, co daje zapotrzebowanie od 0,3 do 0,7 hl wody na hektolitr piwa. Zużycie zależy głównie od liczby natrysków, gdyż nie cała woda może z nich być odzyskana. Im liczniejsze i obfitsze są natryski w końcowym sektorze myjki, tym zimniejsze wychodzą z niej butelki, ale także zużycie wody jest większe.

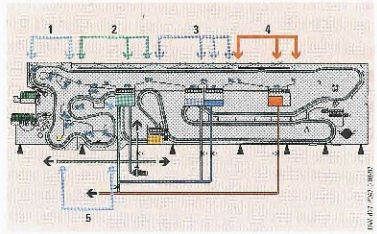
Skutkiem oszczędzania wody i ograniczenia jej zużycia do 150 ml na butelkę będzie podwyższenie temperatury butelek opuszczających myjkę do około 30°C. Nie należy jednak obniżać dalej zużycia wody poza tę granicę, bo zmniejszy się skuteczność spłukiwania butelek i mogą w nich pozostać ślady substancji powierzchniowo czynnych ze środków myjących, co jak wiadomo, bardzo pogarsza pienistość piwa.

Zużycie 200 do 250 ml wody na butelkę można uważać za racjonalne.

5.1.2.4 Czyszczenie i konserwacja maszyn myjących

Mycie wnętrza myjki odbywa się za pomocą zainstalowanych na stałe głowic natryskowych (rys. 5.18). Znajdują się one:

- w strefach ciepłych i zimnych natrysków wodnych oraz ich zbiorników,
- w strefach podawania brudnych i odbioru czystych butelek,
- w strefach wstępnych kąpieli wodnych,
- w strefach natrysków pośredniczących (usuwanie kamienia, kwaśne roztwory).



Rys. 5.18

Mycie wnętrza myjki butelek za pomocą głowic natryskowych CIP

(1) strefa wyładunku butelek
(2) strefa natrysków zimną oraz świeżą wodą
(3) strefa natrysków ciepłą wodą
(4) strefa natrysków ługiem
(5) strefy wstępnego moczenia

Ponadto po spuszczeniu ługu z myjki trzeba poszczególne baseny wymyć mocnym strumieniem wody. W strefach ciepłej i zimnej kąpieli wodnej, po spuszczeniu wody należy baseny oczyścić z osadów i dokładnie wymyć strumieniem wody pod dużym ciśnieniem. Trzeba zwracać uwagę, aby nie osadzał się kamień, gdyż na jego porowatej powierzchni osiedlają się mikroorganizmy, które w ciepłym środowisku znajdują dobre warunki rozwoju i zwiększają ryzyko infekcji butelek. W każdym razie strefy kąpieli wodnych powinny być odkażane za pomocą kwasu nadoctowego lub za pomocą środka dezynfekcyjnego pod postacią piany.

Specjalnej troskliwości wymaga wylotowa część maszyny poprzedzająca odbiór umytych butelek, zwana także „głową" myjki. Para skraplająca się na tym odcinku powoduje kapanie na umyte już butelki wody z blach obudowy, pokrywających myjkę od góry. Z tego względu konieczne jest ich regularne mycie i odkażanie. Dotyczy to również stref załadunku i odbioru butelek.

Spodnia część przenośnika butelek pokrywa się z biegiem czasu grubą warstwą brudu, którą trzeba regularnie usuwać. Stare, nie dość często oczyszczane przenośniki, ciągną brud jak gąbka i roznoszą go po całej maszynie.

5.1.3 Kontrola umytych butelek wielokrotnego użycia

Można zakładać, że wszystkie butelki opuszczające myjkę są czyste. Mimo to jednak niektóre z nich mogą:

- wykazywać uszkodzenia, zwłaszcza przy otworze szyjki,
- mieć nieregularne lub otarte („scuffing") powierzchnie,
- zawierać resztki trudnych do usunięcia zanieczyszczeń lub cieczy,
- zawierać ciała obce, których mycie nie mogło usunąć.

Aby wykluczyć takie możliwości, wszystkie butelki po umyciu, a przed napełnieniem, są poddawane kontroli.

Urządzenia do inspekcji czystych butelek

W dużych browarach kontrola umytych butelek odbywa się za pomocą urządzeń elektronicznych, wyposażonych w szereg kamer typu CCD-Matrix. Zależnie od ich budowy urządzenia te dzieli się na:

rotacyjne, czyli obiegowe i przelotowe.

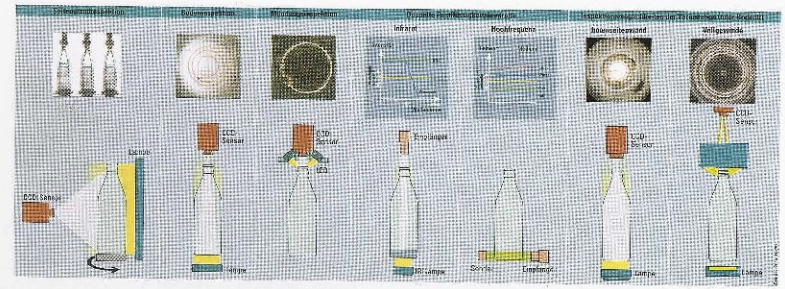
Aparat rotacyjny prowadzi puste, umyte butelki po kolistym torze, a podczas obiegu podlegają one kontroli przez kolejne, ustawione wokół toru kamery (rys. 5.19). Zalety tego urządzenia są następujące:

- ściśle określone prowadzenie każdej butelki i pełny jej obrót wokół osi,
- kontrola ścian bocznych z dużą dokładnością, zwłaszcza przy zastosowaniu kamery liniowej.

Są jednak i wady, a mianowicie:

- dla kontroli butelek o różnych wielkościach i kształtach konieczna jest wymiana niektórych części aparatury, co wymaga dłuższych przerw w pracy, pociąga za sobą koszty, konieczność magazynowania części itp,
- oczyszczanie, mycie i konserwowanie tego typu urządzeń jest bardziej kosztowne.

W aparatach inspekcyjnych przelotowych butelki ustawione na taśmie przenośnika mijają kolejno poszczególne kamery kontrolujące. Zaletą tego typu urządzeń jest ich niższa cena, natomiast podobnie jak poprzednio trzeba urządzenie dostosować zawsze do formatu butelek.



Rys. 5.19. Aparatura do kontroli umytych butelek (objaśnienia w tekście)

Przy rosnącej wydajności maszyn i coraz większej szybkości przesuwających się przed ekranem kontrolnym butelek, ulegające zmęczeniu oko ludzkie nie mogło być dalej skutecznym narzędziem kontroli. Zadanie to i rolę oka przejęły ustawione szeregiem ***kamery CCD-Matrix***. Rozkładają one obraz badanej części butelki na poszczególne punkty i według zaprogramowanego systemu oceny „tak" lub „nie", butelka jest uznawana za dobrą lub usuwana z taśmy, jako nie spełniająca warunków.

W przypadku linii rozlewu o zdolności produkcyjnej 50000 butelek/h, czas przypadający na kontrolę jednej butelki przez urządzenie elektroniczne wynosi 3600 s : 50000 = 0,07 sekundy (15 butelek/s). Czas dla kontroli otworu szyjki butelki jest odpowiednio jeszcze krótszy. Aby w tak krótkim czasie uzyskać konkretny obraz badanej części i rozłożyć go na elementy dla dokonania oceny, „zamraża" się obraz za pomocą stroboskopowego błysku. W niektórych urządzeniach ta nadmierna szybkość ruchu jest dodatkowo korygowana elektronicznie dla skuteczniejszego odczytania obrazu.

W browarach coraz częściej wykorzystuje się tak jeden, jak i drugi z wyżej opisanych typów urządzeń do kontroli stanu umytych butelek. W skład każdego z nich wchodzą następujące elementy:

- jedna lub dwie kamery z lustrem lub systemem obrotowym (albo jedno i drugie) do badania bocznych ściancek zewnętrznych butelki,
- jedna kamera do badania dna butelki,
- jedna kamera do kontroli krawędzi otworu szyjki,
- wykrywacz ługu o wysokiej częstotliwości,
- wykrywacz resztek cieczy za pomocą podczerwieni,
- jedna kamera do kontroli wewnętrznej bocznych ścian butelki,
- jedna kamera do kontroli stanu gwintów (przy butelkach z zakrętkami).

Kontrola na poszczególnych etapach przebiega następująco:

Badanie zewnętrzne bocznych ścian butelki

Zadaniem tej kontroli jest oddzielenie wszystkich butelek wykazujących nienormalności obrazu powierzchni, spowodowane na przykład przez fragmenty nie odlepionych etykiet, zadrapania, obtłuczenia, pęknięcia, lub też duży stopień zmatowienia (tzw. scuffing).

Dla kontroli zewnętrznej ścian bocznych butelka jest obracana o 360° przed źródłem światła, a w tym czasie kamera CCD-Matrix dzieli powierzchnię na 9 obrazów, które przekształca w postać cyfrową.

W przelotowych urządzeniach inspekcyjnych dwie liniowe kamery CCD biorą sześć przesuniętych względem siebie o 30° obrazów powierzchni, przy czym butelka jest obracana o 180°. We wszystkich przypadkach oświetlenie jest dostosowane do przepuszczalności światła przez szkło. Ocena obrazu odbywa się według zaprogramowanych wartości progowych.

Kontrola dna butelki

Kontrola dna butelki odbywa się za pomocą kamery CCD- Matrix przy oświetleniu lampą halogenową lub stroboskopową w połączeniu z filtrem polaryzującym. Kamera jest wyposażona w system kompensacji, który wyrównuje różnice barwy poszczególnych butelek.

W czasie badania dna dokonywana jest ocena stanu obrzeża, np. zanieczyszczeń osadzonych w kącie tworzonym między dnem i ścianką boczną, uszkodzeń szkła, ocena radialna, widok całego dna, ocena przepuszczalności światła, np. zatkana szyjka butelki, rozpoznawanie odłamków szkła lub kawałków przezroczystej folii, rys i pęknięć.

Kontrola stanu krawędzi szyjki

Stan krawędzi otworu butelki powinien być najstaranniej kontrolowany, gdyż stanowi element najbardziej narażony na uszkodzenia. Należy przede wszystkim sprawdzić, czy nie występują tu wyszczerbienia, rysy, odpryśnięcia lub twarde zanieczyszczenia, które uniemożliwią szczelne zamknięcie napełnionej butelki. Trzeba też zawsze mieć na uwadze, że odłamki szkła mogą poczynić szkody konsumentowi.

Z powyższych względów trzeba kontrolować:

- krawędzie otworu i gwinty butelek z zakrętką lub kapslem „twist-off",
- krawędzie otworu i powierzchnie uszczelniające kapsel.

Kontrola otworu butelek z zakrętką

Jako źródło światła do kontroli gwintów stosuje się albo stroboskopową lampę z ukierunkowaną wiązką światła, albo lampę boczną. Do oceny w każdym wypadku służy kamera CCD-Matrix.

Przy zastosowaniu stroboskopu światło skierowane z dwóch leżących naprzeciw siebie źródeł trafia po stycznej na gwinty, skąd jest odbijane przez obtłuczone krawędzie. Odbiornik optyczny rozpoznaje uszkodzenia i daje sygnał do usunięcia butelki.

Przy zastosowaniu bocznego oświetlenia butelka jest obracana i podczas obrotu kamera zdejmuje jej obraz:

- w urządzeniach obrotowych osiem zdjęć przy obrocie 360°,
- w urządzeniach przelotowych kamera rejestruje cztery obrazy za pomocą czterech luster przesuniętych w stosunku do siebie o 45°, podczas gdy butelka obraca się o 90°.

Kontrola krawędzi i powierzchni uszczelniającej kapsel

Zadaniem kontroli powierzchni uszczelniającej kapsel jest wykrycie wszelkich jej uszkodzeń. Rozróżnia się tu przede wszystkim szczerby w szkle, rysy oraz odpryski.

Kontrola powierzchni uszczelniającej odbywa się za pomocą:

- kamery CCD-Matrix ze źródłem światła w podczerwieni,
- obracających się czujników z dwiema lub trzema fotokomórkami oraz wiązki światła z lampy halogenowej.

Obraz powierzchni otworu butelki uzyskany za pomocą podczerwieni zostaje przekształcony w postać cyfrową i w przypadku uszkodzeń odczytany jako:

- przerwy w pierścieniu uszczelniającym,
- odblaski na zewnątrz pierścienia,

skutkiem czego jest wysłanie sygnału do usunięcia butelki.

Impulsy odebrane przez fotokomórki zostają odczytane jako uszkodzenie i butelka jest usuwana z linii.

Kontrola na wykrycie resztek ługu

W szczególnie niekorzystnych warunkach nie można wykluczyć, że resztki ługu mogą pozostać w umytej butelce, np. przy zarośnięciu kamieniem natrysków w końcowych sektorach myjki. Ten ług musi być wykryty i butelka usunięta. Służy do tego podwójna kontrola dwiema różnymi metodami, a mianowicie:

- za pomocą promieniowania wysokiej częstotliwości (HF),
- za pomocą promieniowania podczerwonego (IR).

Kontrola za pomocą promieniowania wysokiej częstotliwości

Przy wykrywaniu ługu tą metodą wykorzystuje się fakt, że jego stała dielektryczna jest dużo wyższa niż szkła. W obecności ługu czujnik odbiera więcej energii. Przy wykryciu najmniejszej nawet różnicy butelka zostaje usunięta.

Kontrola za pomocą promieni podczerwonych

Uzupełnieniem wyżej opisanej metody jest kontrola butelek za pomocą promieni podczerwonych. Jednostka kontrolna na podczerwień składa się z lampy, czujnika podczerwieni z obiektywem i odbieralnika sygnałów zgłaszanych w przypadku wykrycia śladów ługu.

Kontrola wewnętrznych ścian butelki

Kontrola zewnętrznych ścian butelki obejmuje tylko pewne wady, w związku z czym konieczna jest dodatkowa inspekcja ścian wewnętrznych, która pozwala także na badanie butelek z emaliowanymi na szkle etykietami.

Wewnętrzne ściany butelki bada się za pomocą kamery CCD-Matrix, przy oświetleniu lampą od spodu. Na czujnik kamery pada obraz widocznej ściany butelki oraz dna. Przy niektórych kształtach butelek ta kontrola napotyka na trudności, gdyż wydłużona szyjka zasłania górną część ścian. Dążenie do umożliwienie stuprocentowej kontroli pustych butelek powoduje wprowadzanie łatwiejszych do badania kształtów.

Inne kontrole

Poza wyżej wymienioną, kontrola powinna także wyeliminować butelki które:

- są za wysokie lub za niskie,
- mają inny kolor,
- różnią się średnicą lub kształtem,
- na podstawie określonych cech mogą być rozpoznane jako butelki obce.

Butelki usunięte z linii

Butelki, które zostały usunięte z linii, zależnie od tego czy są źle umyte, czy też uszkodzone, powinny być:

- pierwsze – zawrócone do myjki,
- drugie – dołączone do stłuczki.

Kontrola urządzeń inspekcyjnych

Ze względu na to, że butelki trafiające do rozlewu muszą być idealnie czyste i bez wad, urządzenia inspekcyjne powinny pracować niezawodnie. Trzeba je więc przetestować nie tylko po zainstalowaniu, ale regularnie kontrolować ich działanie w czasie eksploatacji. Dokonuje się tego przepuszczając celowo przez urządzenie uszkodzone lub zanieczyszczone butelki i obserwując, czy zostaną wyeliminowane. Należy również obserwować, czy nie są usuwane z linii butelki, które nie wykazują żadnych wad.

Pomimo wysokich kosztów, jakie pociąga za sobą nowoczesna technika inspekcyjna, jej zastosowanie jest dziś niezbędne dla osiągnięcia wysokiej, stałej jakości produktu. Dotyczy to również ochrony konsumentów. Przy wydajności wielu dziesiątków tysięcy butelek na godzinę skuteczna kontrola butelek bezpośrednio przez personel jest niewykonalna.

5.1.4 Rozlew piwa do butelek

5.1.4.1 Zasady procesu

Głównym zadaniem tego etapu produkcji jest prawidłowe napełnienie umytych butelek piwem. Podczas rozlewu należy:

- unikać strat piwa,
- zapewnić nominalną zawartość napoju w każdej butelce,
- zachować niezmienioną jakość produktu.

Rozlew piwa musi być tak przeprowadzony, aby nie uległa pogorszeniu żadna z istotnych cech napoju decydujących o jego wartości. Z tego względu trzeba:

- unikać wszelkich infekcji produktu w butelce,
- zapobiegać przedostaniu się powietrza do piwa,
- zapobiegać stratom CO_2 z piwa.

Trzeba dołożyć wszelkich starań, aby ilość tlenu, która rozpuści się w piwie podczas rozlewu była jak najmniejsza (patrz rozdział 5.1.7.2).

Konstruktorzy i wytwórcy nowoczesnych urządzeń do rozlewu piwa robią co mogą, aby uniemożliwić kontakt produktu z tlenem. Wstępna ewakuacja powietrza z butelek, dwukrotne napełnianie butelek CO_2 przed rozlewem, wszystko to służy odseparowaniu piwa od zetknięcia się z powietrzem i utrzymaniu wysokiej jakości produktu.

Jednocześnie trzeba zabiegać o to, aby w czasie rozlewu nie nastąpiły straty CO_2. Z tego względu ciśnienie podczas rozlewu jest utrzymywane na poziomie o 1 bar wyższym niż ciśnienie cząstkowe CO_2 w temperaturze rozlewu. Jeśli wskutek chwilowego spadku ciśnienia, np. w rurociągu, CO_2 wydzieli się z piwa tworząc pianę, trzeba będzie dużo czasu, żeby rozpuścić go z powrotem.

Na świecie istnieje wiele typów urządzeń do rozlewu butelkowego. Można je dzielić według różnych zasad, jak na przykład:

1. według ciśnienia podczas rozlewu,
2. według sposobu odmierzania ilości napoju,
3. według temperatury rozlewu,
4. według wstępnych operacji przygotowania butelek.

Jednym z zadań rozlewu jest napełnić butelki tak szybko, jak to jest możliwe. Do produktów o różnych właściwościach fizycznych stosuje się różne zasady działania agregatów rozlewniczych zwanych też monoblokami. Zasady te można podzielić na:

- rozlew pod zredukowanym ciśnieniem,
- rozlew pod mocno zredukowanym ciśnieniem,
- rozlew pod normalnym ciśnieniem,
- rozlew pod zwiększonym ciśnieniem.

Rozlew pod zredukowanym ciśnieniem do około 0,93-0,98 bar ma zastosowanie do napojów niegazowanych o małej lepkości, jak wina, soki owocowe czy mleko, aby przyśpieszyć ich spływ do butelki.

Rozlew pod mocno zredukowanym ciśnieniem do około 0,6-0,9 bar ma zastosowanie do napojów o dużej lepkości, jak niektóre likiery, syropy lub pulpa pomidorowa.

Rozlew pod normalnym ciśnieniem bardzo rzadko znajduje zastosowanie.

Rozlew pod zwiększonym ciśnieniem (inaczej mówiąc – przeciwciśnieniem) stosowany jest do wszystkich napojów zawierających dwutlenek węgla.

Do piwa znajduje zastosowanie tylko rozlew pod zwiększonym ciśnieniem.

Pomiar ilości nalewanego napoju może być dokonywany według masy, objętości lub poziomu w butelce.

Piwem napełnia się butelki zawsze według poziomu (na wysokość).

Każda butelka jest napełniana do poziomu ograniczonego odpływem gazu lub czujnikiem. Ostatnio zaczęto produkować agregaty rozlewnicze do napełniania puszek według objętości.

Zależnie od temperatury rozlewu rozróżnia się:

- zimny rozlew – w temperaturze nie wyższej niż 8°C,
- ciepły rozlew – w temperaturze do około 20°C,
- gorący rozlew – w temperaturze powyżej 60°C z jednoczesną pasteryzacją napoju.

Do piwa obecnie stosuje się niemal wyłącznie zimny rozlew.

Według wstępnych operacji przygotowania butelek do napełnienia rozróżnia się wśród nowoczesnych agregatów rozlewniczych (monobloków) następujące typy:

- z opróżnianiem butelki z powietrza (ewakuacją) i napełnianiem CO_2,
- z dwukrotną ewakuacją i dwukrotnym napełnianiem CO_2,
- z przepłukaniem butelki parą, która usuwa powietrze.

Szczegóły ich budowy i działania będą omówione w dalszych rozdziałach.

5.1.4.2 Zasady budowy maszyn rozlewniczych (monobloków)

Wszystkie maszyny do rozlewu butelkowego, czyli rozlewarki, (rys. 5.20) zbudowane są według tej samej koncepcji:

- całość maszyny opiera się na podstawie z napędem, od którego za pośrednictwem kół zębatych wszystkie obracające się części urządzenia są poruszane w sposób zsynchronizowany;
- piwo i wszystkie potrzebne gazy oraz podciśnienie doprowadzane są przez rozdzielacz (11) do pierścienia, czyli korony monobloku (8), w której umocowane są elementy napełniające (piwo doprowadzone od dołu, gazy i środki myjące – od góry).

Butelki transportowane w pojedynczym szeregu trafiają na ślimak rozdzielający i po ustawieniu ich w odpowiednich odstępach trafiają na talerz tłoka podnoszącego (3), po czym gwiazda centrująca ustawia butelkę dokładnie pod elementem napełniającym. Po napełnieniu, które odbywa się podczas obrotu maszyny, butelka zostaje zamknięta przez kapslownicę (5-6), do której doprowadza ją gwiazda przekazująca. Zamknięte butelki odprowadzane są przez gwiazdę rozładowującą, która ustawia je w pojedynczym szeregu na taśmie przenośnika.

W nowoczesnych maszynach cały cykl napełniania trwa około 5-6 sekund, ale operacje wstępne i końcowe też zajmują trochę czasu. Większe wydajności godzinowe maszyn można osiągać tylko przez zwiększenie liczby elementów napełniających oraz zwiększenie średnicy korony. Średnica tej „karuzeli" może wynosić do 6,5 metra, obejmować do 200 elementów napełniających, przy zdolności napełniania ponad 100000 butelek/h. Większych średnic nie stosuje się ze względu na trudności w transporcie samej maszyny z fabryki do miejsca przeznaczenia.

5.1.4.3 Podstawowe części maszyn rozlewniczych

Ze względów technologicznych i ekonomicznych ważne jest, aby butelki były możliwie szybko napełnione i natychmiast zamknięte.

Dlatego wszystkie nowoczesne maszyny napełniające buduje się jako agregaty połączone w jednym bloku z zamykarkami (stąd używana powszechnie w Polsce nazwa monoblok).

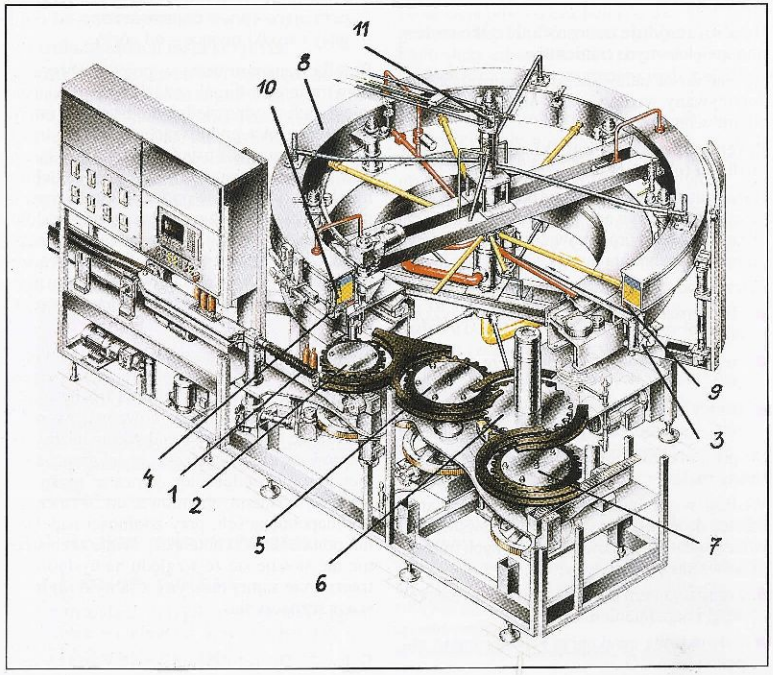
Spośród ważnych części agregatu rozlewniczego interesują nas szczególnie:

- napęd maszyny,
- doprowadzenia piwa i gazów do korony rozlewarki,
- wprowadzanie, ustawianie i wyprowadzanie butelek,
- budowa i działanie tłoków podnoszących butelki,
- ustawianie i regulacja wysokości dla różnych typów butelek,
- budowa i działanie elementów napełniających,
- zamykanie napełnionych butelek,
- mycie i odkażanie całego urządzenia,
- obsługa i konserwacja.

Napęd agregatów rozlewniczych

Nowoczesne rozlewarki i zamykarki butelek napędzane są silnikami prądu zmiennego o regulowanej liczbie obrotów. Odpowiednie przekładnie i wały napędowe przenoszą obroty silnika na karuzelę rozlewarki oraz na zamykarkę, ślimak ustawiający odstępy butelek oraz gwiazdy: centrującą, przenoszącą i wyprowadzającą butelki z monobloku.

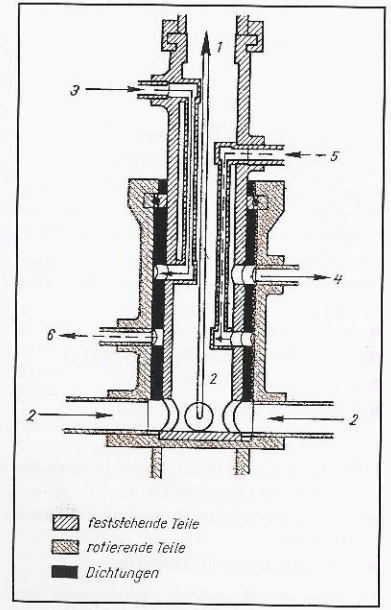
Koła zębate w dużej części budowane są obecnie z nieścieralnego tworzywa sztucznego i dzięki temu, przy odpowiednim smarze, pracują bardzo cicho.



Rys. 5.20. Agregat rozlewniczy Delta F (częściowy przekrój)
(1) ślimak wprowadzający, (2) gwiazda centrująca, (3) tłok podnoszący butelkę, (4) lejek centrujący położenie otworu szyjki, (5) gwiazda przekazująca, (6) gwiazda obiegu zamykarki, (7) gwiazda wyprowadzająca, (8) zbiornik pierścieniowy korony, (9) kanał próżniowy, (10) zawór elementu napełniającego, (11) obrotowy rozdzielacz piwa i gazów

Doprowadzenie piwa i gazów do rozlewarki

Podczas gdy karuzela rozlewarki wiruje, trzeba do niej stale doprowadzać piwo i gazy oraz odprowadzać powietrze i jego mieszankę z CO_2. Służą do tego następujące przewody:



Rys. 5.21. Rozdzielacz
(1) do pompy próżniowej, (2) rozrzedzone powietrze z butelek, (3) dopływ CO_2, (4) odpływ CO_2, (5) dopływ powietrza sprężonego, (6) odpływ powietrza sprężonego

- doprowadzenie piwa rurociągiem od dołu,
- doprowadzenie CO_2 pod odpowiednim ciśnieniem,
- doprowadzenie sprężonego powietrza,
- doprowadzenie pary (w razie potrzeby),
- odprowadzenie powietrza do pompy próżniowej (jeśli się stosuje),
- obieg roztworów myjących CIP i inne.

Wszystkie te media muszą być doprowadzane przez stałe przewody rurowe i rozdzielacz obrotowy do obracającej się wokół osi karuzeli rozlewarki.

Rozdzielacz umieszczony w środku, na osi karuzeli, działa w sposób pokazany na rysunku 5.21. Poziom piwa w zbiorniku korony regulowany jest układem pływaków. Aby zapobiec wymianie i mieszaniu się poszczególnych mediów w rozdzielaczu, powierzchnie uszczelniane wykonano z bardzo twardego, odpornego na ścieranie materiału, podobnie jak uszczelki.

Wprowadzanie, ustawianie i wyprowadzanie butelek

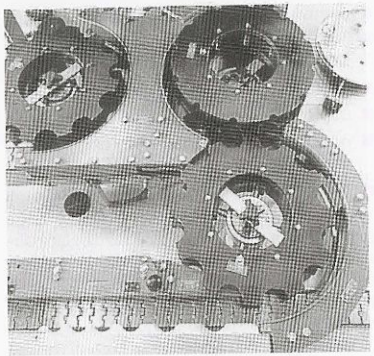
Butelki powinny być równomiernie, pewnie i bez zbytniego hałasu doprowadzone pod elementy napełniające. To samo dotyczy wyprowadzenia napełnionych butelek do zamykarki i dalej na przenośnik.

Ślimak wprowadzający ustawia nadchodzące z przenośnika butelki w takich odstępach, aby dokładnie trafiały w wycięcia obracającej się synchronicznie gwiazdy centrującej (rys. 5.22 i 5.22 a). Sama gwiazda, jak i prowadnice wokół niej zbudowane są z tworzywa sztucznego, aby uniknąć ścierania i matowienia powierzchni butelek.

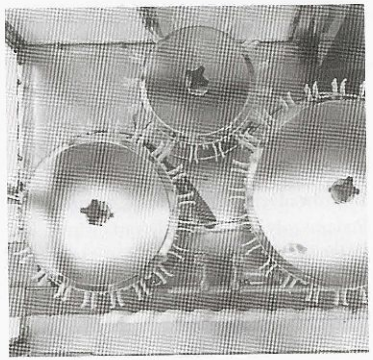
Odbiór napełnionych butelek zachodzi w podobnych warunkach. Gwiazda przekazująca podaje butelki do synchronicznie obracającej się gwiazdy zamykarki.

Budowa i działanie tłoków podnoszących

Butelki ustawione dokładnie pod elementami napełniającymi muszą teraz szybko i pewnie zostać podniesione i mocno przyciśnięte do ich uszczelek. Po napełnieniu otwarte jeszcze butelki muszą być opuszczone bez wstrząsów, które mogłyby spowodować wydzielanie CO_2 i przedwczesne pienienie piwa.



Rys. 5.22
Gwiazdy wprowadzające i wyprowadzające butelki



Rys. 5.22 a
Wariant z uchwytami

Tłoki podnoszące pracują na zasadzie pneumatyczno-mechanicznej:

- podnoszenie tłoka odbywa się za pomocą sprężonego powietrza,
- po napełnieniu butelek tłok opuszczany jest mechanicznie.

Budowa tłoka podnoszącego przedstawiona jest na rysunku 5.23.

Po zakończeniu napełniania butelki rolka (8) ściąga mechanicznie tłok ku dołowi, początkowo szybko, następnie wolniej, przy czym sprężone powietrze z tłoka powraca do przewodu.

Zmiana wysokości i dopasowywanie do różnych wielkości butelek

Wymagania rynku powodują, że browar musi czasem zmieniać wielkość opakowań. Aby sprostać tym wymaganiom, nowoczesne maszyny rozlewnicze muszą mieć regulowaną wysokość.

Przy zmianie wysokości butelek górna część maszyny z koroną zostaje przesunięta na osi na potrzebną wysokość. Zmiana wysokości może odbywać się automatycznie lub ręcznie.

5.1.4.4 Budowa i działanie elementów napełniających

Najważniejszą sprawą podczas rozlewu jest, aby piwo nie straciło na jakości i budowa elementów napełniających musi to uwzględniać.

Elementy napełniające mają złożoną budowę i wśród różnych rozwiązań trzeba zwrócić uwagę na:

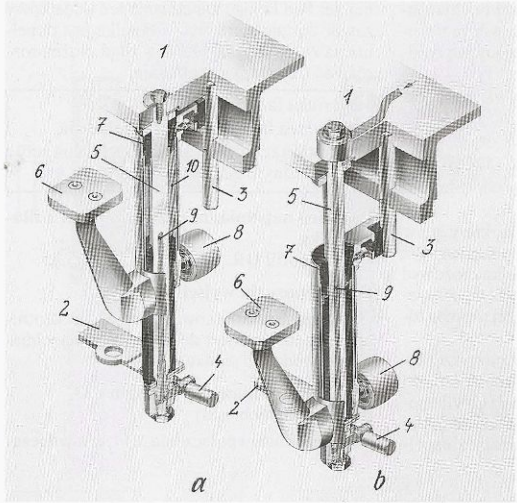
- sposób centrowania butelki,
- rurkę napełniającą (długa lub krótka),
- uruchamianie zaworów,
- napełnianie według objętości.

Sposób centrowania butelki

Zasadniczo istnieją dwa sposoby łączenia butelek z zaworem napełniającym:

- podnoszenie butelki i dociskanie do uszczelki zaworu
- opuszczanie zaworu na butelkę.

Ten drugi sposób znajduje zastosowanie przy napełnianiu puszek. Przy rozlewie butelkowym zawsze stosuje się podnoszenie butelek. Aby

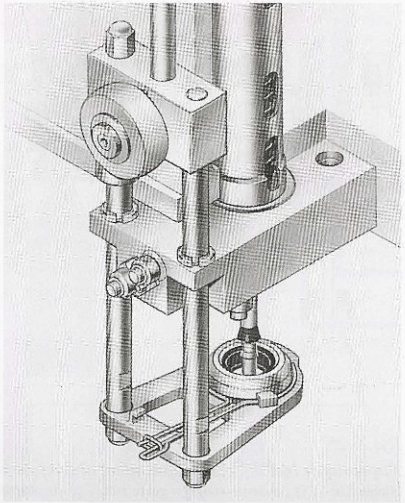


Rys. 5.23
Tłoki podnoszące
(1) górne zamocowanie
(2) dolne zamocowanie
(3) boczna prowadnica
(4) doprowadzenie sprężonego powietrza
(5) usztywniająca prowadnica tłoka
(6) talerz podnoszący
(7) tłok podnoszący
(8) połączona z tłokiem rolka
(9) dopływ i odpływ sprężonego powietrza do/z tłoka
(10) sprężone powietrze w tłoku
(a) górne położenie tłoka
(b) dolne położenie tłoka

jednak uzyskać dobre ustawienie butelki w stosunku do zaworu, stosuje się wspomagający element o lejkowatym kształcie, który opuszczany jest na butelkę i wraz z nią podnoszony do góry (rys. 5.24). Centrujący lejek ustawia butelkę dokładnie na środku zaworu napełniającego i uszczelnia połączenie.

Elementy napełniające z długą rurką

W tego typu urządzeniu butelka napełniana jest przez długa rurkę sięgającą blisko dna. Butelka napełnia się powoli od dołu ku górze, dzięki czemu unika się intensywnego kontaktu piwa z gazem w butelce, co powoduje, że rozpuszczanie tlenu jest tu bardzo małe.



Rys. 5.24 . Lejek centrujący z prowadnicami

W rurce – na wysokości, do której ma być napełniona butelka – znajduje się otwór przewodu, którym uchodzi gaz wypełniający poprzednio butelkę.

Światło przewodu, którym spływa piwo jest ograniczone przez:

- średnicę otworu butelki (ok.17 mm),
- zewnętrzną średnicę rurki (ok.14 mm),

Dla przepływu piwa pozostaje otwór o średnicy 10-12 milimetrów.

W trakcie napełniania butelki gaz, który się w niej znajduje, odpływa przez wspomniany już otwór w górnej części rurki. Butelka może być więc napełniona tylko do wysokości tego otworu, gdyż gaz znajdujący się powyżej nie ma którędy odpłynąć.

Aby przyspieszyć napełnianie w pierwszej fazie, w niektórych urządzeniach kanał, którym odpływa gaz z butelki, może być na chwilę połączony dodatkowym zaworem z atmosferą. Powstaje różnica ciśnień przyspieszająca napełnianie. Pod koniec napełniania ten dodatkowy zawór zostaje zamknięty i butelka jest dopełniania ze zwykłą szybkością. Stąd można rozróżniać trzy etapy napełniania:

- krótka faza początkowa,
- dłuższa faza szybkiego napełniania,
- krótka faza hamowanego napełniania przy normalnym ciśnieniu.

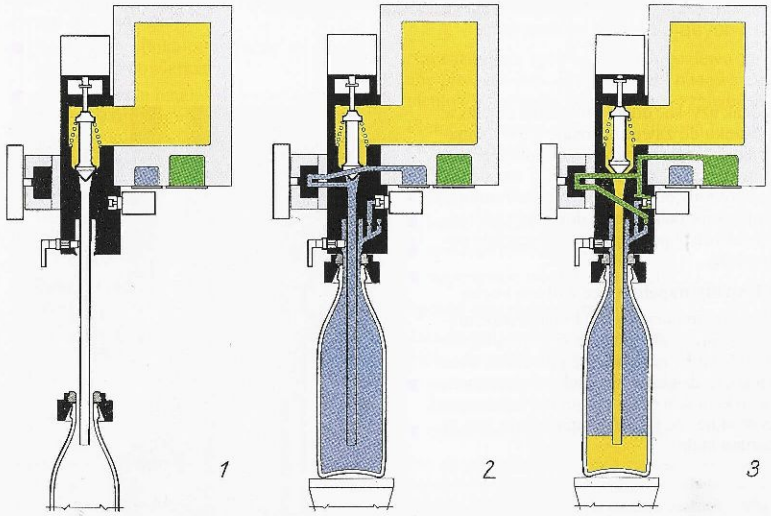
Przebieg napełniania przy zaworach z długą rurką
(**Typ Innofill DR**, f-my KHS) – rys. 5.25

Faza 1: pozycja wyjściowa

Gdy butelka wyśrodkowana przez lejek centrujący podnoszona jest do góry, rurka napełniająca wchodzi do środka.

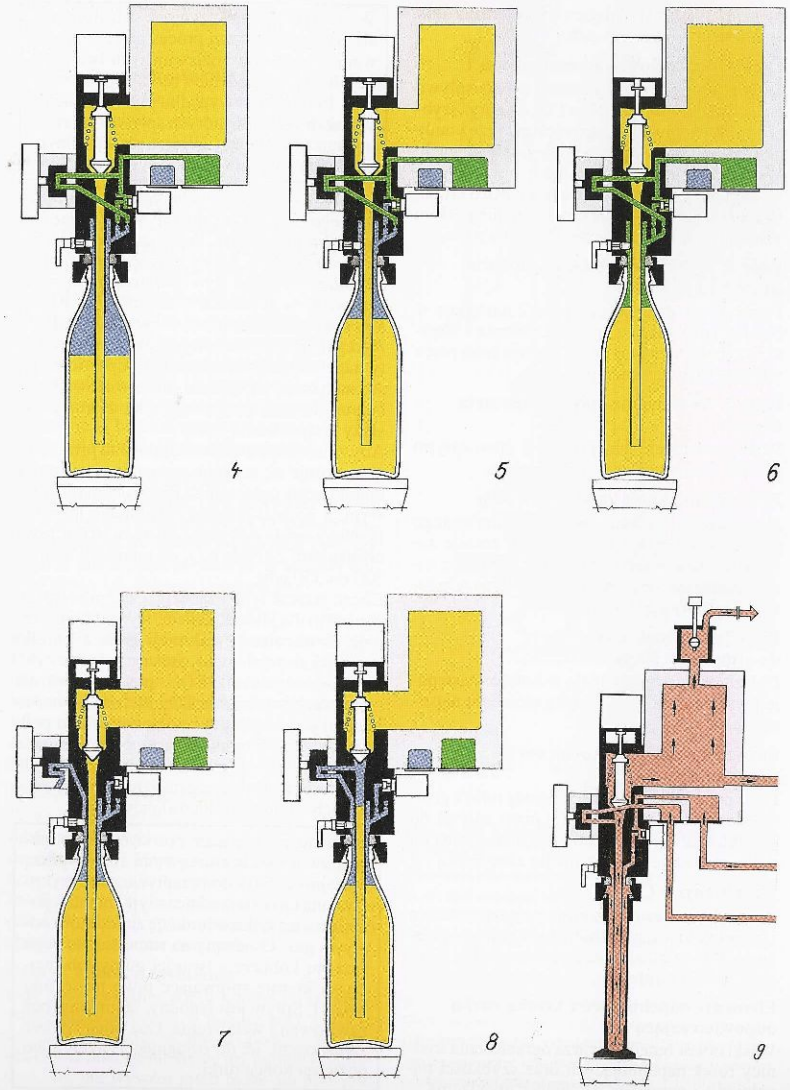
Faza 2: napełnianie sprężonym CO_2
(na rysunku niebieski)

Po uszczelnieniu połączenia, CO_2 jest wtłacza-



Rys. 5.25
Napełnianie butelek z zastosowaniem długiej rurki (typ Innofill DR, firmy KHS)
Niebieskie – CO_2; zielone – odpływ gazu; żółte – piwo; różowe – obieg CIP. Dalsze wyjaśnienia w tekście.

Black
+++



ny przez rurkę napełniającą i wypiera od dołu ku górze powietrze z butelki.

Faza 3: początkowa - otwarta dysza 1

Zawór piwny zostaje otwarty. Piwo spływa przez rurkę na dół i wypiera CO_2 do góry. Szybkość spływu piwa jest ograniczona przez mały przekrój dyszy 1 w przewodzie odpływu gazu. Wskutek małej różnicy ciśnień piwo spływa wolno i nie pieni się. Ta faza jest bardzo krótka i trwa tylko do chwili, aż piwo osiągnie poziom 10 do 20 milimetrów powyżej końca rurki.

Faza 4: szybkie napełnianie - otwarte dysze 1 i 2

Przez otworzenie dużej dyszy 2 następuje w butelce znaczniejszy spadek ciśnienia i większa szybkość spływu piwa. Ta faza trwa przez większą część czasu napełniania.

Faza 5: hamowanie spływu - otwarta dysza 1

Przez zamknięcie dużej dyszy 2 piwo spływa powoli i osiąga wyznaczony poziom.

Faza 6: zamykanie zaworu piwnego

Natychmiast po osiągnięciu wyznaczonego poziomu w butelce zawór piwny zostaje zamknięty. Jednocześnie ciśnienie w butelce zostaje zmniejszone do poziomu ciśnienia w przewodzie odpływającego gazu.

Faza 7: obniżenie ciśnienia do atmosferycznego

Dalsze obniżenie ciśnienia w butelce następuje po rozłączeniu z uszczelką elementu napełniającego.

Faza 8: opróżnianie z piwa rurki napełniającej

Przez połączenie na ułamek sekundy rurki z przewodem CO_2, zawarte w niej piwo spływa do butelki, która jednocześnie jest opuszczana ku dołowi i zostaje skierowana do zamykarki.

Faza 9: mycie CIP

Wszystkie przewody zostają połączone razem i środek myjący, a później woda krążą w obiegu zamkniętym, aby osiągnąć wszystkie miejsca zagrożone infekcją.

Elementy napełniające z krótką rurką odpowietrzającą

Wąski otwór butelki stwarza ograniczenia średnicy rurek napełniających oraz szybkości napełniania i ogranicza wydajność urządzenia.

Wobec powyższego czynione są usiłowania, aby przyspieszyć ten proces przez zastosowanie elementów rozlewniczych bez rurki napełniającej, a jedynie z rurką odpowietrzającą. Piwo w tym wypadku prowadzi się na ścianki butelki, po których spływa ono cienką warstwą. Wiąże się to ze zwiększonym ryzykiem pobrania tlenu.

(Tego typu elementy napełniające stosowała do gorącego rozlewu już prawie 40 lat temu Firma Holstein Kappert. Zwiększonego pobierania tlenu nie było, a wręcz przeciwnie. Sam testowałem wówczas tego typu urządzenie zainstalowane w Browarze Warszawskim. Wyniki tej pracy opublikowałem. Przyp. tłum. A.B.)

Agregaty rozlewnicze wyposażone w elementy napełniające z krótką rurką odpowietrzającą, nazywane są czasem także rozlewarkami bezrurkowymi, z tego względu, że rurka nie służy do nalewania piwa.

Aby zmniejszyć możliwość kontaktu piwa z tlenem stosuje się wstępne usuwanie powietrza z butelki przez połączenie z przewodem próżniowym, a później dopiero napełnienie jej dwutlenkiem węgla pod równoważnym wobec piwa ciśnieniem. Zużycie CO_2 do tego celu wynosi 320 do 350 g/hl.

Chcąc jeszcze lepiej zabezpieczyć piwo przed zgubnym dla jakości tlenem, wynaleziono metodę **dwukrotnej ewakuacji gazu z butelki** przed jej napełnieniem. Stosuje się więc cykl: próżnia – napełnienie CO_2 – powtórna próżnia – powtórne napełnienie CO_2. Metoda ta pozwala dalej jeszcze obniżyć pobieranie tlenu podczas rozlewu i poprawić jakość piwa. Znajduje ona szerokie zastosowanie w bezrurkowych, wysokosprawnych agregatach rozlewniczych o wielkich zdolnościach produkcyjnych.

Elementy napełniające z rurką odpowietrzającą, zwane też bezrurkowymi, mają wyższą wydajność, gdyż do przepływu piwa wykorzystana jest cała średnica szyjki butelki, pomniejszona tylko o średnicę rurki, którą odpływa gaz. Osadzony na rurce stożkowego kształtu kołnierz z twardej gumy lub tworzywa kieruje spływające piwo na ścianki butelki. Spływ jest łagodny, laminarny, bez zawirowań i wzburzenia. Gaz odpływa bez zahamowań, aż do osiągnięcia przez piwo poziomu końca rurki.

Jako przykład działania takiego elementu napełniającego posłuży nam zawór typu VK2V Firmy Krones (rys. 5.26):

Faza 1: pierwsza ewakuacja

Butelka za pomocą lejka centrującego (5) łączy się szczelnie z elementem napełniającym, a zawór próżniowy (9) zostaje mechanicznie otwarty stałym bolcem (10). W ciągu ułamka sekundy zostaje usunięte 90 % powietrza z butelki. Zawór utrzymujący próżnię (22), który unosi się razem z lejkiem centrującym, zapobiega zmniejszeniu próżni, gdy nie ma pod elementem napełniającym żadnej butelki.

Faza 2: przemycie butelki CO_2

Uruchomienie rolkowej dźwigni (14) powoduje krótkie otwarcie zaworu gazowego (15) i CO_2 ze zbiornika (3) trafia do butelki. Ten proces trwa bardzo krótko i kończy się przez powrót dźwigni rolkowej do położenia początkowego. Ciśnienie w butelce wzrasta do poziomu zbliżonego do ciśnienia atmosferycznego.

Faza 3: druga ewakuacja

Powtarza się przebieg fazy pierwszej i około 90 % powietrza zmieszanego z CO_2 zostaje z butelki usunięte. W wyniku tej operacji ilość powietrza pozostającego jeszcze w butelce wynosi około 1% objętości początkowej.

Faza 4: napełnianie butelki CO_2 pod ciśnieniem

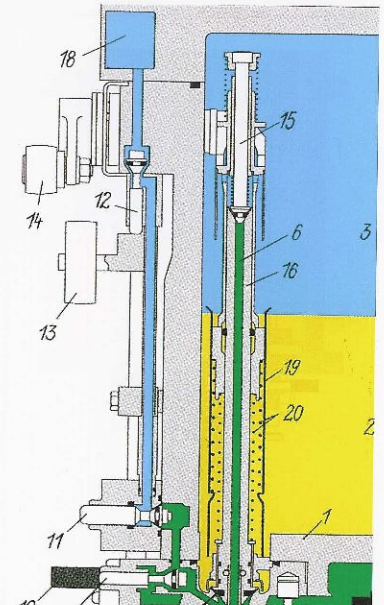
Powtarza się operacja jak w fazie 2, ale trwa ona trochę dłużej. Po dwukrotnej ewakuacji, wchodzący do butelki dwutlenek węgla nie spotyka tam już powietrza i doprowadza ciśnienie do równego ciśnieniu w zbiorniku rozlewarki. Fazy 3 i 4 nie są pokazane na rysunkach.

Faza 5: napełnianie piwem

Po wyrównaniu ciśnienia między butelką i zbiornikiem rozlewarki sprężyna (20) otwiera gniazdo zaworu (17). Piwo płynie w dół i przez stożkową nasadkę (9) kierowane jest na ścianki butelki, po których cienką warstwą spływa na dół. CO_2 z butelki powraca przez rurkę (6) do zbiornika w koronie maszyny.

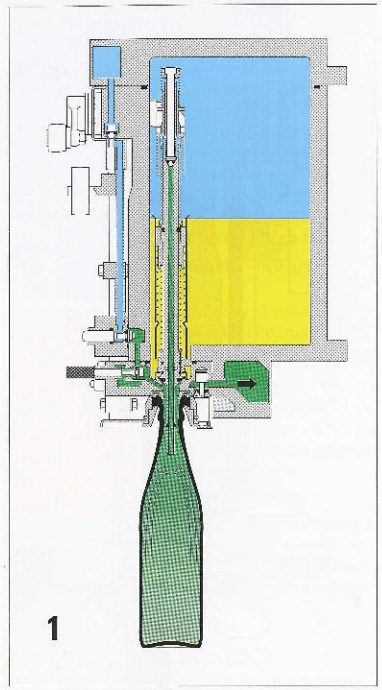
Faza 6: koniec napełniania

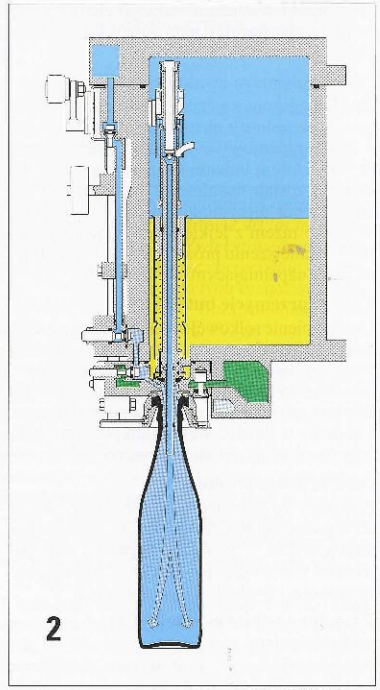
Gdy piwo osiągnie dolny koniec rurki odpowietrzającej unosi się w niej do góry zgodnie z prawem naczyń połączonych, podczas gdy gaz obecny w butelce nie może już tamtędy odpływać. To, jak wysoko piwo może się podnieść



Rys. 5.26. Rozlew butelkowy bez rurek napełniających

(1) zbiornik piwa w koronie rozlewarki, (2) piwo, (3) CO_2, (4) butelka, (5) lejek centrujący, (6) rurka dla powrotu gazu, (7) stożkowa nasadka kierująca spływ piwa na ścianki butelki, (8) przestrzeń próżniowa, (9) otwarty zawór ssący, pod nim zawór redukujący ciśnienie, (10) stały bolec otwierający zawór próżniowy, (11) zamknięty zawór CO_2, (12) zawór odprowadzający CO_2, (13) rolka uruchamiająca zawór CO_2, (14) ramię otwierające i zamykające zawory: (15) CO_2 i (16) piwny, a także (17), tj. uszczelkę zaworu w zbiorniku, (18) odprowadzenie CO_2, (19) stała obudowa, (20) sprężyny działające przy otwieraniu i zamykaniu zaworu piwnego, (21) przewód redukcji ciśnienia, (22) zabezpieczenie próżni





Uzupełnienie rysunku 5.26
Przebieg pracy rozlewarki z krótką rurką przy zastosowaniu dwukrotnej ewakuacji gazu

w rurce, zależy od różnych czynników, jak szybkość rozlewu, ciśnienie i inne. W tej fazie następuje małe przepełnienie butelki, które trzeba skorygować.

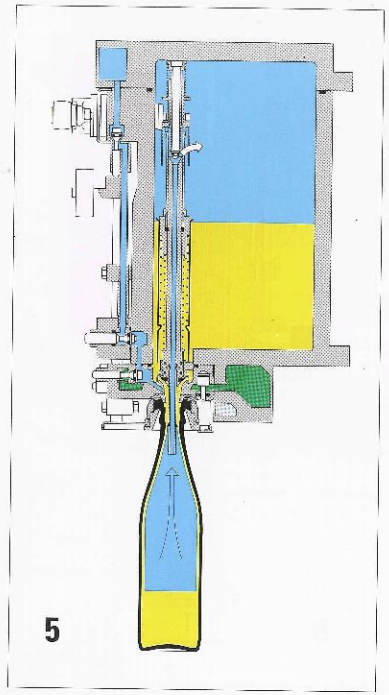
Właściwe napełnienie butelki jest ważnym kryterium oceny produktu. Niedopełnienie jest uchybieniem w stosunku do klientów i urzędu skarbowego, a przepełnianie zmniejsza zyski przedsiębiorstwa.

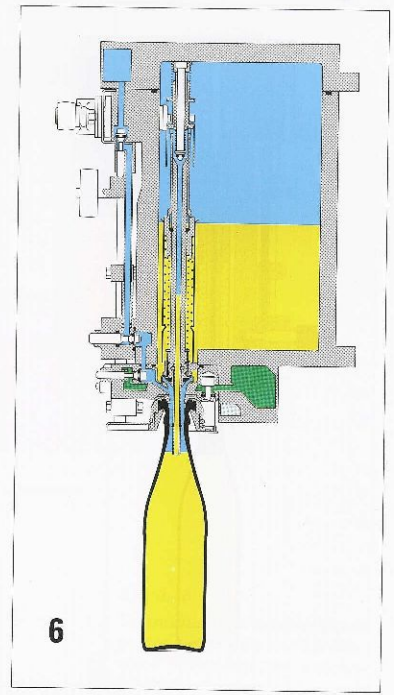
Faza 7: korygowanie napełnienia

Aby uzyskać dokładny poziom napełnienia, zawór piwny (17) przez poruszenie dźwigni rolkowej (14) zostaje zamknięty, podczas gdy zawór gazu (15) pozostaje jeszcze otwarty. Teraz umocowany z boku dodatkowy zawór CO_2 (11) zostaje otwarty i dwutlenek węgla o nadciśnieniu 0,2 bar wchodzi do butelki. Wytłacza on piwo, które znajduje się w rurce z powrotem do zbiornika rozlewarki.

Faza 8: redukcja ciśnienia (nie pokazana na rysunku)

W końcu zawór gazu (15) zostaje zamknięty przez dźwignię rolkową, a stała krzywka otwiera zawór redukujący ciśnienie (9). Gaz ulatuje przez dyszę o małym przekroju i ciśnienie w butelce wyrównuje się łagodnie z ciśnieniem atmosferycznym. Zapobiega to gwałtownemu pienieniu piwa.





Rys. 5.26. Ciąg dalszy

Mycie w obiegu zamkniętym CIP

Każda nowoczesna maszyna rozlewnicza musi być dostosowana do mycia w systemie CIP. Dla umycia rozlewarki wszystkie elementy napełniające zamyka się szczelnie dopasowanymi do lejka centrującego zaślepkami. (Na rysunku faza 9). Następnie przez pompowanie płynów myjących w obiegu zamkniętym cały układ zostaje dokładnie umyty i przepłukany.

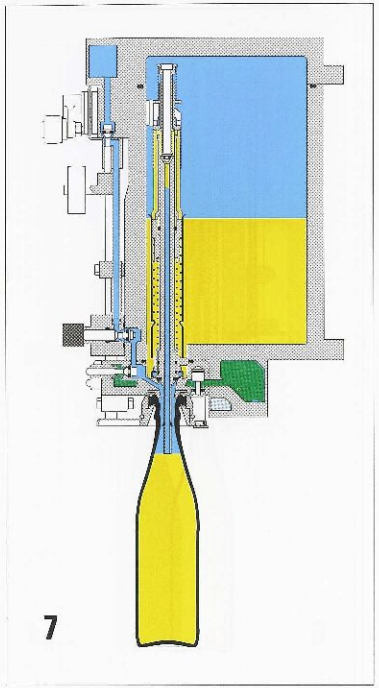
Sterowanie procesem rozlewu

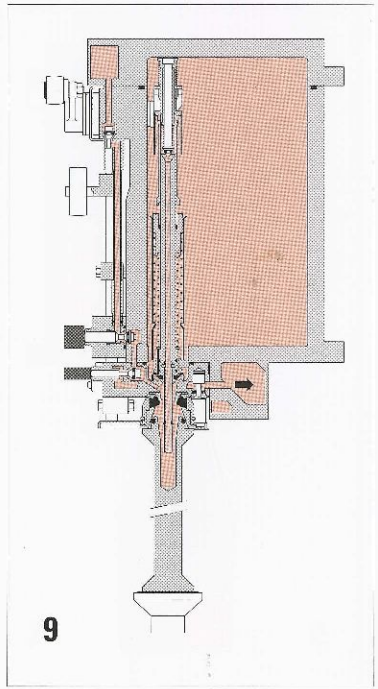
Rozlew butelkowy piwa ulegał z biegiem czasu dużym przeobrażeniom. Do lat sześćdziesiątych w użyciu były ***rozlewarki kurkowe***, nazywane tak od rozmieszczonych na obwodzie kurków wielodrożnych, których dźwignie podczas obrotu karuzeli ustawiane były mechanicznie w różnych położeniach, otwierając lub zamykając kolejno odpowiednie przepływy, tj:

- sprężone powietrze (ciśnienie równoważne w butelce),
- spływ piwa i powietrze zwrotne z butelki.

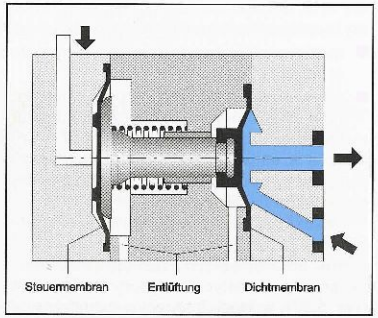
Ten typ urządzeń, poza ograniczeniami natury technicznej, miał szereg innych wad, wśród których do najważniejszych należały trudności związane z myciem i utrzymaniem odpowiedniego poziomu higieny.

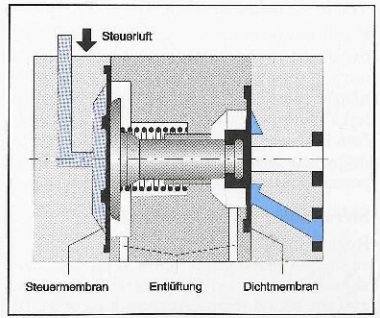
Ważnym krokiem na drodze do unowocześnienia maszyn rozlewniczych było zastąpienie zaworów uruchamianych z zewnątrz mechanicznie przez pneumatyczne zawory membranowe (rys. 5.27), w których szczelna membrana całkowicie izoluje kanały przepływów od mechanizmów zaworu.



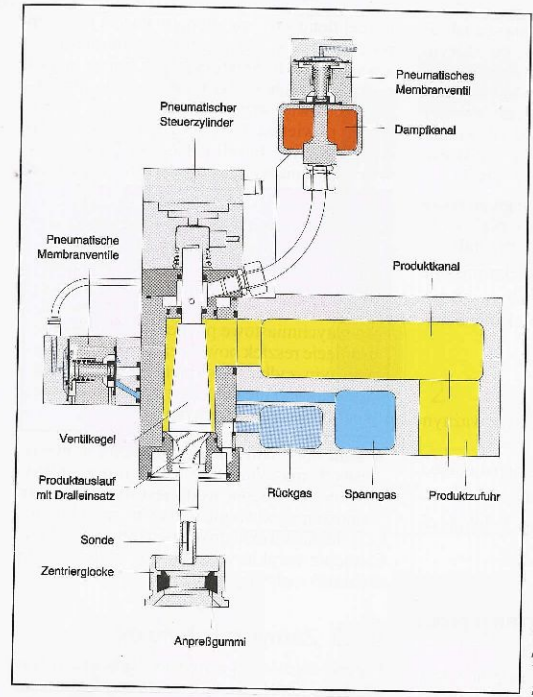


Rys. 5.26. Ciąg dalszy





Rys. 5.27. Zawory membranowe uruchamiane pneumatycznie



Rys. 5.28

Sterowanie procesem rozlewu za pomocą zaworów membranowych pneumatycznie uruchamianych

Pneumatyczny zawór membranowy sterowany jest elektronicznie i uruchamiany za pomocą sprężonego powietrza z sieci browaru (rys. 5.28). Taki sposób sterowania zaworami pozwala uniknąć wszelkich wystających i uruchamianych na zewnątrz korony elementów konstrukcyjnych.

W wielu nowych maszynach rozlewniczych elementy napełniające wyposażone są we wkładki o spiralnych rowkach, które wprawiają w ruch wirowy wypływające piwo, co powoduje wytworzenie bardziej wyrównanej warstwy, spływającej po ściankach butelki. Urządzenie sterujące w zaprogramowanych momentach otwiera lub zamyka zawory pneumatyczne.

W ostatnich latach zastosowano kilka nowych pomysłów i ulepszeń w budowie maszyn rozlewniczych oraz procesie butelkowego rozlewu piwa:

- zamiast wstępnej ewakuacji powietrza i „przepłukiwania" butelki CO_2, co ma tę wadę, że kosztuje, zastosowano „wydmuchiwanie" z niej powietrza za pomocą przegrzanej pary. Dodatkową zaletą tego zabiegu jest możliwe zniszczenie drobnoustrojów, które mogły trafić do butelki, a poza tym para mniej kosztuje niż sprężony dwutlenek węgla;
- poziom napełnienia butelki w niektórych nowych modelach maszyn regulowany jest za pomocą elektronicznej sondy. Po osiągnięciu zadanej wysokości napełnienia butelki,

wrażliwe czujniki sondy wysyłają sygnał zamykający szybki spływ piwa, po którym trwa jeszcze faza hamowanego dopełniania. Zupełne zamknięcie dopływu, decydujące o poziomie napełnienia, ma miejsce również na sygnał innej sondy, która jest tak wrażliwa na czynniki mechaniczne, że musi być umieszczona w osłonie ochronnej rurki.

Jako przykład takiego nowoczesnego urządzenia posłuży element napełniający rozlewarki typu **Innofill ER** (Firmy KHS Dortmund).

Proces rozlewu jest sterowany elektronicznie i przebiega następująco (rys. 5.29):

- wstępna ewakuacja lub przepłukanie butelki parą,
- przepłukanie butelki CO_2,
- powtórna ewakuacja,
- napełnienie butelki CO_2 pod równoważnym ciśnieniem,
- powolne, a następnie szybkie napełnianie,
- faza hamowania spływu piwa,
- koniec napełniania i częściowa redukcja ciśnienia w butelce,
- zupełna redukcja ciśnienia.

5.1.4.5 Wywoływanie pienienia przez wstrzyknięcie wody

Obecność powietrza w wolnej przestrzeni w szyjce butelki jest dla jakości piwa bardzo niepożądana i powoduje niekorzystne zmiany smaku podczas przechowania.

W piwie występuje szereg substancji, które łatwo się utleniają. Powstające przy tym związki karbonylowe, stanowiące produkty starzenia się piwa, mają bardzo niski próg wyczuwalności smakowej i nawet w śladowych ilościach mogą w znacznym stopniu pogorszyć jakość produktu. Procesu tego nie można całkowicie zatrzymać. Może on być tylko hamowany, tak aby opóźnić wystąpienie niekorzystnych zmian smaku. To między innymi jest przyczyną, dla której piwo powinno trafić możliwie świeże na stół konsumenta.

Większość związków karbonylowych w starzejącym się piwie powstaje w wyniku utleniania nienasyconych kwasów tłuszczowych, wyższych alkoholi i innych substancji, oraz wskutek reakcji Maillarda (patrz rozdz. 5.6.4.1). Im więcej tlenu zawiera piwo, im więcej trafi tam podczas rozlewu, tym szybciej można się liczyć z wystąpieniem niekorzystnych zmian smaku podczas przechowania i starzenia się produktu. Trzeba więc przy rozlewie starać się usunąć resztki powietrza, które mogą jeszcze pozostawać w szyjce butelki. Celowi temu służy wstrzykiwanie wody pod wysokim ciśnieniem.

Metoda polega na kierowaniu bardzo cienkiego strumienia wody pod ciśnieniem około 40 bar na otwory przesuwających się szeregiem, pełnych piwa butelek. Do każdej butelki trafia kilka setnych mililitra gorącej wody, o temperaturze około 80°C, powodując natychmiastowe pienienie się piwa oraz usunięcie resztek powietrza z szyjki. Trzeba przy tym zadbać, aby pienienie wywołane w ten sposób nie było zbyt intensywne i nie powodowało nadmiernych strat piwa.

W celu optymalizacji tego procesu, w nowoczesnych maszynach do rozlewu piwa intensywność strumienia wody jest *automatycznie* regulowana pod względem ciśnienia i kierunku, zależnie od aktualnych potrzeb i warunków. Ciśnienie zwykle wzrasta, gdy zwiększa się szybkość rozlewu.

5.1.5 Zamykanie butelek

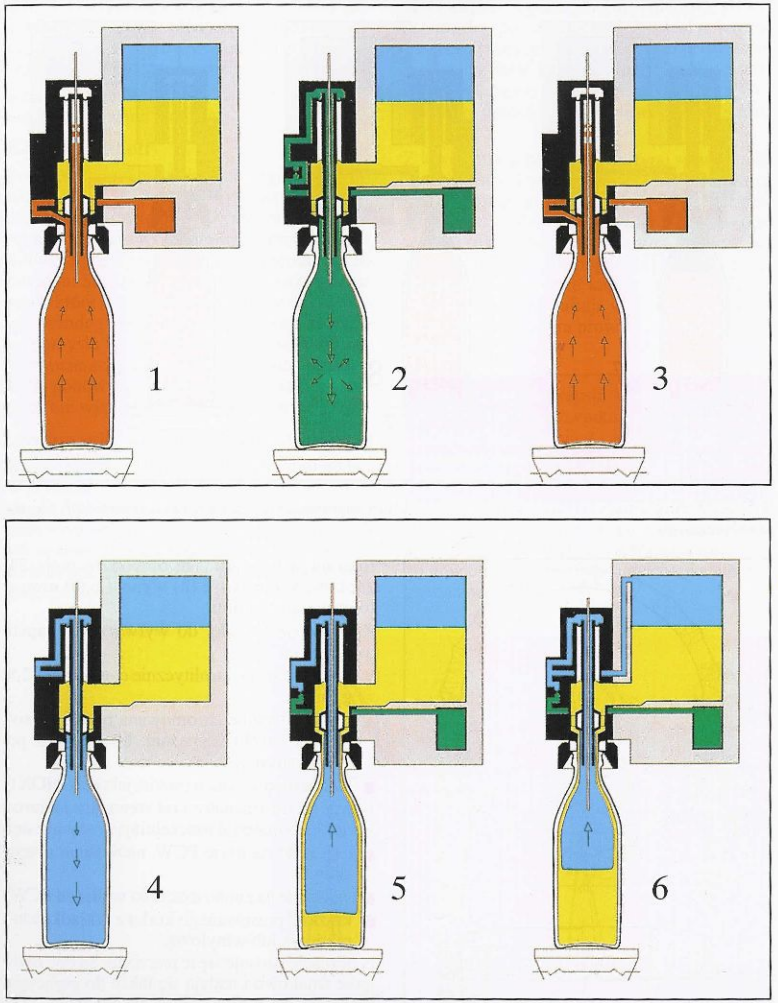
Butelki najczęściej zamykane są kapslem (zamknięcie koronowe), a czasem spotkać można jeszcze w niektórych browarach zamknięcia kabłąkowe. Bardzo rzadko i tylko do piw specjalnych stosuje się także korek naturalny, umocowany drutem jak przy szampanie.

W przypadku piw nie pasteryzowanych po zamknięciu istotne jest, aby nie nastąpiła infekcja produktu w drodze do zamykarki lub przez zakurzone, na przykład, kapsle.

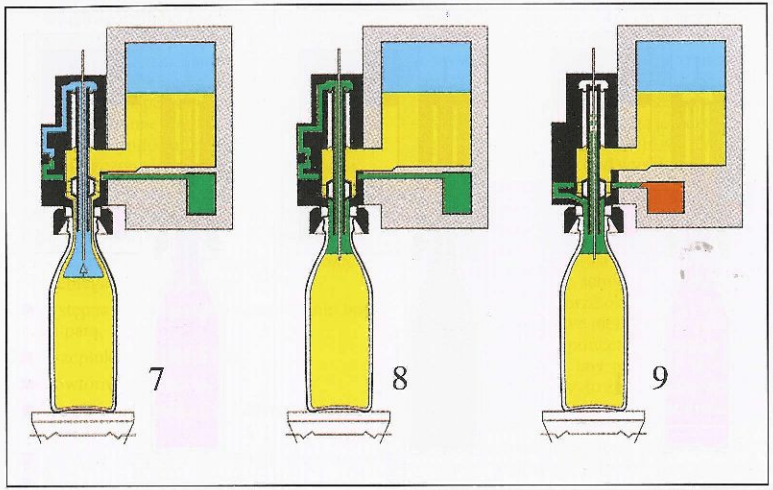
5.1.5.1 Kapslowanie

Najczęściej stosowane są zamknięcia koronowe, czyli kapsle (rys. 5.30). Wykonane są z lakierowanej, cienkiej blachy, o grubości 0,235 mm, z tolerancją 0,020 mm, oraz z wkładki uszczelniającej.

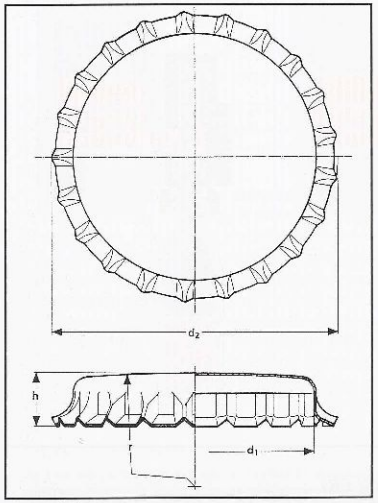
Kapsle mają średnicę wewnętrzną (d_1) = 26,75 mm (po zamknięciu ***26 mm***), a ich średnica zewnętrzna (d_2) wynosi 32,1 mm, z



Rys. 5.29. Elektronicznie sterowany rozlew (Innofill ER)
Fazy: (1) ewakuacja wstępna, (2) płukanie butelki CO_2, (3) powtórna ewakuacja, (4) napełnianie butelki CO_2 pod ciśnieniem, (5) początek napełniania, (6) szybkie napełnianie



Rys. 5.29, ciąg dalszy: (7) hamowanie spływu, (8) koniec napełniania i częściowa redukcja ciśnienia, (9) zupełna redukcja ciśnienia



Rys. 5.30
Zamknięcie koronowe (kapsel do piwa)

tolerancją 0,2 mm. Na obwodzie mają 21 ząbków, a wysokość (h) wynosi 6,00 mm, z tolerancją 0,15 mm.

Za najlepsze blachy do wytwarzania kapsli uważane są:

- biała blacha elektrolitycznie cynowana z 2,8 g Sn/m^2,
- elektrolitycznie chromowana blacha wysokiej jakości (ECCS) z min. 60 mg Cr/m^2 po każdej stronie,
- blacha nierdzewna wysokiej jakości (INOX).

Kapsle są od zewnątrz i od wewnątrz lakierowane. Jako materiał uszczelniający stosuje się:

- uszczelki na bazie PCW, naniesione natryskowo,
- wciśnięte na zimno uszczelki wolne od PCW,
- krążki z prasowanego korka z wkładką aluminiową lub winylową.

Najczęściej stosuje się te pierwsze. Są one obojętne smakowo i nadają się także do gorącego rozlewu oraz znoszą dobrze pasteryzację i sterylizację. Uszczelniają bardzo dobrze i są chętnie stosowane, mimo pewnych problemów ekologicznych, które stwarza polichlorek winylu, PCW.

Uszczelki wolne od PCW są wytwarzane z granulatu i tłoczone w różnych formach stosownie do potrzeb. Są również obojętne smakowo oraz wytrzymują gorący rozlew i pasteryzację.

Uszczelki z prasowanego korka z wkładką są rzadko stosowane do piwa.

Kapsle „twist-off"

Pod nazwą zamknięcia koronowego „twist-off" rozumie się kapsel, którym zamyka się i uszczelnia butelkę przez ćwierć obrotu w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara, a otwiera przez podobny obrót w kierunku przeciwnym. Stosuje się go do jednorazowych butelek, które muszą mieć w tym celu odpowiednie pseudogwinty. Zaletą tego amerykańskiego pomysłu jest możliwość otworzenia butelki bez otwieracza, palcami (lepiej przez chusteczkę!) i ponownego zamknięcia tym samym kapslem nie wypitej do końca porcji piwa.

„Sortowanie" kapsli (ustawianie w pozycji)

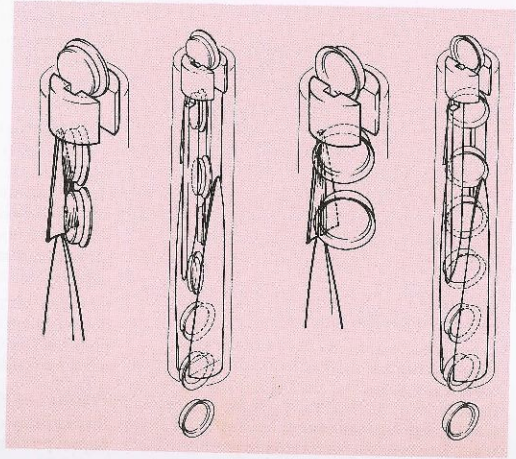
Kapsle wprowadzane do zamykarki muszą być w położeniu uszczelką do dołu. Zadanie takiego ich uporządkowania wykonuje tak zwany sortownik oraz rury odwracające (rys. 5.31). W ich działaniu wykorzystuje się to, że ząbkowana krawędź kapsla jest znacznie szersza niż strona grzbietowa.

Jeśli kapsel wpada do rury otwartą stroną (uszczelką) do patrzącego, jak to jest pokazane po prawej stronie rysunku 5.31, to przez umocowane w rurze krzywki i płaszczyzny zostanie odwrócony o ćwierć obrotu w lewo, wskutek czego opuści rurę ustawiony otwartą stroną w prawo.

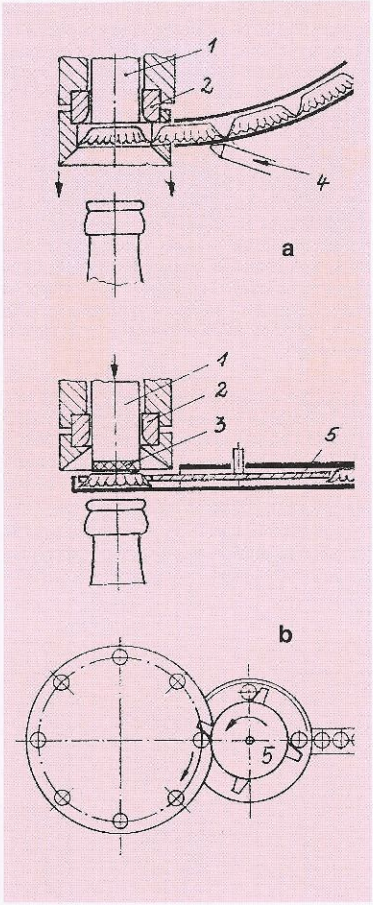
Z lewej strony rysunku pokazano sytuację odwrotną. Kapsel wpada do rury grzbietową stroną do patrzącego, a następnie przez ten sam układ zostaje odwrócony o ćwierć obrotu w prawo i w rezultacie wypada z rury w takim samym położeniu jak poprzedni. Dzięki temu urządzeniu wszystkie kapsle, niezależnie od pozycji wlotowej trafiają w tym samym położeniu do rynny, która prowadzi je pod głowicę zamykarki.

Ostre krawędzie kapsli ścierają stopniowo powierzchnie sortownika, rur i rynien i aby uniknąć blokowania z czasem należy kontrolować stan tych urządzeń i w porę naprawiać lub wymieniać zużyte części.

Wprowadzanie kapsli do głowicy zamykarki zachodzi pneumatycznie za pomocą sprężonego powietrza lub CO_2, albo mechanicznie/magnetycznie.



Rys. 5.31
Rury odwracające do ustawiania kapsli we właściwym położeniu.

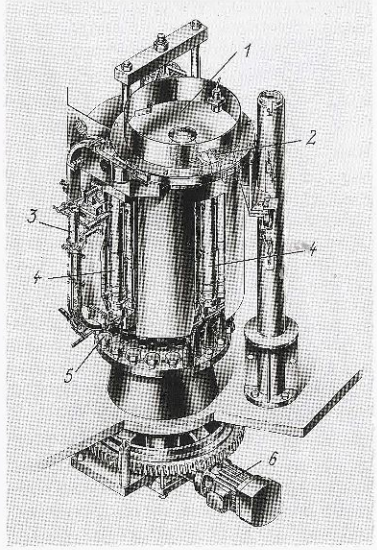


Rys. 5.32

a) pneumatyczne doprowadzanie kapsli

b) mechaniczno-magnetyczne doprowadzanie kapsli

(1) bolec dociskający
(2) stożek zamykający
(3) magnes
(4) dysza sprężonego powietrza
(5) koło przekazujące (gwiazda przenosząca)



Rys. 5.33

Zamykarka do kapsli (kapsłownica)

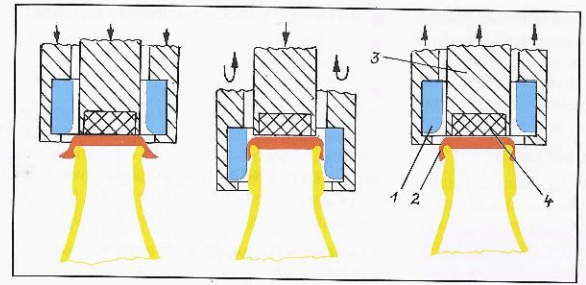
(1) sortownik kapsli
(2) napęd sortownika
(3) kanał dla kapsli z rurami odwracającymi
(4) element zamykający (głowica)
(5) przenośnik butelek (gwiazda zamykarki)
(6) napęd

Przy wprowadzaniu pneumatycznym (rys 5.32 – a), kapsel zostaje wrzucony sprężonym powietrzem do głowicy zamykarki – przy mechaniczno-magnetycznym (rys. 5.32 – b), wprowadzanie następuje za pomocą gwiazdy przenoszącej (5), która kapsle doprowadza do głowicy, gdzie zostają przytrzymane przez magnes (3).

Głowica zamykarki obraca się z szybkością dostosowaną do szybkości rozlewu. Wysokość położenia głowicy może być zmieniana stosownie do wysokości butelek (rys. 5.33).

Przebieg procesu zamykania

Proces zamykania powinien tak przebiegać, aby kapsel po zamknięciu butelki tworzył z jej krawędzią połączenie całkowicie szczelne dla gazu. Jednocześnie otwieranie butelki nie powinno być trudne.



Rys. 5.34

Przebieg zamykania

(1) stożek zamykający
(2) kapsel
(3) bolec dociskający
(4) magnes

Sam proces zamykania jest stosunkowo prosty. Może on jednak tylko wówczas normalnie funkcjonować, kiedy wszystkie elementy mają właściwe wymiary i pasują wzajemnie do siebie. Należą do nich:

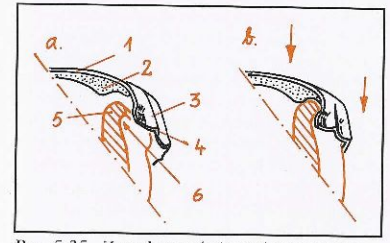
- otwór butelki i jego krawędź,
- zamknięcie koronowe, czyli kapsel,
- stożek głowicy zamykarki.

Jeśli jedna z tych części nie jest dopasowana do pozostałych, cały system nie może funkcjonować.

Podczas pracy zamykarki głowice zamykające opuszczane są przez system krzywek na butelkę tak nisko, aby kapsel położył się na jej otworze (rys. 5.34). Następnie sprężyna przyciska kapsel do butelki i stożek zamykający opuszcza się na dół. Ząbki na obwodzie kapsla zostają ugięte do dołu i przyciśnięte do rowka wokół otworu butelki, podczas gdy uszczelka zostaje dociśnięta do krawędzi szyjki, zapewniając szczelność (rys. 5.35).

Po zamknięciu butelki stożek głowicy zamykającej unosi się do góry, podczas gdy butelka jest jeszcze mocno trzymana w prowadnicy zamykarki. W niektórych zamykarkach stożek głowicy zamykającej składa się z kilku części, aby ułatwić zdjęcie go z butelki.

Po zamknięciu butelek badany jest dodatkowo stopień napełnienia, a następnie butelki trafiają pod natryski, aby zmyć resztki piwa (ryzyko korozji oraz rozwoju drobnoustrojów). Woda z małych natrysków powinna trafiać dokładnie w miejsce połączenia kapsla z otworem butelki.



Rys. 5.35. Zasada zamknięcia koronowego

(1) kapsel, czyli zamkniecie koronowe, (2) wkładka uszczelniająca, (3) ząbki, (4) zagłębienia między ząbkami, (5) krawędź otworu butelki, (6) rowek utrzymujący kapsel
a = nie zamknięte, b = zamknięte

Woda, która gromadzić się może pod ząbkami kapsla stwarza warunki elektrochemicznej reakcji między cynkiem lub chromem i żelazem, co przy dłuższym wilgotnym magazynowaniu powoduje brzydki rdzawy pierścień poniżej krawędzi otworu butelki. Aby tego uniknąć, trzeba:

- przestrzeń pod zębatą krawędzią kapsla umyć natryskiem, a następnie zdmuchnąć wodę sprężonym powietrzem,
- unikać skraplania wody na butelkach przez dobre wietrzenie magazynów.

Do sprawdzenia prawidłowego zaciśnięcia kapsli można użyć szablonu, w którym przewierconych jest szereg standardowych otworów, przez które zamknięty na butelce kapsel przechodzi, nie przechodzi lub za lekko przechodzi.

Takiemu sprawdzeniu powinno się poddać wszystkie elementy zamykające. Jeśli kapsel jest zbyt mocno zaciśnięty, mogą być trudności z otwarciem butelki, przy zbyt słabym zaciśnięciu może nastąpić nieszczelność kapsla i utrata gazu oraz wyciek piwa.

Transport i magazynowanie kapsli

Kapsle wykonane są z blachy, która jest ciałem ferromagnetycznym. Transport kapsli może dzięki temu odbywać się za pomocą taśmowego przenośnika magnetycznego, który umożliwia także transport pionowy. Zaletą takiego przenośnika jest to, że kapsle nie ocierają się o siebie.

Ostre krawędzie kapsli transportowanych luzem w kartonach ocierają się przy poruszeniach jedne o drugie oraz o ścianki kartonu, przy czym powstaje pewna ilość pyłu zawierającego także cząstki farby pokrywającej kapsle. Taki pył, gdy przylgnie do kapsli jest trudny do usunięcia i pływa później w butelce.

To samo dotyczy pyłu, który powstaje przez ocieranie się kapsli w sortowniku. Z tego względu nie należy go zbytnio napełniać, a wręcz przeciwnie ustawiać poziom wypełnienia lejka kapslami na możliwie najniższym poziomie.

5.1.5.2 Zamknięcia kabłąkowe

Zamknięcia kabłąkowe jeszcze w połowie stulecia były w powszechnym użyciu. Nieliczne browary wróciły do nich ostatnio przy rozlewie niektórych specjalnych gatunków piwa. Zamknięcie kabłąkowe składa się z:

- główki porcelanowej, na której zwykle wydrukowana jest nazwa piwa lub browaru,
- uszczelki gumowej,
- dwuczęściowego kabłąka z ocynkowanego drutu stalowego lub ze stali nierdzewnej.

Przebieg zamykania butelek

Kiedy główka porcelanowa z uszczelką gumową znajdzie się na otworze butelki, naciśnięcie do dołu kabłąka zamykającego powoduje uszczelnienie butelki. Taką butelkę można zamykać dowolną ilość razy. Przy naciskaniu do dołu kabłąka zamykającego trzeba pokonać pewien opór.

Stąd przy zamykaniu mechanicznym potrzebne są następujące fazy operacji:

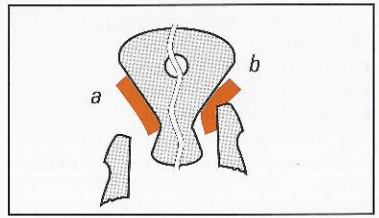
- ustawienie kabłąków w jednym kierunku,
- nałożenie porcelanowych główek uszczelką na otwór szyjki,
- naciśnięcie ku dołowi kabłąka.

W rezultacie maszyny do zamykania tego typu butelek mają stosunkowo skomplikowaną konstrukcję. Z tego względu taki typ zamknięcia stosuje się tylko dla tych gatunków piwa, które pozwalają wyższe koszty butelek i ich zamykania zwrócić przez wyższą cenę piwa.

Problemy występujące przy zamknięciach kabłąkowych

Zabezpieczenie zawartości butelki

Najczęściej zabezpieczenie stanowi etykieta, która jest naklejona na szyjce butelki i obejmuje kabłąk zamykający. Ta etykieta jest jednak słabym zabezpieczeniem i może być łatwo odklejona.



Rys. 5.36
Zamknięcie kabłąkowe z uszczelką gumową
(a) nie zamknięte (b) zamknięte

Napięcie drucianego kabłąka

Celowe jest kontrolowanie co pewien czas stanu kabłąków na butelkach, gdyż po pewnym czasie drut może się odkształcić i nie dość mocno dociska porcelanową główkę do otworu butelki, co powoduje jej nieszczelność.

Infekcje uszczelki

Przy otwartych butelkach uszczelka przylega do główki porcelanowej (rys. 5.36 – a). Po zamknięciu butelki, główka wyciska gumę do góry i odsuwa jej dolną część od główki (rys. 5.36 – b). W tej szczelinie mogą osiedlić się drobnoustroje, które następnie, przy otwartej butelce są chronione między gumą a porcelaną, wskutek czego przetrzymują proces mycia. Po zamknięciu butelki guma się odchyla i drobnoustroje trafiają do piwa.

Drugą przyczyną infekcji przez gumowe uszczelki może być zły stan i popękanie gumy, w której szczelinach lokują się bakterie. Wyżej opisane problemy i trudności powodują, że ten sposób zamykania butelek stosowany jest tylko w wyjątkowych okolicznościach.

5.1.6 Mycie rozlewarki i zamykarki

Skuteczne mycie agregatu rozlewniczego jest jednym z podstawowych warunków, niezbędnych dla utrzymania higieny produkcji oraz jakości piwa na stałym, wysokim poziomie. W browarach i innych zakładach produkujących takie napoje, jak soki owocowe i warzywne, lemoniady itp, które podobnie jak piwo stanowią dobrą pożywkę dla drobnoustrojów, sprawa gruntownego mycia i odkażania linii rozlewu często decyduje o powodzeniu lub stratach przedsiębiorstwa. Jest to bardzo istotne, zwłaszcza gdy produkt po rozlaniu nie jest pasteryzowany. Wówczas drobnoustroje, które podczas rozlewu dostały się do butelki, rozwiną się i zepsują napój.

Niżej podane wyniki wieloletnich badań i obserwacji źródeł zakażeń – to jest miejsc, w których lokują się bakterie i gniazda infekcji w agregatach rozlewniczych – dotyczą zarówno piwa jak i innych łatwo psujących się napojów pasteryzowanych w przepływie lub utrwalanych przez filtrację, czyli „na zimno". Te miejsca, którym przy myciu i odkażaniu linii rozlewu trzeba poświęcić najwięcej uwagi, to:

zamykarka – stożek i bolec zamykający, obudowa, osłony, gwiazdy;

rozlewarka – gwiazdy podające i lejki centrujące, ślimak, przenośniki oraz ich obudowy;

urządzenie kontrolne – gwiazdy i przenośniki (wysoka wilgotność!);

myjka – woda skroplona i kapiąca w miejscu odbioru butelek;

przenośniki – punkty, gdzie kapią skropliny, blachy, koryta, łańcuchy;

otoczenie linii – brud na ścianach i suficie, otwory między płytkami posadzki, zablocone studzienki ściekowe.

Większość drobnoustrojów szkodliwych dla piwa jest mało odporna na złe warunki środowiska, ale mogą one przetrwać w aglomeracji z innymi, działającymi ochronnie dla nich, bardziej odpornymi drobnoustrojami.

Do takich odpornych drobnoustrojów należą wszechobecne w browarze ***bakterie octowe***, które otaczają się warstewką śluzu. Stanowi on osłonę nie tylko dla samych bakterii octowych, ale także dla innych, które w ich otoczeniu się ulokują, chroniąc je przed wysychaniem i antyseptykami. Zużywając tlen potrzebny do ich aerobowej przemiany materii, bakterie octowe przygotowują środowisko dla beztlenowców, jak *Pectinatus i Megasphaera*, które także wykorzystują gromadzony przez inne bakterie kwas mlekowy.

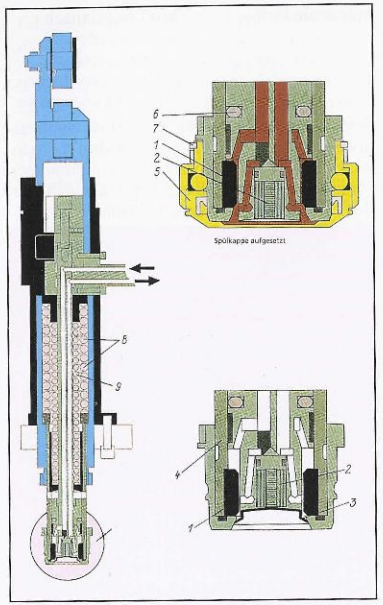
Jeśli takie gniazda infekcji nie będą systematycznie zwalczane, to szkodliwe drobnoustroje mogą przez powietrze, wodę, przenośniki, natryski oraz personel, rozprzestrzenić się po całym browarze. Nawet te bakterie, które ogólnie uważane są za nieszkodliwe, po pewnym czasie mogą się przystosować do środowiska danego napoju.

Z powyższych przyczyn trzeba zastosować wszystkie możliwe sposoby, aby regularnie i konsekwentnie niszczyć gniazda infekcji w agregacie rozlewniczym i w całym jego otoczeniu. Temu celowi służą:

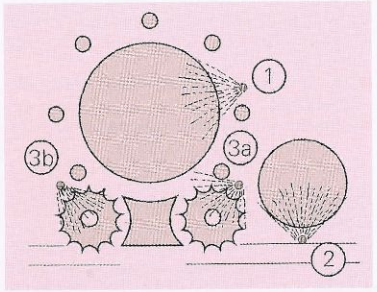
- systemy mycia rozlewarki i zamykarki w układzie CIP,
- płukanie gorącą wodą najbardziej zagrożonych infekcją części maszyny, mycie całej linii rozlewu i pomieszczeń.

Systemy mycia rozlewarki i zamykarki w układzie CIP

Jak już wyżej wspomniano, wszystkie części agregatu rozlewniczego, mające bezpośredni kontakt z produktem, muszą być regularnie myte i odkażane. W nowoczesnych urządzeniach wszystkie te części, łącznie z lejkami cen-



Rys. 5.37. Element zamykający kapslownicy
(1) stożek zamykający, (2) magnes, (3) kapsel, (4) głowica zamykająca, (5) zaślepka nakładana przy myciu, (6) doprowadzenie CIP, (7) odprowadzenie CIP, (8) sprężyna kompensująca, (9) sprężyna wyrzucająca



Rys. 5.38. Spłukiwanie gorącą wodą
(1) rozlewarka, (2) zamykarka, (3) gwiazdy przenoszące butelki

trującymi i rurkami odpływu gazu, są myte w obiegu zamkniętym systemem CIP. Sposób postępowania opisany został w rozdziale 5.1.4.4, faza 9, mycie w układzie CIP.
Przy myciu elementów zamykających kapslownicy (rys. 5.37) również stosuje się zaślepkę (5), którą nakłada się na głowicę zamykającą aby umożliwić obieg środka myjącego zaznaczonego na rysunku kolorem czerwonym. Dobre wyniki daje także spłukiwanie gorącą wodą elementów zamykających.
Ważne jest też regularne mycie sortownika kapsli za pomocą wmontowanych natrysków.

Spłukiwanie gorącą wodą

Narażone na zanieczyszczenie produktem części urządzeń powinny być regularnie spłukiwane gorącą wodą, aby zapobiec powstawaniu gniazd infekcji. Szczególnie należy pamiętać o spłukiwaniu (rys. 5.38):

- rozlewarki na wysokości zaworów, tłoków podnoszących i lejków centrujących (1),
- elementów zamykających kapslownicy (2),
- gwiazd przenoszących butelki (3) oraz taśmy przenośnika.

Spłukiwanie gorącą wodą o temperaturze około 90°C jest skutecznym środkiem zapobiegającym infekcjom. Powinno być stosowane w miarę możliwości co 2 godziny, najlepiej wykorzystując na to chwile przestojów. Do spłukiwania stosuje się obfity szeroki strumień wody, działający w czasie dwóch do trzech obrotów karuzeli rozlewarki przy połowie jej normalnej szybkości. Zaletą tego sposobu jest większa skuteczność niż okresowego stosowania środków odkażających, a jednocześnie brak problemu z usuwaniem pozostałości tych środków.

Mycie całej linii rozlewu

Po każdym dniu pracy linia rozlewu powinna być w całości umyta, zaczynając od miejsca odbioru butelek z myjki. Specjalną uwagę należy zwrócić na następujące punkty:

- regularne mycie wszystkich maszyn i ich części przy użyciu pieniących środków myjących, które dosięgną niedostępnych zakamarków,
- szczególną uwagę trzeba poświęcić niedostępnym obudowom, blachom dna maszyn i częściom napędowym,

- pamiętać należy o przenośnikach transportujących butelki, prowadnicach z tworzyw sztucznych i gwiazdach przenoszących, które są słabymi punktami ze względu na liczne otwory i zagłębienia,
- źle utrzymane podłogi są częstym siedliskiem infekcji.

5.1.7 Kontrola napełnionych i zamkniętych butelek

Napełnione i zamknięte butelki muszą być skontrolowane pod względem:

- stopnia napełnienia, czyli poziomu piwa,
- brakujących lub krzywo nałożonych kapsli,
- możliwej zawartości powietrza w szyjce butelki.

5.1.7.1 Kontrola wysokości napełnienia

Po zamknięciu kontroluje się zgodność rzeczywistego stopnia napełnienia butelek z zaprogramowanym poziomem. Jest to potrzebne, gdyż:

- przy niedopełnieniu butelki traci konsument, a browar naraża się na złą opinię,
- przy nadmiernym napełnieniu traci browar, a jednocześnie występuje podwyższone ryzyko pękania butelek w pasteryzatorze tunelowym,
- może się zdarzyć, że butelka jest napełniona tylko w niewielkiej części,
- system kontroli napełnienia rejestruje i usuwa butelki nie zamknięte lub źle zamknięte.

Wszystkie butelki z wadami muszą być usunięte z taśmy.

Kontrola poziomu napełnienia może być przeprowadzana za pomocą:

- promieni gamma,
- promieni Roentgena,
- promieniowania mikrofalowego,
- promieni podczerwonych.

Do kontroli puszek znajdują zastosowanie przede wszystkim promienie gamma i Roentgena.

Przy kontroli za pomocą promieni gamma po jednej stronie mostka pomiarowego znajduje się źródło promieni, a po przeciwnej rurka scyntylacyjna jako odbiornik. Każda butelka, która mija czujnik jest oceniana według zadanych parametrów i albo przepuszczana dalej, albo usuwana z taśmy.

Urządzenie kontrolne jest połączone elektronicznie z rozlewarką i zamykarką, dzięki czemu można określić:

- ile niedopełnień i nadmiernych napełnień powoduje każdy poszczególny element napełniający,
- które głowice zamykające pracują nieprawidłowo.

Dokładność pracy urządzenia kontrolnego musi być co pewien czas sprawdzana przez pomiar odległości między kapslem a powierzchnią piwa w butelce. Przy butelkach zamykanych kapslem nie stwarza to problemów, natomiast butelki z zakrętkami są do sprawdzenia trudniejsze.

5.1.7.2 Tlen w szyjce butelki

Zawartość tlenu w piwie, jak już wcześniej powiedziano, przy końcu leżakowania jest bliska zera (0,0 do 0,01 mg tlenu/litr). Wzrasta ona trochę w czasie filtracji (ziemia okrzemkowa, woda, filtr), tak że na wlocie do rozlewarki jest to ***0,02 do 0,03 mg O₂/l.***
Podczas rozlewu także zostaje mimo wszystko pobrana pewna niewielka ilość tlenu, ale najważniejsze jest to, żeby nie było powietrza w wolnej przestrzeni w szyjce butelki. Wcześniej już opisano, jak staramy się to powietrze usunąć z szyjki przez spowodowanie pienienia się piwa.
Całkowita zawartość tlenu w piwie, w butelce po obciągu, powinna się mieścić w granicach ***0,10 do 0,15 mg/l.***
Istnieje wiele metod oznaczania zawartości powietrza w wolnej przestrzeni w szyjce butelki oraz tlenu rozpuszczonego w piwie.
Jak już wyżej powiedziano, dzięki wstrzyknięciu minimalnej ilości gorącej wody pod wysokim ciśnieniem, w napełnionej butelce powstaje piana, która unosząc się ku wylotowi usuwa powietrze z szyjki butelki.
Nie wszystkie jednak butelki zostają skutecznie odpowietrzone:

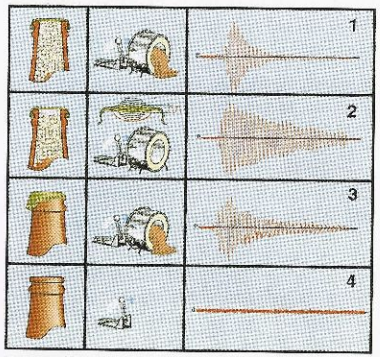
- w niektórych butelkach piana nie wznosi się aż do otworu i powietrze pozostaje w szyjce,

- w niektórych butelkach piana wprawdzie wychodzi z szyjki, ale przy dużej wydajności maszyny siła odśrodkowa może wyrzucić część piany z szyjki, a na jej miejsce wejdzie powietrze,
- przy zahamowaniach, przerwach, ponownym ruszaniu rozlewu, istnieje możliwość przeniknięcia powietrza do butelki.

W rezultacie, wskutek pozostania powietrza w niektórych butelkach jakość produktu staje się nie wyrównana.

Istnieje możliwość stałej kontroli obecności powietrza w każdej butelce i usunięcia źle odpowietrzonych. W tym celu na każdy kapsel zamykający butelkę wysyła się elektromagnetyczny impuls, który wytwarza pole elektromagnetyczne. Odbiornik częstotliwości ocenia drgania wytworzone przez ten impuls (rys. 5.38 a). Na podstawie częstotliwości i amplitudy tych drgań można stwierdzić czy:

1. butelka jest prawidłowo do samej góry wypełniona gęstą pianą,
2. występuje brak piany albo duże rozmiary jej banieczek, co świadczy o obecności tlenu,
3. kapsel jest źle nałożony i nieszczelny,
4. brak jest kapsla na butelce.



Rys. 5.38 a
Kontrola odpowietrzenia i zamknięcia butelki za pomocą impulsów elektromagnetycznych
(firma Heuft)
(1) butelka prawidłowo odpowietrzona i zamknięta, (2) obecność powietrza w szyjce, (3) krzywo nałożony kapsel, (4) brak kapsla

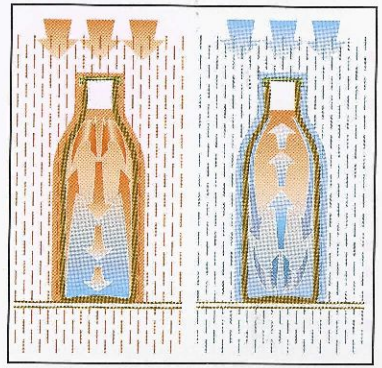
Przedstawiona na rysunku 5.38 a pałeczka wyobraża impuls elektromagnetyczny działający na kapsel. Po prawej stronie przedstawiono zapis drgań.

Opisana wyżej metoda kontroli pozwala wyeliminować źle odpowietrzone oraz źle zamknięte butelki, zapewniając tym samym jednolitą jakość produktu trafiającego na rynek.

5.1.8 Pasteryzacja w butelkach

5.1.8.1 Podstawy pasteryzacji w butelkach

Pasteryzacja w butelkach jest najpewniejszą metodą utrwalania piwa, gdyż butelka jest już zamknięta i nie ma możliwości ponownego jej zainfekowania. Warunkiem skuteczności pasteryzacji jest doprowadzenie potrzebnej ilości jednostek pasteryzacyjnych (patrz rozdz. 4.6.1.2.2), w tym także do najchłodniejszej części butelki. Kiedy napełniona butelka jest ogrzewana, ogrzany przy ściankach napój unosi się do góry, podczas gdy jeszcze zimny spływa środkiem ku dołowi (rys. 5.39). Najchłodniejsza część napoju znajduje się więc nad środkiem dna butelki. Mieszanie i wyrównywanie temperatury przebiega wolno, na co wpływa także złe przewodnictwo cieplne szkła.



Rys. 5.39. Konwekcyjne ruchy cieczy w napełnionej butelce
po lewej przy ogrzewaniu, po prawej przy chłodzeniu

Przy pasteryzacji ogrzewa się całą zawartość butelki do wyznaczonej temperatury, którą utrzymuje się odpowiednio długo, aby dostarczyć ilość jednostek pasteryzacyjnych (JP) niezbędną dla zniszczenia drobnoustrojów. Należy przy tym zwrócić uwagę na następujące sprawy:
Ciecze i gazy rozszerzają się przy ogrzewaniu. W zamkniętej przestrzeni ciśnienie gazu wzrasta, natomiast ciecze są nieściśliwe i rozszerzają się niezależnie od powstałego ciśnienia. W przełożeniu na warunki panujące w butelce wygląda to następująco:
kiedy przeznaczona do pasteryzacji butelka wypełniona jest całkowicie (bez wolnej przestrzeni gazowej), powstające ciśnienie wielu atmosfer doprowadza nieuchronnie do jej rozerwania (*odłamki rozerwanej butelki uderzając w sąsiednie powodują także ich rozerwanie i może powstać strata kilkuset butelek, przyp. tłum. A.B.*). Zbyt mała przestrzeń gazowa także nie zabezpiecza przed rozerwaniem.

To oznacza, że przy pasteryzacji piwa w butelkach musi być pozostawiona dostatecznie duża przestrzeń gazowa, zabezpieczająca przed powstaniem zbyt dużego ciśnienia i rozerwaniem butelki.

Wolna przestrzeń w butelce powinna wynosić około 4 do 5% objętości. W butelce półlitrowej będzie to więc około 20 ml. Wytrzymałość butelek do piwa powinna wynosić do 10 bar. Pojemność brutto butelki 0,5 l jest na każdej butelce podana i wynosi 520 ml (*na polskich butelkach obok 0,5 l podano 52 cl. Przyp. tłum. A.B.*).

Podczas pasteryzacji stojące na taśmie transportującej butelki przesuwają się powoli przez całą długość pasteryzatora tunelowego, gdzie są poddawane intensywnym natryskom ciepłej a następnie gorącej wody i w końcu znów ochładzane.

Proces ten w sumie trwa około godziny. Zapotrzebowanie powierzchni, jakie można stąd obliczyć wynosi 3 do 3,5 m²/1000 butelek/h. Z tego też powodu pasteryzator tunelowy jest największym urządzeniem w całym dziale rozlewu. Dla oszczędności miejsca pasteryzatory o bardzo dużych zdolnościach produkcyjnych bywają dwupoziomowe.

5.1.8.2 Konstrukcja pasteryzatora tunelowego

Pasteryzator tunelowy składa się z następujących elementów i zespołów:

- obudowa maszyny,
- taśma transportująca butelki,
- dysze natryskowe,
- urządzenie regulujące temperaturę i obieg wody,
- system rur i pomp zasilających natryski,
- system chłodzenia z odzyskiem ciepła.

Ponadto pasteryzator tunelowy może być wyposażony w automatyczne urządzenie regulujące ilość dostarczonych jednostek pasteryzacyjnych (JP), bardzo ważne w wypadku przestoju pasteryzatora.

Obudowa maszyny

Jest to prostokątna skrzynia spawana z blach, o długości do 30 m, w której są zmontowane poszczególne strefy natrysków z wannami zbiorczymi, ścianami bocznymi i pokrywą górną. Wnętrze można obserwować przez oszklone okna kontrolne. Wanny zbiorcze na wodę mają dna pochyłe i gęste sita zatrzymujące zanieczyszczenia, które mogłyby zatkać dysze natrysków. Woda pompowana jest w obiegu zamkniętym w obrębie danej sekcji pasteryzatora.
Napęd przenośnika butelek w pasteryzatorze zapewnia za pośrednictwem odpowiednich przekładni silnik prądu zmiennego o regulowanej liczbie obrotów. Działające na zasadzie momentu obrotowego sprężynowe urządzenie zabezpieczające wyłącza silnik w razie przeciążenia. Przebieg pasteryzacji, czas i temperatury sterowane są automatycznie według ustalonego programu.

Taśmy do transportu butelek w pasteryzatorze

Butelki trzeba transportować przez wszystkie kolejne strefy temperaturowe pasteryzatora. Funkcje te najczęściej spełniają ruchome taśmy bez końca. Jako ich materiał konstrukcyjny wchodzą w grę:

- pasy z odpornego tworzywa sztucznego (np. Intralox) oparte na listwach ze stali nierdzewnej,
- taśmy-łańcuchy z zawiasowo łączonych elementów ze stali nierdzewnej, oparte na listwach z mało ścieralnego tworzywa sztucznego.

Taśmy transportowe o gęstych oczkach pracują w sposób pewny i przenoszą butelki przez wszystkie strefy maszyny bez zakłóceń przy przechodzeniu z przenośników na wlocie do pasteryzatora oraz przy ich odbiorze z dalszego transportu po pasteryzacji.

Ze względu na duże obciążenia przy kilkumetrowej szerokości taśmach, w pasteryzatorach o większej przepustowości stosuje się czasami po dwie równoległe pracujące taśmy.

Ruchomy rusztdziałający na zasadzie „marszu pielgrzymów"

Przy zastosowaniu tego systemu butelki stoją na gęstym ruszcie ze stalowych listewek równoległych do osi podłużnej pasteryzatora. Ruchomy układ podobnych listewek za każdym ruchem unosi butelki nieco w górę i stawia je o malutki odcinek dalej, a następnie obniża się i wraca do pozycji wyjściowej.

Na rysunku 5.40 nieruchome listwy rusztu są szare, a ruchome mają barwę czerwoną.

W tym systemie ruchy pionowe rusztu wywoływane są przez rolki z twardej stali, poruszające się po równiach pochyłych. Ruchy poziome odbywają się za pomocą podobnych rolek poruszających się po poziomym torze.

Ruch butelek ku wylotowi pasteryzatora odbywa się w wyniku ich unoszenia i przestawiania o niewielki odcinek przez ruchome listwy rusztu. Po postawieniu butelki na nieruchomych listwach rusztu, listwy ruchome obniżają się poniżej nieruchomych i wracają do pozycji wyjściowej. Ruchome listwy rusztu i stalowe rolki są na rysunku czerwone.

Do poruszania układu równi pochyłych i samego rusztu służą hydrauliczne cylindry zainstalowane na końcu pasteryzatora. Ruszt musi być dość gęsty, aby butelki się nie przewracały.

Urządzenia zraszające

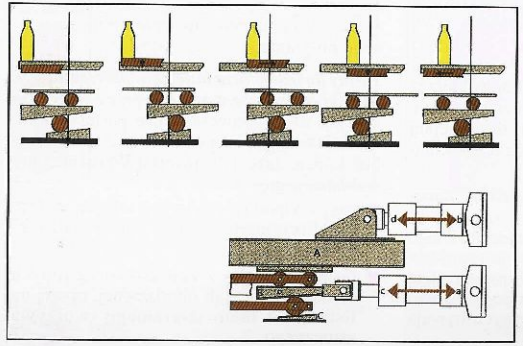
Zadaniem urządzeń zraszających jest równomierne ogrzewanie wszystkich butelek przez stałe zraszanie ich ze wszystkich stron wodą o określonej temperaturze.

System zraszania składa się z wymiennych rurek o przekroju kwadratowym. U dołu każda rurka kończy się kilkoma prostokątnymi otworami, a blaszki odpowiednio ustawione u wylotu nadają wypływającym strumieniom wody ruch wirowy, co poprawia efekt zraszania. (*Drożność tych rurek, tj. dysz, trzeba co pewien czas sprawdzać, zwłaszcza w strefie gorącej, bo mogą one zarastać kamieniem. Przyp. tłum. A.B.*).

Spływająca po butelkach woda zbiera się w wannach u dołu każdej strefy i po przecedzeniu przez gęste sita oraz ogrzaniu do zadanej temperatury w wymienniku ciepła, zawracana jest do obiegu. Temperatura wody w każdej strefie pasteryzatora regulowana jest automatycznie według programu.

Gospodarowanie ciepłem i wodą; odzyskiwanie ciepła

Aby ogrzać piwo do temperatury pasteryzacji, woda w natryskach musi być znacznie cieplejsza niż zawartość butelek. Dopiero po osiągnięciu zadanego poziomu temperatury różnica ta maleje.



Rys. 5.40
Zasada działania ruchomego rusztu („marsz pielgrzymów")

W większości wypadków piwo po pasteryzacji musi być z powrotem ponownie ochłodzone. W związku z tym rozróżnia się trzy etapy:

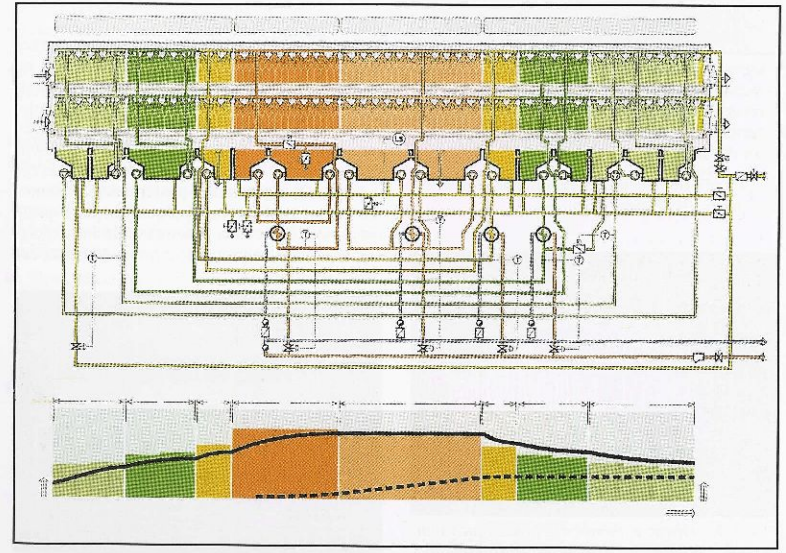
- stopniowe ogrzewanie, aż do osiągnięcia temperatury pasteryzacji,
- pasteryzacja, czyli utrzymywanie przez odpowiedni czas określonej temperatury,
- chłodzenie.

Przy ochładzaniu gorących i ciepłych butelek odzyskuje się pewną ilość ciepła, którą można wykorzystać do wstępnego ogrzewania zimnych butelek wchodzących do pasteryzatora. W taki sposób przenosząc ciepło ze strefy chłodzenia do strefy wstępnego ogrzewania można znacznie zredukować zużycie wody i energii (rys. 5.42). Odzyskiwanie ciepła odbywać się może w kilku etapach, a mianowicie:

- najchłodniejsza, odzyskiwana ze strefy VIII woda wykorzystywana jest do wstępnego ogrzewania w strefie I,
- nieco cieplejsza woda ze strefy VII wykorzystywana jest do ogrzewania strefy II,
- jeszcze cieplejsza woda ze strefy VI, wykorzystywana jest do ogrzewania w strefie III.

Większość użytego do pasteryzacji ciepła może być w ten sposób odzyskana. Woda odpływająca z pierwszych stref wstępnego ogrzewania po ochłodzeniu w chłodnicy wieżowej może być ponownie użyta w browarze. Dzięki temu można obniżyć zużycie wody do celów chłodniczych, zwłaszcza w zimie.

W pracy pasteryzatora tunelowego, podobnie jak każdej innej maszyny, mogą zdarzać się przerwy. W takim wypadku, jeśli nie podejmie się żadnych działań, to butelki znajdujące się w gorących strefach pasteryzatora otrzymają dawkę ciepła wielokrotnie większą niż zaprogramowana. Będą „przepasteryzowane", co wiąże się z pogorszeniem smaku, a czasem i barwy produktu. W dużym pasteryzatorze może to dotyczyć wielu tysięcy butelek.



Rys. 5.42. Gospodarowanie ciepłem i wodą w pasteryzatorze tunelowym
Schemat pasteryzatora tunelowego i wykres temperatur. Kolejno od lewej do prawej: (1, 2 i 3) strefy I, II i III - ogrzewanie wstępne, (4) strefa IV - intensywne ogrzewanie, (5) strefa pasteryzacji V - stały poziom temperatury, (6, 7 i 8) strefy chłodzenia VI, VII i VIII

Aby zapobiec takim niekorzystnym zjawiskom instaluje się urządzenia nadzorujące liczbę zadanych jednostek pasteryzacyjnych (JP).

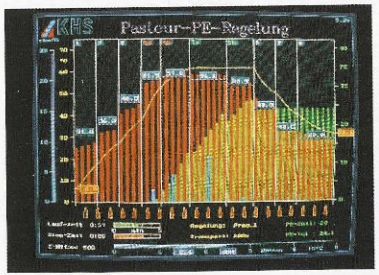
5.1.8.3 Regulowanie liczby JP

Przy zakłóceniach w pracy pasteryzatora muszą być podejmowane odpowiednie kroki, aby zahamować dopływ nadmiernej ilości ciepła (liczby JP). W tym celu trzeba stworzyć możliwość:

- ochłodzenia natrysków strefy IV i V (rys. 5.42) przez automatyczne dodanie zimnej wody, w przypadku przekroczenia wskutek awarii zadanego czasu działania temperatury pasteryzacji,
- automatycznego powrotu temperatury natrysków do zadanego poprzednio poziomu z chwilą usunięcia awarii,
- sterowania zmianami temperatury przy uwzględnieniu funkcji czasu, dla zapewnienia dopływu przewidzianej ilości jednostek pasteryzacyjnych.

Istotnym warunkiem uniknięcia zmian smaku podczas pasteryzacji jest niska zawartość tlenu rozpuszczonego w piwie oraz powietrza w przestrzeni gazowej, o czym już wcześniej wspominano.

Przebieg procesu pasteryzacji nadzorowany jest przez komputer, który:

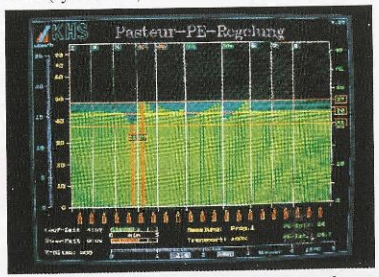


Rys. 5.43. Obraz w monitorze pokazujący temperatury natrysków (niebiesko obramowane), temperaturę piwa (czerwone słupki), wartość zadaną temperatury (żółta linia) oraz liczbę doprowadzonych jednostek pasteryzacyjnych (zielone słupki).

- z temperatur natrysków w poszczególnych strefach i z czasu ich działania oblicza temperaturę piwa w każdej strefie pasteryzatora oraz liczbę otrzymanych przez produkt jednostek pasteryzacyjnych (JP) i wyświetla te informacje na monitorze,
- ma wprowadzony program, który symuluje zadany przebieg pasteryzacji, dzięki czemu prawidłowy bieg procesu może być wcześniej pokazany na monitorze. Przy zakłóceniach w pracy pasteryzatora do sterowania procesem wprowadzane są automatycznie odpowiednie poprawki.
- wskazuje, co należy zmienić w układach samego pasteryzatora, aby go dostosować do potrzeb zaprogramowanego procesu.

Nieprzewidziane przerwy w procesie pasteryzacji mogą być następstwem awarii zarówno samego pasteryzatora, jak i każdej z maszyn pracujących za nim w linii, jak np. etykieciarki. Dla wyrównanej jakości produktu jest więc bardzo ważne, aby wszystkie maszyny w linii rozlewu działały sprawnie.

Wszystkie ważne informacje dotyczące przebiegu pasteryzacji mogą być wyświetlane na monitorze komputera sterującego procesem (rys. 5.43). Obraz na ekranie monitora obejmuje temperatury natrysków, przebieg zmian temperatury piwa jako funkcję czasu, ilość wprowadzonych jednostek pasteryzacyjnych oraz krzywą zadanej temperatury pasteryzacji. Parametrów dla pasteryzowanej aktualnie partii piwa nie można zmieniać, natomiast dla każdej następnej można wprowadzić nowe wartości zadane (rys. 5.43 a).



Rys. 5.43 a. Po przerwie w pracy spowodowanej awarią, na ekranie monitora ukazują się uregulowane na nowo parametry przebiegu pasteryzacji

5.1.9 Etykietowanie i dekorowanie butelek

Nie wystarczy dzisiaj wyprodukować dobre piwo. Również wygląd butelki musi się podobać konsumentowi. Poza kształtem, na wygląd butelki składają się:

- wyposażenie butelki w co najmniej jedną etykietę,
- czasem także owinięcie szyjki w folię dekoracyjną.

W związku z tym zostaną omówione:

- etykiety i folie,
- kleje do etykiet,
- proces etykietowania.

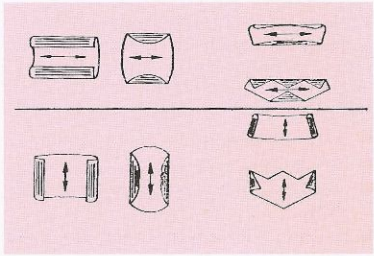
5.1.9.1 Etykiety i folie

Trzeba pamiętać, że gatunek papieru, kształt, barwa, treść i opracowanie graficzne etykiety mają ogromne znaczenie handlowe. Wielu konsumentów kieruje się przy zakupie wyglądem opakowania i chętniej wybierze butelkę z estetyczną, kolorową, błyszczącą etykietą niż skromniej wyglądającą, mimo że obydwie mogą zawierać równie dobre piwo.

Zależnie od miejsca naklejenia na butelce rozróżnia się etykietę główną, kontretykietę oraz naklejaną nieco poniżej szyjki krawatkę.

Na etykiecie umieszcza się szereg ważnych informacji. Z tych i innych względów papier na etykiety musi odpowiadać pewnym określonym wymaganiom:

- Druk musi się dobrze na nim trzymać. W przypadku ozdobnych etykiet, na których występuje złota i srebrna metalizacja, potrzebny jest specjalny gatunek papieru, jednostronnie powlekany i gładzony;
- Etykiety nie mogą przeświecać ani w stanie suchym ani wilgotnym. Aby zapobiec przeświecaniu, do wypełniacza papieru dodawany jest dwutlenek tytanu. Klej i barwa butelki nie mogą być przez etykietę widoczne;
- Papier etykiet musi być odporny na działanie ługu. Powstawanie rosy na butelkach wymaga aby papier był odporny na wilgoć. Niemniej jednak jest szczególnie ważne, aby etykiety nie rozpuszczały się w ługu i nie tworzyły papki zatykającej dysze natrysków w myjce butelek;
- Etykiety nie mogą się zwijać ani fałdować. Wobec tego, że tylko jedna strona jest powleczona, zadrukowana i barwiona, etykiety mają tendencję do zwijania się, jeśli na odwrocie nie są lekko barwione lub preparowane. Takie potraktowanie przeciwdziała również ich wilgotnieniu. Pobieranie wilgoci mierzy się tak zwaną wartością Cobba, która wynosi 16-20g/m^2, ale sama ta wartość jako kryterium jakości papieru nie jest wystarczająca.
- Dla szybkiego i całkowitego odklejenia etykiet w myjce ważne są ich następujące właściwości:
  - czas przenikania ługu przez etykietę,
  - nierozpuszczalność w ługu farby etykiet,
  - niewytwarzanie w ługu papierowej papki.
- Układ włókien w papierze odgrywa istotną rolę przy etykietowaniu. Nadruk na etykiecie powinien być tak zrobiony, żeby po naklejeniu włókna papieru biegły poprzecznie do osi butelki (rys. 5.44). Poprawia to zmywalność etykiet przez natryski myjki.



Rys. 5.44. Kierunek włókien w etykietach
(u góry prawidłowy, u dołu nieprawidłowy)

Etykicty, dostarczone w opakowaniach magazynowych, przechowuje się przy temperaturze 20-25°C, w suchym pomieszczeniu o wilgotności względnej 60-70 %, co zapobiega ich zwijaniu się.

Odrębne zagadnienie stanowią etykiety owijane na butelce. Nie są one do butelki przyklejane na całej powierzchni, tylko na końcach mają paski kleju, który te końce łączy, dzięki czemu można te etykiety usuwać przed myciem butelek. Przy ich nakładaniu ciągły pas etykiety

rozwija się z rolki (patrz rysunek 5.65). Jako materiał na etykiety owijane znajdują zastosowanie przede wszystkim folie z tworzyw sztucznych, jak polietylen i polipropylen, ale także papier. Zaletą folii jest ich elastyczność, dzięki czemu przy nakładaniu nieco się rozciągają, a następnie kurczą na butelce. Folie o połysku metalicznym, srebrnym lub złotym, stosowane są także do dekoracyjnego owijania szyjki.

Pomysłowość wytwórców etykiet jest ogromna i istnieje jeszcze wiele odmian, jak etykiety z połyskiem przypominającym kryształy lodu czy etykiety, których zmiana barwy wskazuje najodpowiedniejszą temperaturę spożycia. Kolorowe farby do drukowania etykiet są wolne od metali ciężkich, za wyjątkiem błękitu, który zawiera miedź.

Barwa srebrna i złota uzyskiwana jest na bazie aluminium i też nie zawiera metali ciężkich. W druku offsetowym używana jest złota farba zawierająca miedź i cynk.

5.1.9.2 Kleje do etykiet

Klej do etykiet ma za zadanie przymocować je do butelki w sposób mocny i pewny. Wobec tego, że etykiety nakładane są przez maszyny o bardzo dużej wydajności, istotne są także inne cechy kleju:

- szybkie działanie,
- mała grubość warstwy kleju,
- odporność na rosę osadzającą się na butelkach,
- klej nie powinien tworzyć nitek przy nakładaniu.

Klej w końcu trafia do myjki butelek, gdzie powinien być łatwy do usunięcia. Ponadto należy go biologicznie rozłożyć, zanim zostanie odprowadzony ze ściekami. Najczęściej stosowane w przemyśle napojów są:

- kleje kazeinowe (około 90 %),
- kleje skrobiowe (około 9,5 %),
- różne kleje na bazie tworzyw sztucznych.

Kazeina jest białkiem mlecznym. Przygotowanie kleju polega na rozpuszczeniu kazeiny w środowisku alkalicznym przy temperaturach od 50 do 90°C.

Charakterystyczna dla klejów kazeinowych jest zależność lepkości od temperatury oraz jej tiksotropowość (klej staje się tym bardziej płynny, im dłużej jest mieszany). Aby etykieciarka pracowała bez zakłóceń, temperatura kleju przed jego wykorzystaniem musi być doprowadzona do przepisowej wysokości (między 25 i 38°C) i ta temperatura musi być utrzymywana w zasobniku z klejem podczas pracy. Specjalna pompa do gęstych cieczy powoduje obieg kleju. Kleje kazeinowe wykorzystuje się w maszynach etykietujących do 80000 butelek/h.

Kleje do etykiet na bazie **skrobi** albo **dekstryn** w mniejszym stopniu zależą od temperatury, z tego względu stosowane są do etykietowania ciepłych i gorących butelek. Także te kleje są termostatowane i utrzymywane w obiegu zamkniętym. Poszczególnym rodzajom klejów przypisuje się następujące właściwości:

Rodzaj kleju	Zalety	Wady
skrobiowy	• odporny na rosę • nadaje się do gorących butelek	• tworzy nitki
dekstrynowy	• duża lepkość • łatwo zmywalny • także do gorących butelek	• wrażliwy na rosę • szybko wysychający • problemy przy butelkach o ulepszonej powierzchni
kazeinowy	• do zimnych i mokrych butelek • szybko wiążący przy ochłodzeniu • odporny na rosę • nie tak szybko zasychający	• mniejsza lepkość • konieczność termostatowania
kleje roślinne	• do zimnych i gorących • odporne na rosę	• powolne wiązanie • długie odmaczanie

Nanoszenie kleju na etykietę może być pełne albo w postaci pasków lub kratki. Według Kremkowa istnieją następujące zależności między parametrami kleju i wymaganiami technicznymi:

- im wyższa lepkość kleju, tym szybciej osiągana jest początkowa stabilność etykiety,
- im większa zawartość kazeiny, tym mocniej trzymają się etykiety po pięciu minutach,
- im cieniej nałożony jest klej, tym większa odporność na rosę,
- im cieniej nałożony klej i niższa jego wartość pH, tym szybciej odlepiają się etykiety w kąpieli ługowej.

Grubość nakładanej warstwy kleju powinna być optymalna:

- za gruba: wydłużony czas odklejania w myjce, ryzyko zabrudzenia etykiety klejem,
- za cienka: odpadanie etykiet.

Przy oszczędnym stosowaniu zużywa się 8 do 15 g kleju/m².

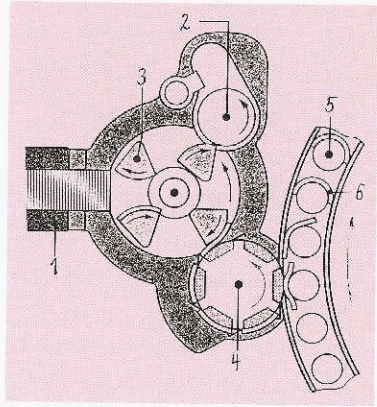
Należy pamiętać, że oszczędne stosowanie kleju nie tylko zmniejsza koszt jego zakupu, ale także ułatwia pracę myjki i zmniejsza obciążenie ścieków.

5.1.9.3 Podstawowe zasady etykietowania

Głównym zadaniem etykietowania jest dokładnie, na przewidzianym miejscu, prosto i mocno przykleić etykietę do butelki.

Osiąga się to przez następujące operacje (rys. 5.45):

- Obracające się palety klejące (3) są najpierw powlekane klejem przez walec (2) i odwracają się do zasobnika etykiet (1). Dzięki przylepności kleju etykieta zostaje pobrana. Ważne jest przy tym, aby etykiety dobrze się rozdzielały, bo pobranie dwóch lub kilku na raz prowadzi do zakłóceń w pracy maszyny;
- Pokryta klejem etykieta jest teraz ujęta przez chwytacz (4) i stroną zadrukowaną do wewnątrz przyciśnięta do gąbki (rys. 5.46);
- W końcu etykieta zostaje stroną pokrytą klejem zrolowana na butelce, przy czym chwytacz otwiera się i zwalnia trzymany brzeg etykiety;
- Następnie butelki trafiają między gumowe wałki i szczotki, które mocno dociskają etykietę do powierzchni butelki.



Rys. 5.45

Etapy pracy przy etykietowaniu butelek
(1) doprowadzenie etykiet, tj. zasobnik, (2) walec klejowy, (3) palety klejące, (4) cylinder chwytaczy, (5) butelka, (6) etykieta.

5.1.9.4 Elementy budowy maszyny etykietującej

Zależnie od zdolności produkcyjnej linii rozlewu i potrzeb w zakresie etykietowania rozróżnia się:

Według przebiegu pracy:

- etykieciarki o prostolinijnym przebiegu butelek,
- etykieciarki rotacyjne.

Według liczby elementów roboczych:

- maszyny z jedną paletą etykietującą,
- maszyny z dwoma paletami,
- maszyny z większą liczbą elementów etykietujących (palet).

Według formy dostarczenia etykiet:

- etykiety pocięte, podawane z zasobnika,
- ciągła taśma odwijana z rolki (na etykiety owijane).

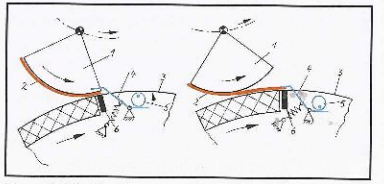
Najważniejsze elementy budowy maszyn etykietujących są następujące:

- układ dystrybucji kleju złożony z walca klejowego, walca rozprowadzającego i skrobaka,
- cylinder z paletami klejącymi, które obracają się równomiernie lub skokowo wokół swej osi, albo też robią tylko część obrotu,
- zasobnik i podajnik etykiet,
- obrotowy cylinder z chwytaczami,
- napęd maszyny,
- urządzenie sterujące pracą etykieciarki,
- datownik.

System sterowania maszyną musi reagować automatycznie na następujące sytuacje:

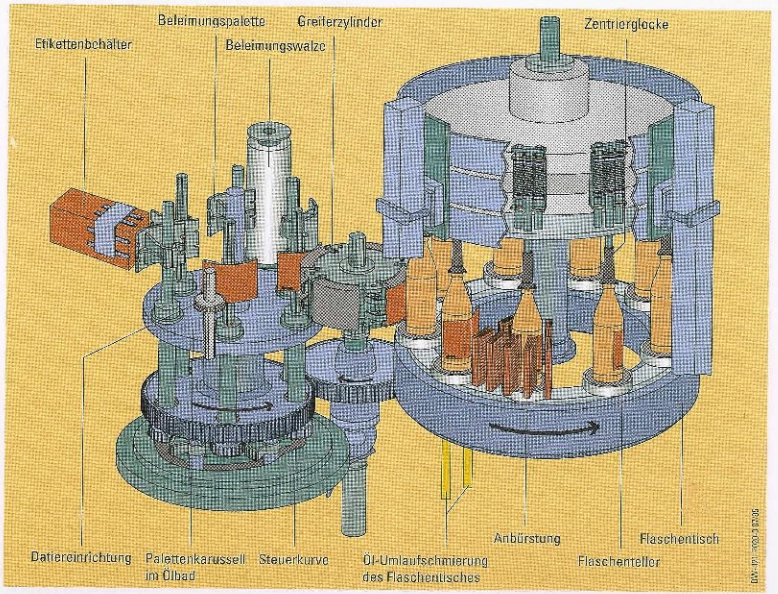
- brak jednej butelki na taśmie – brak pobrania etykiety z podajnika,
- przerwa w dostawie butelek – automat po chwili przestawia napęd maszyny na minimalne obroty,
- powrót dostawy butelek – napęd automatycznie wraca do roboczej liczby obrotów.

Przenoszenie etykiet przez cylinder chwytacza pokazuje rysunek 5.47. Urządzenie przekazujące pobiera powleczoną klejem etykietę i skierowaną lepką stroną do butelki przykłada do jej powierzchni, a jednocześnie chwytacz zwalnia trzymany brzeg etykiety. *(Są także urządzenia przekazujące, które pracują na zasadzie podciśnienia. Przyp. tłum. A.B.).*



Rys. 5.47. Przekazywanie etykiety przez cylinder chwytacza

(1) paleta z klejem, (2) etykieta, (3) cylinder chwytacza, (4) palec chwytacza, (5) bolec mimośrodowy, (6) listwa dociskowa. *(Uwaga: w rysunku jest błąd, po prawej palec chwytacza powinien być dociśnięty, a nie odchylony jak wynika z położenia mimośrodu. Przyp. tłum. A.B.)*



Rys. 5.46. Etykieciarka rotacyjna

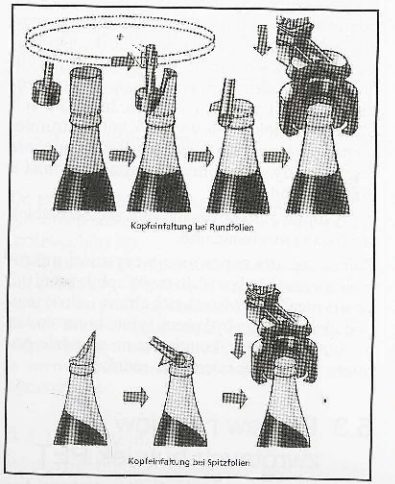
Na cylindrze chwytacza (3) znajdują się palce chwytne (4), które we właściwym momencie bolec mimośrodowy (5) odchyla od listwy dociskowej (6), by pobrać z palety powleczoną klejem etykietę i stroną zadrukowaną docisnąć do tejże listwy. Miejsca na odwrocie etykiety, na które naciskają palce chwytacza, nie są powleczone klejem, gdyż palety mają w tym celu odpowiednie wycięcia.

Etykieta leży na gąbce cylindra chwytacza i po jego półobrocie zostaje przyłożona do powierzchni butelki, a jednocześnie bolec mimośrodowy odchyla palce chwytacza od listwy dociskowej (6) i zwalnia etykietę.

5.1.9.5 Owijanie szyjki w folię

Dla dekoracji butelek stosuje się owijanie szyjki w złotą lub srebrną folię aluminiową, na której bywa też wydrukowana nazwa firmy.

Folia może być nakładana poziomo lub ukośnie (rys. 5.48). Odpowiedniej wielkości pocięte kawałki folii pobierane są z zasobnika i powlekane klejem podobnie jak etykiety. Przy nakładaniu ukośnym róg folii kieruje się na górną krawędź etykiety. Bezpośrednio po naklejeniu folii na butelkę następuje owinięcie główki i kapsla przez element maszyny umocowany na jej koronie, sprzężony i pracujący w sposób zsynchronizowany z gwiazdą wyprowadzającą, a wyposażony w nieruchome szczotki.



Rys. 5.48. Foliowanie butelek

(a) foliowanie poziome, (b) ukośne

5.1.10 Datowanie etykiet

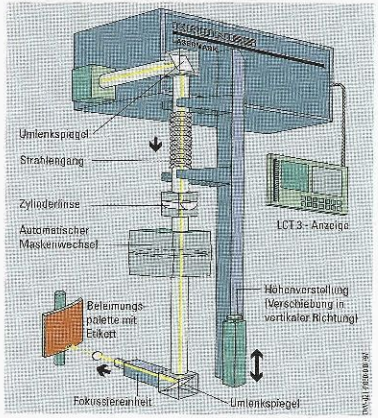
Na koniec butelka musi być zaopatrzona w odpowiednie dane, co wynika z przepisów obowiązujących w danym kraju i ustaleń dotyczących zakładu prowadzącego rozlew. W grę wchodzą tu zwykle:

- data rozlewu i termin przydatności do spożycia,
- zakładowy kod, według którego można zidentyfikować butelkę.

W Niemczech obowiązuje podanie na etykiecie terminu przydatności do spożycia (MHD), tj. daty do której producent gwarantuje jakość napoju. Wobec tego jednak, że smak piwa pogarsza się z biegiem czasu, w wielu krajach coraz więcej browarów przechodzi na podawanie daty produkcji, z zaleceniem spożycia w terminie wynoszącym zwykle 90 do 110 dni, kiedy jakość jest najlepsza (freshest taste = najświeższy smak do ...).

Do znakowania wykorzystuje się przewidziane w tym celu miejsce, zwykle krawędź etykiety. Informacje nanosi się w różny sposób. Mogą to być:

- ***urządzenia stemplujące***, stosowane w liniach rozlewu o wydajności do 60000 butelek/h,
- ***piłowanie*** wydrukowanej na krawędzi etykiety informacji,
- ***perforacje*** na lakierowanej powierzchni papieru (małe wydajności),
- ***drukarki natryskowe*** do bezkontaktowego natryskiwania oznakowań (patrz rozdz. 5.5.12),
- ***kodowanie laserowe***.



Rys. 5.49. Drukarka laserowa

Bardzo często do znakowania etykiet wykorzystuje się technikę laserową. Impuls promieni podczerwonych o wysokiej energii, ale trwający tylko około 2 µs, kierowany jest na określone miejsce etykiety przez szczelnie zamknięty system prowadzenia (rys. 5.49). Na drodze promieni znajduje się metalowa płytka z otworami dla szablonu daty przydatności do spożycia i numeru identyfikacyjnego partii wyrobu. Impuls laserowy albo powoduje w miejscu swego działania odparowanie warstwy farby, z pod której widać będzie innego koloru podkład, albo też powierzchnia etykiety zmienia w tym miejscu swą barwę i strukturę. W każdym razie jest to czyste i bardzo estetyczne znakowanie etykiet. Urządzenie wymaga osobnej wentylacji ze względu na ozon powstający podczas jego pracy.

5.2 Rozlew do butelek jednorazowych

Jednorazowe butelki, opakowane w folię ochronną, dostarczane są z huty na paletach. Są one w zasadzie czyste i mogą tylko zawierać trochę kurzu z huty lub z transportu. Przygotowanie tych butelek do napełnienia ogranicza się do zdjęcia ich z palety i spłukania wewnętrznym natryskiem dla usunięcia ewentualnych cząstek kurzu. Z płukania często się rezygnuje, jeśli folia lub paleta nie są uszkodzone.

5.2.1 Rozładunek nowych butelek

Nowe butelki rozładowuje się z palet w podobny sposób jak puszki (patrz rozdział 5.5.2), a puste palety zwraca do ponownego użycia.

5.2.2 Płukanie butelek

Nowe butelki nie zawierają żadnych resztek i są w zasadzie niemal jałowe. Niewielkie ilości kurzu, jakie mogą zawierać, usuwa się przez wypłukanie butelek wewnętrznym natryskiem.

Płuczka do butelek

Płuczki do butelek budowane są zwykle w formie kołowej. Butelki podawane z taśmy, dla wypłukania muszą być odwrócone dnem do góry. W tym celu płuczka jest wyposażona w chwytacze z tworzywa sztucznego, które elastycznie ujmują butelki i odwracają je o 180°, a następnie naprowadzają precyzyjnie nad dysze natrysków płuczki. Odwracanie butelek, podobnie jak otwieranie i zamykanie łap chwytaczy, odbywa się za pomocą odpowiednich krzywizn wmontowanych w obudowę płuczki. Do płukania butelek stosuje się najczęściej zimną lub ciepłą wodę, ale bywają też stosowane rozcieńczone środki myjące, zwłaszcza w dużych płuczkach wielodziałowych. W końcu strumieniem sprężonego powietrza wydmuchuje się resztki wody. Czas płukania butelki wynosi 8 do 10 sekund.

Na rysunku 5.50 pokazano płuczkę do butelek sterowaną mechanicznie.

Zaleca się, dla zapewnienia czystości mikrobiologicznej, dodawać do wody spłukującej 0,2 do 0,3 mg ClO_2/l (dwutlenek chloru). Ilość tego dodatku powinna być precyzyjnie kontrolowana. Oznaczenie wykonuje się na zasadzie pomiaru potencjału utleniania-redukcji.

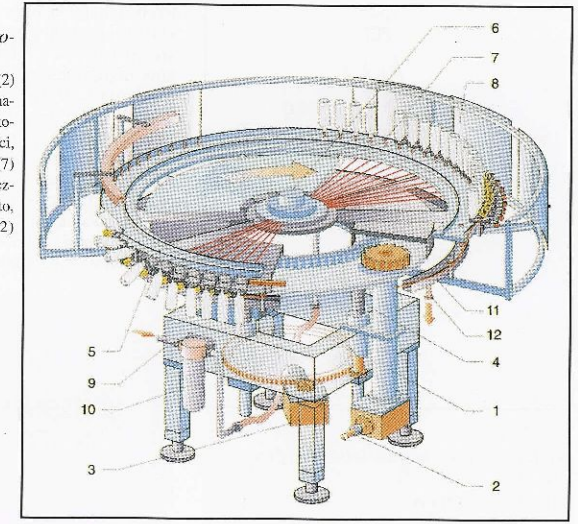
5.3 Rozlew napojów do zwrotnych butelek PET

Wiele napojów rozlewa się dziś do butelek z tworzyw sztucznych. Jako opakowanie do piwa widziane są jeszcze niechętnie i podnosi się

Rys. 5.50

Płuczka do butelek sterowana mechanicznie

(1) napęd talerza obrotowego, (2) wał przegubowy napędu, (3) napęd układu regulowania wysokości, (4) regulowanie wysokości, (5) chwytacz, (6) rozdzielacz, (7) dysza natrysku, (8) osłona płuczki, (9) wlot wody, (10) gęste sito, (11) rynna odpływowa, (12) spływ do kanału



wiele argumentów przeciwko ich zastosowaniu, ale w niektórych krajach bierze się już pod uwagę taką możliwość i z tego względu trzeba je tu pokrótce omówić.

5.3.1 Butelki z tworzyw sztucznych

Do produkcji butelek stosowane są: PET, PEN lub ich mieszaniny oraz inne tworzywa, jak PC (poliwęglan) itp.

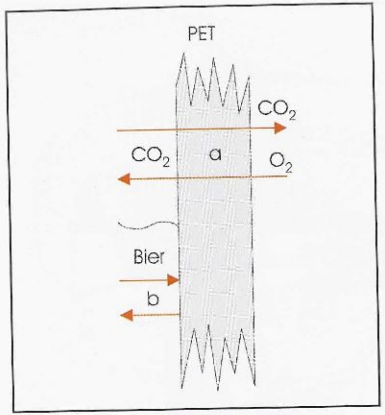
Mała masa oraz odporność i elastyczność czynią z tworzyw sztucznych bardzo interesujący materiał do produkcji butelek. Poglądy na możliwość zastosowania takich butelek do piwa są jednak podzielone i widoki na ich przyjęcie się w browarnictwie są, przynajmniej na razie, ograniczone.

5.3.1.1 Butelki PET

Większość butelek do napojów produkowana jest obecnie z PET. Skrót ten oznacza PoliEtylenTereftalat. Jest to poliester, z którego wytwarza się zarówno jednorazowe, jak i zwrotne butelki (*zwane u nas „petami". Przyp. tłum.*).

Wytwarzane ze zwykłego, przezroczystego PET, jednorazowe butelki wytrzymują temperatury do 59°C. Przy wyższych ulegają deformacji. Do produkcji butelek zwrotnych stosuje się więc odporny na temperatury do 75°C, HC-PET, w którym jest większy udział formy krystalicznej poliestru.

Wadą tych tworzyw, wstrzymującą jak dotychczas ich zastosowanie do piwa, jest przepuszczalność dla gazów i lotnych składników aromatu. Piwo nalane do takiej butelki stopniowo traciłoby CO_2 i aromat, a co gorsze już po 1 do 2 tygodni, pobrałoby 0,2 mg O_2/l, czyli niedopuszczalnie wysoką ilość tlenu (rys. 5.51). Butelki zwrotne po kilkakrotnym użyciu tracą wygląd, stają się matowe, a rysy i pęknięcia powstające na wewnętrznych powierzchniach ścian uniemożliwiają ich dokładne umycie.



Rys. 5.51

Wymiana gazów i lotnych substancji przez warstwę PET

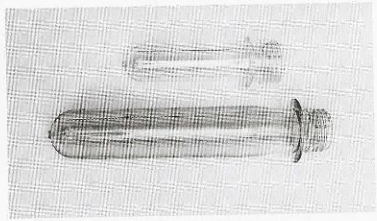
(a) dyfuzja, (b) migracja.

5.3.1.2 Butelki z innych tworzyw sztucznych

Wyżej wymienione wady PET były przyczyną poszukiwania bardziej odpornych tworzyw. Wynikiem ich było wytworzenie PEN. Jest to analogiczne jak PET w budowie chemicznej tworzywo, PoliEtylenoNaftalat o znacznie lepszych właściwościach, bo wytrzymuje temperatury do 100°C i przepuszcza 4 do 5 razy mniej CO_2 niż PET. Ciągle jednak nie stanowi jeszcze dostatecznej dla piwa ochrony przed tlenem. *(We wrześniu 1998 ruszył eksport piwa „Pils Karlsbräu" w brunatnych, półlitrowych butelkach PET, z kapslem „twist-off", do wschodniej Francji i Hiszpanii. Butelki są z kilku warstw PET i dobrze utrzymują CO_2 w piwie. Przyp. tłum. AB).*

5.3.2 Formowanie butelek PET

Do napojów bezalkoholowych, produkowanych także przez browary, w coraz szerszym zakresie stosowane są bezzwrotne butelki PET. Butelki jednorazowe formowane są na miejscu w browarze i w z związku z tym odpada potrzeba ich mycia oraz kontroli czystości. Dzięki temu koszty inwestycyjne są znacznie mniejsze, jak również wyeliminowane są koszty środków myjących, wody, energii oraz unieszkodliwiania ścieków powstających przy myciu butelek. *(Za to w niektórych krajach, jak np. w Belgii, płaci się spory podatek ekologiczny od takich jednorazowych opakowań. Przyp. tłum. AB).* Wadą systemu są koszty związane z tym, że trzeba stale kupować nowe kształtki surowe do formowania butelek (preforms). Bardzo duże zakłady kupują sobie maszyny do formowania tych kształtek na miejscu w browarze.



Rys. 5.52. Kształtki surowe „preforms"

Na zdjęciu widać gotowy gwint z kołnierzem utrzymującym

Maszyna formująca jednorazowe lub zwrotne butelki PET z kształtek (rys. 5.53) pracuje w sposób następujący: na powierzchni około 12 m^2 znajdują się dwa obracające się koła, ustawione jedno nad drugim. Kształtki (4) na górnym kole, czyli na poziomie piecowym (3), ogrzewane są bardzo równomiernie, a następnie na niższym kole formującym (6) wydmuchiwane są do pożądanej wielkości i formy.

Bieg pracy tej maszyny jest następujący: kształtki zwrócone otworem do góry trafiają do urządzenia kontrolującego ich wymiary (rys. 5.54 – 1).

Rys. 5.53. Maszyna formująca do ciągłego wytwarzania butelek PET

(1) przenośnik doprowadzający kształtki, (2) gwiazda wprowadzająca, (3) koło obiegu ogrzewania, (4) moduł pieca, (5) gwiazda przenosząca gorące kształtki na dolny poziom, (6) koło formujące, (7) forma, (8) gwiazda wyprowadzająca gotowe butelki, (9) przenośnik gotowych butelek, (10) obudowa maszyny

Rys. 5.54. Ogrzewanie i wydmuchiwanie butelek PET z surowych kształtek

Traktowanie kształtek: (1) dostawa i kontrola , (2) odwracanie

Równomierne ogrzewanie: (3) ogrzewanie , (4) Obracanie wokół osi

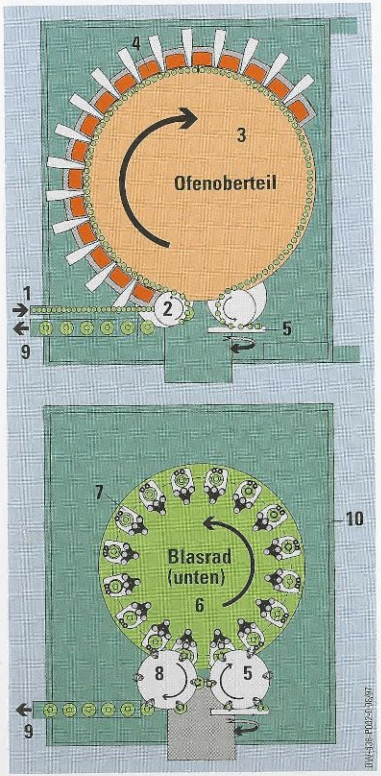
Operacja wstępna I: (5) zamknięcie formy

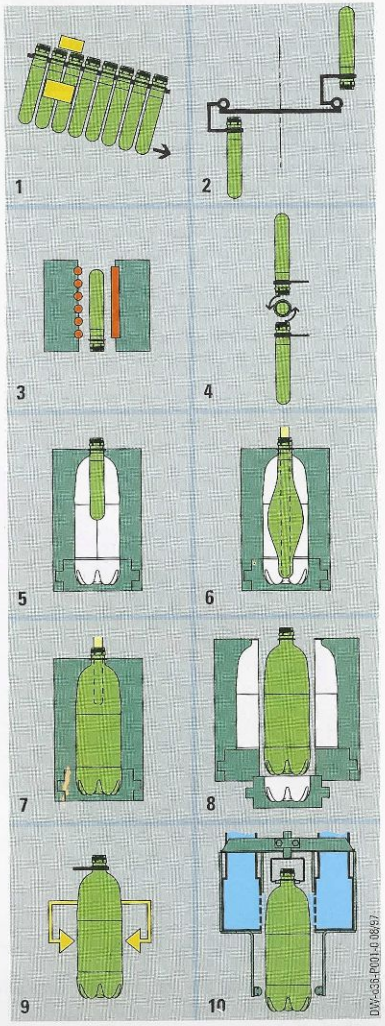
Formowanie: (6) wstępne wydmuchiwanie , (7) formowanie (40 bar) i chłodzenie

Operacja końcowa II: (8) otwieranie formy

Traktowanie gotowych butelek: (9) odbiór i kontrola butelki , (10) wyprowadzenie do przenośnika

Rys. 5.53. (Opis na str. 504)

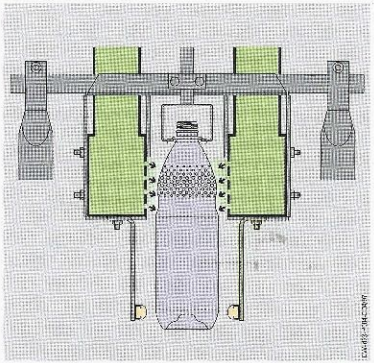




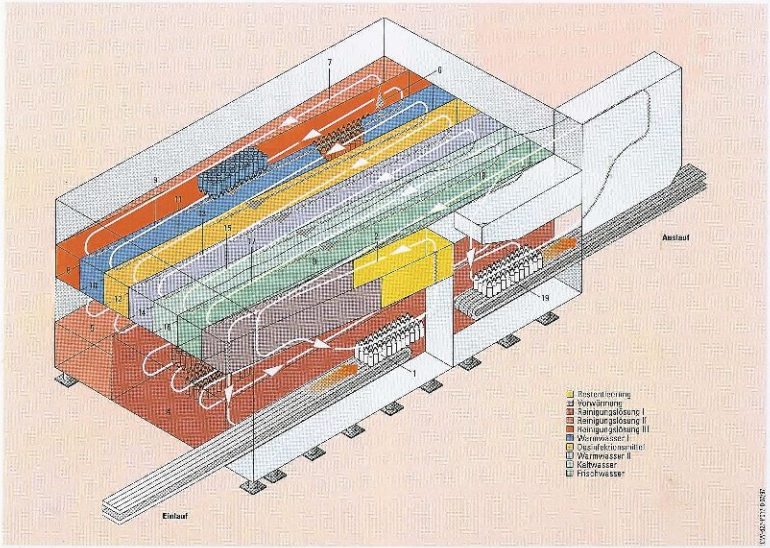
Kształtki wykazujące wady są usuwane. Pozostałe ujmowane są za gwint i kołnierz przez odpowiednie łapy i trafiają na górne koło maszyny. Tu zostają równomiernie ogrzane przez promieniowanie podczerwone (3) i są obracane cały czas wokół swej osi podczas tego procesu (4). Następnie gorące kształtki trafiają na niższe koło i zamykane są w formach (5), zaczyna się dmuchanie (6), początkowo przy mniejszym ciśnieniu, które przy końcu formowania dochodzi do 40 bar. Po ukształtowaniu butelki (7) forma się otwiera (8) i butelka zostaje przejęta przez gwiazdę wyprowadzającą, i wprowadzona do urządzenia kontrolnego (9), które sprawdza jej wysokość i średnicę oraz usuwa wadliwe egzemplarze. Sprawdzone butelki trafiają do przenośnika (10).

Opisane urządzenie może uformować do 28 tys. butelek/h.

Wymieniając składające się z trzech części aluminiowe formy można wytwarzać butelki różnych kształtów.



Rys. 5.55
Transport przy zastosowaniu sprężonego powietrza



Rys. 5.56. Myjka do butelek z tworzyw sztucznych
(typ Śpiragrip Firma: Krones)

5.3.3 Transport pustych butelek PET

Pusta butelka PET waży do 80 g, jest wysoka i łatwo się przewraca, co wyklucza transportowanie przenośnikiem taśmowym. Do ich transportu wykorzystywany jest kołnierz znajdujący się poniżej gwintu. Transport odbywa się za pomocą sprężonego powietrza (rys. 5.55) lub mechanicznie.

5.3.4 Mycie butelek PET wielokrotnego użycia

Przy myciu butelek PET występuje kilka problemów:

- lekkie butelki PET przez natryski wewnętrzne wyrzucane są z koszy,
- przy temperaturach wyższych niż 60°C zwykłe butelki PET kurczą się, a te bardziej odporne wytrzymują tylko 75°C.

Z powyższych względów zwykłe myjki do butelek nie nadają się do mycia butelek PET.

Rys. 5.56 przedstawia specjalną maszynę do mycia butelek z tworzyw sztucznych, która nadaje się również do mycia butelek PET. Butelki do maszyny doprowadzane są zawieszone po cztery w szeregu za kołnierz poniżej gwintu w łapach przenośnika (1) i tak umocowane odbywają drogę przez wszystkie segmenty myjki. Pierwszym, jak zwykle, jest sektor opróżniania butelek z resztek (2), a następnie natryski ciepłej wody (3). Największa strefa (4) to kąpiel odmaczająca w ługu I przy możliwie najwyższej dopuszczalnej temperaturze. Po natryskach roztworami myjącymi II od dołu i z zewnątrz (5), butelki trafiają do górnej części myjki (6), gdzie natryski myją głównie otwór butelki i gwint. W górnej części myjki butelki przechodzą przez kilka stref moczenia i natrysków przy coraz niższych temperaturach, aż w końcu są spłukiwane świeżą wodą (17), a następnie ociekają (18). Umyte butelki (19) opuszczają myjkę za pomocą takiego samego przenośnika.

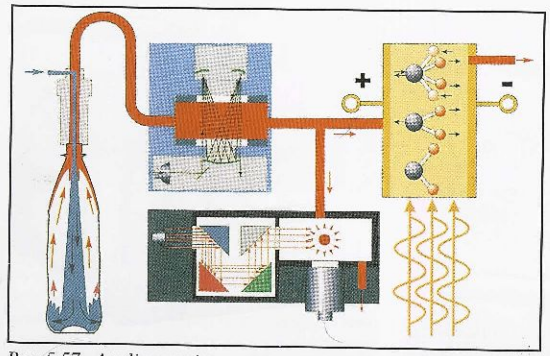
5.3.5 Badanie na obecność ciał obcych

Po myciu butelki kontrolowane są na:

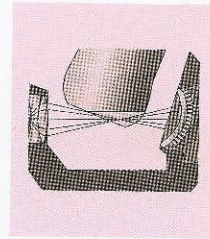
- usunięcie wszystkich zanieczyszczeń,
- całkowite opróżnienie z płynów,
- dobry stan gwintu.

Ponadto trzeba kontrolować butelki z tworzyw:

- czy zachowana jest ich całkowita szczelność,
- czy w tworzywie nie występują pęknięcia powierzchni.



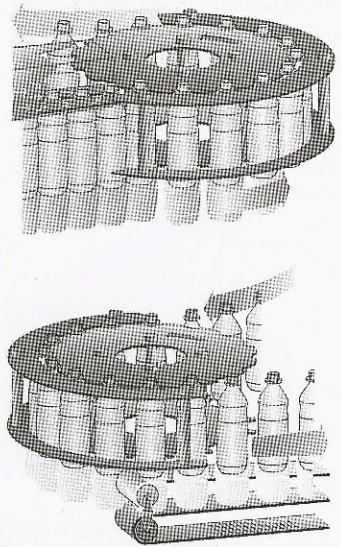
Rys. 5.57. Analiza gazów
Gaz zawarty w butelce zostaje wypchnięty świeżym powietrzem do urządzenia analizującego.



Rys. 5.58
Analiza cieczy w butelce
Resztka cieczy na dnie pochyło ustawionej butelki jest prześwietlana wiązką promieni i analizowana

Sama taka kontrola dla butelek PET wielokrotnego użycia jednak nie wystarcza. Tworzywo sztuczne łatwo chłonie zapachy, które bardzo trudno jest usunąć przy myciu. Te zapachy, nawet w śladowych ilościach, mogą bardzo źle wpłynąć na jakość napoju przy ponownym napełnieniu butelki. Z tego względu umyta butelka musi być kontrolowana na obecność obcych zapachów.

Zdarza się ponadto, że niektórzy ludzie używają butelkę z wygodną zakrętką do zupełnie innych produktów spożywczych i nie tylko, a później bezmyślnie lub złośliwie zwracają do ponownego użycia. Taka butelka w myjce może zanieczyścić tysiące innych. Aby temu zapobiec, urządzenia kontrolujące butelki na obecność obcych substancji instaluje się przed myjką, aby je zawczasu usunąć.



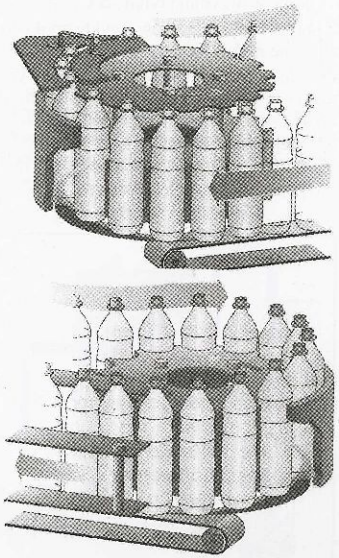
Rys. 5.59. Jednorazowe butelki PET dostarczane są przenośnikiem powietrznym, a po napełnieniu trafiają na przenośnik taśmowy, którego położenie można regulować zależnie od wysokości butelek

5.3.6 Rozlew do butelek PET

Napełnianie butelek PET napojami wysyconymi CO_2, jak piwo, wiąże się z pewnymi problemami:

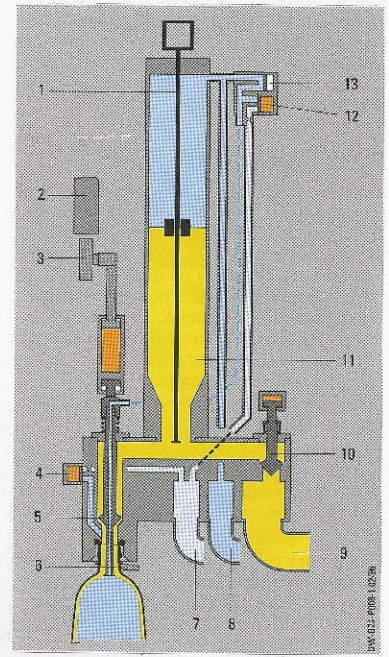
- Butelki PET mają ścianki nierównej grubości. Dla wielu napojów niegazowanych wytrzymałość ścianki jest bez znaczenia. Jednak przy napojach takich jak piwo ścianka musi być tak gruba, aby wytrzymała ciśnienie CO_2;
- Butelki PET są częściowo przepuszczalne dla gazów, co omówiono już wcześniej;
- Rozlewarki do butelek PET muszą mieć specjalną konstrukcję, inną niż do butelek szklanych, oraz różną dla butelek PET jednorazowych i wielokrotnych (rys. 5.59 i 5.60).

W przypadku piwa i napojów gazowanych stosuje się rozlew na objętość.



Rys. 5.60
Butelki PET wielokrotnego użycia dostarczane są i odbierane przenośnikiem taśmowym

W rozlewarce na objętość, przewidzianej do napełniania butelek PET piwem i napojami gazowanymi, musi być respektowana zasada rozlewu izobarycznego. Rozlewarka wyposażona jest w komorę odmierzającą porcje napoju (rys. 5.61), tak samo jak rozlewarka do puszek. Dzięki temu, że objętość napoju jest wcześniej odmierzona, butelki PET są napełniane równo, mimo że ich ścianki pod wpływem ciśnienia mogą się nieco odkształcać.



Rys. 5.61. Rozlewarka izobaryczna na objętość do butelek z tworzyw sztucznych
(typ „Volumetric VC" Firma Krones)
(1) sonda poziomu Transsonar, (2) prowadnica, (3) rolka otwierająca i zamykająca zawór, (4) zawór redukujący, (5) zawór napełniający, (6) uchwyt szyjki butelki, (7) kanał powrotu gazu, (8) doprowadzenie gazu wyrównującego ciśnienie, (9) doprowadzenie piwa, (10) zawór doprowadzający piwo, (11) komora odmierzająca porcje piwa, (12) dodatkowy zawór redukujący, (13) odpływ CIP

Inną możliwość stanowi odmierzanie porcji napoju za pomocą przepływomierzy indukcyjnych.

5.3.7 Zamykanie butelek PET

Butelki PET zamykane są zakrętkami. Ten typ zamknięcia jest wygodny, gdyż nie wymaga otwieracza i może być wielokrotnie używany. Zakrętka ma u dołu pierścień zabezpieczający, który odrywa się przy pierwszym otworzeniu butelki.

Zasadniczo rozróżnia się dwa rodzaje zakrętek:

- aluminiowe zakrętki z gwintem zaciskanym na butelce,
- zakrętki z tworzyw sztucznych.

W użyciu są obydwa rodzaje, zarówno dla butelek szklanych, jak i z tworzyw sztucznych.

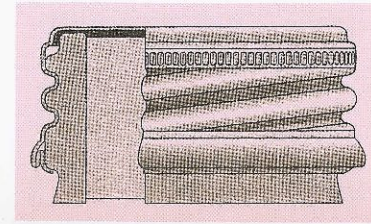
5.3.7.1 Zakrętki aluminiowe

Te zakrętki dostarcza się na rozlewnię uformowane i zadrukowane, natomiast gwint uzyskują dopiero przy zamykaniu przez dociśnięcie do gwintu na szyjce butelki.

Dla zabezpieczenia zawartości butelki przed:

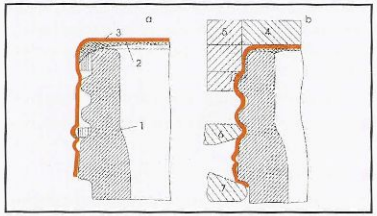
- utratą gazu – zakrętka wyposażona jest w uszczelkę z PCV (PCW) lub innego tworzywa,
- otwieraniem przed nabyciem przez konsumenta – na dolnej krawędzi zakrętki znajduje się pierścień zabezpieczający (rys. 5.62), który odrywa się przy otwieraniu butelki.

Przy butelkach wielokrotnego użycia pierścień zabezpieczający musi pozostawać przy zakrętce, gdyż w przeciwnym razie spowoduje on problemy przy myciu i ponownym napełnianiu.



Rys. 5.62 Zakrętka aluminiowa

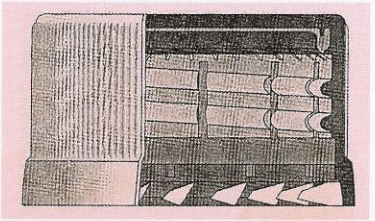
Szczególnym rodzajem jest aluminiowa zakrętka z pierścieniem zabezpieczającym z tworzywa sztucznego. Nadaje się ona także do napojów gazowanych, gorącego rozlewu i pasteryzacji.
Mechanizm wytłaczania gwintu na zakrętkach aluminiowych podczas zamykania butelek pokazany jest na rysunku 5.63.



Rys. 5.63. Wytłaczanie gwintu na zakrętce aluminiowej
(a) zakrętka nałożona, (b) proces zamykania
(1) szyjka butelki z gwintem, (2) wkładka uszczelniająca, (3) zakrętka surowa, (4) i (5) elementy dociskające głowicy, (6) rolka wytłaczająca gwint, (7) rolka zaciskająca pierścień zabezpieczający

5.3.7.2 Zakrętki z tworzyw sztucznych

W przeciwieństwie do aluminiowych zakrętki z tworzyw sztucznych dostarczane są przez wytwórcę gotowe do użycia i zaopatrzone w gwint. Zakrętki te są wytwarzane z polipropylenu i mają dużą odporność na wyższe temperatury. Wkładka uszczelniająca zwykle wykonana jest z PCV. Ten typ zakrętki zapewnia bardzo dobra szczelność (rys. 5.64). Poprzeczne nacięcia w gwincie umożliwiają stopniową redukcję ciśnienia w butelce przy jej otwieraniu.



Rys. 5.64 Zakrętka z tworzywa sztucznego

Podobnie jak w przypadku zakrętek aluminiowych pierścień zabezpieczający butelek wielokrotnego użycia musi pozostawać przy zakrętce.

Proces zamykania zakrętkami z tworzyw sztucznych

Zakrętki dostarczane są do urządzenia sortującego, które ustawia je otworami ku dołowi i w tej pozycji trafiają one na szyjkę butelki. Zamykarki wyposażone są zależnie od potrzeb w 10 do 25 głowic zamykających, z których każda może zamknąć do 2500 butelek /h. Moment obrotowy głowic sterowany jest elektronicznie, co zapewnia równomierne dokręcenie każdego zamknięcia.

5.3.8 Etykietowanie butelek PET

Do etykietowania butelek PET najczęściej znajdują zastosowanie duże etykiety owinięte wokół butelki. Takich etykiet nie trzeba przyklejać na całej powierzchni; wystarczy przykleić ich końce, co pozwala na dużą oszczędność kleju. Można też sklejać etykiety końcami bez przyklejania ich do butelek, co pozwala usuwać je przed myjką, ogromnie ułatwiając proces mycia i przynosząc oszczędności ługu i energii. Etykieta w postaci taśmy odwija się z rolki i jest odcinana bezpośrednio przed nałożeniem.

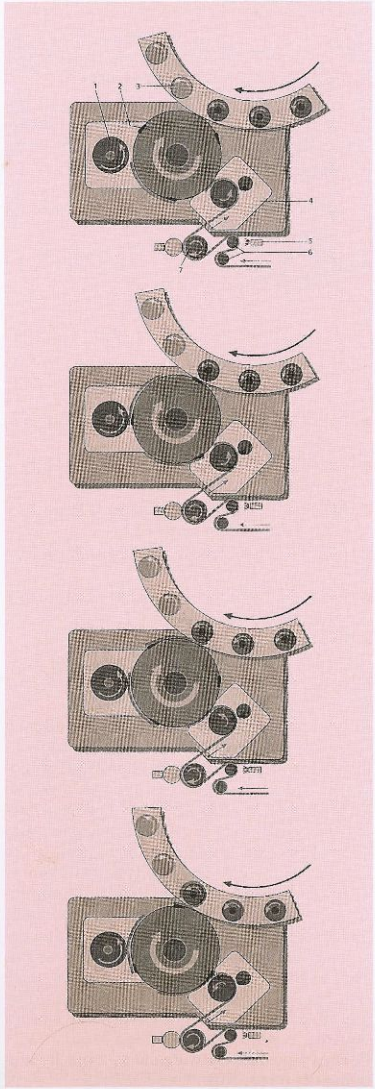
Aby etykietę tego rodzaju usztywnić na butelce, napina się ją przy nakładaniu, a butelki przed etykietowaniem są zraszane mgiełką wodną. W innym systemie pod etykiety nakłada się drobne ilości zimnego kleju (rys. 5.66).

Zimny klej pęka po wyschnięciu, natomiast gorący klej nałożony na końcach etykiety trzyma ją na butelce, mimo że nie jest do niej przyklejona. Przed myciem etykieta jest usuwana przez urządzenie odcinające (rys. 5.67).

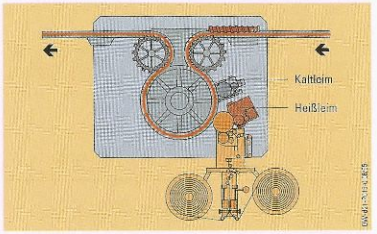
Cały proces etykietowania jest kontrolowany i sterowany elektronicznie.

5.4 Zalety jednorazowych butelek PET

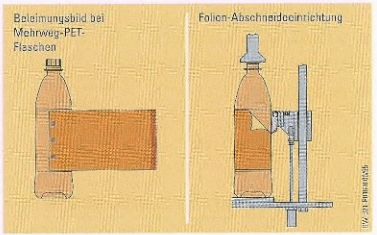
Użycie jednorazowych butelek PET eliminuje potrzebę kontroli i mycia oraz związanych z tym kosztownych urządzeń. Przy tym zmniejszają



Rys. 5.65. Etykietowanie butelek PET
(1) walec nakładający klej na etykiety, (2) bęben próżniowy przenoszący etykiety, (3) karuzela z butelkami, (4) urządzenie odcinające, (5) czujnik licznika, (6) rolki prowadzące taśmę, (7) rolki napinające taśmę
1 faza: przeniesienie etykiety przyssanej podciśnieniem
2 faza: nałożenie kleju na koniec etykiety
3 faza: przeniesienie etykiety na butelkę
4 faza: sklejenie końców etykiety



Rys. 5.66
Nakładanie etykiet owiniętych wokół butelki przy zastosowaniu dwóch różnych rodzajów kleju

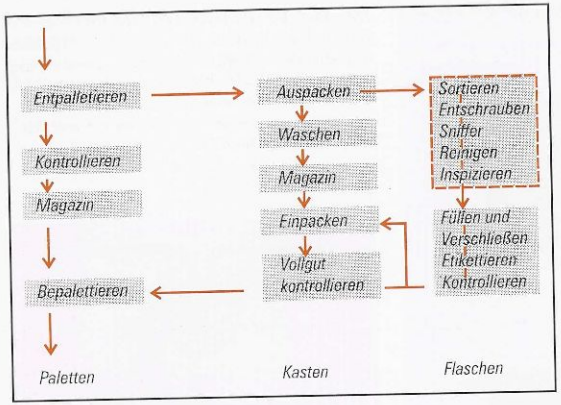


Rys. 5.67
Naklejanie i odcinanie etykiet z butelek PET

się koszty inwestycyjne i eksploatacyjne, oraz koszty związane z oczyszczaniem ścieków z myjki (rys. 5.68).

5.5 Rozlew piwa do puszek

Rozlew piwa do puszek pod wieloma względami różni się od rozlewu butelkowego. Aby wyjaśnić te różnice, trzeba omówić:



Rys. 5.68
Przy butelkach jednorazowych odpada kosztowny proces mycia
(Ten schemat obiegu dotyczy jednak butelek wielokrotnego użycia! Przyp. tł. AB)

- puszki, ich materiał i właściwości,
- magazynowanie, paletyzację i rozładunek puszek,
- płukanie puszek,
- kontrola pustych puszek,
- napełnianie puszek,
- zamykanie puszek,
- wkładki z N2, (Widgets)
- kontrola napełnionych puszek,
- pasteryzacja,
- etykietowanie,
- znakowanie puszek.

5.5.1 Puszki i ich zamknięcia

W ostatnich latach rozlew różnych napojów do puszek bardzo się rozpowszechnił. Do piwa i innych napojów gazowanych stosuje się puszki od około 200 do 500 ml, rzadziej większe. Rosnące powodzenie puszek jest wynikiem następujących zalet:

- puszki są nietłukące,
- ciężar opakowania jest nieporównanie mniejszy niż butelki,
- nie ma problemu zwrotów, a jedynie w niektórych krajach lepiej lub gorzej zorganizowany odbiór surowca wtórnego,
- odpada niewygodna i ciężka skrzynka do butelek,
- puszki można wygodnie ustawiać na paletach,
- puszki zabierają mało miejsca i szybko się wychładzają w lodówce,
- można je otwierać bez otwieracza i zamknięcie pozostaje przy puszce,
- puszki są nieprzepuszczalne dla światła, co jest ważne dla piwa,
- wyglądają estetycznie z ładnym nadrukiem (etykietą),
- pasteryzacja puszek jest łatwa.

Puszki produkuje się w dwóch częściach z blach aluminiowych lub stalowych. Wytwarzanie puszek przedstawione jest na rys. 5.69.
Puszka musi być wytrzymała na co najmniej 6 bar nadciśnienia. Jako materiał do produkcji puszek stosuje się blachę stalową o grubości 0,27 mm lub blachę aluminiową o grubości 0,30 mm. Ta grubość blachy pozostaje niemal nie zmieniona w dnie puszki natomiast ściany boczne wskutek wyciągania przy kształtowaniu mają grubość tylko 0,09 mm w puszkach stalowych i 0,11 mm w aluminiowych. Jasne więc jest, że swoją sztywność puszka zawdzięcza ciśnieniu, które w niej panuje. W związku z tym przy rozlewie do puszek napojów nie gazowanych wytwarza się sztucznie ciśnienie wewnętrzne przez dodanie gazu obojętnego jak na przykład przez dodanie jednej kropli płynnego azotu.
Pokrywy puszek wytwarzane są z blachy aluminiowej (rys. 5.70).

Rys. 5.69. Wytwarzanie puszek do piwa

Obecnie stosuje się pokrywki z systemem otwierania, gdzie zamknięcie po otworzeniu puszki nie zostaje od niej oddzielone. Ciężar pustej puszki wynosi, przy pojemności 0,33 l: aluminiowa – 12 g, stalowa – 27 g, puszki półlitrowe ważą: aluminiowa – 16 g, stalowa – 37 g.

Wymiary puszek 0,33 l i 0,5 l, uwidocznione na rys. 5.71, są następujące:

	Puszka 0,33 l	Wymiary w mm	Puszka 0,5 l
A Wysokość zamkniętej puszki	115,2 ±0,4		163 ± 0,4
B Wysokość główki	12,2 ± 0,5		14 ± 0,5
C Średnica pokrywki		57,4 ± 0,3	
D Zewnętrzna ∅ puszki		66,1± 0,4	
E ∅ krawędzi podstawy	53,6 ± 0,2		52,8 ± 0,2
F Głębokość wpuklenia dna		11,2 ± 0,3	

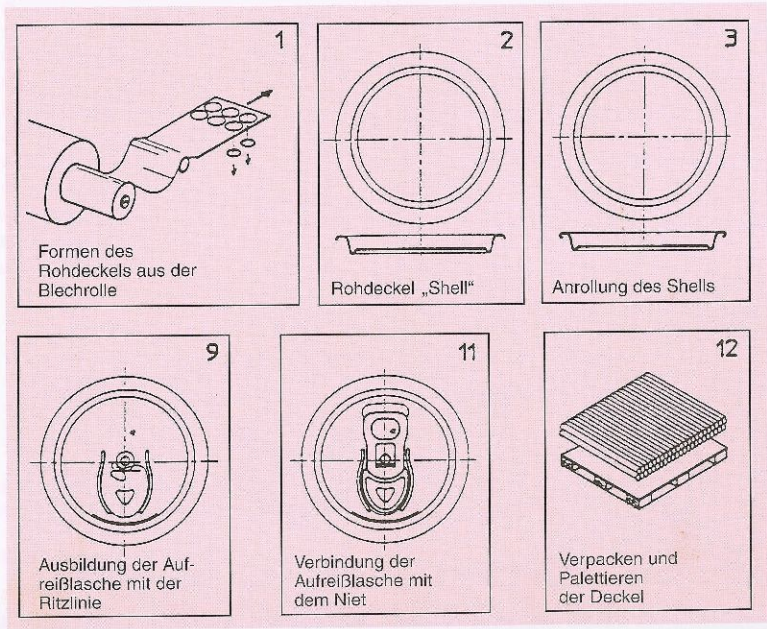
5.5.2 Magazynowanie, załadunek palet i rozpakowywanie pustych puszek

Dostawa puszek odbywa się przy użyciu palet w tzw. Tall-Pacs (wysokich opakowaniach). Każda taka paleta z puszkami składa się z 15 do 23 warstw. Każda warstwa przedzielona jest przekładką tekturową lub z tworzywa, na których, zależnie od wielkości palety, ustawionych jest do 360 puszek. Palety są usztywnione przez stalowe ramy, podstawę i taśmy z tworzywa, co pozwala ustawiać je na sobie.

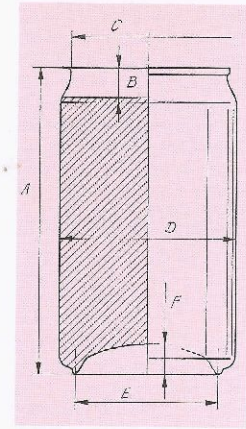
Palety z ciężarówek zdejmuje się za pomocą wózków widłowych. W niektórych krajach są zautomatyzowane systemy przyjmowania ze specjalnych pojazdów, prosto na taśmę przenośnika.

Puszki mają bardzo cienkie ścianki i jako puste są bardzo wrażliwe na uderzenia i wstrząsy, które łatwo je deformują. Z tego względu z paletami trzeba się obchodzić bardzo ostrożnie. W związku z tym wymaga się, aby:

- wózek widłowy działał delikatnie i bez uderzania w paletę,
- wykorzystywane były listwy oddzielające i zabezpieczające paletę przed uderzeniami,
- przy ustawianiu palet jedne na drugich trzeba zachować odstępy boczne,
- przed wprowadzeniem palety do linii produkcyjnej wszystkie puszki uszkodzone w transporcie, które uda się zauważyć, należy usunąć, gdyż powodują one przerwy w pracy,
- wgniecień w puszkach nigdy nie należy prostować; takie puszki trzeba wyrzucić.



Rys. 5.70. Produkcja pokrywek do puszek (przedstawiona skrótowo)



Rys. 5.71
Puszka do piwa
A Wysokość puszki
B Wysokość główki
C Średnica pokrywki
D Zewnętrzna ∅ puszki
E ∅ krawędzi podstawy
F Głębokość wpukliny dna

Palety rozładowuje się kolejno warstwami za pomocą maszyny przedstawionej na rys. 5.72.

Rozładunek i podawanie puszek musi przebiegać w sposób ciągły i bez przerw, gdyż są one mało stabilne i łatwo się przewracają na przenośniku, a ich ciasne ustawienie na taśmie poprawia tę stabilność. Na szerokiej części przenośnika muszą być prowadnice i oczywiście boczne osłony.

Na końcu szerokiej części przenośnika („stołu") puszki ustawiają się pojedynczo, dzięki różnicy w szybkości biegu poszczególnych taśm (patrz rozdz. 5.7.1).

Przy wysokiej wydajności linii rozlewu, ponad 1200 puszek na minutę, ustawianie ich w pojedynczym szeregu wspomagane jest za pomocą sprężonego powietrza. Ustawione na przenośniku puszki trafiają do płuczki, gdzie są odwracane dnem do góry, spłukiwane natryskiem i z powrotem odwracane i ustawiane na taśmie. Po spłukaniu przechodzą przez urządzenie kontrolujące stan pustych puszek. Często jeszcze przed myciem na dnie puszki drukowana jest data napełnienia.

Dostarczenie pokrywek jest dużo łatwiejsze niż puszek. Pokrywki mają średnicę o 8 mm większą niż po zamknięciu. Dostarczane są w workach papierowych po ok. 600 sztuk w każdym. Transport ich odbywa się także w paletach po 246000 pokrywek na każdej. Torby umocowane są taśmami z mocnego papieru.

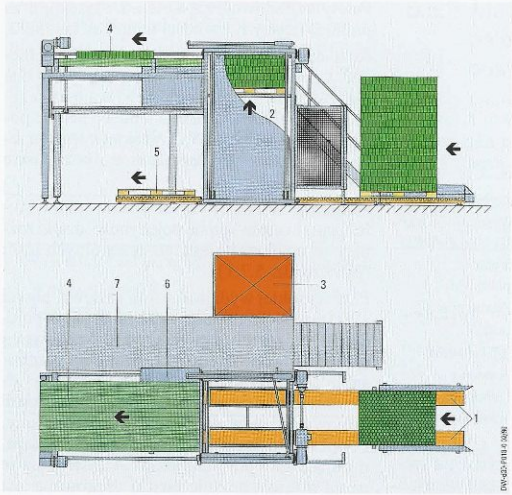
5.5.3 Kontrola pustych puszek

Jak już wcześniej powiedziano, puste puszki są bardzo wrażliwe i łatwo się deformują. Kiedy górna krawędź puszki nie jest idealnie okrągła, następują zakłócenia w pracy zamykarki prowadzące do niepotrzebnych przerw i związanych z tym strat.

Przed napełnieniem puste puszki są kontrolowane na:

- okrągły kształt puszki,
- deformacje górnej krawędzi puszki,
- deformacje bocznych ścian i dna puszki,
- braki w wewnętrznej powłoce,
- obecność ciał obcych.

Puszki nie spełniające wymagań muszą być usuwane z linii produkcyjnej.

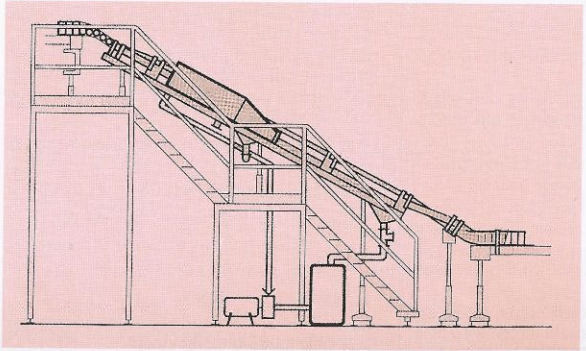


Rys. 5.72
Maszyna do rozładowywania palet (depaletyzacji)
(typ „Palmaster" firma Krones)
(1) tor transportu pełnych palet
(2) dźwig podnoszący palety
(3) skrzynia na przekładki
(4) odbiór puszek
(5) odbiór pustych palet
(6) pulpit obsługi
(7) pomost dla obsługi

Kontrola puszek odbywa się za pomocą automatycznego urządzenia włączonego do linii przed płuczką. Kamera tego urządzenia może zbadać do 140 tys. puszek na godzinę, a puszki z wadami są automatycznie usuwane. Ze względu na koszty takie automatyczne urządzenia nie wszędzie jeszcze są stosowane.
Puszki bez wad trafiają do urządzenia spłukującego.

5.5.4 Płukanie puszek

Lekkie i wrażliwe puszki nie mogą być odwracane tak jak butelki za pomocą chwytających je łap. Puszki niesione pojedynczo na przenośniku biegnącym na sporej wysokości są odwracane przez prowadnicę, a następnie spłukiwane natryskami w czasie ześlizgiwania się na dół.



Rys. 5.73
Płuczka do puszek

Droga, którą zsuwają się puszki w płuczce ma nachylenie ok. 30°. Prowadnice odwracające puszki mogą być łatwo dostosowywane do ich wysokości.

Po ocieknięciu puszki trafiają do następnej prowadnicy, która odwraca je do poprzedniego położenia, po czym kierowane są do agregatu napełniającego.

5.5.5 Napełnianie puszek

W przeciwieństwie do butelek cienkościenne, delikatne puszki nie wytrzymują ani nacisku z góry, ani próżni, muszą więc być traktowane zupełnie inaczej.

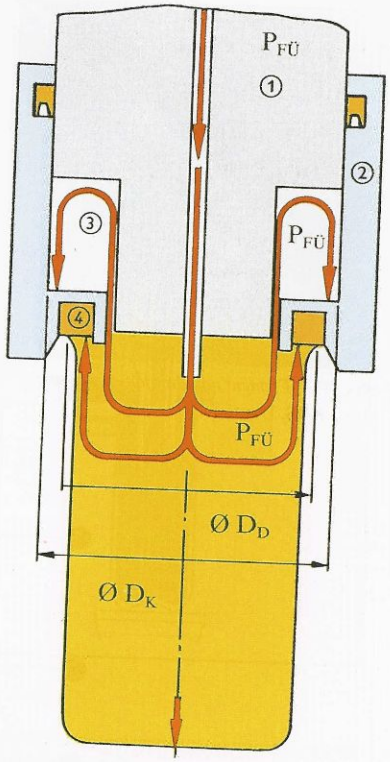
Decydującym ulepszeniem w rozlewie piwa do puszek było wprowadzenie komory wyrównującej ciśnienie (komory izobarycznej), przedstawionej na rysunku 5.74, która pozwoliła wydatnie zmniejszyć nacisk wywierany na puszkę w kierunku jej osi. Także skutkiem działania tej komory największy nacisk na puszkę ma miejsce tylko podczas napełniania, gdy puszka jest usztywniona panującym w niej ciśnieniem. *(To ulepszenie umożliwiło wprowadzenie puszek cienkościennych. Pierwsze puszki do piwa wcale takie nie były. Przyp. tłum. AB).*

Napełnianie puszek odbywało się najpierw za pomocą długiej rurki, później – i takie urządzenia pracują jeszcze w wielu zakładach – przez kilka krótkich rurek napełniających. W nowych urządzeniach do rozlewu napój kierowany jest w postaci warstwy spływającej po ściankach puszki. Rozlewarki do puszek dzielimy na dwie grupy:

- napełniające do określonej wysokości,
- napełniające według objętości.

Podobnie jak w rozlewarkach do butelek, proces napełniania puszek w rozlewarkach napełniających według poziomu kończy się w momencie, gdy piwo dosięgnie dolnego końca rurki odpowietrzającej. Przy napełnianiu według objętości występują dwie możliwości:

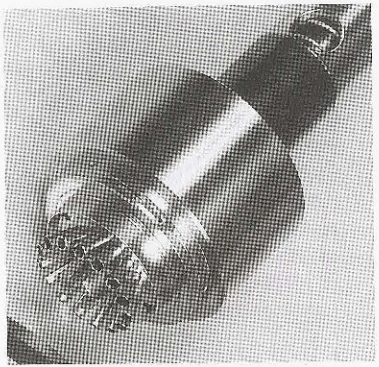
- stosuje się specjalny pośredni zbiorniczek dozujący, w którym odmierzana jest ilość piwa do wypełnienia każdej puszki. Samo napełnianie następuje bardzo szybko;
- odmierza się dokładną objętość przy pomocy przepływomierza magnetyczno-indukcyjnego (IDM).



Rys. 5.74. Komora wyrównująca ciśnienie
(1) rurka napełniająca
(2) lejek centrujący
(3) komora wyrównująca ciśnienie
(4) uszczelka

Cały szereg kolejnych operacji rozlewu do puszek przebiega analogicznie jak przy rozlewie butelkowym, a mianowicie:

- przepłukiwanie CO_2 lub parą oraz wstępne napełnianie CO_2,
- etapy napełniania i szybkiego napełniania,
- redukowanie szybkości spływu i osiąganie poziomu napełnienia,

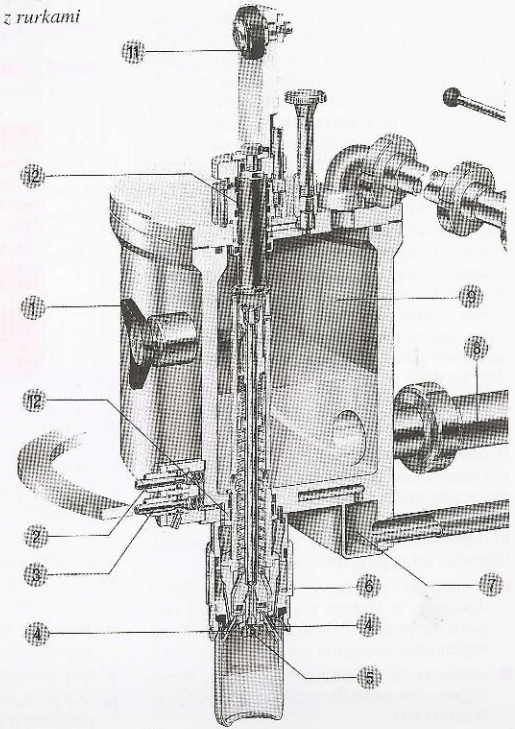


Rys. 5.75. Element napełniający z rurkami
(Fot.: KHS, Dortmund)

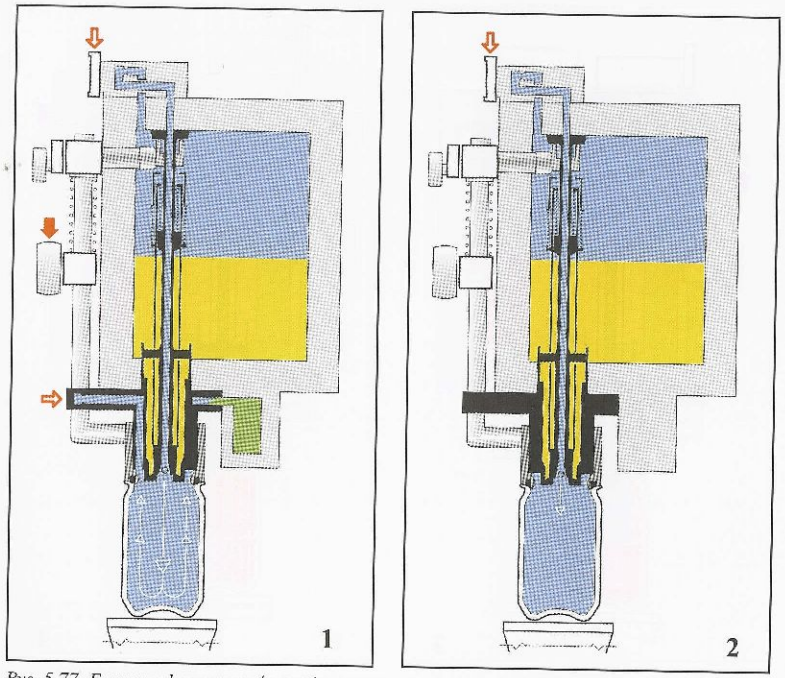
- powolne redukowanie ciśnienia dla uniknięcia wypieniania.

Rozlew do puszek ma jednak swoje specyficzne cechy:

- puste puszki są bardzo lekkie i dlatego trzeba je spokojnie i pewnie doprowadzać do rozlewarki. Siła odśrodkowa przy dużych szybkościach pracy maszyny, a nawet mocniejsze przeciągi mogą puste puszki wyrzucać z linii rozlewu;
- puste puszki nie są podnoszone dla napełnienia tak jak butelki, tylko elementy napełniające obniżają się na puszkę, tworząc z nią szczelne połączenie;
- połączenie puszka – element napełniający jest sprawą delikatną, gdyż puszka ze względu na bardzo cienkie ścianki może być łatwo zgnieciona (patrz komora wyrównująca ciśnienie).



Rys. 5.76. Element napełniający puszki
(1) dźwignia sterująca zaworem, (2) zawór CO_2 i CIP, (3) zawór redukcji ciśnienia, (4) rurki napełniające, (5) regulowana rurka powrotu gazu z kulką zamykającą, (6) komora wyrównująca ciśnienie, (7) kanał CO_2 i CIP, (8) przewód piwny, (9) zbiornik pierścieniowy piwa i CO_2, (10) zawór motylkowy powrotu CO_2, (11) rolka podnosząca zawór napełniający, (12) ustawianie elementu napełniającego w zbiorniku korony rozlewarki



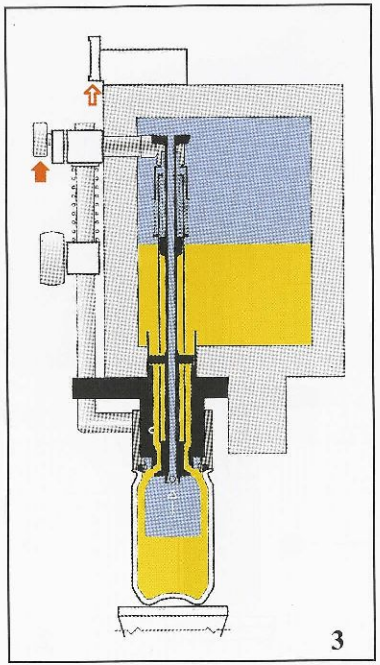
Rys. 5.77. Fazy puszkowego rozlewu piwa
(typ EM-D Firma KHS, Dortmund). Objaśnienia faz rozlewu w tekście.

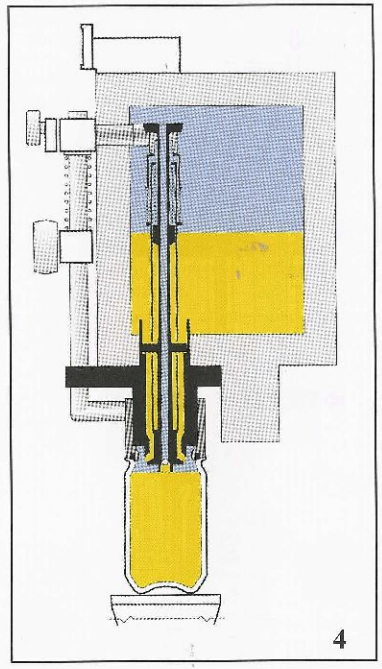
Do niedawna elementy napełniające rozlewarek do puszek były tak budowane, że piwo wypływało z czternastu do szesnastu małych rurek pod kątem 30-45° na ścianki puszki i spływało po nich (rys. 5.75 i 5.76). Tego typu urządzenia są jeszcze dziś szeroko stosowane. W nowoczesnych rozlewarkach piwo spływa jednocześnie na całym obwodzie nieprzerwaną warstwą.

5.5.5.1 Rozlew według poziomu

W przypadku rozlewarki do puszek Innofill **EM-D** (f-my KHS, rys. 5.77) puszki zostają hermetycznie połączone z opuszczającym się elementem napełniającym, podczas gdy dźwignia otwiera zawór dwutlenku węgla (1). Ze zbiornika płynie do puszki przez rurkę odpowietrzającą gaz obojętny, najczęściej CO_2, już w czasie opuszczania elementu napełniającego. W wyniku tego powietrze znajdujące się w puszce zostaje wyparte. Oczywiście usuwanie powietrza metodą ewakuacji próżniowej nie wchodzi w rachubę z powodu cienkich ścianek puszki.

W celu napełnienia puszki dwutlenkiem węgla zawór odpowietrzający zostaje zamknięty, a przez zawór dwutlenku węgla w dalszym ciągu płynie do puszki CO_2 aż do wyrównania ciśnienia ze zbiornikiem piwa (2). Po wyrównaniu ciśnienia sprężyna otwiera zawór piwny i



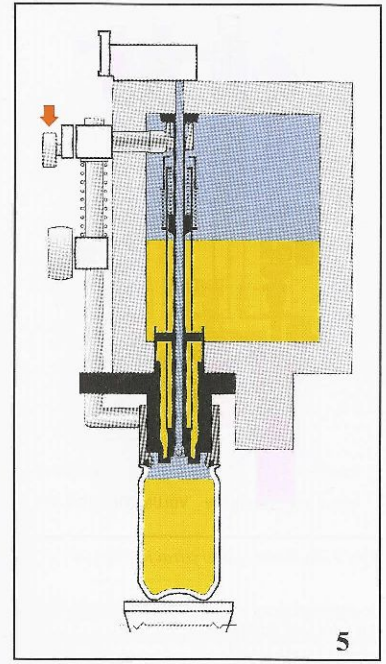


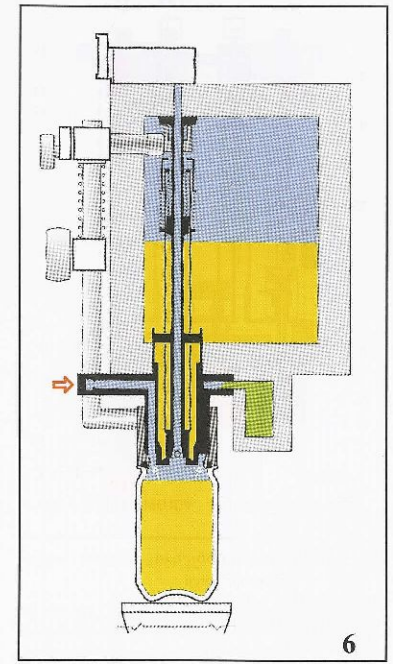
Rys. 5.77 (c.d.). Fazy puszkowego rozlewu piwa

rozpoczyna się proces napełniania. Piwo płynie teraz przez szczelinę o kształcie pierścienia na ścianki puszki i spływa po nich spokojnie, podczas gdy CO_2 przez rurkę powrotu gazu wytłaczany jest z powrotem do zbiornika w koronie rozlewarki (3). Napełnianie kończy się, gdy piwo unosi do góry kulkę zamykającą powrót gazu (4). Cała faza napełniania trwa około 5 sekund. Teraz dźwignia zamyka zawór piwny i rurkę powrotu gazu (5). Zawór redukujący ciśnienie (6) odprowadza nadmiar gazu. Pienienie przy redukcji ciśnienia jest bardzo małe. Przy rozlewarkach z zastosowaniem pary przed pierwszą fazą wprowadza się do puszek parę, która wypiera z nich powietrze i przy tej okazji dodatkowo je wyjaławia.

Zmiana wysokości puszek

Przy zmianie wysokości puszek cała górna część rozlewarki, tj. korona z elementami napełniającymi, za pomocą koła zębatego i szeregu przekładni obracających śruby nastawne zostaje podniesiona lub opuszczona. Również poziom napełnienia puszki można zmieniać przez naciśnięcie guzika. Może być on przesunięty wyżej lub niżej o 1,5 mm. Dokładne ustawienie wysokości napełnienia puszki jest istotne, gdyż przy średnicy 66 mm każdy milimetr różnicy poziomu piwa w puszce to 3,4 cm^3 piwa. Dlatego po napełnieniu kontroluje się zarówno wysokość napełnienia, jak i masę puszki.





Rys. 5.77 (c.d.). Fazy puszkowego rozlewu piwa

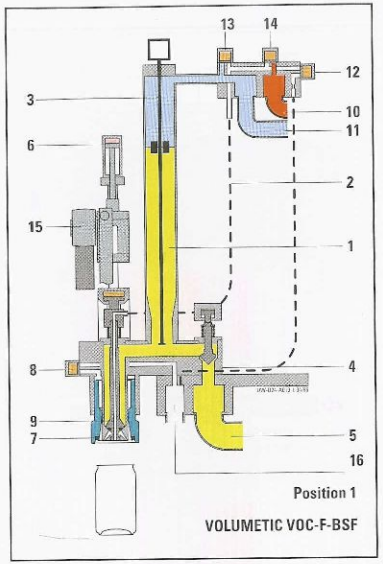
5.5.5.2 Rozlewarka do puszek z napełnianiem według objętości

Powszechnie stosowane napełnianie według poziomu w butelce lub puszce ma tę wadę, że przy końcu fazy nalewania, dla dokładnego osiągnięcia zadanego stopnia napełnienia, trzeba hamować jej szybkość. Jest to strata czasu i zmniejszenie zdolności produkcyjnej linii rozlewu.

Aby ominąć tę trudność, opracowano metodę rozlewu, przy której:

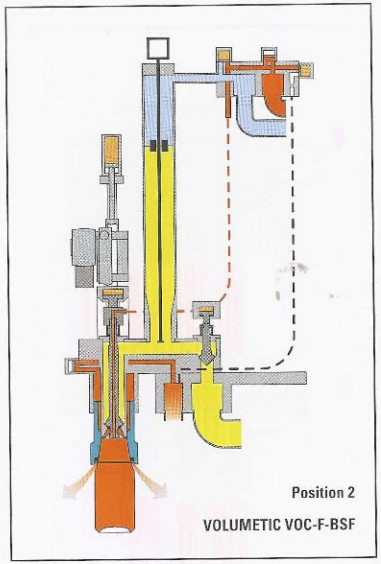
- przewidzianą porcję napoju odmierza się wcześniej,
- odmierzoną objętość szybko wprowadza do naczynia,
- jednocześnie z napełnianiem odmierza się następną porcję.

Proces ten nazywa się rozlewem na objętość. W objętościowej metodzie napełniania puszek VOC (rys. 5.78 i 5.79, firma Krones) odmierzanie objętości odbywa się w wąskiej komorze odmierzającej (1) za pomocą pływającej, precyzyjnej sondy Transsonar (3) z dokładnością do 1,5 ml. Komora pomiarowa napełniana jest bez turbulencji przy otwartym zaworze (4) od dołu (5), tak że w chwili rozpoczęcia cyklu napełniania porcja piwa jest już w niej odmierzona. Istnieje także możliwość wstępnego traktowania puszek za pomocą pary nasyconej o temperaturze 110°C, która obok odpowietrzenia puszki zapewnia także błyskawiczną jej sterylizację. Jeśli puszki są następnie kierowane



Rys. 5.78. Rozlew na objętość, faza 1

(1) komora odmierzania porcji
(2) przewód CO_2 wstępnego i zwrotnego
(3) sonda pomiarowa Transsonar
(4) zawór piwny
(5) przewód piwny
(6) zawór sterujący obniżaniem elementu centrującego
(7) element centrujący
(8) dolny zawór redukujący oraz odpływ gazu przepłukującego i roztworów myjących CIP
(9) zawór napełniający
(10) doprowadzenie pary
(11) kanał gazu przepłukującego i zwrotnego
(12) górny zawór redukujący
(13) zawór gazu i spłukiwania
(14) zawór doprowadzenia pary
(15) rolka krzywizny podnoszącej element centrujący
(16) kanał zbiorczy gazu przepłukującego oraz powrotu roztworów CIP



Rys. 5.79. Faza 2: Sterylizacja parą

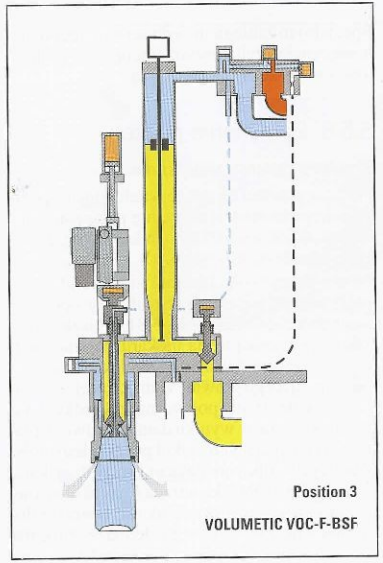
do pasteryzatora tunelowego, to sterylizowanie ich parą jest zbyteczne.

Faza 2: Sterylizacja parą

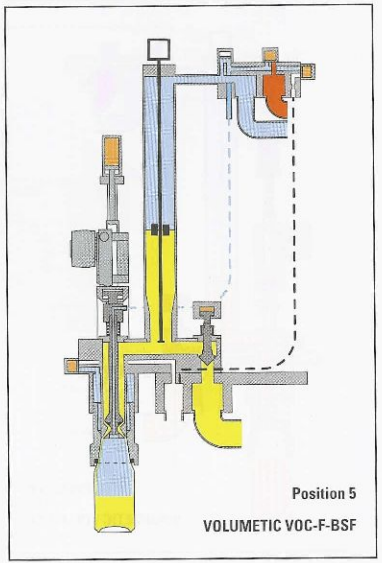
Puszka jest teraz mocno trzymana i w ciągu ok. 1s sterylizowana parą (rys. 5.79). W odróżnieniu od butelki, cienkie metalowe ścianki puszki natychmiast osiągają temperaturę pary: 110°C. Przez lekkie obniżenie puszki następuje powtórne jej przepłukanie parą, co zapewnia jeszcze pełniejszą sterylizację.

Faza 3: Przepłukanie CO_2

Przez doprowadzenie CO_2 (na rys. przerywana niebieska linia) puszka zostaje przepłukana tym gazem i następnie dociśnięta szczelnie do elementu napełniającego, a ciśnienie w niej zostaje wyrównane z ciśnieniem panującym w rozlewanym piwie. W tym momencie zostają spełnione wszystkie warunki do prawidłowego przebiegu procesu napełnienia puszki. Można zakładać, że cały tlen został z puszki usunięty i zastąpiony CO_2.



Rys. 5.79 (c.d.). Faza 3: Przepłukiwanie CO_2



Faza 4: Napełnianie

Faza 5: Napełnianie

Wcześniej dokładnie odmierzona ilość piwa jest już gotowa i nie trzeba się martwić o niedopełnienie lub przepełnienie puszki. Po otworzeniu zaworu napełniającego odmierzona ilość piwa spływa po ściankach puszki i szybko ją napełnia.

Faza 6: Koniec napełniania i redukcja ciśnienia

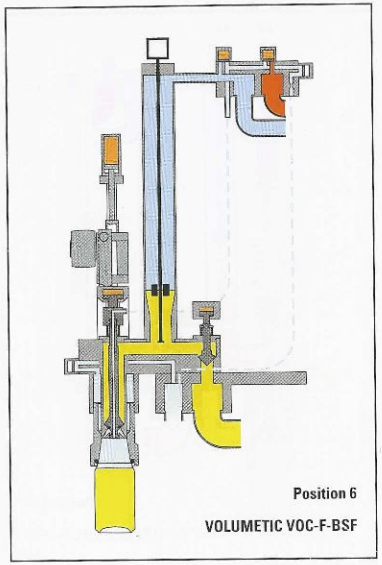
Komora odmierzająca nie opróżnia się całkowicie, lecz pozostaje w niej z góry przewidziana ilość piwa. Pozwala to przez częściowe, ponowne przejście piwa do tej komory uniknąć strat związanych z pienieniem się zawartości puszki. Zawór redukujący łączy teraz puszkę z dyszą o małej średnicy otworu, przez którą nadciśnienie w puszce jest redukowane do poziomu ciśnienia atmosferycznego (rys. 5.79, faza 6).
Natychmiast po zamknięciu zaworu napełniającego puszkę rozpoczyna się ponowne napełnianie piwem komory odmierzającej dla następnej puszki. Ta operacja odbywa się w czasie, w którym następuje odłączenie napełnionej puszki, wprowadzenie pustej, połączenie jej z elementem napełniającym, sterylizacja parą, płukanie dwutlenkiem węgla i wyrównywanie ciśnienia. Zaletami tego urządzenia są:

- dokładne odmierzanie rozlewanych porcji,
- prosta konstrukcja elementu napełniającego,
- spływ piwa cienką warstwą po ściankach puszki,
- pneumatyczne otwieranie zaworów.

Alternatywą tego systemu jest odmierzanie rozlewanej porcji za pomocą przepływomierza IDM (rozdz. 7.5.2).

Mycie elementów napełniających w układzie CIP

We wszystkich rozlewarkach, tak do butelek, jak i do puszek, prawidłowe mycie elementów napełniających ma ogromne znaczenie, gdyż stanowią one potencjalne gniazda infekcji zagrażających jakości produktu.



Rys. 5.79 (c.d.). Faza 6: Koniec napełniania

W wyżej opisanym agregacie rozlewniczym także istnieje możliwość pompowania w obiegu zamkniętym środków myjących oraz gorącej wody pod ciśnieniem, o temperaturze do 105°C. sterylizacja parą także jest możliwa.

Obieg środków myjących przez elementy napełniające wymaga nałożenia na nie specjalnych zaślepek. Mogą one być nakładane ręcznie lub automatycznie.

Napełnianie zabezpieczone przed dostępem tlenu

Przemywanie pustej puszki CO_2 poczynając już od gwiazdy wprowadzającej powinno usunąć tlen bez reszty. Osiągane przy tym ogólne zawartości tlenu ok. 0,2 mg O_2/l, przy ilości CO_2 od 6 do 8 g/l, jest to poziom, który można uznać za dobry przy dzisiejszym stanie techniki.

Usuwanie powietrza z górnej przestrzeni puszki przed jej zamknięciem zapewnia już w rejonie zamykarki wdmuchiwanie CO_2 pod pokrywkę.

Specjalnym zabiegiem, jednocześnie odpowietrzającym i sterylizującym, jest opisane już traktowanie puszek parą nasyconą.

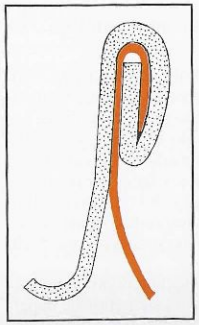
5.5.6 Zamykanie puszek

Przebieg procesu zamykania

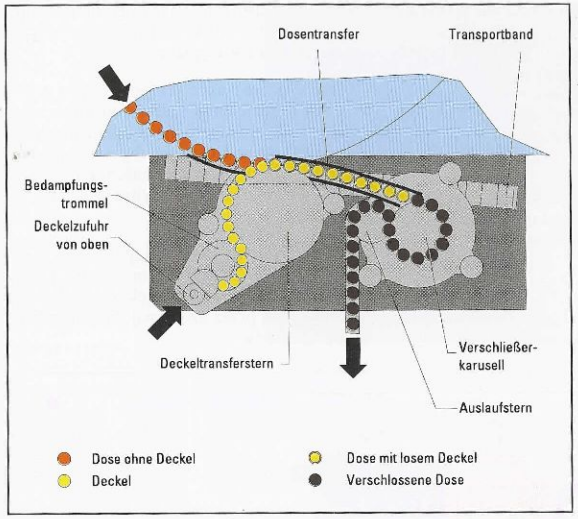
Podczas procesu zamykania nałożona na puszkę pokrywka zostaje szczelnie połączona z jej krawędzią, w wyniku dwóch kolejnych operacji mechanicznych (rys. 5.80).

Proces zamykania zaczyna się od nałożenia pokrywki na puszkę, w chwili gdy opuszcza ona rejon rozlewarki (rys. 5.81). Puszka z nałożoną pokrywką trafia na karuzelę zamykarki, gdzie jest podnoszona i dociskana do talerza zwierającego głowicy zamykającej. Szczelne zamknięcie na podwójną zakładkę (rys. 5.80), powstaje w wyniku działania dwóch planetowo obiegających wokół puszki elementów rolkowych: rolki zawijającej i rolki dociskającej (rys. 5.83). Puszka obraca się wokół swojej osi wraz z trzymającym wieczko talerzem dociskającym (rys. 5.82 – 1). Jedna z obracających się w przeciwnym kierunku rolek – zawijająca (2) – przyciska się do talerza dociskającego i zawija krawędź wieczka ku dołowi i wokół górnej krawędzi puszki (rys. 5.83, pierwsza operacja). Talerz dociskający zapewnia przy tym, że:

- wieczko (pokrywka) puszki utrzymana jest we właściwej pozycji,
- otwór puszki i wieczko nie ulegną deformacji.



Rys. 5.80
Prawidłowe połączenie wieczka z puszką na podwójną zakładkę (czerwone – ściana puszki. Opis – AB)

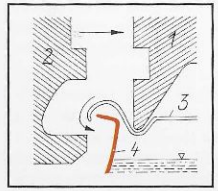


Rys. 5.81
Podawanie wieczek do monobloku w rozlewie puszkowym

W wyniku drugiej operacji zamknięcie puszki zostaje uszczelnione przez działanie rolki dociskającej (2).

Proces zamykania odbywa się w bardzo krótkim czasie i wymaga wielkiej precyzji działania wszystkich elementów biorących w nim udział. Trzeba kontrolować możliwe luzy zakładki oraz wszelkie zakłócenia precyzji działania głowicy zamykającej. Występowanie fałd na wewnętrznej powierzchni zakładki wskazuje na zbyt mocne dociskanie w czasie drugiej operacji. Kiedy to występuje, powinno się przerwać rozlew i wyregulować działanie głowic zamykarki. Często występuje tendencja zbyt ciasnego ustawiania rolek dociskających, aby być pewnym szczelności zamknięcia. W pewnym stopniu, dzięki swej konstrukcji, maszyna może kompensować różne grubości materiału puszek bez uszkodzenia zamknięcia. Kiedy jednak granica jej elastyczności zostanie przekroczona przez zbyt ciasne ustawienie rolek głowicy, blacha zakładki zostaje zbytnio rozwalcowana i występuje osłabienie zamknięcia, co może prowadzić np. do pękania puszek w czasie pasteryzacji. To zjawisko występuje zwłaszcza przy puszkach aluminiowych, których blacha jest o 0,03 mm grubsza niż blacha puszek stalowych.

Po zamknięciu puszki poddawane są kontroli stopnia napełnienia.



Rys. 5.82
Wieczko przed zaciśnięciem
(1) głowica, (2) rolka zawijająca, (3) wieczko, (4) puszka

5.5.7 Mycie rozlewarki i zamykarki do puszek

Oprócz opisanego już mycia i sterylizacji elementów napełniających, cały szereg innych

części maszyny i całego urządzenia powinno się regularnie myć. Dotyczy to zwłaszcza:

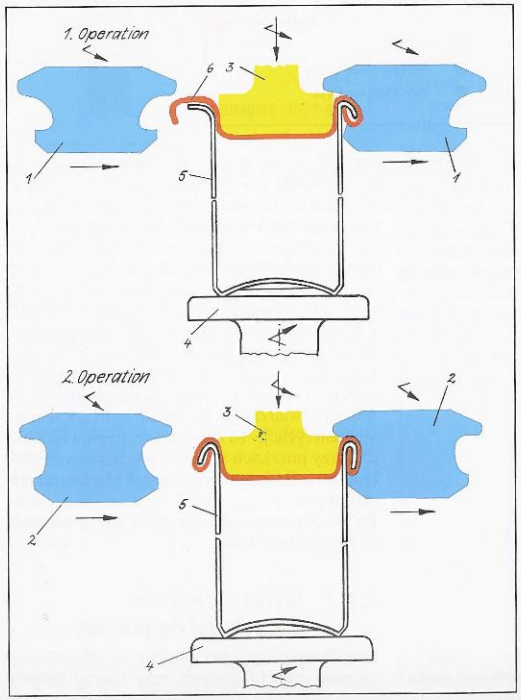
- wszystkich miejsc, w których mogą kapać krople wody do otwartych puszek,
- przy odkrytym przesyłaniu wieczek powinny one po drodze przed zamknięciem być potraktowane gorącą parą,
- głowice zamykające powinny być regularnie myte gorącą wodą,
- przynajmniej raz dziennie w ciągu jednej godziny cały agregat napełniający powinien być poddany gruntownemu myciu.

5.5.8 Wkładki „widgets"

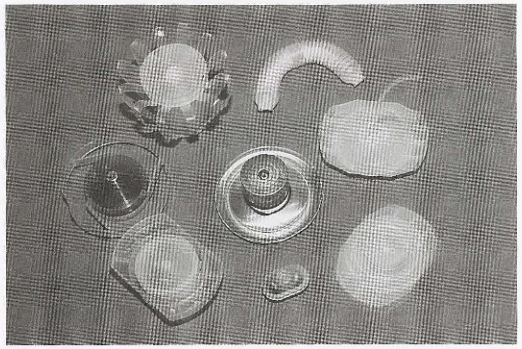
Są to wypełnione azotem pojemniczki wkładane do puszek. Przy otworzeniu puszki, w wyniku spadku ciśnienia w jej wnętrzu, pojemniczek się otwiera i uwalnia do piwa azot dający bardzo ładną i trwałą pianę.

Działanie azotu znane jest już dawno w gastronomii, gdzie przy nalewaniu piwa z beczek, jako gaz uzupełniający ciśnienie stosuje się mieszaninę CO_2 i N_2, aby uniknąć przesycenia piwa w beczce dwutlenkiem węgla, kiedy pozostaje ono przez dłuższy czas pod ciśnieniem.

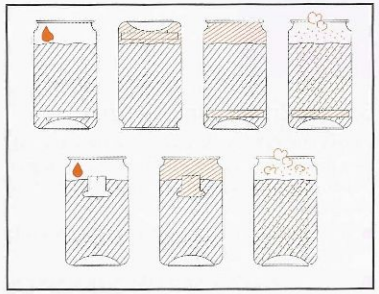
Wkładki z azotem, czyli „widgets" (rys. 5.84) wynaleziono w Anglii i mimo wyższej ceny puszek z tym dodatkiem, dzięki pięknej pianie wywoływanej przez azot, znajdują one pewną liczbę amatorów.



Rys. 5.83
Dwuetapowe zamykanie puszki (w 2 operacjach):
(1) rolka zawijajaca,
(2) rolka dociskajaca,
(3) głowica zamykarki,
(4) talerz obrotowy,
(5) puszka,
(6) wieczko



Rys. 5.84
Różne typy wkładek z azotem („widgets")



Rys. 5.85
Działanie wkładki z azotem w puszce

5.5.9 Kontrola napełnionych puszek

Podobnie jak przy rozlewie do butelek, również puszki powinny być kontrolowane pod względem równomierności napełnienia.

Do kontroli zwykle wykorzystuje się urządzenie pracujące przy zastosowaniu promieni γ, które kieruje się na określony punkt w puszce, by uzyskać dokładną kontrolę na wypadek niedopełnienia puszki. Ujemną stroną tej metody jest to, że ma się do czynienia z materiałem radioaktywnym, oraz że nie zawsze pracuje ona wystarczająco dokładnie.

W nowszych urządzeniach wykorzystuje się promienie X (Roentgena). Przy szybkości badania 2400 puszek na minutę można za pomocą takiego urządzenia skontrolować poziom napełnienia z dokładnością do 0,5 mm.

Urządzenie z zastosowaniem promieni X pozwala określić:

- precyzyjną wysokość napełnienia,
- na podstawie ewentualnego wybrzuszenia wieczka nadmierne ciśnienie w puszce,
- nadmiar piany w puszce świadczący o nieszczelności.

5.5.10 Pasteryzacja piwa

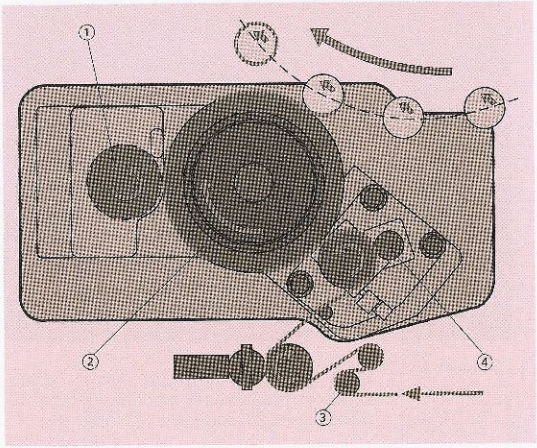
Piwo w puszkach zwykle jest pasteryzowane. Technika pasteryzacji jest taka sama jak piwa w butelkach, ale dzięki lepszej przewodności cieplnej metalu i cienkości ścianki ogrzewanie zawartości puszek jest nieporównanie szybsze niż butelek.

W związku z tym, że ciśnienie przy pasteryzacji mocno wzrasta, co może prowadzić do wybrzuszania wieczek, przy pasteryzacji piwa w puszkach nie powinno się przekraczać temperatury 62°C, co i tak powoduje ciśnienie 6 bar wewnątrz puszki.

Wystarczająca dawka cieplna przy pasteryzacji puszek wynosi od 18 do 20 jednostek pasteryzacyjnych (JP).

5.5.11 Etykietowanie puszek

Z reguły puszki są zadrukowane u wytwórcy, zgodnie z życzeniem zamawiającego.



Rys. 5.86
Etykieciarka do puszek (etykiety owijane)
(1) Walec klejący
(2) Bęben próżniowy przenoszący etykietę
(3) Rolki prowadzące i napinające etykietę
(4) Urządzenie odcinające

Mimo to, w niektórych okolicznościach etykietowanie puszek jest interesujące, a mianowicie:

- przy częstych zmianach gatunków piwa można szybko przestawić się na inne etykiety,
- w zakładach o dużej różnorodności produkcji można oszczędzić przestrzeń magazynową,
- puszki niezadrukowane są znacznie tańsze.

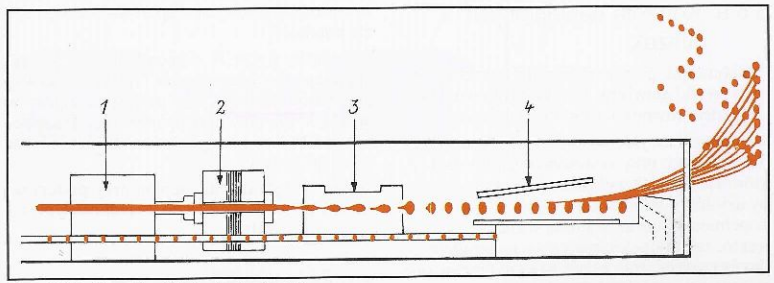
Sposób nakładania i sklejania etykiet owijanych jest taki sam, jak opisany w rozdziale 5.3.8.

5.5.12 Znakowanie puszek

Puszki muszą być oznakowane w sposób zgodny z przepisami, co leży także w interesie producenta. Oznakowanie puszki powinno uwzględniać:

- datę rozlewu lub przydatności do spożycia (patrz też rozdz. 5.1.2.9),
- wewnątrzzakładowe znaki rozpoznawcze partii wyrobu.

Na miejsce nanoszenia znaków nadaje się najlepiej zagłębione dno puszki. Jest ono mokre



Rys. 5.87. Zasada działania drukarki
(1) zawór kontrolujący dopływ farby, (2) dysza krystaliczna, (3) podział na kropelki w tunelu, (4) płyta odchylająca tor biegu kropelek

w ciągu całego niemal procesu rozlewu i z tego względu najczęściej do znakowania wykorzystuje się krótką chwilę bezpośrednio po rozładunku z palet, kiedy puszki są jeszcze suche.

Puszki znakuje się zwykle za pomocą drukarki punktowej (rys. 5.87). W tym urządzeniu odpowiedni rodzaj farby jest tłoczony przez zawór kontrolny (1) i dyszę krystaliczną (2) o średnicy równej grubości ludzkiego włosa, gdzie 66000 impulsów na sekundę rozdziela go na minikropelki, które dalej, w specjalnym tunelu (3), ulegają kolejnemu podziałowi. Płyta odchylająca (4) kieruje wiązkę kropelek przez odpowiedni szablon na dno puszki, gdzie natychmiast wysychają. Odległość między szablonem i dnem puszki wynosi zaledwie parę centymetrów.

Sprawność tego typu drukarek jest bardzo duża i z łatwością znakują one do 60000 puszek na godzinę.

5.6 Rozlew do beczek, kegów i dużych puszek

5.6.1 Beczki drewniane

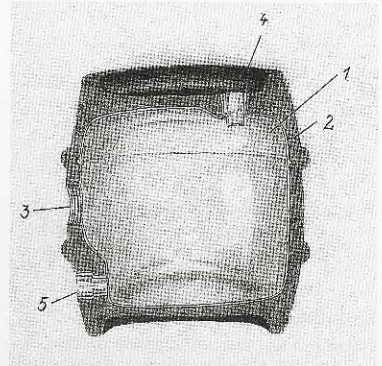
Beczki drewniane panowały kiedyś na rynku piwnym. Ich duży ciężar, wysoki koszt wytwarzania i pielęgnacji oraz inne wady, spowodowały w większości krajów niemal całkowite zastąpienie ich beczkami metalowymi. *(Przed 25 laty w Polsce wyszły całkowicie z użycia Tłum. A.B.).*

Dla odbiorców przywiązanych do tradycyjnego wyglądu beczki drewnianej produkuje się obecnie w Niemczech beczki ze stali nierdzewnej, z okładziną z pianki poliuretanowej, utwardzonej na powierzchni, o barwie i kształcie beczek drewnianych (rys. 5.88).

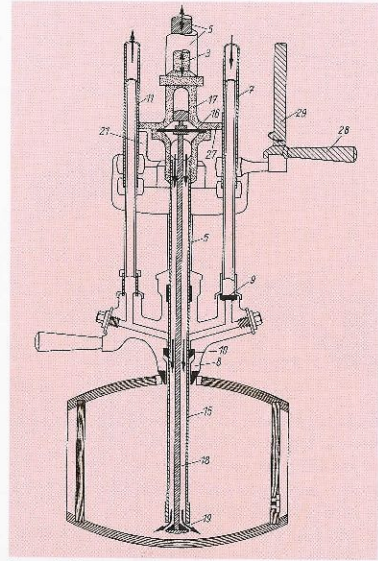
Beczki metalowe

Beczki metalowe wytwarzane są w dwóch podstawowych formach: tradycyjnej, podobnej do beczki drewnianej formie „brzuchatej" oraz cylindrycznej. Te pierwsze często wyposażone są w dwa pierścienie gumowe obejmujące największą średnicę beczki, umożliwiające jej toczenie bez nadmiernego hałasu.

Beczki metalowe produkowane są z aluminium lub stali nierdzewnej. Powierzchnię beczek aluminiowych zabezpiecza się przed korozją przez



Rys. 5.88. Beczka ze stali nierdzewnej z okładziną z tworzywa sztucznego
(1) beczka stalowa, (2) płaszcz z poliuretanu (PU), (3) otwór szpuntowy, (4) i (5) otwory czopowe



Rys. 5.89. Urządzenie do napełniania beczek („izobarometr beczkowy")

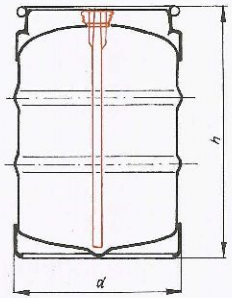
powleczenie ich lakierem lub pasywację. Nie zabezpieczone w ten sposób beczki aluminiowe wytrzymują tylko 5-7 lat użytkowania (*W Polsce w ciągu ostatnich 5 lat beczki aluminiowe zostały niemal całkowicie wyeliminowane i zastąpione przez kegi. Przyp. tłum. A.B.*).

Cylindryczne beczki metalowe produkowane ze stali nierdzewnej wyposażone są na każdym końcu w pierścień pozwalający na stawianie beczki w pozycji pionowej (*W Polsce wyszły z użycia zanim zdążyły się przyjąć. A.B.*).

5.6.2 Rozlew piwa do kegów

Kegi od niedawna robią karierę na całym świecie.

Kegi są to cylindryczne beczki stalowe zamknięte hermetycznie i wyposażone na stałe w sięgającą do dna zbiornika rurkę. Dostęp do wnętrza kegu dla jego napełniania, opróżniania i mycia możliwy jest tylko przez zawory połączone z wyżej wymienioną rurką (rys. 5.90).



Rys. 5.90
Keg

5.6.2.1 Materiał, kształt i wielkość kegów

Materiał, z którego wytwarza się kegi musi spełniać następujące wymagania:

- nie wpływać na smak piwa,
- być odpornym na ciśnienie i nie ulegać łatwo odkształceniom,
- być odpornym na środki myjące i nie korodować,
- umożliwiać lekką konstrukcję naczyń i nie być zbyt kosztownym.

Mimo że w latach siedemdziesiątych produkowano kegi aluminiowe, obecnie są ona wytwarzane wyłącznie z nierdzewnej stali chromoniklowej.

Jest to stal szlachetna najczęściej o cechach:

nr 1.4301n x 5 CrNi 1810 wg DIN 17441,

albo nr 1.4306 wg DIN 17007.

Grubość ścianki wynosi 1,3 do 1,5 mm. Blacha, z której wykonane są pierścienie z otworami uchwytów otaczające dna, ma grubość 1,5 do 2 mm.

Kegi w osłonie z utwardzonej na powierzchni pianki poliuretanowej mają grubość blach 1,0 do 1,5 mm.

Zaletą takiej osłony, poza izolacją cieplną, jest ochrona przed odkształceniami oraz wielokrotnie mniejsza hałaśliwość przy manipulacjach.

Wielkości i masy kegów

Pojemność kegów jest różna. Najbardziej rozpowszechnione są 30 i 50-litrowe, ale bywają też inne. (*Kegi różnią się także swą średnicą. W wielu krajach, jak np. w Belgii, przyjęły się tzw. Euro-kegi, o średnicy zewnętrznej 408 mm, podczas gdy rynek polski opanowały DIN-kegi, o średnicy zewnętrznej 381 mm. Przyp. tłum. A.B.*).

Masa kegów też jest różna. Wynosi ona zależnie od materiału, pojemności i ewentualnej osłony:

	Aluminium	Stal nierdzewna	Stal w osłonie poliuretanowej
keg 30-litrowy	6 do 7 kg	8 do 12 kg	9 do 11 kg
keg 50-litrowy	8 do 9 kg	10 do 15 kg	13 do 14 kg

(*Rozpowszechnione w Polsce DIN-kegi 30-litrowe, zależnie od grubości pierścieni górnych i dolnych, mogą ważyć od 8,7 do 9,8 kg, a 50-litrowe – od 11 do 12,1 kg. Przyp. tłum. A.B.*).

Konstrukcja kegów

Pierwotnie wytwarzano kegi spawając trzy części: zwinięty z blachy cylinder i dwa tłoczone dna. Powstawały w ten sposób trzy szwy spawalnicze, a jest to zawsze mniej pożądane, ze względu na nierówności powierzchni i ryzyko korozji.

Obecnie z reguły wytwarza się kegi łącząc pośrodku jednym spawem dwie głęboko ciągnione połówki. Zmniejsza to ryzyko korozji i poprawia wytrzymałość naczynia. (*Dzisiejsze kegi testowane są przy nadciśnieniu 3 bar. Przyp. tłum. A.B.*).

5.6.2.2 Armatura kegów („fittings")

Każdy keg ma w górnym dnie nagwintowany otwór, w którym umocowana jest jego armatura. Składa się ona z obudowy zaworu z zewnętrznym gwintem i połączonej z nią rurki czerpiącej. W obudowie znajduje się zawór do piwa i gazu. Z obudową zaworu łączy się podstawę kranu do pobierania piwa z kegu (kiedyś „nabijacz", obecnie częściej zwany „nalewakiem"), albo przewód prowadzący piwo do kolumny na barze.

Połączenie to może być:

- płaskie („flat-top fitting"),
- koszyczkowe („well type fitting"),
- kombinowane („combi-fitting").

Połączenie płaskie (rys. 5.91) kryje zawór o podwójnej funkcji – do piwa i gazu. Jest to połączenie najprościej zbudowane, najtańsze i najłatwiejsze w obsłudze.

Połączenie koszyczkowe (rys. 5.92) kryje dwa zawory osobno pracujące, jeden dla piwa, a drugi dla gazu. Zaletą jest solidność tego połączenia, przy jego mniejszej masie. Obydwa te systemy zaworów przyjęły się w praktyce.

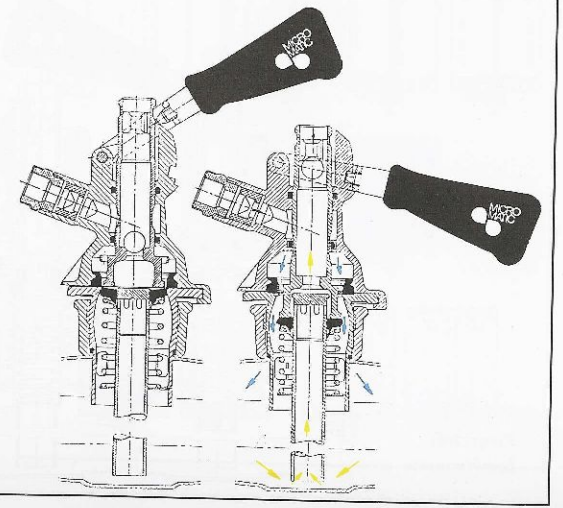
Połączenie kombinowane (rys. 5.93) nie jest żadnym nowym systemem, lecz stanowi kombinację systemu dwóch zaworów wziętych z jednego systemu z płaskim połączeniem drugiego, co ułatwia obsługę.

Rurka czerpiąca jest to prosta, gładka rurka sięgająca niemal do samego dna kegu.

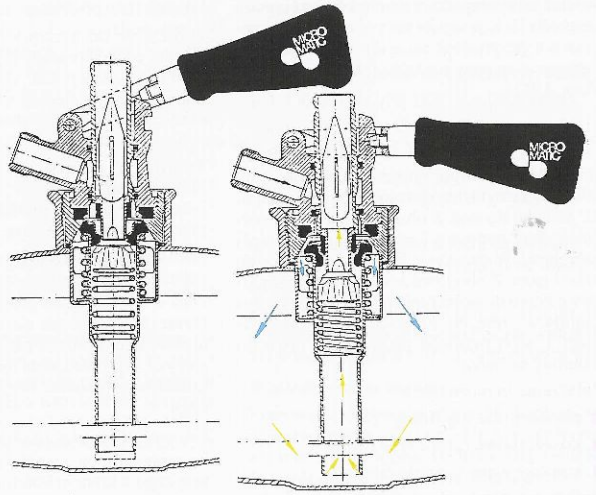
Dno w tym miejscu posiada specjalne zagłębienie, co umożliwia niemal całkowite opróżnienie kegu. Ponadto rurka ta w czasie mycia służy do wprowadzania roztworów myjących i umożliwia dokładne umycie i spłukanie dna kegu.

Głowica nalewaka (nabijacza)

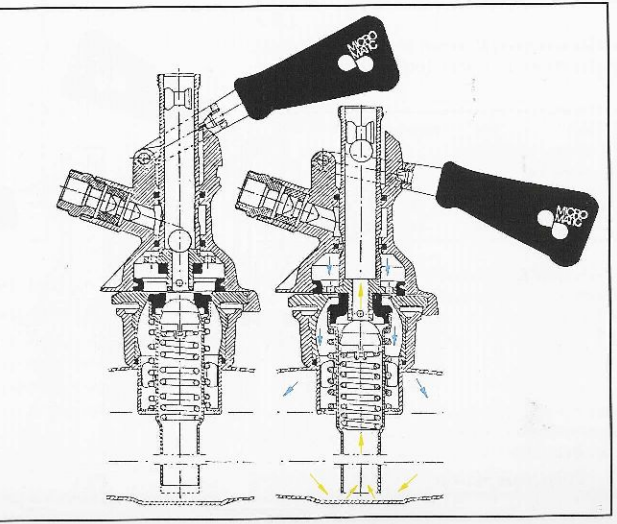
Za pomocą głowicy nalewaka łączy się armaturę kegu z kranem kolumny na barze lub bezpośrednio na kegu, oraz przewodem doprowadzającym z butli gaz wyrównujący ciśnienie.



Rys. 5.91
Połączenie płaskie



Rys. 5.92
Połączenie koszyczkowe



Rys. 5.93
Połączenie kombinowane

5.6.3 Mycie i napełnianie kegów

Znormalizowane wymiary i budowa kegów ułatwiają automatyzacje ich mycia i napełniania. Zależnie od wielkości produkcji istnieją do tego celu urządzenia o różnych wydajnościach.

W bardzo małych zakładach mycie i samo napełnianie odbywają się mechanicznie, natomiast wszystkie inne operacje wykonuje się ręcznie. Większe i duże zakłady przeprowadzają wszystkie operacje automatycznie, stosując do tego jedną lub kilka równoległych linii.

Rozładunek palet

Z maszyny rozładowującej palety kegi trafiają na taśmę przenośnika i są przenoszone do odwracacza.

Odwracanie

Dla dalszych operacji keg musi być odwrócony armaturą do dołu. To zadanie wykonuje odwracacz.

Sprawdzenie ciśnienia w kegu

Po opróżnieniu kegu z piwa pozostaje w nim zwykle pewna ilość dwutlenku węgla, powodująca nadciśnienie. Brak nadciśnienia może wskazywać na nieszczelność kegu, dlatego ciśnienie trzeba sprawdzić. Po tej kontroli resztka piwa i dwutlenku węgla muszą być usunięte za pomocą sprężonego powietrza.

5.6.3.1 Mycie kegów

Puste kegi myje się najpierw z zewnątrz wysokociśnieniowymi natryskami, wspomaganymi przez wirujące szczotki.

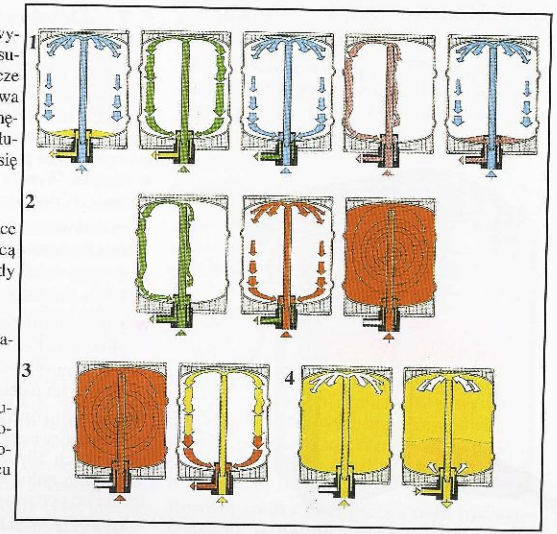
Najważniejsze jest, oczywiście, mycie wewnętrzne. Musi ono nie tylko usunąć resztki piwa i przylegające do ścianek kegu zanieczyszczenia, ale także zniszczyć mikroflorę jaka mogła się w nim rozwinąć. Etapy mycia i napełniania kegów przedstawione są na rysunku 5.94

Pierwsza stacja mycia (1):
Przeprowadza się tu opisane wyżej sprawdzanie ciśnienia i usuwanie resztek, a następnie płucze keg wodą. Resztki wody usuwa się sprężonym powietrzem. Wnętrze kegu myje się gorącym ługiem. Ług i jego resztki usuwa się sprężonym powietrzem.

Druga stacja mycia (2):
Przeprowadza się tu następujące operacje: spłukiwanie gorącą wodą, usuwanie resztek wody parą, wypełnianie kegu parą .

Sterylizacja (3):
Sterylizację kegów przeprowadza się tak zwaną ostrą parą.

Stacja napełniania (4):
Kegi wypełnia się wstępnie dwutlenkiem węgla, po czym wprowadza się piwo, najpierw powoli, później szybko i przy końcu napełniania znów powoli.



Rys. 5.94. Mycie, sterylizacja i napełnianie kegów

5.6.3.2 Napełnianie kegów

Po sterylizacji parą praktycznie odpowietrzony keg napełnia się dwutlenkiem węgla pod ciśnieniem równoważącym ciśnienie panujące w zbiorniku, z którego pobiera się piwo. Podczas wstępnej fazy napełniania piwo dopływa powoli, aby uniknąć pienienia. W czasie fazy szybkiego napełniania zwiększa się różnicę ciśnienia, a gdy piwo zacznie wypływać z rurki czerpiącej, napełnianie jest skończone.

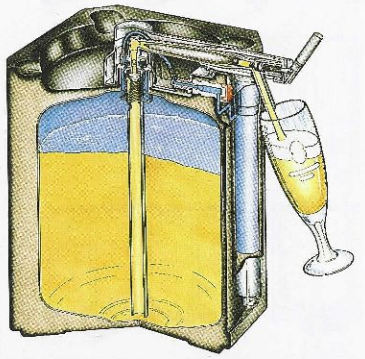
Kontrola stopnia napełnienia

Najprostszym sposobem stwierdzenia, że keg się już napełnił jest obserwowanie, czy piwo wypływa z rurki napełniającej. Dodatkową kontrolą może być zważenie kegu.

Napełnione kegi odwracane są o 180° armaturą do góry. Na armaturę nakłada się kapsle zabezpieczające z tworzywa sztucznego, na których powinna być naniesiona zawartość, data rozlewu oraz nazwa zakładu i ewentualnie inne informacje.

5.6.4 Rodzaje urządzeń do mycia i napełniania kegów

Zależnie od wielkości produkcji znajdują zastosowanie urządzenia pracujące w linii, napełniające do około 300 kegów/h, oraz maszyny rotacyjne, o wydajności około 1000 kegów/h.



Rys. 5.95. Beczułka „keggy"
(Keggy Drink System GmbH)

5.6.5 Napełnianie beczułek typu „party"

W wielu krajach powodzenie mają specjalne małe kegi o pojemności od 10 do 25 litrów, wyposażone w proste urządzenia do nalewania z nich piwa i posiadające z reguły izolującą okładzinę z utwardzonej na powierzchni pianki poliuretanowej. Przykładem takiego „party-kegu" może być pokazana na rysunku 5.95 beczułka „keggy", 12-litrowa, izolowana, z uzupełniającym zbiornikiem CO_2 i regulatorem ciśnienia.

5.6.6 Napełnianie dużych puszek

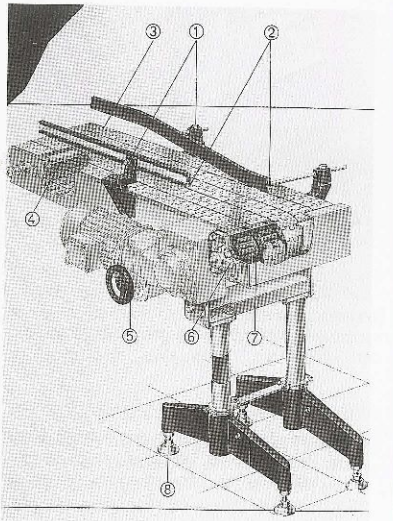
W wielu krajach rozlewa się piwo do dużych, 5-litrowych puszek. Mają one popyt i są wykorzystywane przy okazji różnych świąt rodzinnych i pikników, zwłaszcza latem. Do pobierania z nich piwa służą proste urządzenia z tworzywa sztucznego, dołączane do każdej puszki wraz z opisem użycia.

5.7 Opakowania i transport

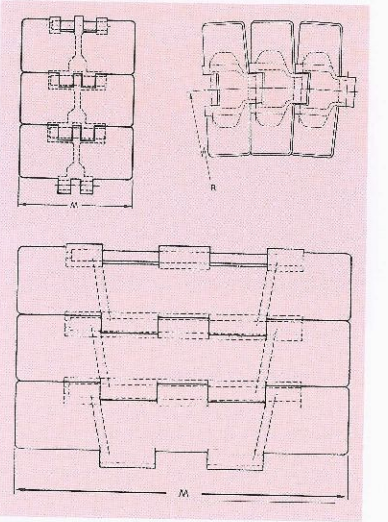
Pojedynczych butelek i puszek browar nie sprzedaje. Aby trafić na rynek muszą one być w opakowaniach handlowych, skrzynkach, kartonach, tacach obciągniętych folią termokurczliwą itp. Z browaru do hurtowni przewozi się tak opakowane piwo na paletach poustawianych w sztaple. Wynika stąd szereg zadań dla producenta, Należą do nich:

- rozładowanie palet, tj. zdjęcie z nich skrzynek ze zwrotnymi butelkami,
- wyładowanie ze skrzynek i sortowanie pustych butelek przed myciem,
- pakowanie napełnionych butelek i puszek do skrzynek, kartonów itp.
- układanie skrzynek, kartonów i innych opakowań na paletach i sztaplowanie palet.

Między tymi operacjami butelki i puszki transportowane są na przenośnikach płytkowych lub taśmowych. Płytki przenośników wytwarzane są ze stali nierdzewnej, chromoniklowej. Zależnie od potrzeb przenośnik może być jedno- lub wielotaśmowy (rys. 5.96). Składa się on z solidnej podstawy, której poziome ustawienie można regulować (8), z koła lub kół (7) napę-



Rys. 5.96. Napęd przenośnika płytkowego
(1) regulacja prowadnic, (2) powierzchnie ześlizgu, (3) łańcuch (taśma) przenośnika, (4) dysze natrysków do mycia taśmy, (5) silnik o regulowanej szybkości biegu, (6) łożysko wału napędu, (7) koło napędu łańcucha (taśmy), (8) śruba poziomująca



Rys. 5.97. Taśmy płytkowe przenośników biegnących prosto i po krzywej

du taśmy (3), z bocznych prowadnic (1) o regulowanej zależnie od potrzeb wysokości, które zapobiegają spadaniu butelek lub puszek z taśmy i nadają im pożądany kierunek. Trzeba pamiętać, że częste zmiany kierunku i szybkości na taśmie przyczyniają się do matowienia butelek („scuffing").

Od jakości przenośników i sprawności ich pracy w dużym stopniu zależy wydajność całej linii rozlewu. Istotny jest każdy szczegół: materiał płytek łańcucha, utwardzenie i gładkość powierzchni, odporność na rozciąganie, sposób wykonania. To ostatnie jest inne dla przenośników biegnących prosto i dla tych, które muszą czasami pokonywać nawet znaczne krzywizny (rys. 5.97).

Środki smarujące do taśmy płytkowej przenośnika

Jako najprostszy środek do smarowania powierzchni taśmy płytkowej stosowane bywa zwykłe mydło do prania, którego kawałek leży na mokrej taśmie i powoli rozpuszcza się. Czasem stosuje się też kąpiel smarującą, przy której dolna część taśmy zanurza się w odpowiednim roztworze mydła. Do takiego roztworu dodaje się w miarę potrzeby środki zmniejszające twardość wody

Obecnie są w handlu bardzo dobre gotowe środki smarujące do taśm przenośników, wytwarzane na bazie niejonowych związków powierzchniowo czynnych. Zmiękczanie wody przy ich stosowaniu odpada. Środki te powinny łatwo rozkładać się biologicznie.

Roztwór środka smarującego musi być automatycznie dozowany na taśmę przenośnika w dokładnie odmierzanych ilościach, zależnych

Rys. 5.98. Taśma z tworzywa w punkcie zmiany kierunku przenośnika
Widać tu wyraźnie, że przekazywanie puszek przy zmianie kierunku o 90° przebiega bezproblemowo.
(Foto: Intralox Inc. Amsterdam)

od długości taśmy, jej szybkości, rodzaju przenoszonych pojemników (butelek lub puszek), zwilżania i wysychania taśmy oraz jakości wody. Niedomiar środka powoduje zwiększone opory w pracy przenośnika, a jego nadmiar niepożądane pienienie, koszty oraz obciążenie ścieków.

Taśmy z tworzyw sztucznych

Ten rodzaj taśm znajduje ostatnio coraz szersze zastosowanie w konstrukcji przenośników. Zaletą ich jest, że nie wymagają środków smarujących. Wystarczy samo zraszanie wodą. Odpada koszt zakupu tych środków i obciążanie ścieków.

Jako tworzywa do produkcji taśm do przenośników znajdują zastosowanie: polietylen, polipropylen, termoplastyczne tworzywa acetalowe, trudnopalne termoplastyczne poliestry oraz niełamliwy, termostabilny nylon. Szczególnie dobre cechy mechaniczne, chemiczne i termiczne wykazują acetalowe tworzywa termoplastyczne. Mają one dużą wytrzymałość i odporność na zmęczenie oraz niską ścieralność.

Taśmy z tworzyw sztucznych są w browarach najchętniej stosowane w przenośnikach do napełnionych puszek i butelek szklanych oraz PET-ów. Pewne opory przeciw ich zastosowaniu do transportu pustych butelek zwrotnych wynikają ze słusznej obawy, że ostre kawałki szkła, często towarzyszące zwrotom, mogą łatwiej uszkadzać takie taśmy niż stalowe. Natomiast coraz częściej stosuje się taśmy z tworzyw do transportu skrzynek oraz w pasteryzatorach tunelowych.

Buforowe odcinki przenośnika

Dla większości maszyn i operacji w linii rozlewu równomierna dostawa butelek lub puszek ma zasadnicze znaczenie. Każda przerwa powoduje obniżenie wydajności linii oraz może zaowocować pogorszeniem jakości piwa. Tymczasem niektóre operacje przebiegają w sposób nieciągły, np. rozładunek palet, podczas gdy w linii rozlewu o wydajności 50000 butelek na godzinę, 14 butelek w każdej sekundzie musi być skontrolowanych, napełnionych i zamkniętych. Wymaga to stałej, „płynnej" dostawy butelek i aby uniknąć możliwych przerw, tworzy się rezerwy na taśmie przenośnika, w tak zwanych odcinkach buforowych, złożonych z szeregu równoległych taśm, o różnej szybkości biegu. Nagromadzone w tych odcinkach przenośnika butelki lub puszki są stopniowo, równomiernie dostarczane do rozlewarki.

5.7.2 Rozładunek nowych butelek i puszek

Nowe butelki i puszki dostarczane są do browaru na ustawionych w sztaple paletach. Ich rozładunek opisany jest w rozdziale 5.5.2.

5.7.3 Opakowania zbiorcze, ich transport i kontrola

5.7.3.1 Rodzaje opakowań zbiorczych

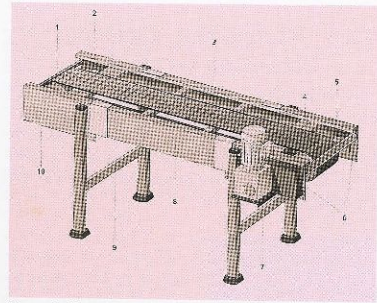
Pod nazwą opakowań zbiorczych rozumie się wszelkie rodzaje opakowań, w których pewna liczba butelek lub puszek jest transportowana i oferowana w sprzedaży. Jakość, wygląd i barwa tych opakowań są ważnym elementem reklamy produktu.

Do napojów jako opakowania zwrotne stosuje się skrzynki z tworzyw sztucznych. Wśród opakowań jednorazowych rozróżnia się kartony z tektury karbowanej, tace w osłonie z folii termokurczliwej, „sześciopaki", „czteropaki" itp.

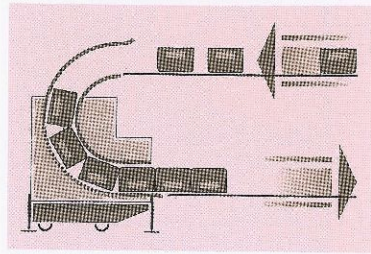
5.7.3.2 Transport skrzynek i kartonów

Skrzynki i kartony w browarze transportuje się najczęściej za pomocą przenośników taśmowych (rys. 5.99). Budowa przenośnika oraz taśmy są analogiczne jak opisane w rozdz. 5.7.1.

Przenośniki z taśmą gumową wykorzystywane są zwykle do transportowania skrzynek z niższego poziomu na wyższy. Z poziomu wyższego na niższy skrzynki zjeżdżają po moście rolkowym. Obok przenośnika w linii prostej potrzebne są czasem odcinki, na których skrzynki lub kartony są odwracane dnem do góry na zasadzie grawitacyjnej (rys. 5.100).



Rys. 5.99. Przenośnik taśmowy do skrzynek i kartonów
(1) walec napinający taśmę przenośnika, (2) łożysko, (3) taśma przenośnika, (4) walec napędu taśmy, (5) łożysko walca, (6) zawieszenie napędu, (7) silnik z przekładnią, (8) podstawa przenośnika, (9) nogi podstawy, (10) szyna boczna



Rys. 5.100. Urządzenie do odwracania opakowań zbiorczych

5.7.3.3 Sortowanie butelek i skrzynek

Przyjmowane do browaru zwrotne butelki i skrzynki muszą być kontrolowane, gdyż wszelkie nieregularności powodują zakłócenia w normalnym biegu produkcji.
Kontrola butelek przed myciem opisana jest w rozdz. 5.1.3.
Zwracane do browaru wraz z pustymi butelkami skrzynki muszą być kontrolowane pod względem:

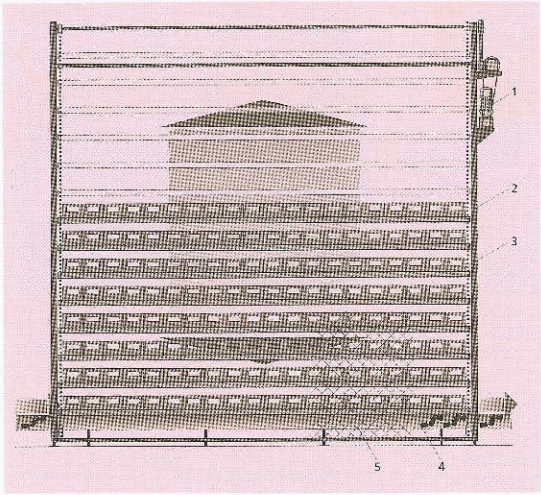
- barwy,
- znaku firmowego,
- pęknięć przy otworach uchwytów,
- obcych ciał, potłuczonych butelek itp. w skrzynce.

Skrzynki wykazujące powyższe wady automat rozpoznaje i usuwa z linii. Są one traktowane odrębnie.
Opuszczające browar skrzynki i kartony z piwem w butelkach lub puszkach są kontrolowane automatycznie na:

- kompletną liczbę opakowań jednostkowych w opakowaniu zbiorczym,
- prawidłowe zamknięcie kartonów,
- całość skrzynek.

5.7.3.4 Magazyn skrzynek

Umyte, a chwilowo niepotrzebne skrzynki, które nadeszły z butelkami zwrotnymi, muszą być



Rys. 5.101
Magazyn pustych skrzynek
(1) napęd
(2) obudowa
(3) szyna podnosząca
(4) poziom za- i wyładunku skrzynek
(5) siatka ochronna

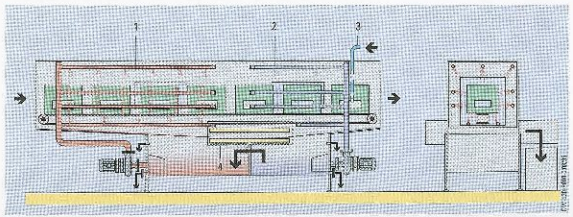
zmagazynowane, aby nie uległy ponownemu zanieczyszczeniu. Jedną z najwygodniejszych form magazynowania pustych skrzynek, jest ustawianie ich szeregami w układzie pionowym (rys. 5.101). Szeregi skrzynek ustawia się jedne nad drugimi i po napełnieniu każdej następnej cała konstrukcja unoszona jest o wysokość jednej skrzynki do góry. Podobne postępowanie, tylko w przeciwnym kierunku, ma miejsce przy opróżnianiu magazynu.

5.7.3.5 Mycie skrzynek

Wygląd skrzynki z piwem jest wizytówką browaru. Skrzynki z butelkami zwrotnymi bywają zanieczyszczone i za każdym razem, gdy trafiają do browaru powinny być porządnie umyte. Zadanie to spełnia myjka do skrzynek (rys. 5.102), w której skrzynki wprowadzone dnem do góry poddawane są działaniu natrysków o wysokim ciśnieniu. Są to natryski ługiem lub co najmniej gorącą i zimną wodą.

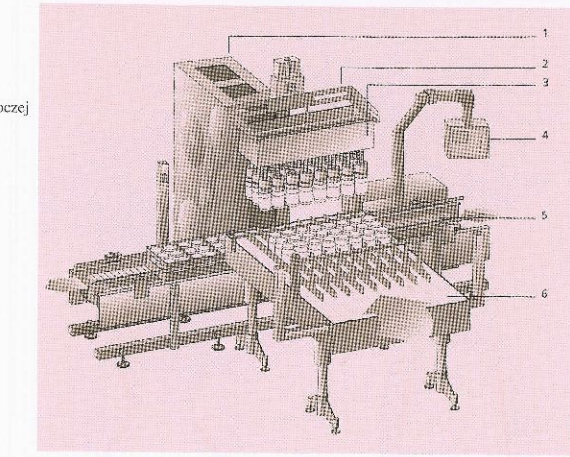
5.7.4 Rozładunek i załadunek butelek do skrzynek

Aby obsłużyć linię rozlewu o wydajności 50000 butelek/h, trzeba w ciągu tej godziny rozładować i załadować 2500 skrzynek po 20 butelek każda, czyli 42 skrzynki/min. Jest więc jasne, że te czynności już od dawna są w browarach zmechanizowane.



Rys. 5.102
Myjka do skrzynek
(1) natryski gorące, (2) natryski zimne, (3) doprowadzenie wody, (4) sita na kawałki szkła itp.

Rys 5.103
Zasada działania pakowarki
(1) obudowa maszyny,
(2) zawieszenie głowicy roboczej
(3) głowica z elementami chwytnymi
(4) pulpit sterowniczy
(5) transporter (przenośnik) skrzynek
(6) stół zbiorczy



5.7.4.1 Głowice robocze pakowarki

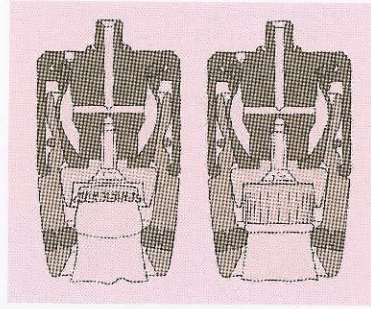
Rozładunek lub załadunek dotyczy zawsze co najmniej jednego opakowania zbiorczego, czyli skrzynki lub kartonu. Liczba i ustawienie elementów chwytnych głowicy roboczej musi odpowiadać ustawieniu butelek w opakowaniu zbiorczym.

Podstawy działania maszyny służącej do wyładunku i załadunku są takie same (rys. 5.103). Butelki (lub puszki) podawane są przenośnikiem na stół zbiorczy (6), gdzie zostają uszeregowane przez specjalne prowadnice. Głowica chwytna (3) opuszcza się na dół i chwyta swoimi dwudziestoma czterema elementami chwytnymi 24 butelki lub puszki. Przesuwa się nad przenośnik skrzynek i obniża nad stojącymi na nim skrzynkami, zwalniając jednocześnie uchwyt. W międzyczasie na stół dostarczane są następne butelki, przenośnik przesuwa się o odpowiednią liczbę skrzynek podstawiając puste i cały cykl może się odbywać od nowa.

Przy rozładunku te same czynności odbywają się w przeciwnym kierunku.

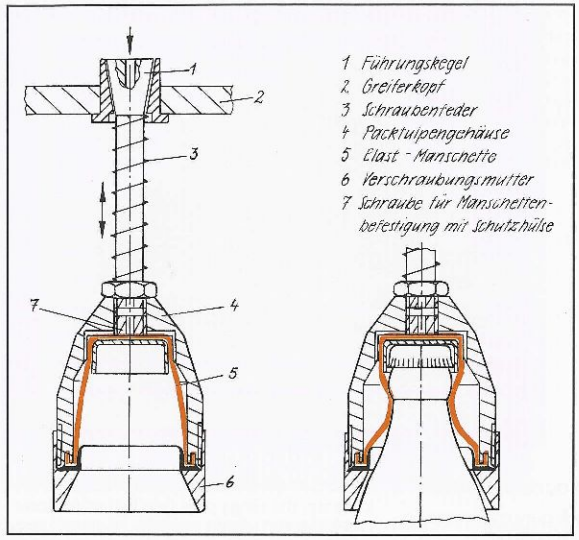
Najważniejszą częścią głowicy są uchwyty, które butelki lub puszki pewnie, ale również delikatnie ujmują i przenoszą.

Uchwyty mechaniczne chwytają butelkę bezpośrednio poniżej otworu (rys. 5.104). Dodatkowe zabezpieczenia jak banderole, folia, etykiety itp. nie mogą przy tym być uszkadzane. Dla każdego rodzaju zamknięć muszą wobec tego być odpowiednie uchwyty.



Rys. 5.104. Mechaniczne uchwyty głowicy pakowarki

Mechaniczno-pneumatyczne uchwyty (rys. 5.104 a) działają na podobnej zasadzie jak mechaniczna dojarka. Nałożona na szyjkę butelki gilza ma wewnętrzną podwójną ściankę gumową, a między nią a ścianką gilzy wtłacza się sprężone powietrze, co powoduje ściśnięcie



Rys. 104 a
Pneumatyczne uchwyty głowicy pakowarki

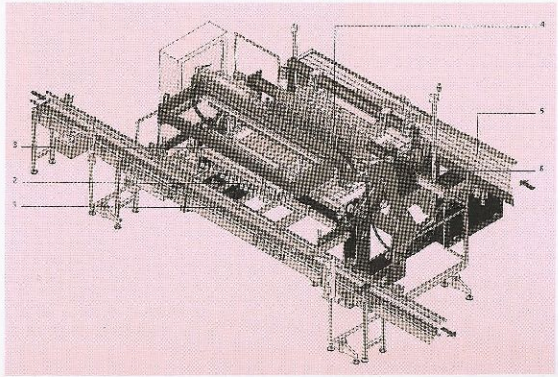
szyjki butelki. Po skończonym cyklu przenoszenia butelek ciśnienie jest redukowane i szyjki butelek zostają zwolnione z uścisku.
Pneumatyczna głowica do przenoszenia butelek ma prostą konstrukcję. Jej obsługa i konserwacja nie są kosztowne.

5.7.4.2 Rodzaje pakowarek

W zależności od sposobu działania rozróżnia się:

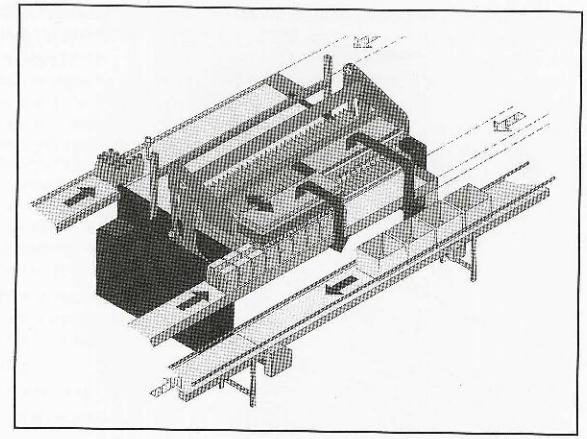
- pakowarki o działaniu taktowym, za pomocą których można kilka skrzynek lub kartonów równocześnie zapakować lub rozpakować (taktpacker),
- pakowarki, które mogą mniejsze opakowania, obejmujące po 4 lub 6 butelek, pakować w większe kartony (multipacker),
- pakowarki rotacyjne o działaniu ciągłym.

Istnieje jeszcze mnóstwo innych typów pakowarek i coraz to nowe są konstruowane i oferowane do nabycia.



Rys. 5.105
Pakowarka taktowa
(typ Innopack, KHS)
(1) transporter skrzynek
(2) ramy centrujące
(3) głowica chwytna
(4) szeregowanie butelek
(5) przenośnik butelek
(6) układ napędowy maszyny

Rys. 5.106
Pakowarka „Multipacker"



5.7.4.2.1 Pakowarka taktowa

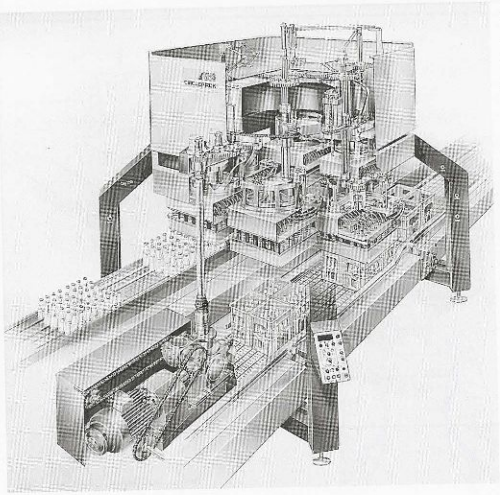
Pakowarka (rys. 5.105) o działaniu taktowym (taktpacker) ma stabilnie zawieszone elementy robocze (6), które się poruszają w zadanym kierunku z zawieszonymi na nich głowicami chwytnymi (3). Zależnie od wielkości i potrzeb taka pakowarka może na raz załadować nawet do 10 skrzynek ustawionych w jednym szeregu, a są też maszyny o większej liczbie szeregów. System regulacji pozwala na szybkie dostosowanie poziomu głowic chwytnych do wysokości butelek.
Przy zmianie średnicy butelek lub rodzaju opakowań, w łatwy sposób wymienia się cały garnitur głowic chwytnych.

5.7.4.2.2 Pakowarka „Multipacker"

Automatyczne pakowarki „Multipacker" (rys. 5.106) są to pakowarki taktowe, które w drugim etapie procesu układają mniejsze opakowania, jak cztero- lub sześciopaki, do zwykłych kartonów transportowych.

5.7.4.2.3 Pakowarka rotacyjna

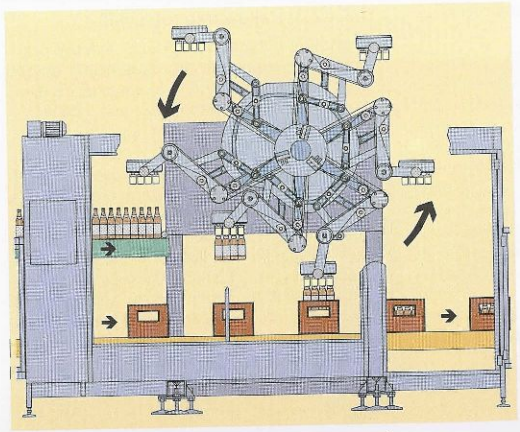
Wszystkie dotychczas opisane systemy pakowarek wymagają, aby uszeregowane butelki stały nieruchomo w chwili ujmowania ich przez głowice chwytne. Im większa jest jednak wydajność linii rozlewu, tym mniej pozostaje czasu na zatrzymanie i ustawienie butelek w szeregach. W konsekwencji opracowano nowy typ urządzenia, pakowarkę rotacyjną (rys. 5.107), która realizuje proces pakowania w sposób ciągły. Wymaga to jednak bardzo skomplikowanych mechanizmów, jak np. w pakowarce Innopack CR (firmy KHS), gdzie stale jest w obiegu sześć głowic ładujących po 4 skrzynki na raz, a wszystkie ich ruchy muszą być stale nadzorowane i sterowane, podnoszone lub opuszczane zgadnie z potrzebą danej chwili.



Rys. 5.107
Pakowarka rotacyjna o działaniu ciągłym z poziomym obiegiem głowic chwytnych

Nadchodzące na taśmie przenośnika butelki dzielą się na pojedyncze szeregi wprowadzone między kilka prowadnic i w ten sposób w uporządkowanych szeregach trafiają na odcinek grupowania, gdzie są dzielone na formacje ilościowo zgodne z konstrukcją głowicy chwytnej (taka formacja na rys. 5.107 obejmuje 6 x 8 butelek).

Z drugiej strony pakowarki biegną na taśmie puste skrzynki w przeciwnym kierunku, czego wymaga obrotowy ruch maszyny. Głowice nad odpowiednio ustawionymi skrzynkami obniżają się i zwalniają uścisk szyjki, a butelki pozostają w skrzynkach. Głowice podnoszą się i są gotowe do następnego cyklu pracy.



Rys. 5.108
Pakowarka pracująca w sposób ciągły
(typ Roundpack II 464 firmy Krones)

Podczas gdy w opisanej wcześniej maszynie głowice robocze poruszają się w płaszczyźnie poziomej i zakreślają elipsę, inna pakowarka służąca tak do załadunku, jak i rozładunku butelek, Roundpack II 464, rys. 5.108, pracuje na zasadzie ruchu głowic roboczych w płaszczyźnie pionowej, przy czym przenośniki butelek i skrzynek znajdują się na różnych poziomach. Zaletą jest mniejsze zapotrzebowanie miejsca oraz łatwy dostęp do maszyny.

Maszyny takie mogą obsługiwać jedną lub dwie taśmy transportu skrzynek, co pozwala im sprostać wysokiej wydajności linii rozlewu.

Opuszczające pakowarkę:

- puste skrzynki kierowane są do mycia,
- pełne skrzynki - do paletyzacji.

5.7.4.3 Ustawianie butelek w skrzynce

Aby przez okienka skrzynki widoczne były etykiety firmowe browaru, butelki w skrzynce muszą być odpowiednio ustawione. W tym celu wykorzystuje się urządzenie, którego głowica posiada, podobne jak w pakowarce, uchwyty obracające się w płaszczyźnie poziomej. Z boku głowicy, na niższym poziomie, znajduje się czujnik rejestrujący odbicie światła. Czujnik ten przy obrocie butelki wykrywa krawędź etykiety. Przy obracaniu butelki o 360^0 zostaje najpierw określone położenie etykiety, a następnie przez sterowany silnik butelka zostaje ustawiona w zaprogramowanej pozycji. W taki sposób wszystkie butelki w skrzynce stoją zwrócone etykietą do okienka.

5.7.4.4 Pakowarka sortująca

W niektórych browarach instalowane są urządzenia pozwalające sortować butelki pochodzące od różnych wytwórców i pakować je osobno do przygotowanych w tym celu skrzynek (np. wszystkie zielone butelki razem). Wymaga to bardzo skomplikowanych urządzeń i przekaźników, które za to jednak gwarantują, że tylko skrzynki z określonym typem butelki trafiają do danej palety.

Pod nazwą przepakowarek rozumie się maszyny, które przepakowują butelki z mniejszych skrzynek do większych lub odwrotnie. Wypakowanie i zapakowanie ma miejsce w czasie jednego taktu pracy.

Pakowarki typu „kombi" są to maszyny, które w jednym przebiegu i w ciągu jednego taktu pracy opróżniają skrzynki z pustych butelek, a następnie natychmiast załadowują je pełnymi. To urządzenie ma jednak pewną wadę, a mianowicie skrzynki wracają na rynek nie umyte.

5.7.5 Paletyzacja i depaletyzacja oraz transport palet

W zakładach produkcyjnych zanim napoje trafią na rynek – opakowania zbiorcze, czyli skrzynki, kartony lub tace owinięte folią termokurczliwą są ustawiane na paletach, a następnie sztaplowane i w tej formie transportowane i magazynowane.

W związku z tym, interesuje nas:

- budowa palet,
- budowa i działanie urządzeń do paletyzacji i depaletyzacji,
- urządzenia do transportu palet,
- magazyny palet,
- kontrola palet,
- bezpieczne ustawianie palet.

5.7.5.1 Budowa palet

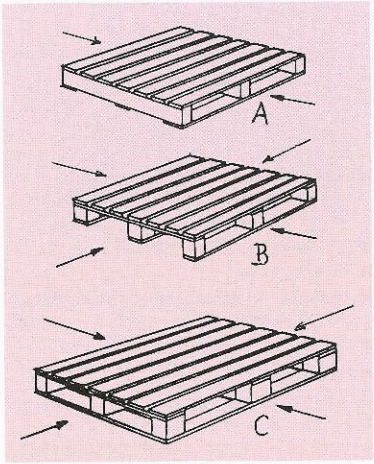
Pod nazwą palety rozumiemy podkład pod towary układane w magazynie w sztaple, którego wymiary są określone normami zakładowymi, państwowymi lub międzynarodowymi (np. U.E.). Istnieją najróżniejsze palety, spośród których przede wszystkim dwa rodzaje znajdują zastosowanie w browarach:

- ażurowe palety skrzyniowe, np. do transportu kartonów z kapslami albo puszek,
- palety płaskie do magazynowania i transportu skrzynek i kartonów z piwem.

Palety płaskie (rys. 5.109) zbudowane są z desek przybitych w niewielkich odstępach do kloców drewnianych, tworząc znormalizowanej wielkości prostokątną płytę, z otworami umożliwiającymi podnoszenie jej wózkiem widło-

wym. Dla większej wytrzymałości, do kloców przybite są deski również od spodu. Zależnie od układu desek i kloców rozróżnia się:

- palety dwustronne (A), które można podnosić tylko z dwóch stron,
- palety czterostronne (B), które można podnosić ze wszystkich stron,
- palety czterostronne okienkowe (C), które również można podnosić ze wszystkich stron.



Rys. 5.109. Palety płaskie
(A) paleta dwustronna,
(B) paleta czterostronna,
(C) paleta czterostronna okienkowa

Wielkość i kształt palety muszą być dostosowane do wielokrotności formatu opakowań jednostkowych, tak aby miejsce na palecie było jak najlepiej wykorzystane.
Obecnie dominuje forma (B) jako euro-paleta o wymiarach 800 x 1.200mm, zwana także paletą piwowarską.

5.7.5.2 Budowa i działanie maszyn do paletyzacji i depaletyzacji

Opakowania zbiorcze są układane warstwami na paletach lub też z nich zdejmowane. W tym celu trzeba najpierw pojedyncze opakowania zbiorcze, czyli skrzynki i kartony, uformować w warstwy lub też z tych warstw rozdzielić na pojedyncze opakowania.

Poszczególne urządzenia do paletyzacji i depaletyzacji mogą się znacznie różnić. Podstawowe elementy konstrukcji maszyny do depaletyzacji przedstawione są na rys. 5.110. Główną częścią urządzenia jest jej podstawa, która może mieć postać pojedynczej kolumny lub bramy. Zawieszone jest na niej urządzenie podnoszące z przemieszczającą się ramą głowicy załadunkowej, która zawiera układ szczęk obejmujących opakowania jednostkowe całej warstwy.

Pełna paleta podjeżdża na transporterze rolkowym i zatrzymuje się. Głowica chwytna depaletyzera (obecnie najczęściej sterowana elektronicznie) nasuwa się nad paletę i zdejmuje warstwy skrzynek jedne po drugich, stawiając je na przenośniku taśmowym. W ten sposób paleta zostaje opróżniona z kolejnych warstw i pusta odjeżdża do magazynu palet.

Ten sposób pracy przy depaletyzacji stanowi tylko przykład, gdyż wymagania przemysłu są bardzo zróżnicowane i stosownie do nich istnieje duży wybór maszyn do paletyzacji i depaletyzacji skrzynek, kartonów, tac, a ostatnio nawet kegów.
Różnorodność konstrukcji głowic chwytnych do paletyzacji i depaletyzacji przedstawia rys. 5.111.

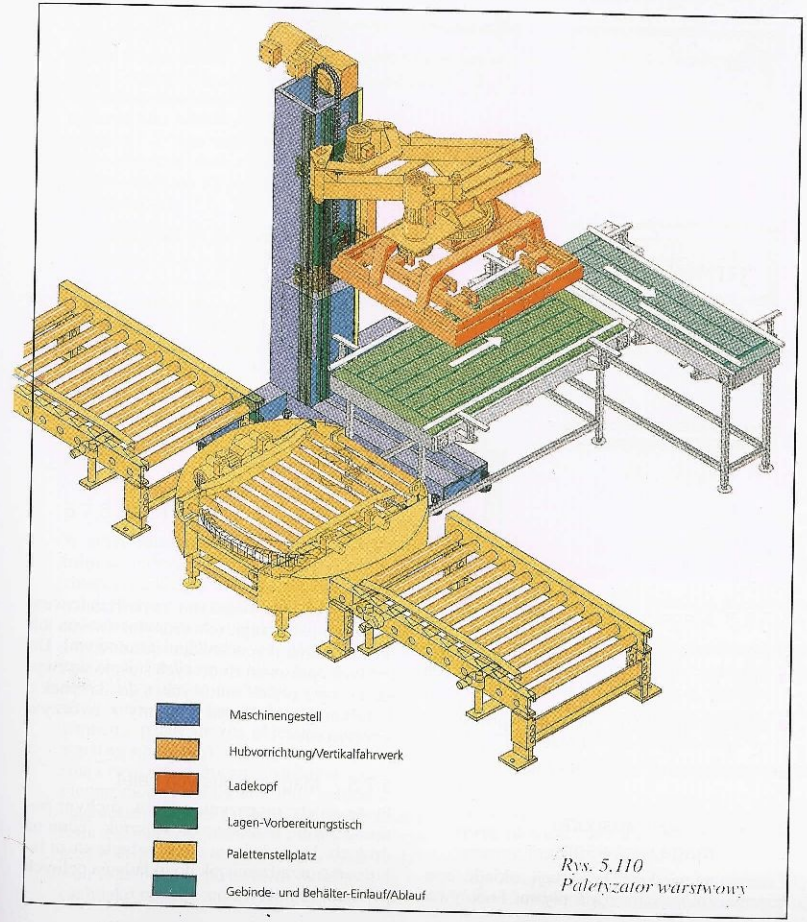
5.7.5.3 Urządzenia do sztaplowania palet

Palety z opakowaniami zbiorczymi układa się za pomocą wózka widłowego jedne na drugich i przewozi do magazynu wyrobów gotowych. Transport pustych opakowań do myjki butelek odbywa się w kierunku odwrotnym.

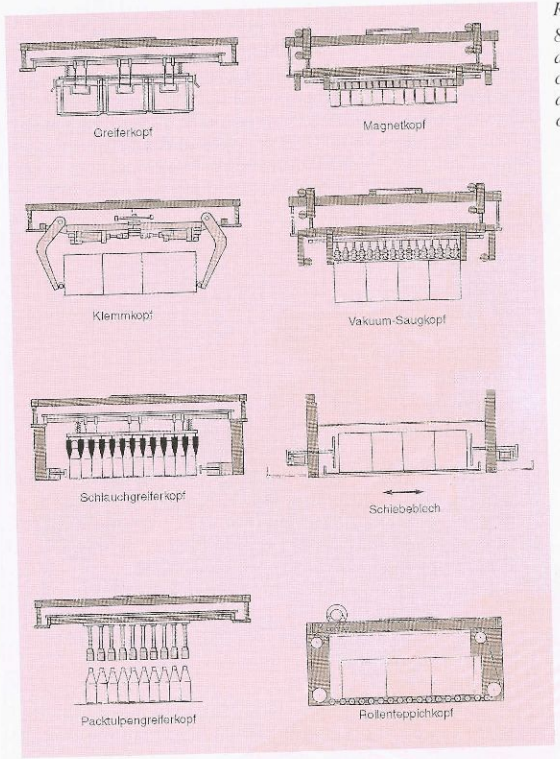
Niektóre magazyny wyposażone są w specjalne urządzenia do układania palet w dwóch lub trzech warstwach, jedne na drugich. Naładowana paleta wjeżdża po moście rolkowym albo na transporterze taśmowym poziomo do maszyny sztaplującej (sztaplera). Rama dźwigu z elementami chwytnymi po obydwu stronach opuszcza się na paletę i chwyta ją w uścisku. Następnie rama z paletą podnosi się do góry i ustawia paletę na następnej, która w międzyczasie wjechała po moście rolkowym do maszyny. Rama dźwigu zwalnia uścisk i opuszcza się w dół aby w ten sam sposób utworzyć trzecią warstwę. Ustawione w sztaple palety wyjeżdżają z maszyny tak jak wjeżdżały pojedyncze. Rozbieranie sztapli odbywa się tak samo, ale w odwrotnej kolejności.

5.7.5.4 Urządzenia do transportu palet

Palety, tak z pełnymi, jak i z pustymi skrzynkami transportuje się za pomocą wózków widłowych do magazynu. Z magazynu odpowiednie przenośniki transportują palety lub skrzynki w dowolnych kierunkach.



Rys. 5.110
Paletyzator warstwowy



Rys. 5.111
8 typów głowic chwytnych do paletyzacji, depaletyzacji oraz załadunku i rozładunku opakowań zbiorczych

5.7.5.5 Magazynowanie palet

Palety sztapluje się w magazynie, tak aby:

- możliwie najlepiej wykorzystać przestrzeń magazynową,
- respektować zasadę „pierwszy wprowadzony - pierwszy opuszcza magazyn",
- zapewnić łatwy dostęp do palet.

5.7.5.6 Drogi transportu magazynowego

Zależnie od wielkości produkcji zakładu, opakowania zbiorcze muszą dopływać i odpływać z hali rozlewu do magazynu, za pośrednictwem urządzeń paletyzujących, jednym, dwoma lub nawet trzema przenośnikami taśmowymi. Do pełnych opakowań zbiorczych stosuje się zwykle taśmy z płytek stalowych, a do skrzynek z butelkami zwrotnymi – taśmy z tworzyw sztucznych.

5.7.5.7 Magazyn pustych palet

Puste palety magazynuje się w suchym pomieszczeniu, układając do 15 sztuk, jedne na drugich. Do układania ich w sztaple służą takie same urządzenia jak do układania pełnych palet.

5.7.5.8 Kontrola jakości palet

Równa, pozioma powierzchnia palety jest podstawowym warunkiem, aby opakowania zbiorcze, skrzynki czy kartony z piwem, mogły być na niej w sposób pewny i bezpieczny ustawione i transportowane. Deski pokrywające i tworzące paletę są narażone na duże obciążenia, a ich wytrzymałość bywa różna, gdyż na przykład dziury po sękach lub różne wady ukryte mogą ją w znacznym stopniu obniżać. Paleta z takimi wadami łatwo ulega w obrocie handlowym i transporcie, zanim wróci do browaru, zmniejszeniu normalnej wytrzymałości na obciążenia oraz większym lub mniejszym uszkodzeniom. Z tego względu, aby uniknąć przykrych niespodzianek, wytrzymałość palet poddaje się kontroli za pomocą rolek lub stempli naciskających.

Kontrola palet za pomocą rolek

Wzdłuż desek palety przesuwają się rolki urządzenia kontrolnego, a połączona z nimi dźwignia rejestruje ustępowanie desek pod naciskiem. Przy tej okazji kontrolowane są boczne kloce, wysokość i długość palety, co pozwala wyeliminować palety obce i nietypowe.

Kontrola palet za pomocą stempli naciskających przebiega na tych samych zasadach i zakres kontrolowanych parametrów jest taki sam jak powyżej.

5.7.5.9 Zabezpieczanie palet

W miarę coraz wyższego układania maleje stabilność palety, zwłaszcza gdy opakowania zbiorcze, takie jak kartony, nie zazębiają się z sobą. Pod tym względem skrzynki ustawiane jedna na drugiej trzymają się dużo lepiej. Aby zapobiec ześlizgiwaniu się, wierzch kartonów zrasza się środkiem zwiększającym przyczepność. Wszystko to nie łączy jednak stojących obok siebie kolumn opakowań zbiorczych. Umocnić paletę można oklejając wokół jedną warstwę opakowań mocną, nie rozciągliwą taśmą z tworzywa sztucznego lub obwiązując napiętym mocno sznurkiem. Inny sposób to obciągnięcie palety folią. Chroniąca przed kurzem folia termokurczliwa stosowana jest zwłaszcza przy transportowaniu pustych, nowych opakowań oraz piwa w puszkach i butelkach na tacach jako opakowaniach zbiorczych. W pewnych okolicznościach zabezpiecza się nią także kartony z piwem.

5.8 Dział rozlewu jako całość

Linia butelkowego rozlewu piwa wraz ze wszystkimi obsługującymi ją urządzeniami, a także przenośnikami i wyposażeniem magazynów wyrobów gotowych oraz opakowań, jest największym, najdroższym i najbardziej pracochłonnym działem całego browaru (rys. 5.112 i 5.113). Od jej budowy, zaplanowania i rozmieszczenia urządzeń oraz dróg transportu zależy sprawne funkcjonowanie całego zakładu. Poszczególne maszyny i urządzenia muszą być wzajemnie dostosowane swą wydajnością. Trzeba tu więc rozważyć:

- możliwości uszeregowania maszyn i urządzeń,
- dostosowanie ich wydajności do agregatu rozlewniczego (monobloku),
- przepisy, zalecenia i normy dotyczące rozlewu.

Możliwości uszeregowania maszyn i urządzeń

Organizację pracy w hali rozlewu charakteryzują trzy obiegi: palet, skrzynek i butelek (rys. 5.114).

Podstawowe zasady ustawienia maszyn w hali rozlewu są następujące:

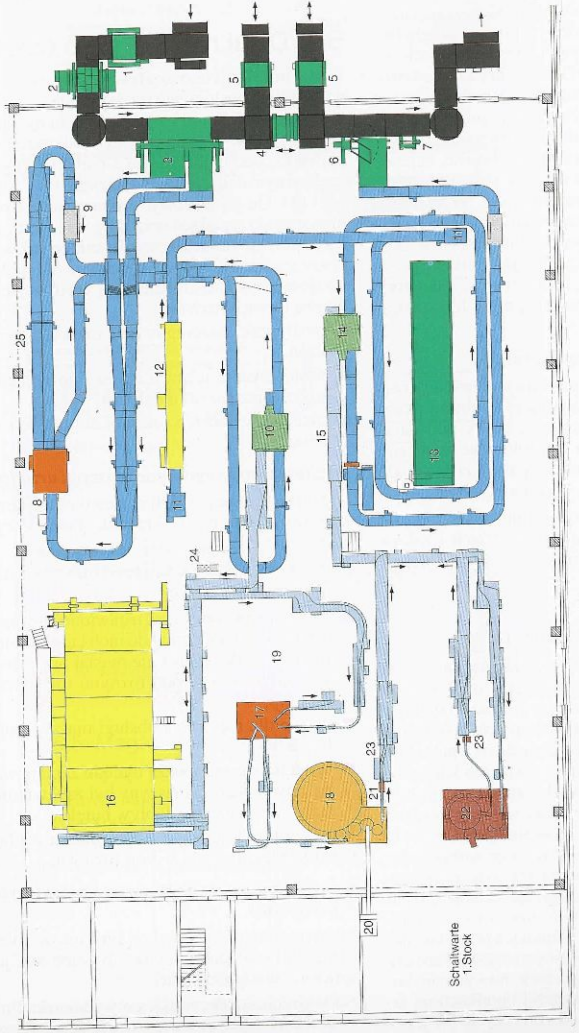
- maszyny muszą być tak ustawione, aby nadzorujący personel miał do nich łatwy dostęp i w przypadku awarii nie musiał przeskakiwać lub przełazić pod różnymi transporterami itp.
- dostęp dla naprawy i obsługi maszyn musi być łatwy,
- drogi transportu muszą być tak zaplanowane, aby do każdej maszyny był zapewniony stały, niezakłócony dopływ butelek.

Wymaga to właściwego stopniowania wydajności każdej maszyny w linii rozlewu.

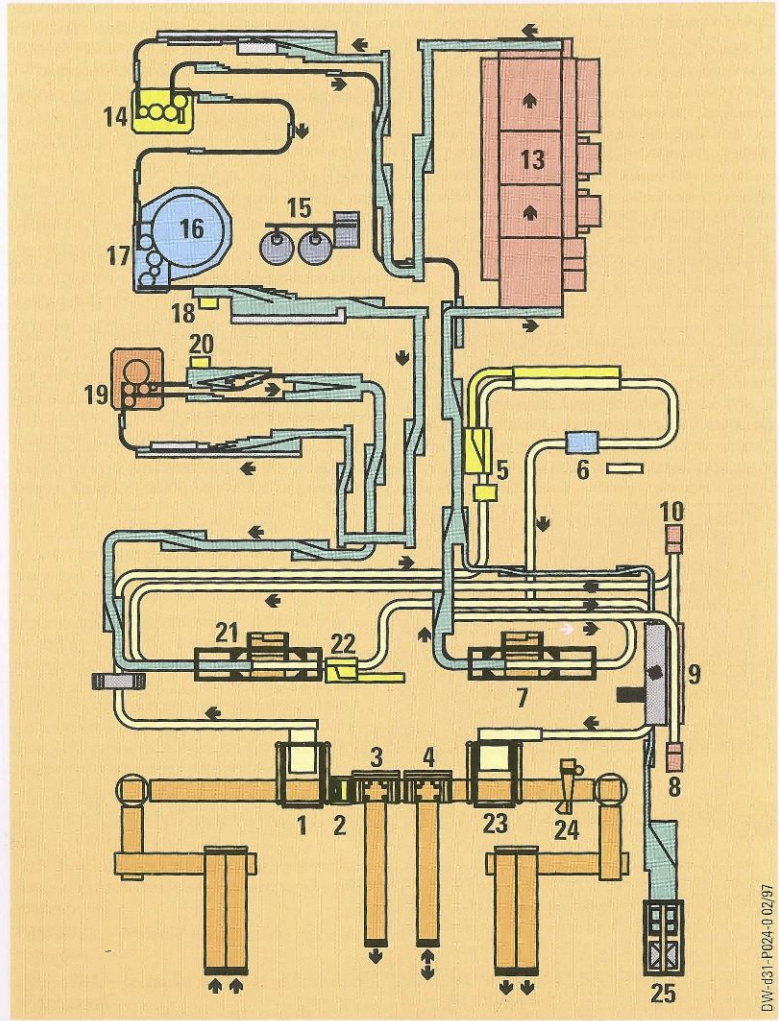
Stopniowanie wydajności maszyn pracujących w jednej linii

Maszyny pracujące w jednej linii muszą mieć różne zdolności produkcyjne, aby zapewnić jej sprawne funkcjonowanie.

Najważniejszą i decydującą o wydajności linii rozlewu maszyną jest oczywiście agregat roz-



Rys. 5.112. Linia rozlewu na 50000 butelek 0,5 l na godzinę (KHS)
(1) ustawianie palet, (2) odbezpieczanie palet, (3) depalietyzacja, (4) kontrola palet, (5) puste palety, (6) paletyzacja, (7) zabezpieczanie palet, (8) kontrola pustych butelek, (9) usuwanie kapsli, (10) rozładunek pustych butelek, (11) odwracanie skrzynek, (12) mycie skrzynek, (13) skład pustych skrzynek, (14) pakowarka butelek, (15) kontrola pełnych butelek, (16) myjka butelek, (17) kontrola umytych butelek,(18) agregat rozlewniczy (monoblok), (19) miejsce na pasteryzator i CIP, (20) doprowadzenie kapsli, (21) kontrola napełnienia, (22) etykieciarka, (23) kontrola etykiet, (24) smarowanie przenośników



Rys. 5.113. Linia rozlewu o wydajności 45 000 butelek/h (firma Krones) – opis na str. 550

Opis do rysunku 5.113

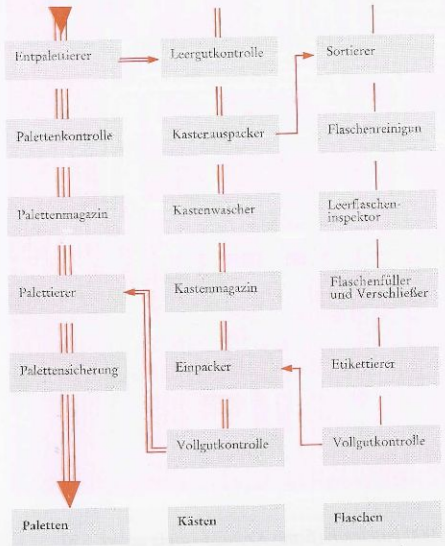
(1) depaletyzacja, (2) kontrola pustych palet, (3) palety uszkodzone, (4) palety dobre, (5) kontrola pustych butelek, (6) usuwanie kapsli, (7) wyładunek pustych butelek ze skrzynek, (8) odwracanie skrzynek, (9) mycie skrzynek, (10) odwracanie skrzynek, (11) rozładunek nowych butelek, (12) skład pustych palet, (13) myjka butelek, (14) kontrola pustych butelek, (15) urządzenia CIP, (16) rozlewarka, (17) zamykarka, (18) kontrola poziomu napełnienia, (19) etykieciarka, (20) kontrola etykiet, (21) pakowarka, (22) kontrola pełnych skrzynek, (23) paletyzacja, (24) zabezpieczanie palet, (25) rozładunek nowych butelek.

lewniczy, zwany popularnie „monoblokiem". Inne maszyny wchodzące w skład linii rozlewu muszą być do jego wydajności dostosowane w taki sposób, aby w żadnym wypadku z ich powodu nie dochodziło do zahamowań w toku produkcji. Oznacza to, że ich zdolność produkcyjna musi być nieco większa, aby nawet przy pewnych drobnych zakłóceniach w ich działaniu, normalny przebieg rozlewu nie ulegał zahamowaniom. Te niezbędne zdolności produkcyjne obliczył dla każdej maszyny w linii rozlewu prof. Berg i są one następujące:

maszyna depaletyzująca	135-140 %
wyładowarka butelek ze skrzynek	120-125 %
myjka butelek	110-115 %
urządzenie kontrolujące stan butelek umytych	110-115 %
agregat rozlewniczy (monoblok)	**100 %**
etykieciarka	110-120 %
pakowarka butelek do skrzynek	120-125 %
maszyna paletyzująca	135-140 %

Taki układ wymaga jednak istnienia na transporterach tzw. stref buforujących, w których mogą się gromadzić np. nadliczbowe umyte butelki, stanowiące rezerwę gwarantującą nieprzerwany tok produkcji.

Zakłada się, że w normalnych warunkach zawsze około 50 % powierzchni strefy buforowej powinno być wypełnione. Stopień wypełnienia kolejnych stref buforowych można wykorzystać jako kryterium dla sterowania pracą poszczególnych maszyn w linii rozlewu, hamując lub zwiększając szybkość ich działania.



Rys. 5.114
Schemat obiegu palet, skrzynek i butelek w hali rozlewu

Na rysunkach 5.112 i 5.113, przedstawiających hale rozlewu butelkowego nie są uwzględnione magazyny pustych i pełnych opakowań.

Magazyn pustych opakowań powinien mieć takie wymiary i organizację pracy, aby zapewnić stałe zaopatrzenie linii rozlewu w odpowiednie butelki i skrzynki.

Magazyn opakowań pełnych, czyli magazyn wyrobów gotowych powinien spełniać następujące wymagania:

- palety z napełnionymi butelkami muszą być posegregowane według gatunków piwa i zabezpieczone przed mrozem (*a także zbyt wysokimi temperaturami. A.B.*),
- zależnie od zapotrzebowania odbiorców w magazynie powinien być zawsze 2-3-dniowy zapas wyrobów gotowych,
- palety, które pierwsze weszły do magazynu, powinny również pierwsze magazyn opuszczać (zasada „first in - first out"),
- przestrzeń magazynowa powinna być optymalnie wykorzystana przez sztaplowanie szeregu palet, jedne na drugich.

Przemieszczanie i sztaplowanie palet odbywa się z reguły za pomocą wózków widłowych. Palety powinny być ustawiane w blokach tak, aby były z dowolnej strony łatwo dostępne. Wobec tego, że trzeba pozostawić dosyć miejsca dla manewrowania kierowcom wózków widłowych, powierzchnia magazynu może być dla palet wykorzystana tylko w 50-60 %.

W Niemczech obowiązuje szereg norm dotyczących urządzeń w hali rozlewu oraz techniki rozlewu. Należą do nich:

DIN 8782 dotyczy techniki rozlewu napojów, urządzeń rozlewu i poszczególnych maszyn,

DIN 8783 – badanie urządzeń do rozlewu napojów,

DIN 8784 – technika rozlewu, minimalne wymagania,

DIN 55405 – wymagania dotyczące opakowań, obejmują one: etykiety, kapsle, butelki do piwa, puszki i skrzynki.

Inne regulacje prawne dotyczą ochrony środowiska i ochrony oraz bezpieczeństwa pracy. Są one cytowane w odpowiednich rozdziałach.

5.9 Zaniki piwa

Ze 100 hl brzeczki nie powstaje rzecz jasna 100 hl piwa tylko trochę mniej, ponieważ w browarze zachodzą pewne straty, które nazywamy zanikami piwa.

Pod nazwą „zaniki piwa", rozumiemy różnicę między ilością wybitej brzeczki i uzyskanego z niej sprzedanego piwa. Zaniki podaje się w %, w stosunku do ilości brzeczki. Jest to ważna liczba dla kontroli wewnętrznej zakładu, z której można wnioskować o jego dobrej lub złej pracy.

Obecnie nikt jednak nie może prześledzić dokładnie ilościowo losów jednej warki od warzelni aż do butelek lub kegów. W wyniku różnych procesów mieszania podczas produkcji, poszczególne warki nie dają oddzielić się od siebie ilościowo.

Wobec tego, obecnie kontroluje się zaniki analizując wyniki produkcji na przestrzeni pewnego czasu, zwykle miesiąca. W nowoczesnych zakładach potrzebne dane mogą być w każdej chwili przywołane z pamięci komputera.

W mniejszych browarach ilości oraz cechy charakteryzujące wybitą brzeczkę zapisane są w raporcie warzelni, osobno dla każdego gatunku piwa. W większych browarach tę rolę spełnia komputer.

5.9.1 Obliczanie wyprodukowanych ilości piwa gotowego

Jeśli, dla przykładu, chcemy obliczyć ilość gotowego piwa wyprodukowanego w ciągu miesiąca maja, musimy wziąć pod uwagę następujące liczby:

Sprzedaż piwa w maju (łącznie ze spożyciem na miejscu)

+ zapasy piwa w ostatnim dniu maja

- zapasy piwa w ostatnim dniu kwietnia

5.9.2 Obliczanie stanu zapasów i przeliczanie na piwo gotowe do sprzedaży

Stan zapasów oblicza się z podziałem na gatunki, osobno dla: piwnicy fermentacyjnej, leżakowej oraz magazynu wyrobów gotowych (beczki, butelki i puszki).

Te zapasy stanowią podstawę do obliczenia przewidywanej ilości piwa do sprzedaży. Do przeliczenia wykorzystuje się ustalony doświadczalnie dla browaru średni procent zaników.

Przykład:

Ogólny zanik w pewnym browarze

wynosi	10,3 %,
w tym zanik na odcinku od warzelni	
do tanku leżakowego	8,6 %

Mając w tanku leżakowym 2430 hl piwa, aby obliczyć ilość piwa do sprzedaży trzeba od tej ilości odjąć 10,3% - 8,6 % = 1,7 %

Inaczej mówiąc, przy tak określonych zanikach, ze 100 hl brzeczki otrzymuje się 91,4 hl piwa w tanku leżakowym, a z tego 89,7 hl piwa przeznaczonego na rynek.

5.9.3 Obliczanie objętości zaników

Obliczanie objętości zaników ma duże znaczenie dla kontroli funkcjonowania browaru. Pozwala ona wykrywać i usuwać błędy w produkcji. Dane te interesują także kontrolę skarbową.

W niemieckich browarach pracujących metodami tradycyjnymi, średnie zaniki piwa w stosunku do gorącej, wybitej brzeczki wynoszą ogółem od 8 do 10 % (50).

W tym można liczyć, że:

wskutek ochłodzenia gorącej brzeczki zmniejszenie objętości wynosi	4%
parowanie przy otwartym chłodzeniu (*u nas nie spotykane, A.B.*)	do 3%
straty w piwnicy leżakowej	ok. 0,6 - 0,8%
straty podczas filtracji	0,8 - 1%
straty podczas rozlewu	ok. 0,2 - 0,8%

5.9.4 Obliczenie zużycia słodu w kg/hl piwa

W myśl niemieckiego prawa słód jest jedynym surowcem (obok chmielu i wody) stosowanym do produkcji piwa.

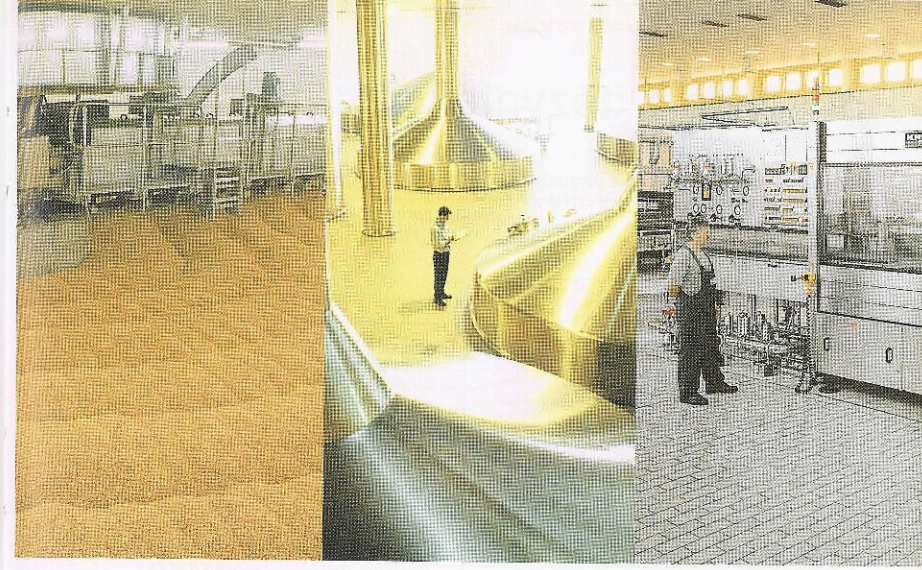
Średnio można liczyć, że na 1 hl piwa o ekstrakcie brzeczki podstawowej
6 % potrzeba 9 kg słodu,
11 % potrzeba 17 kg słodu,
16 % potrzeba 26 kg słodu.

5.9.5 Możliwości obniżenia zaników

Straty powstają wskutek zwilżania ścian naczyń i rurociągów. Małe zbiorniki mają proporcjonalnie do swej objętości większe powierzchnie i powodują powstawanie większych zaników. Rurociągi powodują tym większe zaniki, im są dłuższe.

Wszystkie nieszczelności zaworów, uszczelek w połączeniach rur itp. stanowią źródło zaników.

Podczas filtracji piwa przez ziemię okrzemkową powstają straty w wysokości 0,4 do 0,8 % w filtrach z użyciem kartonów. W filtrach świecowych te straty są niższe i wynoszą ok. 0,3 %. W nowoczesnych liniach rozlewu straty są w porównaniu z dawnymi niższe i wynoszą od 0,2 do 0,4 %.



Wasze piwo – nasza technika.

- Linie rozlewnicze
- Paletyzatory i pakowaczki
- Urządzenia do słodowni
- Urządzenia do śrutowania i silosy
- Urządzenia CO_2
- Urządzenia przygotowujące i transportujące
- Warzelnie
- Urządzenia filtracyjne
- Sterowanie procesem

Nasze know-how oraz doświadczenie w projektowaniu i budowie urządzeń browarniczych daje Wam pewność, że jesteśmy partnerem do współpracy, który rozumie o co chodzi – o Wasze piwo.

TÜV CERT ISO 9001

http://www.krones.de

KRONES

KETTNER SEEGER STEINECKER

KRONES AG	Tel. +49 (94 01) 70-0	Fax +49 (94 01) 70-24 88	e-mail: sales@krones.de
KRONES Spółka. z o.o.	Tel. +48 (22) 6 16 03 82	Fax +48 (22) 6 16 03 31	e-mail: krones@1.com.pl
SEEGER GmbH	Tel. +49 (71 81) 80 05-0	Fax +49 (71 81) 80 05-50	e-mail: seeger@compuserve.com

6 Mycie i dezynfekcja

Piwo powinno zachować swoje parametry jakościowe przez bardzo długi czas. Należą do nich smak i zapach na równi z pienistością i klarownością, o ile nie dotyczy to piw z natury mętnych.

Zachowania tych parametrów nie można osiągnąć tylko przy pomocy filtracji, lecz przez przestrzeganie wszystkich czynników zapewniających czysty sposób pracy. Stałe utrzymywanie czystości wszystkich miejsc pracy, naczyń i przewodów oraz regularne i całkowite usuwanie występujących zanieczyszczeń jest niezbędną koniecznością we wszystkich działach produkcyjnych.

Dla zrozumienia zadań i problemów przy myciu i dezynfekcji należy zapoznać się z:

- materiałami naczyń, surowcami i ich właściwościami,
- środkami myjącymi i dezynfekcyjnymi oraz
- przeprowadzaniem mycia i dezynfekcji w systemie CIP i innymi sposobami.

6.1 Materiały i ich zachowanie się w odniesieniu do środków myjących

Starsze naczynia przeważnie są zbudowane ze stali; posiadają wykładzinę smołową lub epoksydową, która ochrania piwo przed nią. Wykładziny te są neutralne i na ogół można je myć zwykłymi środkami myjącymi. Niekorzystne jest to, że wykładziny te co pewien czas muszą być odnawiane, ponieważ zostają uszkodzone i dają sposobność do zakażeń.

Jedynie naczyń aluminiowych używa się bez wykładzin, gdyż pokrywają się odporną warstwą tlenku, która je ochrania.

Odrębnego traktowania wymagają:

- naczynia z aluminium,
- naczynia i przewody ze stali szlachetnej oraz
- naczynia i przewody z innych materiałów.

6.1.1 Naczynia z aluminium

Aluminium jest względnie tanim materiałem do budowy kadzi i tanków; jest neutralne, nie nadaje żadnych posmaków i dlatego nie wymaga żadnej ochronnej pokrywy. Chociaż aluminium wydaje się idealne, to jednak:

- Jest podatne na środki alkaliczne i w krótkim czasie zostaje zniszczone. Aluminium należy do pierwiastków tzw. ziem alkalicznych (III grupa układu okresowego pierwiastków) i jako takie jest ściśle związane z metalami alkalicznymi (Na-, K-) i metalami ziem alkalicznych (Ca-, Mg-). W alkalicznym środowisku gładka powierzchnia aluminium zmienia się bardzo silnie; występują wżery korozyjne (niebezpieczeństwo zakażeń) i ściany naczynia zostają powoli zniszczone;
- Aluminium znajduje się na końcu szeregu napięciowego metali. Jeżeli styka się z innymi metalami (np. miedziany płaszcz chłodniczy na kadzi aluminiowej), z czasem zostaje zniszczone (konieczna jest izolacja);
- Jest wrażliwe na silne kwasy i zostaje w krótkim czasie zniszczone. Tworzy miejscowe ogniwa korozyjne i dlatego jest stosowane o bardzo dużej czystości (>99,9%);
- Aluminium jest bardzo miękkie i tym samym bardzo czułe na podcisnienie. Przy wytworzeniu się małej próżni w tanku leżakowym istnieje niebezpieczeństwo, że tank zostaje ściągnięty.

Z tych względów aluminium jest coraz rzadziej stosowane w browarach.

6.1.2 Naczynia i przewody ze stali chromoniklowej

W browarze mówi się zawsze o stali chromoniklowej lub stali V2A (szlachetnej), bez dokładnego określenia o co tu właściwie chodzi.

W niemieckich browarach znajdują zastosowanie następujące gatunki stali nierdzewnej:

Materiał Nr wg DIN 17007	Skrócona nazwa wg DIN 17006	Właściwości i zakres zastosowania	Przestarzałe używane określenie
1.4301 1.4306 1.4541 1.4550	X 5 CrNi 18 10 X 2 CrNi 19 11 X 6 CrNiTi 18 10 X 6 CrNiTiNb 18 10	Woda i słabo zanieczyszczone ścieki, artykuły spożywcze i kwasy organiczne, ogólnie, do ok. pH 4,5 odporna w słabo-chlorkowych środkach agresywnych. Przy stosowaniu środków zawierających podchloryny w pH1 poniżej 9,0 istnieje niebezpieczeństwo wżerów korozyjnyvh	V2A
1.4401 1.4404 1.4571 1.4580	X 5 CrNiMo 17 12 2 X 2 CrNiMo 17 13 2 X 6 CrNiMoTi 17 12 2 X 6 CrNiMoNb 17 12 2	Większa ogólna odporność niż w grupie V2A; większa odporność przy zawartości wyższych ilości chlorków	V4A
1.4436 1.4435 1.4438	X 5 CrNiMo 17 13 3 X 2 CrNiMo 18 14 3 X 2 CrNiMo 18 16 4	Wyższa ogólna odporność niż w w/w grupie w odniesieniu do nieutleniających kwasów i środków agresywnych zawierających chlorki	V44A Supra V18A Supra NK
1.4439	X 2 CrNiMoN 17 13 5	Wysoka odporność na nieutleniające kwasy i media zawierające chlorki.	ASN 5 W Novonox AS 175h
1.4506	X 4 NiCrMoCuTi 20 18 2	Lepsza odporność na kwas siarkowy i fosforowy,	V16A Extra

Stale chromoniklowe w przeciwieństwie do (rdzewiejących) czarnych stali są stopami stali z chromem, niklem, molibdenem i innymi substancjami, które czynią je odpornymi na inne materiały i zabezpieczają przed rdzewieniem (utlenianiem).

Stale są znormalizowane pod względem ich składu wg *niemieckich norm* DIN 17006 i 17007 i opatrzone numerem materiałowym, który gwarantuje ich skład. Najważniejsze dla nas stale nierdzewne, z których jest wykonywana większość warzelni, tanków, pomp, przewodów rurowych itp., zostały ujęte w powyższej tabeli.

Można stwierdzić, że oznaczenia V2A, V4A itd. (oznaczenia producenta) obejmują sumarycznie całe szeregi różnych stali, które pod względem właściwości i zastosowania bardzo się różnią. Obecnie używa się oznaczeń: stal szlachetna, stal-Cr-Ni lub, dla dokładnego określenia, numeru materiałowego.

Stal-Cr-Ni nie jest odporna na środki myjąco-dezynfekcyjne zawierające chlorki. Szczególnie powinno się unikać – przy stosowaniu środków myjących zawierających podchloryny – zmieszania ich z kwaśnymi roztworami myjącymi, gdyż w przeciwnym razie należy się liczyć z szybkim pojawieniem sie korozji. Nie wolno również przechowywać w zbiornikach ze stali-Cr-Ni roztworów myjących zawierających aktywny chlor.

Większość naczyń i przewodów w browarze jest wykonana ze:

- stali-Cr-Ni 1.43301 lub 1.4451, względnie

- stali-Cr-Ni-Mo 1.4401, 1.4404 lub 1.4571.

Przy stosowaniu środków dezynfekcyjnych należy dokładnie sprawdzać skład środka i jego zgodność w odniesieniu do różnych materiałów, aby zapobiec szkodom.

W temperaturach 30°C należy już uwzględnić ewentualną zawartość jonów chlorku 50 mg/l przy doborze materiału.

Stale nierdzewne nie wymagają żadnej powłoki i nie wydzielają żadnej substancji smakowej, więc ich zastosowanie jest nieograniczone. Główną zaletą jest to, że dzięki ich niewrażliwości na kwasy i ługi wspaniale nadają się do mycia w systemie CIP. Dlatego nowe urządzenia są budowane tylko pod tym kątem widzenia. Ważne przy tym jest, aby można było przeprowadzać gruntowne mycie i usuwać łatwo wszystkie resztki zanieczyszczeń. Dotyczy to przede wszystkim:

- wypolerowania spawów i
- wypolerowania (elektrycznego) wewnętrznych powierzchni, szczególnie we wszystkich naczyniach, filtrach, pompach, przewodach rurowych od momentu chłodzenia brzeczki (p. rozdz. 4.4.1.1).

Stale szlachetne osiągają swoją odporność na korozję tylko wtedy, kiedy ich powierzchnia jest metalicznie czysta i może się wytworzyć pasywna warstwa. Dlatego po spawaniu w gazach ochronnych należy warstwy oksydacyjne, względnie przebarwienia, usunąć mechanicznie (przez szczotkowanie albo szlifowanie) lub chemicznie (przez wytrawianie).

Stale szlachetne nie mogą się stykać z żadnymi materiałami żelaznymi, ponieważ jony żelaza mogą doprowadzić do korozji.

6.1.3 Węże i uszczelnienia

Większość węży jest z gumy. Węże gumowe są niebezpiecznymi połączeniami przewodów. Zwykle ocenia się stan węży po ich wyglądzie zewnętrznym. Jest to duży błąd.

Wąż gumowy ulega od wewnątrz dużo większemu zużyciu, a do tego jest trudny do mycia (kąpiel węży). Spękania i drobne uszkodzenia wewnątrz są trudne do wykrycia.

Węże gumowe można myć tylko w słabych roztworach alkalicznych. Utleniające kwasy, jak kwas azotowy i jony miedzi wzmagają starzenie się gumy. Dlatego należy zwracać uwagę, żeby nigdy nie myć w obiegu np. węży gumowych razem z przewodami miedzianymi.

Jakość gumy jest bardzo różna. Niektóre węże gumowe wydzielają substancje smakowe do piwa, szczególnie kiedy są uszkodzone lub zużyte od wewnątrz. Dlatego należy węże gumowe poddawać badaniom na ich przydatność.

Aby uniknąć niebezpieczeństwa zanieczyszczania przez węże i podwyższonego natleniania piwa, powoli wycofuje się je z browaru i zastępuje stałymi przewodami.

Podobne problemy jak gumowe węże stwarzają ***materiały uszczelniające***, w które wyposażone są wszystkie połączenia śrubowe i armatura. Ponieważ stykają się z piwem, muszą wykazywać odpowiedni stopień czystości wymagany w żywności i nie mogą wydzielać żadnych substancji smakowych do piwa.

Uszczenienia są wykonywane z elastycznych gumowych materiałów, które bardzo różnią się w swojej twardości, wytrzymałości na rozciąganie i elastyczność, w rozciągliwości do zerwania oraz zachowywaniu się w stosunku do różnych temperatur i rozpuszczalników.

Ważnymi „materiałami gumowymi" ze względu na dużą odporność na chemikalia i wpływy temperatur są elastomery na bazie:

- NBR-(akryl-) nitryl-butadien-kauczuk,
- guma silikonowa
- PTFE-politetrafluoroetylen i
- EPDM-etyleno-propyleno-dienopolimeryzatowa mieszanina.

Również elastomery fluorowe posiadają szczególnie dobrą odporność.

	Oznaczenie wg ISO R 1629	Charakterystyczne zabarwienie	Zastrzeżony znak towarowy
Elastyczne gumowe materiały			
Akrylnitryl-butadien-kauczuk	NBR	niebieskie	Perbutan®
Chlorbutadien-kauczuk	CR		Neopren®
Fluor-kauczuk	FPM		Viton®
Etylen-propylen-dien-kauczuk	EPDM	czarne	Buna AP®
Vinyl-metyl-polisiloksan	MPQ	czerwone	Silikonkauczuk
Termoplastyczne materiały			
Politetrafluoroetylen	PTFE		Teflon®
Polivinylochlorek	PVC		
Poliamid	PA		Nylon®

Ponieważ uszczelnienia są włączone w obieg CIP, zawarte w środkach myjących i dezynfekcyjnych chemikalia atakują w różnym stopniu materiały uszczelek:

Rodzaj środka myjącego	Stężenie	Temperatura	Najkorzystniejszy elastyczny wąż lub materiał uszczelniający
alkalicznożrący (płynny lub proszek)	1,5-4%	do 140°C	EPDM
alkalicznożrący, zawiera aktywny chlor (płynny)	2,5-5%	do 70°C	(NBR), EPDM
kwaśny fosforan	2,5-5%	do 90°C	(NBR), EPDM
azotan kwaśny	2,5-5%	do 50°C	EPDM
azotan kwaśny	2,5%	do 90°C	z ograniczeniem EPDM
azotan kwaśny	5%	do 90°C	-
aktywny chlor (płynny)	0,5%	do 60°C	NBR, CR, EPDM
kwas nadoctowy/H_2O_2	0,2-1%	do 90°C	NBR, EPDM

6.2 Środki myjące

Przy myciu zostają usunięte z powierzchni naczyń i innych

- resztki produktu i osady, jak substancje białkowe, żywice, olejki, organiczne i nieorganiczne sole oraz
- drobnoustroje.

Wolną od drobnoustrojów powierzchnię osiąga się przy pomocy

- dezynfekcji działaniem chemicznym oraz
- sterylizacji działaniem termicznym.

Zanieczyszczenia można podzielić według następujących kryteriów:

- substancje, które są dobrze rozpuszczalne i podczas procesu mycia zostają usunięte;
- substancje zdolne do tworzenia emulsji, lecz nierozpuszczalne; te substancje należy zemulgować oraz
- substancje, które nie emulgują i nie są rozpuszczalne; te substancje należy zemulgować przy użyciu środków powierzchniowo-czynnych

Najprostszym środkiem myjącym jest woda.

Woda nadaje się z powodzeniem do ręcznego mycia szczotkami różnego rodzaju i wielkości. Wprawdzie nie można obecnie już myć wszystkiego tym sposobem, lecz nie powinno się o tym zapominać. Przede wszystkim duże znaczenie ma mycie wodą pod ciśnieniem wytwarzanym w ruchomych urządzeniach natryskowych do gruntownego mycia aparatury i elementów w urządzeniach, które nie są włączone do systemu CIP i nie mogą być myte w kąpieli ługowej.

Środki myjące powinny posiadać następujące właściwości:

- dobrą rozpuszczalność w wodzie,
- dobre działanie myjące w odniesieniu do zabrudzonych powierzchni,
- skuteczność w niskich temperaturach,
- dobrą zdolność zwilżania,
- dużą zdolność pochłaniania zabrudzenia,
- dobrą spłukiwalność, bez pozostawiania osadów,
- żadnej reakcji z solami z wody,
- brak korozyjności w odniesieniu do materiałów,
- łatwość manipulacji,
- niskie koszty i
- małe obciążenie ścieków.

Środki myjące są oferowane w różnej postaci (proszek, pasta, płyn). Na ogół wybiera się postać płynną, gdyż wtedy są prostsze w obsłudze i łatwiej je dozować.

Wszystkie konfekcjonowane środki myjące posiadają dwa składniki:

- **substancję nośną** (ług sodowy lub kwas) i
- **dodatki aktywne** (stabilizatory, rozpuszczalniki, detergenty).

W zależności od wartości pH rozróżnia się:

- alkaliczne, kwaśne i neutralne środki myjące i
- alkaliczne, kwaśne i neutralne środki dezynfekcyjne.

Alkaliczne środki myjące są przeważnie zestawiane na bazie 60 do 80% ługu sodowego i dodatków sody, metakrzemianu, polifosforanów, fosforanu trójsodowego, środków powierzchniowo czynnych i inhibitorów.

Kwaśne środki myjące mają jako podstawę kwas fosforowy, kwas azotowy, kwas glukonowy lub kwas cytrynowy z dodatkiem inhibitorów *(tj. środków antykorozyjnych. Przyp. tł. AB)*.

Przy procesie mycia należy zwrócić uwagę jeszcze na jedną specyficzną okoliczność. Na wszystkich częściach naczynia, które stykają się z piwem, z czasem odkłada się kamień piwny w coraz grubszej warstwie. Chropowata powierzchnia kamienia piwnego jest najlepszą kryjówką dla infekcji, dlatego należy usuwać regularnie ten kamień. Najlepszym środkiem do usuwania kamienia piwnego jest nadal rozcieńczony kwas azotowy.

Najwięcej środków myjących oferuje się na bazie *ługu sodowego*, który wykazuje bardzo dużą zdolność mycia i działa bakteriobójczo. Przez dodatki można to myjące działanie jeszcze znacznie podwyższyć. Grupę substancji dodatkowych stanowią środki powierzchniowo-czynne (tensidy). Są one rozpuszczalnymi w wodzie, aktywnymi związkami, które w środkach myjących używa się do obniżenia napięcia powierzchniowego i oddzielenia zanieczyszczeń. Zarządzenie o środkach powierzchniowo czynnych, obowiązujące w Niemczech wymaga, aby co najmniej 80% ulegało rozpadowi w oczyszczalni ścieków. W katalogach środków myjących jest prawie zawsze podawane, czy dany środek je zawiera.

Środki takie należy całkowicie usunąć przez spłukiwanie końcowe, ponieważ mogą działać niszcząco na pianę (p. do tego rozdz. 5.1.2.3.1).

6.3 Środki dezynfekcyjne

Od środków dezynfekcyjnych wymaga się tych samych właściwości, co od środków myjących. Jedynie zamiast dobrego działania myjącego powinny wykazywać się one silnymi właściwościami odkażającymi o możliwie szerokim spektrum działania.

Jako środki dezynfekcyjne stosuje się szczególnie:

- środki zawierające chlorowce (np. NaOCl = podchloryn sodowy, ClO_2 = dwutlenek chloru, Cl_2 = chlor gazowy),
- środki utleniające (H_2O_2 i kwas nadoctowy),
- czwartorzędowe zasady amoniowe i
- amfoteryczne środki powierzchniowo czynne.

Środki dezynfekcyjne zawierające chlor tworzą kwasy podchlorawe, z których zostaje oddzielony atomowy tlen in statu nascendi. Działa on bardzo toksycznie na drobnoustroje.

Czwarorzędowe zasady amoniowe są zawarte w wielu środkach dezynfekcyjnych. Są one kationoaktywnymi środkami powierzchniowo czynnymi, które reagują obojętnie, posiadają dobre działanie bakteriobójcze i gwarantują dobre zwilżanie. Wadą jest ich trudne wypłukiwanie.

Kwas nadoctowy jest stosowany w roztworze 0,01 do 0,1%. Jego działanie opiera się na oddzielaniu atomowego tlenu, który ze swej strony działa dezynfekująco i po połączeniu się w cząsteczkę znika z roztworu. Pod tym względem kwas nadoctowy jest idealnym środkiem dezynfekcyjnym, gdyż nie pozostawia żadnych resztek, które należy usuwać.

Przy myciu i dezynfekcji musimy brać pod uwagę to, że użyte środki znajdą się w ściekach i tym samym staną się problemem ekologicznym.

Problem szczególnego rodzaju dla oczyszczalni ścieków przedstawia stosowanie ***środków myjących zawierających chlor*** [71].

Niemożliwe jest omówienie tu wszystkich oferowanych środków myjących i dezynfekcyjnych z ich nazwami, składem i stosowanymi stężeniami. W każdym razie należy dokładnie sprawdzać na podstawie katalogów oferowanych środków myjących i dezynfekcyjnych:

- do jakiego celu powinien środek być użyty,
- jakie są przewidziane stężenia i
- jaka istnieje znośność lub jego ograniczoność.

6.4 Przeprowadzanie mycia i dezynfekcji w CIP

W małych browarach w powszechnym użyciu są szczotki. W tym zakresie w przyszłości raczej nic się nie zmieni.

Ze wzrostem wielkości naczyń i urządzeń ręczne mycie i dezynfekcja stają się coraz bardziej nieracjonalne i w końcu niemożliwe. Ten rozwój doprowadził do dwóch specjalnych działów, stacji mycia i dezynfekcji, które przeprowadzają mycie w miejscu przy pomocy zainstalowanych na stałe urządzeń metodą „cleaning in place", krótko nazywaną – CIP. Dzięki automatyzacji urządzenia zostaje jednocześnie zaoszczędzony cenny czas pracy.

Obecnie wszystkie maszyny i urządzenia w browarze są projektowane tak, że można je myć przy pomocy metody CIP, tzn. włączyć je w obieg CIP. Tym samym w nowoczesnych urządzeniach od warzelni do rozlewu odpada wszelkie ręczne mycie.

Niezależnie od tego rozwiązania w każdym browarze są części urządzeń, takie jak kolana rur, złączki, zawory itp., których nie można włączyć w obieg mycia. Aby również te części myć i dezynfekować w wystarczający sposób, stosuje się wanny z roztworami dezynfekcyjnymi, w których można je dezynfekować i zarazem ewentualnie przechowywać w nich węże.

Ważne jest, żeby roztwory w tych wannach i kąpielach regularnie sprawdzać, gdyż z czasem ich zdolność dezynfekcyjna zużywa się i w końcu mogą stać się pożywką dla gromady drobnoustrojów. Środki należy od czasu do czasu zmieniać, gdyż szczególnie przy czwartorzędowych zasadach amoniowych może dochodzić do wykształcenia się odporności u szkodliwej dla piwa mikroflory.

Do kąpieli węży kwas nadoctowy nie nadaje się, ponieważ z czasem rozpuszcza gumę.

Ważne, aby części wyposażenia w wannach przechowywać w taki sposób, żeby wszystkie powierzchnie były zwilżone. Nie może być pęcherzy powietrza.

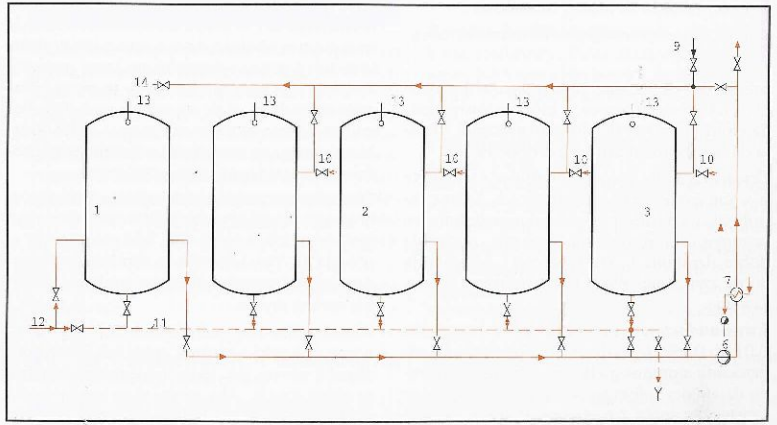
Urządzenie CIP składa się z następujących naczyń (rys. 6.1):

zbiornika do świeżej wody (1),
zbiornika do popłuczyn (2),
zbiornika roztworu dezynfekcyjnego lub gorącej wody (3),
zbiornika do roztworu kwaśnego (4)
zbiornika do rozwtoru zasadowego (5),
pompy obiegowej (6),
stacji podgrzewania (7)

oraz licznych przewodów rurowych, zaworów i pomp.

Z tego systemu zbiorników w układzie o działaniu automatycznym jest pompowany silny prąd mediów do naczyń i przewodów całego systemu. Czas trwania, zakres temperatury itp. są zaprogramowane na podstawie zakładowego doświadczenia. Przykład wygląda następująco:

- wstępne płukanie wodą do tego używa się składowanych popłuczyn z poprzedniego mycia — 3-5 min.
- spływ popłuczyn — 1-3 min.
- mycie zasadowym 1 do 2% roztworem myjącym w 70°C — 30-50 min.
- spływ roztworu zasadowego — 1-3 min.
- pośrednie płukanie wodą — 4-5 min.
- spływ wody kwaśne mycie 1 do 2% kwasem azotowym — 1-3 min. 10-15 min.
- spływ kwasu — 1-3 min.
- pośrednie płukanie wodą — 2-3 min.
- spływ wody — 1-3 min.



Rys. 6.1. Urządzenie CIP
(punkty 1-7 są objaśnione w tekście) (8) przewód cyrkulacyjny, (9) przewód powrotny, (10) przewód do napełniania środkiem myjącym lub dezynfekcyjnym, (11) opróżnianie, (12) dopływ świeżej wody, (13) mycie zbiornika przy pomocy CIP, (14) powrót roztworów myj.+dezyn.

- płukanie środkiem dezynfekcyjnym — 15-20 min.
- spływ środka dezynfekcyjnego — 1-3 min.
- końcowe płukanie wodą — 3-5 min.

Cały program trwa wg powyższego 1 do 2 h.

Urządzenia CIP dotyczy jeszcze kilka istotnych uwag:

- *Zbiorniki* muszą być wyposażone we wszystko co niezbędne dla bezproblemowej pracy, tak jak przelew, właz, wskaźnik stanu napełnienia, możliwość pobrania próbki, możliwość mycia wewnątrz, odciągnięcia pary wodnej i w ogrzewanych naczyniach izolacja.
- *Pompy, przewody rurowe i armatura muszą być tak położone*, żeby nie mogła powstać żadna kawitacja (p. rozdz. 10.5.1.3). Należy wykluczyć niezamierzone zmieszania mediów instalując odpowiednie zawory.
- *Przyjmowanie i zaopatrywanie w chemikalia* musi - odpowiednio do ustawodawstwa danego kraju - przebiegać tak, aby nic mogło ono spowodować żadnej szkody ekologicznej, jeżeli nastąpi jakaś awaria. Należy na to zwracać szczególną uwagę, gdy chodzi o większe ilości płynnego medium.
- *Technika pomiarowa i sterowanie urządzeniem* muszą zapewniać nienaganną pracę w zadanej kolejności. Najważniejszymi wielkościami pomiarowymi przy tym są: pomiar przewodnictwa poszczególnych mediów oraz pomiary temperatury i przepływu objętościowego.

Przy myciu CIP należy przestrzegać tego, żeby zakażenia z jednego działu nie przedostawały się do innych. Dlatego w użyciu są wielorakie stacje CIP, przy pomocy których jest możliwe osobne mycie poszczególnych urządzeń. Określone działy myje się zawsze na gorąco, inne nie, lub tylko niekiedy. Możliwy podział [146] polega na tym, że do mycia stosuje się oddzielne stacje:

- dla warzelni i drogi brzeczki,
- dla przewodów do piwa niefiltrowanego,
- dla tanków do piwa niefiltrowanego oraz
- dla piwa filtrowanego i rozlewu.

Stacje CIP dla warzelni i drogi brzeczkowej
często posiadają:

- tank gorącego ługu dla naczyń warzelni,
- tank do gorącego ługu dla drogi brzeczkowej (rozdzielenie z powodu silnego zabrudzenia ługu przez naczynia warzelni),
- kwaśny roztwór,
- środek dezynfekcyjny (dla drogi brzeczkowej),
- świeżą wodę, wodę zapasową.

Mycie naczyń warzelni odbywa się obecnie z niską zasadowością (2 do 3% NaOH) i utleniającymi dodatkami, dzięki którym proces mycia zostaje silnie przyspieszony i następuje dokładniejsze mycie. Krótkie kwaśne mycie wiąże resztki środków poprzedniego mycia i następnie naczynia lub przewody zostają spłukane świeżą wodą.

Stacje CIP dla przewodów niefiltrowanego piwa są wyposażone w:

- tank do gorącego ługu,
- tank do kwasu,
- tank do świeżej wody (lub bezpośrednio z sieci),
- tank do wody składowanej i
- tank do dezynfekcji.

Przewody niefiltrowanego piwa, podobnie jak naczynia warzelni, są z reguły myte na gorąco, zobojętniane kwasem i dokładnie płukane świeżą wodą. Ważne, żeby na zakończenie była przeprowadzona dezynfekcja preparatem kwasu nadoctowego lub rotworem dwutlenku chloru w ostatniej wodzie.

Stacje CIP dla tanków do piwa niefiltrowanego

Przy myciu tanków do piwa niefiltrowanego jest dużo możliwości:

Zasadowe mycie na gorąco

Zasadowe mycie na gorąco jest szeroko rozpowszechnionym sposobem mycia tanków. Przy gorącym myciu tank jest natryskiwany określoną ilością ługu (ług sodowy względnie środek myjący na bazie NaOH).

Problemy:

- NaOH reaguje z CO_2 tworząc kwaśny węglan sodu ($NaHCO_3$), który nie ma działa-

nia myjącego i unieczynnia ług. Toteż należy uprzednio usunąć CO_2, aby uniknąć strat ługu. Do usunięcia CO_2 proponuje się dwa warianty:

Wariant 1

Tank opróżniać wytłaczając piwo za pomocą powietrza (czas < 12 godzin), poduszka CO_2 chroni piwo doskonale przed tlenem. Należy najpierw część tanku opróżnić przy pomocy CO_2.

Po opróżnieniu tank należy rozprężać przez spływ w stożku: najpierw zostaje wypchnięty CO_2, a następnie powietrze! W ten sposób tank jest pozbawiony CO_2.

Wariant 2

Pusty tank jest przedmuchiwany powietrzem (od góry) lub lepiej: CO_2 zostaje odessane lub wypchnięte powietrzem. Może do tego być użyta wysokociśnieniowa dmuchawa.

- Ostatnio usiłuje się również wykorzystywać czysty azot (99,9%) i za jego pomocą wypędzać całkowicie tlen z tanku. Ma to przyszłość tylko wtedy, jeżeli uda się bardzo tanio uzyskiwać czysty azot.
- Przez spryskiwanie tanku zimną wodą może wewnątrz wytworzyć się podciśnienie (wakum), jeżeli zawór podciśnieniowy będzie zamknięty. Tank może zostać ściągnięty (implozja); dzieje się to bardzo szybko, ponieważ naczynia są bardzo zagrożone podciśnieniem. Dlatego raczej wytwarza się przed tym nadciśnienie, które po schłodzeniu tanku likwiduje się, lub kontroluje ciśnienie systemem sterowania i w razie potrzeby dozuje gaz.
- Gorące mycie jest możliwe do ponad 90°C. Pod warunkiem jednak, że tank jest przygotowany na takie podwyższenie tempratury. Na ogół jednak tak nie jest. Dlatego tanki zwykle są myte w letnich temperaturach, nie wyższych niż 35°C.

Istnieje także możliwość mycia tanku zasadowo na zimno; jednak nie wiele to daje. Lepiej wtedy stosować kombinację mycia zasadowego z kwaśnym.

Kwaśne mycie jednofazowe

Mycie tylko stale samym kwaśnym środkiem nie daje żadnego rezultatu, gdyż zanieczyszczenia są niewystarczająco usuwane i roztwór myjący wzbogaca się w zakażenia. Zaletą jest jednak to, że kwaśne mycie można prowadzić w atmosferze CO_2. Dzięki temu nie potrzeba usuwać uprzednio CO_2, co wpływa korzystnie na koszty.

Rozwój produkcji kwaśnych roztworów myjących na bazie kwasu azotowego i fosforowego, częściowo kwasu glukonowego, w powiązaniu ze środkami powierzchniowo czynnymi i środkami antypieniącymi, umożliwia dokładne rozpuszczanie zanieczyszczeń w toku jednofazowego mycia i również dezynfekcji w krótszym czasie. Ten rodzaj mycia tanków stosuje się obecnie coraz częściej, szczególnie w tankach pośredniczących.

Przebieg pracy kształtuje się wtedy w przybliżeniu tak:

płukanie wstępne	10 min.
roztwór kwaśny	60 min.
płukanie pośrednie	5 min.
dezynfekcja	15 min.
świeża woda	10 min.

Stacje CIP do piwa filtrowanego

Do filtrowania piwa potrzebne są: filtr, przewody za filtrem, zakres tanków pośredniczących i droga rozlewu.

W CIP do mycia tych urządzeń przewidziane są:

- tanki do zasadowych środków myjących,
- tanki do kwaśnych środków myjących,
- gorąca woda (zakwaszona),
- świeża woda i
- środek dezynfekcyjny.

Ten obszar jest szczególnie wrażliwy, ponieważ pozostające tu zakażenia nie mogą być już usunięte i mogą psuć piwo przez długi czas.

Na przykładzie mycia butelkowej rozlewarki i zamykarki została już omówiona konieczność intensywnego mycia. Aby uniknąć rozmnażania drobnoustrojów na urządzeniach przed i na karuzeli rozlewarki, wynaleziono nawet „mikrobiologiczny wstępny stół" dla rozlewarki (rys. 6.2).

Mycie pianą

Odrębną kwestią jest mycie pianą, które stosuje się często do zewnętrznego mycia naczyń i urządzeń. Przez mycie pianą próbuje się uniknąć ujemnych stron innych sposobów mycia:

- Wysokociśnieniowy strumień natryskowy dochodzący do 200 bar wstrzeliwuje wodę nie tylko w gniazda zakażeń, lecz także w łożyska kulkowe, elektryczne urządzenia i ruchome części. Przez to woda wnika do urządzeń i powoduje korozję.
- Z kropelkami mgły natryskowej przenoszone są na dalekie odległości zakażenia i osiadają w nieprzewidzianych miejscach.
- Płynne środki myjące spływają szybko po pionowych ścianach i nie mogą przez to działać skutecznie lub oddziaływują tylko w bardzo krótkim czasie.

Jeżeli nanosi się pianę, wtedy unika się tych błędów. Myjąca piana jest wytwarzana przez pompę wirową o ciśnieniu roboczym 12 do 25 bar przy dopływie powietrza i natryskiwana jako ok. 2 mm gruba warstwa piany na czyszczonej powierzchni. Częściowo wystarcza także już zwykła dysza (ciśnienie < 3 bar) do wytworzenia piany.

Piana rozdziela się i wpełza powoli w wolne miejsca. Rozpuszczony brud zostaje wchłonięty przez pianę i później można go łatwo spłukać.

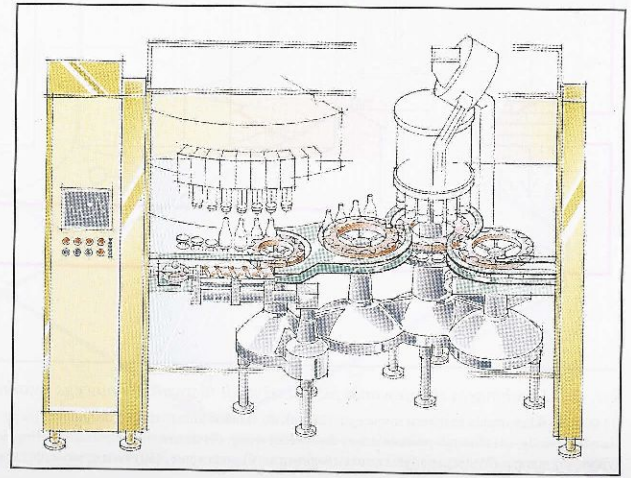
Również drobnoustroje zakażające nie unoszą się w pomieszczeniu, lecz zostają rozpuszczone i spłukane z wodą. Piana jest dobrze widoczna, a resztki piany wskazują niezupełnie spłukane miejsca po myciu.

Mycie pianą rozpowszechniło się w ostatnich latach bardzo szeroko.

> Obecnie browar musi być jak dom ze szkła, czysty i bez brudnych kątów – tylko taki można pokazać gościom, którzy od producenta piwa oczekują nadzwyczajnej czystości. Taka pełna czystość powinna być najważniejszym nakazem we wszystkich działach.

Ług w stacji CIP w czasie mycia nagromadza brud i dlatego jego użyteczność jest ograniczona. Są dwie możliwości:

- roztwór myjący używamy dwukrotnie: pierwszy raz do mycia i drugi raz do wstępnego mycia. Następnie ług wyrzucamy, lub
- ług jest oczyszczany, przy czym, podobnie jak przy myciu butelek (p. rozdz. 5.2.1.6.3), pozostawiamy go do osadzania się brudu, filtrujemy lub poddajemy obróbce.



Rys. 6.2 Mikrobiologiczny wstępny stół dla rozlewarki

Ponowne stosowanie zużytego roztworu myjącego i dezynfekcyjnego jest tylko w ograniczonym stopniu możliwe i celowe. Obecnie coraz częściej stosuje się ***kombinację składowania i nowego wsadu*** (rys. 6.3).

Przy pomocy takich urządzeń możliwe jest

- pobieranie używanego już roztworu z tanku składowego lub jego pominięcie,
- ponowne użycie środka (do składowania), jak również wyrzucenie go po użyciu (mycie do kanału),
- doprowadzenie roztworu myjącego do wymaganej temperatury (7) i
- nastawienie stężenia środka myjącego według życzenia; ustawienie stężenia odbywa się wtedy w stacji dozowania (5); tank do składowania zawiera tylko najsłabsze roztwory.

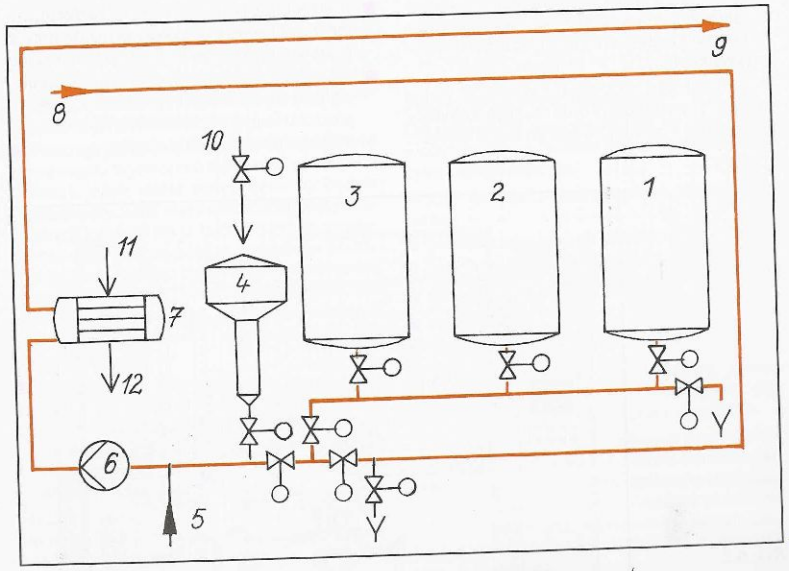
Kształt zbiornika pośredniczącego do wody (4) zapewnia przy pomocy „hydrostatycznej nogi" - jak to ma miejsce w zwykłych „wieżach ciśnień", nawet przy najmniejszej zawartości wody wysokie ciśnienie napływu i przede wszystkim niezmienność ciśnienia w systemie mycia.

6.5 Przebieg mycia

Mycie w naczyniach odbywa się przez natryskiwanie medium myjącego. Jako metody mycia stosowane są: niskociśnieniowe i wysokociśnieniowe natryskiwania.

W **wysokociśnieniowej metodzie** stosowany jest silny strumień o ciśnieniu do 60 bar, przeważnie dla mechanicznego mycia.

W **niskociśnieniowej metodzie** przy niższym nadciśnieniu do 6 bar podawany jest strumień



Rys. 6.3. Kombinacja składowania już raz użytych roztworów i nowego wsadu

(1) tank do składowania roztworu myjącego, (2) tank do składowania roztworu dezynfekcyjnego, (3) tank do składowania użytej wody, (4) zbiornik pośredniczący do świeżej wody, (5) dozowanie chemikaliów (ług, kwas, środek dezynfekcyjny), (6) pompa, (7) stacja podgrzewania, (8) powrót, (9) podawanie, (10) świeża woda, (11) para, (12) kondensat

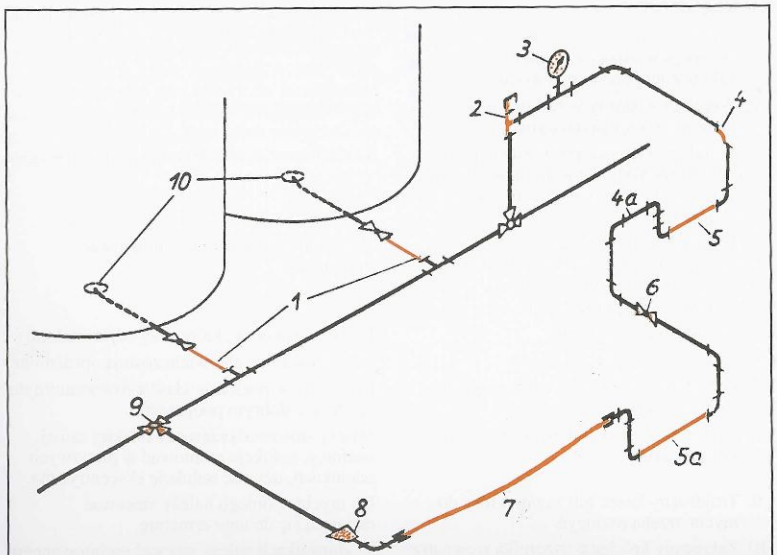
o znacznie większej ilości medium (20 do 75 m^3/h) na ściany naczynia i taki potokowy spływ umożliwia skuteczniejsze działanie chemiczne mediów. Obecnie stosuje się przeważnie niskociśnieniowe mycie.

Cała sztuka polega na tym, żeby montować w naczyniach odpowiednie **głowice natryskowe** i **dysze strumieniowe,** tak aby przy każdym myciu zostały osiągnięte przez roztwór myjący wszystkie części naczynia, także peryferyjne naroża. Producenci oferują obszerny program głowic natryskowych i dysz myjących. Należy zwrócić uwagę na to, żeby wszystkie głowice natryskowe miały też jeden mały otwór skierowany w dół. Będą nim mogły spłynąć z nich resztki środków myjących.

Każda stacja CIP do mycia zbiorników posiada dwie pompy; jedną do podawania roztworów myjących przez system przewodów do głowic myjących, drugą – pompującą spływający roztwór z powrotem. Aby nie dochodziło do spiętrzenia płynu w zbiorniku, druga pompa ma o 25% większą wydajność od pierwszej.

Stacja CIP pracuje bez zarzutu tylko wtedy, kiedy są kontrolowane i zachowane następujące kryteria:

- logiczne i bez luk następstwo kroków programu,
- dokładne oddzielenie mediów (pomiar przewodności i kontrola czasu),
- właściwe zwymiarowanie pomp,
- dokładne sprawdzanie głowic myjących i stężeń,
- stały nadzór zaworów, czujników i przyrządów pomiarowych,
- sposób wykonania wszystkich części stykających się z produktem zgodny z zasadami mechanicznego mycia i
- regularne mycie samej stacji CIP.



Rys. 6.4. Częste przyczyny niepowodzeń przy myciu przepływowym CIP (patrz tabela na str. 565)

Przy pomocy pomiaru „w linii" („on line") kontroluje się

- szybkość przepływu,
- temperaturę i
- przewodność (i tym samym stężenie)

roztworu myjącego. W ten sposób można uzyskiwać wszystkie ważne dane procesu.

Przy myciu przewodów występują błędy, których przyczyn często nie można szybko rozpoznać. Rysunek 6.4 pokazuje kilka takich przyczyn [51], opisanych w poniższym zestawieniu.

6.6 Mycie mechaniczne

Nawet wówczas, kiedy naczynia są czyste wewnątrz, należy umyć wszystkie części wyposażenia, takie jak kolana, zamknięcia, zawory, nasadki itp. Zwykle odbywa się to w wannie ze środkami myjącymi. Jednak części zewnętrzne nie dające się odłączyć, takie jak króćce przyspawane itp., muszą być myte mechanicznie. Używa się do tego często małych, przewoźnych **wysokociśnieniowych urządzeń natryskowych**. Generalne mycie przy końcu tygodnia pracy odbywa się w browarze według ustalonego programu.

Wszystkie części, które nie są objęte myciem CIP należy myć i dezynfekować ręcznie szczotkami.

Do tych części należą przykładowo: zawory kurkowe, kurki z czopem kulistym, zasuwy, zawory uruchamiane przy pomocy trzpienia, kurki do pobierania próbek. Są one ręcznie demontowane, myte, smarowane tłuszczem silikonowym i ponownie montowane. *(Nie dotyczy to kurków probierczych „Keofitt". Przyp. tł. AB).*

Błąd	Zalecenie
1. Martwe wody	W miejsce zaworu przelotowego zamontować podwójny zawór kątowy lub zawór „T"
2. Worek powietrzny z powodu ślepo zakończonej części przewodu	Usunąć
3. Worek powietrzny w rurkowym manometrze sprężynowym	Zastosować przyrząd membranowy
4. Worek powietrzny, ponieważ najwyższy punkt przewodu nie jest odpowietrzany. Taki sam błąd przy wygięciu przewodu w górę (4a)	Zamontować odpowietrzenie, żadnych wygięć w górę
5. Pozostałość, ponieważ przewód jest wygięty do dołu bez odpływu. Taki sam błąd przy wygięciu przewodu w najniższym punkcie (5a)	Żadnych wygięć w dół, zamontować opróżnianie
6. Pozostałość w zaworze	Używać zaworów, które przy odpowiednim zamontowaniu całkowicie zostają opróżnione
7. Pozostałość na skutek rozszerzenia lub zwężenia rury	Przewody w poziomie kłaść z równomiernym spadem, z dobrym podparciem
8. Pozostałość na skutek rozszerzenia lub zwężenia rury	Należy stosować przewody o takiej samej średnicy, redukcje montować w pionowych odcinkach, używać redukcję ekscentryczną
9. Trójdrożny kurek lub zawór, który do mycia trzeba rozłożyć	Do mycia w obiegu należy stosować nadającą się do tego armaturę
10. Zakręcany króciec z uszczelką wewnątrz tanku	W zbiornikach należy używać gwintowanego króćca naspawanego

Również w przypadku kiedy wszystkie naczynia są myte w systemie CIP, nie oznacza to jeszcze, że wszędzie jest porządek i czysto. Należy zadbać o to, aby:

- zostały wyszorowane szczotkami podłogi i rynny ściekowe,
- naczynia umyte były z zewnątrz,
- ściany zostały pobielone lub pomalowane itd.
- otwory oraz doły ściekowe były oczyszczone i umyte.

Ponadto należy jeszcze pomyśleć o ogólnym mechanicznym oczyszczeniu zakładu:

- o obszarach zamiatania, jak np. podłoga w śrutowni, gdzie należy zebrać odkurzaczem pył,
- o podwórzu, które należy pozamiatać; w całym browarze nie powinno być żadnego zaśmieconego kąta!

6.7 Kontrola mycia i dezynfekcji

Wyniki mycia i dezynfekcji odzwierciedlają się w zakażeniach, które występują w naszym piwie. Nadzór nad tym należy do biologicznej kontroli browaru (p. rozdz. 7.4.2), która przy pomocy różnych środków ustali miejsce i czas każdego zakażenia i dostarczy podstaw do wyciągnięcia odpowiednich wniosków co do dalszej pracy.

6.8 Ochrona pracy przy myciu i dezynfekcji

Bezpieczeństwo zatrudnionych przy obsłudze środków myjących i dezynfekcyjnych jest najwyższym nakazem. Większość stosowanych środków działa na skórę ludzką żrąco lub parząco. Ręce i twarz, a szczególnie oczy należy przy obsłudze środków myjących i dezynfekcyjnych konsekwentnie chronić przed takimi uszkodzeniami. Dlatego bezwzględnie

- należy przestrzegać instrukcji bezpieczeństwa pracy (BHP) i postępować zgodnie z nimi,
- przy mieszaniu chemikaliów zawsze przestrzegać kolejności kwas/ług/woda *(i zasady: „chemiku młody – lej kwas do wody". Przyp. tł. AB).* **Kto tej kolejności nie przestrzega, może ulec poważnym wypadkom.**
- nosić ochronne okulary, aby chronić oczy,
- zakładać przepisowe ubranie ochronne i
- w razie konieczności stosować przepisowe środki ochronne przy pracy, takie jak natryski do oczu, prysznice i inne.

7 Piwo jako produkt gotowy

Wynikiem całego procesu produkcyjnego jest piwo gotowe do spożycia. Warunkiem decydującym o utrzymaniu stałych odbiorców i pozyskaniu nowych jest niezmiennie dobra, stała jakość produkowanego przez browar piwa.

Zapewnienie dobrej jakości piwa wymaga jednak znajomości szeregu elementów, które się na tę jakość składają i o nich właśnie będzie mowa w tym rozdziale. Należą tu:

- składniki piwa i ich znaczenie dla jakości produktu,
- smak i pienistość piwa jako najważniejsze kryteria oceny,
- różne gatunki piwa i ich cechy charakterystyczne,
- metody kontroli jakości piwa.

7.1 Podstawowe składniki piwa

Woda stanowi w piwie 91 do 92% i jest największym, jeśli nie najważniejszym z jego składników. Pijący piwo bardzo szybko to zauważają.

Zapotrzebowanie organizmu dorosłego człowieka na wodę, która jest pobierana w różnych postaciach, wynosi 2 do 3 litrów dziennie. W piwie woda jest połączona z rozpuszczonymi związkami mineralnymi i dwutlenkiem węgla, a niska temperatura napoju przyczynia się do tego, że doskonale gasi on pragnienie. (*Piwo jest napojem izotonicznym, to znaczy, że jego ciśnienie osmotyczne jest podobne do ciśnienia osmotycznego krwi i to jest główna przyczyna, dla której doskonale gasi pragnienie. Przyp. tłum. AB*).

Alkohol w ilości około **5% obj.** jest jednym z najważniejszych składników piwa. W organizmie jest wchłaniany bezpośrednio i natychmiast przetwarzany w energię, co u niektórych konsumentów można szybko zobaczyć i usłyszeć.

Im wolniej piwo jest spożywane, tym niższy będzie poziom alkoholu we krwi. W czasie jedzenia, przy pełnym żołądku, przenikanie alkoholu do krwi jest ograniczone.

Oddziaływanie na organizm małych ilości alkoholu uzewnętrznia się przez stopniowe usuwanie psychicznych barier, uczucie zadowolenia, wesołość i poczucie pewności siebie. Większe ilości alkoholu prowadzą do stanu upojenia alkoholowego, w którym każdy człowiek reaguje inaczej. Dla piwowara, który codziennie ma do czynienia z piwem, jest bardzo ważne, aby o tym wiedział i panował nad sobą. Dobry piwowar to nie ten, który dobrze pije piwo, ale ten, który potrafi dobre piwo zrobić.

Zawartość alkoholu w piwie podaje się w procentach objętościowych, które znacznie się różnią od dawniej stosowanych w Niemczech procentów wagowych. Do porównania służą odpowiednie tablice.

7.1.1 Skład chemiczny piwa

Średnie zawartości alkoholu w kilku wybranych piwach niemieckich są następujące (93):

Gatunek piwa	Alkohol %wag.		Alkohol %obj.	
	średnio	od - do	średnio	od - do
Jasne pełne	3,8	3,3-4,5	4,9	4,3-58
Jasne eksport	4,3	3,7-4,6	5,4	4,4-5,9
Marcowe	4,3	3,7-4,6	5,5	4,7-5,9
Pilzner	3,9	3,4-4,5	5,0	4,4-5,7
Bock	5,0	4,2-5,9	6,4	5,5-7,5
Dietetyczne	3,8	3,7-4,1	4,8	4,7-5,1
Bezalkoholowe	0,3	0,0-0,5	0,4	0,0-0,6
Piwo lekkie	2,2	1,6-2,8	2,8	2,0-3,6
Pełne pszeniczne	4,0	3,5-4,6	5,2	4,5-5,9

Alkohol w piwie nie występuje jako czysty etanol, lecz towarzyszą mu alkohole wyższe, które w wyniku przemiany materii drożdży zostają wytworzone podczas fermentacji. Alkohole wyższe, zwane także olejami fuzlowymi, w większych ilościach powodują bóle głowy, opóźnienie reakcji i objawy zatrucia. W piwach

mocniejszych i fermentowanych przy wyższej temperaturze jest ich więcej, podczas gdy piwa lekkie zawierają mniej olejów fuzlowych. W przeciętnym piwie zawartość wyższych alkoholi jest następująca:

	mg/l
n-propanol	9,8
izobutanol	9,6
alkohole amylowe	60,1
dwufenyloetanol	19,8

Alkohole wyższe powstają przy odżywianiu się drożdży, które wykorzystują grupę aminową aminokwasów obecnych w brzeczce, zastępując ją grupą wodorotlenową (rozdz. 1.4.2).

Trzeba tu przypomnieć jako bardzo ważne, aby przez odpowiednie postępowanie podczas zacierania (rozdz. 3.2.1.5) zapewnić co najmniej 20 mg azotu α-aminowego (FAN) w 100 ml brzeczki, niezbędnego do odżywiania się drożdży.

W ekstrakcie piwa około 75-80% stanowią węglowodany, głównie dekstryny (maltotetraoza i maltopentaoza oraz w niewielkiej ilości także maltotrioza), 6-9% stanowią ciała białkowe, 4-5% glicerol oraz β-glukany, związki mineralne, garbniki, ciała goryczkowe, kwasy organiczne i cały szereg innych substancji, które mimo występowania w małych ilościach mają duży wpływ na jakość piwa.

Ważnym składnikiem ekstraktu są związki azotowe. Przeciętna ich zawartość jest następująca:

azot ogólny w piwie	600-1100 mg/l
azot koagulujący	18-20 mg/l
azot wytrącany roztworem $MgSO_4$	130-160 mg/l
azot α-aminowy (FAN)	80-120 mg/l
azot formolowy	160-210 mg/l

Wpływ związków azotowych na pienistość, trwałość koloidalną i smak piwa jest bardzo istotny.

Gliceryna w jasnych piwach pełnych występuje w ilościach 500 do 1600 mg/l. Powstaje ona jako produkt uboczny fermentacji alkoholowej i przyczynia się do złagodzenia i zaokrąglenia smaku piwa.

Związki mineralne także wpływają na jakość piwa. Pochodzą one w głównej mierze ze słodu (*ale także z wody, przyp.tłum.*):

Związek mineralny	ilość w piwie mg/l	działanie fizjologiczne na organizm
Sód	30 - 32	ilości nieistotne
Potas	500 - 600	przy dziennym zapotrzebowaniu około 250 mg działa profilaktycznie przeciw chorobom serca
Wapń	35 - 40	zapobiega chorobom serca
Magnez	100 - 110	obniża poziom cholesterolu, wspiera pracę serca
Fosforany	300 - 400	ważny składnik kości, uczestniczy w przemianach energetycznych organizmu
Siarczany	150 - 200	ilości nieistotne
Chlorki	150 - 200	ilości nieistotne
Azotany	10 - 80	tylko w przypadku redukcji do azotynów są niekorzystne dla zdrowia, ilości występujące zwykle są niższe od wymagań normy dla wody pitnej (50 mg/l)

Inne składniki ekstraktu piwa, występujące w małych ilościach, ale mające duże znaczenie dla jego jakości, to na przykład:

β-glukany	220-400 mg/l
antocyjanogeny	5-50 mg/l

Związki fenolowe znajdujące się w piwie, w szczególności antocyjanogeny, są bardzo aktywne gdy występują jako substancje niskocząsteczkowe. Odgrywają one istotną rolę w organizmie człowieka:

- działają bakteriostatycznie,
- regulują czynności serca i działają rozkurczowo w żołądku,
- przyczyniają się do wchłaniania żelaza i magnezu,
- mają działanie redukujące,
- przeciwdziałają utlenianiu.

Wahania składu chemicznego piw różnego typu są jednak bardzo duże.

Mówiąc o zawartości ekstraktu trzeba zawsze określać, czy jest to ekstrakt pozorny czy rzeczywisty, gdyż te wartości bardzo się różnią. Ekstrakt pozorny oznacza się wprost przez pomiar areometrem, natomiast rzeczywisty można oznaczyć dopiero po oddestylowaniu alkoholu.

Przykłady zawartości ekstraktów (93):

Gatunek piwa	ekstrakt pozorny %		ekstrakt rzeczywisty %	
	średnio	od - do	średnio	od - do
Jasne pełne	2,4	1,5 - 3,4	4,2	3,4 - 5,0
Jasne eksport	2,7	2,0 - 3,9	4,6	2,7 - 6,0
Marcowe	3,3	2,5 - 4,3	5,2	4,6 - 6,1
Pilzner	2,3	1,5 - 3,7	4,1	2,9 - 5,6
Bock	4,1	3,4 - 6,8	6,5	5,8 - 8,7
Dietetyczne	-0,1	-1,2 - 0,3	1,9	1,6 - 2,0
Bezalkoholowe	5,3	2,0 - 7,6	5,5	2,9 - 7,6
Pełne pszeniczne	2,4	1,8 - 37	4,3	3,7 - 5,3

Trzeba sobie jasno uświadomić, że w piwie jest o wiele więcej składników ekstraktowych niż by na to wskazywał pozorny końcowy stopień odfermentowania: 80 do 85%.

Inne cechy piwa mają także istotne znaczenie i muszą być brane pod uwagę.

Lepkość piwa wynosi 1,40 do 1,60 mPa·s. Wyższa lepkość utrudnia filtrację piwa.

Zawartość dwuacetylu i dwuketonów sąsiednich w piwie dojrzałym nie powinna przekraczać 0,10 mg/l. W każdym razie staramy się, aby ta wartość nie była przekraczana.

Wartość pH w piwach wynosi 4,3 do 4,7. Wyjątek stanowią piwa pszeniczne, w których pH jest nieco niższe (4,3-4,5).

Znaczenie fizjologiczne i żywieniowe piwa jest bardzo duże. Abstrahując od działania alkoholu, piwo jest cenione przez konsumentów z następujących powodów:

Piwo *gasi pragnienie* lepiej niż inne napoje.

Piwo *wznaga apetyt* nie tylko na pożywienie, ale również, jeśli jest dobre, na następny kufel.

Piwo *poprawia trawienie*. Niewielkie ilości alkoholu i dwutlenku węgla wzmagają czynności trawienne, co w niektórych przypadkach ma istotne znaczenie.

Piwo *działa moczopędnie*. Przyczyną tego są składniki chmielu oraz sole potasowe. Wiedzą o tym dobrze urolodzy, którzy zalecają piwo dla „przepłukiwania" nerek i usuwania kamieni nerkowych.

Piwo *nie tuczy*. Dawne przekonanie, że od piwa się tyje, powstało w czasach, gdy piwo podawano do bardzo tłustych potraw (golonka itp.).

Piwo *ma działanie usypiające*. Niewielkie ilości alkoholu po krótkim czasie działają uspokajająco. Piwo w mniejszych ilościach nie likwiduje zmęczenia, ale usuwa napięcia nerwowe, dzięki czemu ujawnia się usypiające działanie alkoholu.

Mimo że drożdże wykorzystują sporą część **witaminy B_1**, to jednak nadal piwo stanowi cenne źródło witamin. Są to witaminy z grupy **B** (B_1 i B_2), a szczególnie witamina PP. Teoretycznie zdrowiej byłoby pić mętne piwo z zawiesiną bogatych w witaminy drożdży, ale pozostałoby to w sprzeczności z aktualnymi wymaganiami rynku, który żąda pięknie klarownego napoju.

Średnia zawartość składników w piwie typu pilzneńskiego (169):

Alkohol	4,8 - 5,1 % obj. (ml/100 ml)
Ekstrakt	3,9 - 4,1 g/100g
Woda	920g/kg
Wartość kaloryczna	1.800 -1.900 kJ/kg
Węglowodany	27 - 30 g/l

Białka i aminokwasy	4,3 g/l
Aminy ogółem	do 5 mg/l
Związki mineralne	1.700 mg/l
Witaminy	20 - 22 mg/l
Kwasy organiczne	630 - 680 mg/l
Związki fenolowe	150 - 175 mg/l
Izohumulony	31 mg/l
Produkty utleniania izohumulonów	100 - 200 mg/l
Dwutlenek węgla	5 g/l
Dwutlenek siarki	3 mg/l
Azotany	23 - 25 mg/l
Szczawiany	12 - 13 mg/l
Produkty uboczne fermentacji (glicerol, alkohole wyższe, estry)	1.500 - 1.800 mg/l

7.1.2 Piwo i zdrowie

W części społeczeństwa ciągle jeszcze pokutuje pogląd, który utożsamia piwo z nadmiernym, szkodliwym dla zdrowia spożyciem alkoholu. Taki pogląd mija się jednak z prawdą. W poprzednim rozdziale zwrócono uwagę na cały szereg korzystnych dla zdrowia składników i cech piwa oraz na jego tonujące i uspokajające działanie. Natomiast nie można zaprzeczyć, że nadmierne spożycie piwa na dłuższą metę jest szkodliwe i może prowadzić do uzależnienia. Z tego względu należy rozróżnić (207):

- ***nadmierne spożycie alkoholu*** określane jako pijaństwo, szkodliwe tak dla jednostki, jak i dla społeczeństwa,
- ***spożycie alkoholu sprzeczne z regułami współżycia społecznego***; pod tym pojęciem rozumie się spożycie alkoholu na przykład przez kierowcę lub w pracy,
- ***uzależnienie od alkoholu***, co oznacza, że człowiek odczuwa nieodpartą potrzebę regularnego spożywania alkoholu, aby uniknąć złego samopoczucia. Cierpi na tym zdrowie tak fizyczne, jak i psychiczne, stosunki międzyludzkie oraz odbija się to ujemnie na wypełnianiu obowiązków społecznych i zawodowych.

Wszystkie badania ostatnich lat wskazują jednak zgodnie, że umiarkowane spożycie piwa nie jest szkodliwe, a wręcz przeciwnie, zwykle wpływa pozytywnie na zdrowie konsumentów (169, 207). Należy tu przytoczyć następujące argumenty:

- Nie tyje się od samego piwa. Jeżeli konsument odżywia się racjonalnie, to przy umiarkowanym spożyciu piwa zamiast innych bardziej kalorycznych napojów, jak np. soki słodzone, może nawet schudnąć.
- Umiarkowane spożycie piwa prowadzi do zmniejszonego odkładania się tłuszczu, gdyż alkohol działa hamująco na metabolizm substancji tłuszczowych.

  Piwo bez nadmiaru wpływa korzystnie na regulację ciśnienia i krzepliwość krwi.
- Umiarkowane spożycie piwa powoduje podwyższenie we krwi poziomu HDL-cholesterolu (tzw. dobrego cholesterolu), który jako łatwo rozpuszczalny nie odkłada się. Natomiast poziom LDL-cholesterolu, który odkłada się w naczyniach krwionośnych i blokuje ich drożność, u umiarkowanych konsumentów piwa nie wzrasta, a wręcz przeciwnie – maleje na korzyść tego pierwszego. Tak więc rozsądne spożycie piwa zmniejsza niebezpieczeństwo zawału serca.
- Liczne obserwacje wskazują na to, że osoby konsumujące niewielkie ilości alkoholu są mniej narażone na choroby naczyń wieńcowych niż zupełni abstynenci. Jednocześnie jednak ludzie spożywający duże ilości alkoholu są bardziej podatni na to schorzenie.
- Po niewielkim spożyciu piwa poziom cukru we krwi maleje. Dzięki temu występuje zwiększone wydzielanie insuliny oraz poprawa reakcji na insulinę. Zależy od tego nie tylko gospodarka cukrem, ale i przemiana tłuszczów w organizmie.
- Osoby spożywające piwo wykazują niższe ciśnienie krwi niż abstynenci. Dzięki temu poprawia się gospodarka organizmu wodą, hormonami i elektrolitami.
- Piwo jest moczopędne; dzięki temu organizm pozbywa się nadmiaru sodu, podczas gdy potas i magnez są zatrzymywane. Wysokie spożycie alkoholu działa jednak odwrotnie.
- Najnowsze badania rzuciły światło na pozytywne działanie polifenoli piwa jako przeciwutleniaczy. Te substancje działają ochronnie, zmniejszając ryzyko zachorowań na raka oraz ryzyko zawałów serca.

Podsumowując, badania wskazują na to, że umiarkowany konsument piwa mniej jest narażony na chorobę wieńcową i zawał serca niż abstynent lub osoba nadmiernie pijąca. Badania przeprowadzone na szerokiej grupie reprezentatywnej (169) wskazują na to, że śmiertelność spowodowana chorobami wieńcowymi i zawałami jest najmniejsza u tych osób, które spożywają 20 do 40 gramów czystego alkoholu dziennie (40 gramów odpowiada tu dwóm butelkom piwa). W rocznej statystyce zgonów z powodu tych chorób było dwa razy więcej abstynentów niż umiarkowanych konsumentów piwa. Jednak po przekroczeniu granicy 40 gramów alkoholu dziennie śmiertelność wzrasta.

Profesor Piendl mówi na ten temat: „Jedna butelka piwa to lepiej niż żadna. Dwie butelki są lepsze niż jedna. Ale cztery butelki nie są dwa razy lepsze niż dwie."

7.2. Smak i pienistość

Smak i pienistość piwa są ważnymi kryteriami jakości, które jednak zależnie od kraju i gatunku piwa mogą być w różny sposób oceniane. Mimo to trzeba podać kilka podstawowych informacji o tych kryteriach jakości.

7.2.1 Smak piwa

Smak piwa jest podstawowym kryterium jego jakości. Powinien być on zgodny z danym typem piwa, ponadto zależy niekiedy od kraju i mody. W każdym przypadku musi on odpowiadać oczekiwaniom klientów. Degustując piwo, konsument od pierwszej chwili powinien czuć jego aromat, pełnię smaku i charakterystyczną goryczkę oraz orzeźwiające szczypanie dwutlenku węgla. Wszystkie te odczucia uzupełniają się wzajemnie i składają na harmonijny, wyważony smak piwa.

7.2.1.1 Aromat piwa

Aromat piwa zależy od *rasy* drożdży i tworzonych przez nie ubocznych produktów fermentacji, jak również od stosowanej w produkcji *odmiany* chmielu i jego dawki oraz pochodzących z surowca **związków siarki**.

Rasy drożdży różnią się bardzo zdolnością wytwarzania ***ubocznych produktów fermentacji***, jak alkohole wyższe i estry, a zwłaszcza estry o aromatach kwiatowych. Stosunek między wyższymi alkoholami a estrami wynosi przy normalnie prowadzonej fermentacji 3:1, ale w pewnych warunkach, na przykład przy intensywnym napowietrzaniu w początkowej fazie, może się zmieniać do tego stopnia, że wynosi 12:1, dając piwa w smaku puste i pozbawione gładkości (143). W takich przypadkach wskazane jest stopniowe dodawanie drożdży przy napełnianiu tanku i powtórne napowietrzenie, aby umożliwić ich równomierny wzrost. Kształt tanku także wpływa na stosunek alkoholi do estrów. Pod tym względem najkorzystniejszy jest stosunek średnicy do wysokości 1:2, względnie 1:3.

Drożdże górnej fermentacji produkują znacznie więcej estrów i wyższych alkoholi niż drożdże fermentacji dolnej. Wynika to także z wyższych temperatur stosowanych przy fermentacji górnej. Natomiast przy zastosowaniu fermentacji ciśnieniowej ilość tych substancji maleje. Posmak estrowy jest pożądany w niektórych piwach mocnych (np. Bock), natomiast w piwach dolnej fermentacji typu pilzneńskiego tworzenie wyższych alkoholi i estrów jest niepożądane.

Aromat chmielowy jest pożądany szczególnie w piwach typu pilzneńskiego. Pochodzi on głównie od olejków eterycznych chmielu, przy czym rolę odgrywa nie tylko ich zawartość, ale także skład jakościowy. Istotny jest też sposób chmielenia, wielkość dawki, moment i sposób dawkowania oraz rodzaj produktu (chmiel naturalny, granulat, ekstrakty chmielowe).

Olejki z szyszeczek chmielowych oraz granulatów łatwiej przechodzą do roztworu niż z ekstraktów. Po dodaniu chmielu do brzeczki w kotle warzelnym znaczna część olejków przechodzi w formę rozpuszczalną. Chmiel odmian wysoko goryczkowych, mniej szlachetnych, powinien być dodawany na początku, aby mniej pożądana część olejków ulotniła się w czasie gotowania z parą wodną.

Najlepszy jakościowo chmiel aromatyczny dodaje się na końcu gotowania, aby maksymalna ilość jego aromatu pozostała w brzeczce. Przy jednogodzinnym gotowaniu brzeczki dawki chmielu dzieli się następująco (143):

25% na początku gotowania,

25% w 20 minut po rozpoczęciu gotowania,

25% na 20 minut przed końcem gotowania,

25% (chmiel aromatyczny) na 5 minut przed końcem gotowania.

Czystość aromatu chmielu w piwie zależy od:

- jakości chmielu lub granulatu chmielowego,
- dostępu powietrza w czasie gotowania brzeczki (w obecności tlenu powstaje niepożądany kwas izowalerianowy o zapachu sera),
- rozlewu piwa warunkach beztlenowych.

Aromat chmielowy wywiera także wpływ na stabilność smaku piwa.

Związki siarki wpływają na smak piwa przez tworzenie dwutlenku siarki. Dwutlenek siarki oddziałuje pozytywnie na ogólny charakter piwa, a w szczególności na stabilność smaku (144). Aby chronić piwo od niepożądanych zmian oksydacyjnych, w niektórych krajach dodaje się dwutlenek siarki do piwa przed rozlewem w postaci siarczynów. W Niemczech Reinheitsgebot, czyli prawo czystości, nie dopuszcza stosowania tego dodatku. W piwie tworzenie SO_2 zależy od rasy drożdży i napowietrzenia brzeczki. W tworzeniu aromatu piwa biorą udział także liczne lotne związki siarki, które bardzo jasnym, łagodnym piwom mogą nadać posmak „siarkowo-drożdżowy". Wywołują go głównie siarczyny i merkaptany. Ten charakter piwa można osiągnąć:

- stosując niezbyt mocno prażone słody,
- ograniczając dostęp tlenu przy wytwarzaniu brzeczki,
- zakwaszając zacier i brzeczkę,
- prowadząc szybko i sprawnie fermentację główną i dofermentowanie.

Do lotnych substancji siarkowych zalicza się siarczek metylu (DMS), który nadaje piwu aromat gotowanych warzyw. Zawartość DMS w ilości 60 mikrogramów w litrze w piwach z dodatkiem surowców niesłodowanych, a 100-130 mikrogramów w piwach czysto słodowych jest już wielkością niepożądaną (o powstawaniu prekursorów DMS w słodzie oraz ich przemianach w brzeczce patrz rozdziały 2.4.1.3.4; 2.5.1.4 i 3.4.1.9).

7.2.1.2 Pełnia smaku

Pełnię smaku konsument odczuwa jako „treść" piwa. Zależy ona przede wszystkim od ekstraktu brzeczki podstawowej.

Im mocniejsze piwo, tym jego smak jest pełniejszy. Decyduje o tym zawartość alkoholu i ekstraktu w piwie.

Od tej podstawowej reguły istnieją jednak odstępstwa, na przykład kiedy robi się piwo lekkie, to dla zaokrąglenia jego smaku można dodać nieco ciemnego słodu.

W tworzeniu pełni smakowej biorą udział wysokocząsteczkowe substancje białkowe o masie cząsteczkowej od 10.000 do 100.000.

Pozytywnie na pełnię smaku wpływają następujące cechy słodu (patrz rozdz. 2.8.3):

zawartość białka	10,5 - 11%
liczba Kolbacha	39 - 41
różnica ekstraktów	1,7 - 2%
lepkość brzeczki	1,54 - 1,57 mPa·s
barwa brzeczki przed/po gotowaniu	2,5/5,5 EBC

Nadmiernie rozluźnione słody nie dają pełni smaku. Dla piw produkowanych z dodatkiem do 20% surowca niesłodowanego słód powinien wykazywać następujące cechy:

liczba Kolbacha	do 42
różnica ekstraktów	1,5 - 1,7%
lepkość	1,50 - 1,55 mPa·s

Pozytywnie na łagodność i pełnię smaku wpływa dodatek gipsu lub chlorku wapnia do wody produkcyjnej. Również zakwaszanie brzeczki daje bardziej miękki i pełny smak.

Zacieranie prowadzi się w taki sposób, aby zawartość wolnego azotu aminowego (FAN) stanowiła 21-22% azotu ogólnego w brzeczce. Przy dzisiejszych, dobrze rozluźnionych słodach można to bez trudu osiągnąć, zacierając przy 60-62°C i odbierając pierwszą porcję zacieru do kotła zaciernego przy 62°C.
Długie przerwy białkowe, w granicach temperatur 45-55°C, dają piwa o pustym smaku i słabej pianie.

7.2.1.3 Działanie orzeźwiające

Pod pojęciem działania orzeźwiającego rozumie się odczuwane przy piciu piwa przyjemne

szczypanie w język i podniebienie. Piwo, które traci tę właściwość zbyt szybko po nalaniu do szklanki, wydaje się mdłe i zwietrzałe.

Na działanie orzeźwiające składają się:

- zawartość dwutlenku węgla w piwie,
- wartość pH.

Dobre orzeźwiające piwo ma po nalaniu do szklanki charakterystyczny wygląd: drobne banieczki dwutlenku węgla wydzielają się powoli i unosząc do góry podtrzymują pianę. Im dłużej możemy obserwować to zjawisko, tym lepiej związany z piwem jest dwutlenek węgla. Czas wydzielania się CO_2 zależy także:

- od sposobu nalewania (np. z wysoka z dużą pianą albo ostrożnie po ściance),
- od gładkości wewnętrznej powierzchni naczynia.

Z tego względu zaleca się napełniać szklanki ostrożnie, tak aby nie stracić dwutlenku węgla i szklankę szybko po napełnieniu podawać konsumentowi (czas napełnienia i podania nie dłużej niż 3 minuty). Korzystniej jest napełniać mniejsze szklanki i częściej.

Niezależnie od zawartości dwutlenku węgla na działanie orzeźwiające ma wpływ wartość pH piwa. Niższa wartość pH działa bardziej orzeźwiająco. Powinna ona wynosić w piwach czysto słodowych między 4,35 i 4,40, natomiast wartość pH piw wyprodukowanych z udziałem surowców niesłodowanych powinna wynosić 4,0-4,2.

7.2.1.4 Goryczka piwa

Goryczkę piwa tworzy przede wszystkim ***chmiel***, jednak w piwie może także występować goryczka powodowana przez:

- garbniki,
- związki białkowe,
- drożdże.

Goryczka chmielowa jest oczywiście wywoływana przez ciała goryczkowe chmielu. Wśród nich największą wartość goryczkową przypisuje się składnikowi chmielu o nazwie kohumulon. Ponadto ważną rolę odgrywa współdziałanie ciał goryczkowych z olejkami chmielowymi, które zaokrąglają i łagodzą goryczkę piwa. Chmiel goryczkowy, który zawiera najmniej szlachetne olejki, daje się do brzeczki w pierwszej dawce, by się ich pozbyć w czasie gotowania, podczas gdy ciała goryczkowe pozostają w brzeczce i ulegają izomeryzacji.

Niżej wymienione odmiany chmielu są uszeregowane według wzrastającej wartości goryczkowej (144):

- Hersbrucker/Perle,
- Bitter-Record i Northern Brewer,
- nowy amerykański Super-Alfa-Hopfen,
- Brewers Gold, Nugget i Magnum.

Odmiany polskie według tej samej zasady można uszeregować następująco *(Przyp. tł. AB)*:

- Lubelski (4% α-kwasów),
- Lomik (4,9%),
- Izabella (8,4%),
- Marynka (11,1%).

Goryczka garbnikowa uwydatnia się wówczas, gdy (Patrz rozdz. 3.3.2):

- garbniki zostaną wyługowane w nadmiarze z łuski słodu przez wodę bogatą w węglany,
- dołącza się do brzeczki końcowe porcje wody wysłodkowej (cienkusz) lub też wodę wyprasowaną z młóta słodowego,
- w wysokoprocentowej brzeczce jest zbyt duży udział wody wysłodkowej,
- garbniki brzeczki zostaną podczas gotowania zbyt mocno utlenione.

Goryczka pochodzenia białkowego ujawnia się gdy:

- przerabia się słody za słabo rozluźnione,
- zbyt intensywnie prowadzi się proces zacierania.

Goryczka drożdżowa daje się wyczuć wówczas gdy:

- stan fizjologiczny drożdży jest zły,
- drożdże są przez zbyt wiele generacji wykorzystywane w produkcji,
- zawartość drożdży w piwie młodym w leżakowni jest za duża.

Smak piwa, zależny od tylu różnych czynników, stanowi podstawowe kryterium oceny tego produktu przez konsumentów. Trzeba więc robić wszystko aby uniknąć nieprzewidzianych odchyleń i zmian smaku w wytwarzanym przez browar piwie. Niepożądane zmiany muszą być natychmiast zauważone przez piwowara, aby

mógł on w porę rozpoznać ich przyczynę i interweniować. Tylko w ten sposób można zapewnić stałą, dobrą jakość piwa.

7.2.2 Pienistość piwa

Powstawanie piany

Piana powstaje przy nalewaniu piwa do szklanki, dzięki zawartości CO_2 w tym napoju. Dwutlenek węgla wydziela się z roztworu w wyniku spadku ciśnienia po otworzeniu butelki. Banieczki gazu otaczają się powierzchniowo czynnymi składnikami piwa i pociągają je z sobą ku górze. Składniki te mają niskie napięcie powierzchniowe, co pozwala im w określonych granicach tę powierzchnię rozszerzać. Nad powierzchnią piwa ich elastyczna błonka otacza nadal banieczki gazu, tworząc ozdobę kufla – pianę.

Im bardziej piwo nasycone jest dwutlenkiem węgla tym więcej powstanie piany, ale jej ilość nie jest równoznaczna z trwałością. Trwałość piany zależy od obecności w piwie wyżej wspomnianych substancji powierzchniowo czynnych. Jak wiadomo, w szklance wody mineralnej, bardziej nasyconej dwutlenkiem węgla niż piwo, po nalaniu nie wytworzy się piana, bo brak tu takich substancji. Trzeba więc rozróżniać przyczyny tworzenia piany i przyczyny jej trwałości.

Załamywanie się i opadanie piany

Załamywanie się piany rozpoczyna się zaraz po jej wytworzeniu, ale szybkość tego procesu może być bardzo różna. Zaczyna się on od pękania i spływania błonek na banieczkach znajdujących się na powierzchni piany, ale jednocześnie dzięki parowaniu piana w swej górnej warstwie ulega wzmocnieniu. Pozwala to, po upływie krótkiego czasu (około jednej minuty), na dolanie piwa do kufla, przy czym wzmocniona na swej powierzchni piana utworzy piękną koronę wystającą ponad krawędzie naczynia.

Czynniki wpływające na trwałość piany

Przede wszystkim trzeba rozróżnić substancje wpływające na pianę dodatnio od tych, które na nią wpływają negatywnie.

Dodatnio na pianę wpływają głównie ciała białkowe piwa, o masie cząsteczkowej między 10.000 i 60.000, a także substancje goryczkowe chmielu. Dlatego w piwach mocno chmielonych można oczekiwać dobrej trwałości piany. Także garbniki mogą wpływać wzmacniająco na pianę, pod warunkiem że nie są utlenione.

Negatywnie wpływa na trwałość piany przede wszystkim alkohol oraz uboczne produkty fermentacji, a także antocyjanogeny i aminokwasy, jeśli występują w zbyt dużej ilości.

Wielkość wpływu różnych substancji na trwałość piany (w punktach wg Rossa i Clarka) jest, jak widać z poniższego zestawienia, bardzo różna (142):

Czynnik wywierający wpływ	Wielkość zmiany czynnika o	Wywołana zmiana o
Azot koagulujący	+ 0,1 mg/100 ml	+ 1 punkt
Azot wysokocząsteczkowy	+ 1 mg/100 ml	+ 0,9 pkt
Lepkość	+ 0,1 cP	+ 2,6 pkt
Ciała goryczkowe	+ 1 mg/litr	+ 0,5 pkt
Azot niskocząsteczkowy	+ 0,1 mg/100 ml	- 0,3 pkt
Antocyjanogeny	+ 1 mg/litr	- 0,2 pkt
Alkohol	+ 0,1%	- 1,4 pkt

Z powyższej tabelki można wyciągnąć szereg wniosków do zastosowania w praktyce:

Wpływ **słodowania**, a w szczególności wysokiego rozluźnienia nie jest jednoznacznie określony. Wyższe temperatury końcowe suszenia natomiast zdecydowanie poprawiają pienistość;

Wpływ **zacierania na trwałość piany** jest znaczący: wszystkie przerwy mające na celu rozkład białek i glukanów jednocześnie zmniejszają trwałość piany. Długie przerwy w temperaturach od 50 do 60°C zdecydowanie wywołują pogorszenie piany. Aby tego uniknąć, staramy się utrzymywać wyższe temperatury od początku zacierania (62 do 65°C) oraz dłuższą przerwę przy 70-72°C i wartości pH 5,2 do 5,3.

Podczas **fermentacji i dojrzewania piwa** drożdże mogą wpłynąć negatywnie na jakość piany, jeśli dopuścimy do ich osłabienia przez nieprawidłowe przechowanie, późny zbiór lub złe warunki rozmnażania. Przy ciepłym i długim leżakowaniu lub zbyt wysokim ciśnieniu drożdże wydzielają większe ilości substancji pochodzących z rozkładu komórek, które mogą wpłynąć ujemnie na jakość piany.

Inne czynniki wpływające ujemnie na trwałość piany

Niezależnie od czynników technologicznych, które występują w browarze, trwałość piany może ulec pogorszeniu wskutek nieprawidłowego obchodzenia się z produktem w obrocie handlowym. Najgroźniejszym czynnikiem negatywnym jest gaszące pianę działanie tłuszczów, które przeniesione z potraw na krawędź kufla mogą w kilka sekund pozbawić piwo piany. Nawet najdrobniejsze ślady tłuszczu na wewnętrznych ścianach szklanki są dla piany groźne. Mycie szklanek i kufli razem z talerzami, wycieranie tą samą ścierką, wszystko to może przenieść ślady tłuszczu z talerzy na szkło w ilości wystarczającej, aby skutki tego były widoczne. (*Najlepiej wycierać szklanki tylko z zewnątrz. Czysta woda po spłukaniu powinna ociekнąć i dużo lepiej nalać piwo do wilgotnej szklanki niż do wytartej nieodpowiednią ścierką – przyp. tłum. A.B.*). Personel restauracji i barów powinien dobrze znać te zasady i pamiętać o ich stosowaniu. Przypominanie odbiorcom piwa o tych zasadach i kontrola ich respektowania jest zadaniem odpowiednio przeszkolonych przedstawicieli browarów.

Istnieje jednak cały szereg pozytywnych czynników, które mogą poprawić trwałość piany. W przypadku piwa beczkowego należy do nich rodzaj dodawanego gazu. Gazy, które trudno rozpuszczają się w piwie, dają trwalszą pianę niż łatwo rozpuszczalny dwutlenek węgla. Dotyczy to zarówno powietrza, jak i coraz szerzej stosowanego w tym celu czystego azotu (N_2). Ten ostatni daje bardzo trwałą, gęstą pianę (patrz rozdz. 5.5.8).

Azot znajduje w wielu krajach coraz większe zastosowanie przy podawaniu piwa z beczek, przy czym trzeba pamiętać o równowadze nasycenia napoju dwutlenkiem węgla i azotem, żeby przez nadmiar tego ostatniego nie spowodować zbyt dużych strat CO_2. Azot zmienia smak piwa w kierunku „łagodnym" w odróżnieniu od „szczypiącego" smaku, jaki nadaje dwutlenek węgla. Piwo, do którego dodano zbyt wiele azotu, staje się bardziej mdłe i traci w dużym stopniu swe orzeźwiające walory.

Dalszą możliwością poprawienia trwałości piany jest dodanie środków stabilizujących. Należą do nich sole żelaza (0,6 g/hl), które stosuje się razem ze środkami redukującymi, aby uniknąć zmiany barwy piany. Sole niklu i cynku w połączeniu z wysokocząsteczkowymi białkami również działają stabilizująco na pianę. Alginiany oraz guma arabska także poprawiają stabilność piany. Należy ściśle przestrzegać sposobu dawkowania przepisanego przez wyspecjalizowane firmy. Trzeba także pamiętać, że wszystkie te dodatki wywierają pewien wpływ na smak piwa. Niemieckie prawo czystości składu (Reinheitsgebot) zabrania ich stosowania.

Istotną możliwość podkreślenia pienistości piwa stwarza kształt szklanki. Do określonych i mających swą tradycję piw stosuje się również tradycyjne kształty szklanek i kufli, np. do mocno pieniących się piw pszenicznych (Weizenbier) stosuje się zawsze bardzo wysokie szklanki, które tę pianę dobrze eksponują.

Od piw typu pilzneńskiego wymaga się obfitej, trwałej piany o wartościach:

120 do 130 s według Rossa i Clarka albo

220 do 290 s według NIBEM (patrz rozdz. 7.4.3.6).

(*Polskie normy wymagają, aby piana na piwie jasnym typu pilzneńskiego, nalanym do szklanki, utrzymywała się co najmniej przez cztery minuty – przyp. tłum. A.B.*).

Ze względu na pianę, lepsze są wąskie, wysokie szklanki o niewielkich pojemnościach, 0,3 do 0,4 l. Nalewać trzeba do pochylonej szklanki po jej ściance, a po uspokojeniu się zawartości i wzmocnieniu górnej warstwy piany dopełniać jej zawartość. Inne rodzaje szklanek i kufli znajdują zastosowanie zależnie od okoliczności.

7.3 Różne gatunki piwa i ich charakterystyka

Na świecie jest wiele tysięcy piw różnej marki i każdy browar usiłuje rozwijać swoje własne, aby sprostać upodobaniom klientów i osiągnąć sukces na rynku. Liczne spośród tych marek można grupować według określonych gatunków piwa, jakie z biegiem czasu rozwinęły się w pewnych krajach lub regionach.

Według metody fermentacji i odpowiednich do niej szczepów drożdży wszystkie gatunki piwa dzieli się na dwie wielkie grupy:

- piwa górnej fermentacji,
- piwa dolnej fermentacji.

W następnych punktach podana zostanie skrócona charakterystyka górnej fermentacji, a następnie kilka przykładów typowych piw otrzymywanych tą metodą. W kolejnym punkcie omówione zostaną najbardziej znane piwa dolnej fermentacji i aktualne tendencje rynku.

7.3.1 Piwa górnej fermentacji

Dawniej wszystkie piwa były produkowane metodą górnej fermentacji. Pierwsze próby fermentowania piw na zimno miały miejsce w XV wieku, ale metoda fermentacji dolnej rozpowszechniła się, począwszy od Pilzna, dopiero w drugiej połowie wieku XIX. W Niemczech przed stu laty jedną czwartą piw produkowano jeszcze metodą górnej fermentacji.

Obecnie w Europie piwa górnej fermentacji produkowane są w następujących krajach:

- w Niemczech – Weizenbier, Weissbier, Altbier i Kölsch,
- w Wielkiej Brytanii – ale, porter i stout,
- w Belgii – lambic, gueuze, trapistów, piwa białe i inne.

Piwa górnej fermentacji różnią się istotnie od piw fermentacji dolnej: różnice zaczynają się od drożdży oraz ich produktów przemiany materii, które nadają piwom całkiem odmienny charakter. Zanim więc przejdziemy do omówienia poszczególnych gatunków, trzeba wyjaśnić podstawowe różnice między tymi dwoma typami fermentacji.

7.3.1.1 Charakterystyka górnej fermentacji

Pączkujące drożdże górnej fermentacji trzymają się razem w rozgałęzionych zespołach, które dopiero po zakończeniu fermentacji rozdzielają się na pojedyncze komórki. Konglomeraty drożdży wraz z wydzielającym się obficie dwutlenkiem węgla wynoszone są na powierzchnię fermentującej brzeczki i gromadzą się w pianie, skąd można je zebrać (*stąd nazwa fermentacji górnej, przyp. tłum. A.B.*)

Różnice fizjologiczne między drożdżami górnej a dolnej fermentacji

Fermentacja rafinozy

Ważną cechą różniącą drożdże górnej i dolnej fermentacji jest ich zdolność fermentowania trójsacharydu rafinozy. Drożdże dolnej fermentacji wykorzystują ten cukier w całości, podczas gdy drożdże górnej fermentacji zdolne są wykorzystać tylko jedna trzecią tego cukru (*ta różnica wykorzystywana jest tylko jako cecha diagnostyczna, gdyż rafinoza w piwie nie występuje, przyp. tłum. A.B.*).

Zarodnikowanie

Większość drożdży górnej fermentacji w odpowiednich warunkach wytwarza zarodniki już po 48 godzinach, podczas gdy u drożdży dolnej fermentacji proces ten następuje dużo wolniej.

Produkty uboczne fermentacji

Drożdże górnej fermentacji wytwarzają dużo większe ilości produktów ubocznych, jak alkohole wyższe i estry. Ponadto drożdże używane w produkcji piw pszenicznych (Weizenbierhefe) mają zdolność wytwarzania

4-winylo-gwajakolu w ilościach od 0,5 do 3 mg/l i

4-winylo-fenolu w ilościach od 0,1 do 0,7 mg/l,

które piwom pszenicznym nadają ich typowy smak i zapach przypominający goździki.

Prowadzenie fermentacji górnej

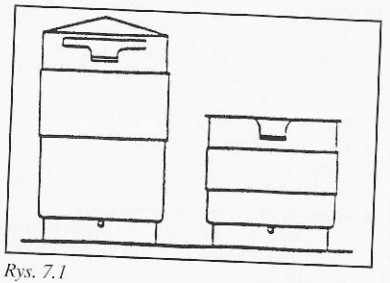
Charakteryzując górną fermentację trzeba zwrócić uwagę na następujące elementy:

typ naczyń fermentacyjnych,
skład chemiczny brzeczki,
nastawianie fermentacji,
przebieg fermentacji głównej,
przemiany zachodzące w brzeczce,
dofermentowanie,
zbiór i zagospodarowanie drożdży.

Naczynia do fermentacji górnej

Drożdże górnej fermentacji zbiera się z pianą z powierzchni fermentującego płynu i z tego względu tradycyjne kadzie są zawsze wyposażone w otwór przelewowy (rys. 7.1). Drożdże są ściągane z powierzchni przez ten otwór za pomocą odpowiedniej szufli i zbierane w kadce drożdżowej. Nowszym rozwiązaniem są leżące tanki fermentacyjne, z zmykanym włazem do odbierania drożdży.

Przy wykorzystaniu tanków cylindryczno-stożkowych, trzeba w nich pozostawić 50% wolnej przestrzeni na pianę



Rys. 7.1
Otwarte i zamknięte naczynia do fermentacji górnej z przelewem do odbioru drożdży

Skład chemiczny brzeczki

Przy brzeczkach ze słodu jęczmiennego nie ma tu żadnej różnicy między obomą typami fermentacji. Natomiast jeśli przerabia się 50-70% słodu pszenicznego, trzeba się liczyć z mniejszą zawartością azotu aminowego dostępnego dla drożdży, który trzeba uzupełnić przez bardzo dobrze rozluźniony słód jęczmienny.

Nastawianie fermentacji

Temperatury nastawienia fermentacji stosuje się w granicach 12 do 16°C. Wysiew drożdży wynosi 0,24 do 0,5 litra gęstwy drożdżowej na hektolitr brzeczki. Napowietrzanie brzeczki powinno zapewnić 5-8 mg O_2/l.

Przebieg fermentacji głównej

Podczas fermentacji górnej rozróżnia się dwa stadia:

- stadium gromadzenia w pianie i zbioru żywic chmielowych,
- stadium odbierania drożdży z powierzchni fermentującej brzeczki.

Pierwsze stadium zaczyna się po 8-12 godzinach po nastawieniu fermentacji i trwa 12 do 24 godzin. W tym czasie gromadzą się w pianie obok drożdży przede wszystkim żywice chmielowe, wytrącone wskutek obniżenia pH, oraz połączenia białkowo-garbnikowe i inne cząstki osadu. Pianę z tymi zanieczyszczeniami zbiera się z powierzchni i usuwa, aby później uzyskać czyste drożdże.

W tworzącej się później pianie „wysokich krążków" w coraz większej ilości zbierają się *drożdże*. Odbieranie drożdży zaczyna się po upływie jednego do półtora dnia od nastawienia fermentacji, czynność tę powtarza się co 3 do 6 godzin. Temperatura w kadzi podnosi się do 18-22°C, a fermentacja przebiega tak intensywnie, że po 48-60 godzinach osiągany jest potrzebny stopień odfermentowania.

Przemiany w brzeczce

Wyższe temperatury, ale także odmienne właściwości drożdży górnej fermentacji dają w wyniku cały szereg różnic w stosunku do fermentacji dolnej:

W wyniku intensywniejszego rozmnażania drożdży podczas zafermentowania wartość pH bardziej się obniża i z początkowego poziomu 5,4-5,7 spada do 4,0-4,2.

W rezultacie większego spadku pH i intensywnego wydzielania dwutlenku węgla ciała goryczkowe są wytrącane w większym stopniu.

Uboczne produkty fermentacji, a przede wszystkim wyższe alkohole i estry powstają w większej ilości. Zawartość tych substancji w piwie górnej fermentacji może być dwukrotnie większa niż w piwach typu pilzneńskiego.

Dofermentowanie

Przy nowoczesnych metodach produkcji piw fermentacji górnej proces dojrzewania i leżakowania prowadzi się podobnie jak w przypadku fermentacji dolnej. Zadaniem dojrzewania jest redukcja dwuacetylu, a następnie po schłodzeniu do 7°C oddziela się drożdże i piwo schładza dalej do -1°C. Oddzielanie drożdży często przeprowadza się za pomocą wirówki. W każdym przypadku trzeba je usunąć, aby uniknąć autolizy.

Zbiór i zagospodarowanie drożdży

Oczyszczanie zebranych drożdży, jeśli istnieje taka potrzeba, można przeprowadzić na sitach. Krótkie przechowanie gęstwy drożdżowej, do 4 dni w temperaturze 3-4°C, nie wymaga usunięcia z niej piwa. Przy dłuższym przechowaniu, do 10 dni, bardziej wskazane jest przemycie drożdży i trzymanie ich pod warstwą wody.

Tych samych drożdży można używać wielokrotnie i znacznie dłużej niż przy fermentacji dolnej. Regułą jest 5 do 15 pasaży, ale są browary, które te same drożdże przy właściwej kontroli wykorzystują przez cały rok z dobrym skutkiem. Inaczej jest w przypadku drożdży używanych do piw pszenicznych, które po 2-3 pasażach tracą stopniowo zdolność tworzenia 4-winylo-gwajakolu, co powoduje konieczność wprowadzenia nowej kultury.

Propagacja drożdży górnej fermentacji odbywa się w zasadzie tak samo jak drożdży fermentacji dolnej.

7.3.1.2 Piwa pszeniczne

Piwo pszeniczne (Weizenbier) jest to piwo górnej fermentacji, wyprodukowane przy udziale przynajmniej 50% słodu otrzymanego z pszenicy, z brzeczki podstawowej o zawartości co najmniej 11% ekstraktu.

Cechy charakterystyczne piw pszenicznych

Dzięki wytworzonym przez drożdże charakterystycznym składnikom aromatu, piwa te różnią się wyraźnie od innych piw górnej fermentacji (201).

Typowy aromat piw pszenicznych polega przede wszystkim na obecności ***4-winylo-gwajakolu*** występującego w ilości 0,2-3,2 mg/l, najczęściej 1,5-2 mg/l. Pozytywnie na powstawanie tego składnika wpływają:

- niskie temperatury na początku zacierania,
- wartość pH zacieru 5,7 do 5,8,
- udział w zasypie co najmniej 40% słodu jęczmiennego,
- odpowiednia rasa drożdży,
- temperatury fermentacji 20-24°C,
- wczesny zbiór drożdży,
- wymiana drożdży po dwóch pasażach.

Spośród ***estrów*** w szczególności na aromat tego piwa wpływa octan etylowy i izobutylowy, w ilościach od 35 do 40 mg/l. Ich ilość zależy od rasy drożdży i przebiegu fermentacji.

Wyższe alkohole, których normalna zawartość waha się między 150 a 160 mg/l, w piwie pszenicznym reprezentowane są przede wszystkim przez propanol i metylopropanol. Jeśli ich stosunek do estrów wynosi 3 lub 4:1, to smak piwa jest wyrównany.

Specjalny problem stanowi ***aromat drożdżowy*** w mętnych piwach pszenicznych z zawartością drożdży. Drożdże te są inaktywowane i zawartość martwych komórek może sięgać 100%. W takich piwach może występować neutralny lub przyjemnie drożdżowy aromat, natomiast niepożądane są wynikające z autolizy drożdży posmaki siarkowe, stęchłe i nieprzyjemny posmak goryczki.

Produkcja dobrych piw pszenicznych z drożdżami wymaga wielkiego doświadczenia. Zależnie od ilości pozostawionych w piwie drożdży rozróżnia się:

- ***piwa pszeniczne drożdżowe*** (Hefeweizenbiere) zawierające co najmniej 1 milion komórek drożdżowych w mililitrze,
- ***mętne piwa pszeniczne drożdżowe*** (Hefetrübe Weizenbiere) zawierające co najmniej 10 milionów komórek drożdżowych w mililitrze.

Piwa pszeniczne stanowiły w Niemczech w roku 1997 ponad 5% produkcji.

Przyczyny powodzenia piw pszenicznych w Niemczech są następujące:

- **wysoka zawartość dwutlenku węgla, od 6 do 10 g/l, która wpływa na bardzo orzeźwiający charakter napoju,**
- **typowy aromat piwa pszenicznego, dzięki zawartości estrów, wyższych alkoholi i in., który amatorom tego piwa bardzo odpowiada.**

Rozróżnia się dwa rodzaje piw pszenicznych:

- **piwa pszeniczne z drożdżami** (Hefeweizen),
- **piwa pszeniczne klarowne** (Kristallweizen), które są filtrowanymi piwami nie zawierającymi żadnych komórek drożdżowych.

Produkcja piwa pszenicznego z drożdżami

Piwa pszeniczne drożdżowe mają bardzo różne barwy, od 8 do 14 jednostek EBC jasne, do 25 a nawet 60 jednostek ciemne. Gęstość brzeczki podstawowej wynosi najczęściej 11-12%, czasami 13%.

Prowadząc zacieranie trzeba mieć na uwadze nieco trudniejszą proteolizę białek pszenicy. Zwykle stosuje się metodę dekokcyjną dwuwarową, z początkowymi temperaturami między 35-37°C. Gotowanie odebranych porcji zacierów trwa 20-25 minut.

Fermentację nastawia się przy 12°C, dodając 0,3 do 1 litra gęstwy drożdżowej na hektolitr brzeczki. Fermentacja główna rusza bardzo szybko, przebiega przy 13 do 21°C i w ciągu 3-4 dni osiągane jest odfermentowanie końcowe. Pozorny stopień odfermentowania wynosi zwykle 78-85%. W tym momencie następuje zbiór drożdży.

Aby uzyskać w czasie dofermentowania wystarczającą ilość CO_2, trzeba dodać świeżej brzeczki w ilości 6-7% albo młodego piwa, odebranego z innej kadzi w fazie fermentacji głównej przy wskazaniu areometru 9-10%. Dofermentowanie prowadzi się pod ciśnieniem. Dodając tylko brzeczkę, trzeba uzupełnić ją świeżymi drożdżami, zwykle dolnej fermentacji.

Przy wyżej opisanych zabiegach należy unikać kontaktu młodego piwa z powietrzem.

Szczególną cechą drożdżowych piw pszenicznych jest fermentacja w butelkach. Rozróżnia się przy tym dwie metody:

- fermentacja w butelkach **bez leżakowania** w tanku,
- fermentacja w butelkach **z leżakowaniem** w tanku.

Fermentacja w butelkach bez leżakowania w tanku

Młode piwo po fermentacji głównej wzbogaca się świeżą brzeczką z drożdżami, rozlewa się do butelek i dofermentowuje w dwóch etapach:

- 1 etap: 3-7 dni przy 12 do 20°C; ekstrakt pozorny spada przy tym do 0,1-0,2% i następuje redukcja dwuacetylu. Ciśnienie w butelce wzrasta do 1,5-2 bar.
- 2 etap: 14 do 21 dni przy 5°C; nadciśnienie w butelce pozostaje bez zmiany: 2 bar.

Fermentacja w butelkach z leżakowaniem w tanku

Przy tej metodzie piwo po krótkim zafermentowaniu przesyłane jest do tanków i tam fermentowane przez 6 dni na ciepło (12-20°C), a następnie 14 dni w tanku chłodzonym (ok. 1°C). Dopiero wówczas piwo jest wzbogacane brzeczką z drożdżami i dofermentowane w butelce.

Charakterystyka przeciętnego piwa pszenicznego dofermentowanego w butelce (200):

Ekstrakt brzeczki podstawowej	12, 2%
Ekstrakt pozorny w piwie	2,33%
Ekstrakt rzeczywisty	4,22%
Alkohol, % obj.	5,26
Odfermentowanie pozorne	81,6%
Wartość pH	4,32
Barwa (jednostki EBC)	10,9
Wartość goryczkowa	17 BU
Trwałość piany (Ross i Clark)	126 s

Produkcja klarownego piwa pszenicznego (Kristallweizen)

Piwa tego typu mają zwykle ekstrakt brzeczki podstawowej 12-13% i barwę w granicach 8-12 jednostek EBC. Zasyp składa się w 50-70 procentach z jasnego słodu pszennego, z ewentualnym dodatkiem specjalnych słodów barwiących. Zacieranie prowadzi się tak samo jak przy pszenicznych piwach drożdżowych. Fermentacja główna przebiega podobnie, ale po jej zakończeniu bez chłodzenia piwo spuszcza się do ciepłego tanku dla dofermentowania na czas 3 do 7 dni przy ciśnieniu 4-5 bar, przy czym następuje stopniowe schłodzenie do 8°C. Następnie spuszcza się piwo z dodatkiem drożdży do zimnego tanku, gdzie w ciągu 10 dni schładza się je do 0°C, osiągając znowu ciśnienie 5 bar. Na tydzień przed filtracją ochładza się piwo do temperatury -2°C, którą utrzymuje się aż do rozlewu.

7.3.1.3 Piwo białe

Piwo białe (Weissbier) produkowane jest przy zastosowaniu 35 do 50% słodu pszenicznego. Jest to piwo jasne, z natury mętne, o zawartości alkoholu 2,7 do 2,8% obj. i 0,7% CO_2, otrzymywane z brzeczki zawierającej 7,5% ekstraktu. Fermentacja zachodzi pod wpływem mieszanej kultury drożdży górnej fermentacji i bakterii mlekowych żyjących z nimi w symbiozie. Dzięki temu przy końcu fermentacji piwo białe ma wartość pH 3,2-3,4 i kwaskowy smak. W

niektórych browarach po fermentacji dodaje się do tego piwa nieco brzeczki i drożdży i przeprowadza dofermentowanie w butelkach. Wytworzony kwas mlekowy utrwala piwo, tak że można je nawet przez rok przechowywać, przy czym smak stopniowo dojrzewa dzięki wytwarzaniu składników bukietu kosztem kwasu. Przy produkcji piwa białego nie gotuje się brzeczki, tylko w ciągu 25-30 minut przetrzymuje w temperaturze 95°C. Niewielką dawkę chmielu 20-30 g/hl dodaje się do zacieru.

Najbardziej znane spośród białych piw jest *„Berlińskie białe"* (Berliner Weisse), które podaje się w szerokich czarkach. Musujący napój o lekko kwiatowym aromacie doskonale gasi pragnienie. Dla złagodzenia kwaśnego smaku wielu konsumentów pije białe piwo z łyżeczką syropu malinowego. *(Na polskim rynku jest bardziej znane „Schneider Weisse". Przyp. tł. AB).*

7.3.1.4 „Stare piwo" (Altbier)

Altbier jest piwem wytwarzanym według starej sztuki warzenia, otrzymywanym ze słodu jęczmiennego i pszennego. Jest to krzepkie, ludowe piwo górnej fermentacji o gorzkim smaku i ciemnobursztynowej barwie.

Altbier produkuje się z brzeczki o zawartości 11,5 do 12% ekstraktu, a jego moc wynosi 4,8 do 5% obj. alkoholu. Barwa mieści się w granicach 30-38 jednostek EBC, a goryczka wynosi 30-40 BU.

Browary produkujące ten typ piwa leżą wszystkie, niemal bez wyjątku, nad dolnym Renem. Mimo to piwo Altbier, które przed niewielu laty ponownie odkryto i znacznie poprawiono jego jakość, można spotkać w całych Niemczech. W roku 1997 stanowiło ono 3,2% produkcji niemieckiej. Jako mieszanki słodu do produkcji tego piwa stosuje się:

- 99% słodu jasnego i 1% słodu barwiącego,
- 90% słodu ciemnego i 10% jasnego,
- 70% słodu wiedeńskiego, 20% monachijskiego i 10% pszennego (patrz rozdz. 2.9.10).

Stosowane metody zacierania nie różnią się od zwykłych. Chmiel dawkuje się w 3-5 porcjach, ale wymaga się wysokiej jego jakości. Fermentację nastawia się:

- z dawką gęstwy drożdżowej 0,5 l/hl przy 12°C, z maksymalną temperaturą fermentacji 16°C albo
- przy zwykłej dawce drożdży w temperaturze nastawienia 18°C, a maksymalnej 20°C.

Po ochłodzeniu do 14-16°C odbiera się część drożdży i pozostawia piwo przez pewien czas dla redukcji dwuacetylu. Następnie schładza się do 0°C i leżakuje 1 do 2 tygodni.

7.3.1.5 Kölsch – Tradycyjne piwo z Kolonii

Kölsch jest ziołowym jasnym piwem produkowanym wyłącznie w Kolonii. Jest to piwo wytwarzane z brzeczki zawierającej 11,2 do 11,5% ekstraktu, którego barwa wynosi 7-10 jednostek EBC, wartość goryczy 16-35 BU, a zawartość alkoholu 4,6-5,1% obj. (200).

Piwo to reprezentuje w Niemczech 2,1% spożycia, które ogranicza się wyłącznie do rejonu Kolonii.

Do jego produkcji stosuje się głównie słód typu wiedeńskiego z dodatkiem do 20% słodu pszennego, co pozwala osiągnąć zaokrąglenie i pełnię smaku. Zaciera się metodą infuzyjną albo dekokcyjną jednozacierową. Fermentacja główna trwa 3 do 4 dni przy 14 do 18°C. Następnie schładza się do 8-10°C i z niewielką częścią ekstraktu przesyła do tanków leżakowych. Leżakowanie trwa:

- przy temperaturach 4-5°C 40 do 60 dni
- przy 0-1°C 14 do 40 dni, ale poprzedzone okresem dojrzewania.

7.3.1.6 Ale – angielskie piwo górnej fermentacji

Ale jest wspólną nazwą dla wielu, najczęściej ciemnych, gatunków piw angielskich górnej fermentacji. Do ich produkcji stosuje się mocno rozluźnione słody, a zacier przygotowuje metodą infuzyjną.

Zwykle do produkcji ale stosuje się także dodatek surowców niesłodowanych, lecz niektóre z nich produkuje się z samego tylko słodu.

Zawartość alkoholu w tych piwach może wahać się między 3 a 10%. Stosownie do niej różnia się piwa lekkie – light, ciężkie – heavy i eksport – strong, czyli mocne. Specjalne piwa ale bywają produkowane w określonych porach roku, w ciągu jednego lub dwóch miesięcy, z dodatkami różnego rodzaju, jak miód, imbir, skórka pomarańczowa i inne części owoców. Odżywa przy tych okazjach tradycyjny typ piwa znany jako **India Pale Ale**, który kiedyś produkowany był z dużą dawką chmielu i wysoką zawartością alkoholu dla zapewnienia mu trwałości i umożliwienia transportu morskiego do Indii lub innych krajów odległych.

Pale ale jest piwem o barwie miedzianej i zawartości 4,5 do 5% alkoholu, produkowanym z 11-procentowej brzeczki. Jego barwa waha się między 15 a 30 jednostek EBC a wartość goryczkowa między 20 a 25 BU. Najczęściej piwo to występuje na rynku w butelkach.

Bitter ale jest nieco ciemniejszym, wytrawnym piwem o kasztanowobrązowej barwie, jest mocno chmielone (25-40 BU), na rynku najczęściej występuje jako piwo beczkowe. Bitter jest typowym piwem górnej fermentacji. Zawartość ekstraktu w brzeczce podstawowej wynosi 9-13%, natomiast moc piwa waha się w granicach 4-5,5% obj.

Mild ale jest piwem ciemniejszym i słodszym od poprzedniego, gdyż do jego produkcji używa się słodu karmelowego i dodaje karmelizowany cukier do kotła warzelnego. Mild ale ma zwykle niższą zawartość alkoholu, 3-3,5% obj., natomiast jego ciemna barwa waha się między 40 a 50 jednostek EBC. Goryczka, mniejsza niż w bitter, kształtuje się na poziomie pale ale i wynosi 20-25 BU.

Scotch ale produkuje się przy użyciu słodów aromatycznych i z tego względu w jego bukiecie akcent słodowy jest mocno zaznaczony. Barwa układa się w granicach 20-25 jednostek EBC, a wartość goryczy między 30 a 50 BU. Określenie scotch ale stosuje się czasem do bardzo ciemnych, ze słodowym posmakiem piw:

- heavy ale z zawartością ekstraktu wyjściowego 8,5-9,5 %,
- export ale produkowane z brzeczki o ekstrakcie 10-11%.

Brown ale jest to piwo o mocy 6% obj. alkoholu, produkowane z brzeczki o zawartości 14% ekstraktu. Barwa jego jest bardzo ciemna i wynosi od 60 do 120 jednostek EBC. Wartość goryczkowa tego piwa waha się między 20 a 35 BU.

7.3.1.7 Stout

Stout jest bardzo ciemnym piwem górnej fermentacji, o barwie 200 jednostek EBC, produkowanym z mieszaniny bardzo dobrze rozluźnionych jasnych słodów, do których dodaje się 10-20% surowców wnoszących mocne zabarwienie, jak słód barwiący lub karmelowy. Największy producent tego piwa, Guinness, używa do jego produkcji 10% palonego jęczmienia. Dawka chmielu jest bardzo wysoka, 600-700 g/hl, co daje goryczkę w wysokości 40-50 BU. Ponadto do kotła warzelnego dodaje się karmelizowany cukier.

W wyniku tych dodatków smak wytrawnego stouta ma bardzo silny akcent palony i gorzki. Stout produkowany przez Guinnessa jest bardziej wytrawny, ale bez nadmiernej goryczki. Dodatek azotu do kegów i puszek (widgets) daje obfitą, gęstą pianę.

(Stout, jak wskazuje jego nazwa, jest piwem mocnym, o zawartości alkoholu 6-7% obj., przyp. tłum. A.B.)

Odmiana **sweet stout** ma równie ciemną barwę, nieco niższą moc, a słodkawy smak spowodowany jest dodatkiem laktozy.

7.3.1.8 Porter

Porter jest bardzo ciemnym, mocno chmielonym piwem, które niegdyś było jednym z najpopularniejszych napojów w Anglii. Obecnie produkowany porter jest dwukrotnie słabszy od dawnego, ma moc 4,5-5% obj. alkoholu, barwę około 300 jednostek EBC i wartość goryczkową około 40 BU. Dziś wytwarza się go w bardzo małych ilościach, gdyż wyparty został z rynku przez stout i bitter.

Nieliczni producenci podtrzymują dawną tradycję i wyrabiają porter o mocy 9% obj. alkoholu, wykorzystując przy tym dofermentowanie przy pomocy *drożdży Brettanomyces*, o typowych wydłużonych komórkach, które nadają piwu owocowy posmak.

7.3.1.9 Belgijskie piwa górnej fermentacji

Różnorodność smakowa piw belgijskich może przyprawić o zawrót głowy. Wiele z nich wytwarza się przy zastosowaniu specjalnych ras drożdży, innych w fermentacji głównej, a innych w dofermentowaniu. Fermentacja niektórych piw przebiega z udziałem bakterii kwaszących, a wytworzone kwasy podczas leżakowania biorą udział w estryfikacji alkoholi i wytwarzaniu bukietu. Z licznej rodziny piw belgijskich omówiono tu kilka ciekawszych przykładów.

Piwa trapistów

Piwa trapistów to piwa klasztorne, wytwarzane przez mnichów z zakonu trapistów w pięciu klasztorach na terenie Belgii i w jednym w Holandii (170).

Piwa te warzone są metodą infuzyjną, przy zastosowaniu 10-15% słodu karmelowego. Brzeczka chmielona jest tradycyjnie dodatkiem naturalnego chmielu i wzbogacana roztworem cukru. Fermentację prowadzi się przy temperaturze 20-25°C, wykorzystując własne szczepy drożdży górnej fermentacji, a dojrzewanie piwa przebiega przy temperaturach między 0 a 5°C. Przed rozlewem do butelek dodaje się cukier i drożdże, po czym piwo dofermentowuje jak szampan w temperaturze 25°C. Przez wielokrotne dodatki cukru piwa trapistów osiągają czasem bardzo wysokie zawartości alkoholu i trwałość do 5 lat. Wytworzone obficie uboczne produkty fermentacji nadają piwom trapistów bardzo interesujące niuanse smakowe. Dla przykładu browar w Rochefort produkuje następujące piwa:

Rochefort 6	o zawartości	7,5% obj. alkoholu
Rochefort 8	„	9,2% obj. alkoholu
Rochefort 10	„	11,3% obj. alkoholu

Lambic

Lambic jest niezwykłym piwem belgijskim o ogromnej palecie smakowej. Ojczyzną jego jest przede wszystkim Bruksela i jej okolice, gdzie lambic wytwarzają liczne małe browary. Do jego produkcji używa się 30-40% niesłodowanej pszenicy. Jęczmień lekko się słoduje, a brzeczkę gotuje bardzo długo z naturalnym chmielem, który w tym czasie ulega częściowemu utlenieniu. Fermentacja zachodzi spontanicznie pod wpływem dzikich drożdży i bakterii. Naturalnie kwaśne piwo leżakuje w beczkach od pół roku do trzech lat, przy czym powstaje interesujący bukiet, wyróżniający ten napój.

Zawartość ekstraktu w brzeczkach wynosi 11,5-13,5%, a zawartość alkoholu w piwie 4,5-5% obj.

Lambic wykorzystuje się często do sporządzania piw owocowych (krick i framboise).

Kriek jest odmianą lambicu, przy czym do beczki z leżakującym piwem dosypuje się wiśnie.

Framboise jest tym samym piwem, do którego zamiast wiśni dodano maliny.

Gueuze

Gueuze jest ciemnym, niefiltrowanym piwem, o mocnym posmaku jabłkowym. Jest ono podobnie kwaśne jak Berliner Weisse.

Piwo gueuze produkuje się w bardzo wielu odmianach, często z dofermentowaniem w butelce, czasem kupażowane z piwem zwykłym lub z sokami owocowymi. Technologia wytwarzania zależy od browaru i jest bardzo dowolna.

Pod nazwą ***Faro*** występuje słodzona wersja gueuze, o zawartości 4-6% obj. alkoholu.

Duvel

Piwo duvel jest jasne jak pilzner, łagodne i przyjemne w smaku. Ma gęstą, trwałą pianę i bardzo wysoką moc, 8,2% obj. alkoholu. Charakterystyczny smak zawdzięcza ten typ piwa drożdżom.

7.3.2 Piwa dolnej fermentacji

Rozwój tak dziś rozpowszechnionych gatunków piw jasnych nastąpił dopiero w XIX wieku i wiąże się z całym szeregiem wynalazków oraz ogólnym rozwojem przemysłu. Do najważniejszych z nich należą:

- wynalezienie przez Lindego w roku 1871 maszyny chłodniczej, co pozwoliło – niezależnie od warunków klimatycznych – zapewnić niskie temperatury fermentacji i leżakowania,
- rozwój i mechanizacja hut szkła umożliwiły tanią produkcję butelek i szklanek, które zastąpiły dawne kufle ceramiczne; przezroczyste szkło pociągnęło za sobą modę na klarowne napoje,
- wynalezienie filtra na masę celulozową (Enzinger, 1878) umożliwiło uzyskiwanie krystalicznie klarownego piwa, co od tej chwili stało się istotnym kryterium oceny jakości produktu.

Do połowy XIX wieku jedynym piwem dolnej fermentacji w Europie Środkowej było ciemne, mało chmielone, łagodne piwo, zwane piwem monachijskim, które zgodnie z tradycją podawano w glinianych kuflach.

Punktem zwrotnym w historii piwowarstwa, który pociągnął za sobą przejście od fermentacji górnej do fermentacji dolnej, było wprowadzenie w roku 1842 przez czeski browar w Pilznie nowego gatunku jasnego piwa, którego fermentacja i dojrzewanie odbywały się w chłodzonych lodem piwnicach. Orzeźwiający smak nowego napoju, nasyconego dwutlenkiem węgla i udekorowanego czapą białej piany, stał się przyczyną jego sukcesu. Znany od tej chwili jako piwo typu pilzneńskiego, zagościł on stopniowo na rynkach całego świata.

7.3.2.1 Piwa typu pilzneńskiego

Spożycie piw typu pilzneńskiego w Niemczech wyprzedza wszystkie inne i stanowiło w 1997 roku 67,9% rynku (213). *(W Polsce udział piw typu pilzneńskiego w produkcji krajowej wynosi ponad 90%. Przyp. ł. AB).*

Piwa typu pilzneńskiego w Niemczech mają średnio zawartość ekstraktu w brzeczce podstawowej 11,6 %, z wahaniami w granicach 11,3-12,2%.

W roku 1996 Laboratorium Centralne VLB w Berlinie zbadało 383 niemieckie piwa typu pilzneńskiego. Po odrzuceniu wartości skrajnych uzyskano następujące średnie wyniki (200):

Ekstrakt brzeczki podstawowej	11,59%
Ekstrakt pozorny w piwie	2,21%
Ekstrakt rzeczywisty w piwie	3,98%
Zawartość alkoholu (objętościowo)	4,99%
Stopień odfermentowania (pozorny)	81,6%
Wartość pH	4,51
Barwa w jednostkach EBC	7,4
Wartość goryczkowa	30,3 BU
Trwałość piany (Ross i Clark)	119 s
Trwałość piany (NIBEM)	270 s
Lepkość	1,64mPa·s
Antocyjanogeny	43 mg/l
Związki fenolowe ogółem	167 mg/l
Klarowność przy 20°C w jedn. EBC	0,4
Test forsowania (liczba gorących dni)	>2
Powietrze w szyjce butelki	0,23 ml
ß-glukany	368 mg/l
Dekstryny	1-3 %
Wartość kaloryczna	400 kcal/l
Liczba tiobarbiturowa (TBZ)	40-45
Dwuacetyl	0,08 mg/l

Wśród piw pilzneńskich występują znaczne różnice barwy. Wiele browarów kładzie duży nacisk na wytwarzanie bardzo jasnego piwa o barwie w granicach 4,5-7 jednostek EBC, podczas gdy inne browary wolą produkować piwo ciemniejsze, o zabarwieniu od 8 do 10 jednostek EBC.

Ogólna tendencja zmierza w kierunku produkcji piw bardzo jasnych i lekkich.

Jednym z podstawowych czynników decydujących o jakości piwa pilzneńskiego jest szlachetna goryczka chmielowa, która nadaje piwu przyjemny, delikatnie ziołowy smak i aromat. Wybór gatunku chmielu oraz moment jego dodawania do brzeczki ma z tego punktu widzenia szczególne znaczenie.

Wartość goryczkowa badanych piw waha się w zakresie od 21 do 42 jednostek (BU). Ogólnie w ostatnich latach wartość goryczkowa piw pilzneńskich zmalała, co odpowiada preferencjom dzisiejszych konsumentów, poszukujących mniej gorzkiego napoju.

W odróżnieniu od lekkich niemieckich, czeskie piwa pilzneńskie, reprezentowane przez klasyczny gatunek produkowany w Pilznie, **Plznensky Prazdroj**, są bardziej treściwe i ciemniejsze. Aby zachować ich tradycyjną jakość, Czesi stosują wszystkie uświęcone tradycją i w wielu krajach już zarzucone metody postępowania, jak trójwarowe zacieranie de-

kokcyjne, gotowanie brzeczki z chmielem w kotłach ogrzewanych płomieniem ponad dwie godziny, itp. Piwa te mają zwolenników, tak w ojczyźnie, jak i w wielu krajach świata.

7.3.2.2 Piwa pełne typu lager

Lager jest typem piwa, który nie daje się ująć żadnej konkretnej definicji. W zasadzie wszystkie piwa, które nie należą do żadnego ściśle określonego gatunku, można przypisać do tej grupy, której nazwę uzupełnia się różnymi fantazyjnymi określeniami oraz nazwą browaru lub miejscowości.

Piwa te mają zawartość ekstraktu brzeczki podstawowej zwykle między 10,5 a 12%, moc w granicach 4,7-5,3% obj. alkoholu i umiarkowaną wartość goryczkową od 18 do 23 BU (213).

Niemieckie ***jasne piwa typu lager*** mają następującą charakterystykę (200):

Ekstrakt brzeczki podstawowej	11,65%
Ekstrakt pozorny w piwie	2,28%
Ekstrakt rzeczywisty	4,05%
Alkohol % obj.	4,99
Pozorny stopień odfermentowania	81,1%
Wartość pH	4,58
Barwa w jednostkach EBC	7,8
Wartość goryczkowa (jednostki BU)	21
Trwałość piany (Ross i Clark)	117 s

Ciemne piwa typu lager są najczęściej trochę mocniejsze. Przy zawartości ekstraktu w brzeczce podstawowej od 11,8 do 13% mają moc 5-5% obj. alkoholu, są natomiast mniej gorzkie, wartość goryczkowa 18-20 BU. Barwa ich jest wyraźnie ciemniejsza, 30-40 jednostek EBC. Ciemne piwo typu lager dzięki udziałowi słodów typu monachijskiego ma wyraźny smak i aromat słodowy.

7.3.2.3 Piwa typu export

Pod tą nazwą oferowane są piwa o nieco większej mocy. Nazwa export jest myląca, gdyż te piwa w ogóle nie są eksportowane. Piwa typu export, jak i należące do tej samej kategorii ***edel*** i ***spezial,*** zajmują w Niemczech drugie miejsce po piwach pilzneńskich. Jakość ich odpowiada dawnemu typowi piwa dortmundzkiego (Dortmunder).

Export jest najczęściej piwem jasnym, o ekstrakcie brzeczki podstawowej 12,5 do 13,5% i zawartości alkoholu około 5,5% obj. Przy wartości goryczkowej 20 do 25 BU, jego chmielowy aromat i charakter są mniej zaakcentowane niż w piwie pilzneńskim, barwa jest natomiast nieco ciemniejsza, 8 do 15 jednostek EBC, a smak pełniejszy i bardziej łagodny.

Piwo jasne ***Export hell*** wykazuje następujące średnie wartości (200):

Ekstrakt brzeczki podstawowej	12,47%
Ekstrakt pozorny w piwie	2,42%
Ekstrakt rzeczywisty	4,32%
Alkohol % objętościowy	5,38
Pozorny stopień odfermentowania	81,3%
Wartość pH	4,61
Barwa w jednostkach EBC	8,2
Wartość goryczkowa	23 BU
Trwałość piany (Ross i Clark)	118 s

Ciemny export ma barwę w granicach od 45 do 100 jednostek EBC i jest zwykle trochę mocniejszy (brzeczka podstawowa 13%), dla uzyskania pożądanej pełni smaku.

7.3.2.4 Piwa czarne (Schwarzbiere)

Piwa te odznaczają się bardzo ciemną barwą, w granicach 100 do 150 jednostek EBC, nieco mocniejszą goryczką niż export i zawartością alkoholu od 4,8 do 5% obj. Ekstrakt brzeczki podstawowej tych piw waha się między 11,5 a 11,8%.

Piwa czarne mają wiernych zwolenników w niektórych regionach Niemiec.

7.3.2.5 Piwa świąteczne (Festbiere)

Są to piwa okolicznościowe, produkowane okresowo z okazji różnych świąt i uroczystości, najczęściej jasne, o ekstrakcie brzeczki podstawowej co najmniej 12%. Najbardziej znane jest piwo produkowane z okazji monachijskiego Oktoberfest, o ekstrakcie brzeczki podstawowej 13,5 do 14,0%.

7.3.2.6 „Piwo lodowe" (Eisbier)

Nie jest to żaden specjalny gatunek piwa. Jego nazwa pochodzi od metody usuwania białek i garbników, opisanej w rozdziale 4.8.2. W wyniku tych zabiegów i wyższej zawartości alkoholu piwo jest łagodniejsze w smaku i bez wyrazu.

Amerykanie nazywają tak piwo o temperaturze bliskiej zera, podawane w wychłodzonych w zamrażalniku szklankach. Niewątpliwie jest to napój chłodzący, ale jego smak ujawnia się dopiero po ogrzaniu do 8-10°C.

7.3.2.7 „Piwo marcowe" (Märzen)

Nazwa pochodzi z dawnej tradycji, gdy niektóre browary na wiosnę, w marcu, wytwarzały specjalne mocne piwo, cieszące się wielkim powodzeniem.

Piwa marcowe mają **ekstrakt brzeczki podstawowej w granicach 13 do 14%**. Zależnie od barwy rozróżnia się **dwa typy tego piwa**:

- **jasny**, o barwie w jednostkach EBC od 9 do 19, a najczęściej 11 do 12,
- **ciemny**, o barwie 40 do 60 jednostek EBC.

Są to mocne piwa, o zawartości alkoholu do 5,9% obj., produkowane w niewielkich ilościach na specjalne okazje.

Średnie wartości charakteryzujące piwa marcowe wyprodukowane w Niemczech w roku 1996 są następujące (200):

Ekstrakt brzeczki podstawowej	13,31%
Ekstrakt pozorny w piwie	2,83%
Ekstrakt rzeczywisty	4,81%
Alkohol % objętościowy	5,65%
Pozorny stopień odfermentowania	79,6%
Wartość pH	4,53
Trwałość piany (Ross i Clark)	125 s

7.3.2.8 Piwo „Bock" (Bockbier)

Jest to piwo o pięćsetletniej tradycji w Niemczech, pochodzące z miasta **Einbeck**.

Dzisiejsze mocne piwa „Bock", **o ekstrakcie brzeczki podstawowej 16-17%**, są warzone sezonowo i zależnie od pory roku przyjmują różne nazwy, jak: Maibock (majowe), Herbstbock (jesienne) i Weihnachtsbock (gwiazdkowe). Wersje te różnią się nieco barwą, goryczą i pełnią smaku (114).

Piwa „Bock" produkuje się jako jasne (8-13 jedn. EBC) albo ciemne (45-100 jedn. EBC). Mimo niskiego stopnia odfermentowania, 65-75%, zawartość alkoholu jest wysoka, 6-7,5% obj. Średnie wartości charakteryzujące piwa tego typu w Niemczech są następujące (200):

Ekstrakt brzeczki podstawowej	16,18%
Ekstrakt pozorny w piwie	4,50%
Ekstrakt rzeczywisty	6,73%
Alkohol % obj.	6,42
Pozorny stopień odfermentowania	73,5%

7.3.2.9 „Podwójny Bock" (Doppelbock)

Doppelbock jest najmocniejszym piwem warzonym w Niemczech. **Ekstrakt brzeczki podstawowej** tych piw waha się w granicach **18-30%**, a zawartość alkoholu 7-12% obj. Piwo to, również warzone sezonowo, ma ograniczoną liczbę amatorów. Zapewne można to tłumaczyć tym, że mocne piwa zawierają zwykle dużo wyższych alkoholi i estrów, co po spożyciu w większej ilości powoduje następnego dnia ból głowy i złe samopoczucie.

7.3.2.10 Piwo bezalkoholowe

Metody usuwania alkoholu z piwa, jak też hamowania jego tworzenia w czasie fermentacji zostały omówione w rozdziale 4.8.3. Istnieją duże grupy konsumentów, którzy lubią smak piwa, a z różnych przyczyn nie mogą spożywać alkoholu i piwo bezalkoholowe jest dla nich korzystną alternatywą. Ponadto niektórzy konsumenci spodziewają się, że piwo to jest mniej kaloryczne. Często jednak jest to mylne mniemanie, gdyż brak alkoholu rekompensowany jest obecnością nie przefermentowanych cukrów.

W Niemczech za bezalkoholowe uważa się piwo, które ma nie więcej niż 0,5 obj. alkoholu.

Średnie wartości charakteryzujące piwa bezalkoholowe wyprodukowane w Niemczech w 1996 roku były następujące (200):

Ekstrakt pozorny w piwie	4,48%
Ekstrakt rzeczywisty	4,61%
Alkohol % obj.	0,40
Trwałość piany (Ross i Clark)	118 s
Wartość goryczkowa	23,7 BU
Dekstryny	2,21%
Cukry fermentujące	2,26%
Wartość kaloryczna	140 kcal/l

Alkohol jest istotnym elementem smaku piwa. Jego brak w piwie bezalkoholowym powoduje, że napój ten smakuje inaczej. (*Aby zrekompensować ten brak, piwa bezalkoholowe są z reguły mocniej chmielone, mocniej nasycane dwutlenkiem węgla i podawane w niższej temperaturze, przyp. tłum. A.B.*).

Piwo bezalkoholowe można otrzymać zarówno z piw dolnej, jak i górnej fermentacji. Udział piwa bezalkoholowego w Niemczech w roku 1997 wynosił w ogólnej konsumpcji 2,8%.

7.3.2.11 Piwo dietetyczne (Diätbier)

Piwo dietetyczne produkowane jest dla konsumentów, którzy mają ograniczenia w zakresie spożycia pewnych substancji, jak na przykład diabetycy. W niektórych krajach piwo to objęte jest ogólnymi przepisami prawnymi dotyczącymi żywności dietetycznej.

W normalnym piwie część węglowodanów pozostaje w postaci dekstryn i nie ulega fermentacji. W piwie dla diabetyków te dekstryny muszą zostać rozłożone do cukrów, które następnie ulegną fermentacji alkoholowej. W wyniku tego piwa dietetyczne miewają automatycznie wyższą zawartość alkoholu. W niektórych krajach jest ona ograniczona przepisami, w związku z czym nadmiar alkoholu musi być usuwany.

Całkowity rozkład skrobi do cukrów fermentujących

Przy zwykłym zacieraniu osiąga się taki rozkład skrobi, że odfermentowanie nie przekracza 80-85%. Czas fermentacji i aktywność enzymów nie wystarcza, aby rozłożyć w młodym piwie pozostałe dekstryny. Uzyskanie większego stopnia odfermentowania, do 90-92%, wymaga bardzo długiego, 3,5 do 4 godzin, i bardzo intensywnego zacierania (73):

- początek zacierania przy 50°C i utrzymanie tej temperatury przez 30 minut,
- przerwy przy 62°C oraz 65°C, każda po 45 minut,
- przerwy przy 68°C oraz przy 70°C, każda po 30 minut,
- przerwa przy 72°C, 15 minut,
- koniec zacierania przy 73-74°C.

Mimo to nie udaje się uzyskać 100% odfermentowania (pozorny stopień odfermentowania wypada przy tym powyżej 100%). Aby rozłożyć wszystkie węglowodany, dodaje się na początku fermentacji 2-3% **wyciągu słodowego**. Obecna w wyciągu ß-amylaza i inne enzymy słodu rozkładają w toku fermentacji, powoli ale konsekwentnie, obecne w młodym piwie dekstryny, a powstające cukry zostają do końca odfermentowane. W ten sposób powstaje piwo o dużej zawartości alkoholu.

W tej technologii trzeba zwrócić uwagę na następujące zagrożenia:

- możliwość wprowadzenia z wyciągiem słodowym obcych drobnoustrojów do piwa,
- świeży wyciąg słodowy zawiera aktywne enzymy proteolityczne, które stopniowo mogą rozłożyć wielkocząsteczkowe białka, co może znacznie pogorszyć trwałość piany.

Te problemy dotyczą tylko browarów niemieckich, które pracują zgodnie z prawem czystości składu (Reinheitsgebot). Browary, które nie muszą do tego prawa się stosować (a więc i polskie), mają najprostsze wyjście, a mianowicie zastosowanie odpowiednich preparatów enzymatycznych, które dadzą pożądany efekt nie stwarzając wyżej wymienionych zagrożeń (patrz także rozdz. 3.2.4.3.5.6).

W wielu krajach istnieją przepisy prawne regulujące jakość piwa dla diabetyków w zakresie dopuszczalnej ilości węglowodanów, wartości kalorycznej i zawartości alkoholu. Odnośnie tego ostatniego, jeśli ilość alkoholu przekracza dopuszczalną zawartość, to trzeba ją w piwie gotowym obniżyć, co wiąże się z wysokimi kosztami (patrz rozdz. 4.8.3).

Niemieckie piwa dietetyczne wykazują następujące średnie wartości (200):

Ekstrakt brzeczki podstawowej	9,48%
Ekstrakt pozorny w piwie	0,25%
Ekstrakt rzeczywisty	2,02%
Alkohol % obj.	4,80
Pozorny stopień odfermentowania	97,4%
Dekstryny	0,66%
Cukry	0,77%
Wartość kaloryczna kcal/l	330

7.3.2.12 Piwa lekkie (light)

Piwa lekkie produkowane są zarówno jasne, jak i ciemne, dolnej lub górnej fermentacji.

W Niemczech udział piw lekkich stanowi 0,9% rynku i wykazuje tendencję malejącą.

Charakterystyka niemieckich piw lekkich jest następująca:

Ekstrakt brzeczki podstawowej	6,5-8%
Alkohol % obj.	2,5-4%
Dekstryny	1%
Cukry	2%
Wartość kaloryczna kcal/l	250-300

Dobre lekkie piwo musi mieć własny charakter, który można osiągnąć różnymi sposobami (75). Należą do nich m.in.:

- użycie ciemniejszych, bardziej aromatycznych słodów,
- zastosowanie specjalnych metod zacierania, wpływających na stopień odfermentowania,
- mocniejsze chmielenie i intensywne gotowanie brzeczki,
- cieplejsza fermentacja z intensywną redukcją dwuacetylu.

W niektórych krajach, jak np. Skandynawia i Ameryka Północna, ten rodzaj piw jest bardzo popularny.

7.3.2.13 Napój słodowy czyli piwo słodowe (Malztrunk)

Pod nazwą napój słodowy rozumie się ciemnobursztynowe piwo o ekstrakcie brzeczki podstawowej 11,7-12%. Do brzeczki słodowej o zawartości 7-8% ekstraktu po filtracji dodaje się cukier w takiej ilości, aby zwiększyć ekstrakt do 11,5-12%. Zawartość alkoholu w tym piwie nie przekracza 0,5% (*w Polsce 1,2%, przyp. tłum. A.B.*). Napoje słodowe mają opinię pożywnych, a jednocześnie gaszących pragnienie, dzięki czemu zdobyły pewną popularność.

Produkcja

Do produkcji używa się mieszanki 65-75% słodu monachijskiego, 3- 5% ciemnego słodu karmelowego, resztę stanowi słód jasny. Zacieranie prowadzi się w zwykły sposób, a po filtracji brzeczkę gotuje 60-70 minut z małą ilością chmielu (15-20 mg α-kwasów/litr brzeczki). Brzeczkę nastawną zadaje się przy 10°C drożdżami górnej fermentacji, a po niewielu godzinach i wytworzeniu przewidzianej ilości alkoholu proces przerywa się przez ochłodzenie młodego piwa do około 0°C. Po krótkim leżakowaniu napój dosyca się dwutlenkiem węgla, czyli karbonizuje i po rozlewie poddaje solidnej pasteryzacji, aby wykluczyć fermentację w butelkach.

7.3.2.14 Piwa specjalne o bardzo małym rozpowszechnieniu

Piwa piwniczne (Kellerbiere)

Ostatnimi czasy stają się tu i ówdzie modne nie filtrowane, mętne piwa „prosto z tanku". (*W Polsce wytwarza je „minibrowar" w piwnicy wrocławskiego ratusza. Przyp. tłum. A.B.*)

Piwa o smaku dymnym (Rauchbiere)

Są to piwa produkowane ze słodu suszonego w małych, prymitywnych słodowniach bezpośrednio gorącymi spalinami, przy czym do paleniska dodaje się wióry bukowe, aby uzyskać pożądany aromat dymu. (*W Polsce do niedawna taki słód i piwo wytwarzał browar w Grodzisku Wielkopolskim. Przyp. tłum. A.B.*)

7.3.2.15 Napoje mieszane z piwem

W Niemczech od dawna na życzenie gościa barman sporządzał mieszanki piwa z lemoniadą, aby uzyskać gaszący pragnienie napój o obniżonej mocy alkoholu. Obecnie mieszanki takie produkowane są jako wyroby gotowe, rozlewane najczęściej do puszek. Jest to zwykle piwo jasne, zmieszane w stosunku 1:1 z lemoniadą, colą lub innymi napojami tego rodzaju. Mieszankom nadaje się różne fantazyjne nazwy, jak np. Radler, Diesel, Turbodiesel

itp., zależnie od użytych składników. Są one poszukiwane przede wszystkim w ciepłych porach roku i coraz bardziej zyskują na popularności, zgodnie z ogólną tendencją i światową modą na napoje smaczne, ale jednocześnie niskoalkoholowe.

7.3.3 Tendencje wprowadzania nowych gatunków piw

W krajach, gdzie nie obowiązuje niemieckie prawo czystości składu piwa, małe browary, a zwłaszcza restauracyjne „minibrowary" starają się urozmaicić swoją ofertę dla klienta, wprowadzając obok chmielu różne dodatki aromatyzujące, jak skórka pomarańczowa, kwiat pomarańczy, dzikiego bzu, szałwia, kolendra, rumianek, imbir, cynamon, goździki, maliny, truskawki, wiśnie, chrzan, dzikie zioła itp. Jednym z branych pod uwagę aromatycznych dodatków do piwa jest w niektórych krajach naturalny miód pszczeli. Dodać go można 1-3% do gotowego piwa przed filtracją, a po rozlewie do butelek piwo musi być poddane solidnej pasteryzacji. (*W Polsce znane było kurpiowskie piwo z dodatkiem jagód jałowcowych. Przyp. tłum. A.B.*)

7.4 Badanie jakości piwa

Metody oceny piwa można podzielić na:

- degustację, czyli badanie sensoryczne,
- kontrolę mikrobiologiczną,
- badania chemiczne i techniczne.

7.4.1 Degustacja piwa

Wiele właściwości oraz składników piwa można konkretnie zmierzyć lub oznaczyć, jak np.:

- ilość i trwałość piany,
- barwę piwa,
- klarowność względnie stopień zmętnienia piwa.

Wielu cech piwa nie da się oznaczyć analitycznie. Należą do nich: czystość smakowa, zapach piwa, działanie orzeźwiające, delikatność goryczki. Jednak te właśnie cechy napoju najbardziej interesują konsumenta. Browarowi też najbardziej zależy na tym, aby jego piwo smakowało odbiorcy i tego właśnie wyrobu poszukiwał na rynku.

Ocena wyżej wymienionych cech sensorycznych piwa może być uzyskana tylko drogą degustacji. Aby jej wyniki były miarodajne, degustacja musi być przeprowadzona w sposób ściśle określony przez wybrane i przeszkolone osoby.

Na degustatorów wybiera się osoby obdarzone zdolnością precyzyjnego odróżniania zapachów i smaków. Zdolności te sprawdza się podając kandydatom do oceny 3 próbki piwa, w których:

- w pierwszej 10% piwa zastąpiono wodą (***wykrycie rozcieńczenia***),
- w drugiej dodano 4 g/l cukru (***wykrycie dosłodzenia***),
- w trzeciej dodano 4 mg/l izo-α-kwasów (***wykrycie różnicy goryczy***).

Butelki po zamknięciu i wymieszaniu zawartości przechowuje się przez noc w lodówce razem z próbkami kontrolnymi. Następnego dnia degustuje się je, stosując:

- ***test parzysty***, w którym trzeba określić różnice między dwiema nieznanymi kandydatowi próbkami,
- ***test trójkątowy***, w którym przedstawia się kandydatowi do oceny trzy próbki, w tym dwie identyczne. W wyniku degustacji należy określić próbkę, która różni się od pozostałych.

(*Powyższy sposób oceny kandydatów jest zgodny ze wskazaniami MEBAK z roku 1987. W roku 1993 MEBAK uzgodnił z EBC nowe metody oceny, wprowadzając między innymi test na rozróżnienie sześciu podstawowych smaków w roztworach wodnych. Przyp. tłum. A.B.*)

Przeszkolony zespół degustatorów powinien być w każdym browarze. Zadaniem jego jest kontrola stałości cech produktu od dawna mającego swoje miejsce na rynku, jak również ocena produktu zupełnie nowego, zanim zostanie skierowany do sprzedaży.

Produkt powinien przede wszystkim odpowiadać gustom konsumentów, dlatego bardzo istotne znaczenie mają oceny konsumenckie. Różnią się one, oczywiście, od ocen fachowców i powinny być przeprowadzane przy wykorzystaniu możliwie licznych grup osób nie przeszkolonych. Stawiane im pytania powinny być możliwie proste.

W ocenach konsumenckich porównuje się często zaszyfrowane próbki własnego piwa i wyrobów konkurenta, co można przeprowadzić w następujący sposób: każdy degustator otrzymuje kartkę z dwiema poziomymi liniami odległymi od siebie o 10 centymetrów, na której zaznacza swoją ocenę. Ocenę najlepszą wyraża znaczek postawiony blisko górnej linii, najgorszą przy dolnej.

Do sensorycznej oceny piwa zaleca się użycie ciemno zabarwionych szklanek o pojemności 200 ml, a podawane do oceny próbki piwa powinny mieć temperaturę od 8 do 14°C. Warunki przeprowadzania ocen sensorycznych, jak lokal, jego temperatura, sposób rozlokowania degustatorów itd., są uregulowane odpowiednimi przepisami (MEBAK, Analytica EBC, itp.).

Istnieją różne sposoby zapisywania wyników fachowych ocen sensorycznych. Jeden z systemów obowiązujących w Niemczech (***DLG***) jest następujący:

Cecha	Punktacja	Charakterystyka ocenianej cechy
Zapach	5	czysty
	4	jeszcze czysty
	3	lekko wadliwy (dwuacetyl, oksydacja)
	2	wyraźnie wadliwy (estrowy, drażniący)
	1	zdecydowanie wadliwy (stęchły, drożdżowy)
Smak	5	czysty
	4	jeszcze czysty
	3	lekko wadliwy (dwuacetyl, oksydacja)
	2	wyraźnie wadliwy (estrowy, drażniący)
	1	zdecydowanie wadliwy (stęchły, metaliczny, świetlny)
Pełnia smakowa	5	gładki, pełny
	4	pełny
	3	mniej pełny
	2	mało gładki
	1	pusty
Świeżość	5	przyjemnie orzeźwiający
	4	orzeźwiający
	3	mało orzeźwiający
	2	mdły
	1	bardzo mdły
Goryczka	5	bardzo delikatna, szlachetna
	4	delikatna
	3	trochę pozostająca
	2	pozostająca
	1	mocno pozostająca

Tego rodzaju oceny powinny być przeprowadzane przez grupę degustatorów i z ich wyników oblicza się średnie, aby móc wyciągnąć wnioski. W ocenach prowadzonych w browarze powinno się również oceniać próbki wcześniej produkowanych piw, aby móc obiektywnie określić moment, w którym zachodzą zmiany smakowe wskutek starzenia się piwa.

Trzeba jeszcze zwrócić uwagę na to, że konsument przyzwyczaja się do smaku konkretnego piwa, które zwykle najlepiej mu smakuje, nawet jeśli zdarzy się, że obiektywnie ma ono jakąś wadę. Niemcy mówią, że piwo przypomina ojczyznę i korzystają z tego setki małych browarów, zwłaszcza w północnej Bawarii, które z powodzeniem sprzedają swoje piwo w najbliższej okolicy.

7.4.2 Badanie mikrobiologiczne

W wielu browarach istnieje możliwość przedostania się obcych dla piwa drobnoustrojów do brzeczki, fermentującego młodego piwa lub do gotowego produktu. Drobnoustroje te mogą przetrwać różne zabiegi utrwalające, po czym rozwinąć się w produkcie handlowym i utworzyć osad na dnie butelki, a z czasem także doprowadzić do zmętnienia i popsucia się piwa.

Zadaniem kontroli mikrobiologicznej w browarze jest możliwie wczesne wykrycie obcych drobnoustrojów oraz ustalenie, jak i którędy

dostają się one do brzeczki lub piwa. Pozwoli to na podjęcie w porę odpowiednich kroków zapobiegawczych, które wyeliminują źródło infekcji, a także zahamują jej rozwój w dalszych etapach produkcji.

Nie wszystkie drobnoustroje, dostające się do brzeczki lub piwa, są tak samo szkodliwe. Rozróżnia się tu trzy grupy:

- nieszkodliwa mikroflora towarzysząca,
- mikroflora potencjalnie szkodliwa,
- mikroflora zdecydowanie szkodliwa.

Nieszkodliwa mikroflora towarzysząca składa się z zarodników pleśni oraz wielu szczepów bakterii i drożdży, które nie mogą rozwinąć się w piwie i stopniowo wymierają. Czasem jednak obecność tych drobnoustrojów może wskazywać na niebezpieczeństwo infekcji także przez mikroflorę szkodliwą.

Mikroflora potencjalnie szkodliwa może się w piwie rozwijać tylko wówczas, jeśli nastąpi korzystna dla niej zmiana warunków, jak:

- natlenienie piwa,
- podwyższenie pH do 4,7-4,8,
- niska zawartość substancji goryczkowych chmielu.

Do potencjalnie szkodliwej mikroflory należą na przykład *Lactobacillus casei, Streptococcus lactis, Enterobacteriaceae*. Część tych bakterii produkuje kwas mlekowy, ale obok niego również substancje niekorzystnie wpływające na smak piwa.

Najbardziej w browarze wystrzegać się trzeba mikroflory zdecydowanie szkodliwej. Należą do niej przede wszystkim:

- ***Pectinatus cerevisiiphilus,***
- ***Megaspharea cerevisiae.***

Te szczepy bakterii są bezwzględnymi beztlenowcami. Eliminując jakikolwiek dostęp tlenu do piwa, niechcący poprawiamy warunki rozwoju tych bakterii. Oznacza to również, że w prawidłowo napełnionych, wolnych od tlenu butelkach piwa mogą się one rozmnażać. Produkty ich przemiany materii powodują obrzydliwy, podobny do gnojówki zapach i smak. Natychmiastowe podjęcie zwalczania tych bakterii jest zatem niezwykle ważne. Wiadomo również (patrz rozdz. 5.2.2.5), że te beztlenowe bakterie mogą wykorzystywać osłonę, jaką daje śluz wszechobecnych bakterii octowych, w którym potrafią przetrwać, a nawet się rozmnożyć. Z chwilą gdy znajdą się w sprzyjającym środowisku, w pewnym momencie mogą stać się aktywne.

Obok wymienionych, istnieją jeszcze inne zdecydowanie szkodliwe dla piwa drobnoustroje, które wytwarzają nieprzyjemne smakowo produkty uboczne. Są to zwłaszcza:

- ***Lactobacillus brevis,***
- ***Lactobacillus lindneri,***
- ***Lactobacillus frigidus,***
- ***Pediococcus damnosus.***

Te drobnoustroje są względnymi tlenowcami, a więc mogą rozwijać się także w środowisku beztlenowym.

Drożdże mogą również stanowić niepożądaną mikroflorę w piwie, jeśli powodują zakłócenia w fermentacji lub fermentacje wtórne. Szkodliwe dla piwa są:

- komórki drożdżowe znajdujące się w piwie po filtracji,
- wszystkie drożdże inne niż kultura stosowana w produkcji. Są one niepożądane, gdyż prowadzą do zmętnień, osadów i niekorzystnych zmian smakowych.
- Spośród drożdży należących do rodzaju Saccharomyces są to:
  - *S. diastaticus,*
  - *S. pastorianus,*
  - *S. ellipsoideus.*

  Drożdże dzikie nie należące do rodzaju *Saccharomyces*, które również mogą w piwie się rozwijać, są następujące:
  - *Brettanomyces,*
  - *Torulopsis,*
  - *Hansenula*
  - *Candida.*

We wszystkich przypadkach obce drożdże wywołują osad w butelce i zmętnienie piwa. Ich obecność w procesie fermentacji stanowi ponadto konkurencję dla drożdży szlachetnych w wykorzystaniu składników odżywczych brzeczki.

Pobieranie próbek do kontroli mikrobiologicznej powinno być możliwie częste i odbywać się według ustalonego planu. Próbki brzeczki i piwa pobiera się z różnych miejsc, w szczególności z trudnych do mycia i wyjałowienia. Są to na przykład:

- urządzenia pomiarowe oraz ich przewody doprowadzające,
- pompy,
- zawory, uszczelki i zaślepione króćce,
- rurociągi i węże,
- zawory do pobierania próbek,
- myjka butelek,
- agregat rozlewniczy i inne.

Drożdże nastawne, woda, powietrze, wszystko to stanowi możliwe źródła infekcji, które trzeba kontrolować. Im częściej przeprowadza się kontrolę, tym większa jest szansa trafienia na ślad źródła infekcji. Nie należy też liczyć na to, że ostra filtracja lub pasteryzacja usunie każde zakażenie, lecz przez cały czas najstaranniej dbać o czystość i higienę procesu.

Próbki muszą być pobierane sterylnie do jałowych naczyń, w sposób wykluczający ich wtórne zakażenie. Próbka musi reprezentować wyłącznie mikroflorę pobranego materiału. Poza badaniem mikroskopowym wykonuje się posiewy na specjalnych pożywkach i podłożach stałych.

Przy małych ilościach drobnoustrojów w próbce można do ich nagromadzenia zastosować filtr membranowy, który następnie układa się bezpośrednio na pożywce stałej w płytce Petriego. Substancje odżywcze z pożywki nasycają filtr, na którym następnie rozwijają się kolonie.

Rozwinięte na podłożu kolonie, ich wygląd, kształt, jak również badanie mikroskopowe pozwalają na wstępną identyfikację zakażających drobnoustrojów. Dalszą identyfikację przeprowadza się hodując bakterie na odpowiednich pożywkach diagnostycznych.

W browarze dla różnych materiałów pobranych do badania stosuje się określony tryb postępowania (94):

próbka klarownego piwa lub wody

filtracja membranowa, a następnie posiew na agarze odżywczym lub bulionie;

próbka drożdży

próba fermentacyjna, posiewy na agarze lub bulionie;

próbka piwa zmętniałego od drożdży

posiew na koncentracie NBB lub metoda badania trwałości;

próbka brzeczki

filtracja membranowa albo zmodyfikowana metoda z koncentratem NBB;

próbka powietrza

metoda sedymentacyjna z płytką Petriego;

badanie czystości powierzchni (wymazy na wacie)

przeniesienie do jałowej wody i filtracja membranowa.

Do badań mikrobiologicznych w laboratorium browaru wykorzystuje się między innymi następujące pożywki: brzeczka z agarem, NBB – agar o różnym składzie, VLB-S7-Agar, autolizat drożdżowy, brzeczka chmielona, piwo pasteryzowane i inne.

Z każdego obciągu pobiera się próbkę na trwałość, którą przechowuje się przy stałej temperaturze 26°C. Próbka ta w okresie deklarowanej przydatności do spożycia danej partii piwa nie powinna wykazać żadnego osadu ani zmętnienia.

Wadą normalnie stosowanych metod mikrobiologicznych jest ich czasochłonność. Niekiedy uzyskujemy wynik dopiero po pięciu dniach, a w niektórych przypadkach jest to już za późno.

Jedną z szybkich metod jest analiza ***PCR (Polymerase Chain Reaction)***, która pozwala w ciągu kilku godzin uzyskać odpowiedź, z jakimi drobnoustrojami mamy do czynienia (212).

Wyżej wspomniana metoda pozwala wykryć i określić szkodliwe dla piwa bakterie mlekowe, jak również bakterie z rodzaju *Pediococcus, Megasphaera i Pectinatus*.

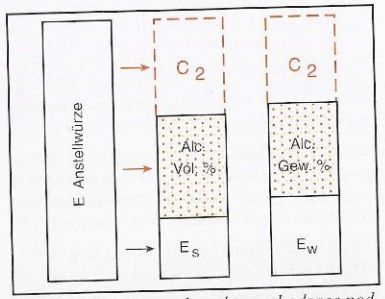
7.4.3 Analiza piwa

Dla zapewnienia stałej dobrej jakości piwa trzeba systematycznie kontrolować cały szereg parametrów. Należą do nich przede wszystkim:

- oznaczanie zawartości ekstraktu i alkoholu w piwie, które pozwalają obliczyć również ekstrakt brzeczki podstawowej i stopień odfermentowania,
- oznaczanie wartości pH,
- oznaczanie zawartości tlenu w piwie,
- oznaczanie zawartości dwuacetylu,
- oznaczanie wartości goryczkowej w jednostkach BU,
- oznaczanie zawartości CO_2,
- oznaczanie trwałości koloidalnej i inne.

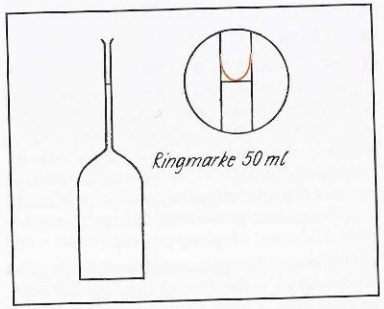
7.4.3.1 Określanie ekstraktu brzeczki podstawowej

Ekstrakt brzeczki podstawowej jest istotnym parametrem oceny piwa. W gotowym produkcie znajduje się jednak tylko ta część ekstraktu brzeczki, która nie uległa fermentacji. Z cukrów fermentujących powstał alkohol i dwutlenek węgla, którego drobną tylko część odnajdujemy w piwie. Pierwotną zawartość ekstraktu, jaka była w brzeczce przed fermentacją, możemy obliczyć tylko na podstawie tego, co z niej pozostało i co z niej powstało. Podstawą naszego obliczenia będzie więc ekstrakt rzeczywisty piwa i zawartość alkoholu.



Rys. 7.2 . Przemiany ekstraktu zachodzące podczas fermentacji (Środek, góra: powinno być CO_2; dół: E_S = ekstrakt pozorny. Przyp. tł. AB).

W rozdziale 4.1.2.1.1 powiedziano już, że z jednej gramocząsteczki glukozy, czyli ze 180 g tego cukru, powstają 92 g alkoholu i 88 g CO_2. Orientacyjny pomiar areometrem pozwala nam określić pozorny stopień odfermentowania i ze względu na łatwość korzystamy z niego śledząc przebieg fermentacji. Wynik tego pomiaru, o czym wiemy, jest obarczony błędem spowodowanym obecnością alkoholu. Aby oznaczyć ekstrakt rzeczywisty w piwie, musimy oddestylować z niego alkohol i po uzupełnieniu pozostałości wodą do pierwotnej wagi próbki, oznaczyć ekstrakt areometrem lub piknometrem.



Rys. 7.3
Piknometr Reischauera

W otrzymanym destylacie, po uzupełnieniu go wodą do pierwotnej objętości próbki, oznaczamy alkohol jedną z wyżej wymienionych metod i wyrażamy jego zawartość w procentach wagowych.

Dla przykładu, badając piwo o deklarowanej zawartości ekstraktu brzeczki podstawowej 11,5%, otrzymaliśmy po destylacji i wykonaniu pomiarów następujące wyniki: ekstrakt rzeczywisty = 3,8%; alkohol = 3,9% wag.

Przy opracowaniu wzoru obliczenia ekstraktu brzeczki podstawowej uwzględniono również niewielką ilość ekstraktu, jaką zużyły drożdże do budowy swych komórek. Podsumowując można liczyć, że z 2,0665 grama ekstraktu powstają:

1 g alkoholu
0,9565 g dwutlenku węgla
0,11 g drożdży

co daje w sumie wartość wyjściową. Stąd na podstawie ***wzoru Ballinga*** można wyliczyć ekstrakt brzeczki podstawowej (p) piwa, to znaczy zawartość ekstraktu w brzeczce przed fermentacją:

$$p = \frac{(A \cdot 2{,}0665 + E_w) \cdot 100\%}{100 + A \cdot 1{,}0665}$$

W powyższym wzorze:

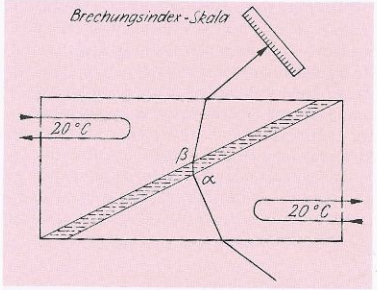
A = zawartość alkoholu w % wag.

E_w = ekstrakt rzeczywisty piwa w % wag.

W Niemczech ekstrakt brzeczki podstawowej w piwach obliczany jest dla celów podatkowych. Ten sposób obliczania nie może być stosowany dla piw, z których usuwany był alkohol (bezalkoholowe, dietetyczne) oraz piw zawierających drożdże.

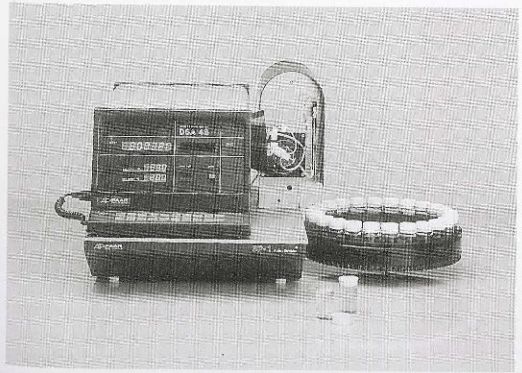
Refraktometryczna metoda oznaczania ekstraktu i alkoholu w piwie

Zasada oznaczenia polega na pomiarze kąta załamania wiązki promieni świetlnych, przechodzących z ośrodka o mniejszej gęstości optycznej do ośrodka o większej gęstości. Kąt ten zmienia się zależnie od gęstości cieczy i metoda jest wykorzystywana do badania stężeń roztworów cukru, glikolu, gliceryny, alkoholu etylowego itp. Bieg i załamania promieni świetlnych w refraktometrze Abbego przedstawiono na rysunku 7.4.



Rys. 7.4
Współczynnik załamania światła (refrakcja)

W browarze wykorzystuje się metodę refraktometryczną, równolegle z areometrem, do szybkiego oznaczania ekstraktu i alkoholu w piwie, a z odpowiednich nomogramów można odczytać ekstrakt brzeczki podstawowej. (*Metoda ta jest mniej dokładna od poprzednio opisanych, dlatego też jako metodę odwoławczą stosuje się destylację i pomiar piknometryczny. Przyp. tłum. A.B.*)

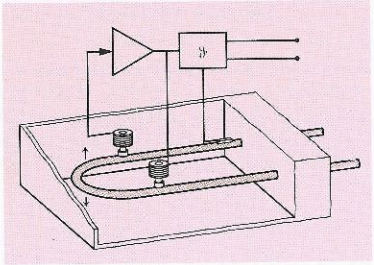


Rys. 7.5
Automat DSA 48 do badania piwa

Obydwa pomiary, areometryczny i refraktometryczny, mogą być wykonywane przez automat (rys. 7.5), który także wykonuje potrzebne obliczenia i podaje gotowe wyniki.

Badanie gęstości za pomocą ultradźwięków

Jednym ze sposobów pomiaru gęstości jest metoda wykorzystująca ultradźwięki. Dźwięk w cieczy rozchodzi się zależnie od jej gęstości. W urządzeniu pomiarowym (rys. 7.6) znajduje się wygięta w kształcie litery U rurka wypełniona badaną cieczą, która służy jako rezonator. Przez pobudzenie elektromagnetyczne rurka wprawiona zostaje w drgania. Częstotliwość rezonansu jest mierzona z dużą dokładnością i natychmiast bardzo dokładnie wskazuje gęstość. Pomiar gęstości na podstawie rezonansu znajduje aktualnie szerokie zastosowanie.



Rys. 7.6. Urządzenie do pomiaru gęstości na drodze rezonansu

Poza sprzętem laboratoryjnym tego typu urządzenia stosowane są do ciągłych pomiarów gęstości w linii produkcyjnej.

7.4.3.2 Oznaczanie barwy piwa

Określanie barwy piwa można przeprowadzać wizualnie przez porównanie barwy piwa ze standardowymi szkiełkami barwnymi. W komparatorze porównuje się próbkę piwa z barwnymi płytkami szklanymi umieszczonymi w dysku, którym obraca się do momentu wyrównania barwy na obu połowach pola widzenia. Przy ciemnych piwach często trzeba próbkę rozcieńczyć. Barwę wyraża się w skali EBC.

Istnieje również możliwość pomiaru barwy piwa za pomocą spektrofotometru. Użycie przyrządu eliminuje ewentualny subiektywny odczyt ludzkiego oka. Pomiaru dokonuje się przy długości fali światła 430 nm, a wynik przemnaża przez odpowiedni współczynnik, aby przejść na skalę EBC.

Barwa różnych piw w jednostkach EBC waha się w granicach:

- piwa pilzneńskie 6 - 11
- piwa jasne pełne 7 - 12
- piwa ciemne pełne 30 - 40
- jasne export 7 - 15
- ciemne export 45 - 100
- marcowe jasne 9 - 15
- piwo Bock jasne 8 - 15

7.4.3.3 Oznaczanie wartości pH

Przy analizie piwa zawsze oznacza się wartość pH. Pomiar ten jest bardzo ważny, gdyż wszystkie procesy enzymatyczne, a także rozwój drobnoustrojów w dużym stopniu zależą od tej wartości.

Pomiary pH wykonuje się za pomocą pehametrów, których istnieje bardzo duży wybór.

Zwykle wartość pH wynosi:

- w brzeczce nastawnej 5,3-5,5
- w piwie 4,3-4,6.

7.4.3.4 Oznaczanie zawartości tlenu w piwie

Jednym z najważniejszych zadań analitycznych w czasie produkcji piwa jest kontrola zawartości tlenu. Obecność tlenu wpływa bardzo ujemnie na jakość piwa i stabilność jego smaku. Pomiar zawartości tlenu przeprowadza się metodą elektrochemiczną. Tlen redukowany jest na katodzie komórki pomiarowej przy określonym napięciu polaryzacyjnym. Powstający przy tym prąd jest dokładnie mierzony. Wielkość ta jest wprost proporcjonalna do ciśnienia cząstkowego tlenu, a więc i do jego zawartości.

Pomiar przebiega

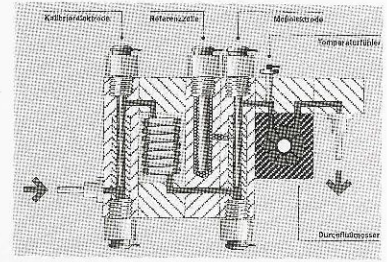
- w komórce pomiarowej *przykrytej membraną* albo
- w *bezmembranowej komórce pomiarowej.*

Membranowa komórka pomiarowa

Jest to polarograficzna komórka pomiarowa według Clarka. Katoda jest ze złota lub platyny, anoda ze srebra lub chlorku srebra. Membranę stanowi folia z PTFE o grubości 10 do 25 µm.

Pomiar za pomocą komórki bezmembranowej

Redukcja tlenu zachodzi na spolaryzowanej elektrodzie; wykorzystuje się przy tym zasadę pomiaru elektrochemicznego za pomocą potencjostatycznie uregulowanego szeregu trzech elektrod. Piwo działa bezpośrednio jako elektrolit i pomiar zachodzi wprost, bez żadnej membrany (np. aparat Digox f-my Dr. Thiedig). Pomiary mogą być wykonywane w laboratorium lub bezpośrednio w linii produkcyjnej przez zastosowanie pętli pomiarowej, która kieruje 10 litrów piwa/h przez czujnik (rys. 7.7).



Rys. 7.7

Ciągły pomiar zawartości tlenu w piwie przez pętlę na linii produkcyjnej
(f-ma Dr. Thiedig, Berlin)

Zawartości tlenu, jakich można oczekiwać obecnie w dobrym browarze:

- w piwie w tanku około 0,00 do 0,01 mg/l
- wlot do monobloku (rozlew) 0,02 do 0,03 mg/l
- piwo w butelce około 0,10 do 0,15 mg/l.

Pomiar zawartości powietrza w wolnej przestrzeni w szyjce butelki

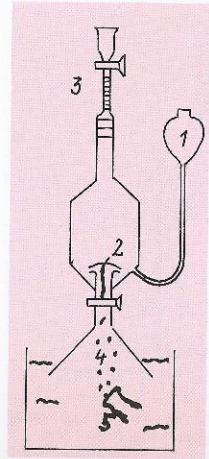
W wolnej przestrzeni w szyjce butelki czasem może znajdować się mieszanina dwutlenku węgla z powietrzem. Do wykrycia tej niepożądanej domieszki powietrza służy metoda, której zasada polega na pochłonięciu dwutlenku węgla przez 20% roztwór KOH, przy czym powietrze po przejściu przez ten roztwór zbiera się w wyskalowanej biurecie i objętość jego może zostać zmierzona (rys. 7.8). Trzeba pamiętać, że 1 ml powietrza to 0,28 mg tlenu (patrz rozdz. 5.2.2.4.6).

Trzeba tu podkreślić, że tlen rozpuszczony w piwie, oraz tlen znajdujący się w wolnej przestrzeni w szyjce butelki reprezentują ogólną zawartość tlenu w piwie, która nie powinna przekraczać 0,15 mg/l.

Zawartość tlenu mierzy się bezpośrednio po rozlewie, zanim nastąpią reakcje utleniania, na przykład podczas pasteryzacji. Przez wykłócanie piwa w butelce osiąga się szybko wyrównanie zawartości tlenu w piwie i w szyjce butelki, po czym można dokonać pomiaru metodą elektrochemiczną, która jest znacznie prostsza i dokładniejsza od podanej na rysunku 7.8.

7.4.3.5 Oznaczanie zawartości dwuacetylu w piwie

Jak już wcześniej powiedziano, redukcja dwuacetylu jest ważnym kryterium, według którego ocenia się przebieg dojrzewania piwa. Z tego



Rys. 7.8
Metoda pomiaru powietrza w szyjce butelki
(1) zbiornik wyrównawczy
(2) pojemnik wypełniony ługiem wiążącym CO_2
(3) wyskalowana biureta
(4) lejek wypełniony wodą
(5) szyjka butelki
(Prostszy sposób podaje J.De Clerck, Lehrbuch der Brauerei, tom 2, str. 714. Przyp. tł. AB)

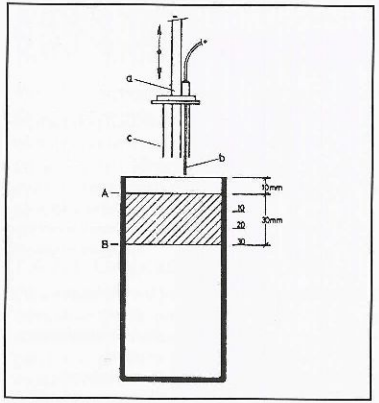
względu niektóre browary codziennie oznaczają jego zawartość w dojrzewającym piwie, aby nie schłodzić go wcześniej do temperatury leżakowania, zanim zawartość dwuacetylu nie spadnie poniżej progu 0,10 mg/l.

Oznaczenie dwuacetylu i pokrewnych dwuketonów można przeprowadzić metodą fotometryczną Hetzel-Gjertsena za pomocą aparatu Parnasa. (*Metoda powyższa stopniowo wychodzi z użycia i we wszystkich lepiej wyposażonych laboratoriach dwuacetyl oznacza się za pomocą chromatografii gazowej. Przyp. tłum. A.B.*)

7.4.3.6 Oznaczanie trwałości piany

Trwałość piany jako ważne kryterium jakości oznacza się bardzo często. Stosuje się do tego najczęściej jedną z dwóch metod, Rossa i Clarka lub NIBEM, których wyniki nie są jednak porównywalne.

Przy metodzie Rossa i Clarka wytwarza się określoną objętość piany z piwa. Miarą trwałości piany jest średni czas trwania baneczek piany, który określa się na podstawie czasu opadania piany i stosunku objętościowego między częścią piany już opadłej a jeszcze trwającej.



Rys. 7.9
System elektrod w urządzeniu do mierzenia trwałości piany NIBEM

Metodę stosuje się tam, gdzie chcemy oznaczyć trwałość piany niezależnie od wysycenia dwutlenkiem węgla. Piana jest tym trwalsza, im wyższa jest wartość liczbowa, która waha się między 90 a 140 s, średnio około 120 s.

Przy metodzie NIBEM mierzy się czas, w ciągu którego powierzchnia piany (rys. 7.9 A) obniży się stopniowo o 10, 20 i 30 milimetrów (B). Oznaczenie przeprowadza się za pomocą ruchomego systemu elektrod (a) z długimi igłami (b i c). Czas opadania piany o 30 mm mierzy się w sekundach. Oceny są następujące:

- wartości poniżej 220 s - bardzo zła trwałość,
- wartości 260 do 280 s - trwałość dobra,
- wartości powyżej 300 s - trwałość bardzo dobra.

7.4.3.7 Oznaczanie zawartości dwutlenku węgla

Zawartość dwutlenku węgla jest bardzo istotnym kryterium oceny piwa. Rozpuszczony w piwie CO_2 zapewnia orzeźwiający smak tego napoju. Za normalne zawartości dwutlenku węgla w piwie można uznać:

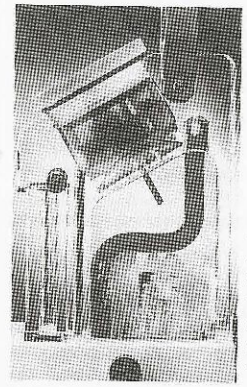
- 4,5 do 6,0 g/l w piwach *dolnej* fermentacji,
- 4,0 do 10,0 g/l w piwach *górnej* fermentacji (*nie angielskich! Przyp. tł.*).

Piwa o zawartości CO_2 poniżej tych granic zaczynają być mdłe.

Do oznaczania dwutlenku węgla w piwie stosuje się dwa rodzaje metod:

- *metody manometryczne,*
- *metody miareczkowe.*

Metody miareczkowe są dokładne, ale bardzo pracochłonne. W metodach manometrycznych oznacza się tylko ciśnienie i temperaturę. Zasada oznaczenia opiera się na prawie Henry'ego, w myśl którego w stanie równowagi masa gazu rozpuszczonego w danej objętości cieczy w danej temperaturze jest proporcjonalna do ciśnienia tego gazu nad roztworem. Stan równowagi uzyskujemy przez energiczne wstrząsanie butelki z badanym piwem. Z pomiarów ciśnienia i temperatury oblicza się zawartość CO_2 w piwie. Ta metoda pomiaru jest często wykorzystywana do mierzenia zawartości CO_2 w piwie na pętli w linii produkcyjnej.



Rys. 7.10
Przyrząd do mierzenia CO_2 w piwie, typ Digital DGM
(firma: Haffmans Venlo, NL).

7.4.3.8 Określanie wartości goryczkowej

Oznaczanie wartości goryczkowej w jednostkach BU, według EBC/ASBC przeprowadza się metodą spektrofotometryczną. Średnie wartości w piwach jasnych wahają się od 20 do 40 BU.

7.4.3.9 Oznaczanie trwałości koloidalnej (test „forsowania")

Trwałość koloidalna piwa jest ważnym kryterium jego jakości. Niektóre piwa klarowne, jak kryształ po filtracji, powoli tracą swój połysk i w końcu mętnieją. Dla browaru ważne jest wiedzieć zawczasu, jak długo jego piwo pozostanie klarowne i czy zagraża mu zmętnienie. W tym celu opracowano metody pozwalające na podstawie kilkudniowych prób określić skłonność piwa do zmętnienia. Najczęściej stosowaną metodą jest tzw. test forsowania. Badaniu poddaje się co najmniej pięć butelek piwa, które najpierw umieszcza się na 24 h w ciepłej kąpieli, a na dalsze 24 h w zimnej. Cykl ten, zwany forsowaniem, powtarza się przemiennie aż do wystąpienia zmętnienia piwa. Temperatura ciepłej kąpieli dla piwa nie pasteryzowanego wynosi 40°C, a dla pasteryzowanego 60°C. Temperatura zimnej kąpieli w obu przypadkach wynosi 0°C. Zmętnienie piwa mierzy się co drugi dzień nefelometrycznie i po osiągnięciu 2 jednostek formazynowych EBC, co odpowiada lekkiej opalizacji, test uważa się za skończony. Wynik wyraża się w liczbie dni ciepłych, które wytrzymuje piwo zanim zmętnieje. Ten wynik, pomnożony przez współczynnik przeliczeniowy daje przewidywaną trwałość piwa w miesiącach. (*Współczynnik każdy browar musi zweryfikować dla swojego piwa, porównując wynik forsowania z wynikami prób na trwałość przechowywanych w temperaturze 26°C. Przyp. tłum. A.B.*)

7.4.3.10 Dalsze badania

Tylko dużemu browarowi opłaca się wyżej podane badania prowadzić u siebie regularnie. Dalsze badania przeprowadza się w miarę potrzeby lub dla okresowej kontroli, zlecając je dużym laboratoriom badawczym, które dysponują odpowiednim kosztownym wyposażeniem i wyszkolonym personelem. Wyniki takich badań powinny mieścić się w niżej podanych wartościach normatywnych:

- ***azot ogółem***
  brzeczka nastawna ***900-1100 mg/l***
  piwo (12%) ***700 -800 mg/l***
- ***azot formolowy***
  brzeczka nastawna ***300-350 mg/l***
  piwo (12%) ***160-210 mg/l***
- ***wolny azot aminowy (FAN)***
  brzeczka nastawna ***200-250 mg/l***
  piwo (12%) ***100-120 mg/l***
- ***związki fenolowe ogółem (EBC)***
  piwo (12%) ***150-200 mg/l***
- ***antocyjanogeny***
  piwo (12%) ***50-70 mg/l***
- ***azotany***
  piwo (12%) ***20-30 mg/l***

Ponadto można jeszcze wykonywać inne badania jakości piwa, ale ich zakres przekracza objętość tego rozdziału.

7.5 Technika pomiarowa w procesach produkcyjnych

Obok dokładnej kontroli surowców, półproduktów i piwa coraz częściej występuje potrzeba mierzenia szeregu parametrów samego procesu. Jest to konieczne, aby zapewnić jednolitą jakość produktu. Taka ciągła kontrola stała się

możliwa dzięki metodom pomiarów na linii produkcyjnej oraz systemom komunikacji wewnętrznej zakładu.

Sposoby przeprowadzania pomiarów można podzielić na:

- ***on-line***, przy którym pomiar następuje bezpośrednio w urządzeniu, np. w zbiorniku lub rurociągu,
- ***off-line***, w przypadku kiedy pobrane próbki zanoszone są do laboratorium lub na stół w warzelni, gdzie pracownik przeprowadza pomiary areometrem.

Liczba możliwości w technice pomiarów i analizy procesów ciągle wzrasta. Można tu wymienić w skrócie następujące pomiary względnie czujniki do ich wykonywania (211):

- czujniki temperatury,
- przepływomierze,
- czujniki poziomu napełnienia zbiornika,
- czujniki pomiaru gęstości,
- przyrządy do pomiaru zmętnienia,
- czujniki pomiaru zawartości tlenu,
- pehametry,
- konduktometry,
- czujniki ciśnienia,
- różne czujniki wartości granicznych.

7.5.1 Czujniki temperatury

Najbardziej rozpowszechnionym czujnikiem temperatury jest Pt100. W tej nazwie Pt określa cienki drucik platynowy, którego opór przy 0°C wynosi 100 Ω, zatopiony w małym szklanym koreczku. Wiadomo dokładnie, jaki opór elektryczny daje ten drucik w określonych temperaturach. Czujniki Pt100 są produkowane w osłonie z rurki ze stali szlachetnej, w której są zalane sztuczną żywicą i sprzedawane jako nadajniki wartości pomiarowych lub też wbudowane w urządzenie przetwarzające pomiary. Zakres pomiaru temperatury wynosi zwykle 50 lub 100 stopni C, np. 0-100°C albo 0-50°C. Dają one standardowy sygnał wyjściowy, na przykład prąd albo napięcie (4 do 20 mA przy 0,1 do 10 V), który bezpośrednio może być zapisywany i przetwarzany w urządzeniu sterującym (SPS).

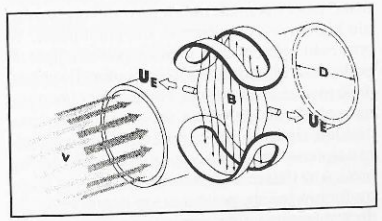
7.5.2 Przepływomierze

Dla wielu procesów w browarze ważny jest pomiar przepływających ilości cieczy. Jako przepływomierze znajdują zastosowanie:

- liczniki z ruchomymi częściami,
- przepływomierze indukcyjne,
- mierniki przepływu masy, działające na podstawie zasady Corioli,
- urządzenia działające na zasadzie impulsów ultradźwięków.

W licznikach z ruchomymi częściami przepływający strumień cieczy obraca odpowiednio uformowane kółko (przepływomierz wirnikowy) lub odchyla klapę zaworu itp. Te przepływomierze stosuje się jeszcze w browarach tylko do wody.

W przepływomierzu indukcyjnym do pomiaru przepływającej ilości wykorzystuje się właściwości piwa jako elektrolitu. Zgodnie z dotyczącym indukcji prawem Faradaya, w przewodniku elektrycznym poruszającym się przez pole magnetyczne powstaje napięcie, które jest proporcjonalne do szybkości ruchu przewodnika, w tym przypadku piwa. W przepływomierzu, który stanowi odcinek rury (rys 7.11), piwo przepływa między ustawionymi prostopadle do jego kierunku elektrodami. Dzięki odpowiedniemu przetworzeniu danych można przepływającą ilość piwa odczytywać bezpośrednio na wskaźniku. Pomiar jest bardzo dokładny i nie zależy od ciśnienia, lepkości i konsystencji produktu. Różnice temperatury mogą być kompensowane przez elektroniczne urządzenie odczytujące.



Rys. 7.11
Zasada działania przepływomierza indukcyjnego
(UE) - napięcie pomiarowe, (D) - średnica (odległość między elektrodami), (v) - szybkość przepływu, (B) - pole magnetyczne

Przepływomierze tego typu zupełnie się nie zużywają, a jednocześnie umożliwiają bardzo dokładny pomiar, piwo jednak nie może w najmniejszym stopniu zawierać banieczek gazu, gdyż fałszują one pomiar.

Mierniki przepływu masy działające na podstawie zasady Corioli

Przepływomierz tego typu wykorzystuje siłę Corioli, która działa na każde ciało poruszające się w układzie obrotowym. Nakładają się tu na siebie ruch obrotowy z ruchem postępowym. Przy zastosowaniu tej zasady do pomiaru przepływającej masy cieczy, której ilość trzeba zmierzyć, przepływa przez odcinek przewodu składający się z dwóch równoległych skręconych rur. Te rury pobudzane są do drgań, powstaje przy tym różnica fazy między początkiem a końcem rury pomiarowej. Ta rezonansowa zmiana częstotliwości drgań jest mierzona. Wynik jest proporcjonalny do przepływającej masy i można go wykorzystać również do pomiaru gęstości.

Metoda jest bardzo dokładna i może być wykorzystana w urządzeniach legalizowanych urzędowo.

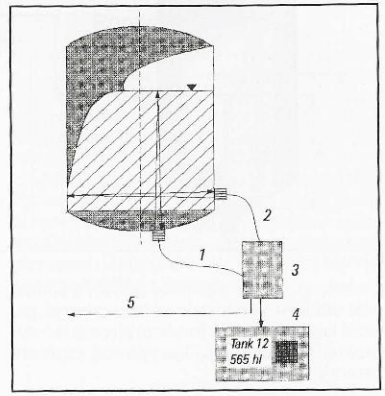
7.5.3 Czujniki poziomu napełnienia zbiorników

Przy nadzorowaniu produkcji pomiary stopnia napełnienia zbiorników są jednymi z najważniejszych. Przekroczenie dopuszczalnego poziomu ich napełnienia często pociąga za sobą poważne straty i komplikacje. Dla zboża i innych materiałów sypkich stosuje się różne systemy pomiarów, jak:

- *sondy objętościowe*, które są tanie, ale mało dokładne,
- *sondy wibrujące*, których wibracje są tłumione, gdy zboże sięgnie ich poziomu, co sygnalizuje odpowiedni czujnik.

Dla cieczy stosuje się wiele różnego rodzaju czujników.

Na rysunku 7.12 pokazano pomiar poziomu napełnienia zamkniętego zbiornika, polegający na mierzeniu różnicy ciśnień u dołu zbiornika i w jego kopule. Różnica ta odpowiada wysokości słupa cieczy. W pomiarze trzeba uwzględnić jej gęstość



Rys. 7.12
Pomiar poziomu napełnienia na podstawie różnicy ciśnień

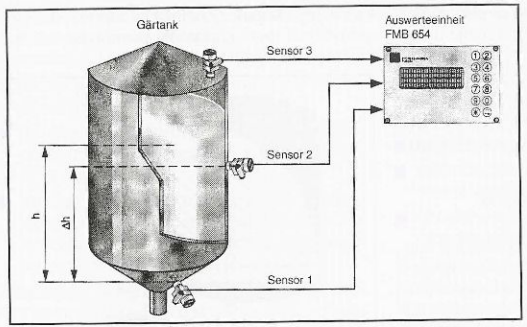
Można również mierzyć zawartość tanku za pomocą ultradźwięków na zasadzie echosondy. W tym celu jedna sonda mierzy średnicę *(? jest chyba znana! Przyp. tł. AB)* tanku, a druga wysokość do lustra cieczy (rys. 7.13). W urządzeniu przetwarzającym dane zostaje na tej podstawie obliczona zawartość tanku. Sondy są przyklejone na powierzchni tanku, tak że odpada ich wbudowywanie. Przy tanku leżącym pomiary mogą nastąpić dopiero od chwili napełnienia zbiornika powyżej połowy. Dokładność wskazań wynosi około1%.

Zawartość tanku można też łatwo i dokładnie określić na podstawie pomiarów precyzyjnego przepływomierza, dokonywanych przy napełnianiu lub opróżnianiu zbiornika.

Sondy sygnalizujące opróżnienie zbiornika działają na zasadzie pomiaru konduktometrycznego. Są też w użyciu proste sondy pływakowe.

7.5.4 Urządzenia do pomiaru gęstości

Do pomiaru gęstości wykorzystuje się urządzenia działające na zasadzie rezonansu ultradźwięków i pomiaru częstotliwości.



Rys. 7.13
Pomiar zawartości tanku za pomocą ultradźwięku na zasadzie echosondy (NL-Automation)

Stosując przepływomierz indukcyjny z pomiarem ultradźwięków stale można mierzyć gęstość brzeczki na linii (on-line) i łącząc to z odpowiednią regulacją korygować stężenie brzeczki.

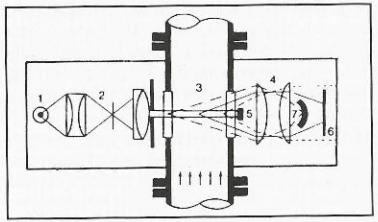
Dokładność pomiaru przy zastosowaniu ultradźwięków wynosi około 0,2%. Metoda może być wykorzystywana do badania ekstraktu w kotle warzelnym, do oddzielania brzeczki wysłodkowej od cienkusza lub przy zastosowaniu metody HGB do rozcieńczania piwa (Aldox, Alfa Laval).

Dla jeszcze dokładniejszych pomiarów stosuje się systemy rezonansowe (patrz rozdz. 7.4.3.1).

Pomiar różnicy ciśnień: dwie dokładne sondy pomiaru ciśnienia mierzą ciśnienie hydrostatyczne na dwóch różnych wysokościach tanku. Znając różnicę wysokości i aktualną temperaturę w tanku można z różnicy ciśnień obliczyć gęstość.

7.5.5 Urządzenia do pomiaru zmętnienia

Pomiary zmętnienia są kłopotliwe, gdyż trzeba brać pod uwagę rodzaj zmętnienia. Najczęściej stosuje się urządzenia, które mierzą absorpcję oraz rozproszenie światła. W urządzeniu pomiarowym musi być dokładnie określone źródło światła (rys. 7.14 – 1), z którego wiązka promieni (2) kierowana jest poprzecznie do przepływającej cieczy (3). Po przejściu przez strumień cieczy światło przechodzące rejestrowane jest przez odbiornik (5), a światło rozproszone, zebrane przez układ optyczny (4) mierzone jest przez detektor (6).



Rys. 7.14. Pomiar zmętnienia
(1) źródło światła, (2) optyka projektora, (3) badana ciecz, (4) optyka odbierająca, (5) detektor światła przechodzącego, (6) detektor światła rozproszonego, (7) ekran osłaniający

7.5.6 Pomiar zawartości tlenu

Pomiar zawartości tlenu może być dokonywany także na linii za pomocą urządzeń opisanych w punkcie 7.4.3.4.

7.5.7 Pomiary wartości pH

Pomiary wartości pH trudno przeprowadzać na linii ze względu na ogromną kruchość elektrod szklanych. Pomiar ten w produkcji przeprowadza się często, ale zwykle za pomocą przenośnych pehametrów (patrz rozdz. 7.4.3.3).

7.5.8 Pomiary konduktometryczne

Pomiary konduktometryczne pozwalają określić stężenie jonów w elektrolitach. Metoda stosowana jest do mierzenia stężeń wodnych roztworów środków myjących i dezynfekcyjnych oraz pozwala na ich automatyczne dozowanie.

7.5.9 Sondy wartości granicznych

Sondy wartości granicznych stosuje się dla wskazania lub zasygnalizowania określonych poziomów napełnienia zbiornika, najczęściej maksymalnych lub minimalnych. Zazwyczaj urządzenie sygnalizuje tylko informację „tak" lub „nie". W sondach tych wykorzystuje się przewodnictwo elektryczne, zmiany optymalnej gęstości i czujniki działające mechanicznie.

7.5.10 Pomiary ciśnienia

W wielu miejscach procesu produkcyjnego trzeba mierzyć ciśnienie. Jednostką ciśnienia jest paskal, dla pomiarów technicznych używany jest jednak bar. 1 bar = 10^5 Pa (= 100000 Pa). Jako urządzenia pomiarowe używane są manometry do miejscowego wskazania ciśnienia i czujniki ciśnienia przy pomiarach zdalnych. Technika pomiarowa w ostatnich latach zrobiła ogromne postępy i daje piwowarowi wielkie możliwości w zakresie badania i sterowania procesami. Dzięki temu źródła ludzkich błędów są coraz bardziej eliminowane.

8 Produkcja piwa w minibrowarach

Dotychczas była mowa wyłącznie o produkcji piwa w dużych browarach i urządzeniach. Około 95 procent piwa na świecie produkowane jest w taki sposób.

Ostatnio w wielu krajach zauważa się zainteresowanie podjęciem samodzielnej produkcji piwa lub konsumowaniem piwa w takich restauracjach i lokalach, w których można przypatrywać się, w jaki sposób piwo powstaje. Produkcja piwa przebiega oczywiście wg zasad, które zostały już opisane, lecz w przypadku małych browarów są różnice, które trzeba zasygnalizować.

Przy tym trzeba odróżniać:

- produkcję piwa *w warunkach domowych* lub *produkcję piwa w ramach „hobby"*, która polega na samodzielnym warzeniu piwa w niewielkiej ilości dla własnych potrzeb,
- produkcję piwa w *browarach restauracyjnych* i w *browarach typu „pub"* oraz w *minibrowarach* w ilości od 1000 do 10000 hl rocznie w celach handlowych.

W niektórych krajach mniejsze browary produkujące do ok. 30000 hl piwa rocznie nazywane są minibrowarami. Liczba minibrowarów oraz browarów typu „pub" stale rośnie. W Niemczech jest ok. 680 minibrowarów i browarów typu „pub", produkujących do 5000 hl piwa rocznie, z czego 220 to browary restauracyjne. W Stanach Zjednoczonych ich liczba wzrosła w ostatnich latach do ponad 1300. Również w innych krajach powstaje dużo nowych minibrowarów i browarów typu „pub"

W Stanach Zjednoczonych rozróżnia się:

- *browary regionalne* – produkujące ponad 17550 hl piwa rocznie oraz
- *minibrowary* – produkujące do 17550 hl piwa rocznie.

Struktura *browarów restauracyjnych* w Stanach Zjednoczonych definiowana jest podobnie jak w Niemczech. W przypadku *minibrowarów* różnica polega na tym, że nie mogą one spełniać jednocześnie roli browarów restauracyjnych, jak to ma miejsce w Niemczech

Oprócz tego w Stanach Zjednoczonych istnieją tzw. *„browary na zlecenie"*, które produkują dla potrzeb innych browarów różne specjalności.

8.1 Browary restauracyjne (browary typu „pub")

W browarach typu „pub" istnieje ścisły związek pomiędzy produkcją piwa a gastronomią. Piwowar takiego browaru ma bowiem bezpośredni kontakt z konsumentami produkowanego piwa.

Od browaru typu „pub" konsumenci, np. w Niemczech, oczekują, że:

- będą mogli w nim zobaczyć, w jaki sposób produkuje się piwo,
- będą mogli zobaczyć piwowara, porozmawiać z nim i poznać go,
- piwo w pubie będzie smaczne i będzie zachęcało do wypicia jeszcze jednego kufla,
- w pubie będzie można przytulnie posiedzieć i porozmawiać,
- do piwa będzie można zamówić dobre i urozmaicone jedzenie, odpowiednie do typu piwa,
- w pubie będzie można spędzić czas w przyjemnym towarzystwie.

Wymagania stawiane piwowarowi *browaru typu „pub"* są wysokie, a ich spełnienie nie jest wcale łatwe, jak twierdzą liczni rozczarowani, którzy utopili swe pieniądze w takim przedsięwzięciu.

Właściwy wybór odpowiedniego budynku pod browar i jego położenia, poznanie oczekiwań konsumentów z najbliższej okolicy browaru, dobre oszacowanie poziomu ich dochodów i tym samym ich zdolności płatniczych, poznanie oczekiwań, jakie musi spełniać piwowar browaru typu „pub" w danym regionie, dobór odpowiedniej dla danego regionu gastronomii i jej menu, poznanie wymagań, jakie musi spełniać szef kuchni i jego pomocnicy itd. – to zagadnienia, których waga i znaczenie nie podlega dyskusji. Istotne jest zrozumienie, jak duży wpływ mogą one mieć na pomyślne funkcjonowanie browaru typu „pub".

Piwowar browaru typu „pub" musi w pierwszym rzędzie dbać o odpowiedni wygląd swoich urządzeń. Pod tym pojęciem należy rozumieć np. piękną warzelnię wykonaną z miedzi, ewentualnie z atrakcyjnymi, drewnianymi elementami wykończeniowymi, dobrze prezentującą się szerokiej publiczności, wręcz zachwycającą.

Zbiorniki, w których przeprowadzany jest proces zacierania i gotowania powinny być ustawione nieco wyżej, tak aby były wyraźnie wyeksponowane i aby każdy mógł je zobaczyć z sali. Sterowanie automatyczne procesami produkcyjnymi w browarze powinno być stosowane tylko wtedy, kiedy nie ma w pobliżu konsumentów. W przeciwnym wypadku piwowar powinien ręcznie sterować procesami. Z uwagi na wymogi higieniczne, fermentownia powinna być odizolowana od reszty browaru, ale przeszklona, tak aby każdy mógł zobaczyć pianę w otwartej kadzi. Nie zaszkodzą również palmy w warzelni, nie może także zabraknąć ozdób na ścianach oraz kilku innych dobrych pomysłów. Wszystko co zobaczą konsumenci, musi zrobić na nich korzystne wrażenie. Również nastrojowa muzyka, pianista lub mały zespół muzyczny, czynią pub bardziej interesującym i atrakcyjnym. Piwem i sposobem prezentowania jego produkcji powinien wyróżniać się także piwowar – konsumenci pragną bowiem rozrywki!

Fotografie warzelni w różnych browarach restauracyjnych (zdjęcie 8.1) powinny być cennymi wskazówkami w tym zakresie.

Jakie jest niezbędne wyposażenie *browaru typu „pub"* i jak powino być wykorzystane?

Przedmiotem tych rozważań jest warzelnia.

Podstawowe założenia muszą wynikać z następujących danych:

- jak duży ma być oczekiwany „piwny biznes",
- jak dużo miejsc posiada restauracja i ile z nich jest zajętych w ciągu dnia,
- jaki ma być oczekiwany obrót dzienny – tygodniowy, miesięczny, roczny,
- ile razy w tygodniu będzie gotowana brzeczka,
- jak wielkie w związku z tym potrzebne są zbiorniki,
- w jaki sposób warzelnia będzie mogła zostać powiększona w razie potrzeby?

Przykład: Przy wykorzystaniu *warzelni* na 10 hl (wybicie 10 hl brzeczki) można wyprodukować 8,5 hl piwa (przy uwzględnieniu ok. 15% zaników).

Jeśli każdego dnia w tygodniu (5 dni roboczych) produkowana będzie jedna warka, to przy uwzględnieniu 40 tygodni w ciągu roku (5 tygodni - urlopy, 3 tygodnie - zwolnienia lekarskie, 2 tygodnie - remonty) będzie można wyprodukować

$$8{,}5 \cdot 40 \times 5 = 1700 \text{ hl piwa w ciągu roku}$$

Zakładając, że restauracja (pub) będzie otwarta/y przez 300 dni w roku, a dzienne spożycie piwa będzie wynosić 6 hl, zapotrzebowanie na piwo w ciągu roku wyniesie

$$300 \cdot 6 = 1800 \text{ hl}$$

Jak z powyższego wynika, planowana produkcja piwa będzie mniejsza, niż roczne zapotrzebowanie na piwo.

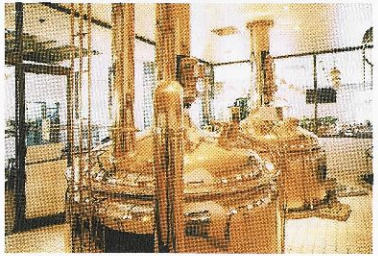
Jeśli założymy jednak, że dzienne spożycie piwa będzie wynosić 4 hl, to roczne zapotrzebownie na piwo wyniesie

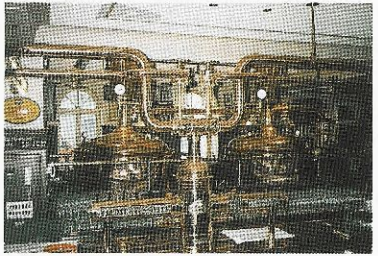
$$300 \cdot 4 = 1200 \text{ hl}$$

W tym przypadku roczne zapotrzebowanie na piwo zostanie całkowicie pokryte, a browar będzie posiadał dodatkowo znaczną nadwyżkę produkcji.

Dla browaru typu „pub" możliwe jest wprawdzie wyprodukowanie więcej niż jednej warki w ciągu doby, lecz dla jednego piwowara będzie to trudne. Ważne jest, aby produkcja brzeczki trwała aż do wieczora. Dzięki temu konsumenci odwiedzający pub mają możliwość przypatrywania się produkcji piwa.

Szacuje się, że w Niemczech na jedno miejsce w pubie przypada w ciągu roku ok. 10 hl piwa.





Rysunek 8.1. W browarze restauracyjnym
Zdjęcia prezentują różne pomieszczenia wraz z warzelniami. Dwa główne zbiorniki warzelni, wykonane z miedzi (lub pokryte miedzią) muszą być dobrze widoczne dla klienta.
Poza tym należy je usytuować blisko środka pomieszczenia, ustawić na małym podwyższeniu i oddzielić dekoracyjną kratą w celu uniknięcia oparzeń i wypadków; zbiorniki są bowiem zazwyczaj gorące.
Szczególnie dekoracyjnie wygląda długa lada wykonana z miedzi, do tego jeszcze wiele ozdób typowych dla browarnictwa, obrazów lub starych przedmiotów z browaru. Wszystko to musi wywołać żywe zainteresowanie wśród klientów i dostarczyć im wielu wrażeń wzrokowych.
Dużo uwagi należy poświęcić także formie i wyposażeniu sali restauracyjnej: przegrody, wnęki i mniejsze zakątki są najczęściej poszukiwanymi przez klientów miejscami do siedzenia.

W/w wielkości muszą zostać poddane przez piwowara dokładnej kalkulacji i dopiero na ich podstawie możliwe jest określenie objętości zbiorników warzelni.

W zależności od zasypu należy liczyć się z następującymi wielkościami:

(patrz p. 3.6.2.):

- kadź zacierna i filtracyjna (objętość od 6 do 8 hl),
- kocioł zacierny i warzelny (objętość od 8 do 9 hl).

Zgodnie ze specyfiką produkcji piwa, piwowar ma do czynienia w browarze z tzw. strefą gorącą (warzelnia) i z tzw. strefą zimną (fermentownia i leżakownia), które muszą zostać od siebie oddzielone we właściwy sposób (rys. 8.2)

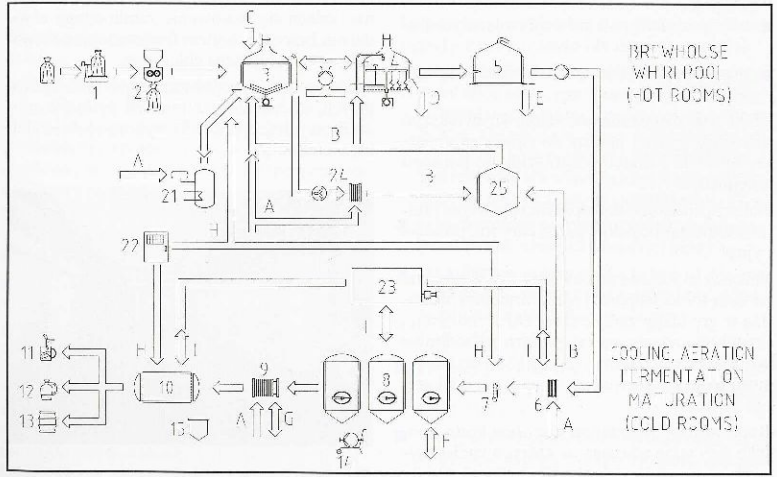
O czym musi pamiętać piwowar browaru restauracyjnego:

Warzelnia

Z uwagi na niewielkie ilości, słód na warzelnię dostarczany jest w workach.

Słód w workach powinien być magazynowany w suchym pomieszczeniu, ponieważ jest higroskopijny i łatwo chłonie wodę. W przypadku magazynowania słodu w silosach, lepiej aby były dwa niezbyt duże.

Piwowar browaru typu „pub" stosuje do śrutowania słodu przeważnie prosty młynek dwuwalcowy oddzielony szybą od sali restauracyjnej, ale – jeśli to możliwe – widoczny dla gości. Trzeba brać pod uwagę powstawanie kurzu podczas śrutowania.



Rys. 8.2
Urządzenia i schemat pracy browaru restauracyjnego
(Browar BTE Brauerei - Technik, Essen)
(1) waga do słodu, (2) młynek do słodu, (3) kocioł zacierny / warzelny, (4) kadź filtracyjna, (5) kadź Whirlpool, (6) wymiennik ciepła do chłodzenia brzeczki, (7) urządzenie do napowietrzania brzeczki, (8) tanki fermentacyjne i leżakowe, (9) filtr do piwa, (10) tank ciśnieniowy, (11) urządzenie do wyszynku piwa, (12) urządzenie do napełniania syfonów, (13) urządzenie do napełniania kegów, (14) pompa, (15) tank do mycia w obiegu zamkniętym CIP, (21) wytwornica pary, (22) kompresor sprężonego powietrza, (23) chłodnica z wodą lodową, (24) kondensator oparów, (25) tank na gorącą wodę

(A) zimna woda, (B) gorąca woda, (C) chmiel, (D) wysłodziny, (E) osad, (F) drożdże, (G) żel krzemionkowy, (H) sprężone powietrze, (I) woda lodowa

Kocioł ogrzewany jest pośrednio za pomocą pary; wytwarzanie pary następuje w kotle niskociśnieniowym. Inne metody ogrzewania (bezpośrednio spalanym gazem lub olejem ewentualnie ogrzewanie elektryczne) to gorsze zastosowania. Możliwe jest także ogrzewanie kotła za pomocą kochera zewnętrznego. Powierzchnia grzejna kotłów, aby uniknąć kłopotów, musi być dokładnie obliczona.

Dużą wagę przywiązuje się do kondensacji oparów, szczególnie wtedy, gdy pub położony jest na terenie zasiedlonym. Bardzo nieprzyjemna może być także nadmierna emisja zapachów z kotła warzelnego do sali restauracyjnej. Wszystko to wymaga dobrej wentylacji.

Kadź filtracyjna musi posiadać dobrą izolację termiczną.

Kolektor brzeczki powinien być otwarty, ponieważ

- nie można i tak uniknąć dopływu małych ilości tlenu do brzeczki oraz
- przy otwartym klarowaniu brzeczki większy jest efekt pokazowy.

Efekt pokazowy można dodatkowo zwiększyć używając ręcznej pompy do zawracania mętnej brzeczki i tradycyjnego szkła do pomiaru zmętnienia.

Należy pamiętać o konieczności usuwania młóta słodowego i osadów przez cały rok produkcyjny!

Wszystkie połączenia powinny być wykonane ze stali kwasoodpornej; jako armatura wchodzą w grę klapy zamykające. Do wymuszania przepływu stosowane są pompy odśrodkowe wirnikowe o wydajności do 60 hl/h i szybkości strumienia w przewodzie ssącym nie większej niż 1,3 m/s.

Kadź whirlpool powinna stać obok kotła; spotyka się i takie warianty, w których kocioł wykorzystywany jest jako kadź whirlpool. Osady należy spłukiwać ręcznie. Chłodzenie brzeczki prowadzi się w wymienniku płytowym.

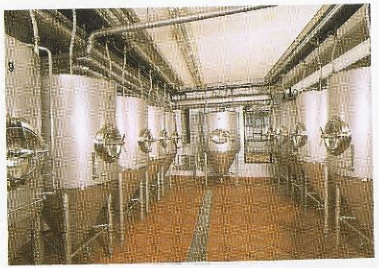
Granulaty lub ekstrakty chmielowe powinny być przechowywane w chłodzie, podobnie jak dodatki: sól, kolendra, goździki, skórki cytryny i pomarańczy, miód itd. Szczególnie należy zwrócić uwagę na ich termin przydatności do spożycia i odpowiednią temperaturę ich przechowywania!

Dużo uwagi – a także rozwagi – należy poświęcić zagadnieniu automatyzacji urządzeń w browarze. W zasadzie można zautomatyzować wszystkie etapy produkcji piwa, aby tym samym odciążyć piwowara od manualnych czynności. Ręczne sterowanie procesami powinno być jednak zachowane wszędzie tam, gdzie mamy do czynienia z efektami pokazowymi, które objaśniają konsumentom przebieg produkcji piwa.

Fermentownia i leżakownia

Najbardziej korzystne jest stosowanie otwartych kadzi fermentacyjnych, oddzielonych szybą tak, aby można było pokazać konsumentowi fermentującą brzeczkę; można w tym celu wykorzystać także lustra. Wielkość kadzi fermentacyjnych musi być dopasowana do wielkości warzelni; z uwagi na możliwość zakażenia, zaleca się stosowanie zamkniętego chłodzenia brzeczki; kadzie fermentacyjne wyposażone są w płaszcze chłodzące.

Leżakowanie piwa prowadzi się w tankach stojących, ewentualnie w tankach cylindryczno-stożkowych (zdjęcie 8.3) wykonanych ze stali kwasoodpornej.



Rys. 8.3

Fermentownia i leżakownia w browarze typu „pub"

(zdjęcie: Browar BTE Brauerei -Technik, Essen)

Zwykle są stosowane stałe przewody. W przypadku użycia węży należy zwrócić uwagę na to, aby były one wykonane z najlepszych materiałów. Mycie i dezynfekcję małych urządzeń przeprowadza się najlepiej za pomocą jednorazowych środków myjących (bez stosowania zbiorników magazynowych).

Piwo niefiltrowane przetrzymuje się pod ciśnieniem w temp. 0°C w tankach pośredniczących.

Należy dokładnie zaznajomić się z wymaganiami urzędu skarbowego odnośnie określania ilości sprzedawanego piwa, w przeciwnym razie może dojść do przykrych niespodzianek!

Do dyspozycji powinny być 3 tanki pośredniczące, a w przypadku produkowania więcej niż jednego gatunku piwa, odpowiednio więcej.

W browarze typu „pub" zwykle nie prowadzi się namnażania czystych kultur drożdżowych. Piwo produkuje się w oparciu o drożdże sprowadzane z większych browarów. Po przerwie produkcyjnej należy zawsze używać świeżych drożdży.

Urządzenia wyszynkowe

W browarze restauracyjnym istnieje ścisły związek pomiędzy produkcją i wyszynkiem piwa. Piwowar browaru typu „pub" musi dbać o ustawienie prawidłowego ciśnienia w tanku pośredniczącym dla uzyskania odpowiedniego nasycenia piwa, jak również o temperaturę podawanego konsumentom piwa. Zalecana temperatura konsumowania piwa jest różna i przykładowo wynosi:

- w Europie (6 - 8°C)
- w Stanach Zjednoczonych (0 - 4°C)

W urządzeniach wyszynkowych używa się mieszaniny dwutlenku węgla i azotu, którą można zamówić, względnie produkować na miejscu w browarze. Jest rzeczą zrozumiałą, że urządzenia do wyszynku powinny być atrakcyjne i wyposażone w oryginalne zawory i tzw. kolumny do nalewania piwa, a także w szklanki o szczególnych kształtach, wykonane ze szkła dekoracyjnego, ewentualnie także w kufle oraz syfony. Trzeba jednak stale mieć na względzie koszty związane z tak atrakcyjnym wyposażeniem! Produkcja piwa o naturalnym zmętnieniu (niefiltrowanego) nie zwalnia z obowiązku codziennego mycia urządzeń wyszynkowych, w przeciwnym razie szybko dojdzie do infekcji. W przypadku piwa niefiltrowanego nie będzie ona wprawdzie widoczna gołym okiem, wkrótce jednak zacznie być mocno odczuwalna w postaci nieprzyjemnego zapachu i smaku w piwie. Za kontrolę urządzeń wyszynkowych odpowiedzialny jest, i nadal pozostanie ich użytkownik.

Gatunki piwa

Dla piwowara browaru typu „pub" kluczowym zagadnieniem jest to, jakie piwo będzie warzył, jak powinno ono smakować, czego oczekują konsumenci?

Konkurowanie ze znanymi markami piwa jest z góry skazane na niepowodzenie; duże browary mają wypracowane skuteczne metody reklamowania i umieszczania swoich gatunków piwa na rynku. Piwowar browaru typu „pub" musi być tego świadomy i produkować jedynie własne, oryginalne gatunki piwa.

Przed rozpoczęciem produkcji własnego gatunku piwa, należy za punkt wyjścia przyjąć następujące rozważania:

- jaką moc ***brzeczki podstawowej*** powinno mieć takie piwo; moc brzeczki podstawowej determinuje poziom zawartości etanolu w piwie. Generalnie piwa o ekstrakcie od 10,5% do 12% cieszą się największym zainteresowaniem wśród konsumentów; mocniejsze piwa są rzadziej poszukiwane,
- jaki ***charakter*** powinno mieć produkowane piwo (smak mniej czy bardziej pełny),
- jaką ***barwę*** powinno wykazywać (jasną, średnią czy ciemną); barwa musi być odpowiednia dla danego gatunku piwa.

Należy także rozważyć, czy

- chcemy produkować piwo o bardziej słodowym, czy też bardziej chmielowym charakterze oraz czy
- mamy zamiar produkować piwa o różnorodnych smakach przy wykorzystaniu specjalnych dodatków. Należą do nich np:
  - przyprawy, jak kolendra, sól kuchenna, goździki, cynamon lub
  - owoce, jak wiśnie, jagody lub suszone skórki z jabłek lub cytryny,
  - zioła, jak bazylia, szałwia, rumianek, a ostatnio także coraz częściej
  - miód.

Miód zbierany jest przez pszczoły z różnych kwiatów i dlatego zawiera substancje smakowe charakterystyczne dla roślin. W związku z tym wykazuje bardzo zróżnicowaną jakość w zależności od tego, gdzie i kiedy był zbierany.

Następnym czynnikiem, który może wpływać na charakter produkowanego gatunku piwa jest

- zastosowanie drożdży ***górnej fermentacji*** zamiast lub przed drożdżami dolnej fermentacji lub
- zastosowanie ***drożdży dofermentowujących*** o szczególnym profilu aromatycznym lub
- zastosowanie ***bakterii kwasu mlekowego***.

Piwo o smaku lekko kwaśnym może być pożądane pod względem sensorycznym, jeśli jednak zakwaszanie przebiega w sposób niekontrolowany, piwo jest po prostu kwaśne i niesmaczne. W takich przypadkach lepiej jest zakupić (np. w instytucie) odpowiednią kulturę bakterii kwasu mlekowego i odpowiednio ją przetestować; cechy sensoryczne piwa muszą bowiem tworzyć harmonijną całość. Ważna jest przede wszystkim zgodność oferowanych potraw z serwowanym gatunkiem piwa

Urządzenia energetyczne

Do prawidłowego funkcjonowania browar restauracyjny musi mieć:

- niskociśnieniową wytwornicę pary, ew. wytwornicę do szybkiego wytwarzania pary z tankiem na gorącą wodę,
- urządzenie chłodnicze zasilane elektrycznie z glikolem jako czynnikiem chłodzącym lub
- zbiornik na wodę lodową do chłodzenia brzeczki lub piwa, jak również
- kompresor do wytwarzania sprężonego powietrza do napowietrzania brzeczki.

Urządzenia energetyczne są kosztowne zarówno przy zakupie, jak i w bieżącej eksploatacji. Należy więc przywiązywać dużą wagę do ich właściwego doboru dla potrzeb konkretnego browaru. W szczególności musi być zapewnione możliwie tanie przygotowanie gorącej wody w browarze.

Zalecenia odnośnie aspektów prawnych

W żadnym kraju nie można przystąpić do produkkcji piwa bez znajomości i przestrzegania odpowiednich przepisów. W związku z tym należy najpierw dokładnie zapoznać się z wszystkimi uregulowaniami w tym zakresie, do których w większości krajów należą:

- uzyskanie licencji na produkcję piwa,
- przepisy dotyczące urządzeń w browarze typu „pub",
- rozporządzenia dotyczące ochrony środowiska,
- przepisy podatkowe oraz
- inne rozporządzenia prawne, które w tym wypadku muszą być również uwzględnione, jak np. przepisy dotyczące środków spożywczych, higieny, wody do celów spożywczych, jak również
- przepisy dotyczące bezpieczeństwa i higieny pracy oraz przepisy przeciwpożarowe.

Wybieranie wariantów najbardziej korzystnych ekonomicznie

Piwowar browaru restauracyjnego nie buduje i nie instaluje samodzielnie poszczególnych urządzeń w swoim browarze. W związku z tym zmuszony jest korzystać z różnych ofert. Jeżeli nie pochodzi z tzw. „bogatego domu" (a zazwyczaj tak właśnie jest), to musi oszczędnie operować pieniędzmi. Pojawia sie pytanie, jak to zrobic? Jak wiadomo tanio – nie zawsze oznacza korzystnie!

Czynnikami sprzyjającymi piwowarowi planującemu budowę browaru typu „pub" jest to, że

- nie musi filtrować i rozlewać wyprodukowanego piwa do beczek i butelek,
- nie istnieje dla niego problem dystrybucji piwa poza terenem własnego pubu, nie jest także związany żadnymi umowami handlowymi. Obrót pieniężny zachodzi zatem tylko w obrębie jego własnego browaru.

Piwowar browaru typu „pub" musi także zwrócić uwagę na takie istotne zagadnienia, jak:

- finansowanie, kapitał własny, kredyt, czynsze, spłata długoterminowych pożyczek, terminy,
- koszty materiałów, energii, wynagrodzeń i ich pochodnych, stan zatrudnienia, formy płatności, co jest, a co nie jest ubezpieczone,
- spodziewane zyski, rentowność.

8.2 Minibrowar

W przeciwieństwie do konstruktora browaru restauracyjnego, właściciel minibrowaru nie musi przywiązywać tak wielkiej wagi do wyglądu zakładu. Jest rzeczą oczywistą, że musi dbać o jego czystość i atrakcyjny wygląd, lecz nie pod kątem konsumentów oglądających codziennie warzelnię. Im większy minibrowar, tym bardziej aktualne są w jego przypadku założenia i wytyczne dla browaru typu „pub", zamieszczone w poprzednim rozdziale.

W każdym przypadku właściciel minibrowaru, nie prowadząc dystrybucji piwa na miejscu, musi posiadać urządzenia do rozlewu piwa. Istnieją również takie minibrowary, które część wyprodukowanego piwa sprzedają w pubach. W tym przypadku mamy do czynienia z ewidentnym zanikaniem różnic pomiędzy uprzednio zdefiniowanym browarem typu „pub" a minibrowarem.

Minibrowar musi być w pierwszym rzędzie wyposażony w urządzenie do napełniania kegów. W zależności od tego, jaką część produkowanego piwa stanowić będzie piwo w kegach, należy zastosować urządzenie rozlewcze z jedną lub z kilkoma głowicami. Jeżeli miejscowe zwyczaje za tym przemawiają lub jeśli jest to konieczne, minibrowar powinien być wyposażony w urządzenia do rozlewu piwa do butelek, syfonów lub puszek. Ponieważ piwo z minibrowaru jest sprzedawane i wysyłane na zewnątrz, musi zostać przed rozlewem przefiltrowane i poddane stabilizacji. Poza tym powinno zwrócić uwagę konsumentów odpowiednią etykietą i reklamą, tym bardziej że nie może zostać zaprezentowane i zareklamowane w tak efektowny sposób jak piwo z browaru typu „pub".

Piwo z minibrowaru musi także odróżniać się od popularnych piw rynkowych oryginalnością i odpowiednim wizerunkiem oraz przekonać konsumentów o swojej jakości.

Pozostałe założenia i wytyczne przedstawione w rozdziale dla browaru typu „pub" są także aktualne dla minibrowaru, nawet wtedy kiedy dysponuje on mniejszymi urządzeniami.

8.3 Domowa produkcja piwa i produkcja piwa w ramach hobby

W ostatnich latach w Niemczech znacznie rozwinęła się domowa produkcja piwa i wytwarzanie go w ramach „hobby". Kierunek ten wspierany jest przez liczne sklepy, które zajmują się sprzedażą surowców do produkcji piwa, jak również oferują niezbędne urządzenia i pomoc fachową.

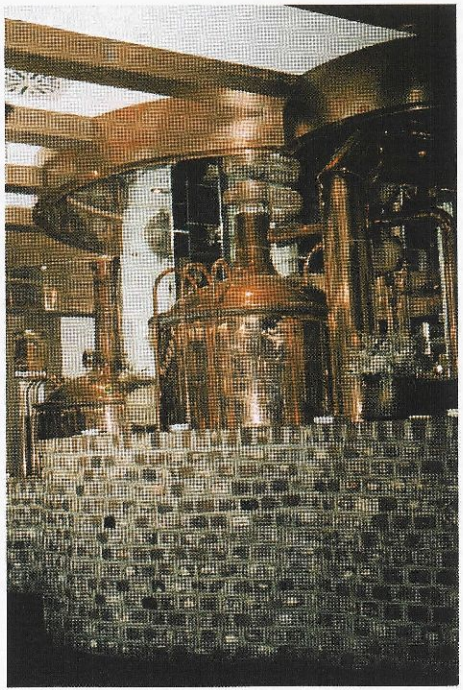
Aby wyprodukować dobre piwo w małej ilości, potrzebne są dobre jakościowo surowce. W Niemczech można je nabyć w specjalnych sklepach. Są to:

- słód (różne odmiany),
- ekstrakt słodowy (do rozcieńczenia),
- chmiel w postaci ekstraktu, granulatu lub prasowany,
- drożdże różnych ras, przechowywane w chłodzie lub bardziej trwałe drożdże suszone.

Ponadto potrzebne są: naczynia, cylinder miarowy, nasadki i wiele innych elementów.
Na początku powinno się zakupić granulaty różnych odmian chmielu w najmniejszych opakowaniach i wypróbować je; rodzaj chmielu ma bowiem duży wpływ na jakość zapachu i smaku chmielowego w piwie!

- ***Woda***, w grę wchodzi zazwyczaj woda wodociągowa. Lecz uwaga! Taka woda jest najczęściej chlorowana i może być przyczyną występowania w piwie nieprzyjemnego smaku fenolowego. W takim przypadku celowe jest przepuszczenie wody przez filtr węglowy lub jej przegotowanie.
- ***Drożdże***, w grę wchodzą świeże drożdże z browaru, o ile nie chcemy korzystać z drożdży suszonych.

Inne wiadomości czytelnik znajdzie w odpowiednich rozdziałach tej książki. Trzeba je tylko sprowadzić do małej skali.



Warzelnia za szybą restauracji

9 Utylizacja odpadów i środowisko naturalne

Podczas produkcji piwa powstaje szereg substancji, które muszą zostać zutylizowane lub usunięte. Należą do nich w szczególności:

- wysłodziny i chmieliny,
- osady,
- drożdże odpadowe,
- ścieki,
- zużyta ziemia okrzemkowa,
- resztki etykiet, opakowań i in.,
- stłuczone szkło.

Ponadto do obciążeń ekologicznych, z którymi browar musi się uporać należą:

- opary i zapachy z warzelni,
- gazy odlotowe z instalacji kotłów parowych,
- hałas powstający w niektórych miejscach,
- pył z surowców.

9.1 Prawo dotyczące środowiska naturalnego

Minęły już czasy, w których zagadnienia środowiska naturalnego nie stwarzały problemów. Dzisiaj w większości krajów na świecie istnieją odpowiednie ustawy, regulujące przepisową utylizację substancji odpadowych, o ile nie da się ich z góry uniknąć. Zagadnienia te reguluje ustawa o ochronie środowiska i zagospodarowaniu odpadów. Celem ustawodawstwa dotyczącego środowiska naturalnego jest **ograniczenie ilości wytwarzanych odpadów i śmieci** i w końcowym efekcie zrealizowanie produkcji bez odpadów i śmieci.

Do ustaw w sprawie środowiska naturalnego dotyczących przemysłu piwowarskiego zalicza się w Niemczech:

- **ustawa federalna dotycząca ochrony przed emisją z 21 rozporządzeniami, z czego**
  - **nr 1. BImSchV dotyczy instalacji do spalania (kotłowni)**
  - **nr 4. BImSchV dotyczy instalacji, dla których wymagane jest zezwolenie**
  - **nr 9. BImSchV dotyczy zezwoleń na stosowanie metod i procesów technologicznych**
  - **nr 11. BImSchV dotyczy emisji gazów, par itp.**
  - **nr 12. BImSchV dotyczy obniżenia zakłóceń**
  - **TA dotyczy powietrza**
  - **TA dotyczy hałasu**
- **ustawa dotycząca odpowiedzialności za środowisko naturalne**
- **ustawa dotycząca bilansu wodnego (gospodarki wodnej) wraz z rozporządzeniem odnośnie:**
  - **pochodzenia ścieków**
  - **pośredniego odprowadzania ścieków**
  - **przepis 1/11 odnośnie zarządzania ściekami**
  - **ustawa dotycząca zrzutów ścieków**
  - **ustawa dotycząca odpadów wraz z rozporządzeniami odnośnie**
  - **oznaczania odpadów**
  - **oznaczania substancji resztkowych**
  - **mułów poosadnikowych**
  - **zużytych olejów**
  - **opakowań**
  - **odzysku opakowań wykonanych z tworzyw sztucznych (recycling)**
- **ustawa dotycząca oszczędzania energii (racjonalnej gospodarki energią elektryczną)**
- **ustawa dotycząca chemikaliów z rozporządzeniem odnośnie**
  - **substancji niebezpiecznych**
  - **zakazu stosowania związków FCKW i związków halogenowych**

Nie bez powodu najwięcej ustaw i zarządzeń dotyczących środowiska naturalnego poświęconych jest wodzie. Problem ten wymaga największej troskliwości

9.2 Ścieki

Z wyjątkiem tej wody, która bezpośrednio przeszła do piwa i do produktów ubocznych lub odparowała, każda następna jej kropla przechodzi do ścieków.

Można się liczyć z tym, że poza 1,8-2,5 hl wody zużytej na każdy hektolitr wytworzonego piwa cała reszta odpływa w formie ścieków.

Przy zużyciu 6 hl wody/1 hl piwa powstanie zatem 3,5-4,2 hl ścieków, przy niższym zużyciu wody wartość ta będzie odpowiednio mniejsza.

Przy myciu i spłukiwaniu różnych urządzeń w browarze, woda zabiera lub rozpuszcza wiele substancji.

W ogólnych ściekach z browaru znajdują się:

- piwo i resztki brzeczki,
- woda wysłodkowa,
- ścieki zawierające osady,
- ścieki zawierające drożdże,
- ścieki ze stacji mycia w obiegu zamkniętym CIP,
- ług odpadowy ze stacji mycia CIP,
- kwasy ze stacji mycia CIP,
- brudny ług odpadowy z filtra PVPP,
- ścieki zawierające odpadową ziemię okrzemkową,
- alkaliczne wody po myciu,
- gorące, zanieczyszczone ścieki, a w szczególności:
  - ług z myjni butelkowych z
  - nierozpuszczalnymi substancjami, jak włókna papieru z etykiet, szlamem i wieloma
  - innymi zanieczyszczeniami,
  - rozpuszczalnymi substancjami, jak klej, sole metali,
  - śladowymi ilościami olejów i tłuszczów, służących do smarowania maszyn,
- resztki piwa z butelek zwrotnych, beczek i kegów,
- piwo rozpryskiwane przez urządzenia napełniające.

W ściekach stwierdza się także obecność smarów pochodzących z przenośników płytkowych - nie giną one nigdzie po drodze.

Substancje te systematycznie podnoszą stężenie zanieczyszczeń w [RT1]ściekach. Mnożąc stężenie zanieczyszczeń przez ilość ścieków, otrzymuje się wielkość ładunku ściekowego.

Duże ładunki ściekowe wymagają oczyszczalni ścieków o dużej pojemności i powodują konieczność ponoszenia kosztów oczyszczania w formie podwyższonych opłat za odprowadzanie ścieków. Oszczędności w tym zakresie mogą przynieść zabiegi zmierzające do obniżenia ładunków ściekowych, a więc zabiegi umożliwiające ich zatrzymywanie oraz tzw. recycling.

9.2.1 Koszty związane ze ściekami

Gminy i urzędy oraz instytucje zajmujące się ściekami są ustawowo zobowiązane do inwestowania w zakresie utylizacji ścieków. Muszą także ponosić znaczne koszty naprawy uszkodzonych sieci kanalizacyjnych.

Koszty tych przedsięwzięć są przekazywane dalej według odpowiedniego klucza rozdzielczego, uchwalanego przez gminy. Wzrastają przez to opłaty za odprowadzenie ścieków.

Dodatkowe opłaty dla jednostek mocno zanieczyszczających środowisko, do których zaliczają się niemal wszystkie browary, bardzo podwyższają koszty odprowadzania ścieków.

Do substancji szczególnie obciążających środowisko należą:

- **wszyskie substancje utleniające się**; mogą one zostać rozłożone, ale do tego celu potrzebna jest duża ilość tlenu. Jeśli w formie nieprzetworzonej zostaną wpuszczone do kolektora kanalizacyjnego, ulegają tylko częściowemu rozkładowi z powodu niedostatecznego napowietrzenia.

W konsekwencji zaczynają gnić, obciążając środowisko odorem i niszcząc życie organiczne.

Ilość substancji utleniających się podawana jest w wartościach: ChZT (chemiczne zapotrzebowanie na tlen) w mg O_2/litr [w Niemczech CSB] lub BZT_5 (biochemiczne zapotrzebowanie na tlen) w mg O_2/litr [w Niemczech BSB_5].

- **fosfor w postaci fosforanów**

Związki fosforowe (obok związków azotowych) przyczyniają się do wzrostu glonów w wodach powierzchniowych i zaliczane są do substancji szkodliwych; w związku z tym w ostatnich latach stopniowo nastawiono się na produkcję środków myjących nie zawierających związków fosforowych

- **azot w postaci azotanów**

Ze względów zdrowotnych szczególną uwagę zwraca się na problem obciążenia środowiska naturalnego przez azotany pochodzące głównie z nawozów sztucznych. Azotany przenikające do wód gruntowych i do ścieków w coraz większym stopniu zanieczyszczają glebę (pomimo tego, w urządzeniach do mycia w obiegu zamkniętym CIP, musi być stosowany nadal kwas azotowy do rozpuszczania kamienia piwnego).

organiczne związki halogenowe (skrót niemiecki AOX)

- W rozporządzeniu dotyczącym pochodzenia ścieków zwraca się uwagę na to, że w następstwie stosowania produktów chloropochodnych, jak np. środków myjących zawierających związki chloru, powstają niebezpieczne substancje (§ 7a rozporządzenia). Związki AOX są przedmiotem szczególnego zainteresowania urzędów zajmujących się ściekami.
- szczególną uwagę poświęca się także substancjom zagrażającym wodzie lub **substancjom niebezpiecznym dla zdrowia**. Należą do nich sole metali ciężkich: takich jak rtęć, ołów, kadm i chrom, ale także związki AOX i chlorowcopochodne węglowodorów. Podczas oczyszczania ścieków substancje te pozostają w wodzie lub w szlamie osadnika i w związku z tym należy unikać ich stosowania w browarze.

Niebezpiecznymi substancjami są także kwasy, ługi, środki myjące i dezynfekcyjne; dla tych substancji nakazane jest używanie zbadanych zbiorników zapasowych i (jak w przypadku oleju opałowego) wanien wychwytujących lub zbiorników z podwójną ścianką.

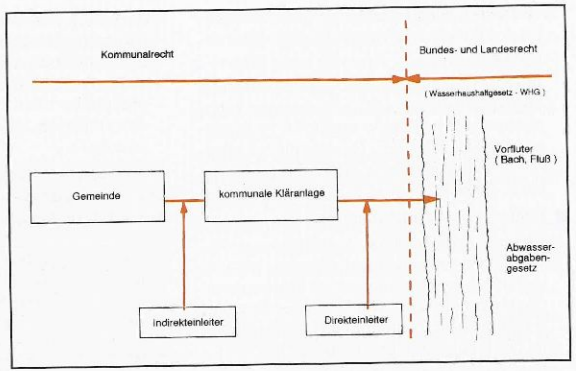
W Niemczech różnicuje się następujące substancje szkodliwe lub grupy substancji szkodliwych za pomocą jednostek szkodliwości

Oceniane substancje szkodliwe lub ich grupy	Jednostki szkodliwości odpowiadające według stężenia i ilości rocznej	Wartości progowe według stężenia i ilości rocznej
Substancje utlenialne w chemicznym zapotrzebowaniu na tlen	50 kg tlenu	20 mg/l 250 kg w ciągu roku
Fosfor	3 kg	0,1 mg/l 15 kg w ciągu roku
Azot	25 kg	5 mg/l 125 kg w ciągu roku
Organiczne związki halogenowe jako halogeny adsorbowalne organicznie związane (AOX)	2 kg	100 µg/l 10 kg w ciągu roku

Metale i związki	Wartości progowe dla stężeń		Ilość w ciągu roku
• rtęć	20 g	1 µg/l	100 g
• kadm	100 g	5 µg/l	500 g
• chrom	500 g	50 µg/l	2,5 kg
• nikiel	500 g	50 µg/l	2,5 kg
• ołów	500 g	50 µg/l	2,5 kg
• miedź	1000 g	100 µg/l	5,0 kg
Toksyczność w odniesieniu do ryb			

W celu lepszego zrozumienia niezbędne jest wyjaśnienie stanu prawnego dotyczącego odprowadzania ścieków (rys. 9.1):

Rys 9.1
Zakłady bezpośrednio i pośrednio odprowadzające ścieki



Istnieją dwie grupy zakładów odprowadzających ścieki, a mianowicie:

- **pośrednio odprowadzające**, są to zakłady, które wprowadzają swoje ścieki poprzez komunalne oczyszczalnie i
- **bezpośrednio odprowadzające**, są to zakłady, które swoje ścieki po oczyszczeniu wprowadzają bezpośrednio do publicznych wód powierzchniowych, kolektorów kanalizacyjnych (potok, rzeka, strumień).

Woda wprowadzona do kolektora kanalizacyjnego podlega ustawie o gospodarce wodnej, a więc **ustawie federalnej**. Do tego dochodzi także ustawa dotycząca zrzutów ścieków, zawierająca dane odnośnie minimalnych wymagań dla zrzutów według jednostek szkodliwości.

Woda wprowadzana do kolektora kanalizacyjnego podlega najpierw **ustawie komunalnej**. Ścieki z browaru A wprowadzone pośrednio do kanalizacji komunalnej i do miejskiej oczyszczalni ścieków, oczyszcza się w tej komunalnej oczyszczalni ścieków, lecz za zawarte w ściekach ilości substancji obciążających płaci browar.

Niemieckie gminy i jednostki administracyjne zajmujące się ściekami, odpowiedzialne za użytkowanie komunalnych oczyszczalni ścieków, w celu zapewnienia właściwego przebiegu procesu oczyszczania, ustaliły pewne wartości maksymalne.

Należą do nich na przykład:

- temperatura do 35°C
- wartości pH 6-9 (10)

Za tzw. znaczne zanieczyszczenia i stężenia ścieków, przekraczające stężenia ścieków domowych, nakłada się zwiększone opłaty dodatkowe i tak, np. za ChZT wynoszące powyżej 500 mg/l

do 1000 mg/l = 0,50 DM/m³ ścieków
do 3000 mg/l = 1,00 DM/m³ ścieków
powyżej 3000 mg/l = 1,50 DM/m³ ścieków.

Jak widać, ścieki to problem dość kosztowny i zanosi się na to, że będzie jeszcze droższy. Konieczne jest więc zajęcie się poprawą jakości ścieków, zmniejszeniem ich ilości i tym samym ponoszonych kosztów.

Wymaga to zapoznania się z kilkoma definicjami pojęć dotyczących ścieków.

9.2.2 Definicje pojęć dotyczących ścieków

Do charakterystyki ścieków stosowane są następujące określenia:

- zawiesiny opadające,
- BZT_5 (w Niemczech BSB_5),
- ChZT (w Niemczech CSB),
- ładunek ściekowy (obciążenie ściekami),
- równoważna liczba mieszkańców (w Niemczech określana w skrócie EGW).

Zawiesiny opadające

Są to substancje, które z uwagi na większą gęstość w stosunku do ścieków, opadają na dno. Do pomiaru stosuje się osadniki Imhoffa (leje sedymentacyjne Imhoffa) o wysokości 40 cm i pojemności 1 litra. Pomiaru dokonuje się po 2-godzinnym czasie opadania.

BZT_5

Biochemiczne zapotrzebowanie na tlen to ilość tlenu, którą w ciągu 5 dni i w temperaturze 20°C zużywają drobnoustroje podczas rozkładu związków organicznych zawartych w ściekach.

Poniżej podano kilka wartości stężeń BZT_5:

ścieki domowe	300 mg O_2/l
ścieki z browaru	1200 mg O_2/l
ścieki w obiegu czyszczalni	20 mg O_2/l
woda wysłodkowa	do 10000 mg O_2/l
wyciąg ze sprasowanych wysłodzin	do 10000 mg O_2/l
piwo	ok. 80000 mg O_2/l

ChZT

Chemiczne zapotrzebowanie na tlen (ChZT) oznacza się przez reakcję substancji zawartych w ściekach z silnymi utleniaczami. Do tego celu najczęściej wykorzystuje się nadmanganian potasowy $KMnO_4$ w kwaśnym roztworze. Metoda jest łatwa i szybka do przeprowadzenia. W Niemczech próbka gotowana jest przez 10 min., natomiast w Anglii wystarczy do oznaczenia próbka zadana odczynnikami i pozostawiona przez 4 h w temperaturze 27°C. $KMnO_4$ utlenia jednak tylko część substancji organicznych, a stopień utlenienia zależy od chemicznego składu próbki. Metoda ta nie nadaje się zatem do porównywania składu ścieków pochodzących z różnych źródeł.

Zamiast metody z nadmanganianem potasu zaleca się metodę z wykorzystaniem dwuchromianu potasowego $K_2Cr_2O_7$ w roztworze kwasu siarkowego. W metodzie tej związki organiczne są utleniane w znacznie wyższym stopniu, a wymagany czas gotowania w temperaturze 148 +/- 3°C w obecności jonów srebra jako katalizatora wynosi 2 h. W literaturze metoda ta jest często określana skrótem angielskim COD (chemical oxygen demand).

Ładunek ściekowy

Ładunek ściekowy to ilość ścieków (w m^3) pomnożona przez oznaczoną wartość BZT_5 (w g/m^3).

Równoważna liczba mieszkańców RLM

Jest to współczynnik, który wyraża, jakie ilości zanieczyszczeń odprowadza mieszkaniec średniego miasta europejskiego w 200 l ścieków na dzień.

Założono przy tym następujące wartości:

mg/l = g/m³	Związki mineralne	Związki organiczne	Razem BZT_5	
Zawiesiny opadające	20	30	50	20
Zawiesiny (nieopadające) koloidalne	5	10	15	10
Związki rozpuszczone	75	50	125	30
razem:	100	90	190	60 g/M·d

Równoważna liczba mieszkańców (RLM) wynosi około 60 g BZT_5 na jednego mieszkańca na 1 dzień.
Ta definicja jest jednak różna w różnych krajach.

9.2.3 Oczyszczanie ścieków

Ścieki zawierają bardzo dużo substancji, które mogą być rozkładane przez mikroorganizmy. Do tego celu potrzebują one tlenu. W związku z tym ścieki mogą być w dużym stopniu oczyszczone przez wprowadzenie do nich powietrza. Powstaje przy tym osad czynny, który rozkładany jest przez drobnoustroje tlenowe. W tym wypadku mówi się o tzw. tlenowym (aerobowym) oczyszczaniu wody. Powietrze samo nie przedostaje się do ścieków, do jego wprowadzenia niezbędna jest energia.

W warunkach beztlenowych ścieki powoli rozkładane są przez bakterie gnilne (anaerobowe). Najpierw w wyniku hydrolizy powstają kwasy organiczne, a następnie wytwarzany jest biogaz (2/3 metan, 1/3 CO_2). Taki sposób określa się mianem oczyszczania ścieków w warunkach beztlenowych. W przeciwieństwie do metody tlenowej stopień rozkładu zanieczyszczeń ściekowych w metodzie beztlenowej jest mniejszy, powstaje również mniejsza ilość osadu. Jednak w tym przypadku powstaje biogaz, z którego po spaleniu uzyskuje się energię.

Obie metody - tlenowa i beztlenowa - stosowane są w praktyce. Urządzenia nowszego typu są najczęściej urządzeniami do oczyszczania ścieków w warunkach beztlenowych z dołączonym stopniem tlenowym.

9.2.3.1 Instalacje do oczyszczania ścieków w warunkach tlenowych

Istnieje dużo różnych instalacji do oczyszczania ścieków w warunkach tlenowych. Można je podzielić na 3 grupy:

1. Osadniki z osadem czynnym i rowy biologiczne utleniające

Pod tym pojęciem rozumie się duże baseny o długości ponad 50 metrów i głębokości do ponad 3 metrów, w których ścieki są natleniane za pomocą specjalnych urządzeń napowietrzających. Dodatkowo napowietrzacze te zapewniają odpowiednią homogeniczność ścieków i zapobiegają osadzaniu się szlamów.

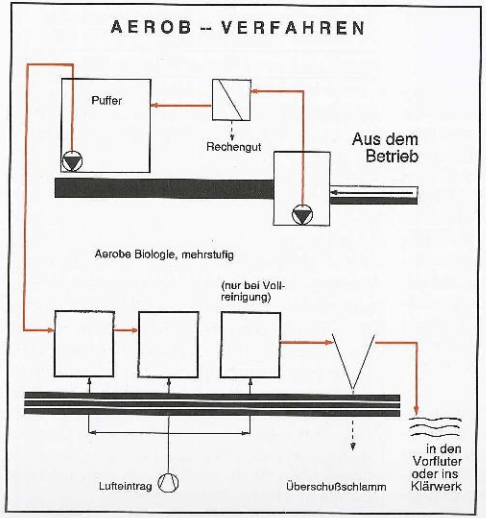
2. Reaktory specjalne i złoża biologiczne

Są to urządzenia, w których ścieki poddawane są intensywnemu napowietrzaniu, a powstający przy tym osad jest usuwany i zagęszczany za pomocą specjalnych urządzeń.

3. Reaktory z immobilizowaną biomasą

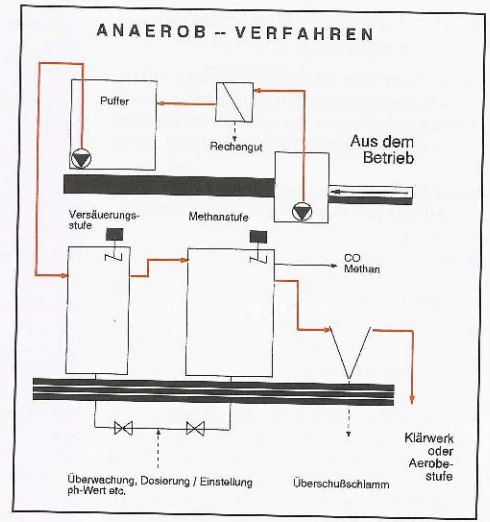
W reaktorach tych biomasa pozostaje w stałym kontakcie ze ściekami i jest równomiernie zaopatrywana w tlen. Typowym przedstawicielem reaktorów tego typu jest fermentor tarczowo-rotacyjny:

Na poziomym wale umieszczone są w krótkich odstępach duże, szorstkie tarcze o średnicy od 2 do 3 metrów, wykonane z tworzywa sztucznego, które w 40 % zanurzone są w ściekach i



Rys. 9.2
Metoda oczyszczania ścieków w warunkach tlenowych (zasada działania)

Rys.9.3
Metoda beztlenowego oczyszczania ścieków (zasada działania)



powoli są mechanicznie obracane. Tarcze te obrastają w błonę biologiczną z mikroflorą tlenową i następuje powolny rozkład ścieków. Zasadniczo metody tlenowe są takie, jak przedstawia rysunek 9.2.

9.2.3.2 Urządzenia do oczyszczania ścieków w warunkach beztlenowych

Metoda ta jest z powodzeniem stosowana od wielu lat do unieszkodliwiania wysokostężonych ścieków z cukrowni, fabryk celulozy, gorzelni i innych. Metoda jest także przedmiotem zainteresowania ze strony innych gałęzi przemysłu, w tym również browarów, z uwagi na możliwość odzyskiwania energii ze spalanego metanu. Metoda oczyszczania ścieków w warunkach beztlenowych nie wymaga energii do napędu urządzeń napowietrzających; tak jak w przypadku obróbki ścieków w warunkach tlenowych.

Urządzenia do oczyszczania ścieków w warunkach beztlenowych składają się najczęściej z dużych cylindrycznych lub cylindryczno-stożkowych zbiorników fermentacyjnych, w których procesy rozkładu zachodzą w stałych temperaturach. Proces przebiega w kilku etapach (rys. 9.3.), które ostatecznie kończą się powstaniem metanu (biogazu). Metoda ta wymaga równomiernego i ciągłego zasilania reaktora i wysoko kwalifikowanego personelu, ponieważ bakterie pracujące w warunkach beztlenowych są bardzo wrażliwe i otoczeniu, w którym się znajdują stawiają bardzo wysokie wymagania.

Bilans substancji węglowych różni się w przypadku metody beztlenowej i tlenowej (rys 9.4). W metodzie tlenowej około 50% substancji przekształca się w szlam osadnikowy lub ulatnia się w postaci dwutlenku węgla, podczas gdy w metodzie beztlenowej ponad 90% przekształca się w biogaz, który może być stosowany do celów energetycznych.

9.2.3.3 Ilość oraz skład ścieków z browarów

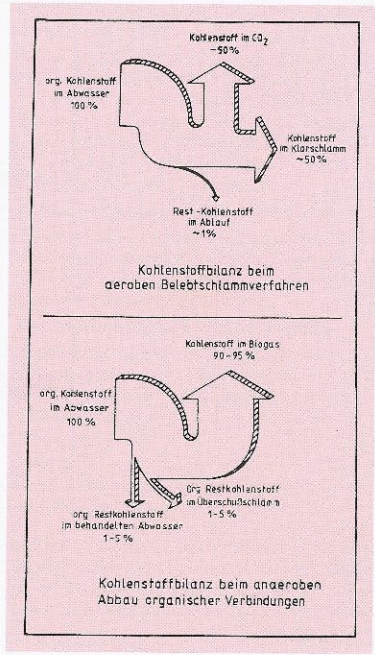
Skład ilościowy i jakościowy ścieków w browarach jest zmienny. Istnieją szczyty w określonych dniach oraz mniejsze ilości ścieków nocą lub pod koniec tygodnia. Niekiedy ścieki są:

- bardzo alkaliczne i gorące, kiedy np. odprowadzana jest ciepła woda z myjki butelek, albo są
- bardzo kwaśne, kiedy wypuszczany jest zużyty kwas ze stacji mycia w obiegu zamkniętym CIP lub
- wykazują ciemną barwę i są mocno alkaliczne, kiedy z filtru PVPP wypływa roztwór ługu regenerującego.

W przypadku ścieków zawsze mogą zaistnieć niespodzianki, przede wszystkim, dlatego że dla niektórych pracowników spuszczenie ścieków do kratki podłogowej jest cudownym środkiem uzdrawiającym. Jeśli w takim najmniej odpowiednim momencie zjawi się kontrola ze stacji wodociągów i kanalizacji, to nieuchronnie będą duże kłopoty.

W trakcie procesu produkcji piwa powstają nie tylko duże ilości ługu odpadowego lub zużytego kwasu, ale także mniejsze pozostałości osadów drożdżowych, wysłodzin i osadów z warzelni lub zużytej ziemi okrzemkowej, które przeszkadzają w utrzymaniu czystości i po prostu są spłukiwane.

Mogą to być również zmyte z podłogi popłuczyny z rozlewu butelkowego [83].



Rys. 9.4
Bilans węgla w tlenowej i beztlenowej metodzie traktowania ścieków

Do ścieków przedostają się:

Z ładunkiem ścieków	w g ChZT/hl piwa
piwo z rozprysków 0,96 ml/butelkę	= 23
piwo resztkowe 1,6-2,6 ml/butelkę	= 38,4 - 62,4
wyciąg z etykiet 25-37,5 mg CBS/butelkę	= 5-7,5
klej z etykiet	= 6
suma średnio od-do	= 72,4-128,9 g ChZT/hl

Jak widać już sam rozlew daje stały strumień obciążający ładunek ściekowy, który z uwagi na resztkowe ilości piwa w butelkach zwrotnych jest bardzo nieregularny.

W takim strumieniu ścieków trudno jest utrzymać się poniżej wyznaczonej granicznej wartości 4,0 hl ścieków/hl piwa o maksymalnym stężeniu wynoszącym 600 g ChZT /hl i uniknąć płacenia kar za nadmierne zanieczyszczenia.

Niezłym środkiem zaradczym może być gromadzenie w przewietrzanym zbiorniku ścieków z całego dnia lub całego tygodnia, co umożliwia ich neutralizowanie. Zalety:

- kwaśne i alkaliczne ścieki neutralizują się wzajemnie, zapobiegając tym samym powstawaniu zbyt wysokich pH,
- wyrównywane są różnice temperatur w ściekach, nie występują zatem nagłe podwyższone temperatury,
- produkty barwnych reakcji są odbarwiane,
- odprowadzane ilości ścieków mogą być regulowane, jak również rozdzielane na godziny nocne i koniec tygodnia,
- przez uśrednienie ładunku ściekowego odpada problem tzw. silnych zanieczyszczeń.

Istnieją przypadki, kiedy miejskie oczyszczalnie ścieków wykorzystują ścieki z browaru do kompensacji ścieków z gospodarstw domowych, posiadających zupełnie inny skład. Jest on różny w poszczególnych regionach, dlatego też celowa jest współpraca browarów z miejscowymi oczyszczalniami ścieków.

Obróbka ścieków w komorach mieszania i w zbiornikach wyrównawczych zyskuje na znaczeniu [80].

9.2.3.4 Utylizacja ścieków w komorach mieszania i zbiornikach wyrównawczych

Komory mieszania i zbiorniki wyrównawcze, zaprojektowane przez VLB składają się z:

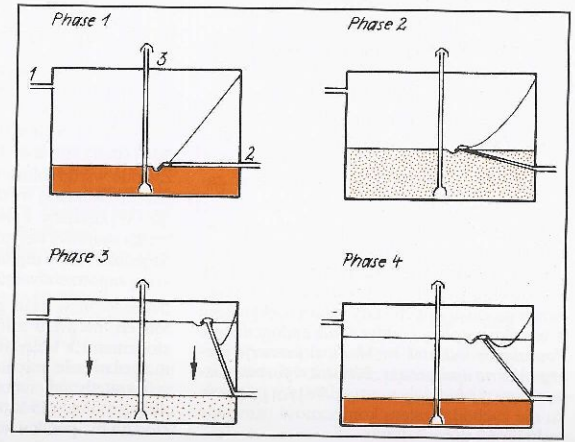
- okrągłego basenu w formie zbiornika silosowego,
- zanurzalnego urządzenia do napowietrzania i mieszania,
- instalacji sterowania napowietrzaniem i przebiegiem procesu,
- urządzenia do regulacji odpływu.

Rozróżnia się dwa podstawowe typy instalacji:

Typ A – Instalacje bez zatrzymywania biomasy, która jest wypuszczana razem ze ściekami.

Dla browarów wytwarzających ścieki o mniejszym stopniu zanieczyszczenia istnieją:

- małe baseny wyrównawcze o pojemności dziennej i
- duże baseny wyrównawcze o pojemności tygodniowej.



Rys 9.5
Utylizacja ścieków przy pomocy basenów-mieszalników i wyrównawczych VLB wg dr Schumanna

Typ B – Instalacje z zatrzymywaniem biomasy w:

- małych basenach wyrównawczych o pojemności dziennej albo w
- dużych basenach wyrównawczych o pojemności tygodniowej

Przy wykorzystaniu instalacji Typ B2 z basenem wyrównawczym o pojemności tygodniowej uzyskuje się

- 90-95% skuteczność rozkładu biologicznego
- niezawodną neutralizację wszystkich zanieczyszczeń oraz
- równomiernie oczyszczone ścieki.

Zbiorniki wyrównawcze Typ B2 pracują w 4 fazach (rys. 9.5.):

Faza 1: ***Położenie podstawowe*** - zbiornik zawiera warstwę biomasy o wysokości około 1,5 m; stan ten ma miejsce najwcześniej w niedzielę wieczorem.

Faza 2: ***Egalizacja, neutralizacja i rozkład biologiczny*** - z rozpoczęciem pracy w poniedziałek, ścieki produkcyjne spływają do basenu. Zbiornik powoli się napełnia, a napowietrzacz pracuje okresowo, dopasowując ilość dostarczanego tlenu do jego zużycia. Następuje biologiczny rozkład substancji organicznych i powstaje kwas węglowy potrzebny do neutralizacji.

Faza 3: ***Sedymentacja*** - biomasa oddziela się i opada, podczas gdy oczyszczone ścieki gromadzą się powyżej.

Faza 4: Oczyszczone, wolne od osadu ścieki są odprowadzane. ***Odprowadzenie*** odbywa się poprzez urządzenie pływakowe, tak aby najczystszą wodę odbierać zawsze z samej góry.

Faza 3 i 4 dotyczy każdej odprowadzanej szarży, co ma miejsce kilka razy dziennie. Ilość szlamu w zbiorniku zwiększa się nieznacznie przy zachowaniu określonych warunków; w przerwach produkcyjnych stary szlam rozkłada się w wyniku autolizy i oddychania endogennego. ***Powstające wskutek rozkładu substancje nieorganiczne opuszczają zbiornik w formie rozpuszczonej i nie sedymentują.*** W tym przypadku nie zachodzi zatem konieczność usuwania nadmiernej ilości szlamu.

9.3 Odpady

Nie tylko ścieki, ale także i odpady powstające w trakcie procesu produkcji piwa w browarze muszą zostać zagospodarowane. Są to [100]:

Rodzaj odpadu (produktu ubocznego)	kg/hl gotowego piwa	Ilość odpadu w Niemczech (1991 rok) w 1000 t
Wysłodziny i chmieliny	18,86	2225
Drożdże odpadowe	2,64	311
Osady gorące	1,42	168
Osady zimne	0,22	26
Zużyta ziemia okrzemkowa	0,62	73
Pył słodowy do pasz	0,12	14
Etykiety/papier	0,29	34
Materiały opakowaniowe	0,04	5

Te ilości substancji odpadowych musi zagospodarować każdy browar. Wielu udaje się to całkiem dobrze i względnie tanio. Jednak rosnące koszty coraz częściej zmuszają zakłady do tego, by same zajmowały się unieszkodliwianiem. Do tego celu przydatna jest metoda utylizacji odpadów w warunkach beztlenowych, która coraz bardziej się upowszechnia.

9.3.1 Wysłodziny i chmieliny

Na 1 dt (100 kg) zasypu przpada około 110 do 130 kg młóta słodowego, czyli wysłodzin o zawartości wody 70 - 80 % albo inaczej licząc około 20 kg wysłodzin na hektolitr gotowego piwa (patrz rozdział 3.3.5).

Zwykle wśród rolników istnieje duże zainteresowanie kupnem wysłodzin jako paszy dla bydła. Wysłodziny z uwagi na sporą zawartość białka stanowią wartościowy dodatek paszowy. Są jednak i takie regiony, gdzie rolnicy nie zgłaszają zapotrzebowania na wysłodziny.

Szczególnie w lecie, gdy jest dostatek pasz zielonych, niewielu rolników interesuje się wysłodzinami z browarów. Suszenie wysłodzin, mające na celu przedłużenie trwałości, ma sens tylko wtedy, gdy istmieje możliwość ich sprzedaży po cenie 4-5-krotnie wyższej od ceny wysłodzin nie poddawanych suszeniu.

Osobny problem zagospodarowania chmielin praktycznie nie istnieje. Chmiel w postaci prasowanej stosuje się do produkcji piwa tylko w niewielkich ilościach, a w nowo powstających, względnie w starych, modernizowanych browarach nie instaluje się już tradycyjnych odchmielaczy. Jeżeli nawet w browarze stosowany jest chmiel w postaci prasowanej, to jest on uprzednio rozdrabniany po to, aby w końcowej fazie wraz z powstałym osadem mógł zostać odzielony od brzeczki w kadzi z zawirowaniem Whirlpool.

Puszki i worki foliowe, w których dostarczany jest ekstrakt albo granulat chmielowy, przechodzą do odpadów i częściowo wracają do obiegu materiałowego.

9.3.2 Osad

Osad wydziela się w kadzi z zawirowaniem Whirpool, rzadziej w separatorze albo kadzi sedymentacyjnej. W każdym z tych przypadków zawiera on jeszcze sporo brzeczki, którą można odzyskać. Wiele browarów pompuje brzeczkę z osadem do kadzi filtracyjnej na początku wysładzania, gdzie odzyskuje się ekstrakt oraz osad bogaty w białko, o dużej wartości odżywczej dla bydła, który można dzięki temu z pożytkiem wykorzystać. Kto jednak nie chce pogorszyć jakości piwa, ten dodaje osad bezpośrednio do wysłodzin, rezygnując z niewielkiej ilości brzeczki, którą przy tym traci.

9.3.3 Drożdże odpadowe

Namnożone drożdże w znacznej części stają się drożdżami odpadowymi. Ich chemiczne zapotrzebowanie na tlen (ChZT) wynosi 0,53 kg/hl, i tym samym należą one w ściekach do bardzo obciążających zanieczyszczeń. **Z tego względu drożdże nie powinny w żadnym wypadku trafiać do ścieków, ponieważ są także bogate w białko i w szybkim czasie zaczęłyby tam gnić.**

Można przyjąć, że na każde 10.000 hl gotowego piwa musi zostać zagospodarowanych około 15-18 ton drożdży odpadowych.

Najlepiej wykorzystać drożdże jako dodatek do paszy. Żywe komórki drożdży nie są trawione przez zwierzęta i mogą wywołać u nich groźne kolki i inne zaburzenia w przewodzie pokarmowym. W związku z tym, przed dodaniem do paszy, świeże drożdże muszą zostać przeparowane lub zalane wrzącą wodą.

Drożdże suszy się i dodaje do mieszanek paszowych. Inną możliwością zagospodarowania drożdży jest stosowanie ich przez przemysł farmaceutyczny do produkcji preparatów witaminowych.

9.3.4 Zużyta ziemia okrzemkowa

Zakłada się, że po filtracji 1 hl piwa powstaje około 500 g zużytej ziemi okrzemkowej.

W związku z tym na 10.000 hl gotowego piwa przypada aż 5 t zużytej ziemi okrzemkowej.

Regenerowanie ziemi okrzemkowej (w związku z zakazem wprowadzania jej do ścieków), jest zabiegiem bardzo pracochłonnym i drogim, jak np. metoda Tremonisa z termiczną obróbką ziemi okrzemkowej [54]. Zregenerowana ziemia okrzemkowa może być ponownie wykorzystana maksymalnie jako 50% dodatek do świeżej ziemi okrzemkowej.

Jedną z możliwości taniego zagospodarowania jest sprasowanie zużytej ziemi okrzemkowej do zawartości wody poniżej 50%, w celu uzyskania struktury zdolnej do gruzełkowania. Do prasowania stosowane są **filtry taśmowe** (rys. 9.6) albo komorowe prasy filtracyjne [141]. Sprasowana ziemia okrzemkowa o strukturze zdolnej do gruzełkowania może być rozsypywana na polach przez maszyny użytkowane w gospodarstwach rolnych [101]. Zużyta ziemia okrzemkowa wraz z zawartymi w niej komórkami drożdżowymi stanowi wartościowy, bogaty w azot nawóz dla gleby i odżywkę dla roślin. Oprócz tego przyczynia się do zwiększenia zdolności zatrzymywania wody przez piaszczyste gleby, bez ujemnego wpływu na wody gruntowe.

Zużyta ziemia okrzemkowa zawiera sporo białka, które szybko ulega procesom gnilnym, wydzielając bardzo intensywny zapach. Trzeba o tym pamiętać podczas jej składowania.

Ostatnio rozważa się także możliwość stosowania zużytej ziemii okrzemkowej w formie dodatku do produkcji cegieł, asfaltu lub betonu [88].

9.3.5 Zużyte etykiety

Z myjki butelek konieczne jest usuwanie około 1,5 ton zużytych etykiet na 10.000 hl piwa rozlewanego do butelek wielokrotnego użytku. Udział ten może być większy w zależności od wielkości i rodzaju stosowanych etykiet.

Od etykiet wymaga się, aby w całości odklejały się od butelek, a nie rozrywały. Do odklejania folii aluminiowych konieczne jest stosowanie w myjce butelek wyższego stężenia i częstszej wymiany ługu. W myjce butelek może ponadto dojść do eksplozji gazu (wodoru).

Etykiety w myjce są odcedzane, a następnie prasowane, aby pozbawić je wchłoniętego ługu.

Zagospodarowanie starych etykiet jako makulatury nie jest opłacalne.

Zużyte etykiety są najczęściej wywożone na wysypiska śmieci.

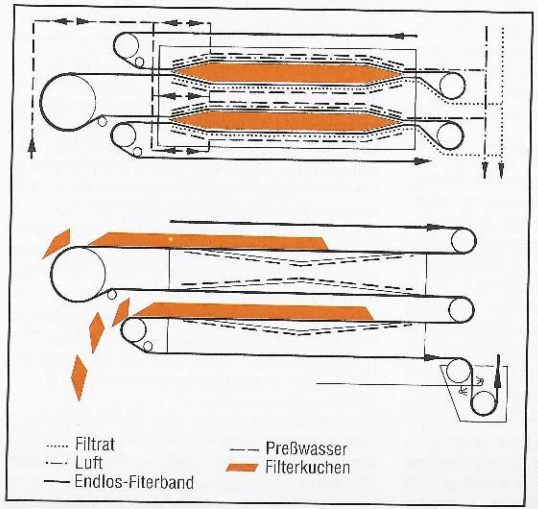
Ostatnio zarysowuje się możliwość zastosowania zużytych etykiet jako materiału do wypalania cegieł. [88]

9.3.6 Stłuczka szklana

Wielkość stłuczki szklanej w browarze zależy w dużym stopniu od jakości szkła, z którego zostały wykonane butelki. Zakłada się, że w przypadku szkła o średniej jakości powstaje 0,5%, tzn. około 3,5 ton stłuczki szklanej na 10.000 hl piwa rozlanego do butelek wielokrotnego użytku. W przpadku szkła gorszego jakościowo powstaje 1,5%, czyli 11ton stłuczki na 10.000 hl rozlanego piwa.
Stłuczkę szklaną z jednorodnego szkła magazynuje się w kontenerach i regularnie wywozi do hut szkła jako surowiec wtórny.

9.3.7 Puszki do piwa

Puste puszki są bardzo wrażliwe na zgniecenia z uwagi na bardzo cienkie ścianki. Z tego powodu należy liczyć, że około 3-4% puszek nie będzie można wykorzystać do napełniania piwem. Tak więc podczas rozlewania do puszek stalowych 10.000 hl piwa powstanie ok. 380-400 kg odpadów puszkowych; przy zastosowaniu puszek aluminiowych będzie ich dwukrotnie mniej.



Rys 9.6
Prasowanie ziemi okrzemkowej przy pomocy filtra taśmowego
a) prasowanie membranowe
b) wyładunek placka filtracyjnego

Puszki po sprasowaniu wykorzystywane są jako surowiec wtórny.

Wraz ze wzrostem udziału piwa puszkowego występują w niektórych krajach problemy z ich zagospodarowaniem. Zdarza się, niestety, że obywatele oprócz śmieci, jak opakowania, papier i butelki, pozostawiają również puszki w miejscach publicznych

W niektórych krajach udaje się jednak zorganizować zbiór pustych puszek, które stanowią surowiec wtórny.

Możliwość ponownego wykorzystania dotyczy tak puszek stalowych, jak i aluminiowych. Aluminium jest materiałem, który może być w pełni reutylizowany, więc mało uciążliwy dla środowiska. Do produkcji aluminium potrzebna jest duża ilość energii elektrycznej, natomiast ponowny jego przerób wymaga jej niewiele. Z tego względu wykorzystanie puszek aluminiowych jako surowca wtórnego jest opłacalne.

9.3.8 Drobne odpady

Obok omówionych odpadów, które ogólnie rzecz biorąc są we właściwy sposób zbierane i odprowadzane, w browarze powstają także małe ilości innych odpadów, które gromadzą się z upływem czasu. Należą do nich np:

- tektura i opakowania kartonowe,
- odpady papieru z działu administracji i z produkcji,
- folie i odpady z tworzyw sztucznych,
- odpady drewniane,
- złom różnych metali,
- zużyte opony,
- zużyte baterie,
- ścierki,
- odpady kuchenne,
- osad wapienny,
- oleje i smary,
- rozpuszczalniki,
- pozostałości oleju i tłuszczu.

Odpady takie zawsze opłaca się segregować, bo tylko w takiej formie mogą być zagospodarowane lub sprzedawane.

9.4 Emisje

9.4.1 Pył i emisje pyłu

Przy odbiorze słodu, w czasie jego transportu i podczas jego śrutowania na sucho w śrutownikach powstaje pył, który - pomijając niebezpieczeństwo eksplozji - stwarza problemy w browarze. Pył ten musi być bowiem odsysany, oddzielany, zbierany i zagospodarowany. Pył bogaty jest w ekstrakt, lecz jego jakość nie jest dobra. Dlatego jest on zbierany do worków albo silosów i dodawany do wysłodzin.

9.4.2 Emisja z warzelni

Podczas gotowaniu brzeczki paruje woda, która zawiera lotne składniki z brzeczki i z chmielu. W okolicy browaru można stwierdzić po zapachu, że właśnie jest gotowana brzeczka. Zgodnie z ustawą federalną dotyczącą ochrony przed emisją, może być to odbierane jako obciążenie środowiska zapachami.

Przy zastosowaniu kotłowego kondensatora oparów można znacznie zmniejszyć emisję zapachów, a przez skroplenie oparów prawie całkowicie ją wyeliminować.

9.4.3 Emisje gazów spalinowych

Przy instalacjach paleniskowych zachowuje się graniczne wartości emisji przez dobór odpowiedniego paliwa (gaz ziemny, olej opałowy) [84] oraz sposobu spalania.
W celu utrzymania wyznaczonych wartości granicznych emisji dla tlenków azotu (NO_x) i tlenku węgla CO stosuje się:

- dla małych stacjonarnych silników wysokoprężnych (Diesla) – silniki z komorą zawirowania,
- dla większych silników Diesla – trójdrożne katalizatory; dotyczy to także czterotaktowych silników z zapłonem iskrowym (silniki Otto),
- dla wszystkich silników Diesla – filtry sadzy.

Wózki widłowe wyposaża się zazwyczaj w regulowany katalizator. Gazy spalinowe z silników Diesla są rakotwórcze!

9.4.4 Emisja hałasu

Ustawowe przepisy niemieckie, dotyczące dopuszczalnej emisji hałasu są zamieszczone w:

- rozporządzeniu TA dotyczącym hałasu,
- § 15 rozporządzenia dotyczącego miejsc pracy „Ochrona przed hałasem" i
- przepisie dotyczącym zapobieganiu wypadkom UVV Hałas (VBG 121).

Szczególnie wysokie emisje hałasu można odnotować w:

- halach rozlewu,
- pobliżu sprężarek powietrza i sprężarek urządzeń chłodniczych,
- pobliżu skraplaczy oparów,
- pobliżu sprężarek oparów.

Obniżenie poziomu emisji hałasu możliwe jest przez:

- odpowiedni dobór materiałów budowlanych, na przykład podwójne ścianki, okna z izolacją dźwiękową,
- montowanie izolacji dźwiękowej w hali rozlewu,
- montowanie osłon przeciwdźwiękowych przy szczególnie głośno pracujących maszynach.

Przytoczone przykłady powinny zasygnalizować problemy piętrzące się przed każdym browarem i wskazać drogi ich usuwania. Zagadnienia ochrony środowiska i związane z tym problemy utylizacji będą w nadchodzących latach coraz większe. Wiele z istniejących jeszcze wysypisk śmieci zostanie zamkniętych przed rokim 2000. Zakłady będą coraz bardziej obligowane (ustawa o odpadach) do zagospodarowywania we własnym zakresie swoich odpadów, albo do niedopuszczenia do ich powstawania.

10 Gospodarka energetyczna w browarze i w słodowni

Na wszystkich etapach produkcji słodu i piwa, a także podczas rozlewu piwa potrzebna jest energia:

- elektryczna,
- cieplna oraz
- sprężonego powietrza.

10.1 Zapotrzebowanie energii do produkcji słodu i piwa

Energia elektryczna potrzebna jest do:

- wytwarzania chłodu,
- wytwarzania sprężonego powietrza,
- napędu pomp i wentylatorów,
- napędu mieszadeł i urządzeń transportowych,
- uruchamiania i sterowania urządzeń,
- przepływu i opracowywania danych
- oświetlenia.

Energia cieplna potrzebna jest do:

- wytwarzania ciepłej wody,
- ogrzewania suszarni,
- ogrzewania zacierów,
- ogrzewania i gotowania brzeczki,
- mycia butelek,
- mycia beczek lub kegów,
- pasteryzacji piwa w przepływie lub pasteryzacji tunelowej,
- mycia w obiegu zamkniętym CIP,
- sterylizacji filtrów, wypełniaczy i przewodów rurowych oraz
- ogrzewania budynków i urządzeń socjalnych.

Energia potrzebna do wytwarzania słodu i piwa stanowi znaczącą część kosztów produkcji. Zadaniem piwowara powinno być możliwie najbardziej racjonalne wykorzystanie energii w celu zminimalizowania tych kosztów.

Wszystkie postacie energii można przeliczać i porównywać ze sobą. W tym celu został opracowany międzynarodowy układ (SI), bazujący na kilku podstawowych jednostkach, od których można wyprowadzić wszystkie inne. Najważniejsze z nich, oraz ich definicje, podajemy poniżej:

- **praca - jest to siła pomnożona przez drogę** albo też
- **praca - jest to moc pomnożona przez czas.**

Miarą pracy jest dżul (J)

1 J = 1 W x s = 1 Nm

Z tego uzyskuje się:
3600 s = 1 h
3600 dżuli = 1 watogodzina
3600 kJ = 1 kWh albo inaczej:
1 kWh = 3,6 MJ = 860 kcal albo inaczej:
1 kcal = 4,19 kJ *(dokładniej: 4,1855 kJ. Przyp. tł. AB)*

Ilość energii wyraża się zawsze w

- kilowatogodzinach **(kWh)** lub
- kilodżulach **(kJ)**, również w megadżulach **(MJ)**, niekiedy także (w starym ujęciu)
- w kilokaloriach **(kcal)**.

W poniższym zestawieniu podane jest zużycie ciepła i energii elektrycznej w poszczególnych działach konwencjonalnie wyposażonych browarów [89]. Jest ono zróżnicowane

- w zależności od wielkości zakładu (browary produkujące 20.000 hl i browary produkujące 250.000 hl piwa rocznie), jak również
- w zależności od osiąganych przy tym wartości optymalnych i wartości średnich (∅)

	Zużycie ciepła w MJ/hl				Zużycie prądu w kWh/hl			
	20.000 hl		250.000 hl		20.000 hl		250.000 hl	
	opt.	∅	opt.	∅	opt.	∅	opt.	∅
surowce aż do wagi	6,34	10,98	5,60	8,64	0,30	0,41	0,25	0,34
warzelnia aż do obiegu brzeczki	66,20	114,80	58,60	90, 40	1,97	2,71	1,65	2,27
fermentownia aż do przewodów	-	-	-	-	1,72	2,37	1,44	1,89
leżakowanie	-	-	-	-	1,60	2,20	1,34	1,85
filtracja	8,49	14,71	7,50	11,58	0,57	0,79	0,48	0,66
napełnianie butelek/puszek	26,61	46,12	23,51	36,29	2,24	3,07	1,88	2,58
napełnianie beczek/kontenerów	13,94	24,16	12,31	19,00	0,46	0,63	0,38	0,52
magazynowanie i transport wyrobów aż do rampy	3,17	5,49	2,80	4,32	0,40	0,54	0,33	0,46
pozostałość (wysyłanie, dystrybucja)	9,19	15,72	6,34	8,48	0,55	0,76	0,46	0,64
administracja, stołówka, warsztat	13,05	22,62	11,53	17,80	0,99	1,36	0,83	1,14
zasilanie w chłód	-	-	-	-	4,16	5,71	3,49	4,79
zasilanie w wodę	9,12	15,81	8,06	10,99	0,40	0,54	0,33	0,46
całkowita produkcja piwa	130,00	225,00	113,00	173,00	9,90	13,60	8,30	11,40
produkcja napojów bezalkoholowych	33,50	39,20	28,80	33,80	1,90	2,30	1,70	2,10
własna produkcja słodu (MJ/dt)	253,00	331,00	204,00	285,00	8,50	12,20	7,30	11,00

Średnio więc do wyprodukowania 1 hl piwa niezbędna jest energia cieplna 180-200 MJ i elektryczna 10-12 kWh

Łatwo przy tym można zauważyć, że:

Dużymi odbiorcami ciepła w browarze są warzelnia i dział rozlewu piwa,

a dużymi odbiorcami prądu są instalacje chłodnicze, ale także dział rozlewu piwa i warzelnia.

Browary wyposażone są w następujące urządzenia energetyczne:

- kotły parowe,
- urządzenia chłodnicze,
- urządzenia elektryczne,
- pompy i sprężarki,

Bedą one kolejno opisywane.

10.2 Kotły parowe

W kotle parowym następuje przemiana wody w parę, która następnie może wykonać pracę.

Para posiada:

- znacznie wyższą zawartość ciepła niż woda
- jest łatwa do transportowania

Aby lepiej zrozumieć instalacje kotłów parowych, trzeba najpierw zapoznać się z właściwościami pary wodnej. Do jej wytworzenia niezbędne jest paliwo.

10.2.1 Paliwa

Obecnie jako paliwa mają zastosowanie głównie ropa i gaz ziemny, ale także inne materiały opałowe, które z różnych przyczyn są interesujące pod względem gospodarczym.
Do oceny wartości opałowej różnych paliw istnieją 2 bazy porównawcze:

- jednostka paliwa umownego (p.u.)
- wartość opałowa w kJ

Przez **paliwo umowne (p.u.)** rozumie się zawartość energii w 1 kg węgla kamiennego średniej jakości = 7.000 kcal = 29.300.000 J/kg

Została ona przyjeta w świecie na poziomie 29.400 kJ. Oznacza to, że:

1 kg ropy =	1,44 p.u.
1m³ gazu ziemnego =	1,40 p.u.
1 kg drewna opałowego =	0,50 p.u.
1kg surowego węgla brunatnego =	0,26 p.u.
1kWh =	0,123 p.u.

Wartość opałowa paliwa to ilość ciepła wyzwalająca się podczas spalania określonej ilości paliwa.

Rozróżnia się górną i dolną wartość opałową. Różnia się one o ciepło kondensacji pary powstałej przy spalaniu.

Paliwa dostępne w handlu posiadają następujące dolne wartości opałowe:

Nośniki energii	Wartość opałowa w kJ
Olej opałowy EL	42700 na 1 kg
Olej opałowy M	41020 na 1 kg
Olej opałowy S	39770 na 1 kg
Olej napędowy	41820 na 1 kg
Węgiel kamienny	31800 na 1 kg
Koks hutniczy	28900 na 1 kg
Koks gazowy	29300 na 1 kg
Brykiety węgla brunatnego	20090 na 1 kg
Węgiel brunatny (saksoński)	10460 na 1 kg
Węgiel brunatny (łużycki)	9630 na 1 kg
Torf suszony na powietrzu	15490 na 1 kg
Gaz miejski	16120 na 1 m³
Gaz ziemny L	31950 na 1 m³
Gas ziemny H	37500 na 1 m³
Metan	35880 na 1 m³
Propan	93210 na 1 m³

Z gospodarczego punktu widzenia szczególnie ważną wartością jest **cena ciepła**. Podaje ona, ile ostatecznie kosztuje 1kWh albo 1MJ.

Obliczenie ceny ciepła dokonuje się na podstawie następującego wzoru:

$$\text{Cena ciepła} = \frac{\text{cena każdej tony lub m}^3\text{ paliwa}}{\text{wartość opałowa paliwa}}$$

Wynik będzie wyrażony w DM/MJ albo DM/kWh, czyli w markach za kilowat.

Wynik ten nie ma jednak większego znaczenia, ponieważ decydujące dla kosztów jest również to, w jakim stopniu kocioł jest w stanie przekształcić zawartą w paliwie energię w energię cieplną. Stosunek tych obu cyfr określa się mianem stopnia sprawności kotła.

Cenę energii cieplnej użytkowej (również cenę ciepła netto) wyznacza się zatem następująco:

$$\text{Cena energii cieplnej użytkowej} = \frac{\text{cena ciepła (brutto)}}{\text{stopień sprawności kotła}}$$

Cena ciepła użytkowego wyraża zatem, ile ostatecznie DM kosztuje wytworzenie 1MJ albo 1kWh.

Cena ciepła użytecznego jest oczywiście zawsze trochę wyższa, bo stopień sprawności kotła jest niższy od 100%.
Nowoczesne kotły zasilane wodą wstępnie ogrzaną wykorzystują częściowo gazy odlotowe i osiągają przez to w odniesieniu do dolnej wartości opałowej stopień sprawności powyżej 95%.
Aby zrozumieć zasadę działania kotła, należy bliżej zapoznanać się z właściwościami pary.

10.2.2 Para

Kiedy wodę podgrzeje się do temperatury wrzenia i nie przerwie się dalszego doprowadzania ciepła – powstanie para.

Para wodna powstaje w wyniku sublimacji, parowania lub wrzenia. Stan wrzenia ciecz, w danym wypadku woda, osiąga w takiej temperaturze, przy której zachodzi zrównanie prężności par cieczy z ciśnieniem zewnętrznym. Jak wiadomo, przy ciśnieniu normalnym 1 bar, czyli 760 mm Hg, tj. 1033,3 G/cm²,

woda wrze w temperaturze 100°C. Przy ciśnieniu wyższym od atmosferycznego wrzenie zachodzi w odpowiednio wyższej temperaturze, a przy niższym ciśnieniu temperatura wrzenia jest niższa.

Aby np. 1 kg wody przy ciśnieniu 1 bar i w temperaturze 100°C zamienić w parę o temperaturze 100°C, potrzeba 2257,9 kJ = 2257,9 Ws = 0,6272 kWh = 539 kcal.

10.2.2.1 Ciepło parowania

W celu przeprowadzenia wody w parę, niezbędne jest doprowadzenie ciepła parowania.

Przez ciepło parowania rozumie się taką ilość ciepła, która jest niezbędna do zamiany 1 kg wody w parę o tej samej temperaturze.

Ciepło parowania zależy od temperatury parowania i od ciśnienia. Maleje ono wraz ze wzrostem temperatury i ciśnienia. Przy „krytycznym ciśnieniu pary" od 221,2 bar = 374,15°C, ciepło parowania nie jest już potrzebne: wrząca woda bezpośrednio przechodzi w parę.

Poniższa tabela podaje ilości ciepła parowania i entalpii odpowiadające poszczególnym wartościom ciśnienia i temperatury pary:

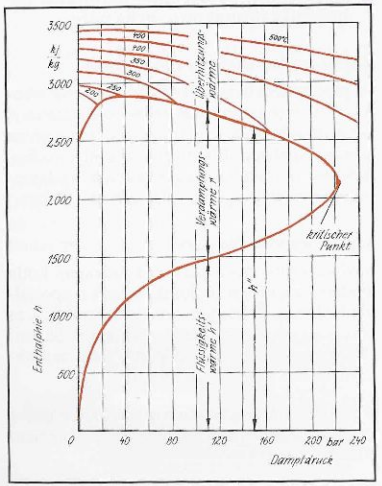
Ciśnienie bar	temperatura w °C	Ilość pary w m³/kg	Entalpia wody w stanie nasycenia w kJ/kg	Entalpia pary w stanie nasycenia w kJ/kg	Ciepło parowania w kJ/kg
0,010	6,9808	129,20	29,34	2514,4	2485,0
0,050	32,898	28,19	137,77	2561,6	2423,8
0,10	45,833	14,67	191,83	2584,8	2392,9
0,50	81,345	3,240	340,56	2646,0	2305,4
0,70	89,959	2,365	376,77	2660,1	2283,3
0,80	93,512	2,087	391,72	2665,8	2274,0
0,90	96,713	1,869	405,21	2670,9	2265,6
1,0	99,632	1,694	417,51	2675,4	2257,9
1,5	111,37	1,159	467,13	2693,4	2226,2
2,0	120,23	0,8854	504,70	2706,3	2201,6
2,5	127,43	0,7184	535,34	2716,4	2181,0
3,0	133,54	0,6056	561,43	2724,7	2163,2
3,5	138,87	0,5240	584,27	2731,6	2147,4
4,0	143,62	0,4622	604,67	2737,6	2133,0
4,5	147,92	0,4138	623,16	2742,9	2119,7
5,0	151,84	0,3747	640,12	2747,5	2107,4
6,0	158,84	0,3155	670,42	2755,5	2085,0
8,0	170,41	0,2403	720,94	2767,5	2046,5
10,0	179,88	0,1943	762,61	2776,2	2013,6
15	198,29	0,1317	844,67	2789,9	1945,2
20	212,37	0,09954	908,59	2798,2	1888,6
50	263,91	0,03943	1154,5	2794,2	1639,7
100	310,96	0,01804	1408,0	2727,7	1319,7
200	365,70	0,005877	1826,5	2418,4	591,9
221,2	374,15	0,00317	- 2107,4 -		0,0

10.2.2.2 Para nasycona

Para powstająca w czasie wrzenia nazywa się parą nasyconą mokrą. Posiada ona taką samą temperaturę jak wrząca ciecz i zawiera jeszcze około 20% wody. Po doprowadzeniu całkowitego ciepła parowania, mówi się o tzw. ***suchej parze nasyconej***, którą można przenosić. Jeżeli jednak jej temperatura obniży się, dochodzi do częściowej kondensacji i do straty znacznej ilości entalpii. Podczas kondensacji zawarte ciepło parowania zostanie ponownie odebrane.

10.2.2.3 Para przegrzana

Aby umożliwić transport pary bez strat, podgrzewa się parę nasyconą poprzez dalsze dostarczanie ciepła aż do 300°C (rys. 10.1).



Rys. 10.1. Entalpia pary wodnej

Taką parę nazywa się parą przegrzaną. Jej duża entalpia umożliwia transportowanie jej na większe odległości bez poważnych strat energii pomimo wysokiej temperatury. Natomiast w celu utrzymania jak najmniejszej powierzchni grzejnej, parę doprowadza się do wymiennika ciepła w formie pary mokrej. Niekiedy z tego powodu, krótko przed wymianą ciepła, dodaje się kondensat do pary przegrzanej, aby zmniejszyć jej przegrzanie (oziębianie pary).

10.2.2.4 Gorąca woda

Dla przenoszenia ciepła można też wybrać inny sposób a mianowicie – ogrzanie wody pod odpowiednio wysokim ciśnieniem, w temperaturze od 160 do 170°C nie dopuszczając do jej wrzenia. Tę bardzo gorącą wodę można transportować i wykorzystać do gotowania. W tym przypadku mówi się o gotowaniu gorącą wodą, albo o ***hydrogotowaniu*** (patrz gotowanie brzeczki). Korzystne jest przy tym, że do ogrzewania można zastosować pełny potencjał cieplny. Wtedy zbędna jest cała godpodarka kondensatem ze sterowaniem włącznie. Niekorzystne jest natomiast to, że do transportu wody potrzebny jest znacznie większy przekrój rury niż do pary, oraz że wodę trzeba pompować.

10.2.3 Kotły parowe

10.2.3.1 Podział kotłów parowych

Przez kocioł parowy, w myśl przepisów dozoru technicznego, rozumie się zamknięty zbiornik albo rurowy układ wytwarzający parę wodną o ciśnieniu wyższym niż atmosferyczne w celu jej wykorzystania poza tym urządzeniem.

Kotły parowe dzieli się na 4 grupy:

kocioł parowy I grupy o maksymalnej pojemności wody 10 l,

kocioł parowy II grupy o pojemności wody powyżej 10 l, w którym maksymalne nadciśnienie pary wynosi 1 bar, a maksymalna temperatura początkowa – 120 stopni,

kocioł parowy grupy III o pojemności wody do 50 l

- z nadciśnieniem większym niż 1 bar, przy czym iloczyn objętości wody w litrach i dopuszczalnego nadciśnienia w barach nie może przekroczyć liczby 1000
- z wytwornicą gorącej wody o temperaturze początkowej wyższej niż 120 stopni, przy czym iloczyn objętości wody w litrach i dopuszczalnego nadciśnienia pary wodnej w barach nie może przekroczyć liczby 1000

kotły parowe IV grupy – wszystkie inne kotły. Zalicza się również do nich urządzenia kotłowe pracujące w browarach.

Kotły parowe grupy IV należy instalować w kotłowniach. W oparciu o przepisy techniczne dot. kotłów parowych (TRD 604) mogą one w określonych warunkach **pracować bez nadzoru** (BOB) przez 24 godziny na dobę.

Kotły parowe dzieli się:

- w zależności od ciśnienia roboczego (kotły parowe wysoko i niskociśnieniowe),
- w zależności od sposobu ogrzewania (węgiel, ropa, gaz ziemny, energia elektryczna),
- w zależności od rodzaju obiegu wody (obieg naturalny i obieg wymuszony) oraz
- w zależności od przepływu spalin na płomienicowe i opłomkowe.

Najważniejsze cechy urządzeń kotłowych:

- wydajność pary w tonach na godzinę,
- wydajność urządzenia grzewczego w MW,
- nadciśnienie robocze w barach,
- temperatura pary na wylocie z kotła, względnie przegrzewacza pary,
- temperatura wody na wlocie do kotła,
- paliwo (rodzaj i wartość opałowa w kJ/kg lub kJ/m^3) oraz
- pojemność wodna.

10.2.3.2 Rodzaje budowy kotłów parowych

Zasadniczo rozróżnia się dwa typy kotłów parowych:

- kocioł płomienicowo-płomieniówkowy oraz
- kocioł wodno-rurkowy (opłomkowy).

Kocioł płomienicowo-płomieniówkowy

W kotle tym spalanie zachodzi w płomienicy, a gazy spalinowe wędrują rurą dymową. Płomienica i płomieniówki (tj. kanał dymowy) znajdują się w przestrzeni wodnej.

Ze względu na ich pojemność, kotły te nazywa się także kotłami o dużej pojemności wodnej.

Jako kotły dwupłomienicowe, kotły o dużej pojemności wodnej od wielu dziesiątków lat zapewniają browarom zaopatrzenie w parę. Kotły dwupłomienicowe są nadal budowane, lecz w nowoczesnej formie mają wydajność do 30 ton pary na godzinę.

Większość kotłów w dzisiejszych browarach to kotły trójciągowe.

Określenie wywodzi się stąd, że w kotłach tego typu obieg płomienia i spalin następuje w trzech ciągach. Dostępna powierzchnia wymiany ciepła jest przez to najlepiej wykorzystywana.

Zalety kotłów o dużej pojemności wodnej są znaczne:

- **dzięki dużej objętości wody mają elastyczną wydajność i mogą wyrównywać wahania w zużyciu pary,**
- **dzięki dużej powierzchni parowania dostarczają stosunkowo suchą parę.**

Kocioł wodno-rurkowy (opłomkowy)

W przeciwieństwie do kotłów płomieniówkowych, w tym przypadku woda i para znajdują się w rurach. Rury te tworzą część zewnętrzną komory spalania. Budowane są kotły wodno-rurkowe o średnich i najwyższych wydajnościach, pracujące pod ciśnieniem do 180 bar.

Szybka wytwornica pary

Szybka wytwornica pary jest rodzajem kotła wodno-rurkowego (opłomkowego) o specjalnej budowie, w którym woda tłoczona jest za pomocą pompy przez umieszczona w palenisku wężownicę grzejną i odparowuje w najkrótszym czasie (od 2 do 10 minut).

Wśród kotłów wodno-rurkowych rozróżnia się kotły z naturalnym i wymuszonym obiegiem wody.

W kotłach z ***naturalnym obiegiem*** lżejsza mieszanka pary i wody unosi się do góry, podczas gdy woda w mniej ogrzanych częściach opada w dół. W ten sposób powstaje naturalny obieg w przestrzeni wodnej takich kotłów, które są eksploatowane do ciśnienia 180 bar.

W kotłach z ***wymuszonym obiegiem***, obieg wody uzyskuje się przy pomocy pompy. Pompa przenosi wodę z kotła, przez ogrzany system rur, co doprowadza ją do temperatury wrzenia, zależnej od ciśnienia panującego w kotle.

10.2.3.3 Kocioł trójciągowy

Większość browarów posiada jeden albo więcej kotłów trójciągowych różnej wielkości, które uruchamia się w zależności od zapotrzebowania na energię.

Kocioł składa się z położonego poziomo, dobrze izolowanego cylindra wykonanego z blachy stalowej (rys. 10.2-1). Wzdłuż jednej ściany kotła znajduje się płomienica (2), na początku której ulokowany jest palnik (3). Tu spalana jest mieszanina gazu z powietrzem albo ropy z powietrzem.

Płomienicę opływa woda, a stały poziom wody nad płomienicą utrzymywany jest za pomocą pompy zasilającej kocioł (sterowanej przez elektrodowy system kontroli poziomu wody). Powstające gazy spalinowe zmieniają kierunek w tylnej komorze zwrotnej (4), a po przejściu przez płomieniówki – w drugim ciągu (5) są ponownie kierowane do przodu.

W przedniej komorze zwrotnej (6) gazy spalinowe ponownie zmieniają kierunek, a więc są kierowane do tyłu (płomieniówki -3 ciąg) (7). Dzięki zachodzącemu w tym czasie schłodzeniu gazów spalinowych, trzeci ciąg może posiadać znacznie mniej rur odlotowych.

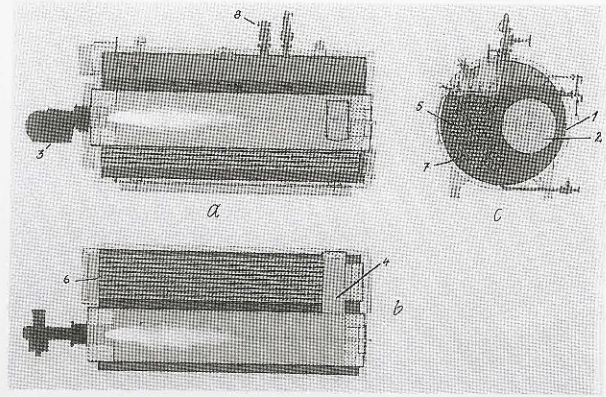
Podczas gdy gazy spalinowe oddają swe ciepło, woda zaczyna wrzeć, a para opuszcza kocioł przez zawór parowy kotła (8). Na rys. 10.3 przedstawiono raz jeszcze drogę przepływu powstałych gazów spalinowych.

W ***kotłach dwupłomienicowych*** uzyskuje się 3 ciągi dla każdej z dwu płomienic poprzez warstwowy układ obiegu spalin (rys. 10.4.)

W celu zapewnienia pracy kotła bez ciągłego nadzoru (stosownie do TRD 604) należy kocioł wyposażyć w system regulująco-zabezpieczający.

Należą do niego poza wymienionym elektrodowym czujnikiem poziomu wody:

- wodowskaz (tradycyjny),
- manometr z zaznaczonym najwyższym dopuszczalnym ciśnieniem,
- urządzenie do odcinania odpływu pary,
- zawory do regulacji zasilania wodą,
- rozdzielacz do wody i oleju,
- regulator zasilania paliwem i regulacji spalania,
- zabezpieczenie regulatora ciśnienia i ogranicznik ciśnienia oraz
- wskaźnik wczesnego ostrzegania i wskaźnik zakłóceń.



Rys. 10.2
Kocioł trójciągowy
a) rzut boczny,
b) rzut poziomy,
c) przekrój poprzeczny,
(1) ściana kotła,
(2) płomienica ,
(3) palnik,
(4) tylna komora zwrotna,
(5) płomieniówki (drugi ciąg),
(6) przednia komora zwrotna,
(7) płomieniówki (trzeci ciąg),
(8) zawór parowy

Kotły trójciągowe zwykle charakteryzują się:

- zdolnością wytwarzania od 1 do ponad 30 ton pary na godzinę,
- mocą do ponad 25 MW oraz
- ciśnieniem roboczym, do 32 bar w temp. 235° C.

Stosowane w browarach kotły dostarczają w większości od 5 do 15 t pary/h.

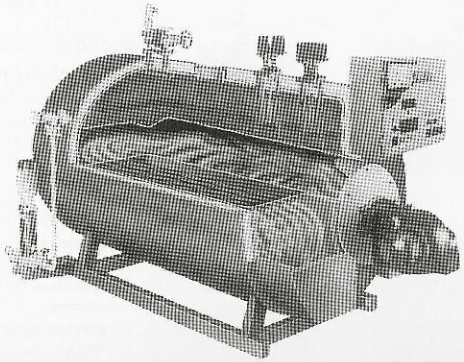
Jako paliwa, stosowana jest przede wszystkim ropa naftowa (olej opałowy) i gaz ziemny, ale również paliwa stałe. Rozważa się możliwość zastosowania biogazu z własnych oczyszczalni ścieków.

Paliwa spala się w kotle w wysokiej temperaturze. Temperatura paleniska zależy od wartości opałowej paliwa, ilości i temperatury dostarczanego powietrza oraz wielkości strat ciepła w komorze spalania. Temperatura paleniska jest niższa niż teoretyczna temperatura spalania paliwa. Byłaby ona osiągalna tylko w przypadku całkowitego spalania podczas dostarczenia całkowitej (teoretycznie obliczonej) ilości powietrza, bez jakichkolwiek strat ciepła.

Teoretyczne temperatury spalania:

węgiel koksujący	2300° C
olej opałowy	2000° C
węgiel brunatny (nadreński)	1500° C

Rzeczywiste, średnie temperatury spalania węgla, oleju, gazu ziemnego wynoszą od:
1200 do 1600° C.



Rys.10.3
Kocioł trójciągowy (odsłonięty)

10.2.3.4 Odzysk energii i polepszanie stopnia sprawności

Browar, jako przedsiębiorstwo, zainteresowany jest pełnym wykorzystaniem uwolnionej energii.

W związku z tym trzeba:

- wstępnie podgrzewać wodę zasilającą ciepłem gazów odlotowych w ekonomizerze,
- przegrzewać parę, aby uniknąć strat podczas transportowania,
- unikać strat kondensatu i zapobiegać rozprężaniu kondensatu.

Zamknięty system zwrotnego kondensatu funkcjonuje tylko wtedy, kiedy urządzenie znajduje się pod ciśnieniem. Takie urządzenie musi, niestety, pracować przez 360 dni w roku. Sprawność kotła zależy od ilości rozruchów oraz od czasu pracy i użytkowania kotła.

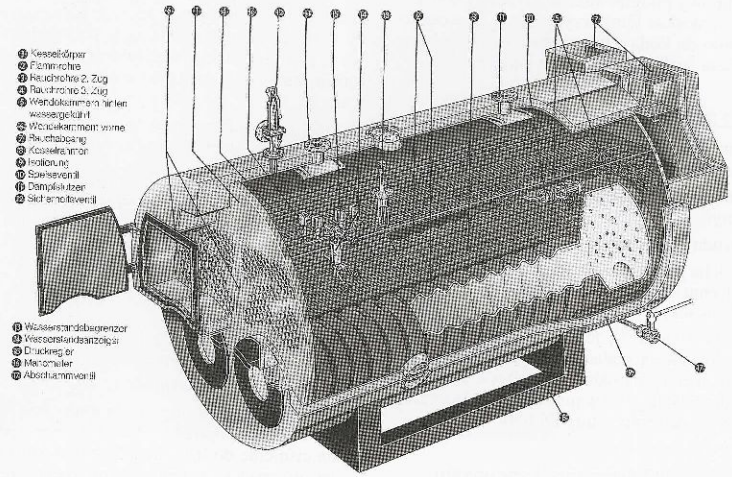
Przykład 1:

Kocioł o dużej pojemności cieplnej i temperaturze wody 65°C włączany jest w niedzielę, aby wyparzyć filtr powietrzny do napowietrzania brzeczki. Większość ciepła jest wtedy tracona; sprawność w tym przypadku jest bliska zera.

Przykład 2:

Szybka wytwornica pary – dwustopniowa (6t/h i 12 t/h) – funkcjonuje w warzelni, gdzie odparowuje się 50 hl pary/h. Może być tak, że wytwornica pary będzie przełączać się raz na pierwszy stopień, raz na drugi stopień itd. W wyniku tego, podczas wietrzenia ciągów – co jest konieczne, aby uniknąć wybuchów – traci się bezużytecznie dużo gorących gazów spalinowych. Sprawność w tym przypadku jest niższa niż 50%.

W większości przypadków nominalną sprawność odnosi się do warunków przemysłowych; dlatego też rzadko osiąga się średnią sprawność większą od 85%.

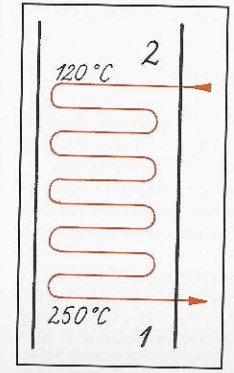


4

Rys. 10.4. Kocioł dwupłomienicowy

10.2.3.4.1 Ekonomizer (Eco-podgrzewacz wody)

Gazy spalinowe po opuszczeniu kotła są jeszcze bardzo gorące. Dla wyzyskania tego ciepła, bezpośrednio w przestrzeni za kotłem umieszcza się wężownicę, przez którą w przeciwprądzie przepuszcza się wodę zasilającą kocioł. Gorące gazy spalinowe, które mają jeszcze temperaturę 260-300°C, zostają ochłodzone do temperatury 120-130°C, przy równoczesnym podgrzaniu wody zasilającej kocioł do temperatury powyżej 100° C (rys. 10.5). Sprawność kotła może wtedy wzrosnąć nawet do ponad 95%.



Rys. 10.5
Ekonomizer (zasada pracy)
(1) wlot spalin
(2) wylot spalin do komina

Spalinowy podgrzewacz wody albo ekonomizer (w skrócie Eco) przyłącza się albo bezpośrednio do kotła albo montuje na przewodzie wyjścia spalin przy pomocy kołnierzy.

10.2.3.4.2 Przegrzewacz

W przegrzewaczu podnosi się temperaturę pary ponad temperaturę nasycenia.

Podniesienie temperatury pary ma następujące zalety:

- woda przenoszona z kotła odparowuje i
- sucha para nawet przy nieznacznym schłodzeniu może być transportowana na duże odległości nie kondensując.

Przegrzewacze są jedno- i wielostopniowe. Zbudowane są z gładkich rur, wygiętych wężowo. Gazy spalinowe przepływające na zewnątrz oddają parze w rurach swe ciepło, ogrzewając ją do temperatury 250-300°C.

10.2.3.4.3 Zawracanie kondensatu

Również kondensat zawiera pewną ilość energii, którą można odzyskać. Znajdujący się pod ciśnieniem kondensat wykazuje w dalszym ciągu temperaturę od 140 do 180°C. Przez zawracanie pod ciśnieniem i pompowanie kondensatu do kotła zmniejsza się straty energii o 10 do 12%. Aby to osiągnąć, niezbędne jest zastosowanie zamkniętego układu zwrotnego. Kondensat, gdy nie znajduje się pod ciśnieniem, zaczyna parować, a temperatura spada do 100°C.

10.2.4 Silniki parowe

Dawniej każdy browar posiadał tłokową maszynę parową, w której część energii pary była przekształcana w ruch obrotowy. Poprzez ozdobne koło zamachowe napędzany był generator i tym samym zapewniano sobie w mniejszym lub większym stopniu dostawę prądu. Takie maszyny parowe można dzisiaj podziwiać w muzeach.

W maszynach parowych energia zawarta w paliwach przekształcana była w energię mechaniczną jedynie w 12-14%. Największa część energii par nie może być zamieniona w ruch obrotowy i tracona jest w formie energii cieplnej jako para odlotowa albo ciepła woda – 140 do 180°C. Miejsce maszyn parowych zajęły później turbiny parowe, w których przy pomocy wirników uzyskiwano ciągły ruch obrotowy zamiast ruchu posuwisto-zwrotnego. Takie turbiny można tylko spotkać w niektórych browarach.

W celu racjonalnego wykorzystania energii opracowano następujące rodzaje urządzeń:

- ***Urządzenia wydechowe:***

  W tym przypadku para rozpręża się w maszynie do ciśnienia atmosferycznego i ulatnia się niewykorzystana. Taki sposób pracy jest nierentowny i nie jest obecnie stosowany;
- ***Turbiny przeciwprężne:***

  Para rozpręża się tylko do 2-3 bar i jest następnie wykorzystywana do ogrzewania;
- ***Turbiny kondensacyjne***

  Para kondensuje, przy czym zmniejsza się jej objętość i poprzez zachodzące ssanie spada ciśnienie do 0,1 bara. Zwiększa to użyteczny spadek ciśnienia i tym samym mechaniczną sprawność turbiny.

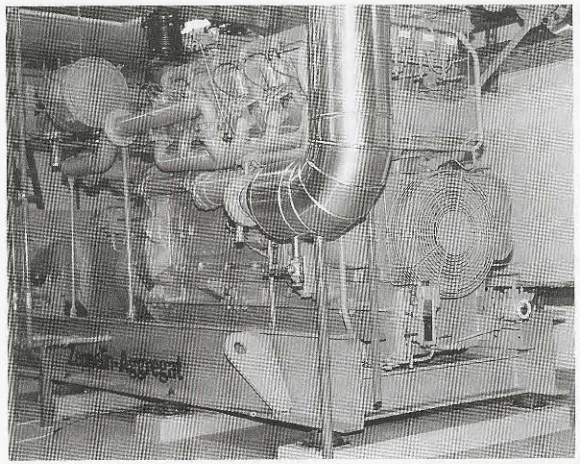
Generalnie rzecz biorąc, produkcja prądu w browarach przy wykorzystaniu urządzeń parowych należy do rzadkości. Zainteresowaniem cieszą się one jeszcze tam, gdzie są dostępne tanie paliwa. Dzisiaj częściej stosuje się blokowe elektrociepłownie.

10.2.5 Blokowe elektrociepłownie

Stare maszyny parowe coraz częściej zastępowane są przez blokowe elektrownie. Przy czym nazwa „elektrownia" sugeruje trochę więcej, niż można by się domyślać.

Elektrownia blokowa składa się z silnika wysokoprężnego albo gazowego, względnie z turbiny gazowej, w której spalany jest gaz ziemny lub olej opałowy. Wykonana przy tym praca mechaniczna jest przekształcana w energię elektryczną. Gazy spalinowe są wykorzystywane do ogrzewania.

Silnik spalinowy napędza generator prądu, który wytwarzając napięcie 380 V i pracując równolegle do sieci, w znacznej mierze pokrywa



Rys. 10.6
Blokowa elektrownia BHKW
(fot. Zeppelin-Metallwerke GmbH, Achim b. Bremen)

własne zapotrzebowanie browaru na prąd, a w przypadku mniejszych potrzeb, oddaje nadwyżki do sieci. Można w ten sposób także złagodzić występujące krótkotrwałe szczyty poboru mocy.

Nie uzasadnia to jednak celowości stosowania silnika gazowego. Prąd wytwarzany przez niego jest ciągle zbyt drogi. Silnik taki jest godny zainteresowania dopiero wtedy, kiedy można w pełni wykorzystać jego ciepło odpadowe w elektrociepłowni blokowej.

Podstawowa zaleta polega na zamianie energii kinetycznej, uzyskanej z energii gazu ziemnego, w prąd elektryczny oraz na wykorzystaniu energii cieplnej do wytwarzania gorącej wody lub pary dla potrzeb bieżącej produkcji.

Można założyć, że ze 100% energii gazu ziemnego będzie można wykorzystać 90%, tzn. 33% przez zamianę na prąd elektryczny, a 58% przez zamianę w ciepło (w gorącą wodę albo parę). Dalsze 5% ciepła emitowane z silnika można jeszcze wykorzystać do wstępnego podgrzewania.

W celu właściwego wykorzystania ciepła odlotowego stosuje się często dwa obiegi wody [103]:

- obieg wody z wysoką temperaturą około 140°C i
- obieg wodny z niską temperaturą około 65°C

oraz odpowiednie osobne zbiorniki

Wysoka temperatura wody – 140°C – odpowiada ciśnieniu 3,5 bara. Tak gorąca para może być zastosowana bezpośrednio do ogrzewania albo do gotowania brzeczki.

Z elektrownią blokową związane są więc:

- silnik spalinowy z generatorem prądu
- nisko- i wysokotemperaturowe obiegi wody z zasobnikami.

Zastosowanie elektrowni blokowych w browarach i słodowniach pokrywa w znacznej części zaopatrzenie w energię i stanowi ważny krok do obniżenia kosztów.
Elektrownia blokowa włącza się równolegle do sieci albo pracuje dla siebie samej, co w niektórych krajach może być wysoce opłacalne. Przy większych urządzeniach i zastosowaniu turbin gazowych mówi się o tzw. sprzężonych urządzeniach siłowo-cieplnych.

10.3 Urządzenia chłodnicze

Podczas produkcji piwa stosuje się wielokrotnie chłodzenie:

- wybita brzeczka schładzana jest do określonej temperatury,
- fermentujące piwo młode schładzane jest podczas fermentacji i dojrzewania,
- w fazie głębokiego chłodzenia następuje schłodzenie do temp. od 0 do -2°C; chłodzenia wymagają także
- tanki leżakowe ciśnieniowe oraz
- piwnice i magazyny.

Zapotrzebowanie na chłód wynosi poza tym [119]:

	kWh/hl
chłodzenie brzeczki	1,668 - 2,224
fermentacja i chłodzenie końcowe	1,270 - 2,427
chłodzenie pomieszczeń i inne	2,780 - 5,830
całkowite zapotrzebowanie	5,718 - 10,489

Zakładając, że do 2 stopni K różnicy można chłodzić medium chłodzącym, do każdego chłodzania poniżej 12-14°C niezbędne są schłodzone media, ponieważ niemożliwe jest w tym przypadku chłodzenie wodą przemysłową. Chłodniejsze media wytwarzane są w urządzeniach chłodniczych.

Jednak nie zawsze tak było. Nasi dziadkowie nie mieli jeszcze maszyn chłodniczych, a przecież potrzebowali chłodu również latem. W tamtych czasach zimą browary zaopatrywały się w lód z pobliskiego stawu, który po rozdrobnieniu umieszczano w dobrze izolowanej piwnicy o grubych murach. Takie piwnice lodowe istnieją jeszcze do dziś. Nagromadzony w ten sposób lód musiał wystarczyć do następnej zimy. Chłodzenie realizowano wtedy jeszcze przy wykorzystaniu zbiornika cieczy chłodzonej umieszczonego w lodzie. Problemy zdarzały się w wyniku bezmroźnych zim.

10.3.1 Czynniki chłodnicze i chłodziwo

10.3.1.1 Czynniki chłodnicze

Zasada chłodzenia polega na tym, że podczas parowania ciecz pobiera ciepło parowania z otoczenia. Otoczenie przez to schładza się. Do tego celu wybiera się takie substancje, które do parowania potrzebują dużo energii, zwykle jest to amoniak (NH_3). Substancje, które podczas parowania odbierają ciepło nazywa się czynnikami chłodniczymi. Obok amoniaku stosuje się w mniejszych urządzeniach (i coraz rzadziej) węglowodory fluoro-węglowe i węglowodory fluoro-chloro-węglowe. Są one jednak sukcesywnie wycofywane ze względu na ich wpływ na powstawanie i powiększanie się dziury ozonowej. Freonowe oziębiacze są oznaczane symbolem R (Refrigerant) i kombinacją cyfrową, która podaje liczbę atomów węgla, wodoru i chloru, np. (R12, R22). Dołączona do tego nazwa handlowa odnosi się do producenta (Frigen 12 = Farbwerke Hoechst, Freon 12 = Du Pont itp.) Również amoniak posiada odpowiednią liczbę (R717).

Ponieważ amoniak nie niszczy ozonu i nie przyczynia się do powstawania efektu cieplarnianego, stosowany jest w coraz większym stopniu jako czynnik chłodniczy, również w małych urządzeniach. Należy jednak zwrócić uwagę na pewne zagrożenia:

- Amoniak jest silnie żrącym gazem i może prowadzić do podrażnienia, a nawet obrażeń dróg oddechowych.
- Amoniak w bardzo wysokiej temperaturze i po zmieszaniu z powietrzem wybucha, ponadto reaguje z CO_2 i z kwasami z wydzieleniem dużych ilości ciepła.
- Amoniak stanowi zagrożenie dla wody w skali zagrożeń (WGD) 2. Miejsca, w których ustawione są urządzenia zawierające amoniak, muszą być zaopatrzone w zbiorniki buforujące, zabezpieczające wody gruntowe przed przedostaniem się amoniaku.

Amoniak jest łatwo wyczuwalny nawet przy silnym rozcieńczeniu, małe nieszczelności można zatem szybko zidentyfikować i usunąć.

Przy większych nieszczelnościach (awariach) wskutek parowania amoniaku powstaje natychmiast chmura aerozolowa o temperaturze do -70°C, co w konsekwencji może prowadzić do powstania ogromnych szkód.

Browary bardzo dobrze opanowały technikę bezpiecznego obchodzenia się z amoniakiem, ale szereg awarii, które miały miejsce w przeszłości wskazują, że wymaga on bardzo dużej ostrożności.

W niektórych krajach na urządzenia z wypełnieniem przekraczającym 3 tony amoniaku wymaga się specjalnego zezwolenia.

10.3.1.2 Czynnik przenoszący chłód, czyli chłodziwo

Środek chłodzący jest:

- albo bezpośrednio odparowywany (**chłodzenie bezpośrednie** w strefie chłodzącej w tanku cylindryczno-stożkowym, rury chłodzące do chłodzenia pomieszczenia itp.) albo,
- chłód z parownika przenoszony jest na inne niezamarzające medium, zwane **chłodziwem**. Chłodziwo przenosi chłód, ale nie odparowuje. Tak samo, jak zostało ogrzane podczas pobierania ciepła, tak samo musi zostać ponownie schłodzone (**chłodzenie pośrednie**). Tym samym obniża się sprawność urządzenia, dlatego obecnie w miarę możliwości stosuje się coraz częściej chłodzenie bezpośrednie. Istnieją jednak takie obszary, które przede wszystkim ze względów bezpieczeństwa wymagają chłodzenia pośredniego. W grę wchodzą tylko chłodziwa niezamarzające i nieagresywne, w szczególności:
  - **glikol**, mieszanka wodno-alkoholowa,
  - **solanki szlachetne**, bezchlorowe.

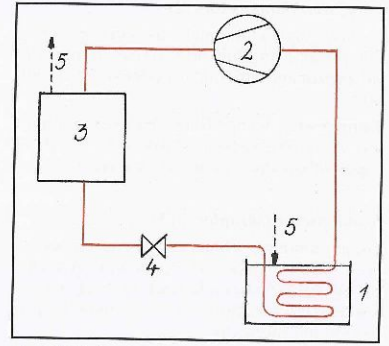
Zimny gaz musi zostać ponownie przeprowadzony w stan ciekły, aby możliwe było ponowne jego odparowanie. W zależności od sposobu przeprowadzania takiego procesu, wyróżnia się dwa rodzaje urządzeń chłodniczych:

- urządzenia chłodnicze sprężarkowe:
  w tym przypadku gaz zagęszcza się w kompresorze i skrapla podczas ochładzania oraz
- urządzenia chłodnicze absorpcyjne:
  w tym przypadku gaz absorbowany jest przez wodę, a następnie ponownie uwalniany podczas podgrzewania.

10.3.2 Sprężarkowe urządzenie chłodnicze

10.3.2.1 Zasada działania

Urządzenia chłodnicze w browarach należą do typu sprężarkowych. Stanowią je 4 elementy połączone przewodem rurowym (rys. 10.7.)



Rys 10.7. Sprężarkowe urządzenie chłodnicze (zasada pracy)

(1) parownik, (2) sprężarka (kompresor), (3) kondensator (skraplacz), (4) zawór rozprężny, (5) energia cieplna

Parownik (1)

Ciekły amoniak wprowadzany jest do parownika, gdzie następuje jego odparowanie w temperaturze ok. -6-8°C. Potrzebne ciepło parowania pobierane jest z otoczenia, które wskutek tego ochładza się. Układ rurowy lub płytowy parownika jest w tym celu:

- zanurzony w solance albo roztworze glikolu lub
- tworzy w wodzie zasobnik lodu przez zamarzanie wody wokół rur parownika.

Taki rodzaj chłodzenia nazywa się chłodzeniem pośrednim, ponieważ nie zimny amoniak, lecz chłodziwo (roztwór glikolu albo solanka) jest pompowane tam, gdzie jest zapotrzebowanie na chłód.

Jeżeli parownik znajduje się w miejscu, gdzie jest zapotrzebowanie na chłód, mówi się wtedy o chłodzeniu bezpośrednim, co zostało dokładnie objaśnione przy omawianiu chłodzenia tanków (patrz rozdział 4.4.2.2).

Metoda chłodzenia przez bezpośrednie odparowywanie amoniaku jest coraz powszechniej stosowana.

Sprężarka (kompresor) (2)

Zimny, gazowy amoniak zasysany jest przez kompresor i sprężany do 8-10 bar. Temperatura sprężonego amoniaku podnosi się do 80-90°C.

Kompresory są napędzane elektrycznie i mają z wszystkich urządzeń w browarze największe zapotrzebowanie na energię elektryczną.

Kondensator (skraplacz) (3)

Gorący amoniak schładzany jest do temperatury 20-25°C i jednocześnie ponownie skroaplany. W celu uzyskania lepszej wymiany ciepła, kondensator konstruowany jest w układzie płytowym lub rurowym.

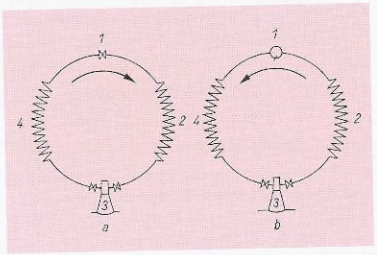
Zawór przewężony (4)

Zawór rozprężny oddziela parownik od kondensatora. Przepuszcza on jedynie określoną ilość NH_3 do parownika i zapobiega wyrównaniu ciśnienia między parownikiem a skraplaczem, czego skutkiem byłby spadek wydajności urządzenia do zera

Przebieg temperatury i ciśnienia wewnątrz sprężarkowego urządzenia chłodniczego przedstawia się następująco:

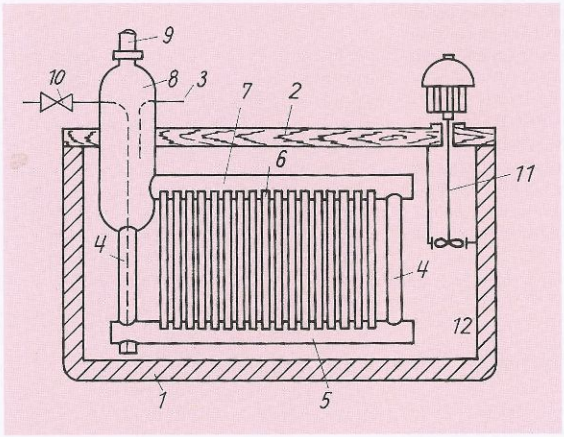
	Temperatura °C	Nadciśnienie w barach	Energia cieplna
Parownik	+25 na -5	2	pobór energii
Sprężarka	-5 na +80	2 na 10	energia mechaniczna
Skraplacz	+80 na +25	10	oddawanie energii
Zawór przewężony	+25	10 na 2	-

Porównując przepływ energii w sprężarkowym urządzeniu chłodniczym z przepływem energii w silnikach parowych można zauważyć, że obydwa urządzenia pracują dokładnie odwrotnie (rys. 10.8)



Rys. 10.8. Przepływ energii
(a) obieg sprężarkowego urządzenia chłodniczego
(1) zawór regulacyjny, (2) parownik, (3) sprężarka, (4) skraplacz
(b) obieg silnika parowego
(1) pompa zasilająca kocioł, (2) skraplacz, (3) silnik parowy, (4) kocioł

	Wprowadzenie (Wejście)	Wyprowadzenie (Wyjście)
Silnik parowy	ciepło	energia mechaniczna
Sprężarkowe urządzenie chłodnicze	energia mechaniczna	ciepło z niskiej temperatury przenosi się na wysoką temperaturę



Rys. 10.9
Parownik stromorurowy (stary typ)
(1) pojemnik parownika (izolowany), (2) pokrywa, (3) przewód wtryskowy, (4) rura odprowadzająca, (5) rura zbiorcza cieczy (kolektor cieczy), (6) rury parownika, (7) rury zbiorcze pary (kolektor pary), (8) oddzielacz cieczy, (9) przewód ssący, (10) odoliwienie, (11) mieszadło solanki, (12) solanka

Sprężarkowe urządzenie chłodnicze jest zarazem pompą ciepła.

10.3.2.1 Parownik

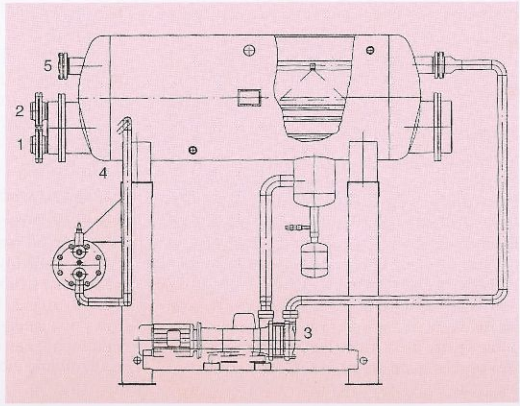
Parowniki wykonywane są w różnych odmianach. Istnieją parowniki: stromorurowe, płaszczowe, żebrowe, rurowe, płytowe i inne.

Podstawowa zasada działania wszystkich parowników polega na tym, że ciekły amoniak paruje w rurach albo w płytkach i jednocześnie pobiera ciepło parowania z otaczającej go cieczy lub powietrza.

Omówimy dwa typy parowników:

Parownik stromorurowy (rys. 10.9)

Parowniki stromorurowe są z reguły betonowymi prostokątnymi zbiornikami, w których pionowe rury (4) zanurzone są w solance lub roztworze glikolu. Doprowadzony ciekły amoniak (3) paruje w pionowych rurach (6) i jest



Rys. 10.10
Parownik płaszczowo-rurowy ze zraszaniem, czynnikiem chłodzącym do chłodzenia cieczy (solanki)
(1) dopływ solanki (chłodziwa)
(2) wypływ solanki
(3) pompa rotacyjna do NH_3
(4) odoliwianie
(5) NH_3 do sprężarki

przez oddzielacz (8) doprowadzany do sprężarki (9). Wiele parowników posiada ponadto mieszadło (11), które poprzez ruch solanki poprawia wymianę ciepła.

Parownik płaszczowo-rurowy (rys. 10.10)

W nowszym typie tego rodzaju parownika amoniak jest rozpylany przez rozpylacz i jednocześnie paruje, podczas gdy solanka w rurach ochładza się.

Ten typ parownika wykazuje następujące zalety:

- lepsze przechodzenie ciepła (mniejszy, tańszy),
- lepsza sterowalność,
- małe odparowywanie wtórne przy gwałtownym przerwaniu pracy,
- mniejsze ilości NH_3.

Szczególną konstrukcją parownika płaszczowo-rurowego są chłodnice wody lodowej (patrz p. 10.3.2.5).

10.3.2.2 Sprężarka (kompresor)

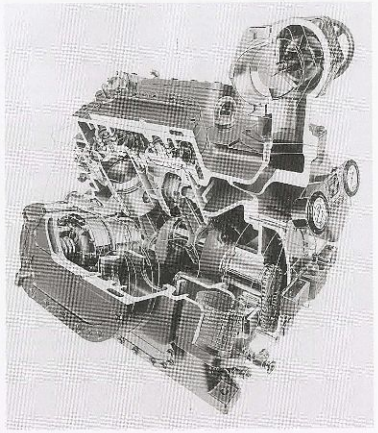
Zadaniem kompresora jest sprężanie zimnego gazowego amoniaku. Do tego celu stosuje się różnego rodzaju sprężarki:

- sprężarka tłokowa,
- sprężarka śrubowa,
- sprężarka rotacyjna z tłokiem mimośrodowym,
- sprężarka rotacyjna z wirnikiem łopatkowym (albo sprężarka z tłokiem obrotowym),
- sprężarka turbinowa.

Sprężarka tłokowa

Sprężarka ta stanowi najstarszy typ konstrukcji stosowanej w browarach. Budowana była przez dłuższy czas jako sprężarka poziomo leżąca, wolnobieżna i często sprzężona z maszyną parową. Dzisiaj stosuje się głównie pionowo stojące, szybkobieżne sprężarki o mocy od 100.000 do 300.000 kJ/h.

Sprężanie następuje przez posuwisto-zwrotny ruch tłoka w połączeniu z otwieraniem i zamykaniem zaworu. Amoniak w sprężarce tłokowej ogrzewa się do 90-100°C.



Rys. 10.11. Sprężarka tłokowa

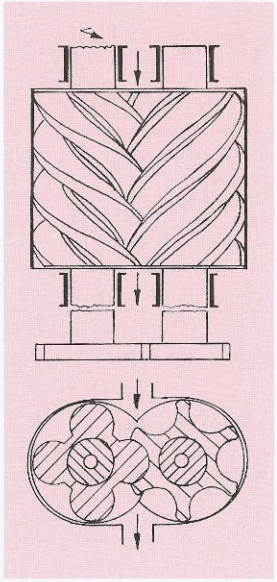
Korpus podzielony jest ściankami na przestrzeń ssania i przestrzeń ciśnieniową.

Przy czym rozróżnia się:

- sprężarki, które mają zamkniętą obudowę, pozostające pod ciśnieniem czynnika chłodniczego; napęd wału następuje z zewnątrz, wał jest uszczelniony przed wydostaniem się NH_3,
- sprężarki półhermetyczne (zespół sprężarkowy), w których silnik elektryczny wraz ze sprężarką są w jednej obudowie,
- hermetyczne sprężarki, w których silnik i sprężarka znajdują się w szczelnie zamkniętej, spawanej obudowie (sprężarka okapturzona, chłodziarka domowa).

Sprężarka śrubowa

Sprężarka śrubowa (rys. 10.12) składa się z dwóch śrub współpracujących jedna z drugą (śruby napędowej i śruby napędzanej), które prowadzą strumień gazu do ściśle przylegającego korpusu. Wykonują one stały ruch obrotowy, mają ciągłe tłoczenie i spokojny bieg, nie potrzebują zaworów i są odporne na agresywne działanie cieczy.



Rys.10.12
Sprężarka śrubowa (zasada działania)

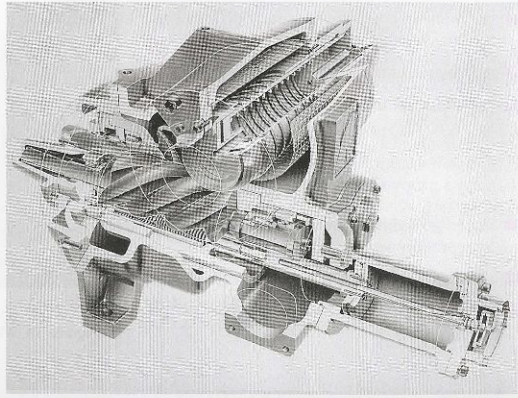
Wydajność ich można regulować bezstopniowo, co wyjaśnia powodzenie i rosnące wykorzystanie tych sprężarek zwłaszcza w większych browarach. Sprężarki śrubowe pracują jednak głośno. Mają straty na tłoczeniu, a przy regulacji prędkości obrotów straty te wzrastają nieproporcjonalnie do zużycia prądu.

Śruby pracują w oleju, który obniża straty wydajności, uszczelniając je ze sobą, a ponadto chłodzi dodatkowo czynnik chłodzący, poprawiając sprawność urządzenia.

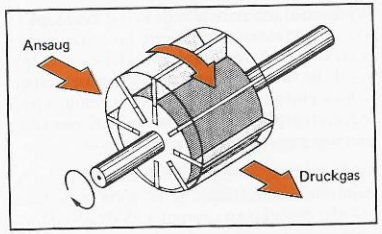
Sprężarka rotacyjna łopatkowa

Jest to pompa, której wirnik umieszczony jest mimośrodowo w cylindrycznej osłonie. W wirniku znajdują się podłużne szczeliny w płaszczyznach prostopadłych do jego osi. W szczelinach tkwią ruchomo łopatki, które podczas obrotów siła odśrodkowa dociska do osłony. Mimośrodowe położenie wirnika powoduje, że przestrzenie między łopatkami i osłoną są zmienne, wskutek czego następuje zasysanie i wytłaczanie gazu.

Sprężarki rotacyjne łopatkowe dobrze nadają się do tłoczenia dużych objętości przy małej różnicy ciśnień, dlatego wykorzystuje się je często jako stopień niskociśnieniowy w sprężarce dwustopniowej.



Rys.10.13
Elementy wewnętrznej budowy sprężarki turbinowej



Rys. 10.14. Sprężarka rotacyjna łopatkowa

Sprężarka turbinowa

W sprężarce turbinowej następuje sprężanie poprzez przyspieszenie przepływu strumienia gazu w kole wirnikowym turbiny i w wyniku tego zamiana energii kinetycznej przepływu w podwyższenie ciśnienia.

Sprężarki turbinowe stosuje się w bardzo dużych urządzeniach chłodniczych, które w browarach prawie nic występują

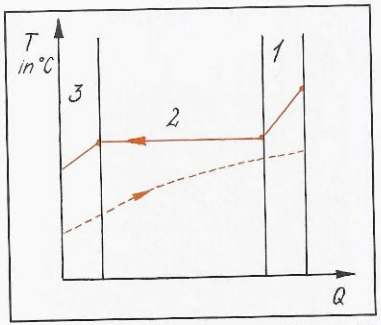
10.3.2.3 Skraplacz (kondensator)

Skraplacze są przenośnikami ciepła, w których pobrane ciepło czynnika chłodniczego (ciepło parowania i ciepło sprężania) jest oddawane środowisku chłodzącemu (powietrze, woda). Skraplanie przebiega 3-stopniono:

- odebranie ciepła przegrzania aż do temperatury nasycenia pary,
- odprowadzenie ciepła parowania i
- przechłodzenie cieczy (rys. 10.15).

Istnieją 3 grupy skraplaczy:

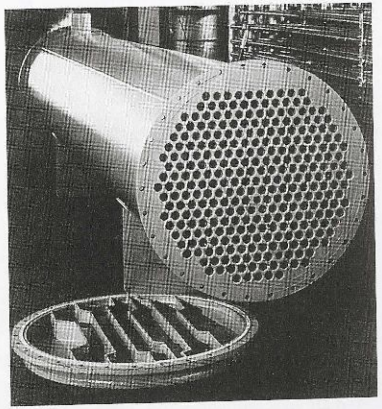
- skraplacze chłodzone wodą albo kondensatory przepływowe,
- skraplacze chłodzone powietrzem i
- skraplacze powietrzno-natryskowe, czyli wyparne.



Rys. 10.15. Skraplanie (czerwona linia ciągła)
(1) pobranie ciepła przegrzania, (2) skraplanie, (3) przechłodzenie

Kondensatory chłodzone wodą

Najczęstszym rodzajem konstrukcji są skraplacze płaszczowo-rurowe. Składają się one z poziomo leżącego cylindra z dospawanymi obustronnie ścianami sitowymi, do których przyspawane rury są umieszczone wewnątrz płaszcza (rys. 10.16).



Rys. 10.16. Kondensator płaszczowo-rurowy
(Fotografia Th. Witt)

Charakteryzują się one prostą konstrukcją i są względnie łatwe do czyszczenia. Stosuje się je wtedy, kiedy do dyspozycji jest duża ilość taniej wody.

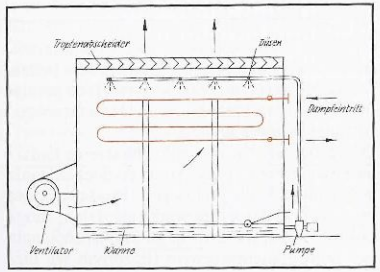
Kondensatory chłodzone powietrzem

Składają się z żebrowego układu rur. Powietrze ma niskie ciepło właściwe, więc dla zwiększenia sprawności wymiany cieplnej jego ruch wymuszany jest przez wentylatory rozmieszczone wzdłuż żeber lub płytek.

Skraplacze powietrzno-natryskowe

Rozpryskując w skraplaczu chłodzonym powietrzem dodatkowo pewną ilość wody, podnosi się znacznie zdolność chłodzenia poprzez odebranie ciepła parowania.

Skraplacze powietrzno-natryskowe pracują z zawracaniem wody, przy wystarczającym jej nadmiarze (rys. 10.17). Ich wadą są zanieczyszczenia w otoczeniu wskutek rozpryskiwania wody w otwartym strumieniu powietrza.



Rys. 10.17. Skraplacz powietrzno-natryskowy

Ilość wody potrzebna w tym urządzeniu jest spora. Woda ogrzewa się, ale dzięki parowaniu schładza się znacznie. Zależnie od wilgotności powietrza zewnętrznego, nawet latem zwykle ustala się temperatura ok. 25 stopni.

Dla obniżenia wydatku energii można skroplony czynnik chłodniczy dalej ochładzać w wymienniku ciepła (przechłodzenie).

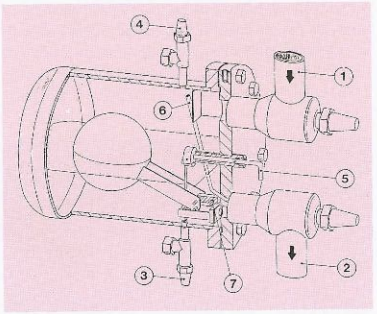
10.3.2.4 Zawór regulujący

Ilość ciekłego czynnika chłodniczego, płynąca ze skraplacza do parownika, musi być regulowana w zależności od potrzeb chłodzenia. Dzieje się to na ogół przy pomocy automatycznych zaworów regulacyjnych.

Powszechnie stosuje się do tego zawory pływakowe, które w zależności od podłączenia

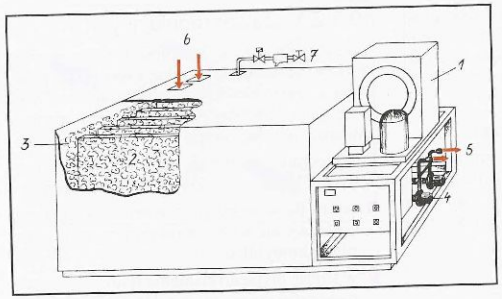
- w strefie wysokiego ciśnienia (skraplacza) będą wysokociśnieniowymi regulatorami pływakowymi, a
- w strefie niskiego ciśnienia (parownik) będą niskociśnieniowymi regulatorami pływakowymi.

Pływakowy regulator wysokociśnieniowy (rys. 10.18) pracuje na zasadzie kulistego pływaka zanurzonego w ciekłym amoniaku. Przy obniżaniu się poziomu cieczy, pływak opada i jednocześnie zamyka dopływ do parownika.



Rys. 10.18
Pływakowy regulator wysokociśnieniowy
(1) zawór wejściowy, (2) zawór wyjściowy, (3) zawór spustowy, (4) zawór odpowietrzający, (5) dźwignia obejścia, (6) dysza niskociśnieniowa, (7) otwór dławikowy

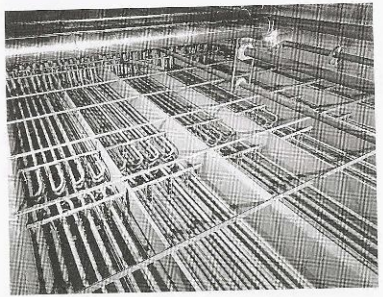
Ponadto konieczny jest zawór odpowietrzający do odprowadzania powietrza, aby nie nastąpiło zahamowanie dopływu cieczy.



Rys .10.19
Zbiornik z wodą lodową
(1) agregat chłodniczy
(2) płyty chłodzące
(3) woda lodowa
(4) pompa do wody lodowej
(5) woda lodowa do chłodzenia produktu
(6) wejście ogrzanej wody
(7) dopływ wody

10.3.2.5 Zbiornik wody lodowej (rys. 10.19)

W zbiorniku wody lodowej woda schładzana jest do temperatury 0°C lub poniżej 0°C. Schładzanie zachodzi w osobnym agregacie chłodniczym (1) lub za pomocą amoniaku z zakładowego układu chłodniczego. Przenoszenie ciepła następuje przez płyty (2) lub rury, w których płynie chłodziwo. Woda prowadzona jest wzdłuż płyt albo rur przy pomocy pompy (4) powoli zamarzając, tworząc wokół płyt i rur coraz grubszy płaszcz lodowy (rys. 10.20).



Rys. 10.20
Zbiornik wody lodowej
Podzielone komory zbiornika wody lodowej z rurami chłodniczymi (fot. Th. Witt)

W ten sposób oprócz wody lodowej o temp. -1-0° C, powstaje również magazyn chłodu, którego zapas może być tworzony w godzinach nocnych: woda lodowa chłodzi piwo przepływając przez wymiennik płytowy lub rurowy i lekko ogrzana wraca do zbiornika. Tam schładza się w zetknięciu z płaszczem lodowym, który wskutek tego powoli topnieje.

Grubość osadzającego się lodu powinna wynosić maksymalnie 30-35 mm; jeżeli będzie większa, albo utworzy się warstwa lodu pomiędzy rurami, nastąpi obniżenie temperatury parowania i spadek wydajności.
Wodę lodową stosuje się do chłodzenia kadzi i tanków fermentacyjnych oraz do dochładzania w wymiennikach płytowych. Browary, które produkują tylko jedną warkę na dzień, mogą pokryć istotną część swojego zapotrzebowania na chłód prądem nocnym (liczonym wg niższej taryfy).
Zbiorniki na wodę lodową spotyka się, przede wszystkim, w małych i średnich browarach.

10.3.3 Urządzenia chłodnicze absorpcyjne

Tego typu urządzenia nie wymagają kompresora. Miejsce kompresora zajmują 3 inne urządzenia:absorber, wymiennik ciepła i desorber (kocher).

Skraplacz (kondensator), zawór regulujący i parownik są identyczne jak w urządzeniach chłodniczych sprężarkowych.

Zasada działania absorpcyjnego urządzenia chłodniczego (rys. 10.21).

Przez zawór regulacyjny (6) przepływa ciekły amoniak do parownika (1) i pobiera z otoczenia niezbędne ciepło parowania. W podłączonym absorberze (2) znajduje się woda. Woda wykazuje dużą zdolność do absorpcji gazowego amoniaku, tym większą, im mniej jest nasycony roztwór. Przez ciągłe rozpuszczanie się gazu roztwór wzbogaca się. Powstające ciepło rozpuszczania jest odprowadzane. Rozpuszczony amoniak, wskutek podgrzania do temperatury 120°C, w desorberze (4) jest ponownie odparowywany, a następnie ponownie skraplany w skraplaczu (5). Ogrzanie następuje parą, a w mniejszych urządzeniach także gazem lub prądem elektrycznym. Przez odparowanie amoniaku w desorberze roztwór znowu staje się „uboższy". „Ubogi" roztwór (12) transportowany jest z desorbera do pochłaniacza, podczas gdy wzbogacony roztwór (11) pochłaniacza ponownie pozbawiany jest amoniaku w desorberze. Transport ten odbywa się dzięki pompie (7). „Ubogi" roztwór z desorbera potrzebny jest w absorberze w stanie zimnym. Dzięki okresowo włączanemu wymiennikowi ciepła (3) następuje ogrzanie „bogatego" roztworu przez „ubogi" roztwór, który tym samym schładza się.

Urządzenia chłodnicze absorpcyjne nie znajdują zastosowania w browarach. Stosuje się je przede wszystkim w małych chłodziarkach domowych, ponieważ nie wymagają dozoru.

10.3.4 Chłodzenie pomieszczeń i cieczy

Chłodzenie pomieszczeń i cieczy w browarach, w zależności od ich wielkości oraz typu urządzeń, znajduje różne rozwiązania.

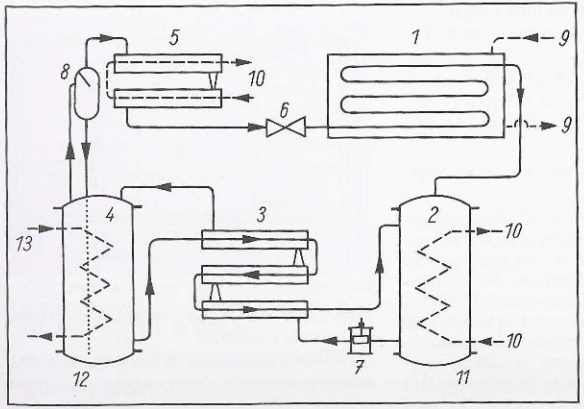
10.3.4.1 Chłodzenie piwnic fermentacyjnych i leżakowni

Jak wynika z poprzednich rozdziałów, obecnie coraz częściej stosuje się metodę chłodzenia bezpośredniego. Istnieją jednak nadal takie browary, w których chłodznie pomieszczeń przeprowadzane jest za pomocą solanki.
W metodzie chłodzenia pośredniego (rys. 10.22) stosuje się:

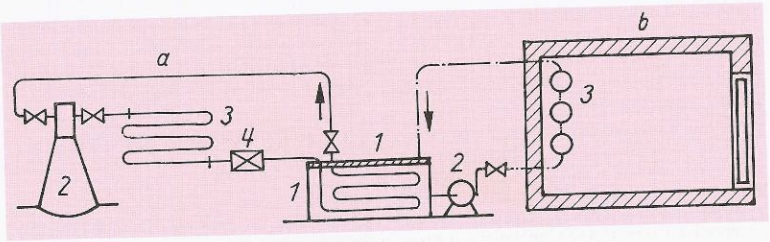
- ***obieg wytwarzający chłód*** (a) oraz
- ***obieg przekazujący chłód*** (b).

W przypadku takiej zasady chłodzenia solanki stosuje się wprawdzie dwa obiegi, lecz ma to następujące zalety:

- w przypadku występowania nieszczelności amoniak nie może przedostać się do pomieszczeń przemysłowych;



Rys. 10.21
Urządzenie chłodnicze absorpcyjne (zasada działania)
(1) parownik
(2) absorber
(3) wymiennik ciepła
(4) desorber
(5) skraplacz
(6) zawór regulujący
(7) pompa do tłoczenia roztworu
(8) rozdzielacz cieczy
(9) solanka
(10) woda chłodząca
(11) roztwór bogaty w amoniak
(12) roztwór ubogi w amoniak
(13) para grzejna



Rys. 10.22. Chłodzenie pośrednie (zasada działania)
(a) wytwarzanie chłodu, (1) parownik, (2) sprężarka, (3) skraplacz, (4) zawór regulacyjny
(b) wykorzystanie chłodu, (1) solanka w parowniku, (2) pompa solanki, (3) rurowy system chłodzenia solanki

- parownik pełni rolę magazynu chłodu, który można gromadzić kosztem tańszej tzw. nocnej energii elektrycznej, do wykorzystania przy zmiennym zapotrzebowaniu na chłód w browarze.

W zależności od rozmieszczenia rur solankowych rozróżnia się dwa rodzaje chłodzenia:

Chłodzenie ciche

Systemy chłodzenia, przez które płynie solanka, umieszcza się pod sufitem pomieszczenia (np. leżakowni, rozlewni, magazynu). Ponieważ ochłodzone powietrze przemieszcza się do dołu, następuje w związku z tym naturalny obieg chłodu.

Rury chłodzące stanowią najchłodniejsze miejsce w chłodzonym pomieszczeniu. Wilgotne powietrze kondesuje się na nich i obladza je, podczas gdy powietrze w pomieszczeniu wysusza się.

Warstwa lodu na rurach chłodzących stanowi wprawdzie powien zapas chłodu, który fukcjonuje jeszcze po wyłączeniu chłodzenia, jednakże:

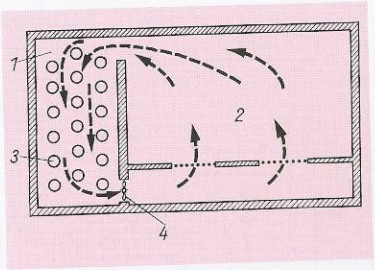
Lód izoluje rury i utrudnia przez to wymianę ciepła.

Dlatego kładzie się nacisk na to, aby powstająca na rurach warstwa lodu była regularnie stapiana. Rury pozbawione lodu przenoszą chłód o 25% lepiej niż silnie oblodzone. Po wyłączeniu chłodzenia warstwa lodu na rurach topi się, a powstające krople wody spadają w dół. Jeśli spadają bezpośrednio na zbiorniki, bardzo szybko na ich powierzchni tworzy się rdza, a to wymaga ponownego malowania. W związku z tym rury chłodzące powinny być instalowane w takich miejscach, aby woda nie kapała na stojące poniżej zbiorniki lub powinny być montowane rynny odprowadzające wodę.

Chłodzenie powietrzem z wymuszoną cyrkulacją

W piwnicy fermentacyjnej ze względów higienicznych i przestrzennych nie prowadzi się rur chłodzących, lecz przenosi się je w miarę możliwości do osobnej komory chłodniczej (rys. 10.23).

Stąd zimne i suche powietrze wtłaczane jest za pomocą wentylatora do piwnicy fermentacyjnej i stamtąd znowu zasysane. Wydajność wentylatora jest tak dobrana, aby powietrze w piwnicy fermentacyjnej mogło być wymienione 4 - 6 razy w ciągu godziny.



Rys. 10.23
Chłodzenie powietrzem z wymuszoną cyrkulacją (zasada działania)
(1) pomieszczenie chłodzące, (2) ruch powietrza do chłodzonego pomieszczenia, (3) rury z solanką, (4) wentylator

Aby zapobiec chorobom reumatycznym obsługi, trzeba utrzymywać ruch powietrza poniżej 0,5 m/s. Zapotrzebowanie na chłód przy chłodzeniu wymuszonym obiegiem powietrza jest trochę większe niż przy cichym chłodzeniu, ponieważ moc napędowa wentylatorów zamienia się w ciepło. Jako rury chłodzące stosuje się rury gładkie i żebrowane. W przypadku rur żebrowych zapewniona jest większa powierzchnia ich styku z powietrzem pomieszczenia.

Ciche chłodzenie i chłodzenie z wymuszonym obiegiem powietrza stosuje się już tylko w starych, małych piwnicach albo w minibrowarach typu „Pub".

10.3.4.2 Nowoczesne urządzenia chłodnicze

Nowoczesne urządzenia chłodnicze są budowane jako centrale chłodnicze na bazie NH_3. Pokrywają one wszystkie potrzeby w zakresie chłodzenia w browarze, łącznie z urządzeniem do odzysku CO_2 (rys. 10.24).

Ze względów ekonomicznych urządzenia chłodnicze pracują prawie zawsze przy różnej temperaturze parowania. W związku z tym nowoczesne urządzenia chłodnicze browaru posiadają zwykle większą liczbę parowników.

Płynny amoniak znajduje się w zbiorniku NH_3 i stamtąd kierowany jest albo do chłodzenia wody, niezbędnej do końcowego schłodzenia brzeczki o 1 do 2°C, albo do rozdzielacza NH_3. Stąd ciekły amoniak o temperaturze -6°C jest kierowany do rur lub płaszczy chłodzących tanku cylindryczno-stożkowego i tam paruje. Kiedy tank chłodzi się pośrednio, amoniak wyparowuje w parowniku i schładza glikol, który następnie jest pompowany do obiegu chłodzącego tanku.

W obu przypadkach przegrzana para NH_3 (kolor czerwony) będzie doprowadzana z powrotem do rozdzielacza NH_3 (rys. 10.24).

Pary amoniaku będą teraz odsysane przez kompresor i sprężane do ciśnienia 11-12 bar. Wskutek sprężania NH_3 ogrzeje się:

- w sprężarkach śrubowych do 70-90°C,
- w sprężarkach tłokowych do 90-100°C.

Dla równomiernego obciążenia sprężarki włączają i wyłączają się automatycznie. Po dodatkowym włączeniu skraplaczy – na rysunku są to trzy podwójne skraplacze powietrzno-natryskowe (zraszane) – gorący, gazowy amoniak będzie chłodzony przez parującą wodę i ponownie skraplany (kolor zielony), tak że na końcu w temperaturze ok. 25°C może ponownie spływać do kolektora NH_3 i może być wykorzystany ponownie w obiegu.

Na rysunku nie podano dalszych punktów, w których amoniak paruje i pobiera ciepło z otoczenia; należą do nich na przykład:

- rury chłodzące i płaszcze tanków,
- chłodnica rurowo-płaszczowa do głębokiego schładzania piwa,
- chłodnica rurowo-płaszczowa do chłodzenia wody,
- chłodnica rurowo-płaszczowa do chłodzenia glikolu,
- chłodnica wody lodowej.

Nowoczesne urządzenia chłodnicze uwzględniają także ***skraplanie CO_2*** (patrz rozdz. 4.4.8). W celu skroplenia CO_2 pompa ciekłego NH_3 dostarcza ciekły, zimny amoniak do parownika NH_3 urządzenia chłodniczego. Ze względów bezpieczeństwa to kaskadowe urządzenie chłodnicze pracuje we własnym obiegu amoniaku, oddzielonym od ogólnego układu chłodniczego. NH_3 posiada też własną sprężarkę (tutaj nie przedstawioną) oraz skraplacz CO_2 i parownik.

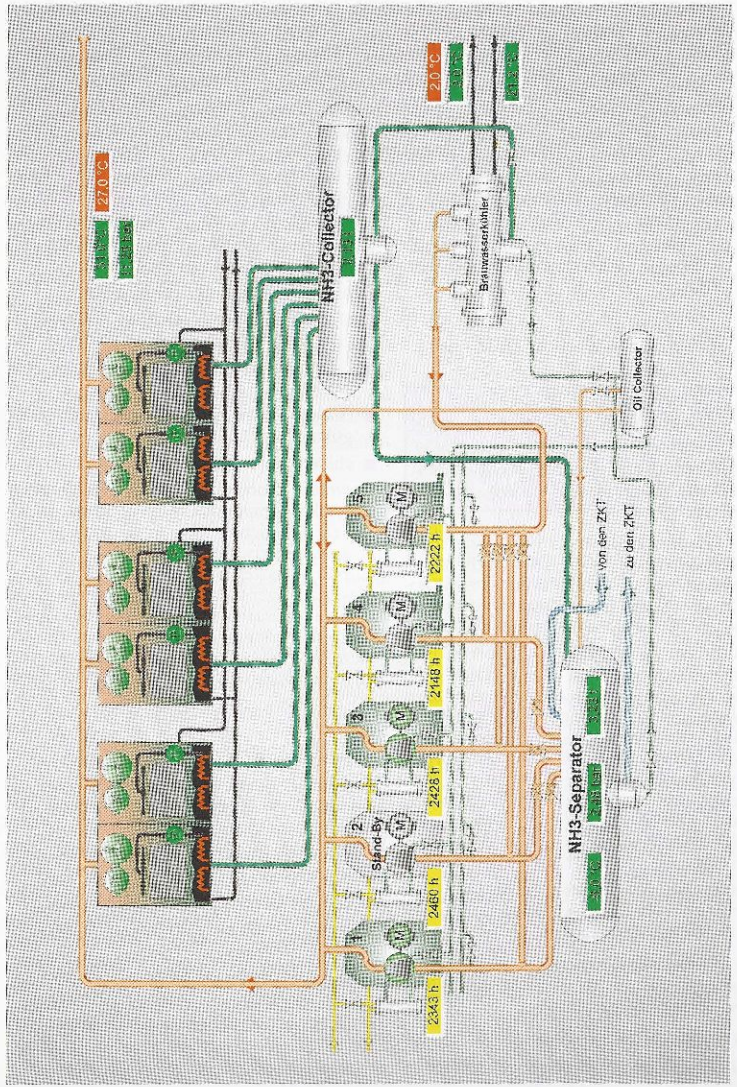
10.3.4.3 Chłodzenie cieczy

Na różnych etapach produkcji niezbędne jest chłodzenie brzeczki lub piwa w przepływie; dotyczy to w szczególności:

- chłodzenia wybitej gorącej brzeczki do temperatury nastawienia,
- chłodzenia piwa po głównej fermentacji
- wychładzania piwa do niskiej temperatury przed filtracją

Schłodzenie następuje przez:

- płytowy wymiennik ciepła (z uszczelnieniem) metodą chłodzenia pośredniego lub
- rurowy wymiennik ciepła (spawany) metodą chłodzenia bezpośredniego.



Rys. 10.24. Centralny układ chłodzenia (Fa. Hauptmann, Kirzingen). Objaśnienia w tekście

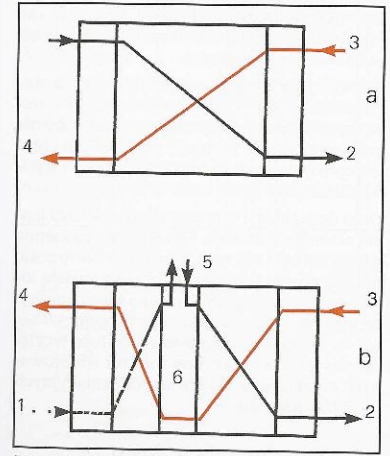
Jeżeli do dyspozycji jest woda studzienna o temperaturze 12°C, to można gorącą brzeczkę chłodzić przy pomocy płytowego wymiennika ciepła do temp. ok. 3 stopni K powyżej tej temperatury, a zatem do około 15°C. Schłodzenie do niższej temperatury wodą studzienną nie jest możliwe. W celu schłodzenia do temperatury ok. 8°C trzeba zastosować wodę o temperaturze max. 4-5°C. Do schłodzenia wody studziennej z 12°C do 4-5°C niezbędna jest energia.

Istnieją dwie możliwości chłodzenia:

- chłodzenie jednostopniowe lub
- chłodzenie dwustopniowe.

Chłodzenie jednostopniowe (rys. 10.26-a)

Gorącą brzeczkę o temperaturze ok. 98°C wprowadza się do wymiennika i chłodzi w przeciwprądzie wodą o temperaturze 4°C do 8°C.



Rys. 10.26. Chłodzenie brzeczki w wymienniku płytowym
(a) chłodzenie jednostopniowe
(b) chłodzenie dwustopniowe
(1) woda schłodzona do 4°C
(2) woda gorąca 80°C
(3) brzeczka gorąca 98°C
(4) brzeczka schłodzona 8°C
(5) woda studzienna 12°C
(6) płyta dzieląca

Woda chłodząca ogrzewa się przy tym do temperatury ok. 80°C i może być dalej wykorzystana jako woda gorąca. Przez zwiększenie płytowego wymiennika ciepła można podnieść temperaturę wody gorącej do 94-95°C i zgromadzić ją w zasobniku energii (patrz rozdział 3.4.2.6.3) do celów ogrzewczych.

Aby przeprowadzić **chłodzenie jednostopniowe**, trzeba najpierw całą wodę chłodzącą schłodzić z 12°C do 4°C lub jeszcze niżej. Wydajność chłodnicza wyniesie zatem

(12°C - 4°C) x całkowita ilość wody chłodzącej x właściwa pojemność cieplna

Zapotrzebowanie energii jest tutaj względnie duże.

Chłodzenie dwustopniowe (rys. 10.26-b)

Gorąca brzeczka schładzana jest wodą studzienną o temperaturze 12°C w pierwszej strefie wymiennika. Nie potrzeba tu żadnego wkładu energii, ponieważ woda studzienna o tej temperaturze jest do dyspozycji. Potrzeba jednak więcej wody chłodzącej niż podczas chłodzenia jednostopniowego.

W drugiej strefie wymiennika wstępnie schłodzona brzeczka chłodzona jest dalej do wymaganej temperatury 8°C wodą o temperaturze 4°C.

Zaletą chłodzenia dwustopniowego jest dużo mniejsze zapotrzebowanie na energię niezbędną jedynie do uzyskania niewielkiej, dużo mniejszej niż w przypadku chłodzenia jednostopniowego, ilości wody o temperaturze 4°C.

Do drugiego stopnia chłodzenia stosuje się niekiedy chłodnicę rurową z bezpośrednim parowaniem amoniaku.

Przy trudnościach z zaopatrzeniem w wodę, w wielu browarach stosuje się chłodzenie jednostopniowe, mimo że do tego celu potrzebny jest dodatkowy wymiennik ciepła i zbiornik na wodę lodową.

Ponadto niezbędny jest regulator temperatury i pompy, jak również odpowiednie oprzyrządowanie.

Wymiennik ciepła jednostopniowy potrzebuje mniej wody chłodzącej, ale więcej chłodu, z kolei dwustopniowy wymaga mniej chłodu, lecz więcej wody chłodzącej.

Przy rozstrzyganiu, co jest korzystniejsze dla zakładu, należy brać pod uwagę wszystkie kryteria (przede wszystkim koszty chłodu i wody chłodzącej).

10.3.5 Wskazówki dotyczące gospodarczego aspektu eksploatacji urządzeń chłodniczych

Wytwarzanie chłodu

W browarze najwięcej energii elektrycznej pobierają urządzenia chłodnicze, trzeba więc szczególną uwagę zwrócić na ekonomiczny aspekt ich eksploatacji.

Z tych względów konieczne jest, aby sprężarka niezależnie od zużycia chłodu sprężała na stałym, raz ustalonym poziomie. Następuje to przez odpowiednie sterowanie, które przy niższej temperaturze zewnętrznej, albo małym zużyciu chłodu, utrzymuje ciśnienie kondensacji na poziomie wstępnie zadanym poprzez wyłączenie części powierzchni skraplania.

Obecnie najczęściej stosowane są centralne systemy chłodnicze z bezpośrednim parowaniem amoniaku. W strefie ssącej sprężarki potrzebne są różne temperatury parowania, stosuje się więc regulatory ciśnienia ssania. Utrzymują one najniższy poziom ciśnienia. Sprężarki pracują stale pomiędzy najniższym ciśnieniem ssania i najwyższym ciśnieniem kondensacji.

Wydajność sprężarki spada
- o 2,5% wraz z obniżeniem temperatury kondensacji o 1K
- o 3% wraz z podwyższeniem temperatury parowania o 1K

Wynikiem zróżnicowanych temperatur i obciążeń urządzenia są ciągle zmieniające się warunki pracy, które jednak mogą być zmierzone. Daje to możliwość optymalizacji pracy urządzenia za pomocą odpowiedniego programu komputerowego, co już istnieje w wielu browarach. Koszt inwestycji mających na celu zmniejszenie zużycia prądu przez urządzenia chłodnicze, szybko się zwraca.

Jak zasygnalizowano w rozdziale dotyczącym gotowania brzeczki, obecność powietrza w parze znacznie zmniejsza wydajność gotowania; ten sam efekt występuje w przypadku przedostania się powietrza do urządzenia chłodniczego:

Nawet małe ilości powietrza w amoniaku powodują znaczący wzrost ciśnienia skraplania i zmniejszenie sprawności urządzenia chłodniczego.

Oszczędne gospodarowanie chłodem

Podczas pracy w pomieszczeniach chłodniczych należy przestrzegać następujących zasad:

Okna i drzwi pomieszczeń chłodniczych zamykać w ciepłej porze roku, z kolei zimą można je pozostawić otwarte i wykorzystać chłodniejsze powietrze z zewnątrz.

Ściany i drzwi pomieszczeń chłodniczych muszą posiadać dobrą izolację. W ciągu dnia zaleca się kilkugodzinne przerywanie chłodzenia pomieszczeń, aby nastąpiło odtajanie rur chłodzących i usunięcie lodu powstałego na ich powierzchni.

Duża ilość solanki w przewodach zapewnia lepszą akumulację chłodu. Gładkie rury zawierają więcej solanki niż rury żebrowe. Przestrzenie między rurami żebrowymi często zarastają lodem i skuteczność ich działania ulega zmniejszeniu. W mocno chłodzonych pomieszczeniach, jak leżakownia, stosuje się z tego względu rury gładkie. Zastosowanie rur ożebrowanych ogranicza się do piwnic fermentacyjnych i działów rozlewu.

10.4 Urządzenia elektryczne

Znaczną część zapotrzebowania mocy w browarze pokrywa energia elektryczna.

Z uwagi na łatwą dostępność energia elektryczna jest idealnym przenośnikiem mocy i jest stosowana również we wszystkich tych browarach, gdzie nie ma innego korzystniejszego finansowo nośnika energii.

10.4.1 Pobór energii elektrycznej

Wytwarzanie prądu odbywa się przeważnie w elektrowniach. W roku 1992 wytworzono w Niemczech:

29,6 % prądu z energii jądrowej,
28,9 % z węgla brunatnego,
26,6 % z węgla kamiennego,
6,0 % z gazu naturalnego,
3,9 % w elektrowniach wodnych,
2,2 % z oleju opałowego i
2,8 % z innych źródeł opałowych,
jak np. podczas spalania śmieci.

Elektrownie wodne i wiatrowe są najbardziej korzystne dla środowiska naturalnego, ale w naszym położeniu geograficznym mają tylko niewielki udział w wytwarzaniu energii.

We wszystkich elektrowniach prąd wytwarzany jest przez generatory prądu, w których energia mechaniczna przekształca się w energię elektryczną.

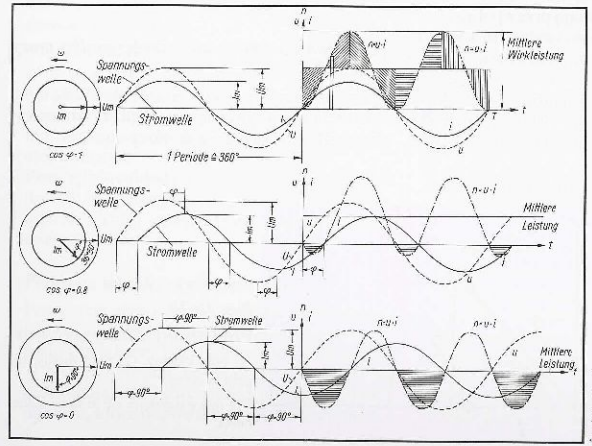
Odprowadzanie energii elektrycznej z elektrowni odbywa się poprzez linie napowietrzne. Ponieważ do dalszego przesłania energii elektrycznej o napięciu od 10 do 20 kV wytworzonej przez generator potrzeba bardzo grubych przewodów z dużymi stratami przewodzenia, transformuje się napięcie w elektrowni do 60-380 kV i transportuje na dalekie odległości liniami napowietrznymi. Dla zaopatrzenia miast, prąd transformowany jest w sieci stacji do napięcia średniego 10 kV i przeważnie dalej transportowany przewodami podziemnymi.

W tej formie prąd elektryczny otrzymują także browary, przez jeden lub więcej transformatorów, do których doprowadzany jest prąd o napięciu 10 lub 20 kV; niskie napięcie wyjściowe wynosi 380 V.

Elektrownia oblicza browarowi zużycie prądu czynnego w kWh; zużycie prądu biernego musi zostać opłacone od 50 % mocy czynnej. W interesie każdego zakładu jest zatem skompensowanie powstałego prądu biernego. Aby to zrozumieć, trzeba najpierw zapoznać się ze współczynnikiem mocy cos φ.

10.4.2 Współczynnik mocy cos φ

Dwa zmienne prądy są zgodne w fazie, kiedy ich wartości przebiegające sinusoidalnie są zgodne w tym samym czasie w wartościach zerowych i maksymalnych. Jeżeli przebiegi faz prądów nie występują w tym samym czasie, to prądy te są „przesunięte w fazie".



Rys. 10.27
Charakterystyka mocy przy przesunięciu fazowym

Wartość przesunięcia fazowego podana jest w stopniach kątowych, w rzeczywistości kąt przesunięcia fazowego (φ) jest to czas, o który prąd wyprzedza napięcie.

Również pomiędzy natężeniem prądu i napięciem, i tym samym prądem zmiennym, może wystąpić przesunięcie fazowe. Zdarza się to zawsze podczas obciążenia indukcyjnego, tzn. wtedy, kiedy prąd zmienny płynie przez cewki (uzwojenia) magnetyczne, jak to ma miejsce w silnikach prądu zmiennego (rys. 10.27).

Krzywe na rysunkach przedstawiają identyczny prąd zmienny przy różnej wielkości obciążenia indukcyjnego:

1. Pierwsza krzywa przedstawia prąd nieobciążony, dla którego natężenie i napięcie są zgodne w fazie. Linia kreskowana z kropką oznacza krzywą mocy tego prądu. Krzywa mocy powstaje z napięcia i natężenia prądu; średnia moc czynna (n) jest osią przepołowioną przez tą krzywą.
2. Druga krzywa pokazuje prąd obciążony indukcyjnie. Wskutek przesunięcia fazowego, krzywa mocy chwilowej jest negatywna w tych częściach, w których natężenie i napięcie prądu mają różne znaki. Krzywa mocy, i tym samym średnia moc czynna, opada, i coraz bardziej zbliża się do osi czasu.
3. Trzecia krzywa pokazuje prąd maksymalnie obciążony indukcyjnie (φ = 900). Natężenie prądu i napięcie mają przez połowę czasu różne znaki, a krzywa średniej mocy czynnej schodzi się z osią czasu, tzn. średnia wartość mocy wynosi zero.

Dodatnie wartości krzywej mocy (tzn. te, które leżą ponad osią czasu) przedstawiają moc oddawaną z generatora do użytkownika. Ujemne wartości (tzn. zakreskowane pod osią czasu) odpowiadają tej mocy, którą użytkownik oddaje do generatora. W przypadku maksymalnego obciążenia indukcyjnego (φ = 900) suma (wartość bezwzględna) energii waha się pomiędzy generatorem i użytkownikiem bez oddawania mocy użytkowej na zewnątrz.

Wszystkie prądy indukcyjnie obciążone, i tym samym przesunięte fazowo, mają zawężoną moc.

Wielkość tego uszczerbku zależy od przesunięcia fazowego. Na rys. 10.28 prąd przesunięty fazowo jest rozłożony na składowe, które służą do ustalenia prądu czynnego.

Efektywny prąd zostanie przesunięty w stosunku do efektywnego napięcia o kąt φ.

Prostopadła wyznacza prąd bierny i prąd czynny. Im większa jest wartość j, tym większy będzie prąd bierny i tym mniejszy prąd czynny.

Wyrażony w postaci funkcji logarytmicznej

$$\text{prąd czynny } I_w = I \cdot \cos \varphi$$

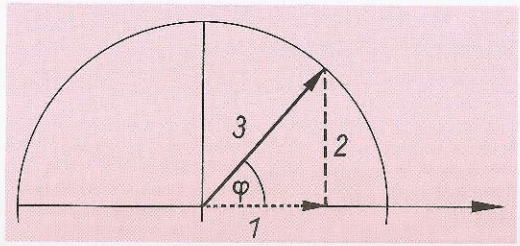
$$\text{moc czynna } P_w = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

dla prądu trójfazowego $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$

Współczynnik cos φ nazywa się współczynnikiem mocy. Dla kątowego przesunięcia fazowego $j = 0^0$ cos φ = 1, podczas gdy dla $\varphi = 90^0$ cos φ = 0.

Gospodarcze znaczenie współczynnika mocy cos φ

Aby dostarczyć użytkownikowi określoną moc, potrzebny jest tym większy prąd (I), im mniejszy będzie współczynnik mocy cos φ.



Rys. 10.28
Prąd czynny, bierny i pozorny
(1) prąd czynny, (2) prąd bierny, (3) prąd pozorny
Dla mocy uzyskuje się te same zależności.

Jeśli, na przykład, przeniesione ma być 10 kW mocy czynnej przez prąd zmienny o napięciu 220 V. Jakie będzie natężenie prądu czynnego przy

1. cos φ = 0,8, 2. cos φ = 0,4 ?

$$P_w = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$I = \frac{P_w}{U \cdot \cos \varphi}$$

$$1.\ I = \frac{10\,000\ W}{220\ V \cdot 0{,}8} = 57\ A$$

$$2.\ I = \frac{40\,000\ W}{220\ V \cdot 0{,}4} = 114\ A$$

Oznacza to, że dla tej samej mocy czynnej musi być zastosowane podwójne natężenie prądu, gdy współczynnik mocy cos φ obniży się o połowę.

Przez złe współczynniki mocy w silnikach elektrycznych będzie zatem potrzeba niewspółmiernie więcej prądu i przez to opłacalność urządzenia zmniejszy się.

Niezależnie od tego, przy złym cos φ wymagane są grubsze przewody. Oznacza to znowu zwiększenie zużycia materiałów do linii przewodowych, którego nie da się uniknąć, podobnie jak wyższych strat związanych z oporem elektrycznym.

Przeciętnie zakłada się, że cos φ wynosi od 0,7 do 0,8. Współczynnik mocy można odczytywać w każdej chwili dzięki wbudowanemu miernikowi cos φ.

Poprawa współczynnika mocy cos φ

Przyczyną złego współczynnika mocy często jest to, że silniki i transformatory są stale za mało obciążone. Przy małym obciążeniu, cos φ będzie mniejszy niż przy pełnym. Stale za mało obciążone silniki muszą być wymienione na takie, które odpowiadają potrzebnej mocy.

Dla wyrównania współczynnika mocy stosuje się zazwyczaj kondensatory prądu energetycznego. W obwodzie prądu zmiennego kondensator powoduje przyspieszenie fazowe natężenia prądu w odniesieniu do napięcia kondensatora.

Kondensatory, które składają się z dwóch cienkich płytek metalowych oddzielonych warstwą izolacyjną, działają jako stałe kondensatory fazowe. Nie wykazują one prawie żadnych strat energetycznych i wymagają nieznacznych kosztów nakładowych.

Na ogół nie opłaca się kompensować współczynnika mocy powyżej cos φ = 0,9, gdyż dalej przesunięcie fazowe jest nieznaczne i jego poprawa praktycznie nie przynosi korzyści.

10.4.3 Przemiana prądu elektrycznego

Jak wynika z poprzednich rozdziałów, browary dysponują prądem trójfazowym zmiennym. Tego rodzaju prądem zasila się tylko wybrane urządzenia i silniki. Na niektórych stanowiskach potrzebne jest:

- napięcie 220 V, np. do oświetlania i do małej aparatury,
- dla urządzeń, których styczność z człowiekiem nie jest wykluczona (lampy ręczne), napięcie powinno być obniżone i wynosić max. 42 V jako napięcie bezpieczne,
- wiele silników jest zasilanych prądem stałym,
- przy zasilaniu niektórych silników wymagane są zmienne częstotliwości prądu.

Żeby spełnić te zróżnicowane zadania, niezbędne są następujące urządzenia elektryczne:

- ***transformatory albo przetwornice napięcia***

  Transformatory zmieniają dopływający prąd trójfazowy o określonym napięciu i częstotliwości (50 Hz) w inne napięcie, lecz o takiej samej częstotliwości. Przez połączenie jednej fazy na zero można uzyskać zwykłe napięcie 220V. W wyniku dalszej transformacji można także wytworzyć dowolnie mniejsze napięcie.

- *przetwornica*

Przemiana prądu zmiennego w stały dokonuje się w przetwornicy.

Przetwornice, które

- zamieniają prąd zmienny w prąd stały nazywają się prostownikami,
- zamieniają prąd stały w prąd zmienny nazywają się falownikami.

Prostowanie w prądzie stałym można osiągnąć różnymi sposobami:

- Przez wytwornicę; to jest silnik prądu zmiennego, sprzężony z generatorem prądu stałego, który bezpośrednio napędza. Sprawność tych generatorów jest jednak mała (75 do 80%).
- Przy przetwarzaniu jednokierunkowym, silnik i generator są zespolone w jeden agregat. Uzwojony twornik działa równocześnie jako uzwojenie silnika i generatora. Sprawność takiej przetwornicy jest przy tym wyższa (do 95%).

  Oba prostowniki są obecnie mało stosowane.
- Prostownik półprzewodnikowy (prostownik suchy) jest obecnie coraz częściej stosowany zamiast prostowników wirujących. Przemienia prąd cicho i prawie bez strat.

Przetwornica częstotliwości

W wielu przypadkach trzeba zmienić i dopasować liczbę obrotów silników. Aby, mimo to utrzymać pełną wydajność silnika, trzeba posłużyć się statyczną przetwornicą częstotliwości, która przetwarza częstotliwość sieciową 50 Hz i napięcie na dowolną potrzebną częstotliwość i napięcie. Dzięki temu może być bezstopniowo regulowana liczba obrotów trójfazowych silników indukcyjnych. W ten sposób otrzymuje się możliwość ekonomicznego zastosowania silników do uzyskania stabilizacji przepływu i ciśnienia, stałych momentów obrotowych i stałej mocy.

10.4.4 Zabezpieczenia

Urządzenia elektryczne i napędy mogą być obsługiwane, instalowane, przerabiane, jak również konserwowane tylko przez fachowców elektryków. Przepisy obowiązujące w Niemczech w tym zakresie są w:

- instrukcji bezpieczeństwa pracy 4. urządzenia elektryczne i napędy (VBG 4), jak również
- załączniku do instrukcji zapobiegania wypadkom VBG 4 (wyd. kwiecień 1992 rok).

Niefachowcy elektrycy – zaliczani są także do nich piwowarzy i słodownicy – nie powinni podejmować żadnych prac i zmian przy urządzeniach elektrycznych.

Mimo to, aby pracować zgodnie z przepisami, w urządzeniach elektrycznych powyżej 50 V muszą zostać zagwarantowane:

- zapobieganie wypadkom,
- zapobieganie przepięciom,
- dobry stan izolacji układów i
- uziemienia.

Dla uniknięcia wypadków urządzenia elektryczne muszą mieć:

- ochronę przed bezpośrednim kontaktem,
- ochronę przed pośrednim kontaktem.

Te wymagania będą spełnione przez następujące środki zabezpieczające:

- izolację,
- obniżanie napięcia (poniżej 42 V),
- uziemienie,
- zerowanie,
- układ przewodów zabezpieczających,
- wyłącznik zabezpieczający przed błędnym napięciem,
- wyłącznik zabezpieczający przed błędnym prądem,
- wyłącznik zabezpieczający galwaniczny.

Ze względu na zagrożenia wypadkami części urządzeń i maszyn elektrycznych znajdujące się pod napięciem nie powinny być dotykane ani dostępne. Poza tym trzeba uważać, żeby nie przedostało się do nich żadne ciało obce lub woda. W zależności od miejsca ustawienia i celu zastosowania urządzeń pod napięciem wymagane jest zabezpieczenie przed przypadkowym dotknięciem oraz przedostaniem się wody lub obcego ciała.

Dla uniknięcia niedopuszczalnego ogrzania przewodów elektrycznych i przeciążenia napędów, każdemu przekrojowi przewodu przyporządkowane jest najwyższe dopuszczalne stałe obciążenie, które nie może zostać przekroczone w interesie bezpieczeństwa zakładu. Ochrona przewodów elektrycznych odbywa się za pomocą bezpieczników i wyłączników bezpieczeństwa. W razie przekroczenia dopuszczalnych wartości prądu, zadaniem urządzeń zabezpieczających jest bezpieczne wyłączenie. Wyłączenie jednego bezpiecznika jest obowiązującym wskaźnikiem przeciążenia przewodów.

Zadaniem każdego piwowara jest przestrzeganie wskazań dotyczących eksploatacji urządzeń elektrycznych, tak aby ludzie i urządzenia nie byli zagrożeni.

10.4.5 Wytyczne do ekonomicznego zużycia energii elektrycznej

Zużycie energii elektrycznej wynosi obecnie 10-12 kWh/hl piwa. Ten prąd trzeba kupić. Zakład energetyczny sprzedaje prąd, ale jest zainteresowany możliwie równomiernym pobieraniem prądu poza szczytem. Podczas ciepłych nocy w sezonie letnim nie odgrywa to żadnej roli, ale zimą bywa, że zapotrzebowanie na prąd jest bardzo duże.
Żeby omijać szczyty, dostarczyciel prądu określa odpowiednie taryfy na cenę pracy i cenę mocy.

Cenę pracy liczy się według zużytych kWh i jest ona stale mierzona, jak w gospodarstwie domowym. Cena za 1 kWh jest zróżnicowana i kształtuje się od ok. 0,15 do ok. 0,20 DM/kWh.

Cenę mocy liczy się wg maksymalnie pobranej mocy w kW (dokładniej: kVA) jako 15 min. szczyt, który jest utrwalony zapisem i na tej podstawie ustala się cenę mocy. W Niemczech cena mocy wynosi 100-350 DM/kW. Ta podstawowa cena jest ustalana każdego roku i często jest podnoszona. Może się zdarzyć, że w szczycie pobierze się za dużo o 1 kWh i trzeba zapłacić 250 DM.

Cena mocy ze względów finansowych zmusza browary do omijania szczytów poboru prądu, w przeciwnym razie koszta energii rosną bardzo szybko. Dlatego ważne są następujące zasady:

- *Kompresory chłodnicze, które pobierają najwięcej energii elektrycznej muszą przede wszystkim wypracować zapas chłodu w nocy;*
- *Większe zbiorniki solanki i wody lodowej stanowią zapas chłodu i muszą być w nocy napełnione;*
- *Na szczyt poboru mocy wpływa współczynnik mocy cos φ, ważne jest więc, aby przez wmontowane przy silnikach elektrycznych kondensatory, osiągnąć wyższe cos φ.*
- *Do oświetlenia można stosować lampy oszczędzające prąd; świetlówki rurowe zużywają mniej prądu niż żarówki - przy jednakowej jasności.*

Szczyty poboru mocy są na ogół rejestrowane w rytmie 15 minutowym. Żeby uniknąć związanych z tym przykrości, dobudowuje się często czujnik obciążenia, który przy osiągnięciu określonego natężenia prądu, wyłącza w kolejności aparaturę i silniki, aby uniknąć przekroczenia szczytu poboru mocy (automatyczny odciążnik). Dalszą oszczędność można osiągnąć przez eksploatowanie tańszego prądu nocnego.

10.5 Pompy, wentylatory i kompresory

Na wielu stanowiskach w browarze i słodowni ciecze, pasty albo gazy muszą być transportowane. W zależności od rodzaju i zakresu transportu tych mediów, stosuje się pompy, kompresory albo wentylatory.

10.5.1 Pompy

Pompy są maszynami do tłoczenia strumienia cieczy z niższego poziomu energii na poziom wyższy. Do tego trzeba:

- pokonać różnicę wysokości albo
- podwyższyć ciśnienie w układzie albo
- dozować ciecz.

Pompy w browarach tłoczą albo dozują płynne i czasem bardzo lepkie substancje:

- zimne płyny, jak piwo lub woda,
- gorące ciecze, jak brzeczka albo gorąca woda,
- lepkie ciecze, jak drożdże lub zużyta ziemia okrzemkowa oraz
- wysłodziny.

Istnieje wiele rodzajów pomp. W browarach są to przede wszystkim:

- pompy wirnikowe, a także
- pompy wyporowe i w ograniczonym zakresie
- pompy strumieniowe.

10.5.1.1 Pompy wirowe odśrodkowe

W browarach najczęściej stosowane są pompy wirowe. Posiadają różną wielkość i różne zastosowanie.

Zasada działania pompy wirowej polega na tym, że ciecz dopływająca osiowo, jest z przestrzeni międzyłopatkowych wirnika odrzucana siłą odśrodkową do spiralnego kanału zbiorczego i dalej do przewodu tłoczonego.

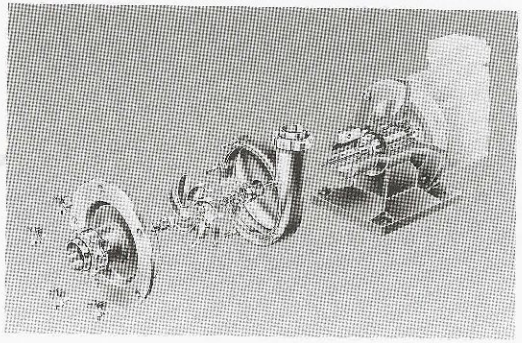
Pompy wirnikowe mają szereg zalet, które czynią je niezastąpionymi w browarach:

- tłoczą równomiernie,
- mają mocną i prostą budowę, bez klap i zaworów,
- natężenie przepływu jest łatwe do regulacji oraz
- różnie ukształtowany wirnik nadaje im dużą elastyczność.

Pod względem budowy rozróżnia się:

- pompy promieniowo-wirowe,
- pompy z kanałem bocznym / pompy wielojarzmiowe
- pompy kanałowo-wirnikowe oraz
- pompy diagonalno-wirnikowe.

	Pompy wirnikowe	Pompy wyporowe		Pompy strumieniowe
		obrotowe	posuwisto-zwrotne	
metoda pracy	dynamiczna	statyczna	statyczna	dynamiczna
tłoczenie	ciągłe	prawie ciągłe	pulsujące	ciągłe
podstawa	przepływ	wyporność	wyporność	strumień
rodzaj budowy pompy	pompa promieniowo-wirnikowa p. z kanałem bocznym p. kanałowo-wirnikowa p. kanałowo-wirnikowa	p. ślimakowa z mimośrodem p. wirnikowo-tłokowa p. z tłokiem obrotowym p. zębata wyporowa p. wyporowa z uzębieniem wewnętrznym	p. tłokowa p. membranowa p. membranowo-tłokowa	p. cieczowo-strumieniowa

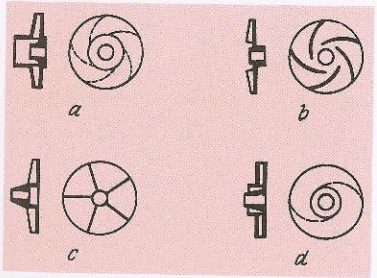


Rys. 10.29
Pompa radialno-wirowa (rys. rozsunięty)

10.5.1.1.1 Pompy promieniowo-wirowe

Pompy radialno-wirnikowe (rys. 10.29) pracują w sposób opisany na wstępie. Są one normalnie zasysające, tzn. że przewód ssący nie może się sam odpowietrzać (nie samozasysająca). Znaczy to, że zdolność ssania tej pompy istnieje dopiero wtedy, kiedy przewód ssący i pompa są wypełnione cieczą. Dlatego muszą one być przynajmniej na wysokości mediów. Według formy i kształtu rozróżnia się wirniki (rys. 10.30):

- zamknięte (a) dla czystych cieczy,
- otwarte (b) dla gęstych cieczy do łagodnego tłoczenia,
- wirnik wolnego przepływu (c) dla cieczy zawierających gaz,
- wirnik kanałowy (d) dla specjalnych celów.

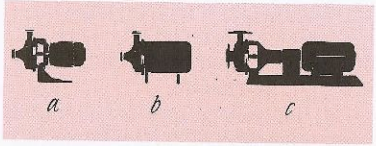


Rys. 10.30
Wirniki pompy radialno-wirnikowej
(a) wirnik zamknięty, (b) wirnik otwarty, (c) wirnik wolnego przepływu, (d) wirnik kanałowy (o łopatkach kanałowych)

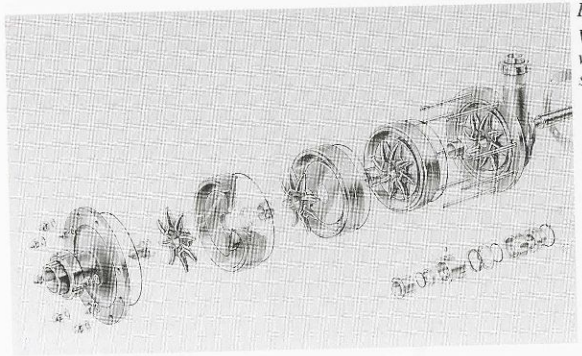
Pompy radialno-wirnikowe są budowane w browarach przede wszystkim do tłoczenia brzeczki i piwa. Dla większych wysokości tłoczenia albo wyższych ciśnień pompy te stosuje się w układzie wielostopniowym (rys. 10.31).

Ta pompa jest z silnikiem napędzającym (rys. 10.32) połączona przez:

- wały stykowe połączone sprzęgłem sztywnym (a) albo
- stałe zblokowanie w jednej obudowie (wał silnika jest wałem pompy) (b) albo
- łożysko łączące (c). Końce wałów połączone są elastycznym sprzęgłem.



Rys. 10.32
Połączenie pompy z silnikiem napędowym
(a) sprzęgło sztywne, (b) wykonanie zblokowane, (c) połączenie z łożyskiem i sprzęgłem elastycznym



Rys. 10.31
Wielostopniowa pompa wirnikowa (rysunek rozszerzony)

10.5.1.1.2 Pompy z kanałem bocznym / pompy wielojarzmiowe

Pompy z kanałem bocznym różnią się tylko zewnętrznie od wirnikowych, zasysają same, dlatego też nazywane są samozasysającymi pompami wirnikowymi. Króćce ssawy i ciśnienia muszą być skierowane do góry, tak że pompa zawsze jest wypełniona cieczą.

Zasada tłoczenia (rys. 10.33) wynika z tego, że koło wielojarzmiowe (1) z małym bocznym luzem kręci się w obudowie, gdzie znajduje się otwór ssania (2). Na drugiej stronie leżą pogłębione i spłycone kanały boczne (3) oraz otwór ciśnienia. Przy włączeniu pompy ciecz będzie zabrana kołem gwiaździstym i odwirowana w boczny kanał. Ciśnienie w pompie powstaje przez siłę wzajemnych impulsów, w wyniku której ciecz w szybko wirującem kole wielojarzmiowym przenosi energię do bocznego kanału i wolniej krążącej części cieczy (rys 10.34). Takie pompy stosuje się do wysysania drożdży i osadu drożdżowego, do pobrania próbek albo też jako pompy czyszczące zwrotne.

10.5.1.1.3 Pompy kanałowo-jarzmiowe

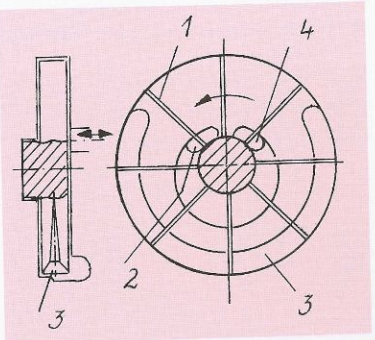
Zasada tłoczenia tych pomp jest podobna do pomp radialno-wirnikowych. Stosuje się je przeważnie do tłoczenia gęstych materiałów (np. zacierów) i do namoczonego ziarna przy pompowaniu go razem z wodą w słodowniach pneumatycznych.

10.5.1.1.4 Pompy diagonalno-wirowe

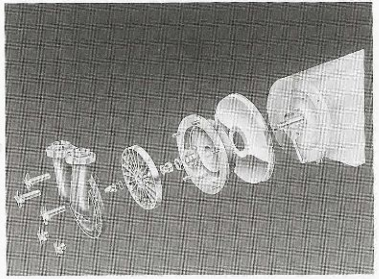
Pompy diagonalno-wirowe są stosowane w wielostopniowym wykonaniu jako pompy studni głębinowych, a ponieważ odznaczają się one małymi średnicami wirnika, mogą być wprowadzane do rur wiertniczych.

10.5.1.1.5 Pompy śrubowo-wirowe

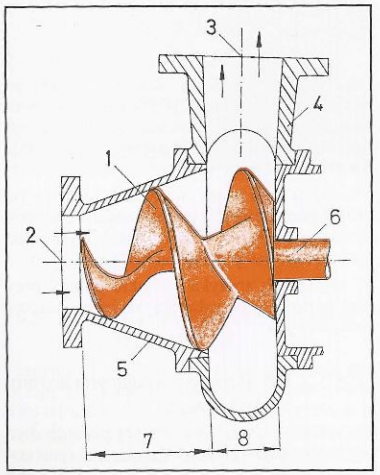
Pompy śrubowo-wirowe (rys. 10.34a) składają się ze specjalnie uformowanego wirnika (1), który łączy cechy pompy wirowej z zaletami



Rys. 10.33
Pompa kanału bocznego (zasada pracy)
(1) koło wielojarzmiowe, (2) otwór ssania, (3) kanał boczny, (4) otwór ciśnienia



Rys. 10.34
Pompa z kanałem bocznym



Rys. 10.34a
Pompa śrubowo-wirowa
(1) wirnik, (2) wlot, (3) wylot, (4) obudowa spirali, (5) stożek ssący, (6) wał pompy, (7) wirnik o zwojach śrubowych, (8) osłona wirnika

pompy wyporowej. W stożku zasysającym (5) strumień wpływający od strony wlotu (2) zostaje w części śrubowej wirnika wprawiony w ruch obrotowy. Dzięki temu zawiesiny stałe, które są cięższe od wody zostaną przeniesione do środka strumienia. W osłonie wirnika (8) strumień cieczy zostaje promieniowo przeniesiony na zewnątrz i skierowany do wyjścia (3).

Zawiesiny nie są poddawane żadnym gwałtownym zmianom kierunku, więc transport cieczy przebiega w sposób spokojny i występują tylko niewielkie napięcia ścinające.

Do wyraźnych zalet pomp śrubowych należy to, że

- pracują one w sposób ciągły i mogą służyć do transportu cieczy o dużej lepkości (do ponad 4000 mPa.s),
- przesyłanie materiału przebiega delikatnie,
- mają wysoką sprawność (do 80 %),
- mają stałą wydajność,
- współczynnik NPSH ma niską wartość (patrz rozdział 10.5.1.3) i tym samym małe zagrożenie kawitacją.

Pompy śrubowo-wirowe znajdują coraz większe zastosowanie w browarach, szczególnie z powodu łagodnego przebiegu transportowania zacieru słodowego i brzeczki. Ich zastosowanie, zgodne z wymogami higieny w przemyśle spożywczym, przewidziane jest tylko dla zakresu wysokotemperaturowego, czyli do etapu wybicia brzeczki.

10.5.1.2 Pompy wyporowe

Pompy wyporowe przenoszą ciecz dzięki wypieraniu z przestrzeni ssania do przestrzeni tłoczenia. W procesie wypierania ciecz jest traktowana bardzo delikatnie. Rozróżnia się przy tym:

- pompy wyporowo-obrotowe bez zaworów, pracujące w sposób ciągły, oraz
- pulsacyjne pompy wyporowe, pracujące przemiennie i dlatego wymagające zaworów otwierających i zamykających komory robocze.

10.5.1.2.1 Pompy wyporowe o ciągłym strumieniu

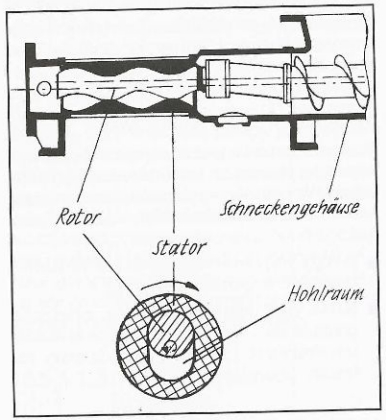
Pompy wyporowe zapewniające ciągły strumień (przenoszonej masy) mają równomiernie wirujący napęd, który nie jest przetwarzany w ruch posuwisto-zwrotny. To zapewnia ciągłość

transportowanego strumienia. Do tego rodzaju pomp wyporowych należą:

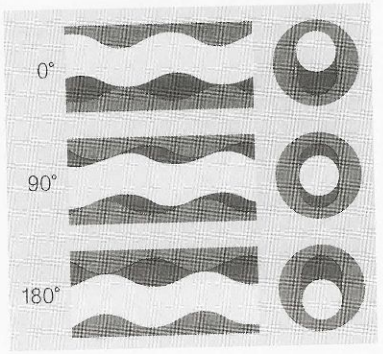
- pompy mimośrodowo-ślimakowe,
- pompy z kłykciowymi tłokami wirującymi,
- pompy z wirnikami krzywkowymi,
- pompy zębate,
- pompy wyporowe zębate o zazębieniu wewnętrznym,
- pompy z elastycznym elementem rurowym.

10.5.1.2.1.1 Mimośrodowe pompy ślimakowe

Mimośrodowa pompa ślimakowa (rys. 10.35) składa się z zewnętrznego statora wykonanego z materiału elastycznego i znajdującego się wewnątrz niego wału (rotora) ze stali stopowej. Taka budowa pozwala określić ją jako pompę jednoosiową (jednotrzpieniową) lub od nazwiska wynalazcy Moineau trochę „zniemczonego" przyjęła się także w Niemczech Mohnopumpe (f-ma Netzsch).



Rys. 10.35
Mimośrodowa pompa ślimakowa z podajnikiem ślimakowym



Rys. 10.36
Ruchy rotora w statorze

Poprzez ruch obrotowy rotora i powstawanie przestrzeni pustych (rys. 10.36) w statorze ciecz jest przepychana do przodu. Tą pompą może być transportowane prawie wszystko. Również materiały w formie pasty.

Stator jest częścią zużywającą się i relatywnie drogą; pompa nie jest przystosowana do pracy na sucho, ale łatwość mycia kwalifikuje ją do zastosowania w przemysłach spożywczych.

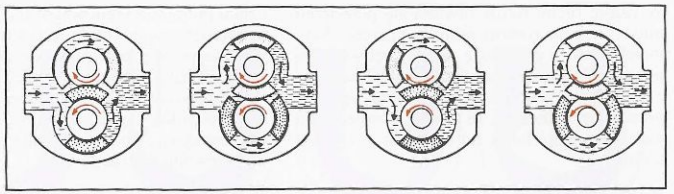
W browarach spotyka się takie pompy przy transportowaniu wysłodzin, zacieru i osadów drożdżowych.

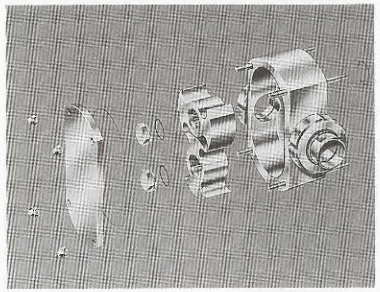
10.5.1.2.1.2 Pompy z wirującymi tłokami kłykciowymi

Pompa kłykciowa (rys. 10.37) posiada dwa obrotowe tłoki (kłykcie) napędzane synchronicznie przez koła zębate z tą samą szybkością kątową.

Ciecz transportowana dostaje się do pustej przestrzeni roboczej, która powiększa się dzięki obrotowi, a następnie zostaje zagarnięta przez obrót tłoków w kierunku ich ruchu i w wyniku zmniejszania się przestrzeni roboczej jest wypychana przez otwór ciśnieniowy na zewnątrz (rys. 10.38)

Rys. 10.37
Pompa kłykciowa (zasada działania)





Rys. 10.38
Pompa z tłokami kłykciowymi (rysunek rozsunięty)

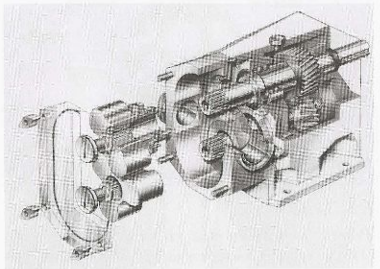
10.5.1.2.1.3 Pompy Rootsa z wirnikami krzywkowymi

Pompa ta (rys. 10.39) pracuje podobnie jak pompa z tłokami kłykciowymi. Każdy z obydwu wirników obraca się z tą samą szybkością kątową, tłocząc materiał. Transport materiału jest bardzo spokojny (równomierny) i podobnie jak przy pompie kłykciowej mogą być przenoszone materiały w formie pasty i posiadające dużą lepkość.

Pompy te używa się też jako sprężarki gazów. Sprężają one do różnicy ciśnień 0,5-0,6 bar.

Pompy Rootsa w różnych wykonaniach znajdują zastosowanie także

- w urządzeniach sprężonego powietrza i podciśnienia (patrz rozdział 2.1.3.2) lub
- do sprężania oparów w warzelni (patrz rozdział 3.4.2.6.2).



Rys. 10.39
Pompa Rootsa z wirnikami krzywkowymi

10.5.1.2.1.4 Pompy zębate

Nazwy pomp owalno-kołowe i z wirującym tłokiem są właściwie synonimami. Istnieją pompy z wirującym tłokiem jako dwu-, trzy- lub czteroskrzydłowe. Przy większej ilości wirujących elementów „skrzydeł" można je określić jako pompy zębate.

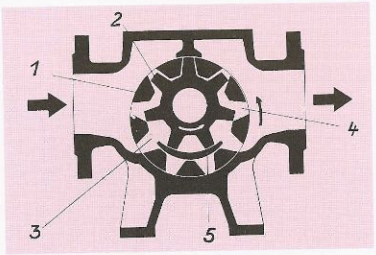
Pompy zębate – podobnie jak owalno-tłokowe i z wirującym tłokiem – mają zastosowanie do transportu materiałów płynnych o dużej gęstości, jak transport drożdży.

W silnikach i maszynach znajdują zastosowanie jako pompy do smarów.

10.5.1.2.1.5 Pompy zębate o zazębieniu wewnętrznym

W pompach wyporowych o zazębieniu wewnętrznym (rys. 10.40) rotor z zębami wewnętrznymi (1) pociąga za sobą zębnik (2) w czasie ruchu obrotowego. Oś zębnika jest umieszczona mimośrodowo.

W czasie ruchu rotora otwiera się przestrzeń między zębami rotora i zębnika, i przenoszony materiał może dostać się między zęby (3). W punkcie (4) przenoszone medium wydostaje się z przestrzeni między zębami i opuszcza pompę przez króciec tłoczny. Te pompy stosuje się do transportu materiałów od małej do dużej lepkości.



Rys. 10.40

Pompa wyporowa o zazębieniu wewnętrznym
(1) rotor z zębami wewnętrznymi, (2) zębnik z zębami zewnętrznymi, (3) otwarcie zazębienia, (4) zamknięcie zazębienia, (5) zastawka

10.5.1.2.1.6 Pompy z elastycznym elementem rurowym (pompy przewodowe)

Główną częścią składową tej pompy (rys. 10.41) jest elastyczna rura (1).

W efekcie pracy licznych rolek ugniatających (2) rura zostaje dociskana do cylindrycznej ściany obudowy i materiał transportowany jest przeciskany do przodu, a za przyczyną powstającego z tyłu za rolką podciśnienia dalszy materiał wprowadzany jest do pompy (rys. 10.42). (*Pompy takie mają zastosowanie w laboratoriach i aparaturze kontrolnej. Przyp. tłum. AB*).

10.5.1.2.1.7 Pompy z elastycznymi łopatkami wirnika

Pompa z elastycznymi łopatkami wirnika (rys. 10.43) składa się z cylindra o spłaszczonym przekroju (1), wykonanego ze stali szlachetnej lub żywicy epoksydowej, w którym obraca się giętki, elastyczny wirnik (2) wykonany z kauczuku polichloroprenowego. Jak tylko giętkie krawędzie ścięte wirnika ustawią się w odpowiedniej pozycji, powstaje podciśnienie po stronie ssawnej (3). Dzięki temu ciecz jest zassana i przemieszczana dalej (b). Kiedy krawędzie ścięte wirnika osiągną spłaszczoną część cylindra, zatrzynają tłoczyć przenoszony materiał do przewodu tłocznego (c-4).

W ten sposób powstaje równomierny strumień cieczy, w którym niewielkie części stałe także mogą być przenoszone.

Poprzez zmianę kierunku obrotu wirnika można zmienić kierunek przepływu pompowanej cieczy.

10.5.1.2.2 Pompy wyporowe o pulsującym strumieniu

W tych pompach zasysanie i podnoszenie ciśnienia (tłoczonej cieczy) następuje dzięki posuwisto-zwrotnemu ruchowi tłoków. Zawory zapobiegają cofaniu się tłoczonej cieczy. Do tej grupy należą:

- pompy tłokowe oraz
- pompy tłokowo-przeponowe.

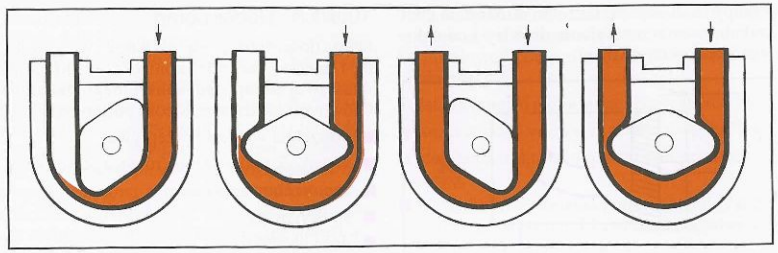
10.5.1.2.2.1 Pompy tłokowe

Pompy tłokowe są najstarszym typem pomp stosowanych w browarnictwie. Przez wiele lat ręcznie napędzane pompy tłokowe dawały jedyną możliwość transportu materiałów płynnych w obrębie browaru i jeszcze na początku lat pięćdziesiątych wiele tych pomp było w użyciu.

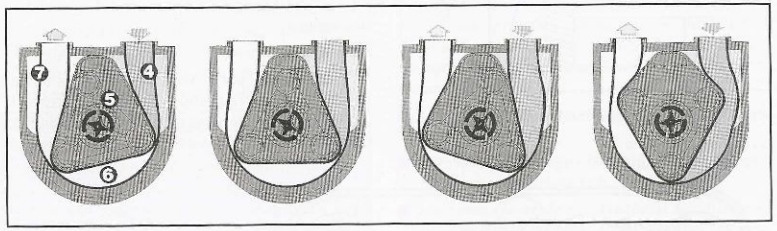
Pompy tłokowe pracują z zaworami (rys. 10.44), które kierują transportowany strumień zawsze w jednym kierunku. W browarach stosuje się je czasami jako pompy dozujące dla środków myjących i dezynfekcyjnych.

10.5.1.2.2.2 Pompy przeponowe

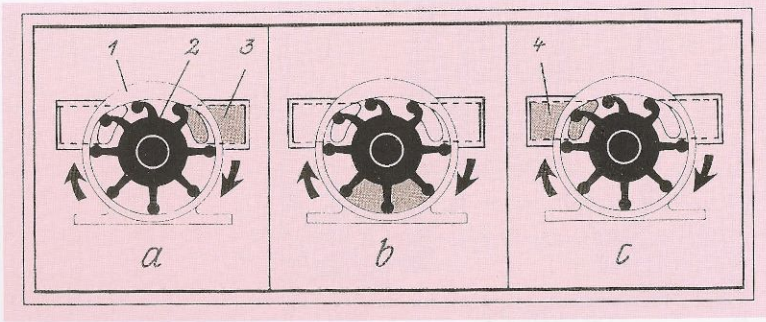
Pompy przeponowe zwane też membranowymi są to pompy wyporowe, których organami roboczymi są sprężyste przepony uruchamiane przez odpowiednie mechanizmy (rys. 10.45) Ten rodzaj pomp ma zastosowanie w urządzeniach do dozowania ziemi okrzemkowej.



Rys. 10.41. Pompa z elastycznym elementem rurowym
(1) elastyczna rura, (2) rolki ugniatające

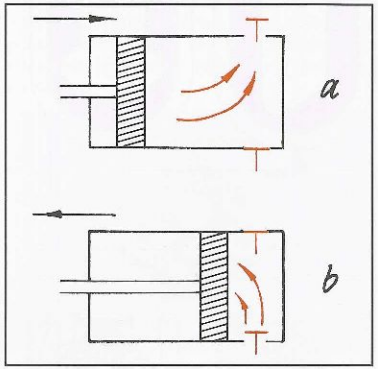


Rys. 10.42. Pompa z elastycznym elementem rurowym
(4) komora ssania, (5) wewnętrzna komora pompy z rotorem, (6) komora ssania, (7) komora tłoczenia



Rys. 10.43. Pompa z elastycznymi łopatkami wirnika
(1) obudowa wirnika z częścią spłaszczoną, (2) elastyczny wirnik, (3) strona ssawna, (4) strona tłoczna

Pompy te stosuje się także do dozowania chemikaliów oraz przesyłania drożdży i odpadowej ziemi okrzemkowej.



Rys. 10.44 Pompy tłokowe (zasada działania)
(a) tłoczenie (b) ssanie

10.5.1.3 Dobór pomp

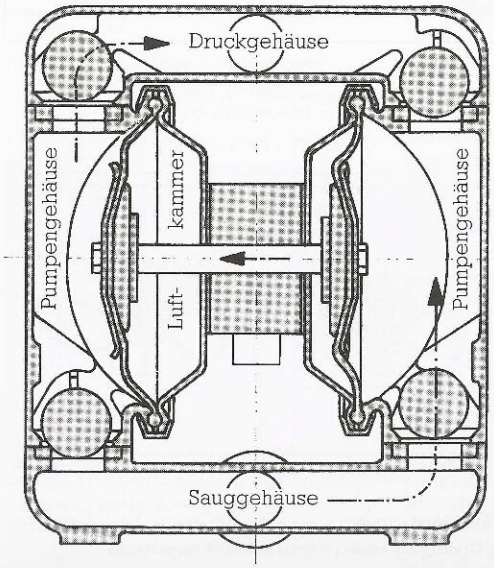
Oferta dostawców pomp jest bardzo wielostronna i zawsze zachodzi konieczność dobrania właściwej pompy do konkretnego zadania. Głównymi kryteriami doboru pompy są:

- potrzebna wielkość przepływu,
- wysokość podnoszenia (różnica poziomów),
- zapotrzebowanie mocy,
- sposób pracy,
- ilość obrotów.

Należy przy tym pamiętać, że w pompach wyporowych nie istnieje zależność między ilością pompowanej cieczy a ciśnieniem roboczym, podczas gdy w pompach wirowych ilość przepływu jest bardzo uzależniona od wysokości tłoczenia.

Kawitacja

W czasie pracy pomp wirowych może się zdarzyć, że wewnątrz pompy wystąpią lekkie szumy, które początkowo mogą być podobne do uderzeń igły i stopniowo stać się tak wyraźne,



Rys. 10.45. Pompa przeponowa (zasada działania)
Napęd sprężonym powietrzem

jak uderzenia przepływających fragmentów kamienia kotłowego. Występują przy tym silne drgania. To zjawisko określa się jako kawitacja.

Przyczyną powstawania kawitacji jest to, że po stronie ssącej pompy z powodu spadku ciśnienia osiąga się temperaturę wrzenia cieczy lub ją przekracza. Powstają przy tym pęcherzyki pary, które następnie są przenoszone do strony tłocznej obudowy pompy, przy wzroście ciśnienia (wzrost temperatury wrzenia) gwałtownie się skraplają i ta implozja powoduje hałaśliwe uderzenie w obudowę. Z powodu kawitacji powstają naprężenia ścinające w pompowanej cieczy, których negatywny wpływ na jakość zacieru słodowego i brzeczki jest znany.
Powodem spadku ciśnienia jest przekroczenie dupuszczalnej wielkości ssania lub zbyt niska wysokość tłoczenia (podnoszenia). Mała wysokość podnoszenia oznacza zwiększenie ilości przenoszonej masy, co powoduje następnie niedopuszczalne zwiększenie ssania.

Kawitacja powoduje znaczny spadek wydajności pompy i może doprowadzić do przerwania transportowanego strumienia cieczy. Daleko posunięte skutki kawitacji prowadzą do znacznych strat, a nawet uszkodzeń pompy i mogą negatywnie wpływać na jakość piwa.

10.5.1.4 Regulacja obrotów pomp

Pompa pracuje optymalnie tylko wtedy, kiedy jej moc odpowiada zapotrzebowaniu. Jeśli pompa zostanie zadławiona, jej moc spada i tym samym wyraźnie pogarsza się jej stopień sprawności.

W celu dopasowania się do zmiennych warunków produkcyjnych, stosuje się obecnie pompy z silnikami o regulowanej częstotliwości. W pompach z regulowaną częstotliwością możliwe jest, poprzez bezstopniowe przestawienie liczby obrotów, przestawienie również innych parametrów produkcyjnych. Za pomocą statycznego przemiennika częstotliwości możliwe jest przekształcenie częstotliwości 50 Hz i napięcia w sieci w zmienną częstotliwość i w zmienne napięcie, co pozwala na bezstopniowe przestawienie liczby obrotów silnika elektrycznego.

Taką pompę można włączyć jako idealny człon regulowany w obiegu dzięki czemu nie potrzeba instalować pomp o większej lub mniejszej wydajności.

Zaletami pomp o regulowanej częstotliwości są:

- oszczędności w zużyciu prądu od 40 do 50%,
- delikatne traktowanie materiału przenoszonego,
- brak skoków ciśnienia pompy (łagodny rozruch nie stanowi problemu dzięki odpowiedniemu oprogramowaniu),
- mniej skoków prądu w sieci,
- nie potrzeba urządzeń regulujących.

Pompy o sterowanej częstotliwości mają zastosowanie przede wszystkim tam, gdzie chodzi o utrzymanie stałych warunków ciśnienia i temperatury w zmieniających się warunkach pracy, np:

- ***utrzymanie stałego strumienia podczas napełniania filtrów,***
- ***utrzymanie stałego ciśnienia w tankach cylindryczno-stożkowych,***
- ***utrzymanie stałego ciśnienia na filtrach oraz w urządzeniach do rozlewu,***
- ***utrzymanie stałego poziomu napełnienia w tankach pośredniczących,***
- ***regulacja ciśnienia w pompach do środków myjących,***
- ***utrzymanie stałego ciśnienia i temperatury podczas zaopatrzenia w wodę.***

10.5.2 Wentylatory

Wentylatory dostarczają powietrza do pomieszczeń lub je z nich usuwają.

W zależności od typu budowy rozróżnia się:

- wentylatory osiowe lub dmuchawy i
- wentylatory promieniowe.

10.5.2.1 Dmuchawy osiowe lub wentylatory

W browarach i słodowniach spotyka się dmuchawy osiowe lub wentylatory o różnej wielkości, przeznaczone do wielorakich celów:

- do przewietrzania pomieszczeń i usuwania dwutlenku węgla,
- do przewietrzania skrzyń do kiełkowania jęczmienia,
- do wymuszania ruchu powietrza w chłodnicach silników,
- do wymuszania ruchu powietrza w skraplaczach wyparnych, jak również
- do chłodzenia jako wentylatory stropowe lub stołowe.

Wentylatory posiadają 4-6 śmigieł skrzydłowych, które obracają się na wale z prędkością do 1400 obrotów/minutę i w ten sposób wywołują ruch powietrza. W starych suszarniach powietrze było zasysane za pomocą potężnych dmuchaw osiowych.

10.5.2.2 Dmuchawy promieniowe (odśrodkowe)

Wentylatory promieniowe lub dmuchawy promieniowe składają się z wirnika łopatkowego, który osiowo zassane powietrze wyrzuca na zewnątrz. Przez odpowiednio ukształtowaną obudowę strumień powietrza kierowany jest tam, gdzie jest potrzebny. Budowane obecnie dmuchawy promieniowe mają bardzo dużą sprawność i umożliwiają przemieszczanie ponad 100.000 m^3 powietrza na godzinę.

Dmuchawy promieniowe mają największe zastosowanie w słodowni: wysokosprawne i wielkie dmuchawy promieniowe przetłaczają wymagane ilości powietrza przez grube warstwy słodu zarówno mokrego, jak i suszonego. Dmuchawy promieniowe mogą pracować także bez obudowy (komory). Stosowane są również do przewietrzania urządzeń w butelkowniach.

10.5.3 Urządzenia do sprężania powietrza

W różnych miejscach w browarze potrzebne jest sprężone powietrze, które musi odpowiadać bardzo zróżnicowanym wymaganiom. W niektórych miejscach wymagane są wysokie ciśnienia czy też duże ilości powietrza, podczas gdy w innych potrzebne jest sprężone powietrze wolne od śladowych nawet ilości smarów i jakichkolwiek zanieczyszczeń.

Aby sprostać takim potrzebom, niezbędne jest w browarze urządzenie do sprężania powietrza. Sprężone powietrze ma do spełnienia wielorakie zadania, dokonuje się więc podziału jego sieci według tych zadań na

- ***powietrze procesowe lub powietrze sterylne***,
- ***powietrze robocze*** do transportu pneumatycznego,
- ***powietrze sterownicze*** do zaworów.

Powietrze procesowe ma być sterylne i wolne od smarów. Stawia to przed urządzeniem najwyższe wymagania. Nawet śladowe ilości smarów, które przedostaną się do piwa, powodują niszczenie jego piany. A drobnoustroje, po namnożeniu, stawiają pod znakiem zapytania jakość piwa. Kontakt piwa z powietrzem procesowym może zachodzić tylko w dwóch miejscach:

- podczas intensywnego napowietrzania brzeczki nastawnej,
- przy napowietrzaniu drożdży podczas propagacji.

Jak wiadomo, z powodu możliwości pogorszenia stabilności smakowej, jakikolwiek kontakt piwa z powietrzem jest wysoce niepożądany.

Powietrze robocze do transportu pneumatycznego.

Pomimo relatywnie dużego nakładu energetycznego, zastosowanie sprężonego powietrza do oczyszczania i transportowania jęczmienia i słodu jest bardzo rozpowszechnione.
Nie ma żadnych szczególnych wymagań odnośnie jakości takiego sprężonego powietrza.

Powietrze robocze ma ponadto zastosowanie do pneumatycznego uruchamiania różnych elementów w urządzeniach do napełniania butelek lub kegów, jak również armatury.

W następujących miejscach w browarze wykorzystywane jest sprężone powietrze lub dwutlenek węgla pod ciśnieniem:

Miejsce zastosowania	Ciśnienie powietrza w barach	Ciśnienie CO_2 w barach
ogólne sterowanie	2 do 4	
regulacja pneumatyczna	6 do 8	
powietrze do transportu słodu i jęczmienia pneumatyczne	< 1	
oczyszczanie z kurzu	2 do 4	
usuwanie wysłodzin	2 do 3	
napowietrzanie brzeczki	2 do 6	
fermentownia		< 2
propagacja drożdży	2 do 4	-
leżakownia		< 2
filtracja zacieru	4 do 6	> 6
usuwanie ziemi okrzemkowej	4 do 6	-
mycie konwencjonalne	ok. 2	-
obciąg	> 6	> 4

Na 1 hl gotowego piwa potrzeba, w zależności od wyposażenia, od 4 do 10 m^3 zassanego powietrza.

Urządzenie do wytwarzania sprężonego powietrza składa się z

- filtru powietrza, który usuwa z zasysanego powietrza kurz i inne zanieczyszczenia,
- sprężarki, która spręża zassane powietrze do wymaganego ciśnienia,
- chłodnicy, która schładza powietrze ogrzane w wyniku sprężania,
- suszarki, która osusza zimne powietrze,
- zbiornika sprężonego powietrza, tzw. zbiornika buforującego i
- z rozgałęzionej sieci przewodów.

Kolejność w uporządkowaniu sprzętu może się zmieniać.
W przeciwieństwie do wcześniej przyjętych poglądów, dotyczących stosowania w zakładzie osobnego urządzenia dla każdego stopnia sprężania, nowe doświadczenia pokazały, że możliwe jest zaoszczędzenie 22-23% energii elektrycznej, jeśli

zostanie zainstalowana centralna stacja sprężania do 4 bar, a wymagany wzrost ciśnienia osiągnie się za pomocą miejscowo zainstalowanych mniejszych sprężarek.

Sprężone powietrze do usuwania i transportu wysłodzin powinno być przygotowywane przez oddzielną sprężarkę, która będzie dostosowana do wymaganej wysokości podnoszenia.

Do ewentualnego przedmuchiwania tanków cylindryczno-stożkowych i tanków ciśnieniowych w celu usunięcia CO_2 służą wysokociśnieniowe dmuchawy ($P_ü$ < 1 bar).

Poszczególne części składowe instalacji sprężonego powietrza wymagają dokładnego omówienia.

10.5.3.1 Sprężarki do powietrza (kompresory)

W sprężarce następuje sprężenie powietrza. Podczas kompresji zmniejsza się objętość gazu, a jego ciśnienie wzrasta. Wskutek sprężania określonej objętości gazu podnosi się nieuchronnie także jego temperatura wg wzoru

$$\frac{p_1 \times V_1}{T_1} = \frac{p_2 \times V_2}{T_2}$$

przy czym:

p_1 = ciśnienie przed sprężeniem
p_2 = ciśnienie po sprężeniu
V_1 = objętość przed sprężeniem
V_2 = objętość po sprężeniu
T_1 = temperatura przed sprężeniem (w stopniach Kelvina)
T_2 = temperatura po sprężeniu (w stopniach Kelvina)

Wraz ze wzrostem temperatury ciśnienie nadal rośnie, a więc konieczne jest schłodzenie sprężonego powietrza.

W wyniku schładzania powietrza spada jego zdolność do przyjmowania i utrzymywania wilgoci.

Jeśli para skropli się, mogą powstać problemy. Zmusza to do schładzania powietrza aż do oddzielenia wody i usunięcia jej.

Kompresor do sprężania powietrza (sprężarka) stanowi najważniejszą część urządzenia.

Aby podczas sprężania uniknąć przedostania się do sprężonego powietrza smarów stosowanych do smarowania sprężarki, używa się kompresorów pracujących bezolejowo, które dzisiaj budowane są jako:

- kompresory tłokowe
- kompresory z tłokiem obrotowym
- kompresory spiralne
- kompresory zębate obrotowe
- kompresory śrubowe lub
- turbokompresory.

10.5.3.1.1 Kompresory tłokowe

Sprężarki tłokowe budowane są obecnie najczęściej jako stojące kompresory z biegiem suchym

- jako jednostopniowe do ciśnienia Pu = 7 bar i
- jako dwustopniowe do ciśnienia Pu = 10-12 bar.

Dla potrzeb browarów wystarczają sprężarki jednostopniowe.

Kompresor z biegiem suchym (rys. 10.46) napędzany jest przez wysokosprawny silnik elektryczny za pomocą pasów klinowych (1). Poprzez napędzany wał korbowy, korbowód i wodzik, ruch obrotowy wału korbowego przekształcany jest w ruch posuwisty.

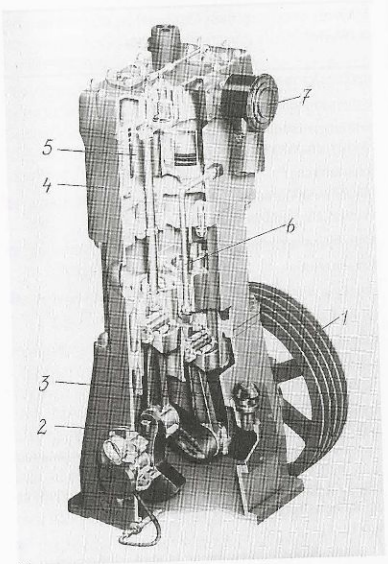
Cały mechanizm korbowy smarowany jest przez obieg oleju smarowego. Gazowy kompensator dławnicowy uszczelnia tłoczysko. Najważniejszą częścią jest tłok, który sprężа gaz w cylindrze.

Podczas sprężania powstaje ciepło, które musi zostać odprowadzone za pomocą chłodzenia wodą lub powietrzem.

Doprowadzenie powietrza i wyprowadzenie powietrza sprężonego następuje za pomocą samoczynnych zaworów ssących i ciśnieniowych.

Praca sprężarki jest bardzo głośna – podejmowane są więc próby ograniczenia hałasu przez zastosowanie tłumika.

Kompresory tłokowe są w dalszym ciągu najtańszym sposobem sprężania powietrza.



Rys. 10.46

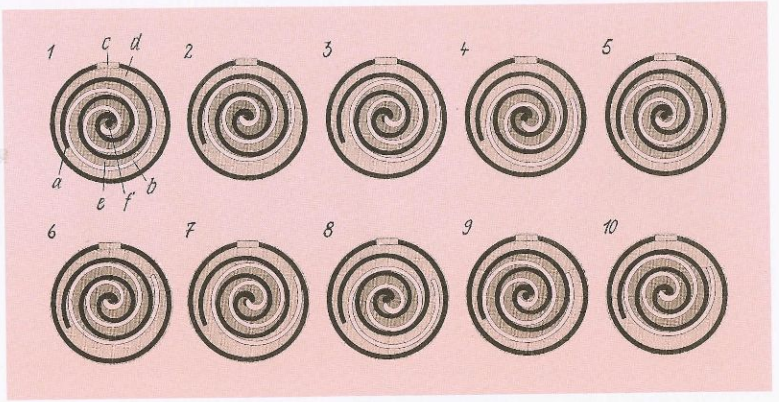
Kompresor tłokowy

(1) koło pasowe rowkowe
(2) wał korbowy
(3) korbowód
(4) blok z cylindrami
(5) tłoki z pierścieniami teflonowymi
(6) przewód z wodą chłodzącą
(7) filtr ssący z tłumikiem dźwięku

10.5.3.1.2 Kompresory spiralne

Zasada działania kompresora spiralnego polega na sprężaniu powietrza za pomocą spirali stałej oraz spirali obracającej się mimośrodowo. Zassane powietrze przedostaje się do komory sprężarki na zewnętrzną stronę spirali. Jak tylko powietrze zostanie zassane, obracająca się spirala sprężа je w otworze ssania. Następnie powietrze przeciskane jest do coraz mniejszej komory i opuszcza spiralę poprzez otwór wylotowy. Dzięki temu wytwarza się bezpulsacyjny strumień sprężonego powietrza.

Kompresory spiralne pracują bardzo cicho i budowane są w wersjach o niskich mocach, nie przekraczających 3,7 kW.



Rys. 10.47. Zasada działania kompresora spiralnego

(a) spirala nieruchoma, (b) spirala obracająca się, (c) otwór wlotowy, (d) komora ssania, (e) komora sprężania, (f) otwór wylotowy, (1-10) fazy sprężania

10.5.3.1.3 Kompresory obrotowe

W systemie tym dwa specjalnie uformowane, napędzane elementy obrotowe (rys. 10.48) poruszają się w przeciwnych kierunkach. Zęby obrotowe zarówno wzajemnie dotykają się, jak i mają kontakt ze ścianą obudowy, po której się ślizgają.

Zasada działania kompresora obrotowego (rys. 10.49) jest następująca:

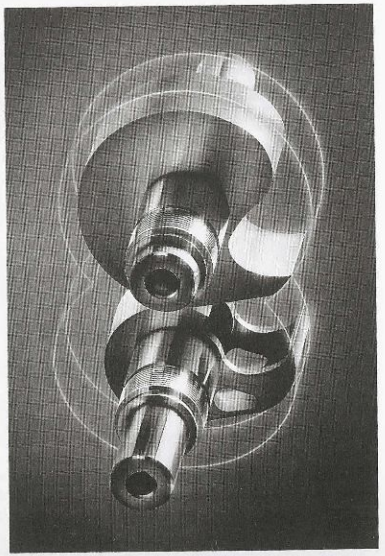
Ssanie: Powietrze dostaje się do komory sprężarki; wirnik boczny zamyka wlot.

Rozpoczęcie sprężania: Wlot i wylot są zamknięte, powietrze znajdujące się między dwoma elementami obrotowymi jest sprężane wskutek zmniejszenia komory, przez co wzrasta ciśnienie.

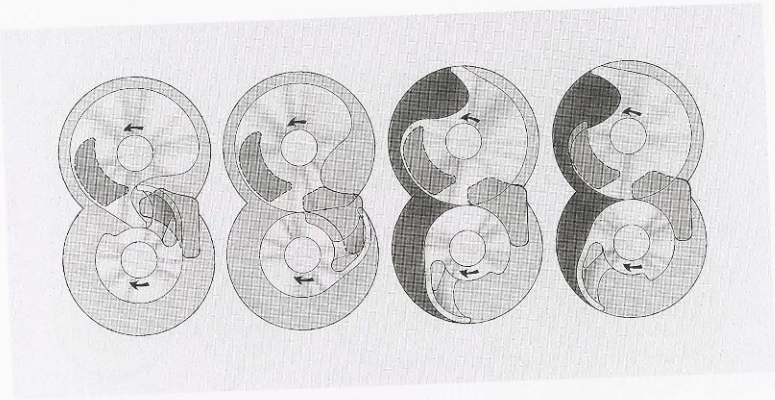
Koniec sprężania: Zamknięte powietrze jest nadal sprężane; wlot otwierany jest do następnego cyklu pracy.

Tłoczenie: Otwór wylotowy jest odsłaniany, a sprężone powietrze może wypływać.

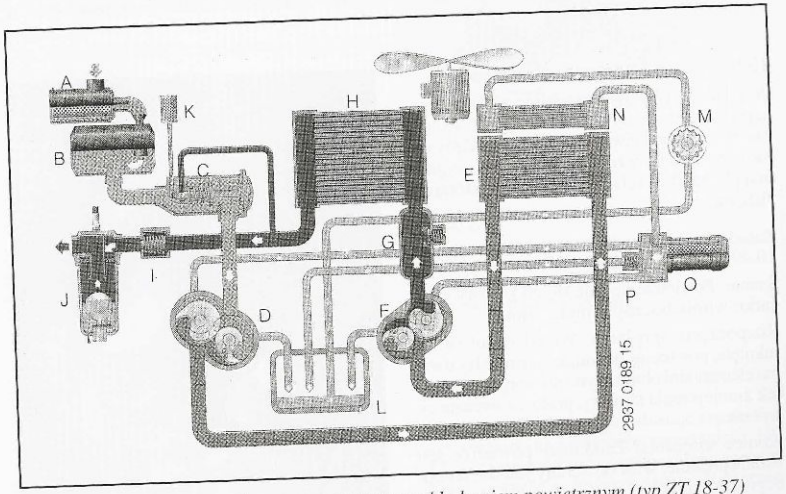
Kompresory zębate obrotowe są niekiedy jednostopniowe, najczęściej jednak budowane są w wersji dwustopniowej o mocy do 55 kW z chłodzeniem wodnym lub powietrznym. Przy



Rys. 10.48. Elementy obrotowe kompresora

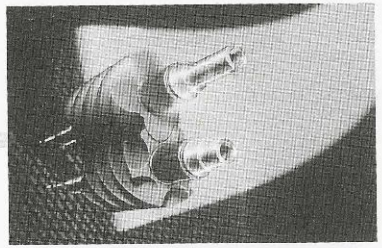


Rys. 10.49. Zasada działania elementów obrotowych



Rys. 10.50. Dwustopniowy kompresor obrotowy z chłodzeniem powietrznym (typ ZT 18-37)

Strumień powietrza:
(A) filtr na wlocie powietrza, (B) tłumik dźwięku, (C) zawór na wlocie powietrza, (D) element niskociśnieniowy, (E) chłodnica pośrednia, (F) element wysokociśnieniowy, (G) tłumik dźwięku na wyjściu, (H) chłodnica końcowa, (I) zawór przeciwzwrotny, (J) rozdzielacz kondensatu, (K) tłumik dźwięku
Strumień oleju smarowego:
(L) miska olejowa, (M) pompa do przepompowywania oleju smarowego, (N) chłodnica oleju smarowego, (O) filtr olejo-



Rys. 10.51. Elementy śrubowe

każdym sprężeniu powietrze podgrzewa się do temperatury ponad 100°C i po każdym stopniu sprężania musi zostać schłodzone (rys. 10.50).

10.5.3.1.4 Kompresory śrubowe

Kompresory śrubowe, zwane także śrubami powietrznymi, są obecnie najczęściej stosowane. Dwa elementy śrubowe, które zostały opisane podczas omawiania zasady działania sprężarek chłodniczych wzajemnie zazębiają się swoimi asymetrycznymi śrubami. Dzięki ułożyskowaniu w wysokosprawnych łożyskach nie stykają się wzajemnie i mogą pracować bez konieczności smarowania (rys. 10.51).
Kompresory śrubowe pracują tak jak kompresory zębate obrotowe najczęściej dwustopniowo (rys. 10.52) z chłodzeniem wodnym lub powietrznym.
Budowane są z silnikami o mocy nominalnej do 700 kW, lecz do wytwarzania sprężonego powietrza w browarach nie są potrzebne aż tak duże wydajności.

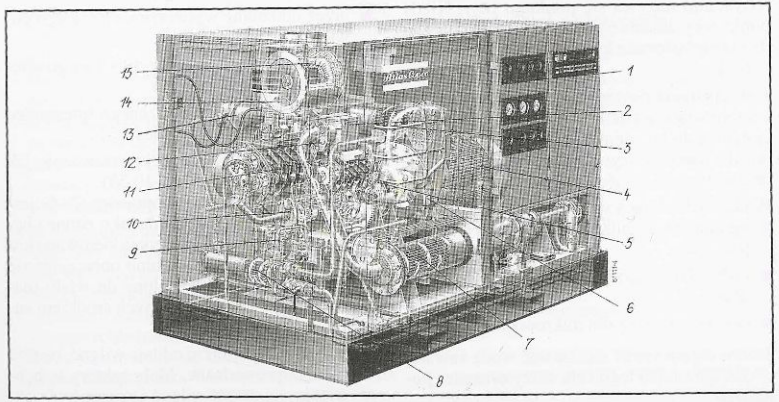
10.5.3.1.5 Turbokompresory

Pod pojęciem turbokompresorów należy rozumieć kompresory o najwyższej wydajności, które dzięki mocom wynoszącym 500-2700 kW są w stanie dostarczyć w ciągu godziny strumień powietrza o objętości do 30000 m^3.

Dla potrzeb przemysłu piwowarskiego turbosprężarki nie są brane pod uwagę.

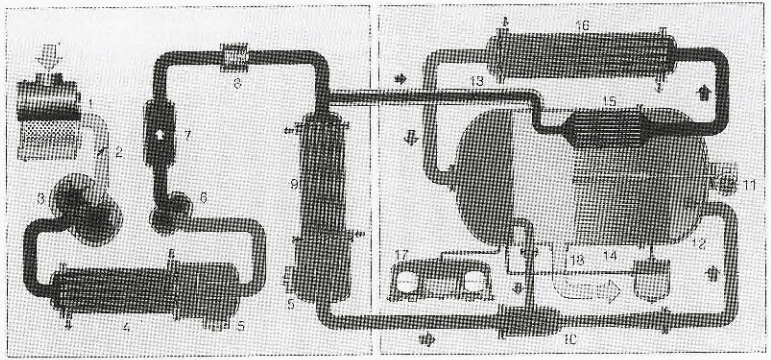
10.5.3.2 Osuszacz powietrza

Zassane powietrze zawiera parę wodną.
Nasycająca zawartość wody w powietrzu zależy od temperatury i obniża się wraz z jej spadkiem (rys. 10.54-a). Temperatura, w której dla



Rys. 10.52. Kompresor śrubowy

(1) pulpit sterowniczy, (2) ciśnieniowy tłumik dźwięku, (3) chłodnica pośrednia, (4) silnik elektryczny, (5) stopień wysokociśnieniowy, (6) rozdzielacz kondensatu, (7) chłodnica końcowa z rozdzielaczem kondensatu, (8) chłodnica smaru olejowego, (9) odpowietrzacz, (11) stopień niskociśnieniowy, (12) zawór zwrotny, (13) chłodnica sprężonego powietrza, (14) wlotowy zawór dławikowy, (15) wlotowy filtr powietrza z tłumikiem dźwięku



Rys. 10.53. Osuszacz adsorpcyjny (zasada działania)
Kompresor: (1) filtr zasysanego powietrza, (2) zawór wlotowy, (3) sprężarka niskociśnieniowa, (4) chłodnica pośrednia, (5) wylot kondensatu, (6) sprężarka wysokociśnieniowa, (7) tłumik dźwięku na wyjściu, (8) zawór zwrotny, (9) chłodnica końcowa
Osuszacz: (10) ejektor, (11) silnik napędowy, (12) rozdzielacz kondensatu, (13) zawór dławikowy, (14) sektor suszenia, (15) sektor regenerowania, (16) chłodnica regeneracyjna, (17) rozdzielacz kondensatu z zaworem bezpieczeństwa, (18) wylot suchego powietrza

powietrza o danej wilgotności osiąga się ciśnienie cząstkowe pary nasyconej (ciśnienie nasycenia) nazywa się punktem rosy. Kiedy punkt rosy zostanie przekroczony, woda wydziela się w formie kondensatu, czyli powstaje rosa.

Jeśli ciśnienie powietrza zostanie zmniejszone, temperatura puktu rosy obniża się proporcjonalnie do tej zmiany. Tę temperaturę zależną od ciśnienia nazywa się ciśnieniowym punktem rosy.

Woda wydzielająca się w postaci kondensatu:
- ogranicza bezkolizyjny (bez tarcia) przebieg procesu,
- prowadzi do powstawania rdzy i korozji, oraz
- tworzy pożywkę dla mikroorganizmów.

Trzeba zatem starać się usuwać wodę zawartą w powietrzu. Do tego celu służy ***osuszacz powietrza***.

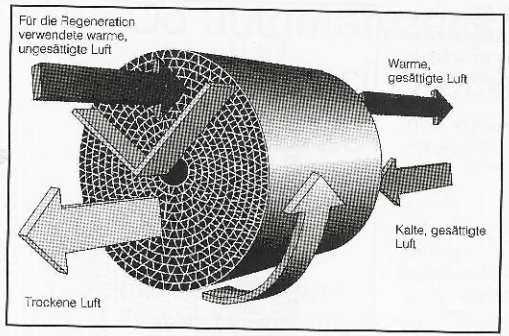
Są dwie możliwości suszenia powietrza:
- schłodzenie powietrza poniżej ciśnieniowego punktu rosy oraz
- zastosowanie osuszaczy adsorpcyjnych.

Regenerację osuszaczy adsorpcyjnych można przeprowadzać w następujący sposób:
- przez oddzielne wytworzenie gorącego powietrza,
- przez dalsze sprężanie nieschłodzonego sprężonego powietrza i
- przez rozprężenie wysuszonego sprężonego powietrza (Metoda Heatless).

Osuszacze powietrza pracują przeważnie jak ***osuszacz adsorpcyjny*** (rys. 10.53).
Powietrze sprężone dwustopniowo (3+6) jest schładzane (4+9), a następnie jako zimne i będące w stanie nasycenia wilgocią kierowane jest do zbiornika. Tam przez wolno obracający się bęben musi zostać rozdzielone do wielu małych sektorów, impregnowanych środkiem suszącym.

Jednocześnie powietrze oddaje wilgoć, osusza się i jest odprowadzane. Małe sektory w bębnie przyjmują zatem wilgoć i muszą być osuszane.

W tym celu sprężone, lecz jeszcze nieschłodzone powietrze pobierane jest przed chłodnicą końcową. Jest gorące, więc może chłonąć wilgoć. Ma to miejsce, kiedy przesyła się to gorące powietrze w zmienionym kierunku przez górną część bębna i przez to bęben się suszy (rys. 10.54). Bęben obraca się wolno i powietrze jest stale osuszane.



Rys. 10.54
Osuszacz adsorpcyjny rotacyjny (obrotowy)

W wielu osuszaczach sprężone powietrze wprowadzane jest wzdłuż zimnych powierzchni wymiany ciepła. Woda skrapla się w temperaturze bliskiej 0°C (należy unikać zamarzania) i powietrze zostaje osuszone.

Suche i zimne powietrze wykorzystywane jest następnie do wstępnego schłodzenia w wymienniku ciepła powietrza gorącego i nieosuszonego.

Prosta i bardzo sprawna metoda osuszania sprężonego powietrza polega na tym, że powietrze przepuszczane jest przez wodę, która za pomocą rur chłodzących utrzymywana jest w temperaturze 0°C. Powietrze schładza się do temperatury 0°C; jednocześnie obniża się punkt rosy i nadmiar wody oddziela się (w wodzie !).

W większości urządzeń osuszacz powietrza jest włączany za kompresorem. Lecz dzisiaj włącza się osuszacz także oddzielnie po stronie ssącej. Przykładem takiego rozwiązania jest osuszacz Gosslera, w którym zasysane powietrze jest schładzane do temperatury -25°C [198]. Przez to uzyskuje się także mniejszą objętość ssania dla sprężarki. Warunkiem jednak jest to, aby urządzenie było w 100 % uszczelnione, ponieważ wskutek dodatkowego ubytku powietrza uzyskuje się gorszy stopień sprawności. Przez zastosowanie takich rozwiązań można uzyskać oszczędności energii o 5 do 10 %.

10.5.3.3 Zbiornik ciśnieniowy

W każdym węźle sprężonego powietrza znajduje się zbiornik ciśnieniowy.

Zbiornik ciśnieniowy ma zadanie wyrównywać dzięki swej wystarczająco dużej objętości wahania poboru powietrza i pracy sprężarek i zapewnić stałe ciśnienie powietrza w sieci. Przed nadmiernym ciśnieniem zabezpiecza układ zaworów bezpieczeństwa.

10.5.3.4 Sieć przewodów sprężonego powietrza

Sieć przewodów składa się z mniej lub bardziej rozbudowanego systemu połączeń rurowych, które łączone są przez kołnierze, mufy i złącza. Urządzenia starzeją się, obluzowują i stają nieszczelne. Trzeba liczyć się z tym, że straty spowodowane nieszczelnościami mogą wynosić [198]:
- dla małych i nowych systemów przewodowych 5 %
- dla bardzo rozgałęzionych systemów przewodowych 10 % i
- dla starych systemów przewodowych 30-35 %.

Wraz ze zwiększającą się ilością nieszczelności muszą rosnąć koszty energii. Zwykle można usłyszeć gwizdy powietrza, wydobywające się z tych miejsc, gdzie występują takie obluzowania. Na podstawie pomiaru spadku ciśnienia powietrza w zbiorniku można dokładnie określić wielkość strat.

Z tego względu nowoczesne sieci są spawane (materiał – stal szlachetna), odgałęzienia instalowane są bez tzw. martwych stref, a we wszystkich niżej położonych punktach umieszczane są odwadniacze.

Nowoczesna sieć sprężonego powietrza musi być przystosowana do mycia w obiegu zamkniętym CIP i do wyjaławiania parą.

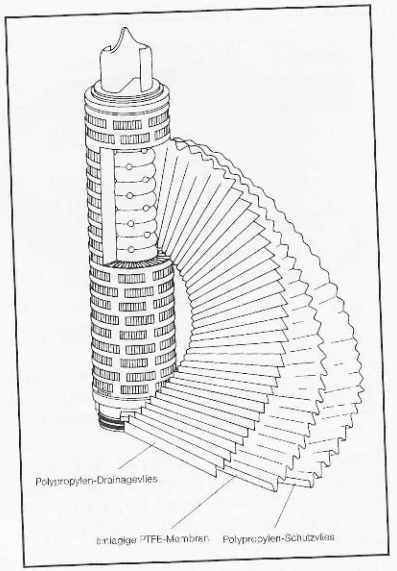
10.5.3.5 Filtr powietrza

Sprężone powietrze przeznaczone do niektórych zastosowań w browarze musi być wolne od kurzu i od wszelkich mikroorganizmów, a więc sterylne. Dotyczy to zwłaszcza sprężonego powietrza do:

- napowietrzania brzeczki,
- transportu zamkniętych koronowych butelek (kapsli).

Sterylne powietrze otrzymuje się przez filtrację sprężonego powietrza na filtrach świecowych membranowych (wielkość porów $\leq 0{,}2$ µm) (rys. 10.55). Poprzeczny przekrój obrazuje budowę wewnętrzną standardowego filtru świecowego, który wykazuje bardzo dużą i zróżnicowaną sprawność filtracyjną z uwagi na pofałdowania membran na powierzchni filtru, co daje ok. 0,75 m^2 na każdą świecę. W obudowie można umieścić dowolnie wiele takich świec.

W takim filtrze można oddzielić nie tylko cząstki większe od średnicy porów membrany (rząd wielkości 0,2 µm), ale także – dzięki siłom elektrostatycznym – mikroorganizmy mniejsze od wielkości tych porów. Można zatem przyjąć, że tak przefiltrowane powietrze jest sterylnie czyste.



Rys. 10.55
Standardowy filtr świecowy do sterylnej filtracji powietrza

11 Od automatyzacji do integracji procesów w browarze

Inż.dypl. H.O. MIETH, Hamburg
Przekład: dr hab. inż. Wojciech Tuszyński

11.1 Historia rozwoju i założenia techniczne automatyzacji browaru - wysoka technika na co dzień

„Choć przedtem różnie bywało już z nami,
to jednak wygodniej, bo z krasnoludkami"...

Tak rymowali nasi zgnębieni ciężką pracą przodkowie i śnili o krajach pasibrzuchów, o perpetuum mobile, o raju lenistwa i o pracujących za nich automatach.

Doświadczeni browarnicy pamiętają jeszcze, jak to w latach terminowania i w okresie pracy w roli czeladników szuflowali w słodowniach klepiskowych, szorowali kadzie w fermentowniach, kadzie i beczki w leżakowniach, a na ciężarówki ładowali ręcznie setki skrzyń z piwem. „Stop" – włącza się dzisiejszy technolog, „to nie może być prawdą, w tym czasie istniał już komputer, satelity okrążały Ziemię, a techniki pomiarów i regulacji były w pełni rozwiniętymi technologiami".

Tak, ale dopiero około 1970 automatyzacja browaru wkroczyła z warzelni do „zimnej" części produkcji i rozwinęła się do integracji procesu w dzisiejszym znaczeniu.

Światową premierą było przedstawienie, w czasie październikowych obrad VLB w 1973 roku, w pełni zautomatyzowanej, cylindryczno-stożkowej fermentowni browaru Bavaria & St. Pauli w Hamburgu. Dopiero po latach wątpliwości co do sukcesu i co do celowości zastosowania pomysłu, rozprzestrzenił się on szeroko i został powszechnie zaakceptowany.

Winą za ten późny start w żadnej mierze nie można obciążać – rzekomo niechętnego postępowi – konserwatyzmu browarników. Historia techniki donosi o wielu nowych rozwiązaniach, zastosowanych właśnie najpierw w browarach, jak np. maszyna chłodnicza Lindego.

To dopiero w latach 1970/75 powstało wiele technicznych, technologicznych i ekonomicznych uwarunkowań, które pozwoliły na skuteczną realizację automatyzacji także w zimnych rejonach browaru. Dalej idące rozwiązania zostały nawet zainicjowane i zintensyfikowane przy okazji rozpoczęcia automatyzowania browarów, wykazując znaczną siłę oddziaływania na inne obszary inżynierii. Uprawnione wydaje się z tego względu porównanie automatyzacji w browarnictwie do innych obszarów wysokiej techniki, jak podróże kosmiczne czy biotechnologia, których wkroczenie na scenę światową także zaowocowało ogólnym postępem.

11.1.1 Odporne na korozję tworzywa dla przemysłu spożywczego

Stale chromoniklowe do budowy aparatów, maszyn, rurociągów i armatury oraz materiały syntetyczne do pokryć, izolacji, kształtek i uszczelek stworzyły dopiero podstawy do szerokiego wprowadzenia znanej od 20 lat kluczowej technologii: **CIP**. Nie było to możliwe przy stosowaniu konwencjonalnych tworzyw używanych w browarnictwie, jak mosiądz, brązy, miedź, aluminium, drewno, smoła czy materiały uszczelniające: kauczuk naturalny, konopie i tłuszcze.

11.1.2 Mycie automatyczne, CIP (Cleaning In Place)

Mycie i dezynfekcja następują przez spryskiwanie, obmywanie lub przepompowywanie ługów, kwasów i roztworów dezynfekcyjnych, a następnie całkowite usunięcie ich wodą.

Tylko wtedy opłacają się nakłady na zdalnie sterowany system CIP, kiedy urządzeniom po przebiegu produkcyjnym może być przywrócony żądany stan higieny, w zasadzie bez czynności związanych z demontażem i ręcznym myciem części.

Jednakowo ważne są tutaj zarówno:

a) technicznie zaawansowana stacja CIP, zdolna do przygotowania roztworów myjących we właściwym stężeniu, temperaturze i przy odpowiednim przepływie, jak i

b) właściwe rozwiązanie samej instalacji technologicznej browaru, w odniesieniu do tworzyw (11.1.1) i konstrukcji aparatów, maszyn i rurociągów, przystosowanych do mycia w systemie CIP.

11.1.3 Aparaty i maszyny stosowane do automatyzacji i do CIP

Jak długo browary były wyposażone w kadzie albo leżące tanki fermentacyjne i leżakowe, z których osady usuwano ręcznie po „ściągnięciu" piwa, automatyzacja w zimnym obszarze technologicznym była iluzoryczna. Z tego względu cylindryczno-stożkowy tank, pozwalający na ściągnięcie osadu przed piwem, stał się rzeczywistym przełomem w automatyzacji browaru. Z drugiej strony, drogę do sukcesu wymościło mu dopiero konsekwentne wyposażanie w armatury zabezpieczające, skuteczne dysze do mycia, przystosowane do CIP urządzenia pomiarowe i do pobierania prób, a wreszcie baterie zaworowe do sterowania zarówno po stronie cieczy, jak i gazu, czyli mówiąc krótko, automatyzacja browaru.

Wzajemne korzystne oddziaływania w technicznej optymalizacji urządzeń browarniczych pojawiły się także w takich aparatach, jak Whirlpool, tank drożdżowy, filtry i przenośniki ciepła albo w maszynach, jak pompy, separatory i mieszalniki. Nieodzownym celem rozwoju aparatury browarniczej stało się jej przystosowanie do CIP.

11.1.4 Przystosowana do automatyzacji technologia wyrobu piwa

Dopiero wtedy, gdy empiryczna „sztuka warzenia", działająca zgodnie z mottem: „Pieczenie i warzenie nie zawsze się udają", została przekształcona przez prace badawcze i rozpoznania praktyki w technologię browarnictwa o ustalonych podstawach, można było zająć się – z nadzieją na sukces – automatyzowaniem. Jeśli oko i język piwowara mają być podparte, a miejscami zastąpione, przez pomiary wielkości fizycznych i chemicznych oraz analizy, to ich znaczenie i zależności muszą się nadawać do interpretacji. Metody analityczne, takie jak chromatografia gazowa, musiały znaleźć drogę do laboratoriów browarów, zanim odważono się w skali technicznej na skrócenie czasów fermentacji i leżakowania, wprowadzając tanki cylindryczno-stożkowe, a w nich technologie ciepłych fermentacji pod ciśnieniem.

11.1.5 Systemy rurociągów dostosowane do automatyzacji i do CIP

W przeciwieństwie do warzelni, gdzie przebiegi produkcyjne i CIP są od siebie ściśle oddzielone, w zarurowanych na stałe instalacjach w piwnicy nie da się uniknąć skrzyżowań przewodów, w których po jednej stronie znajduje się produkt, a po drugiej środki myjące. Bezwzględnie wykluczone muszą być błędne przełączenia lub nieszczelne zawory, mogące spowodować wymieszanie produktu ze środkami CIP lub różnych produktów ze sobą, co jest niedopuszczalne. A przecież mimo to, wszystkie części systemu, w których okresowo przepływa produkt, muszą być myte.

Wymagania te doprowadziły do rozwoju nowoczesnych elementów rurociągów, jak zawory motylkowe i z podwójnym gniazdem, armatury sterylne i instrumenty pomiarowe „online", aby w końcu doprowadzić także do powstania dotąd nieznanej specjalizacji zawodowej związanej z projektowaniem systemów rurociągów, nazwanej dziesięć lat temu „integracją procesów".

11.1.6 Know-how integracji procesów

Rowój integracji procesowej pojmowanej jako oddzielny dział inżynierii oraz jako oddzielny dział wyspecjalizowanego w tym kierunku przemysłu uwidacznia wyraźnie, że automatyzacja w browarnictwie stanowi nie tylko wyzwanie w zakresie techniki, ale wymaga współdziałania ekspertów z wielu dziedzin oraz koordynacji i organizacji ich działań. Szczególnym zadaniem inżyniera, specjalisty integracji procesowej, jest zbudowanie pomostów porozumienia między projektantami, konstruktorami i browarnikami a technikami zajmującymi się pomiarami, sterowaniem i regulacją. Tym ostatnim przypisuje się, często fałszywie, umiejętność zautomatyzowania browaru, podczas gdy w rzeczywistości mają oni w tym tylko bardzo ważny udział.

11.1.7 Sztuczna inteligencja - technika EMSR

Technika EMSR (elektronika, mierzenie, sterowanie, regulacja) rozwinęła się w ostatnich 20 latach. W miejsce zaprogramowanego na stałe sterowania przez połączenia kablowe między przekaźnikami a elementami elektronicznymi wprowadzono programowalny przyrząd sterujący, zwany sterownikiem z programowalną pamięcią (SPS w skrócie niemieckim). Tym samym automatyzacja awansowała z pozycji „pożytecznego idioty" do „zdolnego do dialogu" partnera człowieka. Do systemu SPS dołączyły w sterowniach komputery osobiste (PC), które ze swoją zdolnością zarządzania i gromadzenia ogromnych ilości danych stanowią pomost między sterownikiem procesu a elektronicznym przetwarzaczem danych (EDV w niemieckim skrócie). Umożliwiono w ten sposób prowadzącemu proces operatorowi inteligentne przedstawienie, powiązanie oraz ocenę informacji płynących z linii procesowej (systemy obsługi i obserwacji człowiek-maszyna-interfejs, skrót niemiecki MMI, a angielski HMI).

Z drugiej strony, ogromna miniaturyzacja, potanienie oraz dostępność elektroniki doprowadziły szybko do tego, że teraz automatyzacja weszła nie tylko do centralnej sterowni, ale przesuwa się niepowstrzymanie na peryferie procesów. Wypiera tam z obszarów urządzeń pomiarowych, regulacyjnych i nastawczych klasyczne składniki urządzeń elektrycznych, mechanicznych i pneumatycznych. O ile kiedyś browarnik mógł na podstawie znajomości konstrukcji urządzenia odgadnąć jego funkcję, o tyle dziś takie rozpoznanie w wysoce zintegrowanej elektronice opartej na „chipach" nie jest już możliwe. Jest to „czarna skrzynka", nie nadająca się do naprawy w przypadku uszkodzenia, ale precyzyjna i niemal niezawodna, jeśli nie zostanie uszkodzona.

11.1.8 Rola technologa w automatyzacji browaru

Czy piwowar jest nadal najważniejszym elementem w produkcji piwa, czy też pracując przy ekranie lub przy schemacie mnemotechnicznym przepływów został zdegradowany do roli operatora nowoczesnej instalacji? Czy prowadzenie menu w dialogu ze sterownikiem stanowi ubezwłasnowolnienie?

Rola, jaką technolog odgrywa w automatyzacji browaru, zależy w znacznym stopniu od tego, na ile poznał on powierzony mu instrument. Czy w stopniu wystarczającym nie tylko „do obsługi", ale w takim, że może go krytycznie nadzorować, a w przypadkach zakłóceń nie tylko wzywać technika serwisu, ale analizować samemu ich przyczyny, usuwać drobiazgi lub wykrywać zasadnicze niedostatki sprzętu lub programu.? Jeśli potrafi osiągnąć taki poziom, to staje się wkrótce współtwórcą swojego pola działania. Wprowadza on codzienne przebiegi produkcyjne w optymalnej kolejności i sekwencji, jest zainteresowany wydajnościami i zużyciem materiałów, układa przebiegi CIP w sposób zapewniający uniknięcie krzyżowania przepływów.

Działa w taki sposób, że liczne, możliwie wszystkie wymagające mycia przewody są połączone w jeden obieg, ale też dba o to, żeby nigdy produkt nie płynął przez niemyte rurociągi.

Taki technolog wkrótce przestudiuje odpowiedni podręcznik, aby dowiedzieć się wszystkiego nie tylko o częściach składowych, ale i o „duchu" swojego zakładu.

To oczekiwanie opiera się na założeniu, że znana mu jest symbolika i systematyka stosowana w inżynierii, a których podstawowe dane będą przedstawione w dalszych rozdziałach.

11.2 Symbolika używana w przedstawianiu i systematyka w projektowaniu automatyzacji browarnictwa według ogólnych norm inżynierii

Automatyzacja browarnictwa wniosła znaczące innowacje na polu „filozofii" zarurowania technologicznego i jego części składowych, a także sterowania procesami i ich regulacji. Z drugiej strony, zawdzięcza ona – obok korzyści wniesionych przez rozwój w przemyśle mleczarskim – podstawowe impulsy z transferu know-how z ogólnego rozwoju inżynierii.

Powstawanie normalizacji w rozwoju technicznym jest ze zrozumiałych względów opóźnione w stosunku do aktualnego postępu, stąd często ważne nowości nie są jeszcze objęte normalizacją. Mimo to celowe jest traktowanie automatyzacji browarnictwa jako specjalnego działu inżynierii ogólnej i technik technologicznych i przyswojenie sobie ich struktur organizacyjnych.

Jest to szczególnie niecodzowne dla porozumienia między inżynierami różnych specjalności w przemysłach związanych i sztabach technicznych browarów, biorących udział w ich projektowaniu i utrzymaniu w ruchu. Technolog, który zgodnie z 11.1.8 domaga się kluczowej roli nie tylko w produkcji, ale także w projektowaniu, nadzorze i optymalizacji swego zakładu, należnej mu bez wątpienia jako odpowiedzialnemu za produkcję, musi posiadać znajomość norm inżynieryjnych w takim stopniu, aby być współdyskutantem przy omawianiu problemów.

Wynikające stąd wymagania dotyczące wykształcenia i dokształcania się są znaczne. Niestety, brakuje zorientowanej na praktyków literatury wprowadzającej, która trudną tematykę uczyni „strawną", zachowując profesjonalność i budując podstawy do zrozumienia pogłębionej literatury specjalistycznej przez zainteresowanego laika. Próba wypełnienia tej luki w niniejszej książce rozsadziłaby jej ramy. Dochodzi tu dodatkowa trudność w skali międzynarodowej, ponieważ bez zważania na wysiłki zharmonizowania norm, podejmowane przez ISO (Międzynarodowa Organizacja Normalizacji) i IEC (Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna), w szeregu krajów anglojęzycznych, w Niemczech i wielu innych powstają lokalne „regulacje", mające wpływ na praktykę budowy zakładów. Jesteśmy więc zmuszeni ograniczyć się do podania ogólnie obowiązujących danych. Ich znajomość wprawdzie nie będzie wystarczająca do stworzenia samemu zgodnej z normami dokumentacji, ale miejmy nadzieję, że będzie w stanie wzbudzić zainteresowanie i odwagę do ich przeczytania i wyrobić zwyczaj opierania się na nich.

Od tłumacza:

1. Począwszy od rozdziału 11.2.1 w tekście pojawiają się odniesienia do norm niemieckich DIN. Polskiemu czytelnikowi może to utrudniać wykorzystanie wskazówek autora, związanych z przedstawianiem i odczytywaniem schematów technologicznych zautomatyzowanych browarów lub ich działów. Niestety, nie ma możliwości podania każdorazowo przy numerze normy DIN numeru odpowiedniej normy PN, ponieważ taka prosta „odpowiedniość" nie istnieje. Co więcej, niektóre tematy objęte przez DIN nie są dotąd w Polsce normowane. Wydaje się w tej sytuacji, że zebranie w tym miejscu informacji o tym, które Polskie Normy dotyczą zagadnień poruszanych przez autora z powołaniem się na normy DIN, usunie ewentualne uczucie niepewności w praktycznym wykorzystywaniu wiadomości zawartych w tekście.

DIN 28004 – nie ma Polskiej Normy na symbole graficzne urządzeń w schematach przepływów.

Zwykle nie stanowi to kłopotu w odczytaniu schematu, jeśli w dokumentacji używano wszędzie tej samej symboliki dla urządzeń i dołączono odpowiednią legendę, a jednocześnie przestrzegano norm PN 89/M-42007-01, PN 90/M-42007-02 oraz PN 89/M-42007-03. Tak przedstawiają dokumentację renomowani dostawcy.

Autor jest wprawdzie niechętny takiej dowolności, ale nawet normy DIN nie umożliwiają jeszcze używania wyłącznie symboliki w całości znormowanej.

DIN 2429 – tę tematykę obejmuje, niestety tylko częściowo, PN – PN-84/B-01701 „Instalacje wewnętrzne wodociągowe i kanalizacyjne. Oznaczenia na rysunkach".

Znacznie obszerniejsze opracowanie DIN (38 stron, podczas gdy PN tylko 14, a i to częściowo dotyczące innych zagadnień) spowodowało, że od lat w schematach technologicznych w Polsce korzysta się z symboliki opracowanej w DIN 2429.

DIN 19226, DIN 19227, DIN 40719 – tę tematykę obejmują trzy PN: PN 89/M-42007-01, PN 90/M-4200-02 i PN 89/M-4200-03 o wspólnym tytule „Automatyka i pomiary przemysłowe. Oznaczenia na schematach". DIN 11851 – tę tematykę obejmują trzy PN dotyczące przemysłu spożywczego o wspólnym tytule „Rury i złącza rurowe metalowe": PN 93/A-55610, PN 93/A-55611 i PN 93/A-55613 oraz dwie normy dotyczące mleczarstwa, o wspólnym tytule „Armatura dla przemysłu mleczarskiego": PN 90/A-55604 i PN 90/A-55605.

2. Nie brzmią dobrze w języku polskim terminy „inżynier integracji procesu" czy „inżynier EMSR", ale nie da się zastąpić tych – w języku niemieckim precyzyjnych – pojęć, takimi polskimi, jak „technolog-koordynator" dla pierwszego czy „automatyk" dla drugiego, ponieważ nie są z nimi jednoznaczne, a innych odpowiedników polskich dotąd brak.

3. W tłumaczeniu zachowano też skróty niemieckie, takie jak „EMSR", „poziom V/M" czy „SPS". Wydawało się bezpieczniej nie wprowadzać polskich skrótów równoważnych, nie będących w powszechnym użyciu. Te, których coraz częściej używa się w polskiej technice, są skrótami terminów angielskich (jak chyba najpowszechniejszy „PC" na określenie komputera osobistego), stąd wydawało się bezpieczniej nie powiększać „babilońskiego pomieszania języków", przed którym autor ostrzega.

11.2.1 Wprowadzenie do symboliki maszyn i urządzeń przemysłów przetwórczych

11.2.1.1 Znormalizowane symbole dla aparatury standardowej i standardowych operacji jednostkowych

Językiem inżyniera jest rysunek. Podobnie jak tekst składa się ze słów, z których wynika sens zdania, rysunek składa się z symboli o uzgodnionym znaczeniu, które powiązane ze sobą opisują jakąś funkcję techniczną. Przyswojenie sobie tej podstawowej informacji zawartej w symbolach jest ułatwione przez to, że -podobnie jak słowa z liter – składają się one ze znormalizowanych znaków dla jednostkowych operacji technologicznych (mieszanie, ubijanie, rozdrabnianie, chłodzenie/ogrzewanie itp.). Na rys. 11.1 przedstawiono wybór takich symboli, które zgodnie z niemiecką normą przemysłową DIN 28004 obowiązują wszystkie branże.

11.2.1.2 Symbole inywidualne dla aparatów specjalistycznych, uwzględniające symbolikę znormalizowaną dla objętych nimi standardowych operacji jednostkowych

Aparaty i maszyny specyficzne dla browarnictwa i nie występujące w tej postaci w inżynierii ogólnej, przedstawiane są w formie symboli firmowych lub branżowych. Na te ostatnie składają się dwie części: pierwsza, dowolnie ukształtowana i druga, będąca znormalizowanym symbolem operacji jednostkowej, jeśli występuje ona w procesie. Na rys.11.2 pokazano niektóre z tych symboli browarnictwa; n.p. w kadzi filtracyjnej występuje w postaci dna sitowego operacja jednostkowa, którą zilustrowano znormalizowanym symbolem filtra (rys.11.1, grupa rzeczowa 5).

Zamysł kompozycji symbolu jakiegoś aparatu z symboli operacji jedostkowych ma tę zaletę, że konstruktor przy opracowaniu swego zadania może odnieść się do podstaw technicznych rządzących tymi procesami, znanych od dziesiątków lat na podstawie doświadczeń praktycznych i badań i pozwalających na ich dokładne oszacowanie albo obliczenie. W ten sposób empiryczne i naukowe osiągnięcia technologii browarnictwa wprowadza się do kategorii inżynieryjnych, ułatwiając tym samym wymianę informacji w interdyscyplinarnym transferze Know-how.

11.2.1.3 Ważne w automatyzacji niemieckie normy przemysłowe (DIN)

Dla procesów przetwórczych naszej tematyki „najważniejsze" są następujące niemieckie normy przemysłowe:

DIN 28004 dla urządzeń, maszyn i elementów łączących

DIN 2429 dla rurociągów i ich części składowych, jak połączenia, kształtki i armatura

DIN 19266 dla mierzenia, sterowania, regulowania (MSR), technik regulacji i sterowania, pojęcia związane z działaniem systemów przełączających

DIN 19227 dla symboli graficznych i liter znakujących dla techniki kierowania procesami

DIN 40719 dla podstaw sprzęgania (przełączania) = regulacji dla przedstawiania funkcji przebiegów procesów.

W tym wykazie wymieniono normy mające znaczenie dla technologa wtedy, kiedy chce zrozumieć dokumentację zautomatyzowanych zakładów, lub współpracować w jej powstawaniu.

Jak żywy język, tak i normy podlegają ciągłym zmianom. Szczególne znaczenie ma tu ich uzgadnianie z normami międzynarodowymi ISO: Międzynarodowej Organizacji Normalizacji i IEC: Międzynarodowej Komisji Elektrotechnicznej. W DIN 30600 ustalono, w jakiej sposób należy postępować przy rejestracji nowych symboli, ich klasyfikacji, ujednoliceniu oraz umiędzynarodowieniu, dla uniknięcia babilońskiego pomieszania języków.

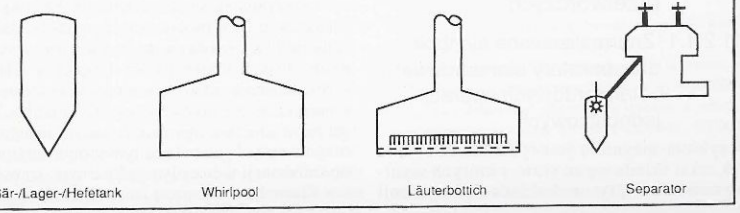
11.2.1.4 Potrzeba normalizacji symboli elementów złącznych

* Potrzeby przemysłów spożywczych dotyczące rurociągów i armatur przystosowanych do CIP, a jednocześnie bezwzględnie szczelnych, stały się powodem przesunięcia punktu ciężkości innowacji technicznych w budowie aparatury w kierunku urządzeń złącznych. Z faktu tego nie wyciągnięto koniecznych wniosków w inżynierii, która jest czynnikiem dominującym w systemie normalizacji. Wynikiem takiego stanu rzeczy jest konieczność przedstawiania nowoczesnych zaworów i armatury, stanowiących większość elementów występujących w dzisiejszych browarach, symbolami wymyślonymi przez poszczególnych dostawców.

Ten pożałowania godny stan jest uciążliwy przy rozpatrywaniu ofert i różniących się propozycji rozwiązań poszczególnych problemów, a szczególnie przy ich porównywaniu dla rozstrzygnięcia o wyborze dostawcy.

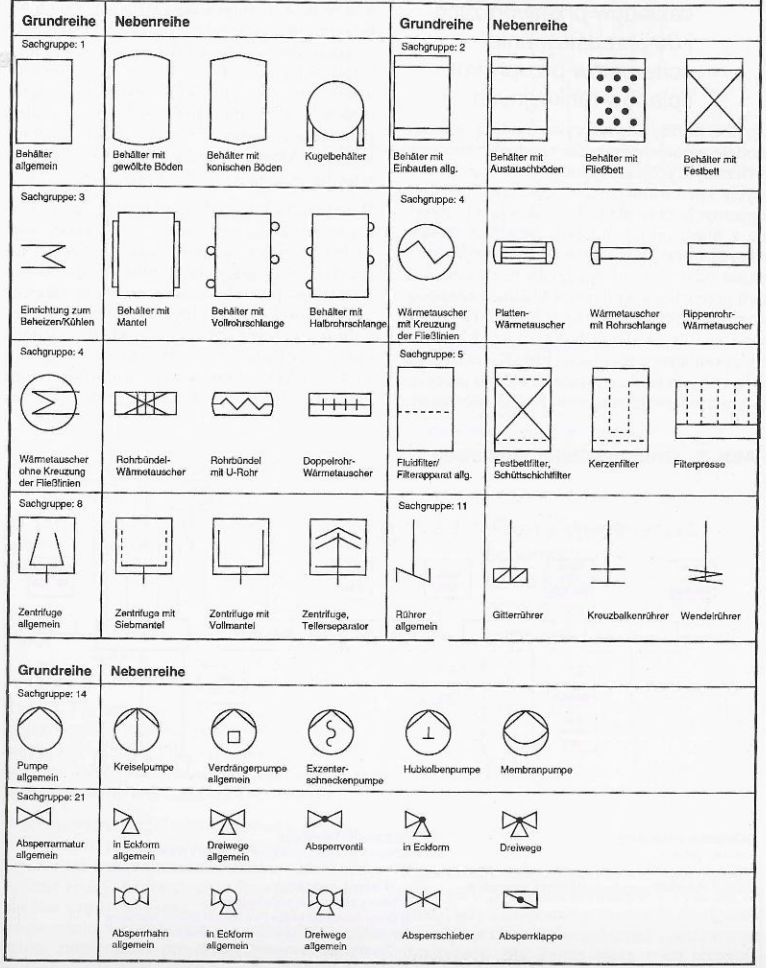
Ciągłą irytację powoduje sytuacja, gdzie w jednym zakładzie sąsiadują ze sobą układy instalacji pochodzące od różnych dostawców, których dokumentacja techniczna i terminale obsługi są przedstawiane przy użyciu różniących się indywidualnych symboli. Olbrzymim niedostatkiem tego „pomieszania języków", wynikającego z braku ogólnie obowiązujących standardów używanych symboli, są nakłady na dodatkowe szkolenie personelu, utrudniona rotacja pracowników wewnątrz zakładu, a także zwiększone ryzyko błędów nadzoru i obsługi.

Abb. 2 Brauereispezifische Symbole (Beispiele)



Rys.11.2. Symbole specyficzne dla browarnictwa (przykłady)

Abb. 1 Genormte grafische Symbole nach der DIN 28 004, Teil 3 (Auszug)



Rys.11.1. Znormalizowane symbole graficzne wg DIN 28004, cz. 3, wyciąg

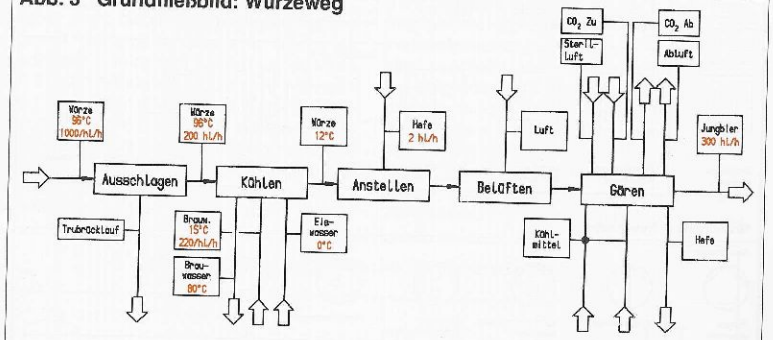
11.2.2 Wprowadzenie do znormalizowanej systematyki projektowania zakładów przetwórczych i do przedstawiania schematów przepływu i planów funkcyjnych

Ogólne normy inżynieryjne podają wiążące modele organizacyjne dla zgodnej z normami systematyki projektowania zakładów przetwórczych i przedstawiania w schematach technologicznych oraz planach funkcyjnych. Zgodnie z nimi, projektant powinien przedstawić schematy przepływów i opisy procesów w wyraźnie oddzielonych rozdziałach. Powinien w nich przedstawić kolejno dokładnie określoną, stopniowo rosnącą liczbę informacji o zestawie aparatury, zadaniach dotyczących elektroniki, pomiarów i regulacji (EMSR), systemów połączeń i o funkcjonowaniu całego procesu. Inżynierowi projektującemu EMSR pozostawia się tylko szczegółowe rozwiązanie tych założeń, nie przewiduje się natomiast miejsca na jego własne, „odkrywcze" działanie w kształtowaniu przebiegu procesu.

Kto miał w praktyce do czynienia z budową browaru, wie, jak dalece odbiega od siebie to, co powinno być i to, co w rzeczywistości jest. Często niektóre z przewidzianych faz projektowania zachodzą na siebie albo są zwyczajnie ominięte. Powoduje to, przez nieprecyzyjne podanie warunków, że inżynierowi projektującemu EMSR pozostawia się więcej pola do współtworzenia procesu niż przewiduje norma.

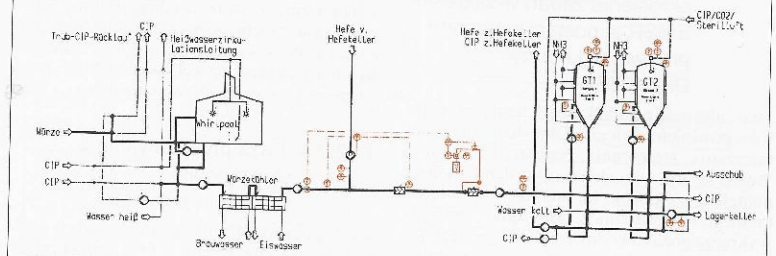
W rozdziałach 11.2.2 oraz 11.3.1 przedstawiamy systematykę projektowania tak, jak powinna być realizowana, pokazujemy także często praktykowane odejścia od niej i dyskutujemy tych odejść powody. Niekorzystne konsekwencje tego braku dyscypliny odczuwa się szczególnie w czasie kierowania zakładem. Jednocześnie pokazujemy – głównie w rozdziale 11.4.1 – luki w znormowanym instrumentarium organizacyjnym, które uwidoczniły się w zetknięciu z nowymi, bardzo złożonymi wymaganiami związanymi z integracją procesów przetwórczych.

Abb. 3 Grundfließbild: Würzeweg



Rys.11.3. Schemat blokowy: droga brzeczki

Abb. 4 Verfahrensfließbild: Würzeweg



Informacje podstawowe
a) Rodzaje koniecznych aparatów i maszyn, bez napędowych
b) Nazwy aparatów i maszyn, bez napędowych
c) Drogi i kierunki wejścia/wyjścia materiałów i energii lub nośników energii
d) Nazwy i przepływy lub ilości materiałów wejściowych/wyjśc.
e) Nazwy energii/nośników energii i maszyn (bez napędowych),
f) Charakterystyczne warunki pracy

Informacje dodatkowe
a) Nazwy i przepływy lub też ilości materiałów wewnątrz procesu
b) Przepływy/ilości energii/nośników
c) Przypisanie ważnej armatury
d) Pomiary, sterowanie, regulacja w najważniejszych punktach
e) Uzupełniające warunki ruchu
f) Znamionowe wielkości aparatów podawane czasami na oddzielnych listach
g) Znamionowe dane maszyn napędowych, czasami na oddzielnych listach
h) Posadowienie ważnych aparatów/maszyn

Rys.11.4. Schemat przepływów: droga brzeczki

11.2.2.1 Faza projektowania 1: ogólny schemat przepływów (blokowy)

Rys. 11.3 przedstawia drogę brzeczki, pokazaną jako ogólny schemat przepływów zgodnie z normą DIN 28004. Dla wyrazistości wymagane informacje podstawowe wydrukowano kolorem czarnym, a dodatkowe czerwonym.

Przedstawienie ogólnego schematu przepływów przy użyciu prostokątów nazywa się często w praktyce schematem blokowym. Przy ogólnie znanych procesach ta faza projektowania jest często omijana. Schemat ten nie wymaga wiele wysiłku, ale dla uświadomienia celów zamierzenia projektowego jest bardzo użyteczny dla wszystkich zainteresowanych i dlatego nie powinien być omijany.

11.2.2.2 Faza projektowania 2: schemat procesów, („podstawowy schemat przepływów" lub „schemat połączeń")

Rys.11.4 podaje – drogę brzeczki jako schemat procesu z wymaganymi informacjami podstawowymi i dodatkowymi, zgodnie z normą DIN 28004. Aparaty – np.Whirlpool, tanki drożdżowy i fermentacyjny – i maszyny są przedstawione przy użyciu symboli znormalizowanych lub specyficznych zgodnie z rys.11.1 i 11.2. Drogi między nimi i punkty połączeń są jednakże pokazane jako abstrakcyjne linie, bez armatury.

Tego rodzaju schematy procesów są często używane jako podstawa przetargu. Czyni się tak wtedy, gdy świadomie pozostawia się dostawcom wybór elementów połączeń i poziomu automatyzacji, dla skorzystania z ich pomysłowości dotyczącej sposobu realizacji integracji procesów.

11.2.2.3 Faza projektowania 3: określenie zadań w zakresie EMSR w postaci schematu procesu wg normy DIN 19227

Jako informację dodatkową schemat przepływów powinien zawierać „Określenie zadań dla mierzenia, sterowania, regulacji" (EMSR). Ważne są przy tym słowa „określenie zadań", ponieważ nie podaje się tutaj danych do konkretnego wyposażenia w przyrządy, co zwykle wykracza poza zawodowe możliwości technologa. Chodzi o dane dotyczące parametrów, które mają być mierzone i regulowane, gdzie mają być odczytywane (miejscowo czy w sterowni), rejestrowane, a ponadto czy mają być nastawiane ręcznie, czy włączone do automatyzacji. Szczęśliwie ta część systematyki metod projektowania jest zrozumiała i łatwa do zapamiętania. Przeciwieństwem jest część 2 tej samej normy, w której ustalana jest symbolika rozwiązań sprzętowych zadań postawionych w części 1. Ponieważ chodzi tu jednak o specjalną wiedzę związaną z technikami EMSR, można zrezygnować z podawania jej tutaj.

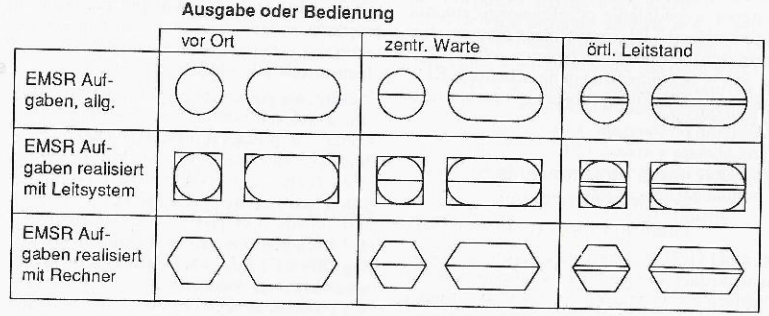
11.2.2.4 Faza projektowania 4: słowny opis schematu połączeń

Według normy DIN, nie wymagana, ale w praktyce celowa i użyteczna, ta faza projektu służy wyjaśnieniu i uzgodnieniu funkcji zakładu między zlecającym a dostawcą. Wymagające nakładu pracy i kosztów opracowanie schematu RI (rurociągi i instrumenty), opisane w następnym rozdziale, powinno być podjęte dopiero

Rys. 11.5. Przedstawienie zadań EMSR według DIN 19227

Poszczególne litery oznaczają (wyciąg):	na pierwszym miejscu	na dalszych
A	-	meldunek o zakłóceniach
C	-	regulacja samoczynna
D	-	różnica
E	wielkości elektryczne	funkcja przyjęcia
F	przepływ	stosunek
G	odstęp, długość, położenie	-
H	ręcznie	górna wartość graniczna (+)
I	-	wskazanie
J	-	odczytanie z miejsca pomiaru
K	czas	-
L	poziom	dolna wartość graniczna (-)
M	wilgotność	-
O	-	znak optyczny, wskazanie tak/nie
P	ciśnienie	-
Q	właściwość materiału, analiza	całkowanie, suma
R	wielkości promieniowania	rejestracja
S	prędkość, liczba obrotów, częstotliwość	działanie przekaźnikowe,
T	temperatura	przetwarzanie sygnałów
V	lepkość	nastawianie wielkości sterującej
W	siła/ciężar, masa	-
Z	-	wkroczenie przymusowe, urządzenia ochronne

Abb. 6 Graphische Symbole zur Darstellung der EMSR Aufgaben gemäß Abb. 5 und einige Anwendungsmöglichkeiten.



Rys. 11.6. Symbole graficzne dla przedstawiania zadań w zakresie EMSR zgodnie z rys. 5 i niektóre możliwości zastosowań

Przedstawienie albo obsługa

Przykłady zastosowań:

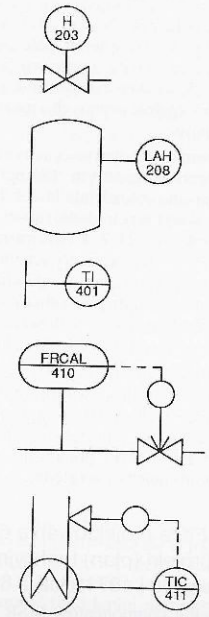
Przyrząd ręczny Nr 203 uruchamiany lokalnie

Czujnik Nr 208 poziomu sygnał lokalny po osiągnięciu górnej wartości granicznej

Czujnik Nr 401 temperatury, wskazanie w centralnej sterowni

Regulacja Nr 410 przepływu, rejestracja parametru sterowanego i meldunek w centralnej sterowni o zakłóceniu, po osiągnięciu dolnej wart. granicznej

Regulator Nr 411 temperatury ze wskazaniem wielkości regulowanej w centralnej sterowni



wtedy, kiedy schemat przepływów i jego opis są dokładnie omówione i „ostatecznie" zakończone. Ponadto zakończone być powinno wstępne uzgodnienie oczekiwanego stopnia automatyzacji i jego przybliżone oszacowanie w ramach limitu kosztów budowy, jeśli dostępna jest – bez przedstawiania schematu RI – orientacyjna kalkulacja dostawcy oparta o jego doświadczenie.

11.2.2.5 Faza projektowania 5: schemat rurociągów i instrumentów (schemat RI)

Rysunki 11.7 i 11.8 przedstawiają drogę brzeczki w postaci schematu RI, w którym ilość informacji znowu znacząco wzrosła w stosunku do schematów poprzednich. Jak można jednakże zauważyć, to zgęszczenie informacji nie dotyczy aparatury przemysłowej, ale wyłącznie systemu połączeń. Na rys.11.7 został on przedstawiony jako kompletne, stałe zarurowanie ze zdalnie czynnymi zaworami, a na rys. 11.8 jako w części stałe zarurowanie z kombinacją zaworów zdalnie czynnych i ręcznie przełączanych łuków.

Obydwa schematy RI oparte są na tym samym schemacie technologicznym, którego wieloznaczność opisano w rozdziale 11.2.2.2 jako zamierzoną w określonych okolicznościach właściwość. Obok rys. 11.7 i 11.8 można sobie wyobrazić jeszcze inne warianty schematów RI. Zakres dostaw i wyposażenia zakładu nie jest jednoznacznie określony w schemacie połączeń. Kontrakty zawierane z dostawcą muszą się koniecznie opierać na schematach RI.

Bliższe rozważania dotyczące schematu RI podano w rozdziale 11.4, w którym w ramach integracji procesu zwraca się uwagę na wielość dotąd nie rozważanych kryteriów, a które przy kształtowaniu systemów połączeń w automatyzacji browaru należy uwzględnić.

11.2.2.6 Faza projektowania 6: projekt (plan) funkcyjny wg DIN 40719 i IEC 848

Przedstawienie komponentów MSR i obwodów działania w schemacie RI wg DIN 19226 wypełnia wprawdzie ważne zadania wyjaśnienia funkcji regulacyjnych w procesie, ale nie załatwia wszystkiego. Nie wynika z niego wyraźne, organizacyjne wskazanie dotyczące rozwiązań nowoczesnych, skomputeryzowanych projektów automatyzacji, z ich daleko posuniętą integracją składników systemu, zarówno mechanicznych, jak i MSR.

Zagadnieniu poświęcone są DIN 40719 i IEC 848, w których normuje się sposób przedstawiania – w postaci projektów funkcyjnych – złożonych zależności w zakładach przetwórczych. Na rys. 11.9 podano mały wycinek drogi brzeczki według rysunków 11.7 i 11.8, raz jako słowny opis procesu według rozdziału 11.2.2.4, a ponadto jako projekt funkcyjny według DIN 40719. Jak z tego widać, w projekcie funkcyjnym tak jednoznacznie ustalono przebieg procesu, że jego projektant ponosi pełną odpowiedzialność za funkcjonowanie zakładu. Inżynier specjalista MSR ma przy programowaniu znacznie mniej miejsca do interpretacji aniżeli w przypadku korzystania z opisu procesu. Gdyby chcieć z podobną dokładnością wykonać opis słowny, to objętościowo byłby on bardzo duży, a jednocześnie stałby się nieprzejrzysty.

Wynikające z tego konsekwencje są analizowane wyczerpująco w rozdziałach 11.3.1 i 11.4.1.

Z przykładu tego wynika wyraźnie, że w procesie projektowania rolą technologa nie może być wykonanie i szczegółowa kontrola projektów funkcyjnych. To co należy mu powierzyć, to opis procesu, który powinien wykonać we współpracy z dostawcą. Projekt funkcyjny i schemat RI powinny jednakże później, w uruchomionym zakładzie, stać się obowiązkową lekturą obsługi i nadzoru. Jest to dlatego konieczne, że dokumentują one stan oczekiwany zakładu i zawierają wszystkie, aż do najdrobniejszego szczegółu, informacje potrzebne dla zrozumienia jego właściwego działania i zapobiegania zakłóceniom.

We własnym interesie kierownictwa zakładu leży zadbanie o to, aby schemat RI, opis funkcji i instrukcja obsługi były zawsze dostępne na każdym stanowisku pracy. Do zakończenia rozruchu o dostępność tych dokumentacji na stanowiskach pracy powinien zadbać dostawca, później kierownictwo zakładu. Do niego też należy wprowadzenie zasad organizacyjnych i koniecznej dyscypliny w bezkompromisowym

i ciągłym aktualizowaniu dokumentacji. Konieczne jest też wprowadzenie zasady, że każda, nawet najmniejsza, z pozoru nieistotna zmiana w zakładzie może być dokonywana tylko za pisemną zgodą kierownictwa.

11.3 Projektowanie procesów i EMSR wg norm DIN i w praktyce automatyzacji browarów

Niezależnie od rozważań w rozdziale 11.2, pogłębionych w rozdziale 11.4, a dotyczących znaczenia schematów RI, należy tu już na początku stwierdzić, że stanowią one dla inżyniera projektującego EMSR nieodzowną podstawę działania. Zgodnie z DIN 40719 i IEC 848 to samo dotyczy projektu funkcyjnego. W praktyce doświadczeni w branży programiści zadowalają się ustnym opisem procesu i wykorzystują jego możliwości interpretacyjne do kształtowania układu EMSR według własnej fantazji.

11.3.1 O programowaniu automatyzacji browaru

W programowaniu automatyzacji browarów technolodzy, konstruktorzy maszyn i projektanci są zbyt chętnie gotowi to „wyjście naprzeciw" swoich kolegów od programowania wykorzystać dla oszczędzenia sobie pracochłonnego i „obcego zawodowo" wysiłku dla opracowania projektów funkcyjnych. Cena, jaką trzeba zapłacić za to wygodnictwo, jest wyższa, a skutki bardziej dalekosiężne aniżeli zdają sobie z tego sprawę zainteresowani.

11.3.1.1 Skutki projektowania sterowania bez planu funkcyjnego

11.3.1.1.1 Niedopuszczalne rozszerzenie zadań programisty

Interpretacja ustnego opisu procesu powoduje, że inżynier opracowujący program kształtuje go w sposób w zasadzie funkcjonalny i zgodny z opisem procesu, ale mniej lub więcej odbiegający od zamierzeń inżyniera odpowiedzialnego za proces. Jedynym dokumentem jego interpretacji jest program zawarty w jego systemie SPS (sterowanie z programowalną pamięcią), którego odszyfrowanie dla osób trzecich jest wprawdzie możliwe, ale niezmiernie uciążliwe. Stanowi on wyłom w łańcuchu dokumentacji procesu i stwarza zależność od programisty. Być może w trakcie budowy zakładu kontakt z nim będzie jeszcze możliwy i stosunkowo łatwy, ale w czasie późniejszej działalności coraz trudniej będzie sobie z tym radzić.

11.3.1.1.2 Niedopuszczalnie zmniejszony wpływ technologa na funkcjonowanie „jego" zakładu

Na skutek zaniechania wykonania projektu funkcyjnego projektujący technolog nigdy szczegółowo i konsekwentnie nie sprawdził możliwości realizacji i dokumentacji swoich wyobrażeń o procesie. Dopiero w czasie testowania przy rozruchu zetknie się z wynikami zawartych w programie przebiegów funkcyjnych i wtedy może się okazać, że nie są one przez niego zamierzone. Koszty ewentualnych zmian i wyścig z czasem powodują najczęściej, że technolog, mimo uczucia zawodu, odstępstwa akceptuje, jeśli nie stawiają one pod znakiem zapytania losów zakładu.

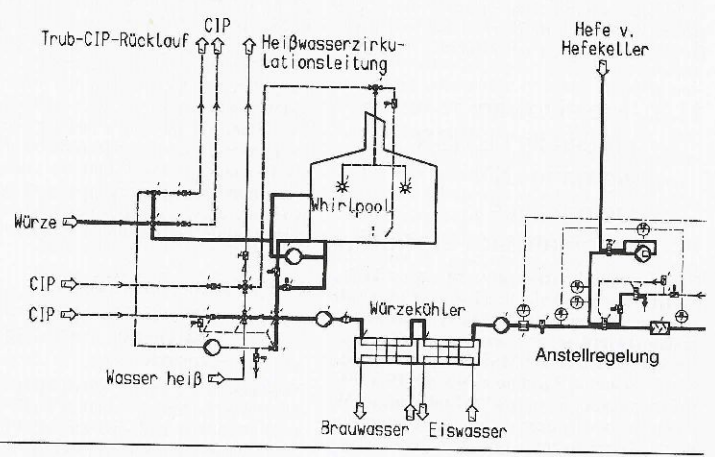
Z powstałym w ten sposób systemem nasz technolog nic identyfikuje się, nie zna go w szczegółach i w czasie uruchamiania zakładu jest niezdolny do działania bez „swego" programisty (patrz 11.3.1.1).

11.3.1.1.3 Brak ogólnej odpowiedzialności przeszkodą w optymalizacji i w pozyskiwaniu know-how

Jeśli nikt nie jest w całości odpowiedzialny za funkcjonowanie zakładu, nikt nie widzi też powodu do zaangażowania się w jego optymalizację. Zakład będzie w końcu działał przeciętnie dobrze, ale z jego doświadczeń nikt nie nauczy się zrobić tego lepiej następnym razem. Plan funkcyjny jest zatem równie niezbędny dla rzeczywiście skutecznej automatyzacji browa-

(ciąg dalszy str. 693)

Abb. 7 RI-Fließbild "Festverrohrung"



Rys. 11.7. Schemat RI „zarurowanie stale"

Informacje podstawowe

a) Rodzaj aparatów i maszyn łącznie z napędowymi, rurociągi lub drogi transportowe i armatury łącznie z zainstalowaną rezerwą
b) Nazwy aparatów i maszyn łącznie z napędowymi
c) Znamionowe wielkości aparatów i maszyn bez maszyn napędowych ewntualnie na oddzielnej liście
d) Oznaczenie średnic, wytrzymałości na ciśnienie, tworzywa i wykonanie rurociągów np. przez podanie ich numeru i klasy
e) Dane o ograniczeniach aparatów, maszyn, rurociągów i armatury
f) Określenie zadań dla mierzenia, sterowania i regulacji
g)Dane znamionowe maszyn napędowych, ewentualnie na oddzielnej liście.

Informacje dodatkowe

a) Nazwy i przepływy/ilości energii lub nośników energii
b) Droga i kierunek przepływu energii lub nośników energii
c) Rodzaj ważnych przyrządów do mierzenia, sterowania,regulacji
d) Ważne tworzywa aparatów i maszyn
e) Wysokość posadowienia aparatów i maszyn
f) Oznaczenie armatury

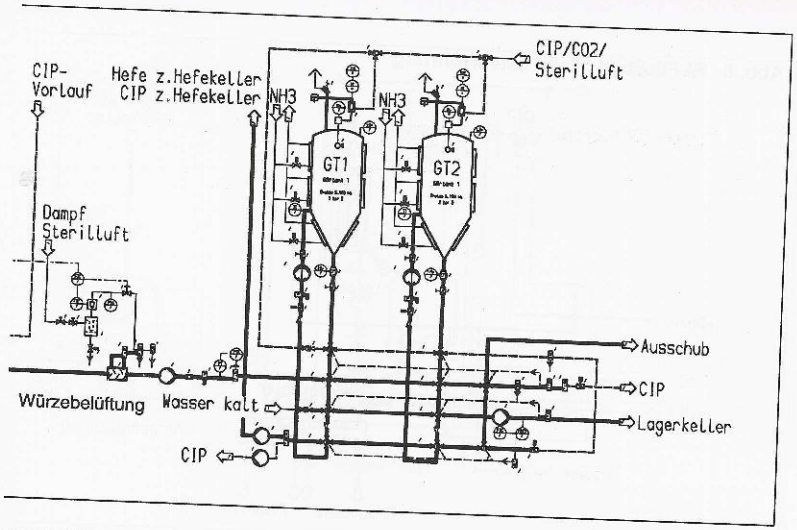
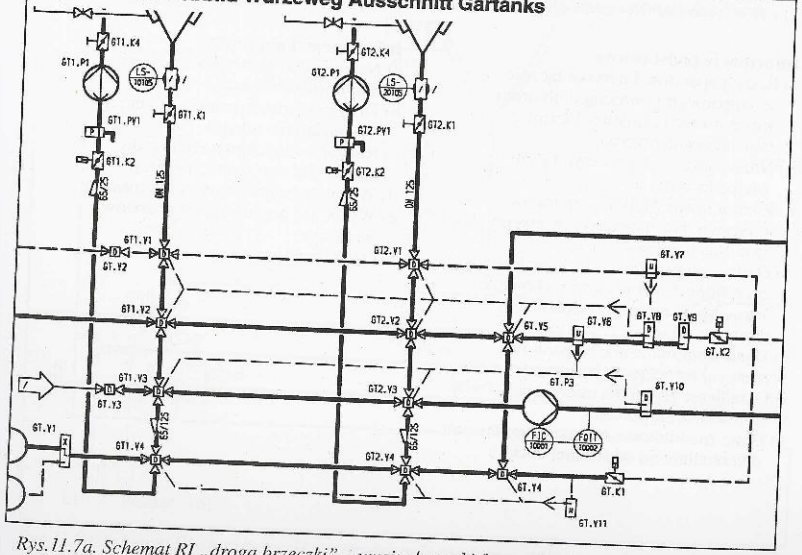
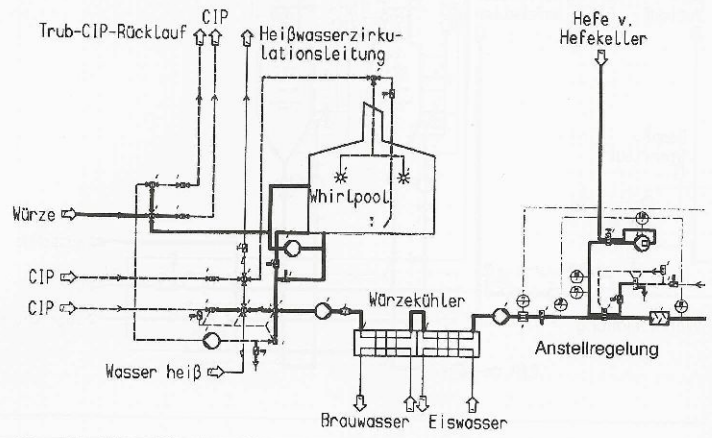


Abb. 7a RI-Fließbild Würzeweg Ausschnitt Gärtanks



Rys.11.7a. Schemat RI „droga brzeczki" – wycinek: tanki fermentacyjne

Abb. 8 RI-Fließbild "Teil-Festverrohrung"



Rys. 11.8. Schemat RI – „rurociągi częściowo stałe"

Informacje podstawowe

a) Rodzaj aparatów i maszyn łącznie z napędowymi, rurociągi lub drogi transportowe i armatury łącznie z zainstalowaną rezerwą
b) Nazwy aparatów i maszyn łącznie z napędowymi
c) Znamionowe wielkości aparatów i maszyn, bez napędowych, ewentualnie na oddzielnej liście
d) Oznaczenie średnic, wytrzymałości na ciśnienie, tworzywa i wykonanie rurociągów np. przez podanie ich numeru i klasy
e) Dane o ograniczeniach aparatów, maszyn, rurociągów i armatury
f) Określenie zadań dla mierzenia, sterowania i regulacji
g) Dane znamionowe maszyn napędowych, ewentualnie na oddzielnej liście.

Informacje dodatkowe

a) Nazwy i przepływy/ilości energii lub nośników energii
b) Droga i kierunek przepływu energii lub nośników energii
c) Rodzaj ważnych przyrządów do mierzenia, sterowania,regulacji
d) Ważne tworzywa aparatów i maszyn
e) Wysokość posadowienia aparatów i maszyn
f) Oznaczenie armatury

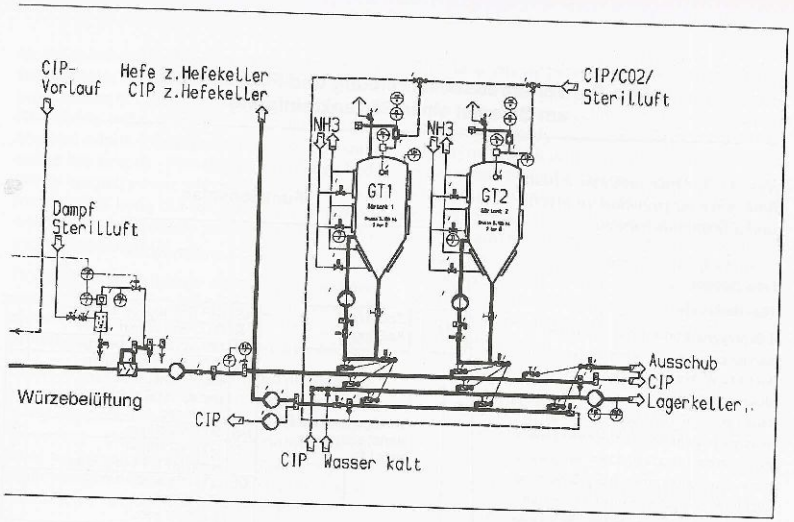
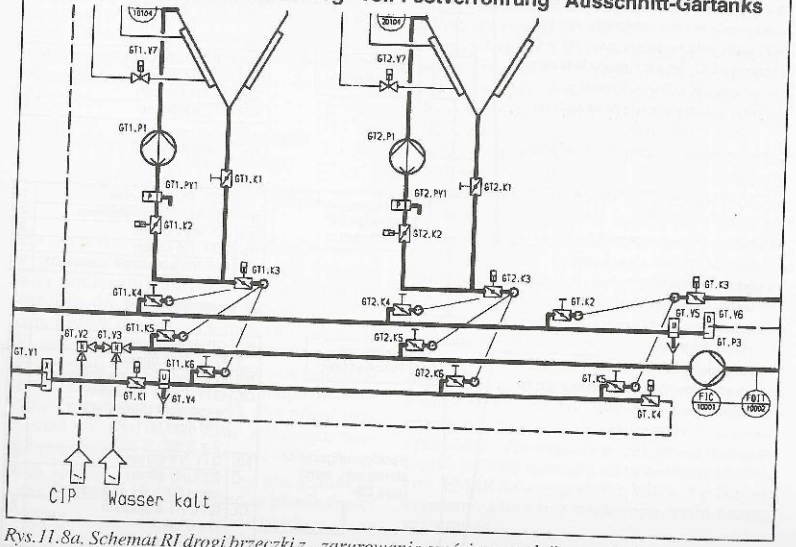


Abb. 8a RI-Fließbild: Würzeweg "Teil-Festverrohrung" Ausschnitt-Gärtanks



Rys. 11.8a. Schemat RI drogi brzeczki z „zarurowanie częściowo stałe" – wycinek: tanki fermentacyjne

Abb. 9 Verfahrensbeschreibung und Funktionsplan am Beispiel einer Gärtankreinigung

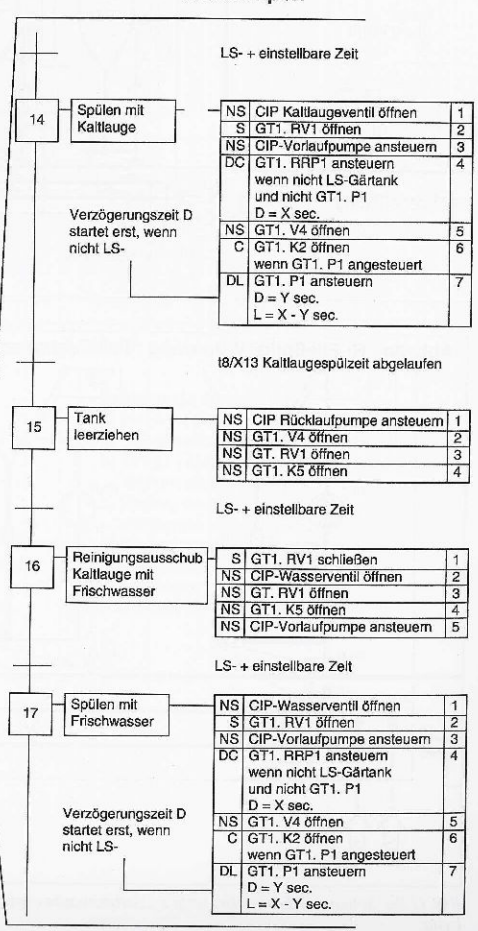
Rys. 11.9. Opis procesu i plan funkcyjny na przykładzie mycia tanku fermentacyjnego

Opis procesu

Plan funkcyjny

Dla przygotowania mycia tanku fermentacyjnego usuwa się w górnej części tanku CO_2. Wykorzystuje się tu fakt, że poduszka CO_2 jest w czasie opróżniania tanku pod nadciśnieniem sterylnego powietrza początkowo mało zmieszana z powietrzem i opada nad lustrem piwa, a przy odprężaniu tanku (natychmiast po meldunku o opróżnieniu) CO_2 jest niemal całkowicie wypchnięty. W czasie tego ostatniego kroku programu opróżniania zawór wydmuchu po stronie gazowej tanku ma być zamknięty, aby wykorzystać całe ciśnienie gazu do wypchnięcia CO_2. Mycie tanku składa się z następujących, kolejnych operacji:

1. płukanie wstępne wodą zwrotną 2 min. – wylot do ścieków
2. płukanie wstępne ługiem starym 3 min. – wylot do ścieków
3. płukanie wstępne wodą zwrotną 3 min. – wylot do ścieków
4. płukanie ługiem zimnym 45 min. - powrót do zbiornika ługu
5. płukanie wodą świeżą 3 min. - powrót do zb. wody zwrotnej
6. płukanie kwasem 15 min. – powrót do zbiornika kwasu
7. płukanie końcowe wodą świeżą 10 min. – powrót do zbiornika wody zwrotnej.



ru, jak schemat RI. Przy opracowywaniu planu funkcyjnego uwidaczniają się problemy nierozpoznawalne w czasie wykonywania schematu RI. Można tylko zalecić, aby za opracowanie obydwu odpowiedzialnością obarczyć tę samą osobę lub zespół. Powstające problemy będą wtedy rozpatrywane niezależnie i twórczo, a rozwiązania będą dla osiągnięcia najlepszych wyników uwzględniały zarówno plan funkcyjny, jak i schemat RI.

Do tego zadania nadaje się najlepiej inżynier integracji procesów, który najlepiej może pełnić rolę łącznika między odpowiedzialnym za proces a tym, który wykonuje zadania EMSR.

Dobre wykonanie pracochłonnego planu funkcyjnego jest jednakże dopiero wtedy możliwe, kiedy odpowiedzialni za proces – łącznie z piwowarem – poddadzą się dyscyplinie polegającej na przestudiowaniu wykonanego planu funkcyjnego i schematu RI, a następnie uzgodnieniu ich z inżynierem integracji procesu.

Poważna część poniesionych kosztów i czasu zwraca się już przez redukcję nakładów na oprogramowanie, reszta, razem z odsetkami i odsetkami od odsetek, w czasie oddawania do użytku, optymalizacji i utrzymania zakładu w ruchu.

11.3.1.2 Korzyści wynikające z planu funkcyjnego dla odpowiedzialnego technologa

Dla „sternika" zakładu plan funkcyjny razem ze schematem RI są tym, czym jest warsztatowy podręcznik dotyczący samochodu należącego do właściciela z rodzaju zrób-to-sam. Piwowar nie musi koniecznie zmierzać do samodzielnego przywrócenia prawidłowego stanu, kiedy w urządzeniach pojawiają się zakłócenia lub objawy „nieposłuszeństwa", natomiast ważne jest, aby umiał rozpoznać odstępstwa od stanu zadanego, ocenić je i spowodować ich usunięcie.

Stan zadany, czyli pożądany, jest jednakże jednoznacznie opisany tylko w planie funkcyjnym.

Nie dającym się przecenić zyskiem z posiadania planu funkcyjnego jest dokumentacja blokad zaprogramowanych w układzie sterowania. Niekiedy blokady takie stanowią przeszkody w płynnym przebiegu procesu i bywają nieroważnie usuwane, bez rozpoznania ryzyka, jakie postępowanie takie niesie, jak na przykład zabezpieczenie przed wymieszaniem produktu ze środkami myjącymi. Złośliwość rzeczy martwych ujawnia się przy usunięciu takich blokad w ten sposób, że niebezpieczny układ zdarzeń, przed którego skutkami blokady miały zabezpieczać, pojawi się po latach bezbolesnego przebiegu procesu.

11.3.2 Wprowadzenie do oprzyrządowania (Hardware) automatyzacji browarów i jego funkcje

W następnych rozdziałach poświęcimy uwagę zależnościom technicznym oraz ważnym szczegółom oprzyrządowania (Hardware), w zakresie przydatnym dla zrozumienia zasad działania przyrządów i systemów, z którymi technolog styka się bezpośrednio w zakładzie.
Dotyczy to szczególnie obydwu granic układu sterowania.
Na jednej znajdują się peryferie technik EMSR, które przez wbudowanie w rurociągi, aparaty i maszyny znajdują się w bezpośrednim kontakcie z piwem i środkami myjącymi, a przez to mogą wymagać ręcznej interwencji i „działań przekonujących" technologa.
Na drugiej granicy leży system kierowania procesem z pulpitem sterowniczym i/lub ekranem jako terminalem obsługi, w którym piwowar nadzoruje przebieg procesu i nim steruje.
Wiedzieć, jak te dwa końce funkcjonują i komunikują się między sobą przez leżące między nimi „czarne pudełko" złożone z kabli i szaf z przełącznikami, jest nie tylko interesujące, ale i przydatne. Zmniejsza się „lęk przed dotknięciem", jeśli się zauważy, że ta wielość składników EMSR działa zgodnie z kilkoma prostymi zasadami, które bez większego trudu można zrozumieć.

11.3.2.1 System kierowania procesem

W swoim charakterze najbardziej skomplikowana część Hardware, mianowicie komputer albo SPS (sterownik z programowalną pamięcią), wymaga najmniej objaśnień w dzisiejszych czasach, kiedy niemal każdy regularnie ma do czynienia z komputerem osobistym (PC). W systemie SPS chodzi jednakże o komputery programowane przy użyciu stosunkowo prostego, zorientowanego na zadania języka, które w mniejszym stopniu mają radzić sobie z ogromnymi ilościami danych „do obrobienia", natomiast mają szybko wykonywać liczne instrukcje wejść i wyjść sygnałowych.

11.3.2.1.1 O obróbce sygnałów w SPS

Wejścia są sygnałami od peryferii procesu, wyjścia natomiast są powstałymi w SPS sygnałami/rozkazami do elementów wykonawczych (głównie zawory i silniki, pompy, mieszadła itp). Wejścia informują SPS o istniejących stanach układu, a SPS porównuje je ze stanami zadanymi, które dla każdego kroku w przebiegu procesu zostały przewidziane w planie funkcyjnym.

Zadaniem SPS jest doprowadzenie w każdym momencie do zgodności stanów „jest" i „ma być". Zwykle, przy stwierdzeniu odstępstw, udaje się to osiągnąć przez wysyłanie przez SMS rozkazów (wyjść) powodujących zmiany stanów „jest", po których meldunek zwrotny (wejście) potwierdza wykonanie rozkazu. Jeśli się jednakże pojawi meldunek „otwarty" z zaworu, który zgodnie z programem i rozkazem ma być „zamknięty", jedyną rzeczą jaką może zrobić SPS, to zarejestrować zakłócenie i zareagować wg zaprogramowanej rutyny.

Jeśli zarejestrowany „nielogiczny" sygnał zwrotny koliduje z aktualnie biegnącym programem (blokada), odpowiednia funkcja zostanie zastopowana lub nie zostanie przełączona do następnej fazy. Jednocześnie powstanie sygnał o zakłóceniu wymagający decyzji lub pomocy obsługi.

Jeśli takie „nielogiczne" wejście pojawi się z rejonów procesu nie mających nic wspólnego z aktualnie biegnącymi programami, to meldunek zostanie zarejestrowany jako zakłócenie, jednakże tak długo nie będzie wpływał na aktualnie realizowany proces, dopóki nie dojdzie do punktu, w którym ma być włączony krok programu zablokowany na treść tego meldunku zwrotnego.

11.3.2.1.1.1 O komunikacji między piwowarem a SPS

Piwowar w sterowni może reagować na podobne zakłócenia na wiele sposobów: w idealnym przypadku znajdzie błąd i sam go usunie, co jest możliwe szczególnie przy sygnałach zwrotnych płynących od zaworów.

Jeśli nie może sam usunąć przyczyny, to wydatnie pomoże technikowi serwisu i umożliwi mu celowe działanie, opisując dokładnie zakłócenie.

Złym zwyczajem jest kasowanie sygnału o zakłóceniu przez ręczne przywrócenie stanu pożądanego. Zrobić to można albo interweniując w urządzenia peryferyjne, albo na drodze manipulacji przez symulowanie meldunku o stanie (położeniu). W wyjątkowych przypadkach, ktoś doskonale obeznany z urządzeniami może sobie pozwolić i na takie postępowanie, jeśli umożliwi ono wyjście z krytycznej sytuacji (np. zakończony program mycia tanku potwierdzić – przy zdefektowanym sygnale – przez zasymulowanie stanu „pusty tank", aby umożliwić rozpoczęcie chłodzenia brzeczki i napełniania tanku). Jest jednak niesłychanie ważne, aby w możliwie najkrótszym czasie rzeczywiście usunąć przyczynę zakłócenia.

Nowoczesne systemy sterowania dają możliwość ominięcia warunków wymaganych dla przejścia do następnego ogniwa w łańcuchu zaprogramowanych kroków poprzez funkcję „przełączać dalej bez warunków" (oznacza to przełączenie do następnego kroku bez otrzymania warunkującego go sygnału). Dokonuje się to bez konieczności zewnętrznej manipulacji na peryferiach.
Przykład: krok „wypchnięcie wody przez ług" nie jest zakończony, ponieważ nie zadziałał pomiar przewodności na odpływie.
Rozwiązanie: przez funkcję „przełączać dalej bez warunków" zastępuje przełączenie ręczne na krok „płukanie ługiem w obiegu".
Ze względów bezpieczeństwa funkcja ta powinna być zakodowana.

11.3.2.1.2 O sposobie pracy i konfiguracji sprzętu (Hardware) w układzie SPS

Zadaniem SPS jest wykonywanie zaprogramowanych w planie funkcyjnym kroków, stale porównując wszystkie meldowane z peryferii procesu wartości rzeczywiste (wejścia) z zadanymi (instrukcje) i doprowadzanie ich przez rozkazy (wyjścia) do zgodności. Ściśle biorąc komputer może wykonywać tylko jedno zadanie w określonym czasie, stąd pojęcie „stale" należy odczytywać jako „z częstotliwością graniczącą z ciągłością", z którą jednostka centralna (CPU = *Central Processing Unit*) obrabia cyklicznie instrukcje, wejścia i wyjścia.
Serce CPU – czyli „taktowanie" – działa w powszechnie stosowanych systemach SPS z częstotliwością 1 MHz, co oznacza wysyłanie co sekundę 1 miliona impulsów (= kroków roboczych) do CPU. Z tą właśnie prędkością instrukcje (program) będą przebiegały cyklicznie, a wejścia i wyjścia sprawdzone względnie wyemitowane. Cyklem jest jednorazowy przebieg całego programu, którego trwanie (czas cyklu) zależy od objętości programu i liczby wejść i wyjść. Programy o znacznej objętości mogą zawierać do 100.000 instrukcji; jeśli zważy się ponadto, że programy – zależnie od złożoności – mogą także zawierać pętle o kilkakrotnym przebiegu, praktyczne trwanie cyklu wynosi od 0,1 do 0,5 sekundy.
W czasie projektowania należy, oczywiście, zwracać uwagę na to, że szybkie impulsy (np. z liczników) dłużej czekają w kolejce aniżeli trwa czas cyklu systemu SPS. Dla złożonych (rozległych) instalacji przetwórczych (z czasami działania zaworów około 5 do 30 sekund) maksymalny czas cyklu do 0,5 s może być zgodnie z doświadczeniem akceptowany bez problemów. Do sterowania maszyn (np. do rozlewu) konieczne są, oczywiście, czasy cykli liczone w miliskundach, ale programy są tutaj szczęśliwie znacznie krótsze i mogą być ponadto podzielone na kilka szybkich systemów SPS.
Mimo niezwykłej prędkości, z jaką pracuje CPU, trzeba zadbać o to, żeby ustalone wyjścia były przekształcane w rzeczywiste sygnały o mocy pozwalającej na przekazanie ich do urządzeń peryferyjnych. Zadanie to przejmują grupy przetworników mocy wyjść.

Lokalizacja określonych przetworników wejść i wyjść SPS może mieć miejsce albo w centralnej rozdzielni, albo być rozproszona w zdecentralizowanych szafkach przy urządzeniach peryferyjnych. Są one powiązane z CPU magistralą, wieloprzewodowym kablem z angielska nazywanym „bus" (w tym przypadku „bus peryferyjny"). Z nadawcami i odbiorcami sygnałów peryferii procesu wejścia i wyjścia połączone są jednym przewodem. Jeśli urządzenia zakładu rozmieszczone są na dużej przestrzeni, to decentralizacja wspomniana wyżej może być źródłem znacznych oszczędności w instalacjach elektrycznych: na przewodach, ich układaniu i innych związanych kosztach.

Jeśli jeden system SPS nie wystarczy dla sterowania dużym zakładem, stosuje się podział na odpowiednie człony technologiczne, sterowane przez własne SPS. Dla sprzęgnięcia tych systemów ze sobą, koniecznego dla wymiany informacji między nimi, stosuje się także połączenia przez magistrale. Od projektantów oczekuje się, że liczba sygnałów sprzężenia pomiędzy poszczególnymi układami SPS będzie możliwie najmniejsza, aby program pozostał przejrzysty, a zaangażowanie pamięci SPS we wzajemną komunikację – ograniczone. Widać z tego wyraźnie, że duże zakłady, z wieloma połączonymi w sieć systemami SPS, stawiają wysokie wymagania dotyczące kompetencji potencjalnych dostawców.

11.3.2.2 O wymianie sygnałów między urządzeniami peryferyjnymi procesu a SPS

Z wyglądu rozdzielni grupowych sygnałów wejściowych i wyjściowych widać, że wielość konstrukcji urządzeń peryferyjnych redukuje się w nich do funkcji nadawcy i odbiorcy sygnałów. Ujednolicenie idzie jeszcze dalej, ponieważ z punktu widzenia właściwości elektrycznych istnieją tylko dwie kategorie sygnałów – dwójkowe i analogowe.

11.3.2.2.1 Sygnały dwójkowe (binarne)

Mogą one, jak nazwa wskazuje, przyjmować tylko dwa położenia przełączające: 0 i 1, wyrażone napięciem 0 lub 24 V. W związku z tym, mogą one zauważać lub powodować tylko dwa stany: włączony/wyłączony, otwarty/zamknięty, tak/nie.
Typowymi składnikami urządzeń peryferyjnych z funkcją meldunkową są nadajniki wartości granicznych wielkości mechanicznych, fizycznych lub chemicznych, które przez różnorodne czujniki są w procesie wychwytywane i przez przetworniki przekształcane na sygnały dwójkowe 0 i 24 V.

11.3.2.2.1.1 Wejścia sygnałów dwójkowych z sygnalizatorów położenia. Ocena i szczególne właściwości przełączania

Sygnalizatory położenia zaworów i łuków przełączających występują najczęściej w postaci wyłączników mechanicznych lub bezstykowo działających czujników zbliżeniowych. Ze względu na koszty, nadzoruje się często tylko jedno krańcowe położenie, mianowicie to, z którym w sterowaniu związane są warunki wprowadzania blokady.

Przy obchodzeniu się z takimi sygnałami i w ocenie ich znaczenia uwzględnić należy:

1. Zawory pneumatyczne instaluje się najczęściej w taki sposób, że przy braku dopływu energii sprężyna ustawia go w pozycji „bezpiecznej". Ta pozycja, zwana spoczynkową, oznacza często zamknięcie (np. na wylocie z tanku lub dopływie CIP), ale także bywa otwarciem (zawór wycieku w kombinacjach „Block & Bleed", patrz rozdział 11.4.2.3).

2. Jeśli nadzoruje się tylko jedno położenie krańcowe, to jest nim położenie „bezpieczne", a więc z reguły stan spoczynku zaworu. Włączony włącznik graniczny może zatem oznaczać zarówno zawór otwarty, jak i zamknięty.

3. Dozór położenia granicznego ma często wbudowane połączenie zwane spoczynkowym, gwarantujące, że sygnał 0, powstały np. na skutek przerwania przewodu na dopływie prądu do wyłącznika krańcowego, nie zostanie odczytany jako „zawór w stanie spoczynku", przez co wywołane blokady mogą prowadzić do absurdów. W przeciwieństwie zatem do „naturalnego odczucia" piwowara, w tym systemie położenie spoczynkowe zaworu jest sygnalizowane na wejściu sterującym przez 24 V, a położenie zaktywizowane przez 0 V.

4. Z systemu połączeń spoczynkowych niczego nie da się zauważyć, jeśli o stanie nastawników chce się wnioskować przez obserwację lampek sygnalizacyjnych w schemacie mnemotechnicznym lub obserwację sygnalizatorów położenia na ekranie. Aby i tutaj wyjść naprzeciw naturalnemu odbiorowi, SPS przekształca sygnał i markuje oczywiście aktywację zaworu przez świecenie odpowiednich lampek.

5. Wspomnieć jeszcze należy o funkcji „sprawdzanie czasu przebiegu". Sterowanie wychwytuje niezgodność między stanem poleconym a aktualnym jako zakłócenie. Podczas trwania przełączania zaworu, między ustaleniem wyjścia = rozkazu i zmianą wejścia = meldunku powrotnego, „sterowanie oszukuje się samo", przez zaniechanie oceny stanu wejścia przez zaprogramowany czas trwania przełączania zaworu względnie przez umyślne przeoczenie niezgodności między rozkazem a sygnałem o jego wykonaniu.

11.3.2.2.1.2 Wejścia sygnałów dwójkowych od sygnalizatorów wielkości granicznych przyrządów pomiarowych. Ocena i szczególne właściwości techniczne połączeń

Sygnały dwójkowe mogą powstawać:

1. w rzeczywistych dwupołożeniowych nadajnikach wartości granicznych, np. przełącznikach pływakowych dla oznaczania poziomu,

2. przez kontakty wartości granicznych (zwykle nastawialne) w przyrządach pomiarowych, np. termometrach czy manometrach kontaktowych.

Dla oceny logiki tych sygnałów dwójkowych obowiązuje także wszystko to, co opisano przy omawianiu sygnałów granicznych położenia zaworów. Jeśli np. od sygnału o granicznym stanie poziomu zależy zabezpieczenie zbiornika przed przelaniem, to także tutaj instaluje się połączenie spoczynkowe decydując się raczej na przerwanie napełniania tanku aniżeli na ryzyko straty produktu lub uszkodzenia tanku.

Należy tu jeszcze wspomnieć o tzw. czasie kontroli przy eksploatacji nadajników wartości granicznych, którego niezrozumienie powoduje irytację obsługi na przedłużanie się oczekiwania kolejnego kroku programu.

Automatyk zawsze wychodzi z założenia, że poszczególne elementy każdego systemu mogą zawodzić i wbudowuje – dla ograniczenia szkód – opóźnienia wejść lub czasy kontroli. Dla ich określenia wielkie znaczenie mają wartości doświadczalne.

Wiadomo np., że czujniki przewodności do kontroli alkaliczności roztworów CIP często zawodzą na skutek zabrudzeń na powierzchniach. Dla uniknięcia w takim przypadku przedozowania koncentratu ługu przy wzmacnianiu roztworu, razem z pompą dozującą włącza się czas kontroli, nieco dłuższy niż wynikający z praktyki czas wzmacniania roztworu i pompa wyłącza się sama, jeśli zawiedzie sygnał z czujnika. Obsługa otrzymuje sygnał o tym zajściu i może podjąć usuwanie jego przyczyny.

Innym hitem z listy przebojów ekspertów od programowania jest „zapamiętywanie sygnałów" przy ocenie opróżniania tanków z produktów. Czujnik – zwykle zbudowany, jak poprzednie, jako wyłącznik graniczny przewodności elektrycznej – służy jednocześnie jako sygnał opróżnienia tanku i jako wejście blokujące dla rozpoczęcia mycia. Wiadomo jednak z doświadczenia, że szczególnie przy dużych tankach, sonda sygnalizująca opróżnienie jeszcze przez pewien czas po opróżnieniu pokryta jest resztkami cieczy spływającymi ze ścian i przez opadającą pianę. Aby nie wstrzymywać rozpoczęcia mycia przez wspomnianą blokadę, symuluje się przez zapamiętywanie sygnałów – przy zakończeniu programu opróżniania i aż do rozpoczęcia programu CIP – sygnał „pustości tanku".

11.3.2.2.1.3 Wyjścia sygnałów dwójkowych do zaworów i silników. Właściwości techniczne połączenia. Poziom zawór/silnik (poziom VM)

Wyjścia pracują jak wszystkie sygnały dwójkowe na 24 V. Są włączane przez tranzystory na modułach wyjściowych, kiedy CPU wydaje rozkaz do peryferii procesu albo gdy operator przy aktywnym pulpicie mnemotechnicznym lub monitorze wydaje podobny rozkaz ręcznie.

W nowoczesnych systemach sterowania SPS całe sprawdzanie logiki i blokad wydanego rozkazu następuje w CPU, w której także ręcznie wydane przy pulpitach mnemotechnicznych lub ekranach rozkazy są opracowywane i badane pod kątem kolizji i warunków blokad.

W latach siedemdziesiątych nie ufano niezawodności systemów SPS tak jak ma to miejsce dzisiaj i zaopatrywano je w tak zwany „dodatkowy poziom sterowania zawór/silnik (poziom VM)", który w przypadku awarii SPS, i tym samym programów automatyki, pozwalał przez tak zwane blokady podstawowe na bezpieczne operacje ręczne z pulpitu. Ten poziom VM otrzymywał rozkazy nastawiania z dwóch niezależnych źródeł: SPS i z pulpitu, po czym przekazywał je, po sprawdzeniu z ewentualnie oczekującymi blokadami, bezpośrednio na peryferie procesowe jako 24-voltowe wyjścia dwójkowe.

Dla objaśnienia jeden przykład: na wejściu modułu VM znajduje się meldunek o otwarciu w tanku zaworu wlotowego CIP, a jednocześnie na pulpicie został przez pomyłkę wciśnięty ręcznie przycisk rozkazujący otwarcie zaworu produktu. Rozkaz ten nie zostanie dalej przekazany i przebieg procesu mycia nie zostanie przerwany, natomiast operator zostanie poinformowany o swojej pomyłce przez mruganie światła na błędnie wciśniętym przycisku. Gdyby spowodował otwarcie zaworu przez działanie bezpośrednio przy zaworze, to sygnał zwrotny pojawiłby się na module VM i doprowadził do przerwania programu mycia i zamknięciu zaworu wlotowego CIP do tanku.

Z przykładu wynika, że w urządzeniach z poziomem VM możliwe było, bez zagrożenia, równoległe działanie programów automatyki i ręcznego sterowania, przez co osiągano wysoki stopień elastyczności w prowadzeniu procesu. Zaniechanie budowy takich systemów dzisiaj wynika, z jednej strony, z wysokich kosztów projektowania i wyposażania poziomów VM, a z drugiej – zwiększonej niezawodności systemu SPS, który – oczywiście w stanie pełnej sprawności – wykazuje tę samą funkcjonalność, co na stałe okablowany poziom VM.

Ponadto chciano odejść od sztywności stałych okablowań poziomów VM i aktywnych pulpitowych schematów przepływów. Brakiem sukcesu zakończyły się usiłowania zastąpienia poziomów VM przez podkładkę VM-SPS, w której powiązane są wyłącznie sterowanie ze schematu przepływów, podstawowe blokady i zgrupowania wejść i wyjść, a programy automatyki instaluje się w nakładce SPS.

Dzisiaj jest już normą osadzenie w jednym SPS wszystkich funkcji blokad oraz sterowania ręcznego i automatycznego określonego zakresu procesu. Uważa się, że albo da się żyć z ryzykiem awarii takiego układu, albo że można go uniknąć korzystając z redundancji (nadmiaru informacji) SPS według zasady „gorącej" lub „zimnej" rezerwy. Problemem jest tu w mniejszym stopniu zagwarantowanie możliwości obsługi i prawidłowego przebiegu procesu aniżeli zabezpieczenie przed utratą wszystkich zgromadzonych danych procesu, w tym jego aktualnego stanu w momencie powstania awarii.

Wróćmy do sprawy naszego dwójkowego, 24-voltowego sygnału dotyczącego zaworu lub silnika. Moc sygnału wystarczy do niezawodnego przekazu na odległość, ale w większości przypadków nie do wykonania rozkazu. Z tego względu nie przesyła się go bezpośrednio do urządzenia peryferyjnego, ale do przetwornika, który przekształca go w postać i moc konieczną do uruchomienia zaworu lub silnika.

Zawory przełączające (w przeciwieństwie do regulacyjnych) są w browarach wyposażone w przeważającej części w siłowniki pneumatyczne (powietrze pod ciśnieniem), ze sprężyną zwrotną powodującą, że po odcięciu energii przestawiają się w bezpieczny stan spoczynkowy (patrz 11.3.2.2.1.1). Powietrze o ciśnieniu 5 do 8 bar jest kierowane do przetwornika w postaci elektromagnetycznego zaworu „pilotowego", uruchamianego bezpośrednio przez 24-voltowy, dwójkowy rozkaz dotyczący wymaganego położenia zaworu. Zawory pilotowe bywają instalowane w tzw. szafkach zaworów pilotowych w bliskości sterowanych zaworów albo bezpośrednio na siłowniku, często w tzw. głowicy sterującej.

Istnieje wiele poglądów na temat czy i w jakiej postaci (elektrycznie czy mechanicznie) należy przewidywać miejscowe operacje ręczne i jakie są tego uwarunkowania. Z jednej strony dotyczy to dyskutowanej w tym rozdziale filozofii stosowania czy niestosowania obsługi ręcznej, z drugiej zaś – objaśnianego w rozdziale 11.3.2.1.2 centralnego lub zdecentralizowanego umiejscawiania rozdzielni wejść i wyjść. Jeśli są zainstalowane miejscowo, to już niedaleka jest droga do inteligentnego zdecentralizowanego terminalu obsługi, przy wykorzystaniu którego działają zaprogramowane blokady bezpieczeństwa.

Silniki są sterowane poprzez przetworniki sygnałowe w postaci styczników, w których wyjście 24 V z SPS przekształcane jest na prąd zmienny 380 V, z mocą wystarczającą do uruchomienia silnika. Styczniki są same w sobie małymi sterownikami, pełniącymi funkcje takie, jak pomoc rozruchowa (łączenie trójkąt/gwiazda) i blokady zabezpieczające przed przegrzaniem lub nadmiernym prądem. Z uwagi na występujące tu wysokie napięcie, należy przestrzegać bardzo ostrych przepisów bezpieczeństwa dotyczących rodzaju zabezpieczeń i sposobu budowy rozdzielni w pomieszczeniach mokrych, co może ograniczać korzyści ekonomiczne płynące z decentralizacji. Operatorzy procesu muszą być przeszkoleni w zakresie postępowania z urządzeniami rozdzielni pracujących pod wysokim napięciem.

11.3.2.2.2 Sygnały analogowe

Podczas gdy sygnały dwójkowe podają przez 0 lub 24 V wyłącznie przekroczenie pewnej wartości granicznej, to analogowe informują, w którym punkcie uzgodnionej skali od 0 do 100% znajduje się aktualna wielkość. Używa się sygnałów jednostkowych 0 do 20 mA, 4 do 20 mA albo 0 do 20 V. W technice procesowej przewagę uzyskał sygnał 4 do 20 mA, ponieważ daje on jednocześnie możliwość oceny, czy jest prąd w przewodach przy przerwach w jego dostawie. W regulacjach pneumatycznych używa się najczęściej jednostkowego sygnału pneumatycznego 1,2 do 2,0 bar. 50% określonego zakresu pomiarowego wyrazi się więc w postaci sygnału analogowego wynoszącego 10 lub 12 mA, 5 V albo 1,6 bar ciśnienia absolutnego. Sygnału analogowego nie da się więc interpretować bez znajomości zastosowanego sygnału jednostkowego i ustalonego na 0 do 100% zakresu pomiarowego określonego parametru. Sygnał analogowy ewentualnie cały system czujników pomiarowych, przetworników i wskaźników musi być skalibrowany. Więcej na ten temat można znaleźć w normie DIN 19226 i literaturze fachowej na temat technik pomiarowych i regulacyjnych.

Sygnały analogowe służą do:

1. zdalnego nadzoru i odczytywania w sterowniach działowych lub centralnych wskazań wielkości mierzonych parametrów,
2. regulacji parametrów.

11.3.2.2.2.1 Sygnały analogowe i analogowa technika regulacji

Klasyczna technika regulacji obejmuje:

1. czujniki i przekaźniki na peryferiach procesu, przekształcające pewną wielkość parametru procesu w sygnał analogowy,
2. regulator, otrzymujący jako wejście sygnał analogowy rzeczywistej wartości parametru (wielkości regulowanej), porównujący ją z wartością zadaną i wytwarzający zgodnie z właściwym dla niego algorytmem sygnał wyjściowy (nastawczy), zdolny do zrównania wartości aktualnej z zadaną i
3. nastawnik, działający w odpowiedzi na analogowy sygnał nastawczy regulatora.

Nastawnikiem jest najczęściej zawór regulacyjny.

Jeśli nastawnik ma pneumatyczny siłownik membranowy, to można go wprowadzić w ruch jako wielkość nastawianą bezpośrednio przez jednostkowy sygnał analogowy wielkości 1,2 do 2,0 bar. Jeśli sygnał analogowy aktualnej wielkości parametru, jak i regulator są pneumatyczne, to powstaje wtedy całkowicie pneumatyczna pętla regulacyjna, bardzo często występująca w browarach.

Pomiar i regulacja mogą być równie dobrze elektryczne, a i przełączanie zaworów może być elektromotoryczne. Znanym przykładem jest zawór na instalacjach centralnego ogrzewania, w którym mieszają się odpływ i dopływ do pieca. Bardzo często spotyka się też układy mieszane, w których występują elektryczny pomiar, przesłanie sygnału analogowego i regulacja, razem z pneumatycznymi zaworami regulacyjnymi. W takim przypadku elektryczna wielkość regulowana jest przetwarzana w elektropneumatycznym przetworniku sygnału analogowego – zwanym regulatorem pozycyjnym. Jest on umiejscowiony przed zaworem pneumatycznym na nastawniku i zdolny, przez bezpośrednie sprzęgnięcie mechaniczne, do wysyłania meldunków zwrotnych o położeniu trzpienia zaworu. W regulatorze pozycyjnym wielkością zadaną jest wielkość regulowana regulatora głównego, a regulowaną jest położenie trzpienia zaworu.

Funkcja nastawnika w pętli regulacyjnej może w rzadkich przypadkach być przejęta przez silnik pompy, którego regulator obrotów uznaje wielkość regulowaną za nastawianą.

11.3.2.2.2.2 Sygnały analogowe i dwójkowa technika regulacji

W dotychczasowym opisie technik regulacji nie występowały wcale takie pojęcia, jak system prowadzenia procesu i SPS, tak jakby i dzisiaj, tak samo jak przed piętnastu laty, w dobie rozkwitu aktywnych schematów mnemotechnicznych wskaźniki parametrów i regulacje następowały na przyrządach w sterowni. Tak jest jednakże tylko w wyjątkowych przypadkach, z reguły wartości mierzone ukazują się w postaci cyfrowej na ekranie, a regulacja w SPS jest także cyfrowa.

Aby to umożliwić, SPS pokazuje poza opisanymi dwójkowymi także analogowe sygnały wejść i wyjść. W nich nasze jednostkowe sy-

gnały analogowe mierzonych parametrów procesu, np. 0 do 20 mA, są przetwarzane na cyfrowe i odwrotnie, powstałe w programie/regulacji SPS cyfrowo podane wielkości regulowane są „wysyłane" do nastawników jako jednostkowe sygnały analogowe. Tego rodzaju wartości cyfrowe włączone są w ośmio-, dziesięcio- i dwunastobitowe kody dwójkowe, które w miarę zwiększania liczby bitów są jakościowo równie dobre jak początkowe sygnały analogowe.

Przekształcenie sygnałów analogowych na wartości cyfrowe może wystąpić także bezpośrednio w czujnikach lub siłownikach, poza grupą wejść/wyjść SPS, przez wbudowane przetworniki analogowo-cyfrowe. Komunikacja między czujnikiem względnie siłownikiem a SPS jest wtedy cyfrowa i pozwala na ominięcie przesyłu analogowego sygnałów, w większym stopniu wrażliwego na zakłócenia zewnętrzne, przez co wymagające kosztowniejszych, ekranowanych kabli.

Przy wielości czujników i siłowników analogowych w zakładzie dochodzi tu jeszcze znaczna oszczędność wynikająca z zastąpienia wielu analogowych kabli sygnałowych przez jeden kabel: magistralę (bus).

11.3.2.2.3 Hybrydowe systemy analogowo-cyfrowe

W swojej krótkiej historii automatyzacja w browarnictwie przeżyła już kilka generacji sprzętu i systemów, które w większości browarów pozostawiły ślad w postaci wyposażenia poszczególnych części zakładów w różny sposób. Jeśli nawet nie odpowiadają one najnowszym osiągnięciom techniki, to działają dalej zbyt dobrze, aby z nich zrezygnować. Istnieje więc zapotrzebowanie na usprawnienie starszych metod sterowania i włączenie ich do nowoczesnych systemów kierowania procesem, oraz gromadzenia i wykorzystania danych.

Szczególną pomysłowość w rozwoju analogowo-cyfrowych systemów hybrydowych wykazali producenci regulatorów. Zdecentralizowane regulatory w bliskości procesu mają w realizacji szybkich zadań regulacyjnych znaczną techniczną przewagę nad programowanymi regulatorami systemów SPS, związanymi z cyklem CPU 0,1 do 0,5 sekundy. Nowe regulatory instalowane w linii procesu są tak wykonywane – a stare mogą być przez elementy dopasowujące odpowiednio przystosowane – że cyfrowe meldunki do SPS i na ekranie w sterowni mogą być bez problemów realizowane, podobnie jak sztuczki w rodzaju zewnętrznego przyłączenia wielkości zakłócających albo zmiany wielkości zadanych.

Bez wątpienia nie wszystko co nowoczesne i dobre musi być lepsze od tego, co było powszechnie stosowane we wcześniejszych rozwiązaniach. Kto pracował stosując aktywne mnemotechniczne schematy przepływów z dodatkowym poziomem VM, doceni wprawdzie wygodę sterowania z ekranem, żal mu jednak czasem będzie tej kombinacji szczegółowych informacji i ogólnej przejrzystości, ułatwiającej mu poprzednio działanie. Z tych też powodów można zrozumieć, że duże – i z pewnością nie podejrzewane o zacofanie techniczne – browary wyposażają swoje sterownie w aktywne mnemotechniczne schematy przepływów.

Dążność do nieprzesadzenia w centralizacji, szczególnie przy regulacji w systemach SPS, płynie także z obawy przed piekłem, jakie może wybuchnąć, gdy zawiedzie regulator programowany i wymknie się spod kontroli cały zespół cylindryczno-stożkowych tanków fermentacyjnych i leżakowych.

11.4 Zadania i instrumentarium integracji procesów

W rozdziale 11.2 wyraźnie podkreślono, że instrumentarium prezentowania i projektowania zaproponowane w niemieckich normach nie jest wystarczające dla rozwiązywania technicznych lub organizacyjnych zadań dotyczących automatyzacji browarów. Tematy związane z techniką CIP i rurowania bezwzględnie szczelnego i przystosowanego do CIP nie zostały dotąd podjęte. Istnieje zatem konieczność organizacyjnego przerzucenia pomostów między zorientowanymi na proces technologiem i konstruktorem z jednej, a inżynierem EMSR z drugiej strony. Konieczność ta powoduje przypisanie do zadań inżyniera integrującego proces przygotowanie faz planowania 5 – schematu RI, oraz 6 – planu funkcyjnego. W następnych rozdziałach przedstawiono, jakie dalsze zadania go czekają i jakie tematy wymagają szczególnie intensywnego współdziałania technologa.

11.4.1 Zadania inżyniera integracji procesów przy opracowaniu schematu RI ze schematu przepływów

Z jednego schematu przepływów można opracować wiele różniących się między sobą schematów RI. Odnosi się to przede wszystkim do alternatywnych zakresów stałego zarurowania i automatyzacji, przy czym zamierzenia związane z zakresem automatyzacji i zakresami inwestycji powinny być określone przed rozpoczęciem pracy nad schematem RI.

Dla powodzenia projektu, szczególnie w wyposażaniu piwnicy, decydujące znaczenie ma konieczny podział fazy projektowania 5 na trzy podrozdziały: plan produkcji, schemat wyposażenia i schemat RI. Może to być wykonane przez inżyniera integracji procesów w ścisłej współpracy z technologiem.

11.4.1.1 Faza projektowania 5.1: Rozważania dotyczące wydajności/elastyczności przy opracowywaniu planu produkcji

W schemacie przepływów podana jest przepustowość wszystkich części wyposażenia tworzących określoną linię, w tym liczba i pojemność tanków procesowych. Wewnątrz linii technologicznych, takich jak warzelnia, chłodzenie brzeczki lub filtracja piwa, ujawniają się w ten sposób wyraźnie ilości, wymiary i rozkłady przepływów. Wynikają one z przepustowości, przebiegu technologicznego i konfiguracji aparatów w tych częściach linii, które dostawca ustala na podstawie wymagań klienta.

Zupełnie inaczej wygląda to w dziale tanków fermentacyjnych, drożdżowych, leżakowych i ciśnieniowych. Tutaj o ukształtowaniu przepływów – a przez to schematu RI i planu funkcyjnego – nie decyduje określenie funkcji dostarczone przez dostawcę, ale wyobrażenia klienta o wymaganej technologii. Środkiem organizacyjnym służącym wyjaśnianiu związanych z tym pytań jest opracowanie planu produkcji i, na nim się opierając, schematu obciążeń przepływów.

Skierowana do technologa prośba inżyniera integracji procesu o pomoc przy opracowaniu przyszłościowego planu produkcji spotyka się z reguły z reakcją typu: „Mogę określić, jak wygląda moje spektrum produkcyjne (produkty, ilości), etapy technologiczne (czas fermentacji, czasy chłodzenia, ściągania drożdży czy piwa itd.) i podać, jak wygląda typowy plan warzelni czy rozlewni na dzisiaj. Nie mogę jednak oprzeć na tym przewidywań co do przyszłości i potrzebuję całkowitej elastyczności".

Takiego oświadczenia inżynier integracji procesowej nie może przyjąć bezkrytycznie, mimo że jest w nim wiele uzasadnionych obaw o zapewnienie zakładowi zdolności przystosowawczych do ewentualnych nowych technologii i wymagań dotyczących zdolności produkcyjnych. Musi on natomiast dążyć do przebrnięcia przez taki martwy moment we współpracy i wspólnie z technologiem, wychodząc od stanu obecnego, rozważyć punkt po punkcie wszystkie wyobrażalne warianty przyszłościowego rozwoju oraz ich skutki dla aktualnie projektowanego zakładu, a następnie udokumentować to w postaci alternatywnych planów funkcyjnych.

Doświadczenie uczy, że

1. w partnerskim, zorientowanym na osiągnięcie celu współdziałaniu, bardzo łatwo dają się odróżnić alternatywy rozwojowe uzasadnione technicznie i ekonomicznie, którym bezwzględnie należy się miejsce w schemacie RI, od także wyobrażalnych, ale niecelowych;

2. przy upartym, obustronnym staraniu można znaleźć takie koncepcje zarurowania, które dają – choć nie w całości – wysoki stopień elastyczności, jeśli w wiążący sposób przyjmie się pewne podstawowe zasady eksploatowania zespołu tanków. Zasady takie bardzo przypominają rozkłady jazdy pojazdów szynowych. W rozkładach tych przy optymalizacji wykorzystania sieci szynowych trzeba pozostawić rezer-

wy na wydarzenia szczególne, jak opóźnienia, włączenia pociągów specjalnych, zła pogoda itp. Podobnie w dobrze zaprojektowanych systemach sieci rurociągów pozostawia się rezerwy na takie nieregularności, jak przeciągająca się fermentacja, źle sedymentujące drożdże, trudności w filtracji itp. Rezerwy te muszą być jednakże uważnie mierzone pod kątem ich ekonomicznego uzasadnienia, a nie pod kątem przygotowania do teoretycznego „najgorszego co się może zdarzyć". W razie wątpliwości z pewnością ekonomiczniej jest zarządzić w końcu tygodnia dodatkową zmianę dla nadrobienia opóźnienia, czy dla wyrównania redukcji zdolności filtracyjnych, aniżeli zainstalować kosztowne urządzenia ponad wymaganą zdolność produkcyjną;

3. dobrze jest wyraźnie określić granice zdolności produkcyjnych projektowanego systemu podając jednocześnie sensowne kroki rozbudowy, od których może się okazać zależna koncepcja aktualnego zarurowania;

4. twarde obstawanie przy wymaganiu całkowitej elastyczności może prowadzić albo do

4.1 drogiego, przewymiarowanego stałego rurowania, nieprzejrzystego z powodu wielu dróg przepływu, kosztownego w myciu i trudnego do utrzymania w czystości albo do

4.2 konieczności wprowadzenia – przy nieprzekraczalnym budżecie inwestycyjnym – automatyzacji tylko częściowej lub z częściowo ręczną obsługą przepływów, choć przy takim rozwiązaniu standard techniczny jest gorszy, a koszty osobowe w produkcji wyższe; przy rozsądnie ograniczonej elastyczności można natomiast wprowadzić w ramach tych samych kosztów funkcjonalną, wartą swojej ceny automatyzację pełną;

4.3 automatyzacja „z łomem", a więc taka, w której zaniedbano uzasadnione ze strony technologa wymagania elastyczności, daje wyniki jeszcze gorsze niż opisane w pkt 4. Automatyzacja staje się wtedy „uchem igielnym" browaru oddając idei automatyzacji w browarnictwie niedźwiedzią przysługę. Tak bywa w wyniku projektowania zakładu przy zielonym stole, bez pytania o zdanie technologa.

11.4.1.2 Faza projektowania 5.2: harmonogram pracy zakładu

W harmonogramie inżynier integracji procesu zbiera dane z planu produkcji, wraz z potrzebami czasowymi przebiegów CIP, włączając do niego:

- wszystkie linie procesowe łącznie ze zbiornikami wejściowymi i docelowymi (schładzanie brzeczki z opróżnianiem Whirlpooli, dozowanie drożdży, operacje związane z tankami fermentacyjnymi, niskie oziębianie piwa z napełnianiem tanków leżakowych, filtracja z opróżnianiem tanków leżakowych i napełnianiem tanków ciśnieniowych itp.),
- wszystkie drogi do przemieszczania produktów (np. drożdży z tanku fermentacyjnego, brzeczki z chłodzenia brzeczki, osadów z tanków leżakowych do tanku sprzedaży drożdży itd.),
- wszystkie obiegi CIP dla mycia linii, przewodów i tanków, włącznie z wzięciem pod uwagę wydolności stacji CIP.

Jako "regułę kciuka" należy tu przyjąć zasadę nieprzekraczania 16-godzinnego dziennego obciążenia przewodów i innych urządzeń, aby zapewnić konieczną rezerwę elastyczności.

Po raz pierwszy w procesie projektowania pojawia się tutaj, konsekwentnie i z uwzględnieniem licznych zależności, obciążenie zdolności produkcyjnych systemu przez CIP. Może z tego powodu dojść do korekty założonych wydajności linii technologicznych i przewodów transportowych. Ujawnia się przez to ponadto konieczna liczba niezależnie od siebie czynnych obiegów CIP, wynikająca z uwzględnienia czynnika koniecznej jednoczesności operacji. Równolegle i częściowo jako twórczy proces uwzględniania wzajemnych zależności (patrz 11.3.1.1.2) powstaje teraz następna faza projektowania.

11.4.1.3 Faza projektowania 5.3: schemat RI

Do wymagań technicznych wymienionych w rozdziale 11.2.2.5 dochodzi zadanie opracowania schematu rurociągów, stanowiącego optymalny kompromis między sprzecznymi wymaganiami maksymalizacji elastyczności i minimalizacji kosztów inwestycji.

11.4.1.4 Metody integracji znormalizowanych linii procesów w projekcie automatyzacji browaru

Ważne zadanie połączenia w spójną koncepcję wyposażenia istniejącego i dokupionego może być rozwiązywane na wiele sposobów. Celem musi być, oczywiście, zastosowanie jednolitych komponentów wyposażenia (zawory, czujniki, armatury, pompy itp.), zgodnych z całościową koncepcją integracji. Musi to być niezależne od, wymuszonych czasem okolicznościami, przypadków wykonania dostawy przez różnych dostawców dokupionego wyposażenia, jak maszyny czy całe linie produkcyjne. Szczególnie należy pamiętać o późniejszym utrzymaniu zakładu w ruchu i związanej z tym dostępności części zamiennych.

Cel ten można osiągnąć według dwóch – organizacyjnie odmiennych – zasad:

11.4.1.4.1 Całe urządzenie z jednej ręki

Główny dostawca wyposaża cały zakład z udziałem przez siebie wybranych podwykonawców.

Dostawca sam przeprowadza projektowanie i konstrukcję całego przedsięwzięcia, włącznie z liniami procesowymi, korzystając z maszyn i urządzeń postawionych mu do dyspozycji przez klienta, jak i dokupionych, wyposażając całość w jednorodne komponenty połączeniowe. Taka koncepcja organizacyjna ma zastosowanie głównie u dużych, kapitałowo silnych dostawców, produkujących większość z projektowanych technik.

Jednolitość komponentów wyposażenia i uniwersalność koncepcji automatyzacji nie podlegają w tym rozwiązaniu wątpliwości. Istnieje jednakże tendencja, występująca u samodzielnych dostawców, aby cały zakład wyposażyć bez wyjątków we własne wyroby i ograniczyć do nieuniknionego minimum użycie istniejących urządzeń klienta czy też dokupywanych. Wynika ona z komplikacji, jakie powstają w realizacji kontraktu przy ich użyciu i niechęci dostawcy do ograniczania sprzedaży własnych wyrobów. Powstaje tu niebezpieczeństwo, że jeśli zewnętrzne zakupy kompletnych linii produkcyjnych zostają ograniczone tylko do ich podstawowych składników, to szczegółowa wiedza posiadana przez poddostawcę aparatów i maszyn nie zostaje wykorzystana a klient osiąga na nich wyniki gorsze od optymalnych.

11.4.1.4.2 Cały zakład w jednym ręku

Dostawca integracji procesu gwarantuje funkcjonowanie całego zakładu przez wyposażenie istniejącej – dostarczonej przez klienta – części urządzenia w składniki łączące instalację w zautomatyzowaną całość i koordynuje dostawców linii technologicznych wybranych przez klienta.

Dostawca integracji procesu nie stanowi konkurencji dla współdostawców linii produkcyjnych, aparatów i maszyn, jest więc zainteresowany uzyskaniem od partnerów nie tylko urządzeń, ale także posiadanego przez nich know-how i włączenia ich kompetencji w możliwie najszerszym zakresie w proces projektowania.

Na jednolitość wyposażenia w komponenty i koncepcji automatyzacji można w tym przypadku wpływać na dwa sposoby:

1. Na podstawie schematu przepływów i opisu procesu dostarczonych przez współdostawcę inżynier integracji procesu opracowuje nowe schematy RI dla dokupionych linii, zgodnie z ustalonymi standardami automatyzacji i wyposażenia przyjętymi dla urządzeń klienta. Jeśli wymianie podlegają wyłącznie komponenty innych dostawców, ale podobnego rodzaju i o podobnych funkcjach, to schemat RI i plan funkcyjny współdostawcy mogą być w zasadzie przejęte;
2. Inżynier integracji procesu przekazuje współdostawcom linii procesowych uzgodnione z klientem standardy automatyzacji i wyposażenia w komponenty złączne, a także punkty styku z graniczącymi częściami zakładu. Sam zajmuje się wyłącznie powiązaniem w całość odpowiednio wyposażonych kompletnych linii produkcyjnych.

Sterowanie liniami produkcyjnymi można rozważać alternatywnie:

a) jako nowe, wykonane przez dostawcę integracji procesu, dostosowane do specyfiki zakładu, a oparte na schematach RI i planach funkcyjnych współdostawców lub
b) jako próbę włączenia wersji oryginalnej współdostawcy w charakterze składnika ogólnego systemu sterowania.

Jeśli druga – z założenia tańsza – metoda ma się udać, to ze strony producenta linii należy oczekiwać dużej wyobraźni w tworzeniu koncepcji sterowania, uwzględniającej problemy w punktach styku. W obydwu przypadkach inżynier integracji procesu opracowuje włączenie CIP w linie produkcyjne, całą organizację montażu i oddania do użytku. O tym, czy w czasie przekazywania do użytku konieczna jest obecność inżyniera specjalisty od linii procesowych, decydują wcześniejsze uzgodnienia, stopień komplikacji danej części urządzeń i jakość jej dokumentacji.

We wszystkich przedstawionych przypadkach nie do uniknięcia jest wymiana informacji i współpraca między inżynierem odpowiedzialnym za linię a inżynierem integracji procesu. Ta współpraca jest tym lepsza, im większe jest wzajemne zaufanie partnerów, że przekazanego know-how nie wykorzystają dla konkurencji.

Z tego powodu powstały wyspecjalizowane firmy, dla których inżynieria integracji procesów jest jedyną dziedziną działania. Nie konkurują one z żadnym z dostawców linii technologicznych i do sposobu prowadzenia inwestycji opisanego jako „Cały zakład w jednym ręku" są szczególnie predestynowane. Znajdą w nich partnera browary przywiązujące wagę do współtworzenia swoich zakładów, wybierające samodzielnie specjalistycznych dostawców linii technologicznych, ale zamawiające pod klucz zakład o zwartej koncepcji.

11.4.2 Rurociągi i ich składniki, przystosowane do CIP i chroniące przed mieszaniem cieczy

W schemacie RI inżynier integracji procesu ustala wybór elementów złącznych. Większość z nich występuje w zakładzie w setkach, a nawet w tysiącach egzemplarzy. Z tego powodu ich niedostatki konstrukcyjne, wpływające na jakość CIP lub powodujące konieczność częstego dozoru, są szczególnie groźne. Staranność i bezkompromisowość przy dokonywaniu ich wyboru są konieczne, fałszywe oszczędności nie popłacają.

Dokładne przedstawienie szerokiego spektrum dostępnych komponentów z ich często znaczącymi różnicami byłoby tu celowe, jednak z braku miejsca musi być ograniczone do kilku zasadniczych punktów.

11.4.2.1 Złącza rurowe

Browarnicy znają najlepiej tradycyjne rurowe złącze mleczarskie wg DIN 11851. Jest ono jednak nie na miejscu w zarurowaniu stałym. Dylatacja cieplna rurociągu (np. przy CIP w 90°C) nieodwracalnie zniekształca uszczelkę, przy ochłodzeniu (np. piwo w 0°C) złącze staje się nieszczelne. Dociśnięcie nakrętką usuwa nieszczelność, ale tworzy zarodek trwałego zakażenia przez resztki produktu zaciśnięte między uszczelką a powierzchniami metalowymi.

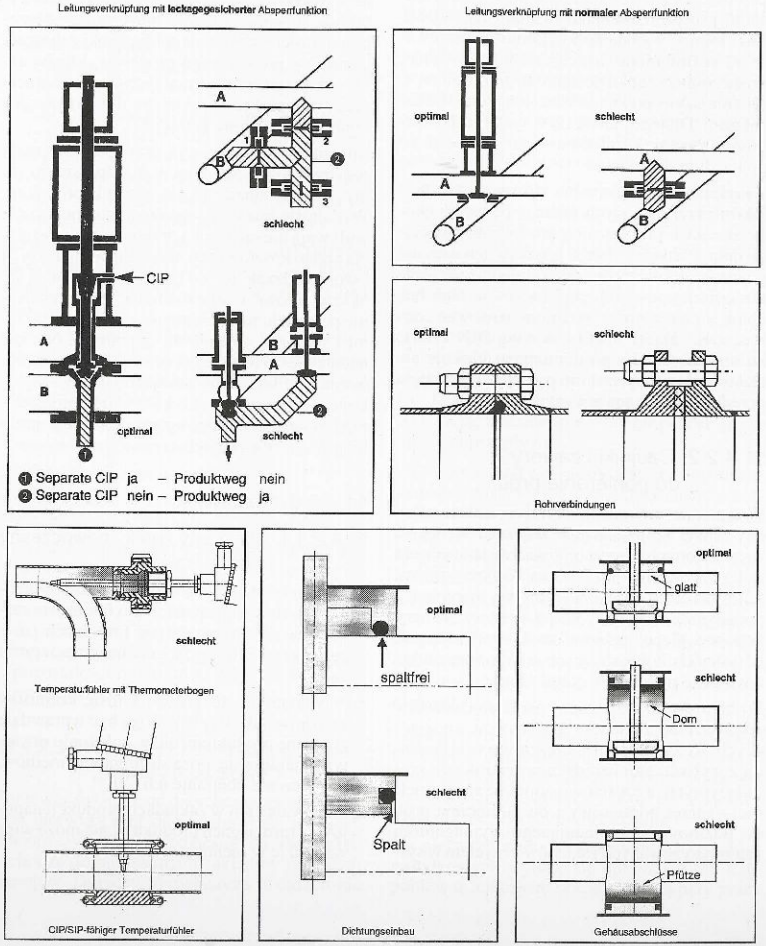
Klasycznym środkiem zaradczym jest uelastycznienie rurociągu przez zamocowane ślizgowo łuki, co chroni uszczelki. Praktyka dowodzi, że takie uelastycznienia, skądinąd i tak potrzebne dla ochrony rurociągów i zawieszeń, są niewystarczające. Pewniejsze są kołnierze, złącza z pierścieniem zaciskowym i zmodernizowane złącza (patrz rys. 11.10), w których uszczelki leżą w dokładnie określonym, wyżłobionym w metalu wpuście, niezmiennym nawet przy ekstremalnych wahaniach temperatury.

Przy wyborze złącz należy zwracać uwagę na to, żeby

- wyżłobienia w metalu leżały poza zasięgiem produktu;
- uszczelki dokładnie wypełniały wpusty, tak aby nawet przy ekstremalnych uderzeniach wywołanych zmianami ciśnienia produkt nie mógł się wcisnąć między elastomer a metal;
- stosować zwykłe, łatwo dostępne znormalizowane uszczelki (np. typu „O-Ring") w znormalizowanych wymiarach;
- nieunikniony rozstęp między częściami złącza był wypełniony uszczelką aż do wewnętrznej powierzchni rury (patrz rys. 11.10).

Rys. 11.10. Aspekty higieniczne (przykłady)

Abb. 10 Hygienische Aspekte (Beispiele)



Uszczelki ukształtowane zgodnie z przedstawionymi zasadami są po zamontowaniu ich w rurociągu tak silnie dociskane dla uzyskania szczelności, że pod wpływem działających w czasie produkcji czynników chemicznych i fizycznych są najczęściej trwale zdeformowane. Umieszczenie ich dokładnie w poprzednim ułożeniu jest po demontażu niemal niemożliwe. Jeśli mimo to zostaną powtórnie wmontowane, to nieuniknione są nieszczelności. W mniej groźnym przypadku zostanie to zauważone, w groźniejszym powstaje niezauważone źródło zakażeń. Dlatego zaleca się w systemach stałego zarurowania kompletną wymianę uszczelek po każdym demontażu.

Zalecenia tego nie można stosować do złącz łuków przełączających, które w pewnych okolicznościach przełącza się wielokrotnie w ciągu dnia. Z drugiej strony, w miejscach tych nie powstają okoliczności powodujące zastrzeżenia opisane powyżej, stąd można w nich bez obaw, a nawet z przekonaniem, stosować „dobre, stare" złącze mleczarskie wg DIN 11851, którego uszczelka po demontażu ulokuje się elastycznie w poprzednim położeniu, jeśli była przedtem dociskana z wyczuciem.

11.4.2.2 Czujniki i zawory do pobierania prób

W tym zakresie można napotkać ciężkie grzechy nawet w instalacjach skądinąd wzorowo wyposażonych. Nawet biologiczny łańcuch jest tylko tak mocny, jak jego najsłabsze ogniwo. 12-milimetrowe zaworki klinowe, manometry podłączone rurkami w kształcie litery „U" czy podobne „ślepokiszkowe" struktury działają jak wtryskarki dla zakażających mikroorganizmów, a więc nie mają u nas czego szukać.

Problem został rozpoznany przez producentów wyposażenia zakładów przemysłów spożywczych. Rozwinęli oni – częściowo w kooperacji z wytwórcami urządzeń pomiarowych i regulacyjnych, a częściowo zupełnie samodzielnie – sprzęt pomiarowy i do pobierania prób do poziomu odpowiadającego wymaganiom zautomatyzowanych zakładów z myciem w systemie CIP. Sprzęt ten nie stanowi już zagrożenia reinfekcją i działa niezawodnie w trudnych warunkach przemysłowych.

Zdarza się jednakże czasami, szczególnie w urządzeniach pomiarowych, że pojawiają się ograniczenia dotyczące ich odporności na warunki ruchowe i przydatności do CIP. Trzeba je ominąć stosując „sztuczki" przy ustalaniu przebiegu rurociągów i podejmując kroki zabezpieczające w prowadzeniu procesów. Liczba zakłóceń i strat da się zmniejszyć tym skuteczniej, im lepiej jest wykonana dokumentacja i lepiej przeszkolony personel.

Informacja i motywacja pracowników mają rozstrzygające znaczenie w odniesieniu do przyrządów służących do kontroli produkcji. Wydają się one z pozoru niepotrzebne, bo nie wpływają bieżąco na jej przebieg. Jeśli instalacja często kosztownych urządzeń pomiarowych i wprowadzanie metod analitycznych mają się okazać celowe, trzeba rozbudzić zainteresowanie personelu uzyskiwanymi z nich korzyściami i pokonać awersję do „kontroli". Nic nie nadaje się do tego lepiej niż celowe przekazywanie „do bazy" uzyskanych danych i wyników, wciągnięcie praktyków w ich interpretację i w oparte na niej optymalizowanie przebiegów produkcyjnych.

11.4.2.3 Nastawniki

11.4.2.3.1 Klasyczny kurek i nowoczesny zawór kulowy

- Mają przy otwarciu dokładnie ten sam przekrój co rura, co powodowało ich częste stosowanie w czasach, gdy w browarach „mycie" przewodów polegało na przecieraniu gąbką.
- Powierzchnie stożkowe i kuliste korpusów zaworów, jak i trzpieni mogą być wprawdzie zwilżane produktem, ale w położeniu otwartym znajdują się poza strumieniem mediów, przez co nie obejmuje ich CIP.
- Stosowanie ich w zakładach produkcji napojów w rurociągach produktów nie może więc wchodzić w rachubę.

11.4.2.3.2 Zawory talerzowe/tłokowe z gniazdem w położeniu kątowym lub skośnym

- W porównaniu z kurkami mają mniej idealne właściwości przepływu (zawirowania, gorsze wartości współczynnika Kv).
- Nie są wyważone: duże siły przy nastawianiu, nieodporność na nacisk, uderzenia cieczowe przy zamykaniu w kierunku przepływu.
- Przy zmianach położenia tłoka poruszający się między przestrzenią produktu a otoczeniem drążek zaworu wytwarza, nawet przy najstaranniejszym wykonaniu, zakażenie wynikające z przedostawania się produktu do uszczelnienia drążka („efekt windy").

Utrzymanie się zaworów tłokowych w rurociągach w przemyśle napojów mimo tych niedostatków wynikających z ich budowy wynika stąd, że

- w wykonaniach specjalnych, jak zawory z podwójnym lub zamiennym gniazdem, realizują funkcje niewykonalne przez inne rodzaje nastawników oraz
- nauczono się pokonywać ich słabości przez warianty wyposażenia i łączenia.

„Efekt windy" zmniejsza się przez:

- wyposażenie w uszczelnienia membranowe przejścia między korpusem a drążkiem,
- podłączanie konfiguracji nastawników w taki sposób, aby w trakcie CIP drążki zaworowe były aż do uderzenia wciśnięte w korpusy, a nawet w taki, że drążki poruszałyby się między skrajnymi położeniami, stwarzając dostęp czynników myjących do ewentualnych pozostałości produktu na drążku i w rejonie uszczelnienia.

11.4.2.3.3 Zawory odcinające płytkowe („zawory motylkowe")

Ponieważ są tańsze od dotychczas opisywanych i na pierwszy rzut oka pozbawione ich wad, począwszy od lat sześćdziesiątych zwycięsko wchodzą do budowanych zakładów produkcji napojów. Dotyczy to zwłaszcza urządzeń nie obsługiwanych, gdyż płytka zaworu dzięki konstrukcyjnie uwarunkowanemu wyrównaniu sił przepływu daje się łatwo i lekko przestawiać nawet przy dużych średnicach rurociągów. Dzieje się to przy użyciu bezpośrednio zamontowanego uchwytu ręcznego.

Trzeba jednakże pamiętać, żeby nie przesadzić w szybkości przestawiania zaworu i nie spowodować w przepływie swego rodzaju przymusowego hamowania, wywołującego w systemie rurociągów „piki" ciśnieniowe (uderzenia cieczowe). Mogą one spowodować szkody natury mechanicznej, ale także – jak to jeszcze pokażemy – biologiczne.

Optymalnie szybki, lecz jeszcze chroniący instalację, przebieg zamykania polega na dowolnie szybkim, np. zajmującym 10% czasu przestawiania, pokonaniu 90% kąta obrotu, poświęcając na pokonanie pozostałych 10% kąta aż 90% całego czasu. Zdyscyplinowany i doświadczony operator potrafi takie optimum osiągnąć przy obsłudze ręcznej. Przy siłownikach pneumatycznych stosuje się często zaworki dławiące na drodze powietrza sterującego, jednakże ich działanie rozciąga się na cały kąt obrotu, powodując znaczne spowolnienie przebiegu zamykania przepływu.

Ustawianie tych zaworków jest częścią dostrajania automatyzacji dla osiągnięcia „miękkiego" przebiegu procesu, co obejmuje także ustawianie czasów sterowania, np. opóźnienia czasów rozbiegu pomp. Odradzić tu trzeba własnowolne wkraczanie w ustawienie dławienia, np. dla przyspieszenia przestawienia zaworu. Najlepiej przeciwdziała temu wbudowanie przez wykonawcę takich elementów dławiących, których z zewnątrz nie da się przestawić wcale lub tylko przy użyciu specjalnych narzędzi.

Ten z pozoru nie najważniejszy punkt jest tutaj tak szeroko omawiany dlatego, że przedstawione dalej cechy konstrukcyjne zaworów motylkowych mają zasadniczy wpływ także na biologiczną niezawodność urządzenia.

Na pierwszy rzut oka przydatność zaworów motylkowych wydaje się optymalna dla CIP, ponieważ ich czysto obrotowy ruch przy prze-

stawianiu, wyklucza obawy o „efekt windy", występujący w zaworach tłokowych. Zrozumiałe jest samo przez się, że płytki zaworu i uszczelki pierścieniowe tylko wtedy znajdują się w pełni w strumieniu medium i będą przez to właściwie umyte, kiedy każdy zawór obiegu CIP jest otwarty, ale o to może zadbać projektant automatyzacji przez odpowiedni system przełączeń. W systemach ręcznych kierownik produkcji musi przekształcić odpowiedzialnie założenia projektu w praktykę przez szkolenie i konsekwentną kontrolę.

Uderzenia cieczy przy zamkniętych zaworach mogą doprowadzić do dużego bocznego odchylenia płytki zaworu, a przez to do wciśnięcia produktu w przestrzeń dokoła ułożyskowania trzpienia i w otoczenie wyżłobień uszczelek, a w przypadkach ekstremalnych do trwałego rozszczelnienia. Ma to miejsce głównie w zaworach o „genialnie" taniej konstrukcji, gdzie zaniedbano dokładne ułożyskowanie trzpienia, pozostawiając tę „funkcję uboczną" uszczelce pierścieniowej.

Trwałe nieszczelności mogą spowodować znaczne straty produktu i dodatkowo stwarzać zagrożenie przez wydostający się na zewnątrz strumień gorącej lub agresywnej cieczy. Nieszczelność odwracalna, „prawie obecna", jest w przeciwieństwie do trwałej doraźnie mniej niepokojąca, ale przez zewnętrznie nierozpoznawalne zabrudzenia szpar dokoła uszczelek, niedostępnych dla cieczy myjących, tworzy niebezpieczne ognisko trwałych zakażeń. Z takim stanem w browarze zorientowanym na CIP nie można się godzić, niezależnie od wybranego poziomu automatyzacji.

Uwagi powyższe nie są wydaniem wyroku na stosowanie zaworów motylkowych, ale wyłącznie wskazaniem ich słabych punktów. Należy mieć je na względzie w czasie projektowania i zwracać uwagę na mechaniczne i biologiczne problemy związane z ich użyciem. Byłoby dobrze, gdyby dało się w tej sprawie ustalić bezpieczne zasady projektowania. Byłoby to „graniczne ciśnienie zakażenia", którego nie wolno przekroczyć w czasie przepływu produktu po to, aby w czasie CIP zapewnione było całkowite usunięcie pozostałości i umycie powierzchni i szpar omywanych uprzednio przez produkt. Można się w tej propozycji dopatrzyć analogii do ciśnienia nominalnego dla zbiorników, rur i armatur, do wysokości którego producent gwarantuje bezpieczeństwo przed rozerwaniem i pewność ruchu.

11.4.2.4 Właściwe metody działania w normowaniu technik rurowania w przemyśle spożywczym i napojów

Konsekwentnie, do ustalenia jest „graniczne ciśnienie zakażenia" dla wszystkich składników rurociągów i następnie uwzględnianie go w projektowaniu produkcji napojów. Dla stworzenia znormalizowanych warunków porównawczych konieczne jest uzgodnienie standardyzowanych zabrudzeń odniesienia i procesu CIP, z jego zdefiniowanymi parametrami, jak np. ciśnienie, temperatura, prędkość przepływu, chemikalia i czasy trwania. Oczywiście, taki proces porównawczy nie może stanowić ogólnego przepisu projektowania zakładów w praktyce, a tylko dotyczyć brakujących dzisiaj, międzynarodowo uznanych, wskazań dla konstrukcji, badania i specyfikacji wspomnianych składników.

Brak norm w tym zakresie powoduje niekoordynowaną w skali globalnej aktywność ciągle zaangażowanych, ale nie zawsze neutralnych gremiów. Wymagają one pilnie ukierunkowania i profesjonalizacji, aby odsunąć groźbę wielostronnych szkód grożących producentom i użytkownikom. Zapobiec trzeba przekształceniu dzisiejszego braku reguł w hamującą kreatywność i wpędzającą w koszty przesadną nadregulację i rozdrobnienie norm branżowych.

Potrzebujemy pilnie międzynarodowo zaakceptowanego projektu normowania, ujmującego dzisiejszą nieskoordynowaną aktywność w rzeczowo ukierunkowane reguły. Normalizacja do wykonania nie może zatrzymać się na komponentach rurociągów. Musi ona także wypełnić wspomniane w poprzednich rozdziałach luki w ogólnych normach inżynieryjnych. Praca ta musi być odważnie i praktycznie nakierowana na dyskutowane w następnym, ostatnim, rozdziale, problemy i sprzeczności związane z zapewnieniem szczelności. Dotyczą one występujących, a nieuniknionych przy zamierzonej automatyzacji miejsc łączenia i rozdzielania odcinków rurociągów, którymi płyną produkty i media CIP, ale nigdy jednocześnie.

Obecne dyskusje we wspomnianych, niekoordynowanych gremiach każą się obawiać, że przy zielonym stoliku zostaną podjęte błędne, nie uwzględniające praktyki rozstrzygnięcia. Mogą one odebrać legitymizację od dawna osiągniętemu wysokiemu stanowi technicznemu budowy zakładów i spowodować krok do tyłu w technologii, bez osiągnięcia celu. Celem tym jest wspieranie podnoszenia standardów bezpieczeństwa i pewności prowadzenia procesów.

11.4.3 Koncepcje zabezpieczeń przed wymieszaniem, przedstawienie i ocena

W okresie panowania węży elastycznych świat browarnika był jednoznacznie uporządkowany.

1. Przewody wylotowe miały być możliwie najkrótsze, aby ich zawartość mogła się wymieniać bez szkody z tą z pozostałego tanku, a umycie było możliwe ręcznie.
2. Wszystkie węże i rurociągi stałe zwierano w końcu pracy w duży obieg zamknięty, myty przez pompowanie i „ostukiwanie". Obieg ten w końcu wypełniano roztworem dezynfekcyjnym, pozostawianym aż do powtórnego użycia. Po rozebraniu obiegu węże aktualnie niepotrzebne umieszczano w roztworach dezynfekcyjnych.
3. Rozdzielające się przewody łączono kurkami trójdrożnymi, mytymi i dezynfekowanymi podobnie jak węże i rurociągi i montowano bezpośrednio przed kolejnym użyciem. Połączenia mediów do przewodów produktów, jak np. wody do wypychania, montowano dopiero w miarę potrzeby, ponieważ nie dowierzano szczelności kurków trójdrożnych.

Posiadanie przed oczami tych sprawdzonych zasad przydaje się przy ocenie systemu stałego zarurowania co do jego przydatności dla potrzeb technologii browarnictwa.

Stwierdza się przy tym, że większość „nowoczesnych" koncepcji wnosi ze sobą więcej ryzyka, aniżeli dopuszczają to reguły podane wyżej w punktach 1 do 3. Uważamy te reguły za nie do odrzucenia, nie literalnie, ale co do sensu i za **kryteria oceny alternatyw stałego zarurowania.**

Absolutna pewność zabezpieczenia przed wymieszaniem i przystosowanie do mycia wszystkich części prowadzących produkt są nieodzownymi wymaganiami browarnika odniesionymi do systemów stałego zarurowania.

Dokładniej oznacza to, co następuje:

1. **zabezpieczone przed wymieszaniem** jest takie połączenie rurociągu, w którym między połączonymi rurami, wypełnionymi w określonych okolicznościach mediami, których nie wolno mieszać, istnieje w stanie zamknięcia wypływ atmosferyczny, umożliwiający odpłynięcie „bez ciśnienia" ewentualnych strat nieszczelności członów zamykających te przepływy;
2. **przystosowane do mycia i zabezpieczone przed wymieszaniem** jest takie połączenie rurociągu, w którym w czasie przebiegu CIP przez jedną drogę jej człon odcinający i przylegający doń wypływ nieszczelności są przestawione – aż do członu odcinającego drugiej drogi – w taki sposób, aby zapewnić sytuację biologiczną wymaganą przez standard procesu dla przewodów produktu.

Alternatywy stałego zarurowania rozciągają się:

- od całkowicie lub częściowo ręcznie sterowanych urządzeń z przełączanymi łukami,
- przez wyposażone w zawory motylkowe lub tłokowe systemy „block and bleed" (odcinające i pozwalające na wypływ w razie nieszczelności),
- aż do rozwiązań z zaworami dwugniazdowymi, w których w przeciwieństwie do poprzednich zabezpieczenie przed wymieszaniem jest realizowane przez same nastawniki.

11.4.3.1 Łuki przełączające – stałe zarurowania

Wykonywanie i rozdzielanie zależnych od funkcji połączeń dróg przepływu dokonuje się ręcznie przez ruchome przejścia rurowe, czyli łuki przełączające. W tych rozwiązaniach układ rurociągu musi być dostosowany i wygodny do obsługi ręcznej, a ponadto trzeba jeszcze zadbać o to, żeby zawory motylkowe przełączane we wzajemnej zależności czasowej były umieszczone przejrzyście w zasięgu ręki. Wynika stąd konieczność zainstalowania central-

nie zlokalizowanych tablic (paneli) przełączeń. Osiąga się to za cenę długich wylotów z tanków, przebiegających na znacznych odległościach z małym spadkiem, co nie jest zgodne z naszym kryterium 1. Składa się na to szereg przyczyn:

- przy ściąganiu drożdży i osadów zawartość rurociągu staje się najczęściej stratą przedbiegu,
- dla przeciwdziałania opóźnieniom w rozpoczęciu fermentacji i wynikającym z tego problemom biologicznym muszą być podjęte odpowiednie kroki,
- mycie tanków przedłuża się i komplikuje, ponieważ tylko spiętrzenie mediów CIP w wylocie z tanku zapewnia wypełnienie i umycie przewodu wylotowego poprzez pompę powrotną włączaną w sekwencji impuls/przerwa.

Zdalne układy łuków przełączających mogą być lepiej przystosowane technologicznie, jeśli przewody funkcyjne do napełniania, opróżniania, powrotu CIP i ściągania drożdży oraz osadów są połączone krótkimi kolanami wylotowymi, w które wyposażono tank. Tego rodzaju „płoty z rur" charakteryzują się długimi drogami obsługi i dużymi objętościami mieszania i wleczenia cieczy w długich rurociągach funkcyjnych. Ponieważ przełączenia armatur niekoniecznie przebiegają w obecności obsługi, powinno się je nadzorować przez zastosowanie włączników zbliżeniowych. Mają one sygnalizować, czy pożądane przełączenie przez łuk powstało względnie czy zostało usunięte (w punktach połączeń mających zapobiegać wymieszaniu przez stworzenie swobodnego wypływu ewentualnych wycieków).

Uszczelki zwykle montowanych zaworów motylkowych, podobnie jak króćce łuków przełączeniowych, mogą być umyte tylko przy założonych zaślepkach i otwarciu zaworów motylkowych na przewodach funkcyjnych CIP. Z tego względu w układach zdalnych także obecność zaślepek powinna być nadzorowana przed rozpoczęciem obiegu CIP, ponieważ otwarcie takiego zaworu pod nieobecność tego zamknięcia powoduje poważne zagrożenie obrażenia ciała. W układach ręcznych obsługa musi otwierać zawór ręcznie, a więc małe jest niebezpieczeństwo, że zapomni o zaślepce. Należy się raczej obawiać, że oszczędzi sobie pracy i mycie przewodu przeprowadzi przy zamkniętych zaworach odcinających.

Generalnie trzeba stwierdzić, że układy z ręcznym i częściowo ręcznym operowaniem łukami przełączającymi stawiają bardzo wysokie wymagania praktycznemu doświadczeniu zespołu projektującego, jak i rozwadze oraz ostrożności obsługi. Bez tych cech nie da się praktycznie dowieść teoretycznych zalet rozwiązania.

11.4.3.2 „Block and Bleed" – stałe zarurowania

Jak pokazano na rys. 11.10 systemy „Block and Bleed" można z pewnością rozważać tak jak automatyczne układy rurociągów z łukami przełączającymi. W systemach tych zdejmowalne łuki są zastąpione w swojej funkcji zapobiegania mieszaniu, jak i łączeniu przez stałą część przewodu, która w położeniu „otwarcia" kombinacji zaworu zamyka wypływ nieszczelności, a w położeniu „zamknięcia" go otwiera. Wyobrażalny teoretycznie wariant ręczny nie jest praktyczny. W podłączonym rurociągu tylko automatyka może zapewnić wymycie traktu wypływu nieszczelności w określonym przepływie CIP, osiągając to przez taktowane otwieranie właściwego nastawnika. Na czas trwania tej funkcji CIP trakt wypływu nieszczelności jest włączony pełnym przekrojem członu odcinającego w przewód znajdujący się w stanie funkcji mycia (opcje częściowo tłokowe nie są w tej chwili rozważane). Z tego względu dla systemów „Block and Bleed" uzasadniony jest przepis dotyczący wymiarowania: wypływ nieszczelności musi mieć pełny przekrój największego podłączonego przewodu (zgodnie ze standardem 3A).

Mimo to należy się liczyć z tym, że w czasie określonego taktu CIP powstanie – zgodnie z prawami przepływów – znaczny wzrost ciśnienia na innym członie odcinającym kombinacji zaworowej, bo nawet otwarty do atmosfery zawór wylotowy wykazuje opór przepływu. Ściśle biorąc, zawór umożliwiający wyciek (bleed) **nie jest w aspekcie zapobiegania mieszaniu pełnowartościowym zastępstwem łuku przełączającego**.

To samo dotyczy także przydatności systemu do CIP: nie ma wątpliwości co do tego, że otwarty do atmosfery trakt nieszczelności, do którego dostają się mikroorganizmy i w którym mogą zasychać resztki z poprzedniej produkcji, jest trudniejszy do wymycia niż zamknięte główne przewody. Powstaje pytanie, w jaki sposób te krytyczne miejsca systemu dają się wymyć ułamkiem nakładu, uznanego za konieczny do wymycia normalnie zabrudzonych odcinków.

Także z punktu widzenia ekologii i ekonomii system „Block and Bleed" nie wyróżnia się korzystnie, jeśli zważyć znaczące nakłady na media CIP odpływające przez trakty nieszczelności. Nie budzi zatem zdziwienia, że stałe rurociągi z systemem „Block and Bleed" w mniejszym stopniu mogły się przebić w browarach aniżeli systemy z przełączanymi łukami z jednej strony i układy z zaworami dwugniazdowymi z drugiej.

11.4.3.3 Zawór dwugniazdowy – stałe zarurowanie

Często twierdzi się, że zawory dwugniazdowe są wyłącznie połączeniem w jeden kompleksowy i bardzo drogi układ tej funkcji, która w kombinacji „Block and Bleed" podzielona jest na dwa lub trzy nastawniki. Twierdzenie takie jest absolutnie nie do przyjęcia: jedno spojrzenie na rys. 11.10 pokazuje podstawowe różnice stanowiące o tym, że nie ma w nich krytykowanych w poprzednim rozdziale wad systemu „Block and Bleed":

1. w zaworze dwugniazdowym trakt nieszczelności nie stanowi nigdy części drogi między powiązanymi przewodami, ale zawsze jest otwarty do atmosfery;
2. w zaworze dwugniazdowym trakt nieszczelności ma własne połączenie CIP, które stoi w każdej chwili do dyspozycji – niezależnie od mycia powiązanych przez zawór przewodów – dla wymycia zabrudzeń pojawiających się przy przełączaniach, bez zwiększania ciśnienia na talerzach zaworowych głównych przewodów;
3. w zaworze dwugniazdowym wystarcza, przy bezciśnieniowym myciu, zwykle stosowany przekrój, stanowiący około 10% przekroju głównego przewodu, nawet przy rozważaniu najgorszego przypadku zagrażającego wymieszaniem, jednakże przy oddzielnym myciu przestrzeni wycieku nie są myte gniazda i uszczelki członów odcinających (uchybienie wobec wymagania 2 rozdział 11.4.2.5). Aby to nadrobić, od dawna dostarcza się urządzenia, które, podobnie jak w kombinacji „Block and Bleed", umożliwiają mycie impulsowe traktu nieszczelności przez bocznikowanie głównego przewodu.

Niestety, mycie z zastosowaniem bocznikowania ma swoje ujemne strony:

- Z powodu niekorzystnego stosunku przekroju wylotu dla nieszczelności do przekroju talerzy zaworowych głównego przewodu **proces mycia z bocznikowaniem** nie przebiega bez wzrostu ciśnienia, mimo dokładnego ograniczenia unoszenia tłoka do minimalnych, ale koniecznych dla spełnienia funkcji granic. Dopiero ostatnio pojawiły się na rynku nowe rozwiązania zaworów dwugniazdowych z powiększonym traktem nieszczelności, które uwzględniają to zjawisko i bez kompromisów spełniają wymaganie bezwzględnego zabezpieczenia przed mieszaniem się cieczy oraz optymalnego mycia gniazd i uszczelek.

Szczęśliwie po setkach tysięcy doświadczeń praktycznych z zaworami dwugniazdowymi mycie z bocznikowaniem konieczne jest w browarach niezmiernie rzadko (np. w piwnicy drożdżowej). Wynika to stąd, że osady na gniazdach i uszczelnieniach talerzy zaworowych są porywane (usuwane) w czasie każdorazowego przebiegu produkcyjnego, zanim będą mogły utworzyć się gniazda infekcji. Kogo to nie zadowala i chciałby – unikając cofnięcia się do systemów węży elastycznych i łuków przełączających – uniknąć jednocześnie niedostatków zaworów dwugniazdowych z ryzykiem mycia z bocznikowaniem, ten znajdzie rozwiązanie w postaci inteligentnych koncepcji zarurowania, w których dla wymycia gniazd zaworowych stosuje się okresowe pełne otwarcie wszystkich zaworów w określonej sekcji przewodów.

Uwaga końcowa

Podsumowując trzeba stwierdzić, że optymalne rozwiązania w automatyzacji browarów, podobnie jak we wszystkich obszarach techniki, można osiągnąć tylko przez zorientowaną na osiągnięcie celu, pozbawioną uprzedzeń, interdyscyplinarną współpracę wszystkich specjalności i przez rozważenie wszystkich czynników mogących wpłynąć na wynik.

Z tego powodu przebiło się do świadomości i weszło do terminologii zaproponowane przez autora rozdziału 11 dopiero przed dwoma dekadami określenie:

INTEGRACJA PROCESU.

Spis literatury

1 SCHULTZE-BERNDT, H.-G.: persönl. Mittlg.
2 Wochenschrift für Brauerei (1893) S.79
3 KRAUSS, COOK und VERZELE: Mon. f. Brauerei 22 (1969), S. 209
4 Hopfenrundschau Aug. 1992, S. 50
5 HACKEL-STEHR, K.: Diss. TU Berlin 1987
6 FORSTER, A.: Hopfenrundschau Aug. 1992, S. 41
7 NARZISS, L.: Brwlt 23 (1992), S. 1759
8 BERDELLE-HILGE, PH.: Brwlt 38 (1992), S. 384
9 NARZISS, L.: Brwlt 37 (1992), S. 1696
10 WAGNER, I., ESSER, K. D., KRÜGER, E.: MfBrauwi 41 (1988), S. 384
11 HERMANN, H.: Brwlt 28 (1991), S. 1227
12 WACKERBAUER, K., EVERS, H., ZUFALL, C., HÖLSCHER, K.: Brwlt 41 (1992), S. 1922
13 KOLLNBERGER, P.: DBMB 5/1984, S. 186
14 KOLLNBERGER, P.: Brwlt 7 (1987), S. 254
15 KIENINGER, H.: Brwlt 76 (1977), S. 1714
16 NARZISS, L., MIEDANER, H., KÜSTNER, M.: Brwlt 106 (1966), S. 394-404
17 WACKERBRAUER, K., ZUFALL, C., HÖLSCHER, K.: Brwlt 29 (1992), S. 1366
18 MICHEL, R.: Brwlt 24/25 (1992), S. 1133-1140
19 WEINFURTNER, F., WULLINGER, F., PIENDL, A.: Brwlt 106 (1966), S. 405
20 DENK, V., und MÜLLER, H.: Brwlt 15/16 (1990), S. 568-576
DENK, V.: Brwlt 28 (1991), S. 1219-1225
21 EISELE, J.: Brwlt 24/25 (1992), S. 1142-1146
22 ITZENBURGER, K.: Brwlt 10 (1990), S. 329
23 FELGENTRAEGER, W.: Brforum 20 (1993), S. 169-172
24 NARZISS, L.: Brwlt 6 (1990), S. 178-184
25 NARZISS, L.: Brwlt 27 (1992), S. 1287-1288
26 WEINFURTNER, F., WULLINGER, F., PIENDL, A.: Brwlt 19 (1966), S. 390
27 WEITH, L.: Brwlt 13 (1960), S. 214-218
28 SCHMUCKER, F.: Brwlt 3 (1993), S. 69
29 Deutscher Brauer-Bund e.V.: Statist. Bericht 1992-1995
30 NARZISS, L.: Brwlt 36 (1991), S. 1891
31 LAUFFENBERG, A.: Brwlt 40 (1992), S. 1891
32 HOUGH, J. S., BRIGGS, D. E., STEVENS, R.: Malting andbrewing Sc. 1971
33 WACKERBAUER, K.: ref. Brwlt 32 (1987), S. 1419-1421
34 ANNEMÜLLER, G.: Lehrbriefreihe Bier, Heft 2
35 Festschrift 75 Jahre Holsten-Brauerei: Hamburg 1954
36 KOHNKE, H.-V.: Brwlt 23 (1991), S. 975
37 HODENBERG, G. W.: Brwlt 15 (1991), S. 565-568
38 DONHAUSER, S., GLAS, K., MÜLLER, O.: Brwlt 15 (1991), S. 548-556
39 WACKERBAUER, K.: ref. Brwlt 32 (1987), S. 1419-1421
40 HUG, H.: Braucrei- und Getr.rundschau 7/8 (1992), S. 123
41 LETTER, R.: EBC-Proceedings Congr. 1977, S. 211-224
42 NARZISS, L., WPLFINGER, H., STICH, S., LAIBLE, R.: Brwlt 51/52 (1992), S. 2650-2656
43 PLETT, E.: Brind 6 (1991), S. 531-533
44 LÜDERS, J.: Brwlt 3 (1994), S. 57-62
45 N. N.: ref. Brwlt 7/8 (1993), S. 302-306