

PRZEWODNIK DO ZAJĘĆ LABORATORYJNYCH

TOWAROZNAWSTWO I PRZECHOWALNICTWO ZBÓŻ I NASION OLEISTYCH



UNIwersytet
WARMIŃSKO-MAZURSKI
W OLSZTYNIE

WYDZIAŁ NAUKI O ŻYWNOŚCI

Katedra Przetwórstwa i Chemii Surowców Roślinnych



DR INŻ. IWONA KONOPKA, PROF. UWM
DR HAB. INŻ. MAŁGORZATA TAŃSKA
MGR. INŻ. Alicja Faron

SPIS TREŚCI

Sylabus	3
Treści szczegółowe ćwiczeń	5
Zagadnienia na zaliczenie ćwiczeń	6
Wzór karty ćwiczeń	7
Instrukcja BHP	8
Wskazówki pierwszej pomocy w niektórych wypadkach	9
Wzór oświadczenia studentów	11
Wzór sprawozdania	12
Ćwiczenie 1a	13
Ćwiczenie 1b	20
Ćwiczenie 2	30
Ćwiczenie 3	41
Ćwiczenie 4	48
Ćwiczenie 5	65
Ćwiczenie 6	77
Materiały dodatkowe – statystyka opisowa	78



UNIWERSYTET WARMIŃSKO-MAZURSKI W OLSZTYNIE
Wydział Nauki o Żywności
Sylabus przedmiotu/modułu - część A

01303-15-C

ECTS: 6

TREŚCI MERYTORYCZNE

WYKŁAD

Metody i kierunki tworzenia nowych odmian zbóż i roślin oleistych oraz organizacja nasiennictwa w Polsce. Charakterystyka towaroznawcza odmian zbóż i roślin oleistych uprawianych w Polsce. Krajowy rynek ziarna zbóż i nasion oleistych oraz jego relacje z rynkiem europejskim i światowym. Zmienność cech jakościowych ziarna zbóż i nasion oleistych warunkowana technologią sprzętu i obrotu. Cechy fizyczne i chemiczne ziarna zbóż i nasion oleistych ważne w przechowywalnictwie. Woda a wilgotność ziarna/nasion - znaczenie w przechowywalnictwie. Suszenie i czyszczenie jako wstępny etap przechowywania. Charakterystyka techniczno-technologiczna przechowalni oraz organizacja przechowywania ziarna/nasion. Zjawiska fizyczne i biologiczne zachodzące podczas przechowywania masy nasiennej oraz ich skutki.

ĆWICZENIA

Oznaczanie cech masowych i powierzchniowych ziarna zbóż i nasion oleistych. Oznaczanie twardości ziarna i nasion za pomocą aparatu Instron. Oznaczanie barwy i wymiarów ziarna i nasion techniką cyfrowej analizy obrazu. Ocena cech technologicznych ziarna zbóż przechowywanego w różnych warunkach. Ocena wyróżników jakości nasion oleistych przechowywanych w różnych warunkach. Seminarium podsumowujące ćwiczenia. Zajęcia terenowe – obserwacja organizacji pracy w elewatorze zbożowym.

CEL KSZTAŁCENIA

Przekazanie wiedzy nt. hodowli odmian i cech jakościowych ziarna zbóż i nasion oleistych, organizacji rynku krajowego, zmienności cech ziarna i nasion podczas sprzętu, obrotu i przechowywania, rozwiązań techniczno-technologicznych przechowalni, zjawisk fizycznych i biologicznych zachodzących w przechowywanej masie nasiennej. Rozwinięcie umiejętności stosowania właściwych urządzeń i norm do oceny jakości ziarna zbóż i nasion oleistych, organizacji pracy na stanowisku, analizy i dyskusji wyników.

OPIS EFEKTÓW KSZTAŁCENIA PRZEDMIOTU W ODNIESIENIU DO OBSZAROWYCH I KIERUNKOWYCH EFEKTÓW KSZTAŁCENIA

Symbole efektów obszarowych R1A_W01+, R1A_W03+, R1A_W04+, R1A_W05+, R1A_W07+, R1A_U01+, R1A_U02+, R1A_U03+, R1A_U06+, R1A_K02+, InzA_W01+, InzA_W02+, InzA_W05+, InzA_U01+, InzA_U02+

Symbole efektów kierunkowych K1_W07+, K1_W12+, K1_W13+, K1_U01+, K1_U02+, K1_U12+, K1_K02+

EFEKTY KSZTAŁCENIA

Wiedza

W1 - Definiuje odmianę, opisuje klasy jakościowe wybranych grup odmian roślin zbożowych i oleistych, rozumie zasady organizacji i funkcjonowania rynku. (K1_W07)

W2 - Charakteryzuje cechy fizyczne i chemiczne ziarna/nasion oraz wyjaśnia ich znaczenie w przechowywalnictwie. (K1_W12)

W3 - Opisuje rozwiązania techniczno-technologiczne przechowalni, rozróżnia zjawiska fizyczne i biologiczne zachodzące w przechowywanej masie nasiennej oraz potrafi zaproponować właściwe warunki przechowywania. (K1_W13)

Umiejętności

U1 - Obsługuje urządzenia i aparaty, typowe dla przemysłu oraz niekonwencjonalne (wizyjna analiza obrazu, Instron), służące do standaryzacji ziarna zbóż i nasion oleistych. (K1_U12)

U2 - Oblicza i analizuje uzyskane wyniki badań, wykorzystuje wiedzę źródłową w ich opracowaniu oraz koordynuje przygotowanie pracy seminarnej. (K1_U01, K1_U02)

Kompetencje społeczne

K1 - Świadomie ocenia wkład pracy własnej i innych członków zespołu w realizację zadań. (K1_K02)

LITERATURA PODSTAWOWA

1) S. Grzesiuk, R. Górecki, 1994r., "Fizjologia plonów", wyd. ART Olsztyn, 2) Cz. Tarkowski, 1995r., "Genetyka, hodowla roślin i nasiennictwo", wyd. AR Lublin.

LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA

1) J. Drzewiecki, E. Małuszynska, J. Rothkaehl, 1999r., "Nasiona toksyczne i szkodliwe oraz inne zanieczyszczenia ziarna zbóż", wyd. SGGW Warszawa, 2) Różni autorzy, "Przegląd Zbożowo-Młynarski", wyd. SIGMA-NOT Warszawa, 3) Praca zbiorowa, "Rynek zbóż", wyd. IERIGŻ Warszawa, 4) Praca zbiorowa, "Rynek rzepaku", wyd. IERIGŻ Warszawa.

TOWAROZNAWSTWO I PRZECHOWALNICTWO ZBÓŻ I NASION OLEISTYCH
COMMODITY AND STORAGE OF CEREALS AND OILSEEDS

Przedmiot/moduł:

TOWAROZNAWSTWO I PRZECHOWALNICTWO ZBÓŻ I NASION OLEISTYCH

Obszar kształcenia: nauki rolnicze, leśne i weterynaryjne

Status przedmiotu: Obligatoryjny

Grupa przedmiotów: C-przedmiot specjalnościowy

Kod ECTS: 01303-15-C

Kierunek studiów: Technologia żywności i żywienia człowieka

Specjalność: Technologia produktów roślinnych

Profil kształcenia: Ogólnoakademicki

Forma studiów: Stacjonarne

Poziom studiów/Forma kształcenia: Studia pierwszego stopnia

Rok/semestr: III/5

Rodzaje zajęć: ćwiczenia laboratoryjne, wykład

Liczba godzin w semestrze/tygodniu:

Wykład: 30/2

Ćwiczenia: 45/6

Formy i metody dydaktyczne

Wykład

Wykład - Informacyjne z prezentacją. (W1, W2, W3)

Ćwiczenia

Ćwiczenia laboratoryjne - Ćwiczenia laboratoryjne, terenowe oraz seminarium. (U1, U2, K1)

Forma i warunki zaliczenia

Egzamin pisemny (ustrukturyzowane pytania) - Student zalicza treści wykładów. Ocena z zaliczenia stanowi 100% oceny z egzaminu. (W1, W2, W3)

Kolokwium pisemne 1 - Student zalicza 4 kolokwia (szczegółowy w przewodniku do ćwiczeń). Ocena średnia z kolokwium stanowi 75% oceny końcowej z ćwiczeń. (W2, W3)

Prezentacja 1 (multimedialna, ustna) - Student przygotowuje prezentację wyników badań uzyskanych na ćwiczeniach laboratoryjnych. Ocena z prezentacji stanowi 10% oceny końcowej z ćwiczeń. (U2, K1)

Sprawozdanie 1 - Student przygotowuje 6 sprawozdań z ćwiczeń laboratoryjnych (szczegółowy w przewodniku do ćwiczeń). Ocena średnia ze sprawozdań i zaangażowania w pracę zespołową stanowi 15% oceny końcowej z ćwiczeń. (U1, U2, K1)

Liczba punktów ECTS: 6

Język wykładowy: polski

Przedmioty wprowadzające: fizyka, chemia, biochemia, mikrobiologia

Wymagania wstępne:

Nazwa jednostki organizacyjnej realizującej przedmiot:

Katedra Przetwórstwa i Chemii Surowców Roślinnych

adres: pl. Cieszyński 1, pok. 223, 10-957 Olsztyn

tel./fax 523-34-66

Osoba odpowiedzialna za realizację przedmiotu:

prof. dr hab. Daniela Anna Rotkiewicz, prof.zw.

e-mail: daniela.rotkiewicz@uwm.edu.pl

Osoby prowadzące przedmiot:

dr hab. inż. Iwona Zofia Konopka, prof. UWM, prof. dr hab.

Daniela Anna Rotkiewicz, prof.zw., dr inż. Małgorzata Tańska

Uwagi dodatkowe:

zajęcia realizowane w grupach do 24 osób

Szczegółowy opis przyznanej punktacji ECTS - część B

TOWAROZNAWSTWO I PRZECHOWALNICTWO ZBÓŻ I NASION OLEISTYCH
COMMODITY AND STORAGE OF CEREALS AND OILSEEDS

ECTS: 6

Na przyznaną liczbę punktów ECTS składają się :

1. Godziny kontaktowe z nauczycielem akademickim:

- Egzamin/egzamin poprawkowy	15,0 godz.
- udział w wykładach	30,0 godz.
- udział w ćwiczeniach	45,0 godz.
	90,0 godz.

2. Samodzielna praca studenta:

- Przygotowanie pracy seminaryjnej	12,0 godz.
- Przygotowanie się do egzaminu	25,0 godz.
- Przygotowanie się do realizacji ćwiczeń praktycznych	6,0 godz.
- Przygotowanie się do zaliczenia ćwiczeń	40,0 godz.
	83,0 godz.

godziny kontaktowe + samodzielna praca studenta OGÓŁEM: 173,0 godz.

liczba punktów ECTS = 173,00 godz.: 28,83 godz./ECTS = **6,00 ECTS**

w zaokrągleniu: **6 ECTS**

- w tym liczba punktów ECTS za godziny kontaktowe z bezpośrednim udziałem nauczyciela akademickiego - **3,12** punktów ECTS,
- w tym liczba punktów ECTS za godziny realizowane w formie samodzielnej pracy studenta - **2,88** punktów ECTS.

TREŚCI SZCZEGÓŁOWE ĆWICZEŃ

PROWADZĄCY ĆWICZENIA:		DR INŻ. MAŁGORZATA TAŃSKA, MGR INŻ. ALICJA FARON
JEDNOSTKA ORGANIZACYJNA:		KATEDRA PRZETWÓRSTWA I CHEMII SUROWCÓW ROŚLINNYCH
TEMATYKA ĆWICZEŃ:		
L.P.	TEMAT ĆWICZENIA	TREŚCI NAUCZANIA
1	Wpływ wilgotności na wybrane właściwości fizyczne masy nasiennej	<ul style="list-style-type: none"> • Praktyczne określenie cech powierzchni (kąąt naturalnego usypu, zsypu, współczynnik tarcia statycznego) oraz cech masowych w funkcji wilgotności masy nasiennej.
2	Wpływ warunków przechowywania na wybrane cechy jakości technologicznej ziarna zbóż	<ul style="list-style-type: none"> • Praktyczne określenie aktywności α-amylazy, ilości i cech glutenu oraz wskaźnika sedymentacji w funkcji warunków przechowywania.
3	Wpływ warunków przechowywania na wybrane cechy jakości technologicznej nasion oleistych	<ul style="list-style-type: none"> • Praktyczne określenie zmian jakości technologicznej nasion rzepaku: zawartości nasion uszkodzonych mechanicznie, biologicznie i termicznie oraz zawartości i jakości tłuszczu, w funkcji warunków przechowywania.
4	Zastosowanie DIA do wyznaczenia cech geometrycznych i barwy ziarniaków zbóż i nasion oleistych	<ul style="list-style-type: none"> • Praktyczne określenie cech geometrycznych, współczynników kształtu oraz barwy powierzchni/lub przekroju ziarna zbóż i nasion oleistych przy zastosowaniu cyfrowej analizy obrazu (DIA) oraz ich porównanie w obrębie gatunków i odmian.
5	Oznaczanie twardości ziarna zbóż i nasion oleistych	<ul style="list-style-type: none"> • Praktyczne określenie twardości ziarna zbóż i nasion oleistych wybranych gatunków i odmian w funkcji ich wilgotności, przy pomocy uniwersalnego przyrządu do badań wytrzymałościowych typu INSTRON 4301. Prognozowanie uszkodzeń mechanicznych.
6	Seminaryjne podsumowanie i omówienie wyników oraz zaliczanie ćwiczeń	<ul style="list-style-type: none"> • Opracowanie i prezentacja wyników badań oraz wskazanie na zależności między sposobem przechowywania ziarna zbóż i nasion oleistych, a zmianami ich cech fizykochemicznych.
7	Organizacja przechowywania ziarna zbóż w elewatorze - zajęcia terenowe	<ul style="list-style-type: none"> • Organizacja przechowywania ziarna zbóż i nasion oleistych na przykładzie Spichlerza Zbożowego w Dobrym Mieście. Poznanie najważniejszych elementów linii technologicznej: kontrola jakości surowców, przyjęcie i czyszczenie surowców, załadunek / rozładunek komór, rodzaje i pojemność komór, kontrola zjawisk podczas przechowywania.

ZAGADNIENIA NA ZALICZENIE ĆWICZEŃ

1. Budowa ziarniaka zbóż: elementy morfologiczne i ich udział oraz wymiary (schemat budowy)
2. Zasady i metody pomiaru cech masowych i powierzchniowych
3. Podstawowe cechy masowe ziarniaka i masy ziarnistej
4. Podstawowe cechy powierzchniowe ziarniaka i masy ziarnistej
5. Relacje pomiędzy cechami pojedynczego ziarniaka i masy ziarnistej
6. Wilgotność krytyczna i równowagowa ziarna, aktywność wody, rodzaje wody w ziarnie
7. Cechy organoleptyczne ziarna zdrowego i zepsutego
8. Cechy aerodynamiczne, higroskopijne i cieplne ziarna
9. Cechy biologiczne ziarna – oddychanie, spoczynek późniwny, długość życia, zjawisko samozagrzewania się ziarna
10. Samosortowanie się ziarna – opis zjawiska i metody zapobiegania
11. Porastanie ziarna zbóż – przyczyny i skutki, zagospodarowanie ziarna porośniętego
12. Zasady konserwacji ziarna suchego i mokrego
13. Cel, zasady i techniki suszenia ziarna
14. Mikroflora i szkodniki ziarna – znaczenie w przechowalnictwie
15. Typy magazynów zbożowych – krótka charakterystyka
16. Kryteria rozdzielcze podczas czyszczenia ziarna zbóż – podstawowe urządzenia czyszczące (wialnie, tryjery, pneumoseparatory, itp.)
17. Przyczyny i skutki psucia się nasion rzepaku
18. Różnice i podobieństwa w technologii przechowalnictwa ziarna zbóż i nasion oleistych
19. Twardość ziarna zbóż – przyczyny, metody pomiaru, znaczenie technologiczne
20. Barwa, wymiary i kształt ziarniaków zbóż oraz ich znaczenie technologiczne

Literatura :

1. Chotkowski J., Produkcja roślinna – technologia przechowalnictwa zbóż, ziemniaków i pasz. Fundacja „Rozwój SGGW” Warszawa, 1994.
2. Grzesiuk S., R. Górecki. Fizjologia plonów. Wprowadzenie do przechowalnictwa. Wydawnictwo ART Olsztyn, 1994.
3. Grzesiuk S., Kulka K., Biologia ziarniaków zbóż. PWN, Warszawa, 1988.
4. Niewiadomski H. Technologia nasion rzepaku. PWRiL, Warszawa, 1983.
5. Czasopisma naukowe: Przegląd Zbożowo-Młynarski.
6. Dodatkowe materiały od prowadzącego ćwiczenia - twardość, barwa

TOWAROZNAWSTWO I PRZECHOWALNICTWO ZBÓŻ I NASION OLEISTYCH - III rok studiów I°

WNoŻ - 2015/2016

Wykładowca: prof. dr hab. Daniela Rotkiewicz, dr hab. Iwona Konopka, prof. UWM,

Ćwiczenia: dr hab. Iwona Konopka, prof. UWM, dr inż. Małgorzata Tańska, mgr inż. Marta Skrajda, mgr inż. Grzegorz Dąbrowski

Ocena końcowa ćwiczeń: 75% ze średniej oceny z zaliczenia sprawdzianów, 20 % ocena umiejętności praktycznych (sprawozdania + praca seminaryjna), 5 % ocena kompetencji (umiejętność zmiany ról na ćwiczeniach oraz oceny pracy członków zespołu)

Nazwisko i Imię	OBECNOŚĆ							UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJE (sprawozdania, seminarium + obserwacja na zajęciach)							WIEDZA (pisemne sprawdziany wiedzy – zestaw zagadnień do nauki)						ZALICZENIE KOŃCOWE	
	1	2	3	4	5	6	7	1+2	3	4	5	6	7	KS	1	2	3	4	5	6		

KS – kompetencje społeczne

INSTRUKCJA BHP

Ogólne zasady organizacji pracy laboratoryjnej oraz bezpieczne i higieniczne jej wykonanie

1. Zabrania się przebywania w laboratorium bez osobistej odzieży ochronnej. Fartuch powinien być wymiarowy i zapięty na guziki.
2. Zabrania się przechowywania w laboratorium zewnętrznej odzieży osobistej.
3. W laboratorium zabrania się spożywania jakichkolwiek posiłków i palenia tytoniu.
4. Nie tarasować dróg komunikacyjnych i przejść w laboratorium.
5. Zachowywać daleko idącą ostrożność przy korzystaniu ze źródeł prądu elektrycznego – otoczenie źródła prądu powinno być utrzymane w stanie suchym. Nie wolno włączać źródeł prądu mokrymi rękoma.
6. Przy opuszczaniu stanowiska pracy sprawdzić stan urządzeń instalacji elektrycznej, wodnej i gazowej. Zauważone usterki zgłosić laborantowi względnie asystentowi prowadzącemu zajęcia dydaktyczne.
7. Osobę pracującą w laboratorium zobowiązuje się do znajomości umiejętnego posługiwania się sprzętem przeciwpożarowym i udzielania właściwej pomocy w nagłych wypadkach.
8. Dbać o odpowiednie zabezpieczenie butli gazowych oraz instalacji doprowadzającej dany gaz. Butle gazowe mogą być magazynowane wyłącznie w miejscach specjalnie do tego celu przystosowanych.
9. Zabrania się zdejmowania osłon z części wirujących maszyn i urządzeń w czasie ich pracy.
10. Osoba prowadząca reakcję chemiczną ma obowiązek dokładnego zapoznania się ze wszystkimi teoretycznymi możliwościami jej przebiegu. Należy przedsięwziąć wszystkie środki ostrożności na wypadek niepożądanego przebiegu procesu. Jeżeli w wyniku reakcji mogą wywiązać się szkodliwe dla zdrowia pary lub gazy aparatura powinna znajdować się pod dyktando ze sprawnie działającym wyciągiem. Należy pamiętać o obowiązku neutralizacji szkodliwych par i gazów. Ponadto należy zapoznać się z toksykologią substancji występujących w procesie i sposobach zabezpieczania przed ich działaniem – karty charakterystyki.
11. Stałe substancje chemiczne i płyny powinny być przechowywane we właściwych naczyniach (szczelne korki i właściwe oznakowanie na naczyniu).
12. Wymaga się przestrzegania ładunku i czystości na stanowisku pracy.
13. Nie pozostawiać rozlanych, względnie rozsypanych substancji chemicznych.
14. Do prac eksperymentalnych wymagających wysokiej temperatury należy bezwzględnie używać grubościennych, okrągłodennych kolb, nie wolno używać naczyń o niejednakowej grubości ścian, naczyń ze szkła lanego oraz naczyń posiadających kanty i załamania.
15. W miarę możliwości należy unikać stosowania stężonych kwasów względnie alkaliów, a jeżeli zachodzi konieczność ich używania należy bezwzględnie stosować okulary ochronne.
16. Roztworów **nie wolno** wciągać do pipety ustami (szczególnie trujących lub żrących).
17. Pobieranie gazów z butli może odbywać się wyłącznie za pomocą przewodu specjalnie przystosowanego do danego gazu.

Wskazówki pierwszej pomocy w niektórych wypadkach

Telefony alarmowe
Pogotowie ratunkowe - 999
Straż Pożarna - 998

1. Urazy oczu

W razie prysnięcia do oka kwasów, ługów itp. wskazania pierwszej pomocy są następujące:

- rozdzielić kciukiem i palcem wskazującym kurczowo zaciśnięte powieki,
- przepłukać oko dużą ilością czystej letniej wody (strumień wody w kierunku od nosa do skroni),
- nałożyć opatrunek ochronny na oczy (również na zdrowe oko, jeżeli zapryskane jest tylko jedno oko),
- natychmiast skierować chorego do lekarza okulisty.

W razie zranienia gałki ocznej odłamkami szkła

- założyć na oko wyjąłowany opatrunek osobisty,
- natychmiast skierować chorego do lekarza okulisty.

Uwaga!

Gdy obce ciało tkwi w oku pod powieką górną lub dolną można je przed założeniem opatrunku ostrożnie wyjąć brzeżkiem zwilżonej czystej chustki lub zwilżonym wacikiem.

2. Skaleczenia

W przypadku skaleczeń wskazania pierwszej pomocy są następujące:

- rany nie dotykać palcami,
- nie oczyszczają rany, nie myć jej wodą ani żadnym płynem odkażającym,
- nie usuwać z rany skrzepów krwi ani ciał obcych,
- nie kłaść na ranę bezpośrednio waty, ligniny ani używanej chusteczki higienicznej,
- założyć suchy, jałowy opatrunek (apteczka znajduje się na sali ćwiczeń)
- skierować chorego do szpitala pełniącego dyżur.

Uwaga!

W przypadku drobnych zranień wystarcza przemyć rany 3% wodą utlenioną i przyklepienie „Prestoplastu”. Nigdy nie nakładać na zranione miejsce samego przyklepca bez gazy.

3. Oparzenia termiczne

W przypadku oparzeń termicznych należy:

- rozebrać poparzonego w celu odsłonięcia części oparzonych. Z poparzonych palców należy koniecznie zdjąć obrączki lub pierścionki,
- poparzone miejsca schładzać przez 15 min. strumieniem zimnej wody,
- w razie rozległych oparzeń lub zerwania pęcherzy, natychmiast wezwać lekarza względnie odstawić chorego do szpitala,
- osobę płonąca w razie braku natrysku przewrócić i zduścić na nim ogień kocem – nie wolno pozwolić płonącemu biegać – natychmiast wezwać lekarza,
- przy silnych bólach podać środki przeciwbólowe.

4. Oparzenia chemiczne

Przy oparzeniach substancjami żrącymi miejsce oblane należy niezwłocznie obficie splukiwać niezbyt silnym strumieniem wody. Następnie założyć jałowy opatrunek i skierować chorego do lekarza.

5. Zatrucia

W przypadku zatrucia należy:

- *usunąć zatrutego ze strefy skażonej,*
- *w przypadku obłania zatrutego trucizną (fenol, anilina itp.) należy natychmiast zdjąć odzież zalaną trucizną i spłukać truciznę z powierzchni ciała,*
- *jeżeli to konieczne stosować sztuczne oddychania lub podawać tlen,*
- *wezwać lekarza,*
- *przy zatruciach substancjami powodującymi objawy z tzw. okresem utajenia (tlenki azotu, siarczan dimetylu, anilina, nitrobenzen itp.) nie wolno dopuścić do żadnego wysiłku fizycznego u chorego, nawet jeżeli pozornie czuje się dobrze.*

6. Porażenie prądem elektrycznym

W przypadku porażenia prądem elektrycznym należy:

- *odciąć porażonego od źródła napięcia (obowiązuje izolacja rąk osoby niosącej pomoc),*
- *w razie stwierdzenia, że poszkodowany nie oddycha, zastosować sztuczne oddychanie i nie przerywać go dopóty, dopóki nie wystąpią oznaki samodzielnego oddychania lub wyraźne oznaki śmierci (plamy pośmiertne),*
- *natychmiast wezwać lekarza.*

wzór oświadczenia

Olsztyn, dn.

Oświadczenia studentów

Lp.	Imię i nazwisko, grupa	Poznane metody	Umiejętność obsługi	Odpowiedzialność za	Podpis
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					

Wykonujący ćwiczenie:

.....

Olsztyn, dn.

Imię i Nazwisko

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Rok:....., grupa:.....

SPRAWOZDANIE Z ĆWICZENIA NR

1. Temat ćwiczenia:

2. Cel ćwiczenia:

3. Materiał do badań:

4. Zadania do wykonania:

a)

b)

...

5. Obliczenia:

6. Zestawienie wyników:

Wyróżnik	Jednostka	Wyniki			
		X1	X2	\bar{x}	\hat{s}

7. Wnioski:

ĆWICZENIE 1a

ANALIZA RÓŻNIC ODMIANOWYCH WE WŁAŚCIWOŚCIACH FIZYCZNYCH ZIARNA ZBÓŻ - CECHY MASOWE

1. Podstawy teoretyczne

Cechy masowe ziarna mają znaczenie w technologii przechowywania i przetwórstwie ziarna zbóż. **Masa właściwa i masa 1000 ziaren** informuje o stopniu wypełnienia ziarna składnikami chemicznymi, o jego budowie morfologicznej, a także decyduje o ilościowym składzie produktów przemiału.

Masa właściwa ziarna zależy od jego składu chemicznego a to ze względu na zróżnicowane masy właściwe poszczególnych składników. Stwierdzono, że największą masą właściwą – 1,458 – 1,630 g/cm³ - charakteryzuje się skrobia. Masa właściwa białek wynosi 1,345 g/cm³ (w tym glutenu 1,242 – 1,313 g/cm³), a tłuszczu 0,892-0,999 g/cm³.

Przeciętna masa właściwa ziarna zbóż w stanie absolutnie suchym przedstawia się następująco [g/cm³]:

pszenica	-	1,29 - 1,49
żyto	-	1,23 - 1,44
jęczmień	-	1,13 - 1,27
owies	-	0,95 - 1,08
kukurydza	-	1,19 - 1,25
ryż	-	1,11 - 1,12

Masa 1000 nasion jest podstawowym wskaźnikiem jakości towarowej ziarna zbóż i jest wyróżniającą cechą dla różnych odmian (Fot.1,2). Uzależniona od niej jest wydajność wielu procesów czy operacji jednostkowych, np. decyduje ona o wydajności obłuskiwania ryżu, a współczynnik korelacji wynosi 0,96.

Stwierdzono również, że wyciąg mąki wzrasta z 69,5% do 74,6% wraz ze wzrostem masy 1000 ziaren z 18,2 g do 41,5 g. Jest to związane ze zwiększeniem względnego udziału bielma skrobiowego w ziarnie, gdyż przy wzroście masy 1000 ziaren z 15,0 do 30,0 g, zawartość skrobiowej części bielma wzrasta z 64 do 80%.

Gęstość w stanie zsypanym (gęstość usypna, masa objętościowa) oraz **porowatość warstwy ziarna** są ze sobą ściśle powiązane.

Gęstość to masa określonej objętości ziarna, na które składają się ziarna właściwe, zanieczyszczenia i powietrze z przestrzeni międzyziarnowych. Zależność między masowymi cechami ziarna, a porowatością warstwy można opisać następującym wzorem:

$$P = \frac{\gamma - \gamma_2}{\gamma} \times 100 \quad [\%] \quad [1]$$

gdzie:

- P - porowatość warstwy ziarna,
- γ - masa właściwa ziarna [kg/m³],
- γ_2 - gęstość w stanie zsypanym [kg/m³].

Przykładowe wartości gęstości w stanie zsypanym wybranych rodzajów ziarna zbóż [kg/m³]:

pszenica	-	750 - 850
żyto	-	670 - 750
jęczmień	-	480 - 680
owies	-	300 - 550
proso	-	680 - 750
kukurydza	-	600 - 850
gryka	-	460 - 550
pszenżyto	-	608 - 675

Gęstość w stanie zsypanym ma istotny wpływ na wyciąg mąki podczas przemiału ziarna. Dla pszenicy twardej stwierdzono np., że przy obniżeniu gęstości z 819 - 843 kg/m³ do 691 - 716 kg/m³ wyciąg mąki zmniejszył się z 72,1 do 66,4%.

Gęstość w stanie zsypanym decyduje również o ładowności zbiorników magazynowych, a porowatość warstwy, ziarna wahająca się dla zbóż w granicach 35 – 60 %, o łatwości prowadzenia zabiegów konserwacyjnych, np. aktywnej wentylacji.

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest określenie istotności różnic w badanych właściwościach fizycznych dla różnych rodzajów ziarna zbóż lub ich różnych odmian.

3. Materiał badań

Materiałem badań są próby ziarna pszenicy, żyta, pszenżyta lub jęczmienia określonych odmian. Z będących do dyspozycji rodzajów ziarna należy wybrać 1

odmianę

i wykonać oznaczenia cech fizycznych w 5-ciu powtórzeniach.

4. Zadania do wykonania

- (a) oznaczenie wilgotności – 3 powtórzenia,
- (b) oznaczenie masy 1000 ziaren – 5 powtórzeń,
- (c) oznaczenie masy właściwej – 5 powtórzeń,
- (d) oznaczenie gęstości w stanie zsypanym – 5 powtórzeń,
- (e) oznaczenie porowatości warstwy ziarna – 5 powtórzeń.

5. Sposób wykonania ćwiczenia i opis urządzeń pomiarowych

(a) oznaczenie wilgotności - wg PN-91/A-74010 i PN-90/A-74009

(b) masę 1000 ziaren - wg PN-68/R-74017

Na wibrującą powierzchnię roboczą (1) licznika nasion LN-S-50 (Fot. 1) rozsypać około 100 g ziarna, nastawić żądaną ilość nasion do odliczenia na liczniku (2) – np. 250 szt., włączyć urządzenie przyciskiem sieć (3) i start (4). Pokrętło regulujące (5) szybkość przesuwu nasion ustawić w pozycji środkowej na skali. Pod koniec liczenia żądanej ilości nasion, licznik przy wciśniętym przycisku “czułość” (6) zwolnić tempo liczenia ostatnich 10-ciu nasion. Odliczoną ilość nasion zważyć na wadze technicznej z dokładnością do $\pm 0,1$ g i przeliczyć na masę 1000 nasion.



Fot. 1. Licznik nasion LN-S-50

- 1 - wibrująca powierzchnia robocza
- 2 - licznik nastawny
- 3 - włącznik urządzenia
- 4 - pokrętło regulacji szybkości podawania nasion
- 5 - przycisk regulujący czułość

(c) oznaczenie masy właściwej metodą objętościową

Na wadze technicznej odważyć 25 g ziarna. Policzyc ilość nasion w naważce i przesytać całość do biurety o pojemności 100 cm³, wypełnionej 50 cm³ wody. Odczytać poziom wody w biurecie po wsypaniu ziarna. Z różnicy poziomów obliczyć jego masę właściwą ze wzoru:

$$M_w = \frac{m}{V} \quad [\text{kg/m}^3] \quad [2]$$

gdzie:

M_w - masa właściwa,

m - masa próbki ziarna [kg] o objętości V [m³].

Znając ilość ziaren w próbie obliczyć objętość zastępczą jednego ziarna (V_z).

(d) gęstość w stanie zsypanym – wg PN-73/R-74007

Przyrząd do pomiaru gęstości w stanie zsypanym tzw. wagę holenderską, przedstawiono na fotografii 2 i 3. Składa się ona z następujących elementów: wagi (1), naczynia pomiarowego o objętości 250 cm³ (2), noża (3), krążka opadowego (4), nadstawki (5) i odważników (6).



Fot. 2. Elementy wagi holenderskiej

1) waga, 2) naczynie pomiarowe, 3) nóż, 4) krążek opadowy, 5) nadstawka, 6) odważniki



Fot. 3. Waga holenderska po złożeniu do oznaczania gęstości w stanie zsypanym

Sposób wykonania pomiarów:

- 1) sprawdzić wytarowanie naczynia pomiarowego zawieszając na jednym ramieniu wagi naczynie z krążkiem opadowym, na drugim równoważąc jego ciężar przeciwwagę,
- 2) w szczelinę naczynia wprowadzić nóż,
- 3) na nóż położyć krążek opadowy,
- 4) dołączyć nadstawkę,
- 5) pojemnikiem nabrać próbę ziarna i z wysokości 3 - 4 cm napełniać ziarnem nadstawkę, strumieniem równomiernie skierowanym na środek w czasie około 8 sek.,
- 6) po napełnieniu nadstawki wyciągnąć szybkim ruchem nóż, przytrzymując ręką pojemnik. Gdy krążek z ziarnem opadnie na dno pojemnika odciąć nadmiar ziarna przez całkowite wsunięcie noża do szczeliny. Czynność tę wykonywać ostrożnie, tak, aby nie wstrząsnąć gęstościomierzem; w przypadku wstrząśnięcia oznaczenie powtórzyć,
- 7) wysypać nadmiar ziarna z nadstawki, zdjąć nadstawkę, wyjąć nóż i zważyć pojemnik na wadze, dokładając odpowiednie krążki odważników,
- 8) otrzymany wynik przeliczyć na kg/m^3 .

(e) oznaczenie porowatości warstwy ziarna

Porowatość należy obliczyć z danych uzyskanych z oznaczenia masy właściwej i gęstości w stanie zsypanym wg wzoru [1].

ĆWICZENIE 1b

WYZNACZANIE WARTOŚCI CECH FIZYCZNYCH ZIARNA ZBÓŻ - CECHY POWIERZCHNIOWE

1. Podstawy teoretyczne

Cechy powierzchniowe, podobnie jak inne właściwości fizyczne ziarna są istotne w wielu operacjach jednostkowych procesu przetwórstwa zbóż. Znajomość wartości

tych cech odgrywa szczególną rolę w projektowaniu magazynów (np. określenie wysokości pryzm w magazynach podłogowych), konstrukcji lejów zsypanych, silosów i komór magazynowych.

Płynność materiałów sypkich ma duży wpływ na ich składowanie w silosach, zarówno ze względu na technologię składowania, jak i obliczenia wytrzymałościowe.

Znajomość właściwości fizycznych masy zbożowej jest wymagana do określenia naprężeń działających na boczne ściany elewatora. Do opisu sił działających na ściany boczne wykorzystuje się powszechnie równanie Janssen'a:

$$L_h = \frac{w R g}{1000 \mu'} [1 - \exp(\frac{-\mu' K h}{R})] \quad [\text{kPa}] \quad [3]$$

gdzie:

L_h - ciśnienie wywierane na ściany boczne na głębokości h ,

w - gęstość ziarna w stanie zsypanym [kg/m^3],

R - średnica hydrauliczna elewatora [m],

g - przyspieszenie ziemskie [m/s^2],

μ' - bezwymiarowy współczynnik tarcia zewnętrznego przechowywanego ziarna,

h - głębokość mierzona od powierzchni ziarna w silosie [m],

K - stosunek ciśnienia wywieranego na ściany boczne do ciśnienia wywieranego na dno zbiornika. Jest on określany na podstawie współczynnika tarcia wewnętrznego ziarna, np. według Canadian Farm Building Code, 1983.

Składową pionową siły działającej na jednostkę długości dna zbiornika P_v można obliczyć na podstawie wzoru:

$$P_v = \left(\frac{w g h}{1000} - L_v \right) \times R \quad [\text{N/m}] \quad [4]$$

gdzie:

P_v - składowa pionowa siły działającej na jednostkę długości dna zbiornika,
 L_v - składowa pionowa ciśnienia na głębokości h [kPa].

Do właściwości fizycznych, które wpływają na rozkład sił i ciśnień w zbiornikach należą: gęstość ziarna w stanie zsypanym oraz współczynniki tarcia zewnętrznego i wewnętrznego ziarna. Na podstawie przeprowadzonej analizy podanych równań wynika, że:

- ❖ zmniejszenie gęstości ziarna w stanie zsypanym powoduje proporcjonalny spadek sił działających na ściany boczne i dno silosa,
- ❖ wzrost współczynników tarcia zewnętrznego i wewnętrznego ziarna powoduje zmniejszenie ciśnienia na ściany boczne silosa,
- ❖ wzrost współczynnika tarcia zewnętrznego powoduje zwiększenie sił działających na dno zbiornika,
- ❖ wzrost współczynnika tarcia wewnętrznego ziarna powoduje zmniejszenie sił działających na dno zbiornika.

Cechy powierzchniowe są również podstawą do rozdzielania składników mieszanin ziarnistych, zwłaszcza w maszynach typu tarcowego takich jak: selektory, płótniarki, żmijki. Wykorzystuje się je również w rozdzielaczach magnetycznych do rozdzielania ziarna lub nasion o różnej chropowatości powierzchni (wykorzystując ich odmienną zdolność do zatrzymywania sproszkowanych preparatów ferromagnetycznych).

Znajomość tych cech, jest niezbędna także przy rozwiązywaniu problemów transportu nasion lub ziarna przy pomocy przenośników. Jedną z cech określających właściwości powierzchniowe ziarna jest jego **sypkość**. Określa się ją jako zdolność wzajemnego przemieszczania się ziarniaków pod wpływem działania sił zewnętrznych ograniczonych jednak przyczepnością i tarciem powierzchni styku ziarniaków. Sypkość ziarna, zwana też jego ruchliwością, zależy przede wszystkim od stanu głównego składnika masy ziarna, a mniej od domieszek. Przy swobodnym spadaniu ziarniaków na płaszczyznę poziomą powstaje stożek, o określonym naturalnym stoku, którego kąt nachylenia nazywamy **kątem naturalnego stoku**

lub **kątem usypu**. Kąt ten jest różny dla poszczególnych gatunków ziarniaków i zależy m.in. od ich kształtu, budowy, wilgotności i obecności zanieczyszczeń.

Największą sypkość mają ziarniaki suche, okrągłe lub zbliżone do kuli i o powierzchni gładkiej (Tab.1).

Tabela 1. Przykładowe wartości kąta usypu [°] dla ziarna zbóż o różnej wilgotności

Gatunek	Wilgotność ziarna [%]						
	11,1	11,9	14,6	15,3	17,8	20,7	22,1
Pszenica	-	-	-	30		-	38
Żyto	23	-	-	-	34	-	-
Jęczmień	-	28	-	-	32	-	-
Owies	-	-	32	-	-	41	-

Inną miarą cech sypkości jest **kąt zsypu**. Definiuje się go jako – najmniejszy kąt nachylenia płaszczyzny, przy którym następuje ześlizg po niej materiału sypkiego [°]. Wartość tego kąta jest zazwyczaj o kilka stopni niższa niż kąta usypu.

Z pozostałych “cech powierzchniowych” należy wymienić również – **współczynnik tarcia statycznego**, definiowany podobnie jak kąt zsypu lecz, wyrażony wartością tangensa kąta α (Tab. 2).

Tabela 2. Przykładowe wartości współczynnika tarcia statycznego (tg α) dla wybranych odmian ziarna pszenżyta

Rodzaj powierzchni	Odmiana		
	BOLERO	GRADO	MAH – 183
Drewno	0,43	0,43	0,58
Stal	0,37	0,36	0,52
Guma	0,38	0,36	0,44

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie wartości cech powierzchniowych ziarna jako materiału wyjściowego do obliczeń konstrukcyjnych, planowania transportu i magazynowania.

3. Materiał badań

Materiałem badań są próby ziarna pszenicy, żyta, pszenżyta lub jęczmienia określonych odmian. Z będących do dyspozycji rodzajów ziarna należy wybrać 3 odmiany i wykonać oznaczenia cech fizycznych w 5-ciu powtórzeniach.

4. Zadania do wykonania

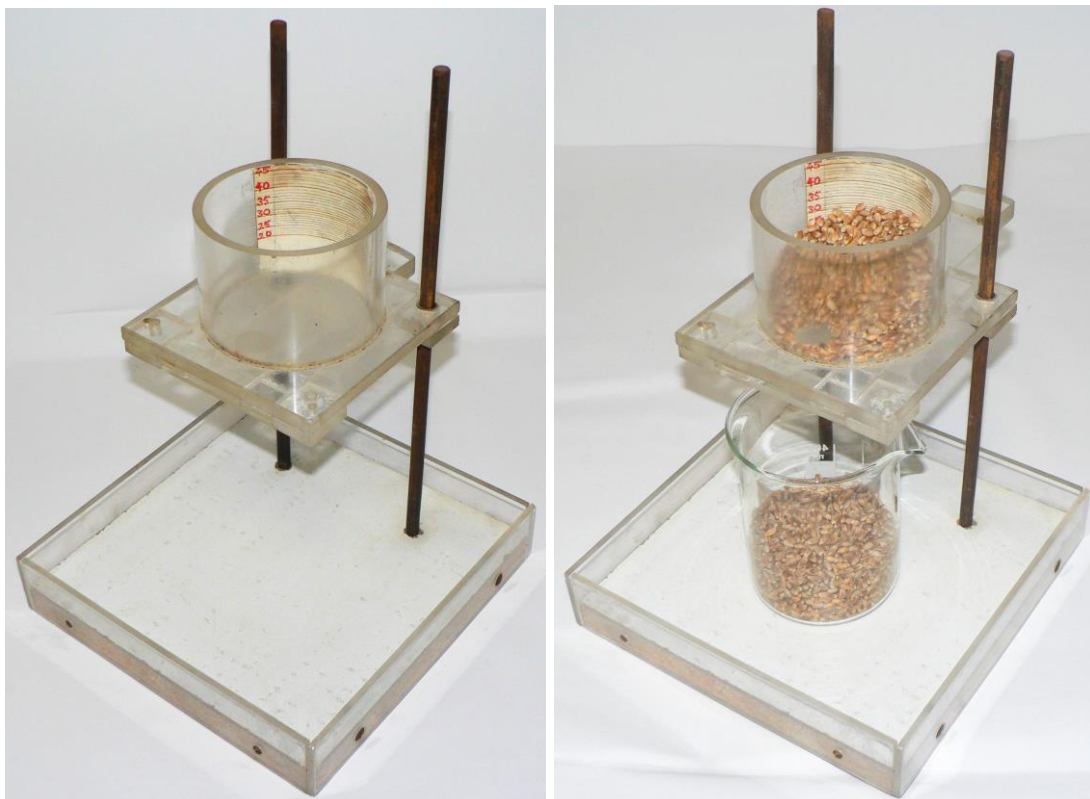
- (a) oznaczenie wilgotności (w tej części ćwiczenia przy użyciu miernika wilgotności) – 5 powtórzeń,
- (b) oznaczenie kąta usypu – 10 powtórzeń,
- (c) oznaczenie kąta zsypu – 10 powtórzeń,
- (d) oznaczenie współczynnika tarcia statycznego – 10 powtórzeń.

5. Sposób wykonania ćwiczenia i opis urządzeń pomiarowych

(a) oznaczenie wilgotności - wg PN-91/A-74010 i PN-90/A74009

(b) oznaczenie kąta usypu - wg Zielenkowa

Do cylindra pomiarowego (1) przyrządu (Fot. 4) wsypać ilość ziarna wypełniająca całość objętości. Pod otwór wysypowy podstawić zlewkę. Pełnym, jednostajnym ruchem wyciągnąć zasuwę (2) i po swobodnym wysypaniu się ziarna odczytać kąt usypu ze skali przyrządu (3). Wysypać pozostałą w cylindrze część ziarna i powtórzyć pomiar.



Fot. 4. Przyrząd do oznaczania kąta usypu wg Zielenkowa

(c) oznaczenie kąta zsypania - wg Zielenkowa

Ustawić przyrząd pomiarowy w położeniu początkowym (Fot. 5), napęlić całkowicie ziarnem, a jego nadmiar zgarnąć linijką. Przed pomiarem sprawdzić przy pomocy pionu (1) prawidłowość ustawienia przyrządu. Powolnym, jednostajnym ruchem przechylić część roboczą przyrządu do pozycji pomiarowej i odczekać, aż ziarno przestanie się zsypywać. Wartość kąta zsypania odczytać ze skali przyrządu (2). Po dokonaniu pomiaru wysypać pozostałe ziarno i powtórzyć pomiar.



Fot. 5a. Przyrząd do oznaczania kąta zsypania wg Zielenkowa (położenie początkowe)

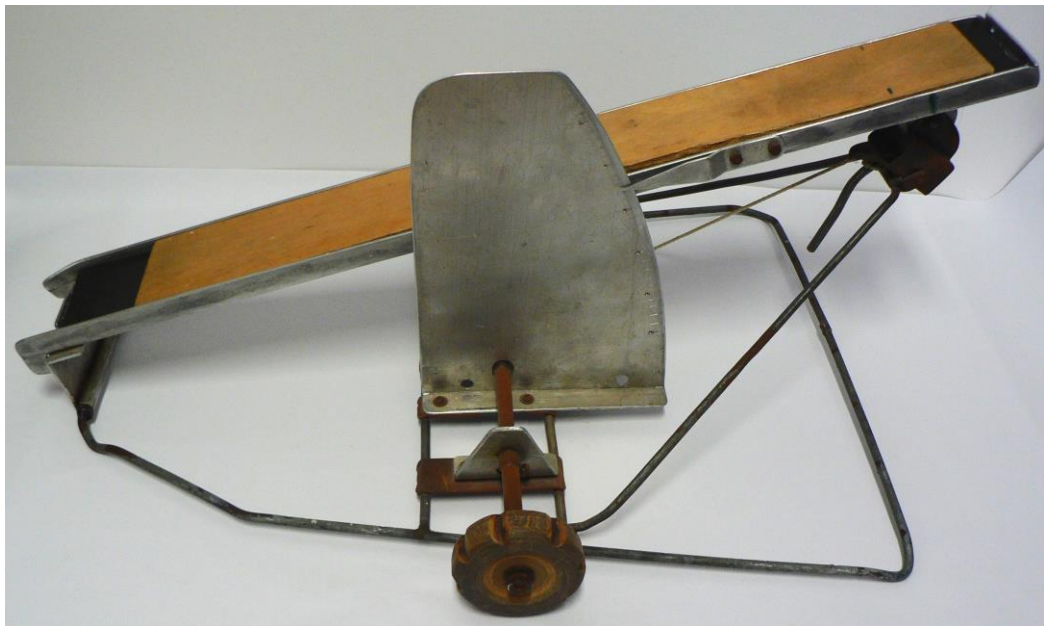
- 1 - pion
- 2 - skala pomiarowa



Fot. 5b. Przyrząd do oznaczania kąta zsypania wg Zielenkowa (położenie pomiarowe)

(d) oznaczenie współczynnika tarcia statycznego

Przyrząd do pomiaru współczynnika tarcia statycznego (równie pochyła) przedstawiono na fotografii 6. Składa się ona z rynny pomiarowej (1), na którą nakłada się wybrany rodzaj materiału, skali pomiarowej (2) oraz pokrętła podnoszącego ramię dźwigni (3). Na ustawione poziomo ramię dźwigni (położenie „0”), w jego górnej części (4) rozsypać 2 – 3 g badanego ziarna (w jednej warstwie i linii). Pokręcając pokrętłem doprowadzić do pozycji, w której ziarno zaczyna się zsypywać i odczytać wynik ze skali (z tablic odczytać wartość $\text{tg } \alpha$). Usunąć pozostałe ziarniaki i powtórzyć pomiar.



Fot. 6. Przyrząd do oznaczania współczynnika tarcia statycznego

- 1 - rynna pomiarowa z wymienialną powierzchnią
- 2 - skala pomiarowa
- 3 - pokrętło dźwigni
- 4 - miejsce na próbę ziarna

Analiza wyników

Wyniki uzyskane w trakcie ćwiczenia 1 a i 1 b zestawić w formie tabel 3 i 4 (przykłady poniżej). Obliczyć wartości średnie i odchylenie standardowe każdej analizowanej cechy. Pod tabelą 1 podać przykłady obliczeń dla wszystkich wyróżników.

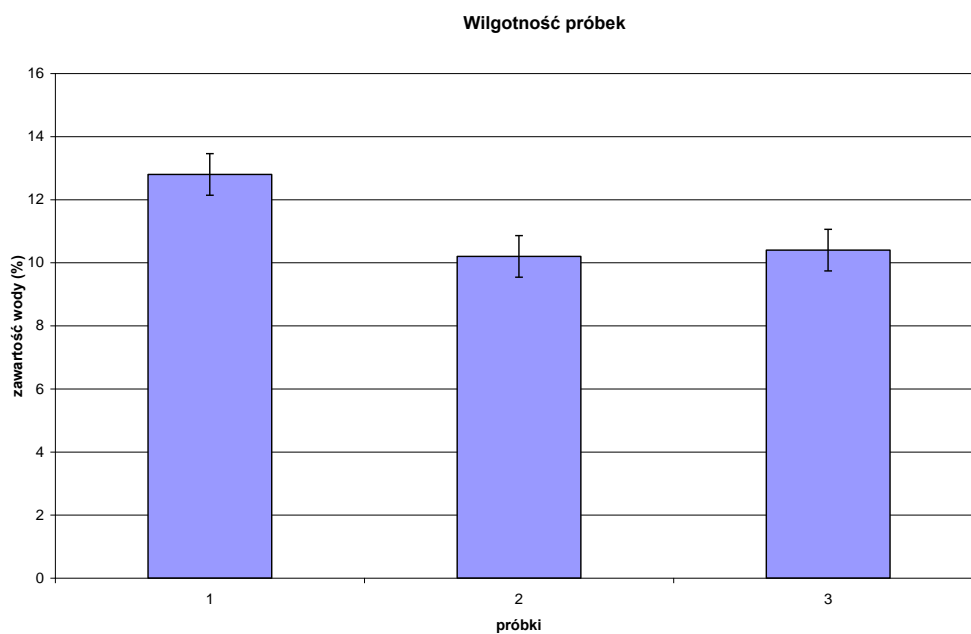
Tabela 3. Wyróżniki fizykochemicznej oceny jakości ziarna

Lp.	Cecha fizyczna	Jednostka	Wartość średnia	Odchylenie standardowe	Zakres zmienności
1.	Wilgotność (suszarkowo)	%	13.3	0.56	12.9-13.6
2.	Wilgotność (miernik elektryczny)	%			
3.	Masa właściwa	g-cm ³			
4.	Objętość zastępcza	cm ³			
5.	Masa tysiąca ziaren	g			
5.	Gęstość w stanie zsypanym	kg/m ³			
6.	Porowatość	%			
7.	Kąt usypu	°			
8.	Kąt zsypu	°			
9.	Współczynnik tarcia statycznego	-			

Tabela 4. Wartości średnie i odchylenia standardowe wyróżników fizykochemicznej oceny jakości ziarniaków i nasion wszystkich analizowanych próbek

Lp.	Cecha fizyczna	Jednostka	Surowiec 1		Surowiec 2		Surowiec 3		Surowiec 4	
			x	S	x	S	x	S	x	S
1.	Wilgotność	%	x	S	x	S	x	S	x	S
2.	Wilgotność (miernik elektryczny)	%								
3.	Masa właściwa	g-cm ³								
4.	Objętość zastępcza	cm ³								
5.	Masa tysiąca ziaren	g								
5.	Gęstość w stanie zsypanym	kg/m ³								
6.	Porowatość	%								
7.	Kąt usypu	°								
8.	Kąt zsypu	°								
9.	Współczynnik tarcia statycznego	-								

Wyniki przedstawione w tabeli 4 zaprezentować również w formie wykresów słupkowych z naniesieniem wartości odchylenia standardowego – przykład poniżej



ĆWICZENIE 2

JAKOŚĆ TECHNOLOGICZNA PRZECHOWYWANIA ZIARNA ZBÓŻ

1. Podstawy teoretyczne

W przetwórstwie ziarna zbóż duże znaczenie posiada zachowanie niezmienionej jakości surowca w czasie przechowywania. Na jakość surowca i jego skład chemiczny wpływają w dużej mierze warunki i czas przechowywania (Tab.5). W ziarnie zbóż, które jest układem biologicznym, może następować obniżanie jakości technologicznej w wyniku działania **enzymów**.

Największe znaczenie, z punktu widzenia przechowalności zbóż, mają **enzymy lipolityczne**, które na skutek niskich wymagań (działają przy aktywności wodnej powyżej 0,2) mogą przyczyniać się do wzrostu grzybów pleśniowych, a przez to do wzrostu aktywności **enzymów amylolitycznych i proteolitycznych**.

Zmiany, które następują w ziarnie podczas przechowywania, zależą od składu ziarna oraz parametrów przechowywania. Wraz z upływem czasu rośnie w nim, nawet przy wilgotności niższej od wilgotności krytycznej (ok. 14,5 %), ilość wolnych kwasów tłuszczowych, związana z działaniem **lipaz** rodzimych i grzybowych (grzyby pleśniowe uaktywniają się przy wilgotności powyżej 12,9 %). Podobne procesy zachodzą podczas przechowywania mąki, gdyż wykazano, że wolne kwasy tłuszczowe początkowo nagromadzają się szybko, potem coraz wolniej, szybciej w mąkach słabych, a wolniej w mocnych. W tabeli 1 przedstawiono zmiany wybranych składników w przechowywanej mące pszennej.

Nagromadzanie się wolnych kwasów tłuszczowych ma związek ze zmniejszaniem się ilości triacylogliceroli. Uwolnione kwasy nienasycone ulegają następnie przemianom oksydacyjnym, intensyfikowanym poniżej 8 % wilgotności. Po przekroczeniu pewnego zakresu ilości produktów utlenionych pojawiają się wady zapachu, smaku, a tym samym obniżenie jakości technologicznej ziarna.

Spośród enzymów amylolitycznych największe znaczenie posiada **α - amylaza** (katalizuje ona hydrolizę wielocukrowców właściwych - skrobi). α - amylaza ziarna pszenicy stanowi ok. 0,1 % białka ziarna. Optymalne pH α - amylazy występującej w ziarnie pszenicy, żyta, pszenżyta, jęczmienia i owsa wynosi 4,3 - 6,0 - optymalna temperatura działania 50 - 56 °C.

Tabela 5. Wpływ czasu i temperatury przechowywania mąki pszennej na zawartość wybranych składników chemicznych

Czas przechowywania	Początek przechowywania	Po 20 tygodniach przechowywania			
		10°C		25°C	
Temperatura przechowywania					
Wilgotność	-	9,5 %	10,4 %	9,5 %	10,4 %
Karotenoidy [$\mu\text{g/g}$]	3,94	3,55	3,49	2,88	2,85
Kwasowość tłuszczowa [mg KOH/100 g]	22,7	35,7	40,4	52,3	56,8
Wolne kwasy tłuszczowe [% kwasu C _{18:0}]	5,6	9,4	10,8	13,6	15,4
Liczba kolonii pleśni [kolonie/g]	50-80	70-95	70-95	80-120	80-130
Tłuszcz wolny [%]	1,93	1,88	1,86	1,92	1,84
w tym: lipidy niepolarne	86,5	86,2	86,1	85,0	85,8
Glikolipidy	7,4	7,3	7,0	7,4	7,5
Fosfolipidy	5,9	6,2	6,0	6,3	6,0
Tłuszcz związany [%]	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
w tym: lipidy niepolarne	20,4	19,9	19,6	20,9	21,2
glikolipidy	49,6	49,3	48,9	48,6	49,1
fosfolipidy	30,3	30,6	31,0	30,2	29,7

Wyróżniamy dwa typy α - amylazy:

- „green” (zielona) - amylaza rozwijającego się ziarna,
- „malt” (słodowa) - amylaza ziarna kiełkującego.

W przechowywaniu ziarna zbóż ogromne znaczenie odgrywa „malt” α - amylaza, która rozmieszczona jest głównie w owocni pod warstwą komórek aleuronowych. Przy wzroście wilgotności ziarna i podczas kiełkowania (słodowania) całkowita ilość α - amylazy, której połowę stanowi forma związana, znacznie się zwiększa. Amylasy ziarna ulegają termicznej inaktywacji w temperaturze wyższej od 70 °C.

Aktywność amylolytyczną określamy najczęściej pośrednio przez pomiar **liczby opadania**. Metoda ta opiera się na pomiarze upłynnienia skrobi mąki w zawieszynie wodnej, w temperaturze wrzenia wody, przy czym skrobia kleikuje i tworzy lepka zawiesinę zależnie od aktywności α - amylazy. Im aktywność α - amylazy większa, tym lepkość mniejsza, a czas opadania mieszała mniejszy.

Enzymy proteolityczne, podobnie jak enzymy amylolytyczne, mają duże znaczenie w technologii zbóż. Aktywność enzymów proteolitycznych nie jest

jednakowa we wszystkich częściach ziarniaka. Najwyższą aktywność wykazuje warstwa komórek aleuronowych i zarodek (tarczka). Względna aktywność **proteaz** warstwy aleuronowej jest ok. 5 razy większa od aktywności proteolitycznej zarodka.

Podobnie jak amylazy większość proteaz występuje w formie związanej. Optymalne pH dla proteaz ziarna pszenicy wynosi 3,7 - 4,4 , a dla żyta i pszenżyta 4,0 - 4,5.

Proteazy wrażliwe są ponadto na czynniki blokujące grupy sulfhydrylowe powodujące zmiany w trzeciorzędowej strukturze enzymu. Do niebiałkowych inhibitorów proteaz zaliczyć można wiele czynników utleniających m.in. bromiany, jodany, nadsiarczany, kwas jodoctowy, nadtlenki kwasów tłuszczowych oraz tlen.

Porażenie ziarna zbóż i nasion podczas przechowywania przez szkodniki magazynowe oraz rozwój pleśni, może spowodować zwiększenie aktywności proteolitycznej ziarna. Wynika to ze wzrostu wilgotności i temperatury ziarna wskutek gromadzenia się wody i ciepła jako produktów oddychania. Podczas porastania ziarna (w złych warunkach przechowywania) aktywność proteolityczna wzrasta dziesięciokrotnie. Skutkiem dużej aktywności proteaz w ziarnie jest hydroliza białek, a w szczególności **białek glutenowych**. Poprzez rozszczepienie łańcuchów gliadyny i gluteniny następuje zmiana właściwości reologicznych glutenu. Gluten traci sprężystość, staje się bardziej lepki (wzrost rozplywalności). Z ziarna, w którym zaszły duże zmiany w strukturze białek glutenowych, otrzymujemy mąkę o niskiej wartości wypiekowej (mięksiz pieczywa jest wilgotny).

Aktywność proteolityczną ziarna oceniamy najczęściej pośrednio poprzez:

- (a) określenie **ilości glutenu mokrego** (jego sprężystości i rozplywalności),
- (b) określenie **liczby sedymentacji**,
- (c) określenie **indeksu glutenowego (GI)**.

Obecnie zalecane jest posługiwanie się indeksem glutenowym, jako metodą prostą, szybką i wysokoskorelowaną z jakością glutenu.

Oznaczenie indeksu glutenowego (GI) ziarna pszenicy przebiega wg następujących etapów:

- 1) rozdrobnienie ziarna pszenicy w młynie laboratoryjnym FALLING NUMBER 3100,
- 2) oddzielenie glutenu przez mechaniczne wmywanie za pomocą urządzenia GLUTOMATIC 2100 (lub 2200) firmy *Falling Number*,
- 3) oznaczenie GI na podstawie ilości przeciśniętego glutenu, w specjalnej wirówce (GLUTEN CENTRIFUGE 2015) wyposażonej w kasetkę z sitkiem o oczkach \varnothing 840 μ m i prędkości obrotowej 6000 ± 5 obr. / min.

Indeks glutenowy obliczamy z zależności:

$$GI = \frac{\text{masa glutenu na sicie}}{\text{zawartość glutenu}} \times 100 \quad [\%] \quad [1]$$

Optymalna wartość GI zależy od przeznaczenia ziarna (mąki).

Przykładowe przydatności mąki w zależności od wartości indeksu glutenowego przedstawia tabela 6.

Tabela 6. Przeznaczenie mąki w zależności od jej jakości (na podstawie Technical profile: measurement of gluten quality. World Grain, p. 24-25, October 1990)

Przeznaczenie	GI [%]	Ilość glutenu mokrego [%]	Zawartość białka [% s.m.]	Objętość pieczywa ze 100 g mąki [cm ³]
Mąka na herbatniki	75 ± 5	21 ± 2	8,9 ± 0,2	740 ± 25
Mąka do użytku domowego	67 ± 3	24 ± 1	9,8 ± 0,3	760 ± 20
Mąka piekarska:				
słaba	72 ± 4	27 ± 2	11,2 ± 0,3	860 ± 25
średnia	77 ± 4	29 ± 1	12,1 ± 0,2	930 ± 20
specjalna	74 ± 3	31 ± 2	13,1 ± 0,2	1000 ± 20

Optymalne warunki przechowywania ziarna warunkujące obniżenie aktywności enzymatycznej wynoszą:

- ❖ wilgotność ziarna 11 - 12 %,
- ❖ względna wilgotność powietrza 65 - 75 %,
- ❖ temperatura 4 - 25 °C.

Obrót i klasyfikacja ziarna pszenicy odbywa się w oparciu o normy (Tab. 7).

Tabela 7. Normy jakościowe ziarna pszenicy (wg BN-88/9131-04)

Wyróżnik	Normy obowiązujące			Normy projektowane	
	kl.I	kl.II	kl.III	pszenica chlebowa	Pszenica jakościowa
Wilgotność [%]	≤ 15			≤ 15	
Ciężar nasypowy [kg / hl]	-			≥ 75	
Ilość glutenu [%]	≥ 30	≥ 26	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Rozpływalność glutenu [mm]	≤ 6	≤ 9	≤ 15	≤ 5	≤ 4
Liczba opadania [sek.]	≥ 250	≥ 200	≥ 150	≥ 220	≥ 240
Zawartość białka [% s.m.]	-			≥ 11,5	≥ 14
Liczba sedymentacji [cm ³]	-			≥ 25	≥ 30
GI - Gluten Index [%]	-			≥ 40	≥ 50
Zanieczyszczenia ^{a/} [%]:					
ogółem	≤ 6			≤ 6	
nieużyteczne	≤ 2			≤ 2	

^{a/} Trwają prace nad nową normą (projekt z grudnia 1994 r. „Pszenica. Oznaczanie zanieczyszczeń” PN-R-74015)

Normy jakości ziarna żyta określa norma BN-88/9131-05.

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest praktyczne określenie zmian aktywności enzymatycznej α – amylazy w funkcji warunków przechowywania. Zależność pomiędzy wilgotnością, aktywnością α – amylazy a właściwościami funkcjonalnymi białek glutenowych i fizykochemicznych skrobi.

3. Materiał badań

Materiałem do wykonania ćwiczenia jest ziarno pszenicy, żyta lub jęczmienia określonych odmian o różnej wilgotności, przechowywane w różnych parametrach powietrza zewnętrznego.

4. Zadania do wykonania

- (a) oznaczenie wilgotności,
- (b) oznaczenie liczby opadania,
- (c) oznaczenie zawartości glutenu mokrego,
- (d) oznaczenie liczby sedymentacji,
- (e) wyznaczenie wartości przemiałowej.

5. Sposób wykonania ćwiczenia

(a) oznaczenie wilgotności - wg PN-91/A-74010 i PN-90/A-74009

(b) oznaczenie liczby opadania - wg Pertena-Hagberga (ISO No 3093)

- ◆ rozdrobnić 100 g ziarna w śrutowniku do liczby opadania (młyn laboratoryjny FALLING NUMBER 3100),
- ◆ oznaczyć wilgotność mąki rutynową metodą odwoławczą,
- ◆ pobrać próbkę mąki (w ilości wyznaczonej na podstawie tabeli 8) i przenieść do próbki wiskozymetrycznej - wykonać oznaczenie równoległe,
- ◆ dodać 25 cm³ wody destylowanej,
- ◆ sporządzić homogeniczną zawiesinę przez intensywne wstrząsanie (śrutę przylegającą do wewnętrznych ścianek zepchnąć do zawiesiny),
- ◆ umieścić w próbce mieszadło,
- ◆ umieścić próbkę w łaźni wodnej,
- ◆ uruchomić urządzenie FALLING NUMBER 1600,
- ◆ odczytać wartość liczby opadania,
- ◆ wyniki zestawić w formie tabeli,
- ◆ zinterpretować otrzymane wyniki wg tabeli 5.

**Tabela 8. Ilość mąki do oznaczania liczby opadania
w zależności od jej wilgotności**

Wilgotność [%]	Naważka [g]	Wilgotność [%]	Naważka [g]
9,0	6,4	14,0	6,9
,2	6,45	,2	-,,-
,4	-,,-	,4	6,95
,6	-,,-	,6	-,,-
,8	6,5	,8	7,0
10,0	6,5	15,0	7,0
,2	6,55	,2	-,,-
,4	-,,-	,4	7,05
,6	-,,-	,6	-,,-
,8	6,6	,8	7,1
11,0	6,6	16,0	7,1
,2	-,,-	,2	7,15
,4	6,65	,4	-,,-
,6	-,,-	,6	-,,-
,8	6,7	,8	7,2
12,0	6,7	17,0	7,2
,2	-,,-	,2	7,25
,4	6,75	,4	-,,-
,6	-,,-	,6	7,3
,8	6,8	,8	-,,-
13,0	6,8	18,0	7,3
,2	-,,-		
,4	6,85		
,6	-,,-		
,8	6,9		

**Tabela 9. Aktywność amylolityczna ziarna
w zależności od wartości liczby opadania**

Liczba opadania		Aktywność
Pszenica	Żyto	
≤ 80	≤ 70	Bardzo wysoka
90 - 150	90 - 175	Wysoka
175 - 250	175 - 200	Średnia
≥ 300	≥ 250	Niska

(c) oznaczenie zawartości glutenu - wg PN-77/A-74041

- ◆ rozdrobnić w śrutowniku (młynek laboratoryjny typ WŻ - 1) ok. 100 g ziarna, tak aby przesiew przez sito \varnothing 250 μ m stanowił co najmniej 50 % masy ziarna,
- ◆ odważyć 50 g mąki i wsypać do moździerza,
- ◆ dodawać stopniowo ok. 25 cm³ wody wodociągowej i zarabiać ciasto przez wygniatanie w moździerzu do chwili, gdy do ścian nie będą przylegać cząstki ciasta,
- ◆ z ciasta uformować kulkę i umieścić ją w parownicy, zalać wodą do całkowitego zanurzenia i pozostawić na 20 min.,
- ◆ wykonać wmywanie glutenu:

Do moździerza o pojemności 2 dm³ wlać ok. 1 dm³ wody wodociągowej. Kulkę ciasta maczać w wodzie i wygniatać ją palcami w celu oddzielenia skrobi (wykonywać ostrożnie !!!). Wodę zlać przez sito, a pozostające na sicie cząstki glutenu dołączyć do ciasta. Czynność powtarzać kilkakrotnie do momentu, gdy woda przestanie wykazywać reakcję na obecność skrobi.
- ◆ z wymytego glutenu dobrze wycisnąć wodę (przez ściśnięcie w dłoni) i zważyć otrzymany gluten z dokładnością do 0,01 g,
- ◆ obliczyć zawartość glutenu mokrego [%],
- ◆ wyniki zestawić w formie tabeli.

(d) oznaczenie wskaźnika sedymentacyjnego (test Zeleny'ego) - wg PN-ISO 5529: 1998

- ◆ ziarno pszenicy o wilgotności 13 - 15 % rozdrobnić w młynie laboratoryjnym AGROMATIC AQC 109,
- ◆ otrzymaną mąkę przesiać przez sito \varnothing 150 mm,
- ◆ z uzyskanego przesiewu pobrać próbkę 3,2 g mąki z dokładnością $\pm 0,05$ g,
- ◆ umieścić próbkę w cylindrze pomiarowym i dodać 50 cm³ roztworu błękitu bromofenolowego,
- ◆ zamknąć cylinder korkiem i wytrząsać w ułożeniu poziomym, wykonując ok. 12 ruchów w każdym kierunku, przez ok. 5 sekund,
- ◆ umieścić cylinder w wytrząsarce, uruchomić zegar sygnalizacyjny i wytrząsarce,
- ◆ po 5 minutach wyjąć cylinder i dodać 25 cm³ odczynnika testu sedymentacyjnego,
- ◆ ponownie umieścić cylinder w wytrząsarce i kontynuować wytrząsanie,
- ◆ po upływie 10 minut od rozpoczęcia wytrząsania wyjąć cylinder z wytrząsarki,
- ◆ umieścić cylinder w statywie (*w pozycji pionowej*),
- ◆ dokładnie po upływie 5 minut odczytać objętość osadu z dokładnością $\pm 0,5$ cm³,
- ◆ wynik końcowy podać w liczbach całkowitych jako średnią arytmetyczną z trzech równoległych oznaczeń (*jeżeli prowadzący zajęcia nie określi inaczej*),
- ◆ wyniki zestawić w formie tabeli.

(e) wyznaczenie wartości przemiałowej

- ◆ odważyć 100 g ziarna z dokładnością $\pm 0,01$ g,
- ◆ wsypać ziarno do komory młyna laboratoryjnego AGROMATIC AQC 109
- ◆ włączyć młyn na bieg „do przodu”,
- ◆ otworzyć szczelinę zasilającą młyna (*wielkość szczeliny podaje prowadzący zajęcia*),
- ◆ rozdrobnić ziarno,
- ◆ wyłączyć stoper w momencie zakończenia przemiału (brak ziarna w okienku kontrolnym),
- ◆ zebrać mąkę i otręby do wytarowanych zlewek,
- ◆ zważyć uzyskane frakcje,
- ◆ powtórzyć pomiar,
- ◆ wyniki zestawić w formie tabeli.

Analiza wyników

Wyniki uzyskane w trakcie ćwiczenia 2 zestawić w formie tabel 10 i 11 (przykłady poniżej). Obliczyć wartości średnie i odchylenie standardowe każdej analizowanej cechy. Pod tabelą 1 podać przykłady obliczeń dla wszystkich wyróżników.

Tabela 10. Jakość technologiczna ziarna pszenicy

Lp.	Wyróżnik jakościowy	Jednostka	Wartość średnia	Odchylenie standardowe	Zakres zmienności
1.	Wilgotność	%			
2.	Liczba opadania	s			
3.	Zawartość glutenu mokrego <i>GI</i>	%			
4.	Indeks glutenowy	%			
5.	Wskaźnik sedymentacyjny	cm ³			
6.	Wartość przemiałowa a) mąka b) otręby	% %			

Tabela 11. Wartości średnie i odchylenia standardowe wyróżników oceny technologicznej jakości ziarniaków i nasion wszystkich analizowanych próbek

Lp.	Cecha fizyczna	Jednostka	Pszenica 1		Pszenica 2		Pszenica 3		Pszenica 4	
			x	S	x	S	x	S	x	S
1.	Wilgotność	%								
2.	Liczba opadania	s								
3.	Zawartość glutenu mokrego <i>GI</i>	%								
4.	Indeks glutenowy	%								
5.	Wskaźnik sedymentacyjny	cm ³								
6.	Wartość przemiałowa c) mąka d) otręby	% %								

Na podstawie powyższej tabeli określić graficznie zależności pomiędzy:

- a/. liczbą opadania a wilgotnością,
- b/. zawartością glutenu a wilgotnością,
- c/. liczbą sedymentacji a wilgotnością,
- d/. wartością przemiałową a wilgotnością.

Wskazane jest przedstawić graficznie w/w zależności np. za pomocą diagramów. Dla w/w zależności należy również wyznaczyć procentowe zmiany ilościowe w stosunku do próby kontrolnej.

ĆWICZENIE 3

WPLYW PARAMETRÓW I CZASU PRZECHOWYWANIA NA CECHY CHEMICZNE I TECHNOLOGICZNE NASION OLEISTYCH

1. Podstawy teoretyczne

W okresie zbioru, transportu i przechowywania nasiona oleiste nie powinny zmieniać swej jakości. Powinny zawierać jak najmniejszą zawartość zanieczyszczeń powstałych podczas przechowywania. Surowce olejarskie narażone są na różne formy psucia się, bowiem nasiona są żywym materiałem biologicznym, który oddycha wydzielając CO₂ i ciepło.

Warunkiem właściwego przechowywania nasion jest optymalna jego wilgotność - woda reguluje bowiem oddychanie, rozwój mikroflory i działalność enzymów. Zjawiska te powodują w określonych warunkach wzrost temperatury, która przyspiesza zarówno reakcje chemiczne, jak i intensyfikuje oddychanie nasion.

Wobec małych możliwości obniżania temperatury (metoda nieekonomiczna) głównym sposobem ochrony nasion oleistych przed psuciem się pozostaje utrzymanie ich w odpowiedniej wilgotności.

Podobnie jak inne nasiona, rzepak dąży do uzyskania równowagi higroskopijnej z otaczającym powietrzem, określanej jako **wilgotność równowagowa** (W_n):

$$W_n = 14 X / 100 \quad [\%] \quad [1]$$

gdzie:

W_n – wilgotność równowagowa,

X – zawartość substancji nietłuszczowych.

Między zawartością wody w nasionach, a wilgotnością względną otaczającego powietrza występuje ścisła zależność:

$$W_n = A (W_z)^n \quad [\%] \quad [2]$$

gdzie:

W_n – wilgotność równowagowa,

W_z - wilgotność względna powietrza,

A, n - stałe charakterystyczne dla poszczególnych surowców (np. dla lnu i słonecznika $A=0,0623$, $n=1,14$).

Wartość W_n zależy również od histerezy sorpcyjnej; w zależności od tego, czy nasiona w określonej wilgotności i temperaturze powietrza zwiększają swoją zawartość wody lub obniżają, stan równowagi ustala się na zróżnicowanym poziomie.

Wilgotność, przy której pojawia się woda wolna nazywamy **wilgotnością krytyczną (graniczną)**. W wypadku istnienia wody wolnej następuje szybki wzrost aktywności enzymatycznej i rozwój mikroflory wraz z określonymi skutkami dla jakości nasion.

Poziom tej wilgotności zależy od zawartości składników hydrofilowych, a więc w nasionach rzepaku jest tym niższy, im większa jest zawartość oleju.

Ilościową zależność określa równanie:

$$W_k = \frac{W_n \times (100 - a)}{100} \quad [\%] \quad [3]$$

gdzie:

W_k - wilgotność krytyczna,

W_n - wilgotność części hydrofilowej nasion, dla nasion skrobiowo-białkowych wynosi 14 %,

a - zawartość tłuszczu w nasionach [%].

Na tej podstawie określono wilgotności krytyczne dla rzepaku jarego i ozimego (Tab. 12).

Tabela 12. Wilgotność krytyczna rzepaku jarego i ozimego (przyjęto wilgotność składnika hydrofilowego 13 - 16 %)

Odmiana rzepaku	Zawartość tłuszczu [%]		Wilgotność krytyczna [%]
	Minimalna	Maksymalna	
Jary	30		9,1-11,2
		34	8,6-10,5
Ozimy	39		7,9-9,8
		45	7,2-9,9

Nasiona rzepaku przeznaczone do składowania nie powinny mieć większej wilgotności niż 8 %, gdyż następuje wówczas istotny wzrost zawartości wolnych kwasów tłuszczowych. Przy podwyższonej wilgotności nasion (8,5 - 11 %) może rozwijać się **rozkruszek**, którego działanie również wpływa na wzrost liczby kwasowej tłuszczu. Z drugiej strony spadek wilgotności poniżej 6 % pociąga za sobą inne trudności technologiczne (np. wzrost ilości nasion pokruszonych). W praktyce przemysłowej reguluje się wilgotność nasion w zakresie 6 - 8 %, przy wilgotności względnej powietrza 30 - 70 %, co zabezpiecza nasiona zarówno przed przesuszeniem jak i nawilżeniem.

Uszkodzenia nasion (np. na skutek działalności rozkruszk, uszkodzeń mechanicznych w transporcie czy termicznych podczas suszenia) powodują wzrost kwasowości tłuszczu w czasie przechowywania oraz wzmożone jego utlenianie, a tym samym wzrost strat rafinacyjnych.

Istotny wpływ na jakość oleju ma aktywność **lipazy**. Lipazy mogą działać przy niskiej *aktywności wodnej* (a_w) nasion, ich zakres działania wynosi $0,2 < a_w < 0,85$. Ze wzrostem zawartości wody w surowcu ($a_w > 0,85$) maleje aktywność lipolityczna.

Jednocześnie jednak następuje gwałtowny rozwój mikroflory, który - pomimo niesprzyjających warunków działania lipaz - powoduje sumaryczny wzrost aktywności lipolitycznej. Aktywność lipolityczna zależy w największym stopniu od wilgotności surowca i maleje przy jej obniżaniu. Wynika z tego zasada suszenia nasion bezpośrednio po zbiorze lub stosowania innych technik konserwacji obniżających rozwój mikroflory i lipaz. Wzmoczona aktywność **lipaz i lipooksygenaz** powoduje wzrost liczby kwasowej (LK) i nadtlenkowej (LOO) oleju otrzymanego z nasion przechowywanych w złych warunkach.

Niezmiernie ważną rolę w przechowywalnictwie nasion oleistych, a szczególnie rzepaku, odgrywa również aktywność **fosfolipaz**. Fosfolipazy działając w źle przechowywanych nasionach rzepaku powodują:

- ❖ wzrost ilości fosfolipidów niehydratujących,
- ❖ zmniejszenie ilości lecytyny,
- ❖ zwiększenie ilości zanieczyszczeń koloidalnych w oleju,
- ❖ zwiększenie strat rafinacyjnych.

Równolegle z hydrolizą triacylogliceroli przebiega degradacja substancji nietłuszczowych, wskutek czego olej staje się ciemny - zwiększa się w nim zawartość fosforu, azotu, siarki (na skutek działalności **mirozynazy**) i innych produktów rozkładu związków kompleksowych. Produkty te łatwo przechodzą do oleju zwiększając ilość zanieczyszczeń i utrudniając tym samym rafinację oleju.

W wyniku działalności enzymów lipolitycznych wzrasta również zawartość mono- i diacylogliceroli zwiększających skłonność do pienienia i emulgowania tłuszczu (mogą więc wystąpić trudności przy rozdziale oleju od mydeł w czasie odkwaszania oleju).

Olej pochodzący z zepsutych nasion trudno również prawidłowo odwonić z uwagi na wysoką zawartość związków zapachowych pochodzących m.in. z degradacji tłuszczu, zwłaszcza przy równoczesnym zniszczeniu naturalnych przeciwutleniaczy.

Prawidłowe **suszenie nasion** wpływa istotnie na ograniczenie nie tyle aktywności lipaz rodzimych, co rozwój mikroflory, a to determinuje właściwe przechowywanie i wynikającą z niego dobrą jakość technologiczną nasion oleistych.

Istnieje wiele metod suszenia nasion rzepaku, spośród których najlepsza jest metoda fluidalna. Niezależnie jednak od metody należy przestrzegać zachowania optymalnych parametrów procesu suszenia (im wyższa wilgotność materiału, tym wolniej należy obniżać wilgotność do wymaganego poziomu).

Niewłaściwe suszenie powoduje przede wszystkim:

- ❖ wzrost ilości nasion spalonych, co w czasie ich przechowywania powoduje wzrost LK,
- ❖ wzrost ilości nasion martwych, które trudniej przechowywać,
- ❖ przesuszenie nasion, które prowadzi do powstawania dużej ilości pyłów podczas rozdrabniania, które z kolei:
- ❖ utrudniają tłoczenie,

- ❖ zwiększają ilość zanieczyszczeń nierozpuszczalnych w oleju tłoczeniowym,
- ❖ „zatykają” złoże ekstrakcyjne i utrudniają perkolację rozpuszczalnika.

Suszenie powinno więc być tak prowadzone, aby w jego wyniku nasiona były biologicznie żywe. Parametry procesu suszenia wpływają ponadto na ilość mikro- i makrouszkodzeń pozostających w prostym związku ze wzmożoną hydrolizą tłuszczu i wzrostem LK.

Składowanie nasion oleistych może odbywać się w silosach lub magazynach (komorowe, podłogowe).

Optymalne warunki przechowywania nasion rzepaku wynoszą:

- ❖ wilgotność nasion 6 - 8 %,
- ❖ względna wilgotność powietrza 30 - 70 %,
- ❖ temperatura 4 - 25°C.

Naturalne ubytki masy dobrze składowanych nasion rzepaku nie przekraczają 1 %.

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest praktyczne określenie zmian jakości nasion oleistych (rzepaku) w funkcji warunków przechowywania. Poznanie związków pomiędzy jakością nasion, a ilością i jakością wydobytego oleju i wpływu parametrów i czasu przechowywania nasion oleistych na ich cechy chemiczne i technologiczne.

3. Materiał badań

Materiałem do wykonania ćwiczenia są nasiona rzepaku określonych odmian, przechowywane w różnych parametrach powietrza zewnętrznego.

4. Zadania do wykonania

- ocena organoleptyczna rzepaku,
- oznaczenie wilgotności rzepaku,
- oznaczenie zanieczyszczeń,
- oznaczenie zawartości nasion przypalonych i niedojrzałych,
- wydobycie tłuszczu metodą tłoczenia i jego oczyszczenie,
- ocena jakości tłuszczu
 - oznaczenie liczby kwasowej (LK),
 - oznaczenie liczby nadtlenkowej (LOO),
 - oznaczenie barwy oleju.

5. Sposób wykonania ćwiczenia

- a) ocena organoleptyczna rzepaku - wg PN-R-66149**
- b) oznaczenie wilgotności rzepaku - wg PN-62/R-66163**
- c) oznaczenie zanieczyszczeń - wg PN-73/R-66147 oraz PN-90/R-66151**
- d) oznaczenie zawartości nasion przypalonych i niedojrzałych - wg PN-90/R-66145**
- e) wydobywanie tłuszczu metodą tłoczenia i jego oczyszczenie**
 - ◆ 300 g nasion kondycjonować w suszarce w czasie 1 godziny,
Temperatura początkowa suszarki 60°C, końcowa 110°C; temperaturę podnosić następująco:
 - po 10 min. - 90°C,
 - po 20 min. - 100°C,
 - po 30 min. - 110°C,
 - ◆ gorące nasiona poddać natychmiast tłoczeniu w laboratoryjnej prasie ślimakowej KOMET typ CA 59 G,
 - ◆ olej oczyścić przez odwirowanie ($\omega = 3000$ obr./min., $t = 10$ min.).
- f) oznaczenie liczby kwasowej (LK) - wg PN-74/R-66165**
- g) oznaczenie liczby nadtlenkowej (LOO) - wg PN-ISO-3960**
- h) oznaczenie barwy oleju - wg PN-A-86934**

Analiza wyników

Wyniki wszystkich pomiarów zestawić w formie tabel 13 i 14, a na ich podstawie określić poprawność przechowywania rzepaku oraz operacji technologicznych poprzedzających przechowywanie.

Tabela 13. Jakość technologiczna ziarna pszenicy

Lp.	Wyróżnik jakościowy	Jednostka	Wartość średnia	Odchylenie standardowe
1.	Ocena organoleptyczna (opisowo)	-	-	-
2.	Wilgotność	%		
3.	Zawartość zanieczyszczeń	%		
4.	Zawartość nasion przypalonych i niedojrzałych	%		
5.	Wydajność tłuszczu	%		
6.	Liczba kwasowa	mg KOH/100g		
7.	Liczba nadtlenkowa	mEq O ₂ /kg		
8.	Barwa ogólna	-		

Tabela 14. Wartości średnie i odchylenia standardowe wyróżników oceny technologicznej jakości ziarniaków i nasion wszystkich analizowanych próbek

Lp.	Cecha fizyczna	Jednostka	Rzepak 1		Rzepak 2		Rzepak 3		Rzepak 4	
1.	Wilgotność	%								
2.	Zawartość zanieczyszczeń	%								
3.	Zawartość nasion przypalonych i niedojrzałych	%								
4.	Wydajność tłuszczu	%								
5.	Liczba kwasowa	mg KOH/100g								
6.	Liczba nadtlenkowa	mEq O ₂ /kg								
7.	Barwa ogólna	-								

ĆWICZENIE 4

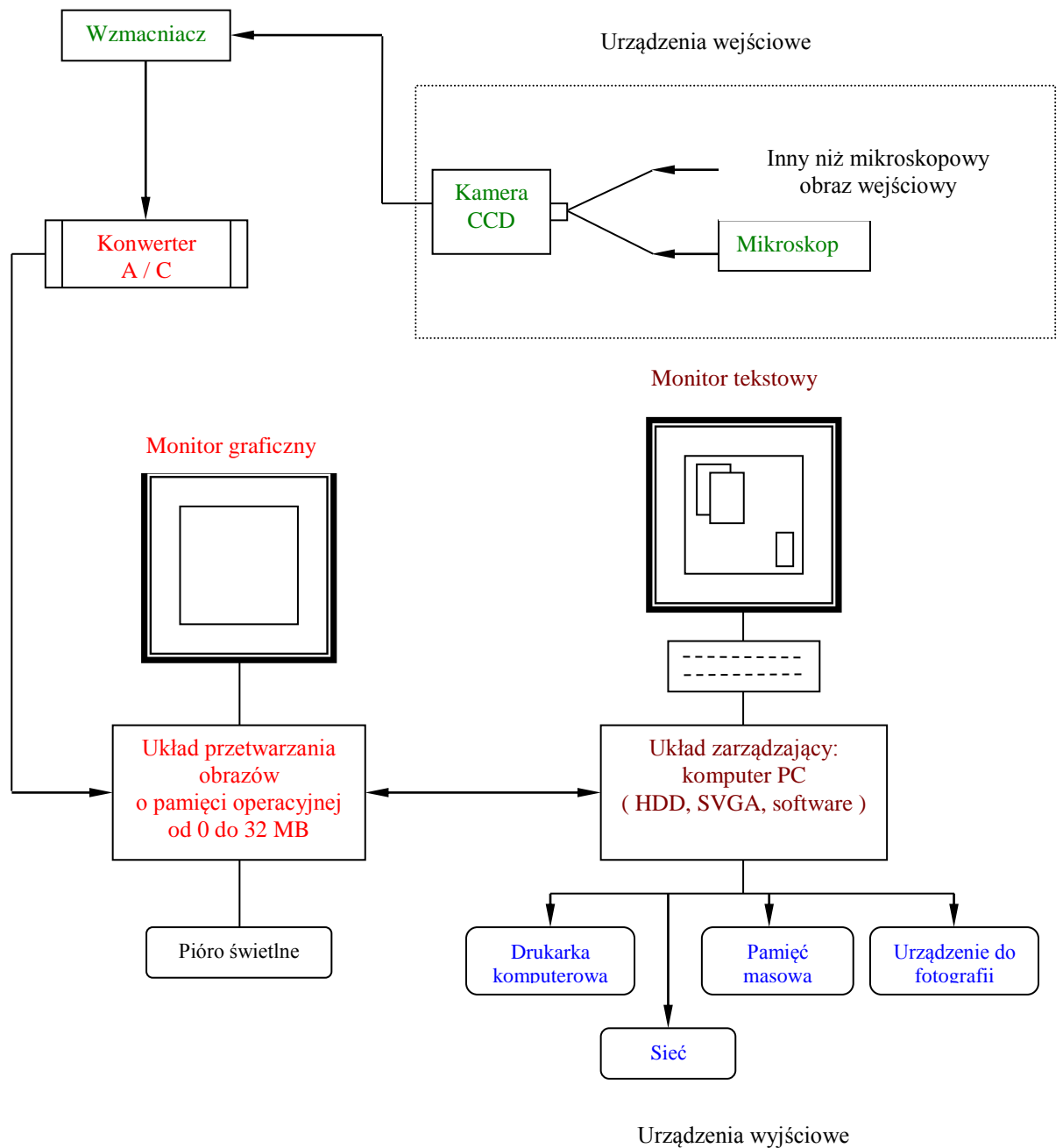
KOMPUTEROWE SYSTEMY ANALIZY OBRAZU W OCENIE CECH GEOMETRYCZNYCH I ANALIZIE STANU POWIERZCHNI ZIARNA ZBÓŻ I NASION OLEISTYCH

1. Podstawy teoretyczne

Szybki rozwój techniki cyfrowej, a w szczególności sprzętu komputerowego przeznaczonego do automatycznej analizy obrazu przyczynił się do gwałtownego rozwoju badań wykorzystujących cyfrowe systemy wizyjne. Zakres ich stosowania stale się powiększa o nowe dziedziny nauki i nowe techniki badawcze. Analiza obrazu jest szeroko stosowana w medycynie - między innymi do analizy zdjęć rentgenowskich i preparatów krwi, w biochemii - do obserwacji zmian stężeń i rozmieszczenia jonów Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ w komórkach, pomiarów zmian napięć powierzchniowych roztworów powierzchniowo aktywnych, jak również w fizyce, mechanice, technice laserowej, czy automatyce do rozpoznawania obrazów w systemach wizyjnych robotów przemysłowych.

Analiza obrazu jest także coraz częściej stosowana w inżynierii i technologii żywności jako zasada systemów pomiarowych i sterujących „on line”. Dotychczasowy stan badań wskazuje na możliwość szerokiego stosowania komputerowych systemów analizy obrazu szczególnie w klasyfikacji i ocenie materiałów ziarnistych takich jak: ziarno zbóż, nasiona oleiste, kawa, ale również: nasiona grochu i fasoli, owoce i warzywa (jabłka, śliwki, kapusta, pomidory, ziemniaki itp.). Klasyfikacja oparta o systemy wizyjne jest prosta, szybka, nie wymagająca przygotowania próbki (np. rozdrabniania) i stosowania odczynników chemicznych.

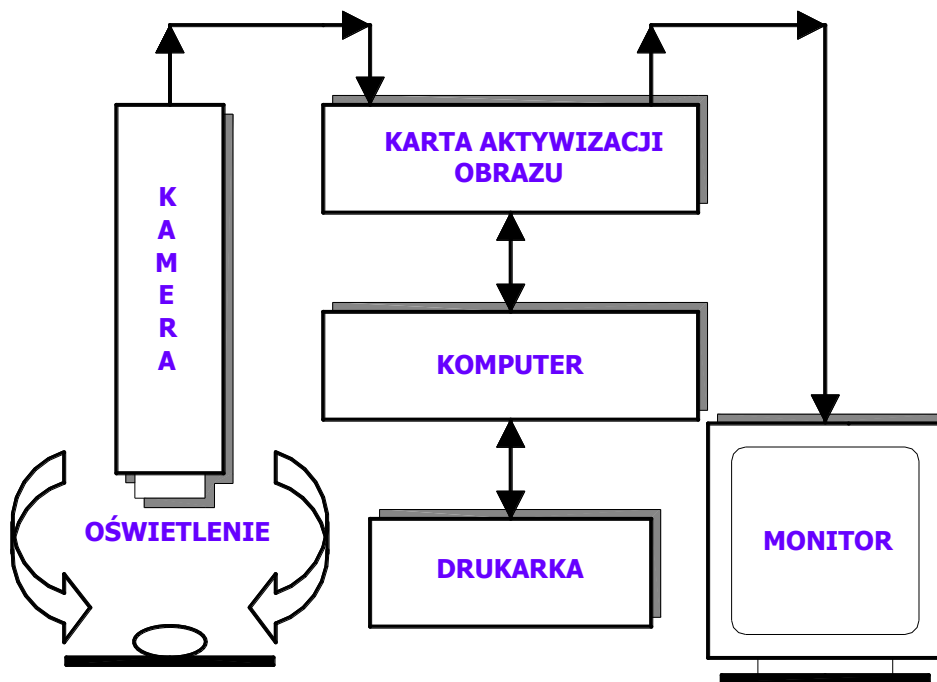
BUDOWA KOMPUTEROWEGO SYSTEMU ANALIZY OBRAZU (Rys. 1)



Rys.1. Budowa komputerowego systemu analizy obrazu

System analizy obrazu składa się z następujących części (rys. 2, fot. 7):

- **urządzenie wejściowe** (kamery CCD o wysokiej rozdzielczości i precyzji odtwarzania geometrii przestrzennej analizowanego obrazu; używane są zarówno kamery czarno-białe, jak i kolorowe (dobór kamery zależny jest od posiadanej karty analizy obrazu i potrzeb); kamera może być sprzężona z mikroskopem w zależności od skali badań (mikro, makro); urządzenie wejściowe może stanowić również skaner - w przypadku analizy zdjęć),
- **wzmacniacz sygnału** (współczesne kamery CCD posiadają wzmacniacz zintegrowany z układem optycznym),
- jednostka komputerowa składająca się z dwóch części:
 - 1) **karty analizy obrazu z monitorem graficznym** (karta umożliwia przetworzenie informacji otrzymanej z kamery CCD na postać cyfrową i wyświetleniu jej na monitorze),
 - 2) **jednostki centralnej** (komputera klasy PC z monitorem tekstowym i pakietem oprogramowania - stanowi ona układ zarządzający pracą całego systemu),
- **urządzenia wyjściowe** (np. drukarka, ploter, pamięć dyskowa i taśmowa, urządzenia do fotografii itp.: urządzenia te służą do zapamiętania i zobrazowania uzyskanych informacji).

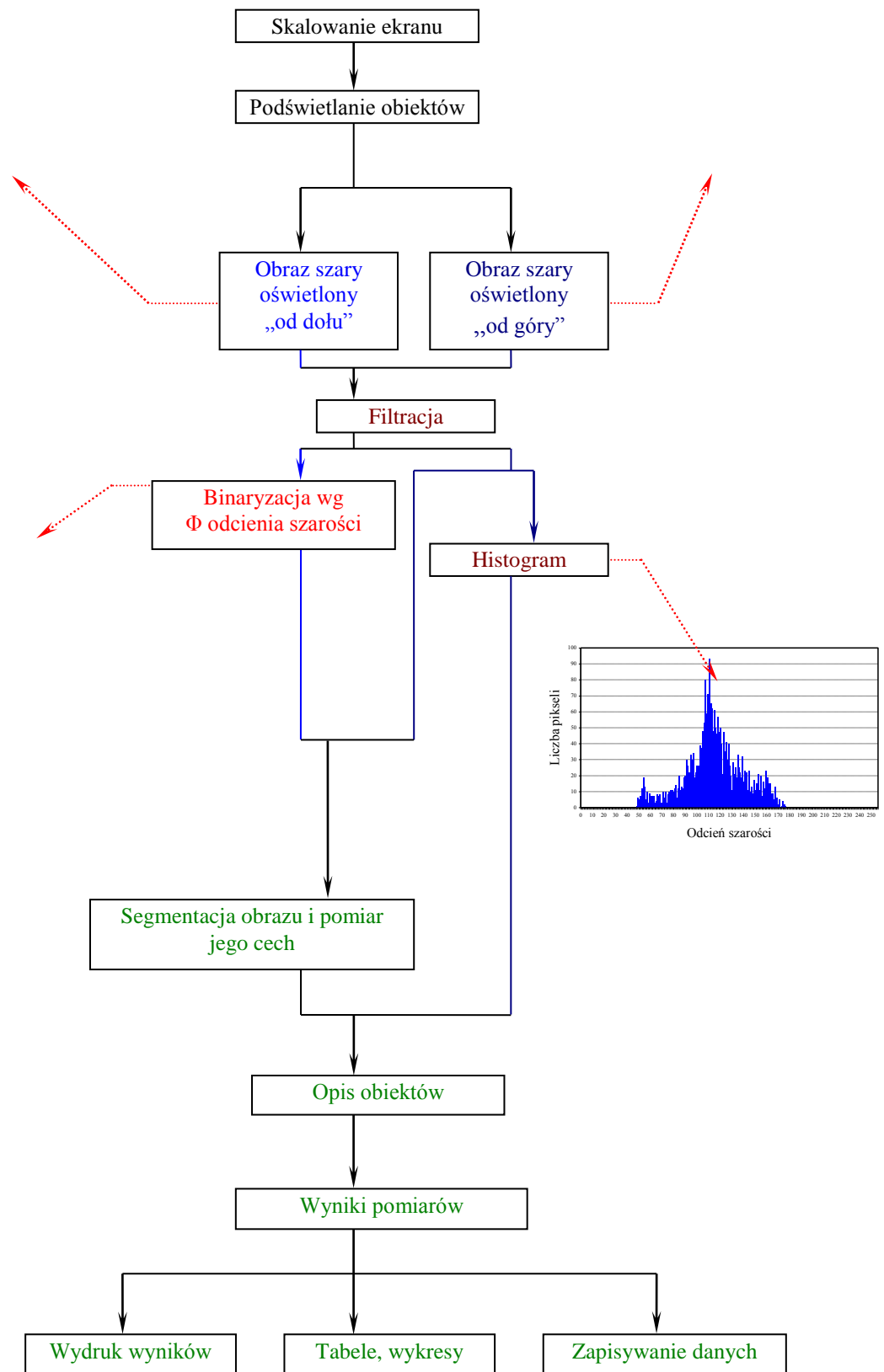


Rys. 2. Elementy zestawu komputerowej analizy obrazu



Fot. 7. Stanowisko pomiarowe cyfrowej analizy obrazu (DIA)

Działanie komputerowego systemu analizy obrazu



Rys. 3. Algorytm komputerowego systemu analizy cech obrazu

Etapy procesu przetwarzania i analizy obrazu (rys. 3):

1) uzyskanie obrazu i przetworzenie go do postaci cyfrowej

Sygnal (obraz) rejestrowany przez kamerę CCD jest wzmacniany, a następnie przetwarzany na sygnał cyfrowy. Obraz jest zapamiętywany przez kartę analizy obrazu w postaci macierzy o wymiarach np. 512 x 512 pikseli z informacją o odcieniu szarości każdego elementu w skali np. od 0 do 255 (*piksel* jest to najmniejszy wyróżnialny element obrazu, któremu przypisany jest określony atrybut - numer odcienia szarości). O wymiarach rejestrowanej macierzy decyduje rozdzielczość karty analizy obrazu i kamery CCD.

2) wstępne przetworzenie obrazu (filtracja)

Głównym celem tego etapu jest polepszenie jakości obrazu, czyli jego filtracja. Istnieje wiele metod filtracji, z których najważniejsze to:

– *metody jednopunktowe*

W metodach tych przetwarzaniu podlega każdy element obrazu z osobna (na jego wartość nie wpływa wartość elementów sąsiednich). Ogólna postać funkcji przetwarzania jest następująca:

$$g(x,y) = h[f(x,y)]$$

gdzie: $f(x,y)$ - sygnał wejściowy,

$g(x,y)$ - sygnał przetworzony (wyjściowy),

$h[]$ - operator przetwarzający wartości poszczególnych pikseli obrazu wejściowego na postać wyjściową. Istnieje możliwość zastosowania jednego (lub więcej) z wielu operatorów. Przetwarzanie realizowane jest kolejno lub współbieżnie.

Najczęściej stosowaną techniką realizacji tego odwzorowania jest tzw. technika „**look up the tabel**”. Polega ona na nadaniu nowych wartości jasności poszczególnym pikselom tak, aby obraz opisany był pełnym zakresem poziomów intensywności (odcieni szarości).

– *metody wykorzystujące analizę piksela i jego otoczenia*

W tej grupie metod na końcową wartość przetwarzanego elementu wpływa wartość elementów sąsiadujących.

Spośród wielu filtrów działających wg tej zasady wymienić należy filtry:

- ❖ uśredniające - wyrównujące obraz,
- ❖ medianowe - pozwalające na eliminację pojedynczych punktów zdecydowanie różniących się od tła lub wyostrzające obraz,
- ❖ konwolucyjne - wyostrzające obraz i poprawiające jego jakość,

- ❖ dolnoprzepustowe - usuwające pojedyncze zakłócenia i wygładzające obraz,
- ❖ górnoprzepustowe - wykorzystywane m.in. do detekcji krawędzi;
- ❖ gradienty specjalne Sobela, Robertsza, Rewitta – wykorzystywane m.in. do detekcji krawędzi i narożników w wybranym kierunku np. północ, południe czy północny-wschód lub -zachód.

Możliwe jest również stosowanie wielu różnych filtracji i obróbka obrazu polegająca na dodawaniu poszczególnych przefiltrowanych obrazów, czy ich odejmowaniu, uśrednianiu lub wyciąganiu części wspólnej.

We wstępnym przetwarzaniu obrazu duże znaczenie ma dobór odpowiedniego **oświetlenia**. W zależności od rodzaju badanych obiektów wykorzystuje się takie źródła światła, jak: żarówka, halogen, jarzeniówka, laser oraz lampa stroboskopowa. Najczęściej wykorzystuje się oświetlenie laserowe, strukturalne lub oświetlenie sterowane z procesora wizyjnego.

3) binaryzacja obrazu

Celem tego etapu jest znaczna redukcja informacji zawartych w analizowanym obrazie.

Binaryzację obrazu realizujemy przez progowanie (tzw. *thresholding*). Ustalając pewną wartość Φ jasności jako próg, dokonywana jest zmiana wartości atrybutów poszczególnych elementów składowych wg zależności:

$$b(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{gdy } f(x, y) \geq \Phi \\ 0, & \text{gdy } f(x, y) < \Phi \end{cases}$$

Głównym problemem binaryzacji obrazu jest dobranie odpowiedniej wartości progowej Φ takiej, aby widoczne były wszystkie istotne elementy analizowanego obrazu.

Binaryzacja polega więc na zamianie obrazu o pełnej skali odcieni szarości na obraz, którego elementy składowe posiadają jeden z dwóch atrybutów:

" 0 " – tło

" 1 " - obiekt

4) segmentacja obrazu oraz wyznaczenie jego cech i analiza wyników

Segmentacja polega na wyodrębnieniu widocznych na obrazie obiektów i określeniu ich lokalizacji.

Wyznaczenie cech obrazu polega na gromadzeniu jak największej ilości informacji o analizowanych obiektach. W zależności od potrzeb np. dla cząstek materiału ziarnistego mogą to być następujące wielkości: *długość, szerokość, pole powierzchni* (definiowane jako liczba pikseli znajdujących się wewnątrz obrysu obiektu), czy też *obwód* (tzn. liczba pikseli stanowiących obrys obiektu). W przypadku wyskalowania obrazu i wprowadzenia układu współrzędnych kartezyjskich możliwe jest również określenie następujących wielkości: *maksymalnych wymiarów w kierunku osi X lub Y, współrzędnych środka ciężkości i momentów geometrycznych*.

Tak duże ilości informacji, o analizowanych obiektach, w wielu przypadkach można zredukować poprzez wyznaczenie wybranych **współczynników kształtu**, które skutecznie mogą zastąpić pewną ilość danych otrzymanych w procesie segmentacji.

Najczęściej wykorzystywane współczynniki kształtu wyrażone są następującymi zależnościami:

– współczynnik konturu obwodu obiektu	$W = \frac{S}{L^2}$
– współczynnik cyrkularności	$W_1 = 2\sqrt{\frac{S}{\pi}}$
– współczynnik cyrkularności	$W_2 = \frac{L}{\pi}$
– współczynnik Malinowskiej	$W_3 = \frac{L}{2\sqrt{\pi S}} - 1$
– współczynnik Blaira-Blissa	$W_4 = \frac{S}{\sqrt{2\pi \iint (r^2) ds}}$
– współczynnik Danielssona	$W_5 = \frac{S^3}{(\iint_s ds)^2}$
– współczynnik Haralicka	$W_6 = \sqrt{\frac{(\sum d)^2}{n \sum d^2 - 1}}$
– współczynnik Lp1	$W_7 = \frac{r_{min}}{R_{max}}$
– współczynnik Lp2	$W_8 = \frac{L_{max}}{L}$
– współczynnik Mz	$W_9 = \frac{2\sqrt{\pi S}}{L}$

gdzie:

- L - obwód rzutu obiektu,
- S - pole rzutu obiektu,
- r - odległość elementu pola ds od środka ciężkości obiektu,
- l - minimalna odległość elementu od konturu obiektu,
- d - odległość pikseli konturu obiektu od jego środka ciężkości,
- n - liczba punktów konturu,
- r_{\min} - minimalna odległość konturu od środka ciężkości,
- R_{\max} - maksymalna odległość konturu od środka ciężkości,
- L_{\max} - maksymalny gabaryt obiektu.

Dodatkowe informacje o badanych obiektach uzyskuje się poprzez analizę ich gęstości optycznej (zmienności odcieni szarości). Standardowymi parametrami wykorzystywanymi do tych badań są: *gęstość optyczna powierzchni obiektu (wyrażona histogramem), maksymalny (max) i minimalny (min) odcień szarości, różnica max - min odcień szarości, średni odcień szarości i odchylenie standardowe.*

Analiza otrzymanych **wyników** jest najważniejszą częścią pracy z systemem wizyjnym. Często pomimo wcześniejszego uproszczenia opisu obrazu istnieje konieczność dalszej, jeszcze większej, redukcji informacji. Możemy tego dokonać za pomocą zastosowania obliczeń statystycznych, tzn.: *wartości średniej, mediany, mody, odchylenia standardowego, wariancji.* Parametry te dokładnie opisują analizowany obraz i mogą służyć do rozpoznawania danej klasy obiektów np. ziarna pszenicy od innych rodzajów zbóż i zanieczyszczeń.

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest:

- ❖ zapoznanie się z budową i pracą komputerowego systemu analizy obrazu oraz możliwościami jego wykorzystania w analizie cech fizycznych materiałów sypkich (ziarna zbóż i nasion);
- ❖ praktyczne określenie: cech geometrycznych i jakości optycznej (barwy) powierzchni ziarna zbóż i nasion oleistych za pomocą zestawu komputerowej analizy obrazu;
- ❖ manualne wyznaczenie cech geometrycznych ziarna zbóż i nasion oleistych;
- ❖ wyznaczenie masy pojedynczych ziaren zbóż i nasion oleistych.
- ❖ określenie różnic w badanych cechach fizycznych dla różnych rodzajów i odmian ziarna zbóż i nasion oleistych.

3. Materiał badań

Materiałem badań są próby ziarna pszenicy, żyta, pszenżyta lub jęczmienia (fasoli, grochu, fasoli, soi, rzepaku lub bobiku) określonych odmian. Z będących do dyspozycji rodzajów ziarna należy wybrać 3 odmiany i wykonać oznaczenia cech fizycznych w 5-ciu powtórzeniach. W analizie wizyjnej należy wybrać po 3-4 próby ziarna (nasion) różnych gatunków, o zróżnicowanej wilgotności i wykonać jego analizę za pomocą komputerowego systemu analizy obrazu.

4. Zadania do wykonania

- (f) pomiar cech geometrycznych ziarna i nasion,
- (g) analiza gęstości optycznej (pomiar barwy) powierzchni ziarna i nasion,
- (h) oznaczenie masy pojedynczych ziaren i nasion.

5. Sposób wykonania ćwiczenia i opis urządzeń pomiarowych

(a) pomiar cech geometrycznych nasion za pomocą suwmiarki

- ◆ zmierzyć długość i szerokość pojedynczych nasion (ziaren) za pomocą suwmiarki, a następnie umieścić je w probówkach w kolejności wykonanych pomiarów,

(b) pomiar cech geometrycznych nasion metodą komputerowej analizy obrazu

- ◆ próbkę 50 ziaren (nasion), o określonej wilgotności (ułożonych równolegle względem siebie), umieszczać pojedynczo na płytce pomiarowej według ustalonej kolejności jak w punkcie (a), wprowadzić obraz obiektu do pamięci komputera (zapisać),
- ◆ wykonać binaryzację obrazu (wartość progowa Φ powinna być stała dla wszystkich analizowanych prób),
- ◆ wykonać pomiar podstawowych cech geometrycznych (długość, szerokość, średnicę, obwód, pole powierzchni) - otrzymane dane zapisać,
- ◆ w arkuszu kalkulacyjnym (np. MS Excel) wykonać obliczenia następujących współczynników kształtu: W , W_1 ,
- ◆ wykonać w/w czynności dla pozostałych analizowanych próbek,
- ◆ obliczyć wartości średnie, medianę, modę, odchylenie standardowe oraz współczynnik zmienności wszystkich wyznaczonych wielkości dla poszczególnych prób.

(c) analiza gęstości optycznej (barwy) powierzchni nasion metodą komputerowej analizy obrazu

- ◆ próbkę 50 ziaren (nasion), o określonej wilgotności (ułożonych równolegle względem siebie), umieścić na płytce pomiarowej według ustalonej kolejności jak w punkcie (a) oraz oświetlić - uzyskany obraz zapisać,
- ◆ wykonać binaryzację obrazu (wartość progowa Φ powinna być stała dla wszystkich analizowanych prób),
- ◆ wykonać analizę stanu powierzchni, tj. dokonać pomiaru barwy ziaren (nasion) wyznaczając poziomy szarości oraz składowe modeli barw: RGB, HSI, CIEL*a*b*.
- ◆ obliczyć następujące wielkości:
 - różnicę pomiędzy max - min odcieniem szarości oraz składową barwy,
 - średni odcień szarości oraz wartości średnie składowych modeli barw,
 - odchylenie standardowe,
 - współczynnik zmienności.

(d) oznaczenie masy pojedynczych ziaren i nasion

- ◆ zważyć 50 nasion (ziaren) zachowując ustaloną wcześniej kolejność, tak jak w punkcie (a).

Analiza wyników

- Sporządzić wykresy zależności:

- ◆ długości pojedynczych ziarniaków (oś Y) od szerokości (oś X) – wykres punktowy,
- ◆ masy pojedynczych ziarniaków (oś Y) od pola powierzchni rzutu (oś X) – wykres punktowy,
- ◆ wartości średnich i odchyłeń długości (oś Y) od gatunku ziarniaków (oś X) – wykres słupkowy,
- ◆ wartości średnich i odchyłeń szerokości (oś Y) od gatunku ziarniaków (oś X) – wykres słupkowy,
- ◆ wartości średnich i odchyłeń pola powierzchni rzutu (oś Y) od gatunku ziarniaków (oś X) – wykres słupkowy,
- ◆ wartości średnich i odchyłeń współczynnika wydłużenia (oś Y) od gatunku ziarniaków (oś X) – wykres słupkowy,
- ◆ wartości średnich i odchyłeń masy (oś Y) od gatunku ziarniaków (oś X) – wykres słupkowy,
- ◆ wartości średnich i odchyłeń składowych 1 modelu barwy (oś Y) od gatunku ziarniaków (oś X) – wykres słupkowy,

Jeśli jest to możliwe to na jednym wykresie przedstawić pomiar manualny i pomiar wykonany techniką DIA.

- Sporządzić histogramy dla długości i szerokości (na jednym wykresie jedna cecha pomiaru manualnego i pomiaru wykonanego techniką DIA).

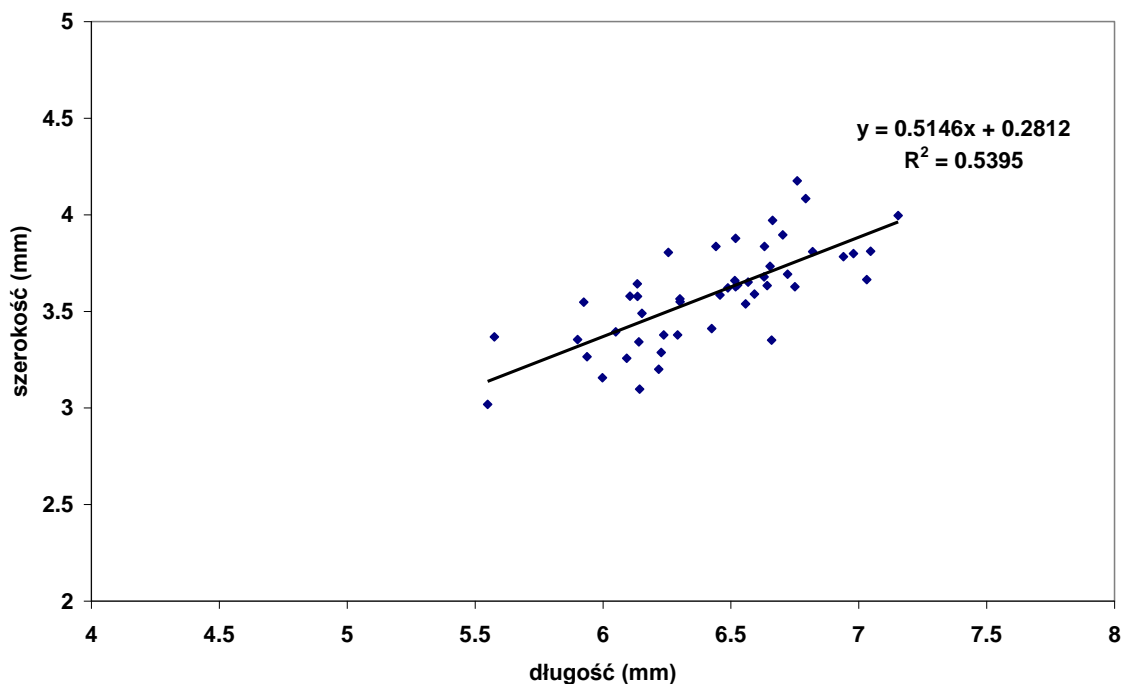
- Wyznaczyć współczynniki korelacji pomiędzy pomiarami manualnymi i techniką DIA.

- Zestawić wyniki w tabelach 1-3 (wzory tabel podano poniżej).

- Na podstawie otrzymanych wyników sformułować wnioski.

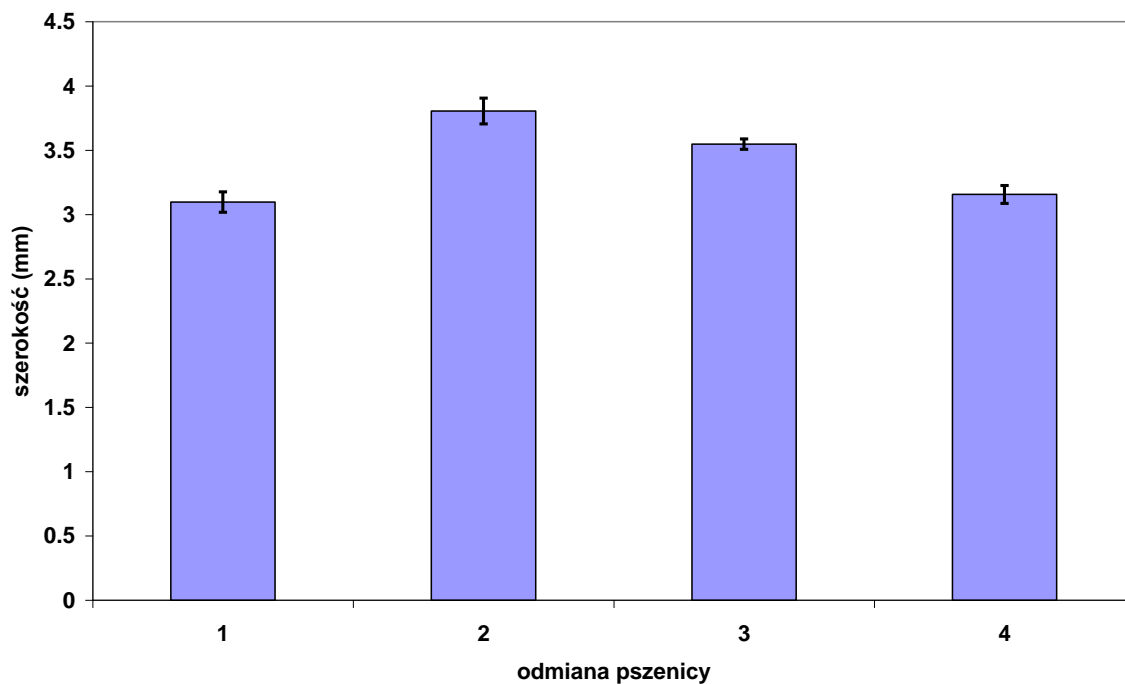
Przykładowe wykresy zależności:

a) wykres punktowy (z linią trendu i równaniem regresji)



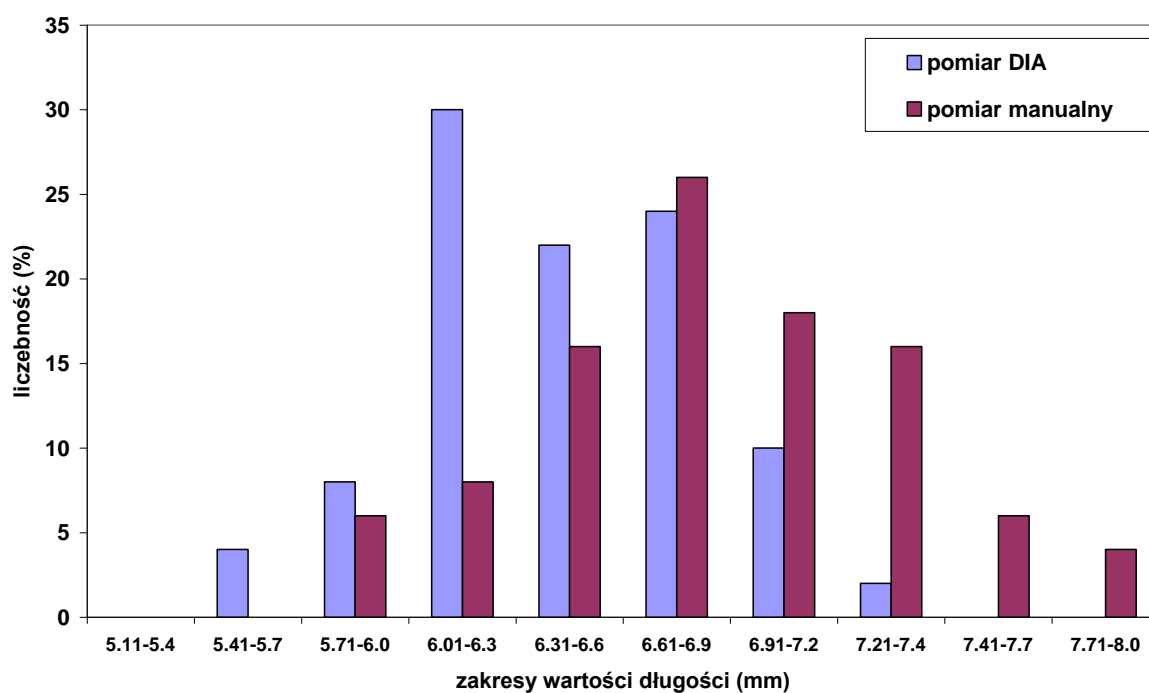
Rys. 4. Zależność długości od szerokości pojedynczych ziarniaków pszenicy odmiany

b) wykres słupkowy



Rys. 5. Szerokość ziarniaków pszenicy różnych odmian.

c) histogram



Rys. 6. Histogram długości ziarniaków pszenicy odmiany

Wzory tabel z wynikami pomiarów

Tabela 15. Wyniki analiz próbki ziarna odmiany

Wyróżnik	Jednostka	min.	max.	mediana	moda	\bar{x}	\hat{s}	C.V.
Pomiar manualny								
Długość	mm							
Szerokość	mm							
Pomiar techniką DIA								
Wymiary								
Długość	mm							
Szerokość	mm							
Obwód rzutu	mm							
Pole powierzchni rzutu	mm ²							
Współczynniki kształtu								
Wydłużenie	-							
W (współczynnik konturu obwodu)	-							
W ₁ (współczynnik cyrkularności)	-							
Masa								
Masa	mg							

Tabela 16. Zbiorcza zestawienie wyników analiz próbek ziarna różnych odmian

Wyróżnik	Jednostka	Próbka 1		Próbka 2		Próbka 3		Próbka 4	
		\bar{x}	\hat{s}	\bar{x}	\hat{s}	\bar{x}	\hat{s}	\bar{x}	\hat{s}
Pomiar manualny									
Długość	mm								
Szerokość	mm								
Pomiar techniką DIA									
Wymiary									
Długość	mm								
Szerokość	mm								
Obwód rzutu	mm								
Pole powierzchni rzutu	mm ²								
Współczynniki kształtu									
Wydłużenie	-								
W (współczynnik konturu obwołu)									
W ₁ (współczynnik cyrkularności)	-								
Masa									
Masa	mg								

Próbka 1 -, Próbka 2 -, Próbka 3 -, Próbka 4 -

Tabela 17. Współczynniki korelacji

	Długość (pomiar techniką DIA)	Szerokość (pomiar techniką DIA)
Odmiana		
Długość (pomiar manualny)		-
Szerokość (pomiar manualny)	-	
Odmiana		
Długość (pomiar manualny)		-
Szerokość (pomiar manualny)	-	
Odmiana		
Długość (pomiar manualny)		-
Szerokość (pomiar manualny)	-	
Odmiana		
Długość (pomiar manualny)		-
Szerokość (pomiar manualny)	-	

ĆWICZENIE 5

OCENA TWARDOŚCI MATERIAŁÓW ZIARNISTYCH

1. Podstawy teoretyczne

WSTĘP

Spośród właściwości fizycznych surowców roślinnych istotną rolę odgrywają ich **właściwości mechaniczne** (opierają się one na prawach mechaniki ciał stałych - zachowaniu się materiału pod wpływem działania sił). Wpływ na nie mają: *cechy geometryczne (kształty i wymiary), masowe (gęstość i porowatość), właściwości higroskopijne oraz tekstura powierzchni*.

Reologia jako dział mechaniki klasycznej zajmuje się powstawaniem i zmiennością odkształceń w czasie w ciałach materialnych w różnych warunkach termodynamicznych i fizykochemicznych. Surowce roślinne wykazują różnorodne zachowanie pod wpływem działania sił (występuje odkształcenie materiału, zmiana jego kształtu i w ostatecznym efekcie zniszczenie struktury wewnętrznej i rozpad na mniejsze części). Z reologicznego punktu widzenia wyróżniamy trzy typy deformacji: *sprężystą, plastyczną i lepka*. W przypadku produktów żywnościowych nie występują powyższe „czyste” deformacje, ale ich złożenia, np. *deformacje lepko - sprężyste*. Deformacja ta zachodzi w owocach i warzywach, grochu, ziarnie zbóż, cięście z mąki pszennej. Jedną z wielkości określających właściwości reologiczne ziarna jest jego *twardość*.

Twardością ziarna nazywamy jego odporność na działanie sił, czy też wielkość siły niezbędnej do zniszczenia jego struktury wewnętrznej. Twardość jest jednym z najważniejszych wyróżników określających jakość i przydatność ziarna pszenicy. W przemyśle młynarskim służy do klasyfikacji odmian pszenicy pod względem ich właściwości przemiałowych oraz przetwórczych. W wyniku przemiału pszenic twardych można łatwo uzyskać założony/pożądaną poziom uszkodzenia skrobi, a względnie duże regularne cząstki mąki uzyskane w trakcie przemiału są z łatwością odsiewane. Miękkie pszenice są rozdrabniane do cząstek stosunkowo mniejszych, o nieregularnym kształcie, które mają tendencję do blokowania/zatykania oczek sit odsiewaczy. Stopień uszkodzenia skrobi jest w tym przypadku niski. Ogólnie, im bardziej twarde (szkliste ziarno), tym uszkodzenie skrobi wyższe.

Pszenice twarde mają grubsze ściany komórek bielma, a granulki skrobi osadzone są w spójnej matrycy białkowej [Jankowski 1988]. Podczas przemiału następuje najpierw pęknięcie bielma wzdłuż ścian komórek na duże fragmenty, które następnie przechodzą do pasaży rozdrabniania. Ścisłe zespolenie skrobi z białkiem powoduje, że w czasie rozpadu tych aglomeratów następuje mechaniczne uszkodzenie znacznej ilości granul skrobiowych, a to powoduje uwolnienie lipidów związanych z amylozą [Barnes 1983]. Spójność komórek w bielmie tzw. pszenic miękkich jest znacznie niższa, co powoduje jej łatwiejsze kruszenie i rozpad na drobne fragmenty.

Przegląd hipotez na temat przyczyn różnic w twardości ziarna pszenicy zawiera praca Haddada i in. [1999].

Pierwsza hipoteza, zaproponowana przez Simmonds'a i in. [1976], wskazuje na zależność pomiędzy twardością bielma, a obecnością tzw. „cementu” pomiędzy granulami skrobi i białkami bielma, przy czym badacze ci nie przedstawili precyzyjnej charakterystyki tego wypełniacza.

Rozwinięciem tej teorii jest hipoteza druga [Stenvert i Kingswood 1977], która wiąże twardość bielma z występowaniem nie-ciągłej matrycy białkowej wokół granul skrobi. Badacze ci wykazali jednocześnie, że twardość jest bardziej zależna od czynników środowiskowych uprawy niż cech genetycznych odmiany.

Według kolejnej, najmniej znanej, hipotezy [Doekes 1985] na twardość bielma ziarniaków po zbiorze ma wpływ ładunek elektryczny białek w bielmie ziarniaków niedojrzałych. Jeśli ten ładunek jest duży, białka przylegają do siebie ściśle, a bielmo jest miękkie. Hipoteza ta została potwierdzona, na razie, tylko w badaniach modelowych *in vitro* (białka w roztworze).

Najnowsza hipoteza [Greenwell i Schofileld 1986] wiąże twardość bielma pszenicy z występowaniem na powierzchni granul skrobi białka niskocząsteczkowego (15 kDa) zwanego friabiliną. Obecność tego białka obniża siły adhezji pomiędzy białkiem a skrobią. Potwierdzeniem tej tezy jest fakt, że pszenice durum (najtwardsze) nie zawierają friabiliny, a pszenice miękkie zawierają jej więcej niż odmiany twarde. Wskazuje się ponadto, że gen kontrolujący syntezę tego białka mieści się na krótkim ramieniu chromosomu 5D, podobnie jak genu kontrolującego twardość. Hipoteza o związku pomiędzy zawartością friabiliny, a twardością bielma, choć obiecująca, jest w dalszym ciągu badana. Morris i in. [cyt. przez Greenblatt i in. 1995] wykazali, np. że friabilina to nie pojedyncze białko, lecz duża ich grupa,

które występują w mąkach zarówno z twardych, jak i miękkich pszenic. Jej obecność na powierzchni skrobi pszenic miękkich może być artefaktem techniki izolacji tego składnika z mąki [Greenblatt i in. 1995 cyt. za Malouf i in. 1992 i Jolly i in. 1993]. Greenblatt i in. [1995] wykazali, że część podjednostek friabiliny łączy się ze skrobią za pomocą wiązań hydrofobowych i jonowych, w których aktywną rolę odgrywają fosfolipidy i glikolipidy. Ten mechanizm powiązania friabiliny, skrobi i lipidów występuje głównie w pszenicach miękkich, więc autorzy proponują oznaczanie lipidów skrobiowych, na równi z analizą friabiliny, jako biochemicznego markera tekstury bielma pszenicy.

Twardość jest właściwością mechaniczną wskazującą na stan kohezji składników danego materiału. Twardość pszenicy nie ma, jak dotąd, powszechnie zaakceptowanej definicji. Niektórzy badacze definiują ją jako mechaniczną właściwość poszczególnych ziarniaków (mikrotwardość), np. oporność na deformację lub kruszenie. Inni określają ją *a priori* jako cechę warunkowaną przez genom poszczególnych odmian pszenicy, rozróżniając przy tym pszenice twarde (w tym durum) i miękkie. Druga klasyfikacja jest często zawodna, bowiem można spotkać próby pszenic z odmian tzw. miękkich, które podczas szczegółowych pomiarów okazują się twardymi (i na odwrót). Mają na to wpływ warunki środowiskowe (temperatura, opady) oraz np. sposób suszenia ziarna po zbiorze (tzw. szklistość przemijająca). Stwierdzono również, że w każdej poszczególniej odmianie pszenicy występuje rozkład twardości ziarniaków, który przyjmuje przebieg zbliżony do rozkładu gęstości właściwej. Zacierają się przy tym różnice pomiędzy typami pszenic. Np. w próbie pszenicy twardej występują ziarniaki twarde oraz pewna ich ilość o właściwościach miękkich.

Badając twardość należy rozróżnić twardość całego ziarniaka i jego części składowych. Większość prac dotyczy pomiaru twardości bielma. Wykazano, że na twardość bielma pszenic miękkich i twardych nie wpływa twardość izolowanych granul skrobi i białka (np. zawieszonych w matrycy żywicznej). Mikrotwardość bielma jest natomiast skorelowana z jego gęstością (pomiar przy użyciu wgłębnika diamentowego Vickersa) [Obuchowski 1977]. Pierwszym wskaźnikiem wysokiej gęstości bielma jest jego szklistość. Wysoka gęstość pszenic szklistych wynika z ścisłego upakowania białek, tworzących gęstą matrycę. Niską gęstość bielma pszenic mączystych tłumaczy się występowaniem w nim porów wypełnionych powietrzem. Sposób upakowania bielma wynika przede wszystkim z cech

odmianowych (genetycznych), ale jest znacząco modyfikowany przez warunki środowiskowe.

Istnieje szereg metod pomiaru twardości:

Pośrednie, często określane jako pomiary technologiczne: (mierzą twardość w masie zbożowej):

1. Pomiar energii lub czasu potrzebnego do przemiału określonej partii ziarna lub otrzymania określonej ilości mąki w standardowych warunkach rozdrabiania.
2. Indeks obłuskiwania, który mówi jak duża część jest zeskrobana z powierzchni ziarna pszenicy w obłuskiwaczu.
3. Indeksy PSI - mierzą masę lub objętość cząstek o określonych wymiarach (stosowane są różne wielkości sit, najczęściej oznacza się indeks PSI wg Williama i Soberinga – sito 74 μm) uzyskanych w standardowych warunkach rozdrabiania.
4. Pomiar przy użyciu wykalibrowanych (np. wg indeksu PSI) aparatów NIR.
5. Pomiar sygnału akustycznego podczas przemiału ziarniaków (ściśła korelacja z pomiarem NIR).

Bezpośrednie – wytrzymałościowe (pomiar dla pojedynczych ziarniaków):

Stosowane są modyfikacje typowych testów pomiaru twardości, takich jak test Brinella, Vickersa, Rockwella, które mierzą opór stawiany sile deformacji, np. podczas wciskania trzpienia w głąb próbki (igłowy), jej ścierania lub ściskania. Testy te podają twardość jako wielkość siły wywołującej określoną deformację (test igłowy) lub jako naprężenie (siła przypadająca na jednostkę powierzchni przy określonym zakresie deformacji).

Ważną, a jednocześnie sprawiającą często kłopot, sprawą przy pomiarach twardości bielma jest także spreparowanie próbki, aby charakteryzowała się ona zdefiniowaną geometrią. Najczęściej stosuje się precyzyjne „wycinanie” cylindrycznych lub sześciennych kształtów z bielma. Tak przygotowane próbki stosuje się m. in. w testach ściskania. Znacznie prostsze jest przygotowanie próbki do testu wgłębiania, w którym to igła/trzpień ma znaną geometrię i wywołuje założoną deformację próbki.

Obiektywną metodą pomiaru twardości pojedynczych, ale całych ziarniaków, jest zastosowanie aparatów SKCS (Single Kernel Characterisation System) firmy Perten. Mierzą one i zapisują m.in. charakterystykę siła/deformacja podczas

kruszenia/rozdrabniania ziarniaków o znanej masie, średnicy i wilgotności. Twarde pszenice uzyskują wyniki ok. 75, a miękkie 30 i poniżej.

Głównymi czynnikami kształtującymi twardość ziarna są:

- a) różnice genetyczne,
- b) czynniki agro-klimatyczne.

Twardość ziarna zbóż może być tłumaczona dwójako:

Teoria 1 Na twardość ziarna wpływa struktura białkowej części bielma, a właściwie różnice w ciągłości matrycy białkowej (ściślejsze - luźniejsze przyleganie składników bielma wpływa na twardość ziarniaka).

Teoria 2 Różnice w twardości spowodowane są obecnością czynników cementujących pomiędzy białkiem i skrobią (siły adhezji, siły jonowe).

W **pszenicach twardych** matryca białkowa jest ciągła i ściśle przylega do ziarenek skrobi. Z tego powodu oddzielenie skrobi od białka jest trudne. Stąd też stopień uszkodzenia skrobi w czasie przemiału jest większy.

W **pszenicach miękkich** jest odwrotnie. Stopień uszkodzenia skrobi może być mniejszy. Matryca białkowa ma tu strukturę małych fragmentów, między które wtłoczone jest powietrze. Powoduje to „pękanie” ziarna, pod wpływem siły, na fragmenty lub agregaty, na których powierzchni znajdują się ziarna skrobiowe bez ochronnej warstwy białkowej. Ponadto w wolnych przestrzeniach światło ulega rozproszeniu, co daje mączysty wygląd takiego ziarniaka. Na twardość ziarna najsilniej oddziałuje zawartość wody w ziarnie. Ziarno suche (do 11 %) charakteryzuje się stabilną twardością, natomiast ziarno o wilgotności wyższej wykazuje spadek twardości. Składają się na to dwie przyczyny:

- ❖ względne zmniejszenie zawartości suchej substancji oraz
- ❖ zmniejszenie siły wiązań pomiędzy skrobią, a białkiem i naruszenie struktury ziarna poprzez wytworzenie wewnętrznych naprężeń spowodowanych różnym stopniem pęcznienia poszczególnych składników.

Mąka pszenna o dobrych właściwościach wypiekowych powinna zawierać pewną ilość skrobi uszkodzonej (ok. 10 %), która ma wpływ między innymi na wodochłonność mąki, zdolność tworzenia CO₂, strukturę miękiszu i objętość chleba. Nadmierna ilość skrobi uszkodzonej jest niepożądana, gdyż może powodować zwiększenie kleistości miękiszu, zmniejszenie objętości bochenka chleba, czy nadmierne pociemnienie skórki. Mąka o zbyt drobnej granulacji może mieć

mechanicznie naruszony układ białkowy, co ma istotny związek z jej przydatnością technologiczną.

Na upakowanie składników w komórce duży wpływ mogą również wywierać powtarzające się cykle nawilżania i suszenia. Hydratacja białek i skrobi powoduje rozluźnienie ich wzajemnych połączeń. Matryca białkowa staje się słabsza i łatwiej zachodzi jej plastyczna deformacja w czasie przemiału. Tłumaczy to tzw. zmiękczenie pszenicy w wyniku następujących po sobie okresów deszczowych i słonecznych. Na upakowanie to wpływa również sposób suszenia ziarna po zbiorze.

Znajomość twardości ziarna warunkuje prawidłowy przebieg transportu, czyszczenia i rozdrobienia ziarna, a także decyduje o jego przydatności technologicznej. Konieczność obiektywnego pomiaru twardości ziarna ma zatem istotne znaczenie w wielu procesach przetwórczych.

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest określenie twardości ziarna zbóż oraz zapoznanie się z budową i pracą aparatu INSTRON 4301, jak również możliwościami jego wykorzystania do określania cech reologicznych materiałów ziarnistych.

3. Materiał badań

Materiałem badań jest:

- ziarno pszenicy, żyta lub jęczmienia określonych odmian,

UWAGA: rodzaj i parametry kolejnych testów określa i nadzoruje prowadzący zajęcia.

4. Zadania do wykonania

- oznaczenie wilgotności ziarna przy użyciu miernika elektrycznego (5 powtórzeń),
- pomiar twardości pszenicy: bielma i okrywy za pomocą UTM INSTRON 4301 (7 powtórzeń),
- pomiar czasu rozdrabniania (2 x 100 g ziarna),
- oznaczenie indeksu granulacji PSI (przemiał 40 g ziarna).

5. Sposób wykonania ćwiczenia

(a) oznaczenie wilgotności - wg PN-91/A-74010 i PN-90/A-74009

(b) pomiar twardości za pomocą UMT INSTRON 4301

- ◆ włączyć zasilanie i sprawdzić rezultat autotestu (*prawidłowa praca rezultat 3999*),
- ◆ wykonać kalibrację głowicy,
- ◆ włączyć łącze IEEE umożliwiające przeprowadzenie analizy przy użyciu komputera,
- ◆ włączyć komputer i uruchomić program,
- ◆ wybrać rodzaj testu pomiarowego,
- ◆ umieścić próbkę na płycie pomiarowej,
- ◆ ustawić (wyzerować) długość pomiarową (z pulpitu sterowniczego),
- ◆ przeprowadzić test,
- ◆ wydrukować raport pomiarowy,
- ◆ zapisać dane w postaci pliku o określonej nazwie (*.MDR),
- ◆ sporządzić wykresy wartości siły w zależności od przemieszczenia (odkształcenia),
- ◆ wyniki pomiarów zestawić w tabeli,

(c) pomiar czasu rozdrabniania

- ◆ odważyć 100 g ziarna z dokładnością $\pm 0,01$ g,
- ◆ wsypać ziarno do komory młyna laboratoryjnego AGROMATIC AQC 109
- ◆ włączyć młyn na bieg „do przodu”,
- ◆ jednocześnie włączyć stoper i otworzyć szczelinę zasilającą młyna (*wielkość szczeliny podaje prowadzący zajęcia*),
- ◆ rozdrobnić ziarno,
- ◆ wyłączyć stoper w momencie zakończenia przemiału (*brak ziarna w okienku kontrolnym*),
- ◆ zebrać mąkę i otręby,
- ◆ powtórzyć pomiar,
- ◆ wyniki przeliczyć na masę 1 kg,

(d) oznaczenie indeksu granulacji PSI (Particle Size Index) - wg Williams'a i Sobering'a

- ◆ odważyć ok. 40 g pszenicy (nie powinna zawierać więcej niż 1 % zanieczyszczeń, wilgotność ziarna w granicach 11 - 13 %),
- ◆ rozdrobnić ziarno na młynie laboratoryjnym FALLING NUMBER 3100,
- ◆ odważyć 10 g mąki / $\pm 0,01$ g /,
- ◆ przenieść próbkę na sito o rozmiarze oczek 200 mesh - 74 μm (na odsiewaczu laboratoryjnym),
- ◆ dodać około 50 g całych ziaren lub kostki gumowe (*na sito*), aby uniknąć utknięcia cząstek na sicie podczas przesiewania,
- ◆ wyłączyć przesiewacz,
- ◆ przesiewać przez 10 min.,
- ◆ zważyć przesiew z dokładnością do $\pm 0,01$ g,
- ◆ wykonać 3 powtórzenia,
- ◆ obliczyć PSI z zależności:

$$\% \text{ PSI} = \text{masa przesiewu} \times 10$$

Można obliczyć indeks granulacji w przeliczeniu na suchą masę:

$$\text{PSI} / 14\% / = \text{PSI} \times \frac{86}{100 - W}$$

gdzie:

W - wilgotność mąki.

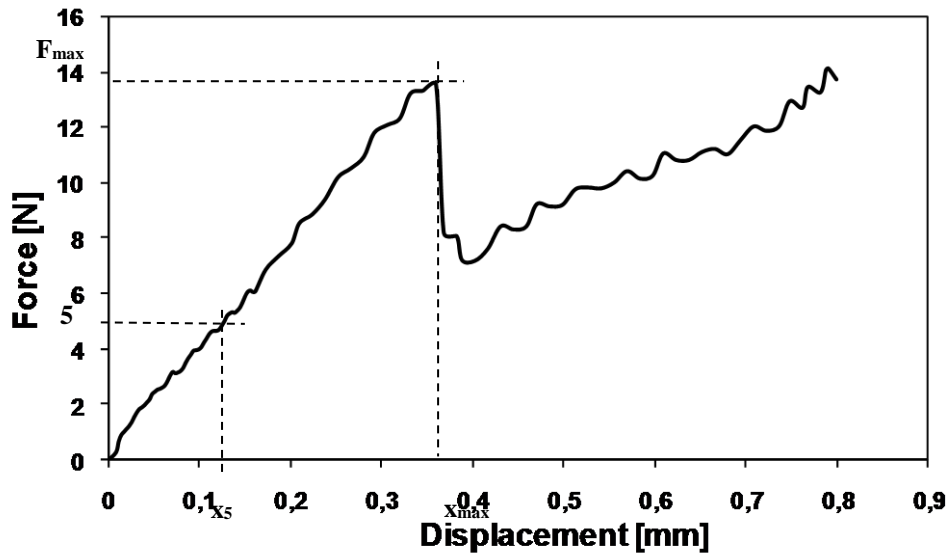
Tabela 18. Kategorie twardości badanych pszenic (wg Williamsa i Soberinga)

Proponowana klasyfikacja	% PSI / mill Cyclone	Typ pszenicy ^{a/}
Ekstra twarda	Poniżej 33	Durum
Bardzo twarda	34 – 42	Durum, HW
Twarda	43 – 47	HW, HRS, HR.
Średnio twarda	48 – 54	HW, HRS, HR.
Średnio miękka	55 – 61	SRS, SWS
Miękka	62 – 67	SRS, SWS
Bardzo miękka	68 – 73	SWW, SRW, SWS, club
Ekstra miękka	Powyżej 74	SRW, Diploidy, SWW, club

^{a/} objaśnienie:

HW	hard white
HRS	hard red spring
HRW	hard red winter
SRS	soft red spring
SWS	soft white spring
SWW	soft white winter
SRW	soft red winter
club	triticum compactum
Diploidy	T. monococcum, Aegilops itd.

Analiza wyników



Rys. 7. Przykładowy wykres ściskania ziarniaka

W sprawozdaniu należy:

- 1) Zestawić wszystkie uzyskane wyniki dla swojej próbki ziarna (średnie, odchylenia, współczynnik zmienności, jednostki)

Lp.	Wyróżnik	Jednostka	Wartość średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności
1.	Wilgotność				
2.	Indeks PSI				
3.	Czas rozdrabniania				
4.	Maksymalna siła ściskania				
5.	Maksymalne odkształcenie sprężyste				
6.	Praca ściskania				
7.	Indeks sprężystości				
8.	Indeks Emax				
9.	Indeks E10				

Wyróżniki 8 i 9 obliczyć na podstawie wykresów:

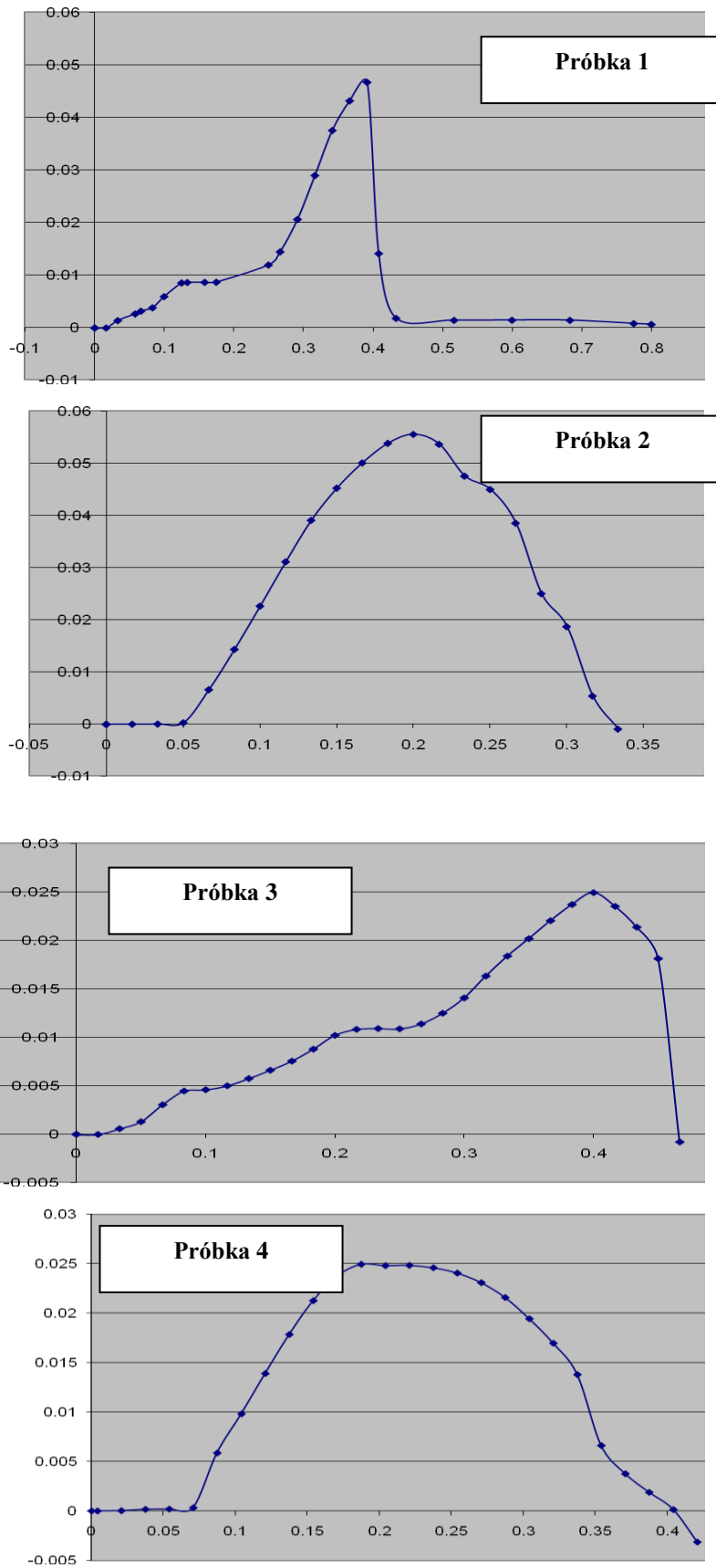
$$E_{\max} = F_{\max} * x_{\max}$$

$$E_{10} = F_{10} * x_{10}$$

Indeks E_{\max} określa pracę potrzebną do przewyciężenia oporu sprężystego ziarniaka

Indeks E_{10} określa nakład pracy w momencie stawiania oporu przez ziarniak równego 10 N.

- 2) Zestawić wartości średnie wszystkich próbek badanych na ćwiczeniach (próbki wszystkich podgrup) – sporządzić wykresy słupkowe wyników
- 3) Porównać swoją próbkę z wzorcami podanymi na rysunku 8. Próbki 1-2 ziarniaki twarde (wyższa wartość siły i/lub większy kąt nachylenia krzywej), próbki 3-4 – ziarniaki miękkie
- 4) Dokonać analizy związków korelacyjnych pomiędzy badanymi wyróżnikami twardości
- 5) Dyskusja wyników oraz wnioski



Rys. 8. Wzorce krzywych ściskania dla ziarniaków o różnej twardości

ĆWICZENIE 6

SEMINARYJNE PODSUMOWANIE ĆWICZEŃ

1. Cel ćwiczenia

- Przygotowanie do analizy wyników analiz eksperymentalnych
- Doskonalenie umiejętności przygotowywania prezentacji multimedialnych
- Udział w dyskusji wyników doświadczeń

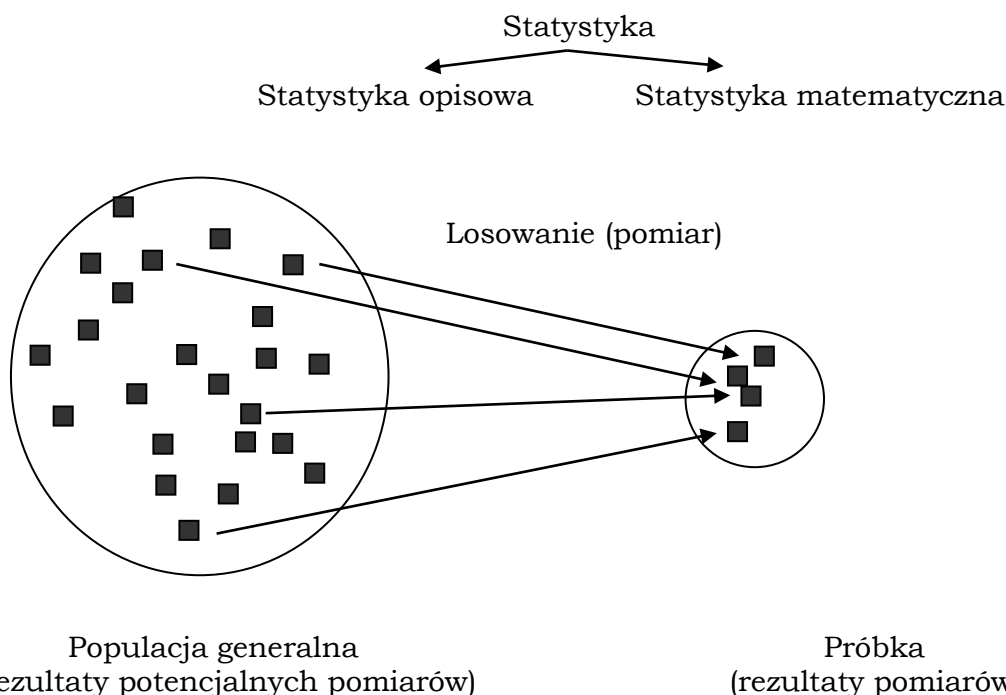
2. Zadania do wykonania

- Losowanie tematu do analizy wyników (ćwiczenia/tematy 1-5)
- Przygotowanie prezentacji multimedialnej tematu
- Prezentacja prac wraz z dyskusją

3. Ocena prezentacji: 70% ocena wartości merytorycznej, 20% ocena formy prezentacji i stylu głoszenia, 10% aktywność w dyskusji (za każdą cechę można uzyskać maksymalnie 5 punktów)

Ocena	PREZENTACJA					
	1	2	3	4	5	6
TREŚĆ						
FORMA I STYL PREZENTACJI						
ŁĄCZNIE						
+ AKTYWNOŚĆ W DYSKUSJI (WYRÓŻNIONE OSOBY)						

MATERIAŁY DODATKOWE - STATYSTYKA OPISOWA



Statystyka opisowa zajmuje się wstępnym opracowaniem wyników pomiarów (próbki) bez posługiwania się rachunkiem prawdopodobieństwa. Nie wyciągamy wniosków dotyczących populacji generalnej.

Niech $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ będzie próbką n -elementową. n – *liczność (liczebność)*. Parametry obliczone z próbki będą dalej nazywane statystykami.

1. GRAFICZNE PRZEDSTAWIENIE PRÓBKII: SZEREG ROZDZIELCZY, HISTOGRAM, ŁAMANA CZĘSTOŚCI

Rozstęp $R = x_{\max} - x_{\min}$

Klasy Dla próbek o dużej liczebności ($n > 30$) elementy próbki grupuje się w klasach, tj. przedziałach o równej lub nierównej długości. Niech k oznacza ilość klas. Ile klas k przyjąć dla danej próbki? Można się kierować następującymi orientacyjnymi regułami:

$$k \leq 5 \lg(n) \quad k = 1 + 3.32 \lg(n) \quad k = \sqrt{n}$$

Zatem, gdy $n=20$, to $k=4 \div 6$, gdy $n=40$, to $k=6 \div 8$

Długość klasy $b \cong R/k$

Niech n_i – liczność i -tej klasy, a \bar{x}_i środek i -tej klasy. Wtedy pary liczb (\bar{x}_i, n_i) nazywamy szeregiem rozdzielczym. Graficzne przedstawienie szeregu rozdzielczego nazywa się histogramem.

Na osi poziomej histogramu – środki klas lub granice poszczególnych klas, na osi pionowej histogramu – liczności klas, *częstości (frekwencje)* $w_i = n_i/n$, lub $v_i = w_i/b$. Łącząc punkty o współrzędnych $(\bar{x}_i - b, 0), (\bar{x}_i, v_i)$ dla $i=1, \dots, k$, $(\bar{x} + b, 0)$ otrzymujemy tzw. łamaną częstości.

2. STATYSTYKI LOKACJI ROZKŁADU

Średnia arytmetyczna \bar{x} liczb $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ określona jest wzorem

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Charakterystyczna własność średniej arytmetycznej: suma wszystkich odchyłeń jest równa zero; $\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) = 0$.

Średnia geometryczna \bar{g} liczb dodatnich określona jest wzorem

$$\bar{g} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i}$$

Średnia harmoniczna \bar{h} , różnych od zera liczb $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, nazywamy odwrotność średniej arytmetycznej odwrotności tych liczb

$$\bar{h} = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} \right)^{-1}$$

Mediana (wartość środkowa) m_e – środkowa liczbę w *uporządkowanej* niemalejąco próbce (dla próbki o liczności nieparzystej) lub średnią arytmetyczną dwóch liczb środkowych (dla próbki o liczności parzystej).

Wartością modalną (moda, dominanta) m_0 próbki o powtarzających się wartościach nazywamy najczęściej powtarzającą się wartość, o ile istnieje, nie będącą x_{\min} ani x_{\max} .

Jeżeli w szeregu rozdzielczym najliczniejsze są obie klasy skrajne, to szereg rozdzielczy nazywamy antymodalnym typu U, a środek najmniej licznej klasy antymoda. Gdy najliczniejsza jest jedna z klas skrajnych, to szereg rozdzielczy nazywamy antymodalnym typu J.

Rozkład dwumodalny – gdy występują dwie jednakowo liczne i najliczniejsze klasy nie będące skrajnymi.

Rozkład jednomodalny, dwuwierzchołkowy – występują dwie najliczniejsze klasy, ale nie są jednakowo liczne i nie są skrajnymi.

Kwantyl rzędu q ($0 < q < 1$) – taka wartość x_q , przed którą (tzn. dla $x \leq x_q$) znajduje się $100q$ % elementów próbki. Gdy $q=0.25$, 0.5 , 0.75 , to takie kwantyle nazywamy kwartylami. Gdy $q=0.25$ mówimy o kwartylu dolnym, gdy $q=0.75$ mówimy o kwartylu górnym. Kwartył $q=0.5$ jest medianą.

3. STATYKI ROZPROSZENIA (ROZRZUTU, ROZSIANIA) ROZKŁADU

Rozstęp R;

Wariancja s^2 – średnia arytmetyczna kwadratów odchyłeń poszczególnych wartości x_i od średniej arytmetycznej \bar{x}

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Odchylenie standardowe $s = \sqrt{s^2}$

Odchylenie przeciętne d_1 od wartości średniej – średnia arytmetyczna wartości bezwzględnych odchyłeń poszczególnych wartości x_i od średniej arytmetycznej

$$d_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|$$

Odchylenie przeciętne d_2 od mediany – średnia arytmetyczna wartości bezwzględnych odchyłeń poszczególnych wartości x_i od mediany m_e

$$d_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - m_e|$$

4. STATYSTYKI KSZTAŁTU ROZKŁADU

Momentem zwykłym m_l rzędu l próbki $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ nazywamy średnią arytmetyczną l-tych potęg wartości x_i

$$m_l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^l$$

Zauważmy, że $m_1 = \bar{x}$

Momentem centralnym M_l rzędu l próbki $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ nazywamy średnią arytmetyczną l-tych potęg odchyłeń wartości x_i od średniej arytmetycznej \bar{x} próbki

$$M_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^i$$

Zauważmy, że $M_1=0$, $M_2=s^2$.

Współczynnik asymetrii (skośności) g_1

$$g_1 = \frac{M_3}{s^3}$$

gdzie s jest odchyleniem standardowym. Dla rozkładu normalnego $g_1=0$. Gdy rozkład ma długi „ogon” dla wartości większych od wartości średniej, to $g_1>0$, gdy „ogon” występuje po stronie wartości mniejszej niż średnia, to $g_1<0$.

Współczynnik koncentracji (skupienia), kurtoza K

$$K = \frac{M_4}{s^4}$$

gdzie s jest odchyleniem standardowym. Kurtoza ma wartość 3 dla rozkładu normalnego. Gdy $K>3$, to rozkład jest bardziej skupiony („szpiczasty”) niż rozkład normalny, gdy $K<3$, to rozkład jest bardziej spłaszczony niż rozkład normalny.

Współczynnik spłaszczenia, eksces g_2

$$g_2=K-3$$

Dla rozkładu normalnego $g_2=0$.

Współczynnik zmienności v

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100\%$$

gdzie s jest odchyleniem standardowym.

Współczynnik nierównomierności H

$$H = \frac{d_1}{\bar{x}} \cdot 100\%$$

gdzie d_1 jest odchyleniem przeciętnym od średniej arytmetycznej.

5. GRAFICZNE PRZEDSTAWIENIE PRÓBKII: PRAWDOPODOBIENSTWO SKUMULOWANE, WYKRES RAMKOWY

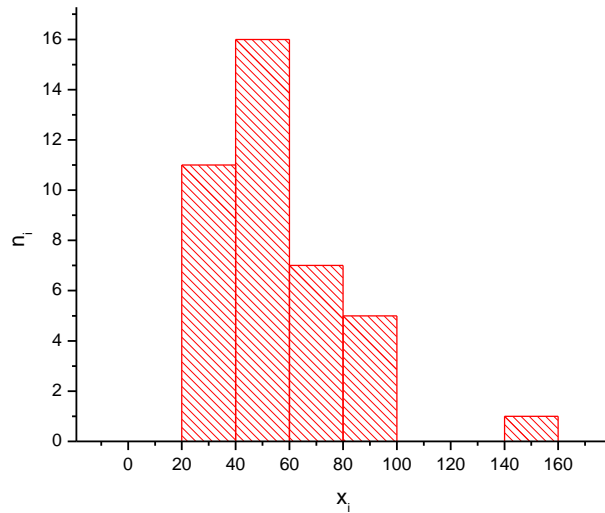
Zakładamy, że prawdopodobieństwo uzyskani każdego elementu próbki n elementowej jest równe $1/n$. Uporządkujemy próbkę według wartości rosnących. Prawdopodobieństwem skumulowanym (dystrybuanta empiryczną) $p(x)$ dla danego x nazywamy prawdopodobieństwo otrzymania wartości mniejszej lub równej x : $p(x)=p(x_i \leq x)$ w próbce uporządkowanej.

Jednym z wielu sposobów graficznej prezentacji próbki jest wykres ramkowy, potocznie nazywany ‘pudełkiem z wąsami’ (ang. box-and-whisker plot), zaproponowany w 1977 roku przez J.Tukey’a. Rysujemy najpierw prostokąt, którego dolny bok jest kwartylem dolnym, a górny bok kwartylem górnym. Pozioma linia dzieląca prostokąt to mediana. Wąsy powstają z połączenia powstałego pudełka z krótkimi liniami poziomymi, narysowanymi dla kwantyla $q=0.95$ (górny wąs) i kwantyla 0.05 (wąs dolny). Na rysunku zaznaczyć można także inne wartości kwantyli (np. 0.01 i 0.99), jak i inne statystyki próbki, np. wartość średnią, ekstremalne wartości w próbce, itp.

PRZYKŁAD: Próbka 40. elementowa – utworzona za pomocą generatora liczb losowych, z rozkładu lognormalnego LND(4, 0.4) (Program MATHEMATICA)

48.4478	69.2368	21.6994	29.3819	65.3572
45.7823	55.4199	42.1859	47.8664	55.7535
87.1514	49.3306	37.5616	56.4771	26.8422
74.2661	51.3336	77.8302	40.1117	41.5877
55.8195	35.9834	67.6347	82.9544	42.1217
61.1744	35.7469	43.1695	48.9212	52.3768
63.7887	39.5142	153.613	98.6516	86.1010
30.4353	34.3459	39.4973	21.1369	91.6702

$n=40$, $x_{\min}=21.1369$, $x_{\max}=153.613$, $R=132.476$



Rys. 1. Histogram próbki. Zaznaczono granice klas (na osi x) i ilość elementów w klasie (na osi y)

STATYSTYKI LOKACJI ROZKŁADU:

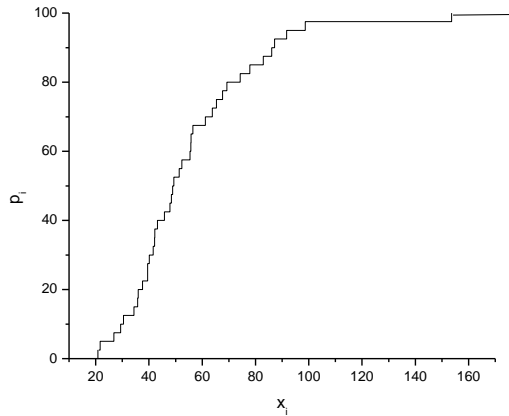
średnia arytmetyczna	$\bar{x} = 55.2071$
średnia geometryczna	$\bar{g} = 50.5966$
średnia harmoniczna	$\bar{h} = 46.5614$
mediana	$m_e = 49.1259$
moda	brak

Statystyki rozproszenia:

wariancja	$s^2 = 615.69$
odchylenie standardowe	$s = 24.8131$
odchylenie przeciętne od \bar{x}	$d_1 = 18.2191$
odchylenie przeciętne od m_e	$d_2 = 12.5955$

Statystyki kształtu:

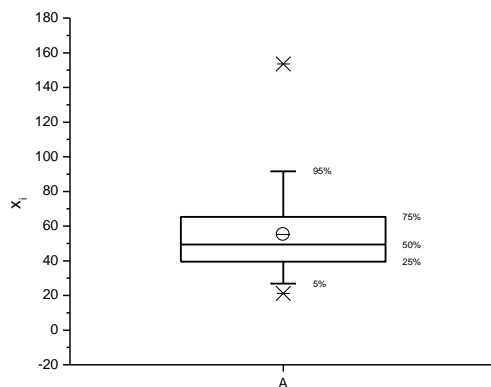
moment centralny l=3	$M_3 = 25213$
moment centralny l=4	$M_4 = 2.67679 \cdot 10^6$
współczynnik asymetrii	$g_1 = 1.65037$
kurtoza	$K = 7.06139$
eksces	$g_2 = 4.06139$
współczynnik zmienności	$v = 44.94 \%$
współczynnik nierównomierności	$H = 33.00 \%$



Rys. 2. Wykres skumulowanego prawdopodobieństwa $p_i(x_i)$ [wyrażonego w %] tego, że znajdziemy w próbie wartość $\leq x_i$

Kwantyle:

kwantyl rzędu 0.01	21.1369
kwantyl rzędu 0.05	21.6994
kwantyl rzędu 0.25	39.4973
kwantyl rzędu 0.50	48.9213
kwantyl rzędu 0.75	65.3572
kwantyl rzędu 0.95	91.6703
kwantyl rzędu 0.99	153.614



Rys. 3. Wykres ramkowy: wartość średnia (kółko z poziomą kreską), wartości ekstremalne (poziome kreski), kwartyle (pudełko), kwantyle 0.05 i 0.95 (wąsy), kwantyle 0.01 i 0.99 (krzyżyki)

Literatura:

W.Krysicki i inni, Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach, część II: Statystyka matematyczna, PWN, Warszawa 1995

J.Tukey, Explanatory Data Analysis. Reading, MA:Addison-Wesley, 1977

Eric Weissteins's World of Mathematics, <http://mathworld.wolfram.com/>

**MATERIAŁY DODATKOWE -BŁĘDY I
STATYSTYKA**



<http://www.lepla.edu.pl/pl/modules/Activitie/s/p04/p04-error1.htm>

Dokładność a precyzja

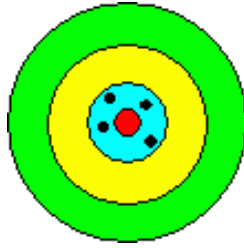
Każdy pomiar, bez względu jak uważnie zostanie wykonany, obarczony jest pewnym związanym z nim błędem; nikt nie jest w stanie *dokładnie* zmierzyć *prawdziwą wartość* mierzonej wielkości. Wielkość popełnianego błędu zależy od precyzji zastosowanego przyrządu, prawidłowej jego kalibracji, oraz umiejętnego posługiwania się przyrządem pomiarowym. Błąd ten jest jednak różny od tzw. "błędu grubego". Grube błędy, lub inaczej wyniki odbiegające, pojawiają się w wyniku złego użycia lub nieprawidłowego działania przyrządu pomiarowego, oraz takich przyczyn jak błędne odczyty wartości pomiaru lub błędy zapisu wyniku. Uważne i przemyślane wykonanie doświadczenia powinno wyeliminować większość grubych błędów.

Aby wyznaczyć błąd związany z pomiarem, naukowiec często korzysta z dwóch pojęć: **precyzji** i **dokładności** pomiaru. Większość osób nie rozróżnia tych dwóch pojęć, natomiast ludzie zajmujący się pomiarami na co dzień wiedzą, że te dwa pojęcia oznaczają całkowicie różne właściwości wyniku pomiaru. Aby łatwiej zrozumieć różnicę pomiędzy tymi dwoma własnościami posłużymy się następującą analogią: wyobraźmy sobie strzelca strzelającego z karabinu do tarczy, w tym przypadku karabin jest przyrządem a strzelec jest osobą posługującą się tym przyrządem zaś wyniki pomiaru są symbolizowane przez położeniem otworów w tarczy.

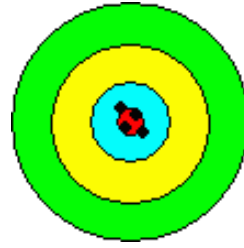
Precyzja pomiaru jest miarą rzetelności przeprowadzenia doświadczenia, lub mówi nam jak powtarzalny jest ten eksperyment. Na rysunku 1 widzimy, że przyrząd strzelca był całkiem precyzyjny, gdyż wyniki pomiarów są blisko siebie położone (w skali zakresu pomiarowego czyli rozmiarów tarczy). Jednak ten przyrząd nie daje wyników dokładnych, gdyż strzały nie koncentrują się w środku tarczy. Fakt że za pomocą przyrządu otrzymujemy wyniki precyzyjne ale nie dokładne może wynikać ze złego ustawienia przyrządów celowniczych lub stałego błędu popełnianego przez strzelca. *Zatem precyzja mówi nam coś o jakości działania przyrządu.*



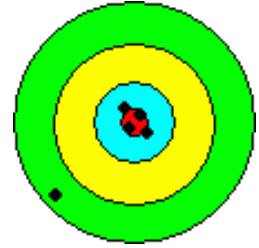
Rysunek 1. Precyzja i dokładność



Rysunek 2. Precyzja i dokładność



Rysunek 3. Precyzja i dokładność



Rysunek 4. Precyzja i dokładność z grubym błędem.

Dokładność pomiaru jest miarą tego jak wyniki doświadczalne są bliskie wartości prawdziwej lub przyjętej za prawdziwą. Na rysunku 2 widzimy inny wynik eksperymentu. W tym przypadku ślady ułożyły się blisko centrum tarczy, są jednak bardziej rozrzucone niż w przypadku poprzednim, co oznacza, że przyrząd naszego strzelca charakteryzuje się dobrą dokładnością, ale złą precyzją. Może to wynikać ze źle wykonanej lufy karabinu. W tym przypadku strzelec nigdy nie osiągnie zarówno dokładności jak i precyzji, nawet jeśli będzie korzystał z przyrządu bardzo uważnie. Jeśli osiągnięty wynik nie jest satysfakcjonujący nie pozostaje jednak nic innego jak zmiana przyrządu. *Zatem dokładność mówi nam coś o jakości lub poprawności otrzymanego wyniku.*

Jako naukowcy chcielibyśmy aby nasze wyniki były zarówno **dokładne** jak i **precyzyjne**. Rysunek 3 przedstawia nam właśnie taki przypadek. Teraz strzały leżą jednorodnie, blisko siebie i są położone w samym centrum tarczy. Widać wyraźną różnicę w stosunku do rysunku 1, zatem strzelec poprawił źle ustawiony poprzednio celownik.

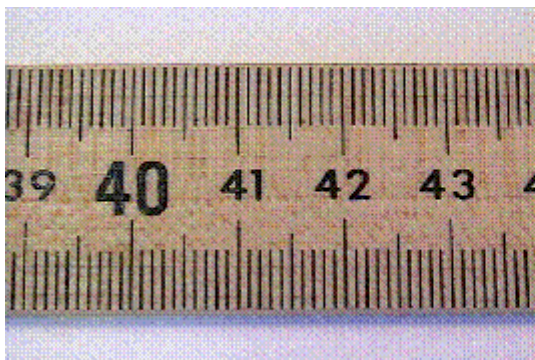
Jednym z powodów wykonywania serii pomiarów zamiast jednego jest możliwość łatwego zauważenia występowania **grubego błędu** w naszych wynikach. Na rysunku 4 widzimy przypadek wyników dokładnych i precyzyjnych z jednym wynikiem obarczonym błędem. Wynik ten możemy potraktować jako zbyt odbiegający od pozostałych, czyli obarczony grubym błędem i pominąć go w dalszych analizach.

Przyrządy pomiarowe

Fizyka jest nauką ilościową, zależną od dokładności pomiarów takich podstawowych wielkości jak czas, odległość, masa i temperatura. Aby umożliwić precyzyjny i dokładny pomiar tych właściwości stosuje się najczęściej takie przyrządy, jak przymiary liniowe, suwmiarki, śruby mikrometryczne, wagi

laboratoryjne i termometry. Bardzo ważne jest poznanie prawidłowych sposobów korzystania z tych przyrządów. Student zawsze powinien starać się osiągnąć największą dokładność pomiaru na jaką pozwala dany przyrząd pomiarowy.

A. Przymiar liniowy. Najprostszym sposobem pomiaru długości jest użycie do tego celu przymiaru liniowego. W laboratoriach używa się przymiaru liniowego wykalibrowanego w centymetrach z **najmniejszą podziałką** równą 1 milimetrowi. Zatem, milimetr jest najmniejszą częścią na jaką podzielono przymiar liniowy, można to zobaczyć na rysunku 5. Oznacza to również, że milimetr jest najmniejszą długością jaką można zmierzyć za pomocą tego przyrządu bez korzystania z estymacji (przybliżenia) mierzonej wartości.



Rysunek 5. Ten przymiar liniowy jest wykalibrowany w centymetrach (duże numerowane działki) z najmniejszą podziałką milimetrową. **Rysunek 6.** Przykład odczytu na mierzonego obiektu jest w przybliżeniu równa 41,64 cm (patrz opis w tekście).

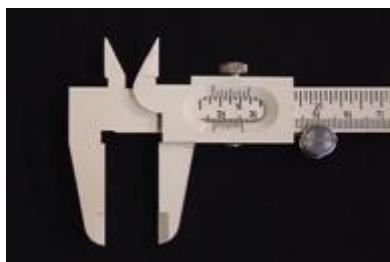
Odczyty wartości z przyrządu pomiarowego mają zwykle o jedną **cyfrę znaczącą** więcej niż najmniejsza podziałka jego skali. Najmniejsza podziałka na naszym przykładowym przymiarze oznacza 0,1 cm a zatem odczyty z niego powinny być z dokładnością do 0,01cm. Rysunek 6 pokazuje przymiar liniowy użyty do zmierzenia długości plastikowego paska. Przymiar jest wykalibrowany w centymetrach, zatem długość mierzonego elementu leży pomiędzy 41 a 42 cm. Najmniejsza podziałka na przymiarze oznacza jeden milimetr, zatem możemy być pewni, że mierzona długość leży pomiędzy 41,6 a 41,7 cm. Następnie możemy **przybliżyć** długość elementu do ułamkowej części najmniejszej podziałki. Możemy oszacować, że koniec elementu leży odrobinę bliżej działki odpowiadającej długości 41,6 cm niż działki 41,7 cm i zanotować, że długość elementu wynosi 41,64 cm lub 0,4164 m.

B. Suwmiarka. Kiedy do pomiaru odległości stosujemy przymiar konieczne jest przybliżanie wartości pomiaru do dziesiątej części milimetra. Jak pokazuje powyższy przykład, długość elementu wyznaczona za pomocą przymiaru, równa 0,4164 m, ma ostatnią cyfrę przybliżoną a więc niepewną. Suwmiarka (przedstawiona na rysunku 7), jest typowym przyrządem pomiarowym stosowanym zarówno w laboratoriach jak i w przemyśle, wyposażonym w noniusz do dokładnego wyznaczenia ułamkowej części najmniejszej działki.



Rysunek 7. Suwmiarka. Przyrząd zwykle stosowany do pomiaru odległości, głębokości i średnicy (patrz opis w tekście). Zwróć uwagę, że górna skala tej suwmiarki jest w calach, a dolna w centymetrach!

Suwmiarka jest wygodna gdy chcemy zmierzyć długość przedmiotu, średnicę zewnętrzną kulistego lub cylindrycznego przedmiotu, średnicę wewnętrzną rury, oraz głębokość otworu. Składa się z głównej skali wygrawerowanej na nieruchomym elemencie i pomocniczej skali (nazywanej noniusem) wygrawerowanej na ruchomej części połączonej z jedną ze szczęk (patrz rysunek 8). Ruchoma szczeka może swobodnie przesuwac się wzdłuż nieruchomego elementu. Główna skala wykalibrowana jest w centymetrach z najmniejszą podziałką w milimetrach. Ruchoma skala pomocnicza ma 10 działek które odpowiadają odległości 9 działek na głównej skali. Zatem długość skali pomocniczej wynosi 9 mm. Kiedy suwmiarka ma zamknięte szczęki i prawidłowo wyzerowana (patrz rysunek 10), pierwsza kreska (oznaczająca zero) na głównej skali powinna znajdować się na wprost pierwszej kreski na noniuszu. Ostatnia kreska na noniuszu powinna pokrywać się z kreską odpowiadającą 9 mm na głównej skali.

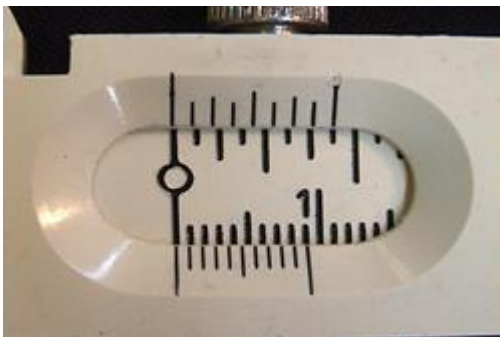


Rysunek 8. Szczęki, główna skala i noniusz suwmiarki.

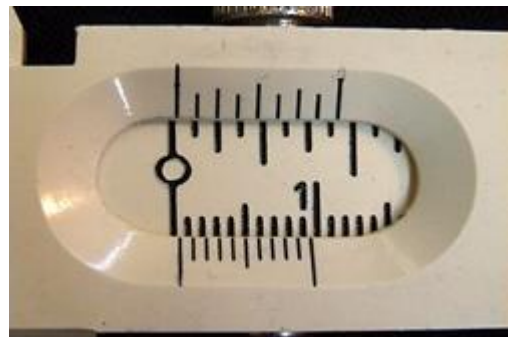
Odczyt długości jest dokonywany poprzez zamknięcie w szczękach mierzonego przedmiotu, i znalezienie działki, przy której znajduje się pierwsza kreska na noniuszu. Na rysunku 9 widzimy, że długość obiektu leży pomiędzy 1,2 cm a 1,3 cm, gdyż pierwsza kreska noniusza znajduje się pomiędzy tymi dwoma wartościami na głównej skali. Ostatnia cyfra wyniku (dziesiąta część milimetra) jest znajdowana w ten sposób, że określamy, która z kresk na noniuszu pokrywa się z dowolną kreską na głównej skali. W naszym przykładzie z rysunku 9, ostatnia cyfra jest 3, gdyż trzecia kreska na noniuszu pokrywa się z kreską na głównej skali. Zatem długość tego obiektu jest równa 1,23 cm.



Rysunek 9. Przykład odczytu z suwmiarki. Zmierzona długość obiektu jest równa 1,23 cm (dolna skala).



Rysunek 10. Wygląd dobrze wyzerowanej suwmiarki z zamkniętymi szczękami.



Rysunek 11. Nieprawidłowo wyzerowana suwmiarka. W tym przypadku każdy pomiar obarczony jest dodatnim błędem (+0,05 cm) który powinien być odjęty od każdego odczytu.

Przed pomiarem należy się upewnić, że suwmiarka jest dobrze wyzerowana (patrz Rysunek 10), zdarza się czasem, że suwmiarka jest źle wyzerowana, wtedy przy zamkniętych szczękach pierwsze kreski nie pokrywają się, co powoduje powstawanie *błędu systematycznego*. Suwmiarka na rysunku 11 jest źle wyzerowana. Aby ten błąd skorygować, trzeba wprowadzić odpowiednią poprawkę.

Poprawka może być dodatnia lub ujemna. Jeśli pierwsza kreska skali pomocniczej leży na prawo od kreski zerowej na głównej skali, odczyt będzie za duży, zatem błąd jest *dodatni*. Odczyt dla zera na rysunku 11 wynosi +0,05 cm i taka wartość powinna być odjęta od każdego z odczytów w trakcie pomiarów. Podobnie, jeśli pierwsza kreska na skali pomocniczej znajdzie się na lewo od kreski zerowej na skali głównej, błąd jest *ujemny* a poprawka powinna być dodana do wartości odczytu.

C. Waga analityczna. Waga analityczna, pokazana na rysunku 12, mierzy masę obiektu poprzez porównanie nieznaney masy z zestawem odważników o znanych masach. Waga analityczna jest zwykle wykalibrowana w gramach z najmniejszą działką odpowiadającą 0,1 mg (w niektórych wagach do $5 \cdot 10^{-5}$ g). Waga elektroniczna pokazana na rysunku 13 ma porównywalną dokładność, pomiar w tym przypadku polega na delikatnym położeniu obiektu na szalce i odczytaniu masy wraz z jednostką w momencie, gdy na wyświetlaczu pojawi się znak symbolizujący ustabilizowanie się mierzonej wartości. W przypadku wagi analitycznej zmiana ustawień wielosegmentowego pokrętła prowadzi poprzez zabudowany system dźwigni do zmiany masy odważników równoważących masę badaną. W wadze tego typu odważniki są integralnymi elementami wagi i nie wykorzystuje się zewnętrznych odważników. Rozdzielczość nastaw pokrętła to 0,1 g. Mniejsze od 0,1 g odchylenie masy badanej od masy odniesienia określa się w podświetlanym okienku na obrotowej skali. Dokładność odczytu zwiększa się poprzez użycie dodatkowego pokrętła i za jego pomocą zgranie kreski środkowej z najbliższą mniejszą podziałką skali. Pierwsze cztery cyfry ostatecznego odczytu wynikają z nastaw segmentów pokrętła (do 1 miejsca po przecinku), następne dwie cyfry ze skali w okienku. Ostatnie (czwarta i piąta po przecinku) cyfry odczytywane są z prawego, pomocniczego, okienka wagi.



Rysunek 12. Waga analityczna.

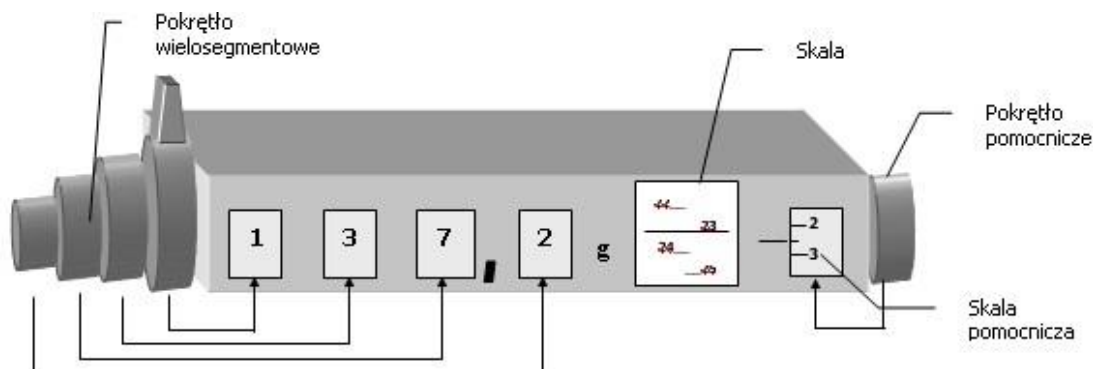


Rysunek 13. Waga elektroniczna.

Przebieg pomiaru właściwego:

1. Sprawdzić zaaretowanie wagi.
2. Po odsunięciu drzwiczek wagi nałożyć na szalkę badane ciało. Trzeba przy tym uważać by masa umiejscowiona była centralnie na szalce wagi. Zamknąć drzwiczki wagi.
3. Na poszczególnych segmentach pokrętła należy ustawić szacunkową masę badanego ciała.
4. Częściowo odaretować wagę (dźwignia blokady ma trzy położenia: górne - blokada; środkowe - blokada częściowa, dolne - waga odblokowana). Obserwować kierunek obrotu skali w okienku.
5. Jeśli skala "ucieka" w górę to ustawienia są z niedomiarem, jeśli w dół to masa ciała jest mniejsza niż nastawy pokrętła. Odpowiednio należy zwiększyć lub zmniejszyć nastawy poczynając od segmentu najmniejszego rzędu (0,1g).
6. Tak postępujemy aż do osiągnięcia takiego ustawienia, kiedy zmiana nastawy segmentu najmniejszego rzędu o 1 wywołuje zmianę kierunku obrotu skali. Wtedy nastawiamy na tym segmencie wartość mniejszą i całkowicie odaretowujemy wagę.
7. Po ustabilizowaniu się ruchu skali obracając prawym pokrętłem ustawiamy środkową kreskę skali na najbliższej mniejszej wartości. Odczytujemy tę wartość oraz wartość z okienka pomocniczego. Cyfry odczytane ze skali w okienku łącznie z cyfrą (dwoma) z prawego pomocniczego okienka wagi utworzą końcowe trzy (cztery) cyfry wyniku.

8. Wynik końcowy podawany w gramach powstaje przez sumowanie odczytów segmentów pokrętle (do pierwszego miejsca po przecinku) i odczytu ze skali (ostatnie trzy lub cztery cyfry wyniku) i uwzględnienie ustalonej wcześniej poprawki. Poprawny odczyt przedstawionego na rysunku 14 ustawienia to: 137,22325 g.
9. Po zakończeniu pomiaru należy wagę zaaretować. Zdjąć badane ciało i zasunąć drzwiczki wagi. Po zakończeniu pracy odłączyć wagę od zasilania.



Rysunek 14. Odczyt wartości na wadze analitycznej.

Należy przy tym pamiętać, że wagi laboratoryjne stosuje się do wyznaczania **masy obiektu, a nie jego ciężaru.**

D. Cylinder miarowy. Objętość obiektu o nieregularnych kształtach może być wyznaczona za pomocą cylindra miarowego. Aby tego dokonać należy napełnić cylinder wodą lub inną cieczą i całkowicie zanurzyć obiekt w tej cieczy. Objętość obiektu jest różnicą poziomów po i przed zanurzeniem ciała w cieczy. Cylinder miarowy jest zwykle wykalibrowany w mililitrach lub centymetrach sześciennych ($1\text{ml} = 1\text{cm}^3$) a najmniejsza działka może wynosić od 1ml do 10ml w zależności od rozmiaru naczynia.

Błąd względny i rozrzut wartości

Często doświadczenia w laboratorium mają na celu wyznaczenie wartości powszechnie znanej wielkości, np. ładunku elektronu e czy przyspieszenia grawitacyjnego (ziemskiego) g . Wielkości te posiadają **akceptowane lub prawdziwe wartości**, możemy zatem obliczyć **błąd względny naszego pomiaru** korzystając z zależności:

$$\text{Błąd względny} = \frac{|\text{Pomiar} - \text{Rzeczywista}|}{\text{Rzeczywista}} \times 100 \% \quad (1)$$

Czasami potrzebujemy porównać wyniki dwóch pomiarów tej samej wielkości. Na przykład, gdy możemy zastosować dwie różne metody pomiaru prędkości toczącego się ciała. W tym przypadku, ponieważ **nie ma** jednej akceptowalnej wartości dla prędkości toczącego się ciała, możemy użyć **rozrzutu** mierzonego w procentach do określenia zgodności wyników pomiarów. Możemy tę wielkość znaleźć dzieląc bezwzględną wartość różnicy tych dwóch wyników przez ich średnią arytmetyczną i mnożąc przez 100%, czyli

$$\text{Rozrzut} = \frac{|\text{Pomiar}_1 - \text{Pomiar}_2|}{\left(\frac{\text{Pomiar}_1 + \text{Pomiar}_2}{2}\right)} \times 100 \% \quad (2)$$

Niedokładność przyrządu a najmniejsza działka

Każdy pomiar wykonywany za pomocą przyrządu obarczony jest pewną *niedokładnością*. Nawet najbardziej precyzyjny przyrząd pomiarowy nie może podać *rzeczywistej* wartości, gdyż aby to zrobić musiałby być nieskończenie precyzyjny, co jest niemożliwe do wykonania. Miarą dokładności przyrządu jest jego błąd graniczny. Jako dobre przybliżenie błędu granicznego, przyjmuje się, że przyrząd może mierzyć z dokładnością do 50% jego **najmniejszej działki**. Powtórzmy zatem, że najmniejsza działka jest to najmniejsza odległość pomiędzy sąsiednimi kreskami podziałki naniesionej na przyrządzie pomiarowym. Błąd pomiaru powinien być podawany z wynikiem głównym, i wyrażony w takich samych jednostkach jak wynik główny, na przykład: 41,64 ± 0,05 cm.

Poniżej przedstawione są typowe graniczne wartości błędu różnych przyrządów:

- Przymiar liniowy: 50% najmniejszej działki; zwykle ± 0,05 cm
- Suwmiarka: zwykle ± 0,01 cm
- Waga analityczna: 50% najmniejszej działki (odważnika); zwykle ± 0,05 g
- Cylinder miarowy: 50% najmniejszej działki

A oto przykład: Niedokładność pomiaru wykonanego za pomocą przymiaru liniowego, którego najmniejsza podziałka ma długość jednego milimetra wynosi 50% z 1 mm czyli 0,05 cm. Powiedzmy, że używamy przymiaru liniowego do zmierzenia

metalowego pręta, którego koniec znajduje się pomiędzy działkami wskazującymi 10,2 cm i 10,3 cm. Jeśli wydaje ci się, że koniec pręta jest bliżej kreski oznaczającej 10,2 cm niż kreski dla 10,3 cm, możesz wówczas **oszacować**, że długość pręta jest powiedzmy równa, 10,23 cm. Ponieważ błąd graniczny takiego pomiaru wynosi 0,05 cm, należy zapisać, że długość pręta wynosi $10,23 \pm 0,05$ cm (lub $0,1023 \pm 0,0005$ m).

Przy każdym eksperymencie bardzo ważne jest prawidłowe podanie precyzji z jaką każdy pomiar został wykonany. Nie ma pomiaru absolutnie precyzyjnego. Na przykład, nie jest możliwe zmierzenie dokładnej długości jakiegokolwiek obiektu. Możemy zmierzyć długość obiektu jako 1,23 cm, ale nie oznacza to, że rzeczywista jego długość wynosi 1,23000000... cm! Musimy uważnie opisać jak dokładny jest nasz pomiar. Wynik pomiaru wynoszący $1,23 \pm 0,10$ cm jest mniej dokładny niż $1,23 \pm 0,01$ cm. Znak \pm oznacza że podajemy precyzję pomiaru. Oprócz przedstawionego wcześniej błędu bezwzględnego, możemy skorzystać również z błędu względnego (wyrażonego w procentach).

Kiedy mierzoną wielkość przedstawiamy na wykresie, zwykle błąd pomiaru zaznaczamy za pomocą **znaczników błędu** (słupków błędu).

Przenoszenie się błędu

Kiedy mamy do czynienia z niedokładnością wyniku otrzymanego na podstawie wielu pomiarów, na których dokonano pewnych operacji matematycznych, błąd związany w każdą ze zmierzonych wartości wnosi swój wkład do błędu wielkości końcowej. Dalej znajduje się nieformalna dyskusja nad sposobami rozsądnego przybliżenia wartości błędów związanych z pomiarami wielkości fizycznych.

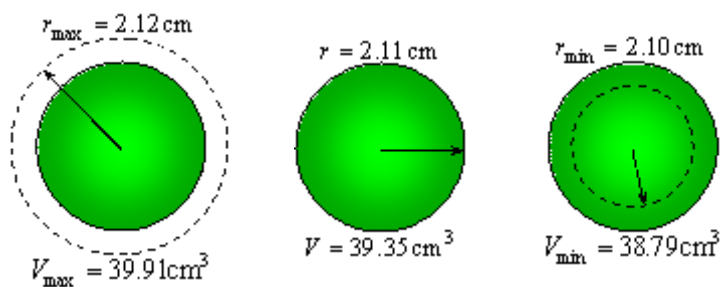
Analiza błędu oznacza badanie jak błąd przenosi się (propaguje) w obrębie eksperymentu co w przypadku pełnym rzeczywistych badań jest bardzo szczegółowe i skomplikowane. Od tej pory, będziemy porównywać **wyniki pomiarów** stosując do tego *błąd względny* i *rozrzut*, ale przeważnie ignorując błąd tkwiący w naszych **pomiarach**. Przedyskutujmy teraz temat przenoszenia się błędów (propagacji błędów).

A. Błąd pomiaru masy przedmiotu. Wyobraźmy sobie, że użyliśmy wagi analityczną do pomiaru masy pewnego obiektu, otrzymując że wynosi ona 156,28 g. Czy taka jest rzeczywista masa tego obiektu ? Powiemy, że jest to wartość zmierzona, ale nie jest to rzeczywista masa obiektu, gdyż każdy pomiar lekko odbiega od rzeczywistej wartości ze względu na niedoskonałość przyrządów którymi dysponujemy. Znajdźmy jak jest ona **niedokładna**.

Najmniejsza działka wagi jaką użyliśmy do ważenia naszego obiektu ma wartość 0,1 g, niedokładność każdego pomiaru wykonanego za pomocą tego przyrządu (bez względu na to jak uważnie ten pomiar przeprowadzimy) wynosi 0,05 g, czyli 50% najmniejszej działki. Powinniśmy zatem podać, że masa naszego obiektu jest $(156,28 \pm 0,05)$ g. Oznacza to, że jesteśmy **pewni**, że masa obiektu leży gdzieś pomiędzy 156,23 g a 156,33 g. Oczywiście przyjmujemy, że instrument jest poprawnie wyzerowany i działa prawidłowo.

B. Błąd wyznaczania objętości kuli. Powiedzmy, że za pomocą suwmiarki dokonaliśmy pomiaru średnicy kuli otrzymując wartość 4,22 cm. Zatem promień tej kuli wynosi 2,11 cm. Korzystając z zależności $\frac{4}{3}\pi r^3$ możemy obliczyć, że objętość kuli jest równa 39,349206 cm³. Oczywiście musimy wziąć pod uwagę dokładność naszego pomiaru i zaokrąglić wynik do 39,35 cm³. Jak bardzo pewni jesteśmy że ten pomiar jest poprawny ? Policzmy niedokładność dla naszych obliczeń korzystając z metody "na ślepo".

Wiemy z sekcji IV, że niedokładność jakiegokolwiek pomiaru wykonanego za pomocą suwmiarki wynosi $\pm 0,01$ cm. Zatem nasz oryginalny wynik pomiaru wynoszący 2,11 cm tak naprawdę mieści się w przedziale $2,11 \pm 0,01$ cm. Czyli, możemy powiedzieć z wysokim poziomem ufności, że rzeczywista długość promienia kuli leży pomiędzy 2,10 cm a 2,12 cm. Jeśli na przykład za promień kuli przyjmiemy 2,10cm, wówczas znajdziemy najmniejszą wartość objętości kuli wynoszącą 38,79 cm³, czyli o $-0,56$ cm³ różniącą się od wartości nominalnej 39,35 cm³. Podstawiając 2,12 cm otrzymujemy górną granicę objętości kuli równą 39,91 cm³, tym razem o $+0,56$ cm³ różniącą się od wartości nominalnej. Zatem, zarówno najmniejsza, jak i największa wartość różni się od nominalnej o 0,56cm³ czyli **błąd tego pomiaru** wynosi $\pm 0,56$ cm³. Możemy zatem podać *ostateczny wynik* pomiaru objętości kuli jako $39,35 \text{ cm}^3 \pm 0,56 \text{ cm}^3$. Powinien on być raczej zapisany w postaci $(39,35 \pm 0,56) \text{ cm}^3$.



Rysunek 14. Promień kuli ma z pomiaru wartość 2,11 cm, a obliczona na tej podstawie objętość wynosi 39,35 cm³

Podsumowując, należy stwierdzić, że z każdym pomiarem związana jest pewna niedokładność. Ponieważ w tym przykładzie użyliśmy suwmiarki, błąd pomiarowy promienia można przyjąć równy $\pm 0,01\text{cm}$. Przyjmując najmniejszą wartość promienia, równą 2,10cm, obliczamy najmniejszą możliwą objętość kuli wynoszącą 38,79 cm³. Natomiast stosując największą z możliwych wartości długości promienia, czyli 2,12 cm, obliczamy największą z możliwych objętości kuli równą 30,91 cm³. Różnica pomiędzy tymi dwiema objętościami a wartością nominalną wynosi $\pm 0,56\text{ cm}^3$, zatem jako wynik końcowy pomiaru i obliczeń objętości należy podać $(39,35 \pm 0,56)\text{ cm}^3$.

Chociaż metoda ta nie przedstawia przenoszenia się błędu od strony teoretycznej, jednak takie praktyczne podejście wydaje się tutaj wystarczające.

C. Błąd objętości prostopadłościennego bloku. Popatrzmy na jeszcze jeden przykład obliczeń błędu. Załóżmy, że użyliśmy suwmiarkę do pomiaru długości, wysokości i szerokości prostopadłościennego bloku i otrzymaliśmy odpowiednio $L = 1,37\text{ cm}$, $H = 4,11\text{ cm}$ i $W = 2,56\text{ cm}$. Nominalna objętość tego bloku wynosi zatem 14,41 cm³ ($V = L \times W \times H$).

Oczywiście każdy z pomiarów jest obarczony błędem bezwzględny $\pm 0,01\text{cm}$ typowym dla suwmiarki. Tak jak poprzednio możemy obliczyć dolną granicę objętości bloku:

$$V_{\min} = (1.36\text{ cm})(4.10\text{ cm})(2.55\text{ cm}) = 14.22\text{ cm}^3,$$

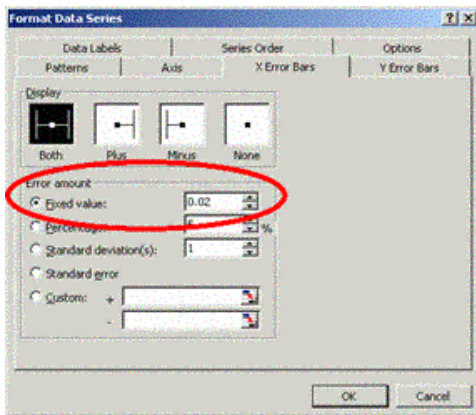
która jest o **0,19 cm³** mniejsza od wartości nominalnej.

Górna granica może być obliczona na podstawie zależności:

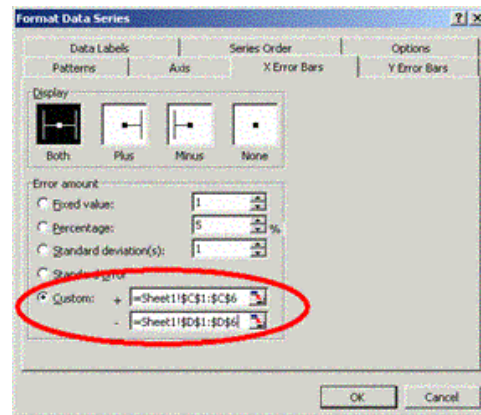
$$V_{\max} = (1.38\text{ cm})(4.12\text{ cm})(2.57\text{ cm}) = 14.61\text{ cm}^3,$$

i jest o **0,20 cm³** większa od wartości nominalnej. Musimy wybrać większą z tych wartości odchylenia od nominalnej objętości i przyjąć ją jako błąd graniczny dla naszego pomiaru, zatem będziemy podawać, że objętość bloku wynosi $(14,41 \pm 0,20)\text{ cm}^3$.

D. Wykresy ze znacznikami błędów. Kiedy wielkość jest przedstawiana na wykresie, zwykle niedokładność tej wielkości jest reprezentowana za pomocą **znaczników błędów**. Należy zajrzeć do podręcznika arkusza kalkulacyjnego, aby nauczyć się jak zawrzeć tę ważną informację na wykresach dołączanych do sprawozdania. Należy wiedzieć, że jeśli wielkość jest obarczona tym samym błędem w przypadku wszystkich pomiarów, jak na przykład pomiary masy przedmiotu wykonane za pomocą tej samej wagi, można wstawić stałą wartość błędów jak to pokazano dla Excela na Rysunku 15. Jeśli każdy wynik pomiaru obarczony jest innym błędem, jak na przykład pomiary wymiarów przy obliczaniu objętości, wówczas błędy dla każdej wartości należy zapisać w arkuszu w oddzielnej kolumnie i podać komórki zawierające wartości błędów, jak to pokazano w przypadku Excela na Rysunku 16.



Rysunek 15. Jak wprowadzić stałe wartości błędów.



Rysunek 16. Jak wprowadzić zmienne wartości błędów.