

**Opis dorobku i osiągnięć naukowych, dydaktycznych
i organizacyjnych**

AUTOREFERAT

**Zooplankton zbiorników kopalni odkrywkowych – rola
bioindykacyjna i prognostyczna w funkcjonowaniu
ekosystemów antropogenicznych**

Dr inż. Anna Goździejewska

**Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Wydział Geoinżynierii**

1. IMIĘ I NAZWISKO

ANNA MARIA GOŹDZIEJEWSKA

2. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE/ARTYSTYCZNE – Z PODANIEM NAZWY, MIEJSCA I ROKU ICH UZYSKANIA ORAZ TYTUŁU ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

- 1990 - tytuł zawodowy magistra inżyniera ochrony wód uzyskany na Wydziale Ochrony Wód i Rybactwa Śródlądowego Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie. Tytuł pracy: **„Letni zooplankton jezior terenu i okolic Mazurskiego Parku Krajobrazowego”**. Promotor: dr Jan Widuto, ART w Olsztynie
- 2004 – stopień doktora nauk rolniczych w dyscyplinie rybactwo, uzyskany na Wydziale Ochrony Środowiska i Rybactwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Tytuł rozprawy: **„Odżywianie się larw i wczesnych stadiów juvenilnych stynki *Osmerus eperlanus (Linnaeus, 1758)* w wodach Zalewu Wiślanego”**. Promotor: dr hab. Tomasz Linkowski, Morski Instytut Rybacki w Gdyni

Inne formy edukacji

- 1993 – Dwutygodniowe szkolenie w zakresie ochrony powietrza atmosferycznego i metod badań hałasu – projekt Tempus Ecopol, South Bank University Londyn, Anglia
- 1993-1994 - Studium Doskonalenia Pedagogicznego dla Nauczycieli Akademickich, ART w Olsztynie
- 1993-1994 - Studia Podyplomowe „Ochrona atmosfery”, Politechnika Warszawska
- 2012 – semestralny kurs „Meteorologia w turystyce i rekreacji”, Zakład Fizyki Atmosfery, Politechnika Warszawska
- 2013 – uprawnienia instruktora pływania, Instytut Edukacji i Sportu w Olsztynie

3. INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH/ARTYSTYCZNYCH

- 1.12.1989 – 31.10.1990** – Zakład Limnologii Fizycznej, Katedra Chemii i Technologii Wody i Ścieków, Wydział Ochrony Wód i Rybactwa Śródlądowego, Akademia Rolniczo-Techniczna w Olsztynie - **pracownik techniczny,**
- 1.11.1991 – 30.10.2000** – Zakład Limnologii Fizycznej, Katedra Chemii i Technologii Wody i Ścieków, Wydział Ochrony Wód i Rybactwa Śródlądowego, Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie – **asystent,**

1.11.2000 – 30.09.2008 – Zakład Ekologii i Hydrobiologii, Katedra Ekologii Ewolucyjnej, Wydział Ochrony Środowiska i Rybactwa, Uniwersytet Warmińsko - Mazurski w Olsztynie - **asystent**

01.03.2009 do chwili obecnej – Katedra Turystyki, Rekreacji i Ekologii, Wydział Geoinżynierii, Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie – **adiunkt**

4. OMÓWIENIE OSIĄGNIĘĆ, O KTÓRYCH MOWA W ART. 219 UST. 1 PKT. 2 USTAWY Z DNIA 20 LIPCA 2018R. PRAWO O SZKOLNICTWIE WYŻSZYM I NAUCE (DZ. U. Z 2021 R. POZ. 478 Z PÓŹN. ZM.).

Główne osiągnięcie o wspólnym tytule „**Zooplankton zbiorników kopalni odkrywkowych – rola bioindykacyjna i prognostyczna w funkcjonowaniu ekosystemów antropogenicznych**” stanowi cykl powiązanych tematycznie sześciu artykułów naukowych [P-1- P-6], opublikowanych w latach 2018-2022, co daje:

- łączny 5-letni *impact factor* = **23,816** i sumaryczny *impact factor* z roku opublikowania = **19,971**
- łączną liczbę punktów wg MNiSW: **20** (do 2019) i **620** (po 2019)

[P-1] Goździejewska, A.M., Skrzypczak, A.R., Paturej, E., Koszałka, J. 2018. Zooplankton diversity of drainage system reservoirs at an opencast mine. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems 419, 33. <https://doi.org/10.1051/kmae/2018020>. (IF₂₀₁₈ = 1,265; IF_{5-letni} = 2,108; MNiSW: 20)

Mój wkład w powstanie tej publikacji polegał na: sformułowaniu koncepcji badań, przeprowadzeniu analiz zooplanktonu, opracowaniu i interpretacji wyników, napisaniu manuskryptu i przygotowaniu go do druku. Mój udział procentowy szacuję na **60%**.

[P-2] Goździejewska, A.M., Gwoździk, M., Kulesza, S., Bramowicz, M., Koszałka, J. 2019. Effects of suspended micro- and nanoscale particles on zooplankton functional diversity of drainage system reservoirs at an open-pit mine. Scientific Reports 9, 16113. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52542-6>. (IF₂₀₁₉ = 3,998; IF_{5-letni} = 5,516; MNiSW: 140).

Mój wkład w powstanie tej publikacji polegał na: sformułowaniu koncepcji badań, udziale w pobraniu prób do analiz i przeprowadzeniu badań laboratoryjnych (opracowanie zooplanktonu i części analiz fizyko-chemicznych wody), opracowaniu i interpretacji wyników, napisaniu manuskryptu i przygotowaniu go do druku. Mój udział procentowy szacuję na **80%**.

[P-3] Goździejewska, A.M., Skrzypczak, A.R., Koszałka, J., Bowszys, M. 2020. Effects of recreational fishing on zooplankton communities of drainage system reservoirs at an open-pit mine. *Fisheries Management and Ecology*, 27(3), 279-291. <https://doi.org/10.1111/fme.12411>. (IF₂₀₂₀ = 1,894; IF_{5-letni} = 2,24; MNiSW: 100).

Mój wkład w powstanie tej publikacji polegał na: sformułowaniu koncepcji badań, pracach terenowych, przeprowadzeniu analiz zooplanktonu, opracowaniu i interpretacji wyników, napisaniu manuskryptu i przygotowaniu go do druku. Mój udział procentowy szacuję na **60%**.

[P-4] Goździejewska, A.M., Koszałka, J., Tandyrak, R., Grochowska, J., Parszuto, K. Functional responses of zooplankton communities to depth, trophic status, and ion content in mine pit lakes. 2021. *Hydrobiologia* 848, 2699–2719. <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04590-1>. (IF₂₀₂₁ = 2,822; IF_{5-letni} = 2,920; MNiSW: 100).

Mój wkład w powstanie tej publikacji polegał na: sformułowaniu koncepcji badań, udziale w pobraniu prób do analiz i przeprowadzeniu badań laboratoryjnych (opracowanie zooplanktonu i części analiz fizyko-chemicznych wody), opracowaniu i interpretacji wyników, napisaniu manuskryptu i przygotowaniu go do druku. Mój udział procentowy szacuję na **80%**.

[P-5] Goździejewska, A.M., Kruk, M. 2022. Zooplankton network conditioned by turbidity gradient in small anthropogenic reservoirs, *Scientific Reports*, 12, 3938. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08045-y>. (IF₂₀₂₂ = 4,996; IF_{5-letni} = 5,516; MNiSW: 140).

Mój wkład w powstanie tej publikacji polegał na: sformułowaniu koncepcji badań, udziale w pobraniu prób do analiz i przeprowadzeniu badań laboratoryjnych (opracowanie zooplanktonu i analiz fizyko-chemicznych wody), interpretacji wyników w tym modelowania matematycznego, napisaniu manuskryptu i przygotowaniu go do druku. Mój udział procentowy szacuję na **70%**.

[P-6] Kruk, M., Goździejewska, A.M., Artiemjew, P. 2022. Predicting the effects of winter water warming in artificial lakes on zooplankton and its environment using combined machine learning models. *Scientific Reports*, 12, 16145. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20604-x>. (IF₂₀₂₂ = 4,996; IF_{5-letni} = 5,516; MNiSW: 140).

Mój wkład w powstanie tej publikacji polegał na: sformułowaniu koncepcji badań, udziale w pobraniu prób do analiz i przeprowadzeniu badań laboratoryjnych (opracowanie zooplanktonu i analiz fizyko-chemicznych wody), interpretacji wyników. Mój udział procentowy szacuję na **40%**.

Wstęp, stan wiedzy i uzasadnienie podjęcia tematu badań

Gospodarcza działalność człowieka najczęściej wiąże się z przekształcaniem środowiska przyrodniczego i krajobrazu. Eksploatacja odkrywkowa kopalin stanowi wielkoobszarową i wielokierunkową formę presji na otoczenie - gleby, wody i powietrze, zmieniając krajobraz społeczno – przyrodniczy [1]. W miejsce ukształtowanych na drodze sukcesji naturalnej lokalnych ekosystemów, tworzony jest krajobraz industrialny. Tempo i zakres przebiegu przekształceń takiego obszaru zależy od uwarunkowań geologiczno-górnicznych i intensywności eksploatacji. Oprócz widocznych i natychmiastowych zmian na powierzchni ziemi, polegających na zanikaniu lasów, użytków rolnych i osad ludzkich, pojawiają się konsekwencje długoterminowe. Z upływem czasu, w wyniku odwadniania odkrywki, obniża się poziom wód gruntowych, tworzy się lej depresyjny, co skutkuje zanikiem naturalnych powierzchniowych zbiorników wodnych i zaburzeniami w funkcjonowaniu lokalnej sieci hydrograficznej [2]. W zakresie tych zmian mieści się również przekładanie cieków wodnych, budowa rowów odwadniających i zbiorników technologicznych związanych z eksploatacją górnictwem [3] oraz zabiegi wodnego zagospodarowania wyrobiska końcowego odkrywki w ramach rekultywacji obszaru pogórniczego [4]. Nowo powstały dla danego obszaru zbiornik wodny (związany z tokiem produkcyjnym lub po jego zaprzestaniu), stanowi urozmaicenie i wzbogacenie lokalnego obszaru pod względem siedlisk przyrodniczych i gatunków oraz jako element krajobrazu [5]. Pełni często funkcję społeczną i rekreacyjną, szczególnie istotną na obszarach przemysłowych, zurbanizowanych i o dużej gęstości zaludnienia [6]. Dlatego szczególnie ważna jest zarówno kontrola procesu formowania i wstępnego etapu sukcesji biologicznej jak również ciągłe monitorowanie takich ekosystemów podczas eksploatacji. W przypadku zbiorników technologicznych dąży się głównie do spełnienia wymogów związanych z funkcją gospodarczą, ale istotne jest również zachowanie cech naturalności [4]. Z kolei w przypadku zbiorników poeksploatacyjnych, których docelową funkcją jest rola przyrodniczo-społeczna, już w toku ich planowania, formowania i prognozowania, dąży się do uzyskania jak największej naturalności i podobieństwa do jezior w zakresie ich produktywności biologicznej oraz bioróżnorodności. W tym przypadku istotne są przede wszystkim odpowiednie działania ochronne w obrębie bezpośredniej zlewni oraz świadome użytkowanie tych młodych i wrażliwych ekosystemów [7].

Terenem badań który dostarczył materiału hydrobiologicznego, podlegającego analizom w podjętych pracach było osiem **zbiorników technologicznych** funkcjonujących w systemie drenażu odwadniającego odkrywki górnictwem Bełchatów i Szczerców na terenie KWB Bełchatów [**P-1, P-2, P-3, P-5, P-6**] oraz trzy **jeziora poeksploatacyjne** utworzone wskutek rekultywacji w kierunku wodnym obszaru PAK

Kopalnia Węgla Brunatnego Adamów S.A. **[P-4]**. Zbiorniki technologiczne działają na zasadzie komór sedymentacyjnych (osadników), których rolą jest redukcja nadmiernej ilości zawiesin mineralnych w wodach pokopalnianych, przed odprowadzeniem do odbiornika – rzeki. Pełnią one również istotną rolę społeczną jako łowiska rekreacyjne. Woda zasilająca badane zbiorniki, pochodzi z różnych głębokości odkrywki, w tym ze źródeł geotermalnych poziomu Jury Dolnej, co decyduje o zróżnicowaniu jej temperatury oraz parametrów jakościowych i ilościowych zawiesin.

Trzy analizowane **jeziora poeksploatacyjne** Przykona, Janiszew i Władysławów zajmują zagłębienia dawnych odkrywek i różnią się wiekiem, morfometrią misy, warunkami termicznymi i tlenowymi, stanem trofii oraz charakterem bezpośredniej zlewni i formą użytkowania [7].

Uwzględniając zatem uwarunkowania związane z genezą powstania oraz aktualnym przeznaczeniem badanych ekosystemów, w podjętych pracach skoncentrowałam się na wpływie w/w zmiennych/czynników środowiskowych, na **cechy zbiorowisk zooplanktonu**.

Zooplankton wspiera wiele ważnych procesów w ekosystemach wodnych. Pełni kluczową rolę w funkcjonowaniu sieci pokarmowych, komunikując poziom producentów pierwotnych (fitoplankton) i konsumentów wyższego rzędu (ichtiofauna) [8]. Szerokie rozprzestrzenienie w różnego typu ekosystemach wodnych, kluczowa rola w mikrobiologicznym obiegu węgla, biogenów i energii, różnorodność behawioralna i morfologiczna związana z odżywianiem, krótki cykl życiowy i przy tym szybka adaptacja do zmian w środowisku oraz wczesna i wrażliwa reakcja na nagłe zakłócenia (zanieczyszczenie, przepływ i poziom wody, warunki termiczne, zmętnienie itd.) to cechy zooplanktonu wykorzystywane często w bioindykacji [np. 9, 10, 11].

Cechy funkcjonalne zooplanktonu związane ze strategią odżywiania oraz zależnościami międzygatunkowymi mają znaczenie w ocenie funkcjonalności i odporności środowiska. Stwierdzono bowiem, że różnorodność i sezonowa naprzemiennność dominacji mikrofitów i drapieżnych gatunków zooplanktonu jest funkcją odporności ekosystemu wodnego; w przeciwieństwie do stanu asymetrii troficznej (stałej dominacji grupy troficznej), która świadczy o reakcji środowiska na stres antropogeniczny [12, 13]. Ekosystem poddany radykalnemu czynnikowi zaburzającemu (np. ekstremalny gradient temperatury, trofii, zasolenia itd) składa się z gatunków funkcjonalnie podobnych [14, 15]; staje się zatem funkcjonalnie homogeniczny i traci na funkcjonalności w porównaniu do środowiska, w którym gatunki są mniej podobne funkcjonalnie. Z kolei pośredni zakres czynników lub zróżnicowanie przestrzenne warunków (np. zróżnicowanie siedlisk związane z głębokością) skutkuje heterogenicznością taksonomiczną i funkcjonalną zooplanktonu [16].

Powyższy mechanizm opiera się na kilku teoriach ekologicznych wyjaśniających wpływ filtrów środowiskowych i konkurencji międzygatunkowej na skład, strukturę i

funkcjonalność społeczności zooplanktonu [17]. Filtry środowiskowe to czynniki abiotyczne, które eliminują gatunki nieprzystosowane i tworząc grupy o wspólnej tolerancji ekologicznej, prowadzą do ujednoczenia cech. Natomiast konkurencja działa jako czynnik dywergencji cech, który prowadzi do ekologicznego zróżnicowania współbytujących gatunków zooplanktonu. Wprawdzie w rywalizacji o wspólne zasoby wygrywa skuteczniejszy a liczba gatunków maleje, jednak w zbiorowisku występują również gatunki, których cechy funkcjonalne umożliwiają korzystanie z innej puli pokarmowej. W konsekwencji obecność różnych grup funkcyjnych powoduje wzrost heterogeniczności funkcjonalnej i często również taksonomicznej ekosystemu.

Tak więc w określeniu stabilności i funkcjonalności ekosystemu pomaga umiejętność identyfikacji miejsca i roli taksonów w sieci zależności międzygatunkowych zooplanktonu. Wg Remane [18] oraz Schmitz i Trussell [19] dla zachowania spójności systemu niezbędna jest równomierna proporcja interakcji korzystnych (matematycznie pozytywnych) mutualizmu i współwystępowanie w obrębie gildii, oraz antagonistycznych (korelacje ujemne) takich jak konkurencja i drapieżnictwo; przy czym podkreśla się kluczowe znaczenie tych negatywnych.

Cechy zooplanktonu takie jak różnorodność taksonomiczna i funkcjonalna, zróżnicowane strategie ekologiczne i odrębność filogenetyczna, oraz bierna i szeroka dyspersja w środowisku, są nie tylko przedmiotem badań porównawczych, ale stanowią także dobry materiał w modelowaniu/prognozowaniu ekosystemowym, również w kontekście globalnych zmian klimatycznych [20-23]. Bowiem zooplankton czytelnie odzwierciedla efekty procesów pogodowych takich jak długotrwałe zmiany reżimu termicznego lub skutki gwałtownych zjawisk atmosferycznych np. huraganowych wiatrów, powodujących falowanie, turbulencje i zmętnienie w wodach powierzchniowych. Zatem umiejętność odczytania struktury interakcji między środowiskiem abiotycznym a cechami zgrupowań zooplanktonu takimi jak wzorce adaptacji, relacje międzygatunkowe i układy hierarchiczne, daje wiarygodną i często wykorzystywaną możliwość określenia aktualnych stanów oraz prognozowania potencjalnych zmian w ekosystemach wodnych.

W toku pięcioletniego procesu badawczego (monitorowania) dążyłam do identyfikacji zmiennych środowiskowych, które bezpośrednio i pośrednio korelują z cechami zbiorowisk zooplanktonu **zbiorników technologicznych [P-1, P-3]**. Następnie przy wykorzystaniu zaawansowanych metodyk fizycznych oraz modelowania matematycznego i technik uczenia maszynowego dokonałam analizy wpływu najważniejszych i charakterystycznych predyktorów/filtrów środowiskowych tj. struktury zawiesin mineralnych [P-2], gradientu zmętnienia wody [P-5] i geotermalnego spłaszczenia rocznej amplitudy i wysokich temperatur wody w okresie zimowym [P-6], na zooplankton.

O wadze znaczenia podjętych szczegółowych analiz wpływu trzech powyżej wyszczególnionych czynników przemawia ich niezmiernie istotna rola w środowisku wodnym, omówiona poniżej. W tym obszarze istnieje ciągła potrzeba uzupełniania wiedzy w zakresie ich wpływu na ekosystemy wodne, co jest możliwe poprzez wdrażanie nowych, interdyscyplinarnych metodyk badawczych.

Znaczenie zawiesin w środowisku wodnym a zooplankton

Zawiesiny są naturalnym elementem ekosystemów wodnych. Biorą udział w licznych procesach biologicznych, fizycznych i chemicznych. Wpływają na funkcjonowanie sieci troficznych, poprzez regulację tempa produkcji pierwotnej, obiegu składników odżywczych i przepływu energii. Mają znaczenie w kształtowaniu warunków termicznych i tlenowych w wodzie, absorpcji światła i wiązaniu zanieczyszczeń [24-26]. Rola zawiesin w przebiegu tych procesów zależy od stężenia i rodzaju cząstek, które warunkowane są głównie ich źródłem pochodzenia. Jednak znaczenie mają również zjawiska zachodzące wewnątrz ekosystemów wodnych, jak sedymentacja i resuspensja osadów, szczególnie istotne w zbiornikach płytkich [27, 28]. Zawiesiny bogate w materię organiczną są cennym pożywieniem dla mikroorganizmów i dalszych ogniw łańcucha konsumentów. Z kolei cząstki nieorganiczne odgrywają kluczową rolę w obiegu pierwiastków śladowych [29, 30], stanowią także podłoże do rozwoju glonów i pierwotniaków [31]. Jednak ich wysokie stężenie może zaburzać procesy i interakcje troficzne. Począwszy od spadku produkcji pierwotnej, wskutek ograniczenia przenikania światła w wodzie, poprzez obniżenie efektywności odżywiania się, rozwoju i liczebności organizmów filtrujących [32-34].

Odpady nieorganiczne, które powstają w dużych ilościach podczas ekstrakcji minerałów, mogą istotnie wpływać na organizmy wodne a ich oddziaływanie zależy od stężenia, składu chemicznego i wielkości cząstek [26]. Szczególną uwagę zwraca się na biologiczne znaczenie cząstek zawieszonych, o wielkości nanometrycznej. Makro- i mikrocząstki mineralne są pobierane ze środowiska wraz z pokarmem i mogą mechanicznie utrudniać proces odżywiania i trawienia (zatykanie aparatów filtracyjnych i przewodów pokarmowych) [35, 36]. Natomiast pobieranie nanocząstek odbywa się głównie drogami endocytotycznymi. Ich reaktywność wynika więc nie tylko z dużej powierzchni czynnej, ale także ze znacznie większej skali oddziaływania [37]. Badania wpływu nanostruktur na bezkręgowce planktonowe realizowano zazwyczaj laboratoryjnie, w formie testów toksykologicznych i dotyczyły one najczęściej gatunków Cladocera [38, 39].

Brakuje natomiast wyników badań *in situ*, na temat oddziaływania zawieszonych mikro- i nanostruktur pochodzenia naturalnego na zooplankton a szczególnie Rotifera, których realizację umożliwiło unikalne (modelowe) środowisko badanych zbiorników technologicznych.

Znaczenie zmętnienia wody a zooplankton

Zmętnienie to właściwość optyczna określająca zdolność do rozpraszania i absorbowania światła, informująca o trudności w przenikaniu promieni świetlnych w głąb toni wodnej. Przyczyną zmętnienia wody jest obecność cząsteczek zawiesiny (gлина, piasek), rozdrobnionej materii organicznej i nieorganicznej, rozpuszczalnych związków koloidalnych i humusowych oraz organizmów planktonowych i bakterii. Z tego względu parametr zmętnienia może informować o przebiegu wielu procesów biologicznych, fizycznych i chemicznych, zależnie od pochodzenia, stężenia i rodzaju cząstek zawiesiny [25, 26, 29, 31]. Parametr zmętnienia jest także istotnym wskaźnikiem stanu sanitarnego oraz produktywności ekosystemu. Wzrost zmętnienia wiąże się często ze wzrostem barwy i temperatury wody oraz produkcji podstawowej fitoplanktonu, zakwitami i bakteriologicznym zagniwaniem wody [40, 41]. Wysokie zmętnienie, oznaczające niską przezroczystość wody i ograniczenie zasięgu strefy eufotycznej (produktywnej), może istotnie wpływać na efektywność odżywiania, rozwój i liczebność filtrujących gatunków zooplanktonu [27, 33, 34] oraz skuteczność żerowania ryb, które wizualnie lokalizują ofiary [42, 43]. Wysokie wartości zmętnienia, przy niskim stężeniu zawiesiny mogą wskazywać na małe rozmiary cząstek o znacznym udziale nanostruktur. Nanocząstki, ze względu na dużą powierzchnię czynną w stosunku do objętości, charakteryzują się dużą reaktywnością, co w połączeniu z budową chemiczną może decydować o ich toksyczności dla organizmów wodnych, w tym zooplanktonu [38, 39]. Zatem gradient zmętnienia, różnicując strukturę gatunkową zooplanktonu, może wpływać także na charakter i siłę interakcji w sieci relacji międzygatunkowych, takich jak drapieżnictwo i konkurencja o zasoby [44, 45].

Zagadnienie zmętnienia wody w kontekście reakcji zooplanktonu jest problemem rzadko podejmowanym w badaniach środowiskowych i wydaje się niedoceniane. Dotychczasowe badania *in situ* wpływu wzrostu zmętnienia wody na zooplankton związane były z okresowymi zaburzeniami wskutek intensywnych zjawisk atmosferycznych, takich jak wiatr i nawalne opady deszczu [10, 46] lub procesów hydrodynamicznych, jak pływy [47]. Rzadko korelowano zooplankton z wysoką mętnością wody powstałą z przyczyn antropogenicznych [40, 41]. Wyniki tych nielicznych analiz wskazywały głównie na zmiany w składzie taksonomicznym i zagęszczeniu. Brakuje natomiast doświadczeń nad strukturalnym ujęciem reakcji zbiorowisk zooplanktonu na zmętnienie, przedstawionym w formie analizy powiązań pomiędzy organizmami.

W prognozowaniu ekosystemowym szczególnie ważne jest poznanie wzorców adaptacji, opartych na cechach funkcjonalnych gatunków oraz ścieżek hierarchii zależności, a także określenie roli gatunków w budowaniu spójności i innych właściwości sieci planktonowej w wodach mętnych.

Ocieplenie zimowe wody a zooplankton

Temperatura jest jednym z najważniejszych czynników regulujących procesy życiowe w środowisku wodnym; decyduje o wymianie gazowej i poziomie saturacji, wpływa na tempo krążenia pierwiastków i materii organicznej w wodzie [48, 49]. Gradienty temperatury wody implikują zmiany w składzie biocenozy oraz w budowie łańcucha pokarmowego [14, 50]. Zbiorniki wodne klimatu umiarkowanego podlegają wpływowi cyklicznych, sezonowych zmian temperatury powietrza i insolacji, czego skutkiem są charakterystyczne układy termiczne [48]. Szczególnie podatne na fluktuacje atmosferyczne są płytkie zbiorniki wodne, w których częsta homotermia i polimiksja zależą od temperatury powietrza i mechanicznego wpływu wiatru [51]. Istotne zaburzenia i/lub trwałe zmiany naturalnych układów termicznych wód powierzchniowych łączono głównie z działalnością człowieka, związaną z odprowadzaniem wód pochłodniczych [52-56]. Rzadziej opisywano hydrobiologiczny aspekt dopływu wód geotermalnych do zbiorników wodnych [58-60]. Od kilku dekad, do przyczyn zmian termiki wód powierzchniowych dodano czynnik klimatyczny z prognozami wzrostu globalnych temperatur, zwłaszcza w północnych szerokościach geograficznych [61-63]. Wiadomo już, że rosnący gradient temperatury może mieć znaczny wpływ na strukturę i funkcjonowanie biocenoz wodnych klimatu umiarkowanego, a wrażliwe reakcje gatunków to efekt ewolucyjnej adaptacji do określonych reżimów termicznych [64-66].

Bezpośrednia reakcja zooplanktonu na temperaturę wody odbywa się na poziomie fizjologicznym (regulacja przemiany materii, wzrostu, rozwoju) i behawioralnym (zmiany rozmieszczenia, liczebności, składu gatunkowego, fenologii) [53, 57, 67-69]. Natomiast pośredni wpływ termiki wody oznacza limitację zooplanktonu względem ilości i jakości pokarmu (głównie fitoplanktonu) oraz aktywności drapieżniczej ryb [11, 70].

Dotychczasowe badania wykazały, że reakcja zooplanktonu słodkowodnego na wzrost średnich sezonowych/rocznych temperatur wody jest podobna do efektów przyspieszonej eutrofizacji i polega na: wzroście całkowitego zagęszczenia i biomasy, przebudowie składu gatunkowego [55, 71, 72], zanikaniu sukcesji sezonowej w tym ustępowaniu zimnowodnych gatunków ze zbiorowisk wiosennych Rotifera [57], a także zwiększeniu proporcji form juwenilnych i tempa wzrostu populacji skorupiaków o mniejszej wielkości ciała/biomasy [14, 70, 73, 74]. Z kolei „przesunięcie” sezonu wywołane np. wcześniejszym wiosennym ocieplaniem się wody przyspiesza rozwój gatunków ciepłolubnych, często zaburzając ich naturalny cykl życiowy [69, 75, 76]. Szczególną uwagę zwrócono na skutki zmian fenologicznych w ekosystemach strefy umiarkowanej, gdzie dokładny czas ocieplenia sezonowego decyduje o sukcesie rozrodu, wychodzeniu ze stadiów spoczynkowych, czasie generacji oraz dostępności pokarmu [68, 77, 78]. Zatem reakcja poszczególnych gatunków na zmiany reżimu termicznego ma bezpośrednie odzwierciedlenie w strukturze taksonomicznej i cechach funkcjonalnych zbiorowisk

zooplanktonu [66, 70, 78]. Stanowi to podstawę organizacji zależności międzygatunkowych w sieci zooplanktonu, polegających głównie na wypieraniu konkurencyjnym i drapieżnictwie, a następnie ich wpływie na kolejne poziomy troficzne [79, 80].

Wpływ termiki zimowej na stan biocenoz w okresie wegetacji w śródlądowych ekosystemach wodnych nie został dokładnie zbadany. Badania i wnioski koncentrują się zwykle na globalnych skutkach ocieplenia klimatu i obaw związanych z zooplanktonem oceanicznym i morskim [81]. Brakuje zatem badań, które wypełniłyby lukę w obszarze wiedzy o wpływie zaniku długotrwałych zimowych okresów niskich temperatur na zooplankton w wodach śródlądowych klimatu umiarkowanego, uwzględniając dodatkowo fakt, że warunki środowiskowe są tu bardziej złożone niż w oceanach.

Celem podjętych prac było określenie cech zbiorowisk zooplanktonu, zasiedlających zbiorniki związane z działalnością górniczą, jako narzędzia do określenia aktualnych stanów oraz prognozowania potencjalnych zmian w ekosystemach wodnych.

W drodze do realizacji powyższego celu postawiłam następujące hipotezy badawcze:

1. Dynamika zróżnicowania taksonomicznego i funkcjonalnego zooplanktonu (związanego ze strategią odżywiania) odzwierciedla stan ekosystemów obciążonych zawiesiną mineralną, w zakresie gradientu ilościowego i jakościowego cząstek [**P-1, P-2**];
2. Dynamika zróżnicowania taksonomicznego i biomasy zooplanktonu odzwierciedla stan wód poddanych działaniom w zakresie rekreacji wędkarskiej i umożliwia monitorowanie ich funkcji ekosystemowych [**P-3**];
3. Dynamika i charakter relacji międzygatunkowych, zależności hierarchiczne i cechy adaptacyjne zooplanktonu odzwierciedlają warunki gradientu zmętnienia wody i umożliwiają określenie odporności i funkcjonalności środowisk wód mętnych [**P-5**];
4. Dynamika biomasy gatunków zooplanktonu odzwierciedla wpływ zaniku długich okresów niskich temperatur zimą oraz spłaszczenia rocznego gradientu temperatury wody (geotermalne ocieplenie zimowe) i umożliwia prognozowanie w zakresie zmian globalnych [**P-6**];
5. Dynamika zróżnicowania taksonomicznego i funkcjonalnego (związanego ze strategią odżywiania) zooplanktonu odzwierciedla etap sukcesji biologicznej nowo powstałych jezior poeksploatacyjnych oraz wskazuje na kierunki zagrożeń związanych z ich użytkowaniem [**P-4**].

Dodatkowo chcę podkreślić, że **badania te miały charakter pionierski** a wyniki uzyskane w rzeczywistym środowisku istotnie pogłębiają wiedzę w zakresie reakcji zwierząt

planktonowych na strukturę i zagęszczenie cząstek zawiesin (w tym form biologicznie reaktywnych nanocząstek) czy też prognozowane efekty zmian globalnych, dotyczące czynników termicznych (zimowe ocieplenie i spłaszczenie rocznej amplitudy temperatury wody) i mechanicznych (wzrost częstości nagłych zjawisk atmosferycznych w tym siły wiatru i falowania powodującego zmętnienie), które to analizy prowadzone są najczęściej eksperymentalnie.

WYNIKI

I. Zbiorniki technologiczne

I.I. Cechy środowiskowe zbiorników technologicznych z wykorzystaniem rekreacyjnym, a struktura zooplanktonu [P-1, P-3]

Z uwagi na brak jakichkolwiek wcześniejszych doniesień na temat struktur planktonowych badanych zbiorników, wstępne analizy miały na celu określenie zróżnicowania taksonomicznego, struktury dominacji oraz dynamiki liczebności i biomasy zooplanktonu na tle parametrów środowiskowych wybranych zbiorników. Przeprowadzone badania uwzględniające warunki abiotyczne i biotyczne ukształtowane poprzez gospodarczą i rekreacyjną (wędkarstwo) rolę zbiorników, pozwoliły na uzyskanie poniższych wyników i wniosków.

- 1) Parametry fizykochemiczne wody, które najczęściej determinują warunki biologiczne w wodach pokopalnianych, takie jak zasolenie (TDS), zakwaszenie (pH) oraz rozpuszczone związki mineralne (wyrażone miarą przewodnictwa elektrolitycznego), oceniałam na poziomie charakterystycznym dla wód naturalnych. Nie były one zatem czynnikiem limitującym rozwój większości gatunków zooplanktonu.
- 2) Struktura zooplanktonu opierała się głównie na pospolitych gatunkach eurytopowych wrotków *Keratella tecta*, *Polyarthra longiremis*, *Keratella quadrata*, *Brachionus angularis*, *Brachionus calyciflorus*, *Filinia longiseta*, charakterystycznych również dla wód sztucznych zbiorników. Wzrost liczebności populacji i dominujący udział (> 10%) w/w gatunków zaliczanych do indykatorów podwyższonej trofii, w całkowitym zagęszczeniu letniego zooplanktonu istotnie korelowały ze wzrostem stężenia związków biogenych.
- 3) Stężenie zawiesin mineralnych istotnie korelowało z wielkością produkcji pierwotnej, wyrażonej stężeniem chlorofilu a, a następnie z rozwojem wioślarek i widłonogów. Stymulowało także rozwój detryto- i bakteriożernych wrotków (np. *Filinia longiseta*, *Keratella cochlearis*) które wykorzystywały „film” organiczny osadzony na powierzchni cząstek zawieszonych.

- 4) Uwarunkowania związane z budową chemiczną osadów dennych, rzutowały istotnie na zbiorowiska planktonowe. Były one zróżnicowane w poszczególnych zbiornikach, gdyż wynikały z powyżej wymienionych warunków zasilania wodami pokopalnianymi (głębokość odwaniania) oraz czasu funkcjonowania i intensywności użytkowania wędkarskiego. Decydowały tu frakcje fosforu zdeponowane w osadach. Organiczne formy połączeń fosforu odpowiadały za okresowe zasilanie (cyrkulację) wody fosforanami, powodując wzrost wskaźników trofii. Z kolei wzrost udziału ilościowego tlenków glinu i krzemionki (naturalnych składników zawiesin) w osadach skutkowało spadkiem stężenia związków fosforu w toni wodnej, ograniczając dostępność dla fitoplanktonu. Efektem trwałej depozycji fosforu w osadach był nie tylko spadek produkcji pierwotnej (wyrażony miarą chlorofilu a), ale zmiany w składzie gatunkowym organizmów planktonowych. Intensywnie i całorocznie rozwijające się w ubogim w biogeny środowisku duże okrzemki z rzędu *Pennales*, nie były dostępne dla większości gatunków konsumentów, czego efektem była niska liczebność i biomasa zooplanktonu.
- 5) Wzrost wskaźników trofii korelował z obniżeniem wskaźników zróżnicowania taksonomicznego Shannon'a i Margalef'a, równomierności gatunkowej Pielou oraz liczby gatunków zooplanktonu.
- 6) Intensywna forma użytkowania rybacko-wędkarskiego, polegająca na:
- nadmiernej obsadzie gatunków niedrapieżnych, w tym karpia,
 - nieeliminowaniu dużych osobników, zgodnie z modelem „złap i wypuść”,
 - nielimitowane stosowanie zanęt podnoszących ładunki biogenów,

spowodowały wzrost stężenia biogenów, materii organicznej i zmętnienia wody oraz ogólny spadek miar różnorodności zooplanktonu. W tym zakresie obserwowałam spadek zróżnicowania i biomasy gatunków wrotków, dominację konkurencyjnej pokarmowo wioślarki *Daphnia cucullata* i larw nauplii widłonogów oraz pierwotniaków.

Niska presja połowów rekreacyjnych związana z ograniczeniem zanęt, zarybianiem gatunkami drapieżnymi oraz optymalną eliminacją ryb ze środowiska poprzez wyłów, zwiększyły dynamikę i różnorodność zooplanktonu.

Uzyskane wyniki przedstawiają potencjalną możliwość wykorzystania indykacyjnych cech zooplanktonu jako narzędzia kontroli i prognozowania wpływu gospodarczego i społecznego (w zakresie wędkarstwa rekreacyjnego) użytkowania na funkcje ekosystemu. Wskazują, że możliwa jest optymalizacja równowagi pomiędzy sprawnością rekreacyjną i zdrowiem biologicznym ekosystemu poprzez praktyki zarządzania, uwzględniające kwestie potrzeb społecznych oraz potencjału

ekologicznego, w szczególności poprzez ograniczenie poziomu zawiesiny i składników odżywczych.

I.II. Odpowiedź funkcjonalna zooplanktonu na cechy zawiesin [P-2]

Wstępne badania wykazały (*I.I*), że bogactwo zooplanktonu w zbiornikach technologicznych związane jest z dobrymi warunkami pokarmowymi a czynnikiem, który je różnicuje jest stężenie zawiesin. Obserwacje te wyznaczyły dalsze cele, zmierzające do określenia jak zespoły zooplanktonu mierzą się z różnymi cechami naturalnych cząstek zawieszonych w wodzie. Aplikacja fizycznych metodyk badawczych: mikroskopii sił atomowych (AFM), spektroskopii rentgenowskiej z dyspersją energii (EDS) oraz skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) umożliwiła identyfikację składu mineralnego, budowy morfologicznej, wielkości i składu chemicznego cząstek zawiesiny. Cechy te okazały się istotnymi predyktorami dynamiki troficznej zbiorowisk zooplanktonu i pozwoliły na wyznaczenie gradientów funkcjonalności oraz na wnioskowanie o odporności ekosystemów.

W tym celu gatunki zooplanktonu zaklasyfikowałam do trzech grup, na podstawie ich cech funkcjonalnych - strategii żywienia i wielkości ciała: małe mikrofagi (SMF), duże mikrofagi (LMF) i gatunki aktywnie żerujące i drapieżne (RAP). Wykorzystałam też wskaźnik oparty na stosunku grup troficznych (GR') [82].

- 1) Średnie wartości stężenia zawiesiny ogólnej, wyrażone w jednostkach wagowych (mg/L), osiągały 2 - 5-krotnie mniejsze wartości od progu, który powoduje spadek efektywności odżywiania, tempa wzrostu i reprodukcji skorupiaków planktonowych; przy czym nie ma istotnego wpływu na Rotifera. Zatem czynnik ten nie mógł trwale ograniczać funkcjonowania żadnej z grup zooplanktonu. Dodatkowo, poziom stężenia zawiesin w poszczególnych zbiornikach nie podlegał większym fluktuacjom, które mogłyby wywołać stres środowiskowy. To istotne z punktu widzenia możliwości wygenerowania przez zwierzęta planktonowe odpowiednich mechanizmów adaptacyjnych.
- 2) Wzrost stężenia zawiesin stymulował rozwój populacji efektywnych dużych mikrofitofagów – Cladocera oraz detryto- i bakteriożernych wrotków (*Filinia longiseta*, *Keratella cochlearis*, *Brachionus angularis*). Cząstki zawiesiny mineralnej, stanowiąc doskonałe podłoże do gromadzenia się różnych form organicznych, poprawiały i urozmaicały pulę pokarmową a następnie zwiększały zróżnicowanie taksonomiczne i funkcjonalne zooplanktonu.
- 3) Parametr zmętnienia, wyrażony w jednostkach nefelometrycznych (NTU), jest również wykorzystywany w interpretacji obciążenia wody zawiesinami. Wprawdzie w większości badanych zbiorników zmętnienie korelowało ze stężeniem zawiesin,

jednak poziom zmętnienia (NTU) był 2–3 krotnie wyższy od wartości stężenia zawiesin (mg L^{-1}). Przy czym podobnie jak w przypadku stężenia wagowego, nie stwierdziłam istotnych korelacji zmętnienia z zagęszczeniem żadnej z grup funkcjonalnych zooplanktonu.

- 4) Nietypową jak dla wód naturalnych proporcję obu w/w wskaźników wyjaśniły analizy AFM, istotnie różnicując poszczególne zbiorniki względem udziału fazowego komponentów zawiesin o rozmiarach nano- i mikrocząsteczkowych.
- 5) Analiza SEM/EDS wykazała, że głównymi minerałami budującymi cząstki zawiesin były: beidelit, kalcyt oraz kwarc. W składzie chemicznym (%) cząstek, wśród 14 zidentyfikowanych pierwiastków dominowały głównie tlenki krzemu, glinu, żelaza, magnezu, wapnia i potasu oraz węglany wapnia (składniki iłów beidelitowych). Nanocząstki stanowiły większą część mineralnej frakcji zawiesin i odpowiadały za obieg w/w pierwiastków. Wraz ze wzrostem udziału fazowego nanocząstek wzrastał udział wagowy krzemu i magnezu w zawiesinach, a im mniejsza była ich średnica tym udział Si, Mg, Al i Fe był większy. Warunki te wpływały ograniczająco na większość gatunków zooplanktonu, najsilniej zaś na te z grupy funkcjonalnej RAP: *Asplanchna priodonta*, *Synchaeta* spp., *Ascomorpha ovalis*, *Polyarthra longiremis*. Mikroskalowa frakcja zawiesin odpowiadała za obieg siarki, chloru, fosforu i sodu. Wraz z malejącą wielkością mikrocząstek rósł udział tych pierwiastków w zawieszynie. Warunki te sprzyjały wysokiej liczebności i zróżnicowaniu Rotifera i Crustacea oraz wzrostowi biomasy wszystkich grup funkcyjnych zooplanktonu.
- 6) Proporcje fazowe mikro i nanostruktur oraz ich powinowactwo do określonych pierwiastków były parametrami, które regulowały różnorodność funkcjonalną zooplanktonu. Obniżały ją skrajne zakresy wielkości cząstek zawiesin tj. górny zakres mikrofazy i dolny nanofazy. Małe mikrofagi (SMF) okazały się grupą najmniej wrażliwą i/lub najszybciej adoptującą się do szerokiej amplitudy wielkości cząsteczek zawiesin, podczas gdy górny jej zakres ograniczał LMF a dolny przede wszystkim RAP.
- 7) Największa funkcjonalność ekosystemów związana była z dobrymi warunkami pokarmowymi a jej wskaźnikiem było współbytovanie wszystkich grup funkcjonalnych zooplanktonu. Efekt ten wystąpił przy pośrednich parametrach zawiesin tj. przy dominacji najmniejszych mikrocząstek (o średnicach $\sim 4\mu\text{m}$) i największych nanocząstek (o średnicach $\sim 70\text{ nm}$) oraz zbilansowanym składzie chemicznym.
- 8) W najstarszych zbiornikach, w których zawiesiny składały się z szerokiego zakresu wielkości nanocząstek i niewielkiej domieszki największych mikrocząstek (maksymalnie do $100\ \mu\text{m}$), odnotowano równomierną, wielokierunkową

eksploatację zasobów pokarmowych przez zooplankton (szeroki zakres wskaźnika GR'), co świadczy o dużej odporności tych ekosystemów na zakłócenia.

Uzyskane wyniki są efektem wyjątkowych badań *in situ* nad wpływem zawieszonych mikro- i nanocząstek pochodzenia naturalnego na zooplankton, a zastosowanie metodyk nauk fizycznych pomogło określić kierunek i intensywność procesów hydrobiologicznych w wodach mętnych. Należy jednak podkreślić, że jednoznaczne wykazanie wpływu cząstek zawiesiny na zooplankton w badaniach środowiskowych jest zadaniem bardzo trudnym. Należy wziąć pod uwagę wiele mechanizmów przemian chemicznych (np. rozpuszczalność, specjacja, agregacja) i interakcji (np. adhezja na powierzchni organizmów żywych, akumulacja wewnątrz organizmów) i przenoszenia w łańcuchu pokarmowym.

I.III. Dynamika relacji międzygatunkowych zooplanktonu warunkowana gradientem zmętnienia [P-5]

Analiza stanowiła kontynuację problemu wpływu zawiesiny (wyrażonej w jednostkach zmętnienia) na dynamikę zooplanktonu (*I.II*), przedstawionej w formie sieci zależności międzygatunkowych oraz wzorców adaptacji i układów hierarchicznych w zespołach zooplanktonu. Wcześniejsze badania dowiodły, że zmętnienie wody jest szczególną cechą wód badanych zbiorników, gdyż wynika nie tylko ze stężenia wagowego materii zawieszanej, ale w znacznym stopniu z udziału cząsteczek o wielkości nanometrycznej. Do identyfikacji i oceny w/w cech strukturalnych zooplanktonu zastosowałam technikę modelowania matematycznego - analizę grafów (graph network analysis).

Do analizy sieci zooplanktonu, wykorzystałam biomasę gatunków skorupiaków, wrotków oraz pierwotniaków. Założyłam za Krebs [83], że pozytywne relacje między dwoma taksonami korelują ze wzrostem ich biomasy w związku ze zróżnicowanymi cechami funkcjonalnymi i strategiami odżywiania, czyli niezależnym i wielokierunkowym korzystaniem ze wspólnych zasobów pokarmowych. Z kolei negatywne (antagonistyczne) relacje między gatunkami (ich biomasami) będą wskazywać na rywalizację w zakresie tej samej puli żywniowej, stosunki drapieżne lub konkurencję interferencyjną.

Na potrzeby analiz, związanych z wpływem zmętnienia wody na kształtowanie się sieci oddziaływań międzygatunkowych zooplanktonu, zbiorniki zostały podzielone na trzy klasy zmętnienia: wysoki poziom zmętnienia HT (>25 NTU), średni poziom zmętnienia MT (15-25 NTU) i niski poziom zmętnienia LT (<15 NTU).

- 1) Gradient zmętnienia istotnie różnicował rozmieszczenie biomasy 32% taksonów zooplanktonu (ANOVA, $P < 0.05$) oraz wpływał istotnie na bogactwo taksonomiczne. Największe zróżnicowanie gatunkowe zooplanktonu stwierdzono w warunkach LT

($H' = 1.99$; $J' = 0.714$), przy istotnie niższym w MT i HT (odpowiednio $H' = 1.64$ i 1.62 ; $J' = 0.583$ i 0.622).

- 2) W warunkach wysokiego zmętnienia (HT) sieć interakcji gatunków charakteryzowała się najwyższą spójnością i centralnością. Struktura sieci opierała się na równoważnych istotnych pozytywnych i negatywnych relacjach, które były kontrolowane przez pięć wysoce konkurencyjnych gatunków (węzłów): *Polyarthra longiremis*, *Asplanchna priodonta*, *Cyclops vicinus* (aktywnie pozyskujące pokarm, raptorials) oraz *Daphnia cucullata*, *Bosmina longirostris* (efektywne filtratory). Tworzyły one silnie skorelowane związki z detrytuso- i bakteriofagami *Brachionus angularis*, *Hexarthra mira*, *Filinia longiseta* oraz psammofilnymi pierwotniakami *Codonella cratera* i *Diffflugia lobostoma*. Sieć HT okazała się trwała i wysoce funkcjonalna.
- 3) Wraz z obniżeniem poziomu zmętnienia nastąpiło obniżenie wskaźników centralizacji, co skutkowało rozpadem sieci MT i LT na klastry (podsieci). W tej sytuacji wzrosło znaczenie taksonów kontrolujących komunikację i przepływ biomasy pomiędzy podsieciami, przy czym wzrosło również ryzyko utrzymania całości struktury sieci w przypadku utraty jednego z nich. W strukturze sieci MT dominowały silne relacje pozytywne a interakcje antagonistyczne (drapieżnictwo i konkurencja) miały mniejsze znaczenie. Rola komunikująca klastry należała do *Bosmina longirostris* (Cladocera), *Cyclops vicinus* (Copepoda) i *Polyarthra vulgaris* (Rotifera) i opierała się także głównie na związkach pozytywnych.
- 4) Sieć LT charakteryzowała się najmniejszą gęstością, a zatem największą heterogenicznością (fragmentacją); składała się z dwóch klastrów mocno zazębiających się, a największa rola komunikacyjna oraz centralizująca należała do *Daphnia cucullata*. Gatunek ten tworzył relacje pozytywne z gatunkami niekonkurencyjnymi pod względem pokarmowym tj. z drapieżnymi wrotkami (*Asplanchna priodonta*, *Synchaeta* spp.) oraz z nauplii Copepoda, który to związek miał największe znaczenie dla utrzymania struktury sieci LT. Oddziaływanie negatywne - interferencyjne *Daphnia* skierowane było na zbiorowiska wrotków mikrofagicznych (np. *Keratella tecta*, *K. valga*, *Brachionus angularis*).

Zgodnie z hipotezami o kluczowym znaczeniu relacji antagonistycznych w utrzymaniu spójności systemu, uzyskane wyniki potwierdzają gorszą funkcjonalność sieci biocenotycznej w warunkach pośredniego zmętnienia niż w warunkach granicznych.

Metoda grafów sieci zależności międzygatunkowych pozwoliła na kompleksową interpretację adaptacji zooplanktonu do różnych warunków zmętnienia, przy czym najważniejszymi procesami są zdolność do zaspokajania potrzeb pokarmowych, interakcje

konkurencyjne i drapieźnictwo. Wzorce występowania gatunków w każdej z trzech klas zmeńnienia uznano również za wzorce opisujące funkcjonalność poszczególnych siedlisk.

I.IV. Dynamika biomasy zooplanktonu w odpowiedzi na zimowe ocieplenie wody [P-6]

Analizy służyły prognozowaniu konsekwencji zmienionego reżimu termicznego wody, związanego z zanikiem długotrwałych zimowych okresów niskich temperatur (efekt stałego zasilania geotermalnego), dla zooplanktonu i środowiska. Do określenia dynamiki biomasy oraz opartych na niej zależnościach międzygatunkowych zooplanktonu wykorzystałam kombinowane techniki uczenia maszynowego - hierarchiczne grupowanie, algorytmy modelu predykcyjnego eXtremeGradientBoosting (XGBoost) i SHapley Additive exPlanations (SHAP). Zastosowanie technik uczenia maszynowego umożliwiło zbadanie dwóch odrębnych systemów środowiskowych, w których warunki fizykochemiczne i biologiczne ukształtowały się pod wpływem trwających blisko ćwierć wieku warunków termicznych.

Zaobserwowałam następujące wskaźniki reakcji ekosystemu na wpływ ciepłych zim i spłaszczenia rocznej amplitudy temperatury wody:

- 1) spadek produkcji pierwotnej fitoplanktonu. Proces ten był konsekwencją obniżenia dynamiki przemian energetycznych w zbiornikach WW podczas wzrostu temperatury po zimie. Potwierdzonym przeze mnie faktem jest to, że dwukrotnie mniejsza amplituda temperatury pomiędzy zimą i latem skutkuje dwukrotnie mniejszym wzrostem glonów planktonowych. Środowisko kolonizują makrofity, korzystające z mineralnych form azotu i fosforu, wyczerpując i deponując ich zasoby w tkankach. W ten sposób dodatkowo, konkurencyjnie wypierają fitoplankton;
- 2) obniżenie biomasy dużych i wymagających pokarmowo wioślarek *Daphnia cucullata* oraz eutroficznych wrotków: *Trichocerca pusilla*, *Keratella quadrata* i *Anuraeopsis fissa*, a także aktywnie żerujących *Polyarthra longiremis*, *Asplanchna priodonta*, *Synchaeta* spp. – efekt wywołany pogorszeniem warunków troficznych;
- 3) wzrost biomasy małych, czyli mniej wymagających pokarmowo fitofilnych gatunków *Rotifera*: *Lecane* spp., *Monommata maculata*, *Testudinella patina*, *Colurella colurus*, *Notholca squamula*, *Trichocerca intermedia*, *Proales* spp., *Lepadella* spp. i *Cephadella* spp. oraz pierwotniaków: *Centropyxis aculeata* i *Arcella discoides*;
- 4) spadek biomasy większości taksonów widłonogów, zarówno tych charakterystycznych dla siedlisk astatycznych i małych zbiorników bogatych w makrofity (*Microcyclops varicans*, *Cryptocyclops bicolor*) jak i eurytopowych (*Cyclops vicinus*, *C. strenuus*). Brak wyraźnych sezonowych wahań temperatury wody w ciepłych zbiornikach mógł zakłócić cykl rozwojowy (brak diapauzy)

widłonogów, co może prowadzić do zmniejszenia rozmiarów ciała i biomasy osobników dorosłych a także zmian fenologicznych.

Modelowanie SHAP zastosowane dla wielu taksonów zooplanktonu dowodzi, że również gatunki o niskiej liczebności, mogą służyć jako wskaźniki zmian środowiskowych. Po raz pierwszy w literaturze ekologicznej połączono metodę grupowania i modelowanie oparte na wartościach Shapleya, aby zapewnić najbardziej realistyczne prognozy zachowania się zespołu organizmów w obliczu zmian środowiskowych.

Ta praca przedstawia innowacyjną metodę modelowania z zastosowaniem uczenia maszynowego, w celu wykazania możliwego wpływu „zimowego ocieplenia” na dynamikę biomasy gatunków zooplanktonu.

II. Jeziora powyrobiskowe [P-4]

Omówione powyżej (*I.II*) cechy funkcjonalne zbiorowisk zooplanktonu, umożliwiły identyfikację cech oraz zjawisk związanych z funkcjonowaniem **zbiorników powyrobiskowych** w zakresie określenia ich potencjału i zagrożeń funkcji przyrodniczej i społeczno-rekreacyjnej. Głównymi i spodziewanymi predyktorami zmienności zooplanktonu były parametry morfometryczne jezior oraz czas i forma użytkowania:

- jezioro Przykona jest największe i najpłytsze (średnia głębokość 4,3 m). Od kilku lat podlega intensywnej presji rekreacyjnej; w jego bezpośredniej zlewni rozwinęła się zabudowa mieszkalno-rekreacyjna, kąpieliska, baza wędkarska oraz slip do wodowania łodzi motorowych [84].
- jezioro Janiszew charakteryzuje się podobnym do Przykony reżimem mas wodnych, jest płytki (średnia głębokość 6,5 m) i polimiktyczny. W obrębie zbiornika obowiązuje zakaz wędkowania i innych form rekreacji a w bezpośredniej linii brzegowej znajdują się nieużytki i pola.
- jezioro Władysławów jest zrekułtywowanym obszarem wyrobiska końcowego i znajduje się w trakcie długotrwałego stopniowego zalewania [84, 85]. W przeciwieństwie do dwóch powyższych, jest to głęboki zbiornik; w okresie badań maksymalna głębokość wynosiła około 30 m. Wykazuje cechy letniej stratyfikacji termicznej i tlenowej.

W przeprowadzonych analizach wykazałam, że różnorodność taksonomiczna i funkcjonalność zooplanktonu w badanych jeziorach powyrobiskowych była determinowana selektywnym wpływem charakterystycznych warunków środowiskowych:

- 1) Wysoka produkcja pierwotna jeziora Przykona przyczyniła się do heterogeniczności taksonomicznej, ale doprowadziła do funkcjonalnej jednorodności zbiorowisk planktonu z przewagą sinic oraz funkcjonalnie

wyspecjalizowanych mikrofagicznych wrotków (*Keratella quadrata*, *K. cochlearis*, *Polyarthra longiremis*, *P. vulgaris*) i małych skorupiaków (*Bosmina longirostris*, *Daphnia cucullata*, nauplius Copepoda).

- 2) Niska produkcja pierwotna jeziora Janiszew, oligotrofia i wysokie stężenia jonów przyczyniły się do wysokiego zróżnicowania gatunkowego zooplanktonu, ale też funkcjonalnego uproszczenia zbiorowisk planktonu z przewagą kolonii *Dinobryon*, dużych Cladocera (*Ceriodaphnia quadrangula*) i Calanoida (*Eudiaptomus graciloides*). W tym przypadku właściwości geochemiczne były silnym i stabilnym czynnikiem, który doprowadził do rozwoju trwałych relacji konkurencyjnych i allelopatycznych (Characeae) w zbiorowiskach planktonu i w konsekwencji ich homogenizacji. Efektem był niski gradient troficzny gildii zooplanktonu, co świadczy o niskiej funkcjonalności ekosystemu jezior Przykona i Janiszew.
- 3) Ekosystem głębokiego jeziora stratyfikowanego Władysławów charakteryzował się większą heterogenicznością przestrzenną siedlisk i nisz pokarmowych ze względu na pionowy gradient temperatury, światła, nasycenia tlenem i gęstości wody. Duże termofilne filtratory (*K. quadrata*, *Diaphanosoma brachyurum*) i aktywnie żerujące wrotki (*Ascomorpha ovalis*, *Polyarthra* spp.) dominowały w epimetalmnionie, zaś odporne na stres tlenowy widłonogi (*Cyclops vicinus*, *C. scutifer*) znalazły schronienie przed drapieżnymi rybami w hypolimnionie. Wczesny etap sukcesji nowopowstającego głębokiego i stratyfikowanego zbiornika Władysławów tłumaczy niewielkie różnicowanie gatunkowe oraz pozornie wysoki gradient troficzny zooplanktonu.

Jeziora pokopalniane są unikalnym zjawiskiem powstawania „nowych” ekosystemów, w których można obserwować wczesny etap sukcesji biologicznej. Z drugiej strony, z uwagi na ich dużą wrażliwość i podatność są doskonałym obszarem monitorowania zagrożeń wynikających z presji antropogenicznej. Zastosowane analizy cech funkcjonalnych zooplanktonu są dobrym narzędziem monitorowania wpływu działalności antropogenicznej na ekosystemy wodne. Dowodzą, że zbiorniki o potencjalnie dużym bogactwie gatunkowym nie muszą być środowiskiem funkcjonalnym, a zarazem odpornym na degradację.

Bibliografia

1. Lapčík, V., Lapčíková, M. 2011. Environmental impact assessment of surface mining. Inżynieria Mineralna. J Pol. Mineral Eng. Soc. 1/6, 1–10.
2. Sloss L. 2013. Coal mine site reclamation. Iea Clean Coal Centre, CCC/216 ISBN 978-92-9029-536-5, 70 p.

3. Bian Z., Inyang H.I., Daniels J.L., Otto F., Struthers S. 2010. Environmental issues from coal mining and their solutions. *Min Sci Technol* 20: 0215–0223.
4. von Sperling E., Grandcham C.A.P. 2010. Formation of a deep pit lake: case study of Aguas Claras, Brasil. *Int J Min Environ* 1: 49–54.
5. Stottmeister U., Mudroch A., Kennedy C., Matiova Z., Sanecki J., Svoboda I. 2002. Reclamation and regeneration of landscapes after brown coal opencast mining in six different countries. In Mudroch A. et al., eds. *Remediation of abandoned surface coal mining sites*. Springer _ Verlag Berlin Heidelberg, 33 p.
6. Rzętała M. 2008. Functioning of water reservoirs and the course of limnic processes under conditions of varied anthropopression a case study of Upper Silesian Region. Katowice: Silesian University Press, 165 p.
7. Marszelewski W., Dembowska E., Napiórkowski P., Solarczyk A. 2017. Understanding abiotic and biotic conditions in post-mining pit lakes for efficient management: a case study (Poland). *Mine Water Environ* 36: 418–428.
8. Sotton, B. et al. 2014. Trophic transfer of microcystins through the lake pelagic food web: Evidence for the role of zooplankton as a vector in fish contamination. *Sci. Total Environ.* 466–467, 152–163.
9. Goździejewska A., Glińska-Lewczuk K., Obolewski K., Grzybowski M., Kujawa R., Lew S., Grabowska M. 2016. Effects of lateral connectivity on zooplankton community structure in floodplain lakes. *Hydrobiologia* 774, 7–21.
10. Zhou J., Qin B., Han X. 2018. The synergetic effects of turbulence and turbidity on the zooplankton community structure in large, shallow Lake Taihu. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25, 1168–1175.
11. Wang L., Chen J., Su H., Ma X., Wu Z., Shen H., Yu J., Liu J., Wu Y., Ding G., Xie P. 2021. Is zooplankton body size an indicator of water quality in (sub)tropical reservoirs in China? *Ecosystems*.
12. Hampton S.E. 2005. Increased niche differentiation between two *Conochilus* species over 33 years of climate change and food web alteration. *Limnol. Oceanogr.* 50(2), 421–426.
13. Hogsten K.L., Xenopoulos M.A., Rusak J.A. 2009. Asymmetrical food web responses in trophic-level richness, biomass, and function following lake acidification. *Aquat. Ecol.*, 43, 591–606.
14. Gutierrez M.F., Devercelli M., Brucet S., Lauridsen T.L., Søndergaard M., Jeppesen E. 2016. Is Recovery of Large-Bodied Zooplankton after Nutrient Loading Reduction Hampered by Climate Warming? A Long-Term Study of Shallow Hypertrophic Lake Søbygaard, Denmark. *Water* 8, 341.
15. Moody E.K., Wilkinson G.M. 2019. Functional shifts in lake zooplankton communities with hypereutrophication. *Freshwater Biology* 64: 608–616.
16. Gauthier J., Prairie Y.T., Beisner B.E. 2014. Thermocline deepening and mixing alter zooplankton phenology, biomass and body size in a whole-lake experiment. *Freshwater Biology* 59: 998–1011.
17. Booth B.D., Swanton C.J. 2002. 50th Anniversary—Invited Article. Assembly theory applied to weed communities. *Weed Science* 50: 2–13.
18. Remane A. 1934. Die Brackwasserfauna. *Verhandlungen Der Deutschen Zoologischen Gesellschaft* 36, 34–74.
19. Schmitz O.J., Trussell G.C. 2016. Multiple stressors, state-dependence and predation risk—Foraging trade-offs: Toward a modern concept of trait-mediated indirect effects in communities and ecosystems. *Curr. Opin. Behav. Sci.* 12, 6–11.
20. Chou W.-R., Fang L.-S., Wang W.-H., Tew K.S. 2011. Environmental influence on coastal phytoplankton and zooplankton diversity: a multivariate statistical model analysis. *Environ. Monit. Assess.* 184(9), 5679–5688.
21. Du X., García-Berthou E., Wang Q., Liu J., Zhang T., Li Z.S. 2015. Analyzing the importance of top-down and bottom-up controls in food webs of Chinese lakes through structural equation modeling. *Aquat. Ecol.* 49(2), 199–210.
22. Kruk M., Paturej E., Artiemjew P. 2020. From explanatory to predictive network modeling of relationships among ecological indicators in the shallow temperate lagoon. *Ecol. Indic.* 117, 106637.
23. Kruk M., Paturej E., Obolewski K. 2021. Zooplankton predator–prey network relationships indicates the saline gradient of coastal lakes. Machine learning and *meta*-network approach. *Ecol. Indic.* 125, 107550.
24. Cuker B.E. 1993. Suspended clays alter trophic interactions in the plankton. *Ecology* 74 (3), 944–953.
25. Lind O.T., Chrzanowski T.H., D’avalos-Lind L. 1997. Clay turbidity and the relative production of bacterioplankton and phytoplankton. *Hydrobiologia* 353, 1–18.
26. Bilotta G.S., Brazier R.E. 2008. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Res.* 42, 2849–2861.

27. Levine S.N., Zehrer R.F., Burns C.W. 2005. Impact of resuspended sediment on zooplankton feeding in Lake Waiholo, New Zealand. *Freshw. Biol.* 50, 1515–1536.
28. Mulling B.T.M., van den Boomen R.M., Claassen T.H.L., van der Geest H.G., Kappelhof J.W.N.M., Admiraal W. 2013. Physical and biological changes of suspended particles in a free surface flow constructed wetland. *Ecol. Eng.* 60, 10–18.
29. Fernandez-Severini M.D., Hoffmeyer M.S., Marcovecchio J.E. 2013. Heavy metals concentrations in zooplankton and suspended particulate matter in a southwestern Atlantic temperate estuary (Argentina). *Environ. Monit. Assess.* 185, 1495–1513.
30. Zhang, X. *et al.* 2017. Size distributions of coastal ocean suspended particulate inorganic matter: Amorphous silica and clay minerals and their dynamics. *Estuar. Coast. Shelf S.* 189, 243–251.
31. Boenigk J., Novarino G. 2004. Effect of suspended clay on the feeding and growth of bacterivorous flagellates and ciliates. *Aquat. Microb. Ecol.* 34, 181–192.
32. Kirk K.L., Gilbert J.J. 1990. Suspended clay and the population dynamics of planktonic rotifers and cladocerans. *Ecology* 71(5), 1741–1755.
33. Kirk K.L. 1992. Effects of suspended clay on *Daphnia* body growth and fitness. *Freshw. Biol.* 28, 103–109.
34. Moreira F.W.A., Leite M.G.P., Fujaco M.A.G., Mendonça F.P.C., Campos L.P. Eskinazi-Sant’Anna, E.M. 2016. Assessing the impacts of mining activities on zooplankton functional diversity. *Acta Limnol. Bras.* 28.
35. Gliwicz M.Z. 1986. Suspended clay concentration controlled by filter-feeding zooplankton in a tropical reservoir. *Nature* 323, 330–332.
36. Kirk K.L. 1991. Suspended clay reduces *Daphnia* feeding rate. *Freshwater Biol.* 25(2), 357–365.
37. Robinson, S. E., Capper, N. A., Klaine, S. J. 2010. The effects of continuous and pulsed exposures of suspended clay on the survival, growth, and reproduction of *Daphnia magna*. *Environ. Toxicol. Chem.* 29(1), 168–175.
38. Shanthi S. *et al.* 2016. Biosynthesis of silver nanoparticles using a probiotic *Bacillus licheniformis* Dab1 and their antibiofilm activity and toxicity effects in *Ceriodaphnia cornuta*. *Microb. Pathogenesis* 93, 70e77.
39. Vijayakumar S., Vaseeharan B., Malaikozhundan B., Divya M., Abhinaya M., Gobi N., Bhattacharyya A., Balashanmugam N., Surmista D., Murugan K., Benelli G. 2017. Ecotoxicity of *Musa paradisiaca* leaf extract-coated ZnO nanoparticles to the freshwater microcrustacean *Ceriodaphnia cornuta*. *Limnologica* 67, 1–6.
40. Paaijmans K.P., Takken W., Githeko A. K., Jacobs, A.F.G. 2008. The effect of water turbidity on the near-surface water temperature of larval habitats of the malaria mosquito *Anopheles gambiae*. *Int. J. Biometeorol.* 52(8), 747–753.
41. Asrafuzzaman M., Fakhrudin A.N.M., Hossain M.A. 2011. Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants. *ISRN Microbiology* 2011, 1–6.
42. Gardner M.B. 1981. Effects of turbidity on feeding rates and selectivity of bluegills. *Trans. Am. Fish. Soc.* 110, 3, 446–450.
43. Kerfoot, W. C., Sih, A. 1987. Predation. Direct and indirect impacts on aquatic communities 160 (University Press of New England, Hanover).
44. Hart R.C. 1990. Zooplankton distribution in relation to turbidity and related environmental gradients in a large subtropical reservoir: patterns and implications. *Freshw. Biol.*, 24(2), 241–263.
45. Pollard A.I., Gonzalez M.J., Vanni M.J., Headworth J.L. 1998. Effects of turbidity and biotic factors on the rotifer community in an Ohio reservoir. In *Rotifera VIII: A Comparative Approach. Developments in Hydrobiology, Hydrobiologia* Vol. 387388 (eds Wurdak, E. *et al.*) 215–223 (Springer, 1998).
46. Dejen E., Vijverberg J., Nagelkerke L.A.J., Sibbing F.A. 2004. Temporal and spatial distribution of microcrustacean zooplankton in relation to turbidity and other environmental factors in a large tropical lake (L. Tana, Ethiopia). *Hydrobiologia* 513(1), 39–49.
47. Roman M.R., Holliday D.V., Sanford L.P. 2001. Temporal and spatial patterns of zooplankton in the Chesapeake Bay turbidity maximum. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 213, 215–227.
48. Lampert W., Sommer U. 1999. *Limnology*. (Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York).
49. Wrzesiński D., Choiński A., Ptak M. 2015. Effect of the North Atlantic Oscillation on the thermal characteristics of lakes in Poland. *Acta Geophysica* 63, 3, 863–883.
50. Lewandowska A.M., Hillebrand H., Lengfellner K., Sommer U. 2014. Temperature effects on phytoplankton diversity — The zooplankton link. *J. Sea Res.* 85, 359–364.
51. Williamson C.E., Saros J.E., Vincent W.F., Smol J.P. 2009. Lakes and reservoirs as sentinels, integrators, and regulators of climate change. *Limnol. Oceanogr.* 54(6), 2273–2282.
52. Capuzzo J.M. 1980. Impact of power-plant discharges on marine zooplankton: A review of thermal, mechanical and biocidal effects. *Helgoländer Meeresuntersuchungen (Helgoländer Meeresunters.)* 33, 422–433.

53. Ejsmont-Karabin J., Wągleńska T. 1988. Disturbances in zooplankton seasonality in Lake Gosławskie (Poland) affected by permanent heating and heavy fish stocking. *Ekol. Pol.* 1988, 36, 245–260.
54. Zargar S., Ghosh T.K. 2006. Influence of cooling water discharges from Kaiga nuclear power plant on selected indices applied to plankton population of Kadra reservoir. *J. Environ. Biol.* 27(2), 191–198.
55. Vandysh O.I. 2009. The Effect of Thermal Flow of Large Power Facilities on Zooplankton Community under Subarctic Conditions. *Water Res.* 36, 3, 310–318.
56. Ejsmont-Karabin J. 2011. Does invasion of *Vallisneria spiralis* L. promote appearance of rare and new rotifer (Rotifera) species in littoral of the lakes heated by power station (Konin lakes, w. Poland)? *Pol. J. Ecol.* 59, 1, 201–207.
57. Ejsmont-Karabin J., Hutorowicz A., Kapusta A., Stawecki K., Tunowski J., Zdanowski B. 2020. Rotifers in Heated Konin Lakes—A Review of Long-Term Observations. *Water* 12, 1660.
58. Sellami I, Hamza A., Mhamdi M.A., Aleya L., Bouain A., Ayadi H. 2009. Abundance and biomass of rotifers in relation to the environmental factors in geothermal waters in Southern Tunisia. *J. Therm. Biol.* 34, 267–275.
59. Dash A., Palita S.K., Patra H.K. 2012. Diversity of Zooplanktons in Hot Water Spring of Atri, Odisha, India. *Int. J. Envi Sci. Tech.*, 1 (2), 111–119.
60. Baksir A., Tahir I., Akbar N. 2022. Population genetic structure and genetic diversity of a gastropod (*Telescopium telescopium*) from the geothermal waters of coastal Jailolo, West Halmahera, North Maluku, Indonesia. *AAFL Bioflux*, 15, 1.
61. EEA 2014. Projected changes in annual, summer and winter temperature. European Environmental Agency. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/projected-changes-in-annual-summer-1>.
62. Ptak M., Sojka M., Choiński A., Nowak, B. 2018. Effect of environmental conditions and morphometric parameters on surface water temperature in Polish lakes. *Water*, 10, 580.
63. IPCC 2021. Climate Change. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
64. Moore M.V. 1996. Consequences of elevated temperatures for zooplankton assemblages in temperate lakes. *Arch. Hydrobiol.* 135 (3), 289–319.
65. Richardson A.J. 2008. In hot water: zooplankton and climate change, *ICES J. Mar. Sci.* 65, 279–295.
66. Wagner C., Adrian R. 2009. Exploring lake ecosystems: hierarchy responses to long-term change? *Glob. Change Biol.* 15, 1104–1115.
67. Gillooly J.F. 2000. Effect of body size and temperature on generation time in zooplankton. *J. Plankton Res.* 22, 2, 241–251.
68. Lewandowska A.M., Boyce D.G. Hofmann M., Matthiessen B. Sommer U., Worm B. 2014 b. Effects of sea surface warming on marine plankton. *Ecol. Lett.* 17, 614–623,
69. Carter J.L., Schindler D.L., 2012. Responses of Zooplankton Populations to Four Decades of Climate Warming in Lakes of Southwestern Alaska. *Ecosystems* 15, 1010–1026.
70. Evans L.E., Hirst A.G., Kratina P., Beaugrand G. 2020. Temperature-mediated changes in zooplankton body size: large scale temporal and spatial analysis. *Ecography* 43, 581–590.
71. Visconti A., Manca M., De Bernardi R. 2008. Eutrophication-like response to climate warming: an analysis of Lago Maggiore (N. Italy) zooplankton in contrasting years. *J. Limnol.* 67(2), 87–92.
72. Alric B. *et al.* 2013. Local forcings affect lake zooplankton vulnerability and response to climate warming. *Ecology* 94(12), 2767–2780.
73. Daufresne M., Lengfellner K., Sommer U. 2009. Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. *PNAS* 106 (31), 12788–12793.
74. Zhou J., Qin B., Zhu G., Zhang Y., Gao G. 2020. Long-term variation of zooplankton communities in a large, heterogenous lake: Implications for future environmental change scenarios. *Environ. Res.*, 187, 109704,
75. Edwards M., Richardson A.J. 2004. Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature* 430, 881–884.
76. Thackeray S.J. Jones I.D., Maberly S.C. 2008. Long-term change in the phenology of spring phytoplankton: species-specific responses to nutrient enrichment and climatic change. *J. Ecol.* 96, 523–535.
77. Adrian A., Wilhelm S. Gerten D. 2006. Life-history traits of lake plankton species may govern their phenological response to climate warming. Life-history traits of lake plankton species may govern their phenological response to climate warming. *Glob. Change Biol.* 12, 652–661.
78. Costello J.H., Sullivan B.K., Gifford D.J. 2006. A physical–biological interaction underlying variable phenological responses to climate change by coastal zooplankton. *J. Plankton Res.* 28(11), 1099–1105.
79. Hart R. C. 1988. Zooplankton feeding rates in relation to suspended sediment content: potential influences on community structure in a turbid reservoir. *Fresh. Biol.* 19, 123–139.

80. Gliwicz Z.M., Pijanowska J. 1989. The role of predation in zooplankton succession in Plankton ecology. Succession in plankton communities (ed. Sommer, U.) 253-296, Springer Verlag.
81. Calbet A. 2008. The trophic roles of microzooplankton in marine systems. ICES J. Mar. Sci. 65, 325-331.
82. Obertegger U., Smith H.A., Flaim G., Wallace R.L. 2011. Using the guild ratio to characterize pelagic rotifer communities. Hydrobiologia 662, 157-162.
83. Krebs C.J. 2009. Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance 6th edn. (Benjamin Cummings, 2009).
84. Rózkowski K., K. Polak, Cała M. 2010. Wybrane problemy związane z rekultywacją wyrobisk w kierunku wodnym. Górnictwo i Geoinżynieria 34: 517-525.
85. Stachowski P., Liberacki D., Kraczkowska K. 2018. Zagospodarowanie zbiornika wodnego wraz z otoczeniem na terenie zdewastowanym. Acta Scientiarum Polonorum, Administratio Locorum 17: 75-85.

Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Podczas ostatniego roku studiów (1989) zostałam zatrudniona na etacie technicznym, w Katedrze Chemii, Technologii Wody i Ścieków ART. Tam zdobywałam doświadczenie związane z analizami fizykochemicznymi wody pochodzącej z rekultywowanych ekosystemów jeziornych. W tym samym czasie realizowałam autorski temat pracy magisterskiej dotyczący zbiorowisk zooplanktonu w jeziorach leżących na szlaku turystycznym Rzeki Krutyni tj. na obszarze i w okolicy Mazurskiego Parku Krajobrazowego. Wykorzystanie bioindykacyjnych cech fauny planktonowej pozwoliło określić aktualny stan badanych 20 jezior oraz sporządzić analizę zmian długoterminowych niektórych z nich [H-02]. Po zakończeniu studiów (1990) i zatrudnieniu na etacie asystenta w w/w Katedrze (1991), rozpoczęłam badania limnologiczne rekultywowanego metodą sztucznego napowietrzania jeziora Długiego w Olsztynie. Mój udział polegał na systematycznych, comiesięcznych, trwających 5 lat badaniach terenowych oraz analizach laboratoryjnych parametrów fizykochemicznych wody i osadów dennych. Uzyskane wyniki, przedstawiające zmiany chemizmu wód jeziora, w szczególności stężenia biogenów, odzwierciedlające kolejne etapy procesu rekultywacji, zostały przedstawione w formie doniesienia konferencyjnego [H-01].

Nawiązanie współpracy naukowej z dr hab. T. Linkowskim, dyrektorem Morskiego Instytutu Rybackiego w Gdyni, zainicjowało mój powrót do badań biocenoz wodnych. W latach 2000 – 2004, wraz z zespołem naukowym MiR brałam udział w badaniach nad populacją dwóch wiodących gatunków ichtiofauny Zalewu Wiślanego – śledzia bałtyckiego i stynki. Uczestniczyłam w pracach terenowych przy poborze i przygotowaniu materiału planktonowego oraz ichtiofauny do analiz laboratoryjnych. Celem moich badań i jednocześnie tematem rozprawy doktorskiej było poznanie aspektów odżywiania się larw i stadiów młodocianych stynki. Zakres analiz obejmował określenie składu taksonomicznego

zooplanktonu w pokarmie juvenilnych stynek, intensywności i selektywności w jego pobieraniu, na tle biotycznych i abiotycznych warunków wód Zalewu Wiślanego. Badania wykazały zmiany preferencji i wybiórczości pokarmowej ryb wraz ze wzrostem oraz względem dostępności określonych grup taksonomicznych i wielkościowych zooplanktonu, w ujęciu czasowym i przestrzennym Zalewu Wiślanego [H-03, H-04]. Wykazałam również wpływ siły wiatru na płytki, eutroficzny i zasobny w grubą warstwę osadów ekosystem Zalewu Wiślanego. Pod wpływem mechanicznego działania wiatru wywołującego silne turbulencje i zmętnienie wody intensywność żerowania stynki zmieniała się istotnie, a w składzie diety znaczny udział stanowiły przydenne widłonogi z rzędu Harpacticoida [H-06]. Prace nad zbiorowiskami zooplanktonowymi w wodach słonawych kontynuowałam w ekosystemach jezior przy morskich współpracując z dr hab. inż. E. Paturej oraz Katedra Hydrobiologii na Uniwersytecie Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy [H-05, H-22].

Zagadnienia relacji zooplankton – ryby kontynuowałam jako wykonawca grantu NCN nr NN305277733 pt. „Wpływ zasilania stawów biologicznie oczyszczonymi ściekami na środowisko i produkcję materiału zarybieniowego”, pod kierownictwem dra S. Tucholskiego z ówczesnej Katedry Melioracji. W efekcie trzyletniego (2007 – 2010) cyklu badawczego uzyskałam obraz zmienności zooplanktonu ze względu na zróżnicowanie obciążenia wody ładunkiem związków organicznych (BZT₅) oraz składu gatunkowego i wielkości obsady materiału zarybieniowego i podchowowego [H-09, H-13]. Znaczenie zooplanktonu jako tła pokarmowego ichtiofauny i pierwszego ogniwa w łańcuchu konsumentów, wykazywałam również w ramach projektów wdrażania innowacji w akwakulturze ryb zakończonych raportami oraz publikacjami [H-12, H-16, H-25], oraz zrównoważonego korzystania z zasobów rybackich w ekosystemach naturalnych i sztucznych [H-16, H-31, P-3].

W moich pracach podejmowałam także zagadnienia monitoringu biologicznego ekosystemów rzecznych, podlegających różnym formom presji ludzkiej. W ramach projektu rewitalizacji miejskiego odcinka rzeki Nidy (Górna Wkra) w latach 2008 - 2010, wykonywałam analizy porównawcze zmienności zbiorowisk zooplanktonu, makrobezkręgowców beztosowych i ichtiofauny, których wyniki opublikowano w kilku pracach i doniesieniach konferencyjnych [H-10, H-11, H-12; H-14]. Natomiast efekty programu rewitalizacji rzeki Rakówki na obszarze miasta Bełchatowa (2013-2015), w ramach którego brałam udział w badaniach terenowych oraz opracowaniu laboratoryjnym zebranego materiału (analizy fizykochemiczne wody oraz mikroskopowe opracowanie prób bezkręgowców planktonowych i bentosowych) zestawiono w formie raportów i zaprezentowano podczas konferencji [H-24]. W latach 2006 -2008, przy współpracy z prof. Z. Endlerem badałam odcinki ekosystemów rzecznych objętych piętrzeniem wody, pod wpływem działania reaktywowanych na obszarze Pojezierza Olsztyńskiego małych elektrowni wodnych (MEW). Badania wykazały, że rozlewiska o wodzie częściowo

stagnującej, utworzone powyżej budowli hydrotechnicznej charakteryzują się warunkami pokarmowymi i siedliskowymi, które sprzyjają bytowaniu ciepłolubnych, fitofilnych gatunków wrotków i skorupiaków planktonowych. Zwiększają przez to różnorodność taksonomiczną ekosystemu rzeczno. Z kolei poniżej turbin elektrowni wzrasta udział pierwotniaków oraz bakterio- i detrytożernych wrotków, co wskazuje, że urządzenia te stanowią doskonałe podłoże, na którym osadza się materia organiczna a następnie mikrofauna korzystająca z tych zasobów. Wyniki analiz zooplanktonu i innych komponentów przyrodniczych rzeki Dymmer zostały opublikowane [H-07, H-08].

W zakresie badań hydrobiologicznych ekosystemów rzecznych, zajmowałam się również zbiorowiskami zooplanktonu prawnie chronionych obszarów starorzeczy rzeki Biebrzy jako wykonawca grantu NCN (nr NN304317440) pt. „Funkcjonowanie i ochrona starorzeczy w aspekcie tworzenia optymalnych warunków bytowania ichtiofauny na przykładzie doliny Biebrzy”, pod kierownictwem prof. dr hab. K. Glińskiej-Lewczuk. Realizowany w latach 2011 – 2014 cykl badawczy dostarczył bogatego materiału, z zakresu wszystkich struktur biocenotycznych i odbywał się **we współpracy z zewnętrznymi jednostkami naukowymi m.in. Uniwersytetem Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy oraz Uniwersytetem Białostockim (Zał. 6.1)**. Zbiorowiska zooplanktonu sprawdziły się w roli wskaźnika zmian siedliskowych wobec zróżnicowanych warunków hydrologicznych i stopnia bocznego połączenia jezior zakolowych z głównym korytem rzeki Biebrzy. Wraz ze wzrostem izolacji jeziora zmniejszało się zróżnicowanie taksonomiczne zooplanktonu, obserwowano natomiast eudominację taksonów wrotków świadczących o zaawansowanej trofii. Parametry jakościowe, takie jak liczba gatunków, różnorodność i bogactwo, były istotnie wyższe przy średnich stanach wody, co potwierdza hipotezę o pośrednim zakłóceniu. Wyniki analiz zooplanktonowych [H-21], opublikowane w 2016 roku w prestiżowym czasopiśmie Hydrobiologia uzyskały najwyższy z całego cyklu publikacji badań Biebrzy [H-17, H-18, H-20, H-21] i ciągle rosnący wskaźnik cytacji = 61.

W latach 2012 – 2016 uczestniczyłam w badaniach nad modelem rybacko-rekreacyjnego zagospodarowania i użytkowania wód technologicznych na potrzeby rekultywacji w kierunku wodnym wyrobisk górniczych Pola Bełchatów i Pola Szczerców. Wieloletni, zaplanowany i systematyczny cykl badań terenowych w obrębie zbiorników technologicznych systemu drenażu odwadniającego odkrywki górnicze, dostarczył obszernego materiału do analiz hydrochemicznych i biologicznych, których byłam wykonawcą. Rozbudowana baza danych umożliwiła zastosowanie nowatorskich w hydrobiologii, metodyk z dziedziny nauk fizycznych, modelowania matematycznego oraz prognozowania z zastosowaniem uczenia maszynowego. Z kolei kontrolowana i wieloletnia forma użytkowania zbiorników oraz stałość warunków hydrologicznych i fizykochemicznych wody, umożliwiły skoncentrowanie się na czynnikach charakterystycznych i różnicujących

biocenozy zooplanktonowe – parametrach zawiesiny, zmętnieniu i termice. Ekosystemy zbiorników technologicznych stworzyły wyjątkowe możliwości badawcze, porównywalne z eksperymentem modelowym *in situ*. Umożliwiły uzyskanie nowego wymiaru analiz reakcji struktur zooplanktonowych na zmienne środowiskowe, co opracowałam i przedstawiłam w cyklu publikacji stanowiących główne osiągnięcie naukowe aplikujące do podniesienia stopnia naukowego [P-1, P-2, P-3, P-5, P-6]. Wyniki badań prezentowałam również w ramach konferencji krajowych [H-27, H-30] i zagranicznych [H-33, H-34]; stanowiły także treści rozdziałów w dwujęzycznej, polsko-niemieckiej monografii [H-31, H-32].

W 2016 roku, po nawiązaniu współpracy z PAK Kopalnia Węgla Brunatnego Adamów S.A. w Turku, rozpoczęłam dwuletni cykl badawczy w obrębie dwóch zbiorników technologicznych o analogicznym przeznaczeniu do ośmiu badanych osadników w Bełchatowie (redukcja zawiesiny z wód kopalnianych) oraz trzech jezior poeksploatacyjnych, utworzonych w procesie wodnej rekultywacji wyrobisk pogórnich. W trakcie badań dokonałam identyfikacji warunków abiotycznych i elementów biocenoz wód kopalnianych, na podstawie których wnioskowałam o podobieństwie zbiorników technologicznych do stawów mezotroficznym. Zarówno w przypadku osadników jak i jezior poeksploatacyjnych zwróciłam uwagę na przebieg sukcesji biologicznej, o postępie którego informowały również cechy zbiorowisk zooplanktonu. Efekty współpracy badawczej z KWB Adamów zostały zaprezentowane podczas IV Polsko-Niemieckiego Forum „Rekultywacja i rewitalizacja obszarów pogórnich” i opublikowane w w/w monografii [H-31]. Natomiast badania ekosystemów trzech jezior poeksploatacyjnych zostały wdrożone do cyklu prac składających się na szczególne osiągnięcie naukowe [P-4].

Jak wspomniałam wcześniej, wykonywane przeze mnie analizy zooplanktonu nabierały nowego wymiaru i znaczenia naukowego, wskutek wdrażania metodyk innych dyscyplin naukowych. Współpraca z dr hab. Moniką Gwoździak z **Politechniki Częstochowskiej** oraz profesorami M. Bramowiczem i S. Kuleszą z Wydziału Nauk Technicznych UWM dostarczyła danych budowy morfologicznej i chemicznej oraz struktury wielkościowej cząstek zawiesin w wodach kopalnianych. Zmienne te były istotnie skorelowane z cechami taksonomicznymi i funkcjonalnymi zbiorowisk zooplanktonu [P-2, H-30, H-34]. Natomiast techniki modelowania matematycznego - analiza grafów oraz losowego lasu i techniki uczenia maszynowego - hierarchiczne grupowanie oraz algorytmy modelu predykcyjnego umożliwiły przedstawienie strukturalnej reakcji zooplanktonu w postaci zależności międzygatunkowych i hierarchii wzorców adaptacji w oparciu o wskaźnik zmienności biomasy [P-5, P-6, H-38]. W tym zakresie nieoceniona okazała się współpraca z profesorami M. Krukiem oraz P. Artiemjewem z Katedry Matematyki i Informatyki.

Od 2019 roku jestem uczestnikiem międzynarodowego projektu Water Harmony (kooperacja ośrodków naukowych z Norwegii, Szwecji, Holandii, Rumunii, Izraela, Australii

i Chin). We współpracy z Katedrą Gospodarki Wodnej i Klimatologii biorę udział w cyklu badań terenowych na około 200-kilometrowym odcinku rzeki Łyny i dopływach. Jestem wykonawcą analiz mikroskopowych organizmów planktonowych oraz części analiz fizykochemicznych wody (form azotu i fosforu, chlorofilu a, żelaza ogólnego). Wykorzystałam cechy taksonomiczne i funkcjonalne zooplanktonu jako wskaźnika wpływu zlewni na jakość wody i biocenozy rzeki Łyny, z uwzględnieniem oddziaływania: ośrodków miejskich, dopływów odwadniających zlewnie rolnicze o dominacji gleb ciężkich oraz uwarunkowań hydrologicznych związanych ze stanami wód rzecznych. Celem badań jest wyznaczenie głównych predyktorów zmienności jakościowej i ilościowej a następnie określenie ich wpływu na zróżnicowanie i budowę strukturalną zbiorowisk zooplanktonu. Obecnie przygotowywane do publikacji opracowanie dotyczy porównania zmienności zooplanktonu trzech typów odcinków zlewniowych Łyny: górny-naturalny, przedmiejski oraz poniżej miasta, wokół pięciu ośrodków: Olsztyn, Dobre Miasto, Lidzbark Warmiński, Bartoszyce i Sępólno. Wstępne badania wykazały obniżenie wskaźników zróżnicowania gatunkowego zooplanktonu wraz ze wzrostem stężenia fosforanów, materii organicznej i produkcji pierwotnej, poniżej w/w miast. Uważam, że obszerny i zróżnicowany ekosystem rzeki Łyny byłby odpowiednim środowiskiem do wdrożenia mojej autorskiej metodyki waloryzacji środowiska z zastosowaniem cech zooplanktonu jako wskaźnika warunków siedliskowych i bioróżnorodności. Waloryzację opartą na tych parametrach opracowałam w ramach Oceny Oddziaływania na Środowisko na potrzeby wyboru planowanych lokalizacji pod budowę elektrowni jądrowej w Polsce. Zaproponowana metodyka wraz z uzasadnieniem wyników waloryzacji zooplanktonu zostały zaakceptowane i przyjęte przez GDOŚ (materiały wewnętrzne).

W 2022 roku podczas **stażu naukowego na Uniwersytecie Południowo-Czeskim w Czeskich Budziejowicach/Vodnany** rozpoczęłam współpracę w ramach projektu „Dynamika zbiorowisk zooplanktonu i makrozoobentosu na tle naturalnej diety karpia w stawach rybnych” (**Zał. 6.2**). Podczas stażu brałam udział w pracach terenowych związanych z pobraniem prób biologicznych oraz opracowaniu laboratoryjnym składu diety karpia. Współpraca podczas stażu została udokumentowana i rozliczona w formie merytorycznego sprawozdania z przedstawieniem wstępnych wyników badań. Kontynuacja współpracy w nadchodzącym sezonie 2023 ma na celu poznanie pełnego składu zbiorowisk zooplanktonu w stawach rybnych karpiowych, z uwzględnieniem zespołu Rotifera. Dotychczas badano jedynie tło pokarmowe dorosłych ryb, czyli cechy ilościowe i jakościowe skorupiaków planktonowych – Copepoda i Cladocera. Moim dążeniem jest opracowanie sieci oddziaływań międzygatunkowych biocenoz stawowych, z uwzględnieniem zróżnicowanych strategii zarządzania ekosystemowego.

Poboczną, lecz również związaną ze środowiskiem wodnym gałęzią aktywności naukowej, są moje publikacje z dziedziny szeroko pojętej kultury fizycznej i rekreacji, skierowanej na sport pływacki. Wynikają one z mojego wieloletniego zaangażowania z pozycji zarówno organizatora jak i aktywnego uczestnika zawodów krajowych i międzynarodowych w pływaniu Masters, czyli dla osób dorosłych w każdym wieku. Dla podniesienia swoich kompetencji, początkowo na potrzeby zajęć dydaktycznych, a następnie ku realizacji badań naukowych w grupie szerokiego grona pływaków Masters, uzyskałam w 2013 roku uprawnienia instruktora rekreacji w dyscyplinie pływanie. Prowadzone przeze mnie badania oparte były na metodzie sondażu diagnostycznego z zastosowaniem formularza ankiety oraz bioimpedancji elektrycznej przy zastosowaniu analizatora składu ciała. Zbieranie danych realizowałam najczęściej podczas imprez sportowych w pływaniu w kategorii Masters. Celem badań było poznanie aspektów społecznych i sportowych aktywności pływackiej różnych grup wiekowych. W opracowaniu zabranych danych i przygotowaniu prac do publikacji [H-23, H-29, H-35, H-37] posiłkowałam się współpracą z zespołem naukowo-badawczym reprezentującym dyscyplinę nauk o kulturze fizycznej zarówno z macierzystej Katedry, jak również z AWF-u w Gdańsku i Krakowie.

- [H-01] Gawrońska H., Lossow K., **Sawicka A.** 1994. Wpływ wieloletniego sztucznego napowietrzania na poprawę jakości wód Jeziora Długiego w Olsztynie. Materiały konferencyjne XVI Zjazdu Hydrobiologów Polskich, Wrocław 5-8. 09.1994.
- [H-02] **Goździejewska A.**, Widuto J. 2000. Zmiany w strukturze jakościowej i ilościowej letniego zooplanktonu jezior terenu i okolic Mazurskiego Parku Krajobrazowego w latach 1969-1995. Materiały konferencyjne XVIII Zjazdu Hydrobiologów Polskich „Szacunek dla wody”. 4-8.09.2000, Białystok.
- [H-03] Widuto J., **Goździejewska A.**, Rurka J., Sosnowska M. 2003. Nowy składnik jesienno -zimowego zooplanktonu w Zalewie Wiślanym. Materiały konferencyjne XIX Zjazdu Hydrobiologów Polskich. 9-12.09.2003, Warszawa.
- [H-04] **Goździejewska A. M.**, Linkowski T., B. 2005. The influence of environmental variables on feeding of larval and early juvenile smelt (*Osmerus eperlanus* L.) in highly turbid waters of the Vistula Lagoon, Southern Baltic. 29th Annual Larval Fish Conference. Barcelona, Spain 11-14.07. 2005.
- [H-05] Paturej E., **Goździejewska A.** 2005. Zooplankton-based assessment of the trophic state of three coastal lakes Łebsko, Gardno, and Jamno. Bulletin of the Sea Fisheries Institute (3), s. 7-25.
- [H-06] **Goździejewska A.**, Paturej E., Krajewska-Sołtys A. 2006. Effects of environmental factors on the occurrence of the Harpacticoida in the zooplankton and in the diet of

- the smelt *Osmerus eperlanus* (L.) in the Vistula Lagoon. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Fisheries*, 9 (2).
- [H-07] Endler Z., **Goździewska A.**, Jaworska B., Grzybowski M. 2006. Wpływ małej elektrowni wodnej na organizmy planktonowe w wodzie rzecznej. *Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus*, 5 (2), s. 121-134.
- [H-08] **Goździewska A.** 2009. Wpływ małych elektrowni wodnych na kształtowanie się struktury zooplanktonu, na przykładzie wybranych rzek powiatu olsztyńskiego. *Mat. Konf. XXI Zjazd PTH*, red. R. Kornijów, s. 119, Wyd. UP w Lublinie.
- [H-09] **Goździewska A.**, Tucholski S. 2009. Charakterystyka zmienności zooplanktonu w stawach narybkowych przy oczyszczalni ścieków w Olsztynku. *Mat. Konf. XXI Zjazd PTH*, s. 141-142, Wyd. UP w Lublinie. 9-12.09.2009 Lublin.
- [H-10] **Goździewska A.**, Skrzypczak A., Furgała-Selezniow G., Koszałka J., Mamcarz A. 2010. Zooplankton in the Nida River (the upper Wkra River) subjected revitalization treatments *Polish Journal of Natural Sciences*, 25 (4), s. 387-400, DOI: 10.2478/v10020-010-0036-4
- [H-11] Skrzypczak A., Furgała-Selezniow G., Mamcarz A., Koszałka J., **Goździewska A.** 2010. Biomonitoring rewitalizowanego odcinka górnej Wkry w gminie Nidzica na podstawie makrobezkręgowców bentosowych. *Mat. Konf. X Międzynarodowa Konferencja Naukowa – Zagospodarowanie zlewni Bugu i Narwi w ramach zrównoważonego rozwoju, WSEiZ Warszawa*, 29-30 września 2010.
- [H-12] Skrzypczak A., Furgała-Selezniow G., Mamcarz A., **Goździewska A.**, Gierej A. 2011. The ichthyofauna of the regulated section of the Nida River (the Upper Wkra) in the commune of Nidzica. *Polish Journal of Natural Sciences*, 26 (2), s. 139-150.
- [H-13] **Goździewska A.**, Tucholski S. 2011. Zooplankton of Fish Culture Ponds Periodically Fed with Treated Wastewater. *Polish Journal of Environmental Studies*, 20 (1), s. 67-79.
- [H-14] Koszałka J., Skrzypczak A., **Goździewska A.**, Furgała-Selezniow G. 2012. Biomonitoring in the revitalization of the upper Wkra River (Nidzica County) on the basis of benthic macroinvertebrates. *Polish Journal of Natural Sciences*, 27 (3), s. 301-314.
- [H-15] **Goździewska A.**, Karpowicz M. 2013. Dynamics of zooplankton structure in three small water bodies on the area of an agritourism farm. *Teka Komisji Ochrony i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego*, 10, s. 102-114.
- [H-16] Kozłowski J., Terlecki J., **Goździewska A.**, Kozłowski K., Doroszczyk L., Długoszewski B., Teodorowicz M., Poczyczyński P., Szymanowicz J., Woźniak M. 2013. Zmiany składu ichtiofauny i wybranych elementów środowiska w jeziorze Wobel po przydusze zimowej w sezonie 2009 – 2010. *Zrównoważone korzystanie z*

- zasobów rybackich na tle ich stanu w 2012 roku pod red. Macieja Mickiewicza. Instytut Rybactwa Śródlądowego, 2013, s. 147-166; p-ISBN: 978-83-60111-71-0.
- [H-17] Grabowska M., Glińska-Lewczuk K., Obolewski K., Burandt P., Kobus S. Dunalska J.A., Kujawa R., **Goździewska A.**, Skrzypczak A. 2014. Effects of hydrological and physicochemical factors on phytoplankton communities in floodplain lakes. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23 (3), s. 713-725.
- [H-18] Obolewski K., Glińska-Lewczuk K., Jarzab N., Burandt P., Kobus S., Kujawa R., Okruszko T., Grabowska M., Lew S., **Goździewska A.**, Skrzypczak A. 2014. Benthic invertebrates in floodplain lakes of a Polish river: structure and biodiversity analyses in relation to hydrological conditions. *Polish Journal of Environmental Studies* 23 (5), s. 1679-1689.
- [H-19] Skrzypczak A., Kleszcz A., **Goździewska A.**, Paturej E., Grzybowski M. 2016. Wake parks in Poland current state, conditions and prospects for development. *Polish Journal of Natural Sciences*, 31 (4), s. 693-705.
- [H-20] Lew S., Glińska-Lewczuk K., Burandt P., Obolewski K., **Goździewska A.**, Lew M., Dunalska J.A.. 2016. Impact of environmental factors on bacterial communities in floodplain lakes differed by hydrological connectivity. *Limnologica*, 58, s. 20-29, DOI: 10.1016/j.limno.2016.02.005
- [H-21] **Goździewska A.**, Glińska-Lewczuk K., Obolewski K., Grzybowski M., Kujawa R., Lew S., Grabowska M. 2016. Effects of lateral connectivity on zooplankton community structure in floodplain lakes. *Hydrobiologia* 774 (1), s. 7-21, DOI: 10.1007/s10750-016-2724-8
- [H-22] Paturej E., Obolewski K., Glińska-Lewczuk K., Kobus S., Burandt P., Kujawa R., **Goździewska A.** 2016. Directional changes in zooplankton in near-sea lakes of the southern Baltic Sea. ECSA 56 Coastal systems in transition from a "natural" to an "anthropogenically-modified" state. 4-7.09. 2016, Bremen, Niemcy.
- [H-23] **Goździewska A.**, Skrzypczak A., Wójcik Z. 2016. Aspekty społeczne, ekonomiczne i turystyczne pływania Masters. *Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis. Oeconomica* 82 (1), s. 1928, DOI:10.21005/oe.2016.82.1.02
- [H-24] **Goździewska A.**, Skrzypczak A., 2016. Zooplankton w ocenie jakości i różnorodności siedlisk rzecznych, podlegających zabiegom rewitalizacji. *Mat. Konf. II Krajowej Konferencji Zooplanktonowej "Przydatność zooplanktonu do oceny jakości wód"* 31.05 - 03.06.2016, Zatok k. Drawna.
- [H-25] Skrzypczak A., Springer A., **Goździewska A.**, Furgała-Selezniow G. 2017. How to effectively collect zooplankton in illuminated cages for fish rearing? *Polish Journal of Natural Sciences* 32 (2), s. 371-387.

- [H-26] **Goździewska A.**, Bukowska J., Jaszczur-Nowicki J. 2017. Skład ciała osób w różnym wieku, z uwzględnieniem 60+, podejmujący regularny trening pływacki. Mat. Konf. Międzynarodowej Konferencji „Aktywność rekreacyjna a radość życia seniorów” 20 – 21.04.2017 Toruń.
- [H-27] **Goździewska A.**, Gwoździk M., Bramowicz M. 2018. Wpływ wód mętnych na strukturę zooplanktonu na przykładzie zbiorników systemu drenującego kopalni węgla kamiennego. Mat. Konf. III Krajowej Konferencji Zooplanktonowej „Zooplankton w czasie i przestrzeni”, s. 16-17, Wyd. M. Pietraszewskiego, Poznań. 20-23.06. 2018, Szczecinek.
- [H-28] **Goździewska A.**, Grochowska J., Tandyrak R., Parszuto K. Skrzypczak A.. 2018. Odpowiedź grup funkcjonalnych zooplanktonu na procesy sukcesji w zbiornikach powyrobiskowych. Mat. Konf. XXIV Zjazd Hydrobiologów Polskich, s. 63-64, Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, 5-08.09.2018, Wrocław.
- [H-29] Bielec G., **Goździewska A.** 2018. Nawyki żywieniowe 11-12-letnich uczniów sportowych klas pływackich na tle nietrenujących rówieśników - badanie pilotażowe. Pediatric Endocrinology, Diabetes and Metabolism, 24 (2), s. 72-81.
- [H-30] **Goździewska A.**, Bramowicz M., Kulesza S., Gwoździk M., 2018. Zastosowanie metod AFM, SEM/EDS w ocenie odporności ekosystemów wodnych. X Seminarium Badania prowadzone metodami skaningowej mikroskopii bliskich oddziaływań STM/AFM, Mat. Konf. s. 84. 28.11 – 02.12. 2018, Zakopane.
- [H-31] **Goździewska A.**, Skrzypczak A., Florczyk A., Szwed L. 2019. Zbiorniki poeksploatacyjne i technologiczne w kopalniach węgla brunatnego - cechy ekologiczne i podobieństwa do ekosystemów naturalnych. Rekultywacja i rewitalizacja rejonów pogórnich w Polsce i w Niemczech: uwarunkowania planistyczne, przyrodnicze i kulturowe / Redakcja: Marek Cała, Jörg Schlenstedt, Anna Ostręga. Kraków: Wyd. AGH, 2019, s. 115-133; <http://www.rewitalizacja.agh.edu.pl/forum/pliki/Monografia-2019.pdf>
- [H-32] Skrzypczak A., **Goździewska A.**, Karpiński E., Florczyk A., Szwed L. Rekreacja wędkarska i rybactwo jako funkcja użytkowa osadników kopalni węgla brunatnego i zbiorników poeksploatacyjnych. Rekultywacja i rewitalizacja rejonów pogórnich w Polsce i w Niemczech: uwarunkowania planistyczne, przyrodnicze i kulturowe / Redakcja: Marek Cała, Jörg Schlenstedt, Anna Ostręga. Kraków : Wyd. AGH, 2019, s. 134-146; <http://www.rewitalizacja.agh.edu.pl/forum/pliki/Monografia-2019.pdf>, p-ISBN: 978-83-66016-67-5
- [H-33] **Goździewska A.**, Paturej E. 2019. Trophic state assesment based on zooplankton traits in post-mining lakes. Ecology & Safety, 28th International Conference, 28 Jun – 2 Jul. 2019, Burgas, Bułgaria.

- [H-34] **Goździewska A.**, Bramowicz M., Kulesza S., Gwoździk S. 2020. Application of AFM, SEM/EDS methods in assessing of aquatic ecosystems. 11th International Conference on Environmental Science and Development-ICESD 2020, 10-12.02.2020. Barcelona, Hiszpania.
- [H-35] Jaszczur-Nowicki J., Bukowska J.M., Kruczkowski D., **Goździewska A.**, Pieniążek M., Mańko G. 2020. A comparison of body composition in the adult population including persons aged 60+ who participate in a swimming training program. *Rehabilitacja Medyczna*, 24 (1), s. 20-27.
- [H-36] Bowszys M., Jaworska B., Kruk M., **Goździewska A.** 2020. Zooplankton response to organic carbon content in a shallow lake covered by macrophytes. *Chemistry and Ecology*, 36 (4), s. 1-15, DOI: 10.1080/02757540.2020.1730334
- [H-37] Bielec G., **Goździewska A.**, Makar P. 2021. Changes in Body Composition and Anthropomorphic Measurements in Children Participating in Swimming and Non-Swimming Activities. *Children*, 8 (7), s. 1-10, DOI: 10.3390/children8070529
- [H-38] **Goździewska A.**, Kruk M. 2022. Zooplankton networks conditioned by winter warming in small anthropogenic reservoirs. 36 Congress of the International Society of Limnology, SIL 100, Leibniz Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries (IGB) under the auspices of the International Society of Limnology (SIL), 7-10.08.2022, Berlin.

Omówione powyżej moje prace naukowo-badawcze prowadzone w obszarze hydrobiologii podkreślają istotną rolę zooplanktonu w różnych środowiskach i ekosystemach wodnych. Przedstawiony szeroki warsztat badawczy i doświadczenie interpretacyjne zależności parametrów abiotycznych i cech zooplanktonu dokumentują zakres możliwości obserwacji i oceny przebiegu wielu procesów w ekosystemach wodnych. Uważam, że wdrożone przeze mnie nowe, w zakresie badań struktur planktonowych, metodyki badawcze, poszerzają wiedzę z obszaru monitorowania wód naturalnych - zarówno chronionych, jak i poddanych presji antropogenicznej a także zbiorników sztucznych o zaplanowanym przeznaczeniu. To istotne w perspektywie poszukiwania odpowiedzi na zmiany zachodzące w środowiskach wodnych oraz rozwiązań dążących do poprawy i zachowania ich usług ekosystemowych.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

- a) W latach 2000-2006 moja aktywność naukowa związana była z Morskim Instytutem Rybackim w Gdyni. Polegała ona na badaniach terenowych oraz szkoleniach w zakresie opracowania laboratoryjnego pokarmu larw i stadiów juvenilnych ichtiofauny z Zalewu Wiślanego. Efektem była praca doktorska oraz publikacje:

Goździejewska A. M., Linkowski T., B. 2005. The influence of environmental variables on feeding of larval and early juvenile smelt (*Osmerus eperlanus* L.) in highly turbid waters of the Vistula Lagoon, Southern Baltic. 29th Annual Larval Fish Conference. Barcelona, Spain 11-14.07. 2005.

Goździejewska A., Paturej E., Krajewska-Sołtys A. 2006. Effects of environmental factors on the occurrence of the Harpacticoida in the zooplankton and in the diet of the smelt *Osmerus eperlanus* (L.) in the Vistula Lagoon. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Fisheries, 9 (2).

- b) Od roku 2011 współpracuję z Katedrą Hydrobiologii na Uniwersytecie Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy (Zał. 6.1). W ramach realizacji grantu NCN (nr NN304317440) pt. „Funkcjonowanie i ochrona starorzeczy w aspekcie tworzenia optymalnych warunków bytowania ichtiofauny na przykładzie doliny Biebrzy”, nawiązałam również kontakty naukowe z Katedrą Ekologii Wód Uniwersytetu w Białymstoku.

Kontynuacją i pogłębieniem współpracy z UKW był udział w projekcie NCN (nr UMO-2012/07/B/ST10/04359) pt. „Hydroekologiczne uwarunkowania funkcjonowania jezior przybrzeżnych południowego Bałtyku”.

W efekcie powyższych zadań powstały publikacje:

Grabowska M., Glińska-Lewczuk K., Obolewski K., Burandt P., Kobus S. Dunalska J.A., Kujawa R., **Goździejewska A.**, Skrzypczak A. 2014. Effects of hydrological and physicochemical factors on phytoplankton communities in floodplain lakes. Polish Journal of Environmental Studies, 23 (3), s. 713-725;

Obolewski K., Glińska-Lewczuk K., Jarzab N., Burandt P., Kobus S., Kujawa R., Okruszko T., Grabowska M., Lew S., **Goździejewska A.**, Skrzypczak A. 2014. Benthic invertebrates in floodplain lakes of a Polish river: structure and biodiversity analyses in relation to hydrological conditions. Polish Journal of Environmental Studies 23 (5), s. 1679-1689;

Lew S., Glińska-Lewczuk K., Burandt P., Obolewski K., **Goździejewska A.**, Lew M., Dunalska J.A.. 2016. Impact of environmental factors on bacterial communities in

floodplain lakes differed by hydrological connectivity. *Limnologica*, 58, s. 20-29, DOI: 10.1016/j.limno.2016.02.005;

Goździewska A., Glińska-Lewczuk K., Obolewski K., Grzybowski M., Kujawa R., Lew S., Grabowska M. 2016. Effects of lateral connectivity on zooplankton community structure in floodplain lakes. *Hydrobiologia* 774 (1), s. 7-21, DOI: 10.1007/s10750-016-2724-8

oraz współautorstwo wystąpienia na międzynarodowej konferencji:

Paturej E., Obolewski K., Glińska-Lewczuk K., Kobus S., Burand P., Kujawa R., **Goździewska A.** 2016. Directional changes in zooplankton in near-sea lakes of the southern Baltic Sea. ECSA 56 Coastal systems in transition from a "natural" to an "anthropogenically-modified" state. 4-7.09. 2016, Bremen, Niemcy.

c) Podczas trzymiesięcznego (1.09 – 30.11.2022r.) zagranicznego stażu naukowego na Wydziale Rybactwa i Ochrony Wód Uniwersytetu Południowo-Czeskiego w Czeskich Budziejowicach/Vodnany podjęłam współpracę naukowo-badawczą w ramach projektu „Dynamika zbiorowisk zooplanktonu i makrozoobentosu na tle naturalnej diety karpia w stawach rybnych” (**Zał. 6.2**). Współpraca będzie kontynuowana a zebrany i opracowany materiał zooplanktonowy oraz pokarmu ryb posłuży do planowanej współautorskiej publikacji.

d) Efektywna współpraca z Wydziałem Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów Politechniki Częstochowskiej w ramach analiz zawiesin w wodach pokopalnianych umożliwiła uzyskanie oryginalnych i unikalnych wyników wchodzących w skład osiągnięcia oraz prezentowanych na konferencjach międzynarodowych:

Goździewska, A.M., Gwoździk, M., Kulesza, S., Bramowicz, M., Koszałka, J. 2019. Effects of suspended micro- and nanoscale particles on zooplankton functional diversity of drainage system reservoirs at an open-pit mine. *Scientific Reports* 9, 16113.

Goździewska A., Bramowicz M., Kulesza S., Gwoździk S. 2020. Application of AFM, SEM/EDS methods in assessing of aquatic ecosystems. 11th International Conference on Environmental Science and Development-ICESD 2020, 10-12.02.2020. Barcelona, Hiszpania.

e) Prace naukowo-badawcze z obszaru nauk o kulturze fizycznej opierały się na współpracy z AWF w Gdańsku, AWF w Krakowie, Elbląską Uczelnią Humanistyczno-Ekonomiczną w Elblągu oraz Collegium Medicum, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie, których efektem były publikacje:

- Bielec G., **Goździejewska A.** 2018. Nawyki żywieniowe 11-12-letnich uczniów sportowych klas pływackich na tle nietreningujących rówieśników - badanie pilotażowe. *Pediatric Endocrinology, Diabetes and Metabolism*, 24 (2), s. 72-81.
- Jaszczur-Nowicki J., Bukowska J.M., Kruczkowski D., **Goździejewska A.**, Pieniążek M., Mańko G. 2020. A comparison of body composition in the adult population including persons aged 60+ who participate in a swimming training program. *Rehabilitacja Medyczna*, 24 (1), s. 20-27.
- Bielec G., **Goździejewska A.**, Makar P. 2021. Changes in Body Composition and Anthropomorphic Measurements in Children Participating in Swimming and Non-Swimming Activities. *Children*, 8 (7), s. 1-10, DOI: 10.3390/children8070529

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

Działalność dydaktyczna:

- a) Promotor 18 prac magisterskich, w tym 8 na kierunku Ochrona Środowiska i 10 na kierunku Turystyka i Rekreacja
- b) Promotor 19 prac inżynierskich na kierunku Ochrona Środowiska
- c) Promotor 27 prac licencjackich na kierunku Turystyka i Rekreacja
- d) Promotor pomocniczy w realizacji przewodu doktorskiego
- e) Recenzent 23 prac dyplomowych ogółem
- f) opiekun roku studiów stacjonarnych pierwszego stopnia na kierunku Ochrona Środowiska oraz Inżynieria Środowiska (2009-2013)
- g) opiekun roku studiów stacjonarnych drugiego stopnia kierunku Ochrona Środowiska (2013-2014)
- h) opiekun roku na kierunku Turystyka i rekreacja (od 2021 roku)
- i) opiekun Koła Naukowego „Oikos” na Wydziale Geoinżynierii (od 2023 roku).

Realizowane przedmioty:

Kierunek Ochrona Wód – 1990-1996

- Chemia wody i ścieków - ćwiczenia laboratoryjne
- Ochrona i zanieczyszczenie powietrza – ćwiczenia praktyczne

Kierunek Rybactwo – 1991 – 1995

- Ochrona środowiska - ćwiczenia

Kierunek Ochrona Środowiska – 2000-2015

- Biologia - ćwiczenia praktyczne, I stopień
- Gleboznawstwo i ochrona gleb - ćwiczenia, I stopień
- Ochrona przyrody - ćwiczenia, I stopień
- Meteorologia i klimatologia - ćwiczenia, I stopień
- Rekultywacja gleb - ćwiczenia, I stopień
- Systemy rolnicze a jakość żywności – ćwiczenia, I stopień
- Ekologia sztucznych zbiorników wodnych – koordynator, wykład, ćwiczenia, II stopień

Kierunek Inżynieria środowiska

- Ochrona środowiska - ćwiczenia, I stopień

Kierunek Rybactwo

- Biologia wód – ćwiczenia praktyczne, I stopień

Kierunek Turystyka i rekreacja – 2012 - obecnie

- Pływanie z elementami treningu sportowego – koordynator, ćwiczenia praktyczne, I stopień
- Fitness i rekreacja w wodzie – koordynator, ćwiczenia praktyczne, II stopień
- Pływanie z elementami ratownictwa – koordynator, ćwiczenia praktyczne, II stopień
- Biometeorologia w turystyce i rekreacji – koordynator, wykład, ćwiczenia, I stopień
- Rekreacja ruchowa - ćwiczenia, I stopień
- Teoretyczne podstawy aktywności ruchowej – ćwiczenia, II stopień
- Turystyka podwodna – ćwiczenia, II stopień
- Turystyka rowerowa - ćwiczenia, II stopień

Kursy i szkolenia podnoszące kwalifikacje w pracy dydaktycznej:

2012 – semestralny kurs „Meteorologia w turystyce i rekreacji”, Zakład Fizyki Atmosfery, Politechnika Warszawska

2013 – 60-godzinny kurs instruktora pływania, Instytut Edukacji i Sportu w Olsztynie

2019 – 25-godzinny kurs podstawowy nauki pływania (również dla osób niepełnosprawnych) w wodzie zgodnie z koncepcją Halliwick, (15 godz. teoria + 10 godz. praktyka), Stowarzyszenie Pływania i Terapii w Wodzie „Halliwick Polska”, Warszawa

Działalność popularyzatorska:

- Popularyzacja aktywności sportowej wśród osób dorosłych (w wieku 20-90+ lat) poprzez czynny udział w organizacji IV Otwartych Mistrzostw Polski Masters na wodach otwartych. Miejsce imprezy: plaża miejska OSiR, jezioro Ukiel.
- Popularyzacja aktywności sportowej wśród osób dorosłych (w wieku 25-90+ lat) poprzez czynny udział w organizacji: Zimowych Otwartych Mistrzostw Polski w kategorii Masters w pływaniu, Olsztyn 21-23 października 2016 r. oraz kolejnej

edycji w dniach 16-18.11.2018 r., a także Letnich Mistrzostw Polski w kategorii Masters w Olsztynie w dniach 10-12.06.2022 r. Miejsce imprezy WCRiS Aquasfera w Olsztynie.

- Organizator Pucharu Warmii i Mazur w pływaniu na wodach otwartych w okresie lipiec-sierpień, w latach 2014 – 2022. Impreza przeznaczona dla młodzieży i osób dorosłych amatorsko lub zawodniczo związanych ze sportem pływackim. Realizowana na podstawie harmonogramu startów w miejscowościach: Morąg, Ełk, Szczytno, Olecko, Wilkasy, Wejsuny, Mrągowo, Olsztyn, Kretowiny, Pasym, Gołdap, Dobrze Miasto.
- Wykłady w ramach Uniwersytetu III Wieku (2018)
- Wykłady w ramach Olsztyńskich Dni Nauki i Sztuki (2018 – 2021)

Działalność organizacyjna:

- Sekretarz Wydziałowej Komisji Programowej (2008-2012),
- członek Wydziałowego Zespołu ds. USOS przy Wydziale Nauk o Środowisku (2011-2016),
- członek zespołu opracowującego nowy program studiów o profilu praktycznym na II stopniu kierunku Turystyka i Rekreacja (2014-2016),
- członek Komisji Egzaminacyjnej do przeprowadzania egzaminu dyplomowego na kierunku Ochrona Środowiska (2013-2016),
- od roku 2012 członek Kierunkowego Zespołu ds. Zapewnienia Jakości Kształcenia na kierunku Turystyka i Rekreacja,
- od roku 2015 jest członek Komisji Egzaminacyjnej do przeprowadzania egzaminu dyplomowego na kierunku Turystyka i Rekreacja,
- od 1 stycznia 2023 roku członek Rady Naukowej Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwo i Energetyka UWM w Olsztynie.

6. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

Uzyskane nagrody i wyróżnienia:

01.12.2015 – Nagroda II stopnia JM Rektora UWM, za działalność organizacyjną – zespołową

07.09.2020 – Medal Złoty Ministra Edukacji i Nauki za Długoletnią Służbę

05.01.2021 – Nagroda JM Rektora UWM za wyróżniający artykuł naukowy opublikowany w 2019 roku.

.....

(podpis wnioskodawcy)