

## **Załącznik 2**

# **Autoreferat**

dr Renata Dondajewska

Zakład Ochrony Wód, Instytut Biologii Środowiska,  
Wydział Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Poznań marzec 2019

### **Posiadane dyplomy i przebieg pracy naukowej**

- 2002 – licencjat ochrony środowiska, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
- 2004 – magister ochrony środowiska, Wydział Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, praca magisterska pt. Zmiany jakości wód rzeki Cybiny pod wpływem kaskady zbiorników zaporowych w Poznaniu, wykonana w Zakładzie Ochrony Wód pod kierunkiem prof. dr hab. Ryszarda Gołdyna
- 2008 – doktor nauk biologicznych w zakresie ekologii-hydrobiologii, Wydział Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, rozprawa doktorska pt. Funkcjonowanie ekosystemu płytkiego nizinnego zbiornika wodnego na przykładzie stawu Antoninek, wykonana w Zakładzie Ochrony Wód pod kierunkiem prof. dr hab. Ryszarda Gołdyna, wyróżniona decyzją Rady Wydziału Biologii UAM (27.06.2008); recenzenci: prof. dr hab. Helena Gawrońska, prof. dr hab. Ryszard Wiśniewski;

### **Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych**

- 2008-2012 – adiunkt, Stacja Ekologiczna Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
- 2012 do dzisiaj – adiunkt, Zakład Ochrony Wód, Wydział Biologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

1. Wskazane osiągnięcia wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

b) tytuł osiągnięcia:

**Zmiany w funkcjonowaniu ekosystemu wodnego  
w wyniku zrównoważonej rekultywacji**

c) autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa

**H1. Dondajewska R., Kozak A., Kowalczyńska-Madura K., Budzyńska A., Goldyn R., Podsiadłowski S., Tomkowiak A., 2018, The response of a shallow hypertrophic lake to innovative restoration measures – Uzarzewskie Lake case study, Ecological Engineering 121: 77-82, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.07.010>**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu badań, przeprowadzeniu większości analiz fizyczno-chemicznych wód badanego jeziora, napisaniu manuskryptu oraz jego korekcie po recenzji. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

**IF=3,023 (IF 5-letni: 3,43), MNiSW=35 pkt.**

**H2. Dondajewska R., Kozak A., Rosińska J., Goldyn R., 2019, Water quality and phytoplankton structure changes under the influence of effective microorganisms (EM) and barley straw – Lake restoration case study, Science of the Total Environment 660: 1355-1366, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.071>**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu badań, przeprowadzeniu pomiarów właściwości wód i poboru próbek w terenie, przeprowadzeniu analiz fizyczno-chemicznych wód badanego jeziora, napisaniu manuskryptu oraz jego korekcie po recenzji. Mój udział procentowy szacuję na 80%.

**IF=4,61 (IF 5-letni: 4,984), MNiSW=40 pkt.**

**H3. Dondajewska R., Kowalczevska-Madura K., Goldyn R., Kozak A., Messyasz B., Cerbin S., 2019, Long-term water quality changes as a result of a sustainable restoration – a case study of dimictic Lake Durowskie, Water 11, 616, <http://doi.org.10.3390/w11030616>**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu badań, przeprowadzeniu analiz fizyczno-chemicznych wód badanego jeziora, napisaniu manuskryptu oraz jego korekcie po recenzji. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

**IF=2,069 (IF 5-letni: 2,25), MNISW=30 pkt.**

**H4. Dondajewska R., Kozak A., Budzyńska A., Kowalczevska-Madura K., Goldyn R. 2018. Nature-based solutions for protection and restoration of degraded Bielsko Lake. Ecohydrology & Hydrobiology 18: 401-411, <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.04.001>**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu badań, przeprowadzeniu większości analiz fizyczno-chemicznych wód badanego jeziora, napisaniu większości manuskryptu oraz jego korekcie po recenzji. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

**IF=1,592, MNiSW=15 pkt.**

Podsumowując mój udział w pracach zgłoszonych jako osiągnięcie:

We wszystkich publikacjach jestem autorką koncepcji badań i publikacji, pierwszym autorem oraz autorem do korespondencji, mój udział w ich powstaniu wynosił od 70 do 80%. Mój wkład w powstanie prac polegał na zaplanowaniu badań, formułowaniu hipotez, badaniach terenowych i laboratoryjnych jakości wód, analizie i opracowaniu wyników, wykonaniu analiz statystycznych, napisaniu artykułów oraz poprawie manuskryptów po ocenie recenzentów.

**OGÓLEM ZA OSIĄGNIĘCIE:**

wartość wskaźnika IF =11,294; MNiSW=120 pkt.

- d) omówienie celu naukowego pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

## 1. Wprowadzenie

Proces eutrofizacji, rozumiany jako nadmierne wzbogacenie wody w związki biogenne, jest zaawansowany w wielu jeziorach w strefie klimatu umiarkowanego i uznawany za najważniejszy skutek antropogenicznych zmian zachodzących w środowiskach wodnych, wpływający zarówno na funkcjonowanie ekosystemów, jak i na jakość wód. Nagromadzenie związków fosforu i azotu, pochodzących ze ścieków i dopływających ze zlewni pozostałości nawozów, prowadzi do masowego rozwoju organizmów fitoplanktonowych, głównie sinic (tzw. zakwitów wody), co w konsekwencji skutkuje wyłączeniem owych zbiorników z użytkowania przez człowieka.

Deeutrofizacja, czyli obniżenie poziomu żyzności, a co za tym idzie poprawa jakości wody i przywrócenie walorów użytkowych jeziora jest procesem długotrwałym, wymagającym kompleksowych, a przede wszystkim kosztownych działań. Konieczne jest podjęcie zabiegów ochronnych w zlewni, lecz z uwagi na stopień zaawansowania procesu często nieodzowna jest ingerencja w mechanizmy funkcjonowania ekosystemu, czyli podjęcie działań rekultywacyjnych. Najlepsze rezultaty w tym zakresie daje kombinacja kilku technik (Jeppesen i in. 2017), zaś jako pierwszą należy zastosować tzw. kontrolę od podstaw piramidy troficznej (*bottom-up*), czyli obniżenie stężeń związków biogenych w wodzie oraz ograniczenie roli zasilania wewnętrznego z osadów dennych (Søndergaard i in. 2002). W dalszej kolejności prowadzi to do zmniejszenia produkcji pierwotnej fitoplanktonu, w tym sinic. W celu redukcji zawartości związków stymulujących rozwój planktonowych sinic zastosowanie znajduje wiele metod rekultywacji, spośród których kilka znalazło uznanie na świecie z uwagi na ich skuteczność np. usuwanie wód hypolimnionu zaproponowane w latach 50. ubiegłego wieku przez prof. Olszewskiego z Olsztyna (Dunalska i in. 2007, 2014, Lehman i in. 2009, Nürnberg 2009) czy po raz pierwszy zastosowane na szwedzkim jeziorze Trummen usuwanie osadów dennych (Bengtsson i in. 1975). Ta ostatnia metoda winna być jednak stosowana jedynie do akwenów o charakterze saprotroficznym z uwagi na liczne oddziaływania negatywne dla hydrobiontów np. organizmów bentosowych, czy makrofitów. Dodatkowo, metoda ta – mimo niewątpliwej skuteczności wynikającej z fizycznego usunięcia poza akwen rezerwuaru związków biogenych – wykazuje się znacznymi trudnościami natury organizacyjnej, związanej głównie z zagospodarowaniem

wydobytego urobku, szczególnie jeśli jest on zanieczyszczony metalami ciężkimi czy stwarza zagrożenie pod względem sanitarnym.

Popularnością cieszy się na świecie metoda inaktywacji fosforu, zmierzająca do zmniejszenia ilości tego pierwiastka w toni wodnej jeziora, głównie na drodze jego odprowadzenia do osadu dennego i trwałej depozycji w tym medium. Odbywało się to na drodze skoagulowania całej zawiesiny planktonu, zaadsorbowania przez powstające flokuły jonów fosforu obecnych w toni wodnej i ich odprowadzenie (sedymentacja) do osadów dennych. Takie podejście generowało wysokie koszty, skutkowało nadmiarem materii organicznej na powierzchni osadu dennego, której rozkład sprzyjał ponownemu uwalnianiu fosforu do toni wodnej, a także – jak wykazano w ostatnim czasie – może wywierać potencjalnie negatywny wpływ na roślinność zanurzoną (Rybak i in. 2017a).

Związki glinu były w tym celu stosowane już w latach 70. ubiegłego wieku (m.in. Welch i Cooke 1999, Lewandowski i in. 2003), zaś w Polsce – od roku 2001 (Gawrońska i Łopata 2007). W większości przypadków stosowane dawki wynosiły jednorazowo ponad 700 kg/ha (np. Dunalska i in. 2018), co – jak wskazują ostatnie badania – może wywierać negatywny wpływ na ramienice (Rybak i in. 2017b). Co niezwykle istotne, ograniczeniem dla zastosowania związków glinu jest odczyn wody – przy zbyt niskim (poniżej 6) lub zbyt wysokim (powyżej 8) glin ulega przekształceniu do form jonowych, toksycznych dla organizmów. W rezultacie bezpieczne stosowanie związków glinu występuje w okresie niższej produkcji pierwotnej wiosną i jesienią. Ponadto, stosowanie wysokich dawek zwiększa koszt procesu rekultywacji. Należy jednak zwrócić uwagę na wysoką skuteczność tego rozwiązania, na co wskazuje np. przypadek Jeziora Długiego, rekultywowanego za pomocą chlorku poliglinu a wcześniej podlegającego wieloletniemu napowietrzaniu z burzeniem stratyfikacji (Grochowska i in. 2017).

Oprócz związków glinu, w inaktywacji fosforu zastosowanie znalazły związki żelaza. Wysoki stosunek koncentracji Fe:P w osadzie dennym oraz w wodzie śródosadowej jest traktowany jako niezbędny w procesie kumulowania fosforanów, stąd też dodawanie związków żelaza w największym stopniu zwiększa efektywność podejmowanych działań rekultywacyjnych. Chlorki ( $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$ ), jak i siarczan ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ) żelaza były szeroko stosowane w Europie, w tym również w Polsce (Perkins i Underwood 2001, Deppe i Benndorf 2002, Wiśniewski 2003). Istotnym problemem w przypadku związków żelaza jest ich wrażliwość na zmiany potencjału oksydo-redukcyjnego zachodzące na granicy osad-woda a związane ze zmianami stężenia tlenu rozpuszczonego. W zbiornikach głębokich, w których występuje długotrwałe odtlenienie

wód hypolimnionu, zastosowanie związków żelaza może być nieskuteczne, jeśli nie zastosuje się dodatkowego natleniania (Deppe i Benndorf 2002), bowiem redukcja żelaza powoduje wzrost rozpuszczalności jego związków i uwolnienie fosforu do toni wodnej. Niemniej jednak żelazo nie wywiera negatywnego oddziaływania na hydrobionty, może być zatem z powodzeniem stosowane w procesie rekultywacji jezior.

Z uwagi na wysoką kosztocłonność omówionych działań rekultywacyjnych, konieczne stało się opracowanie nowej metody, której skuteczność będzie wysoka, zaś koszt stosunkowo niski. Dodatkowo, stosowane techniki nie powinny stanowić zagrożenia dla hydrobiontów. Zasady powyższe spełnia tzw. **zrównoważona rekultywacja**, polegająca na równoczesnym zastosowaniu kilku proekologicznych, nieagresywnych metod, przeciwdziałających powstawaniu sprzężeń zwrotnych w ekosystemie. Jedną z metod jest inaktywacja fosforu w toni wodnej przy użyciu chlorku magnezu lub siarczanu żelaza w niewielkich dawkach, nie przekraczających 10 kg/ha, w odróżnieniu od przyjętych dotychczas wysokich dawek. Związki żelaza i magnezu docierają do jezior ze zlewni w okresie wiosennym, jednak ich stężenie ulega szybkiemu zmniejszeniu w wyniku wykorzystania przez organizmy. Stosowanie niewielkich dawek środków strącających fosfor możliwe jest dzięki zastosowaniu mobilnego aeratora pulweryzacyjnego, dawkującego ilość koagulantu dostosowaną do aktualnej koncentracji fosforu w jeziorze (Podsiadłowski 2008). Wprowadzanie związku strącającego fosfor do wód jeziornych kilkukrotnie w sezonie wegetacyjnym, a szczególnie w okresie zwiększonego dopływu związków biogenych (letnie ulewne deszcze, zasilanie wewnętrzne w okresie wysokich temperatur) umożliwia stopniową rekonstrukcję struktury zbiorowisk organizmów, począwszy od fito- i zooplanktonu, przez makrobezkręgowce bentosowe do roślinności zanurzonej (Gołdyn i in. 2013). Najważniejszym rezultatem systematycznego obniżania zawartości fosforu w toni wodnej jest ograniczenie biomasy sinic, zagrażających bezpiecznemu korzystaniu z wód jeziornych przez człowieka. Rekultywacja taka wpisuje się w założenia teorii umiarkowanych zakłóceń (Padisak i in. 1993), a podejmowane działania zmierzają do stopniowej poprawy jakości wód, jak i pozytywnych przekształceń w strukturze hydrobiontów (fitoplankton, zooplankton, makrofity, ryby).

Metoda inaktywacji fosforu jest często stosowana wraz z innymi technicznymi metodami rekultywacji, jak np. natlenianie hypolimnionu lub dostarczanie azotanów, celem tworzenia w strefie naddennej warunków sprzyjających wiązaniu fosforu, co jest szczególnie istotne przy zastosowaniu koagulantów żelazowych. Istotnym

wspomaganiem metod technicznych w zrównoważonej rekultywacji mogą być metody biologiczne, do których należą m.in. biomanipulacja czy nasadzenia lub/i wykaszanie i usuwanie nadmiernej biomasy makrofitów, a także tzw. efektywne mikroorganizmy (EM). Ta ostatnia metoda uznawana jest za kontrowersyjną z uwagi na brak doniesień w literaturze o jej skuteczności, a mimo to dość silne lobby komercyjne promuje EM jako panaceum likwidujące wszystkie objawy eutrofizacji, w tym zakwity sinic i deficyty tlenu. Dotychczasowe badania laboratoryjne nie potwierdzają wpływu kompozycji mikroorganizmów na redukcję związków biogennych (Dunalska i in. 2015), ani też na ograniczenie rozwoju sinic (Lürling i in. 2009, 2010). Niemniej jednak – w przypadku stwierdzenia jej skuteczności w badaniach całego ekosystemu – może zostać uznana za przykład metod zrównoważonych, z uwagi na brak negatywnych oddziaływań na hydrobionty np. makrofity, makrobezkręgowce bentosowe czy ryby; możliwość częstego stosowania niewielkich dawek celem wzmocnienia pozytywnego wpływu na jakość wód oraz niezbyt wysoki koszt.

Zrównoważona rekultywacja jezior stosowana jest w Polsce od kilku lat, głównie na kilkunastu jeziorach położonych w zachodniej części kraju. Ocena jej skuteczności, w tym wpływu na różne elementy ekosystemu wodnego prowadzona jest w poznańskim ośrodku naukowym, celem uzupełnienia światowej wiedzy o efektywność takiego podejścia w procesie naprawczym. Szczegółowe badania pod względem reakcji fitoplanktonu na rekultywację jeziora prowadziła dr hab. Anna Kozak (m.in. Kozak i in. 2015, 2018), zaś oddziaływanie stosowanych zabiegów na właściwości osadów dennych i zjawisko zasilania wewnętrznego w fosfor było rozpatrywane przez dr Katarzynę Kowalczewską-Madurę (m.in. Kowalczewska-Madura i in. 2015, 2019). Celem moich badań stało się prześledzenie zmian w funkcjonowaniu ekosystemu wodnego pod wpływem zrównoważonej rekultywacji, szczególnie na poziomie cech fizyczno-chemicznych wód.

Bengtsson L., Fleischer S., Lindmark G., Ripl W., 1975, Lake Trummen restoration project. I. Water and sediment chemistry. *Verh Int Verein Limnol* 19:1080–1087

Deppe T., Benndorf J., 2002, Phosphorus reduction in a shallow hypereutrophic reservoir by in-lake dosage of ferrous iron, *Water Research* 36: 4525-4534

Dunalska J.A., Napiórkowska-Krzebietke A., Ławniczak-Malińska A., Bogacka-Kapusta E., Wiśniewski G., 2018, Restoration of flow-through lakes – Theory and practice, *Ecohydrology&Hydrobiology* 18,4:379-390



- Dunalska J.A., Sieńska J., Szymański D., 2015, The use of biopreparations in lake restoration – experimental research, *Oceanological and Hydrobiological Studies* 44,4:500-507
- Dunalska J.A., Staehr P.A., Jaworska B., Górniak D., Gomułka P., 2014, Ecosystem metabolism in a lake restored by hypolimnetic withdrawal, *Ecological Engineering* 73: 616-623
- Dunalska J.A., Wiśniewski G., Mientki C., 2007, Assessment of multi-year (1956-2003) hypolimnetic withdrawal from Lake Kortowskie, Poland, *Lake and Reservoir Management* 23:377-387
- Gawrońska H., Łopata M., Jaworska B., 2007, The effectiveness of the phosphorus inactivation method in reducing the trophy of lakes of different morphometric and hydrological features, *Limnological Review* 7,1: 27-34
- Gołdyn R., Messyasz B., Domek P., Windhorst W., Hugenschmidt C., Nicoara M., Plavan G., 2013, The response of Lake Durowskie ecosystem to restoration measures. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 8, 3: 43 – 48
- Grochowska J., Brzozowska R., Parszuto K., Tandyrak R., 2017, Modifications in the trophic state of an urban lake, restored by different methods, *Journal of Elementology* 22,1: 43-53
- Jeppesen E., Søndergaard M., Liu Z., 2017, Lake restoration [W:] Allison S.K., Murphy S.D. (eds) *Routledge handbook of ecological and environmental restoration*, Routledge, London: 226-242
- Kowalczywska-Madura K., Gołdyn R., Bogucka J., Strzelczyk K., 2019, Impact of environmental variables on spatial and seasonal internal phosphorus loading in a mesoeutrophic lake. *International Journal of Sediment Research* 34: 14-26
- Kowalczywska-Madura K., Gołdyn R., Dera M., 2015, Spatial and seasonal changes of phosphorus internal loading in two lakes with different trophy. *Ecological Engineering* 74: 187-195
- Kozak A., Gołdyn R., Dondajewska, R., 2015, Phytoplankton composition and abundance in Restored Maltanski Reservoir under the influence of physico-chemical variables and zooplankton grazing pressure, *PloS ONE* , 10 (4), e0124738
- Kozak A., Rosińska R., Gołdyn R., 2018, Changes in the phytoplankton structure due to prematurely limited restoration treatments *Polish Journal of Environmental Studies* 27,3
- Lehman E.M., McDonald K.E., Lehman J.T., 2009, Whole lake selective withdrawal experiment to control harmful cyanobacteria in an urban impoundment, *Water Research* 43: 1187-1198
- Lewandowski J., Schauser I., Hupfer M., 2003, Long term effects of phosphorus precipitations with alum hypereutrophic Lake Süsser See (Germany), *Water Research* 37: 3194-3204
- Lürling M., Tolman Y., Euwe M., 2009, Mitigating cyanobacterial blooms: how effective are ‘effective microorganisms’? *Lakes&Reservoirs: Research and Management* 14: 353-363
- Lürling M., Tolman Y., van Oosterhout F., 2010, Cyanobacteria blooms cannot be controlled by Effective Microorganisms (EM®) from mud- or Bokashi-balls, *Hydrobiologia* 646:133-143
- Nürnberg G., 2009, Lake responses to long-term hypolimnetic withdrawal treatments, *Lake and Reservoir Management* 23: 388-409
- Padisak, J., Reynolds, C.S., Sommer, U. (eds), 1993, *Development in Hydrobiology*, vol. 81. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London (reprinted from *Hydrobiologia* 249)

- Perkins R.G., Underwood J.C., 2001, The potential for phosphorus release across the sediment-water interface in an eutrophic reservoir dosed with ferric sulphate. *Water Research* 35: 1399-1406
- Podsiadłowski S., 2008, Method of precise phosphorus inactivation in lake waters, *Limnological Review* 8, 1-2: 51-56
- Rybak M., Joniak T., Gąbka M., Sobczyński T., 2017a, The inhibition of growth and oospores production in *Chara hispida* L. as an effect of iron sulphate addition: Conclusions for the use of iron coagulants in lake restoration, *Ecological Engineering* 105: 1-6
- Rybak M., Kołodziejczyk A., Joniak T., Ratajczak I., Gąbka M., 2017b, Bioaccumulation and toxicity studies of macroalgae (Charophyceae) treated with aluminium: Experimental studies in the context of lake restoration, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 145:359-366
- Søndergaard M., Wolter K-D., Rippl W., 2002, Chemical treatment of water and sediments with special reference to lakes [W:] Perrow M.R., Davy A.J. (eds) *Handbook of ecological restoration. Vol. I. Principles of restoration*, Cambridge University Press: 184-205
- Welch E.B., Cooke G.D., 1999, Effectiveness and longevity of phosphorus inactivation with alum, *Journal of Lake and Reservoir Management* 15,1: 5-27
- Wiśniewski R., Kopeć D., Kopeć J., 2003, Optimization of phosphate inactivation process with ferric chloride in lake Łasińskie sediments, *Limnological Review* 3: 261-268

## 2. Cel naukowy osiągnięcia

Główną oś pracy habilitacyjnej stanowi prześledzenie zmian w funkcjonowaniu ekosystemu wodnego pod wpływem podejmowanych działań o charakterze zrównoważonej rekultywacji. Zmiany te manifestują się zarówno na poziomie chemizmu wód, jak i w sieci troficznej. Aby zrealizować powyższy cel założono następujące cele szczegółowe:

1. Ocena wpływu inaktywacji fosforu oraz dostawy azotanów do hypolimnionu jeziora (*nitrate treatment*) na zmiany cech fizyczno-chemicznych wód oraz strukturę planktonu
2. Analiza oddziaływania Efektywnych Mikroorganizmów (EM) na chemizm wód, zgrupowanie planktonu i makrofitów w procesie rekultywacji.
3. Ocena zmian zachodzących w jakości wody pod wpływem kilku jednocześnie stosowanych metod rekultywacji.
4. Wykazanie roli zabiegów ochronnych w zlewni jeziora przed i podczas stosowania zabiegów zrównoważonej rekultywacji.

Realizacja powyższych celów możliwa była na drodze wieloletnich badań trzech jezior poddanych procesowi rekultywacji, któremu towarzyszyły także zabiegi ochronne w zlewni, oraz jednego jeziora, dla którego zaproponowano program działań ochronnych,

koniecznych z uwagi na dopływ zanieczyszczeń o charakterze ściekowym. Do zbiorników poddanych procesowi zrównoważonej rekultywacji należały: Jezioro Uzarzewskie, położone w gminie Swarzędz, około 10 km od Poznania; Jezioro Durowskie w Wągrowcu oraz jezioro Konin, usytuowane w dolinie rzeki Obry, w pobliżu miejscowości Trzciel, około 80 km od Poznania. Program działań ochronnych zaproponowano natomiast dla jeziora Bielsko, położonego w gminie Biały Bór.

Jezioro Uzarzewskie, będące niewielkim hipertroficznym naturalnym zbiornikiem w kształcie kociołka o maksymalnej głębokości 7 m, podlegało inaktywacji fosforu z wykorzystaniem siarczanu żelaza w latach 2006-2007 (I etap rekultywacji). Dawka koagulantu w roku 2006 wyniosła 6 kg/ha, zwiększając się w roku następnym do 17 kg/ha, przy czym roczna dawka dla całego jeziora nie przekraczała 550 kg siarczanu żelaza. Od roku 2008 do strefy hypolimnionu tego jeziora skierowano za pośrednictwem dwóch rurociągów wody źródlane wypływające spod skarpy otaczającej jezioro od strony północno-wschodniej (II etap rekultywacji). Ponieważ na skarpie znajdują się pola intensywnie wykorzystywane rolniczo, wody wypływające spod skarpy charakteryzują się bardzo wysokimi koncentracjami azotu azotanowego. Ich wprowadzanie nad dno jeziora tworzy dogodne warunki do wiązania fosforu z żelazem, z uwagi na podnoszenie potencjału oksydoredukcyjnego (tzw. *nitrate treatment*). Ponadto, azotany umożliwiają eliminację siarkowodoru z wody oraz redukcję zawartości związków azotu na skutek denitryfikacji. Taka metoda rekultywacji została zastosowana po raz pierwszy i cechuje się wysoką innowacyjnością. Jej ogromną zaletą jest niska kosztocłonność oraz ciągła dostawa azotanów do strefy hypolimnionu. Ocenę skuteczności działań rekultywacyjnych podejmowanych w Jeziorze Uzarzewskim przedstawiono w publikacji H1 osiągnięcia.

Inną metodę rekultywacji zastosowano w przypadku bardzo płytkiego i silnie zeutrofizowanego jeziora Konin, zasilanego wodami cofki z rzeki Obry. W pierwszym etapie zrealizowano zabieg ochronny, polegający na skonstruowaniu grobli ograniczającej dopływ żyznych wód rzecznych. Następnie zastosowano dwie biologiczne metody rekultywacji tj. efektywne mikroorganizmy (EM), czyli preparaty w postaci płynnej i stałej (tzw. *mudballs*) zawierające mieszaninę bakterii, grzybów i promieniowców, mające za zadanie takie przekształcanie flory bakteryjnej jeziora, by następowała poprawa jakości wody i eliminacja zakwitów sinicowych. Dodatkowo zastosowano słomę jęczmienną, której rozkład w środowisku wodnym powoduje wydzielanie substancji uniemożliwiających podziały komórkowe sinic. Rekultywacja

jeziora Konin z wykorzystaniem EM była jednym z pierwszych udokumentowanych przypadków tego typu działań w ekosystemie jeziornym. Wybór metody przez wykonawcę podyktowany był „naturalnością” tej metody, wynikającą z braku stosowania jakichkolwiek środków chemicznych czy innych inwazyjnych metod rekultywacji. Z tego tytułu podejście to można zaklasyfikować jako przykład zrównoważonej rekultywacji jeziora. Ocenę skuteczności działań rekultywacyjnych podejmowanych w jeziorze Konin przedstawiono w publikacji H2 osiągnięcia.

Jezioro Durowskie jest rekultywowane od roku 2009 za pomocą trzech wzajemnie wspierających się metod. Główną z nich stanowi inaktywacja fosforu niewielkimi dawkami siarczanu żelaza (4-15 kg/ha) celem zmniejszenia stężeń jonów fosforanowych, a w ostatnich latach także chlorku magnezu, by jednocześnie zmniejszyć zawartość jonów amonowych (na drodze wytrącania tzw. struwitu). Poprawie warunków wiązania fosforu z żelazem w strefie hypolimnionu służy praca dwóch aeratorów pulweryzacyjnych z napędem wietrzny, zaś całość procesu wspomaga metoda biologiczna – biomanipulacja (zarybianie narybkami sandacza i szczupaka). Wszystkie metody są stosowane do dzisiaj, co pozwala ocenić zarówno ich efektywność, ale przede wszystkim następujące w ekosystemie zmiany pod wpływem umiarkowanych zakłóceń, jakie stanowią stosowane zabiegi. Uzyskane wyniki przedstawiono w publikacji H3 osiągnięcia.

Czwartym obiektem badawczym było duże, rynnowe jezioro Bielsko położone w województwie zachodniopomorskim. Roczne badania obejmujące przestrzenną i czasową zmienność chemizmu wód oraz struktury zgrupowań planktonowych, a także obciążenie zewnętrzne pochodzące z różnych źródeł, miały na celu ocenę aktualnego stanu wód jeziora, wraz ze wskazaniem działań ochronnych i naprawczych, koniecznych do zastosowania z uwagi na pogarszającą się jakość wód. Wyniki badań przedstawiono w publikacji H4 osiągnięcia.

### **3. Omówienie wyników**

#### ***3.1 Wpływ inaktywacji fosforu oraz dostawy azotanów do hypolimnionu jeziora (nitrate treatment) na zmiany cech fizyczno-chemicznych wód oraz strukturę planktonu [H1]***

Zrównoważona rekultywacja Jeziora Uzarzewskiego, polegająca na kilkukrotnym w ciągu sezonu wegetacyjnego strącaniu nadmiaru ortofosforanów za pomocą niewielkich

dawek koagulantu żelazowego, przyczyniła się do zwiększenia kompleksu sorpcyjnego osadów dennych tego jeziora. Z uwagi na naturalny bradymiktyczny charakter akwenu strefa naddenna pozostawała przez dużą część roku odtleniona, co uniemożliwiło skuteczne wiązanie fosforu, zatem konieczne było zastosowanie dodatkowych zabiegów poprawiających warunki akumulacji kluczowego dla produkcji pierwotnej fosforu. Wybór metody podyktowany był dostępnością chłodnych, bogatych w azotany wód źródłanych, wypływających u podstawy skarpy nadjeziornej. Ich wprowadzenie za pomocą dwóch rurociągów do hypolimnionu miało na celu poprawę warunków oksydoredukcyjnych. Są one bowiem akceptorem elektronów dla bakterii heterotroficznych, uniemożliwiając redukcję związków żelaza ( $\text{Fe}^{+3}$  do  $\text{Fe}^{+2}$ ) występujących w osadzie dennym, co pozwala na skuteczne wiązanie fosforu w postaci dość silnego wiązania  $\text{FeOOH}\sim\text{PO}_4^{3-}$  oraz jako fosforan żelaza  $\text{FePO}_4$ . Redukcja azotanów przez bakterie w procesie denitryfikacji ułatwia im intensywny rozkład materii organicznej obecnej w osadzie dennym. Uniemożliwia też redukcję siarczanów do siarki i siarkowodoru, będącego gazem toksycznym dla organizmów. Zaobserwowany w Jeziorze Uzarzewskim zanik wyraźnego zapachu siarkowodoru po uruchomieniu rurociągów potwierdza skuteczne działanie azotanów. Mimo, że wody doprowadzane do hypolimnionu jeziora cechowały się wysokimi stężeniami tlenu, nie stwierdzono statystycznie istotnego wzrostu jego koncentracji w strefie naddennej, w związku z dużym zapotrzebowaniem tlenowym bogatych w materię organiczną osadów dennych. Zasobność ta warunkowała także brak zmian w zawartości azotu amonowego w hypolimnionie, z uwagi na okresowy wzrost ich stężenia w końcu lata, towarzyszący obniżeniu koncentracji azotanów. **Zależności te wskazują na zachodzenie dysymilacyjnej redukcji azotanów do azotu amonowego (DNRA) w tej części roku. W czasie odtlenienia osadów dennych w miesiącach letnich głównym procesem odpowiedzialnym za transformację związków azotu w strefie naddennej była denitryfikacja, prowadzona przez heterotroficzne bakterie wykorzystujące azotany jako akceptor elektronów i skutkująca uwalnianiem azotu w formie gazowego  $\text{N}_2$ .**

Zgodnie z założeniami, proces denitryfikacji uniemożliwił redukcję żelaza do formy dwuwartościowej, niezdolnej do adsorbowania fosforu. W konsekwencji koncentracje zarówno fosforanów, jak i fosforu ogólnego uległy istotnemu obniżeniu zarówno w hypolimnionie, jak i w płytszych warstwach wody. W epilimnionie odnotowano także zmniejszenie zawartości azotu amonowego, wynikające z adsorpcji

tych jonów na flokułach powstających w procesie strącania fosforu, a częściowo także z uwagi na zmniejszone obciążenie zewnętrzne.

Równoczesne obniżanie zawartości fosforanów i azotu amonowego, a w szczególności tego drugiego jonu, na co wskazują zależności statystyczne, prowadziły do redukcji biomasy sinic, szczególnie gatunków wykorzystujących to źródło azotu tj. *Dolichospermum flos-aquae*, *Planktothrix agardhii*, *Limnothrix redekei*. Obniżenie biomasy sinic manifestowało się zarówno w zwiększonej przezroczystości wód, jak i niższych koncentracjach chlorofilu-a, a towarzyszyły mu zmiany w strukturze fitoplanktonu, polegające na zwiększeniu udziału okrzemek – szczególnie w tzw. latach mokrych, oraz kryptofitów – typowych przedstawicieli fitoplanktonu dla niestabilnych warunków środowiskowych. **Zmienność dominujących grup w kolejnych latach wskazuje na zmieniające się warunki w jeziorze, wynikające zarówno z prowadzonej rekultywacji, ale także z wpływu warunków pogodowych, takich jak wysoka temperatura czy zwiększone natężenie opadów atmosferycznych. Wspólne oddziaływanie tych presji, skutkujące zwiększeniem różnorodności biologicznej zgrupowania fitoplanktonu, wpisuje się w hipotezę umiarkowanych zakłóceń, wskazując na występowanie w jeziorze wewnątrz ekosystemalnych procesów, których pobudzeniu służy zrównoważona rekultywacja.**

Brak wspierających metod biologicznych, szczególnie biomanipulacji, a co za tym idzie niekorzystna struktura ichtiofauny jeziora, opartej na rybach karpiowatych, wpływały na strukturę zgrupowania zooplanktonu. Było ono w Jeziorze Uzarzewskim zdominowane przez typowe dla wód eutroficznych wrotki, przy wyraźnym braku dużych filtrujących wioślarek, co uniemożliwiało skuteczną kontrolę *top-down*.

### **3.2 Oddziaływanie Efektywnych Mikroorganizmów (EM) na chemizm wód,**

#### ***zbirowiska planktonu i makrofity w procesie rekultywacji [H2]***

Do metod zrównoważonej rekultywacji jezior, lecz o nie zweryfikowanej dotąd skuteczności, należy zastosowanie EM (*Effective Microorganisms*), czyli mieszanin mikroorganizmów mających za zadanie m.in. wiązać fosfor w postaci polifosforanowej w swoich komórkach. Skuteczna współpraca z przedsiębiorstwem realizującym projekty rekultywacji z zastosowaniem tej technologii, pozwoliła ocenić jej skuteczność w rekultywacji płytkiego hipertroficznego jeziora Konin. Oprócz tej metody w jeziorze zastosowano także słomę jęczmienną, eksponowaną w strefie litoralu w sezonie wegetacyjnym, natomiast rok wcześniej nastąpiło wyeliminowanie dopływu żyznych



wód rzecznych, poprzez podwyższenie grobli oddzielającej jezioro od rzeki i zamontowanie jazu uniemożliwiającego cofkę wód. Zmiany odnotowane w funkcjonowaniu ekosystemu w ciągu dwóch lat były wypadkową tych oddziaływań, przy czym słoła jęczmienna miała wśród nich najmniejsze znaczenie, na co wskazują wciąż utrzymujące się zakwity sinic.

**Zwiększenie różnorodności planktonu obserwowano jedynie krótko po wprowadzeniu mieszaniny bakterii do osadów dennych, co wynikało ze zmian w transformacji związków azotu.** Dopływ azotanów w procesie nityfikacji skutkował rozwojem zielenic, a także okrzemek i kryptofitów, przy jednoczesnym niemal zupełnym wyeliminowaniu sinic. Zmiana bazy pokarmowej stymulowała krótkotrwałe zwiększenie liczebności wioślarek w zooplanktonie. Wzrost zawartości azotu amonowego w czasie, wynikający z intensywnego rozkładu materii organicznej, w którą zasobne były osady jeziora, powodującego jednocześnie redukcję koncentracji tlenu rozpuszczonego, ograniczał proces nityfikacji. W konsekwencji tych przemian związków azotu ponownie silnemu rozwojowi ulegały sinice, szczególnie gatunki korzystające z azotu amonowego, w tym tropikalny gatunek *Raphidiopsis raciborskii*. **W okresie letnim po aplikacji EM odnotowano wyraźny wzrost liczebności tej sinicy, a towarzyszył jej inny przedstawiciel Nostocales *Aphanizomenon gracile*, zastępując dominujące przed rekultywacją gatunki *Planktothrix agardhii* i *Limnothrix redekei* (Oscillatoriales).** Zmiana ta wynikała nie tylko ze wzrostu koncentracji azotu amonowego, lecz głównie podyktowana była zmniejszeniem koncentracji związków fosforu. *R. raciborskii* i *A. gracile* należą bowiem do sinic funkcjonujących dobrze w warunkach niedoboru fosforu, z uwagi na zdolność do jego akumulacji w komórkach.

Wiosną kolejnego roku nie prowadzono już zabiegów rekultywacyjnych, a odnotowano zbliżone do ubiegłorocznych zmiany sezonowe w strukturze fitoplanktonu, tj. większą jego różnorodność w okresie wiosny i dominację sinic z rzędu Nostocales latem, co wskazuje na rolę zabiegów ochronnych w funkcjonowaniu ekosystemu. Brak dopływu wód rzecznych, w których niemal przez cały rok w znacznych liczebnościach obecne były *P. agardhii* i *L. redekei* sprzyjał wiosną zwiększeniu liczebności okrzemek i zielenic, zaś ta zmiana bazy pokarmowej umożliwiała krótkotrwałe zwiększenie liczebności wioślarek. Letni wzrost temperatury, warunkujący intensywne krążenie związków biogenych w płytkich jeziorach, stymulował rozwój sinic *R. raciborskii* i *A. gracile*, co wpływało na wyraźne zwiększanie koncentracji chlorofilu-a, a co za tym idzie obniżenie przezroczystości wody. Zawartość związków fosforu – mimo wyraźnego

zmniejszenia w odniesieniu do lat przed rekultywacją – była typowa dla akwenów silnie żyznych. **Zastosowane zabiegi nie przyniosły zatem długotrwałych rezultatów, a przeprowadzone badania wskazują, że EM w połączeniu z redukcją obciążenia zewnętrznego mogą stymulować krótkotrwałe zmiany w strukturze planktonu. Nie są jednak w stanie wyeliminować długoletniej dominacji sinic w okresie lata, co wiąże się z zasobnością ekosystemu w związki biogenne, szczególnie azot amonowy sprzyjający rozwojowi niektórych gatunków z rzędu Nostocales.**

Brak zmian w przezroczystości wody spowodował, że nie odnotowano w jeziorze Konin zwiększenia udziału makrofitów zanurzonych. Odpowiadał za to zjawisko również pólplunny charakter powierzchniowej warstwy osadów dennych, uniemożliwiający ich zakorzenienie się, a wynikający z silniej podatności osadów na resuspensję z uwagi na bardzo małą głębokość jeziora.

### ***3.3 Ocena zmian zachodzących w jakości wody pod wpływem kilku jednocześnie stosowanych metod rekultywacji [H3]***

W początkowym okresie rekultywacji nie stwierdzono zwiększenia się zawartości tlenu rozpuszczonego w strefie hypolimnionu pomimo jej natleniania, co wynika z wysokiego zapotrzebowania mikroorganizmów obecnych w osadach dennych na ten pierwiastek. Tlen dostarczany przez funkcjonujący aerator był natychmiast wykorzystywany w procesie mineralizacji materii organicznej, co zintensyfikowało ten proces i spowodowało nawet pogorszenie warunków tlenowych w pierwszych latach rekultywacji. **W kolejnych latach rekultywacji zarówno czas występowania, jak i zasięg strefy beztlenowej ulegał ograniczeniu w wyniku zmniejszającej się dostawy świeżej materii organicznej na skutek redukcji biomasy fitoplanktonu, manifestującej się w niższych koncentracjach chlorofilu-a.** Redukcja ta wynikała z powtarzanego 3-5 razy w sezonie wegetacyjnym strącania jonów fosforanowych z toni wodnej, ograniczającego ilość związków biogennych dostępnych dla fitoplanktonu. Jednocześnie **mniej ilość materii organicznej na powierzchni osadów dennych przełożyła się na ograniczenie intensywności zasilania wewnętrznego w fosfor w osadów dennych, dzięki czemu odnotowano zmniejszenie stężeń związków fosforu w hypolimnionie jeziora.** Dalszemu obniżaniu ilości fosforu sprzyjało zwiększanie się zawartości tlenu w strefie naddennej, dzięki prowadzonej aeracji pulweryzacyjnej. Oprócz zwiększania zasobów tlenu w hypolimnionie przyczyniała się ona do niewielkiego zwiększenia temperatury w tej strefie jeziora, co może powodować intensyfikację dekompozycji materii organicznej,



i przyczyniać się do ponownego uwalniania z niej związków biogennych. Redukcja ilości świeżej materii pochodzącej z sedymentującego planktonu ogranicza to ryzyko.

Wyraźnym symptomem skutecznej inaktywacji jonów fosforanowych i amonowych na drodze aplikacji chlorku magnezu było obniżenie ich stężeń we wszystkich trzech badanych warstwach wody. W hypolimnionie transformacje związków azotu były także determinowane zmieniającymi się koncentracjami tlenu rozpuszczonego. Przy niskich jego zawartościach azot amonowy ulegał utlenieniu w procesie nityfikacji, a następnie denityfikacji, o czym świadczyło całkowite wyczerpanie azotanów przy zmniejszającej się zawartości azotu amonowego. **Wraz ze zwiększaniem się zasobów tlenu w strefie naddennej rola denityfikacji ulegała ograniczeniu na korzyść nityfikacji, na co wskazują zwiększające się stężenia azotanów w kolejnych latach. Mają one ogromne znaczenie dla utrzymania potencjału oksydo-redukcyjnego na wysokim poziomie, co tworzy warunki do wiązania jonów fosforanowych z żelazem, dawkowanym w procesie inaktywacji. W rezultacie dwie zastosowane metody tj. natlenianie i strącanie fosforu potęgują wzajemnie swoje oddziaływanie, sprzyjając efektywnemu ograniczeniu koncentracji fosforu w toni wodnej.**

Cechy fizyczno-chemiczne wód jeziora były związane z cechami wód zasilającej je Strugi Gołanieckiej, szczególnie w przypadku stanowiska położonego bliżej tego dopływu. Odnosiło się to zwłaszcza do azotu azotanowego, wprowadzanego w wyższych stężeniach szczególnie w okresie wczesnowiosennym, z uwagi na rolniczy charakter zlewni jeziora. W przypadku Jeziora Durowskiego nie podejmowano działań o charakterze ochronnym, bowiem zewnętrzne ładunki zanieczyszczeń powodujących nasilanie eutrofizacji pochodzą głównie ze źródeł przestrzennych. Zabiegi rekultywacyjne, szczególnie inaktywacja fosforu, po części stanowią próbę ograniczenia tego oddziaływania zewnętrznego. Właściwości buforujące wykazują położone powyżej jeziora, retencjonujące znaczną część związków biogennych dopływających ze zlewni.

**Zmniejszenie stężenia chlorofilu-a, skutkujące zwiększeniem przezroczystości wody jeziora, wskazuje na zmiany zachodzące w strukturze ichtiofauny i zooplanktonu pod wpływem biomanipulacji, uzupełniającej wyżej omówione dwie metody rekultywacji.** Uzyskanie efektu *top-down* możliwe było dzięki zarybianiu narybkiem gatunków drapieżnych, powtarzanemu corocznie. Dodatkowym czynnikiem pozytywnie wpływającym na sukces rozwoju ryb drapieżnych jest poprawa warunków tlenowych w hypolimnionie.

### **3.4 Wykazanie roli zabiegów ochronnych w zlewni jeziora przed i podczas stosowania zabiegów zrównoważonej rekultywacji [H4, H2]**

Proces udanej rekultywacji bierze swój początek w badaniach funkcjonowania ekosystemu jeziornego nadmiernie obciążonego ładunkiem biogenów ze źródeł antropogenicznych. Konieczne jest dobranie właściwej metody rekultywacji do konkretnego ekosystemu, by przeprowadzone zabiegi wykorzystywały mechanizmy wewnątrzekosystemalne do poprawy jakości wody, co pozwala uniknąć negatywnego oddziaływania mechanizmów sprzężenia zwrotnego, niweczących zainicjowane procesy. Przykładem może być zaproponowany scenariusz działań dla jeziora Bielsko, wykazujący, że zestaw działań wykorzystujących naturalne procesy biogeochemiczne może stanowić zabezpieczenie wód jeziornych przed dopływem zanieczyszczeń ze zlewni [H4].

Jeziro Bielsko to duży (blisko 260 ha) akwen o rynnowym charakterze i głębokości zmieniającej się w zakresie od zaledwie 1 m w części północnej do maksymalnie 23 m w części południowej. Największy wpływ na jakość jego wód wywierają ścieki dopływające w części północnej, z położonego nad jeziorem miasta Biały Bór. Są to zarówno ścieki komunalne, niedostatecznie oczyszczone w lokalnej oczyszczalni ścieków i odprowadzane do rowu, skąd trafiają bezpośrednio do jeziora, a także ścieki deszczowe, wprowadzane w kilku punktach do rzeki Białej, zasilającej jezioro. Wieloletnia presja skutkuje stopniowym zanieczyszczeniem i eutrofizacją, manifestującą się w płytszej części akwenu namnażaniem sinic (*Planktothrix agardhii*, *Aphanizomenon gracile*, *Planktolyngbya limnetica* i *Pseudanabaena limnetica*), wpływających na niską przezroczystość wody. Obciążenie zewnętrzne przekroczyło dopuszczalny ładunek azotu ponad 3-krotnie, a fosforu – ponad 2-krotnie (wg kryteriów Vollenweidera). **Biorąc pod uwagę wciąż jeszcze niezłą kondycję jeziora w jego południowej części, istnieje szansa zminimalizowania środków finansowych na kosztowną rekultywację (wynikającą z dużej powierzchni akwenu) przy podjęciu działań ochronnych obejmujących najważniejsze źródła zanieczyszczeń. Działania te powinny wykorzystywać naturalne procesy biogeochemiczne w celu zmniejszenia ładunków fosforu i azotu na drodze m.in. asymilacji przez makrofity, sedymentacji, depozycji w glebie [H4].**

Kluczowe dla kondycji jeziora jest wyeliminowanie dopływu ścieków komunalnych, pomimo ich oczyszczania w lokalnej, nowoczesnej oczyszczalni ścieków. Nie jest ono wystarczające pod względem zawartości związków biogenych, zwłaszcza

w okresach dopływu znacznej ilości ścieków deszczowych. Rozwiązaniem może być ich przekierowanie na polećka filtracyjne, położone poza zlewnią jeziora, gdzie doczyszczanie następować będzie na drodze filtracji w gruncie. W przypadku ścieków deszczowych najkorzystniejszą metodą zmniejszenia ich zanieczyszczenia jest skierowanie do dwuczęściowego systemu, składającego się z: (a) niewielkiego stawu, gdzie następować będzie sedymentacja zawiesiny, inaktywacja fosforu (skała dolomitowa) oraz zmagazynowanie związków biogennych w biomacie roślin, oraz (b) oczyszczalni makrofitowej (tzw. *constructed wetland*), celem dalszego obniżenia stężeń związków biogennych. **Intensyfikacji procesu poprawy jakości wód jeziora, jaki następować będzie powoli w przypadku samego wyeliminowania zewnętrznych źródeł zanieczyszczeń, służyć może zrównoważona rekultywacja za pomocą niewielkich dawek związków chemicznych wiążących fosfor, wspomagana procesem biomanipulacji [H4].**

Jak już wcześniej wspomniano, działania o charakterze ochronnym dla wód jeziornych zastosowane zostały także dla jeziora Konin, a polegały na wyeliminowaniu dopływu wód rzeki Obry podczas wysokiego stanu w okresie wiosennym, poprzez podwyższenie grobli oddzielającej jezioro od rzeki i zamontowanie jazu uniemożliwiającego cofkę wód. Zmiany w strukturze planktonu zaobserwowano już w kolejnym roku po tym zabiegu, a polegały na zwiększeniu jego różnorodności – w przypadku fitoplanktonu w kierunku mniejszej roli sinic na rzecz haptofitów, zielenic, a zooplanktonu – w postaci zwiększenia udziału filtrujących wioślarek. Podobną strukturę obu zbiorowisk odnotowano wiosną kolejnego roku, co wiązać można z brakiem dostawy żywnych wód rzecznych. Zmiany te potwierdzają konieczność eliminowania zewnętrznych źródeł związków biogennych, ale także wód wnoszących sinicowy fitoplankton, jak miało to miejsce w przypadku jeziora Konin. Dowodem na powiązanie charakteru fitoplanktonu jeziornego z rzeczny był dominacja tych samych gatunków sinic reprezentujących rząd Oscillatoriales (*P. agardhii* i *L. redekei*), które wyraźnie ustąpiły na rzecz przedstawicieli Nostocales po przeprowadzeniu zabiegów ochronnych [H2].

#### 4. Podsumowanie

Proces zrównoważonej rekultywacji jezior, niezależnie od specyfiki podejmowanych działań i zastosowanej metody, wpływa zarówno na fizyczno-chemiczne cechy wód jeziornych, jak i na elementy łańcucha troficznego, co wzajemnie oddziałuje na

funkcjonowanie ekosystemu jeziornego. Połączenie inaktywacji fosforu z dostawą azotanów do hypolimnionu pozwoliło na skuteczne obniżenie stężeń zarówno związków fosforu jak i azotu, na drodze odpowiednio zwiększonego wiązania w osadach dennych oraz denitryfikacji. Zmniejszające się stopniowo koncentracje związków biogennych działały na zasadzie umiarkowanych zakłóceń, którym podlegało zbiorowisko fitoplanktonu, reagujące zmianami w swojej strukturze. Polegały one na zmniejszaniu liczebności i biomasy sinic na korzyść zielenic, okrzemek i kryptofitów, przyczyniając się do zwiększania różnorodności biologicznej tego zbiorowiska.

Jednoczesne zastosowanie trzech metod rekultywacji, tj. inaktywacji fosforu, natleniania hypolimnionu oraz biomanipulacji, wpłynęło na ograniczenie dostawy na powierzchnię osadów dennych świeżej materii organicznej poprzez limitowanie zawartości jonów fosforanowych w toni wodnej. Wraz z poprawiającymi się stopniowo warunkami tlenowymi umożliwiło to zmniejszenie zawartości fosforu w hypolimnionie poprzez ograniczenie zasilania wewnętrznego. Obniżeniu uległy także zawartości azotu amonowego na drodze strącania wraz z jonami fosforanowymi (struwit), jak i utlenieniu do azotanów. Ich koncentracje w hypolimnionie jeziora ulegały zwiększeniu, tworząc w kolejnych latach rekultywacji warunki coraz bardziej sprzyjające wiązaniu fosforu w osadzie. Powyższe zmiany skutkowały ograniczeniem rozwoju fitoplanktonu i wyraźnym wzrostem przezroczystości wody. Czynnikiem dodatkowo stymulującym niższą produktywność była biomanipulacja, której sukces wzrasta wraz z poprawą warunków tlenowych w strefie naddennej.

W niewielkim stopniu podobne zmiany zostały zaindukowane poprzez aplikację efektywnych mikroorganizmów, lecz miały one charakter nietrwały, ograniczając się do jednego sezonu, a dodatkowo stanowiły efekt również zabiegów ochronnych. Zmniejszenie stężeń fosforu przy jednoczesnym zwiększeniu zawartości azotu amonowego spowodowało w konsekwencji zmianę struktury dominujących sinic z przedstawicieli Oscillatoriales na Nostocales, lecz bez oczekiwanej zmiany na poziomie właściwości wód w zakresie ich przezroczystości, umożliwiającej powrót makrofitów zanurzonych oraz wpływającej na atrakcyjność akwenu do wykorzystania rekreacyjnego.

Zastosowanie zrównoważonej rekultywacji jezior, podobnie jak wszystkie działania naprawcze obejmujące samą misę jeziorną, wymaga w pierwszej kolejności podjęcia działań zmierzających do ochrony akwenu przed nadmiernym obciążeniem zewnętrznym, będącym przyczyną pogorszenia jakości wód. Ochrona ta winna opierać się na metodach wykorzystujących naturalne zjawiska i procesy biogeochemiczne takie

jak sedymentacja, filtracja przez grunt czy pobór związków biogenych przez roślinność i akumulacja w jej biomacie. Ich zastosowanie przed podjęciem procesu rekultywacji znacząco zwiększa szansę jej powodzenia, a jeżeli same w sobie okażą się niewystarczające dla oczekiwanej poprawy jakości wód, możliwe będzie jej osiągnięcie przez podjęcie zrównoważonej rekultywacji.

### **5. Znaczenie osiągnięcia**

Przedstawione wyniki znacząco poszerzają obszar wiedzy z zakresu ekologii wód śródlądowych – hydrobiologii, obejmujący zmiany następujące w ekosystemach wodnych na skutek podejmowania procesu rekultywacji opartego o metody zrównoważone. Literatura zarówno polska, jak i światowa bogata jest w analizy i oceny skuteczności różnych metod rekultywacji, zwykle tylko i wyłącznie technicznych lub biologicznych, wykazujących zmienność chemizmu wód i biotycznych elementów ekosystemu, zachodzących pod ich wpływem. Znacznie rzadsze są opracowania dotyczące rekultywacji z wykorzystaniem więcej niż jednej metody rekultywacji. Rekultywacja zrównoważona ciągle jeszcze nie doczekała się pełnej oceny skuteczności. W niniejszym osiągnięciu przedstawiono oddziaływanie na ekosystem jeziora od jednej do trzech metod rekultywacji zrównoważonej, stosowanych równocześnie. Przeanalizowano też dodatkowe oddziaływanie zabiegów ochronnych, ograniczających zewnętrzny ładunek biogenów. W dużej mierze są to nowatorskie wyniki badań, gdyż odnoszą się do innowacyjnego podejścia do rekultywacji jezior, opartego o metody wykorzystujące naturalne zasoby środowiska, generujące przebudowę ekosystemu w kierunku poprawy stanu ekologicznego, zgodnego z oczekiwaniami Ramowej Dyrektywy Wodnej. Ocena zmian zachodzących w ekosystemie jeziornym pod wpływem podejmowanych działań rekultywacyjnych ma więc ważne znaczenie poznawcze, dla zrozumienia mechanizmów odpowiedzialnych za poprawę jakości wody, ale również jest kluczowa dla oceny efektywności i możliwości zastosowania metod zrównoważonej rekultywacji w innych akwenach.

Z aplikacyjnego punktu widzenia istotne jest także wykazanie niskiej skuteczności metody opartej o efektywne mikroorganizmy, aspirującej do grupy metod zrównoważonych. Jej szerokie promowanie jako niezwykle skutecznej metody zarówno wśród organów prowadzących i finansujących proces rekultywacji jezior, jak i w środowisku naukowym, wymagało rzetelnej weryfikacji na drodze analizy

funkcjonowania ekosystemu w trakcie, tuż po aplikacji, jak i w dłuższym okresie od jej zastosowania.

e) omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Moje zainteresowanie problematyką zmian zachodzących w ekosystemach wodnych pod wpływem zabiegów rekultywacyjnych rozpoczęło się podczas studiów doktoranckich. Pod kierunkiem prof. dr hab. Ryszarda Gołdyna analizowałam wpływ usuwania osadów dennych i nadmiernie rozwijającej się roślinności wynurzonej na liczne elementy ekosystemu niewielkiego zbiornika Antoninek położonego w Poznaniu. Szerokie badania obejmowały zarówno chemizm wód i osadów, bilans związków biogennych, zmiany w strukturze planktonu i makrofitów, czasowe zróżnicowanie rozwoju makroglonów z rodzaju *Cladophora* sp., zależności między makrofitami/makroglonami a fauną naddenną a także problem zasilania wewnętrznego w relacji do zmieniającej się struktury producentów pierwotnych [Załącznik nr 4, sekcja IIA poz. 1-2; sekcja IID publikacje poz. 1,3,6-8,11-13; sekcja IID monografie poz. 1,2,5]. Przed obroną doktoratu opublikowałam 7 prac w czasopismach spoza listy JCR oraz 1 rozdział w monografii, a uzyskane wyniki przedstawiłam w postaci 1 referatu i 16 posterów łącznie na 10 konferencjach, w tym jednej zagranicznej.

Problematyka reakcji ekosystemu jeziornego na zabiegi rekultywacyjne była przeze mnie podejmowana także po uzyskaniu stopnia doktora we współpracy z zespołem Zakładu Ochrony Wód. Już od roku 2005 badaniami objęte zostały dwa akwenty (Jezioro Uzarzewskie, zbiornik Rusałka), w których zastosowano strącanie fosforu za pomocą koagulantów żelazowych. W rezultacie stopniowemu obniżaniu ulegała intensywność zasilania wewnętrznego w fosfor, przy czym osady denne wciąż stanowiły źródło tego pierwiastka dla toni wodnej [Załącznik nr 4, sekcja IIA poz. 4; sekcja IID publikacje, poz. 5 i 14; sekcja IID monografie, poz. 4]. Ograniczenie roli osadów dennych jako źródła fosforu wpłynęło na zmniejszenie jego ilości w wodzie w części roku, lecz nadal zbyt wysokie koncentracje obecne w okresie lata stymulowały nadmiernie rozwijający się fitoplankton, w tym sinice, szczególnie w głębszym ze zbiorników tj. w Jeziorze Uzarzewskim. Zjawisko to wynikało z odtlenienia strefy naddennej, które w znacznie mniejszym stopniu obserwowane było w płytszym zbiorniku Rusałka [Załącznik nr 4, sekcja IID publikacje, poz. 4; sekcja IID monografie, poz. 3 i 14]. Dalsze badania tego akwenty pozwoliły wykazać potrzebę systematycznego strącania fosforu w sytuacji ciągłego dopływu tego pierwiastka ze zurbanizowanej zlewni



oraz wskazały na rolę roślinności zanurzonej w poprawie jakości wody, wynikającej m.in. z konkurencji o zasoby z fitoplanktonem [Załącznik nr 4, sekcja IID monografie, poz. 22,29,39]. W przypadku Jeziora Uzarzewskiego wyniki wieloletnich badań stały się podstawą publikacji zaliczonej do osiągnięcia naukowego [H1].

Spośród jezior rekultywowanych zarówno metodami technicznymi (natlenianie hypolimnionu oraz inaktywacja fosforu), jak i biologicznymi (biomanipulacja) badaniami objęto także Jezioro Swarzędzkie, w którym stwierdzono zmniejszenie stężeń związków biogennych oraz poprawę warunków tlenowych w strefie naddennej na skutek procesu naprawczego. Zmiany te znalazły wyraz w obniżeniu liczebności fitoplanktonu oraz wyeliminowaniu zjawiska silnych zakwitów sinic, co skutkowało zwiększeniem przezroczystości wody [Załącznik nr 4, sekcja IIA, poz. 11 i 14; sekcja IID monografie, poz. 19,28,35,39].

Prowadzone od roku 2005 badania wód Zbiornika Maltańskiego, poddanego rekultywacji metodą biomanipulacji oraz inaktywacji fosforu koagulantem żelazowym wykazały, że zastosowanie niewielkich dawek tego związku kilkakrotnie w ciągu sezonu wegetacyjnego pozwala w tego typu polimiktycznych akwenach osiągnąć zwiększenie przezroczystości wody pod warunkiem ścisłej kontroli procesu i szybkiego reagowania w przypadku gwałtownego dopływu związków biogennych. Sytuacja ta ma szczególne znaczenie dla przepływowego Zbiornika Maltańskiego, zasilanego żyznymi wodami rzeki Cybiny [Załącznik nr 4, sekcja II D publikacje, poz. 15,17; sekcja IID monografie poz. 8,9,13,15,18,21]. Odnotowane zmiany w strukturze fitoplanktonu wynikały z jednoczesnego oddziaływania zmniejszających się stężeń fosforu oraz presji ze strony zgrupowania zooplanktonu, szczególnie filtrujących wioślarek, których rozwój umożliwiały prowadzone zabiegi biomanipulacyjne. Liczebność fitoplanktonu nie uległa jednak znaczącej zmianie, co wiązać można z ciągłym dopływem związków biogennych ze zlewni [Załącznik nr 4, sekcja IIA, poz. 8; sekcja IID monografie, poz. 39].

Badania reakcji ekosystemu jeziornego na zabiegi rekultywacyjne na poziomie fitoplanktonu czy makrofitów prowadzone były także w innych zbiornikach m.in. w Jeziorze Głębokim w Szczecinie oraz Zbiorniku Średnim w Turawie, w każdym przypadku wskazując na pozytywne oddziaływanie zmniejszających się stężeń związków fosforu na poprawę jakości wód [Załącznik nr 4, sekcja IIA, poz. 10; sekcja IID publikacje poz. 15; sekcja IID monografie, poz. 21,26,36].

Do rekultywowanych akwenów należy także Jezioro Góreckie, lecz projekt badawczy, w którym brałam udział dotyczył zależności troficznych w tym akwenie na tle

wpływu wód kopalnych oraz ptasich odchodów (grant MNiSW nr NN 303 391136). Uzyskane wyniki, pochodzące m.in. z wykonanych przeze mnie analiz próbek wody potwierdziły utrzymującą się wysoką trofię wód jeziora oraz wskazały na znaczącą rolę jonów amonowych oraz fosforu dla rozwoju fitoplanktonu, zaś utlenionych związków azotu dla bakterii występujących w wodach jeziornych [Załącznik nr 4, sekcja IIA, poz. 9; sekcja IID monografie, poz. 10]. Dodatkowo we współpracy ze studentkami wykonującymi pod moją opieką prace dyplomowe, przeprowadziłam badania roli osadów dennych w tym jeziorze, wraz z oceną możliwości ograniczenia zasilania wewnętrznego za pomocą innowacyjnych preparatów bentonitowych oraz uznanego na rynku środka Phoslock®. Wykazano największe zasilanie wewnętrzne w fosfor w strefie odtlenionego głębooczka, a także potencjał obu badanych preparatów do zmiany kierunku wymiany tego pierwiastka w stronę jego akumulacji w osadzie dennym [Załącznik nr 4, sekcja IID monografie, poz. 20].

Wspomniany preparat bentonitowy został opracowany w zespole autorskim, w którym uczestniczyłam, składającym się z pracowników Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza oraz dwóch przedsiębiorstw (AERATOR Poznań oraz ZGM Zębiec SA). Należał on do serii preparatów o nazwie SINO BENT© służących wiązaniu fosforu w osadzie dennym z uwzględnieniem czynników środowiskowych panujących w tym medium. Preparaty te cechują się: (i) zawartością żelaza, które najskuteczniej wiąże fosfor; (ii) spełnianiem swojego zadania w różnych warunkach środowiskowych, w tym w warunkach redukcyjnych; (iii) brakiem toksyczności w środowisku wodnym dla bytujących tam organizmów w każdych warunkach środowiskowych, (iv) dostępnością do szerokiego stosowania pod względem ekonomicznym oraz (v) łatwością zastosowania. Innowacyjność preparatu polega nie tylko na jednoczesnym zastosowaniu w odpowiednich proporcjach kilku metali wiążących fosfor, osadzonych na odpowiednim nośniku lecz również na jego formie, wpływającej na sposób praktycznego stosowania preparatu (granulat, pasta). Testowane szybsze sedymentowanie preparatu wprawdzie ogranicza zmniejszenie stężenia fosforu w toni wodnej tuż po jego zastosowaniu, jednak pozwala na stopniowe, długotrwałe uwalnianie komponentów w trakcie zalegania preparatu w osadach dennych i tworzenie przez nie połączeń z fosforanami. Wpływa to znacząco na zmniejszenie stężeń fosforanów w wodzie nadosadowej i śródosadowej, zwiększając zawartość fosforu trwale związanego w osadzie. Tak opracowane pod względem składu i charakterystyki działania preparaty zostały objęte zgłoszeniem patentowym, złożonym do Urzędu Patentowego Rzeczypospolitej Polskiej w roku 2009,



zaś w roku 2013 została przez powyższy urząd udzielona ochrona patentowa [Załącznik nr 4, sekcja IIB]. Zgłoszenie patentowe poprzedzone zostało przeprowadzeniem 18 krótko- i długotrwałych doświadczeń *ex-situ*, podczas których przebadano 25 preparatów. Ponadto, w latach 2008 i 2009 przeprowadzono dwa długoterminowe doświadczenia *in-situ* na skalę ćwierćtechniczną, dowodząc skuteczności zaproponowanych środków [Załącznik nr 4, sekcja IID monografie, poz. 12 i 16].

Potrzeba opracowania preparatów wiążących fosfor wynikała z jego nadmiernej ilości w toni wodnej zeutrofizowanych jezior, a także ze znacznych ilości tego pierwiastka uwalniających się z osadu dennego. Eksperymentalne badania zasilania wewnętrznego oparte o niezaburzone rdzenie osadów dennych prowadziłam już podczas pracy doktorskiej, kontynuując je do dzisiaj z uwagi na konieczność poznania roli osadów dennych w ekosystemie jeziornym w świetle diagnozy obciążenia wód jeziornych związkami biogennymi. Diagnoza taka poprzedzać musi propozycję zabiegów ochronnych i rekultywacyjnych, a ważną jej częścią jest ocena wielkości ładunku dopływającego ze źródeł wewnętrznych. Prowadzone na licznych jeziorach badania w ramach projektu (Grant MNiSW nr N305 108 31/3632) wykazały, że intensywność uwalniania fosforu jest determinowana zarówno przez temperaturę, jak i koncentrację tlenu, wpływające na przemiany związków, w postaci których związany jest fosfor [Załącznik nr 4, sekcja IIA, poz. 3,4,6,15,16; sekcja IID publikacje poz. 4 i 14; sekcja IID monografie poz. 4,6,24,38].

Wśród moich zainteresowań naukowych znalazł się także problem zanieczyszczenia ścieków deszczowych, wprowadzanych kanalizacją deszczową do płynących wód powierzchniowych i ich wpływu na chemizm wód odbiornika i organizmy w nim bytujące. Badania prowadzone w ramach projektu badawczego realizowanego wraz z Wydziałem Chemii UAM i Uniwersytetem Przyrodniczym w Poznaniu (Grant MNiSW nr NN305 085635) pozwoliły stwierdzić, że wody deszczowe i roztopowe odpływające ze zlewni zajmowanych przez osiedla mieszkaniowe i drogi prowadzące do posesji cechowało zanieczyszczenie związkami fosforu. Ponadto, porównanie koncentracji związków biogennych między zlewniami mieszkalnymi i przemysłowymi wykazało wyższe zanieczyszczenie wód dopływających z terenów osiedlowych [Załącznik nr 4, sekcja IIA, poz. 7; sekcja IID monografie poz. 7], jak i bardziej negatywny wpływ na zgrupowania makrozoobentosu [Załącznik nr 4, sekcja IIA, poz. 13].

Z uwagi na pozostawanie rekultywowanego jeziora w ścisłej relacji ze zlewnią oraz znaną mi już rolę ścieków deszczowych w zanieczyszczaniu wód powierzchniowych, do zainteresowań badawczych włączyłam problematykę zanieczyszczeń przestrzennych i punktowych w aspekcie ich wpływu na jakość wód zbiorników poddanych działaniom naprawczym. Na przykładzie zbiornika Rusałka wraz z zespołem stwierdziłam potrzebę dodatkowego podczyszczania ścieków deszczowych przed ich wprowadzaniem do odbiornika, którym była rzeka Bogdanka, jak i znaczne zanieczyszczenie wód dopływających do zbiornika fosforem, wymagające kontynuowania procesu inaktywacji tego pierwiastka w wodach Rusałki [Załącznik nr 4, sekcja IID monografie, poz. 22 i 29]. Podobne wyniki przyniosły badania obciążenia zewnętrznego Jeziora Raczyńskiego w Zaniemyślu, poddanego presji zarówno ze strony rolnictwa, jak i ścieków deszczowych [Załącznik nr 4, sekcja IID monografie, poz. 34]. Analiza źródeł zanieczyszczenia wód jeziornych nadmierną ilością związków biogenych obejmować powinna zatem zarówno obszary zurbanizowane, jak i wykorzystywane rolniczo, zbierając różnorodne presje wywierane na ekosystem. Stanowi ona podstawę do zaproponowania działań o charakterze ochronnym i rekultywacyjnym, obejmujących nie tylko samo jezioro i jego bezpośrednie otoczenie, ale także całą zlewnię. Tego typu podejście zastosowano w badaniach jeziora Łekno, położonego niedaleko Wągrowca, a wykazującego się silną eutrofizacją wód, uniemożliwiającą rekreacyjne czy gospodarcze wykorzystanie. Analiza presji w zlewni została rozszerzona o wpływ oczyszczalni ścieków, położonej w pewnej odległości, lecz wprowadzającej niedostatecznie oczyszczone ścieki do rzeki zasilającej jezioro. Oprócz diagnozy stanu jeziora, obejmującej chemizm wód i osadów dennych oraz strukturę fito- i zooplanktonu, przedstawiono możliwości działań zmierzających do poprawy jakości wód, opartych o zasady zrównoważonej rekultywacji, lecz przede wszystkim o eliminację punktowych źródeł zanieczyszczeń [Załącznik nr 4, sekcja IID publikacje, poz. 18].

Problem negatywnego oddziaływania wód dopływających ze zlewni, zwłaszcza o charakterze ściekowym, został przeze mnie także poruszony na kilku konferencjach naukowych, podczas których prezentowałam wyniki badań wód rzeki Obry i jej dopływów, a także hipertroficznym jezior położonych wzdłuż rzeki Obry, wskazując na występowanie wysokich koncentracji chlorofilu-a w wodzie, niskiej przezroczystości, a w osadach dennych silnego potencjału do zasilania toni wodnej w fosfor, będące skutkiem wieloletniego odprowadzania ścieków do wód Obry, jak i rolniczego

charakteru jej silnie zmeliorowanej i przekształconej zlewni [Załącznik nr 4, sekcja IID monografie, poz. 38,39]. Projekt zrealizowany na zlecenie Stowarzyszenia Lokalna Grupa Rybacka Obra-Warta w roku 2015 wskazał na pojawienie się w zlewni nowego źródła zanieczyszczenia w postaci oczyszczalni ścieków dla miasta Zbąszynek [Załącznik nr 4, sekcja IID monografie, poz. 33].

Odmiennym nurtem mojej działalności naukowej stały się badania prowadzone wraz z zespołem pracowników Stacji Ekologicznej UAM w Jeziorach. Ich celem jest ocena zmienności poziomu wód jezior i zbiorników położonych na obszarze Wielkopolskiego Parku Narodowego oraz w jego otulinie. Systematyczne comiesięczne pomiary manualne prowadzone od 2012 roku do chwili obecnej pozwoliły wykazać, że zmiany poziomu wody we wszystkich zbiornikach zachodziły zazwyczaj synchronicznie, a ich kierunek i dynamika były najczęściej zgodne. Typ hydrologiczny badanych zbiorników, ich cechy morfometryczne, charakter zlewni bezpośredniej, jak również zlewni poszczególnych rynien podlodowcowych, nie stanowiły czynnika wiodącego w kształtowaniu fluktuacji poziomu wody. Zależały one głównie od czynników klimatycznych, a przede wszystkim od sum opadów atmosferycznych [Załącznik nr 4, sekcja IID publikacje, poz. 16; sekcja IID monografie poz. 37].

Współpraca z pracownikami Stacji Ekologicznej w Jeziorach zaowocowała także wspólnym rozdziałem w monografii dotyczącej stacji naukowych UAM oraz w monografii poświęconej jeziorom w parkach krajobrazowych województwa wielkopolskiego [Załącznik nr 4, sekcja IID monografie, poz. 30 i 31], a także wspólną organizacją konferencji z okazji 20-lecia Stacji w roku 2009 oraz planowanej na rok 2019 konferencji z okazji 30-lecia jednostki.

f) dane bibliometryczne

Oprócz 4 prac stanowiących osiągnięcie naukowe (IF 11,294; MNiSW 120 pkt.) w okresie po uzyskaniu stopnia doktora byłam autorem i współautorem 16 prac opublikowanych w czasopiśmie z listy JCR oraz 11 prac opublikowanych w innych recenzowanych czasopiśmie. Część mojego dorobku stanowi także krajowy patent przyznany w roku 2013. Ponadto wyniki badań, w których uczestniczyłam stały się podstawą 39 rozdziałów w monografiach w języku polskim i angielskim. Wyniki badań przedstawiłam podczas 46 konferencji w łącznie 87 komunikatach naukowych.

Liczba cytowań moich publikacji wg bazy Web of Science (WoS) wynosi 121 (dla 23 prac), wg bazy Scopus – 169 (dla 21 prac), zaś wg bazy Google Scholar – 319 (dla 48 prac).

Indeks Hirscha wynosi 8 wg baz Web of Science oraz Scopus, zaś w bazie Google Scholar wynosi 10.

Ogólna liczba punktów MNiSW sięgnęła 761 (w tym 732 po uzyskaniu stopnia doktora), zaś sumaryczna wartość wskaźnika IF wyniosła 39,228.

g) omówienie najważniejszych osiągnięć dydaktycznych, popularyzatorskich i organizacyjnych

W ramach działalności dydaktycznej na Wydziale Biologii UAM prowadziłam zajęcia dla studentów Ochrony Środowiska, Biologii, Hydrobiologii i Ochrony Wód oraz Nauczania Biologii i Ochrony Przyrody zarówno w trybie stacjonarnym, jak i niestacjonarnym z przedmiotów rdzeniowych, modułów wybieralnych oraz wykładów monograficznych. Dodatkowo prowadziłam zajęcia w formie wykładów, ćwiczeń oraz zajęć terenowych dla studentów Nadnoteckiego Instytutu UAM w Pile. W latach 2005-2018 sprawowałam opiekę nad łącznie 24 pracami licencjackimi, w tym kierowałam 14 pracami w latach 2012-2018. W zakresie prac magisterskich w latach 2005-2018 opiekowałam się 33 studentami, w tym kierowałam 12 pracami dyplomowymi (w latach 2013-2018). Dla części z tych studentów prowadziłam zajęcia w ramach Seminarium magisterskiego w roku akademickim 2017/2018.

Zajęcia dydaktyczne prowadziłam także w języku angielskim, w tym dla studentów kierunku *Environmental Protection* oraz dla studentów zagranicznych w ramach kursów AMU-PIE. W roku 2016 otrzymałam Dydaktyczną Nagrodę Zespołową stopnia II Rektora Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza. Ważną częścią mojej pracy dydaktycznej jest samokształcenie m.in. w zakresie nowych metod nauczania (e-learning) oraz ciągłego rozwoju umiejętności językowych w zakresie języka angielskiego.

Podjęmowane przeze mnie działania popularyzatorskie stanowiły przede wszystkim zajęcia o charakterze terenowo-warsztatowym prowadzone od roku 2008 do dzisiaj dla uczniów szkół podstawowych, gimnazjalnych i ponadgimnazjalnych m.in. w ramach projektów finansowanych przez Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, a od roku 2018 w ramach projektu „Przygoda z przyrodą – Wielkopolski Park Narodowy laboratorium badawczym Młodego Odkrywcy”,

finansowanego z funduszy Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój. Ponadto, uczestniczyłam w akcjach mających na cel popularyzację nauki np. Poznański Festiwal Nauki i Sztuki, Dni Akademickie na Wydziale Biologii UAM, Festyn Naukowy w Szkole Podstawowej nr 3 w Środzie Wlkp.

W zakresie działalności organizacyjnej jestem przedstawicielem nauczycieli akademickich w Radzie Instytutu Biologii Środowiska na Wydziale Biologii UAM od roku 2016, a w latach 2017-2018 byłam członkiem Rady Wydziału Biologii UAM w części organizacyjno-administracyjnej. W roku 2016 zostałam powołana przez Rektora UAM do Rady Programowej Stacji Ekologicznej w Jeziorach na 4-letnią kadencję.

Szczegółowy wykaz mojej działalności dydaktycznej, popularyzatorskiej oraz organizacyjnej zawarłam w Załączniku nr 4.

*RDondajewska*