

Załącznik 2

AUTOREFERAT

dr Katarzyna Kowalczevska-Madura

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

Poznań, styczeń 2019

1. Imię i nazwisko

Katarzyna Kowalczevska-Madura

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne - z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

- **Licencjat Ochrony Środowiska - 22.06.1998**

Dyplom ukończenia studiów na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu na kierunku Ochrona Środowiska na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych. Egzamin licencjacki (czerwiec 1998).

- **Magister Ochrony Środowiska - 16.06.2000**

Dyplom ukończenia studiów na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu na kierunku Ochrona Środowiska w zakresie Ochrona i Kształtowanie Środowiska Przyrodniczego na Wydziale Biologii.

Praca magisterska: "Jakość wód Zbiornika Maltańskiego w sezonie wegetacyjnym 1999" napisana pod kierunkiem dr Ryszarda Gołdyna.

- **Doktor nauk biologicznych w zakresie biologii-hydrobiologii - 25.10.2005**

Dyplom uzyskania tytułu doktora na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu na Wydziale Biologii.

Rozprawa doktorska: „Wpływ zmian obciążenia związkami biogennymi na strukturę i funkcjonowanie ekosystemu Jeziora Swarzędzkiego” napisana pod kierunkiem Prof. dr hab. Ryszarda Gołdyna.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych

Od 1.10.2005 - zatrudniona na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu na Wydziale Biologii na stanowisku adiunkta w pełnym wymiarze godzin

4. Wskazanie osiągnięcia* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 r. poz. 1789):

a) tytuł osiągnięcia naukowego

Zróźnicowanie sezonowe oraz przestrzenne procesu zasilania wewnętrznego w fosfor zbiorników wodnych różnego typu

b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy)

W skład osiągnięcia wchodzi 5 oryginalnych publikacji naukowych opublikowanych w czasopismach o zasięgu międzynarodowym:

H1. Kowalczevska-Madura K., Dondajewska R., Gołdyn R., 2010. Internal phosphorus loading in selected lakes of the Cybina River valley. Oceanological and Hydrobiological Studies 39 (3): 35-45.

IF: 0.306, MNiSW: 9

H2. Kowalczevska-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. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.10.033>.

IF: 2.740 IF (5-letni): 3.430, MNiSW: 30

H3. Kowalczevska-Madura K., Dondajewska R., Gołdyn R., Podsiadłowski S. 2017. The influence of restoration measures on phosphorus internal loading from the sediments of a hypereutrophic lake. Environmental Science and Pollution Research 24: 14417-14429. DOI: 10.1007/s11356-017-8997-2.

IF: 2.80 IF (5-letni): 2.989, MNiSW: 30

H4. Kowalczevska-Madura K., Dondajewska R., Gołdyn R., Kozak A., Messyas B., 2018. Internal phosphorus loading from bottom sediments of a dimictic lake during its sustainable restoration. Water, Air and Soil Pollution 229: 280, <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3937-4>.

IF: 1.769 IF (5-letni): 1.972, MNiSW: 25

H5. Kowalczevska-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 (1). <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2018.08.008>.

IF: 1.659 IF (5-letni): 1.779, MNiSW: 25

Łączny **Impact Factor** powyższych prac wynosi **9.274** a liczba punktów **MNiSW: 119**.

- c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Wprowadzenie

Związki biogenne a w szczególności fosfor został uznany za jeden z najważniejszych czynników mających wpływ na jakość wód jezior. Nagromadzony w osadach fosfor podczas okresu jego znacznego dopływu do zbiornika wodnego jest następnie bardzo często uwalniany z osadów do wody naddennej, stając się w ten sposób źródłem ładunku wewnętrznego wpływającego na wysoki stan troficzny i złą jakość wody (Sondergaard i in. 2001; Malmaeus i Rydin 2006; Mieszczakin, Wiśniewski 2006). Transport pierwiastka lub jego związków z osadów do wody naddennej, przewyższający w kategoriach ilościowych wytrącanie go z wody do osadów, jest określane jako „uwalnianie z osadów” lub „zasilanie wewnętrzne” (Boström i in. 1988).

Fosfor gromadzony jest w różnych składnikach ekosystemu, jednak zasadniczą rolę w procesach jego transformacji i kumulacji w zbiornikach wodnych odgrywają osady dennie. Zawartość tego pierwiastka tylko w 10-centymetrowej, powierzchniowej warstwie osadów stanowi od 80 do 90% całkowitej jego ilości w ekosystemie jeziornym (Kentzer 2001; Hupfer, Lewandowski 2005). Osady dennie są więc bardzo istotnym elementem tych ekosystemów a ich zasadnicze znaczenie związane jest ze zdolnościami magazynowania i uwalniania fosforu. Mogą stanowić dla nich pułapkę, bądź przeciwnie – mogą być nieograniczonym ich źródłem dla wód jeziora, zwłaszcza w sytuacji silnego przeżyźnienia (Boström i in. 1988; Golterman 1995; Wang et al. 2003).

Powrót fosforu do obiegu w toni wodnej jest wynikiem wielu wzajemnie powiązanych ze sobą **procesów** biologicznych (np. wiązanie i uruchamianie biologiczne), fizyczno-chemicznych (np. desorpcja, rozpuszczanie) i fizycznych (np. dyfuzja). Pierwszym etapem uruchamiania fosforu jest przechodzenie ze stałej do ciekłej fazy osadów (wody śródosadowej) a kolejnym – transport przez strefę kontaktową osadów i wody. Najczęściej uważa się, że podstawowym zjawiskiem odpowiedzialnym za przechodzenie substancji z wody śródosadowej do wody naddennej jest dyfuzja (Wiśniewski 1995; Kentzer 2001).

Zasilanie wewnętrzne w fosfor z osadów dennych uzależnione jest od wielu **czynników**. Są to czynniki biologiczne (aktywność bakterii odpowiedzialnych za procesy mineralizacji, ryb i fauny dennej wpływających na resuspensję i mieszanie osadów),

chemiczne (koncentracja tlenu rozpuszczonego w wodzie, potencjał redox, odczyn pH, stosunek Fe:P) oraz czynniki fizyczne (temperatura, resuspensja i mieszanie osadów przez wiatr) (Søndergaard i in. 2001, 2002; Kleeberg i in. 2013). Ogólnie, uwalnianie fosforu z osadów dennych jest różnicą pomiędzy przepływem „skierowanym w dół”, spowodowanym przez sedimentację cząsteczek stale produkowanych w toni wodnej (glony, detrytus) i przepływem „skierowanym w górę”, czyli uwalnianiem fosforu w wyniku rozkładu materii organicznej, gradientem fosforu oraz mechanizmami transportu w osadach (Søndergaard i in. 2002).

Istotność wymienionych wyżej czynników zależy w bardzo dużym stopniu od morfometrii a zwłaszcza głębokości zbiornika. Płytkie jeziora są bardzo podatne na obciążenie wewnętrzne, ponieważ związki biogenne w ich osadach dennych mają większy wpływ na jakość wody niż w jeziorach głębszych. W zbiornikach wodnych o niewielkiej głębokości czynniki wpływające na intensywność uwalniania fosforu z osadów dennych mogą zmienić się radykalnie w bardzo krótkim czasie (Graneli 1999; Xie 2006). Ważne jest więc określenie, który z nich odgrywa znaczącą rolę w zależności od warunków lokalnych w jeziorze.

Intensywność oraz czas trwania procesu uwalniania fosforu z osadów dennych do wód nadosadowych ma istotny wpływ na koncentrację tego pierwiastka w wodzie jeziora, a w konsekwencji na jakość wód (Jeppesen i in. 1991; Gonsiorczyk i in. 1997). Odgrywa więc on istotną rolę w procesie eutrofizacji jezior (Søndergaard i in. 2003).

Badania zjawiska wydzielania fosforu z osadów dennych prowadzono zarówno w zbiornikach naturalnych jak i sztucznych. W Polsce proces uwalniania fosforu badany był m.in. w zbiornikach zaporowych oraz w kilkunastu jeziorach. Z przeglądu literatury wynika duża zmienność uzyskiwanych wyników, świadcząca o indywidualnym charakterze poszczególnych jezior. Literatura hydrobiologiczna, zarówno krajowa jak i zagraniczna podaje, iż w jeziorach hypertroficznym uwalnianie fosforu osiąga wysokie wartości – nawet do 100 mgP/m²·d (Jezioro Grosser Müggelsee) czy 145 mgP/m²·d (Jezioro Søbygaard) (Kleeberg, Kozerski 1997; Kozerski, Kleeberg 1998; Søndergaard i in. 2001). W jeziorach eutroficznym (jeziora mazurskie) wykazywano niższe wartości – do 29,8 mgP/m²·d (Planter, Wiśniewski 1985; Wiśniewski, Planter 1985). W jeziorach oligo- i mezotroficznym uwalnianie fosforu z osadów było niewielkie – do 3,0 mgP/m²·d (Psenner 1984; Sen i in. 2007).

Silnie przeżyźnione jeziora, z intensywnymi fitoplanktonowymi zakwitami wody, do których znaczna część fosforu dociera z osadów dennych, wymagają zastosowania zabiegów rekultywacyjnych w celu poprawy jakości wody. Często wprowadzano metody opierające się na dawkowaniu dużych ilości związków chemicznych, inaktywujących fosfor w toni wodnej i w osadach dennych (Søndergaard i in. 2002). Innym sposobem jest zrównoważona rekultywacja, będąca połączeniem kilku, wzajemnie uzupełniających się metod. Jej główną zasadą jest stosowanie małych dawek związków chemicznych i niewielka ingerencja w część biotyczną ekosystemu wodnego, wpływająca na intensyfikowanie naturalnych procesów odpowiedzialnych za poprawę jakości wody. Jest to metoda tania, ale wymaga dłuższego czasu stosowania aby uzyskać poprawę jakości wody. Ponadto jednym z jej głównych zadań jest zwiększenie kompleksu sorpcyjnego osadów dennych, a tym samym ograniczenie wewnętrznego źródła fosforu.

Cel naukowy pracy i osiągnięte wyniki

Głównym celem mojej rozprawy habilitacyjnej było określenie zmienności sezonowej oraz przestrzennej procesu zasilania wewnętrznego w fosfor z osadów dennych w zbiornikach wodnych różnego typu. Badania eksperymentalne *ex situ* dotyczące tego procesu prowadziłam w jeziorach naturalnych: od mezotroficznym, poprzez eutroficzne po hypertroficzne a także w zbiornikach zaporowych. Badane zbiorniki wodne różniły się wielkością (od 1,7 ha do 143 ha), maksymalną głębokością (od 0,8 m do 17,8 m) oraz sposobem użytkowania zlewni (od leśnej, przez rolniczą, po miejską z zabudową). Ponadto dwa z analizowanych jezior poddane zostały różnym zabiegom rekultywacyjnym, a prowadzone w nich badania miały charakter wieloletni.

Do podjęcia badań eksperymentalnych dotyczących zasilania wewnętrznego toni wodnej jezior w fosfor skłoniła mnie chęć poznania zmienności procesów zachodzących na granicy woda-osad denny. Danych obejmujących czasową i przestrzenną zmienność uwalniania bądź kumulacji fosforu w osadach dennych jezior jest dotąd niewiele. Zdecydowana większość prac koncentruje się na wpływie zlewni na jeziora, dotyczy więc tzw. obciążenia zewnętrznego jezior. Dotychczasowe dane dotyczące zasilania wewnętrznego z osadów dennych zwykle ograniczają się do prezentowania wyników badań z najgłębszego miejsca w jeziorze, nie uwzględniając stref związanych z inną głębokością wody.

Przeprowadzone przeze mnie badania pozwoliły ustalić rolę różnych czynników środowiskowych w procesie kumulacji lub wydzielania fosforu z osadów dennych. Były to przede wszystkim głębokość, koncentracja tlenu rozpuszczonego w wodach nadosadowych, obecność makrofitów zanurzonych oraz rodzaj sąsiadującej zlewni. Umożliwiły one również dokładniejsze przeanalizowanie wpływu stosowanych metod rekultywacyjnych (ich rodzaju oraz intensywności) na proces wydzielania bądź kumulacji fosforu w osadach dennych. Oprócz znaczenia czysto poznawczego wyniki moich badań mają więc znaczenie praktyczne, gdyż pozwalają stwierdzić czy i w jakim stopniu stosowane różne metody rekultywacji ograniczają wewnętrzne źródło fosforu. Ponadto pozwoliły one określić jak reaguje ekosystem jeziora na różne zabiegi mające na celu poprawę jakości jego wód.

Przystępując do moich badań przyjąłem następujące **hipotezy badawcze**:

- Przewaga procesów uwalniania bądź akumulacji fosforu w osadach dennych jest uzależniona od stanu troficznego jeziora;
- Procesy te wykazują wyraźną zmienność zarówno w czasie jak i przestrzeni, zależną od typu jeziora;
- Zasilanie wewnętrzne w fosfor z osadów dennych jest zróżnicowane w obrębie jednego zbiornika, w zależności od głębokości wody, koncentracji tlenu rozpuszczonego w wodach nadosadowych oraz obecności makrofitów;
- Ładunek fosforu pochodzący z osadów dennych ulega obniżeniu w wyniku wprowadzenia zabiegów rekultywacyjnych, w celu poprawy jakości wody.

Dla sprawdzenia powyższych hipotez wyznaczyłem kilka **celów szczegółowych**:

- C1** - określenie możliwości uwalniania bądź kumulacji fosforu w osadach dennych profundalu jezior różnej trofii w okresie letnim (**H1**)
- C2** - określenie zmienności sezonowej procesów uwalniania bądź kumulacji fosforu w poszczególnych porach roku w profundalu i litoralu jezior zróżnicowanych pod względem troficznym oraz morfometrycznym (**H2**)
- C3** - określenie zróżnicowania przestrzennego procesu wydzielania bądź kumulacji fosforu w osadach dennych w transekcie, w obrębie stref zależnych od głębokości wody, rodzaju osadów, obecności roślinności zanurzonej i rodzaju zlewni (**H5**);
- C4** - określenie wieloletnich zmian procesu wydzielania fosforu lub jego kumulacji w osadach dennych w jeziorach poddanych różnym zabiegom rekultywacyjnym (**H3, H4**);

Najważniejszym osiągnięciem przeprowadzonych badań było wykazanie **dużej zmienności procesu zasilania wewnętrznego jezior w fosfor w obrębie jednego zbiornika wodnego – zarówno przestrzennej, jak i czasowej**. Wykazano, że dla pełnej oceny funkcjonowania ekosystemu konieczne jest śledzenie zmian procesu zasilania wewnętrznego w dłuższym okresie oraz w wielu punktach jeziora, gdzie różnorodne czynniki mogą mieć decydujący wpływ na intensywność tego procesu w zależności od warunków lokalnych. Udało się to osiągnąć dzięki wybraniu do badań różnorodnych zbiorników wodnych, położonych na niewielkim obszarze, by uniknąć różnic klimatycznych.

Metody badań

Badania eksperymentalne procesu uwalniania lub kumulacji fosforu w osadach dennych w jeziorach zróżnicowanych pod względem troficznym dokonywane były *ex situ* z wykorzystaniem niezaburzonych rdzeni osadów. Rdzenie te pobierane były przy pomocy zmodyfikowanego rurowego czerpacza dna typu Kajak. Próby osadów po pobraniu do przezroczystych rur z PUMA (polimetakrylan metylu) o długości 40 cm i średnicy 6 cm, zamykane były od dołu i od góry gumowymi korkami. Pobrane rdzenie miały miąższość ok. 15 cm, wraz z 25 cm słupem wody nadosadowej. Rdzeń osadów z każdego stanowiska badawczego pobierano w trzech lub czterech powtórzeniach. Po przewiezieniu do laboratorium rdzenie osadów eksponowane były w ciemności w warunkach termicznych dostosowanych do panujących w danej porze roku w jeziorze. W zależności od natlenienia wody naddennej w jeziorze, eksperymenty były prowadzone w warunkach tlenowych, bądź w beztlenowych. Napowietrzanie wody nadosadowej było stosowane tylko w przypadku, gdy koncentracja tlenu ulegała wyraźnemu obniżeniu w stosunku do wartości wyjściowej w eksperymencie. Każdy eksperyment laboratoryjny trwał 2 tygodnie. W określonych odstępach czasu, co 2-3 dni, z poszczególnych rdzeni pobierano próbki wody nadosadowej o objętości 50 ml. Jednocześnie ubytek wody nadosadowej uzupełniano wodą pochodzącą z tego samego stanowiska badawczego, przechowywaną w tych samych warunkach, w jakich prowadzony był eksperyment. W pobranych próbkach wody określano koncentrację fosforu ogólnego metodą spektrofotometryczną z kwasem askorbinowym jako reduktorem. Przed pobraniem próbki wody nadosadowej dokonywano pomiarów podstawowych parametrów fizyczno-chemicznych takich jak: temperatura wody, koncentracja tlenu rozpuszczonego w wodzie, odczyn pH, przewodnictwo elektrolityczne oraz potencjał redox. Zawartość fosforu w wodzie nadosadowej była obliczana przy uwzględnieniu zmierzonej koncentracji fosforu ogólnego

(mgP/l) i objętości wody. Z różnicy w zawartości fosforu pomiędzy dwoma datami poboru próbek określano ładunek fosforu uwalnianego z osadów (wartości dodatnie) lub kumulowanego w osadzie (wartości ujemne) w przeliczeniu na dobę (mgP/d). Znając powierzchnię styku osadu z wodą nadosadową otrzymany wynik przeliczano na jednostkę powierzchni, uzyskując wartość kumulacji bądź uwalniania fosforu w $\text{mgP/m}^2 \cdot \text{d}$. W ostatnim etapie obliczano średnią ważoną z całego eksperymentu biorąc pod uwagę ilość dni pomiędzy kolejnymi poborami prób.

Oprócz eksperymentów dotyczących wydzielania fosforu prowadzone były badania powierzchniowej (10-centymetrowej) warstwy osadów dennych, pobieranej z wyznaczonych stanowisk badawczych (tych samych jak w przypadku rdzeni osadów) przy pomocy czerpacza rurowego Kajaka. W próbkach oznaczana była zawartość fosforu ogólnego oraz jego poszczególnych frakcji przy pomocy schematu zaproponowanego przez Psennera (Psenner i in. 1988). Umożliwiło to wydzielenie następujących frakcji fosforu: $\text{NH}_4\text{Cl-P}$ (fosfor luźno związany), BD-P (fosfor w połączeniach z żelazem), NaOH-P (fosfor w połączeniach z glinem), NaOH-NRP (fosfor w połączeniach z materią organiczną), HCl-P (fosfor w połączeniach z wapniem) i Res-P (pozostały fosfor, praktycznie niedostępny biologicznie).

W pobranych próbkach osadów analizowano również zawartość materii organicznej oraz koncentracje fosforanów rozpuszczonych i fosforu ogólnego w wodach interstycjalnych. Uzyskiwano je po odwirowaniu próbki osadu w wirówce przy 3000 obrotów/minutę przez okres 1 godziny. Te same analizy wykonywano dla wody nadosadowej na poszczególnych stanowiskach badawczych.

Ponadto określano stężenia związków biogennych (poszczególnych form azotu i fosforu) w wodzie, w przekroju pionowym jeziora. Aby prawidłowo ocenić stan troficzny badanego zbiornika analizowano również koncentrację chlorofilu-a oraz dokonywano pomiarów takich parametrów jak: widzialność, odczyn pH, koncentracja tlenu rozpuszczonego w wodzie, temperatura oraz przewodnictwo elektrolityczne.

Wszystkie eksperymenty wykonano w Zakładzie Ochrony Wód, Wydziału Biologii, Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

Opis uzyskanych wyników badań

C1 - Określenie możliwości uwalniania bądź kumulacji fosforu w osadach dennych profundalu jezior różnej trofii w okresie letnim (H1)

Aby zrealizować ten cel badawczy przeprowadziłam eksperymenty *ex situ* dla 11 jezior oraz zbiorników zaporowych położonych w dolinie rzeki Cybiny na terenie Wielkopolski. Niezaburzone rdzenie osadów dennych pobierane były w okresie letnim 2007 roku z najgłębszego miejsca zbiornika. Wybrane zbiorniki wodne różniły się stanem trofii (od mezoeutroficznych po hypertroficzne), głębokością (od 0,8 metra do 7,5 metra) oraz powierzchnią (od 1,7 ha do 67,5 ha). Po przewiezieniu do laboratorium wszystkie rdzenie osadów dennych eksponowane były w jednakowej temperaturze (16°C), jednocześnie w warunkach tlenowych (2 rdzenie) oraz beztlenowych (2 rdzenie) przez okres 2 tygodni. W ten sposób wyeliminowano wpływ temperatury na badany proces a zwrócono uwagę przede wszystkim na znaczenie koncentracji tlenu oraz stanu troficznego zbiornika.

Przeprowadzone badania wykazały, iż uwalnianie fosforu z osadów dennych do wody nadosadowej badanych jezior następowało zarówno w warunkach tlenowych jak i beztlenowych. W większości badanych przypadków uwalnianie fosforu z osadów dennych było wyższe w warunkach beztlenowych aniżeli w tlenowych. Związane to było z uwalnianiem fosforu zaadsorbowanego wcześniej na wytrąconych związkach metali (głównie żelaza) w wyniku ich redukcji i rozpuszczenia. Największą przewagę procesu uwalniania fosforu nad jego kumulacją w warunkach beztlenowych odnotowano w bardzo płytkim eutroficznym zbiorniku zaporowym Antoninek (41,4 mgP/m²·d) a najniższą w mezoeutroficznym jeziorze Ósemka (0,39 mgP/m²·d). **Potwierdziło to więc hipotezę badawczą dotyczącą zależności badanego procesu od stanu troficznego jeziora.** Jednocześnie w tym słabo zeutrofizowanym jeziorze stwierdzono najwyższą zawartość fosforu ogólnego w osadzie. W płytkim, niewielkim zbiorniku zaporowym Antoninek znaczna przewaga uwalniania fosforu nad jego kumulacją była spowodowana mikrobiologicznym rozkładem dużej ilości materii organicznej, pochodzącej z glonów nitkowatych pokrywających dno zbiornika w przeważającej jego części. Z kolei w płytkim, porośniętym przez ramienice jeziorze Ósemka, panowały stabilne warunki tlenowe w ciągu całego roku co sprzyjało procesom akumulacji fosforu w osadach dennych. Ponadto, świadczyła o tym znaczna zawartość fosforu ogólnego w osadzie z przewagą jego powiązań z materią organiczną oraz niewielkie stężenia tego pierwiastka w wodach interstycjalnych.

Przewaga uwalniania fosforu nad jego kumulacją obserwowana była także w warunkach tlenowych, ale osiągała ona znacznie niższe wartości aniżeli w środowisku beztlenowym. Odnotowano ją w płytkich eutroficznych zbiornikach, gdzie woda naddenna w lecie charakteryzowała się dość wysoką temperaturą, co skutkowało mineralizacją materii organicznej pochodzącej z intensywnie rozwijającego się fitoplanktonu oraz mat glonów nitkowatych, a w konsekwencji wyczerpywaniem się tlenu w osadach i przewagą uwalniania fosforu nad jego kumulacją. Eksperymenty *ex situ* przeprowadzone w temperaturze 16°C symulowały warunki letnie a więc możliwości uwalniania fosforu z osadów zbliżone były do maksymalnych. Dodatkowo odtlenienie osadów wspomagało uwalnianie pęcherzyków gazów, co również przyczyniało się do zwiększenia ilości wydzielanego fosforu.

Badania zostały sfinansowane w ramach kierowanego przeze mnie grantu MNiSW N305 108 31/3632.

C2 - Określenie zmienności sezonowej procesów uwalniania bądź kumulacji fosforu w poszczególnych porach roku w profundalu i litoralu jezior, zróżnicowanych pod względem troficznym oraz morfometrycznym (H2)

Aby zrealizować postawiony sobie kolejny cel badawczy przeprowadziłam badania w dwóch jeziorach różniącym się stanem troficznym. Do badań wybrano mezotroficzne Jezioro Strzeszyńskie i hypertroficzne, rekultywowane Jezioro Uzarzewskie. Pomimo wprowadzenia zabiegów mających na celu poprawę jakości wody, Jezioro Uzarzewskie nadal należało do silnie zeutrofizowanych. Badania obu jezior przeprowadzono w okresie od wiosny 2008 roku do zimy 2009. Niezaburzone rdzenie osadów pobierano w każdej porze roku z dwóch stanowisk badawczych, zlokalizowanych w profundalu (głęбочek jeziora) oraz litoralu (głębokość 2 metry). Eksperymenty *ex situ* prowadzono w warunkach termicznych oraz tlenowych zbliżonych do panujących na danym stanowisku badawczym w danej porze roku (**H2**).

Przeprowadzone badania wykazały, iż w jeziorze silnie zeutrofizowanym na głęboczku, przewaga uwalniania fosforu była 6-krotnie wyższa aniżeli w jeziorze mezotroficznym, co stanowiło potwierdzenie wyników badań uzyskanych w trakcie realizacji celu szczegółowego C1. Ponadto większe wydzielanie fosforu stwierdzono w przypadku osadów dennych pochodzących z profundalu a niższe z litoralu w obu jeziorach. Oprócz wyraźnej zmienności przestrzennej procesu uwalniania fosforu z osadów dennych

zaobserwowano także różnice sezonowe tego procesu. Większe zróżnicowanie w poszczególnych porach roku wystąpiło w hipertroficznym Jeziorze Uzarzewskim (od 0,84 mgP/m²·d do 44,7 mgP/m²·d w profundalu i od 0,89 mgP/m²·d do 6,78 mgP/m²·d w litoralu) aniżeli w mezotroficznym Jeziorze Strzeszyńskim (odpowiednio 1,72 mgP/m²·d do 2,81 mgP/m²·d i od 0,24 mgP/m²·d do 1,28 mgP/m²·d). W przypadku zmienności sezonowej, najwięcej fosforu ulegało wydzieleniu z osadów do wody naddennej w lecie i jesienią. Z kolei zimą w obu jeziorach obserwowano niewielką przewagę kumulacji fosforu nad jego uwalnianiem. Stwierdzone różnice sezonowe oraz przestrzenne były istotne statystycznie. Oprócz określenia możliwości osadów obu jezior do uwalniania fosforu obliczono również ładunki roczne tego pierwiastka z wydzielonych stref głębokościowych. Były one w obu przypadkach wyższe dla strefy profundalu. 3-krotnie większe ładunki fosforu w tej strefie odnotowano w Jeziorze Uzarzewskim (457,3 kgP/r), mimo iż powierzchnia tej strefy była 2-krotnie mniejsza aniżeli w Jeziorze Strzeszyńskim (132,7 kgP/r). Z kolei w strefie litoralu nieco wyższe ładunki fosforu charakteryzowały Jezioro Strzeszyńskie (29,8 kgP/r w porównaniu z 17,8 kgP/r w J. Uzarzewskim), co było wynikiem tego, iż w tym jeziorze strefa ta miała znacznie większy udział. Potwierdzono więc **wyraźną zależność badanego procesu od stanu troficznego a także od głębokości wody. W obu typach jezior więcej fosforu docierało do toni wodnej z osadów profundalu aniżeli litoralu. Jezioro silnie zeutrofizowane wykazywało również większe zróżnicowanie sezonowe zasilania wewnętrznego w fosfor, od najniższych wartości w zimie, po najwyższe w lecie lub jesienią. W jeziorze o niższej trofii przewaga uwalniania fosforu nad jego kumulacją w osadach dennych osiągała zbliżone wartości w ciągu całego roku. Istotne jest również to, iż o całkowitym ładunku fosforu pochodzącym z zasilania wewnętrznego decyduje powierzchnia dna w danej strefie jeziora. W jeziorach, w których litoral zajmuje znaczną powierzchnię, ładunek omawianego pierwiastka może przewyższać jego ilość docierającą z profundalu. Uzyskane wyniki badań stanowiły więc potwierdzenie drugiej z założonych hipotez badawczych.**

Badania zostały częściowo sfinansowane w ramach kierowanego przeze mnie grantu MNiSW N305 108 31/3632.

C3 - Określenie zróżnicowania przestrzennego procesu wydzielania bądź kumulacji fosforu w osadach dennych w transekcji, w obrębie stref zależnych od głębokości wody, rodzaju osadów, obecności roślinności zanurzonej i rodzaju zlewni (H5);

Aby zrealizować postawiony sobie cel badawczy prowadziłam szczegółowe badania zmienności sezonowej i przestrzennej procesu zasilania wewnętrznego w różnych strefach związanych z głębokością wody na przykładzie słabo zeutrofizowanego, mezoeutroficznego Jeziora Strzeszyńskiego. Badania przeprowadzone zostały 8-krotnie w 4 porach roku w okresie 2-letnim 2010-2011. Celem tych badań było również określenie, które z czynników środowiskowych (głębokość wody, natlenienie wód naddennych, rodzaj zlewni) mają największy wpływ na proces uwalniania bądź kumulacji fosforu w poszczególnych strefach jeziora. Badania te były rozszerzeniem badań przeprowadzonych w roku 2008 (H2) oraz dotyczyły aspektu pogarszania się jakości wody i przejścia Jeziora Strzeszyńskiego ze stanu mezotrofii w mezoeutrofię.

Niezaburzone rdzenie osadów dennych pobierano na 5 wyznaczonych stanowiskach badawczych: dwa zlokalizowano w strefie litoralu na głębokości około 2,5 m, dwa na głębokości około 7 m i jedno w strefie profundalu na głębokości jeziora - 17,8 m. Stanowiska badawcze różniły się nie tylko głębokością oraz związanym z nią natlenieniem wody i obecnością makrofity (Charophyceae) ale również sposobem użytkowania sąsiadującej z nimi zlewni (leśnej bądź użytkowanej rekreacyjnie). W celu określenia wpływu rodzaju zlewni na proces zasilania wewnętrznego, w jeziorze wyznaczono 3 strefy: rekreacyjną (część jeziora sąsiadująca z obszarem wykorzystywanym do rekreacji), leśną (część jeziora granicząca z terenami leśnymi) oraz najgłębszą związaną z profundalem jeziora.

Największą przewagę uwalniania fosforu nad jego kumulacją stwierdzono w najgłębszej, odtlenionej strefie jeziora (głębocek – 17,8 m) w lecie, gdzie osiągała ona 3,6 mgP/m²·d. Niższe uwalnianie wystąpiło w strefie zlokalizowanej na głębokości 7 m – 1,95 mgP/m²·d a najniższe w litoralu (2,5 m) – do 1,3 mgP/m²·d. Ponadto w najpłytszej strefie stwierdzono również okresową przewagę kumulacji fosforu w osadach dennych, która dochodziła do 1,45 mgP/m²·d. Potwierdziło to więc wyniki wcześniejszych badań realizowanych w ramach celów szczegółowych C1 i C2, ponieważ w wyniku pogorszenia się stanu troficznego w tym jeziorze nastąpił wzrost ładunku jednostkowego fosforu w profundalu i w nieco mniejszym stopniu w litoralu. Nowym osiągnięciem było porównanie zasilania wewnętrznego w fosfor ze strefy dna dobrze natlenionego (płytki litoral), okresowo odtlenianego (głębszy litoral) i całkowicie odtlenionego w ciągu lata (profundal). Uzyskane

wyniki pozwoliły stwierdzić, iż **natlenienie strefy kontaktowej osad-woda jest najważniejszym czynnikiem różnicującym wielkość zasilania wewnętrznego**. Było to powiązane z wyższą zawartością fosforu w wodach interstycjalnych i naddennych oraz ilością fosforu ogólnego i materii organicznej w osadzie strefy profundalu w porównaniu do litoralu. Ponadto w litoralu, na stanowisku gdzie stwierdzono obecność ramienic, obserwowano nieco mniejsze zasilanie wewnętrzne w fosfor aniżeli w tej samej strefie pozbawionej makrofitów.

Mniejsze znaczenie miały inne czynniki, np. typ sąsiadującej zlewni. **Wykazano, że sąsiedztwo zlewni leśnej wpływa na nieco większą zawartość materii organicznej i fosforu w osadach dennych i zwiększa zasilanie toni wodnej w fosfor wydzielany z osadów, w stosunku do zlewni zajętej przez tereny rekreacyjne z trawiastą plażą i kąpieliskami**. Uzyskane wyniki badań potwierdziły więc hipotezę badawczą dotyczącą zróżnicowania badanego procesu w obrębie jednego zbiornika wodnego.

Przeprowadzone badania pozwoliły również stwierdzić niewielki wzrost zasilania wewnętrznego w fosfor w drugim roku badań. Zachodzące na przestrzeni lat zmiany w użytkowaniu zlewni całkowitej Jeziora Strzeszyńskiego, zwłaszcza wzrost udziału terenów zabudowanych i większy dopływ związków biogennych po ulewnych deszczach z wodami głównego dopływu, spowodowały pogorszenie jakości wody i niewielki wzrost ładunku wewnętrznego wydzielanego z dna w roku 2011.

Badania te zostały sfinansowane z Funduszy Statutowych Zakładu Ochrony Wód, Wydziału Biologii, Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

C4 - określenie wieloletnich zmian procesu wydzielania fosforu lub jego kumulacji w osadach dennych, w jeziorach poddanych różnym zabiegom rekultywacyjnym (H3, H4);

W latach 2009-2016 prowadziłam badania zjawiska zasilania wewnętrznego w fosfor w dwóch jeziorach poddanych zabiegom rekultywacyjnym: w Jeziorze Uzarzewskim oraz w Jeziorze Durowskim. Jezioro Uzarzewskie jest niewielkie (10,6 ha) i dość płytkie (około 7 m), natomiast głębokość maksymalna w większym (143 ha) Jeziorze Durowskim wynosi 14,6 m. Badane jeziora różniły się więc pod względem powierzchni, głębokości i kształtu zbiornika, a także powierzchni dna czynnego, położonego w obrębie epilimnionu. W obu jeziorach zastosowano różne metody tzw. zrównoważonej rekultywacji.

Jeziro Uzarzewskie rekultywowane jest od roku 2006 przy pomocy różnych metod. W latach 2006-2007 zastosowano tam inaktywację fosforu przy użyciu niewielkich dawek siarczanu żelaza PIX-112. Następnie w 2008 roku wprowadzono innowacyjną metodę rekultywacji, polegającą na skierowaniu wód dwóch niewielkich naturalnych dopływów jeziora do jego strefy naddennej. Doprowadzenie natlenionych, bogatych w azotany wód do odtlenionego hypolimnionu miało na celu zwiększenie potencjału redox osadów oraz poprawienie ich zdolności wiązania fosforu.

Badania tego jeziora prowadzone były już od roku 2005, przed rozpoczęciem jego rekultywacji i kontynuowane w latach 2006-2008 oraz 2010-2015. Wyniki z lat 2005-2008 zostały zawarte w innych publikacjach (Kowalczevska-Madura et al. 2008; Kowalczevska-Madura et al. 2010, H2), ale uwzględniono je w dyskusji wyników uzyskanych w latach 2010-2015 (**H3**), przy analizie oceny skuteczności zastosowanych metod rekultywacji w ujęciu wieloletnim.

Niezaburzone rdzenie osadów dennych wykorzystywane w eksperymentach *ex situ* pobierano zawsze na dwóch tych samych stanowiskach badawczych: w profundalu na głębokości 7 m i w litoralu na głębokości 2 m, w 4 porach roku.

Przeprowadzone badania wykazały stopniowe zmniejszanie się ładunku fosforu pochodzącego z osadów dennych w kolejnych latach prowadzenia zabiegów rekultywacyjnych. Ładunek ten w przypadku Jeziora Uzarzewskiego został zredukowany o około 80%. W strefie profundalu, gdzie uwalnianie fosforu z osadów dennych przeważało nad jego kumulacją przez cały rok, uległo ono zmniejszeniu z 13,02 mgP/m²·d w 2010 roku do 2,81 mgP/m²·d w roku 2015. Z kolei w litoralu, mimo iż w chłodniejszych porach roku obserwowano przewagę kumulacji fosforu w osadach, ładunek tego pierwiastka uległ podwyższeniu z 2,61 mgP/m²·d w roku 2011 do 10,24 mgP/m²·d w roku 2015. Tak więc dostarczanie natlenionych wód bogatych w azotany w strefę profundalu prowadzone w kolejnych latach badań, efektywnie zmniejszyło intensywność uwalniania fosforu z osadów dennych tylko w tej strefie. Z kolei w litoralu nie zaobserwowano zmniejszenia lecz zwiększenie zasilania wewnętrznego, co świadczy o dalszym eutrofizowaniu się epilimnionu jeziora, pomimo zmniejszenia ładunków fosforu w obrębie hypolimnionu. Całkowite zasilanie wewnętrzne w fosfor w Jeziorze Uzarzewskim, pomimo jego zwiększenia się w litoralu jest coraz niższe, co związane jest z mniejszym udziałem dna w zasięgu litoralu niż profundalu.

W niniejszej pracy wykazano więc zmniejszenie całkowitego ładunku fosforu pochodzącego z zasilania wewnętrznego, w wyniku prowadzenia zabiegów

rekultywacyjnych. Wskazuje to na długoterminowy, powolny trend związany z zastosowaniem w tym jeziorze zrównoważonej rekultywacji. Dla zmniejszenia zasilania jeziora w strefie litoralu niezbędne jest jednak zastosowanie dodatkowej metody rekultywacji, np. inaktywacji fosforu w toni wodnej epilimnionu.

Badania te zostały częściowo sfinansowane z grantu MNiSW NN305 372838 a częściowo z Funduszy Statutowych Zakładu Ochrony Wód, Wydziału Biologii, Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

Badania zmian zasilania wewnętrznego w fosfor prowadzono także w rekultywowanym innymi metodami Jeziorze Durowskim w latach 2009-2016 (H5).

W celu poprawy jakości wód tego jeziora zastosowano w nim zrównoważoną rekultywację, będącą połączeniem 3 wspierających się wzajemnie metod, stymulujących naturalne zdolności regulacyjne ekosystemu jeziornego. Pierwszą z nich było napowietrzanie odtlenionej w okresie letnim wody naddennej przy pomocy 2 aeratorów usytuowanych na 2 głęboczkach jeziora. Drugą stanowiła inaktywacja fosforu przy pomocy małych dawek związków chemicznych (siarczanu żelaza i chlorku magnezu) wprowadzanych przy pomocy specjalnego urządzenia pływającego. Ostatnią z nich była biomanipulacja, polegająca na zarybianiu jeziora rybami drapieżnymi.

Badania wpływu zrównoważonej rekultywacji na proces zasilania wewnętrznego w fosfor z osadów dennych prowadzono tak samo jak w przypadku poprzednich zbiorników, przy wykorzystaniu niezaburzonych rdzeni osadów dennych. W tym przypadku pobierano je przez okres 8 lat w czterech porach roku na 2 stanowiskach badawczych, zlokalizowanych na dwóch głęboczkach, w pobliżu aeratorów. Przeprowadzone badania wykazały zmienność procesu zasilania wewnętrznego w fosfor zarówno przestrzenną jak i w kolejnych latach badań. W pierwszych 4 latach od wprowadzenia zabiegów rekultywacyjnych analizowany proces ulegał wyraźnym wahaniom na obu stanowiskach badawczych. Przewaga uwalniania fosforu nad jego kumulacją w osadach dennych dochodziła do $5,12 \text{ mgP/m}^2 \cdot \text{d}$ na głębszym stanowisku I (14 metrów) i do $4,08 \text{ mgP/m}^2 \cdot \text{d}$ na nieco płytszym stanowisku II (12 metrów). Wartości najwyższe obserwowano w lecie a niższe w chłodniejszych porach roku. Z kolei od 2013 roku stwierdzono nie tylko wyraźne zmniejszenie ilości fosforu uwalnianego z osadów dennych (zwłaszcza w lecie), ale również przewagę kumulacji tego pierwiastka w osadach (w zimie i jesienią). W pierwszych latach prowadzenia badań proces kumulacji nie przekraczał

1,0 mgP/m²·d a w ostatnich 2 latach wzrósł do 2 mgP/m²·d (jesienią). Jednocześnie wyraźnemu zmniejszeniu uległa też ilość fosforu uwalnianego w okresie letnim (<1 mgP/m²·d). Mniejsza ilość materii organicznej pochodzącej z fitoplanktonu docierająca do osadów dennych w kolejnych latach prowadzenia zabiegów rekultywacyjnych, skutkowała mniejszym zużyciem tlenu i lepszym natlenieniem warstw naddennych wody, zwłaszcza w okresach wiosennych i zimowych. Wprowadzenie zrównoważonej rekultywacji przyczyniło się do wzrostu kompleksu sorpcyjnego osadów i immobilizacji fosforu w osadach. W przypadku zawartości poszczególnych frakcji fosforu ogólnego w osadach dennych największy udział miała frakcja Res-P (fosfor trwale związany) a najmniejszy – frakcja NaOH-P (fosfor w połączeniach z glinem). Pozytywnym aspektem był także niewielki udział trzech frakcji o największej dostępności biologicznej (NH₄Cl-P, BD-P oraz NaOH-P). Przeprowadzona analiza RDA wykazała, iż zasilanie wewnętrzne w fosfor z osadów dennych wykazywało ścisłą negatywną zależność od stężenia tlenu w wodach nadosadowych a pozytywną zależność od koncentracji fosforanów w wodach nadosadowych oraz w mniejszym stopniu od ich stężenia w wodach interstycjalnych. Stwierdzono, iż **w wyniku wprowadzenia zrównoważonej rekultywacji nastąpiło wyraźne obniżenie wewnętrznego ładunku fosforu pochodzącego z osadów dennych, co było potwierdzeniem ostatniej hipotezy badawczej.**

Badania procesu zasilania wewnętrznego prowadzone w 2 jeziorach poddanych różnym zabiegom rekultywacyjnym w ramach tzw. zrównoważonej rekultywacji wykazały, iż w jeziorach hypertroficznym, poprawa jakości wody to proces długotrwały, w dużej mierze zależny od zasilania wewnętrznego z osadów dennych. Proces ten powinien być kontynuowany do czasu ustabilizowania się zmian zachodzących w ekosystemie. Badania te miały więc charakter nie tylko poznawczy ale i wymiar praktyczny.

Badania te zostały sfinansowane z Funduszy pozyskanych z Urzędu Miasta Wągrowiec.

Podsumowanie

Przeprowadzone eksperymentalne badania zmienności procesu zasilania wewnętrznego w fosfor w jeziorach na terenie Wielkopolski wykazały iż:

1. Proces zasilania wewnętrznego w okresie letnim najintensywniej zachodził w warunkach beztlenowych, w wyniku uwalniania fosforu zaadsorbowanego na związkach żelaza. Ponadto zaobserwowano przewagę procesu uwalniania fosforu nad jego kumulacją także w warunkach aerobowych, w płytkim eutroficznym zbiorniku o dnie pokrytym glonami nitkowatymi. Z kolei akumulacja tego pierwiastka charakterystyczna była dla niewielkiego, słabo zeutrofizowanego jeziora w którym występowały ramienice (Charophyceae).
2. Analizowany proces wykazywał również wyraźną zmienność sezonową, przestrzenną oraz był uzależniony od typu troficznego jeziora. Wyższe zasilanie wewnętrzne cechowało zbiorniki hypetroficzne aniżeli mezotroficzne. Więcej fosforu do wód naddennych ulegało uwolnieniu w profundalu jezior aniżeli w płytkiej strefie litoralu. Ponadto najintensywniej proces ten zachodził w lecie oraz jesienią. Większe różnice pomiędzy poszczególnymi porami roku odnotowywano w jeziorach o wyższej trofii.
3. Proces zasilania wewnętrznego cechował się także zróżnicowaniem przestrzennym analizowanym na przykładzie mezoeutoficznego jeziora, w którym wyznaczono strefy różniące się głębokością (głęboczek, głębszy litoral, płytki litoral), koncentracją tlenu rozpuszczonego, obecnością makrofitów (Charophyceae) oraz rodzajem użytkowania zlewni sąsiadującej z linią brzegową. Wykazano, że najistotniejszym czynnikiem wpływającym na wymianę fosforu w strefie kontaktowej osad-woda była obecność tlenu rozpuszczonego, co związane było przede wszystkim z głębokością wody. Ponadto obecność makrofitów na jednym ze stanowisk w litoralu przyczyniała się do przewagi kumulacji tego pierwiastka w osadach dennych. Biorąc pod uwagę sposób użytkowania zlewni jeziora wykazano, iż nieco większe zasilanie wewnętrzne występowało w strefie związanej ze zlewnią leśną aniżeli użytkowaną rekreacyjnie.

Przeprowadzone badania procesu zasilania wewnętrznego miały również **wymiar praktyczny**. Uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić, iż:

1. Prawidłowo zaplanowane zabiegi rekultywacyjne przyczyniają się do zmniejszenia zasilania wewnętrznego w fosfor z osadów dennych. To z kolei prowadzi do poprawy jakości wody widocznej w postaci zwiększonej przezroczystości, niższej koncentracji chlorofilu-a oraz obniżenia koncentracji fosforu w toni wodnej, zwłaszcza w jego strefie naddennej.

2. Zrównoważona rekultywacja jest więc metodą, która przyczynia się do obniżenia obciążenia wewnętrznego fosforem. Widoczne zmniejszenie nie następuje jednak, jak to wykazały badania, już od początku prowadzenia zabiegów, lecz dopiero po kilku latach, w miarę stopniowego zmniejszania biomasy fitoplanktonu i odkładania mniejszych ilości świeżej materii organicznej do osadów.

Podsumowując można stwierdzić, iż postawione cztery hipotezy badawcze zostały potwierdzone w oparciu o uzyskane wyniki badań.

Literatura:

- Boström B., Andersen J.M., Fleischer S. and Jansson M., 1988. Exchange of phosphorus across the sediment – water interface. *Hydrobiologia*, 170: 229-244.
- Golterman H.L., 1995. The role of ironhydroxyde-phosphate-sulphide system in the phosphate exchange between sediments and overlying water. *Hydrobiologia*, 297: 43-54.
- Gonsiorczyk T., Casper P., Koschel R., 1997. Variations of phosphorus release from sediments in stratified lakes. *Water, Air and Soil Pollution*, 99: 427-434.
- Granéli W., 1999. Internal phosphorus loading in Lake Ringsjön. *Hydrobiologia* 404: 19-26, DOI: 10.1023/A:1003705520085.
- Hupfer M., Lewandowski J., 2005. Retention and early diagenetic transformation of phosphorus in Lake Arendsee (Germany) – Consequences for management strategies. *Archiv für Hydrobiologie*, 164 (2): 143-167. doi: 10.1127/0003-9136/2005/0164-0143.
- Jeppesen E., Kristensen P., Jensen J.P., Sondergaard M., Mortensen E., Lauridsen T., 1991. Recovery resilience following a reduction in external phosphorus loading of shallow, eutrophic Danish lakes: duration, regulating factors and methods for overcoming resilience. *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia* 48: 127-148.
- Kentzer A., 2001. Fosfor i jego biologicznie dostępne frakcje w osadach jezior różnej trofii. Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń, Rozprawy.
- Kleeberg A., Kozerski H.P., 1997. Phosphorus release in Lake Großer Müggelsee and its implications for lake restoration. *Hydrobiologia*, 342/343: 9-26.
- Kleeberg A., Herzog Ch., Hupfer M., 2013. Redox sensitivity of iron in phosphorus binding does not impede lake restoration. *Water Research* 47: 1491-1502 <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2012.12.014>.
- Kowalczevska-Madura K., Dondajewska R., Gołdyn R., 2008. Influence of iron treatment on phosphorus internal loading from bottom sediments of the restored lake. *Limnological Review* 8 (4): 177-182.
- Kowalczevska-Madura K., Gołdyn R., Dondajewska R., 2010. The bottom sediments of Lake Uzarzewskie – a phosphorus source or sink? *Oceanological and Hydrobiological Studies* 39 (3): 81-91.
- Kozerski H.P., Kleeberg A., 1998. The sediments and the benthic pelagic exchange in the shallow lake Müggelsee. *Int. Rev. Hydrobiol.* 83: 77-112.

- Malmaeus J.M., Rydin E., 2006. A time-dynamic phosphorus model for the profundal sediments of Lake Erken, Sweden. *Aquat. Sci.*, 68: 16-27.
- Mieszczakin T., Wiśniewski R., 2006. Przydatność badań osadów dennych- wewnętrznego ładunku fosforu –0 w diagnostyce stanu jezior i wyborze metod rekultywacji. W: „Rekultywacja i rewitalizacja terenów zdegradowanych”: 213-228.
- Planter M., Wiśniewski R.J., 1985. Factors affecting nutrient budget in lakes of the river Jorka watershed (Masurian Lakeland, Poland). IX The exchange of phosphorus between sediments and water. *Ekol. Pol.* 33: 329-344.
- Psenner R., 1984. Phosphorus release patterns from sediments of a meromictic lake (Piburger See, Austria). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 22: 219-228.
- Psenner R., Boström B., Dinka M., Pettersson K., Pucsko R. Sager M., 1988. Fractionation of phosphorus in suspended matter and sediment. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, 30: 83-112.
- Sen S., Haggard B.E., Chaubey I., Brye K.R., Costello T.A., Mathloch M.D., 2007. Sediment phosphorus release at Beaver Reservoir Northwest Arkansas, USA, 2002-2003: A preliminary investigation. *Water Air Soil Pollut.*, 179: 67-77.
- Søndergaard M., Jensen J.P., Jeppesen E., 2001. Retention and internal loading of phosphorus in shallow, eutrophic lakes. Review Article, *The Scientific World*, 1: 427-442.
- Søndergaard M., Ripl W., Wolter K.D., 2002. Chemical treatment of water and sediments with special reference to lakes. In: Perrow M.R. and Davy A.J. (eds.), *Handbook of Ecological Restoration*, Cambridge University Press, pp. 184–205.
- Søndergaard M., Jensen J.P., Jeppesen E., 2003. Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia*, 506-509: 135-145. doi: 10.1023/B:HYDR.0000008611.12704.dd.
- Wang H., Appan A., Gulliver J.S., 2003. Modelling of phosphorus dynamics in aquatic sediments: I- model development. *Water Research*, 37 (16): 3928-3938. doi: 10.1016/S0043-1354(03)00304-X.
- Wiśniewski R.J., Planter M., 1985. Exchange of phosphorus across sediment-water interface (with special attention to the influence of biotic factors) in several lakes of different trophic status. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 22: 3345-3349.
- Wiśniewski R.J., 1995. Rola zasilania wewnętrznego w eutrofizacji zbiorników zaporowych. W: Zalewski M. (red.) „Procesy biologiczne w ochronie i rekultywacji nizinnych zbiorników zaporowych” Materiały z Konferencji Grupy Roboczej Narodowego Komitetu UNESCO MAB-5 „Ekosystemy wodne” Biblioteka Monitoringu Środowiska, Łódź
- Xie P., 2006. Biological mechanisms driving the seasonal changes in the internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Science in China: Series D Earth Sciences*, 49: 14-27. doi: 10.1007/s11430-006-8102-z.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

a) praca naukowa przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora

Moje zainteresowania hydrobiologią i problemem ochrony wód rozpoczęły się już podczas studiów magisterskich na kierunku Ochrona Środowiska na Wydziale Biologii

Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Efektem tego były przeprowadzone przeze mnie badania jakości wody Zbiornika Maltańskiego, położonego na terenie miasta Poznania. Pod kierunkiem wówczas dr Ryszarda Gołdyna napisałam pracę magisterską pt. "Jakość wód Zbiornika Maltańskiego w sezonie wegetacyjnym 1999", której obrona odbyła się w czerwcu 2000 roku. Wyniki tych badań stanowiły część publikacji wydanej w 2003 roku w czasopiśmie Hydrobiologia (Zał. 4. pkt II.A.1).

Od października 2000 do czerwca 2005 roku byłam słuchaczką Studium Doktoranckiego na Wydziale Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. W tym okresie prowadziłam badania do mojej rozprawy doktorskiej, wykonywanej pod kierunkiem prof. dr hab. Ryszarda Gołdyna a dotyczącej funkcjonowania silnie zeutrofizowanego Jeziora Swarzędzkiego. Badania te były częściowo finansowane z grantu promotorskiego (KBN nr 3PO4FO1724 - Zał. 4 pkt II.I). Zostały one przedstawione w rozprawie zatytułowanej „Wpływ zmian obciążenia związkami biogennymi na strukturę i funkcjonowanie ekosystemu Jeziora Swarzędzkiego”, której publiczna obrona odbyła się w czerwcu 2005 roku, za którą otrzymałam wyróżnienie. Zawarte w niej wyniki badań stały się podstawą do napisania 12 artykułów w czasopismach naukowych zarówno z Listy JCR (4 publikacje - Zał. 4. pkt II.A.3, II.A.4, II.A.7, II.A.10) jak i w innych czasopismach międzynarodowych i krajowych (8 publikacji - Zał. 4. pkt II.D.1, II.D.2, II.D.3, II.D.4, II.D.5, II.D.7, II.D.8, II.D.9) oraz jako rozdziały w monografii (1 w języku angielskim i 2 w języku polskim - II.E.1, II.E.2, II.E.3).

b) dorobek naukowo-badawczy po uzyskaniu stopnia naukowego doktora, niebędący podstawą ubiegania się o stopień doktora habilitowanego

Po obronie pracy doktorskiej od października 2005 roku do dnia dzisiejszego jestem zatrudniona na stanowisku adiunkta na Wydziale Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu w Zakładzie Ochrony Wód. Moje zainteresowania naukowe skupiły się na **badaniach osadów dennych jezior** i ich zdolności do kumulacji bądź uwalniania fosforu oraz zmienności tego procesu w czasie oraz przestrzeni. Badania te obejmowały eksperymenty *ex situ* na osadach dennych Jeziora Uzarzewskiego, Rusalki oraz innych jezior z terenu Wielkopolski. Były one materiałem wyjściowym do publikacji, stanowiących podstawę do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego. Były one finansowane m.in. z własnego projektu badawczego (grant MNiSW N305 108 31/3632 - Zał. 4 pkt II.I). Oprócz

pięciu prac przedstawionych wyżej jako osiągnięcie badawcze, uzyskane wyniki zostały zaprezentowane w 8 innych publikacjach: w 3 czasopismach z Listy JCR (Zał. 4. pkt II.A.6, II.A.9, II.A.16) i w 5 pozostałych czasopismach (Zał. 4. pkt II.D.10, II.D.11, II.D.12, II.D.15, II.D.16) oraz 6 rozdziałach w monografiach, zarówno w języku polskim (3) (II.E.11, II.E.12, II.E.14) jak i angielskim (3) (II.E.4, II.E.7, II.E.9).

Oprócz powyższych badań nad zmiennością zasilania wewnętrznego w fosfor z osadów dennych, w kilkusobowym zespole prowadziłam badania, których celem było **poznanie reakcji ekosystemów wodnych na zabiegi rekultywacyjne prowadzone różnymi metodami** i możliwości wykorzystania tej wiedzy do poprawy stanu troficznego jezior. Badaniami tymi objęte były jeziora: Uzarzewskie, Durowskie, Swarzędzkie, Głębokie, Sławskie oraz zbiorniki: Maltański, Rusałka i Turawa. Badania te miały charakter wieloletni. W ramach tej problematyki analizowana była zmienność parametrów fizyczno-chemicznych jak i biologicznych wody i osadów dennych w jeziorach, w których prowadzone były zabiegi rekultywacyjne. Przeprowadzone badania wykazały, iż w wyniku tzw. zrównoważonej rekultywacji, nie ingerującej drastycznie w ekosystem, proces powrotu jeziora do stanu dobrego jest dość długi i wymaga najczęściej zastosowania kilku uzupełniających się metod. W kolejnych latach rekultywacji obserwowano obniżenie stężeń fosforu w toni wodnej, zmniejszenie intensywności zakwitów wody, a co za tym idzie koncentracji chlorofilu-a i zwiększenie zasięgu przezroczystości wody w jeziorze. W tym zakresie zostałam współautorką 3 publikacji z Listy JCR (Zał. 4. pkt II.A.12, II.A.13, II.A.14) oraz 3 w pozostałych czasopismach naukowych (Zał. 4. pkt II.D.17, II.D.18, II.D.19) oraz 20 rozdziałów w monografiach w języku polskim (II.E.6, II.E.8, II.E.10, II.E.13, II.E.15, II.E.16, II.E.17, II.E.18, II.E.19, II.E.20, II.E.21, II.E.22, II.E.23, II.E.24, II.E.25, II.E.26, II.E.27, II.E.28, II.E.32, II.E.33).

Kolejny kierunek badań w których uczestniczyłam dotyczył **oceny stanu jezior: Bielsko, Raczyńskiego i Grzymisławskiego**, obejmujących projekty ich ochrony i rekultywacji, zmierzające do poprawy jakości ich wód. Wyniki te zawarte zostały w 1 publikacji z Listy JCR (Zał. 4. pkt II.A.15) oraz 3 rozdziałach w monografiach w języku polskim (II.E.5, II.E.30, II.E.31).

Następnym kierunkiem moich badań było **określenie przyczyn zmienności parametrów fizyczno-chemicznych wody drobnych zbiorników wodnych na terenie Wielkopolski**. Wykazano, że znajdują się one pod bardzo silnym wpływem zlewni bezpośredniej, a zwłaszcza sposobu jej użytkowania oraz ilości opadów atmosferycznych.

Ważnymi czynnikami, wpływającymi na jakość ich wód okazały się również głębokość oraz porośnięcie przez makrofity. Specyficznymi okazały się być małe zbiorniki wodne po eksploatacji żwiru. Największy wpływ na jakość ich wód wywierało ich bezpośrednie użytkowanie przez wędkarzy, a zwłaszcza zarybienia obcymi gatunkami ryb i eutrofizujący wpływ używanych zanęt (1 publikacja z Listy JCR - Zał. 4. pkt II.A.11 i 1 w pozostałych czasopismach - Zał. 4. pkt II.D.6).

Kolejnym interesującym mnie problemem badawczym było **obciążenie jezior zanieczyszczeniami z terenów zurbanizowanych**. W latach 2013-2014 brałam udział w badaniach mających na celu identyfikację źródeł zanieczyszczeń zbiornika Rusalka w Poznaniu. Wykazano w nich, że największy wpływ na stan trofii tego zbiornika wywierają ścieki deszczowe, odprowadzane ze znajdujących się w zlewni trzech osiedli mieszkaniowych. Wyniki te każą zrewidować dotychczasowe podejście do wód deszczowych w naszym kraju, które zgodnie z prawodawstwem Unijnym i polskim Prawem Wodnym, mogą być odprowadzane do wód powierzchniowych po niewielkim obniżeniu zawartości zawiesin i związków ropopochodnych. Wyniki tych badań zostały zaprezentowane w 1 rozdziale w monografii w języku polskim (II.E.29). Podobny problem badawczy dotyczył miejskiego jeziora Trzesiecko w Szczecinku. W roku 2016 brałam udział w badaniach dotyczących oceny stanu jakości wód oraz osadów dennych tego jeziora. W tym przypadku również wykazano, iż jednym z głównych źródeł zanieczyszczeń są ścieki deszczowe odprowadzane kolektorami z miasta Szczecinek. W roku 2014 byłam członkiem zespołu badawczego realizującego na zlecenie RZGW w Warszawie ocenę stanu zbiornika Brody Iłżeckie oraz przyczyn jego eutrofizacji. Wykazano w nich, że największy eutrofizujący wpływ wywierają oczyszczone ścieki, odprowadzane z dwóch nowoczesnych, trójstopniowych oczyszczalni ścieków miejskich ze Skarżyska Kamiennej i Starachowic. Wyniki powyższych badań nie zostały jeszcze opublikowane.

W roku 2015 uczestniczyłam w badaniach silnie zeutrofizowanego Jeziora Raczyńskiego, których celem było określenie przyczyn jego złego stanu wód. Wykazano, że odpowiedzialne za ten stan są zanieczyszczenia rozproszone z terenów zlewni użytkowanych rekreacyjnie, powstające w wyniku zanieczyszczenia wód gruntowych przez nieszczelne szamba. W roku 2016 byłam współautorem operatu wodno-prawnego dotyczącego rekultywacji tego jeziora. W latach 2017-18 rozpoczęły się badania monitoringowe tego jeziora, mające na celu ocenę efektów rozpoczętej rekultywacji, w których biorę aktywny udział.

W 2010 roku byłam wykonawcą w granie dotyczącym oceny stanu ekologicznego oraz wpływu zlewni jezior Wielkopolski i Pomorza na zlecenie MGGP w Tarnowie. W roku 2016 wykonywałam również analizy wód i osadów dennych Jeziora Kierskiego w Poznaniu na zlecenie firmy E&W Consulting a w roku 2017 jeziora Winiary i Jelonek w Gnieźnie na zlecenie Urzędu Miasta w Gnieźnie. W roku 2018 byłam członkiem zespołu badawczego zajmującego się analizą stanu rekultywowanego Jeziora Strzeszyńskiego w Poznaniu. Wyniki powyższych badań nie zostały jeszcze opublikowane w czasopismach naukowych a ich wyniki zawarto w przygotowanych ekspertyzach.

Na mój dorobek naukowo-badawczy (oprócz prac wchodzących w skład osiągnięcia naukowego) składa się więc **16 publikacji z listy JCR** (1 przed i 15 po doktoracie), których łączny IF wynosi: 20,29 a liczba punktów MNISW: 282. Ponadto jestem współautorem 17 recenzowanych publikacji w czasopismach w języku angielskim (1 przed i 16 po doktoracie) oraz 2 publikacji w języku polskim (po doktoracie). W moim dorobku znajdują się również 4 recenzowane prace opublikowane w *Proceedings* z międzynarodowych konferencji naukowych (z czego jedna cytowana jest w bazie WoS Core Collection), a także 33 publikacje, stanowiące rozdziały w monografiach w języku angielskim (5) oraz polskim (28).

Rodzaj publikacji	Przed doktoratem			Po doktoracie		
	Liczba publikacji	Punkty IF	Punkty MNiSW	Liczba publikacji	Punkty IF	Punkty MNiSW
W czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)	1	0,72	15	15	19,57	267
W czasopismach recenzowanych (w j. angielskim)	1	-	4	16	-	75
W czasopismach recenzowanych (w j. polskim)	-	-	-	2	-	6
Rozdziały w monografii (w j. angielskim)	-	-	-	5	-	35
Rozdziały w monografii (w j. polskim)	2	-	6	26	-	98
<i>Proceedings</i>	-	-	-	4	-	-
Abstrakty z konferencji krajowych	4	-	-	41	-	-
Abstrakty z konferencji zagranicznych	6	-	-	33	-	-
Ekspertyzy naukowe	3	-	-	71	-	-

Sumaryczna wartość bibliometryczna moich prac na dzień 22.01.2019 to:

- sumaryczny **Impact Factor** (dla prac spoza osiągnięcia naukowego) - 20,29
- łączny **Impact Factor** wszystkich prac (wraz z osiągnięciem naukowym) – 29,564
- sumaryczna liczba punktów **MNiSW** (dla prac spoza osiągnięcia naukowego) – 506
- łączna liczba punktów **MNiSW** (wraz z osiągnięciem naukowym) – 625

- **suma cytowań** wszystkich publikacji (łącznie z pracami składającymi się na osiągnięcie naukowe) - wg Web of Science Core Collection: 134 (bez autocytacji 104) i wg Scopus: 199
- **Indeks Hirscha** (łącznie z pracami składającymi się na osiągnięcie naukowe) wg Web of Science Core Collection: 8 i wg Scopus: 10.

W okresie po obronie pracy doktorskiej w latach 2006-2009 kierowałam własnym projektem badawczym (MNiSW N305 108 31/3632), który dotyczył roli osadów dennych jako źródła zasilania wewnętrznego w fosfor w wybranych jeziorach Wielkopolski. Ponadto w latach 2007-2013 byłam pracownikiem pomocniczym w 2 grantach MNiSW (N N304 3400 33 i MNiSW NN 305 372 838). Tematem pierwszego była biologia, ekologia i rozmieszczenie zadychry pospolitej (*Branchipus schaefferi* Fish.) w Wielkopolsce na tle zgrupowań bezkręgowców wysychających zbiorników wodnych, gdzie prowadziłam badania parametrów fizyczno-chemicznych wód. Drugi dotyczył reakcji planktonu na zmianę jakości wody wybranych jezior poddanych zabiegom rekultywacyjnym. Tutaj również zajmowałam się analizami fizyczno-chemicznymi wód badanych jezior. Ponadto w latach 2013-2018 byłam wykonawcą w grantach badawczych zlecanych z Miasta Poznania (2 granty dotyczące obciążenia zewnętrznego Zbiornika Rusalka oraz 1 grant dotyczący funkcjonowania Jeziora Strzeszyńskiego). Oprócz tych projektów uczestniczyłam również w zespołach badawczych w ramach 4 grantów wykonywanych na zlecenie miasta Gniezna oraz gmin Biały Bór i Zaniemyśl. W tych grantach wykonywałam analizy fizyczno-chemiczne wód oraz osadów dennych jezior silnie zeutrofizowanych oraz poddanych zabiegom rekultywacyjnym (Zał. 4 pkt II.I). W ramach mojego uczestnictwa w projektach badawczych realizowanych na zlecenie różnych miast i gmin najczęściej z terenu Wielkopolski, zostałam współautorem 74 ekspertyz naukowych (3 przed doktoratem oraz 71 po doktoracie) (Zał. 4 pkt III.M).

W roku 2006 za działalność naukową otrzymałam Stypendium Naukowe Miasta Poznania dla młodych badaczy ze środowiska poznańskiego. Ponadto w roku 2009 przyznano mi nagrodę III stopnia Rektora UAM a w roku 2016 nagrodę zespołową III stopnia Rektora UAM (Zał. 4 pkt II.J).

Wyniki realizowanych przeze mnie badań prezentowałam na konferencjach naukowych, zarówno krajowych, jak i międzynarodowych. Było to (łącznie w okresie przed i po doktoracie) 36 konferencji krajowych oraz 32 międzynarodowe (w tym 15 zagranicznych). Byłam współautorem 34 referatów oraz 78 posterów (Zał.4 pkt II.K, III.B).

	Przed doktoratem		Po doktoracie		Łącznie
	Konferencje krajowe	Konferencje międzynarodowe	Konferencje krajowe	Konferencje międzynarodowe	
Liczba konferencji	4	6	32	26	68
Poster	4	2	41	31	78
Referat	0	4	23	7	34

W okresie po obronie pracy doktorskiej sprawowałam opiekę lub kierowałam pracami licencjackimi oraz magisterskimi. W latach 2008-2018 było to 21 licencjuszy oraz 22 magistrantów, głównie z kierunków Ochrona Środowiska oraz Hydrobiologia i Ochrona Wód na Wydziale Biologii UAM (Zał.4 pkt III.J). W ramach pracy dydaktycznej prowadziłam wykłady (Gospodarka wodna, Osady dennie zbiorników wodnych, Ekosystemy ekstremalne, Katastrofy ekologiczne oraz Morze Bałtyckie - funkcjonowanie, zagrożenia i ochrona), ćwiczenia (Gospodarowanie zasobami wodnymi, Ochrona wód i gospodarka wodno-ściekowa, Modelowanie ekosystemów wodnych, Monitoring środowiska, Transformacje biegu rzek i ich ekologiczne implikacje, Zagrożenia i technologie oczyszczania wód, Gospodarka wodna, Ochrona i rekultywacja zbiorników wodnych, Katastrofy ekologiczne, Morze Bałtyckie - funkcjonowanie, zagrożenia i ochrona), konwersatoria (Zagrożenia i technologie oczyszczania wód, Gospodarka wodna, Katastrofy ekologiczne, Morze Bałtyckie - funkcjonowanie, zagrożenia i ochrona) oraz zajęcia terenowe (Gospodarowanie zasobami wodnymi, Technologie w ochronie i rekultywacji środowiska, Gospodarka wodna) na kierunkach Ochrona Środowiska, Hydrobiologia i Ochrona Wód oraz Biologia, na Wydziale Biologii UAM (Zał. 4 pkt III.I).

W ramach pracy dydaktycznej o charakterze międzynarodowym w latach 2014-2018 brałam udział w zajęciach laboratoryjnych prowadzonych podczas Szkoły Letniej organizowanej na Jeziorze Durowskim "Ecological state of the lake during restoration measures" a także prowadziłam zajęcia na anglojęzycznym kierunku studiów magisterskich na Wydziale Biologii UAM - Environmental Protection. Były to ćwiczenia w ramach przedmiotów: Modelling of aquatic ecosystems, Protection and Restoration of Water Bodies i River courses, ecological implications of their transformation (Zał. 4 pkt III.I).

W grudniu 2018 roku w ramach programu Erasmus + odbyłam krótkoterminowy staż STA na Uniwersytecie Chrystiana Albrechta w Kilonii (Zał. 4 pkt III.L).

Od 2009 roku jestem członkiem Polskiego Towarzystwa Limnologicznego, Polskiego Towarzystwa Hydrobiologicznego, w którym pełnię rolę sekretarza oddziału poznańskiego oraz od 2017 roku Rady Naukowej Instytutu Biologii Środowiska (Zał. 4 pkt III.H).

W ostatnich latach recenzowałam prace naukowe w naukowych czasopismach polskich (Polish Journal of Environmental Studies – 1 publikacja) jak i zagranicznych (monografia The Handbook of Environmental Chemistry. Polish River Basins and Lakes oraz w czasopismach Journal of Soil and Sediments, Science of the Total Environment – 2 publikacje) (Zał. 4 pkt III.P).

Poznań, dnia 29 stycznia 2019

K. Kowalczyńska-Medus