

dr inż. Renata Tandyrak
Katedra Inżynierii Ochrony Wód
Wydział Nauki o Środowisku
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

AUTOREFERAT

**dotyczący osiągnięć w pracy naukowo – badawczej,
organizacyjnej i dydaktycznej**

1. Imię i nazwisko

RENATA TANDYRAK

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

1988 - tytuł zawodowy magistra inżyniera ochrony wód, uzyskany na Wydziale Ochrony Środowiska i Rybactwa, Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie. Tytuł pracy: **„Wymiana związków azotu i fosforu pomiędzy osadami dennymi a wodą w Jeziorze Długim”**. Promotor: dr inż. Helena Gawrońska.

2000 - stopień doktora nauk rolniczych w dyscyplinie rybactwo, uzyskany na Wydziale Ochrony Środowiska i Rybactwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Tytuł rozprawy: **„Badanie efektywności rekultywacji Jeziora Starodworskiego metodą inaktywacji fosforu”**. Promotor: prof. dr hab. Konstanty Lossow.

2.1. Inne formy edukacji

1991-1992 Studium Doskonalenia Pedagogicznego dla Nauczycieli Akademickich

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych

1.10. 1988 – 30.09.1991 - Wydział Weterynaryjny, Katedra Położnictwa i Patologii Rozrodu – **pracownik techniczny,**

1.10. 1991 – 31.12.2000 – Zakład Limnologii Fizycznej, Wydział Ochrony Wód i Rybactwa Śródlądowego, Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie – **asystent,**

01.01. 2001 – 30.09.2017 – Katedra Inżynierii Ochrony Wód, Wydział Nauk o Środowisku, Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie – **adiunkt,**

01.10.2017 do chwili obecnej – **asystent.**

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. 2016. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311):

a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego

EWOLUCJA MIKSJI I STAN TROFICZNY JEZIORA STARODWORSKIEGO NA TLE WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH I POSTĘPUJĄCEJ URBANIZACJI

(autor/autorzy, tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa)

Renata Tandyrak, Ewolucja miksji i stan troficzny Jeziora Starodworskiego na tle warunków klimatycznych i postępującej urbanizacji, 2017, Monografia nr 205, Wydawnictwo UWM, s. 118, ISBN 978-83-8100-094-9.

Recenzentami wydawniczymi byli dr hab. Rajmund Skowron z Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu i dr hab. inż. Agnieszka Tórz, prof. nadzw. z Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie.

Omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Tematyka badań, których wyniki są zawarte w monografii wskazanej w punkcie 4a jako osiągnięcie naukowe, wiąże się z zagadnieniami ochrony i kształtowania środowiska dotyczącymi naturalnych i antropogenicznych przyczyn zmiany dynamiki i trofii wód jeziora.

Jezioro Starodworskie w Olsztynie (53°44'9" N, 20°27'4" E) jest unikatowym w skali świata obiektem z powodu doskonale udokumentowanej, kilkudziesięcioletniej historii systematycznych badań limnologicznych prowadzonych w jednej jednostce naukowej. Oprócz badań z zakresu limnologii fizycznej jezioro kilkakrotnie wykorzystywane było jako obiekt doświadczalny, prowadzono na nim pionierskie eksperymenty z zakresu rekultywacji jezior: sztuczne napowietrzanie i inaktywację fosforu (tab. 1).

Wyniki badań własnych prowadzonych od 1994 r. skonfrontowane z wynikami badań archiwalnych (zawartymi w protokołach badań terenowych) wykonywanych w tej samej jednostce naukowej przez wybitnych polskich limnologów, profesorów Olszewskiego i Lossowa od połowy lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku pozwoliły na prześledzenie zmiany dynamiki wód Jeziora Starodworskiego.

W pracy przeanalizowano procesy zachodzące w obrębie misy jeziora, jego zlewni, ograniczanie dynamiki wód i zmiany trofii. Tłem tych procesów były warunki klimatyczne, m.in. wzrastająca temperatura powietrza oraz prędkość i kierunek wiatru. Uwzględniono też wpływ eksperymentalnych metod rekultywacyjnych testowanych na tym obiekcie.

Tabela 1. Zabiegi rekultywacyjne wykonywane na Jeziorze Starodworskim

Okres przeprowadzanego eksperymentu	Metoda rekultywacji
1967 – 1968 1972 - 1974	Sztuczne napowietrzanie z jednoczesnym niszczeniem uwarstwienia termicznego przy wykorzystaniu sprężarek elektrycznych.
1986 - 1987	Sztuczne napowietrzanie wód hypolimnionu ze zburzeniem układów termicznych z wykorzystaniem energii wiatru (zastosowanie 8-płatowego wirnika średniobieżnego).
1988 - 1989	Sztuczne napowietrzanie wód hypolimnionu bez niszczenia układów termicznych z wykorzystaniem energii wiatru (zastosowanie 24-płatowego wirnika wolnobieżnego).
1994 - 1995	Inaktywacja fosforu przy użyciu siarczanu glinu. Łącznie, w dwóch etapach rekultywacji, wprowadzono 15 ton koagulantu o różnej granulacji.
2009 – 2010	Napowietrzanie hypolimnionu metodą pulweryzacyjną.

Krążenie wód jest czynnikiem determinującym wszelkie inne procesy zachodzące w jeziorze, m. in. wpływa na natlenienie wód, warunkuje jego trofię i przekłada się na walory użytkowe i krajobrazowe – szczególnie istotne w przypadku zbiorników miejskich. Unikatowe cechy jezior meromiktycznych (termicznie odcięty monimolimnion, a więc teoretycznie brak zasilania cyrkulolimnionu nutrientami z tej warstwy wód) sprawiają, że zbiorniki te są dogodnymi obiektami do rozpoznania procesów mikrobiologicznych związanych z biogeochemicznym obiegiem substancji odżywczych i beztlenowym rozkładem związków organicznych. W odniesieniu do Jeziora Starodworskiego istotne jest, że na przestrzeni kilkudziesięciu lat obserwacji zmieniła się nie tylko dynamika jego wód, ale również otoczenie: ze zbiornika leżącego na obrzeżu niewielkiego miasta stało się ono jeziorem miejskim, wokół którego rozbudowało się miasto Olsztyn i miasteczko akademickie. Urbanizacja terenu spowodowała przekształcenia w obrębie zlewni: zmieniła się zarówno jej powierzchnia, jak i sposób użytkowania. Otaczające jezioro skarpy zostały porośnięte drzewami ograniczającymi dostęp wiatru do lustra wody. Ponadto przeprowadzony prekursorski w Polsce zabieg rekultywacji jeziora metodą inaktywacji fosforu obciążył głębokie partie jego wód siarczanem glinu zwiększając w ten sposób ich gęstość. Dlatego za cele niniejszej pracy przyjęto:

1. Analizę wpływu przekształcenia zlewni i otoczenia jeziora na ograniczanie dostępu wiatru do lustra wody oraz na powierzchniowe zasilanie zbiornika w biogeny.
2. Określenie wpływu wiatru i zmian temperatury powietrza na dynamikę wód.
3. Rozpoznanie wzmocnienia stabilności termicznej poprzez uwarstwienie chemiczne.
4. Ocenę żyzności jeziora w kontekście zmian zasilania powierzchniowego

(z przekształconej zlewni) i wewnętrznego - z osadów izolowanych przez monimolimnion.

- Wykazanie zależności pomiędzy parametrami fizykochemicznymi i bakterioplanktonem Jeziora Starodworskiego.

Zakres pracy obejmował:

- charakterystykę przekształcenia zlewni topograficznej i hydrologicznej zbiornika oraz zagospodarowania jego najbliższych okolic w badanym okresie.
- prześledzenie zmian temperatury powietrza, prędkości i kierunku wiatru w badanym okresie.
- opracowanie bazy danych fizyko–chemicznych Jeziora Starodworskiego na podstawie istniejących archiwalnych protokołów badań oraz własnych badań terenowych i laboratoryjnych prowadzonych w latach 1992 – 2013.
- opracowanie wyników w powiązaniu z danymi meteorologicznymi i urbanizacją obrzeży zbiornika.

Omawiając wyniki, w pracy posługiwano się określeniami: pierwszy okres obserwacji (obejmujący lata 1952–1986) i drugi okres obserwacji (obejmujący lata 1992–2013). W rozważaniach dotyczących dynamiki wód pominięto okres, w którym była ona wymuszona przez stosowane zabiegi rekultywacji metodą sztucznego napowietrzania.

W pracy wykazano, że w ciągu całego okresu obserwacji zmieniły się niektóre cechy morfometryczne Jeziora Starodworskiego. Aktualne dane (Ziemak 2015) porównano z danymi podawanymi przez Paschalskiego (1963) oraz Lossowa i in. (2005).

Tabela 2. Podstawowe parametry morfometryczne Jeziora Starodworskiego

Parametr	Paschalski (1963)	Lossow i in. (2005)	Ziemak (2015)
Położenie [n.p.m.]	111,0	111,0	110,85
Powierzchnia [m]	6,99	6,00	5,57
Głębokość maks. [m] H_{max}	23,3	23,3	24,5
Głębokość śr. [m] H_{sr}	7,9	9,0	9,4
Głębokość wzgl. H_w	0,0882	0,0950	0,1038
Wskaźnik głębokościowy W_g	0,337	0,386	0,382
Objętość [m ³] V	549 900	540 000	522 014
Długość maks. [m] L	345	345	341
Szerokość maks. [m] $B_{maks.}$	213	213	226
Szerokość śr. [m] $B_{sr.}$	202,7	174,0	163,3
Wskaźnik wydłużenia λ	1,62	1,62	2,09
Długość linii brzegowej [m]	899,5	900,0	892,0

Zauważono znaczną, przekraczającą 1 m, różnicę w maksymalnej głębokości zbiornika w odniesieniu do stwierdzonej wcześniej (24,5 m w stosunku do 23,3 m). Hipotetycznie takie niewielkie zagłębienie w dnie jeziora wewnątrz izobaty 24 m (0,04 ha) mogło być przez Paschalskiego nie zauważone, ponieważ głęboczek ma bardzo małą powierzchnię. Głębokość maksymalna mogła też wzrosnąć później, w następstwie rekultywacji prowadzonej metodą sztucznego napowietrzania na skutek zasysania wody z najgłębszych partii wód i wypłukiwania osadów. Głęboczek mógł też utworzyć się w ostatnich latach (2009 - 2010) podczas nieudanej próby pulweryzacyjnego natleniania hypolimnionu. Jednocześnie poziom zwierciadła wody obniżył się (110,85 w porównaniu do 111,0 m n.p.m.), co pociągnęło za sobą zmniejszenie powierzchni lustra wody o 20%. Taka różnica w konsekwencji odbiła się na wartościach pozostałych parametrów określających wymiary misy jeziornej. Dotyczy to głównie wskaźnika głębokościowego (W_g), głębokości średniej (H_{sr}) oraz głębokości względnej (H_w).

Stwierdzona ekstremalna wartość głębokości względnej sugeruje ograniczoną dynamikę wód zbiornika. W omawianej pracy stwierdzono, że same parametry morfometryczne w tym przypadku nie wystarczają do wytworzenia meromiksji. Aktualnie dla omawianego zbiornika H_w wynosi 0,1038 i plasuje je na trzecim miejscu wśród jezior Pojezierza Mazurskiego. W pracy jednoznacznie wykazano, że nawet ograniczenie dostępu wiatru do lustra wody poprzez osłonięcie brzegów jeziora drzewami, krzewami i budynkami oraz transformacja zlewni, nie wywołały krążenia meromiktycznego. Na początku lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku Jezioro Starodworskie nadal pozostawało holomiktyczne, chociaż pojawiały się pierwsze symptomy ograniczonej miksji.

Początkowo, co w swoich badaniach wykazał Solarski (1967), zlewnia Jeziora Starodworskiego zajmowała 55 ha i miała typowo rolniczy charakter. Porównując sporządzony przez tego autora plan użytkowania zlewni oraz analizując zdjęcie lotnicze z tego okresu oszacowano, że 33% stanowiły pola uprawne, 25% - ferma rolnicza, pozostałą część – użytki zielone. Wykazano, że w okresie obserwacyjnym nastąpiły istotne zmiany w zlewni. W latach sześćdziesiątych ubiegłego stulecia wprowadzono pierwszą z nich - zorganizowany został trawiasty wybieg dla koni. Ten sposób użytkowania terenu mógł wpływać na erozję brzegów i przez to oddziaływać na depozyty jeziorne i chemizm wody. Pola uprawne i wybieg były nawożone. Kolejną zmianą w otoczeniu zbiornika w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku była likwidacja fermy trzody chlewnej i odcięcie dopływu ścieków z tego źródła. Rozpoczęto również budowę obiektów dydaktycznych od strony północnej i wielokondygnacyjnych budynków mieszkalnych od strony zachodniej, co ograniczyło dostęp wiatru do lustra wody. Zmiany w zlewni topograficznej i urbanizacja terenu wokół jeziora wiązały się z jednoczesnym ułożeniem kanalizacji deszczowej i odprowadzeniem wód poza zlewnię. W ten sposób zlewnia rzeczywista została znacznie pomniejszona i obecnie wynosi 14,34 ha. Ze zlewni został wyłączony niemal cały użytkowany rolniczo obszar od strony zachodniej. Jako ostatni, na początku lat dwutysięcznych został zbudowany kościół z

42m wieżą. Budynki znajdujące się w najbliższym otoczeniu jeziora, mimo usytuowania poza jego rzeczywistą zlewnią, znacznie ograniczyły możliwość wiatrowego mieszania.

Analiza mapy topograficznej z uwzględnieniem planu kanalizacji deszczowej, zdjęć satelitarnych i obserwacje w terenie wykazały, że chociaż sam zbiornik usytuowany jest w terenie zurbanizowanym, to jego zlewnia jest zróżnicowana. Powierzchnia zlewni bezpośredniej aktualnie zajmowana jest przez:

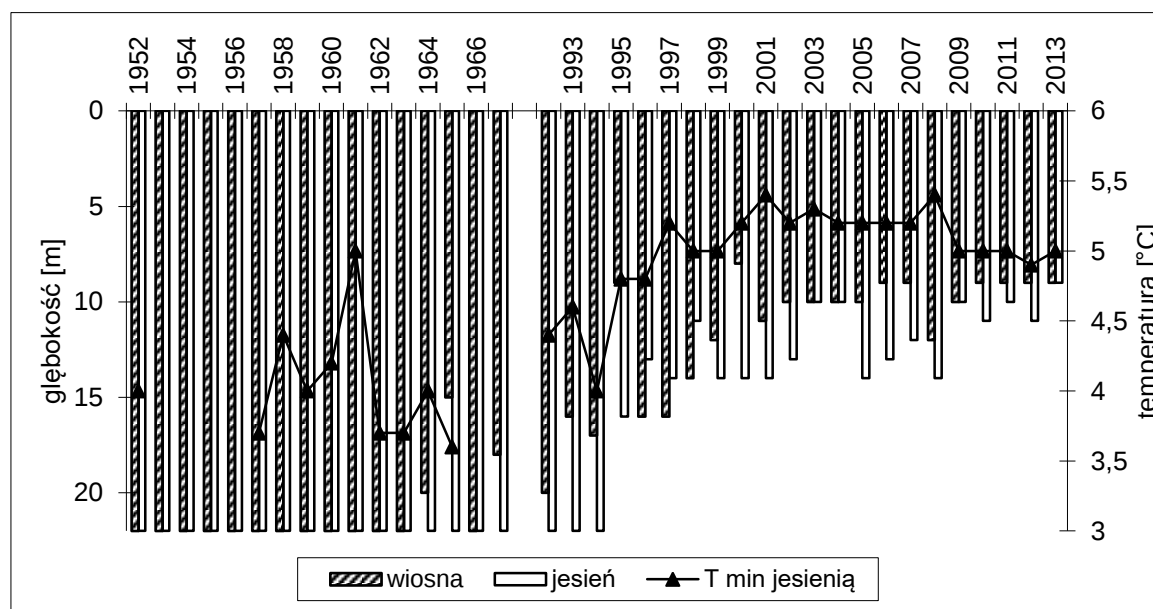
- nieużytki (10,04 ha; 70%), będące jednocześnie przede wszystkim wybiegiem dla koni (32 – 34 szt.), dzikim miejscem biwakowania, plażowania oraz spacerów ludzi i psów,
- las mieszany (1,93 ha; 13,4%) porastający górną część skarpy od strony wschodniej oraz znajdujący się w części południowej,
- użytki zielone (0,80 ha; 5,6%),
- tereny zabudowane (1,58 ha; 10,9%)

Zmiana powierzchni zlewni i sposobu jej użytkowania wpłynęła w oczywisty sposób na zasilanie powierzchniowe omawianego zbiornika. Aktualnie w ciągu roku wynosi ono 80,62 kg N i 5,56 kg P i przy zmienionych parametrach morfometrycznych nie przekracza ładunków dopuszczalnych wg Vollenweidera (1976) dla azotu, natomiast przewyższa ładunek dopuszczalny dla fosforu (odpowiednio: 83,26 kg N i 5,18 kg P). W początkowym okresie obserwacji zasilanie ze zlewni oszacowano na 432,4 kg N·rok⁻¹ i 16,9 kg P·rok⁻¹. Wartości te przekraczały ładunki dopuszczalne, wyliczone wg kryteriów Vollenweidera (1976) na 93,6 kg N i 6,01 kg P, a nawet niebezpieczne (odpowiednio: 193,26 kg N i 12,02 kg P). Wykazano więc, że urbanizacja terenu, a przede wszystkim zmniejszenie zlewni rzeczywistej wpłynęły korzystnie na ograniczenie spływu powierzchniowego. W porównaniu z początkowym okresem obserwacji zasilanie azotem zmniejszyło się ponad 5-krotnie, a fosforem 3,5-krotnie.

Na przestrzeni lat badawczych temperatura powietrza w Olsztynie wykazywała trend wzrostowy. Porównując średnie temperatury z miesięcy letnich (w 5-letnich przedziałach czasowych) zaobserwowano, że najcieplejszym miesiącem na ogół był lipiec, wyjątkowo czerwiec (1979 r.) lub sierpień (2002 r.) Najwyższą średnią temperaturę powietrza stwierdzono pod koniec okresu badawczego. Potwierdzono istotny statystycznie trend wzrostowy tego parametru ($R^2 = 0,181$).

Na obszarze Olsztyna dominowały wiatry południowo-zachodnie. W okresie cyrkulacji jesiennej przeważały wiatry zachodnie, wiosną zaś wschodnie. Z największą prędkością wiatr wiał od listopada do marca, w kwietniu jego prędkość malała. W okresie badawczym średnia prędkość wiatru zmieniała się. Wyraźną tendencję obniżania średniej prędkości wiatru notowano od połowy lat siedemdziesiątych do połowy osiemdziesiątych ubiegłego wieku. Obniżone prędkości wiatru notowano jeszcze w latach dziewięćdziesiątych. Zbiegało się to w czasie z rekultywacją wymuszającą krążenie wód (1967-1968, 1972-1974, 1986-1989) oraz inaktywacją fosforu obciążającą głębokie partie wód jeziora siarczanem glinu (1994-1995).

W pierwszym okresie obserwacji, podobnie jak większość jezior umiarkowanej strefy klimatycznej, Jezioro Starodworskie było zbiornikiem holomiktycznym i dymiktycznym, ale mieszającym się „leniwie” (bradymiktycznym). Przyczyn tego upatrywano w sposobie ukształtowania terenu (otoczenie wzgórzami i częściowe zadrzewienie, a następnie zabudowanie) i parametrach morfometrycznych (niewielka powierzchnia w stosunku do głębokości, duża głębokość względna, ukształtowanie misy). Wiosenna cyrkulacja była na ogół krótka i dogłębna. Zauważono jednak, że pod koniec pierwszego okresu obserwacyjnego zdarzały się miksje niepełne. Stosunkowo szybko powstawało letnie uwarstwienie termiczne. Zasięg epilimnionu był niewielki, w miarę ogrzewania w okresie stagnacji na ogół pogłębiał się, a jego miąższość w szczytowym okresie (sierpień) w latach pięćdziesiątych wynosiła 3-5 m, a w kolejnej dekadzie 2-4 m. Termoklina sięgała do głębokości 6-8 m i odcinała się od epilimnionu maksymalnym (na ogół) dla profilu gradientem termicznym, którego położenie w miarę ogrzewania najwyższego piętra termicznego zwykle się obniżało. W sierpniu plasowało się najczęściej pomiędzy 4 a 5, lub 5 a 6 m głębokości. Maksymalne dla pierwszego okresu obserwacji gradienty termiczne odnotowano w roku 1965 i 1966 (odpowiednio: $7,9$ i $7,4^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$). Poniżej 6-8 m znajdowała się obszerna warstwa chłodnego, niemal wyrównanego termicznie hypolimnionu. Temperatura w jego górnej warstwie wahała się w zakresie $5,1$ – $7,7^{\circ}\text{C}$ i obniżała się do dna, gdzie osiągała wartości od $3,9^{\circ}\text{C}$ (1955-1956 r.) do $6,3^{\circ}\text{C}$ (1964 r.) Wartości tego parametru wykazywały dużą stałość. Cyrkulacja jesienna w porównaniu z wiosenną była dłuższa i swym zasięgiem obejmowała całą masę wód, powodując ich wychłodzenie poniżej 4°C .



Rys. 1. Zasięg mieszania wód podczas cyrkulacji wiosennej i jesiennej w całym okresie badawczym oraz najniższa temperatura wody jeziora Starodworskiego w okresie jesiennym.

W drugim okresie obserwacyjnym zasięg obu cyrkulacji wód uległ wyraźnemu ograniczeniu (Rys. 1). Jezioro rozmarzało w podobnym czasie jak w pierwszym okresie obserwacji. Wiosenne krążenie od początku było spłycone i sięgało do 20 m głębokości. W kolejnych latach jego zasięg zmniejszył się nawet do 10 m w roku 2003 i 2004 i na podobnym poziomie utrzymywał się do końca okresu badań.

Letnia stratyfikacja termiczna była silnie zaznaczona i zakładała się bardzo szybko, nieraz po kilku dniach od rozmarznięcia zbiornika. W latach 1997–2004 epilimnion obejmował swym zasięgiem wody do ok. 2 m, w pozostałym okresie do 3 m głębokości. Jego objętość zmniejszyła się więc z 30-40% do 22-30% objętości jeziora. Termoklina zajmowała obszar do 7-8 m głębokości, a jej miąższość (podobnie jak w pierwszym okresie obserwacyjnym) z reguły wynosiła 4 m. Maksymalne gradienty termiczne w porównaniu do okresu pierwszego wzrosły. Obserwowano je w latach 2000 i 2001: 26 czerwca 2000 roku pomiędzy 2 a 3 m głębokości - $9,2^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$, 31 lipca 2001 roku pomiędzy 3 a 4 m głębokości - $9,8^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ i 20 sierpnia 2001 r. pomiędzy 5 a 6 m głębokości - $8,8^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$. Cyrkulacja jesienna miała większy zasięg niż wiosenna, ale od 1995 roku ograniczony do 16 m, a w ostatnich latach nawet do 10-11 m głębokości. Podczas cyrkulacji jesiennej następowało wychłodzenie wód do temperatury $4,0\text{--}5,4^{\circ}\text{C}$. W drugim okresie obserwacyjnym pojawił się wzrostowy trend temperatury w naddennej warstwie wód opisany równaniem:

$$y=7E-0,05x+2,2475.$$

Reasumując, na przestrzeni lat badawczych wiosenna cyrkulacja wód uległa skróceniu, natomiast jesienna wydłużeniu. Wykazano, że było to spowodowane przesunięciem okresu zamarzania i odmarzania jeziora. Krótszy czas trwania wiosennej cyrkulacji wód nakładający się na wzrostowy trend temperatury powietrza i zmniejszona już w kwietniu maksymalna prędkość wiatru wiejącego wzdłuż krótszej osi jeziora decydowały o zasięgu mieszania. Zauważono, że w pierwszym okresie obserwacyjnym, kiedy stabilność termiczna w okresie stagnacji letniej na przestrzeni lat wykazywała trend malejący, to jesienią krążenie wód było dogłębne. Od 1994 r., przy silnie wzrostowej tendencji zmian stabilności termicznej latem, mimo wydłużonego okresu cyrkulacji jesiennej i wiatru wiejącego wzdłuż dłuższej osi jeziora była ona ograniczona do 9-10 m głębokości.

Stabilność wód Jeziora Starodworskiego charakteryzowała zmienność sezonowa w całym okresie badawczym. Porównując maksymalne wartości tego parametru, notowane z reguły w sierpniu, w pierwszym okresie obserwacyjnym nie zauważono statystycznie istotnych zmian. W drugim natomiast wykazano wzrostowy trend stabilności wód przedstawiony równaniem:

$$y=4,6267x-16,496 \text{ dla okresu stagnacji letniej,}$$

a dla okresu wiosennego:

$$y=4,6523x-9284.$$

Stwierdzono wysoce istotną statystycznie zależność między stabilnością wód i temperaturą powietrza: $y=20,78-17,58x+3,54x^2$ oraz między stabilnością wód i zawartością ciepła opisaną równaniem: $y=0,0446x+11,564$.

W pierwszych latach badań cyrkulacja wiosenna doprowadzała tlen do całej objętości zbiornika, chociaż już wówczas występowały okresy, kiedy jedynie śladowe ilości tego gazu obserwowano w najgłębszych partiach wód. Słabe natlenienie powodowało, że wraz z ustaniem cyrkulacji tlen szybko się wyczerpywał i podczas stagnacji letniej hypolimnion pozostawał odtleniony. Profile tlenowe w postaci krzywej klinogradowej wyglądały podobnie we wszystkich latach badawczych. Drugi okres obserwacyjny przyniósł znaczące zmiany w rozmieszczeniu tlenu w wodach Jeziora Starodworskiego, wynikające z faktu, że nie tylko wiosną, ale również jesienią mieszanie wód było niepełne (Rys. 1). Ponieważ cyrkulacje nie uzupełniały deficytów tlenowych, w głębszych partiach wód, przez cały czas panowały warunki anoksyiczne i istniała tendencja powiększania ich zasięgu.

W pracy przedstawiono różnice w składzie jonowym i w zawartości materii organicznej w pierwszym i drugim okresie obserwacyjnym. Posłużyło to jako tło dla wyjaśnienia permanentnej stratyfikacji chemicznej wzmacniającej uwarstwienie termiczne.

W latach 1994 i 1995 (drugi okres obserwacyjny) w Jeziorze Starodworskim przeprowadzono zabieg rekultywacji metodą inaktywacji fosforu. Do zbiornika wprowadzono 15 ton siarczanu glinu obciążając osady dennie i najgłębsze partie wód jeziora. Tam stężenie siarczanów osiągnęło maksymalnie $56,03 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, w całym zbiorniku zaś wzrosło do 25 900 kg (przed rekultywacją 6259,4 - 9308,7 kg). Uruchomiło to szereg reakcji hydrochemicznych polegających głównie na strąceniu fosforu i materii organicznej. Redukcja siarczanów i beztlenowy rozkład strąconej materii organicznej doprowadziły do znacznego wzrostu zawartości H_2S , CO_2 i N-NH_4 . Należy podkreślić, że przy tym obciążeniu jeziora nie stwierdzono wówczas ograniczenia jego mikcji. Nastąpiło to kilka lat później. W tym czasie nie zachodziły już zmiany w otoczeniu jeziora (jedynie w pewnym oddaleniu wybudowano kościół akademicki z 42 metrową wieżą), natomiast utrzymywała się tendencja wzrostu temperatury powietrza.

Na świecie meromiksja dotyczy niewielkiej, chociaż wciąż wzrastającej liczby zbiorników. Być może ich liczba rzeczywiście się zwiększa, możliwe też, że ten rodzaj mikcji zyskuje potwierdzenie w badaniach prowadzonych pod tym kątem. Podobnie w Polsce meromiksja dotyczy niewielkiej liczby jezior. Udokumentowana jest zaledwie dla kilkunastu zbiorników, tak naturalnych, jak i sztucznych, w tym: Klasztorne Małego (Januszkiewicz i Jakubowska 1964, Januszkiewicz 1969), Wądołek (Czeczuga 1966), Rzeźniki (Zachwieja 1970), Zakrzówek (Galas 2003, Ślusarczyk 2003), Zapadłego (Teodorowicz i in. 2003, Dunalska i in. 2004 Tandyrak i in. 2010), Czarne (Gołębiowska i in. 2005, Kraska i in. 2006), Piaseczno (Szarek – Gwiazda i Żurek 2006, Szarek-Gwiazda 2008), Górka (Czop i in. 2011), Suminko (Tylmann i in. 2012), Gliniok (Molenda 2014). Ostatnio do tej grupy dołączyło niewymienione w pracy jezioro Czarnogłowy (Kubiak i in. 2018). Istnieje możliwość ewoluowania jezior holomiktycznych w kierunku meromiksji co udowodniono w tej pracy, a także sytuacja odwrotna - przywrócenie holomiksji, co zaobserwował Czeczuga (1966) w jeziorze Wądołek.

Wykazano, że Jezioro Starodworskie weszło w stan trwałej meromiksji w roku 2001. Ograniczona mikcja skutkowałą wytworzeniem się typowego uwarstwienia z

cyrkulolimnionem podlegającym typowym rocznym cyklom mieszania i stratyfikacji i monimolimnionem obejmującym 16% objętości wód zbiornika. Jego umiejscowienie widoczne było jako wzrost temperatury w układzie pionowym o 0,2–0,4°C i wyznaczało położenie chemokliny. W pionowym profilu chemicznym w tym miejscu następowało wyczerpanie tlenu, obniżenie odczynu oraz gwałtowny wzrost przewodnictwa elektrolitycznego w efekcie podwyższenia stężenia jonów, zwłaszcza NH_4^+ , PO_4^{3-} , Mn^{2+} , Ca^{2+} . Nie wzrastały stężenia chlorków i magnezu, natomiast koncentracja siarczanów się obniżała w efekcie ich redukcji i podwyższenia stężenia siarkowodoru. Sumując stężenia oznaczanych jonów, na głębokości 14 m stwierdzono wyższe zawartości w stosunku do głębokości 12 m średnio o 12,22 mg dm⁻³. Głębiej stężenia rozpuszczonych soli malały (szczególnie dobrze widoczne jest to w profilu N-NH₄ i Mn), chociaż w całym monimolimnionie były one zdecydowanie wyższe niż w miksolimnionie. Wzrost gęstości w chemoklinie wynikający z zasolenia spowalniał w tym miejscu sedymentację, co objawiało się zwiększeniem stężenia TOC i POC. Tuż nad chemokliną lub na jej początku zanotowano natomiast zagęszczenie zawiesiny bakteryjnej stanowiącej 30-51% POC, wyraźne zwiększenie ogólnej liczby bakterii (OLB) i ich biomasy (BB) potwierdzające to zjawisko.

Wyodrębniony monimolimnion stał się strefą wyłączoną z wymiany gazowej z atmosferą i trwałym rezerwuarem materii organicznej, rozpuszczonych soli i pierwiastków biogenych wycofanych z produkcji pierwotnej. Wykazano, że warstwa ta zawierała 22-63% PO_4 i 19-50% N-NH₄ i 13-42% materii organicznej określonej jako BZT₅. Mieściła też przeważającą ilość powstających gazów: 85-90% siarkowodoru i ok 80% ditlenku węgla. Wymienione składniki występowały w wysoce istotnych ($p < 0,01$) wzajemnych zależnościach, potwierdzonych korelacją rang Spearmana. Statystyka ta wykazała też wysoce istotne zależności pomiędzy przewodnością a stężeniem wapnia (0,805), azotu amonowego (0,836) i fosforanów (0,767) w tej warstwie wód. Warstwa ta była zasilana sedymentującą łatwo rozkładalną materią autochtoniczną ($0,9 \leq \text{BZT}_5 \leq 3,2$; $2,6 \leq \text{DOC/POC} \leq 6,6$) z warstwy trofogenicznej oraz, w mniejszym zakresie, poprzez wewnętrzne nawożenie z osadów dennych. Wskazują to gradienty stężeń pomiędzy wodami nadosadowymi i naddennymi oraz (potencjalny) strumień fosforu przechodzącego z osadów do wody wyliczone dla poszczególnych głębokości. Nawożenie dotyczyło zwłaszcza osadów na głębokości 15 m. Poczynione obserwacje wskazują, że pomimo stabilnych warunków (temperatura, brak tlenu) wewnętrzne nawożenie monimolimnionu biogenami z osadów dennych, chociaż niewielkie, było jednak zależne od głębokości na obszarze misy jeziornej, a osady monimolimniczne zasilaty wody w sposób nierównomierny, zarówno przestrzennie, jak i w cyklu rocznym. Stabilność warunków w tym obszarze potwierdziły wyliczenia dotyczące dobowego strumienia fosforanów uwalnianego/retencjonowanego z wód interstycjalnych. W ciągu obserwacyjnym wartości te były niewielkie: czerwiec–wrzesień: uwalnianie

0,015 mg P·m⁻²·d⁻¹, wrzesień–grudzień: uwalnianie 0,069 mg P·m⁻²·d⁻¹, grudzień–kwiecień: retencja 0,035 mg P·m⁻²·d⁻¹. Analogicznie, dla azotu amonowego odpowiednio: retencja

0,216 mg N-NH₄·m⁻²·d⁻¹, uwalnianie 0,288 mg N-NH₄·m⁻²·d⁻¹, uwalnianie 0,977 mg N-NH₄·m⁻²·d⁻¹.

Skład chemiczny osadów dennych w płytszej części misy jeziora determinowany był sposobem użytkowania zlewni, w głębszej części kierunek napływu materii nie miał istotnego znaczenia. Stwierdzono zależność pomiędzy zawartością (% s.m.) P₂O₅ a pierwiastkami tworzącymi kompleks sorpcyjny osadów dennych: Ca i Fe, nie potwierdzono korelacji z Al. Wykazano zależność między zawartością głównych pierwiastków odpowiedzialnych za eutrofizację wód (azotu i fosforu) w osadach dennych i w wodach interstycjalnych.

Nagromadzenie dużej ilości łatwo przyswajalnej materii organicznej, stała niska temperatura i warunki anoksydacyjne panujące w obszarze monimolimnionu kształtowały biocenozę bakteryjną, charakteryzującą się wysoką liczebnością, biomasą i znacznymi rozmiarami komórek, z dużym udziałem komórek zakrzywionych. W tej warstwie wód zaobserwowano najwyższe wartości BB jako pochodnej OLB. Średnia objętość komórek w wodzie naddennej była typowa dla bakterioplanktonu wód o dużej zawartości łatwo przyswajalnej materii organicznej. Stwierdzono istotną statystycznie zależność pomiędzy BB i OLB a ilością produktów ich beztlenowego metabolizmu: PO₄, N-NH₄ i H₂S oraz zawartością Fe i Ca. Specyficzną cechą bakterioplanktonu była wysoka produkcja wtórna wskazująca na przesunięcie sezonowe od powierzchni ku dnu jeziora.

Trofię Jeziora Starodworskiego scharakteryzowano przy pomocy modelu TSI opracowanego przez Carlsona (1977). Kompletne dane mogące posłużyć do interpretacji były gromadzone od 1985 r. Potwierdzono wysoce istotną statystycznie korelację pomiędzy TSI(SD) i TSI(Chl a) i zakładając tę samą istotność, posługując się równaniem

$$\text{Chl a} = -8,7812 \cdot \text{SD} + 29,245$$
(gdzie SD oznacza widzialność krążka Secchiego w m) wyliczono brakujące średnie letnie stężenia chlorofilu a w latach 1952 – 1978. Pozwoliło to stwierdzić, że w pierwszym okresie obserwacji wartości te mieściły się w zakresie 12,7–22,4 µg·dm⁻³ i wyraźnie obniżyły się do 4,74–10,72 µg·dm⁻³ w latach 1972–1974 odpowiadających rekultywacji metodą sztucznego napowietrzania. TSI(Chl a) przyjmował wartości z pogranicza mezo- i eutrofii, z wyjątkiem okresu rekultywacji, kiedy mieścił się w zakresie 48–53, czyli w dolnym przedziale wartości charakterystycznych dla mezotrofii. W przybliżeniu, w tym okresie szacowany TSI(Chl a) ≥ TSI(SD).

Zależności pomiędzy cząstkowymi TSI na przestrzeni lat były podobne. Wartości TSI(TP) zawsze były najwyższe i zbliżały się do granicy z hypertrofią. TSI(Chl a) przyjmował wartości najniższe, zawsze w granicach mezotrofii. Na podstawie zależności TSI(TP) > TSI(Chl a) stwierdzono, że produkcja pierwotna mogła być ograniczana unoszącą się w toni wodnej zawiesiną lub barwą wody. Stała zależność typu TSI(SD) > TSI(Chl a) wskazuje że widzialność była ograniczona obecnością małych glonów. Wyjątkowy pod tym względem był okres rekultywacji jeziora metodą sztucznego napowietrzania. Trofię cechowała wówczas zależność TSI(SD) < TSI(Chl a) wskazująca na obecność dużych organizmów planktonowych.

Cząstkowe TSI charakteryzujące żyźność Jeziora Starodworskiego w ostatnich latach utrzymywały się na zbliżonym poziomie i zależności pomiędzy nimi były stałe. Niewątpliwie

wpływała na to depozycja nutrientów w monimolimnionie. W omawianym przypadku z obiegu zostało wycofane do 50% TP i do 35% TN. Z dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że miało to wpływ na ograniczenie trofii zbiornika w okresie meromiksji.

Najważniejsze wnioski wynikające z przeprowadzonych badań:

1. Zmiana charakteru zlewni z rolniczej na nieużytki oraz znaczne zmniejszenie jej powierzchni związane z procesem urbanizacji spowodowały zmniejszenie obciążenia jeziora biogenami spływającymi z obszaru zlewni.
2. Plan batymetryczny Jeziora Starodworskiego wykonany w 2015 roku wprowadza znaczące korekty parametrów morfometrycznych zbiornika w stosunku do planu Paschalskiego z 1963 roku.
3. Ekstremalna wartość głębokości względnej Jeziora Starodworskiego oraz ograniczenie dostępu wiatru do lustra wody poprzez osłonięcie jego brzegów nie były wystarczającymi przyczynami meromiksji.
4. Ograniczony dostęp wiatru do lustra wody i jego mniejsza prędkość sprawiały, że akwen był mieszany mniej intensywnie. Równoległe zachodzące zmiany w zagospodarowaniu terenu wokół jeziora zbiegły się w czasie z rekultywacją jeziora metodą inaktywacji fosforu. Jednoczesne wystąpienie tych czynników zainicjowało wytworzenie krążenia meromiktycznego.
5. Stwierdzono, że w okresie meromiksji nadal istniała możliwość wynoszenia nutrientów do warstwy trofogenicznej w wyniku erozji monimolimnionu podczas cyrkulacji jesiennej oraz poprzez konwekcję metanu.
6. Pomiędzy wodami interstycjalnymi i nadosadowymi w obrębie monimolimnionu wytworzyła się równowaga zapobiegająca wewnętrznemu zasilaniu tej warstwy azotem i fosforem z osadów dennych.
7. Depozycja nutrientów w monimolimnionie miała znaczący wpływ na ograniczenie trofii zbiornika w okresie meromiksji.

Zacytowana literatura:

- CARLSON R.E. 1977. *A trophic state index for lakes*. Limnol. Oceanogr. 22(2): 361–369.
- CZECZUGA B. 1966. *Wądołek – a holomictic lake*. Acta Hydrobiol. 8: 1–4.
- CZOP M., MOTYKA J., SRACEK O., SUWARZYŃSKI M. 2011. *Geochemistry of Hyperalkaline Gorka Pit Lake (ph>13) in the Chrzanów Region, Southern Poland*. Water Air Soil Pollut. 214: 423 – 434.
- DUNALSKA J., GÓRNIAK D., TEODOROWICZ M. GĄSECKA K. 2004. *Seasonal Distribution of Dissolved and Particulate Organic Carbon in the Water Column of a Meromictic Lake*. Polish J. of Environ. Studies 13(4): 375–379.
- GALAS J. 2003. *Limnological study on a Lake Formed in a Limestone Quarry (Kraków, Poland) I. Water Chemistry*. Pol. Jour. of Environ. Studies 12: 297–300.
- JANUSZKIEWICZ T. 1969. *Badania hydrochemiczne Jeziora Klasztornego jako odbiornika ścieków*. Prace Instytutu Gospodarki Wodnej 5(3): 43–81.
- JANUSZKIEWICZ T., JAKUBOWSKA Ł. 1964. *Dynamika zanieczyszczeń Jeziora Klasztornego*. Prace Instytutu Gospodarki Wodnej, 3(1): 55–77.

- KUBIAK J., MACHULA S., CHOIŃSKI A. 2018. *Particular example of meromixis in the anthropogenic reservoir*. Carpatian Journal of Earth and Environmental Sciences, 13(1): 5-13.
- LOSSOW K., GAWROŃSKA H., MIENTKI CZ., ŁOPATA M., WIŚNIEWSKI G. 2005. *Jeziora Olsztyna, stan troficzny, zagrożenia*. Wyd. Spedycja s.c. Olsztyn.
- MOLENDĄ T. 2014. *Impact of Saline Mine Water: Development of a Meromictic Reservoir in Poland*. Mine Water Environ 33: 327–334.
- PASCHALSKI J. 1963. *Bradymiksja Jeziora Starodworskiego*. Zesz. Nauk. WSR, Olsztyn 16, 277: 3-40
- SOLARSKI H. 1967. *Układ stosunków wodnych w pagórkowatych zlewniach Pojezierza Mazurskiego*. Praca habilitacyjna. Wyd. WSR w Olsztynie.
- SZAREK-GWIAZDA E. 2008. *Binding form of trace elements in sediment of a meromictic lake*. Archives of Environmental Protection 34: 35-47.
- SZAREK-GWIAZDA E., ŻUREK R. 2006. *Distribution of trace elements in meromictic pit lake*. Water, air, and soil pollution 174(1-4): 181-196.
- ŚLUSARCZYK A. 2003. *Limnological study on a Lake Formed in a Limestone Quarry (Kraków, Poland) I. Zooplankton Community*. Pol. Jour of Environ. Studies, 12(4): 489–493.
- TANDYRAK R., TEODOROWICZ M., GROCHOWSKA J. 2010. *Observations of selected chemical components of meromictic Lake Zapadłe waters in 1990-1993, 2000-2001 and 2005-2006*. Archives of Environmental Protection 36(3): 75-82.
- TEODOROWICZ M., DUNALSKA J., GÓRNIĄK D. 2003. *Hydrochemical properties of a meromictic lake Zapadłe*. Limnol. Rev. 3: 249–254.
- TYLMANN W., SZPAKOWSKA K., OHLENDORF C., WOSZCZYK M., ZOLITSCHKA B. 2012. *Conditions for deposition of annually laminated sediments in small meromictic lakes: a case study of Lake Suminko (northern Poland)*. Journal of Paleolimnology 47(1): 55-70.
- VOLLENWEIDER R.A. 1976. *Advances In defining critical loading level for phosphorus in lake eutrophication*. Mem. INST. Ital. Hydrobiol.: 53-83.
- ZACHWIEJA J. 1970. *Meromixis of Lake Rzeźniki in the Mazurian Lake District*. Ekol. Pol. 12(17):273–290.
- ZIEMAK M. 2015. Plan batymetryczny oraz charakterystyka morfometryczna Jeziora Starodworskiego. Praca inżynierska UWM Olsztyn.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo–badawczych

Studia ukończyłam w 1988 r. na Wydziale Ochrony Wód i Rybactwa Śródlądowego, Akademii Rolniczo - Technicznej w Olsztynie, uzyskując tytuł magistra inżyniera w zakresie ochrony wód. Pracę magisterską wykonałam w Zakładzie Limnologii Fizycznej w Katedrze Chemii i Technologii Wody i Ścieków (obecnie Katedra Inżynierii Ochrony Wód) pod kierownictwem dr inż. Heleny Gawrońskiej. Wykonana przeze mnie praca magisterska pt. „Wymiana związków azotu i fosforu pomiędzy osadami dennymi a wodą w Jeziorze Długim” była częścią przygotowań Katedry do planowanej wraz z Urzędem Miasta Olsztyna rekultywacji tego zbiornika metodą sztucznego napowietrzania. Rozpoznanie chemizmu osadów dennych przy planowaniu rekultywacji jest niezwykle istotne dla zrozumienia procesów zachodzących w zbiorniku wodnym decydujących o jego funkcjonowaniu.

W 1991 roku rozpoczęłam pracę w Katedrze Chemii i Technologii Wody i Ścieków Uniwersytetu Warmińsko – Mazurskiego w Olsztynie na stanowisku asystenta. Zostałam włączona w badania limnologiczne dotyczące Jeziora Starodworskiego w Olsztynie prowadzone pod kątem planowanej eksperymentalnej metody rekultywacji tego zbiornika. Mój udział polegał na systematycznych, comiesięcznych, trwających 8 lat badaniach terenowych i laboratoryjnych wód. Ponadto wykonałam badania osadów dennych ze szczególnym uwzględnieniem zawartości fosforu i z podziałem na jego frakcje (labilny i związany z glinem). W Katedrze były to analizy nowatorskie. Badania dotyczyły również wód nadosadowych i międzyosadowych. Przeprowadziłam też serie eksperymentów laboratoryjnych pozwalających dobrać odpowiednią dawkę koagulantu w stosunku do zawartości fosforu w osadach i w wodzie. Niezmiernie ważna była kwerenda literatury z uwzględnieniem potencjalnych zagrożeń. Było to pierwsze w Polsce zastosowanie siarczanu glinu do inaktywacji fosforu w jeziorze i budziło kontrowersje. Obawy dotyczyły możliwości pojawienia się toksycznych form tego pierwiastka, które mogłyby zadziałać w sposób nieprzewidziany. Należało zatem upewnić się co do bezpieczeństwa ekologicznego planowanych działań. Badania wstępne i zabieg rekultywacji zostały opisane w mojej pracy doktorskiej pt. *Badanie efektywności rekultywacji jeziora metodą inaktywacji fosforu*”. Pracę tę napisałam pod kierunkiem Prof. dr hab. Konstantego Lossowa. Recenzentami byli: dr hab. inż. Helena Gawrońska, Prof. UWM z Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie i Prof. dr hab. inż. Marian Granos z Politechniki Rzeszowskiej.

W pracy doktorskiej wykazałam, że ważnym czynnikiem przy powierzchniowym wprowadzaniu do jeziora koagulantu w formie stałej jest jego granulacja. Koagulant o większej granulacji oddziaływał przede wszystkim w osadach poprawiając ich zdolność sorpcyjną i ograniczał wewnętrzne zasilanie w warunkach beztlenowych. Drobniejszy koagulant powodował natychmiastowe zmiany w chemizmie wody polegające na obniżeniu zawartości fosforu mineralnego, materii organicznej, wzroście stężenia glinu i siarczanów. Poprawa widzialności i zmniejszenie produktywności były konsekwencją zubożenia warstwy trofogenicznej w biologicznie dostępne fosforany. Pojawienie się maksimum tlenowego w metalimnionie mogło świadczyć o przeniesieniu produkcji pierwotnej do wód głębiej położonych.

Przedstawiony w pracy doktorskiej eksperyment inaktywacji dotyczył zbiornika głębokiego, silnie stratyfikowanego i był zaplanowany na dwa etapy. Tak radykalna ingerencja w środowisko przyniosła bezpośredni efekt w postaci zmniejszenia produkcji pierwotnej (III.B.3). Utrzymywanie tych pozytywnych zmian w dłuższym okresie zostało omówione w pracach II.D.3, II.D.4, II.D.5, II.D.11, i na konferencji naukowej III.B.5. Wprowadzony koagulant modyfikował kompleks sorpcyjny osadów dennych jeziora. Pierwsza zastosowana dawka siarczanu glinu zagłębiła się w osadach i tam częściowo blokowała fosfor uniemożliwiając jego uwalnianie. Druga dawka koagulantu, o znacznie mniejszej granulacji rozpuszczała się tuż po wprowadzeniu do jeziora, do osadów docierała już w formie zhydrolizowanej i przykrywała osady. W ten sposób z jednej strony uniemożliwiała uwalnianie fosforanów z osadów, z drugiej zaś wychwytywała fosfor

sedymetujący wraz z materią organiczną. Warstwa koagulantu przykrywana była świeżymi osadami powstającymi w jeziorze. Przeanalizowane rdzenie osadów dennych pozwoliły rozpoznać chemizm osadów jeziora, w swojej historii poddawanego różnym metodom rekultywacyjnym, co zostało opisane w pracy II.D9.

Literatura naukowa najczęściej skupia się na krótkotrwałych, często spektakularnych, efektach rekultywacji (II.D.40, III.B.1, III.B.3, III.B.25, III.B.26). Badania Jeziora Starodworskiego były jednak kontynuowane i to pozwoliło ocenić nie tylko skuteczność, ale też utrzymywanie się pozytywnych skutków ekologicznych na przykładzie odpowiedzi planktonu skorupiakowego na zmienione w skutek radykalnej ingerencji warunki środowiskowe (II.D.25, III.B.15). W latach 2004-2007 podjęto próbę wsparcia pozytywnych skutków rekultywacji poprzez biomanipulację (II.D.29, II.D.30, III.B.13, III.B.17), traktując ją jednocześnie jako metodę ochrony zagrożonych gatunków ryb.

Wykonane przeze mnie badania stanowiły wyjściową bazę do doskonalenia i rozwijania metody rekultywacji polegającej na inaktywacji fosforu. Moje badania umożliwiły porównanie działania „tradycyjnego” koagulantu wykorzystywanego też do uzdatniania wody wodociągowej z koagulantami tzw. nowej generacji, które następnie wielokrotnie zostały użyte w rekultywacjach wykonywanych przez Katedrę, której jestem pracownikiem. Pozwoliło mi to na włączenie się w wieloletnie obserwacje utrzymywania się skutków rekultywacji na Jeziorze Długim w Olsztynie, które jest jednym z niewielu przykładów tego typu działań na świecie zakończonych sukcesem (II.D.33, II.D.41, III.B.20, III.B.27).

Pracując nad doborem dawki koagulantu do rekultywacji jeziora wykonałam także doświadczenia laboratoryjne i opublikowałam wyniki związane z próbą wykorzystania do tego celu popiołów lotnych (II.D.1, II.K.1). W dalszej kolejności, w skali półtechnicznej na małym zbiorniku wodnym, zbadałam możliwość wykorzystania biopreparatu do rekultywacji wód. Wyniki przedstawione zostały na konferencji naukowej III.B.23. Starałam się też wykazać możliwość wykorzystania diatomitów karpackich do usuwania metali ciężkich (III.B.3).

Należy podkreślić, że efekty rekultywacji jeziora nie zawsze dotyczą samej tylko jego misy. Tak jest w przypadku metody polegającej na selektywnym usuwaniu wód zastosowanej m.in. w Jeziorze Kortowskim. Rekultywacja tym sposobem polega na odprowadzeniu do odbiornika - w tym przypadku rzeki Kortówki wody z hypolimnionu zasobnej w materię organiczną, biogeny i siarkowodór. Byłam pomysłodawcą badań łączących analizy hydrochemiczne, mikrobiologiczne oraz sensoryczne (olfaktometryczne) (II.A.5). Na fakt uciążliwości zapachowej w miejscu odpływu, w pobliżu kampusu uniwersyteckiego, w miejscu służącym wypoczynkowi i rekreacji zwróciłam uwagę na konferencji naukowej II.K.10. Omówiłam też inne aspekty związane z rekultywacją jezior i odzyskiwaniem bądź tworzeniem nowej przestrzeni rekreacyjnej w mieście. To zagadnienie jako konsekwencję uporządkowania sytuacji hydrologiczno-zlewniowej i przywrócenie dobrej jakości wody w jeziorze poruszyłam na konferencji krajowej II. K.9 i w publikacji II.D.36.

Wprowadzenie do Jeziora Starodworskiego koagulantu w postaci siarczanu skutkowało jego redukcją i wytworzeniem wielu ton toksycznego siarkowodoru. Te przemiany w powiązaniu z żelazem obecnym w wodach jeziora przedstawiłam w pracach II.D.18, II.D.19 i doniesieniu konferencyjnym II.K.5. Prace te uważam za bardzo ważne w moim dorobku, gdyż to właśnie wtedy zdecydowałam o przeanalizowaniu dostępnych danych pod kątem stałego uwarstwienia chemicznego i zainteresowałam się zjawiskiem meromiksji. Rozpoczęłam współpracę z Katedrą Mikrobiologii Wydziału Biologii UWM w Olsztynie i opublikowałam wstępne wyniki dotyczące rozmieszczenia bakterioplanktonu w Jeziorze Starodworskim (II.A.2, II.K.3). Takie uzupełnienie badań hydrochemicznych uważam za istotne, gdyż monimolimnion jeziora meromiktycznego jest warstwą izolowaną, swoistym „reaktorem” idealnym do prowadzenia tego typu obserwacji. Rozpoczęłam badania innego jeziora o ograniczonej dynamice wód - Zapadłego. Porównanie własnych wieloletnich badań hydrochemicznych zebrano w pracy II.D.24, a wyniki dotyczące współzależności bakterioplanktonu i parametrów hydrochemicznych opisane zostały w II. A.4.

Podjęłam również próbę udowodnienia meromiksji w innych jeziorach, które ze względu na wartość głębokości względnej i usytuowanie w terenie mogły charakteryzować się ograniczoną dynamiką wód: Podąbek w grupie jezior barczewskich i Miodówko na Pojezierzu Olsztyńskim. Zjawiska meromiksji nie udało się potwierdzić, a wyniki moich poszukiwań limnologicznych zostały opublikowane i zaprezentowane na konferencji (II. D.17, II.D.28, II.K.4).

W kręgu moich zainteresowań znajdowały się też zagadnienia związane z ochroną jezior. Wyniki badań dotyczących roli zlewni w eutrofizacji jezior, szacowania zewnętrznych obciążeń jezior związkami biogennymi pochodzącymi z przekształconych zlewni i możliwości ich ograniczenia oraz roli osadów w wewnętrznym nawożeniu zawarto w publikacjach, materiałach konferencyjnych i opracowaniach zbiorowych (II.A.1, II.D.2, II.D.11, II.D.12, II.D.20, II.D.27, II.D.31, II.D.34, II.D.42, II.E.1, II.E.2, II.K.2, II.K.7, III.B.6, III.B.9, III.B.10, III.B.11, III.B.12, III.B.14, III.B.16, III.B.18).

W mojej pracy zawodowej prowadziłam szereg badań warunków hydrochemicznych w jeziorach o różnym stopniu zeutrofizowania (II.A.3, II.D.10, II.D.13, II.D.15, II.D.26, III.B.2, III.B.29). Dodatkowo analizowałam skład chemiczny osadów dennych jezior w kontekście określenia kierunku i wielkości procesów wymiany substancji biogennych na granicy woda-osady w różnych fazach eutrofizacji. Tematyka tych prac była rozpowszechniana w publikacjach i na konferencjach naukowych II.D.32, II.D.42, III.B.6, III.B.11.

Prowadziłam także badania związane z trofią jezior miejskich, analizując je także pod kątem funkcjonowania w przekształconej i niekorzystnie oddziałującej zlewni (II.D.22). Jeziora te spełniają bardzo istotną rolę w kształtowaniu krajobrazu i klimatu miasta i stwarzają miejsca sprzyjające wypoczynkowi. Bardzo ważnym aspektem w tym kontekście jest więc ich przydatność do rekreacji. Wyniki prac prowadzonych w tym zakresie zostały zawarte w publikacjach II.A.6, II.A.7, II.D.35, II.D.36, II.D.37, II.D.39, II.K.9, II.K.10. Podobną funkcję w krajobrazie miejskim, ale też bardzo ważną rolę ekologiczną spełniają obiekty

tzw. małej retencji - małe zbiorniki wodne, oczka, mokradła. Na obszarze Olsztyna zlokalizowanych jest kilkadziesiąt obiektów tego typu, bardzo silnie oddziałujących ze swoimi małymi, silnie przekształconymi zlewniami. Rezultaty badań wód i osadów dennych tych obiektów zostały przedstawione w publikacjach (także popularno-naukowej) i na konferencjach (II.D6, II.D7, II.D.8, II.D14, II.D.16, II.D.21, III.B7, III.B8, III.B.31, III.I.2.1). Zagadnienia związane z ochroną jezior (innych niż miejskie) w kontekście ich przydatności do wypoczynku i rekreacji zostały poruszone w pracach II.D.37, II.D.38, III.B.19, III.B.24 i na konferencji naukowej II.K.8.

Jednocześnie rozwijałam zainteresowania dotyczące ekosystemów limnicznych, w tym poddanych antropopresji oraz chronionych. Prowadzone badania uwzględniały warunki termiczno-tlenowe i troficzne, wpływ zlewni, modyfikacje przepływu i obieg makropierwiastków w systemach rzeczno – jeziornych, zdolność rzek do samooczyszczania. Uzyskane wyniki opublikowałam w kilku pracach oraz materiałach konferencyjnych (II.D.23, II.D.43, II.D.44, II.D45, II.D.46, II.D.47, II.D.48, II.D.49, III.B.22, III.B.28, III.B.30).

Uzyskana przeze mnie wiedza dotycząca szeroko rozumianej limnologii (czyli funkcjonowania jezior, ich hydrochemii i zmian zachodzących w środowisku z przyczyn naturalnych i antropogenicznych, postępującej eutrofizacji i roli zlewni w tym procesie, wpływu różnych metod rekultywacji na warunki środowiskowe w jeziorach i znajomość tych metod) pozwoliła na realizację siedmiu projektów badawczych. Trzy z nich zostały zakończone (projekty II.I.1, II.I.2, II.I.3), cztery kolejne są obecnie realizowane (projekty: II.I.4, II.I.5, II.I.6, II.I.7). Cztery projekty były zlecone przez jednostki samorządowe (II.I.1, II.I.4, II.I.5, II.I.6, II.I.7), natomiast dwa (II.I.2, II.I.3) przez Jednostkę Wojskową. Celem wszystkich projektów było (jest) rozpoznanie aktualnych warunków hydrologiczno-zlewniowych i określenie przyczyn pogarszającego się stanu wody. Kolejnym etapem jest opracowanie programu ochrony i rekultywacji jezior na podstawie badań hydrochemicznych i rozpoznania zlewni. W zakończonych projektach wykazano, że najważniejszym czynnikiem wpływającym na jakość wód w jeziorach jest zlewnia i wynikające z jej zagospodarowania obciążenie zewnętrzne związkami biogennymi. Ponadto w sytuacji, gdy w jeziorze uruchomione jest wewnętrzne nawożenie biogenami z osadów dennych, nawet radykalne zmniejszenie obciążenia zewnętrznego nie spowoduje poprawy jakości wody. Wówczas konieczne jest zastosowanie odpowiedniej metody rekultywacji. Wyniki uzyskane w trakcie realizacji projektów zamieszczono w artykułach naukowych i opracowaniach zbiorowych (II.A.6, II.D.32, II.E.1, II.E.2, II.E.3, II.E.4, II.K.7). Do projektów będących w trakcie realizacji sporządzono dwa opracowania (II.E.4) (III.M.2) i ekspertyzę (III.M.1).

Tab. Zestawienie ilościowe i punktowe najważniejszych osiągnięć naukowo-badawczych

Wyszczególnienie							
Oryginalnie opublikowane naukowe prace twórcze udostępnione w obiegu społecznym, monografie i publikacje książkowe (posiadające ISBN i EAN)							
Rodzaj publikacji	Punkty MNiSW na rok wydania	Punkty MNiSW na rok 2016	IF na rok wydania	F ₂₀₁₆	Przed doktoratem	Po doktoracie	Łącznie
Czasopisma z listy A MNiSW	141	185	4,453	8,923	-	11	11
Czasopisma z listy B MNiSW	222	389			-	34	34
Rozdziały w monografiach					2	13	15
Monografie	25	25			-	1	1
Materiały konferencyjne					6	35	41
Artykuły popularnonaukowe						4	4
RAZEM	388	599	4,453	8,923	7	99	106
Udział w projektach							
Projekty	Zlecone przez jednostki samorządowe					3	3
	Inny zleceniodawca					2	2
RAZEM						5	5
Pozostała działalność naukowo-badawcza							
Recenzje artykułów					-	4	4
RAZEM					-	4	4
Wskaźniki oceny dorobku naukowego							
Źródło danych					Web of Science	Scopus (Elsevier)	Google Scholar
Indeks Hirscha <i>h</i>					3	3	6
Liczba cytowań ogółem					22	20	105

W trakcie swojej pracy naukowej opublikowałam 11 prac w czasopismach znajdujących się na liście A MNiSW (w tym 7 prac w czasopismach wyróżnionych przez bazę Journal Citation Reports). Jestem też autorką 3 i współautorką 31 publikacji (18 jako pierwszy autor, dodatkowo w dwóch innych jestem też autorem korespondencyjnym) zamieszczonych w innych czasopismach recenzowanych i wyróżnionych na liście B czasopism punktowanych MNiSW, 1 monografii (habilitacyjnej) i 15 rozdziałów w monografiach. Ponadto jestem autorką 41 doniesień i referatów prezentowanych na konferencjach, w tym 10 na międzynarodowych. Łącznie brałam udział (lub obecnie uczestniczę) w siedmiu projektach badawczych (II.I.1, II.I.2, II.I.3, II.I.4, II.I.5, II.I.6, II.U.1.7) (z czego cztery ostatnie są w trakcie realizacji) na zlecenie jednostek samorządowych lub innych. Wykonałam również 4 recenzje publikacji naukowych (III.P.1, III.P.2) dla takich periodyków jak: Polish Journal of Natural Sciences i Journal of Agricultural Science and Technology.

6. Osiągnięcia w zakresie popularyzowania nauki

Swoją pracę naukową uzupełniałam działalnością popularyzatorską. W 2010 r. przygotowałam program i zrealizowałam zajęcia teoretyczne i praktyczne z tematu Hydrobiologia w szkołach podstawowych, gimnazjalnych i średnich w Szczytnie w ramach projektu „Użytek ekologiczny Mała Biel drogą edukacji ekologicznej”.

W roku 2010 byłam czynnym uczestnikiem programu pt. „Komercjalizacja wyników badań oraz kreowanie postaw przedsiębiorczych przez UWM w Olsztynie poprzez staże, szkolenia i działania uświadamiające z zakresu przedsiębiorczości akademickiej” w Gospodarstwie Rybackim w Warlitach Wielkich k/Ostródy w ramach projektu nr POKL-08.02.01-28-001/08-00 współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

Od 2011 roku do chwili obecnej przygotowuję i prowadzę zajęcia laboratoryjne dla młodzieży z gimnazjów i szkół średnich z Olsztyna i okolic w ramach Dni Otwartych Wydziału Nauk o Środowisku.

W roku 2011 współorganizowałam wraz z Centrum Innowacji i Transferu Technologii Ogólnopolskie Targi Technologii „Warmińsko-mazurska nauka dla biznesu” pod tytułem „Rekultywacja i ochrona jezior oraz Rybactwo”. Targi odbyły się 12 V 2011 r. w Olsztynie. Na targach wygłosiłam wykład pt. „Przyczyny degradacji jezior i możliwości ich odnowy. Jak zaplanować udaną rekultywację?”.

Uczestniczyłam w warsztatach organizowanych w ramach projektu Coalition Clear Baltic, gdzie w trakcie sesji terenowej zaprezentowałam uczestnikom praktyczny sposób pomiaru natężenia przepływu wody. Warsztaty odbyły się 14.10.2016 r.

W 2017 r. wygłosiłam wykład dla mieszkańców gminy Obra na temat zagrożenia eutrofizacją Jeziora Świętego i prelekcję dla młodzieży gimnazjalnej na temat funkcjonowania jezior i dynamiki wód w cyklu rocznym.

Jestem także współautorką czterech artykułów popularnonaukowych (III.I.13a, III.I.13b, III.I.13c, III.I.13c), w tym trzech przygotowanych wspólnie ze studentami.

7. Osiągnięcia w zakresie działalności organizacyjnej

Pierwszą aktywnością w tym obszarze była praca w Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej w latach 1996 - 1997.

Opiekę nad studentami jako kierownik grupy lub roku sprawowałam trzykrotnie. Pierwszy raz powierzono mi funkcję opiekuna grupy studenckiej na kierunku Ochrona środowiska w roku akademickim 1992 - 1993. Następnie zostałam kierownikiem roku zawodowych studiów zaocznych na kierunku Ochrona środowiska i kierunku Rybactwo (2000 – 2005 r.). Kolejny raz funkcję opiekuna roku sprawowałam w stosunku do studentów studiów stacjonarnych pierwszego stopnia kierunku Inżynieria środowiska w latach 2011 - 2014 i drugiego stopnia w latach 2014 – 2015 r.

W latach 2002-2005 oraz od 2016 r. do chwili obecnej byłam członkiem Rady Wydziału Nauk o Środowisku.

Od roku 2008 jestem członkiem Wydziałowej Komisji Inwentaryzacyjnej (kadencja 2008-2012r. i 2012-2016 r., 2016 - do chwili obecnej).

W 2011 r. uczestniczyłam w pracach Zespołu ds. Promocji Uczelni.

Pełnię funkcje sekretarza Wydziałowej Komisji Wyborczej bieżącej kadencji (od 1.12.2015 do chwili obecnej).

Wchodzę w skład Wydziałowej Komisji d.s. oceny pracowników (od 2016 r. do chwili obecnej).

Za ważny element pracy organizacyjnej na rzecz UWM w Olsztynie uważam udział w zespołach pracujących nad jakością kształcenia. Byłam członkiem Wydziałowego Zespołu ds. Krajowych Ram Kwalifikacji dla kierunku Ochrona środowiska oraz Zespołu ds. Jakości i Programów Kształcenia na kierunku Turystyka i Rekreacja (2013 r.)

W 2000 roku pracowałam przy organizacji IV Konferencji Limnologicznej nt. „Naturalne i Antropogeniczne Przemiany Jezior”, która odbyła się w dniach 18 - 20 września 2000 roku w Zalesiu koło Olsztyna. W roku 2011 współpracowałam przy organizacji Ogólnopolskich Targów Technologii „Warmińsko-mazurska nauka dla biznesu” pod tytułem „Rekultywacja i Ochrona jezior oraz Rybactwo”. Targi odbyły się 12 V 2011 r. w Olsztynie. W 2012 r. byłam członkiem zespołu organizującego konferencje turystyczną: V International Lake Tourism Conference “Lakes and Lakelands. Recreational and Tourism Potential, Development Directions and Treats”, która odbyła się w dniach 3-6 VII 2012 r. w Starych Jabłonkach. W 2013 roku aktywnie współpracowałam przy organizacji XVII Ogólnopolskiej Konferencji Limnologicznej z cyklu „Naturalne i antropogeniczne przemiany jezior”, która odbyła się w dniach 24 - 27 IX 2013 r. w Rynie.

W latach 1999-2012 byłam członkiem Polskiego Towarzystwa Hydrobiologicznego. Od 2001 r. jestem aktywnym członkiem Polskiego Towarzystwa Limnologicznego (PTLim), którego jestem założycielem.

Za osiągnięcia organizacyjne w 2011 r. otrzymałam dyplom uznania od Rektora Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. W 2017 r. zostałam wyróżniona przez Prezydenta RP Medalem Srebrnym za Długoletnią Służbę.

8. Omówienie osiągnięć dydaktycznych

W trakcie mojej dotychczasowej pracy na Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie przygotowałam bądź zmodyfikowałam programy i prowadziłam następujące przedmioty:

Kierunek Ochrona środowiska

1. Ścieki bytowo – gospodarcze i produkcyjne (przygotowanie programu, realizacja wykładów i ćwiczeń- koordynator przedmiotu.)
2. Hydrochemia (przygotowanie i realizacja ćwiczeń)
3. Chemia ścieków (przygotowanie programu, realizacja wykładów i ćwiczeń- koordynator przedmiotu)

4. Systemy zarządzania środowiskowego (przygotowanie programu, realizacja wykładów i ćwiczeń-koordynator przedmiotu)
5. Ochrona i rekultywacja zbiorników wodnych (realizacja ćwiczeń)
6. Ochrona i rekultywacja jezior stratyfikowanych (realizacja ćwiczeń)
7. Projektowanie antropogenicznych zbiorników wodnych (modyfikacja programu, realizacja wykładów i ćwiczeń)
8. Samooczyszczanie wód (modyfikacja programu i realizacja ćwiczeń)

Kierunek Rybactwo

1. Samooczyszczanie wód (przygotowanie i realizacja wykładów i ćwiczeń-koordynator przedmiotu)
2. Ochrona wód (modyfikacja programu i realizacja ćwiczeń)

Kierunek Inżynieria środowiska

1. Inżynieria ochrony i rekultywacji wód (modyfikacja programu, przygotowanie i realizacja ćwiczeń)
2. Analiza wody i ścieków (opracowanie programu przedmiotu i realizacja ćwiczeń-koordynator przedmiotu)
3. Naturalne i antropogeniczne przemiany jezior (opracowanie programu przedmiotu, realizacja wykładów i ćwiczeń-koordynator przedmiotu)

Kierunek Turystyka i rekreacja

1. Krajoznawstwo (opracowanie programu i realizacja ćwiczeń)-
2. Kulturowa turystyka miejska i industrialna (opracowanie programu i realizacja ćwiczeń)

Prowadziłam także seminaria inżynierskie, licencjackie i magisterskie na wszystkich kierunkach kształcenia na Wydziale Nauk o Środowisku.

Byłam opiekunem naukowym 20 prac inżynierskich i 34 prac magisterskich na kierunkach Ochrona środowiska i Inżynieria środowiska (łącznie 54 obronione prace dyplomowe). Obecnie sprawuję opiekę nad realizacją dwóch prac inżynierskich i jednej magisterskiej.

Recenzowałam też pracę inżynierską (1), prace magisterskie (4) i licencjackie (3), łącznie 8 wykonanych recenzji. Szczegółowe zestawienie znajduje się w Załączniku 4 pkt. J.1 i J.2.

Na podstawie zrealizowanych prac dyplomowych, wraz ze studentami, opublikowałam 17 artykułów naukowych (4 na liście czasopism wyróżnionych przez bazę JCR, 10 na liście B czasopism punktowanych MNiSW i 3 popularno-naukowe) oraz przedstawiłam 11 referatów i doniesień naukowych.