

# **AUTOREFERAT**

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

### 1. Imię i nazwisko

JOLANTA KATARZYNA GROCHOWSKA

### 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania

- 1997 tytuł zawodowy magistra inżyniera ochrony wód, uzyskany na Wydziale Ochrony Środowiska i Rybactwa, Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie, tytuł pracy magisterskiej: „Charakterystyka hydrochemiczna jeziora Track w Olsztynie”, promotor: prof. dr hab. Helena Gawrońska
- 2001 stopień doktora nauk rolniczych w zakresie kształtowania środowiska, uzyskany na Wydziale Ochrony Środowiska i Rybactwa, Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, tytuł pracy doktorskiej: „Możliwości odnowy silnie zdegradowanych jezior metodą wieloletniego sztucznego napowietrzania na przykładzie Jeziora Długiego w Olsztynie”, promotor: prof. dr hab. Helena Gawrońska
- 2012 dyplom ukończenia studiów podyplomowych: „Zastosowanie współczesnych metod hydrologii w inżynierii i gospodarce wodnej”, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, SGGW Warszawa

### 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych

- 1997 - 2001 Studium Doktoranckie Uniwersytetu Warmińsko - Mazurskiego w Olsztynie - doktorantka
- od 2002 Katedra Inżynierii Ochrony Wód Uniwersytetu Warmińsko - Mazurskiego w Olsztynie - adiunkt

### 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. nr 65, poz. 595 ze zm.):

#### a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego

***OBIEG WYBRANYCH MAKROPIERWIĄSTKÓW I ZWIĄZKÓW BIOGENNYCH  
W SYSTEMIE RZECZNO - JEZIORNYM NA PRZYKŁADZIE GÓRNEJ PASŁĘKI***

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

Jolanta **GROCHOWSKA**, Obieg wybranych makropierwiastków i związków biogenych w systemie rzeczno - jeziornym na przykładzie górnej Pasłęki, Monografia nr 122, Wydawnictwo Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, Lublin 2015, ISBN 978-83-63714-21-5.

Recenzentami wydawniczymi monografii byli: prof. dr hab. inż. Janusz Tomaszek z Politechniki Rzeszowskiej oraz prof. dr. hab. inż. Konstanty Lossow z Uniwersytetu Warmińsko - Mazurskiego w Olsztynie.

**c) 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 inżynierii i ochrony środowiska dotyczącymi funkcjonowania systemów rzeczno - jeziornych i ich roli w obiegu wybranych pierwiastków w ekosystemach wodnych.

Odpowiedzią środowiska na postępującą antropopresję jest eutrofizacja jezior i degradacja wód płynących. Taka sytuacja powoduje, że coraz większą rangę uzyskują zagadnienia dotyczące ochrony wód i polepszenia ich jakości. W Polsce i na świecie wdrożono wiele różnych metod ochronnych i rekultywacyjnych, jednak tylko w nielicznych przypadkach przyniosły one oczekiwany, długotrwały efekt. Może to wynikać z braku dogłębnej wiedzy na temat mechanizmów obiegu makropierwiastków i związków biogenych w ekosystemach wodnych i stopnia komplikacji tych procesów. Ze względu na specyfikę sieci wodnej obszarów młodoglacjalnych, gdzie występują jeziora i rzeki, połączone w systemy rzeczno - jeziorne, istnieje potrzeba poznania obiegu różnych pierwiastków w takich układach. Dostępne w literaturze wyniki badań systemów rzeczno - jeziornych dotyczyły głównie roli jezior w obiegu wody i takich wskaźników jak fosfor, temperatura, przewodność elektrolityczna, bez uwzględnienia wpływu osadów dennych na krążenie materii. Ponadto nie zbadano dotychczas, jak rozmieszczone są i transportowane makroskładniki: wapń, magnez, żelazo oraz mangan, aktywnie uczestniczące w cyklach biogeochemicznych i będące ważnymi składnikami kompleksu sorpcyjnego osadów dennych. Brakuje także informacji umożliwiających przewidywanie wielkości zasilania wewnętrznego w makropierwiastki oraz związki biogenne z różnych typów osadów w zależności od zmiany czynników hydrologicznych i środowiskowych.

Dzięki dokładnej analizie migracji wybranych makroskładników oraz fosforu i azotu w ogniach sieci rzeczno - jeziornej, z uwzględnieniem ich uwalniania z osadów dennych, będzie można lepiej projektować rozwiązania ochronne i rekultywacyjne, jak też dokładniej prognozować jakość zasobów wodnych.

Celem prowadzonych badań było:

1. Określenie przyczyn i zakresu zmian zawartości wybranych makroelementów (wapń, magnez, żelazo, mangan) i związków biogennych (fosfor, azot) w wodach i osadach dennych w obrębie systemu rzeczno-jeziornego.
2. Rozpoznanie intensywności procesów transformacyjnych w różnych typach jezior, z uwzględnieniem wpływu osadów dennych na procesy wymiany wybranych makroelementów oraz związków biogennych między osadami a wodą.
3. Ustalenie rzeczywistych jednostkowych współczynników spływu wybranych makroelementów i związków biogennych (fosforu, azotu) z różnych form użytkowania gruntu w analizowanej zlewni.
4. Określenie kierunku migracji (retencja dodatnia/retencja ujemna) makroelementów i związków biogennych w systemie rzeczno - jeziornym.

Tezy pracy:

1. W systemach rzeczno-jeziornych obieg makroelementów i związków biogennych przebiega inaczej niż w zamkniętych hydrologicznie ekosystemach jeziornych i systemach rzecznych, które opisuje koncepcja kontinuum rzeczno-jeziornego.
2. Modyfikacja obiegu makroelementów i związków biogennych w systemach rzeczno-jeziornych spowodowana zmiennymi czynnikami hydrologicznymi i chemicznymi wpływa na tempo procesu eutrofizacji jezior.
3. Kierunek migracji (retencja dodatnia lub ujemna) wybranych makroskładników oraz fosforu i azotu w ogniwach sieci rzeczno - jeziornej jest determinowany warunkami hydrologicznymi, stanem troficznym jeziora, jak również zjawiskiem uwalniania z osadów dennych.
4. Analizowane makroelementy stanowią ważną część kompleksu sorpcyjnego osadów dennych, co ma kluczowe znaczenie w biogeochemicznym obiegu fosforu w systemach rzeczno-jeziornych.
5. Presja antropogeniczna w zlewni zmienia obieg makroelementów i związków biogennych w systemie rzeczno-jeziornym.

Do badań wytypowano system rzeczno – jeziorny górnej Pasłęki. Pasłęka jest pojeziernym ciekim wykorzystującym układ zagłębień bezodpływowych, który w górnym biegu przepływa przez pięć jezior: Pasłęk, Wymój, Sarąg, Łęguty i Isąg. Natężenia przepływu wody w rzece Pasłęce wahały się w bardzo szerokim zakresie, od  $0,004 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  do  $1,998 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  i rosły z biegiem rzeki. Pasłęka ma złożony ustrój hydrologiczny, charakteryzujący się dwoma wezbraniem w ciągu roku - głównym wiosennym i drugorzędym zimowym oraz zasilaniem gruntowo – deszczowo - śnieżnym.

Jeziora leżące na trasie przepływu rzeki są wyraźnie zróżnicowane pod względem morfometrii niecek (głębokość od 5 do 54,5 m, powierzchnia od 8,5 do 397,5 ha), tempa wymiany wody (od 60% do 710%, czas pobytu wody od 51 do 650 dób), wielkości i sposobu zagospodarowania zlewni oraz stanu troficznego (hypertrofia, eutrofia).

Wybór systemu rzeczno - jeziornego górnej Pasłęki o zróżnicowanych cechach poszczególnych obiektów wchodzących w jego skład, umożliwił wszechstronną interpretację wyników.

Wykonane badania wykazały, że średnie koncentracje wapnia i magnezu notowane w wodach rzeki Pasłęki były dość wysokie, charakterystyczne dla obszarów naturalnych

z wyraźnym wpływem antropopresji. Wynikało to z faktu, że w zlewni górnej Pasłęki, obok lasów pokrywających maksymalnie do 77% terenu zlewni cząstkowych, występowały grunty orne (do 71%), a także łąki i pastwiska (do 12%) bądź zabudowa (do 3%).

Przyjmuje się, że stężenia substancji w wodzie, w tym jonów metali, zależą od natężenia przepływu wody. Większe przepływy powodują rozcieńczenie pierwiastków w większej ilości wody, co redukuje ich stężenie. Badania wykonane w systemie górnej Pasłęki nie wykazały takich zależności, bowiem stężenia wapnia i magnezu nie spadały ze wzrostem natężenia przepływu i nie rosły w okresie niskich przepływów. Notowane w wodzie rzecznej koncentracje obu metali uzależnione były przede wszystkim od rodzaju podłoża, przez które przepływa rzeka, typu gleby, a nade wszystko od zabiegów prowadzonych na obszarach użytkowanych rolniczo.

W rzece, związki wapnia i magnezu były włączane w cykle biogeochemiczne, o czym świadczyło obserwowane w trakcie badań obniżanie się ich koncentracji w sezonie wegetacyjnym. Ponadto pierwiastki te przechodziły z wody do osadów dennych. Wielkość wiązania w osadzie zależała od ich wzajemnego stosunku molowego. Stwierdzono, że im stosunek Ca/Mg był niższy od 1,5 tym wiązanie metali w osadach było wyższe. Proces wiązania węglanu wapnia i magnezu przebiegał najintensywniej w wodach twardych, przy odczynie w zakresie od 7,93 do 8,35 pH. Jednakże nie stwierdzono istotnych statystycznie korelacji pomiędzy wielkością wiązania wapnia i magnezu w osadach a odczynem wód. Intensywność wiązania wapnia i magnezu nie zależała także od natężenia przepływu wody, co potwierdziła analiza statystyczna. Na uwagę zasługiwał fakt, że na jednym ze stanowisk badawczych (dopływ rzeki do jeziora Pasłęk), nie zachodziło zjawisko wiązania wapnia i magnezu w osadach, ale ich uwalnianie. Wody rzeczne na tym stanowisku charakteryzował odczyn oscylujący wokół 7,83 pH, a stosunek molowy Ca/Mg w osadach wynosił 1,7, co potwierdzało wpływ wartości obu tych parametrów na wielkość asocjacji obu metali w osadach. Ponadto bardzo istotnym czynnikiem wpływającym na przemiany wapnia i magnezu w wodzie są związki organiczne, a przede wszystkim substancje humusowe. Wzrost zawartości tych związków wpływa na ubytek obu metali w osadach dennych lub w wodzie. Zarówno woda jak i osady denne na dopływie rzeki do jeziora Pasłęk zawierały największą ilość materii organicznej pochodzenia torfowego, ze względu na charakter zlewni cząstkowej tego fragmentu rzeki – zabagnione łąki i torfowiska. Był to kolejny argument wyjaśniający uwalnianie pierwiastków ziem alkalicznych z osadów na tym stanowisku zamiast ich wiązania, które obserwowano na pozostałych, niżej położonych stanowiskach.

Wody rzeczne oraz spływ obszarowy były głównym źródłem wapnia i magnezu dostarczanego do analizowanych jezior.

We wszystkich latach badawczych, w zbiornikach górnej Pasłęki w sezonie wegetacyjnym obserwowano proces biologicznego odwapniania wody, którego efektem była stratyfikacja pionowa w występowaniu wapnia, z wyraźnym wzrostem stężeń w kierunku dna. W czasie wzmożonych procesów produkcyjnych, kiedy zaczyna brakować wolnego CO<sub>2</sub>, gaz ten jest pobierany z dwuwęglanu wapnia, który w takich warunkach ulega rozkładowi do trudno rozpuszczalnego węglanu wapnia (częściowo osiadającego na liściach roślin wodnych, a częściowo opadającego do wód naddennych oraz osadów) i ditlenku węgla. W powierzchniowych warstwach wody badanych jezior, w rozpatrywanym okresie koncentracje wapnia spadały, a zjawisko to korespondowało ze wzrostem ilości chlorofilu „a”

i spadkiem widzialności krążka Secchiego. Związek między stężeniem wapnia i natężeniem procesów produkcyjnych potwierdziła analiza statystyczna za pomocą, której wykazano wysoce istotne ujemne zależności między zawartością wapnia w wodzie a ilością chlorofilu „a”. Nie stwierdzono jednak korelacji między zawartością wapnia a widzialnością krążka Secchiego.

W okresie wegetacyjnym również obserwowano spadek ilości magnezu w wodach powierzchniowych i wzrost w dolnych partiach wód, jednakże nie stwierdzono korelacji zarówno między jego stężeniami a ilością chlorofilu „a” jak i widzialnością krążka Secchiego.

Naddenne warstwy wód omawianych zbiorników były zasobne w wapń i magnez. Przy dnie, gdzie występują wysokie stężenia ditlenku węgla, powstałego w procesach rozkładu materii organicznej, węglan wapnia przechodzi w kwaśny dwuwęglan wapnia. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono także, że różnica średnich zawartości wapnia między powierzchnią a dnem była tym większa im jezioro wykazywało wyższy status troficzny. W jeziorze Pasłek różnica stężeń wapnia między powierzchnią a dnem wynosiła 14,7, w Wymóju 19,4, w Sarągu – 20,7, w Łęgutach - 14,8 a w Isągu 8,7.

Jeziora Pasłek, Wymój, Sarąg i Łęguty to zbiorniki hypertroficzne, a jezioro Isąg eutroficzne.

Dla magnezu nie zanotowano takich zależności. Rozpatrywane różnice jego koncentracji między powierzchnią a dnem wynosiły w kolejnych jeziorach: 3,0, 2,3; 8,7; 0,6; 2,6.

Stratyfikacja termiczna występująca w jeziorach górnej Pasłęki w okresie lata i zimy powodowała, że zarówno wapń jak i magnez, które opadały do naddennych warstw badanych jezior oraz przechodziły do tych wód w wyniku uwalniania z osadów dennych, były tam gromadzone. Dopiero w czasie cyrkulacji były rozprowadzane w całej toni wodnej. Odzwierciedleniem tych zależności było zróżnicowanie w wielkości ładunków wapnia i magnezu, które rzeka wynosiła w okresie cyrkulacji wiosennej i jesiennej oraz w czasie stagnacji letniej i zimowej. Badania wykazały, że wyraźnie wyższe ładunki rzeka wynosiła z poszczególnych jezior w listopadzie, grudniu a potem w marcu i kwietniu, a niższe od maja do października.

Maksymalne ilości żelaza, sięgające  $0,7 \text{ mg Fe l}^{-1}$  wykrywano w wodach Pasłęki dopływającej do jeziora Wymój. Podczas badań terenowych stwierdzono liczne wysięki wód podziemnych na stoku doliny rzecznej, która w tym rejonie jest wyraźnie wcięta w podłoże. W miejscu wypływu wody podziemnej na powierzchnię terenu tworzył się rdzawy osad wodorotlenku żelaza  $\text{Fe}^{+3}$ , powstający z utleniania rozpuszczonego w wodach  $\text{Fe}^{+2}$ . Zwiększone stężenia żelaza w wodach Pasłęki pojawiały się także na odcinkach przepływających przez obszary leśne.

Wyższe koncentracje manganu notowano tam, gdzie rzeka przepływała przez obszary użytkowane rolniczo, szczególnie nawożone łąki i pastwiska oraz obszary o niewłaściwie prowadzonej gospodarce wodno - ściekowej.

W osadach rzecznych stwierdzono wiązanie żelaza i manganu. Procesowi temu sprzyjało dobre natlenienie wód i odpowiedni odczyn. Przyjmuje się, że optymalny odczyn sprzyjający wytrącaniu żelaza powinien zawierać się w zakresie 7,0 – 7,5 pH, a dla manganu oscylować wokół 9,5 pH. Jednakże analiza statystyczna nie potwierdziła zależności między wielkością asocjacji obydwu metali w osadach dennych analizowanej rzeki, a odczynem wód.



Zbiornikiem najbardziej zasobnym w związku żelaza było jezioro Wymój, co z pewnością miało związek z zasilaniem tego jeziora przez wody podziemne bogate w ten metal. Z kolei najwyższe stężenia manganu notowano w jeziorze Łęguty. Sytuację tę można wytłumaczyć faktem, że w miejscowości Łęguty, leżącej w zlewni rozpatrywanego zbiornika znajduje się stacja uzdatniania wody, odprowadzająca wody popłuczne do rzeki Pasłęki przed jej ujściem do jeziora Łęguty.

Rozmieszczenie żelaza i manganu w kolumnie wody w jeziorach regulowane było wartością potencjału oksydacyjno – redukcyjnego, związanego z obecnością tlenu.

We wszystkich jeziorach, w sezonie wegetacyjnym, obserwowano przetlenienie powierzchniowych warstw wody (od 120 do 180% nasycenia tlenem), któremu towarzyszył odczyn sięgający 9,09 pH. Oczekiwano, że koncentracje żelaza zawsze będą spadać do zera analitycznego, bowiem w takich warunkach metal ten występuje głównie, jako wodorotlenek żelaza (III). W trakcie kilkuletnich badań zdarzały się sytuacje, gdy latem, przy powierzchni nie wykrywano obecności żelaza, jednak najczęściej metal ten był obecny w wodzie. Może to wynikać z przepływowego charakteru jezior, będących ogniwem sieci rzeczno – jeziornej, przez co są stale zasilane w żelazo wodami rzeki, przepływającej przez tereny zatorfione oraz leśne i łąkowe.

Stężenia manganu w powierzchniowych warstwach wód były przeważnie kilka razy wyższe niż żelaza, chociaż epizodycznie także spadały do zera analitycznego.

W warunkach anoksydacyjnych, które stwierdzano w hypolimnionie i dolnych partiach jezior górnej Pasłęki, potencjał oksydacyjno – redukcyjny był niski, co sprzyjało redukcji obydwu metali. Żelazo w formie dwuwartościowej jest łatwiej rozpuszczalne, dlatego jest uwalniane z sestonu i osadów dennych i gromadzone w dolnych partiach wód, oczekując do okresu cyrkulacji w roztworze. Analogiczne przemiany zachodziły w przypadku manganu, który charakteryzuje się lepszą rozpuszczalnością, co tłumaczy jego wyższe koncentracje w dolnych partiach wód prawie wszystkich jezior za wyjątkiem jeziora Wymój, gdzie przeważało żelazo.

Podobnie jak wapń i magnez, także żelazo i mangan były wynoszone z jezior w znacznie większych ilościach w okresie cyrkulacji, kiedy ich zasoby były rozprowadzone w całej objętości wód.

Ważnymi składnikami wody decydującymi o jej żyzności i zdolności do produkowania materii organicznej są związki fosforu i azotu. W rzece Pasłęce wysokie stężenia fosforu notowano na odcinku pomiędzy jeziorami Sarąg a Łęguty, gdzie w zlewni oprócz terenów rolniczych występuje zabudowa wiejska i źle funkcjonująca oczyszczalnia ścieków. Maksymalne koncentracje azotu, przede wszystkim w formie azotanów (V) notowano na odcinkach rzeki drenujących tereny użytkowane rolniczo.

Oba biogeny były włączane w cykle biogeochemiczne w toni wodnej. W samej rzece procesy produkcyjne nie były widoczne, jednakże w sezonie wegetacyjnym w punktach badawczych usytuowanych za jeziorami obserwowano zieloną barwę wody, spadek przezroczystości, przetlenienie, wysoki odczyn (powyżej 8,3 pH) i wyższe koncentracje organicznych form fosforu i azotu w porównaniu do wartości stwierdzanych przed ujściem rzeki do poszczególnych jezior. Świadczy to niewątpliwie o tym, że w okresie stagnacji jezior rzeka wyносиła powierzchniowe warstwy wody jeziornej, w której intensywnie zachodziły procesy produkcyjne. Warunki panujące w wodach rzecznych za jeziorami ulegały

diametralnej zmianie, aż do następnego jeziora. Można to wyjaśnić procesem samooczyszczania, który polega na mineralizacji związków organicznych i adsorpcji, substancji chemicznych na granicy faz: stałej i ciekłej.

Stwierdzono, że osady rzeczne wiązały fosfor i azot. Wykonano analizę statystyczną, która miała wykazać zależność między wielkością wiązania fosforu a zawartością metali (Fe, Mn, Ca, Mg) i materii organicznej w osadach. Wysoce istotną statystycznie korelację znaleziono jedynie między wiązaniem fosforu a stężeniem żelaza. Przeanalizowano także związek między wiązaniem azotu a zawartością materii organicznej w osadach i nie stwierdzono korelacji między tymi parametrami. Prawdopodobnie najważniejszym czynnikiem oddziaływującym na przemiany azotu w środowisku wodnym są dobre warunki tlenowe i obecność odpowiednich grup bakterii, które umożliwiają szybką mineralizację związków organicznych, a następnie utlenianie powstałego w tym procesie amoniaku do azotanów (V).

W obrębie jezior biogeny podlegały dalszym transformacjom. W wodach analizowanych jezior średnie koncentracje fosforu ogólnego i azotu ogólnego były wysokie, charakterystyczne dla jezior zasobnych w biogeny, o wysokiej produktywności. Gdy w jeziorach zakładało się letnie uwarstwienie termiczne, notowano wyraźną stratyfikację pionową w występowaniu fosforu i azotu w kolumnie wody, ze wzrostem wartości w kierunku dna. W okresie wegetacyjnym w powierzchniowych warstwach wody mineralne formy obu biogenów były pobierane przez fitoplankton i wykorzystywane do procesu produkcji pierwotnej. W okresie od kwietnia do sierpnia, w każdym roku badawczym obserwowano spadek koncentracji ortofosforanów (V) oraz azotu amonowego i azotanowego (V) nawet do zera analitycznego. Towarzyszył temu wysoki odczyn – do 9,09 pH, przetlenienie wód (do 180% nasycenia tlenem), niska widzialność i wysokie stężenia chlorofilu „a”. Analiza statystyczna nie wykazała korelacji między zawartością fosforu ogólnego i azotu ogólnego a koncentracją chlorofilu „a” i widzialnością krążka Secchiego. Brak zależności można wyjaśnić stałym dopływem obu biogenów z wodami rzeki, stąd spadek widzialności i wzrost chlorofilu „a” nie pociągał za sobą radykalnego spadku form mineralnych obu biogenów.

W okresie cyrkulacji nagromadzone w hypolimnionie związki biogenne, podobnie jak opisane wcześniej komponenty, ulegały rozproszczeniu w całej masie wód jezior i w tym okresie obserwowano wyprowadzanie maksymalnych ładunków fosforu i azotu poza jeziora.

Badania systemu rzeczno – jeziornego górnej Pasłęki wykazały, że we wszystkich jeziorach w okresie uwarstwienia termicznego, gdy wody zalegające nad osadami dennymi były odtlenione (obserwowano postępujące od dna odtlenienie wód, powodowane zużywaniem tlenu na mineralizację materii organicznej) zachodziło zjawisko uwalniania zarówno makropierwiastków (wapnia, magnezu, żelaza i manganu) jak i związków biogennych (fosforu i azotu) z osadów dennych do wody. Proces ten zachodził z różnym nasileniem w poszczególnych jeziorach, jednakże w dużym stopniu wpływał na ilość składników znajdujących się w wodzie naddennej, z której w okresie cyrkulacji wszystkie komponenty były rozprowadzane w całej objętości wody w jeziorach.

Najwyższe ilości wapnia i magnezu były uwalniane z osadów dennych jeziora Sarąg, gdzie odczyn kształtował się na poziomie 7,13 – 8,14 pH, co nie sprzyjało deponowaniu



wapnia i magnezu w osadzie. Ponadto, obecność ditlenku węgla, który powstaje w efekcie mineralizacji materii organicznej, wzmacnia rozpuszczalność węglanów wapnia oraz magnezu i uniemożliwia trwale ich odkładanie w osadach.

Najwięcej żelaza uwalniały osady jeziora Wymój, a manganu osady jeziora Łęguty, co z pewnością ma związek z zasobnością w żelazo lub mangan osadów dennych tych zbiorników. Oba metale ulegają redukcji w warunkach beztlenowych do form dwuwartościowych, które są rozpuszczalne. W porównaniu do żelaza, mangan szybciej przechodzi w warunkach anoksydacyjnych w formę rozpuszczalną i jest wydzielany z osadów dennych, czym można wytłumaczyć wyższe wartości jego uwalniania w rozpatrywanych jeziorach niż żelaza.

Fosfor był uwalniany z osadów dennych analizowanych zbiorników na poziomie 2 - 25,6 mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. Jak już wspomniano, w badanych jeziorach w okresach stagnacji przy dnie panowały warunki beztlenowe, co powodowało spadek potencjału redoks. W efekcie, fosfor w połączeniu z żelazem (w osadach był deponowany w połączeniu z żelazem co potwierdziła analiza statystyczna), w formie Fe<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> był wydzielany z osadów do wód naddennych. Wielkość uwalniania fosforu z osadów dennych w badanych jeziorach była podobna do stwierdzanych w innych jeziorach eutroficznych.

Azot wydzielany jest z osadów dennych w postaci azotu amonowego. Wydzielony amoniak w warunkach tlenowych ulega nityfikacji, a powstałe w tym procesie azotany (V) dyfundują do osadów dennych i tam podlegają denityfikacji, wskutek której powstaje wolny azot przenikający do atmosfery. Otrzymane w trakcie badań wartości uwalniania azotu z osadów były niższe od spotykanych w jeziorach eutroficznych. Ze względu na panujące w wodach naddennych warunki beztlenowe w okresie stagnacji, wydzielony amoniak nie mógł podlegać nityfikacji, czego potwierdzeniem były wyniki analizy wód przydennych w jeziorach, w których w okresie od kwietnia do sierpnia nie wykrywano obecności azotu azotanowego (V).

Dysponując wielkościami ładunków makropierwiastków (Ca, Mg, Fe, Mn) i biogenów (P, N) oraz powierzchniami i sposobem zagospodarowania zlewni cząstkowych rzeki Pasłęki obliczono jednostkowe współczynniki spływu tych związków z poszczególnych rodzajów podzlewni wyrażone w kilogramach na hektar rocznie (tab. 1).

*Tabela 1. Współczynniki spływu przestrzennego makropierwiastków i związków biogenych określone na podstawie badań w zlewni Pasłęki w latach 2009 – 2012 (kg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>)*

Pierwiastek	Grunty orne	Użytki zielone	Lasy	Zabudowa
Wapń	110,8	58,6	20,4	30,2
Magnez	15,6	12,5	5,5	7,4
Żelazo	0,5	0,6	0,7	0,4
Mangan	0,2	0,5	0,3	0,4
Fosfor ogólny	0,6	0,3	0,1	0,5
Azot ogólny	14,3	7,2	4,2	5,3

Na podstawie wartości współczynników jednostkowego spływu określono obciążenie zewnętrzne analizowanych jezior makroelementami i związkami biogenymi ze źródeł

obszarowych. Ponadto określono ładunki makropierwiastków i nutrientów wnoszone z wodami rzeki Pasłęki, z opadem atmosferycznym i przez osoby kąpiące się w jeziorach w sezonie letnim. Z uwagi na fakt, że jeziora nie stanowią odbiorników ścieków nie obliczono ładunku pochodzącego ze źródeł punktowych. Nie określono także ładunku analizowanych pierwiastków ze źródeł rozproszonych, ponieważ wszystkie miejscowości położone w rozpatrywanej zlewni są skanalizowane.

Średnie obciążenie zewnętrzne jezior wapniem wahało się między  $292,2 \text{ g m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$  a  $2556,8 \text{ g m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ , a magnezem zawierało się w przedziale od  $51,6 \text{ g m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$  do  $474,2 \text{ g m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ . Największy ładunek tych metali w stosunku do jednostki powierzchni przyjmowało jezioro Łęguty, zaś najmniejszy jezioro Sarąg.

Przeciętnie, na jednostkę powierzchni jezior w ciągu roku docierało ze zlewni od  $0,8 \text{ g m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$  do  $5,1 \text{ g m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$  żelaza oraz od  $0,6 \text{ g m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$  do  $5,2 \text{ g m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$  manganu. Podobnie jak w przypadku wapnia i magnezu najbardziej obciążone żelazem i manganem było jezioro Łęguty, natomiast najmniejszy ładunek żelaza w stosunku do powierzchni przyjmowało jezioro Isąg, a manganu jezioro Sarąg.

Obciążenie fosforem ogólnym zmieniało się w zakresie od  $0,8 \text{ g m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$  do  $10,8 \text{ g m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$  a azotem ogólnym od  $9,2 \text{ g m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$  do  $111,1 \text{ g m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ . Odnosząc uzyskane wartości fosforu ogólnego do kryteriów zaproponowanych przez Vollenweidera (1976, 1990), stwierdzono, że dopuszczalne i krytyczne obciążenia zostały przekroczone bardzo wyraźnie, co potwierdza fakt, że proces eutrofizacji we wszystkich badanych jeziorach zachodzi w szybkim tempie.

W przypadku analizowanych jezior należących do systemu rzeczno – jeziornego górnej Pasłęki stwierdzono, że hypertroficzne zbiorniki Pasłek, Wymój, Sarąg i Łęguty wyprodukowały większe ładunki makropierwiastków i biogenów niż dopływały do nich z zewnątrz (retencja ujemna), natomiast jezioro Isąg, charakteryzujące się najlepszym stanem troficznym (eutrofia) i wysoką pojemnością sorpcyjną osadów dennych, wyprowadzało poza ekosystem jedynie wapń i magnez, zaś pozostałe pierwiastki były w znacznym stopniu deponowane w obrębie tego ekosystemu (retencja dodatnia). Obserwowane zjawiska można wytłumaczyć z jednej strony ujemną poziomą wymianą wody, spowodowaną zasilaniem podziemnym, a z drugiej zjawiskiem uwalniania rozpatrywanych pierwiastków z osadów dennych. Badania wykazały, że w jeziorze Isąg uwalnianie żelaza, manganu, fosforu i azotu było niewielkie na tle pozostałych jezior, zaś wapnia i magnezu dość wysokie. Stwierdzono, że omawiane jezioro zawierało najwięcej ditlenku węgla w osadach, a ten związek wzmacnia agresywność wód interstycjalnych w stosunku do węglanu wapnia i magnezu, powodując ich rozpuszczanie i osłabiając lub nawet uniemożliwiając trwałe deponowanie w osadach dennych.

Badając system rzeczno – jeziorny górnej Pasłęki założono, że retencja poszczególnych makropierwiastków i biogenów może zależeć od: natężenia przepływu wody rzecznej na dopływie do jeziora ( $Q_{DOP} - \text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), od natężenia przepływu wody na ujściu rzeki z jeziora ( $Q_{ODP} - \text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), od czasu pobytu wody w jeziorze ( $\tau_w$  - doby), od intensywności wymiany wody (IW - %), od stężenia pierwiastka w całej masie wód jeziora ( $S - \text{mg l}^{-1}$ ), od wielkości uwalniania z osadów dennych ( $U - \text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ). Otrzymane wyniki poddano analizie regresji wielorakiej, w celu rozpoznania równoczesnego wpływu kilku zmiennych

(predyktorów) na zmienną objaśnianą. Dodatkowo badano rozkład normalny reszt, stosując test zgodności chi-kwadrat. Jako hipotezę  $H_0$  przyjęto, że reszty mają rozkład normalny, jako hipotezę  $H_1$ , że reszty nie mają rozkładu normalnego. Założono poziom istotności  $\alpha=0,05$ . Reszty miały rozkład normalny, co potwierdzało prawidłowość uzyskanych modeli. Uzyskano następujące modele retencji dla analizowanych makropierwiastków i biogenów:

$$\text{Wapń: } \Delta R_{Ca} = 31568,0 - 0,824948 U_{Ca} + 0,546489 Q_{DOP} - 0,501224 Q_{ODP} + E_{IJ},$$

$$\text{Magnez: } \Delta R_{Mg} = 26,85 - 0,799694 U_{Mg} + 0,569445 \tau_w + E_{IJ},$$

$$\text{Żelazo: } \Delta R_{Fe} = 0,986346 + 0,261791 L_{RZ Fe} - 0,280420 U_{Fe} + 0,577464 \tau_w + E_{IJ},$$

$$\text{Mangan: } \Delta R_{Mn} = 7,96864 + 0,870057 L_{RZ Mn} - 0,565227 U_{Mn} - 0,576016 \tau_w - 0,649087 IW \\ + 0,284607 Q_{DOP} - 0,325517 Q_{ODP} + E_{IJ},$$

$$\text{Fosfor: } \Delta R_P = 1,99753 - 0,67756 U_P + 1,33576 Q_{DOP} - 1,29630 Q_{ODP} + E_{IJ},$$

$$\text{Azot: } \Delta R_N = 8,8461 - 0,410745 U_N - 0,275619 Q_{DOP} + 0,530432 Q_{ODP} + E_{IJ}$$

#### Najważniejsze osiągnięcia i wnioski wynikające z przeprowadzonych badań:

1. Wody rzeczne i jeziorne były zróżnicowane pod względem zasobności w makropierwiastki i biogeny, na co w dużym stopniu wpływała zlewnia i warunki środowiskowe panujące w rzece lub poszczególnych jeziorach.
2. Wszystkie analizowane pierwiastki podlegały intensywnym przemianom w obrębie odcinków rzecznych i jeziornych, które polegały przede wszystkim na włączaniu ich w procesy produkcji materii organicznej zachodzące w powierzchniowych warstwach wody.
3. W naddennych partiach wód jeziornych materia organiczna podlegała mineralizacji, wskutek czego w warstwach naddennych nagromadzały się produkty jej rozkładu.
4. W okresach cyrkulacji (wiosna, jesień) nagromadzone w wodach naddennych, w okresie stagnacji, makropierwiastki i biogeny były rozprowadzane w całej masie wód jezior, co wpływało na wzrost ładunku wynoszonego z wodami rzeki.
5. Warunki środowiskowe panujące w rzece powodowały, że w osadach rzecznych zachodziło zjawisko wiązania wszystkich rozpatrywanych pierwiastków.
6. Czynnikiem sprzyjającym wiązaniu wapnia i magnezu w osadach rzecznych był alkaliczny odczyn i wzajemny stosunek molowy Ca/Mg niższy od 1,5. W przypadku żelaza i manganu warunkiem asocjacji obu metali w osadach było dobre natlenienie wody. Korzystne warunki tlenowe i odpowiednia temperatura wody w rzece umożliwiały szybką mineralizację związków azotowych i zachodzenie procesu nityfikacji. Fosfor był wiązany w największym stopniu na odcinkach rzeki, gdzie osady zawierały wyższe koncentracje żelaza, z którym fosfor tworzy trudno rozpuszczalny fosforan żelaza (III).
7. W jeziorach, w okresie stratyfikacji termicznej, obserwowano uwalnianie wszystkich makropierwiastków i związków biogennych z osadów dennych. Intensywność procesu uwalniania z osadów była związana ze stanem troficznym jeziora i składem osadów dennych.
8. W przypadku żelaza, manganu oraz fosforu i azotu głównym czynnikiem sprzyjającym uwalnianiu z osadów jeziornych było odtlenienie wód naddennych i

związany z tym niski potencjał oksydacyjno – redukcyjny. Procesowi uwalniania wapnia i magnezu sprzyjała podwyższona zawartość ditlenku węgla, który rozpuszcza węglany wapnia i magnezu uniemożliwiając ich deponowanie w osadach.

9. Głównym źródłem analizowanych pierwiastków do wód jeziornych była rzeka Pasłęka.
10. Ładunki makropierwiastków i biogenów odpływające do jezior z 1 km<sup>2</sup> zlewni były podobne do podawanych w literaturze dla obszarów leśnych z udziałem łąk, pastwisk i upraw.
11. Wartości jednostkowych współczynników spływu makropierwiastków oraz związków biogennych ustalone dla zlewni górnej Pasłęki różniły się od spotykanych w literaturze.
12. Największy odpływ wapnia, magnezu, manganu oraz fosforu i azotu miał miejsce z obszarów użytkowanych rolniczo. Najwyższy współczynnik odpływu żelaza uzyskano dla terenów leśnych.
13. Jeziora Pasłek, Wymój, Sarąg i Łęguty wykazywały retencję ujemną w stosunku do wszystkich makropierwiastków oraz fosforu i azotu. Jezioro Isąg retencjonowało żelazo, mangan, fosfor i azot, a retencję ujemną wykazywało w stosunku do wapnia i magnezu.
14. Wartości retencji makropierwiastków oraz fosforu i azotu w obrębie ekosystemu determinowane były wielkością uwalniania pierwiastków z osadów dennych, natężeniem przepływu wody na dopływie i odpływie rzeki z jeziora, jak również czasem zatrzymania wody w jeziorze.

## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo–badawczych

Studia ukończyłam w 1997 r. na Wydziale Ochrony Środowiska i Rybactwa, Akademii Rolniczo - Technicznej w Olsztynie, uzyskując tytuł magistra inżyniera w zakresie ochrony wód. Pracę magisterską wykonałam w Katedrze Chemii i Technologii Wody i Ścieków (obecnie Katedra Inżynierii Ochrony Wód) pod kierownictwem prof. dr hab. Heleny Gawrońskiej.

W tym samym roku (1997) rozpoczęłam studia doktoranckie w Studium Doktoranckim Akademii Rolniczo - Technicznej w Olsztynie, a od 1999 r. Uniwersytetu Warmińsko – Mazurskiego w Olsztynie.

Od początku mojej pracy zostałam włączona do zespołu badawczego kierowanego przez prof. Konstantego Lossowa i prof. Helenę Gawrońską, zajmującego się opracowywaniem, wdrażaniem i badaniem efektywności różnych technik rekultywacyjnych, zwłaszcza metody sztucznego napowietrzania z destryfikacją. Mój udział polegał na badaniu zmian warunków hydrochemicznych w silnie zanieczyszczonym Jeziorze Długim, które w tamtym czasie było najdłuższym napowietrzonym (14 lat) zbiornikiem na świecie. Wyniki badań zostały przedstawione w mojej pracy doktorskiej pt. „Możliwości odnowy silnie zdegradowanych jezior metodą wieloletniego sztucznego napowietrzania na przykładzie Jeziora Długiego w Olsztynie”, którą wykonałam pod kierunkiem prof. Heleny



Gawrońskiej oraz w kilku publikacjach i doniesieniach konferencyjnych (II.A.1, II.A.2, II.E.1, II.E.9, II.E.11, II.L.1, III.B.2, III.B.3, III.B.4). Przeprowadzone badania wykazały, że sztuczne napowietrzanie co prawda eliminuje negatywne skutki wysokiej trofii, a tym samym wpływa na wyraźną poprawę warunków środowiskowych w jeziorze (spadek zawartości substancji biogenych i organicznych, obniżenie produkcji pierwotnej, poprawa przezroczystości wody), ale też stwierdzono, że nawet przy długotrwałym okresie napowietrzania, odnowa jezior silnie zdegradowanych jest niezwykle trudna. W kolejnych latach sztucznego napowietrzania obserwowano spadek tempa redukcji związków fosforu w jeziorze i wciąż znaczne jego ilości w wodzie oraz zmniejszające się wprawdzie, ale wyraźnie widoczne pogarszanie się warunków środowiskowych po zaprzestaniu napowietrzania (lata kontrolne). Główną przyczyną obserwowanych zjawisk był negatywny wpływ osadów dennych, wytworzonych w okresie zanieczyszczenia jeziora (wysoka zawartość materii organicznej), które charakteryzowały się niską pojemnością sorpcyjną, obniżoną dodatkowo przez trwałe wiązanie żelaza z siarkowodorem, występującym w dolnych partiach wód. Wskazywało to na konieczność zastosowania metod wspomagających. W związku z powyższym, w zespole kierowanym przez prof. Helenę Gawrońską prowadziłam badania, które dotyczyły opracowania i wdrożenia metody inaktywacji fosforu przy użyciu koagulantu glinowego nowej generacji. Przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych badania możliwości zastosowania wstępnie zhydrolizowanych chlorków poliglinu do rekultywacji jezior wykazały, że są one skuteczniejsze, łatwiejsze w użyciu i stosunkowo tańsze w stosunku do tradycyjnych koagulantów (II.E.2, II.L.2, III.B.1). Pozwoliło to na opracowanie technologii i zastosowanie po raz pierwszy w Polsce metody inaktywacji fosforu przy użyciu koagulantu PAX 18, jako kolejnej metody rekultywacji Jeziora Długiego w Olsztynie. Prace wykonano w ramach projektu zleconego przez Urząd Miasta w Olsztynie (II.J.1). Efektem wprowadzenia koagulantu do jeziora było usunięcie fosforu z toni wodnej, a przede wszystkim zwiększenie zdolności sorpcyjnych osadów dennych i zahamowanie uwalniania fosforu z osadów do wody (II.E.3, II.F.1, II.F.2, II.F.3, II.L.3, III.B.1).

Zastosowanie obu metod rekultywacji - sztucznego napowietrzania z destratyfikacją oraz inaktywacji fosforu, na Jeziorze Długim spowodowało bardzo wyraźną poprawę warunków środowiskowych w zbiorniku, który obecnie można określić jako umiarkowanie zeutrofizowany. Ponadto Jezioro Długie należy do nielicznej grupy zbiorników na świecie, w których zabiegi rekultywacyjne zakończyły się sukcesem. Jezioro objęte jest stałym monitoringiem warunków hydrochemicznych i badaniami nad trwałością efektów uzyskanych dzięki zastosowanym metodom rekultywacji. Prowadzone badania mają ogromne znaczenie, bowiem w literaturze światowej można znaleźć wyniki opisujące tylko krótkotrwałe efekty, osiągnięte po zastosowaniu określonej metody rekultywacji. Brakuje wyników długotrwałych obserwacji, jak również efektów wynikających z zastosowania różnych zabiegów na jednym obiekcie. Wyniki badań prowadzonych na Jeziorze Długim uzupełniają tę lukę i dlatego były opublikowane zarówno w artykułach naukowych, jak też prezentowane na konferencjach krajowych i zagranicznych (II.A.5, II.A.6, II.A.7, II.A.8, II.A.9, II.E.13, II.E.32, II.E.33, II.E.40, II.E.44, II.L.9, II.L.13, III.B.13, III.B.20).

W kręgu moich zainteresowań znajdowały się również zagadnienia związane z ochroną jezior. Wyniki prac nad określeniem roli zlewni w eutrofizacji jezior,