UNIWERSYTET IM. ADAMA MICKIEWICZA W POZNANIU

Wydział Biologii
Instytut Biologii Środowiska
Zakład Ochrony Wód

Poznań, 21 maja 2024

Renata Dondajewska-Pielka, Dr hab. prof. UAM
Zakład Ochrony Wód
Instytut Biologii Środowiska
Wydział Biologii
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Mohammeda Z.A. Alhamarny pt. 'The innovative method of a flow-through lake renovation by a hydrotechnical method supported by biomanipulation'

Mgr inż. Mohammed Z.A. Alhamarna przygotował rozprawę doktorską pod kierunkiem dr hab. Renaty Tandyrak oraz prof. dr. hab. inż. Roberta Czerniawskiego w Katedrze Inżynierii Ochrony Wód i Mikrobiologii Środowiskowej Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie.

1. *Formalne podstawy oceny*

Recenzja rozprawy doktorskiej została wykonana w odpowiedzi na pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, prof. dr hab. inż. Marcina Dębowskiego z dnia 26 marca 2024r (sygn.. WG-IIiOS.53.1.2024).

2. *Ogólna charakterystyka*

Postępująca eutrofizacja jezior położonych w krajobrazie rolniczym, objawiająca się szkodliwymi długotrwałymi zakwitami, stanowi wyzwanie dla zarządzania jeziorami i wpływa na usługi ekosystemowe. Zewnętrzne obciążenie substancjami biogennymi - kluczowy wymóg przyszłej poprawy jakości wody - może nie być możliwe do całkowitego wykluczenia, a nawet jeśli jest ono znacznie zmniejszone, oczekiwane rezultaty nie są obserwowane ze względu na obciążenia wewnętrzne, dostarczające związki biogenne do wody z osadów dennych. Rekultywacja jezior staje się w tym przypadku rozwiązaniem ostatecznym, szczególnie w przypadku jezior przepływowych, pozostających pod ciągłym wpływem dużych zlewni. Dostosowanie metody rekultywacji do warunków środowiskowych

ma ogromne znaczenie, zwiększając szansę na sukces, zarówno pod względem zakresu pozytywnych zmian, jak i ich trwałości. Drugim kluczowym warunkiem skutecznej rekultywacji jest połączenie różnych metod, wzajemnie się uzupełniających, zmierzających do tego samego celu, ale różnymi drogami. Jednocześnie istotna jest nie tylko jakość wody w jeziorze i przemiany w biocenozach w kierunku niższego statusu troficznego, ale także warunki hydrologiczne, które są zmienne, zwłaszcza w jeziorach przepływowych i wpływają na funkcjonowanie ekosystemu jeziornego. Mogą one zmieniać się z roku na rok ze względu na ocieplenie klimatu, powodując zarówno długotrwałe susze, jak i ulewne deszcze. W konsekwencji wyniki rekultywacji jezior mogą być zaburzone i konieczna jest modyfikacja wybranej metody lub poszerzenie zakresu stosowanych rozwiązań. W związku z tym, nie ma skutecznej rekultywacji jezior bez ciągłego monitoringu środowiskowego, obejmującego zarówno abiotyczne, jak i biotyczne elementy wody i osadów, tworząc podstawę do oceny skuteczności zabiegów. Recenzowana rozprawa doktorska przedstawia studium przypadku rekultywacji jeziora poprzez połączenie uzupełniających się metod hydrotechnicznych i biologicznych, specjalnie dobranych i dostosowanych do warunków jeziora, w tym ocenę dwuletnich rezultatów procesu. Omówiono zarówno pozytywne zmiany w ekosystemie, obserwowane na różnych poziomach jego organizacji (jakość wody, osady, fitoplankton, zooplankton, makrobezkręgowce, makrofity), jak i niepowodzenia i nieoczekiwane warunki hydrologiczne. Praca doktorska porusza problem eutrofizacji jezior, prezentując nowe podejście do przywracania jezior przepływowych metodami hydrotechnicznymi, w oparciu o naturalne cechy jezior.

3. Struktura rozprawy doktorskiej

Rozprawa liczy 166 stron wydruku komputerowego i składa się z 6 rozdziałów głównych, z których 3 są kluczowe z punktu widzenia prezentowanych zagadnień, związanych z celem naukowym pracy wraz z prezentacją wyników badań, ich analizą, dyskusją i wnioskami końcowymi. Oprócz rozdziału głównego, wydruk obejmuje również Spis treści, Wykaz użytych skrótów, Streszczenie w języku polskim i angielskim, Podziękowania, Piśmiennictwo oraz Załączniki na końcu pracy. Praca została zilustrowana 38 rycinami i 36 tabelami w tekście głównym oraz 34 rycinami i 35 tabelami w postaci Załączników. Bibliografia obejmuje 156 pozycji, recenzowanych artykułów, rozdziałów książek i materiałów niepublikowanych.

Rozprawę otwiera Wstęp, w którym Autor przedstawił zasady funkcjonowania ekosystemów jezior stratyfikowanych, ze szczególnym uwzględnieniem hypolimnionu i

zmian, jakie w nim zachodzą w wyniku procesu eutrofizacji. Cel, którym jest ocena zastosowanych metod rekultywacji jezior na poziomie cech fizykochemicznych wody i osadów oraz wskaźników biologicznych, oraz zakres badań przedstawiono w podrozdziale 1.2. Ponieważ wyniki badań zebrane w latach 2020-2022 zostały porównane z danymi sprzed rekultywacji (2017-2018), istnieją w rzeczywistości dwa główne cele: poznawczy - jak funkcjonuje jezioro podczas wdrażania metod rekultywacyjnych, oraz bardziej praktyczny - jak zmienia się stan troficzny w wyniku jego rekultywacji. W rozdziale numer 2 przedstawiono przegląd literatury dotyczącej trzech metod rekultywacji jezior: usuwanie wód hypolimnionu, napowietrzania wód naddennych i biomanipulacji. W rozdziale 3 scharakteryzowano wybrane do badań Jezioro Święte oraz opisano metodykę badań. Liczne fotografie przedstawiają zarówno relacje hydrologiczne z innymi ekosystemami wodnymi, jak i rozwiązania techniczne wprowadzone w celu poprawy jakości wody. Szczegółowo opisano zastosowane metody badawcze, zwłaszcza w odniesieniu do badań chemicznych wody i osadów dennych. W podrozdziale 3.6 zawarto informacje o analizach statystycznych, a także o hipotezach zerowych i alternatywnych odnoszących się do celu badań. Pozostała część pracy zawiera wyniki badań (rozdział 4) zilustrowane rycinami i tabelami. W dyskusji (rozdział 5) autor interpretuje wyniki badania w świetle literatury naukowej. Pracę kończy Zakończenie, po którym następuje podsumowanie, wykaz wykorzystanych pozycji bibliograficznych oraz załączniki w formie graficznej i tabelarycznej.

4. *Ocena merytoryczna rozprawy*

Cel pracy, którym była ocena, w jaki sposób połączenie trzech metod rekultywacji zastosowanych jednocześnie wpływa na funkcjonowanie eutroficznego jeziora stratyfikowanego poprzez ocenę jakości wody, składu osadów i struktury biologicznych składników jeziora, został z pewnością osiągnięty. Najistotniejsze zmiany zaobserwowano w osadach dennych i w strefie hypolimnionu, a przejawiały się one w postaci znacznego obniżenia stężeń siarkowodoru i wzrostu zawartości tlenu oraz obniżenia stężeń związków biogennych w próbkach wody pobranych w warstwie 10 cm nad osadem. Odnotowano również tendencje spadkowe dla koncentracji różnych form azotu w osadach i wodach interstycjalnych osadów, a także tendencje wzrostowe dla zawartości fosforu w osadach i wodach śródosadowych, co wskazuje na pozytywny wpływ wzrostu potencjału redoks na wiązanie fosforu w osadach. Potwierdza to wpływ metody napowietrzania hypolimnionu (HA) poprzez dostarczanie wody powierzchniowej do warstwy głębinowej za pośrednictwem rurociągu grawitacyjnego. Z drugiej strony, rosnące stężenia składników odżywczych w

odpływających wodach rzeki Pintus dowodzą, że usuwanie wód hypolimnionu (HW) działa prawidłowo, odprowadzając najbardziej bogatą w składniki odżywcze część słupa wody. Wnioski te nie byłyby możliwe bez szczegółowych badań o szerokim zakresie badanych wskaźników. Dogłębne analizy składu osadów w próbkach podzielonych na dwie warstwy, a także wody porowej osadów pozwoliły zbadać, jak ta część ekosystemu jeziora reaguje na dwie różne metody: dostarczanie wody dobrze natlenionej i odprowadzanie tej odtlenionej. W rzeczywistości zmienność reakcji nie była tak znacząca, o czym świadczy mniejsza zawartość fosforanów w wodzie porowej, ale więcej fosforanów zakumulowanych w osadach na obu badanych stanowiskach. Forma tej retencji została określona w analizie frakcji fosforu, której wyniki wskazują na wzrost zawartości fosforu związanego z wapniem i materią organiczną.

Ocenie przemian chemicznych następujących w osadach i wodzie towarzyszyły analizy czasowych zmian biologicznych składników ekosystemów: fitoplanktonu, zooplanktonu, makrobezkręgowców, makrofitów i ryb. Biorąc pod uwagę, że analizy elementów biotycznych są poza zakresem dyscypliny inżynieria środowiska, godne podziwu jest to, że zostały one w pracy uwzględnione, a wyniki zostały omówione przez Autora w celu weryfikacji skuteczności rekultywacji. Fakt, że zmienność w czasie była niewielka, a istotne zmiany odnotowano jedynie w przypadku makrofitów i ryb (pamiętając o wpływie biomanipulacji na te ostatnie), nie jest zaskoczeniem, gdyż opóźnione reakcje organizmów na zabiegi rekultywacyjne zostały potwierdzone w wielu badaniach.

Niemniej jednak w mojej opinii wyniki trzyletnich badań mogłyby być bardziej wyraziste i wiarygodne, gdyby w analizach statystycznych uwzględniono więcej danych. W ten sposób zmierzam do mojej największej obawy związanej z rozprawą, czyli dlaczego tak mało danych zostało przedstawionych i wykorzystanych do analiz statystycznych. Zgodnie z podrozdziałem 3.4.1 Daty pobierania próbek, próbki wody pobrano dwa razy w 2021r. i 6 razy w 2022r., natomiast w wynikach przedstawiono tylko sierpień 2021r. oraz kwiecień i grudzień 2022r. Takie podejście znacznie zmniejszyło ilość danych wykorzystanych do analiz statystycznych i potencjalnie wpłynęło na ostateczny wynik braku lub bardzo słabej istotności zmienności stężeń w czasie i przestrzeni. Podobnie, porównanie danych z lata 2020 i 2021 r. z wiosną i późną jesienią 2022 r. doprowadziło do braku wyraźnych różnic w czasie, które mogłyby zdecydowanie potwierdzić skuteczność działań naprawczych. W przypadku kilku badanych cech osadów i właściwości wody porowej, np. fosforu całkowitego, fosforu organicznego, azotu organicznego, wiosna 2022r. charakteryzowała się najniższymi wynikami, podczas gdy późna jesień najwyższymi, co pozostaje w związku z naturalnymi sezonowymi zmianami w osadach ekosystemów, np. akumulacją świeżej porcji osadu na

powierzchni dna w sezonie wegetacyjnym. Wykorzystanie danych z lata z pewnością pomogłoby poprawić ocenę zabiegów rekultywacyjnych, a także byłoby bardziej odpowiednie z naukowego punktu widzenia. Oczekiwałbym wyjaśnienia niespójności między danymi z poboru próbek a danymi przedstawionymi w wynikach, a także ich wpływu na końcowe wnioski z nich wyciągnięte.

Kwestia brakujących danych z lata 2022r. jest tym bardziej zastanawiająca, że dane dotyczące zawartości fosforu i chlorofilu-a oraz widzialności krążka Secchiego zostały wykorzystane do obliczenia wskaźników TSI (strona 62), co oznacza, że były one dostępne, ale nie zostały wykorzystane w analizie zmian jakości wody w czasie i przestrzeni. Co więcej, chociaż wskaźniki są prawdopodobnie obliczone dobrze (założenie ze względu na fakt, że dane nie zostały zaimplementowane nawet w załącznikach), to jednak ocena stanu troficznego nie jest doskonała. W sierpniu 2020r. TSI dla TP wskazuje odpowiednio na eutrofię lub hipertrofię, TSI dla chlorofilu-a i przezroczystości wody wskazuje na mezotrofię, a TSI dla TN wskazuje na eutrofię. Średnie wartości TSI wskazują zatem na mezotrofię, ponieważ wynoszą 55 dla stanowiska 1 i 59 dla stanowiska 2, podczas gdy Autor sugerował eutroficzny stan jeziora. Podobnie, zgodnie z tabelą 13, jezioro pozostaje w stanie mezotroficznym (średni TSI dla stanowiska 1 wynosi 52, a dla stanowiska 2 - 53), podczas gdy Autor sugeruje poprawę do stanu oligotroficznego. Poprawa jest absolutnie prawdziwa w przypadku TSI dla chlorofilu-a i widoczności krążka Secchiego, ale zarówno TP, jak i TN również informują o stanie troficznym i nie można ich lekceważyć.

W rozdziale Wyniki występują również pewne niespójności między danymi dotyczącymi jakości wody w dopływie i odpływie rzeki Pintus a tekstem na stronie 42. Nie ma informacji, z którego okresu pochodzą dane w tabeli 2, prawdopodobnie są to lata 2017-2018, ale wartości opisane w tekście różnią się od tych umieszczonych w tabeli. Podobną nieścisłość odnotowano w podrozdziale 4.4.3 „Skład chemiczny osadów", ponieważ część danych w tabeli 30 nie odpowiada opisowi w tekście na stronie 83, np. średni udział OM zgodnie z tabelą wynosi 16,88-20,33 w górnej warstwie, ale w tekście jest 18,33-20,33. W rozdziale Wyniki brakuje również graficznej lub tabelarycznej prezentacji danych biologicznych. Informacje w tekście, np. na temat liczebności fitoplanktonu lub zooplanktonu, są skąpe i nie zawierają pełnych danych. Autor nie wskazuje na występowanie zakwitów wód, podczas gdy liczebność fitoplanktonu w sierpniu 2022r. sięgająca 1 700 000 ind/l i struktura zbiorowiska zdominowana przez sinice sugerują taką możliwość. Oczekiwałbym bardziej precyzyjnych informacji na ten temat, ponieważ eliminacja zakwitów

sinicowych, zakłócających usługi ekosystemowe jeziora, jest kluczową konsekwencją zabiegów rekultywacyjnych.

Zarówno wyniki, jak i dyskusja mogłyby zostać poprawione, gdyby podkreślono aspekty hydrologiczne jeziora, a przede wszystkim rzeki Pintus. Autor analizuje wpływ nadmiernego dopływu wody w 2021r. i suszy w 2022r., jednak zjawiska te nie zostały wystarczająco dobrze udokumentowane. Znaczenie bilansu wodnego dla funkcjonowania obu rurociągów skłania do bliższego przyjrzenia się zależnościom między ilością dopływającej wody a funkcjonowaniem jeziora. Ponadto, dane meteorologiczne mogłyby również pomóc w interpretacji wyników. Ocieplenie klimatu wywiera silny wpływ na hydrologię jezior i hydrodynamikę wymiany wody z rzekami i wodami gruntowymi, zaostrzając zwłaszcza problem suszy. Wiele badań donosi już o niepokojącym wpływie obniżania się poziomu wody zarówno na jakość wody, jak i skuteczność rekultywacji. Jeśli dostępne są dane dotyczące zarówno stężeń związków biogennych, jak i natężenia przepływu wody, należy obliczyć ładunki zasilające jezioro i odpływające rurociągiem, aby wyrazić wpływ rekultywacji na bilans związków azotu i fosforu w jeziorze.

Chociaż rozdział „Metody badań" przedstawia podjęte działania rekultywacyjne bardzo jasno, w tym za pomocą zdjęć, i dość dobrze przedstawia metody badawcze, to jednak brakuje ważnej części opisu jeziora jako miejsca badań naukowych. Mapa batymetryczna znacznie zwiększyłaby zrozumienie wybranych metod rekultywacji i wsparłaby informacje o głębokości obu najgłębszych miejsc, które zostały wybrane jako miejsca pobierania próbek. Sugerowałbym również przeniesienie hipotez do podrozdziału 1.1.

Wreszcie, jeśli chodzi o próby wyjaśnienia obserwowanych zmian w biologicznych elementach jeziora, nasuwają mi się dwa pytania. Zmiany zawartości fosforu całkowitego w wodzie jeziora tłumaczone są jego poborem przez fitoplankton w 2021r., jednak może to dotyczyć fosforu rozpuszczonego, a nie całkowitego, który może wykazywać dodatnią korelację z liczebnością fitoplanktonu, zwłaszcza gdy analizowane są niefiltrowane próbki wody. Po drugie, i tutaj oczekiwałbym odpowiedzi od Autora rozprawy, wzrost pokrycia makrofitów, zwłaszcza elodeidów, tłumaczy się lepszą penetracją światła. Pytanie brzmi, co spowodowało ową lepszą penetrację światła i jaką rolę odegrało obniżenie poziomu wody z powodu suszy obserwowanej w 2022 roku? W przypadku makrofitów w jeziorze Święte pojawienie się ramienic jest istotnym efektem rekultywacji, co powinno zostać wyraźnie podkreślone w streszczeniu i podsumowaniu pracy.

Na koniec chciałbym zwrócić uwagę na przejrzystą prezentację metody biomanipulacji jako wsparcia hydrotechnicznych technik renaturyzacji. Potrzeba tego zabiegu

została dobrze uzasadniona, podobnie jak zmiany zaobserwowane w ichtiofaunie w wyniku odłowów i zarybień. Jak słusznie podkreśla Autor rozprawy, pozytywne efekty biomanipulacji obserwowane są zwykle w dłuższym horyzoncie czasowym, pod warunkiem powtarzanych zarybień i ścisłej kontroli zagęszczenia ryb karpiowatych.

Pomimo powyższych nieścisłości, rozprawa jest dość dobrze udokumentowanym studium przypadku usuwania wód hypolimnionu i napowietrzania wspomaganego biomanipulacją w zdegradowanym stratyfikowanym jeziorze. Badanie szerokiego zakresu wskaźników i parametrów, w tym właściwości fizykochemicznych i biologicznych wody i osadów, przedstawia zalety i wady wybranego podejścia. Gdyby zostały one zebrane, na przykład w tabeli na końcu dyskusji, stanowiłyby doskonałe zakończenie tego rozdziału.

5. *Uwagi redakcyjne*

Pomimo przygotowania pracy pod względem edytorskim, prawidłowej konstrukcji i kolejności rozdziałów i podrozdziałów, właściwej numeracji tabel i rycin oraz ich cytowania w tekście, Autor nie ustrzegł się kilku błędów edytorskich. Najbardziej rzucającym się w oczy jest niestosowanie wielkich liter i kursywy przy nazwach gatunków fitoplanktonu, zooplanktonu, makrobezkręgowców, makrofitów i ryb.

Pozostałe drobne błędy:

strona 6 – literówka w słowie copper (jest sopper)

strona 11 – literówka w słowie external (jest externa)

strona 16 – literówka w nazwisku Nürnberg (jest Nuremberg)

strona 20 – niepełna cytacja, powinno być Skov and Berg 2003

strona 40 - brak wykresu przedstawiającego zmiany koncentracji tlenu w przekroju pionowym w grudniu 2022 roku;

strona 41 – w podpisie rys. 3 powinno być ‘during spring and late summer’

strony 62-79 – części tekstu powtarzają się, zamieszczono podrozdział ‘4.4.2.1 Fosfor’, lecz brakuje podrozdziału ‘4.4.2.2 Azot’ czy ‘4.4.2.3 Węgiel organiczny’

strony 92-93 – powinno być ‘cladocerans’ zamiast ‘rowers’

strona 92 – powinno być ‘*Bosmina longirostris* dominated’, zamiast ‘Bosmina dominated in numbers of longirostris’

strona 94 - *Nymphaea,* zamiast nyphea; *Nuphar lutea,* zamiast lutea

strona 126 – Hansson et al. 1998 pojawia się w spisie bibliograficznym dwukrotnie

strona 127 - Jeppesen et al. 2007 pojawia się w spisie bibliograficznym dwukrotnie

Dodatkowo, niektóre pozycje literaturowe cytowane w tekście nie zostały przywołane w Spisie wykorzystanej bibliografii, np. Tandyrak et al. 2017; Olszewski et al. 1969; Nürnberg et al. 2019; Manning 1891; Paul and Klapper 1985; Reynolds 1994; Shapiro and Wright 1984; Sondergaard et al. 1997b; Kratzer and Brezonik 1981; Carlson 2007; Mortimer 1971.

Inne, wymienione w spisie, nie figurują w tekście: Augustyniak et al. 2019 i 2017; Birge 1916; Casenave and Vincon-Leite 2018; Cole et al. 2002; Daoliang et al. 2019; Emiliani 1991; Haddout et al. 2018; Ikeda and Adachi 1976; Johnson 1984; Katz and Nishri 2013; Magee and Wu 2017; Mahowald et al. 2003; Minnesota 1991; Priet-Maheo et al. 2018; Ryanzhin et al. 2010; Sieńska et al. 2015; Stephen et al. 1997; Wetzel 2001.

6. *Ocena rozprawy w świetle wymagań art. 13 Ustawy o stopniach naukowych I tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki*

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną mgr inż. Mohammeda Z.A. Alhamarny w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. W trakcie opracowywania wyników w oparciu o dostępną literaturę naukową autor rozprawy wykazał się znajomością aktualnego stanu wiedzy w dziedzinie objętej tematem pracy. Cel pracy został osiągnięty, a hipotezy badawcze zweryfikowane.

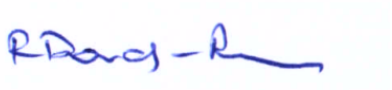
Ponadto rozprawa wykazuje zdolność autora do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Praca została oparta na materiale empirycznym zebranym przez mgr inż. Mohammeda Z.A. Alhamarnę. Zakres pracy wskazuje na opanowanie przez Autora laboratoryjnych technik badawczych. Wykazał się umiejętnością krytycznej analizy uzyskanych wyników z wykorzystaniem metod statystycznych.

Dysertacja stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego polegającego na określeniu skuteczności trzech metod rekultywacji zastosowanych jednocześnie na zbiorniku eutroficznym, łącznie z oceną ich wpływu na fizykochemiczne i biologiczne wskaźniki stanu troficznego jeziora. Wyniki uzyskane przez mgr inż. Mohammeda Z.A. Alhamarna mają charakter nie tylko poznawczy, ale również praktyczny, co podnosi wartość pracy w aspekcie aplikacyjnym.

7. *Wniosek końcowy*

Reasumując, uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Mohammeda Z.A. Alhamarny spełnia warunki formalne określone w art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65 poz. 595 z późn. zm.) w związku z art. 179 ust. 1 Ustawy z dnia 3 lipca 2018r. Przepisy

wprowadzające ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018r., poz. 1669 z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Mohammeda Z.A. Alhamarny do dalszych czynności przewodu doktorskiego.



ul. Uniwersytetu Poznańskiego 6, Collegium Biologicum,
61-614 Poznań
tel. +48 61 829 5783
www.biologia.amu.edu.pl

UNIWERSYTET IM. ADAMA MICKIEWICZA W POZNANIU

Wydział Biologii
Instytut Biologii Środowiska
Zakład Ochrony Wód

Poznań, May 21st, 2024

Renata Dondajewska-Pielka, Dr hab., associate professor
Department of Water Protection
Institute of Environmental Biology
Faculty of Biology
Adam Mickiewicz University in Poznan, Poland

Review of PhD dissertation entitled 'The innovative method of a flow-through lake renovation by a hydrotechnical method supported by biomanipulation'
by Eng. Mohammed Z. A. Alhamarna

Eng. Mohammed Z.A. Alhamarna carried out his PhD thesis under the supervision of dr hab. Renata Tandyrak and co-supervision of prof. dr hab. eng. Robert Czerniawski. PhD thesis was executed in the Department of Water Protection Engineering and Environmental Microbiology University of Warmia and Mazury.

1. *Formal basis for the review*

Review of doctoral dissertation was made on request of the Chairman of the Scientific Council of the Discipline Environmental Engineering, Mining and Energy, prof. dr hab. Eng. Marcin Dębowski.

2. *Project background*

Severe eutrophication of lakes situated in agricultural landscape, manifested by harmful long-term blooms, poses a challenge for lake management and affects ecosystem services. The reduction of external nutrient loading – key requirement for future water quality improvement – may not be possible to exclude entirely, and even when it is strongly reduced, expected results are not observed due the internal loads, supplying the water from bottom sediments. Lake restoration becomes a final solution in this case, especially for flow-through lakes, remaining under the continuous influence of large catchment areas. Adaptation of the restoration method to environmental conditions is of paramount importance, increasing the chance of success, both in terms of the extent of positive changes and its durability. The second key prerequisite for effective reclamation is a combination of different methods,

complementary to each other, aiming at the same goal but through different routes. At the same time, not only lake water quality and transformations within biocoenoses towards lower trophic status are essential, but also hydrological conditions, which are variable especially in flow-through lakes and affect the functioning of the lake ecosystem. These may change year-to-year nowadays due to climate warming, resulting in both long-term drought and torrential rains. As a consequence lake restoration outcome might be disturbed and modifications of selected method or widening of the range of solutions used is necessary. Therefore, there is no successful lake restoration without continuous environmental monitoring, covering both abiotic and biotic elements of water and sediments, creating a ground for treatment evaluation. The dissertation reviewed here presents a case study of lake restoration by a combination of complementary hydrotechnical and biological methods, specially selected and tailored to the lake conditions, including the assessment of two-year restoration results. Both positive changes in the ecosystem, observed at different levels of its organization (water quality, sediments, phytoplankton, zooplankton, macroinvertebrates, macrophytes) as well as failures and unexpected hydrological conditions are discussed. PhD thesis addresses a problem of lake eutrophication, presenting a new approach to restore flow-through lakes with hydrotechnical methods, based on natural lake characteristics.

3. Dissertation structure

The dissertation is 166 pages of computer printout and consists of a total of 6 main chapters, 3 of which are key in terms of the issues presented, related to the scientific purpose of the work along with the presentation of research results, their analysis, discussion and final conclusions. Apart from main chapter, there printout covers also Table of contents, list of used abbreviations, abstract in Polish and English, summary also in Polish and English, Acknowledgements, References and Appendix. The work is illustrated with 38 figures and 36 tables within the main text, and 34 figures and 35 tables as Appendix at the end of the work. The bibliography includes 156 items, peer-reviewed papers, chapters books and unpublished materials.

The dissertation opens with an Introduction, in which the Author presents the principles of stratified lake ecosystems, with particular emphasis on the hypolimnion and the changes that occur in it as a result of the eutrophication process. Purpose and scope of study are presented in subchapter 1.2 altogether with the goal of the dissertation, which is to evaluate applied lake restoration methods on the level of water and sediment physico-chemical characteristics as well as biological indicators. As the results of studies, collected in 2020-2022 are going to be compared with data prior the restoration (2017-2018), there are in

fact two main goals: cognitive – how does the lake function during the implementation of renovation techniques, and more practical – how does the trophic status change due to the restoration of the lake. Chapter number 2 presents literature review on the matter of three lake restoration methods: hypolimnetic withdrawal, hypolimnetic aeration and biomanipulation. The site selected for the study - Lake Swięte - is characterized in Chapter 3, as is a description of the research methodology. Numerous photographs show both the hydrological relation with other water ecosystems, and the technical solutions introduced to improve the water quality. The research methods used are described in detail, especially with regard to chemical testing of water and bottom sediments. In subsection 3.6 there is information about the statistical analyses and also about both, null and alternative hypotheses referring to the study aim. The rest of the research part of the paper included the results of the study (Chapter 4) illustrated with figures and tables. In the discussion (Chapter 5), the author interprets the study results in the light of scientific literature. The work ends with Conclusion, followed by summary, a list of bibliographic items used and appendices in graphical and tabular form.

4. *Substantial evaluation of the PhD thesis*

The aim of the thesis, which was to evaluate how a combination of three restoration methods applied at once affect the functioning of eutrophic stratified lake by means of water quality, sediment composition and structure of biological lake components, was for sure achieved. Most crucial changes were observed in bottom sediments and hypolimnion zone, manifested by significant reduction of hydrogen sulphide concentrations and increase of oxygen content as well as reduced concentrations of nutrients in water samples collected in the layer of 10 cm over the sediment. Some decreasing trends were also noted for different forms of nitrogen in sediment and sediment pore water as well as increasing trends for phosphorus in sediments and sediment pore water, indicating the positive impact of redox potential increase on phosphorus binding in sediments. This confirms the influence of hypolimnetic aeration (HA) method by means of surface water delivery to the deep-water layer *via* the gravitational pipeline. On the other hand, increasing concentrations of nutrients in outflowing Pintus waters proves that hypolimnetic withdrawal (HW) is working well, draining the most nutrient-rich part of the water column.

These conclusions couldn’t be possible without detailed studies with wide range of indicators examined. In-depth analyses of sediments composition in samples dissected into two layers as well as sediment pore water allowed to investigate how this part of lake ecosystem reacts on two different methods: water supply and water drainage. In fact, the variability of reactions was not that significant, demonstrated in less phosphates in pore water

but more retained in sediment at both studied stations. The form or retention was examined in the analysis of phosphorus fractions, which results indicate an increase of phosphorus bound with calcium and organic matter.

The assessment of chemical transformations in sediments and water were followed by analyses of temporal changes in biological components of ecosystems: phytoplankton, zooplankton, macroinvertebrates, macrophytes and fish. Taking into consideration that the analyses of biotic elements is out of scope of the discipline environmental engineering, it is admirable that they were included in the thesis and the results were discussed by Author to verify the effectiveness of restoration. The fact that the variability in time was slight and significant changes were noted only for macrophytes and fish (bearing in mind, the impact of biomanipulation for the latter), do not come as a surprise as delayed reactions of organisms on restoration treatment was confirmed in many studies.

Nevertheless, it seems to me that the results of three year studies could be more distinct and credible if more data were included in the statistical analyses. This way I am heading to my biggest concern about the thesis, which is why so few data were presented and used for statistical analyses. According to the sub-chapter 3.4.1 Sampling date, water samples were collected two times in 2021 and 6 times in 2022, meanwhile only August 2021 and April and December 2022 were presented in results. This approach significantly decreased the amount of data that were used for statistical analyses and potentially influenced the final outcome of no or very weak significance of concentrations variability in time and space. Similarly, a comparison of data from summer 2020 and 2021 *vs*. spring and late autumn 2022 have led to lack of distinct differences in time, that could strongly confirm the efficiency of restoration measures. For few studied sediments and pore water characteristics, e.g. total phosphorus, organic phosphorus, organic nitrogen spring 2022 was characterized by lowest results, while late autumn by highest, what stays in relation to natural seasonal changes in the ecosystems sediments e.g. accumulation of deposits on the surface of sediments during vegetation season. Using data from summer would definitely help to improve the evaluation of restoration treatment as well as would be more scientifically appropriate. I would expect that these inconsistencies between data of sampling and data presented in results to be explained as well as its influence on final conclusions drawn from them.

The issue of missing data from summer 2022 is even more puzzling that data on water TP, chlorophyll-a and Secchi disc visibility were used for the calculation of TSI indices (page 62), which mean that they were accessible, yet not used in the analysis of water quality changes in time and space. Moreover, although the indices are probably calculated well

(assumption due to the fact that data were not implemented even in appendices), yet the evaluation of trophic status is not perfect. In August 2020 TSI for TP indicates eutrophy or hypertrophy, respectively the site, TSI for chlorophyll-a and transparency indicates mesotrophy and TSI for TN indicates eutrophy. Mean TSI values indicate mesotrophy than, as they are 55 for site 1 and 59 for site 2, while the Author suggested eutrophic status of the lake. Similarly, according to table 13 the lake stays in mesotrophic state (mean TSI for site 1 is 52 and for site 2 – 53), while the Author suggests an improvement to oligotrophic state. The improvement is absolutely true for TSI for chlorophyll-a and Secchi disc visibility, but both TP and TN also informs about trophic status and can't be disregarded.

In Results chapter there are also some inconsistencies between data on water quality in Pintus inflow and outflow and the text on page 42. There is no information from which time frame are the data in table 2 coming, probably it is 2017-2018, but values described in the text are different that placed in the table. Similar inaccuracy was noted in sub-chapter 4.4.3 'Chemical composition of the sediment' as part of the data in Table 30 does not match the description in the text on page 83, e.g. OM mean share according to the table is 16.88-20.33 in the upper layer, but in the text there is 18.33-20.33. What is also missing in the Results chapter, is a graphical or tabular presentation of biological data. The information in the text e.g. on phytoplankton or zooplankton abundancies is scarce and not fully informative. There is no indication of blooms, while the abundancy of phytoplankton in August 2022 reaching 1,700,000 ind/l and community dominated by cyanobacteria suggest a possibility of water bloom. I would expect more precise information on this matter as the elimination of cyanobacterial blooms, disruptive for lake ecosystem services, is a key consequence of restoration treatment.

Both Results and Discussion could be improved if the hydrological aspects of lake, and mostly Pintus river were emphasized. The Author analyses the impact of excessive water inflow in 2021 and drought in 2022, yet these phenomena were not documented well enough. The importance of water balance for the functioning of both pipelines prompts to a closer look on the relations between the amount of inflowing water and lake functioning. Additionally, meteorological data could support the interpretation of results as well. Climate warming exerts a strong impact on the hydrology of lakes and hydrodynamics of water exchange with rivers and groundwater, exacerbating especially the drought problem. Many studies already report the disturbing impact of decreasing water level on both water quality and the effectiveness of restoration. In the matter of hydrology, if the data on both nutrient concentrations and water discharge are available, nutrient loads supplying the lake and

outflowing *via* pipeline shall be calculated to express the impact of restoration on nutrient balance in the lake.

Although the chapter 'Methodology' presents undertaken restoration measures very clearly, with the help of meaningful photos, and presents research methods quite well, yet important part of each study site description in case of lakes is missing. Bathymetric map would considerably increase the understanding of selected reclamation methods and support with information on the depth of both deepest places that were selected as sampling sites. I would also suggest moving the hypotheses to sub-chapter 1.1.

Finally, when it comes to the attempts to explain observed changes in biological elements of the lake, two questions comes to my mind. Changes in total phosphorus in lake water are being explained based on its uptake by phytoplankton in 2021, yet this might be true for dissolved phosphorus, not total, which may exhibit positive correlation with phytoplankton abundance, especially when unfiltered water samples are analyzed. Secondly, and here I would expect a respond from the thesis Author, the increase of macrophyte, especially elodeids cover is explained on the ground of better light penetration. Question is, what caused this better light penetration and what role the decreasing water level due to a drought observed in 2022 played? In case of macrophytes in lake Święte, the appearance of charophytes is essential results of restoration, that shall be underlined in the abstract and summary of the thesis.

At last, I would like to point out a clear and informative presentation of biomanipulation method as a support for hydrotechnical restoration techniques. The need for this treatment was well justified as well as changes observed in fish fauna due to fish catching and stocking. As it is rightfully emphasized by thesis Author, the positive results of biomanipulation are usually observed in longer time horizon, under the condition of repeated stocking and strict control of cyprinids density.

Despite the inaccuracies aforementioned above, the thesis is well-documented case study of hypolimnetic withdrawal and aeration supported by biomanipulation in degraded stratified lake. The study of wide range of indicators and parameters, including physicochemical and biological characteristics of water and sediments, presents the pros and cons of selected approach. If they were collected, for example, in a table at the end of the discussion, they would make an excellent ending to this chapter.

5. *Other notes*

Despite the preparation of the work in terms of editing, the correct construction and ordering of chapters and subchapters, the proper numbering of tables and figures and their citation in

the text, the Author did not avoid several editorial errors. The most pronoun one is not using capital letters and italics when it comes to the names of species of phytoplankton, zooplankton, macroinvertebrates, macrophytes and fish.

Other minor errors are:

Page 6 – a typo, shall be copper, not sopper

Page 11 – a typo, shall be external, not externa

Page 16 – a typo, shall be Nürnberg, not Nuremberg

Page 20 – uncomplete reference, shall be Skov and Berg 2003

Page 40 – there is no graph showing oxygen in water column in December 2022

Page 41 – figure 3 caption, shall be 'during spring and late autumn'

Pages 62-79 – parts of the text are repeated, there is only subchapter 4.4.2.1 Phosphorus, but no 4.4.2.2 Nitrogen or 4.4.4.3 Total organic carbon

Pages 92 – 93 – shall be cladocerans, instead of rowers

Page 92 – '*Bosmina longirostris* dominated', not 'Bosmina dominated in numbers of longirostris'

Page 94 – *Nymphaea*, not nyphea; *Nuphar lutea*, not lutea

Page 126 – Hansson et al. 1998 doubled in references

Page 127 – Jeppesen et al. 2007 doubled in references

Moreover, some references mentioned in the text are not present in the Reference list: Tandyrak et al. 2017; Olszewski et al. 1969; Nürnberg et al. 2019; Manning 1891; Paul and Klapper 1985; Reynolds 1994; Shapiro and Wright 1984; Sondergaard et al. 1997b; Kratzer and Brezonik 1981; Carlson 2007; Mortimer 1971.

Others, presented in references were not cited in the text: Augustyniak et al. 2019 and 2017; Birge 1916; Casenave and Vincon-Leite 2018; Cole et al. 2002; Daoliang et al. 2019; Emiliani 1991; Haddout et al. 2018; Ikeda and Adachi 1976; Johnson 1984; Katz and Nishri 2013; Magee and Wu 2017; Mahowald et al. 2003; Minnesota 1991; Priet-Maheo et al. 2018; Ryanzhin et al. 2010; Sieńska et al. 2015; Stephen et al. 1997; Wetzel 2001.

6. *Evaluation of the dissertation in terms of the requirements of art. 13 of the Act concerning academic degrees and academic title as well as degrees and title in arts*

The dissertation presented for evaluation presents the general theoretical knowledge of Eng. Mohammed Z.A. Alhamarna in the discipline of environmental engineering, mining and energy. In the course of developing the results based on the available scientific literature, the author of the dissertation proved his expertise in the current state of knowledge in the field

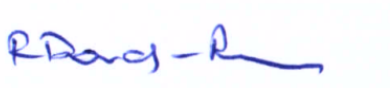
covered by the topic of the work. The goal of the work was achieved and the research hypotheses were verified.

In addition, the dissertation demonstrates the author's ability to conduct scientific work independently. The work was based on empirical material collected by Eng. Mohammed Z.A. Alhamarna. The scope of the work indicates the Author's mastery of laboratory research techniques. He has demonstrated the ability to critically analyze the obtained results using statistical methods.

Dissertation provides an original solution to the scientific problem of determining the effectiveness of three restoration methods applied simultaneously on a eutrophic reservoir functioning, altogether with the evaluation of its impact on both physicochemical and biological indicators of lake trophic status. The results obtained by Eng. Mohammed Z.A. Alhamarna are not only cognitive, but also practical, which increases the value of the work with an application aspect.

7. Concluding remark

In conclusion, I believe that the doctoral dissertation of Eng. Mohammed Z.A. Alhamarna meets the formal conditions specified in Article 13 of the Act of March 14, 2003 on Scientific Degrees and Academic Title and on Degrees and Title in Art (Journal of Laws No. 65 item 595, as amended) in conjunction with Article 179(1) of the Act of July 3, 2018. Provisions Introducing the Law on Higher Education and Science (Journal of Laws of 2018, item 1669, as amended). I recommend that Eng. Mohammed Z.A. Alhamarna should be awarded with PhD degree in environmental engineering, mining and energy.



ul. Uniwersytetu Poznańskiego 6, Collegium Biologicum,
61-614 Poznań
tel. +48 61 829 5783
www.biologia.amu.edu.pl