

Rzeszów, 18.07.2019r

Dr hab. inż. Piotr Koszelnik,
Profesor nadzwyczajny Politechniki Rzeszowskiej im. I. Łukasiewicza
Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury
Zakład Inżynierii i Chemii Środowiska

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Drożdżik pt.: **„Specyfika przebiegu eutrofizacji i kształtowania się jakości wód w zbiornikach zaporowych”**, napisanej pod promotorstwem prof. dr hab. inż. Eleny Neverovej-Dziopak, i promotorstwem pomocniczym dr. inż. Zbigniewa Kowalewskiego.

Recenzję niniejszą wykonano na zlecenie Pana Dziekana Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH w Krakowie prof. dr. hab. inż. Stanisława Gruszczyńskiego, zgodnie z pismem WGGiŚ/252-2/19 z dnia 27 czerwca 2019 roku.

Ocena celowości podjętej tematyki

Obserwowane w ostatnich latach zmiany klimatyczne oraz wymuszona rosnącymi kosztami racjonalizacja korzystania z istniejących zasobów wodnych determinują poszukiwanie nowych źródeł wód oraz sposobów zatrzymywania wód opadowych i sezonowych. Podstawową metodą retencji wód jest budowa zbiorników zaporowych. Wiąże się to także z dodatkowym, elementem ekorozwoju, czyli pozyskiwaniem czystej energii elektrycznej na potrzeby rozwijającej się światowej gospodarki. Rozpoznanie i zrozumienie procesów limnologicznych i hydrologicznych obserwowanych w zbiornikach zaporowych traktowanych jako ekosystemy o charakterze rzeczno-jeziornym, umożliwi odpowiednią politykę eksploatacji i ochrony tych obiektów.

Pomimo, że potocznie część zbiorników zaporowych nazywana bywa jeziorami, występuje szereg różnic pomiędzy naturalnymi ekosystemami jeziornymi, a sztucznymi zbiornikami. Jedną z nich jest nierównomierność zasilania i odpływu wód ze zbiorników, co powoduje, że czas zatrzymania wody jest krótszy, w porównaniu do jezior naturalnych o podobnych parametrach morfometrycznych. Najczęściej w obrębie zbiorników wyróżnia się strefę rzeczną (w rejonie dopływów) oraz strefę jeziorną (lakustralną - w rejonie odpływu). W aktualnie obowiązującym prawie, polskie zbiorniki zaporowe klasyfikowane są jako wody płynące, ponieważ tak traktuje się zbiorniki wodne o ciągłym dopływie lub odpływie wód

powierzchniowych, a także sztuczne zbiorniki wodne usytuowane na wodach o zmiennym przepływie (Dz.U. 2001 nr 115 poz. 1229). Jednak z punktu widzenia hydrologicznego i ekologicznego, w części zbiorników, szczególnie głębokich, z długim czasem retencji, panują warunki i występują zjawiska analogiczne jak w jeziorach naturalnych, np. stratyfikacja czy miksja. Część tych różnic wpływa negatywnie na walory użytkowe zbiorników. Przegrodzenie płynącej swobodnie rzeki tamą powoduje, że powstały akwen posiada zlewnię o dużej powierzchni i często o znacznym stopniu antropogeniczności. Skutkuje to znacznym obciążeniem jego powierzchni nie tylko materiałem stałym pochodzącym z erozji gruntów, ale także dużą dostawą związków chemicznych w stanie rozpuszczonym, w tym biogennych. Następstwem tego jest zatrzymywanie i osadzanie się w ekosystemie cząsteczek zawiesiny dostarczonej z zewnątrz, a także tej wyprodukowanej w następstwie procesów autotroficznych (np. eutrofizacji). Prowadzi to do powstawania osadów dennych i zmniejszenia pojemności użytkowej zbiorników. Proces wypłykania, mający zazwyczaj genezę zewnętrzną, może być przyspieszony w wyniku odkładania się materii powstałej w procesach produkcji pierwotnej w toni wodnej (eutrofizacja). Wzrasta także czas zatrzymania wody na zalany odcinku, co jeszcze bardziej stymuluje procesy powstawania materii organicznej wewnątrz ekosystemów. W tej sytuacji ulegają pogorszeniu warunki tlenowe w zbiorniku.

W kontekście powyższych problemów istotna jest ocena jakości wód zbiorników zaporowych, głównie w aspekcie ochrony przed eutrofizacją. Niestety opracowywane od wielu dziesięcioleci wskaźniki (indeksy) zarówno jednoparametrowe jak i zagregowane sprawdzają się głównie dla wód jeziornych czy estuariów, a dla ekosystemów sztucznych wyniki są często niejednoznaczne. Istnieje potrzeba poszukiwania takich wskaźników, które będą mogły być dedykowane zbiornikom zaporowym z uwzględnieniem ich charakterystyki, tak aby decydenci otrzymali wiarygodne narzędzia umożliwiające prowadzenie skutecznych działań ochronnych. Praca pani mgr inż. Anny Drożdżik umożliwia stworzenie takich narzędzi, co jest istotnym aspektem użytkowym jej badań. Obok praktycznych należy dostrzec także walory naukowe pracy, w której dokonano analizy wpływu różnorodnych czynników abiotycznych na stan troficzny ośmiu zbiorników dużej retencji, o różnej charakterystyce. Wykorzystano w tych analizach zaawansowane pakiety statystyczne oferowane przez oprogramowania Statistica oraz R.

Ocena formalna i merytoryczna

Przedstawiona do recenzji rozprawa składa się z trzech podstawowych części: teoretycznej, analitycznej oraz z podsumowania z wnioskami. Zamyka się w objętości 139 stron, zawiera 44

rysunki oraz 37 tabel. W pracy zamieszczono osobne zestawienia tabel i rysunków jak również spis skrótów, które stanowią ułatwienie dla czytelników. Załączono również surowe wyniki badań i analiz w postaci sześciu załączników. Spis literatury zawiera 352 pozycje, głównie artykułów z czasopism, ale także monografii, norm i opracowań zbiorczych. Pracę zamyka streszczenie w j. polskim i w j. angielskim, w sposób właściwy syntezujące zagadnienia będące tematem doktoratu.

W nienumerowanym rozdziale „Wprowadzenie”, na stronach od 7 do 13 zamieszczono uzasadnienie podjęcia tematu ze wskazaniem kilkunastu źródeł literaturowych, tabel i rysunków, podkreślając rolę sztucznych zbiorników wodnych dla światowego i krajowego bilansu hydrologicznego. Omówiono także problem braku miarodajnych wskaźników określających jakość wód takich ekosystemów.

Na stronie 14 zaprezentowano cel pracy w brzmieniu: „Opracowanie podejścia metodologicznego do analizy specyfiki przebiegu procesu eutrofizacji w zbiornikach zaporowych oraz ustalenia priorytetowych czynników kształtowania jakości wody i wyznaczenia głównych kierunków zarządzania nią”. Obejmuje on całość zagadnień zrealizowanych w pracy, niemniej jednak można było wyznaczyć cele szczegółowe służące osiągnięciu tego jednego, ogólnego. Różnicując je na naukowe i utylitarne.

Zaproponowano także dwie tezy pracy:

1. „Metodologiczne podstawy ochrony i zarządzania jakością wody w zbiornikach zaporowych powinny uwzględniać specyfikę funkcjonowania ich ekosystemów”.
2. „Opracowane podejście metodologiczne do oceny stanu troficznego oraz określenia kluczowych czynników tego procesu w zbiornikach zaporowych stanowi podstawę koncepcji zarządzania jakością wody”.

Zakres zaproponowanych badań umożliwia zarówno zrealizowanie wskazanego celu jak i weryfikację tez.

Aktualny stan wiedzy, dotyczącej prowadzonych badań zawarto w trzech rozdziałach: „1. Analiza specyfiki funkcjonowania ekosystemów zbiorników zaporowych”, „2. Eutrofizacja jako główny czynnik kształtowania jakości wód” oraz „3. Metody oceny stanu troficznego zbiorników zaporowych” (strony 15-46). W pierwszym z nich przedstawiono obszerną charakterystykę zbiorników zaporowych jako elementów krajobrazu i gospodarki. Przeprowadzono analizę porównawczą pomiędzy zbiornikami sztucznymi, a jeziorami naturalnymi wskazując na istotne różnice determinujące potrzebę odmiennego spojrzenia na ochronę tych dwóch różnych grup ekosystemów wodnych. Dalej omówiono problem eutrofizacji wód, który, choć badany od dziesięcioleci, ciągle wymaga rozważań dotyczących

jej przyczyn, przebiegu i zapobiegania. W tej części nacisk położono na przyczyny i skutki eutrofizacji wód zbiorników sztucznych. W kolejnym rozdziale bardzo obszernie opisano indywidualne i zagregowane wskaźniki identyfikacji stanu troficznego różnych ekosystemów wodnych. Autorka dokonała obszernej kwerendy, gdzie obok powszechnie stosowanych wskaźników takich jak indeks Carlsona, zaprezentowała także mniej znane i rzadziej wykorzystywane metody oceny. Należy uznać, że zebranie tych danych w jednym opracowaniu (rozdziale) jest istotnym osiągnięciem teoretycznym ocenianej pracy.

Według recenzenta doktorantka omówiła zebrany w części teoretycznej materiał w sposób syntetyczny, dobrym językiem, co umożliwia czytelnikowi zrozumienie dlaczego podjęty problem jest ważny. Obowiązkiem doktoranta jest przedstawienie informacji o stanie wiedzy w analizowanym zakresie tematycznym. Należy uznać, że autorka wywiązała się z tego obowiązku bardzo dobrze.

Elementy metodyczne zawarto w pracy w czterech rozdziałach (strony 47-71) W rozdziale „4. Charakterystyka obiektów badawczych” omówiono m. in. morfometrię ośmiu badanych zbiorników zaporowych dużej retencji (Jezioro, Sulejów, Goczałkowice, Czaniec, Międzybrodzie, Tresna, Solina, Dobczyce). Dalej w rozdziale „5. Baza danych i algorytm” przedstawiono źródła, z których pozyskano dane wykorzystywane w analizie oraz sześciokrokowy algorytm prowadzenia badań, umożliwiający osiągnięcie założonego celu. Badania wybranych zbiorników zaporowych przeprowadzono w oparciu o wyniki szesnastoletnich badań monitoringowych parametrów jakości wody realizowanych w latach 2000-2015 oraz parametrów hydrologicznych z okresu 2010-2015. Bazę danych stworzono na podstawie informacji udostępnionych przez Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska (WIOŚ) oraz Regionalne Zarządy Gospodarki Wodnej (RZGW). W rozdziale „6. Metodologia badań” opisano podstawy metodologii badawczej, które stanowiła analiza statystyczna (korelacyjno-regresyjna) danych wieloletniego monitoringu parametrów jakości wody oraz parametrów hydrologicznych i morfometrycznych.

Pomiędzy stronami 60 a 104 pracy zawarto zasadniczą jej część, gdzie dokonano założonych analiz. W pierwszym kroku (rozdział 7) dokonano wyboru metody oceny stanu troficznego, bazując na zbiornikach kaskady Soły, dla których pozyskano odpowiednią ilość danych monitoringowych. Wyboru dokonano pomiędzy trzema wskaźnikami TRIx, ITS oraz TSI. Zdecydowano się na wskaźnik ITS, który wyróżnia się uniwersalnością w zakresie oceny różnych typów ekosystemów wodnych. Weryfikacja dokładności tego modelu względem pozostałych, pomimo, że interpretacja stanu troficznego jest dla wszystkich zbieżna, wskazuje, że model ITS ma przewagę wynikającą z kilku przyczyn wskazanych w pracy. Według

recenzenta najważniejsze są: łatwość wykonania pomiaru, oraz czułość dla różnych warunków hydrologicznych i meteorologicznych, co stanowi podstawę uniwersalności tego modelu. Przeprowadzono także dowód w postaci identyfikacji korelacji pomiędzy ITS, a stężeniem chlorofilu *a*, potwierdzający skuteczność modelu względem tradycyjnych wskaźników. Konsekwencją tego wyboru są informacje dotyczące stanu troficznego badanych zbiorników zamieszczone w rozdziale 8. Szczególne interesujące są zmiany stanu troficznego kaskady Soły, potwierdzające pozytywny efekt zbiorników wstępnych w tym zakresie.

Najbardziej wartościowym z naukowego punktu widzenia jest rozdział „9. Ustalenie priorytetowych czynników eutrofizacji i formułowanie modeli matematycznych”. Doktorantka analizuje statystyczny wpływ czynników fizycznych, chemicznych i hydrologicznych na wartość wskaźnika ITS, tworząc odpowiednie modele, najpierw liniowe, a następnie z wykorzystaniem zasad regresji wielorakiej. W procesie formułowania modeli regresji wielorakiej, ich testowania i weryfikacji, zostały potwierdzone wyniki wstępnej analizy korelacyjnej wskazujące, że we wszystkich badanych zbiornikach jednym z priorytetowych czynników eutrofizacji była temperatura wody. Drugim czynnikiem fizycznym warunkującym przebieg eutrofizacji była przezroczystość wody. Najistotniejsza dla przebiegu procesu eutrofizacji we wszystkich badanych zbiornikach była jednak zawartość biogennych związków azotu i fosforu. Istotny statystycznie okazał się także wpływ czynników morfometrycznych, takich jak głębokość maksymalna i średnia, co potwierdza powszechnie znany fakt, że zbiorniki głębokie charakteryzują się większą odpornością na proces eutrofizacji, co omówiono w rozdziale „10. Wpływ zróżnicowania parametrów morfometrycznych na kształtowanie stanu trofii”.

W kolejnym rozdziale „11. Wpływ eutrofizacji na kształtowanie jakości wody” zawarto analizę podatności badanych zbiorników na eutrofizację oraz ocenę wpływu eutrofizacji na jakość wód. Według recenzenta lepiej było by gdyby znajdował się on przed rozdziałem 8 w zakresie podatności, oraz po rozdziale 8 w zakresie wpływu na jakość. Wykorzystując system oceny jakości jezior, sklasyfikowano badane obiekty w trzech klasach podatności, co nie do końca pokrywa się ze zidentyfikowanym stanem troficznym. Np. mezotroficzny zbiornik Czaniec sklasyfikowany został jako wysoce podatny na eutrofizację, zaś eutroficzny Solina jako mało podatny. Wpływ na to może mieć kilka czynników. Prosił bym doktorantkę o analizę i propozycję wyjaśnienia przyczyn takiego stanu rzeczy. Może to być ciekawy temat dalszych badań w zakresie zbiorników zaporowych.

Końcowy rozdział „12. Podejście metodologiczne do zarządzania procesem eutrofizacji” stanowi w rzeczywistości dyskusję i podsumowanie zebranych informacji. Rozdział ten

wieńczy propozycja schematu ideowego zarządzania procesem eutrofizacji w badanych zbiornikach zaporowych. Według recenzenta doktorantka mogła by odważnie zrezygnować ze słowa „badanych” wskazując na uniwersalizm tego algorytmu oparty na znacznej liczbie danych, zebranych dla kilku zbiorników o różnych parametrach morfometrycznych.

W nienumerowanym rozdziale „Podsumowanie i wnioski końcowe” zaprezentowano aż 16 wniosków. Według recenzenta warto było by je uporządkować. Wnioski 1,2 i 3 są oczywiste i tak naprawdę stanowią uzasadnienie podjęcia pracy, a nie wynikają wprost z jej wyników. Proszę wskazać, które wnioski odnoszą się do naukowych, a które do użytecznych osiągnięć pracy. Należy także zidentyfikować, które z nich stanowią weryfikację założonych tez.

Uwagi szczegółowe

Rozprawa została napisana bardzo dobrym, konkretnym, inżynierskim językiem. Bardzo starannie wykonano zarówno tabele jak i rysunki. Nie wnoszę do pracy uwag krytycznych i dyskusyjnych w zakresie nieprawidłowości metodycznych prowadzonych analiz oraz wnioskowania. Kilka powyższych i poniższych uwag nie obniża jakości pracy.

- Na stronie 18 doktorantka pisze, że zbiorniki zaporowe zaliczane są do ekosystemów wód stojących. Według założeń Ramowej Dyrektywy Wodnej tak nie jest. Są to wody płynące. Niestety ma to swoje negatywne konsekwencje jeżeli chodzi o ich ochronę.
- Zamieszczone w pracy wykresy z programu Statistica są mało czytelne (małe rozmiary). Sugeruję, by w przygotowywanych publikacjach spróbować nieco je poprawić.
- W tabeli 31 zawarto modele regresji wielorakiej opisujące przebieg eutrofizacji dla poszczególnych zbiorników. Czy warto w przyszłości podjąć próbę stworzenia takiego modelu z wszystkich zebranych danych, dla wszystkich zbiorników? Czy według doktorantki pozwoli to stworzyć wiarygodny model uniwersalny skalibrowany dla zbiorników o różnej trofii i o różnej morfometrii? Na etapie obrony pracy oczekuję jedynie opinii nie gotowego modelu.

Podsumowanie

Uważam, że przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Anny Drożdżik pt.: „Specyfika przebiegu eutrofizacji i kształtowania się jakości wód w zbiornikach zaporowych”, prezentuje interesujące i nowatorskie wyniki badań. Jest oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego, zaś doktorantka wykazała się ogólną wiedzę teoretyczną oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w dyscyplinie naukowej *inżynieria środowiska*, wpisującej się w obecną dyscyplinę naukową *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka*.

Uzyskane rezultaty mają charakter zarówno teoretyczny, naukowy jak i praktyczny, wobec tego stanowią dobra bazę do dalszych działań. Systematyka opisu prowadzonych badań, analiza i dyskusja wyników oraz wnioskowanie są prawidłowe. Powyżej wyszczególnione uwagi nie obniżają merytorycznej wartości pracy. Stwierdzam zatem, że rozprawa doktorska **mgr inż. Anny Droździk pt.: „Specyfika przebiegu eutrofizacji i kształtowania się jakości wód w zbiornikach zaporowych”**, spełnia warunki o których mowa w art. 13 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2003, Nr 65, poz. 595, z późn. zm.), dlatego też **wnioskuję o dopuszczenie** mgr inż. Anny Droździk do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, cursive letters that appear to read 'Uli'.