

prof. dr hab. inż. Mirosław Wiatkowski  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
Instytut Inżynierii Środowiska

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Maksymiliana Cieśli  
pt. „Rola materii zawieszanej w toni wodnej w aspekcie akumulacji osadów  
i dystrybucji związków biogenych w zbiornikach zaporowych”**

### **1. Przedmiot i podstawa formalna recenzji**

Niniejsza recenzja została wykonana w odpowiedzi na pismo z dnia 7 października 2020 r. sporządzone przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza Pana prof. dr hab. inż. Daniela Słysia, na podstawie uchwały Rady Dyscypliny IŚGiE na Wydziale Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury z dnia 30 września 2020 roku, o powołaniu mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Maksymiliana Cieśli pt. „Rola materii zawieszanej w toni wodnej w aspekcie akumulacji osadów i dystrybucji związków biogenych w zbiornikach zaporowych”. Promotorem rozprawy jest Pani dr hab. inż. Renata Gruca-Rokosz, prof. Politechniki Rzeszowskiej a promotorem pomocniczym rozprawy Pani dr hab. inż. Lilianna Bartoszek, prof. Politechniki Rzeszowskiej.

### **2. Charakterystyka i ocena rozprawy doktorskiej**

Recenzowana rozprawa została wykonana w ramach realizacji projektu badawczego pt. „Produkcja i konsumpcja metanu w słodkowodnych ekosystemach zbiorników zaporowych” finansowanego przez NCN (umowa z 2017 r.).

Część zasadnicza rozprawy liczy 176 stron tekstu z wykazem bibliografii (spis literatury obejmuje ważne pozycje polskie i zagraniczne), streszczeniem rozprawy w języku polskim i angielskim oraz bardzo dobrze opracowanym wykazem skrótów i oznaczeń. Ponadto w pracy zamieszczono spis tabel, rysunków i 21 załączników (ogólna liczba stron rozprawy wynosi 201). Praca posiada prawidłowy i charakterystyczny dla rozpraw doktorskich układ. Zawiera sześć rozdziałów, w tym: wstęp, przegląd literatury nazwany „Teoretyczne podstawy pracy”, tezy, cel i zakres pracy, metodyka badań wraz z przedstawioną charakterystyką obiektów badawczych, wyniki badań i ich dyskusja oraz podsumowanie i wnioski wraz z kierunkami dalszych badań. Układ pracy i jej strukturę należy uznać za poprawne.

Niniejszą pracę należy zaliczyć do nurtu badań związanych ze zbiornikami zaporowymi. Jest to ważne zagadnienie, gdyż wody magazynowane w zbiornikach wodnych są jednym z najbardziej zanieczyszczonych elementów ekosystemu a retencja wody w zbiornikach, ze względu na zubożenie zasobów wodnych, jest niezbędna. Funkcjonujący sztuczny zbiornik wodny zmienia reżim hydrologiczny, przyczynia się do powstawania specyficznych procesów fizycznych i biochemicznych wewnątrz zbiornika a ponadto pojawia się problem jego zamulania oraz ponownego uwalniania zanieczyszczeń z osadów dennych zbiornika. Na proces zamulania zbiorników ma wpływ wiele czynników a w efekcie końcowym zależy on głównie od natężenia transportu rumowiska rzecznoego, przede wszystkim unoszonego oraz zdolności zbiornika wodnego do jego zatrzymywania. Nie bez znaczenia są także kwestie związane z tym

co zachodzi już w czaszy zbiornika zaporowego, w tym produkcja materii, jej transport oraz akumulacja w osadach dennych. Tematyka podjęta przez Autora wpisuje się zatem w badania znajomości mechanizmów transportu i osadzania się materii zawieszanej w wodach zbiorników zaporowych a więc mają duże znaczenie, między innymi w aspekcie właściwego ich funkcjonowania i użytkowania tych zbiorników.

We wstępie do pracy Autor podjął się w sposób zwięzły uzasadnić problematykę rozprawy, wskazując na kwestie użytkowania zbiorników zaporowych, zwłaszcza związane z utratą ich pojemności na skutek akumulacji osadów oraz potrzebą opracowywania metod monitoringu i prognozowania procesów ich zamulania. Wskazał na to, że osady zawieszane w wodzie są naturalnym i niezbędnym elementem poprawnie działającego zbiornika wodnego, jak również mogą stanowić wsparcie w prognozach tempa ich degradacji i zamulania. Trudno nie zgodzić się z Doktorantem, że znajomość mechanizmów transportu i osadzania się materii zawieszanej w wodach zbiorników zaporowych ma niebagatelne znaczenie, w aspekcie ich właściwego użytkowania a nadmierna retencja składników pokarmowych w zbiorniku prowadzić może do jego degradacji. Autor dalej uzasadnia podjęcie tematu badawczego tym, że metody prognozowania procesu zamulania zbiorników skupiają się przede wszystkim na obliczeniach transportu rumowiska dopływającego ciekami do zbiorników, a inne kwestie związane z produkcją materii zachodzącą w obrębie czaszy zbiornika oraz jej akumulacji w osadach dennych, są marginalizowane. Powyższe zainspirowało Doktoranta w kierunku badań bardzo istotnej tematyki jaką jest rola materii zawieszanej w wodzie zbiorników wodnych w aspekcie akumulacji osadów i dystrybucji związków biogennych, co dla wielu obecnie funkcjonujących zarówno małych, jak i dużych zbiorników, jest szansą zarówno w kwestii poszerzenia istniejącej wiedzy w zakresie związku pomiędzy materią zawieszoną w toni wodnej a procesem jej akumulacji w osadach dennych tych zbiorników, jak i określenia roli jaką ona pełni w obiegu i dystrybucji wybranych substancji biogennych. Jak wynika z powyższego wstęp do rozprawy uzasadnia w pełni potrzebę realizacji niniejszej pracy i przygotowano go należycie.

Autor zdefiniował dwie tezy pracy: 1) Stężenie materii zawieszanej w toni wodnej odgrywa istotną rolę w procesie akumulacji osadów. Analiza korelacji pomiędzy stężeniem cząstek stałych w wodzie i ich tempem sedymentacji pozwala na oszacowanie zdolności zbiorników do akumulacji osadów. 2) Obieg i dystrybucja związków biogennych w zbiornikach zaporowych uzależnione są od jakości materii zawieszanej w wodzie. Sedymentująca materia pełni rolę unifikatora pomiędzy poszczególnymi elementami systemu wodno-gruntowego, przez co istotnie wpływa na jakość zdeponowanych osadów dennych. Natomiast za cel postawił sobie: 1. Określenie wpływu materii zawieszanej w toni wodnej na proces akumulacji osadów w zbiornikach zaporowych. 2. Określenie roli materii zawieszanej w toni wodnej w obiegu i dystrybucji wybranych związków biogennych w zbiorniku. 3. Ocena wpływu produkcji wewnętrznej na depozycję materii organicznej w osadach dennych.

Dla realizacji założonych celów Autor przyjął trzy etapy pracy: terenowe, laboratoryjne i kameralne. Przeprowadził analizę wskaźników fizyczno-chemicznych wód badanych zbiorników, ocenę stanu troficznego tych wód, analizę pochodzenia materii organicznej w zakumulowanej materii w pułapkach, badania składu chemicznego i izotopowego materiału zakumulowanego w pułapkach oraz osadów dennych zdeponowanych w analizowanych zbiornikach. Ponadto przeprowadził analizę składu granulometrycznego zakumulowanej materii w pułapkach, analizę wpływu warunków atmosferycznych na tempo sedymentacji materii oraz ocenę wpływu warunków hydrologicznych (odpływ wody ze zbiornika) na proces akumulacji osadów w zbiorniku (w tym aspekcie Autor powinien zwrócić większą

uwagę na warunki hydrologiczne na dopływach do zbiorników, także w aspekcie obliczeń ładunków zawiesiny). Tę część pracy należy ocenić pozytywnie, bowiem w sposób przejrzysty i merytorycznie poprawny Autor zdefiniował zarówno cele, jak i zakres pracy.

W przeglądzie literatury Autor zaprezentował stan wiedzy na temat zbiorników zaporowych, w tym klasyfikację zbiorników. W interesujący sposób zaprezentował rolę biogenów, jako jednych z najważniejszych czynników wpływających na jakość wody oraz proces eutrofizacji i degradacji zbiorników. Na podkreślenie zasługuje interesująco zaprezentowany aspekt pochodzenia materii organicznej w zbiornikach, jej składników i wskaźnika pochodzenia materii organicznej w osadach C:N (na podkreślenie zasługują ciekawie zaprezentowane wartości wskaźnika C:N na rysunku 2). Ważne jest także przedstawienie informacji o wskaźniku stabilnych izotopów węgla ( $\delta^{13}\text{C}$ ), który jest istotnym uzupełnieniem stosunków elementarnych C:N w identyfikacji źródeł pochodzenia materii organicznej w zbiornikach wodnych. Ponadto Autor w przeglądzie literatury scharakteryzował składniki materii zawieszanej w wodzie, dokładnie zidentyfikował abiotyczne i biotyczne czynniki determinujące jakość materii zawieszanej w wodzie oraz zaprezentował metody prognozowania zamulenia zbiorników, uwzględniając także pionowy mechanizm transportu osadów (tzw. sedymentacja materii zawieszanej) oraz efekty produkcji wewnętrznej zachodzące w zbiornikach wodnych. Pewien niedosyt budzi zbyt syntetyczne (tylko dwie strony maszynopisu) przedstawienie zagadnień dotyczących metod monitorowania materii sedymentującej w toni wodnej i tylko trzech zdań na temat stosowania nowoczesnych mętnościomierzy. Szkoda, gdyż w aspekcie realizowanej tematyki jest to istotne zagadnienie. Podsumowując, Autor wykorzystał źródła bibliografii, które obejmują aktualne i ważne pozycje dotyczące tematyki pracy. Dobór literatury jest więc uzasadniony merytorycznie.

W dalszej części pracy (rozdział czwarty) Autor zaprezentował charakterystykę trzech zbiorników retencyjnych wytypowanych do badań: zbiornik Blizne i Maziarnia na terenie woj. podkarpackiego oraz Nielisz w woj. lubelskim. Podano ważne parametry dla zbiorników. Zgodnie z jedną z klasyfikacji zbiorników, ze względu na pojemność i powierzchnię, zbiornik Blizne można zaliczyć jako staw wiejski duży, zbiornik Maziarnia można zaliczyć do zbiorników retencyjnych małych a zbiornik Nielisz do zbiorników retencyjnych średnich. Niewielkie zastrzeżenie mam do formy i stylu opisu wyboru obiektów do badań (str. 35), np. „Obiekty do badań wybrano na podstawie wizji lokalnych wstępnie wytypowanych zbiorników (czym się sugerowano i na jakiej podstawie wstępnie je wybrano?) oraz analizy dostępnych na ich temat danych. Ważnym elementem ostatecznego wyboru była wiedza na temat indywidualnych i specyficznych właściwości (jakie to zatem właściwości?) danego zbiornika pozyskana w trakcie realizacji wcześniejszych projektów badawczych”. Podobnie niezrozumiałe jest zdanie: „Finalnie, do badań wybrano trzy zbiorniki retencyjne. Jednym z podstawowych parametrów różniącym wybrane zbiorniki był czas retencji wody. Zastosowanie tego kryterium wynikało m.in. ze specyfiki badań, których celem była próba opisu procesu akumulacji na dnie materii zawieszanej w wodzie, jak też określenie jej roli w dystrybucji związków biogenych w zbiornikach zaporowych charakteryzujących się różnymi parametrami”. Pewien niedosyt budzi także brak załączonej do pracy dokumentacji fotograficznej badanych obiektów i aparatury badawczej.

W dalszej części rozdziału czwartego Autor zaprezentował koncepcję i harmonogram badań, wydzielając dwa etapy. Pierwszy etap badań miał na celu rozpoznanie podstawowej charakterystyki procesu akumulacji zawieszonych w toni wodnej osadów w zbiorniku Blizne oraz dobór najbardziej optymalnych parametrów dla czterech pułapek sedymentacyjnych -

urządzeń do monitorowania tempa akumulacji w osadach dennych materii zawieszanej w toni wodnej (opisano dokładnie procedurę pomiarową wraz z mocowaniem pułapki). Do badań Autor wybrał, jako najbardziej efektywną, pułapkę nr 2 (zgłoszoną przez Autora wraz L. Bartoszek do Urzędu Patentowego RP). Badania wchodzące do tego etapu przeprowadzono w dwóch sezonach letnich lat 2017 i 2018 r. (dlaczego badania prowadzono tylko w sezonie letnim? Proszę także wyjaśnić czym Autor kierował się przy wyborze punktów lokalizacji pułapek sedymentacyjnych w zbiornikach? Czy Autor rozważał inne punkty dla lokalizacji pułapek?). Natomiast drugi etap zrealizowano w okresie wiosenno-letnim 2018 i 2019 r. W 2018 r (od 08.05.2018 r. do 11.09.2018 r.) prowadzono prace równoległe na dwóch zbiornikach: Blizne oraz Maziarnia. W ciągu tego okresu przeprowadzono sześć kolejno następujących po sobie serii badawczych (czas umieszczenia pułapek w toni wodnej w poszczególnych seriach wyniósł średnio trzy tygodnie. Natomiast w 2019 r. (od 08.05.2019 r. do 27.08.2019 r.) zrealizowano badania na zbiorniku Nielisz. Jak podaje Autor ze względu na niekorzystne warunki atmosferyczne (proszę o dokładną informację w tym zakresie) okres badań został podzielony na cztery następujące po sobie serie badawcze, a średni czas ekspozycji pułapek w wodzie wynosił około 4 tygodnie (opisano dokładnie procedurę pomiarową wraz z mocowaniem pułapek). Nie mam zastrzeżeń do zaproponowanej koncepcji i przebiegu badań, chociaż przeprowadzenie takich badań w znacznie dłuższym okresie badawczym, np. uwzględniając lata hydrologiczne, umożliwiłoby pozyskanie dodatkowych informacji w zakresie wpływu sezonowości na rozpatrywane i modelowane parametry.

Na początku, w połowie oraz na końcu każdej serii badawczej pobierano z wyznaczonych stanowisk próbki wody powierzchniowej do analiz wybranych parametrów fizyczno-chemicznych. Wyniki analiz parametrów wody takich jak: temperatura wody, odczyn wody, nasycenie wody tlenem, konduktancja, stężenie materii zawieszanej w wodzie oraz zawartość w wodzie materii organicznej. W przypadku pozostałych analizowanych parametrów dokonywano jednego pomiaru (na koniec każdej serii badawczej). Dodatkowo na końcu każdej serii oprócz wody pobierano osady zgromadzone w pułapkach i osady denne. Autor tę część metodyki wzbogacił schematami zbiorników wodnych, schematami monitorowania akumulacji materii w zbiorniku, jak i schematami parametrów geometryczno-konstrukcyjnych pułapek sedymentacyjnych wraz z wybraną pułapką nr 2. Ponadto Autor w poprawny sposób zaprezentował metodykę pozyskiwania danych atmosferycznych i hydrologicznych (dane IMGW i z platformy WU), chociaż należałoby podać bardziej szczegółowe dane odnośnie lokalizacji stacji meteorologicznych, zwłaszcza ich odległości od obiektów badawczych. Ponadto Autor starannie przedstawił metodykę wykonywania pomiarów objętości wód odpływających ze zbiornika Blizne.

Doktorant w dalszej części metodyki przedstawił informacje dotyczące analizy parametrów fizyczno-chemicznych wód i osadów. Co do założeń analizy wód powierzchniowych, osadów dennych i osadów w pułapkach przeprowadzono prawidłowo. Szkoda, że w wybranych zbiornikach nie pobierano próbek wody w pionach hydrochemicznych a tylko z głębokości 0,5 m pod powierzchnią zwierciadła wody. Ponadto w tej części rozdziału dla każdego zbiornika dokonano oceny stanu troficznego wód, wykorzystując wartości indeksów troficznych TSI oraz wskaźnika ITS a także określono pochodzenie materii organicznej w analizowanych osadach (na podstawie wskaźnika izotopowego  $\delta^{13}\text{C}$ ).

W rozdziale 4.8. „Metody badań” (str. 52) Autor zaprezentował metody statystyczne, które wykorzystał do interpretacji wyników badań. Autor zbyt lakonicznie podaje, że określono statystyki opisowe uzyskanych wyników, nie podając natomiast której grupy wyników ta

charakterystyka konkretnie dotyczyła. Autor podaje również zbyt ogólnie, że wykonano test ANOVA Kruskala-Wallisa i korelację liniową Pearsona, nie wskazując jednak, których grup uzyskanych wyników dotyczyły poszczególne testy. Ta część pracy, dotycząca metodyki badań byłaby zapewne bardziej czytelna, gdyby statystyczna interpretacja uzyskanych wyników była zaprezentowana bardziej schematycznie w postaci procedury badawczej. Autor w rozdziale metodyka (str. 53) podaje również, że do testowania istotności różnic średnich analizowanych zmiennych pomiędzy grupami zastosował test ANOVA Kruskala-Wallisa, nieparametryczny odpowiednik jednoczynnikowej analizy wariancji (ANOVA), której to podstawowym założeniem jest normalność rozkładów i równe wariancje we wszystkich badanych grupach. Autor jednak nie informuje czy przed dokonaniem wyboru testu istotności różnic sprawdził założenie odnośnie normalności rozkładów analizowanych zmiennych i jaki zastosował w tym celu test, w oparciu o którego wyniki odrzucił hipotezę zerową i zastosował nieparametryczny test ANOVA KW, dla którego takie założenie nie musi być spełnione, czy też przyjął taki test, ze względu na niezbyt dużą liczbę pomiarów/obserwacji ( $n < 30$ ).

W części dotyczącej metodyki nie podano również czy weryfikowane było występowanie obserwacji odstających, które to ze względu na zastosowaną m. in. metodę wyznaczania linii regresji, mają duży wpływ na nachylenie linii regresji a także na wartość współczynnika korelacji liniowej Pearsona. Nie należy więc wyciągać istotnych wniosków jedynie na podstawie obliczonej wartości współczynnika korelacji liniowej Pearsona, który określa stopień proporcjonalnych (zależnych liniowo) powiązań pomiędzy zmiennym. Ważne jest również przeprowadzenie dokładnej analizy (czego niestety brakuje w metodyce oraz w wynikach pracy) wykresów rozrzutu liniowych zależności między zmiennymi, która jest niezbędnym elementem analizy korelacji. Wykazanie jedynie istotnych statystycznie wysokich zależności między zmiennymi, bez analizy wykresów rozrzutów, nie zawsze jest jednoznaczne z tym, że zależności te można opisać za pomocą funkcji liniowej. Zastanawiającym pozostaje więc czy weryfikowano wystąpienie obserwacji odstających? Autor w pracy wspomina, że w 2019 r. na obszarze zbiornika Nielisz wystąpiły zmienne warunki meteorologiczne. Czy w związku z powyższym odnotowano więc w tamtym czasie prowadzenia pomiarów terenowych jakieś wartości odstające, ekstremalne i jeżeli tak to co z nimi zrobiono? Dopiero w części dotyczącej wyników pracy (str. 139) dowiadujemy się, że Autor zastosował podejście ilościowe do identyfikacji obserwacji odstających na etapie tworzonego Modelu wskaźnika tempa akumulacji sedymentującej materii w toni wodnej zbiorników zaporowych. W tym celu, z czym należy się zgodzić, wykorzystał odległość Mahalanobisa, która stosowana jest do wykrywania wartości odstających, zwłaszcza w opracowywaniu modeli regresji liniowej.

Następnie Autor pisze „Zależność korelacyjna charakteryzuje się tym, że określonym wartościom jednej zmiennej przyporządkowane są ściśle określone wartości drugiej zmiennej” (str. 53). Natomiast stosowanie przez Autora takiego zapisu „ściśle określone wartości drugiej zmiennej” może sugerować, że Autor miał na myśli tylko zależności funkcyjne. Rozumiem, że chodziło również o zależności statystyczne. Należy też podkreślić, że oprócz badania samej korelacji ważna jest również analiza przyczynowo - skutkowa takich zależności, bo zależność może istnieć między parą analizowanych zmiennych, ale istotniejszym jest określenie przyczyny takiej zależności. I tu należy docenić Doktoranta za to, że na każdym etapie prowadzonych analiz dość wnikliwie w odniesieniu do badań własnych, jak i literaturowych objaśniał przyczynowo-skutkowość zachodzących zależności. Należy potwierdzić, że część pracy związana z metodyką została przygotowana poprawnie.

Opis wyników badań (rozdział 5) Autor rozpoczął od przedstawienia wyboru najefektywniejszej pułapki sedymentacyjnej do monitorowania wskaźnika tempa akumulacji w osadach dennych materii zawieszanej w toni wodnej. W tym zakresie opisano uzyskane wyniki badań i stwierdzono, że testowane pułapki sedymentacyjne charakteryzowały się zróżnicowaniem w efektywności działania. Do głównych konkluzji należy zaliczyć to, że pułapki wyposażone w układ z deflektorem (nr 1 i 2) wykazywały wyraźnie mniejszą wrażliwość na zmienność występujących podczas badań warunków środowiskowych (proszę o bliższe wyjaśnienie tego, str. 55). Porównując ze sobą wydajność pracy tych pułapek (sezon 2017), różniących się między sobą stosunkiem wysokości do średnicy stwierdzono, że lepszą efektywność uzyskano dla pułapki nr 2 (stosunek wysokości do średnicy równy 6,1). W kolejnych dwóch seriach badawczych pułapka nr 2 akumulowała największą ilość osadów. Skoro czas ekspozycji pułapki wynosił od 20 do 25 dni w różnych sezonach badawczych to jak Autor poradził sobie ze sprawą ewentualnej niesprawności urządzeń, np. zatykania powierzchni wlotowej, które pracowały na różnych obiektach? Czy, i jak to było monitorowane?

W dalszej części rozdziału piątego Autor zaprezentował wyniki jakości wód powierzchniowych (wraz z opisem statystycznym uzyskanych wyników i dyskusją uzyskanych wyników): a) wskaźniki charakteryzujące warunki termiczne i tlenowe wód zbiorników Blizne, Maziarnia i Nielisz (Autor zarejestrował najwyższe wartości temperatury wody trzech zbiorników w szczycie sezonu letniego. W tych trzech zbiornikach najniższą wartość nasycenia tlenem wód rejestrowano w strefie cofkowej zbiornika, a najwyższą przy zaporze, w okresach wysokich temperatur wody. Zaobserwowane zależności dla trzech zbiorników Autor słusznie wyjaśnił występującym w okresie letnim wzmocnionym procesem fotosyntezy); b) wskaźniki charakteryzujące zakwaszenie i zasolenie (w przypadku trzech zbiorników najwyższe wartości odczynu wody odnotowano w środku i przy zaporze zbiornika a najniższe w rejonie dopływu do zbiornika). Odczyn wód zbiornika był zasadowy. Autor słusznie zauważył, że wysoki poziom alkalizacji wód występuje w okresach wzmoczonej produkcji wewnętrznej w procesie fotosyntezy i może to być rezultatem postępującego procesu degradacji analizowanych zbiorników. Należy zgodzić się z przedstawionymi przez Autora analizami procesów wyjaśniającymi zanotowane różnice w poziomie zmineralizowania wód zbiorników Maziarnia i Nielisz (odnośnie zbiornika Blizne, w którym zanotowano nieproporcjonalny co do wielkości zbiornika poziom zmineralizowania wód, wyjaśnienie oparte na przypuszczeniu Autora, że tak wysoki poziom zasolenia wód zbiornika Blizne ściśle powiązany jest ze specyficznym charakterem zlewni tj. głównie rolniczym jej wykorzystaniem i górzystym ukształtowaniem terenu a także nawożeniem oraz składem gleb, należy uznać za zbyt powierzchniowe). Jeżeli chodzi o kierunek przestrzennych zmian wartości konduktancji w zbiorniku Blizne to był on zbieżny ze zmianami średnich wartości tlenu a w zbiorniku Maziarnia ten kierunek był rozbieżny do zmian średnich wartości temperatury wody. Natomiast w przypadku zbiornika Nielisz kierunek przestrzennych zmian tego wskaźnika był zgodny ze zmianami średnich wartości odczynu wody; c) wskaźniki charakteryzujące zanieczyszczenia organiczne (w przypadku zbiornika Blizne stwierdzono wzrost stężeń całkowitego węgla organicznego w kierunku od strefy dopływu do zbiornika w kierunku zapory, chociaż analiza zmienności w czasie stężenia węgla w wodach zbiornika wykazała, że na stanowiskach na dopływie do zbiornika i przy zaporze w przeważającej części okresu dochodziło do jego stopniowego wyczerpywania. Na stanowisku w części centralnej zbiornika zanotowano sytuację odwrotną. W wodach zbiornika Maziarnia najniższą średnią wartość całkowitego węgla organicznego odnotowano przy zaporze, a czasowe zmiany jego stężeń na wszystkich stanowiskach na ogół

wykazywały tendencje wzrostu stężeń tego wskaźnika w następujących po sobie seriach badawczych. W przypadku zbiornika Nielisz, analogicznie jak w zbiorniku Maziarnia, nie stwierdzono istotnych przestrzennych różnic dla uzyskanych stężeń całkowitego węgla organicznego w wodzie. Zauważono tendencję spadku wartości stężeń w kierunku od strefy dopływu do zbiornika w kierunku zaporę. W przypadku zmienności stężeń węgla w czasie na ogół obserwowano stopniowe jego wyczerpywanie w kolejnych seriach badawczych); d) wskaźniki charakteryzujące warunki biogenne (wartości stężeń fosforu całkowitego w wodach zbiornika Blizne na poszczególnych stanowiskach badawczych nie wykazywały istotnego zróżnicowania a wartości tego parametru w poszczególnych seriach badawczych zmieniały się w zakresie od 0,03 mg/dm<sup>3</sup> do 0,07 mg/dm<sup>3</sup>. Przestrzenny rozkład wartości stężeń całkowitego azotu w wodzie również nie wykazywał statystycznie istotnych różnic. Wartości tego parametru w poszczególnych seriach badawczych zawierały się w przedziale od 0,42 mg/dm<sup>3</sup> do 0,64 mg/dm<sup>3</sup>. Stwierdzone zmiany stężeń azotu wskazywały, że w miarę upływu czasu dochodziło do zasilania wód zbiornika tym biogenem. Uzyskane średnie wartości fosforu całkowitego w wodach zbiornika Maziarnia wykazywały statystycznie istotne zróżnicowanie pomiędzy stanowiskami. Średnie wartości na analizowanych stanowiskach zawierały się w przedziale od 0,08 mg/dm<sup>3</sup> do 0,19 mg/dm<sup>3</sup>. Kierunek przestrzennych zmian stężeń fosforu wykazywał tendencję spadku od strefy dopływu zbiornika do stanowiska zlokalizowanego przy zaporze. Zmienność stężeń fosforu wskazuje, że na ogół wraz z upływem czasu dochodzić mogło do zasilania wód zbiornika tym biogenem. W przypadku stężeń całkowitego azotu nie wykazano istotnego statystycznie przestrzennego zróżnicowania a w analizowanym okresie średnie wartości azotu na poszczególnych stanowiskach były na bardzo zbliżonym poziomie - od 0,99 do 1,14 mg/dm<sup>3</sup>. W przypadku zbiornika Nielisz stwierdzono, że znaczące odległości pomiędzy stanowiskami badawczymi (od ok. 3 do 5 km) w sposób istotny wpływały na rozkład uzyskanych wartości stężeń całkowitego fosforu w wodzie. Średnie wartości tego parametru na wyznaczonych stanowiskach wahały się od 0,49 mg/dm<sup>3</sup> do 1,02 mg/dm<sup>3</sup>. Podobnie jak w zbiorniku Blizne i Maziarnia zauważono, że wartości stężenia fosforu zwykle wykazywały tendencję spadku od strefy w rejonie dopływu do stanowiska przy zaporze. Analiza zmienności stężeń tego wskaźnika wykazała, że wraz z biegiem czasu na stanowisku na dopływie do zbiornika dochodziło do zwiększonego zasilania wód zbiornika tym biogenem, natomiast na pozostałych stanowiskach w przeważającej części mogło zachodzić sukcesywne jego wyczerpywanie. Średnie wartości azotu na poszczególnych stanowiskach oscylowały od 1,0 mg/dm<sup>3</sup> do 1,56 mg/dm<sup>3</sup>. Zaobserwowano, że wartości azotu na ogół wykazywały tendencję spadku od strefy w rejonie dopływu do zbiornika w kierunku zaporę. Średnia wartość fosforu i azotu w zbiorniku Nielisz była najwyższa w porównaniu do pozostałych analizowanych zbiorników); e) wskaźnik biomasy fitoplanktonu (w zbiorniku Blizne najwyższe wartości stężenia chlorofilu *a* zanotowano w strefie dopływu, a najniższe w rejonie zaporę zbiornika). W wodach zbiornika Maziarnia najwyższe wartości tego wskaźnika odnotowano w rejonie środkowym zbiornika, a najniższe na stanowisku przy zaporze. W zbiorniku Nielisz najwyższe wartości chlorofilu *a* odnotowano w rejonie dopływu do zbiornika, a najniższe na stanowisku zlokalizowanym w pobliżu zaporę). Następnie Autor przedstawił dyskusję uzyskanych wyników badań parametrów jakości wód dla trzech badanych zbiorników. Zaprezentowano macierze korelacji pomiędzy poszczególnymi parametrami wód w badanych zbiornikach.

W kolejnym podrozdziale Autor zaprezentował wyniki dotyczące stanu troficznego wód zbiorników, korzystając z indeksów troficznych zarówno TSI Carlsona i Walkera a także ITS (Index of Trophical State). Stwierdzono, że wody zbiornika Blizne we wszystkich badanych

strefach zaliczono do eutroficznych a jako przyczynę podwyższonego poziomu trofii podano nadmierny ładunek związków biogennych wprowadzany ze zlewni. Analizując stan trofii wód zbiornika Maziarnia w strefie dopływu do zbiornika oraz w centralnej części stwierdzono, że odpowiadał on hipertrofii, natomiast w pobliżu zapory na pograniczu eutrofii i hipertrofii. Jednocześnie wartości indeksu ITS klasyfikowały wody zbiornika w centralnej jego części jako mezotroficzne na pograniczu z eutrofią. Uzyskane wartości indeksów troficznych TSI (fosforowego i chlorofilowego) wykazały, że poziom troficzny wód zbiornika Nielisz we wszystkich badanych strefach odpowiadał hipertrofii.

Kolejnym poruszonym zagadnieniem w rozdziale „Wyniki badań i dyskusja” była analiza ilościowa całkowitej i organicznej materii zawieszanej w wodzie. Autor potwierdził występujące zmiany stężeń materii zawieszanej wzdłuż profilu podłużnego zbiorników. Wykazano, że w wodach badanych zbiorników zaobserwowano tendencję wzrostu stężenia materii zawieszanej w strefie dopływu do zbiornika, w odniesieniu do punktu powyżej zbiornika, oraz stopniową jej redukcję wraz z przepływem wody przez zbiornik (w rejon zapory transportowane były niewielkie ilości materii). Powyższe świadczy o tym, że znaczna część materii zawieszanej ulegała kumulacji w osadach dennych. Ponadto Doktorant wykazał, że rozkład stężeń materii zawieszanej w wodach rzek poniżej zbiorników uzależniony był od warunków występujących w danym zbiorniku (w strefie przy zaporze zbiornika). Natomiast w wodach rzecznych poniżej zbiornika Nielisz uzyskano wyższe stężenia materii zawieszanej w odniesieniu do stężeń odnotowanych powyżej zbiornika, porównywalne w przypadku zbiornika Maziarnia oraz dużo niższe dla zbiornika Blizne. Doktorant wykazał, że zmiany stężeń materii zawieszanej w wodach analizowanych zbiorników istotnie ujemnie korelowały z zawartością w niej materii organicznej (przy niższych stężeniach materii zawieszanej w wodach zbiorników obserwowano wyższe zawartości materii organicznej). W przypadku zbiorników Blizne i Maziarnia stwierdzono istotne zmiany zawartości materii organicznej w osadach zawieszonych w wodzie wzdłuż profilu podłużnego zbiorników, a kierunek tych zmian pokrywał się z kierunkiem przepływu wody (od strefy dopływu do zbiornika do zapory). Jeżeli chodzi o najwyższe średnie wartości materii organicznej w badanych zbiornikach to występowały one na stanowisku w rejonie zapory. Ponadto Autor wykazał, że zawartość materii organicznej w materii zawieszanej w wodach cieków poniżej trzech zbiorników była powiązana z warunkami panującymi w badanych zbiornikach. We wszystkich badanych obiektach obserwowano wzrost wartości materii organicznej w odniesieniu do stanowisk zlokalizowanych powyżej zbiorników. Analizy przeprowadzone przez Autora wykazały, że parametry zbiorników (np. czas retencji wody) w sposób istotny mogą determinować rozkład uzyskanych wartości materii organicznej w osadach zawieszonych w wodzie, ale zależność ta była odwrotna niż dla materii zawieszanej w wodzie. W mniejszych zbiornikach (Blizne oraz Maziarnia) otrzymano wyraźnie wyższe zawartości materii organicznej w osadach zawieszonych w wodzie tych zbiorników niż dla znacznie większego zbiornika Nielisz.

Średnie zawartości materii organicznej w osadach zawieszonych w wodzie poniżej trzech badanych zbiorników wodnych wynosiły odpowiednio 60,84% (Blizne), 65,32% (Maziarnia) oraz 45,47% (Nielisz), co odpowiadało średnim wartościom uzyskanym na stanowiskach zlokalizowanych przy zaporze zbiorników. Natomiast na stanowiskach poniżej zbiorników obserwowano wzrost wartości materii organicznej w osadach zawieszonych w wodzie, w odniesieniu do wartości otrzymanych na stanowiskach powyżej zbiorników wodnych. Ponadto jako osiągnięcie Doktoranta należy wskazać wykazanie na podstawie analizy stężeń materii zawieszanej w wodach trzech zbiorników różniących się czasem



retencji, że czas zatrzymania wody, w istotny sposób wpływał na rozkład uzyskanych wartości tej materii. Najniższe średnie stężenie materii zarejestrowano w zbiorniku Blizne o najkrótszym czasie retencji (18 dni), a najwyższe w zbiorniku Nielisz o najdłuższym czasie retencji (77 dni). Było to spowodowane bardziej przepływowym charakterem zbiornika Blizne (częsta wymiana wody) co mogło ograniczać zdolność zarówno do rozwoju planktonu, jak i do zatrzymywania produktów związanych z procesami wewnętrznego zasilania w materię zawieszoną w jego wodach. Autor tym samym potwierdził badania literaturowe, że czas retencji mógł mieć wpływ na jakość wody w ciekach poniżej zbiorników.

W kolejnym podpunkcie 5.5 Autor przedstawił charakterystykę materii zgromadzonej w pułapkach sedymentacyjnych. Analizę rozpoczął od analizy wskaźnika akumulacji w osadach dennych materii zawieszanej w toni wodnej badanych zbiorników z której wynika, że w przypadku zbiorników Maziarnia i Nielisz akumulacja w osadach dennych materii zawieszanej w toni wodnej zachodziła najintensywniej w rejonie dopływu do zbiorników, natomiast przy zaporze deponowana była stosunkowo niewielka ilość osadów. Natomiast w zbiorniku Blizne zanotowano sytuację odwrotną (nie stwierdzono wyraźnego trendu redukcji ilości akumulowanego materiału w kierunku do stanowiska przy zaporze). Z dalszej części pracy wynika, że na zróżnicowanie wyników badań tempa sedymentacji materii zawieszanej w toni wodnej wpływ może mieć m.in. okres i czas ekspozycji pułapek, rozwiązania konstrukcyjne pułapek, głębokość ich zanurzenia, parametry zbiornika oraz zlewni.

Odnosnie informacji przedstawionych w podpunkcie dotyczącym akumulacji materii i węgla organicznego należy stwierdzić, że najwyższą zawartość materii organicznej w materiale zgromadzonym (osadach) w pułapkach w zbiorniku Blizne zanotowano w strefie dopływu do zbiornika, natomiast najniższą na stanowisku w centralnej części zbiornika. Doktorant stwierdził, że w osadach tych dominowała materia pochodzenia autochtonicznego, średnio ok. 71% materii organicznej pochodziło z produkcji wewnętrznej w zbiorniku. Przy czym, jej udział w całkowitej zawartości materii organicznej w osadach wzrastał od stanowiska w strefie dopływu do zapory zbiornika (średnio od 59% do 84%). Najniższą wartość całkowitego węgla organicznego w osadach zanotowano na stanowisku w strefie dopływu do zbiornika Blizne (ok. 5,3%), a najwyższą w części środkowej zbiornika (ok. 3,2%). Natomiast średnia zawartość węgla w zgromadzonej materii w zbiorniku wyniosła ok. 4,2%. Zasadniczo z pracy wynika, że w miarę upływu czasu obserwowano tendencję do akumulowania tego parametru w zgromadzonych osadach. Jeżeli chodzi o zbiornik Maziarnia to najniższą zawartość całkowitego węgla organicznego w osadach zanotowano w strefie dopływu do zbiornika, a najwyższą na stanowisku przy zaporze zbiornika. Średnia zawartość całkowitego węgla organicznego w zgromadzonym materiale w zbiorniku wynosiła ok. 7,3% i była zróżnicowana wzdłuż osi podłużnej zbiornika, co może świadczyć o znaczącej roli produkcji wewnętrznej w zbiorniku. Autor dowiódł, że analiza zmienności w czasie zawartości całkowitego węgla organicznego wykazała także, że na stanowiskach na dopływie do zbiornika i w części środkowej wraz z upływem czasu obserwowano tendencję do jego akumulowania w zgromadzonych osadach. Wykazano, że najbardziej wzbogacone w cięższy izotop węgla  $^{13}\text{C}$  były osady w rejonie dopływu zbiornika a najbardziej zubożone w rejonie centralnym zbiornika. W zbiorniku Nielisz najniższą średnią zawartość całkowitego węgla organicznego odnotowano na stanowisku przy zaporze, a najwyższą na dopływie do zbiornika. Zawartości całkowitego węgla organicznego w osadach zgromadzonych w pułapkach zasadniczo charakteryzowały się stabilnym poziomem. Istotne zróżnicowanie pomiędzy stanowiskami stwierdzono również w przypadku uzyskanych wartości izotopowego składu całkowitego węgla

organicznego  $\delta^{13}\text{C}$ -TOCs. Inaczej jak w innych zbiornikach w zbiorniku Nielisz najbardziej wzbogacone w cięższy izotop węgla  $^{13}\text{C}$  były osady w rejonie zapory a najbardziej zubożone w rejonie dopływu do zbiornika. Syntetycznym przedstawieniem przez Autora wyników są wykresy i tabele, bardzo dobrze przygotowane i właściwie prezentujące uzyskane wyniki. Doktorant wykazał, że jeżeli chodzi o akumulację substancji biogennej to materia zgromadzona w pułapkach różniła się pod względem zawartości fosforu i azotu, zarówno pomiędzy stanowiskami w zbiornikach, jak i zbiornikami. W zbiornikach Maziarnia i Nielisz stwierdzono znaczące przestrzenne różnice w składzie chemicznym zakumulowanej materii a w zbiorniku Blizne powyższego nie stwierdzono. Autor wykazał, że przeprowadzona analiza składu granulometrycznego materiału zgromadzonego w pułapkach badanych zbiorników wykazała bardzo silne powiązanie z materią organiczną zawartą w osadach zawieszonych w toni wodnej. Wykazano, że wzrost zawartości tej materii sprzyjał powstawaniu ziaren o większych rozmiarach, jednocześnie powodując redukcję drobniejszych cząstek. Na końcu tego podrozdziału Autor przedstawia dyskusję uzyskanych wyników. Na podkreślenie zasługują poprawnie opracowane macierze korelacji pomiędzy wybranymi wskaźnikami chemicznymi w analizowanych osadach i analiza statystyczna parametrów uzyskanych z osadów zgromadzonych w pułapkach zbiorników Blizne, Maziarnia i Nielisz. Podobnie, w ciekawy sposób, Autor zaprezentował charakterystykę osadów dennych zbiorników, w tym wzbogacenie w materię i węgiel organiczny a także wzbogacenie w azot całkowity i fosfor całkowity.

Ostatni podpunkt rozdziału piątego dotyczy określenia roli jaką pełni materia zawieszona w toni wodnej w dystrybucji wybranych substancji biogennej w badanych zbiornikach zaporowych. Autor w pracy porównał wielkości wybranych parametrów (węgiel organiczny, azot całkowity i fosfor całkowity) charakteryzujących materię zgromadzoną w pułapkach oraz osady denne w analizowanych zbiornikach i wykazał, że zakumulowana materia charakteryzowała się wyższą zawartością substancji biogennej w odniesieniu do zawartości odnotowanych w osadach dennych. Zjawisko redukcji zawartości związków biogennej w osadach dennych związane było z postępującym procesem mineralizacji materii organicznej, na którego efektywność istotnie wpływał m.in. czas zatrzymania wody w zbiorniku. Najintensywniej proces mineralizacji zachodził w największym zbiorniku Nielisz, a najslabiej w najmniejszym zbiorniku Blizne. Doktorant wykazał, że średnie zawartości materii organicznej w zakumulowanym materiale w osadach charakteryzowały się kilkukrotnie niższym poziomem w odniesieniu do zawartości w materii zawieszonyj w toni wodnej. Z kolei, porównanie średnich zawartości materii organicznej w osadach dennych z zawartością w zakumulowanym materiale w osadach wykazało, że zawartość tej pierwszej była na wielokrotnie niższym poziomie niż w materiale zakumulowanym w pułapkach. Przedstawione przez Autora zależności świadczą o szybkim tempie rozkładu materii organicznej w trakcie jej opadania oraz po jej depozycji na dnie zbiorników.

Istotnym z punktu widzenia realizowanej tematyki rozprawy jest podrozdział 5.7 dotyczący modelowania wskaźnika tempa akumulacji sedymentującej materii w toni wodnej zbiorników zaporowych. Autor prezentuje w logicznej kolejności procedurę modelowania składającą się z ośmiu etapów: a) charakterystyka wskaźnika określającego tempo akumulacji w osadach dennych materii zawieszonyj w wodach badanych zbiorników ( $U_s$ ), b) charakterystyka stężeń materii zawieszonyj w toni wodnej badanych zbiorników (SS), c) charakterystyka materii organicznej zawartej w osadach zawieszonych w toni wodnej badanych zbiorników ( $OM_{SS}$ ), d) charakterystyka temperatur wody w badanych zbiornikach (TW), e) charakterystyka prędkości wiatru w obszarze badanych zbiorników (W), f) charakterystyka natężenia opadów

atmosferycznych w obszarze badanych zbiorników (O), g) charakterystyka odpływu wody z badanych zbiorników (Q), h) charakterystyka poziomu napełnienia wody w zbiornikach (N).

Autor w rozdziale dotyczącym modelowania wskaźnika tempa akumulacji sedymentującej materii w toni wodnej analizowanych zbiorników, w pierwszym kroku wykonał wstępną analizę statystyczną tego wskaźnika pod względem jego zdolności dyskryminacyjnej i wiarygodności, co należy uznać za metodycznie poprawne. W tym celu obliczone zostały podstawowe miary empirycznego rozkładu (klasyczne - średnia arytmetyczna i mediana oraz pozycyjne - kwartył pierwszy i trzeci), miary zróżnicowania (odchylenie standardowe) oraz miary koncentracji (kurtoza). Należy także pamiętać, że ważną do rozpoznania charakterystyką statystyki opisowej na etapie wstępnej analizy poprzedzającej modelowanie statystyczne jest również miara asymetrii (współczynnik skośności A), umożliwiająca analizę symetryczności rozkładu wartości poszczególnych zmiennych wokół ich wartości średnich a której w ramach wstępnej analizy nie uwzględniono.

Autor pisze, że „Sprawdzono również czy istnieje różnica pomiędzy uzyskanymi wartościami  $U_s$  w podziale na stanowiska badawcze w analizowanych zbiornikach (Rys.51)” (str. 126). Nie bez znaczenia jest natomiast fakt, że rys. 51 będący graficzną prezentacją statystyk opisowych w postaci wykresów ramka-wąsy powinien korelować z danymi zawartymi właśnie w tab. 41. Z uwagi na to, że można utworzyć różne typy wykresów ramkowych (m.in. Mediana/Kwartyle/Rozstęp, średnia/Bł.std./Odch.std, średnia/Odch.std./1.96\*Odch.std., średnia/ Bł.std./1.96\*Bł.std.) to na rysunku 51 i kolejnych 52-54 należało w legendzie wykresu podać, która konkretnie opcja wykresu typu ramka-wąsy została zastosowana. Domniemam, że na rys. 51-54 chodziło (tak jak na rys. 55-58) o średnią  $\pm 95\%$  przedział ufności dla średniej. Aczkolwiek brak jest takiej informacji na wykresie. Średnia wartość badanej zmiennej stanowi najczęściej szacowany parametr populacji i szczególne znaczenie ma znajomość przedziału ufności dla tego właśnie parametru. Niestety w tabelach 41-48 brak jest podanej wartości przedziału ufności dla średniej, przy założeniu  $1 - \alpha = 0,95$ . Z uwagi na to, że średnia arytmetyczna z próby jest estymatorem wartości średniej w populacji generalnej ( $m$ ) to również jej rozkład wykorzystuje się do budowy przedziału ufności dla wartości średniej w populacji. Zastanawiającym więc pozostaje jakie zostało przyjęte założenie odnośnie rozkładu normalnego populacji, który determinuje sposób obliczania przedziału ufności dla średniej. Czy przyjęto, że populacja ma rozkład normalny  $N(m, \sigma)$ , za pomocą jakich testów zostało to sprawdzone?

W części pracy dotyczącej wyników (str. 136-137) Autor badał także związki korelacyjne pomiędzy zmiennymi, które potencjalnie miały być zmiennymi wejściowymi (objaśniającymi) do budowanego modelu wskaźnika tempa akumulacji w osadach dennych materii zawieszanej w toni wodnej analizowanych zbiorników. Dokonał tego w oparciu o opracowany wykres zależności (rys. 59) oraz macierz korelacji (tab. 49), z czym należy się zgodzić. Natomiast w tej części pracy pewien niedosyt budzi brak interpretacji graficznej uzyskanych wyników z analiz zależności pomiędzy zmiennymi. Przedstawienie w postaci graficznej tych powiązań umożliwiłoby dodatkowo określenie typu tych zależności (funkcyjne, statystyczne) a także weryfikację czy były to związki liniowe czy też nieliniowe. Należy pamiętać, że jest to dość istotna informacja w aspekcie stosowania technik regresji liniowej, ze względu na jedno z kilku założeń do metody regresji liniowej a mianowicie: pomiędzy zmiennymi  $x$  i  $y$  musi występować zależność i zależność ta musi być liniowa.

Autor, w rozdziale 5.7.3 Konstrukcja modelu, w celu określenia wpływu wybranych parametrów na wskaźnik akumulacji  $U_s$ , który determinowany jest przez wiele wskaźników cechujących się znaczną złożonością, słusznie zaproponował wykorzystanie w tym celu

analizy regresji wielorakiej, jednej z najczęściej stosowanych technik modelowania statystycznego przy określaniu wpływu kilku zmiennych na analizowane zjawisko. Niedosyt budzą natomiast, opisane (str. 139) dość ogólnie wyniki modelowania. Dowiadujemy się tylko, że „Model dopasowany był do danych w 74%, o czym świadczył współczynnik determinacji. Błąd standardowy estymacji modelu wyniósł 67,7”. Dodatkowym walorem poznawczym pracy byłoby przedstawienie wyników modelowania  $U_s$  w formie tabelarycznej, jako podsumowanie arkusza wyników zbudowanego modelu. Takie zestawienie na pewno, oprócz parametrów modelu, informacji w ilu procentach oszacowany model pozwolił wyjaśnić zmienność całkowitej zmiennej zależnej (współczynnik determinacji), oraz błędu standardowego estymacji modelu, dostarczyłby dodatkowo wiedzy o wartości statystyki  $F$  i odpowiadającym jej poziomie prawdopodobieństwa testowego  $p$  w celu potwierdzenia istotności statystycznej związku liniowego a także błędów standardowych parametrów.

W kolejnym szóstym rozdziale Autor zaprezentował piętnaście wniosków. Należy stwierdzić, że mają one uzasadnienie w uzyskanych w pracy wynikach, chociaż należałoby je bardziej uszczegółowić (nie powinny być powielane treści z maszynopisu rozprawy i warto to wykonać przed opublikowaniem rozprawy). Rozdział „Podsumowanie i wnioski” w niniejszej rozprawie kończy propozycja Autora dotycząca kierunków dalszych badań. Tu Autor korzystając z uzyskanych wyników badań w szczególności w zakresie opracowania metody wyznaczania wskaźnika tempa akumulacji ( $U_s$ ) w osadach dennych materii zawieszonych w toni wodnej w strefie litoralnej zbiorników zaporowych wskazuje na konieczność rozszerzenia badań w zakresie określenia właściwości procesu akumulacji osadów w innych obszarach zbiorników. Ponadto dalsze badania osadu w pułapkach można analizować w aspekcie zachodzących zmian klimatu czy też w aspekcie innych zanieczyszczeń występujących w zbiornikach zaporowych. Te propozycje należy uznać za godne rozważenia.

W trakcie czytania rozprawy, pozbawionej poważniejszych uchybień, pojawiły się następujące kwestie, na które chciałbym zwrócić uwagę Doktoranta podczas publicznej obrony rozprawy doktorskiej:

- Autor w tekście pracy często wspomina o trzyletnim okresie badań. Należy mieć jednak na uwadze, że badania na poszczególnych obiektach były krótsze, tzn. na zbiorniku Blizne przeprowadzono badania wstępne w sezonie letnim w latach 2017 i 2018. Natomiast na dwóch zbiornikach: Blizne oraz Maziarnia badania przeprowadzono w 2018 r. a badania na zbiorniku Nielisz zrealizowano w 2019 r.
- Czym autor się sugerował żeby uwzględnić tylko sezonowość letnią? Czy wykonanie badań i analiz w innych okresach (roku hydrologicznego) mogłoby przyczynić się do pełniejszego odzwierciedlenia panujących w zbiornikach procesów?
- Autor w metodyce pracy nie przedstawia ani samych pułapek ani miejsc umieszczenia tych czterech pułapek dla badań wstępnych.
- Str. 31. Autor nieprecyzyjnie podaje, że na proces sedymentacji materii w zbiorniku „Wpływa wiele czynników, w tym wahania hydrologiczne w dopływie wody i osadów”. Raczej chodzi o reżim hydrologiczny cieków, w tym o zmiany natężenia przepływu wody i co się z tym wiąże z prowadzoną na zbiornikach gospodarką wodną.
- Str. 35. Na rys. 8 brak jest zaznaczonych kierunków przepływu wód cieków zasilających zbiorniki wodne i skali.
- Str. 38. Niefortunne słownictwo – np. w pobliżu dopływu zbiornika. Autorowi raczej chodziło o część cofkową zbiornika lub strefę dopływu do zbiornika.

- Str. 40. Nie do końca wyjaśniono czym się Autor kierował przy wyborze punktów umocowania na dnie zbiornika pułapek sedymentacyjnych? Podano, że pułapki umocowano na dnie zbiornika w odległości około 3 m od linii brzegowej oraz na głębokości ok. 1,6 m. Czym się kierowano przy wyborze prawego brzegu w zbiorniku (rys. 12). Czy podjęto badania w innych punktach zbiornika.
- Str. 40. Opis urządzeń wykorzystywanych w badaniach przedstawiony w rozdziale 4.3 nie koreluje z rys. 12 z rozdziału 4.2, gdzie przedstawiono lokalizację stanowiska badawczego na zbiorniku Blizne i gdzie na schemacie widoczne są trzy rodzaje pułapek a nie cztery o których pisze Autor.
- Str. 42. Autor pisze, że „Wyniki analiz parametrów wody takich jak: temperatura (TW), pH, nasycenie wody tlenem (O<sub>2</sub>), konduktancja (CE), stężenie materii zawieszanej w wodzie (SS) oraz zawartość w niej materii organicznej (OM<sub>SS</sub>) obliczono na podstawie trzech pomiarów (n=3)”. Czy chodzi o to, że dla tych parametrów wody były liczone średnie arytmetyczne z trzech poborów wody w poszczególnych seriach?
- Str. 53. Autor pisze „Do badań przyjęto poziom istotności  $\alpha = 0,05$ . Przyjmuje się, że: gdy  $p < 0,05$  to występuje statystycznie istotna zależność;  $p < 0,01$  oznacza, że występuje wysoce istotna zależność;  $p < 0,001$  świadczy o występowaniu bardzo wysokiej statystycznie istotnej zależności”. Niestety Autor nie odniósł się do hipotezy, gdzie prawdopodobieństwo testowe  $p \geq \alpha$ .
- Str. 54. Autor podaje, że „Dokonując wyboru potencjalnych zmiennych wchodzących do modelu szczególną uwagę zwrócono na siłę powiązań ze zmienną objaśnianą i jednocześnie słabe powiązanie między sobą”. Natomiast Autor nie podał w oparciu o jakie założenia statystyczne dokonał ostatecznego wyboru potencjalnego zestawu zmiennych objaśniających.
- Str. 54. Autor pisze: „Sugerowano się również wskazaniem teorii modelowania oraz wynikami i obserwacjami zawartymi w literaturze branżowej”. Niedosyt budzi, że Autor nawiązując do literatury przedmiotu, nie podaje tu żadnych konkretnych pozycji literaturowych.
- Str. 54. Autor pisze: „Hipoteza zerowa oznacza, że dana zmienna niezależna ( $x_i$ ) może nie wywierać wpływu na zmienną zależną  $y$ ”. Należy mieć na uwadze, że przyjęcie hipotezy zerowej wymaga zawsze sformułowania hipotezy alternatywnej, czego w tej części pracy dotyczącej metodyki jest brak.
- Str. 54. Autor pisze: „Dodatkowo, badano istotność każdej pary parametrów osobno, aby wykluczyć nadmiarowość zmiennych w modelu”. Należałoby tu doprecyzować, że chodzi o istotność statystyczną korelacji par zmiennych.
- Str. 54. Autor pisze: „Wartości prawdopodobieństw testowych  $p$  obliczanych w konkretnych testach porównywano do zadanej wartości poziomu istotności  $\alpha$ ”, ale Autor nie podaje tu jaki założono w tym celu poziom istotności.
- Str. 58. Autor pisze: „Najniższą wartość zanotowano na stanowisku BL1 (strefa dopływu), a najwyższą na stanowisku BL3 (rejon zapory)”. Natomiast w pracy Autor podaje, że badania były prowadzone na pięciu stanowiskach pomiarowych (zgodnie z rys. 9). Również w tabeli 11 na str. 61 nie zestawiono statystyk opisowych dla stanowisk powyżej (BL Rz) i poniżej zbiornika (BL Z). Taka informacja poszerzyłaby na pewno wiedzę z zakresu procesów wpływających na jakość wody powyżej i poniżej zbiornika.
- Str. 78-79 Autor pisze: „Można przypuszczać, że przyczyną wysokiego poziomu trofii (w zbiorniku Blizne) był nadmierny ładunek związków biogennych wprowadzany ze

- zlewni. Obszar zlewni zbiornika zdominowany jest głównie przez tereny użytkowane rolniczo”. Podobnie w odniesieniu do kolejnego zbiornika Maziarnia. Autor powinien w tym kontekście ocenić zlewnię jako dostarczyciela materii i odporność tego zbiornika na dostawę tej materii za pomocą dostępnych kryteriów podanych w bogatej literaturze.
- Str. 136. Autor najpierw pisze: „Podobne dodatnie i znaczące zależności występowały w przypadku zmiennej  $U_s$  oraz odpływu wody ze zbiornika ( $Q$ ), jak też napełnienia zbiorników ( $N$ )”, po czym w rozdziale 5.7.3 na str. 138 pisze: „Spośród wymienionych zmiennych do modelu weszły cztery, które były istotnie statystycznie powiązane ze zmienną zależną”. Następnie w pracy wymienia w kolejności, z uwzględnieniem stopnia powiązania, zmienne które były w największym stopniu powiązane ze zmienną objaśnianą  $U_s$ . Rozumiem, że doboru zmiennych wyjściowych do modelu oraz ich kolejności wprowadzania do modelu dokonano w oparciu o wyniki zamieszczone w tab. 49? Zastanawiającym jest więc dlaczego jako zmienna wejściowa (objaśniająca) nie został przyjęty przepływ  $Q$ , który korelował z  $U_s$  na poziomie  $r=0,73$  ( $p=0,000$ ) a uwzględniona została temperatura wody  $T_w$  o słabej, wątpliwej, nieistotnej statystycznie korelacji ze wskaźnikiem akumulacji  $U_s$  ( $r=-0,26$  i  $p=0,07$ )?
  - Str. 139. Jako parametr oszacowania modelu regresji Autor stosuje współczynnik determinacji, który był na poziomie 74%. Czy Autor w tym celu zastosował też inne parametry modelu (miary dobroci dopasowania) stosowane do weryfikacji modelu regresji, np. współczynnik zmienności resztowej, informujący o tym, jaki odsetek poziomu zmiennej objaśnianej stanowią wahania losowe?
  - Str. 139. Autor podaje: „Sprawdzono, czy reszty modelu mają rozkład normalny co jest podstawą dopuszczenia modelu do wykorzystania”. Ciekawym jest więc czy w zakresie analizy reszt i potrzeby sprawdzenia złożenia modelu, że rozkład reszt (różnic pomiędzy estymowaną i teoretyczną wartością  $U_s$ ) jest zbliżony do normalnego utworzony został wykres normalności reszt? Interpretacja graficzna reszt względem wartości przewidywalnych umożliwiłaby Autorowi ocenę położenia punktów na wykresie w stosunku do dopasowanej linii prostej regresji oraz jednorodności wariancji reszt.
  - Str. 45, 195, 196 i 198. Błędnie określono nazwy dotyczące sum dobowych opadów atmosferycznych jako średniodobowe wahania natężenia opadów atmosferycznych.
  - Dlaczego we wniosku nr 3 Autor pisze: „przypuszcza się, że czas retencji wody w badanych zbiornikach mógł mieć wpływ na jakość wód w rzekach za zaporą. W największym badanym zbiorniku Nielisz stwierdzono wzrost stężeń SS na stanowiskach poniżej zapory w odniesieniu do stężeń na stanowiskach przed zbiornikami a w mniejszych zbiornikach (Blizne i Maziarnia) zaobserwowano odwrotną sytuację” skoro w pracy uzasadnił ten wniosek?
  - We wniosku nr 6 Autor stwierdza, że sposób odprowadzania wody ze zbiorników mógł wpływać na koncentrację materii organicznej (OMSS) zawartej w materii zawieszonyj w wodach rzek poniżej trzech zbiorników. I stwierdza, że w zbiornikach, w których woda odprowadzana była poprzez upust denny odnotowano redukcję zawartości OMSS w porównaniu do stanowisk zlokalizowanych przy zaporze. Odwrotna sytuacja występowała w zbiorniku gdzie stosowany był górny przelew wody. A dlaczego Autor nie odniósł się do zawartości materii zawieszonyj w aspekcie gospodarki wodnej na zbiorniku, w tym sposobu odprowadzania wody?
  - Str. 148. Niefortunne określenie upustu dennego jako ujścia.

### 3. Podsumowanie i wniosek końcowy

Zbiorniki zaporowe, do których zaliczają się trzy zbiorniki badane w pracy spełniają wiele funkcji. Dlatego tak bardzo ważna jest znajomość zagadnień krążenia materii w toni wodnej zbiorników, jak i ich zamulania. Postępujący proces zamulania a tym samym ciągła redukcja pojemności zbiorników wskazują na potrzebę prowadzenia ciągłego monitoringu transportu materii zawieszanej i zamulania zbiorników. Propozycja monitoringu procesów osadzania się materii przy użyciu zaproponowanych przez Autora pułapek sedymentacyjnych z powodzeniem może dostarczać informacji zarówno o warstwach osadów (materiał może być analizowany pod względem jakościowym, co pozwoli na określenie jego roli w dystrybucji różnego rodzaju zanieczyszczeń, które deponowane są osadach dennych), o tempie ich akumulacji, związku pomiędzy stężeniem materii zawieszanej w wodzie a szybkością jej sedymentacji (znajomość tej zależności może być kluczowym elementem w analizach i prognozach dotyczących podatności zbiorników do ich zamulania). Ważnym osiągnięciem Doktoranta, stanowiącym o walorach poznawczych i praktycznych rozprawy, jest propozycja modelu wskaźnika tempa akumulacji sedymentującej materii w toni wodnej analizowanych zbiorników, determinowanego przez odpowiednio dobrane zmienne złożone. Uzyskane przez Autora w pracy wyniki dostarczają informacji na temat problemów funkcjonowania zbiorników zaporowych oraz wpisują się w działania ochronne tych akwenów. Przyczyniają się także do racjonalnego gospodarowania zbiornikami zaporowymi. Autor osiągnął założone cele i potwierdził przyjęte tezy pracy. Tematyka niniejszej pracy jest zatem ważna z punktu widzenia nauki, jak i praktyki a także pożądana przez specjalistów zajmujących się użytkowaniem zbiorników zaporowych. Uwagi zgłoszone w punkcie 2 recenzji nie obniżają wysokiego poziomu merytorycznego rozprawy. W mojej ocenie kompleksowe podejście Pana mgr inż. Maksymiliana Cieśli do realizacji założonego tematu rozprawy doktorskiej zasługuje na uznanie i stanowi podstawę do zgłoszenia wniosku o wyróżnienie Jego rozprawy.

Po analizie rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Maksymiliana Cieśli pozytywnie oceniam podjęcie rozważań w aspekcie badań nad rolą materii zawieszanej w toni wodnej w aspekcie akumulacji osadów i dystrybucji związków biogenych w zbiornikach zaporowych, przeprowadzony przegląd aktualnego stanu wiedzy w zakresie poruszanej tematyki, właściwie zaproponowaną metodykę badań, jak i poprawnie zrealizowaną część analityczną wraz z propozycją modelu wskaźnika tempa akumulacji sedymentującej materii w zbiornikach.

Uważam, że niniejsza rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, tj. stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego a Autor wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie naukowej Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, zawarte w art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (tj. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789). W związku z powyższym wnioskuję o przyjęcie recenzowanej rozprawy, dopuszczenie do publicznej obrony i Jej wyróżnienie przez Radę Naukową Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza.



Wrocław, 06.12.2020 r.