

dr hab. inż. Andrzej Skwierawski
Katedra Gospodarki Wodnej, Klimatologii
i Kształtowania Środowiska
Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Plac Łódzki 2, 10-719 Olsztyn

Olsztyn, 27.08.2020

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Garbowskiego
pt. „Badania nad rozwojem i separacją glonów w środowisku wodnym”
wykonanej w Instytucie Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu,
Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji

Promotor: prof. dr hab. inż. Krzysztof Pulikowski

Promotor pomocniczy: dr inż. Paweł Wiercik

1. Podstawa formalno-prawna opracowania recenzji

Podstawę formalno-prawną opracowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Garbowskiego pt. „Badania nad rozwojem i separacją glonów w środowisku wodnym” stanowi pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Pana prof. dr hab. inż. Krzysztofa Pulikowskiego, nr IDDD0000.4100.46.2020 z dnia 22 czerwca 2020 r., w którym zostałem poinformowany o decyzji Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, która w dniu 17 czerwca 2020 r. powołała mnie na recenzenta wyżej wymienionej rozprawy doktorskiej.

2. Ogólna charakterystyka i ocena formalna przedłożonej rozprawy doktorskiej

Manuskrypt przedłożonej rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Garbowskiego liczy łącznie 87 stron i składa się z dwóch elementów:

- 1) Części wstępnej (Autoreferatu), na którą składa się 30-stronicowe opracowanie, zawierające: wprowadzenie, hipotezę i cele badawcze, materiały i metody badań, syntetyczne omówienie wyników badań, wnioski, spis literatury, streszczenie w języku polskim i angielskim, zestawienie dorobku naukowego Doktoranta oraz spis załączników.

- 2) Zestawu wydruków pięciu publikacji naukowych stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej, wraz z oświadczeniami współautorów prac o charakterze udziału poszczególnych osób w przygotowaniu publikacji.

Zasadniczą część rozprawy doktorskiej tworzy spójny tematycznie zbiór pięciu artykułów (prac oryginalnych bazujących na wynikach badań własnych), opublikowanych w latach 2017-2020:

- 1) Garbowski T., Bawiec A., Pulikowski K., Wiercik P., 2017. Algae proliferation on substrates immersed in biologically treated sewage. *Journal of Ecological Engineering*, 18(1), 90–98. (*Udział Doktoranta: 60%*).
- 2) Garbowski T., Pulikowski K., Wiercik P., 2017. Using laser granulometer to algae dynamic growth analysis in biological treated sewage. *Desalination and Water Treatment*, 99, 117-124. (*Udział Doktoranta: 80%*).
- 3) Garbowski T., 2019. Changes in the physico-chemical parameters of water as a result of long-term contact with biomass, on the example of pine bark (*Pinus sylvestris*). *Water, Air, & Soil Pollution*, 230:104.
- 4) Garbowski T., Richter D., Pietryka M., 2019. Analysis of changes of particle size distribution and biological composition of flocs in wastewater during the growth of algae. *Water, Air, & Soil Pollution*, 230:139 (*Udział Doktoranta: 70%*).
- 5) Garbowski T., Pietryka M., Pulikowski K., Richter D., 2020. The use of a natural substrate for immobilization of microalgae cultivated in wastewater. *Scientific Reports*, 10(7915). (*Udział Doktoranta: 70%*).

W jednej spośród tych publikacji Doktorant jest samodzielnym autorem, a w pozostałych udział wynosi od 60 do 80% i w każdej z tych prac mgr inż. Tomasz Garbowski jest pierwszym autorem. Zgodnie z punktacją czasopism MNiSW, suma punktów za w/w prace wynosi 312, a przy uwzględnieniu udziału procentowego Doktoranta w poszczególnych pracach: 240 punktów. Sumaryczny Impact Factor wynosi 8,942. Łączny dorobek publikacyjny Doktoranta obejmuje w sumie 9 prac. Według danych bazy Scopus z dnia 27.08.2020, wskaźniki bibliometryczne Doktoranta są wyższe niż podane w Autoreferacie: liczba cytowań wynosi 24, a Index Hirscha ma wartość 3. Można stwierdzić, że na tym etapie rozwoju naukowego są to bardzo wysokie wskaźniki.

Spis literatury zawarty w Autoreferacie obejmuje 53 pozycje, jest to jednak tylko zestaw bibliografii użytej w tej części opracowania. Biorąc pod uwagę bibliografię poszczególnych publikacji składających się na rozprawę doktorską, liczba unikalnych rekordów bibliograficznych wynosi 181, co tworzy rozległy zestaw prac, świadczący o wnikliwym

podejściu Doktoranta do podejmowanych tematów badawczych. Warto również jako atuty wskazać, że aż 66% stanowiły publikacje z ostatnich 10 lat, a mediana cytowanych prac przypada na rok 2012.

Ogólnie można stwierdzić, że eksperymenty przeprowadzone przez Doktoranta były poprawne od strony metodycznej, dobrze monitorowane i prawidłowo dokumentowane, a cele badawcze przedstawione w zwięzłej formie w rozdziale 2 Autoreferatu oraz bardziej szczegółowo w każdej z przedłożonych publikacji, są jasne i znajdują swoje odzwierciedlenie w wynikach badań i sformułowanych wnioskach. Uwagę zwraca jednak nie do końca poprawnie sformułowana hipoteza badawcza. Generalnie hipotezę badawczą powinno się raczej formułować w formie twierdzącej jako spodziewaną odpowiedź (przypuszczenie) na problem badawczy, którego rozwiązania podejmuje się badacz. W ocenianej pracy hipoteza mogłaby zostać sformułowana następująco: „Materiały naturalne, takie jak użyta w doświadczeniach kora sosny, stanowią potencjalny nośnik ułatwiający separację glonów, dzięki czemu można pozyskiwać biomasę, przy jednoczesnym uzyskaniu dodatkowego efektu oczyszczania ścieków” lub: „Podłoża naturalne mogą stanowić skuteczny materiał wspomagający oczyszczanie ścieków, dając jednocześnie możliwość pozyskiwania biomasy do celów energetycznych, niezbędne jest jednak znalezienie optymalnych parametrów procesów zachodzących w bioreaktorach”.

3. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Wykorzystanie glonów jako surowca energetycznego, można traktować jako element modelu gospodarowania odbywającego się w ramach tzw. szybkiego cyklu węglowego. Celem nadrzędnym jest tu uniknięcie emisji dwutlenku węgla z paliw kopalnych. Dodatkowo, wykorzystanie składników biogenych ze ścieków stanowi dodatkową szansę na zorganizowanie systemów oczyszczania, które będą cechowały się lepszymi wynikami jakości ścieków oczyszczonych wprowadzanych do środowiska. Opanowanie tych procesów, zrozumienie ich i opracowanie możliwości przeniesienia do skali technicznej – wdrożeniowej, stanowi potencjalną szansę na dodanie autorskiego wkładu do rozwiązania dwóch bardzo istotnych problemów środowiskowych współczesnego świata. Biorąc pod uwagę doniesienia naukowe z dziedziny klimatologii oraz energetyki, problem poszukiwania alternatywnych rozwiązań względem obecnych systemów, w przeważającej części bazujących na użytkowaniu paliw kopalnych, należy uznać za pilny.

Zestaw pięciu publikacji składający się na rozprawę doktorską mgr inż. Tomasza Garbowskiego jest w istocie zapisem poszukiwań przez Autora metody, która pozwala na hodowlę glonów na bazie składników pożywkowych zawartych w ściekach, dającej jednocześnie możliwość skutecznej i tańszej niż w dotychczas proponowanych rozwiązaniach separacji biomasy. Są to cele ambitne i ważne z punktu widzenia praktycznego rozwiązywania problemów środowiskowych.

W pracy nr 1 Autor na bazie eksperymentu laboratoryjnego przeanalizował możliwość wykorzystania różnych podłoży do immobilizacji mikroglonów w warunkach hodowli na pożywce z oczyszczonych ścieków. Wstęp do tej publikacji, podobnie zresztą jak w przypadku pozostałych prac składających się na rozprawę doktorską, stanowi zwięzły, rzeczowy przegląd literatury tematycznej, oparty w głównej mierze na bazie oryginalnych prac badawczych z ostatnich lat. Rozbudowane wstępy, oraz sprawnie przeprowadzone dyskusje wyników w każdej z publikacji, świadczą o dobrej znajomości tematyki badawczej.

Eksperyment omówiony w pracy nr 1 sprawia wrażenie nie w pełni udanego, co zresztą pośrednio przyznają sami autorzy, wymieniając szereg czynników, które mogły mieć wpływ na słaby rozwój glonów na zainstalowanych podłożach. Jeśli jednak to doświadczenie stanowiło źródło inspiracji do dalszych poszukiwań (kolejne prace wskazują, że tak właśnie było), można stwierdzić, że ten etap był jednak potrzebny.

Oprócz wniosków postawionych przez Doktoranta, można tutaj mieć pewne obawy, że odpadowe tworzywa sztuczne (np. butelki PET), w dłuższym kontakcie ze ściekami mogą być źródłem mikroplastiku uwalnianego do środowiska wodnego, co jest jednym z wiodących problemów we współczesnej ochronie środowiska. Również z tego względu naturalne podłoża wydają się zdecydowanie właściwym kierunkiem poszukiwań. Przedstawione argumenty przemawiające za wyborem podłoża z kory sosnowej można uznać za przekonujące i w pełni uzasadniające wybór tego nośnika do dalszych szczegółowych badań.

W pracy nr 2 Doktorant wykorzystał metodę granulometrii laserowej jako sposób na przeprowadzenie szybkiej oceny dynamiki procesów zachodzących podczas hodowli glonów na bazie ścieków. Praca ta jest po części uzupełnieniem metodycznym publikacji nr 1 i stanowi z nią spójną całość.

Praca nr 3 stanowi kontynuację prowadzonych doświadczeń laboratoryjnych i można ją potraktować jako etap przygotowawczy do eksperymentów opisanych w publikacjach nr 4 i 5. Autor prześledził w niej procesy wmywania składników z kory sosnowej, co było w pełni uzasadnione ze względu na możliwy wpływ tych składników na rozwój glonów w testowanych bioreaktorach. Potencjalnie, wpływ ten mógł być pozytywny dzięki dodatkowym zasobom

biogenów, lub negatywny poprzez substancje hamujące rozwój mikroorganizmów. Było to istotne również z uwagi na jakość ścieków oczyszczonych odprowadzanych poza układ po zakończeniu cyklu w bioreaktorze. Kontrola ilości biogenów wymywanych z materiału używanego jako podłoże do hodowli glonów z wykorzystaniem ścieków oczyszczonych, może mieć również znaczenie ze względu na stwierdzone znaczne ilości N i P, które mogą wpływać na obniżenie jakości ścieków odprowadzanych do odbiornika. Badania wskazują, że mogą to być stężenia przekraczające wartości graniczne wg norm prawnych dla ścieków oczyszczonych odprowadzanych do wód. Z drugiej strony, z kory uwalnianiu ulegały również składniki niezbędne do rozwoju glonów (np. mikroelementy). Prześledzenie tych zależności było więc istotnym elementem prowadzonych badań.

W pracy nr 4 omówione zostały wyniki doświadczenia z wykorzystaniem kory sosnowej jako podłoża dla mikroglonów. Eksperyment przeprowadzony został w zmodyfikowanej formie w porównaniu do badań wstępnych opisanych w pracy nr 1, tak aby uniknąć wystąpienia czynników, które wpłynęły niekorzystnie na rezultaty poprzedniego eksperymentu. Badania prowadzono w czterech wariantach i kontrolę rozwoju glonów zaplanowano w taki sposób, aby dodatkowo było możliwe porównanie komplementarności dwóch metod: granulometrii laserowej i tradycyjnej analizy mikroskopowej składu gatunkowego i stosunków ilościowych w obrębie tworzących się kolonii glonów i sinic.

Finalnym osiągnięciem badań prowadzonych przez Doktoranta jest publikacja nr 5 pt. „The use of a natural substrate for immobilization of microalgae cultivated in wastewater”, w której zastosowana została specjalna konstrukcja fotobioreaktora, której pomysłodawcą i realizatorem był Doktorant. W eksperymencie tym zdecydowano się wykorzystać bardziej wymagające medium hodowlane w postaci surowych ścieków komunalnych, a podłożem dla glonów pozostała kora sosnowa wytypowana na poprzednich etapach badań jako najlepszy dostępny nośnik umożliwiający separację glonów. W doświadczeniu tym, przede wszystkim udało się uzyskać wysoki stopień oczyszczenia ścieków surowych. Oprócz szerokiego spektrum parametrów związanych z procesem zachodzącym w bioreaktorach, w badaniach tych określono również wartość kaloryczną uzyskanego materiału po hodowli, jako sprawdzenie potencjalnych możliwości wykorzystania energetycznego.

W pracy nr 5 zostały również nakreślone kierunki przyszłych badań, oraz wskazane niedoskonałości obecnych rozwiązań. Świadczy to o krytycznym podejściu do realizowanych inicjatyw badawczych oraz wskazuje na potencjał i chęć dalszego rozwijania przyjętego kierunku badań.

Reasumując, każda z publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Garbowskiego ma charakter poszukiwania najlepszych dostępnych metod praktycznych w zakresie immobilizacji i separacji glonów w hodowlach prowadzonych na bazie ścieków, każda wnosi istotny wkład i wzbogaca stan wiedzy w tym zakresie, a wnioski mogą być przydatne do konstruowania bardziej doskonałych systemów tego typu w przyszłości.

4. Elementy dyskusyjne przedłożonej rozprawy

Podczas analizy materiałów składających się na rozprawę doktorską, pojawiło się kilka pytań i kwestii dyskusyjnych, należy jednak zaznaczyć, że ich sformułowanie podyktowane jest ciekawością i chęcią uzyskania dodatkowych wyjaśnień od Autora, nie stanowią one w żadnym razie próby podważenia jakości przeprowadzonych badań i publikacji. Prosiłbym o ustosunkowanie się Doktoranta i skomentowanie następujących kwestii:

1. Kora sosnowa jest łatwo dostępnym i tanim produktem, ale jej zasoby są jednak ograniczone. Czy materiał użyty do separacji jest wyłącznie jednorazowego użytku, czy też byłoby możliwe oddzielanie biomasy glonów od nośnika, w celu jego ponownego użycia w kolejnych cyklach oczyszczania ścieków? Czy w swoich doświadczeniach laboratoryjnych Autor obserwował, jak przebiega proces degradacji tego podłoża – w jakim tempie mikroorganizmy obecne w ściekach przekształcają materię kory sosnowej?
2. Czy nie byłoby uzasadnione przeprowadzenie podobnego doświadczenia jak w pracy nr 3, w którym zamiast wody destylowanej, zostałyby wykorzystane medium bardziej zbliżone do warunków panujących w bioreaktorach? Można byłoby tu zaproponować np. wykorzystanie sterylnych, syntetycznych ścieków, gdyż proces wymywania prawdopodobnie będzie zależał również od stężenia jonów w otaczającym roztworze oraz dodatkowo, można byłoby w ten sposób odróżnić wpływ procesów fizykochemicznych od procesów biologicznych. Czy podobna forma doświadczenia była rozważana na etapie opracowywania harmonogramu badań?
3. Czym był uzasadniony dobór wariantów doświadczenia przyjęty w publikacji nr 4? Czy nie byłoby wskazane uwzględnienie próby kontrolnej, zawierającej użyte ścieki, ale bez dostarczania inokulum glonów z zewnętrznych kultur laboratoryjnych? Pozwoliłoby to zaobserwować, jakie gatunki/rodzaje glonów „endemicznych” mogą rozwijać się w testowanym bioreaktorze? Czy zaszczep glonów z kultury laboratoryjnej w tym doświadczeniu został przeanalizowany pod względem składu gatunkowego?

4. Czy w eksperymencie zaprezentowanym w publikacji nr 5 kontrolowane były warunki tlenowe w fotobioreaktorach? Pojawienie się formy azotanowej NO_3^- wskazuje, że fotosynteza glonów rekompensowała ubytek tlenu, zużywanego w procesach rozkładu materii organicznej, jednak w warunkach skrajnie hipertroficznym pojawienie się deficytów tlenu wydaje się jednak prawdopodobne. Czy warunki tlenowe w fotobioreaktorach były monitorowane i czy stężenie tlenu było w jakiś sposób sterowane? Czy system był w stanie sobie poradzić bez sztucznego napowietrzania?
5. Kolejna kwestia dotyczy gromadzenia się glonów na powierzchni kory sosnowej, którą Autor opisuje jako zgodną z równaniem Avramiego, dotyczącym tworzenia się struktur krystalicznych. W związku z tym pojawia się pytanie: czy zjawisko kolonizacji podłoża przez mikroorganizmy (przyrost peryfitonu) jest procesem fizyczno-chemicznym, czy ma związek z ekologią (behawioryzmem) tych organizmów? Czy glony i sinice fitoplanktonowe, które w wodach naturalnych nie tworzą form kolonijnych, będą osadzać się na podłożu takim jak kora sosnowa?
6. Czy opracowany i przetestowany sposób oczyszczania ścieków powiązany z produkcją biomasy glonów powinien zostać wdrożony na skalę technologiczną? Czy przy większej ilości ścieków i długim okresie retencji w układzie (6-8 tygodni) bardziej korzystne byłoby zbudowanie pojedynczego, dużego bioreaktora, czy zestawu większej liczby mniejszych obiektów? Jakie są szanse i ograniczenia dla tego, konkretnego rodzaju fotobioreaktora, który był testowany w ramach prowadzonych badań?

Ponadto, część wstępna (Autoreferat) zawiera drobne błędy stylistyczne i redakcyjne, są one jednak nieliczne i biorąc pod uwagę, że materiał ten podsumowuje treści, które już zostały opublikowane, więc szczegółowe wskazywanie tych potknięć nie jest konieczne, tym bardziej, że nie mają one wpływu na ostateczną wysoką ocenę przedłożonej rozprawy doktorskiej.

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska Pana mgr inż. Tomasza Garbowskiego stanowi spójny tematycznie, dobrze udokumentowany materiał badawczy układający się w logiczną całość, składający się z 5 wartościowych publikacji naukowych. Jako całość, rozprawa doktorska spełnia wymóg przedstawienia oryginalnego rozwiązania problemu badawczego w dyscyplinie ochrona i kształtowania środowiska. Na podkreślenie zasługuje szerokie spektrum aspektów uwzględnianych przez Doktoranta w prowadzonych badaniach, reprezentujących zarówno aspekty typowo naukowe, jak i techniczną stronę wykonania poszczególnych

eksperymentów. Mgr inż. Tomasz Garbowski swoimi badaniami udowodnił, że jest przygotowany do samodzielnego prowadzenia pracy badawczej. Na dodatkowe podkreślenie zasługują dobrze opracowane, obszerne części teoretyczne do poszczególnych prac, oraz wysoki poziom dyskusji naukowej w każdej z publikacji, co świadczy o rzetelnym przygotowaniu merytorycznym Doktoranta i jego dobrej znajomości literatury tematycznej.

Biorąc pod uwagę wysoką jakość przygotowanych publikacji naukowych, składających się na rozprawę doktorską, oraz niewątpliwy intensywny rozwój wiedzy, umiejętności i kompetencji Doktoranta, który nastąpił w okresie realizacji poszczególnych etapów badań, zgłaszam wniosek o wyróżnienie przedłożonej rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Garbowskiego.

Na podstawie analizy przedłożonych materiałów stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Tomasza Garbowskiego pt. „Badania nad rozwojem i separacją glonów w środowisku wodnym”, wykonana w Instytucie Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Krzysztofa Pulikowskiego jako promotora i dr. inż. Pawła Wiercika jako promotora pomocniczego, spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim, określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65 poz. 595) z późn. zm. z dnia 15 września 2017 r. (Dz. U. 2017 poz. 1789), zgodnie z art. 175 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1669).

W związku z powyższym, przedkładam Wysokiej Radzie Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu wniosek o dopuszczenie mgr inż. Tomasza Garbowskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Olsztyn, 27 sierpnia 2020 r.

dr hab. inż. Andrzej Skwierawski

