

Dr hab. Katarzyna Jankowska, prof. uczelni
Katedra Technologii w Inżynierii Środowiska
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Politechnika Gdańska

Gdańsk, dnia 17 listopada 2024

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Jachimowicza

**pt. "Microplastic in wastewater treatment systems
– removal efficiency and effect on biological processes"**

**"Mikroplastik w systemach oczyszczania ścieków
– efektywność usuwania i wpływ na przemiany biologiczne":**

Promotor rozprawy: prof. dr hab. inż. Agnieszka Cydzik-Kwiatkowska

Rozprawa doktorska została przygotowana w Katedrze Biotechnologii w Ochronie Środowiska Uniwersytetu Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Podstawa opracowania

Podstawą formalną przygotowania przeze mnie niniejszej recenzji jest powołanie mnie Uchwałą nr 35/2023 Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Warmińsko – Mazurskiego w Olsztynie z dnia 26 września 2024r, na recenzenta w postępowaniu w sprawie nadania Panu mgr inż. Piotrowi Jachimowiczowi stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno - technicznych w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

1. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Dysertacja przygotowana przez Doktoranta to jednotematyczny cykl 4 wieloautorskich publikacji naukowych opublikowanych w bardzo dobrych czasopismach naukowych o łącznej wartości 740 punktów wg wykazu Ministerstwa Edukacji i Nauki oraz 39,87 punktów Impact Factor. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż mimo, że prace opublikowano w ostatnich trzech latach ich łączna liczba cytowań to już 33.

We wszystkich pracach Doktorant był pierwszym autorem, a jego wkład w pracę wynosił co najmniej 50%. Wymienione poniżej prace zostały zebrane i omówione w formie autoreferatu napisanego w języku polskim pod wspólnym tytułem "Mikroplastik w systemach oczyszczania ścieków – efektywność usuwania i wpływ na przemiany biologiczne". Tytuł w języku angielskim "Microplastic in wastewater treatment systems – removal efficiency and effect on biological processes"

1. Jachimowicz, P., Cydzik-Kwiatkowska, A. (2022). Coagulation and flocculation before primary clarification as efficient solutions for low-density microplastic removal from wastewater. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(20), 13013.
(MEiN2022 = 140 pkt, IF = 4,53)
2. Jachimowicz, P., Peng, R., Hüffer, T., Hofmann, T., Cydzik-Kwiatkowska, A. (2024). Tire materials disturb transformations of nitrogen compounds and affect the structure of biomass in aerobic granular sludge reactors. *Journal of Hazardous Materials*, 133223.
(MNiSW2024 = 200 pkt, IF = 12,2)
3. Jachimowicz, P., Mądzielewska, W., Cydzik-Kwiatkowska, A. (2024). Microplastics in granular sequencing batch reactors: impacts on pollutant removal dynamics and microbial community. *Journal of Hazardous Materials*, 476, 135061.
(MNiSW2024 = 200 pkt, IF = 12,2)
4. Jachimowicz, P., Nosek, D., Cydzik-Kwiatkowska, A. (2022). Chemical and microbiological changes on the surface of microplastic after long term exposition to different concentrations of ammonium in the environment. *Science of the Total Environment*, 830, 154784.
(MEiN2022 = 200 pkt, IF = 10,94)

2. Ocena merytoryczna

Jako, że podstawą dysertacji są artykuły naukowe opublikowane w bardzo dobrych czasopismach naukowych, w których przeszedł szczegółowy proces oceny i redakcji, w mojej recenzji skupię się głównie na ocenie przygotowanego autoreferatu.

Przedstawioną mi do recenzji dysertację Pana mgr inż. Piotra Jachimowicza oceniam jako bardzo dobrą. Doktorant podjął jeden z kluczowych problemów współczesnej inżynierii środowiska, jakim jest obecność mikroplastiku (MP) w ściekach oraz ich wpływ na ekosystemy i zdrowie.

Głównym celem badań przeprowadzonych przez Doktoranta było zbadanie skuteczności usuwania mikroplastików (MP) ze ścieków przy użyciu flokulantów i koagulantów oraz analiza wpływu rodzaju i stężenia MP na efektywność ich eliminacji. A także degradację produktów tych procesów, funkcjonowanie

biologicznego oczyszczania ścieków oraz strukturę mikrobiomu w reaktorach z tlenowym osadem granulowanym. Dodatkowo przeprowadzono ocenę wpływu poziomu związków azotowych w środowisku na rozwój mikroorganizmów zdolnych do zasiedlania powierzchni MP.

2.1. Struktura rozprawy i szczegółowa ocena merytoryczna jej poszczególnych części.

Autoreferat liczy łącznie 37 stron. Dysertację rozpoczyna szczegółowy spis treści, dzięki któremu można łatwo odnaleźć się w układzie pracy. Następnie umieszczono wykaz skrótów użytych w pracy oraz streszczenia w języku polskimi i angielskim.

W 6 stronicowym wstępie Doktorant wyczerpująco omówił problem masowej produkcji tworzyw sztucznych i konsekwencji jakie ona niesie. Zdefiniował pojęcie mikroplastiku, jego pochodzenia i skutków jego obecności dla zdrowia ludzi i ekosystemów. Następnie przedstawił obecne technologie oczyszczania ścieków i ich efektywność w usuwaniu mikroplastiku. Doktorant celnie zwrócił uwagę, iż poznanie ekologii mikroorganizmów zdolnych do degradacji tworzyw sztucznych jest kluczowe w ich późniejszym biotechnologicznym wykorzystaniu. Dalej opisał technologię z zastosowaniem tlenowego osadu granulowanego (AGS) w reaktorze sekwencyjnym (GSBR), którą „w porównaniu do konwencjonalnego osadu czynnego, wyróżniają niższe koszty eksploatacyjne, bardzo dobre właściwości sedymentacyjne biomasy, wysoka retencja biomasy, odporność biomasy na wysokie obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń oraz wysoka tolerancja na obecność substancji toksycznych w ściekach”. Zwiększone wydzielanie, przez bakterie zasiedlające granule, polimerów zewnątrzkomórkowych (EPS) bogatych w grupy funkcyjne może być stosowane do oczyszczania ścieków zawierających mikrozanieczyszczenia. We wcześniejszych pracach zespołu analizowano efektywność usuwania bisfenolu A (BPA) i stwierdzono, iż może on być zarówno metabolizowany jak i bezpośrednio biodegradowany. Wykazano również, „że obecność MP PE w ściekach dozowanych do GSBR stymulowała produkcję EPS i alginianu w granulach tlenowych, pogarszając właściwości sedymentacyjne biomasy i powodując jej wymywanie z reaktorów”.

Dalej Doktorant zauważa, iż podjęta w rozprawie tematyka jest również bardzo istotna w kontekście wyznaczenia norm prawnych i konieczności podjęcia konkretnych działań w celu rozwiązania problemu mikrozanieczyszczeń, wprowadzenia standaryzacji metod pomiaru MP i w konsekwencji zmiany układów technologicznych w oczyszczaniu ścieków.

Następnie Doktorant przedstawił szczegółowy cel i jasno określony zakres pracy oraz sformułował **3 hipotezy badawcze.**

- H1: zastosowanie koagulantów oraz flokulantów wpływa na efektywność usunięcia MP ze ścieków;
- H2: dawka oraz rodzaj MP wpływają na efektywność oczyszczania ścieków oraz strukturę gatunkową i aktywność mikroorganizmów w AGS;
- H3: stężenie azotu amonowego w środowisku wpływa na skład gatunkowy mikroorganizmów zasiedlających powierzchnię MP i potencjał metaboliczny mikrobiomu, w tym zdolność degradacji tworzyw sztucznych

Dalej opisano bardzo szczegółowo materiał i metody badawcze, odnosząc się do poszczególnych etapów pracy i publikacji, w których zostały opisane. Uważam to za bardzo cenne, szczególnie przy dysertacjach złożonych z publikacji naukowych, w których często metodyka opisana jest skrótowo. Tak szeroki opis metodyki pozwala ocenić biegłość Doktoranta w planowaniu i prowadzeniu pracy naukowej oraz docenić ogrom wykonanej pracy. Na szczególne podkreślenie zasługuje szeroki wachlarz metod laboratoryjnych i świetnie zaplanowane prace eksperymentalne.

Dalej Doktorant przedstawił wyczerpująco podsumowanie wyników i weryfikację hipotez badawczych. Na koniec sformułował **8 syntetycznych wniosków końcowych.**

- Osadniki wstępne mogą skutecznie usuwać MP dopływający ze ściekami do oczyszczalni, przy czym efektywność procesu wzrasta z wielkością cząsteczek MP; zastosowanie koagulantów i flokulantów znacząco wpływało na rozkład MP w toni ścieków oraz skuteczność usuwania MP (P1),
- Usuwanie MP ze ścieków w GSBR zachodziło głównie w wyniku akumulacji MP w biomase; najlepiej akumulowany był TM (P2, P3),
- Dawka i rodzaj MP wpływały na efektywność usuwania związków azotu i fosforu ze ścieków (P2, P3),
- Obecność MP w ściekach wpływała na aktywność i strukturę mikrobiologiczną AGS (P2, P3),
- Mikrobiom AGS efektywnie degradował zanieczyszczenia wypłukiwane z TM (P2),
- Długa ekspozycja MP na wysokie stężenie azotu amonowego powodowała zmiany morfologiczne oraz chemiczne powierzchni MP, świadczące o jego degradacji (P4),

- Stężenie azotu amonowego w środowisku wpływało na mikrobiom zasiedlający powierzchnię MP (P4),

- Na powierzchni MP rozwijają się mikroorganizmy potencjalnie patogenne, więc MP może służyć jako wektor zanieczyszczeń (P4).

Dalej umieszczono bibliografię wykorzystaną w dysertacji, zawierającą 74 pozycje literaturowe (w tym najnowszą pracę Doktoranta z 2024 roku) właściwie dobrane i zacytowane. Dobór literatury wyraźnie wskazuje, iż Doktorant doskonale orientuje się w literaturze przedmiotu.

Pracę kończą załączniki, w których umieszczono całe omawiane publikacje oraz oświadczenia autorów.

2.2. Uwagi i pytania problemowe

Po przeczytaniu dysertacji mam uwagę edytorską oraz kilka pytań szczegółowych, które mogą stanowić punkt wyjścia do dalszej dyskusji i chciałam poprosić Doktoranta o odpowiedź na nie podczas publicznej obrony.

Uwaga:

W spisie treści zaproponowałabym numerację rozdziałów co ułatwiłoby odnoszenie się do ich treści.

Pytania problemowe:

1. Jakie główne trudności napotykane są podczas monitorowania obecności mikroplastiku w środowisku wodnym i glebowym?
2. Czy metody badawcze zastosowane w pracy do analizy wpływu mikroplastiku na procesy oczyszczania ścieków mogą zostać wykorzystane do monitorowania i oceny wpływu na środowisko innych mikrozanieczyszczeń?
3. Zaproponowana w pracy technologia jest bardzo obiecująca. Chciałam zapytać czy Doktorant planuje dalsze badania tego zagadnienia i jeżeli tak to w jakim kierunku idą te prace?
4. Jakie konkretne działania modernizacyjne w istniejących oczyszczalniach ścieków, bazujące na wynikach Pana badań, mogłyby zostać wdrożone w celu zwiększenia efektywności usuwania mikroplastiku? Czy widzi Pan potencjalne bariery techniczne, ekonomiczne lub regulacyjne w ich realizacji?

WNIOSKI I KONKLUZJA KOŃCOWA

Podsumowując, oceniam przedstawioną mi do recenzji rozprawę doktorską Pana mgr inż. Piotra Jachimowicza jako bardzo dobrą. Potwierdza ona szeroką wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka oraz dowodzi bardzo dużej samodzielności w prowadzeniu badań naukowych.

Do **najważniejszych walorów** recenzowanej pracy zaliczam przede wszystkim aktualność, nowatorskość i znaczenie technologiczne podjętego tematu. Wykorzystanie zaawansowanych technik analitycznych, takich jak FTIR, analiza molekularna mikrobiomu oraz badania bioinformatyczne, podnosi wartość naukową pracy. Ponadto solidne podstawy metodyczne oparte na połączeniu wielu technik analitycznych i eksperymentalnych, pozwoliły Doktorantowi na przeprowadzenie badań na najwyższym światowym poziomie.

Niewątpliwą innowacyjnością pracy jest zastosowanie technologii granularnego osadu tlenowego (AGS) w reaktorach GSBR, jako perspektywicznej technologii do usuwania mikroplastiku. Wyniki pracy mają również istotne znaczenie aplikacyjne, szczególnie w kontekście modernizacji istniejących technologii oczyszczania ścieków. Praca może dostarczyć cennych wskazówek dla projektowania systemów bardziej skutecznych w usuwaniu mikroplastiku.

Potwierdzeniem mojej opinii są bardzo dobre publikacje naukowe stanowiące podstawę dysertacji opublikowane w wysoko punktowanych czasopismach naukowych oraz ogólny dorobek publikacyjny Doktoranta (łącznie 16 publikacji, indeks Hirscha - 8, wg bazy Scopus).

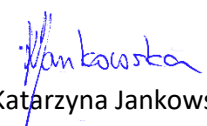
Sama dysertacja napisana i zredagowana jest bardzo przejrzysto, co pozwala ocenić rzetelność opracowania wyników i docenić ogrom włożonej pracy. Jasne i logicznie przedstawione hipotezy badawcze zostały zweryfikowane w sposób przekonujący. W mojej opinii układ i przejrzystość rozprawy może być wzorem dla prac doktorskich przygotowywanych na podstawie publikacji.

Na wyraźne podkreślenie zasługuje fakt, iż Doktorant był beneficjentem wielu programów naukowych. Był stypendystą Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej, dla wybitnych młodych uczonych. Był kierownikiem projektu pt. „Wpływ stężenia i rodzaju mikroplastiku na efektywność oczyszczania i strukturę biomasy w reaktorach z tlenowym osadem granulowanym”, konkurs Narodowego Centrum Nauki PRELUDIUM 19 projekt nr 2020/37/N/NZ9/02090, Program Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego „Regionalna Inicjatywa

Doskonałości”, 2019-2023, nr projektu 010/RID/2018/19, finansowanie otwartego dostępu do publikacji P1. Odbył także 3 staże naukowe: 6-miesięczny pobyt w Leibniz Institute of Polymer Research w Dreźnie w ramach Międzynarodowego programu stypendialnego Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) dla krajów Europy Środkowej i Środkowowschodniej, w Uniwersytecie Wiedeńskim staż finansowany w ramach „PROM – międzynarodowa wymiana doktorantów i kadry akademickiej”, Narodowa Agencja Wymiany Akademickiej (NAWA) oraz w Norwegian University of Life Sciences staż finansowany z funduszy Unii Europejskiej Erasmus+.

Wobec powyższego stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska spełnia wszystkie warunki określone w art. 192 ust 2 pkt 5 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2023.742 ze zm.) wobec czego wnoszę do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie o dopuszczenie Pana mgr inż. Piotra Jachimowicza do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno - technicznych w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

Jednocześnie ze względu na niezwykle istotność podjętego tematu, szeroki zakres opisanych w dysertacji badań, opublikowanych w bardzo dobrych i wysoko punktowanych czasopismach naukowych, potwierdzających biegłość Doktoranta w posługiwaniu się warsztatem naukowym i prowadzeniu dyskusji ***wnioskuję do Rady Dyscypliny o wyróżnienie pracy.***



Katarzyna Jankowska