



Łódź, 10.06.2025 r.

dr hab. inż. Anna Masek, profesor uczelni
Instytut Technologii Polimerów i Barwników
Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka
ul. Stefanowskiego 16, Łódź 90-537

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
mgr Mariusza Wróbla

pt. „Biodegradacja mikroplastików przez mikroorganizmy pochodzące ze środowiska naturalnego i antropogenicznego”

Podstawa: *Uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Nauki Chemiczne Wydziału Chemii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu z dnia 9.04.2025 r. oraz pismo Pani Dziekan Wydziału Chemii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, dr hab. Urszuli Kielkowskiej, prof. UMK.*

Podstawa prawna: *Zgodność z elementami uwzględnionymi w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r., poz. 478 z późn. zm.).*

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr Mariusza Wróbla została zrealizowana w Katedrze Chemii Środowiska i Bioanalitiky Wydziału Chemii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Praca została wykonana pod kierunkiem Pana dr. hab. Tomasza Kowalkowskiego, prof. UMK. Promotorem pomocniczym była Pani dr Sonia Szymańska z Katedry Mikrobiologii Wydziału Nauk Biologicznych i Weterynaryjnych Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. W recenzji przedłożonej do oceny rozprawy doktorskiej Pana mgr M. Wróbla wzięłam pod uwagę następujące kryteria: trafność podjętego problemu badawczego, innowacyjność prowadzonych badań, adekwatność zastosowanych metod badawczych oraz umiejętność merytorycznej analizy i naukowej dyskusji uzyskanych wyników w odniesieniu do aktualnego stanu wiedzy. Powszechne zastosowanie wyrobów polimerowych w życiu codziennym sprawia, że stanowią one jedno z głównych źródeł mikrocząstek obecnych w środowisku.



Ich długotrwała obecność oraz podatność na mechaniczne i chemiczne procesy degradacji i starzenia prowadzą do ciągłego generowania mikroplastików o rozmiarach od 1 μm do 5 mm. Mikroplastiki to, zgodnie z definicją, mikrofragmenty łańcuchów polimerowych powstające w wyniku rozpadu odpadów z tworzyw sztucznych. Coraz częściej wykrywane są w różnych komponentach środowiska: w wodzie pitnej, glebie, żywności, a nawet w powietrzu. Coraz więcej dowodów wskazuje na to, że mikroplastiki mogą przedostawać się do ludzkiego organizmu zarówno w wyniku bezpośredniego spożycia, jak i drogą inhalacyjną poprzez wdychanie zanieczyszczonego powietrza. Naukowcy z całego świata badają nie tylko obecność tych cząstek w środowisku, ale także ich potencjalny wpływ na zdrowie człowieka, w tym zdolność do przenoszenia toksycznych substancji chemicznych oraz zanieczyszczeń mikrobiologicznych. Wyniki takich badań są kluczowe dla oceny ryzyka związanego z codziennym kontaktem organizmów żywych z produktami degradacji wyrobów polimerowych. Pozwalają one również opracowywać skuteczne metody ograniczania zanieczyszczeń oraz tworzyć odpowiednie regulacje dotyczące produkcji i utylizacji polimerów syntetycznych. Wiedza zdobyta w wyniku tych badań wspiera rozwój nowoczesnych technologii filtracyjnych i oczyszczających, które mogą zmniejszyć obecność mikroplastików w środowisku. Rosnąca świadomość społeczna w tej dziedzinie może także przyczynić się do bardziej odpowiedzialnego korzystania z tworzyw sztucznych na co dzień. Przedłożona do recenzji rozprawa porusza temat utylizacji mikroplastiku, obejmując analizę polimerów bazowych, takich jak polietylen (PE), polipropylen (PP), polichlorek winylu (PVC), poliwęglan (PC) oraz biotworzywo: poli(kwas mlekowy) (PLA) z wykorzystaniem mikroorganizmów. Tematyka ta niewątpliwie należy do kluczowych obszarów badań nad ograniczaniem negatywnego wpływu syntetycznych polimerów na zdrowie człowieka i funkcjonowanie ekosystemów. Zastosowanie mikroorganizmów w procesie biodegradacji mikrofragmentów z odpadów polimerowych może stanowić istotny element strategii przeciwdziałania rosnącemu problemowi zanieczyszczenia środowiska tworzywami sztucznymi. To właśnie kluczowe zagadnienia w obrębie wyżej wspomnianego obszaru, stanowią domenę recenzowanej dysertacji doktorskiej Pana dr Mariusza Wróbla.

Oceniana rozprawa doktorska została przedstawiona na 128 stronach maszynopisu w języku polskim. Tytuł rozprawy został sformułowany poprawnie i odpowiada przedstawionym w ramach pracy результатам badań. Praca została podzielona na trzynaście części. W pierwszej części Autor przedstawił wstęp literaturowy do podjętego tematu, cel badań, hipotezy badawcze oraz metodykę badań.

Kolejnym ważnym punktem tej części pracy jest Wskazanie osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę postępowania doktorskiego. W skład tej bardzo istotnej części pracy przedstawionej na 19 stronie maszynopisu wchodzi: (a) tytuł osiągnięcia naukowego; (b) wykaz jednotematycznych artykułów naukowych stanowiących osiągnięcia naukowe z określonym IF oraz liczbą punktów wg listy MNiSW; (c). W tej części Doktorant przedstawił dwie publikacje stanowiące podstawę rozprawy:

- Wróbel, M., Szymańska, S., Kowalkowski, T., & Hrynkiewicz, K. (2023). Selection of microorganisms capable of polyethylene (PE) and polypropylene (PP) degradation. *Microbiological Research*, 267, 127251. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127251> (IF=6,1; pkt. MNiSW=100).
- Wróbel, M., Deja-Sikora, E., Hrynkiewicz, K., Kowalkowski, T., & Szymańska, S. (2024). Microbial allies in plastic degradation: specific bacterial genera as universal plastic-degraders in various environments. *Chemosphere*, 363, 142933. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142933> (IF=8,1; pkt. MNiSW=140).

Rozprawa doktorska poświęcona biodegradacji mikroplastików przez mikroorganizmy stanowi istotny wkład w rozwój biotechnologii środowiskowej, odpowiadając na jedno z kluczowych wyzwań wspólnej nauki - nadmierne zanieczyszczenie środowiska naturalnego odpadami polimerowymi. Autor pracy postawił sobie ambitny cel: selekcję i identyfikację mikroorganizmów zdolnych do rozkładu polimerów oraz zrozumienie chemicznych i biologicznych mechanizmów leżących u podstaw tego procesu.

Na uwagę zasługuje kompleksowe podejście badawcze, obejmujące zarówno aspekty mikrobiologiczne, jak i czysto chemiczne. Kluczowym aspektem pracy było nie tylko wyizolowanie mikroorganizmów o potencjale do przyspieszenia biodegradacji, ale także szczegółowa analiza zmian strukturalnych w obrębie tworzyw sztucznych, wykonana z wykorzystaniem zaawansowanych technik analitycznych, spektroskopii FTIR oraz mikroskopii SEM oraz dyfrakcji laserowej. Zastosowanie tych metod pozwoliło na precyzyjne zidentyfikowanie procesów takich, jak zrywanie łańcuchów polimerowych, utlenianie lub ich hydroliza, co dostarcza cennych informacji na temat przebiegu biodegradacji na poziomie molekularnym. Przedstawione w pracy Doktoranta badania są dużym wkładem do badań nad globalnym mikrobiomem i jego potencjałem biotechnologicznym. Hipotezy zawarte w rozprawie zostały sformułowane klarownie, odpowiadając na aktualne wyzwania związane z degradacją tworzyw sztucznych. Odnoszą się do kluczowych aspektów, takich, jak wpływ rodzaju polimeru i mikroorganizmów na szybkość biodegradacji, zależność między poziomem zanieczyszczenia mikroplastikami, a bioróżnorodnością mikrobiomu oraz obecność taksonów charakterystycznych dla tzw. plastisfery. Na uwagę zasługuje także hipoteza dotycząca skuteczności metody selektywnej izolacji mikroorganizmów degradujących polimery, która ma duże znaczenie praktycznym dla ochrony środowiska. Całość koncepcji badawczej jest dobrze przemyślana, interdyscyplinarna i ma przełomowe znaczenie wprowadzając nowe aspekty utylizacji produktów degradacji wyrobów polimerowych w środowisku naturalnym. Opracowane badania stanowią duży wkład w zakresie badań podstawowych w dyscyplinie nauk chemicznych oraz mikrobiologicznych. W pracy zastosowano szerokie spektrum narzędzi badawczych, w tym: analizy fizykochemiczne wody, materiału glebowego oraz osadów ściekowych. Zostały użyte również metody z zakresu bioinformatyki i analiz metagenomicznych. Kluczową część stanowiły jednak badania dotyczące izolacji i identyfikacji mikroorganizmów odpowiedzialnych za przyspieszenie rozkładu polimerów. Sam przebieg degradacji materiałów polimerowych analizowano i monitorowano na podstawie spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fouriera (FTIR).



Oceniana rozprawa doktorska została przedstawiona w języku polskim na 128 stronach maszynopisu. Tytuł rozprawy został trafnie sformułowany i pozostaje w pełni spójny z uzyskanymi wynikami badań przedstawionymi w pracy. Przedstawiona dysertacja nie ma klasycznego charakteru - stanowi raczej spójną klamrę łączącą opublikowaną publikację naukową z rozszerzonym opisem badań niepublikowanych, tworząc wartościową całość o charakterze interdyscyplinarnym. Brakuje w niej typowego, szerokiego przeglądu literatury, jednak należy podkreślić rozszerzoną część eksperymentalną nadającą nowatorski charakter pracy. Rozprawa napisana jest poprawnym językiem polskim, a jej lektura jest płynna i interesująca. Tekst jest dobrze udokumentowany, klarowny i stanowi wartościowy punkt odniesienia dla dalszych badań nad bioremediacją tworzyw sztucznych. Pod względem edytorskim rozprawa doktorska została przygotowana starannie i zdecydowanie zasługuje w tej kwestii na pozytywną ocenę. Na szczególne uznanie zasługuje kompleksowe podejście badawcze, łączące zaawansowane metody molekularne, hodowlane oraz fizykochemiczne, pozwalające na identyfikację mikroorganizmów zdolnych do degradacji wybranych popularnych polimerów. Na początku rozprawy Doktorant przedstawił streszczenie w języku polskim i angielskim, zgodnie z obowiązującymi standardami redakcyjnymi. We wstępie, zamieszczonym na stronach 13-18, w sposób merytoryczny, klarowny przedstawiono tło naukowe pracy, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki związanej z obecnością mikroplastików w środowisku. Omówiono zagadnienia dotyczące szkodliwego generowania odpadów polimerowych, mechanizmów ich rozkładu oraz czasu degradacji w warunkach środowiskowych. W dalszej części pracy sformułowano cel badawczy oraz pięć hipotez roboczych, odnoszących się do zależności pomiędzy typem zastosowanego polimeru i obecnością mikroorganizmów, a poziomem zanieczyszczenia mikroplastikami, strukturą mikrobiomu oraz przebiegiem procesów degradacyjnych. Na rysunku nr 3 Doktorant przedstawił graficzną ilustrację koncepcji badawczej pracy, która w znacznym stopniu przyczynia się do zwiększenia przejrzystości przedstawionych założeń oraz ułatwia zrozumienie ogólnej struktury i celów badań.

Pan M. Wróbel szczegółowo przedstawił zastosowane techniki pomiarowe, obejmujące wszystkie etapy pracy eksperymentalnej. Opisano m.in. procedury przygotowania materiału polimerowego, pobierania próbek środowiskowych, analizy parametrów fizykochemicznych próbek wody, materiału glebowego oraz osadu ściekowego. Uwzględniono również metody izolacji DNA metagenomowego, analizy bioinformatycznej, a także izolacji i selekcji mikroorganizmów zdolnych do degradacji polimerów oraz ich identyfikacji. Szczegółowo opisano również spektrofotometryczną analizę powierzchni badanych tworzyw pod kątem wyznaczenia indeksu karbonylowego (CI) odwołując się do znanych danych literaturowych. Same polimery oraz ich produkty degradacji zostały przeanalizowane z zastosowaniem klasycznych metod badawczych, takich jak skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM), spektroskopia w podczerwieni (FTIR) oraz dyfrakcja laserowa. Metodyka badawcza została opracowana prawidłowo i obejmuje klasyczne spektrum analiz fizykochemicznych próbek środowiskowych, w tym materiału glebowego oraz osadu ściekowego.



Od strony 36 rozprawy rozpoczyna się najobszerniejszy rozdział, poświęcony prezentacji wyników badań nieopublikowanych, stanowiących uzupełnienie dwóch opublikowanych manuskryptów, które są podstawą niniejszego doktoratu. Cała koncepcja badawcza została przejrzysto i logicznie podzielona na dwie główne części tematyczne. Pierwsza część dotyczy selekcji mikroorganizmów zdolnych do biodegradacji wybranych polimerów, ze szczególnym uwzględnieniem analizy zmian strukturalnych PE i PP po 12-tygodniowej inkubacji z mikrobiomem bakteryjnym i grzybowym pochodzącym z materiału glebowego składowiska odpadów Miejskiego Przedsiębiorstwa Oczyszczania Sp. z o.o. w Toruniu. Na podstawie tych badań wyizolowano i zidentyfikowano łącznie 27 szczepów mikroorganizmów, w tym: 14 szczepów bakteryjnych oraz 13 szczepów grzybów. W drugiej części pracy badawczej autor rozszerzył zakres analiz, obejmując trzy różne środowiska (gleba, osady ściekowe, woda rzeczna) oraz cztery rodzaje polimerów (PP, PVC, PLA, PC), wprowadzając jednocześnie metody analizy metagenomowej. Na podstawie danych fizykochemicznych oraz wyników niemetrycznej analizy skalowania wielowymiarowego (NMDS) wykazano zależności między strukturą mikrobiomu a zmiennymi środowiskowymi. W celu poprawy czytelności graficznej ograniczono liczbę OTU do 200 najbardziej licznych jednostek, co nie wpłynęło na rozmieszczenie punktów reprezentujących badane środowiska ani wektorów zmiennych środowiskowych w przestrzeni statystycznej.

Zastosowana w pracy metodyka badawcza cechuje się wysokim poziomem kompleksowości, umożliwiając precyzyjną identyfikację mikroorganizmów zdolnych do biodegradacji tworzyw sztucznych w warunkach zbliżonych do środowisk naturalnych. Koncepcja eksperymentu, oparta na inkubacji wybranych polimerów (PE, PP, PVC, PLA, PC) z materiałem środowiskowym pochodzącym z trzech różniących się stopniem zanieczyszczenia matryc (gleba, osad ściekowy, woda rzeczna), pozwoliła na selekcję szczepów mikroorganizmów zdolnych do ich rozkładu.

Kompleksowe zastosowanie technik molekularnych oraz analiz bioinformatycznych (QIIME, LEfSe,) umożliwiło ocenę różnorodności taksonomicznej mikrobiomów, natomiast analiza spektroskopowa FTIR i mikroskopia SEM dostarczyły danych dotyczących zmian strukturalnych i powierzchniowych polimerów. Wysoka standaryzacja procesu hodowli (m.in. selekcja antybiotykowa, pasaż eliminujący mikroorganizmy niezdolne do degradacji tworzyw, kontrola fizykochemicznych parametrów środowiskowych) zwiększa wiarygodność uzyskanych wyników. Na szczególną uwagę zasługuje oryginalne połączenie analizy metagenomowej z tradycyjną izolacją hodowlaną, co pozwoliło na identyfikację rzadkich, ale funkcjonalnie istotnych taksonów. Całość koncepcji badawczej została oparta na odpowiednio dobranych analizach statystycznych, co pozwala na wiarygodną interpretację uzyskanych danych eksperymentalnych. Przyjęte podejście badawcze można uznać za dobrze przemyślane, aktualne i skuteczne narzędzie identyfikacji oraz funkcjonalnej oceny mikroorganizmów zaangażowanych w biodegradację tworzyw sztucznych.



Wykonane badania dostarczyły istotnych informacji na temat wpływu struktury mikrobiomu na efektywność biodegradacji polimerów w różnych środowiskach (gleba pochodząca ze składowiska, osady ściekowe, woda rzeczna). Badania metagenomowe ujawniły, że dominującymi gromadami grzybów w badanych próbach były Ascomycota i Basidiomycota. Szczególnie interesujące było zidentyfikowanie rzadkich, ale wysoce skutecznych prodegradantów, takich jak bakterie *Klebsiella*, *Serratia*, *Ancylobacter* oraz grzyby z gatunków *Microdochium bollei*, *Neosetophoma samarorum* i *Clonostachys rosea*. Analiza funkcjonalna wskazała, że gleby oraz osady ściekowe wykazują wyższy potencjał degradacyjny niż woda rzeczna, co jest związane z niższą różnorodnością mikrobiologiczną oraz obecnością biofilmów ułatwiających degradację. Obserwacje te zostały potwierdzone analizą SEM i FTIR, które wykazały zmiany strukturalne w badanych polimerach - największe w przypadku PLA i PC, a najtrudniejsze do degradacji okazało się PP. Zróżnicowane mechanizmy degradacji PE i PP między bakteriami, a grzybami zostały szczegółowo scharakteryzowane. Bakterie, szczególnie *Pseudomonas aeruginosa* i *Serratia marcescens*, wykazały zdolność do produkcji biosurfaktantów ułatwiających degradację PP. Z kolei grzyby, poprzez rozwinięty aparat strzępkowy i produkcję enzymów oksydacyjnych, skuteczniej degradowały PE. Wyniki badań wskazują, że warunki środowiskowe, takie jak dostępność składników odżywczych, pH czy zasolenie, mają istotny wpływ na rozwój mikroorganizmów zdolnych do degradacji mikroplastików. Praca dostarcza cennych informacji praktycznych, mogących wspierać strategię bioremediacji oraz gospodarki odpadami w kontekście minimalizowania zanieczyszczenia mikroplastikami.

Podsumowując, Autor pracy wspierany wiedzą i doświadczeniem Promotorów dokonał wszechstronnej analizy zależności między strukturą mikrobiomu, a procesem biodegradacji polimerów, przyczyniając się do lepszego zrozumienia mechanizmów degradacji i możliwości ich wykorzystania zarówno do rozwoju prac badawczych, jak i potencjalnej komercjalizacji rozwiązań. Najważniejsze osiągnięcia badawcze Doktoranta, przedstawione w recenzowanej rozprawie doktorskiej, pozwoliłam sobie podsumować w postaci następujących punktów:

- Zidentyfikował środowiska naturalne o wysokim potencjale biodegradacyjnym.
- Wyznaczył zależność między strukturą mikrobiomu a zdolnością do biodegradacji.
- Wyodrębnił liczne szczepy bakterii i grzybów zdolnych do rozkładu polimerów.
- Stwierdził odmienne powinowactwo bakterii i grzybów do różnych polimerów.
- Opisał, jak warunki środowiskowe wpływają na efektywność biodegradacji polimerów.
- Potwierdził na podstawie analizy FTIR i SEM „bio”-degradację na poziomie strukturalnym i powierzchniowym badanych tworzyw.
- Stwierdził, że polimery mogą działać, jak czynniki selekcyjne dla określonych mikroorganizmów.
- Opisał nietypową zależność, że niższa różnorodność mikrobiomu nie oznacza niższej efektywności biodegradacji.
- Znacząco poszerzył dostępne informacje literaturowe w zakresie rozwoju strategii bioremediacji mikroplastików.



Charakterystyka metod badawczych oraz materiałów i odczynników chemicznych stosowanych w pracy jest wyjątkowo precyzyjnie opisana, zawiera wszystkie niezbędne szczegóły potrzebne do właściwego zrecenzowania poprawności i adekwatności doboru materiałów oraz technik badawczych w świetle podjętego przez Doktoranta problemu badawczego. Uważam, że na podstawie uzyskanych rezultatów badań Doktorant wyciągnął trafne i konstruktywne wnioski. Wykonane analizy, zarówno eksperymentalne, jak i bioinformatyczne, zostały rzetelnie zaplanowane i wykonane, a ich interpretacja świadczy o głębokim zrozumieniu złożoności procesów biodegradacji tworzyw sztucznych. Według recenzenta, uzyskane wyniki istotnie wzbogacają aktualny stan wiedzy w zakresie potencjału środowiskowego mikrobiomu w rozkładzie polimerów oraz wpływu cech środowiska na strukturę i funkcję społeczności mikroorganizmów. Takie dane mają kluczowe znaczenie w kontekście poszukiwania biologicznych metod ograniczania zanieczyszczenia tworzywami sztucznymi oraz rozwoju biotechnologii środowiskowej. Proponowane przez Doktoranta podejście, łączące analizę metagenomiczną z hodowlaną selekcją szczepów, może w przyszłości zostać wykorzystane w praktyce, m.in. w projektowaniu bioaktywnych systemów do biodegradacji tworzyw sztucznych w warunkach rzeczywistych. Opracowane rozwiązania mają potencjał aplikacyjny i mogą stanowić punkt wyjścia dla dalszych prac wdrożeniowych w obszarze bioremediacji odpadów polimerowych. Kolejnym ważnym punktem tej części pracy jest Wskazanie osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę postępowania doktorskiego. W skład tej bardzo istotnej części pracy wchodzi wykaz artykułów naukowych stanowiących osiągnięcia naukowe z określonym IF oraz liczbą punktów wg listy MNiSW. Pan mgr Mariusz Wróbel wykazał współautorstwo w 2 publikacjach o zasięgu międzynarodowym i wysokim wskaźniku IF, np. *Microbiological Research* (IF=6,1; pkt. MNiSW=100) oraz *Chemosphere* (IF=8,1; pkt. MNiSW=140).

Dysertacja doktorska zawiera jednak pewne drobne błędy edytorskie i stylistyczne (np. brak znaków interpunkcyjnych, błędy literowe i stylistyczne, terminologiczne). Wyżej wymienione uwagi lub komentarze są jedynie drobnymi sugestiami i proszę, aby Doktorant odniósł się podczas publicznej obrony jedynie do najistotniejszych kwestii. Ponadto, pozwolę sobie w tym miejscu wskazać kilka kwestii dyskusyjnych lub problematycznych, a wynikają one z obowiązków recenzenta i świadczy pośrednio o wnikliwym zapoznaniu się z pracą:

- Przykłady błędów edytorskich zauważonych w rozprawie obejmują m.in. liczne powtórzenia słów takich jak „spadek” lub „przeprowadzić”, a także niefortunne sformułowania, np. na stronie 55: „PLA badano pasmo liczbie falowej około 1749 cm^{-1} ”, które wymaga pewnej korekty językowej.
- Proszę o doprecyzowanie, w jaki sposób dobrano narzędzia analityczne zastosowane do badania postępu degradacji materiałów polimerowych?.
- Proszę o rozwinięcie myśli ze strony 15 dysertacji:

„W przypadku poliwęglanów aromatycznych, obecność pierścieni benzenowych i czwartorzędowych atomów węgla ($-O-C(O)-O-$) bezpośrednio wpływa na ich znacznie niższą biodegradowalność.” oraz „ Kolejną grupą polimerów są poliestry, do których należą badane poliwęglany (PC) i kwas polimlekowy (PLA).

Ten ostatni jest związkiem liniowym, który wykazuje zbliżone właściwości tradycyjnych, syntetycznych tworzyw sztucznych, zachowując przy tym pełną biodegradowalność (Nowak i Pająk, 2010).”

Oraz ze strony numer 67: „W przypadku PLA i PC obecność grup karbonylowych umożliwia łatwiejszy i szybszy dostęp dla mikroorganizmów, wchodzącym w interakcję z tymi polimerami. Zatem rozpad tych grup powoduje spadek wartości CI (Zhang i in., 2022a)”.

- W tabeli numer 5 nie są czytelnie opisane skróty, których wybranych pasm dotyczą wartości, pomimo pewnego uzupełnienia w tekście.

„Tabela 5. Procentowe wartości zmian intensywności wybranych pasm badanych polimerów.”- strona 55.

- Komentarz i prośba o odniesienie się do wniosku ze strony numer 69 rozprawy: Jakie inne właściwości polimerów Doktorant mógłby wskazać, jako istotne pod kątem analizy efektywności biodegradacji?. We wniosku wskazano jedynie hydrofobowość.
- Bardzo ciekawy wniosek ze strony numer 70: „Wyniki sugerują, że środowiska o wyższym poziomie zanieczyszczenia polimerami stwarzają warunki do selekcji 69 mikroorganizmów zdolnych do degradacji tworzyw sztucznych.”
Proszę jednak o pogłębioną dyskusję w tej kwestii łącząc wiedzę mikrobiologiczną i chemiczną.
- Przedstawiono zbyt ogólne wnioski na temat potencjału biotechnologicznego.
- Jakie konkretne aplikacje przemysłowe są możliwe na podstawie uzyskanych wyników?. Czy istnieją dane dotyczące stabilności enzymów, skalowalności procesów lub kosztów?

Wymienione powyżej komentarze są symboliczne i nie umniejszają mojej bardzo pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy. Z pewnością przygotowanie rozprawy było efektem intensywnej i systematycznej pracy Doktoranta. Z pełnym przekonaniem mogę stwierdzić, że rozprawa ta wyróżnia się we wszystkich analizowanych aspektach. Dotychczasowe wyniki badań potwierdzają wysoki potencjał aplikacyjny procesów biodegradacji tworzyw sztucznych z udziałem mikroorganizmów, zwłaszcza w zakresie rozwijania zrównoważonych strategii bioremediacji i gospodarki odpadami. Opisywane prace badawcze są wyjątkowo istotne dla przyszłości przemysłu materiałowego i ochrony środowiska. Przedłożona rozprawa wnosi istotne nowości naukowe, m.in. w zakresie identyfikacji szczepów zdolnych do rozkładu różnych typów polimerów oraz oceny ich aktywności degradacyjnej w zróżnicowanych warunkach środowiskowych. Takie dane mogą w przyszłości przyczynić się do opracowania biologicznych systemów wspomagających oczyszczanie środowisk zanieczyszczonych mikroplastikami.



Na koniec, chciałabym pokrótce podsumować dotychczasową całkowitą aktywność naukową Pana mgr Mariusza Wróbla. Dorobek naukowy wyrażony jest w postaci współautorstwa w 2 publikacjach naukowych oraz 4 aktywnych udziałów w konferencjach krajowych, w tym 1 wygłoszonego referatu. W dorobku naukowym należy wymienić, że badania do pracy zostały sfinansowane ze środków: Universitas Copernicana Thoruniensis in Futuro- modernizacja Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w ramach zintegrowanego Programu Uczelni (POWR.03.05.00-00-Z302/17-00-2017 r.). Pan M. Wróbel ma w swoim dorobku naukowym również nagrodę za zajęcie III miejsca w konkursie na najlepszą prezentację w VII Ogólnopolskim Sympozjum Mikrobiologicznym “Metagenomy różnych środowisk”. Podsumowując, chciałabym wyraźnie podkreślić imponujący wkład Pana mgr Mariusza Wróbla w rozwój dyscypliny nauk chemicznych i biologicznych, szczególnie w obszarze badań nad biodegradacją tworzyw sztucznych i zastosowaniem mikroorganizmów w bioremediacji. Sposób zaplanowania eksperymentów, ich konsekwentna realizacja, a także klarowna prezentacja wyników i ich rzeczowa, interdyscyplinarna analiza świadczą o wysokim poziomie kompetencji badawczych Doktoranta.

Na podstawie oceny pracy doktorskiej Pana mgr Mariusza Wróbla, zatytułowanej „Biodegradacja mikroplastików przez mikroorganizmy pochodzące ze środowiska naturalnego i antropogenicznego” stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wszystkie wymogi ustawowe i zwyczajowe stawiane pracom doktorskim. Wniosuję do **Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Wydziału Chemii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu** o przyjęcie pracy i dopuszczenie jej do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Biorąc pod uwagę istotny wkład w rozwój uprawianej przez Doktoranta dyscypliny, ponadprzeciętną jakość i poziom naukowy pracy doktorskiej oraz dorobek naukowy Kandydata wniosuję o wyróżnienie tej rozprawy. Uzasadniając wniosek o wyróżnienie, chciałabym podkreślić, że wyniki stanowiące odniesienie do zakresu pracy zostały opublikowane w renomowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Ponadto sama praca doktorska wnosi znaczący i cenny wkład w postaci nowych informacji oraz potencjalnych rozwiązań globalnych problemów związanych z utylizacją mikroplastiku przy wykorzystaniu wyselekcjonowanych mikroorganizmów.

Dr hab. inż. Anna Masek, profesor uczelni