

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr Kamila Artura Majewskiego

**pt. „Opracowanie metody badawczej do oceny degradacji mikroplastiku
z pasa nadbrzeżnego Morza Bałtyckiego”**

Promotor: dr hab. inż. Sylwia Myszograj, prof. UZ

Promotor pomocniczy: dr inż. Ewelina Płuciennik-Koropczuk

1. Przedmiot recenzji i podstawa jej opracowania

Recenzja dotyczy rozprawy doktorskiej pt. „Opracowanie metody badawczej do oceny degradacji mikroplastiku z pasa nadbrzeżnego Morza Bałtyckiego”, wykonanej przez Pana mgr Kamila Majewskiego w Instytucie Inżynierii Środowiska na Wydziale Nauk Inżynieryjno-Technicznych Uniwersytetu Zielonogórskiego. Praca obejmuje 87 stron tekstu, w tym 2. tabele oraz 42 rysunki. Uzupełnienie rozprawy stanowi wykaz literatury obejmujący 255 pozycji. Jej istotną częścią jest obszerny Załącznik nr 1, zawierający Karty oceny prób środowiskowych oraz Załącznik nr 2, w którym przedstawiono Arkusz klasyfikacji próbek.

Podstawą do przygotowania recenzji było pismo Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Uniwersytetu Zielonogórskiego dr hab. inż. Sylwii Myszograj, prof. UZ z dnia 13.03.2025 (IIŚ-S.511.1.7.2025) wraz z towarzyszącymi mu dokumentami.

2. Charakterystyka i ocena rozprawy

2.1. Ocena zasadności podjęcia tematu

Występowanie mikroplastiku w środowisku oraz powiązane z tym zagadnienia należą w ostatnich latach do wiodących obszarów badawczych. Doniesienie literaturowe wskazują, że ten rodzaj mikrozanieczyszczeń można już znaleźć we wszystkich komponentach

środowiska. Dokumentują również, że mikroplastik wykazuje zdolności do adsorpcji szerokiego spektrum zanieczyszczeń, stanowiąc niejako ich „nośnik” i intensyfikując ich migrację. Dodatkowo jest dobrym podłożem do rozwoju błony biologicznej, w której mogą występować mikroorganizmy chorobotwórcze, a co za tym idzie występowanie mikroplastiku w środowisku to jedna z dróg rozprzestrzeniania się drobnoustrojów chorobotwórczych.

Mikroplastik jest zatem zanieczyszczeniem, które ma istotny wpływ na żywe organizmy, a zarazem, ze względu na powszechne stosowanie tworzyw sztucznych w przemyśle i w gospodarstwach domowych, jest głównym zanieczyszczeniem występującym w środowisku. Warto przy tym podkreślić, że tworzywa sztuczne uważa się, że strategiczny materiał globalnej gospodarki i w najbliższych latach nie można się spodziewać zmiany tej tendencji.

Pomimo dużej liczby publikacji dotyczących zagadnień związanych z występowaniem mikroplastiku w środowisku nadal nie opracowano ujednoliconych procedur, które regulowałyby szeroko pojęty monitoring, uwzględniający pobór prób, metodykę analityczną pozwalającą na charakterystykę i identyfikację mikroplastiku, czy ocenę jego degradacji.

Doktorant dostrzegł ten lukę i podjął się zadania, którego celem było opracowanie metody badawczej do oceny stopnia i formy degradacji, a także podatności na rozkład mikroplastiku.

Oceniana rozprawa rozszerza wiedzę dotyczącą degradacji mikroplastików w środowisku, a w szczególności występujących w morskich pasach nadbrzeżnych. Ma ona również charakter użytkowy, wnosząc elementy, które mogą pomóc w opracowaniu skutecznych metod usuwania mikroplastiku oraz rozwiązań przyczyniających się do ograniczenia produkcji i użycia tworzyw sztucznych ulegających łatwo rozpadowi i do przedostawania się mikrocząstek do środowiska.

Wybór tematyki rozprawy uznać należy zatem za trafny i wychodzący naprzeciw oczekiwaniom kierowanym pod adresem środowisk naukowych.

2.2. Charakterystyka rozprawy

Praca została podzielona na 9 rozdziałów. Rozdział 1. jest wstępem do zasadniczej części pracy, w którym można znaleźć jasno sformułowane uzasadnienie podjętego w dysertacji tematu. W kolejnym rozdziale w wyczerpujący a zarazem przejrzysty sposób omówiono kryteria charakteryzujące mikroplastik. Poszczególne podrozdziały poświęcono takim zagadnieniom jak: skład chemiczny, rozmiar, stan skupienia, rozpuszczalność, kształt,

kolor i pochodzenie. Ciekawe zastawienie można znaleźć na rysunku 1, przedstawiającym kategoryzację drobin tworzyw sztucznych ze względu na ich rozmiar stosowaną przez różne grupy badawcze. Zestawienie opiera się na danych literaturowych z lat 2004 – 2024.

Rozdział 3 Doktorant poświęcił charakterystyce wybranych tworzyw sztucznych z uwzględnieniem ich podatności na degradację. Został on przygotowany na podstawie przeglądu literatury oraz danych pozyskanych od firm wytwarzających tworzywa sztuczne. Omówiono charakterystykę 25 materiałów, w tym poziom odporności na uderzenia i ścieranie, działanie temperatury, kwasów, zasad, olejów, rozpuszczalników organicznych, promieniowania UV oraz innych czynników atmosferycznych (wilgotność, ruch powietrza, ciśnienie atmosferyczne). Tworzywa sztuczne ujęte w tym rozdziale to: akrylonitryl-styren-akrylan (ASA), alkohol etylowinylowy (EVOH), bromowany poliizobuten (BPIP), etylen-co-octan winylu (EVA), fluorowany etyleno-propylen (FEP), kauczuk akrylonitrylo-butadienowy (BR), kauczuk butadienowo-akrylonitrylowy (NBR), kauczuk etylenowo-propylenowy (EPR/EPDM/EPM), kopolimer blokowy styrenowo-butadienowy (SBC), neopren (CR), polichlorek winylu (PVC), chlorotrifluoroetylen (ECTFE), politetraftalan etylenu (PET), nylon 6 (PA6), polietylen chlorosulfonowy (CSPE), polietylen niskiej gęstości (LDPE), polietylen o dużej gęstości (PE-HD), polimetakrylan metylu (PMMA), polipropylen ataktyczny (PPA), polistyren ataktyczny (PSA), poliuretan poliestrowy (PUR), polytetrafluoroetylen (PTFE), terpolimer akrylonitrylo-butadieno-styrenowy (ABS), tygon polimer B-44-4X oraz żywica alkidowa. Dane przedstawione w rozdziale 3 zostały wykorzystane do opracowania bazy danych na temat poszczególnych materiałów, stanowiącej istotny element narzędzia badawczego, które jest efektem przedmiotowej dysertacji.

Kolejny rozdział pracy został zatytułowany „Monitoring próbek mikroplastiku na plażach referencyjnych”. Omówiono w nim procedury pobierania próbek w strefach przybrzeżnych, wskazując ich wady i zalety. Do głównych strategii zaliczono: selektywne pobieranie próbek, pobieranie próbek zbiorczych oraz pobieranie próbek o zmniejszonej objętości. Ponadto w rozdziale tym, na podstawie czterech instrukcji technicznych, zaprezentowano najważniejsze techniki pobierania mikroplastiku ze stref przybrzeżnych. Stanowiły one podstawę wyboru metodyki poboru próbek środowiskowych. Pragnę w tym miejscu podkreślić, że Doktorant przygotował tabelaryczne zestawienie tychże techniki zawierające informacje na temat: wyboru plaż, jednostki próbkowania, metody pobierania próbek oraz terminu pobierania próbek.

Logicznym następstwem przeglądu literatury jest uzasadnienie podjęcia tematyki badawczej, sprecyzowanie celu naukowego rozprawy oraz trzech hipotez badawczych. Cel pracy stanowiło „opracowanie metody badawczej do oceny stopnia i formy degradacji, a także podatności na rozkład mikroplastiku.” Poniżej cytuję postawione hipotezy badawcze:

- 1) „Do oceny stopnia i podatności na degradację mikroplastiku konieczna jest zaawansowana mikroskopowa analiza powierzchni, umożliwiająca identyfikację i kwantyfikację uszkodzeń mechanicznych.”
- 2) „Możliwe jest opracowanie metody badawczej, która pozwala na określenie stopnia i formy degradacji mikroplastiku, integrując informacje o właściwościach tworzyw sztucznych, kształcie próbki, nasyceniu koloru, obecności biofilmu oraz wyniki analizy uszkodzeń mechanicznych.”
- 3) „Czynniki środowiskowe (promieniowanie UV, uszkodzenia mechaniczne, substancje chemiczne i mikroorganizmy) w różnym stopniu wpływają na degradację mikroplastiku”.

Kolejne dwa rozdziały zawierają opis metodyki badawczej. Rozpoczynają się od przedstawienia metodyki poboru próbek środowiskowych, w tym lokalizacji miejsc poboru (Świnoujście, Kołobrzeg, Gąski) oraz sposobu wyznaczania transektów na plażach. Następnie prezentują kolejne etapy postępowania z próbkami oraz wykorzystane narzędzia analityczne, a mianowicie: metody mikroskopowe, spektroskopię FTIR oraz spektroskopię Ramana. Pragnę podkreślić, że w pracy wykorzystano zaawansowane techniki pomiarowe. Doceniam również pracowitość podjętych przez Doktoranta badań oraz wyzwania analityczne z jakimi musiał się zmierzyć. Zakres badań obejmował analizę 87 próbek środowiskowych. Wyniki analiz zebrano w kartach oceny próbek, które stanowią załącznik nr 1 do przedmiotowej dysertacji.

Omówieniu wyników badań własnych poświęcony jest rozdział 8. Składa się on z klarownie wydzielonych pięciu podrozdziałów. W pierwszej kolejności Doktorant przedstawia algorytm drzew decyzyjnych w badaniu degradacji powierzchni mikroplastiku. Został on opracowany dla predykcji wyników uwzględniającej różne formy degradacji (biologicznej, fotochemicznej, utleniającej, środowiska korodującego, termicznej oraz sił mechanicznych), trzy warianty stopnia degradacji oraz czterostopniową skalę podatności na degradację. Następnie Doktorant wnikliwie opisuje opracowane narzędzie badawcze. Zostało ono skonstruowane jako zestaw połączonych ze sobą dziewięciu arkuszy kalkulacyjnych w programie Microsoft Excel.

Rozdziały 8.2.1-8.2.9 to szczegółowe opisy poszczególnych arkuszy kalkulacyjnych. Pozwalają one na poznanie struktury i funkcjonalności opracowanego przez Doktoranta narzędzia badawczego.

Istotnym elementem pracy badawczej była walidacja opracowanego narzędzia. Do tego celu wykorzystano testowanie skrajnych przypadków a walidację poprawności działania narzędzia badawczego przedstawiono z wykorzystaniem *heat maps*. Doktorant przeprowadził również analizę statystyczną badanych próbek mikroplastiku pod względem dopasowania widma FTIR.

Wysokim poziomem naukowym charakteryzuje się również rozdział poświęcony ocenie degradacji badanych próbek mikroplastiku. Doktorant omówił w nim wyniki badań własnych poddając je dyskusji z wynikami uzyskiwanymi przez inne grupy badawcze. Rozdział ten jednoznacznie wskazuje na umiejętność prowadzenia przez Doktoranta dojrzałej dyskusji wyników.

Pracę kończą wnioski, odnoszące się do celu i zakresu dysertacji oraz do postawionych hipotez badawczych (Rozdział 9). Doktorant wykazał, że uszkodzenia mechaniczne powierzchni mikroplastików przyspieszają ich dalszą fragmentację i inicjują kolejne procesy rozkładu poprzez zwiększenie powierzchni narażonej na działanie innych czynników. Interesującym osiągnięciem pracy jest również zaproponowana klasyfikacja typów degradacji mechanicznej. Ponadto wykazano, że degradacja tworzyw sztucznych o wysokiej odporności na rozkład zachodzi głównie pod wpływem działania czynników chemicznych oraz fotodegradacji, natomiast próbkio wysokiej podatności na degradację ulegają niszczeniu przede wszystkim z powodu działania sił mechanicznych oraz pod wpływem utleniania tlenem atmosferycznym. Walidacja narzędzia badawczego z wykorzystaniem danych dla próbek środowiskowych potwierdziła, że opracowana w ramach dysertacji metoda badawcza pozwala na określenie stopnia i formy degradacji mikroplastiku, a także jego podatności na rozkład.

Jak już wspomniano istotnym uzupełnieniem pracy są załączniki, w których przedstawiono karty oceny próbek środowiskowych oraz arkusz klasyfikacji próbek.

2.3. Pytania i uwagi do pracy

Przedstawiona do recenzji praca została napisana bardzo starannie. Rozprawę cechuje czytelny sposób prezentowania wyników i wyciąganych na ich podstawie wniosków. Jej wnikliwa lektura dała podstawę do sformułowania kilku pytań i uwag o charakterze

polemicznym. Nie mają one jednak wpływu na moją końcową ocenę wartości merytorycznej dysertacji:

1. W rozdziale 6 Doktorant zaprezentował metodykę poboru próbek środowiskowych. Zgodnie z przedstawionym opisem próby pobierano w następujących lokalizacjach i terminach: Kołobrzeg 9-10.10.2021, Świnoujście 7-9.01.2022, Gąski 29.04-3.05.2022. Proszę o wyjaśnienie na jakiej podstawie wybrano te lokalizacje i terminy, odnosząc się przy tym do informacji przedstawionych w rozdziale 4.
2. Doktorant celnie zaznaczył w pracy, że nadal „brak jest standardów analitycznych związanych z przyjęciem metody oznaczania oraz ustaleniem wielkości i formy cząsteczek mikroplastiku”. Jaka byłaby propozycja Doktorantka w tym obszarze.
3. Biorąc pod uwagę przegląd literatury oraz wyniki badań własnych, jakie główne wyzwania widzi Doktorant w obszarze unifikacji monitoringu występowania mikroplastiku w środowisku.
4. W mojej opinii rozprawa doktorska Pana mgr Kamila Majewskiego posiada bardzo wysoki poziom merytoryczny. Aczkolwiek w dysertacji zabrakło mi sformułowania dalszych kierunków badawczych.
5. Część rysunków zaprezentowanych w pracy jest mało czytelna (Rys.11, 12, 26, 27, 28, 29, 30, 31).
6. Praca przygotowana jest bardzo starannie pod względem językowym. Natknęłam się jedynie na kilka błędów z tego obszaru. Przykładowo: str. 35 „W ten sposób protokół przyczynia się monitorowania...” (brakuje „do”), str. 79 „kluczową rolę w fragmentacji” (we fragmentacji), na stronie 31 podano anglojęzyczną nazwę opisywanego materiału (fragment zapisany pogrubioną czcionką).

Przedstawione powyżej uwagi mają charakter wyłącznie dyskusyjny i nie podważają wartości naukowej przedstawionej do recenzji pracy, co pozwala sformułować konkluzję końcową.

3. Podsumowanie wartości merytorycznej pracy i wniosek końcowy

Po starannym zapoznaniu się z rozprawą doktorską Pana mgr Kamila Majewskiego stwierdzam, że stanowi ona oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Oceniana praca posiada wysoki poziom merytoryczny oraz wnosi nowe elementy poznawcze w obszarze monitoringu mikroplastiku, a w szczególności w ocenie jego degradacji. Dysertacja potwierdza znajomość ogólnej wiedzy teoretycznej Autora w dyscyplinie inżynieria

środowiska, górnictwo i energetyka, a także umiejętność planowania i prowadzenia przez Niego badań naukowych, opracowania i dyskusji wyników oraz wyciągania wniosków.

Tym samym oceniana rozprawa doktorska spełnia wymagania formalne dla tego typu prac zawarte w art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023r., poz. 742 z późn. zm.). Dlatego wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Zielonogórskiego o dopuszczenie Pana mgr Kamila Majewskiego do dalszego etapu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.