

Prof. dr hab. Marta Pogrzeba
Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych
ul. Kossutha 6
40-844 Katowice

Katowice, 08.04.2025 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **Pana mgr Marka Klimasza**
pt. **„Analiza tkankowa wybranych gatunków dżdżownic jako
metoda szacowania stężenia mikroplastiku w glebie”**

wykonanej w Wydziale Infrastruktury i Środowiska Politechniki Częstochowskiej pod kierunkiem dr hab. Anny Grobelak, prof. PCz.

Podstawa opracowania recenzji

Recenzja została przygotowana w odpowiedzi na zaproszenie do przygotowania recenzji Pana dr hab. inż. Pawła Mirka, prof. PCz, Prodziekana ds. Nauki Wydziału Infrastruktury i Środowiska Politechniki Częstochowskiej z dnia 18 marca 2025 roku. Podstawą do tego zaproszenia jest uchwała 42/2024/2025 Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Częstochowskiej w roku akademickim 2024-2025 z dnia 17 marca 2025 powołująca mnie na recenzenta.

Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Powierzona mi do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr Marka Klimasza wykonana pod opieką naukową promotora dr hab. Anny Grobelak, prof. PCz została zrealizowana w ramach studiów w Szkole Doktorskiej Politechniki Częstochowskiej. Opisane w doktoracie badania naukowe były przeprowadzone w latach 2021-2025 we współpracy z Jagiellońskim Centrum Innowacji, w którym wykonano pomiary mikroplastiku oraz analizę jego zawartości w tkankach dżdżownic, zaś sfinansowane z dotacji statutowej Politechniki Częstochowskiej dla Wydziału Infrastruktury i Środowiska.

Biorąc pod uwagę, że większość (5) publikacji zawartych w przedstawionej mi do oceny rozprawie doktorskiej zostały pozytywnie ocenione przez recenzentów w procesie publikacyjnym i opublikowane w dobrych czasopismach naukowych o szerokim zasięgu międzynarodowym i umiarkowanym współczynniku oddziaływania, skupię się na ocenie formalnej oraz merytorycznej rozprawy doktorskiej.

Ocena formalna

Przedstawiona do oceny dysertacja naukowa mgr Marka Klimasza, zgodnie w art. 187. Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2023 poz. 742 z późn. zm.), stanowi cykl 7 powiązanych tematycznie prac, w tym dwie opublikowane na platformie cyfrowej nie ujętej w bazie MNiSW. Rozprawę doktorską opatrzone tytułem



„Analiza tkankowa wybranych gatunków dżdżownic jako metoda szacowania stężenia mikroplastiku w glebie”, zaś przedział czasowy publikacji manuskryptów to lata 2024 – 2025. Dysertacja w większości napisana jest w języku polskim, liczy 131 stron, wszystkie spośród załączonych artykułów naukowych stanowiących podstawę dysertacji są w języku angielskim. W skład dysertacji wchodzi siedem spójnych artykułów:

1. **Klimasz M.**, Grobelak A., 2024. Migration of microplastics in agriculture and marine ecosystem: Biotechnology approaches. Biotechnology of Emerging Microbes, Prospects for Agriculture and Environment, Academic Press, (pp. 127-142), 2024, **rozdział w monografii za 200 pkt. wg listy MNiSW, 80 pkt. za rozdział.**
2. **Klimasz M.**, Grobelak A., 2025. Global scale of microplastic occurrence, **artykuł przeglądowy**, opublikowany w repozytorium cyfrowym Zenodo: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14953335>, **bez punktów MNiSW**
3. **Klimasz M.**, Grobelak A., 2024. Oczyszczanie ścieków jako źródło mikroplastiku w środowisku, w; Nowatorskie rozwiązania w inżynierii środowiska i energetyce - perspektywa zrównoważonego rozwoju, pod redakcją Iwony Zawieji, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, **rozdział w monografii za 80 pkt. wg listy MNiSW, 20 pkt. za rozdział.**
4. **Klimasz M.**, Grobelak A., 2025. Methods for separation and classification of microplastics in soil; **artykuł przeglądowy**, opublikowany w repozytorium cyfrowym Zenodo: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14952942>, **bez punktów MNiSW**
5. **Klimasz M.**, Grobelak A., 2025. Effects of microplastics on selected earthworm species. Toxics, MDPI, Volume 13, Issue 3, **lista MNiSW 70 pkt, IF 3.9.**
6. **Klimasz M.**, Grobelak A., 2024. Accumulation of spherical microplastic in earthworm tissues- mapping using Raman microscopy. Applied Science, 2024.14,10117, **lista MNiSW 40 pkt., IF 2.5.**
7. **Klimasz M.**, Kacprzak A., Grobelak A., 2025. Evaluation of the quantitative concentration of microplastic in *Dendrobaena veneta* and *Lumbricus terrestris* tissues from laboratory and environmental culture, Applied Science, 12. applsci-3460617, 2025, **lista MNiSW 40 pkt. IF 2.5.**

Doktorant we wszystkich pracach jest pierwszym autorem. **Sumaryczny IF dysertacji wynosi 8.9, zaś punkty MNiSW to 250.** Wkład Doktoranta w powstanie tych publikacji wynosi od 60 do 80%, co wskazuje, na wiodącą jego rolę w prowadzeniu przedstawionych w rozprawie doktorskiej badań. Jednocześnie potwierdzają to załączone do dysertacji oświadczenia współautorów publikacji, w których jednoznacznie wskazano na rolę Doktoranta w prowadzonych badaniach i przygotowaniu manuskryptów. Opis dzieła doktorskiego poprzedzony został zwięzłymi i starannie przygotowanymi streszczeniami w językach polskim i angielskim, które obejmują wprowadzenie do istoty problemu w zakresie środowiska gruntowo-wodnego, jak i zastosowanych metod badawczych.

Dogłębna analiza dostępnej wiedzy naukowej w zakresie przedmiotu badań oraz jasne wskazanie motywacji do podjęcia badań pozwoliła na sformułowanie trzech hipotez badawczych: (1) Istnieje możliwość wykorzystania analizy tkankowej wybranych gatunków dżdżownic jako wskaźnika gleby zanieczyszczonej mikroplastikiem; (2) Istnieje możliwość

wykorzystania mikroskopii ramanowskiej do precyzyjnego określenia wielkości cząsteczkowej oraz mapowania przestrzennego tworzyw w tkankach dżdżownic oraz (3) Stężenie mikroplastiku w glebie koreluje ze stężeniem mikroplastiku w tkankach dżdżownic, a korelację tą można wykorzystać w sposób użyteczny. W celu zweryfikowania sformułowanych hipotez Doktorant formułuje cel badań, którym jest: określenie możliwości zastosowania analizy tkankowej wybranych gatunków dżdżownic do oszacowania stężenia mikroplastiku w glebie jako wskaźnika oraz metody badawczej inżynierii środowiska. Dodatkowo dla uszczegółowienia prowadzonych badań Autor wspomaga się wyodrębnieniem celów szczegółowych, w tym 3 celów biologicznych i 3 technicznych, które porządkują zakres naukowy w stosunku do technicznych metod badawczych wykorzystanych w dysertacji. Bardzo ważnym elementem w opisie celów i założeń rozprawy jest opis celu użytecznego rozprawy, co z punktu widzenia podjętego problemu badawczego jest niezmiernie istotne, gdyż wskazuje bezpośrednio jakich narzędzi dla inżynierii środowiska dostarcza dzieło doktorskie. W kolejnej części dysertacji Autor dokładnie opisuje stan wiedzy z zakresu problemów badawczych, które implikują nie tylko na zakres pracy, ale poprzez ich sformułowanie na końcu każdego z rozdziałów, porządkują znacznie tą część pracy. Autor następnie kolejno omawia zarówno prace przeglądowe (4 manuskrypty), które zdecydowanie wpłynęły na nabycie wiedzy przez Autora dotyczące zanieczyszczenia mikroplastikiem środowiska, w tym gleb, jak również badawcze (3 manuskrypty), w postaci tzw. „przewodnika po artykułach”, co jest dobrym rozwiązaniem zwłaszcza, że Autor łączy tu wiedzę naukową z użyteczną. Ostatnim istotnym elementem pracy jest podsumowanie założeń rozprawy i wnioski. Ta część dysertacji opisana jest bardzo dobrze, szczegółowo odnosząc się nie tylko do potwierdzonych hipotez badawczych, ale również osiągnięcia szczegółowych celów biologicznych, technicznych i użytecznych. Rozprawa zakończona jest spisem 93 pozycji najnowszej literatury, z czego wszystkie pozycje są anglojęzyczne. Do dysertacji dołączono wykaz dorobku naukowego i zawodowego Doktoranta. Opracowanie uzupełnione jest dokumentacją fotograficzną z przeprowadzonych badań.

Ocena merytoryczna

Pojawienie się problemu zanieczyszczenia odpadami plastikowymi środowiska naturalnego, zwłaszcza oceanów, raportowano już na początku lat 60-tych i 70-tych XX wieku w badaniach nad planktonem, choć nie kończyły się one publicznymi raportami w tym zakresie. Samo zanieczyszczenie mikroplastikiem wynika głównie z ilości opakowań plastikowych lub też materiałów wyprodukowanych z tego surowca, które po wykorzystaniu trafiają do środowiska. Na przestrzeni lat, a zwłaszcza od Milenium ilość powstałych produktów plastikowych zwiększała się. W 2022 roku wyniosła ona 400,3 milionów ton w Europie, co w porównaniu do roku wcześniejszego oznaczało wzrost o 6 milionów ton (Plastic Europe 2023). Tylko 9,4% produktów plastikowych zostało wyprodukowanych dzięki recyklingowi, pozostałe powstały z obróbki paliw kopalnych. Zwiększona produkcja związana jest bezpośrednio ze zwiększoną ilością odpadów pochodzenia polimerowego. Według danych Plastic Europe w roku 2020 na składowiska odpadów trafiło 884 tys. ton plastiku (41% całkowitej ilości odpadów), dane te

dotyczą samych opakowań plastikowych zużytych przez konsumentów, a 543 tys. ton zostało poddane recyklingowi (27%). W tym samym roku do Polski zostało importowanych ok. 148 tys. ton plastikowych odpadów z innych krajów. Przedstawione dane pokazują, że mimo upływów lat, magazynowanie odpadów plastikowych na składowiskach jest praktyką powszechnie stosowaną w naszym kraju.

W glebach głównym źródłem mikroplastiku jest nie tylko zanieczyszczenie ze składowisk odpadów komunalnych, ale również z rolnictwa. Tu mikroplastik może być dostarczany przez wiatr z legalnych lub nielegalnych składowisk odpadów, wymywany z tych lokalizacji przez wodę opadową czy sekwestrowany przez rośliny. Ponadto znaczna ilość mikroplastiku w glebach uprawnych pochodzi z zastosowania osadów ściekowych czy folii biodegradowalnych, które w rzeczywistości takie nie są i na trwale zanieczyszczają gleby. Mikroplastik może wpływać na strukturę gleby, zdrowie organizmów glebowych oraz produktywność upraw. Wzrost koncentracji tego zanieczyszczenia w glebie prowadzi do zmniejszenia bioróżnorodności mikrobiologicznej, co negatywnie wpływa na zdolność gleby do zatrzymywania wody i składników odżywczych. Ponadto zanieczyszczenie gleby przez mikroplastik może generować również inne problemy takie jak absorbowanie zanieczyszczeń metalami ciężkimi i zanieczyszczeń organicznych. Ze względu na swój rozmiar, cząstki mikroplastiku mogą tworzyć strukturę koloidalną i pozostawać zawieszone w glebie, co czyni je kolejnym źródłem zanieczyszczeń. Oprócz wchłaniania i akumulacji innych zanieczyszczeń, mikroplastik ma negatywny wpływ na cały ekosystem glebowy, od organizmów glebowych, takich jak dżdżownice po strukturę gleby i produkcję plonów.

Zatem racjonalne gospodarowanie odpadami plastikowymi w różnych obszarach działalności z glebami (rolnictwo, wykorzystanie gruntów w działalności gospodarczej, itp.) jest w dzisiejszych czasach nie tylko wyzwaniem dla właścicieli gruntów, gleb czy terenów rolnych, ale zwłaszcza dla samorządów i włodarzy miast jako organu wspomagającego, kontrolującego i odpowiedzialnego za ich stan.

Problematyczne jest również oznaczanie zanieczyszczenia mikroplastikiem w glebach, ponieważ wiarygodnych i dobrze przebadanych metod jest niewiele, a z dostępnych, koszty oznaczeń są znaczne. Poszukiwanie zatem nowych, innowacyjnych metod oznaczania mikroplastiku, które wiarygodnie będą oceniały skalę problemu zanieczyszczenia gleb jest niezmiernie istotne w kalkulacji ryzyka przedostawania się tego zanieczyszczenia do łańcucha pokarmowego człowieka poprzez zanieczyszczenie żywności.

Badania podjęte przez Autora są szczególnie ważne nie tylko ze względu na poszerzenie wiedzy o zanieczyszczeniu gleb mikroplastikiem oraz wpływu na organizmy bytujące w glebie, ale przede wszystkim dostarczają nowych metod oznaczeń, które bez wątpienia będą mogły być wykorzystane jako wiarygodne źródło do pozyskania danych. Tematyka rozprawy jest zatem bardzo aktualna, pozwala zwalidować nową metodę oznaczeń mikroplastiku w glebie i odpowiada na wyzwania obecnych czasów dotyczących odpowiedniego zarządzania glebami zanieczyszczonymi oraz opracowania jednolitych procedur analitycznych. Efekty tych badań mogą być bezpośrednio stosowane w inżynierii środowiska, jak i w jego ochronie i kształtowaniu.

Poza publikacjami Autora zawartymi jako dzieło doktorskie ważną częścią merytoryczną pracy jest wprowadzenie do problemu badawczego. W tej części pracy Autor wprowadza czytelnika w studium nad pochodzeniem, klasyfikacją, migracją i rozprzestrzenianiem się mikroplastiku w środowisku, omawia wpływ tego zanieczyszczenia na organizmy żywe oraz dokładnie przedstawia dostępne metody jego szacowania w glebie. Każdy z rozdziałów zakończony jest opisem problemu badawczego wynikającego z przedstawionego zakresu wiedzy, co jest dobrym rozwiązaniem, aby wypunktować luki w wiedzy, zarówno stricte naukowej, jak i utylitarnej. W ostatnim rozdziale tej części pracy Autor krótko, ale treściwie przedstawia wpływ zanieczyszczenia mikroplastikiem na zmiany i zagrożenia dla ekonomii, gospodarki i inżynierii środowiska. Przedstawienie przesłanek, które skłoniły Autora do zajęcia się opracowaniem nowego narzędzia w badaniach nad mikroplastikiem (metoda oznaczania) świadczy o dobrym rozpoznaniu problemu i jest napisana zwięźle i zrozumiale.

Dobrze przeprowadzone studia literaturowe pozwoliły na sformułowanie hipotez badawczych dla zweryfikowania których wyznaczono cel naukowy, w którym wyodrębniono sześć celów szczegółowych. Cel naukowy wraz z celami szczegółowymi dysertacji jest poprawnie i logicznie sformułowany. Jedyna uwaga dotycząca sformułowania celu, ale to może niedopatrzenie, który brzmi: „Celem rozprawy doktorskiej jest określenie możliwości zastosowania analizy tkankowej wybranych gatunków dżdżownic do oszacowania stężenia mikroplastiku w glebie jako wskaźnika oraz metody badawczej inżynierii środowiska”, jest brak przyimka „dla” co ostatecznie daje brzmienie: **metody badawczej dla inżynierii środowiska**.

Brak mi w pracy schematu dotyczącego etapów przeprowadzonych badań z wyszczególnieniem ich celu, zakresu oraz zastosowanych metod badawczych i przyporządkowanie do konkretnej publikacji stanowiącej element dysertacji, gdyż taki schemat pozwalałby na swobodną weryfikację przez recenzenta nie tylko założonych hipotez badawczych, ale również adekwatności zastosowanych metod badawczych do jej udowodnienia. Jest wprawdzie taki opis przy każdej omawianej publikacji, ale na schemacie byłoby prościej dla recenzenta i czytelnika.

Doktorant w publikacji **D1** zebrał i zestawiał podstawowe informacje na temat nazewnictwa mikroplastiku, sposobów jego degradacji w środowisku oraz dokonał przeglądu literatury względem podobieństw i różnic w jego klasyfikacji. Rozpoczęcie badań nad mikroplastikiem w glebach od artykułu przeglądowego **było niewątpliwie dobrą decyzją, która umożliwiła nie tylko stworzenie dobrego warsztatu metodologicznego Autorowi, ale ostatecznie przyczyniła się do decyzji dotyczącej badań nad metodami oznaczania mikroplastiku. To w tej publikacji, tak wywnioskowałam z treści opisu zdjęcia, Autor po raz pierwszy zamieścił fotografię mikroplastiku wykrytego w tkankach dżdżownic będąca wstępem oraz kierunkiem dla kolejnych prac.**

W publikacjach **D2** i **D4**, które są artykułami przeglądowymi Doktorant zebrał aktualne dane na temat produkcji, recyklingu, występowania i deponowania mikroplastiku w różnych elementach środowiska (wody, powietrze, gleby, organizmy żywe) w ujęciu globalnym i prognozy na przyszłość do 2060 roku (**D2**) oraz oceny dostępnych metod oznaczania

mikroplastiku w glebach (D4). Wykorzystanie aktualnych raportów na temat rozpowszechnienia mikroplastiku i jego wpływu na ekosystemy świadczy o dobrym rozeznaniu Autora, gdzie i jak poszukiwać takich danych. Jak podkreśla Autor, z czym zgadzam się, nowe biodegradowalne bioplastiki nadal stanowią jedynie niewielką część całej produkcji, zaś rozwiązanie problemu zanieczyszczenia mikropłastikiem różnych ekosystemów na skalę globalną wymaga rozwiązań na każdym etapie cyklu „życia” plastiku, od produkcji, transportu i użytkowania po recykling (D2). W publikacji dotyczącej gleby znajdują się informacje o zanieczyszczeniu mikroplastikiem, źródłach tych zanieczyszczeń w ujęciu globalnym oraz problemów wynikających z oznaczeń mikroplastiku z wykorzystaniem procesu separacji gęstościowej i skuteczności różnych odczynników (D4).

Opublikowanie tych krótkich przeglądowych artykułów w repozytorium cyfrowym, de facto bez prawdziwego procesu recenzji w zakresie zebranych danych było błędem, gdyż nie tylko pomniejszyło wartość naukową obu manuskryptów, ale również na pewno nie przyczyni się w przyszłości do zwiększenia cytowalności tych prac i ich poważnego wpływu na inne badania naukowe w tym zakresie. A przecież jeżeli połączyłoby się prace D2 i D4 lub nawet D1, D2 i D4 to można by przygotować bardzo dobry artykuł przeglądowy w formie Critical Review, który byłby doskonałym wstępem do kolejnych badań eksperymentalnych w zakresie poruszanego problemu. Dla mnie brakło na tym etapie prac, pomocy i właściwego pokierowania przez Promotora pracy, co zrobić z zebranym materiałem przeglądowym, jak go opracować, aby stworzyć dobry artykuł przeglądowy dotyczący zanieczyszczenia mikroplastikiem różnych ekosystemów i dokładnie krytycznie zrecenzować dostępne metody jego oznaczeń w środowisku glebowym.

Kolejnym ważnym aspektem podniesionym w pracy przeglądowej (D3) przez Doktoranta było określenie roli oczyszczalni ścieków jako źródła mikroplastików w środowisku, zwłaszcza w glebach. Celem tego artykułu było ukazanie jednej z możliwości rozprzestrzeniania się mikroplastiku za sprawą oczyszczalni ścieków, porównanie wydajności filtracyjnych (drugi i trzeci stopień oczyszczania), a także wpływu wykorzystania osadów ściekowych w poszczególnych krajach, w ujęciu światowym, na wzrost stężenia mikroplastiku w środowisku. Przeprowadzony przegląd literatury wykazał, że konwencjonalne metody oczyszczania ścieków nie są w pełni skuteczne w eliminacji mikroplastiku, co wskazuje na potrzebę opracowania nowych, bardziej efektywnych technologii w jego eliminacji i nie włączania go w różne elementy środowiska naturalnego (D3).

Badania na pięciu gatunkach dżdżownic, których celem było określenie ich parametrów biochemicznych po ekspozycji na konkretne frakcje mikroplastiku jak i ich mieszaninę (D5), wybrane stężenia cząstek mikroplastiku oraz dwa zakresy czasu, stwierdzono, że gatunkiem dla którego obecność tworzyw sztucznych w glebie stanowi największe zagrożenie jest *A. caliginosea*, zaś dla dwóch gatunków - *L. terrestris*, *D. veneta* nie miało to istotnego znaczenia. Ocenę wykonano na podstawie analizy pośrednich markerów stresu oksydacyjnego oraz stopnia przeżywalności dżdżownic. Przeprowadzono również badania flory bakteryjnej dżdżownic w celu sprawdzenia różnic w obfitości bakterii jelitowych, co miało wskazać

ewentualne pojawienie się histopatologicznych zmian jelita oraz w sposób czytelny i jasny zobrazować te zmiany na podstawie posiewów bakteryjnych. Dane z badań mikrobiologicznych pozwoliły stwierdzić, że obecność tworzyw w jelitach wpływa na florę bakteryjną i przyczynia się do jej zubożenia w stopniu zależnym od stężenia cząstek mikroplastiku. Potwierdzono, że dla wszystkich gatunków stężenie 1% mikroplastiku w glebie miało znaczący, negatywny wpływ przejawiający się podwyższonym stężeniem S-transferazy glutationowej (GST), zmniejszonym współczynnikiem przeżywalności osobniczej, a także znacznym zubożeniem obfitości flory bakteryjnej na podstawie przeprowadzonych posiewów mikrobiologicznych (D5).

Zastosowanie mikroskopii Ramana w detekcji i precyzyjnym mapowaniu mikroplastiku oraz liczne ilustracje dla zobrazowania wyników w tkankach dżdżownic przedstawiono w publikacji D6. Akumulacja w tym przypadku oznaczała trwałe haczykowanie cząstek tworzywa w mięśniach dżdżownic, co wykonano z wykorzystaniem niestandardowych ustawień aparatury pomiarowej. Mikroskopia Ramana posłużyła jako narzędzie do określenia wielkości cząstek tworzywa oraz widma emisji dla poszczególnych tworzyw (D6). Jak podaje Autor dodatkowym wyzwaniem okazały się ustawienia kolejno linii lasera i wzbudzenia fali, wykorzystane obiektywu o konkretnym powiększeniu, dobranie rozdzielczości spektralnej, liczny akumulacji, czasu widma, mocy promieniowania lasera, kroków pomiarowych, rozdzielczości przestrzennej oraz gęstości próbkowania. Zmiennych zatem do uzyskania właściwego obrazu było wiele, ale ostatecznie **badania przyniosły wymierny efekt weryfikacji wykorzystania mikroskopii Ramana do detekcji mikroplastiku w ciele dżdżownic, co otwiera nowe możliwości dla badań nad ekotoksykologią mikroplastików z wykorzystaniem tej aparatury.**

Prace eksperymentalne zawarte w publikacji D7 dotyczyły opracowania metody oszacowania stężenia mikroplastiku w glebie na podstawie analizy tkankowej dżdżownic oraz modelowania matematycznego dla potwierdzenia korelacji stężenia mikroplastiku w glebie/tkankach. Badania zakładały wykorzystanie przystawek mikroskopowych, kamer, filtrów oraz oprogramowania, pozwalającego na szybką identyfikację tworzywa (bez określenia struktury) na podstawie emisji barwy widzianej zarówno przez okular jak i przez program komputerowy. Potwierdzam, że analizując wybrane rodzaje mikroplastiku (polietylen, polistyren, poliamid, politereftalan etylu) Autor określił ich właściwości świetlne, co przedstawiono w publikacji D7. Ponadto przeprowadzone próby z dodawaniem mikroplastiku do gleby potwierdziły, że przy średnim stężeniu przekraczającym 0,6% (przelicznik suchej masy), dżdżownice omijają miejsce żerowania, co przekłada się na spadek akumulacji większości rodzajów tworzyw. Badanie to miało na celu zobrazowanie wszystkich wielkości tworzyw wykrytych w tkankach oraz porównanie ich do tworzyw dodanych do gleby (D7).

We wszystkich przedstawionych mi do oceny badaniach jednoznacznie stwierdzam, że przyjęta metodyka oraz prace eksperymentalne zostały zaplanowane prawidłowo i szczegółowo oraz wykonane starannie.

Za najważniejsze osiągnięcia Doktoranta przedstawione w rozprawie, stanowiące jednocześnie element nowości naukowej i wzbogacenie obecnego stanu wiedzy w tym zakresie uważam:

1) Dotyczące gatunków zastosowanych dżdżownic:

- potwierdzenie, że gatunek dżdżownicy *Aporrectodea caliginosa*, jako gatunek klasyfikowany jako bioindykator dla wszystkich zanieczyszczeń zdecydowanie najgorzej znosił ekspozycję na tworzywa sztuczne;
- potwierdzenie, że gatunki dżdżownic *Eisenia fetida* oraz *Eisenia andrei* mogą być potencjalnie wykorzystywane do oceny zanieczyszczenia kompostów, choć ten wniosek nie jest tak sformułowany, sformułowany został następująco: „Gatunki ww. dżdżownic mają obiecujący wskaźnik odporności na mikroplastik. Niemniej, tkanki gatunków tych potwierdziły również obecność tworzywa zaliczanego do nanoplastiku, poniżej 1 mm, co może otwierać drzwi do kolejnych analiz szacowania stężenia na przykład w kompostownikach bądź w procesach wermikompostowania”,
- potwierdzenie, że gatunki dżdżownic *Lumbricus terrestris* oraz *Dendrobaena veneta* nadają się do roli bioindykacji mikroplastiku w glebach;

2) Dotyczące metodyki oznaczeń:

- wskazanie, że mikroskopia optyczna z dedykowanym oprogramowaniem może być wykorzystana jako wstępna metoda szacowania większych cząstek mikroplastiku, co potwierdzono w obrębie stosowanych tworzyw sztucznych,
- potwierdzenie, że aparatura FTIR wykorzystana w badaniu oraz połączona z bazą danych jest skuteczną metodą określenia rodzaju tworzywa sztucznego, ale tylko powyżej 10 mikrometrów. Metoda ta jest szybka i pozwala na wykonanie kilkunastu powtórzeń dla jednej próbki w ciągu jednej godziny,
- wskazanie, że nie ma możliwości wykorzystania separacji gęstościowej do tworzyw o dużej gęstości i dla małych cząstek, natomiast można ją wykorzystać do oznaczeń tworzyw o niskiej gęstości i dla dużych cząstek,
- potwierdzenie, że stężony nadtlenek wodoru (H_2O_2) może być wykorzystany do trawienia zliofilizowanej i sproszkowanej tkanki dżdżownicy.

W rozdziale wnioski brakuje mi odniesienia wniosków do założonych tez badawczych, przynajmniej w postaci symbolu tezy w nawiasach na końcu każdego wniosku (teza 1, teza 2 itd.). Bardzo dobrze opracowany jest rozdział dotyczący podsumowania założeń rozprawy w odniesieniu do uzyskanych wyników badań.

Proszę o doprecyzowanie przez Doktoranta, gdyż nie znalazłam takiej informacji w opisie dzieła, na jakiej podstawie wybrano do badań gatunki dżdżownic (publikacja D5 - *Lumbricus terrestris*, *Dendrobaena veneta*, *Eisenia andrei*, *Eisenia fetida* oraz *Aporrectodea caliginosa*), czy były to tylko studia literaturowe, czy też badania przedwstępne prowadzone przed przedstawionymi w dysertacji.

Z recenzenckiego obowiązku wymienię poniżej kilka drobnych niedociągnięć, które zauważyłam:

- str. 69 – wnioski - użyte sformułowanie „dla ogółu wszystkich zanieczyszczeń” w zdaniu: „Według literatury, gatunek ten bywa klasyfikowany jako bioindykator, jednak dla ogółu wszystkich zanieczyszczeń, bez klasyfikacji na pestycydy, metale ciężkie czy też drgania”, jest niepoprawne nie ma ogółu wszystkich zanieczyszczeń, powinno być wszystkich zanieczyszczeń,

- str. 69 – wnioski - użyte sformułowanie: „obiecującego wskaźnika odporności” w zdaniu: „Pomimo wykazanego w badaniach, obiecującego wskaźnika odporności na mikroplastik, należy pamiętać, że gatunki te są relatywnie małe tym samym ilość pobieranego pożywienia jest niewielka, co może skutkować zmniejszoną akumulacją tkankową” jest nieprecyzyjne.

- str. 70 – wnioski – błąd w nazwie: „żerują w głąb gleby”, powinno być w głąb gleby,

Mimo powyższych błędów, praca jest przygotowana starannie, z niewielką ilością błędów interpunkcyjnych i stylistycznych.

Moim zdaniem wystarczające dla jakości dzieła doktorskiego było włączenie do dysertacji dwóch rozdziałów w monografii oraz 3 artykułów opublikowanych w czasopismach z listy MNiSW, zwłaszcza, że publikacje zdeponowane na platformie cyfrowej mimo iż wniosły przegląd danych dotyczących mikroplastiku i jego oznaczania, to nie były to badania własne autora i nie wniosły istotnej wiedzy naukowej.

Bardzo ważny utylitarny wniosek dotyczący dżdżownic żerujących w kompostach – ponieważ biodegradowalne odpady są w Polsce w gospodarstwach wielomieszkaniowych (bloki mieszkalne) wyrzucane zazwyczaj przez mieszkańców w workach foliowych (w Norwegii do takiego pojemnika trzeba wrzucać bezpośrednio odpady bio bez jakichkolwiek opakowań), a później na instalacjach produkujących kompost z tych odpadów wizualnie – gołym okiem widać kawałki plastikowych worków, to gatunki *Eisenia fetida* i *Eisenia Andrei* żerujące w kompostach mogą być wykorzystywane do oceny szacowania zanieczyszczenia kompostów mikroplastikiem. Tak też powinien być sformułowany wniosek na str. 69 dotyczący tych gatunków i możliwości ich wykorzystania w szacowaniu zanieczyszczenia kompostów mikroplastikiem.

Podsumowując, stwierdzam, że praca pod względem merytorycznym nie budzi żadnych zastrzeżeń i napisana jest na dobrym poziomie naukowym. Szkoda, że artykuły przeglądowe opublikowane w repozytorium cyfrowym nie zostały połączone jako jeden artykuł przygotowany do czasopisma o wyższej sile oddziaływania i większym prestiżu. Wydaje się, że połączenie tematyki zarówno źródeł obecności mikroplastiku w różnych komponentach środowiska, jak i metod do ich oznaczania (czyli połączenie artykułów D2 i D4, a nawet D1, D2 i D4) miałoby dużo większą wartość nie tylko naukową, ale i wpływu społecznego.

Dorobek naukowy i zawodowy Doktoranta

Dane bibliometryczne Doktoranta w bazie Web of Science Core Collection mimo, iż nie podlegają ocenie w procesie recenzji pracy doktorskiej są zadowalające. Jak na młodego pracownika naukowego współautorstwo w 4 publikacjach indeksowanych

angielskojęzycznych (w tym 3 prace wchodzące w skład dysertacji) oraz 3 publikacjach nieindeksowanych i dwóch materiałach z konferencji jest wystarczające do nabycia wiedzy na czym polega praca naukowa i jak ją prowadzić, aby efekty naukowe były zauważalne przez naukową społeczność. Indeks Hirscha Pana mgr inż. wynosi 1, co uważam za minimalne przy ubieganiu się o stopień doktora, ale ten parametr nie podlega ocenie, podaje go tylko informacyjnie. Na uwagę zasługuje duża aktywność Doktoranta w rozpowszechnianiu wyników badań poprzez bezpośrednie uczestnictwo w dziewięciu konferencjach, w tym w pięciu z wystąpieniami ustnymi – referaty dotyczące zanieczyszczenia mikroplastikiem. Dodatkowo Pan mgr był współorganizatorem aż ośmiu warsztatów lub konkursów naukowych dla uczniów szkół średnich, w tym jednego był pomysłodawcą. Działa aktywnie w Kole Naukowym Gene in USE na Politechnice Częstochowskiej, a w latach 2021-2023 był jego przewodniczącym. Doktorant brał udział w projekcie „Odpady to też zasoby”, w ramach programu „Koła naukowe tworzą innowacje” finansowanego ze środków Ministra Edukacji i Nauki (umowa nr SKN/SP/496788/2021). Ponadto aktywnie uczestniczył w wydarzeniach promujących Wydział Infrastruktury i Środowiska oraz Politechnikę Częstochowską, takich jak targi i festiwale nauki, co potwierdzone jest oficjalnym zaświadczeniem od Pełnomocnika Rektora do spraw Promocji.

Wniosek końcowy

Podsumowując, rozprawa doktorska Pana mgr Marka Klimasza stanowi samodzielne rozwiązanie problemu badawczego przy użyciu adekwatnej metodyki badań, co jest ustawowym wymaganiem stawianym rozprawom doktorskim. Tematyka rozprawy w pełni wpisuje się w dyscyplinę inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Stwierdzam, że przedstawiony do oceny cykl siedmiu prac stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej pt. „Analiza tkankowa wybranych gatunków dżdżownic jako metoda szacowania stężenia mikroplastiku w glebie” spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim określonym w art. 187. ust 1 i 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2023 poz. 742 z późn. zm.). Bardzo ważne są użytkowe aspekty prowadzonych badań, które jednoznacznie wskazały, że zaproponowana innowacyjna metodyka oznaczania mikroplastiku u wybranych gatunków dżdżownic może być z powodzeniem wykorzystana w inżynierii środowiska do szacowania stopnia zanieczyszczenia gleb. Zwracam się zatem do Wysokiej Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, Wydziału Infrastruktury i Środowiska Politechniki Częstochowskiej o dopuszczenie mgr Marka Klimasza do dalszych etapów przewodu doktorskiego.


Prof. dr hab. Marta Pogrzeba