

Artur Badyda  
Politechnika Warszawska  
Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska

**Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Vladyslava Redko  
pt. "Environment and human health hazard identification arising from  
the biodegradation process of polymer products" („Identyfikacja ryzyka  
dla środowiska i zdrowia człowieka, powstającego podczas procesu  
biodegradacji produktów polimerowych”).**

---

Praca otrzymana do recenzji w dniu 22 września 2023 roku.

## **1. Zasadność podjęcia pracy**

W przedłożonej do recenzji pracy podjęta została bardzo ważna i współcześnie istotna tematyka dotycząca odpadów z tworzyw sztucznych, które w znacznym stopniu nadal zagospodarowywane są poprzez ich składowanie oraz zagrożeń dla zdrowia człowieka, które mogą być wynikiem procesów rozkładu tego typu odpadów. W dobie dynamicznie narastającej ilości tworzyw sztucznych, które są wykorzystywane w przeważającej większości dziedzin gospodarki światowej, jest to temat szczególnie ważny. Mając na uwadze, że roczna globalna produkcja tworzyw sztucznych szacowana jest 300-400 milionów ton, wiele z tych materiałów, wskutek braku powszechnie stosowanych metod ich ponownego wykorzystania, będzie zagospodarowywana poprzez ich składowanie. Nabiera to szczególnego znaczenia, gdy składowanie to odbywa się dodatkowo w miejscach, w których odpady nie powinny być gromadzone i w sposób, który nie podlega żadnej kontroli. Skutkuje to bowiem niekontrolowanym przedostawaniem się odpadów, w tym odpadów z tworzyw sztucznych do środowiska, jak również zachodzeniem niekontrolowanych procesów rozkładu tych odpadów. Wymownym obrazem tego problemu jest choćby ogromne skupisko odpadów dryfujące po Oceanie Spokojnym, zwane Wielką Pacyficzną Wyspą/Plamą Śmieci.

Historia zsyntetyzowania pierwszego polimeru (polietylenu) sięga początków XX wieku, niemniej jednak możliwości wykorzystania tego materiału na szerszą skalę przyniosło dopiero opracowanie pierwszej metody syntezy tej wielkocząsteczkowej substancji w latach 40-tych ubiegłego stulecia. Od tamtej pory polimery zyskały ogromną popularność, stając się coraz powszechniej wykorzystywanymi materiałami, przede wszystkim ze względu na swoje właściwości, trwałość i wszechstronne zastosowanie w różnych obszarach aktywności człowieka. Intensywny wzrost zastosowania tych substancji sprawił, że koszty produkcji tworzyw sztucznych zmniejszyły się, dzięki czemu materiały te stały się szerzej dostępne, a ich wykorzystanie zaczęło być widoczne w coraz większej liczbie zastosowań. Wskutek lawinowo rosnącego strumienia produktów z tworzyw sztucznych, w tym w szczególności produktów przeznaczonych do jednorazowego zastosowania, w podobnym tempie zaczęła narastać ilość odpadów z polimerów, które ostatecznie kończyły swój cykl życia w różnych obszarach środowiska. Niejednokrotnie również i dziś nie wiąże się to nie tylko z próbą ponownego

wykorzystania tych materiałów jako surowców do produkcji innych dóbr, ale również z próbą zgodnego z prawem ich zagospodarowania. W efekcie, zamiast trafić choćby na składowisko, co również nie jest pożądanym sposobem wykorzystania, trafiają do środowiska.

Finalnym skutkiem systematycznie rosnącej produkcji tworzyw sztucznych jest pogłębiający się problem z zanieczyszczeniem środowiska. Od kilkunastu lat badacze intensywnie zajmują się zanieczyszczeniem środowiska wodnego przez odpady z plastiku i tworzeniem się wysp odpadów, podobnych do wspomnianego już skupiska na Pacyfiku. Wiedza w tym zakresie rośnie, rozpoznawane są procesy transportu odpadów z tworzyw sztucznych w środowisku, jak i procesy ich przemian (w tym powstawanie mikro- i nanoplastiku) oraz negatywne skutki dla biotycznej i abiotycznej części środowiska.

Niemniej jednak transport, przemiany i zanieczyszczenie środowiska glebowego przez tworzywa sztuczne są zdecydowanie mniej poznane. Stąd też uzupełnienie wiedzy i próba wyjaśnienia zjawisk zachodzących podczas deponowania plastiku w środowisku glebowym uzasadniają słuszność podjęcia tematu badawczego, którego celem było zidentyfikowanie ryzyk związanych z procesem (bio)degradacji plastików pod wpływem warunków środowiskowych, zarówno dla środowiska, jak i zdrowia człowieka.

W tej sytuacji za zdecydowanie niestandardowe ale również ciekawe, zarówno z naukowego, jak i czysto poznawczego punktu widzenia, należy uznać podejście wykorzystujące do rozwiązania postawionego problemu badawczego składowisko odpadów komunalnych jako modelu badawczego. Głównym założeniem podjętej przez Doktoranta pracy badawczej było jej ukierunkowanie na dwa zadania. Pierwsze z nich dotyczyło identyfikacji zmian zachodzących w strukturze tworzyw sztucznych w trakcie i po długotrwałej (bio)degradacji. Drugie zaś zadanie skoncentrowane było na efektach długotrwałego oddziaływania procesu (bio)degradacji na środowisko glebowe.

## 2. Ogólna charakterystyka i ocena rozprawy

Na ocenianą pracę doktorską składają się 4 publikacje (prace oryginalne), których Doktorant jest jednym ze współautorów. Wszystkie 4 prace zostały napisane w formie artykułów do czasopism naukowych, przy czym w chwili przygotowywania niniejszej recenzji jedynie 2 z tych artykułów były opublikowane, choć jednocześnie były to publikacje w bardzo wysokopunktowanym czasopiśmie (IF=10,754 i 200 pkt MEiN). Spośród pozostałych jeden artykuł znajdował się w trakcie poprawek po uwagach recenzentów, zaś drugi oczekiwał na recenzje po złożeniu do czasopisma.

W samej rozprawie zamieszczono zaś krótkie, kilkunastostronicowe, streszczenie w języku polskim i w języku angielskim, w którym omówione zostało uzasadnienie podjęcia badań, opisane cele przyświecające realizacji pracy, krótka charakterystyka zebranego materiału i wykonanych analiz oraz wnioski płynące ze zrealizowanych badań.

Kolejna część rozprawy zawiera manuskrypty poszczególnych publikacji wraz z oświadczeniami poszczególnych współautorów o ich merytorycznym udziale w realizacji badań oraz przygotowaniu publikacji. W końcowej części pracy zamieszczone zostało syntetyczne CV Doktoranta.

W artykule *Polypropylene structure alterations after 5 years of natural degradation in a waste landfill*, opublikowanym w renomowanym czasopiśmie *The Science of the Total Environment*, za cel przyjęto ustalenie struktury polimeru pozyskanego ze składowiska w Chlewnicy i identyfikacja zmian zachodzących w strukturze polimeru po około 5 latach ciągłej (bio)degradacji (zalegania w ziemi).

Podczas wykonywania tych badań (dzięki współpracy z zewnętrznymi instytutami badawczymi) uzyskano możliwość wykorzystania różnych technik analitycznych w celu identyfikacji struktury polimeru oraz oceny zmian w jej strukturze, w tym:

- Spektroskopii fourierowskiej w podczerwieni (FTIR): w wyniku analizy FTIR próbki zostały zidentyfikowane jako polipropylen (PP). W widmie zidentyfikowano dodatkowe drgania, które nie są specyficzne dla struktury wiązań chemicznych PP, ale raczej wynikają z obecności związków będących metabolitami drobnoustrojów;
- Skaningowa kalorymetria różnicowa (DSC): badania pozwoliły na zbadanie wpływu procesu (bio)degradacji środowiskowej na stopień krystalizacji badanego polipropylenu;
- Skaningowy mikroskop elektronowy (SEM): za pomocy tej metody zaobserwowano znaczące zmiany na powierzchni folii polipropylenowej, stanowiącej przedmiot badań. PP wykazywał wyraźne oznaki rozwarstwienia struktury, w wyniku którego tworzyły się cząstki mikroplastiku (o średnicy mniejszej niż 5  $\mu\text{m}$ );
- Mikroskopia fluorescencyjna: za pomocą SEM zaobserwowano kilka okrągłych i owalnych obiektów, co nasunęło podejrzenie tworzenia się biofilmu. Mikroorganizmy były obecne w znaczącej ilości na powierzchni polipropylenu i prawdopodobnie utworzyły biofilm, co potwierdzono za pomocą mikroskopii fluorescencyjnej.

Uzyskane wyniki wskazują, że odpady z tworzyw sztucznych ulegają procesowi powierzchniowego tłuszczenia się, co ułatwia ich kolonizowanie przez mikroorganizmy pochodzące ze środowiska. Proces ten prawdopodobnie przyspiesza ich (bio)degradację. W konkluzji pracy wskazuje się, że uzyskane wyniki sugerują konieczność dalszych badań, aby lepiej scharakteryzować czynniki ryzyka dla środowiska i zdrowia ludzkiego.

Artykuł *Environmental Impacts of 5-Year Plastic Waste Deposition on Municipal Waste Landfills: A Follow-up Study*, który również ukazał się w czasopiśmie *The Science of the Total Environment*, prezentuje kompleksową identyfikację potencjalnych punktów ryzyka i zweryfikowanie zakresu wymaganych technik analitycznych dla tego rodzaju badań, obejmujących aspekty mikrobiologiczne, chemiczne i toksykologiczne. Niniejsza publikacja miała na celu wskazanie zmian, jakie zachodzą w środowisku i mikrobiomie środowiskowym wskutek trwających procesów (bio)degradacji.

pH gleby pochodzącej ze składowiska okazało się być wyższe w porównaniu z pH zmierzonym w próbce referencyjnej (gleba rolna), co prawdopodobnie było spowodowane zmianami w składzie ilościowym jonów wykrytymi za pomocą chromatografii jonowej (IC). Obecność plastyfikatorów i substancji pochodnych o potencjale toksycznym wykryto w próbkach gleby za pomocą chromatografii gazowej połączonej z tandemową spektrometrią masową (GC-MS/MS). Za pomocą desorpcji termicznej i GC-MS wykryto również niebezpieczne substancje (anhydryd ftalowy, anhydryd fenylmaleinowy, etylbenzen, ksylene), które mają działanie endokryne (EDCs). Liczba mikroorganizmów, zarówno grzybów pleśniowych, jak i bakterii, była znacznie wyższa w glebie i powietrzu w obszarze miejsca (bio)degradacji plastiku w porównaniu z próbką referencyjną. Gleba zebrana na składowisku wykazywała potencjał fitotoksyczny i hamowała kiełkowanie nasion (test fitotoksyczności Phytotoxkit FTM), podczas gdy test Microtox wykazał efekt hormezy wobec *Aliivibrio fischeri*.

Uzyskane wyniki wykazały znaczące zanieczyszczenie gleby w miejscu składowania folii z PP oraz powietrza zarówno substancjami chemicznymi, jak i mikroorganizmami. Oznaczone parametry

porównano z wynikami oznaczeń w glebie referencyjnej, w większości przypadków wyniki w glebie ze składowiska były znacząco wyższe. Ten poziom zanieczyszczenia środowiska może stanowić zagrożenie dla zdrowia człowieka.

W pracy *Decades of decay: A Comprehensive 60-year analysis of polyethylene (bio-)degradation in landfill environments*, znajdującej się w trakcie odpowiedzi na recenzje w czasopiśmie *Environmental Research Letters*, skupiono się na zmianach zachodzących w strukturze innej próbki folii polimerowej (zidentyfikowanej jako polietylen (PE)), w przypadku której oszacowano, że okres jej deponowania w glebie wyniósł około 60 lat. Stanowiło to jedno z kluczowych zadań przedmiotowej pracy. Doktorant wskazuje, że w pracach przeglądowych podejmowane są próby opisu mechanizmu degradacji i biodegradacji polimerów. Podkreśla, że przedstawiona praca przyniosła nową wiedzę, która to nie wynika z badań laboratoryjnych przeprowadzanych w kontrolowanych warunkach, ale z badań w warunkach rzeczywistych, co stanowi istotną wartość dodaną wykonanych badań.

Przy użyciu technik analitycznych zastosowanych w ramach pierwszej z omówionych publikacji, w tym spektroskopii fourierowskiej w podczerwieni (FTIR), różnicowej kalorymetrii skaningowej (DSC), skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) i mikroskopii fluorescencyjnej, badano próbki odpadów z tworzyw sztucznych z różnych warstw składowiska, reprezentujących konkretne dekady (bio)degradacji. Badanie miało na celu dostarczenie wglądu w dynamikę i mechanizm procesu (bio)degradacji. Z zastosowaniem analizy FTIR dokonano identyfikacji próbek plastiku, oraz zidentyfikowano ślady procesu (bio)degradacji. Wyniki oznaczeń z zastosowaniem DSC potwierdziły zmniejszenie krystalizacji próbek. Obserwacje SEM ujawniły formowanie się fragmentów plastiku w postaci tłuszczących się warstw. W szczególności mikroskopia fluorescencyjna i SEM potwierdziły obecność mikroorganizmów w procesie (bio)degradacji. Zaobserwowano, że mikroorganizmy tworzą kolonie głównie wokół obszarów znaczącej delaminacji struktury plastiku. Mikroorganizmy zidentyfikowano na powierzchni próbek nawet po 60 latach (bio)degradacji.

Wykonane badania dostarczyły informacji na temat procesu (bio)degradacji próbek PE, podkreślając kluczową rolę procesów chemicznych (efekt hydrolityczny) w środowisku glebowym, którym towarzyszą procesy mikrobiologiczne. Badanie to przyczynia się do lepszego zrozumienia dynamiki (bio)degradacji w dłuższym okresie i podkreśla znaczenie zrównoważonych strategii gospodarki odpadami w celu skutecznego rozwiązywania problemu zanieczyszczenia odpadami z tworzyw sztucznych.

Ostatnia z prac będących elementem cyklu, zatytułowana *Long-Term Polyethylene (Bio-)Degradation in Landfill: Environmental and Human Health Implications from Comprehensive Analysis*, została złożona do czasopisma *Environmental Pollution*, gdzie oczekuje na recenzje. W pracy tej przedstawiono zmiany analizowanych parametrów w środowisku glebowym na przestrzeni 60 lat składowania odpadów komunalnych. Potencjalne czynniki ryzyka, takie jak uwalniane z plastiku dodatki (w tym związki endokrynniczyne), metale ciężkie, mikroplastik i pojawiające się mikroorganizmy patogenne, przenikają z czasem do środowiska. Stąd próbki gleby pobrane spod składowiska odpadów komunalnych stanowiły istotny materiał badawczy. To unikalne podejście pozwoliło na uzyskanie i potwierdzenie wielu wcześniejszych spostrzeżeń dotyczących potencjalnych zagrożeń zarówno dla środowiska, jak i zdrowia człowieka.

Analizy kolejnych warstw gleby, przeprowadzone za pomocą zaawansowanych technik, takich jak ICP-ES/MS do oznaczania metali ciężkich, IC-LC do analizy anionów i kationów czy TD-GC-MS do oznaczania lotnych i średniolotnych związków organicznych, ujawniły znaczne różnice w stężeniach w porównaniu z próbkami kontrolnymi. Skład chemiczny gleby wskazuje na obecność licznych związków, w tym halogenoorganicznych, co sugeruje uwolnienie dodatków ze struktur polietylenu do gleby. Ocena toksyczności, w tym testy Phytotoxkit FTM, Microtox oraz Ostracodtoxkit, wykazała potencjał toksyczny badanych próbek gleby. Potencjał fitotoksyczny, toksyczność ostra próbek gleby spod składowiska wobec *Aliivibrio fischeri* oraz wysokie wskaźniki śmiertelności (>85%) organizmów *Heterocypris incongruens* na wszystkich poziomach wskazują na potencjalne zagrożenia dla środowiska i zdrowia ludzi.

Wyraźnym trendem, który wyłonił się jako rezultat badań, było występowanie wartości odstających w środkowych warstwach składowiska, które zostały powiązane z transformacjami gospodarczymi w Polsce w latach 80. i 90. XX w. połączonej z napływem produktów opakowanych w wyroby z tworzyw sztucznych oraz znaczącym wzrostem użycia jednorazowych opakowań (zwłaszcza torebek foliowych) przede wszystkim w handlu.

Ponadto, wyniki badań podkreślają zdolność mikroorganizmów (w tym patogenów) do kolonizacji struktur próbek polietylenu pobranych ze wszystkich warstw składowiska. Wyniki te również wskazują na potencjał przenikania mikroorganizmów do środowiska, w tym do wód podziemnych poprzez dno składowiska. W pracy podkreśla się, że zarządzanie składowiskami odpadów, zwłaszcza tymi, które zostały uruchomione i działały przed 1990 r., wymaga głębszego zainteresowania i kompleksowych strategii w celu zapewnienia skutecznej ochrony środowiska, a w efekcie również zdrowia człowieka.

### 3. Uwagi redakcyjne

Mając na uwadze, że pracę doktorską stanowi cykl prac, z których część została już poddana recenzji i opublikowano je po odpowiednim procesie redakcyjnym, nie analizowano prac stanowiących jednolity cykl publikacji pod kątem uwag redakcyjnych. Nie oceniano również pod tym kątem prac, które są dopiero w trakcie recenzji, jako że wszelkie uchybienia tej natury będą raczej uwzględnione na etapie przygotowywania artykułów do wydania.

Niemniej jednak pewne uwagi tej natury występują w odniesieniu do opisu charakteryzującego pracę, a dokładniej do części stanowiącej streszczenie materiału stanowiącego pracę doktorską.

W pierwszej kolejności jednak chciałbym zwrócić uwagę na dość mocno syntetyczny charakter tej części, która w dotychczasowym moim rozumieniu idei prac doktorskich zgłaszanych w formie cyklu publikacji, powinna stanowić nie tylko streszczenie samej pracy, ale i coś w rodzaju autoreferatu i krótkiego przewodnika po publikacjach stanowiących elementy cyklu. Jakkolwiek krótką charakterystykę artykułów można w tym opracowaniu znaleźć, choć ma to charakter wybitnie syntetyczny, to nie znalazłem w tym opracowaniu żadnej formy autoreferatu. Pragnę podkreślić, że uwaga ta nie stanowi w żadnym razie krytyki, bo też być może wynika z pewnej praktyki stosowanej na Uczelni, jednak w dotychczas recenzowanych mnie pracach, które były zgłaszane jako cykl publikacji, taki autoreferat się znajdował.

Drugie spostrzeżenie odnośnie pewnej nietypowości przedłożonego do oceny cyklu publikacji związane jest z faktem, że część ze zgłoszonych prac jest jeszcze w trakcie recenzji, tj. nie są to artykuły opublikowane w czasopiśmie. Ponownie, nie jest to krytyka samego doktoratu, a jedynie zwrócenie

uwagi na pewną nietypowość. W momencie otrzymania pracy do recenzji, tylko jeden z artykułów był opublikowany, jednak w międzyczasie zaakceptowany do druku został również drugi z nich. Biorąc powyższe pod uwagę można domniemywać, że i kolejne prace zostaną w niedługim czasie przyjęte do wydania. Niemniej jednak pod listą publikacji stanowiących elementy cyklu Doktorant wyszczególnia parametry punktowe i Impact Factor czasopism, do których złożono prace, co trochę mylnie sugeruje, że jest to komplet punktów, który już obecnie został przypisany Doktorantowi za przedłożone do oceny osiągnięcie naukowe. Wydaje się, że powinno być jednak jasno zaznaczone, że część z tych publikacji jest jeszcze w trakcie oceny, a zatem nie jest to sumaryczna liczba punktów, które można przypisać Autorowi.

Jeśli chodzi o uwagi bardziej natury redakcyjnej, pragnę zwrócić uwagę na pewną nieścisłość w używanej przez Doktoranta terminologii, co najpewniej wynika z tłumaczenia anglojęzycznej wersji opracowania na język polski. W opisie celów pracy Doktorant używa sformułowania „miejskie wysypiska”, przy czym w anglojęzycznej wersji zastosowany został termin „municipal landfills”. Zasadniczo, w polskiej nomenklaturze termin „wysypisko” używany jest raczej w stosunku do instalacji niespełniających określonych w przepisach standardów i często utożsamiany jest z miejscami, na które odpady trafiają w sposób nielegalny. Powinien tu być raczej zastosowany termin „składowisko odpadów komunalnych”, który wskazuje na zorganizowany obiekt służący do gromadzenia odpadów pochodzących z gospodarstw domowych w sposób zgodny z obowiązującymi przepisami prawa.

Również w części dotyczącej celów pracy użyto nieprzetłumaczonego na język polski terminu „lubricants”, który oznacza „środki smarne”, czy też po prostu „smary”.

W opisie znajdują się również nieliczne uchybienia o charakterze edytorskim, jak tzw. literówki czy błędy związane z interpunkcją, których co należy wyraźnie podkreślić, jest stosunkowo niewiele. W nielicznych miejscach brakuje pojedynczych wyrazów, jednak kontekst jednoznacznie wskazuje na sens określonych fragmentów tekstu. Błędy te zapewne wynikają z tłumaczenia i faktu, że Doktorant może nie posługiwać się biegle językiem polskim. W anglojęzycznej wersji tekstu występują podobne, nieliczne uchybienia natury edytorskiej. Są one naturalne dla tego typu prac i w najmniejszym stopniu nie wpływają na merytoryczną ocenę dorobku Autora.

#### **4. Uwagi krytyczne i pytania**

Na wstępie tej części recenzji pragnę zaznaczyć, że przedłożoną do oceny pracę doktorską oceniam wysoko, zaś temat podjęty przez Doktoranta uważam za istotny i wnoszący znaczny wkład oraz nową wiedzę w problematykę potencjalnych skutków dla zdrowia wynikających procesów biodegradacji tworzyw sztucznych gromadzonych na składowiskach odpadów komunalnych. Jako recenzent odniosłem wrażenie, że praca doktorska została starannie zaplanowana, przemyślana i prezentuje bogaty warsztat naukowy Doktoranta.

Analiza materiału zaprezentowanego przez Doktoranta w stanowiących elementy cyklu publikacjach prowadzi do wniosku, że niewiele jest tu aspektów, które budziłyby istotne zastrzeżenia i wymagały zgłoszenia poważnych uwag krytycznych. Pojawiło się jednak kilka pytań, które chciałbym w niniejszej recenzji Doktorantowi zadać i które przytaczam poniżej.

W uzasadnieniu podjęcia badań Doktorant zamieszcza następujące stwierdzenie: „...znaczna ilość odpadów z tworzyw sztucznych trafia do starych składowisk odpadów komunalnych, które to nie są tak dobrze zabezpieczone jak nowoczesne składowiska...”. Po pierwsze nie jestem pewien, czy to

stwierdzenie ma charakter generalny, czy też dotyczy tylko Polski. Po drugie, czy jest to stwierdzenie mające podparcie w wynikach jakichś badań lub chociaż danych statystycznych. Należy bowiem zauważyć, że generalnie w Polsce ilość odpadów (w tym odpadów z tworzyw sztucznych) trafiających na składowiska systematycznie maleje, zaś składowiska niespełniające wymogów dotyczących ochrony środowiska są zamykane. Poza tym nie jestem pewien, czy Doktorant miał na myśli kontekst zanieczyszczenia mikro- i nanoplastikiem, czy generalnie tworzywami sztucznymi. Dobrze byłoby zatem doprecyzować wspomniane stwierdzenie i uwzględnić w nim przytoczone wyżej aspekty.

Biorąc pod uwagę stwierdzoną w przeprowadzonych przez Doktoranta badaniach możliwość migracji produktów rozkładu tworzyw sztucznych do gleby i wód gruntowych (w tym w szczególności substancji i związków mogących mieć toksyczny wpływ na organizmy żywe), czy Doktorant widzi jakąś możliwość bieżącego kontrolowania tego typu zanieczyszczeń i co za tym idzie ograniczenie ryzyka ich przedostania się do organizmów żywych, np. osób zamieszkujących w pobliżu składowisk odpadów komunalnych?

Czy zastosowane przez Doktoranta metody badawcze mają charakter uniwersalny, tj. czy mogą zostać zastosowane również na innych rodzajach składowisk? W tym konkretnym przypadku możliwość wykonania badań wynikała z określonych działań prowadzonych na składowisku i dostępu do najgłębszych warstw składowiska, liczących kilkadziesiąt lat. Trudno jednak wyobrazić sobie możliwość zrealizowania podobnych badań na funkcjonującym składowisku. Jakże zatem należałoby przeprowadzić badania, aby móc ocenić potencjalne skutki środowiskowe i zdrowotne na terenie składowisk, na których nie ma dostępu do wszystkich ich warstw?

Czy stosując podobne metody badawcze istniałaby możliwość identyfikacji skutków bio(degradacji) innych tworzyw sztucznych niż polietylen i polipropylen, jak choćby PCV czy PET? Tworzywa te były i nadal są powszechnie stosowane i również w znacznych ilościach trafiają na składowiska odpadów komunalnych. Dodatkowym problemem, który wydaje się być istotny w kontekście negatywnego oddziaływania na zdrowie ludzi są również nielegalne wysypiska odpadów, które jeszcze kilka lat temu były dość powszechnym w Polsce zjawiskiem. Ocena skutków oddziaływania tego typu obiektów na otoczenie, a zwłaszcza na zdrowie okolicznych mieszkańców, wydaje się być niezwykle istotną potrzebą.

Czy Doktorant widziałby rozwiązanie (techniczne, administracyjne, finansowe, itp.), którego wdrożenie mogłoby przyczynić się ograniczenia ryzyka zachodzenia opisanych w pracy procesów (m.in. degradacji, w tym degradacji mikrobiologicznej, powstawania cząstek mikro- i nanoplastiku), a co za tym idzie do zmniejszenia ryzyka przedostawania się do środowiska gruntowo-wodnego związków chemicznych mogących stanowić zagrożenie dla środowiska oraz zdrowia ludzi?

W ostatnich latach coraz częściej zaczynają pojawiać się doniesienia o różnych gatunkach mikroorganizmów (bakterii, grzybów), które są zdolne do rozkładu tworzyw sztucznych, docelowo do postaci dwutlenku węgla i wody. Czy Pana zdaniem oznaczałoby to, że problem zalegających na składowiskach odpadów tworzyw sztucznych można byłoby wkrótce rozwiązać?

## 5. Wniosek końcowy

Ocenianą pracę należy uznać za przykład kompleksowego podejścia do problematyki zanieczyszczenia środowiska w otoczeniu składowisk odpadów komunalnych produktami degradacji (w tym degradacji mikrobiologicznej) tworzyw sztucznych deponowanych na tego typu obiektach, jak również

problematyki negatywnych następstw dla środowiska i zdrowia człowieka mogących wynikać z zachodzących na terenie składowisk procesów rozkładu odpadów z tworzyw sztucznych. Należy tu podkreślić dużą wartość samej pracy, jak również znaczący wkład doktoranta zarówno w przygotowanie i realizację badań, jak również wartościowych prac prezentujących wyniki zrealizowanych badań, opublikowanych już częściowo w prestiżowym czasopiśmie naukowym.

Mając powyższe na uwadze, stwierdzam, że będąca przedmiotem oceny rozprawa doktorska Pana Vladyslava Redko pt. „Environment and human health hazard identification arising from the biodegradation process of polymer products” spełnia wymogi określone w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668). W oparciu o powyższe stawiam wniosek do Rady Nauk o Zdrowiu Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego o dopuszczenie Pana mgr. inż. Vladyslava Redko do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jednocześnie, mając na uwadze podjęcie unikalnych badań o interdyscyplinarnym charakterze, umożliwiających przeprowadzenie wysoce specjalistycznych analiz z uwzględnieniem sytuacji w warunkach rzeczywistego obiektu, co ma ogromną przewagę nad wynikami badań przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych, stanowiących jednak swego rodzaju symulację środowiska naturalnego, stawiam wniosek o wyróżnienie przedmiotowej rozprawy doktorskiej. Chciałbym go umotywić przede wszystkim użytecznym charakterem zrealizowanych badań, w ramach których za szczególnie istotne należy uznać wnioski płynące z realizacji podjętych prac, wskazujące na liczne negatywne efekty dla środowiska, jakie obserwowane są w wyniku procesów rozkładu tworzyw sztucznych na terenie składowisk odpadów komunalnych, jak również potencjalne skutki dla zdrowia i życia ludzi. Szczególnie warte podkreślenia jest zidentyfikowanie w zebranych próbkach wysokich stężeń metali, w tym metali śladowych, cechujących się znacznym poziomem toksyczności, lotnych związków organicznych czy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych. Wyniki przeprowadzonych biotestów dowodzące występowania podwyższonych wskaźników toksyczności, wskazały z kolei na możliwość migracji związków o charakterze toksycznym do głębokich partii składowiska. W efekcie dowiedziono możliwości pojawienia się szkodliwych substancji w glebach i odciekach pochodzących ze składowiska, co w przypadku zwłaszcza starszych, źle zabezpieczonych składowisk, może stanowić poważne zagrożenie dla otoczenia, w tym dla zdrowia ludzi. Uzyskana dzięki zrealizowanej pracy nowa wiedza ma zatem potencjał we wskazywaniu kierunków niezbędnych działań, mających na celu przyspieszone zamykanie składowisk odpadów niespełniających współczesnych wymagań ochrony środowiska, jak również działań zmierzających do zmiany sposobu postępowania z odpadami z modelu linearnego na cyrkularny, a w efekcie również poprawy jakości życia ludności i ograniczenia negatywnego oddziaływania składowisk odpadów na ich zdrowie i życie.



Artur Badyda.