

Autoreferat

**o osiągnięciach w działalności naukowo-badawczej,
dydaktycznej i organizacyjnej**

Rzeszów 2023

Spis treści

1. Imię i nazwisko	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.....	3
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....	4
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).....	4
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.	25
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.	26
7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.....	28

1. Imię i nazwisko

Małgorzata Kida

📄 ORCID: 0000-0003-1744-4014

📄 Scopus: 56810700200

📄 Web of Science: GAU-2566-2022

📄 PBN: 5e7092b8878c28a04739b69d

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej**Doktorat****08.02.2019 r.**

Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza

doktor nauk technicznych

Dyscyplina: inżynieria środowiska

Specjalność: technologia wody i ścieków

Rozprawa doktorska pt. „*Wspomaganie metod chemicznego usuwania ftalanu di(2-etyloheksylu) z matryc osadów dennych*”

Promotor: dr hab. inż. Piotr Koszelnik, prof. PRz

Recenzenci: dr hab. inż. Magdalena Gajewska, prof. Politechniki Gdańskiej, dr hab. inż. Jacek Piekarski, prof. Politechniki Koszalińskiej

Studia II stopnia**09.07.2013 r.**

Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury

magister inżynier inżynierii środowiska

Kierunek: inżynieria środowiska

Specjalność: oczyszczanie ścieków i unieszkodliwianie odpadów

Praca magisterska pt. „*Stan chemiczny ekosystemu zbiornika rzeszowskiego*”

Promotor: dr hab. inż. Piotr Koszelnik, prof. PRz

Recenzent: dr inż. Jadwiga Kaleta

Studia I stopnia**10.02.2012 r.**

Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury

inżynier inżynierii środowiska

kierunek: inżynieria środowiska

Praca inżynierska pt. „*Zastosowanie pylistego keramzytu w technologii oczyszczania ścieków*”

Promotor: prof. dr hab. inż. Janusz Tomaszek

Recenzent: dr inż. Jadwiga Kaleta

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych

01.05.2019 – obecnie	Adiunkt w Katedrze Inżynierii i Chemii Środowiska Politechniki Rzeszowskiej
01.10.2022 – 31.12.2022	Specjalista inżynieryjno-techniczny w Katedrze Technologii Wody i Ścieków Politechniki Gdańskiej.
01.02.2021 – 30.06.2021	Technik w Katedrze Technologii Wody i Ścieków Politechniki Gdańskiej.
01.10.2013 – 30.04.2019	Asystent w Katedrze Inżynierii i Chemii Środowiska Politechniki Rzeszowskiej.
01.09.2014 – 30.06.2015	Stażysta naukowy w Tarnobrzeskich Wodociągach S.A.
01.03.2013 – 30.06.2013	Asystent Stażysta w Katedrze Inżynierii i Chemii Środowiska Politechniki Rzeszowskiej.
01.10.2012 – 31.12.2012	Pracownik inżynieryjno-techniczny w Katedrze Inżynierii i Chemii Środowiska Politechniki Rzeszowskiej.

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)

4.1. Dziedzina i dyscyplina

☞ **Dziedzina** *Nauki inżynieryjno-techniczne*

☞ **Dyscyplina** *Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka*

4.2. Tytuł głównego osiągnięcia naukowego i wykaz publikacji powiązanych tematycznie

DEGRADACJA MIKROPLASTIKÓW JAKO ŹRÓDŁO ZANIECZYSZCZEŃ W ŚRODOWISKU WODNYM

Jako osiągnięcie naukowe, wynikające z art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.), stanowiące wkład w rozwój dyscypliny naukowej *Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka* oraz podstawę do ubiegania się o uzyskanie stopnia naukowego doktora habilitowanego, wskazuję cykl 7 publikacji powiązanych tematycznie pod tytułem „*Degradacja mikroplastików jako źródło zanieczyszczeń w środowisku wodnym*”. Osiągnięcie naukowe ujmuje dwa problemy naukowe dotyczące badania degradacji mikroplastików, wymywania plastyfikatorów do środowiska wodnego oraz ocenę emisji gazów szklarniowych w trakcie degradacji tworzyw sztucznych w ekosystemie wodnym (publikacje C1-C5) oraz ocenę możliwości zastosowania metod uczenia maszynowego do prognozowania emisji zanieczyszczeń podczas degradacji mikroplastików w środowisku wodnym (publikacje C6-C7).

[C1] **Kida, M.**, & Koszelnik, P. (2021). Investigation of the presence and possible migration from microplastics of phthalic acid esters and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Polymers and the Environment*, 29, 599-611.

- Liczba punktów MNiSW: 70
 - Impact factor: **4,705** (IF₂₀₂₁), **4,5** (IF_{5letni})
 - CiteScore₂₀₂₁: 6,8
 - Opis wkładu własnego: kwerenda bibliograficzna, konceptualizacja założeń i metodologii pracy, gromadzenie i opracowanie danych, prowadzenie badań, analiza wyników, przygotowanie wyników badań naukowych do publikacji, przygotowanie manuskryptu, recenzja i korekta ostatecznej wersji manuskryptu, pozyskanie finansowania.
- [C2] **Kida, M.**, Ziembowicz, S., Pochwat, K., & Koszelnik, P. (2022). Experimental and computational hazard prediction associated with reuse of recycled car tire material. *Journal of Hazardous Materials*, 438, 129489.
- Liczba punktów MNiSW: 200
 - Impact factor: **13,6** (IF₂₀₂₃), **12,7** (IF_{5letni})
 - CiteScore₂₀₂₂: 20,2
 - Opis wkładu własnego: kwerenda bibliograficzna, konceptualizacja założeń i metodologii pracy, gromadzenie i opracowanie danych, prowadzenie badań, analiza wyników, przygotowanie wyników badań naukowych do publikacji, przygotowanie manuskryptu, recenzja i korekta ostatecznej wersji manuskryptu, pozyskanie finansowania.
- [C3] **Kida, M.**, Ziembowicz, S., & Koszelnik, P. (2023). Decomposition of microplastics: emission of harmful substances and greenhouse gases in the environment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(1), 109047.
- Liczba punktów MNiSW: 100
 - Impact factor: **7,7** (IF₂₀₂₃), **7,3** (IF_{5letni})
 - CiteScore₂₀₂₂: 9,5
 - Opis wkładu własnego: kwerenda bibliograficzna, konceptualizacja założeń i metodologii pracy, gromadzenie i opracowanie danych, prowadzenie badań, analiza wyników, przygotowanie wyników badań naukowych do publikacji, przygotowanie manuskryptu, recenzja i korekta ostatecznej wersji manuskryptu, pozyskanie finansowania.
- [C4] **Kida, M.**, Ziembowicz, S., & Koszelnik, P. (2023). Influence of microplastic decomposition conditions on the emission of substances harmful to the environment. *Desalination and Water Treatment*, 288, 121-129.
- Liczba punktów MNiSW: 100
 - Impact factor: **1,1** (IF₂₀₂₃), **1,1** (IF_{5letni})
 - CiteScore₂₀₂₂: 2,3
 - Opis wkładu własnego: kwerenda bibliograficzna, konceptualizacja założeń i metodologii pracy, gromadzenie i opracowanie danych, prowadzenie badań, analiza wyników, przygotowanie wyników badań naukowych do publikacji, przygotowanie manuskryptu, recenzja i korekta ostatecznej wersji manuskryptu, pozyskanie finansowania.
- [C5] **Kida, M.**, Ziembowicz, S., & Koszelnik, P. (2022). CH₄ and CO₂ Emissions from the decomposition of microplastics in the bottom sediment - preliminary studies. *Environments*, 9(7), 91.

- Liczba punktów MNiSW: 20
 - Impact factor: **3,7** (IF₂₀₂₂), **3,6** (IF_{5letni})
 - CiteScore₂₀₂₂: 5,9
 - Opis wkładu własnego: kwerenda bibliograficzna, konceptualizacja założeń i metodologii pracy, gromadzenie i opracowanie danych, prowadzenie badań, analiza wyników, przygotowanie wyników badań naukowych do publikacji, przygotowanie manuskryptu, recenzja i korekta ostatecznej wersji manuskryptu, pozyskanie finansowania.
- [C6] **Kida, M.**, Pochwat, K., Ziembowicz, S., Pizzo, H. (2023). The use of artificial neural networks in modelling migration pollutants from the degradation of microplastics. *Science of The Total Environment*, 904, 166856.
- Liczba punktów MNiSW: 200
 - Impact factor: **9,8** (IF₂₀₂₃), **9,6** (IF_{5letni})
 - CiteScore₂₀₂₃: 16,8
 - Opis wkładu własnego: kwerenda bibliograficzna, konceptualizacja założeń i metodologii pracy, gromadzenie i opracowanie danych, prowadzenie badań, analiza wyników, przygotowanie wyników badań naukowych do publikacji, przygotowanie manuskryptu, recenzja i korekta ostatecznej wersji manuskryptu, pozyskanie finansowania.
- [C7] **Kida, M.**, Pochwat, K., Ziembowicz, S. (2023). Assessment of machine learning-based methods predictive suitability for migration pollutants from microplastics degradation. *Journal of Hazardous Materials*, 461, 132565.
- Liczba punktów MNiSW: 200
 - Impact factor: **13,6** (IF₂₀₂₃), **12,7** (IF_{5letni})
 - CiteScore₂₀₂₂: 20,2
 - Opis wkładu własnego: kwerenda bibliograficzna, konceptualizacja założeń i metodologii pracy, gromadzenie i opracowanie danych, prowadzenie badań, analiza wyników, przygotowanie wyników badań naukowych do publikacji, przygotowanie manuskryptu, recenzja i korekta ostatecznej wersji manuskryptu, pozyskanie finansowania.

☰ *Sumaryczny Impact Factor w roku publikacji*

- IF – 54,205

☰ *Liczba punktów MNiSW*

- 890

Kopie publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego zamieszczono w **Załączniku 5**. Oświadczenia współautorów publikacji zaliczonych do osiągnięcia naukowego wraz z określeniem indywidualnego wkładu w ich powstanie zawiera **Załącznik 6**.

4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników

4.3.1. Wprowadzenie i uzasadnienie prowadzonych badań

Zanieczyszczenie środowiska tworzywami sztucznymi jest obecnie uznawane za zagrożenie o charakterze globalnym. Tworzywa sztuczne wprowadzone do środowiska pozostają w nim przez dziesiątki, a nawet setki lat. Stopniowo rozkładają się na coraz mniejsze frakcje, tzw. mikroplastiki (MPs), które przenikają do różnych ekosystemów środowiska, takich jak gleba, woda i powietrze.

Główne zagrożenia środowiskowe i zdrowotne związane z zanieczyszczeniem ekosystemów wodnych MPs wynikają z ich wpływu na organizmy żywe, trwałości oraz zdolności do akumulacji. MPs są również uważane za potencjalne nośniki różnych zanieczyszczeń, m.in. takich jak dodatki tworzyw sztucznych, metale ciężkie, trwałe zanieczyszczenia organiczne, antybiotyki, pestycydy, fungicydy, itp. MPs są także nośnikami patogenów, które rozwijają się na błonie biologicznej utworzonej na ich powierzchni.

W trakcie degradacji MPs w środowisku wodnym zachodzi proces rozpadu łańcucha polimeru. W wyniku tego procesu uwalniane są do środowiska wodnego toksyczne substancje chemiczne będące składnikami tworzyw sztucznych, m.in. oligomery, monomery, utlenione półprodukty i dodatki, które ulepszają właściwości polimerów, takie jak wypełniacze, stabilizatory, barwniki, środki zmniejszające palność, plastyfikatory, przeciwutleniacze i inne. Pod względem ilości dodatków do tworzyw sztucznych, plastyfikatory stanowią największą grupę środków pomocniczych, z których najczęściej stosuje się estry kwasu ftalowego (PAEs, ftalany). Badania naukowe jednoznacznie potwierdziły, że długotrwałe narażenie na te substancje może skutkować zaburzeniami hormonalnymi, uszkodzeniem narządów wewnętrznych, obniżoną płodnością, zaburzeniami rozwoju i innymi negatywnymi skutkami zdrowotnymi u organizmów żywych. Niestety, brak wiązań kowalencyjnych między strukturą PAEs a tworzywem sztucznym powoduje, że plastyfikatory łatwo uwalniają się do środowiska naturalnego. W trakcie rozkładu tworzyw sztucznych, następuje również emisja gazów (głównie węglowodorów) takich jak gazy szklarniowe (metan - CH_4 , dwutlenek węgla - CO_2) oraz ich prekursorów (m. in. etylen). Obecnie na całym świecie prowadzone są badania dotyczące oceny wkładu różnych procesów naturalnych i antropogenicznych w produkcję gazów szklarniowych powodujących stopniowy wzrost średniej temperatury atmosfery Ziemi. Gazy szklarniowe powstające na skutek rozkładu tworzyw sztucznych nie były dotąd brane pod uwagę przy opracowaniu modeli obrazujących prawdopodobne zmiany klimatyczne w przyszłości. Dotychczas analizowano jedynie wielkość emisji CO_2 podczas produkcji i przetwarzania tworzyw sztucznych, pomijając procesy związane z rozpadem tworzyw sztucznych i migracji zawartego w nich węgla w środowisku, czy to za pośrednictwem procesów biologicznych czy naturalnego utleniania, w określeniu globalnej produkcji CO_2 i jego wpływu na efekt szklarniowy. W literaturze istnieje również niewiele badań dotyczących migracji dodatków z tworzyw sztucznych do środowiska wodnego. W większości przypadków te badania koncentrują się na wymywaniu pojedynczych substancji do produktów spożywczych. Ponadto, wyniki badań dotyczących wpływu różnych czynników na ten proces są sprzeczne i niejednoznaczne.

Zauważalny jest również brak badań dotyczących ilości MPs w środowisku wód śródlądowych. Analizy obecności MPs w wodach słodkich, szczególnie na obszarach zurbanizowanych, są o wiele mniej powszechne w porównaniu do badań prowadzonych w kontekście środowiska morskiego. Zdecydowana większość (ok. 96%) prowadzonych na świecie badań skupia się na kwestiach zanieczyszczenia MPs środowisk morskich, gdyż do niedawna uważano, że rzeki stanowią jedynie drogę transportu MPs z obszarów lądowych do mórz i oceanów. Wykazano jednak, że MPs mogą być również zatrzymywane w osadach rzecznych czy jeziornych, a ich stężenia są tak wysokie, jak w środowiskach morskich. Tak więc badania ekosystemów słodkowodnych są równie ważne. MPs przedostające się z lądu do rzek, jezior czy zbiorników zaporowych mogą stanowić zagrożenie dla zamieszkujących je organizmów żywych oraz całych ekosystemów. Ograniczone badania tych środowisk skupiają się jedynie na ilościowym określeniu liczebności MPs w osadach i słupie wody rzek i jezior. Zauważalny jest również brak badań dotyczących mechanizmów degradacji tworzyw sztucznych w ekosystemach śródlądowych, powstawania w trakcie tego procesu gazów cieplarnianych i wpływu poszczególnych czynników w szczególności w ujęciu całościowym na proces wymywania składników z matrycy polimerowej oraz mechanizmów fragmentacji tych cząstek. Powstawaniu i degradacji mikroplastików, w tym nanoplastików, należy poświęcić więcej uwagi badawczej, aby lepiej ocenić ich los i ryzyko ekologiczne w środowisku. Do tej pory badania skażenia ekosystemów wodnych MPs dotyczyły przede wszystkim środowiska morskiego w aspekcie ilościowym.

W Polsce problem zanieczyszczenia środowiska MPs jest również mało rozpoznany. Może to wynikać z braku świadomości zagrożenia i braku regulacji prawnych zarówno w Polsce, jak i Unii Europejskiej w zakresie monitorowania MPs w wodach powierzchniowych oraz kwestii ograniczania ich ilości wprowadzanych do środowiska wodnego. Brakuje również jednolitych wytycznych oraz spójnych standardów w zakresie ilościowej i jakościowej analizy MPs, co stwarza trudności w otrzymaniu wyników o wysokim stopniu wiarygodności oraz utrudnia porównywanie wyników pomiędzy różnymi badaniami.

Badania ilości, rozmieszczenia, charakterystyki MPs oraz wpływu czynników środowiskowych są niezbędne w celu pełnego zrozumienia mechanizmów ich transportu i rozkładu w środowisku wodnym. Stanowią one kluczowy element w ocenie negatywnych skutków MPs na organizmy wodne oraz w opracowywaniu strategii zarządzania i minimalizowania ich obecności w ekosystemach wodnych, w celu ochrony zdrowia i jakości środowiska wodnego.

4.3.2. Cel badań

Celem naukowym przeprowadzonych prac badawczych, których wyniki przedstawiono w cyklu publikacji, była:

- ▣ analiza wpływu warunków procesu degradacji mikroplastików w środowisku wód śródlądowych na stopień wymywania dodatków w szczególności pełniących funkcję plastyfikatorów tworzyw sztucznych
- ▣ badania warunków i wielkości emisji gazów szklarniowych (metan oraz dwutlenek węgla) do środowiska w trakcie degradacji tworzyw sztucznych w ekosystemie wodnym

- ocena możliwości zastosowania metod uczenia maszynowego do prognozowania emisji zanieczyszczeń podczas degradacji mikroplastików w środowisku wodnym.

4.3.3. Omówienie osiągniętych wyników

Badania, stanowiące osiągnięcie naukowe, zostały przeprowadzone w ramach projektu badawczego pt. „*Wpływ warunków rozkładu mikroplastiku na emisję substancji szkodliwych dla środowiska*” (NCN 2019/03/X/ST10/01557) finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki w konkursie MINIATURA 3. Uzyskane wyniki badań umożliwiły ocenę wpływu różnych warunków procesu rozkładu mikroplastików na stopień wymywania dodatków tworzyw sztucznych w środowisku wód śródlądowych. Przeprowadzono również analizę emisji gazów szklarniowych do środowiska podczas degradacji cząstek tworzyw sztucznych. Obecnie w literaturze nie ma pełnej wiedzy na temat znaczenia tych procesów w ekosystemie wodnym, co skutkuje istotną potrzebą prowadzenia badań w tym obszarze. Analiza wymywania dodatków tworzyw sztucznych może przyczynić się do identyfikacji potencjalnych źródeł zanieczyszczenia oraz określenia ich wpływu na organizmy żywe. Badania w tym obszarze mają strategiczne znaczenie dla podejmowania skutecznych działań ochrony środowiska i zrównoważonego zarządzania zasobami wodnymi.

W pierwszej fazie badań przeprowadzono analizę składu różnych produktów codziennego użytku wykonanych z tworzyw sztucznych pod względem ilości i rodzaju zastosowanych plastyfikatorów. Znajomość składu mikroplastików i czynników powodujących emisję substancji toksycznych stanowi podstawę prac mających na celu ich usunięcie z zanieczyszczonego środowiska. W tym celu opracowano indywidualne metody ekstrakcji plastyfikatorów z mikroplastików, które były niezbędne z uwagi na złożoną charakterystykę tworzyw sztucznych. Uwzględniono wiele czynników mających wpływ na efektywność ekstrakcji, takich jak rodzaj i stężenie ekstrahenta, czas ekstrakcji, temperatura oraz specyficzne właściwości chemiczne i fizyczne analizowanego tworzywa sztucznego. Ponadto, przy projektowaniu nowych metod szczególnie ważne jest uwzględnienie zasad zielonej chemii, w celu uniknięcia dodatkowego obciążenia dla środowiska. Wyznaczenie optymalnych warunków elucji składników z poszczególnych tworzyw sztucznych było kluczowe dla uzyskania precyzyjnych i porównywalnych wyników. Do badań wybrano różnorodne tworzywa sztuczne powszechnie dostępne na rynku oraz szeroko stosowane w praktyce. Wybrano materiały reprezentujące polimery takie jak polietylen (PE) – folia przemysłowa, poli(chlorek winylu) (PCW) – uszczelka tramera oraz folia przemysłowa, polipropylen (PP) - rękawiczki, polistyren (PS) - styropian oraz kauczuk butadienowo-styrenowy (K) – opona samochodowa. W celu analizy wpływu ilości plastyfikatorów na emisję tych substancji oraz emisję gazów cieplarnianych, badaniom poddano dwa materiały wykonane z poli(chloroku winylu), o różnej początkowej zawartości plastyfikatorów. Wszystkie badane tworzywa sztuczne zostały poddane procesowi rozdrobnienia do rozmiarów poniżej 3000 μm . W przypadku opony samochodowej dodatkowo przeprowadzono analizy dla różnych frakcji ziarnistych: 600, 1000, 1000–3000, 1000–4000 oraz 3000–8000 μm .

Analiza składu mikroplastików wykazała obecność estrów kwasu ftalowego, pełniących funkcję plastyfikatorów tworzyw sztucznych, we wszystkich analizowanych materiałach za wyjątkiem polietylenu. Uszczelka tramera wykonana z poli(chloroku winylu) zawierała DMP

(ftalan dimetylu), DEP (ftalan dietylu), DBP (ftalan di-n-butyłu), DOP (ftalan dioktylu), BBP (ftalan benzylu butyłu) oraz DEHP (ftalan di(2-etyloheksyłu)). Natomiast do produkcji folii przemysłowej PCW i rękawiczki wykonanej z polipropylenu wykorzystano estry kwasu ftalowego takie jak DEHP oraz DBP, w polistyrenie – DEP, DBP oraz DEHP. Natomiast opona samochodowa zawierała 5 ftalanów, takich jak DMP, DEP, DBP, DOP oraz DEHP. Nie zaobserwowano obecności estrów kwasów ftalowego w materiale wykonanym z polietylenu. Według Rozporządzenia (WE 10/2011) DEHP, BBP i DBP mogą być używane wyłącznie jako plastyfikatory w materiałach i produktach wielokrotnego użytku mające kontakt z żywnością beztłuszczową lub jako środki wsparcia technicznego. Dopuszczalne stężenia DEHP, BBP i DBP w produkcie końcowym wynoszą odpowiednio 0,1%, 0,1% i 0,05%. Ustalono również ograniczenia dotyczące migracji specyficznej dla DEHP – 1,5 mg/kg, BBP – 30 mg/kg i DBP – 0,3 mg/kg.

W ramach tego etapu badawczego przeprowadzono również identyfikację obecności innych substancji pomocniczych w analizowanych materiałach, które są dodawane do tworzyw sztucznych w trakcie procesu ich produkcji. Istotnym elementem tej analizy było uwzględnienie możliwości wymywania tych substancji w środowisku wodnym. Proces wytwarzania tworzyw sztucznych opiera się na użyciu różnorodnych dodatków, w których skład wchodzi około 400 substancji. W samym procesie produkcji opon wykorzystuje się ponad 200 różnych komponentów, z których każdy pełni ściśle określoną funkcję. Dla polichlorku winylu wykazano obecność kwasu propanowego, kwasu dekanodiowego oraz benzenodiaminy, pełniącej funkcję stabilizatora. Z kolei, w kauczuku zidentyfikowano obecność bifenyłu, cykloheksaminy, benzenodiaminy, kwasu neodekanowego, kwasu pentadekanowego, kwasu 9-heksadekanowego, fenolu, 2(3H)-benzotiazolonu, benzotiazolu oraz benzenu – substancji uważanej za jedną z najbardziej niebezpiecznych toksyn przemysłowych ze względu na wysoką lotność. Międzynarodowa Agencja ds. Badań nad Rakim (IARC) sklasyfikowała benzen jako substancję rakotwórczą dla ludzi (grupa 1). Ponadto, niektórzy producenci opon stosują znaczne ilości wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), aby spełnić wymagania dotyczące wytrzymałości i przyczepności produktu. Natomiast w produktach wykonanych z PCW, WWA wprowadzane są wraz z sadzą, która pełni funkcję barwnika lub wypełniacza. Zgodnie z nowelizacją Dyrektywy Unii Europejskiej 76/769 EEC benzo(a)piren (BaP), benzo(e)piren (BeP), benzo(a)antracen (BaA), chryzen (CHR), benzo(b)fluoranten (BbFA), benzo(j)fluoranten (BjFA), benzo(k)fluoranten (BkFA) oraz dibenzo(a,h)antracen (DBAhA) nie mogą występować w produktach w ilościach przekraczających 1 mg/kg dla BaP lub przekraczających 10 mg/kg dla łącznej sumy wszystkich wymienionych związków z grupy WWA. W analizowanych oponach samochodowych pochodzących z recyklingu wykryto antracen (ATRH), fenantren (PHE), fluoranten (FLU), benzo(b)fluoranten (BbFA) oraz piren (PYE). Uszczelka PVC charakteryzowała się obecnością acenaftyleny (ACY), fenantrenu (PHE), fluorantenenu (FLU) i pirenu (PYE).

Pierwszy etap badawczy dostarczył podstawowych informacji dotyczących składu mikroplastików, zastosowanych w nich plastyfikatorów oraz innych substancji pomocniczych. Wiedza ta ma kluczowe znaczenie dla podejmowania działań mających na celu kontrolę i ograniczenie emisji tych zanieczyszczeń do środowiska. Przedstawione wyniki opisano i udokumentowano w Publikacji C1.

W drugim etapie badań analizowano potencjalną zdolność wymywania plastyfikatorów z cząstek tworzyw sztucznych w trakcie procesu produkcji różnorodnych materiałów. Ta analiza pomogła wskazać źródła zanieczyszczenia tymi substancjami, stanowiąc nowy aspekt w zrozumieniu sposobu, w jaki plastyfikatory przenikają z materiałów do środowiska. W przypadku działalności produkcyjnej opartej na wykorzystaniu różnego rodzaju rozpuszczalników organicznych (stosowanych powszechnie przy produkcji farb, lakierów, klejów i detergentów, w zakładach przemysłu chemicznego, agrochemikaliów, polimerów i gumy) istnieje ryzyko zanieczyszczenia środowiska substancjami trudnorozkładalnymi. Rozpuszczalniki, takie jak metanol, etanol i aceton, znajdują szerokie zastosowanie w kosmetykach i produktach farmaceutycznych. W kontakcie z tworzywami sztucznymi, w tym pierwotnymi lub wtórnymi mikroplastikami, mogą zwiększać ryzyko wypłukiwania substancji toksycznych, co w efekcie prowadzi do zanieczyszczenia środowiska substancjami rakotwórczymi oraz substancjami trudnymi do degradacji. Wyniki badań potwierdziły, że polimery wykazują większą skłonność do rozpuszczania się w rozpuszczalniku, gdy parametry rozpuszczalności polimeru oraz rozpuszczalnika są zbliżone. W wyniku procesu dyfuzji rozpuszczalnik prowadzi do spęcznienia polimeru, umożliwiając jednocześnie fizyczne rozpuszczenie dodatków, które następnie dyfundują na zewnątrz materiału. W analizie wykorzystano trzy różne rodzaje rozpuszczalników, takie jak aceton, heksan i metanol. Heksan jest rozpuszczalnikiem niepolarnym charakteryzującym się parametrem rozpuszczalności Hildebranda $\delta=14,9 \text{ MPa}^{1/2}$, aceton jest polarnym rozpuszczalnikiem aprotonowym ($\delta=20,3 \text{ MPa}^{1/2}$), a metanol polarnym rozpuszczalnikiem protonowym ($\delta=29,7 \text{ MPa}^{1/2}$). Informacje te są istotne w kontekście wpływu rozpuszczalników na właściwości polimerów oraz mają znaczenie dla lepszego zrozumienia mechanizmów procesów wymywania plastyfikatorów z mikroplastików. Aceton charakteryzuje się parametrem rozpuszczalności zbliżonym do wartości charakterystycznych dla tworzyw sztucznych, takich jak polistyren ($\delta = 18,5-19,8 \text{ MPa}^{1/2}$), poli(chlorek winylu) ($\delta = 19,5 \text{ MPa}^{1/2}$), kauczuk naturalny ($\delta = 17,55 \text{ MPa}^{1/2}$), polibutadien ($\delta = 16,6-17,6 \text{ MPa}^{1/2}$) oraz poliuretan ($\delta = 18,1 \text{ MPa}^{1/2}$). W przypadku heksanu, jego parametry rozpuszczalności są zbliżone do polipropylenu ($\delta = 16,6 \text{ MPa}^{1/2}$). Zaobserwowano, że tworzywa sztuczne charakteryzują się różnym stopniem migracji w zależności od wielkości cząstki, temperatury, rodzaju rozpuszczalników i czasu kontaktu z nimi. Mikroplastiki w kontakcie z acetonem wykazały największy stopień migracji dodatków z poli(chloroku winylu), kauczuku, polistyrenu i polipropylenu. Stwierdzono jednak, że wszystkie analizowane materiały uwalniały ze swojej struktury estry kwasu ftalowego w obecności analizowanych rozpuszczalników, dodatkowo substancje z grupy WWA ulegały wymywaniu zarówno z opon samochodowych, jak i z uszczelki PCW. Uszczelka PCW stanowi zagrożenie zanieczyszczeniem na etapie produkcji substancjami takimi jak DMP ($0,59\pm 0,05 \text{ mg/kg}$), DEP ($2,08\pm 0,21 \text{ mg/kg}$), DBP ($15,50\pm 1,15 \text{ mg/kg}$), DEHP ($10,51 \pm 0,35 \text{ mg/kg}$) oraz substancjami z grupy WWA - ACY ($14,30 \pm 1,60 \text{ mg/kg}$), PHE ($2,64 \pm 0,03 \text{ mg/kg}$), FLU ($10,68 \pm 1,24 \text{ mg/kg}$) oraz PYE ($55,54 \pm 3,05 \text{ mg/kg}$). Natomiast z rękawiczki polipropylenowej uwalniał się DBP ($3,12\pm 0,24 \text{ mg/kg}$) oraz DEHP ($3,34\pm 0,31 \text{ mg/kg}$). W najwyższym stopniu w obecności metanolu ulegał emisji DEHP z folii przemysłowej wykonanej z PCW w ilości $201,96 \text{ g/kg}$, natomiast z polistyrenu - DEP ($0,65\pm 0,01 \text{ mg/kg}$), DBP ($12,24\pm 0,19 \text{ mg/kg}$) oraz DEHP ($1,08\pm 0,11 \text{ mg/kg}$). Opony samochodowe również uwalniały plastyfikatory (DBP i DEHP) i substancje z grupy WWA, takie jak ATRH

(11,64±1,09 mg/kg), PHE (5,63±0,10 mg/kg), FLU (13,30±0,35 mg/kg), BbFA (12,44±0,75 mg/kg) i PYE (28,38±1,41 mg/kg). Stwierdzono, że aceton w porównaniu z heksanem i metanolem w największym stopniu powodował desorpcję z analizowanych materiałów substancji takich jak DMP ($\delta=21,8 \text{ MPa}^{1/2}$), DEP ($\delta=20,9 \text{ MPa}^{1/2}$), DBP ($\delta=19,8 \text{ MPa}^{1/2}$), DEHP ($\delta=18,5 \text{ MPa}^{1/2}$), PHE ($\delta=20,1 \text{ MPa}^{1/2}$) oraz ATRH ($\delta=20,3 \text{ MPa}^{1/2}$). W trakcie każdego etapu produkcji i cyklu życia istnieje potencjalne ryzyko migracji substancji toksycznych. Niezbędna jest identyfikacja cząstek tworzyw sztucznych i systematyczna analiza zarówno pod kątem jakościowym, jak i ilościowym, która może stanowić wyzwanie ze względu na ich złożoną charakterystykę, brak aparatury i wykwalifikowanego personelu do przeprowadzania tego rodzaju analiz.

Wyniki badań uzyskane w drugim etapie mają istotne znaczenie w kontekście rozpoznania mechanizmów migracji dodatków z tworzyw sztucznych, oddziaływania rozpuszczalników na ten proces oraz identyfikacji źródeł zanieczyszczeń niebezpiecznymi substancjami. Wskazują one na potrzebę opracowania strategii minimalizacji tych zanieczyszczeń w tworzywach sztucznych. Przedstawione wyniki szczegółowo opisano i udokumentowano w Publikacji C1, C2, C3 i C4.

Trzeci etap badań miał na celu uzupełnienie istniejących i dostarczenie nowych informacji na temat wpływu różnych warunków środowiskowych na stopień wymywania plastyfikatorów z cząstek tworzyw sztucznych w środowisku wód śródlądowych. Znaczenie tego procesu w systemach lądowych jest słabo poznane, dlatego istnieje duże zapotrzebowanie na badania w tym zakresie, zwłaszcza w ekosystemach narażonych na długotrwałe warunki beztlenowe jakie mogą panować m.in. w zdegradowanych zbiornikach zaporowych.

Badania obejmowały analizę wpływu różnych czynników na migrację dodatków z cząstek tworzyw sztucznych, takich jak rodzaj tworzywa sztucznego, czas inkubacji, temperatura oraz rozmiar cząstek MPs. Badania zostały przeprowadzone w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych, odzwierciedlających rzeczywiste środowisko. Warunki laboratoryjne pozwalają na przeprowadzenie przyspieszonych badań degradacji w znacznie krótszych okresach czasu, co umożliwia prognozowanie zachowania materiałów w środowiskach naturalnych. Ponadto, zakres badań został poszerzony o wyższe temperatury w celu zapewnienia lepszego zrozumienia mechanizmów. W zależności od temperatury szybkości wymywania poszczególnych substancji znacznie się różniły. Badania emisji plastyfikatorów z uszczelki PCW w temperaturze 20°C wykazały wysokie stężenia DEHP (0,56 ± 0,008 mg/kg), DBP (0,40 ± 0,01 mg/kg), DOP (0,52 ± 0,03 mg/kg), DEP (0,25 ± 0,002 mg/kg) i DMP (0,29 ± 0,007 mg/kg) już po jednym dniu inkubacji. W miarę upływu kolejnych dni odnotowano stopniowy wzrost ilości tych substancji, a po siedmiu dniach zaobserwowano zmniejszenie ich stężenia. Przyczyną tego zjawiska w tych warunkach procesu może być rozkład tych substancji i/lub adsorpcja tych zanieczyszczeń na powierzchni cząstek MPs. Analogiczne tendencje zaobserwowano w przypadku temperatury 60°C, jednak stopień migracji zanieczyszczeń z matrycy polimerowej był wyższy. Dodatkowo, zaobserwowano wzrost stężeń DOP, DMP i BBP po upływie 14 dni w porównaniu do wartości zanotowanych po 7 dniach. Podobne tendencje odnotowano również w temperaturze 90°C. Biorąc pod uwagę, że struktura tworzyw sztucznych oparta jest na łańcuchu węglowym, istnieje możliwość uwolnienia do ekosystemów wodnych pewnych ilości rozpuszczonego węgla organicznego (DOC). To zjawisko stanowi nowe potencjalne źródło ekspozycji organizmów na składniki

rozpuszczonego węgla organicznego, które mogą ulegać bioakumulacji. Przeprowadzona analiza stężenia rozpuszczonego węgla organicznego wykazała, że wzrost temperatury z poziomu 20°C do 90°C skutkował trzykrotnym zwiększeniem tej wartości. W miarę upływu czasu, obserwowano dalszy wzrost stężenia. Po 14 dniach inkubacji, dla temperatury 20°C stężenie DOC wynosiło 125,1 mg/L, podczas gdy dla temperatury 90°C wzrosło do 359,3 mg/L. Wysokie wartości tego parametru są wynikiem również migracji innych dodatków tworzyw sztucznych i produktów ich degradacji. Z kolei, przeprowadzona analiza przewodnictwa elektrolitycznego (EC) wykazała migrację substancji nieorganicznych z matrycy polimerowej. W trakcie analizy stwierdzono, że PCW wykazuje podatność na działanie wysokich temperatur, prowadząc do znaczącej degradacji materiału i uwalnianiu dodatków. Obecność plastyfikatorów w tworzywach sztucznych według danych literaturowych ma istotny wpływ na przyspieszenie procesu degradacji PCW. W celu dokładniejszego zbadania tej kwestii, przeprowadzono badania z wykorzystaniem folii przemysłowej (PCW), w której zawartość plastyfikatorów wynosiła około 60% masy materiału. Niemniej jednak, głównym celem tych badań było zrozumienie różnic w stopniu wymywania plastyfikatorów z cząstek tworzyw sztucznych charakteryzujących się znacznym udziałem tych dodatków. Dotychczasowe badania skupiały się najczęściej na wpływie plastyfikatorów na degradację materiału. Analiza porównania procesu wymywania w kontekście różnej zawartości plastyfikatorów w cząstkach tworzyw sztucznych stanowi istotne uzupełnienie wiedzy w tym obszarze. Mechanizm wymywania plastyfikatorów z mikroplastików w środowisku wodnym może opierać się na procesach dyfuzji i rozpuszczalności. Obecność w wodzie MPs zawierających plastyfikatory prowadzi do procesów wymiany substancji między ich powierzchnią a otaczającym je środowiskiem. Jeśli plastyfikatory są dobrze rozpuszczalne w wodzie, mogą bardziej efektywnie przenikać przez powierzchnię MPs do otaczającej wody. W przypadku MPs o wyższej zawartości plastyfikatorów, stężenie tych substancji na powierzchni mikrocząstek było większe. Woda absorbowała plastyfikatory pochodzące z mikroplastików poprzez proces dyfuzji, prowadząc do zwiększenia ilości tych substancji w środowisku wodnym. Badania wykazały, że obecność MPs pochodzących z tego rodzaju materiału stanowi istotne zagrożenie dla jakości środowiska wodnego. W temperaturze 20°C, stężenie DEHP wyniosło 60 mg/kg po upływie jednego dnia inkubacji, a po 14 dniach ta wartość wzrosła niemal czterokrotnie. Najwyższy stopień migracji DEHP wyniósł 0,046% całkowitej masy produktu w temperaturze 60°C i czasie inkubacji 14 dni. Podobna zależność została zaobserwowana podczas analizy uszczelki PCW, wykonanej z tego samego rodzaju polimeru.

Badania dotyczące emisji zanieczyszczeń przeprowadzono również dla polipropylenu. W tym przypadku najwyższy stopień wymywania ftalanów zaobserwowano w temperaturze 20°C, gdzie stężenia DEHP, DBP i DOP wynosiły odpowiednio $2,07 \pm 0,013$ mg/kg, $2,09 \pm 0,05$ mg/kg i $2,05 \pm 0,019$ mg/kg ($t = 14$ d). W miarę wydłużania czasu kontaktu mikroplastików z roztworem wodnym obserwowano zmniejszenie przyrostu ilości wymywanych plastyfikatorów. W początkowej fazie procesu degradacji uwalniane były ftalany w bliskiej odległości od powierzchni, a następnie zaobserwowano powolne uwalnianie plastyfikatorów z głębszych warstw materiałów. Z kolei najniższy stopień wymywania plastyfikatorów z macierzy polimerowej odnotowano dla temperatury 60°C. Rozkład ftalanów prawdopodobnie zachodził szybciej w porównaniu do procesu dyfuzji, dodatkowo mogła zachodzić sorpcja tych zanieczyszczeń na powierzchni cząstek tworzyw sztucznych. Produkt wykonany

z polipropylenu charakteryzował się najwyższym stopniem wymywania składników ze swojej struktury, co potwierdzają wartości parametrów DOC i EC. Wzrost temperatury procesu skutkowało w tym przypadku zwiększeniem wartości tych parametrów. Dodatkowo, gęstość tworzyw sztucznych stanowiła kluczowy parametr mający wpływ na stopień wymywania ich dodatków. Plastyfikatory wykazywały niższy stopień migracji w przypadku materiałów o wyższej gęstości (gęstość PP: 0,85–0,92 g/cm³, PCW: 1,38–1,41 g/cm³). Obniżenie właściwości wytrzymałościowych polipropylenu jest rezultatem tworzenia się grup nadtlenkowych i wolnych rodników, co prowadzi do rozpadu wiązań i pęknięcia łańcucha polimerowego. Powstałe w ten sposób oligomery polipropylenu stanowią dostępne źródło węgla dla mikroorganizmów.

Badaniom poddano również oponę samochodową wykonaną z kauczuku styrenowo-butadienowego. W trakcie analiz zaobserwowano migrację substancji, w tym DEHP, DBP, DOP, DEP oraz DMP do roztworu wodnego. Materiał ten został poddany szczegółowym analizom, które obejmowały podział na pięć frakcji o rozmiarach: 3000-8000, 1000-4000, 1000-3000, 1000 oraz 600 µm. Decyzja o wyborze tego konkretnego materiału do badań wynikała z konieczności zbadania wpływu rozmiaru cząstek tworzywa sztucznego na stopień emisji plastyfikatorów z ich struktury. Analiza tego materiału wykazała, że rozmiar cząstek mikroplastiku ma istotny wpływ na ilość wymywanych dodatków. Stwierdzono również większy stopień migracji plastyfikatorów z mniejszych cząstek. Potwierdzają to odnotowane wartości DOC dla poszczególnych rozmiarów analizowanych MPs. Porównując wartości emisji DEHP po 1 dniu inkubacji w wodzie w temperaturze 20°C, zaobserwowano, że cząstki o rozmiarze 600 µm uwalniały ponad dziesięciokrotnie więcej tej substancji w porównaniu z cząstkami o rozmiarze 3000-8000 µm. W przypadku wszystkich analizowanych frakcji zaobserwowano istotne statystycznie różnice w zawartości substancji wymywających się z opony w trakcie czasu inkubacji. Podwyższenie temperatury do poziomu 60 i 90°C skutkowało zwiększeniem stopnia wymywania większości plastyfikatorów w pierwszych dniach inkubacji. W trakcie kolejnych dni inkubacji zaobserwowano, że ilości ftalanów, zwłaszcza dla mniejszych cząstek MPs, były niższe w porównaniu do procesu prowadzonego w temperaturze 20°C. Wysłunięto hipotezę, że substancje te mogą częściowo ulegać rozkładowi w wyższych temperaturach, jednocześnie wpływając na wzrost parametrów DOC i EC. Mimo niższych ilości wymywanych plastyfikatorów, wyższa wartość parametru DOC może być wynikiem obecności produktów rozkładu plastyfikatorów oraz migracji innych związków organicznych. W temperaturze 90°C po 14 dniach inkubacji dla MPs o największych rozmiarach uzyskano wyższe stężenia analizowanych plastyfikatorów w porównaniu do temperatury 20°C. Natomiast mniejsze cząstki charakteryzowały się wolniejszym tempem migracji tych związków, co prawdopodobnie wynikało z procesu rozkładu ftalanów w warunkach podwyższonej temperatury. Zróznicowane oddziaływanie temperatury na procesy emisji oraz rozkładu plastyfikatorów, w zależności od rozmiaru MPs, stanowi kluczową informację dla lepszego zrozumienia dynamiki tych procesów, co wskazuje na konieczność uwzględniania wielu zmiennych w analizach dotyczących tego zjawiska.

Przeprowadzono również badania dotyczące wpływu różnych wartości pH w roztworze wodnym na migrację składników z matrycy polimerowej. Analizy zmian wartości pH roztworu wodnego nie wykazały istotnego wpływu na ilość wymywanych substancji. Zaobserwowano, że plastyfikatory wykazywały nieznacznie większą skłonność do wymywania się w środowisku

o charakterze kwaśnym z uszczelki PCW. W przypadku pozostałych materiałów, odnotowano nieznacznie wyższy stopień migracji w środowisku o odczynie neutralnym. Niemniej jednak, nie zostały wykazane istotne statystycznie różnice, co wskazuje, że pH roztworu miało niewielki wpływ na uwalnianie analizowanych plastyfikatorów z MPs. Jednakże w literaturze istnieje szereg rozbieżnych informacji dotyczących wpływu pH roztworu na stopień migracji ftalanów z matrycy polimerowej. Niektóre źródła sugerują, że migracja dodatków może zachodzić w roztworze kwaśnym. Inne badania wskazują na możliwość emisji substancji organicznych w środowisku charakteryzującym się wysoką wartością pH. Pomimo istnienia pewnych spornych zagadnień, wyniki przeprowadzonych analiz jasno wskazują, że wpływ pH na migrację ftalanów był minimalny. W ramach badań przeprowadzono również analizę zmiany pH roztworu wodnego w trakcie trwania procesu. W pierwszym tygodniu inkubacji zaobserwowano obniżenie wartości pH roztworu. Natomiast w kolejnych dniach odnotowano migrację składników, które zwiększały wartość pH. Ponadto, stwierdzono, że im mniejsza była cząstka MPs, tym bardziej intensywnie zachodził ten proces. Badanie pH roztworu wodnego w trakcie procesu migracji w określonym przedziale czasowym potwierdza obecność wmywanych składników, które mają zdolność do neutralizacji roztworu wodnego.

W ramach tego etapu przeprowadzono również badania wpływu dynamiki wody na proces wmywania estrów kwasu ftalowego z MPs. Przeprowadzone badania miały na celu identyfikację różnic w procesie degradacji MPs w warunkach odwzorowujących rzeczywiste środowisko zarówno wód płynących (np. rzeka), jak i stojących (np. jezioro). Przeprowadzone badania symulujące ruch wody dla wszystkich analizowanych materiałów po 1 dniu w temperaturze $T = 20^{\circ}\text{C}$ wykazały wzrost stężenia uwalnianych substancji w roztworze wodnym. Cząstki w warunkach turbulentnych, wskutek zwiększonego stopnia oddziaływania z wodą, wykazywały wyższy stopień uwalniania plastyfikatorów. Przykładowo, zaobserwowano zwiększenie całkowitej ilości uwalnianych PAEs z opony samochodowej dla cząstek o frakcjach wielkości 3000-8000 μm , 1000-3000 μm , 1000 μm i 600 μm o odpowiednio 63%, 80%, 67% i 54%. Te wyniki jasno potwierdzają, że MPs poddane ruchowi ulegają dodatkowemu procesowi mechanicznego rozkładu, co prowadzi do uszkodzeń powierzchni materiału, w tym powstawanie mikropęknięć. Ponadto, te obserwacje zostały potwierdzone poprzez analizę wartości DOC i EC. Tworzące się mikropęknięcia (np. wywołane przez fale lub prądy) w strukturze polimerów mają istotny udział w ich fragmentacji na mniejsze cząstki. Ten proces zwiększa stopień emisji dodatków, osłabia wytrzymałość mechaniczną i przyspiesza procesy degradacji. MPs w systemach wodnych wykazują zdolność do ruchu zarówno w kierunku poziomym, jak i w pionowym, co uwarunkowane jest prędkością przepływu, zmianami przepływu, głębokością, topografią dna wody, prędkością wiatru oraz gęstością polimeru. Tempo sedimentacji MPs w wodzie zależy od gęstości cząsteczek, ich rozmiaru, kształtu i gęstości roztworu. Dotychczasowe analizy nie uwzględniały wpływu dynamiki ruchu wody na proces wmywania substancji z cząstek tworzyw sztucznych. Wpływ tych czynników wymaga dalszych badań ze względu na skomplikowane mechanizmy tego procesu, dlatego będą kontynuowane badania w celu jeszcze dokładniejszej analizy tych czynników. Obecnie ze względu na obszerny zakres analizowanych parametrów nie wszystkie z nich zostały w pełni zbadane. Przeprowadzone badania stanowią uzupełnienie wiedzy na temat procesów uwalniania substancji chemicznych z polimerów z uwzględnieniem wpływu dynamiki ruchu wody.

Wyniki badań uzyskane w trzecim etapie badawczym są istotne dla zrozumienia procesów wymywania plastyfikatorów z mikroplastików w środowisku wód śródlądowych. Przeprowadzone badania pozwoliły na identyfikację kluczowych czynników wpływających na procesy degradacji MPs oraz emisję plastyfikatorów z matrycy polimerowej. Przedstawione wyniki szczegółowo opisano i udokumentowano w Publikacji C2, C3 i C4.

Kolejny czwarty etap badań dotyczył analizy emisji gazów szklarniowych w trakcie degradacji MPs oraz określenia potencjalnego wpływu ilości plastyfikatorów na ten proces. Udowodniono, że degradacja mikroplastików w środowisku wodnym skutkuje powstawaniem gazów szklarniowych, takich jak metan (CH_4) i dwutlenek węgla (CO_2). Przeprowadzone analizy wykazały emisję CH_4 i CO_2 zarówno w obecności światła słonecznego, jak i bez jego dostępu. To potwierdza, że MPs obecne w osadach dennych również będą uwalniać gazy szklarniowe. Analizując wyniki, zaobserwowano, że stężenie badanych gazów szklarniowych stopniowo wzrastało wraz z upływem czasu inkubacji. Odnotowano, że podczas procesu rozkładu największa ilość CH_4 została uwolniona z folii przemysłowej wykonanej z PCW, podczas gdy najmniejsza ilość tego gazu wydzielona została z materiału wykonanego z polipropylenu. Porównując analizy ilości gazów przeprowadzonych po upływie 360 dni w stosunku do 180 dni zaobserwowano kilkukrotne zwiększenie ilości emitowanego CH_4 z każdego z analizowanych materiałów. Rozmiar cząstek nie miał znaczącego wpływu na emisję CH_4 w trakcie trwającej 360 dni degradacji. Niemniej jednak, analizy wykazały nieznacznie wyższy stopień emisji dla najmniejszych analizowanych cząstek ($600\ \mu\text{m}$) po upływie 360 dni w stosunku do pozostałych frakcji. Równocześnie, w trakcie prowadzonych badań, zaobserwowano również uwalnianie się CO_2 ze wszystkich badanych materiałów. Stężenie CO_2 było kilkaset razy wyższe w porównaniu do stężenia CH_4 dla każdego analizowanego polimeru. Po upływie 360 dni inkubacji cząstek pochodzących z opon samochodowych, dla frakcji o rozmiarze $1000\text{-}3000\ \mu\text{m}$, zaobserwowano wzrost ilości CO_2 niemal 12-krotnie w porównaniu do wyników uzyskanych po 30 dniach. Największym stopniem emisji CO_2 charakteryzowała się frakcja o rozmiarze $600\ \mu\text{m}$. W przypadku CO_2 istniała zależność między rozmiarem cząstki a ilością emitowanego gazu. W miarę zmniejszania się rozmiaru cząstki tworzyw sztucznych obserwowano wzrost emisji CO_2 . Dodatkowo, obecność promieniowania UV skutkowała mniejszym stopniem emisji CH_4 i CO_2 w porównaniu do warunków bez wystawienia na działanie światła słonecznego. Obecność i ilość substancji z grupy PAEs miała istotny wpływ na ilość emitowanych gazów szklarniowych. Wyższa zawartość plastyfikatorów z grupy estrów kwasu ftalowego, w szczególności DEHP, w tworzywach sztucznych skutkowała większym stopniem emisji tych gazów. Emisja niskocząsteczkowych gazów węglowodorowych podczas degradacji cząstek tworzyw sztucznych jest determinowana przez ich strukturę cząsteczkową, w tym stopień rozgałęzienia, obecność plastyfikatorów oraz proces ich wytwarzania. Wyniki badań wskazują, że proces degradacji MPs skutkował redukcją masy materiału oraz jego przekształceniem w CO_2 i CH_4 . W przypadku materiałów o gęstszej strukturze, mniejszej przepuszczalności oraz ograniczonej ilości aktywnych miejsc, proces degradacji MPs wiąże się z niższym uwalnianiem tych gazów. Jak dotąd, nie istnieją opublikowane wyniki badań dotyczących emisji gazów szklarniowych z rozkładu cząstek opon samochodowych. W związku z coraz większym wykorzystaniem materiałów pochodzących z recyklingu w tym zużytych opon

samochodowych, zwłaszcza w sektorze budownictwa drogowego, istniała konieczność przeprowadzenia badań, mających na celu sprawdzenie potencjalnego negatywnego wpływu tego rodzaju materiału na środowisko. Wyniki przeprowadzonych badań dla wszystkich analizowanych materiałów potwierdzają, że rozkład MPs w zbiornikach wodnych o ograniczonym lub znikomym dostępie promieniowania słonecznego może być również źródłem emisji gazów szklarniowych.

Wyniki badań przeprowadzonych w czwartym etapie jednoznacznie wskazują, że proces degradacji MPs może prowadzić do emisji gazów szklarniowych, które stanowią istotny czynnik przyczyniający się do efektu cieplarnianego i zmian klimatu. Degradacja mikroplastików w środowisku wodnym może stanowić dodatkowe istotne źródło zanieczyszczeń, które wymaga dokładnej analizy wpływu na środowisko. Wykazanie zależności między ilością plastyfikatorów a emisją gazów podkreśla konieczność strategicznego projektowania i stosowania tworzyw sztucznych, w celu ograniczenia ich potencjalnego wpływu na środowisko. Przedstawione wyniki szczegółowo opisano i udokumentowano w Publikacji C2, C3, C4 i C5.

W piątym etapie badań przeprowadzono ocenę ryzyka ekotoksykologicznego uwalnianych ftalanów z MPs dla założonych warunków środowiskowych (stosunek mikroplastików do wody był dziesięciokrotnie wyższy). Zastosowany w tym celu współczynnik ryzyka (RQ) jest jednym z najbardziej przydatnych narzędzi stosowanych do charakteryzowania potencjalnego ryzyka ekologicznego związanego z zanieczyszczeniami (EOC) dla ekosystemów wodnych. Współczynnik ryzyka dla toksyczności ostrej został określony dla trzech poziomów troficznych wody. Dla każdego z badanych materiałów ilość uwalnianych plastyfikatorów była na tyle znacząca, że założony 10-krotny stosunek MPs do wody nie miał wpływu na poziom ryzyka RQ (wysokie ryzyko ≥ 1). Ftalany są wprowadzane do wód powierzchniowych oraz osadów dennych nie tylko poprzez degradację mikroplastików, lecz także w wyniku procesów takich jak depozycja atmosferyczna, spływ powierzchniowy, ścieki i opady deszczu. Badania potwierdziły, że migracja estrów kwasu ftalowego z analizowanych MPs do wód powierzchniowych może stanowić ryzyko ekotoksykologicznym dla organizmów wodnych. Obecność PAEs wiąże się z największym ryzykiem ekotoksykologicznym w stosunku do roślin wodnych (alg). W przypadku kręgowców (ryby) zaobserwowano najwyższą odporność na obecność w roztworze wodnym DEHP. Natomiast bezkręgowce (dąfnie) wykazują większą odporność na DBP, DMP i DEP. Wynika to z toksyczności poszczególnych ftalanów dla różnych organizmów wodnych, wyrażonej w wartościach EC_{50} lub LD_{50} . Wyniki badań jednoznacznie wskazują, że MPs pochodzący z folii przemysłowej PCW stanowi największe zagrożenie dla środowiska wodnego wśród analizowanych materiałów. Główną tego przyczyną jest wysoka zawartość DEHP w tym materiale, a także wysoki stopień jego migracji oraz toksyczność. Dla bezkręgowców w środowisku wodnym, rękawiczka wykonana z polipropylenu oraz uszczelka PCW wykazywała największe ryzyko ekotoksykologiczne, wynikające z migracji DOP. Przy założonym stosunku MPs do wody, wszystkie analizowane ftalany stanowiły istotne ryzyko ekotoksykologiczne dla środowiska wodnego.

Wyniki tego etapu są kluczowe dla zrozumienia potencjalnych zagrożeń ekologicznych związanych z uwalnianiem ftalanów z MPs do środowiska wodnego oraz

mają duże znaczenie dla oceny ryzyka i ochrony ekosystemów wodnych. Przedstawione wyniki opisano i udokumentowano w Publikacji C3 i C4.

W następnym szóstym etapie badawczym dokonano próby identyfikacji powiązań między analizowanymi parametrami z uwzględnieniem różnych czynników środowiskowych. W tym celu wykorzystano analizę głównych składowych (PCA). W oparciu o kryterium Kaisera oraz analizę wykresu osypiska, dwie pierwsze składowe (PC1, PC2) dostarczały istotnych informacji dotyczących analizowanych materiałów - wyjaśniały prawie 80% wariacji zmiennych. Zaobserwowano silne korelacje między wymywanymi DBP i DEHP oraz między DEP a DMP oraz DOP.

Wyniki badań przeprowadzonych w szóstym etapie umożliwiły określenie zależności między analizowanymi parametrami takimi jak WWA i PAEs. Przedstawione wyniki opisano i udokumentowano w Publikacji C1 i C3.

Ostatni siódmy etap badawczy dotyczył oceny możliwości zastosowania metod uczenia maszynowego do predykcji wymywania plastyfikatorów i analizowanych parametrów w trakcie degradacji MPs w środowisku wodnym. Rezultaty tych badań stanowią kolejne osiągnięcie naukowe, które uprawnia mnie do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego na podstawie art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).

Zastosowanie modeli metod uczenia maszynowego w tym kontekście jest nowatorskim podejściem, które może istotnie przyczynić się do lepszego zrozumienia mechanizmów degradacji MPs oraz potencjalnych skutków dla ekosystemów wodnych. W badaniach opracowano modele sztucznych sieci neuronowych, metody wektorów nośnych oraz losowego lasu regresji. Ponadto, opracowane modele porównano z klasyczną metodą - regresją wieloraką. Badania wykazały, że sztuczne sieci neuronowe oraz metoda wektorów nośnych stanowią dobre narzędzie do analizy uwalniania zanieczyszczeń podczas degradacji MPs. Udowodniono, że obie metody przynoszą pozytywne rezultaty zarówno ze względów ekonomicznych, jak i środowiskowych. Wykorzystanie sieci neuronowych oraz metody wektorów nośnych umożliwia zmniejszenie zakresu badań laboratoryjnych, co przekłada się na obniżenie kosztów badań. Wyniki korelacji między danymi uzyskanymi w modelu a danymi laboratoryjnymi mieściły się w zakresie od 0,96 do 0,98 dla sztucznych sieci neuronowych oraz od 0,93 do 0,99 dla metody wektorów nośnych. W przypadku wielowymiarowej regresji, wszystkie uzyskane wyniki charakteryzowały się najniższą skutecznością w przewidywaniu emisji PAEs, gdzie współczynnik determinacji R^2 wynosił w zakresie od 0,03 do 0,24.

W kolejnym etapie rozszerzono badania nad zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych do przewidywania migracji dodatków z MPs. Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że najbardziej efektywną architekturą sieci jest ta oparta na wielowarstwowych perceptronach (MLP), które cechowały się poziomami korelacji przekraczającymi 95% dla różnych przewidywanych wartości. Dodatkowo, przeprowadzono kompleksową analizę wrażliwości modelu, aby zweryfikować wpływ parametrów środowiskowych na proces wymywania zanieczyszczeń z matrycy polimerowej. Opracowano jedną wspólną sieć neuronową, która uwzględniała wszystkie analizowane parametry, oraz dodatkowo oddzielne sieci neuronowe dla każdego z tych parametrów. Zastosowanie wspólnej sieci neuronowej dla wszystkich czynników pozwoliło uzyskać zadowalające rezultaty. Temperatura oraz czas inkubacji miały największy wpływ na wartość EC, DOC oraz DEHP. Współczynniki korelacji

między danymi wygenerowanymi przez model a danymi laboratoryjnymi osiągały wartości od 0,94 do 0,99 dla parametrów EC, DEHP i DOC dla danych uczących, testowych i walidacyjnych. Analiza potwierdziła, że zastosowanie sztucznych sieci neuronowych stanowi efektywną metodę uczenia maszynowego do prognozowania emisji zanieczyszczeń podczas degradacji MPs.

Uzyskane wyniki badań dostarczają istotnych informacji na temat procesów wymywania związków chemicznych z mikroplastików podczas ich rozkładu w środowisku wód śródlądowych. Dodatkowo, badania te wskazują na potencjał wykorzystania technik uczenia maszynowego w celu optymalizacji strategicznych etapów badań poprzez skuteczne wyodrębnianie istotnych informacji z danych. W rezultacie, uzyskuje się możliwość ograniczenia konieczności przeprowadzania wielu czasochłonnych i kosztownych badań laboratoryjnych. Przedstawione wyniki dotyczące zastosowania technik uczenia maszynowego do predykcji zanieczyszczeń z matrycy polimerowej szczegółowo opisano i udokumentowano w Publikacji C6 i C7.

Najważniejsze osiągnięcia wynikające z przeprowadzonych badań:

- Wykazano, że istotnymi czynnikami wpływającymi na procesy degradacji MPs oraz uwalnianie plastyfikatorów z matrycy polimerowej w środowisku wodnym jest temperatura, czas inkubacji, rozmiar cząstki, dynamika ruchu wody, rodzaj polimeru, ilość substancji pomocniczych. Ponadto, potwierdzono, że migracja estrów kwasu ftalowego z MPs do wód może stanowić potencjalne zagrożenie ekotoksikologiczne dla organizmów żyjących w środowisku wodnym. Wykazano, że procesy migracji plastyfikatorów i toksycznych substancji z MPs stanowią zagrożenie na różnych etapach produkcji i cyklu życia tworzyw sztucznych. Użycie rozpuszczalników w procesie produkcyjnym może intensyfikować wymywanie substancji toksycznych z tworzyw sztucznych.
- Wykazano, że degradacja MPs w środowisku wodnym prowadzi do uwalniania gazów szklarniowych, takich jak CH₄ i CO₂. Przeprowadzona po raz pierwszy analiza emisji gazów szklarniowych w procesie degradacji cząstek pochodzących z zużytych opon samochodowych również jednoznacznie potwierdziła potencjalnie niekorzystny wpływ zużytych opon na środowisko ze względu na emitowane gazy szklarniowe.
- Wykorzystano po raz pierwszy techniki uczenia maszynowego do przewidywania emisji zanieczyszczeń z MPs oraz porównano je z klasycznymi metodami modelowania danych. Przeprowadzono szczegółową analizę wykorzystania sztucznych sieci neuronowych do prognozowania emisji zanieczyszczeń podczas degradacji MPs w wodzie. Uczenie maszynowe umożliwia wykorzystanie zaawansowanych algorytmów, które potrafią dostosować się do różnorodnych wzorców i zależności występujących w danych. Badania wykazały, że metody uczenia maszynowego mogą zoptymalizować strategiczne etapy badawcze.

Możliwość wykorzystania wyników

Jednym z najważniejszych zadań stojących przed współczesną nauką jest redukcja i eliminacja ze środowiska naturalnego substancji niebezpiecznych, mających negatywny

wpływ na środowisko i zdrowie człowieka. Aby móc skutecznie planować działania mające na celu ochronę środowiska przed szkodliwym wpływem zanieczyszczeń, należy przede wszystkim prognozować ich wielkość oraz znać możliwe źródła i mechanizmy przemieszczania się w środowisku. Otrzymane dane mogą stanowić wartościowy wkład w rozwijanie istniejącej wiedzy na temat szkodliwości procesu degradacji MPs w systemach wód śródlądowych. Rozpowszechnienie informacji o rosnącym negatywnym wpływie mikroplastików na środowisko, które stanowią coraz większe zanieczyszczenie, może istotnie przyczynić się do wzmocnienia właściwych postaw ekologicznych wśród społeczeństwa. To może sprzyjać bardziej świadomemu podejściu do unikania powstawania odpadów, zwłaszcza tych pochodzących z tworzyw sztucznych. Dodatkowo, przeprowadzona analiza uzyskanych wyników badań jednoznacznie wskazuje na konieczność świadomego projektowania tworzyw sztucznych w celu ograniczenia ich negatywnego wpływu na środowisko.

W kontekście badań nad degradacją MPs i emisją zanieczyszczeń, dane pozyskane w trakcie tych badań stanowią niezwykle wartościowe źródło informacji. Wzbogacają one bazę danych, obejmując różnorodne aspekty procesu degradacji MPs wpływające na emisję zanieczyszczeń. Zgromadzone dane mogą być wykorzystane do doskonalenia algorytmów uczenia maszynowego, co przekłada się na poprawę skuteczności prognoz. W konsekwencji może to przyczynić się do redukcji konieczności przeprowadzania wielu kosztownych i czasochłonnych eksperymentów laboratoryjnych. Metody te umożliwiają optymalizację kluczowych etapów badań, poprzez efektywne pozyskiwanie istotnych informacji z dostępnych danych. Działania te wspierają bardziej racjonalne podejście do badawczej analizy i pomagają efektywniejszym wykorzystaniem zgromadzonej wiedzy.

Inne osiągnięcia naukowo – badawcze

W 2008 roku rozpoczęłam studia na Wydziale Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury na kierunku Inżynieria Środowiska. W trakcie trzeciego roku studiów, będąc aktywnym członkiem Koła Naukowego Inżynierii Środowiska PRz, rozpoczęłam moją działalność naukowo-badawczą związaną z technologią ścieków pod opieką dra inż. Adama Maślonia. Efektem tej współpracy były publikacje w czasopiśmie branżowych oraz w studenckim biuletynie (**Załącznik 4, kod: P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17**). W 2012 roku otrzymałam za te prace nagrodę Rektora PRz dla wyróżniających się studentów. Podczas ostatniego roku studiów zostałam zatrudniona w Katedrze Inżynierii i Chemii Środowiska na stanowisku inżynierijno-technicznym w okresie od października 2012 roku do stycznia 2013 roku oraz na stanowisku asystenta stażysty w okresie od marca do lipca 2013 roku. Okres ten okazał się dla mnie niezwykle istotny, ponieważ umożliwił mi zdobycie doświadczenia w zakresie prowadzenia badań naukowych, doskonalenia umiejętności analitycznych oraz planowania eksperymentów. W trakcie tego okresu realizowałam również w tej samej jednostce naukowej pracę dyplomową magisterską pt. „*Stan chemiczny ekosystemu zbiornika rzeszowskiego*” pod opieką Profesora Piotra Koszelnika. Studia magisterskie ukończyłam z wyróżnieniem.

W 2013 roku zostałam zatrudniona na stanowisku asystenta w Katedrze Inżynierii i Chemii Środowiska na Wydziale Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury

Politechniki Rzeszowskiej. Od chwili mojego zatrudnienia nawiązałam współpracę naukową z Profesorem Piotrem Koszelnikiem. Obszarem moich zainteresowań naukowych były zagadnienia związane z obecnością trudnorozkładalnych substancji w środowisku oraz możliwościami ich usuwania. Wstępne badania nad stopniem zanieczyszczenia środowiska niebezpiecznymi i trudnorozkładalnymi mikrozanieczyszczeniami oraz nad poszukiwaniem skutecznych metod ich usuwania z różnych elementów środowiska, opierających się na koncepcji zielonej chemii opisano w publikacjach (**Załącznik 4, kod: M1, M2, M3, P2, P6, P8, P9, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P24**). W tym czasie uczestniczyłam również w zespole badawczym, kierowanym przez Profesora Piotra Koszelnika, realizującym badania dotyczące odporności na degradację oraz możliwości rekultywacji zbiorników wodnych małej retencji z wykorzystaniem preparatów wapniowych w ramach projektu finansowanego przez NCN. Głównym celem tego projektu było opracowanie programu ochrony i rekultywacji zbiorników zaporowych (**Załącznik 4, kod: P1, K4, K5**).

W okresie od września 2014 r. do czerwca 2015 r. odbyłam staż w Tarnobrzeskich Wodociągach S.A. (**Załącznik 4, kod: S1**). Wyniki prowadzonych badań zostały wykorzystane do opracowania technologii poprawy jakości wody wodociągowej dla miasta Tarnobrzeg w zakresie redukcji naturalnej materii organicznej i zostały wdrożone poprzez modernizację i rozbudowę istniejącego układu technologicznego Stacji Uzdatniania Wody w Jeziórku oraz posłużyły do przygotowania publikacji naukowych (**Załącznik 4, kod: M4, P3**).

W tym czasie podjęłam główny nurt moich badań, które zostały ukierunkowane na poszukiwanie skutecznych technologii usuwania mikrozanieczyszczeń z grupy estrów kwasu ftalowego. W trakcie tych badań realizowałam dwa wewnętrzne projekty badawcze, finansowane w ramach programu wsparcia dla młodych naukowców (**Załącznik 4, kod: PB11, PB12**). Prowadzone w tym okresie badania posłużyły mi do przygotowania rozprawy doktorskiej pt. „*Wspomaganie metod chemicznego usuwania ftalanu di(2-etyloheksylu) z matryc osadów dennych*”, której promotorem był Profesor Piotr Koszelnik. Pracę doktorską obroniłam z wyróżnieniem w 2019 roku. Głównym celem rozprawy doktorskiej było badanie przydatności wspomagania polem ultradźwiękowym, procesu z użyciem nadtlenu wodoru, klasycznego procesu Fentona i modyfikowanego procesu Fentona do usuwania DEHP z matrycy stałej, którą stanowiły osady denne. Wyniki jednoznacznie wykazały, że proces z użyciem nadtlenu wodoru, klasycznej reakcji Fentona i modyfikowanego procesu Fentona był niewystarczająco skuteczny w usuwaniu DEHP z osadów dennych. Natomiast pole ultradźwiękowe miało korzystny wpływ na rozkład DEHP w osadach dennych, zarówno w układzie samodzielnym, jak i łączonym. Wspomaganie falą akustyczną procesu z użyciem nadtlenu wodoru, klasycznego procesu Fentona i modyfikowanego procesu Fentona, pozwoliło na uzyskanie efektu synergistycznego w skuteczności usuwania DEHP w optymalnych warunkach oraz skrócenie czasu reakcji, zmniejszeniu ilości reagentów w odniesieniu do układów pojedynczych i zwiększenie wydajności energii w porównaniu z samodzielnie prowadzonym procesem wykorzystującym fale ultradźwiękowe. Najwyższą skuteczność usuwania DEHP z osadów dennych w analizowanych układach odnotowano w trakcie stosowania modyfikowanego procesu Fentona wspomaganego polem ultradźwiękowym. Uzyskane wyniki prac badawczych przeprowadzonych podczas realizacji pracy doktorskiej zostały opisane w publikacjach (**Załącznik 4, kod: P27, P31, P34, P37, P43, P44**) oraz zaprezentowane na konferencjach naukowych (**Załącznik 4, kod: K24, K26**). Za te

osiągnięcia w 2020 i 2021 roku otrzymałam nagrodę Rektora PRz. Dodatkowo, w tym samym okresie brałam udział w badaniach, których tematyka koncentrowała się na możliwości wykorzystania katalizatorów z materiałów odpadowych do usuwania mikrozanieczyszczeń z grupy estrów kwasu ftalowego. Wyniki tych badań zostały opisane w publikacjach naukowych (**Załącznik 4, kod: P28, P29, P38, P40**). W 2018 roku uczestniczyłam jako wykonawca w zespole realizującym nowatorskie badania nad przyczynami pogłębiania efektu cieplarnianego w ramach projektu pt. „*Produkcja i konsumpcja metanu w słodkowodnych ekosystemach zbiorników zaporowych*” finansowanego ze środków NCN, którego kierownikiem była dr hab. inż. Renata Gruca-Rokosz, prof., PRz (**Załącznik 4, kod: PB3**).

W ramach moich zainteresowań naukowych, prowadziłam również badania nad możliwością usuwania pestycydów chloroorganicznych (OCP) z roztworów wodnych. Rezultaty tych badań stanowią kolejne osiągnięcie naukowe.

Pestycydy chloroorganiczne są związkami zakłócającymi pracę układu hormonalnego (EDC) i stanowią ważną grupę zanieczyszczeń środowiskowych. W trakcie badań analizowano możliwość usuwania pestycydów z roztworów wodnych poprzez zastosowanie procesów utleniania przy użyciu nadtlenu wodoru oraz fal ultradźwiękowych. Przeprowadzono również ocenę skuteczności usuwania tych substancji stosując proces hybrydowy H_2O_2 /ultradźwięki. Podczas przeprowadzonych badań dokonano analizy wpływu parametrów takich jak czas trwania procesu, pH, stężenie pestycydów oraz stężenie utleniacza - nadtlenu wodoru. Przeprowadzone badania wykazały, że zastosowanie zarówno nadtlenu wodoru, jak i fal ultradźwiękowych prowadzi do obniżenia stężeń pestycydów w roztworze wodnym. Skuteczność procesu była uzależniona od kilku zmiennych, takich jak pH, stężenie nadtlenu wodoru, stężenie pestycydów i czas trwania procesu. Stosując nadtlenek wodoru i pole ultradźwiękowe, zaobserwowano, że najwyższą skuteczność usuwania pestycydów uzyskano w środowisku o charakterze kwaśnym. Reakcje w środowisku alkalicznym lub obojętnym charakteryzowały się niższą wydajnością usuwania tych zanieczyszczeń, co prawdopodobnie wynikało z rozkładu nadtlenu wodoru poprzez jego dysocjację do H_2O . W przypadku hybrydowego procesu, najlepszą efektywność uzyskano w warunkach obojętnych. W początkowej fazie procesu, działanie nadtlenu wodoru oraz pola ultradźwiękowego wykazywało większą skuteczność w porównaniu do procesu hybrydowego. Obniżenie skuteczności usuwania pestycydów mogło być wynikiem zbyt wysokiego stężenia nadtlenu wodoru w roztworze wodnym. Te wnioski znajdują również potwierdzenie w wynikach analizy wpływu stężenia nadtlenu wodoru na proces usuwania pestycydów. Po przekroczeniu pewnych poziomów stężenia utleniacza proces ulegał zahamowaniu. Prawdopodobnie nadtlenek wodoru ulegał rozkładowi do tlenu i wody, a także zachodziła rekombinacja rodników hydroksylowych. Nadtlenek wodoru mógł również wychwytywać jony $\cdot OH$, tworząc znacznie mniej reaktywny jon $HO_2\cdot$. Wyniki tych badania jednoznacznie wskazują, że zbyt wysokie dawki nadtlenu wodoru nie będą skuteczne w utlenianiu zanieczyszczeń organicznych. Mimo optymalnych dawek nadtlenu wodoru, odnotowano, że po procesie utleniania nadtlenkiem wodoru w roztworze wodnym obecne były w niskich stężeniach substancje takie jak tetrachloro-m-ksylen, α -HCH, γ -HCH, heptachlor, epoksyd heptachloru (Izomer B), γ -chlordan i Endosulfan I. Z kolei, w trakcie procesu z wykorzystaniem fal ultradźwiękowych nie zostały całkowicie usunięte z roztworu wodnego α -HCH, γ -HCH i heptachlor. W przypadku hybrydowego procesu, w którym utlenianie za pomocą nadtlenu

wodoru było wspomagane przez pole ultradźwiękowe, nie zostały całkowicie usunięte pestycydy takie jak γ -HCH i heptachlor. Opisane substancje wykazują dużą odporność na działanie promieniowania UV, wysoką temperaturę oraz procesy utleniania. Dla przykładu heptachlor należy do kategorii trwałych zanieczyszczeń organicznych, które podlegają restrykcjom ustanowionym przez traktat sztokholmski w 2001 roku. Charakteryzuje się półokresem rozpadu wynoszącym 250 dni, a nawet po 14 i 16 latach od jego zastosowania, heptachlor nadal identyfikowany jest w glebie. Pomimo tego, wykorzystanie fal ultradźwiękowych okazało się skuteczną metodą usuwania pestycydów z roztworów wodnych. Chociaż nadtlenek wodoru wykazywał mniejszą efektywność w usuwaniu pestycydów, jego zastosowanie jako utleniacza posiada liczne zalety w porównaniu do innych procesów chemicznych, takich jak chlorowanie czy ozonowanie. Te korzyści obejmują dostępność na rynku, stabilność w warunkach termicznych, łatwość przechowywania na miejscu, rozpuszczalność w wodzie oraz brak tworzenia się produktów ubocznych dezynfekcji, takich jak halogenowane węglowodory czy jony bromianowe. Natomiast proces hybrydowy charakteryzował się większą skutecznością w usuwaniu pestycydów tylko w porównaniu do nadtlenu wodoru, co mogło wynikać z nadmiaru jonów hydroksylowych. W przypadku oddziaływania pola ultradźwiękowego na roztwór wodny, proces kawitacji prowadzi do wytworzenia jonów hydroksylowych oraz atomów wodoru. Jon hydroksylowy posiada wysoki potencjał utleniania i może bezpośrednio utleniać związki organiczne, powodując ich degradację lub mineralizację. Niemniej jednak jony hydroksylowe charakteryzują się krótkim czasem życia i skłonnością do wzajemnego łączenia się, tworząc m.in. nadtlenek wodoru. Dlatego stężenie nadtlenu wodoru było kluczowym czynnikiem wpływającym na skuteczność procesu hybrydowego w usuwaniu chloroorganicznych pestycydów. W celu lepszego zrozumienia tego procesu, przeprowadzono badania w kierunku określenia ilości powstającego nadtlenu wodoru podczas oddziaływania pola ultradźwiękowego. Zbadano wpływ różnych parametrów takich jak amplituda drgań pola ultradźwiękowego, pH roztworu, obecność zanieczyszczeń (ftalan di-n-butylu) oraz obecność dodatku nadtlenu wodoru. Wyniki uzyskane w badaniach jednoznacznie wskazują, że proces kawitacji generował nadtlenek wodoru w roztworze wodnym. Zwiększenie amplitudy drgań pola ultradźwiękowego skutkowało wzrostem ilości wytworzonego nadtlenu wodoru. Zaobserwowano jednak, że wprowadzenie dodatkowych ilości nadtlenu wodoru powyżej pewnej wartości prowadziło do zmniejszenia całkowitej ilości nadtlenu wodoru w roztworze wodnym. Z kolei, pH roztworu nie wykazywało istotnego wpływu na wydajność tego procesu. Potwierdzono również, że obecność innych składników w roztworze negatywnie wpływała na przebieg reakcji.

Przeprowadzone badania nad usuwaniem pestycydów chloroorganicznych z roztworów wodnych przy użyciu procesów utleniania z nadtlakiem wodoru oraz fal ultradźwiękowych dostarczyły istotnych informacji na temat skuteczności tych metod. W obliczu coraz większej troski o środowisko naturalne i zdrowie publiczne, wyjaśnienie mechanizmów usuwania zanieczyszczeń staje się jednym z kluczowych wyzwań. Wyniki badań jednoznacznie potwierdzają, że wykorzystanie zarówno nadtlenu wodoru, jak i fal ultradźwiękowych, może znacząco obniżyć stężenia pestycydów w roztworach wodnych. Niemniej jednak, skuteczność tych procesów jest uzależniona od różnorodnych czynników. Badania te wskazują na konieczność uwzględnienia wszystkich parametrów wpływających na proces w celu osiągnięcia optymalnej skuteczności usuwania

pestycydów chloroorganicznych. Wyniki przeprowadzonych badań w tym zakresie szczegółowo opisano i udokumentowano w Publikacji P4, P5, P7 i P25 (Załącznik 4). W 2019 roku za te publikacje wchodzące w cykl publikacji naukowych dotyczących technologii i monitoringu ochrony wód, otrzymałam nagrodę zespołową Rektora PRz I stopnia.

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych w 2019 roku zostałam zatrudniona na stanowisku adiunkta i do chwili obecnej pracuję na tym stanowisku w Katedrze Inżynierii i Chemii Środowiska na Wydziale Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej.

Moje zainteresowania badawcze po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych dotyczyły problematyki związanej z wpływem PAEs na środowisko wodne. Ponieważ te substancje pełnią funkcję plastyfikatorów w tworzywach sztucznych, moje badania zostały ukierunkowane na ocenę możliwości emisji estrów kwasu ftalowego z MPs w środowisku wodnym. Zainteresowałam się również zagadnieniami związanymi z emisją gazów szklarniowych w szczególności podczas rozkładu tworzyw sztucznych (**Załącznik 4, kod: P26**). W roku 2019 otrzymałam finansowanie na badania pt. „*Wpływ warunków rozkładu mikroplastiku na emisję substancji szkodliwych dla środowiska*” (NCN 2019/03/X/ST10/01557) w ramach konkursu MINIATURA 3. Ponadto, w tym okresie uczestniczyłam również w zespołach naukowych realizujących badania dotyczące negatywnego wpływu tworzyw sztucznych na środowisko w ramach projektu pt. „*ReUse – Innowacyjne materiały z recyklingu zwiększające trwałość obiektów mostowych*” finansowanego przez NCBiR (**Załącznik 4, kod: P30**). Przeprowadzono badania mające na celu ocenę wpływu wykorzystania zużytych całych opon samochodowych w konstrukcji nasypów drogowych na środowisko wodno-glebowe.

Badania te stanowiły inspirację do poszukiwania efektywnych metod eliminacji MPs z wód oraz ścieków (**Załącznik 4, kod: P41, P42**). Badania prowadzone w tym kierunku były również podstawą do opracowania innowacyjnego rozwiązania w funkcjonowaniu kanalizacyjnego wpustu rozdzielczego, tak aby zatrzymywał maksymalną ilość MPs w tym mikrozanieczyszczeń. Wyniki tych badań uzyskały ochronę patentową i znajdują się w fazie zgłoszenia patentowego (**Załącznik 4, kod: PAT1, PAT2, PAT3, PAT4**).

Obecnie uczestniczę również w realizacji projektu pt. „*Demonstrator systemu sterowania dla rozwiązania: Inteligentny system sterowania indywidualną retencją wód deszczowych dla systemów kanalizacyjnych*”, który jest kontynuacją badań w ramach projektu badawczego pt. „*Inteligentny system sterowania indywidualną retencją wód deszczowych dla systemów kanalizacyjnych*” (**Załącznik 4, kod: P41, P42, PAT5**). Kierownikiem tych projektów finansowanych ze środków PCI jest dr inż. Kamil Pochwat. Projekty dotyczą opracowania zbiornika wód deszczowych przeznaczonego dla użytkownika prywatnego, którego objętość retencyjna będzie wykorzystywana przez użytkownika do celów prywatnych oraz przez eksploatatora sieci odwodnieniowej do zwiększenia retencyjności miejskiego systemu. Opracowany innowacyjny układ hydrauliczny pozwala na dzierżawę potencjału retencyjnego, dzięki czemu można nie tylko zminimalizować planowane koszty związane z opłatą za deszczówkę, a nawet odwrócić tę zależność. Implementacja tego rozwiązania daje potencjalne możliwości na dzierżawienie pojemności, co może się przyczynić do pozyskiwania środków finansowych. Projekt ten został uhonorowany Nagrodą platynową oraz

Nagrodą Prezesa Izby Ekologii w konkursie organizowanym w ramach Międzynarodowych Targów Wynalazków i Innowacji INTARG 2023.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

W 2018 roku zespół badawczy Katedry Inżynierii i Chemii Środowiska Politechniki Rzeszowskiej kierowany przez Profesora Piotra Koszelnika, podjął współpracę z Czarnomorskim Uniwersytetem Narodowym im. Petra Mohyły w Mikołajewie (Ukraina) oraz Politechniką Lwowską. Rezultatem tej współpracy były wspólne badania dotyczące ilościowych i jakościowych problemów zanieczyszczenia osadów dennych rzeki Boh i gleb w rejonach przemysłowych w zakresie metali ciężkich oraz wybranych związków organicznych. W ramach tej współpracy w okresie od 20.01.2021 do 30.06.2022 r. uczestniczyłam w programie dla państw Grupy Wyszehradzkiej pt. „*Visegrad and Ukraine Dialogues on Climate Change and Sustainable Development*” (nr projektu 22110149). Partnerami projektu był Czarnomorski Uniwersytet Narodowy im. Petra Mohyły, Politechnika Rzeszowska, Uniwersytet Preszowski (Słowacja), Uniwersytet Palackiego (Czechy), Uniwersytet Komeńskiego w Bratysławie (Słowacja) oraz Uniwersytet Óbuda (Węgry). Problematyka projektu związana była z ideą zrównoważonego rozwoju w kontekście zmian klimatycznych. Projekt miał na celu połączenie doświadczeń i wymianę wiedzy ze społecznościami akademickimi i społecznymi oraz rozwinięcie współpracy naukowej w celu promowania europejskich innowacyjnych doświadczeń w ukraińskich praktykach środowiskowych. W ramach projektu w dniach 09-11.09.2021 r. zostało zorganizowane Międzynarodowe Forum pt. „*Visegrad and Ukraine Dialogues on Climate Change and Sustainable Development*”, które miało miejsce w Czarnomorskim Uniwersytecie Narodowym im. Petra Mohyły w Ukrainie. W trakcie tego wydarzenia pełniłam funkcję członka komitetu organizacyjnego. Dodatkowo, w dniach 07-08.09.2022 r. uczestniczyłam także w wydarzeniu pt. „*Spring Environmental School*”, które odbyło się w trybie hybrydowym w Czarnomorskim Uniwersytecie Narodowym im. Petra Mohyły w Ukrainie oraz w sposób zdalny, podczas którego pełniłam rolę członka zarówno komitetu naukowego, jak i organizacyjnego (**Załącznik 4, kod: M5, M6, K29, K30, KOiN1, KOiN2, PR2**). Efektem współpracy z naukowcami z Mikołajewa i Lwowa są publikacje naukowe (**Załącznik 4, kod: P32, P35, P36, P39**).

Od 01.02.2021 r. do 30.06.2021 r., zostałam zatrudniona w Politechnice Gdańskiej na podstawie umowy o pracę na czas określony, do realizacji międzynarodowego projektu badawczego współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu UE Interreg Baltic Sea Region pt. „*Baltic Beach Wrack – Conversion of a Nuisance to a Resource and Asset*” (#R090 CONTRA) (**Załącznik 4, kod: PB6, PR3**). Projekt miał na celu opracowanie wytycznych w zakresie pomocy gminom w codziennym zarządzaniu ekosystemami przybrzeżnymi w tym plażami. Wytyczne te mają stanowić narzędzia, które umożliwią racjonalne gospodarowanie tymi obszarami w tym posłużą do zrównoważonego recyklingu problematycznych odpadów plażowych. Do osiągnięcia zdefiniowanych celów programowych zaangażowanych zostało czternaście jednostek naukowych z Niemiec, Polski, Danii, Estonii, Szwecji oraz Rosji (Obwód Kaliningradzki) oraz

22 partnerów gospodarczych z tych krajów. W skład polskiego partnerstwa zaangażowano Stowarzyszenie Gmin RP Euroregion Bałtyk, Politechnikę Gdańską, Instytut Oceanologii PAN, Gminę Miasta Puck, Gminę Miasta Tolkmicko, Gdyńskie Centrum Sportu, Gdańską Infrastrukturę Wodociągowo-Kanalizacyjną, WFOŚiGW w Olsztynie, Gdańskie Wody Sp. z o.o. Wyniki tych prac znajdują się obecnie w fazie publikacji.

Współpraca z zespołem naukowym Politechniki Gdańskiej była kontynuowana podczas realizacji międzynarodowego projektu badawczego współfinansowanego ze środków European Research Executive Agency w ramach programu HORYZONT 2020 pt. „*Innowacyjne i nowoczesne rozwiązania zrównoważonego korzystania z wód opadowych w mieście oparte na procesach naturalnych*” (101003765-NICE) (**Załącznik 4, kod: PB8**). W ramach tego projektu zostałam zatrudniona w Politechnice Gdańskiej na podstawie umowy o pracę na czas określony od 01.10.2022 r. do 31.12.2022 r. Instytucje zaangażowane do realizacji projektu to CETIM (Estonia), Swedish University of Agricultural Science (Szwecja), IRIDIA (Włochy), FCC Aqualia (Hiszpania), Arhus University (Dania), Gate2Growth (Dania), Ecobird (Francja). Najważniejszym celem projektu NICE było zwiększenie świadomości oraz dostępności rozwiązań naturalnych wykorzystywanych dla zapewnienia rozwiązań związanych z gospodarką obiegową przy zagospodarowaniu wód opadowych na terenach miejskich. Rezultaty badań do chwili obecnej zostały zaprezentowane na III Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej pt. „*Wyzwania oraz problemy małych systemów wodociągowych i kanalizacyjnych*”, która odbyła się w dniach 17-19.09.2023 (**Załącznik 4, kod: K34**) oraz w przygotowywanych publikacjach.

W 2021 roku nawiązałam współpracę z brazylijskim College of Civil Engineering, Estácio University of Juiz de Fora. Współpraca ta umożliwiła mi nabycie wiedzy i doświadczeń w zakresie wykorzystania i zastosowania metod uczenia maszynowego w modelowaniu procesów technologicznych w ochronie wód. Efektem tej współpracy jest publikacja (**Załącznik 4, kod: C6**).

Ponadto od 01.04.2020 do 30.06.2021 r. byłam kierownikiem i wykonawcą usług badawczych na zlecenie Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej (**Załącznik 4, kod: PB5**) w ramach realizacji międzynarodowego projektu badawczego pt. „*Protecting Baltic Sea from untreated wastewater spillages during flood events in urban areas – NOAH*”. W projekcie, który był koordynowany przez Uniwersytet Techniczny w Tallinnie, uczestniczyło 18 uczelni reprezentujących kraje takie jak Polska, Finlandia, Łotwa, Estonia, Szwecja i Dania.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

Moja aktywność zawodowa w Politechnice Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza, oprócz działalności badawczej obejmuje również działalność dydaktyczną, organizacyjną oraz popularyzującą naukę.

Działalność dydaktyczna

- Prowadzenie ćwiczeń problemowych, laboratoryjnych, projektowych i wykładów na kierunkach Inżynieria Środowiska, Ochrona Środowiska, Energetyka z przedmiotów takich jak:

- Monitoring środowiska,
 - Ochrona wód i gleby,
 - Ochrona wód i gospodarka wodna,
 - Ochrona środowiska w energetyce,
 - Ochrona środowiska w zakładach przemysłowych,
 - Systemy oczyszczania ścieków i utylizacji odpadów,
 - Remediacja gruntów,
 - Ochrona środowiska wewnętrznego,
 - Systemy oczyszczania ścieków,
 - Gospodarka odpadami,
 - Rekultywacja i rewitalizacja ekosystemów wodnych,
 - Gospodarka odpadami i recykling.
- Opracowanie i prowadzenie zajęć z przedmiotów autorskich, takich jak:
 - Monitoring środowiska,
 - Ochrona wód i gleby,
 - Ochrona wód i gospodarka wodna,
 - Rekultywacja i rewitalizacja ekosystemów wodnych,
 - Gospodarka odpadami i recykling.
 - Prowadzenie zajęć z przedmiotu Ochrona wód i gospodarka wodna w roku akademickim 2017/2018 oraz 2021/2022 w ramach programu ERASMUS+.
 - Promotor 11 prac dyplomowych (7 prac inżynierskich, 4 prace magisterskie).
 - Recenzent 17 prac dyplomowych (14 prac inżynierskich, 3 prace magisterskie).
 - Udział w Komitecie organizacyjnym i naukowym wydarzenia pt. „*Spring Environmental School*” w ramach Programu dla państw Grupy Wyszehradzkiej pt. „*Visegrad and Ukraine Dialogues on Climate Change and Sustainable Development*”, który miał na celu nie tylko rozwinięcie współpracy naukowej, ale także połączenie doświadczeń i wymianę wiedzy z udziałem społeczności studenckiej. W ramach tego wydarzenia został również opracowany rozdział w podręczniku dedykowany społeczności studenckiej (**Załącznik 4, kod: M6, K30, KOiN2, PR2**).
 - Współautorstwo i koordynacja publikacji przygotowanych wspólnie ze studentami (**Załącznik 4, kod: P45, P46**).
 - Aktywny udział w szkoleniach pt. „*Dydaktyczne czwartki*”.

Działalność organizacyjna oraz popularyzująca naukę

- Publikacje w czasopismach branżowych takich jak Instal, Gospodarka Wodna, Forum Eksploatatora dotyczące analizy pracy i oceny efektywności oczyszczalni ścieków, zagadnień związanych z osadami dennymi oraz metod usuwania trwałych zanieczyszczeń organicznych (**Załącznik 4, kod: P15, P16, P23, P43, P44**).
- Udział w Komitecie organizacyjnym Międzynarodowego Forum pt. „*Visegrad and Ukraine Dialogues on Climate Change and Sustainable Development*”, które odbyło się w Czarnomorskim Uniwersytecie Narodowym im. Petra Mohyły w Ukrainie (**Załącznik 4, kod: M5, K29, KOiN1, PR2**).
- Udział w Komitecie organizacyjnym i naukowym wydarzenia pt. „*Spring Environmental School*” w ramach Programu dla państw Grupy Wyszehradzkiej pt.

„Visegrad and Ukraine Dialogues on Climate Change and Sustainable Development”
(Załącznik 4, kod: kod: M6, K30, KOiN2, PR2).

- Wymiana doświadczeń naukowych i dydaktycznych z naukowcami i studentami w ramach programu ERASMUS+ w Politecnico di Bari (Załącznik 4, kod: PR1).
- Przygotowanie i prowadzenie zajęć laboratoryjnych dla maturzystów w siedzibie uczelni w ramach akcji promującej uczelnię, mającej na celu zachęcenie przyszłych studentów do podjęcia studiów na kierunku Inżynieria Środowiska.
- Udział w promocji uczelni w szkołach średnich, mającej na celu zachęcenie przyszłych studentów do podjęcia studiów w Politechnice Rzeszowskiej.
- Udział w organizacji akcji pt. „Dziewczyny na politechniki”, której celem było zachęcanie kobiet do wyboru kierunków technicznych.
- Udział w organizacji zajęć w ramach Politechniki Dziecięcej.
- Pełnienie funkcji członka Międzywydziałowej Komisji Rekrutacyjnej Politechniki Rzeszowskiej podczas naboru na semestr akademicki 2017/2018, 2019/2020, 2020/2021 i 2021/2022.
- Pełnienie funkcji koordynatora Wydziału Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury w Międzywydziałowej Komisji Rekrutacyjnej Politechniki Rzeszowskiej podczas naboru na semestr akademicki 2022/2023 i 2023/2024.
- Aktywny udział w promocji uczelni poprzez prezentację laboratoriów badawczych i dostępnego wyposażenia sprzętowego jednostki, a także wymianę doświadczeń naukowych z gośćmi wizytującymi siedzibę uczelni, w tym z przedstawicielami zagranicznych instytucji (Ukrainy, Brazylii).
- Organizacja szkolenia związanego z obsługiwaniem przez mnie Systemem Obrazowania Chemicznego (LDIR) w zakresie ilościowej i jakościowej analizy MP, w którym uczestniczyli zainteresowani tematyką badacze z Niemiec oraz Polskich uczelni.
- Prezentacja wyników badań dotyczących opracowanej technologii pt. „Inteligentny system sterowania indywidualną retencją wód deszczowych dla systemów kanalizacyjnych” podczas Carpathian Startup Fest, INTARG 2023 oraz promocja tych osiągnięć za pośrednictwem mediów, takich jak Radio Rzeszów oraz Telewizja TVP.
- Opiekun studentów Ochrony Środowiska na Obozie naukowo-dydaktycznym.
- Członkostwo w Studenckim Kole Naukowym Inżynierii Środowiska.

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

Istotne aspekty mojej kariery zawodowej, które uważam za ważne z perspektywy osiągnięć i rozwoju zawodowego:

- Nagroda Rektora za cykl publikacji oraz autorstwo/współautorstwo publikacji naukowych w latach 2019, 2020, 2021, 2022.
- Nagroda Rektora za aktywność w działalności na rzecz środowiska studenckiego w roku akademickim 2011/2012 oraz za zaangażowanie w pracę naukową.
- Nagroda platynowa za opracowanie technologii pt. „Inteligentny system sterowania indywidualną retencją wód deszczowych dla systemów kanalizacyjnych” w konkursie

organizowanym w ramach Międzynarodowych Targów Wynalazków i Innowacji INTARG 2023.

- Nagroda Prezesa Izby Ekologii za opracowanie technologii pt. „*Inteligentny system sterowania indywidualną retencją wód deszczowych dla systemów kanalizacyjnych*” w konkursie organizowanym w ramach Międzynarodowych Targów Wynalazków i Innowacji INTARG 2023.
- Wyróżnienie pracy doktorskiej, inżynierskiej oraz dyplom z wyróżnieniem ukończenia studiów magisterskich.
- Praktyka w laboratorium Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Rzeszowie, która miała na celu poszerzenie praktycznego doświadczenia w obszarze analiz środowiskowych.
- Udział w szkoleniu z zakresu zarządzania zespołem – Kierowanie zespołem, warsztaty menedżerskie, organizowanym przez KC Centrum Rozwoju.
- Udział w webinarium informacyjnym OPUS 22 + LAP/Weave organizowanym przez Narodowe Centrum Nauki.
- Udział w szkoleniach organizowanych przez firmę Perlan Technologies.
- Przygotowanie kilku wniosków o finansowanie projektów badawczych przez Narodowe Centrum Nauki oraz Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Małgorzata Kida

.....
(podpis wnioskodawcy)