

ZAŁĄCZNIK 3

**AUTOREFERAT**

**Anna Parus**

*Rozprawa habilitacyjna*

**Wielopłaszczyznowa analiza wpływu struktury ksenobiotyków na ich akumulację,  
mobilność oraz biodostępność w środowisku glebowym**

*Multi-level analysis of the influence of the structure of xenobiotics on their accumulation,  
mobility and bioavailability in the soil environment*

### **1. Imię i nazwisko:**

**Anna Parus**

ORCID: 0000-0002-2061-1031

Researcher ID: F-7526-2014

Scopus Author Identifier: 25957777000

SciProfiles: 840937

### **2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/~~artystyczne~~ – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej:**

- 14.12.2010 r.** doktor nauk chemicznych w zakresie technologii chemicznej, Politechnika Poznańska, Wydział Technologii Chemicznej  
Kierunek: Technologia Chemiczna  
Promotor: promotor prof. dr hab. Andrzej Olszanowski,  
Tytuł rozprawy: „Zastosowanie hydrofobowych oksymów pochodnych ketonów alkilowopirydylowych w ekstrakcji wybranych jonów metali”.
- 15.06.2005 r.** magister inżynier technologii chemicznej, specjalność technologia organiczna  
Politechnika Poznańska, Wydział Technologii Chemicznej  
Kierunek: Technologia Chemiczna  
Promotor: dr hab. Andrzej Olszanowski, prof. nadzw.  
Tytuł pracy dyplomowej: „Wpływ niejonowego surfaktantu na proces biodegradacji węglowodorów”.

### **3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych**

- od 1.10.2018 r. – obecnie – adiunkt,** Politechnika Poznańska, Wydział Technologii Chemicznej, Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej,
- 1.03.2012 r. – 30.09.2018 r. – asystent,** Politechnika Poznańska, Wydział Technologii Chemicznej, Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej,

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.).*

a) *Tytuł osiągnięcia naukowego:*

Cykl publikacji naukowych pt.:

**„Wielopłaszczyznowa analiza wpływu struktury ksenobiotyków na ich akumulację, mobilność oraz biodostępność w środowisku glebowym”**

b) *Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego:*

- [H1] **A. Parus\***, G. Framski, W. Rypniewski, K. Panasiewicz, P. Szulc, K. Mysza, A. Zgoła-Grzeškowiak, Ł. Ławniczak, Ł. Chrzanowski, Plant growth promoting *N*-alkyltropinium bromides enhance seed germination, biomass accumulation and photosynthesis parameters of maize (*Zea mays*), *New Journal of Chemistry*, 2019, 43, 5805-5812; <https://doi.org/10.1039/C8NJ06298F>  
**IF<sub>2019</sub> = 3,069, MNiSW = 70,**
- [H2] **A. Parus\***, W. Wilms, V. Verkhovetska, G. Framski, M. Woźniak-Karczewska, A. Syguda, B. Strzemiecka, A. Borkowski, Ł. Ławniczak, Ł. Chrzanowski, Transformation of herbicides into dual function quaternary tropinium salts, *New Journal of Chemistry*, 2020, 44, 8869-8877; <https://doi.org/10.1039/D0NJ01597K>  
**IF<sub>2020</sub> = 3,288, MNiSW = 70,**
- [H3] **A. Parus\***, J. Homa, D. Radoński, G. Framski, M. Woźniak-Karczewska, A. Syguda, Ł. Ławniczak, Ł. Chrzanowski, Novel esterquat-based herbicidal ionic liquids incorporating MCPA and MCPP for simultaneous stimulation of maize growth and fighting cornflower, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, 208, 111595-1, 111595-10; <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111595>  
**IF<sub>2021</sub> = 6,291; MNiSW = 100,**
- [H4] **A. Parus\***, N. Lisiecka, J. Zembrzuska, G. Framski, M. Woźniak-Karczewska, M. Niemczak, Evaluation of the influence of different cations on the mobility and performance of dicamba-based ionic liquids, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2022, 10(5), 108397-1, 108397-12; <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108397>  
**IF<sub>2022</sub> = 7,968; MNiSW = 100,**
- [H5] M. Woźniak-Karczewska, **A. Parus**, T. Ciesielski, A. Trzebny, R. Szumski, W. Wilms, J. Homa, G. Framski, D. Baranowski, R. Frankowski, A. Zgoła-Grzeškowiak, M. Niemczak, M. Dabert, A. Táncsics, Ł. Chrzanowski, Effect of Cation Sorption on 2,4-D Mobility of Herbicidal Ionic Liquids in Agricultural Soil Combined with Diversity of the Bacterial Community, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2022, 10(38), 12559-12568; <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c02665>  
**IF<sub>2022</sub> = 9,224; MNiSW = 140,**
- [H6] **A. Parus\***, O. Zdebelak, T. Ciesielski, R. Szumski, M. Woźniak-Karczewska, G. Framski, D. Baranowski, M. Niemczak, J. Zembrzuska, T. Cajthaml, H. J. Heipieper, Ł. Chrzanowski, Can ionic liquids exist in the soil environment? Effect of quaternary ammonium cations on glyphosate sorption, mobility and toxicity in the selected

- herbicide ionic liquids, *Journal of Molecular Liquids*, 2023, 370, 120981-1, 120981-12; <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.120981>  
**IF<sub>2023</sub> = 6,633; MNiSW = 100,**
- [H7] W. Wilms, **A. Parus\***, J. Homa, M. Batycka, M. Niemczak, M. Woźniak-Karczewska, A. Trzebny, J. Zembrzuska, M. Dabert, A. Tancsic, T. Cajthaml, H. J. Heipieper, Ł. Chrzanowski, Glyphosate versus glyphosate based ionic liquids: Effect of cation on glyphosate biodegradation, *soxA* and *phnJ* genes abundance and microbial populations changes during soil bioaugmentation, *Chemosphere*, 2023, 316, 137717-1, 137717-12; <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137717>  
**IF<sub>2023</sub> = 8,800; MNiSW = 140,**
- [H8] N. Lisiecka, T. Ciesielski, O. Sopata, **A. Parus\***, M. Woźniak-Karczewska, M. Simpson, R. Frankowski, A. Zgoła-Grześkowiak, A. Koziński, K. Siwińska-Ciesielczyk, Ł. Kłapiszewski, M. Niemczak, M. Owsianiak, H.J. Heipieper, Ł. Chrzanowski, Sorption of ionic liquids in soil enriched with polystyrene microplastic reveals independent behavior of cations and anions, *Chemosphere*, 2023, 341, 139927-1, 139927-12; <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139927>  
**IF<sub>2023</sub> = 8,800; MNiSW = 140,**
- [H9] N. Lisiecka, **A. Parus\***, V. Verkhovetska, J. Zembrzuska, M. Simpson, G. Framski, M. Niemczak, D. Baranowski, T. Cajthaml, Ł. Chrzanowski, Effect of cation hydrophobicity in dicamba-based ionic liquids on herbicide accumulation and bioavailability in soil, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2023, 11(5), 111008-1, 111008-12, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111008>  
**IF<sub>2023</sub> = 7,700; MNiSW = 100,**
- [H10] **A. Parus\***, M. Idziak, P. Jacewicz, K. Panasiewicz, J. Zembrzuska, Assessment of environmental risk caused by the presence of antibiotics, *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 2021, 16, 100533-1, 100533-18; <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100533>  
**IF<sub>2021</sub> = 0; MNiSW = 140,**
- [H11] **A. Parus\***, G. Framski, Impact of *O*-alkyl-pyridineamidoximes on the soil environment, *Science of The Total Environment*, 2018, 643, 1278-1284; <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.266>  
**IF<sub>2018</sub> = 4,610, MNiSW = 140,**
- [H12] **A. Parus\***, G. Framski, Synthesis, characterization and evaluation of toxicity of quaternary ammonium chlorides of glucose-based esters, *Turkish Journal of Chemistry*, 2018, 42, 1095-1104; <https://doi.org/10.3906/kim-1711-35>  
**IF<sub>2018</sub> = 1,377, MNiSW = 40,**
- [H13] **A. Parus\***, T. Ciesielski, M. Woźniak-Karczewska, Ł. Ławniczak, M. Janeda, M. Ślachciński, D. Radzikowska-Kujawska, M. Owsianiak, R. Marecik, A. P. Loibner, H. J. Heipieper, Ł. Chrzanowski, Critical evaluation of the performance of rhamnolipids as surfactants for (phyto)extraction of Cd, Cu, Fe, Pb and Zn from copper smelter-affected soil, *Science of The Total Environment*, 2024, 912, 168382-1, 168382-12; <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168382>  
**IF<sub>2024</sub> = 9,800; MNiSW = 200,**
- [H14] **A. Parus\***, T. Ciesielski, M. Woźniak-Karczewska, M. Ślachciński, M. Owsianiak, Ł. Ławniczak, A. P. Loibner, H. J. Heipieper, Ł. Chrzanowski, Basic principles for biosurfactant-assisted (bio)remediation of soils contaminated by heavy metals and petroleum hydrocarbons – A critical evaluation of the performance of

rhamnolipids, Journal of Hazardous Materials, 2023, 443, 130171- 1, 130171-14,  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130171>  
IF<sub>2023</sub> = 14,224; MNiSW = 200,

#### **Dane bibliometryczne\***

1. Sumaryczny Impact factor dla publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego wg bazy Journal Citation Report: **91,784**.
2. Sumaryczna liczba punktów MNiSW publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego: **1820**.
3. Liczba cytowań publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego: według bazy Web of Science (WoS): **111**/ według bazy Scopus: **143**.
4. Indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS) - **13**, według bazy Scopus – **15**.

\*dane z dnia 29.08.2024 r.

Oświadczenia współautorów potwierdzające ich wkład w powstanie publikacji naukowych wchodzących w skład monotematycznego cyklu zaprezentowałam w Załączniku 5b. Monotematyczny cykl publikacji będący podstawą w postępowaniu o nadania stopnia naukowego doktora habilitowanego omówiono szczegółowo w pkt. 4.c.

#### ***c) Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania***

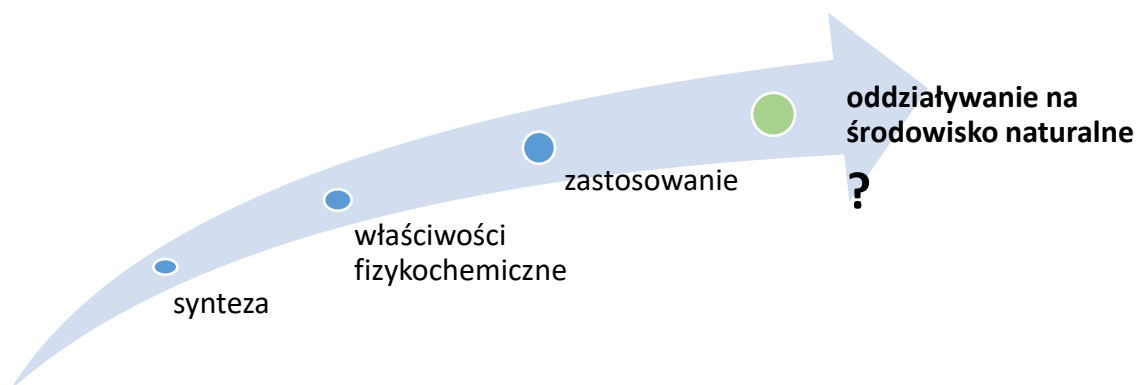
##### **Wstęp i cel badań**

***Celem naukowym przedłożonego osiągnięcia była wielopłaszczyznowa analiza wpływu obecności ksenobiotyków na ich akumulację oraz zmianę biodostępności w glebie dla mikroorganizmów i roślin.***

Ksenobiotykiem nazywamy praktycznie każdy związek chemiczny trafiający do środowiska w wyniku działalności człowieka, w sposób zamierzony lub nie. Substancje te ulegają różnym procesom fizykochemicznym oraz biologicznym, które wpływają na ich akumulację, przemieszczanie się i oddziaływanie na składowe danego ekosystemu. Te wszystkie procesy oddziałują na biodostępność związków chemicznych. Termin biodostępność, w ujęciu środowiskowym odnosi się zarówno do frakcji dostępnej w danej chwili i zdolnej do przekroczenia membran komórkowych, ale także do frakcji potencjalnie dostępnej, czyli tej która może zostać uwolniona (zdesorbowana) ze składowych gleby pod wpływem czynników środowiskowych. Metale, surfaktanty czy farmaceutyki to związki

chemiczne najczęściej kojarzone z ksenobiotykami i problemami środowiskowymi. Druga, ogromna grupa stanowiąca przykład ksenobiotyków, to środki ochrony roślin, które stanowią nieodzowny element w pracach agrochemicznych. Każdy ksenobiotyk trafiając do gleby może ulegać różnego rodzaju procesom wpływającym na ich akumulację oraz rozprzestrzenianie się w środowisku. Prace naukowe wielu naukowców (np. zespołu prof. Pernaka) sugerowały, że poprzez odpowiedni dobór kationów i anionów można projektować właściwości cieczy jonowych, w szczególności hydrofobowość, rozpuszczalność, a także toksyczność, przy zachowaniu ich właściwości biologicznych np. herbicydowych. Dzięki takim zabiegom, związki te mogą być stosowane w rolnictwie jako środki alternatywne do komercyjnych preparatów. W literaturze naukowej związanej z tematyką cieczy jonowych o właściwościach herbicydowych, znajdujemy przede wszystkim informacje dotyczące ich syntezy oraz wyznaczaniem ich parametrów chemicznych i fizycznych takich jak rozpuszczalność, zdolność obniżania napięcia powierzchniowego, lotność oraz skuteczność biobójcza np. chwastobójcza (Rys.1.). Podczas przeglądu doniesień literaturowych, zauważyłam brak wielopłaszczyznowej analizy oddziaływania tego typu substancji na określony ekosystem i weryfikacji pewnych zagadnień związanych z akumulacją, migracją oraz biodostępnością, a także integralnością struktury związku. W konsekwencji sformułowałam następujące pytania:

- Czy wprowadzenie hydrofobowego kationu do struktury cieczy jonowych rzeczywiście powoduje zwiększenie hydrofobowości całej cząsteczki i zmniejszenie mobilności anionów herbicydowych?
- Czy ciecze jonowe po przedostaniu się do środowiska glebowego nadal tworzą integralną parę jonową i należy ją traktować jako indywidualium chemiczne?
- Czy struktura wprowadzonego kationu wpływa na akumulację związków o aktywności herbicydowej w powierzchniowych warstwach gleby?
- Czy rodzaj kationu zawartego w cieczy jonowej wpływa na zmianę biodostępności i toksyczności anionów herbicydowych w stosunku do mikroorganizmów i roślin?



*Rys.1. Koncepcja badań prezentowanych w publikacjach naukowych związanych z syntezą związków, analizą właściwości oraz zastosowaniem w aspekcie braku danych na temat ich losu w środowisku.*

Na podstawie tych pytań zaprojektowałam badania, które miały uzupełnić niezagospodarowane obszary badawcze w literaturze, a przez to wpłynąć na obecny stan wiedzy.

**Zakres przeprowadzonych prac badawczych obejmował:**

- **określenie wpływu obecności ksenobiotyków na funkcjonowanie ekosystemu poprzez analizę oddziaływania na mikroorganizmy i podatności na biodegradację ([H1], [H2], [H3], [H7]),**
- **analizę integralności substancji nowej generacji na przykładzie cieczy jonowych w środowisku glebowym ([H4],[H5], [H6], [H7], [H8], [H9]),**
- **analizę zmiany mobilności i biodostępności metali w glebie pod wpływem związków o budowie amfifilowej takich jak surfaktanty oraz czynniki kompleksotwórcze ([H10], [H11], [H12], [H13], [H14]),**
- **ocenę wpływu interakcji pomiędzy ksenobiotykami należącymi do różnych klas związków chemicznych na ich sorpcję i mobilność w glebie oraz biodostępność ([H8], [H11]).**

Bazując na doświadczeniu w zakresie syntezy związków o strukturze amfifilowej zaproponowałam syntezę czwartorzędowych soli amoniowych na bazie substratów pochodzenia naturalnego [H1] i [H2], jakimi są alkaloidy tropanowe. Związki te można przekształcić w formę czwartorzędowej soli, a wprowadzając długie alkilowe podstawniki nadać im charakter powierzchniowo czynny [H1]. Natomiast wymieniając anion nieorganiczny (np. bromkowy) na organiczny, np. anion o właściwościach chwastobójczych taki jak 3,6-dichloro-2-metoksybenzoesanowy (dikamba) lub 4-chloro-2-metylofenoksyoctanowy (MCPA) [H2] można uzyskać związki o potencjalnym zastosowaniu jako środki ochrony roślin. Wymiana anionu nieorganicznego na organiczny została przeprowadzona w ramach realizacji projektu OPUS 15 (nr 2018/29/B/NZ9/01136), w którym byłam odpowiedzialna m.in. za zadanie dotyczące otrzymywania cieczy jonowych. Ponadto w pracach [H1] i [H3] przeanalizowałam wpływ struktury czwartorzędowych soli *N*-tropinowych na rozwój modelowej rośliny i mikroorganizmów oraz oceniłam ich podatność na biodegradację. Czwartorzędowe bromki *N*-tropiniowe zawierające podstawnik etyloacetylowy, dodecyłowy i tetradecylowy wykazały ciekawe właściwości promujące kiełkowanie i rozwój roślin. Zaobserwowałam, że czwartorzędowe bromki *N*-alkilotropiniowe [H1] powodowały zwiększenie siły kiełkowania nasion, przyczyniały się do wyższego przyrostu świeżej i suchej biomasy, zawartości chlorofili oraz poprawę parametrów fluorescencji chlorofilu, takich jak np. szybkość transferu elektronów, wydajności reakcji fotochemicznych modelowej rośliny jaką była kukurydza (*Zea mays*). W dalszych badaniach wykazałam, że biodegradowalność zsyntetyzowanych związków zależała od rodzaju podstawnika (całkowita biodegradacja w przypadku podstawnika etyloacetylowego i niska biodegradacja w przypadku łańcuchów alkilowych (C<sub>8</sub> do C<sub>16</sub>)). Niska biodegradowalność mogła być spowodowana wysoką aktywnością powierzchniową związków z długimi podstawnikami alkilowymi, co w konsekwencji może skutkować rozerwaniem błon komórkowych mikroorganizmów. Ten mechanizm jest doskonale znany i opisany w wielu raportach z badań mikrobiologicznych. Poszukując nowych narzędzi badawczych zleciłam wykonanie analiz krystalograficznych oraz określenie aktywności mikrobiologicznej czwartorzędowych soli *N*-alkilotropiniowych. Badania krystalograficzne wzbogaciły wiedzę na temat ułożenia cząsteczek i potwierdziły możliwość interakcji między podstawnikami a błoną komórkową. Natomiast niskie

wartości minimalnego stężenia hamującego rozwój mikroorganizmów (MIC) potwierdziły aktywności przeciwdrobnoustrojowe tych związków.

Dalsze modyfikacje struktur czwartorzędowych bromków *N*-alikotropiniowych poprzez wymianę anionu bromkowego na anion 3,6-dichloro-2-metoksybenzoesanowy (dikamba) lub 4-chloro-2-metylofenoksyoctanowy (MCPA), przeprowadzone przez dr inż. Annę Sygudę, doprowadziły do otrzymania związków z anionami chwastobójczymi. W pracy [H2] przeanalizowałam oddziaływania tych związków na wybrane składowe ekosystemu glebowego, takie jak mikroorganizmy i rośliny, a także określiłam podatność ich na biodegradację. Uzyskane wyniki sugerują, że czwartorzędowe sole tropinowe wykazują właściwości promujące wzrost roślin, a także hamujące rozwój chwastów. Z kolei niska tendencja do biodegradacji przy równoczesnym oddziaływaniu na bakterie glebowe wskazują, że związki te mogą akumulować się w miejscu przedostania się i wpływać na zmianę bioróżnorodności. **Jest to pierwsza praca wskazująca, iż pomimo pozytywnych właściwości promujących wzrost roślin uprawnych przy równoczesnym hamującym oddziaływaniu na chwasty, ale przy niskiej tendencji do biodegradacji, ciecze jonowe mogą stanowić zagrożenie dla funkcjonowania ekosystemu.**

Interesujące pod względem strukturalnym są ciecze jonowe (estrokваты) posiadające ugrupowania herbicydowe zarówno w kationie (np. jako podstawnik estrowy) jak i anionie. Związki te otrzymałam, w ramach współpracy naukowej, od dr inż. Anny Sygudy, która połączyła czwartorzędowe kationy amoniowe, wykazujące właściwości powierzchniowo czynne z pochodnymi fenoksykwasów (MCPA) [H3] jako podstawnikami estrowymi, natomiast inny herbicyd np. kwas (4-chloro-2-metylofenoksy)octowy (MCPP) został wprowadzony do cząsteczki estrokwatu jako anion. Oddziaływania estrokwatów zawierających w kationie MCPA i w anionie MCPP na środowisko glebowe zweryfikowałam przeprowadzając testy fitotoksyczności w stosunku do modelowych roślin (chwast i rośliny uprawnej), ekotoksyczności względem wybranych mikroorganizmów glebowych, a także poprzez weryfikację ich podatności na biodegradację. Test kiełkowania przeprowadzony dla kukurydzy wykazał dwa różne trendy: stymulację przy niskim stężeniu i hamowanie rozwoju przy wysokim stężeniu [H3]. Związki zachowały więc swoje właściwości jako syntetyczne auksyny, co obserwowałam również w pracach [H1] i [H2]. W badaniach analizowałam także związki z podstawnikami alkilowymi o parzystej ( $C_8$ ,  $C_{10}$ ,  $C_{12}$  i  $C_{14}$ ) oraz nieparzystej ( $C_9$ ,  $C_{11}$ ,  $C_{13}$ ) liczbie atomów węgla, lecz ta modyfikacja nie przyczynia się do istotnych różnic w zakresie oddziaływania na testowane rośliny.

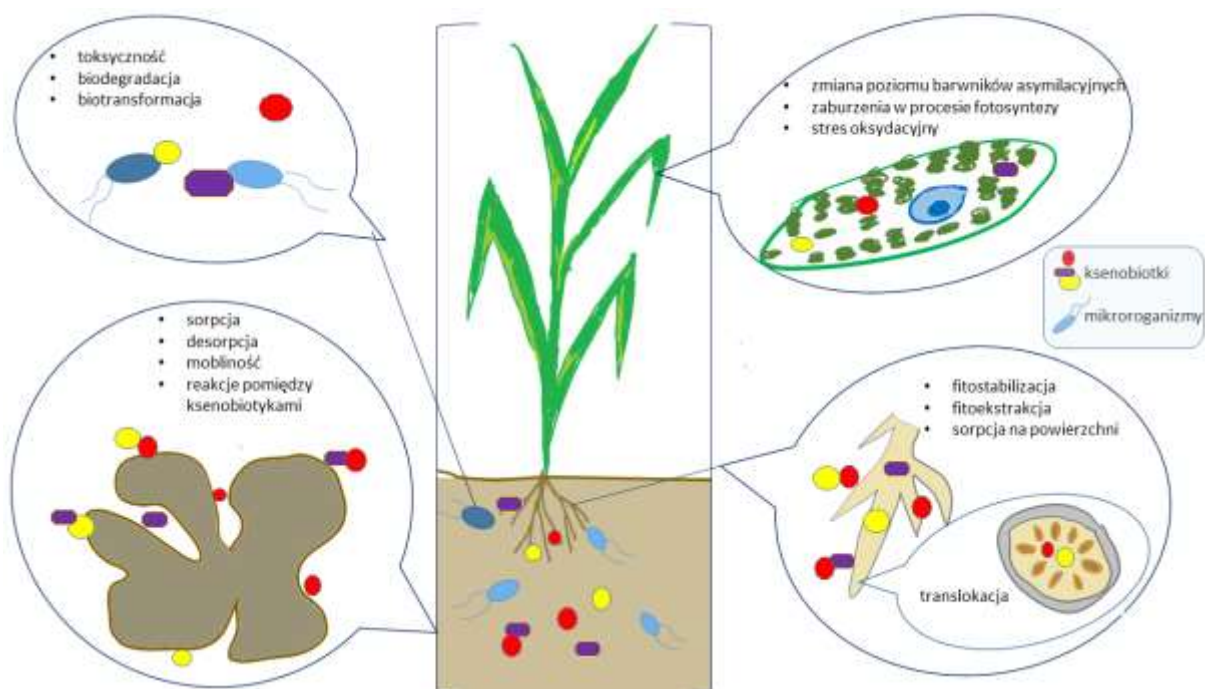
W kolejnym etapie badań, przeprowadziłam ocenę wpływu struktury związków na efektywność mineralizacji. Wykazałam, iż mineralizacja herbicydowych cieczy jonowych była niższa w porównaniu do modelowej mieszaniny herbicydów, a ich podatność na biodegradację malała wraz ze wzrostem długości łańcucha alkilowego. Po ocenie efektywności mineralizacji przeprowadziłam szczegółowe badania dotyczące rozkładu początkowych struktur (pierwotnej biodegradacji) kationów i anionów w herbicydowych estrokwatach w porównaniu do soli sodowych MCPA i MCPP jako referencyjnej mieszaniny herbicydów. Przeprowadziłam analizę pozostałości, która wykazała, że anion był bardziej efektywnie degradowany niż kation we wszystkich badanych estrokwatach herbicydowych. Co więcej wyniki te wskazują również, iż podatność herbicydowych estrokwatów na pierwotną biodegradację zmniejszała się wraz ze wzrostem długości łańcucha alkilowego w kationie. Ponadto, wykazałam, że wydajność biodegradacji w przypadku modelowej mieszaniny MCPA i MCPP był dwukrotnie wyższa w porównaniu



do odpowiednich herbicydowych estrokwatów. Analiza wyników eksperymentalnych w pracy [H3] wskazała na konieczność kompleksowej interpretacji w aspekcie środowiskowym, ponieważ zestawiając wyniki zarówno biodegradacji pierwotnej, jak i mineralizacji uzyskujemy pewne nieścisłości, takie jak:

- choć początkowo badane związki były rozkładane w różnym stopniu, to jednak nie są one efektywnie mineralizowane, co sugeruje, że możliwa jest biotransformacja do stabilnych metabolitów,
- w przypadku chwastobójczych estrokwatów, biodegradacja anionu najprawdopodobniej odpowiada za obserwowaną mineralizację,
- niska wydajność mineralizacji herbicydowych estrokwatów może wynikać z aktywności powierzchniowej kationu estrokwatów, co przekłada się na właściwości przeciwdrobnoustrojowe.

W pracach [H1]-[H3] wykazałam, że analiza oddziaływania związków na środowisko glebowe jest złożona i zależna nie tylko od struktury związków, ale także od parametrów gleby i wilgotności. Niewątpliwie wszystkie te parametry powinny być brane pod uwagę w celu kompleksowej oceny losów i ryzyka środowiskowego nowych formułacji (np. cieczy jonowych). Ocena właściwości fizykochemicznych i wybranej aktywności biologicznej nowych cieczy jonowych jest niewystarczająca. Schemat przedstawiony na Rys. 2 doskonale odzwierciedla procesy, jakim ksenobiotyki ulegają w glebie.



Rys. 2. Schemat wielopłaszczyznowego oddziaływania ksenobiotyków na ekosystem glebowy.

Mając na uwadze powyższe obserwacje i często rozbieżne wyniki poszczególnych analiz, postanowiłam w kolejnych badaniach sprawdzić jak stabilne są cieczy jonowe w środowisku glebowym, przy równoczesnej kompleksowej ocenie ich losów po

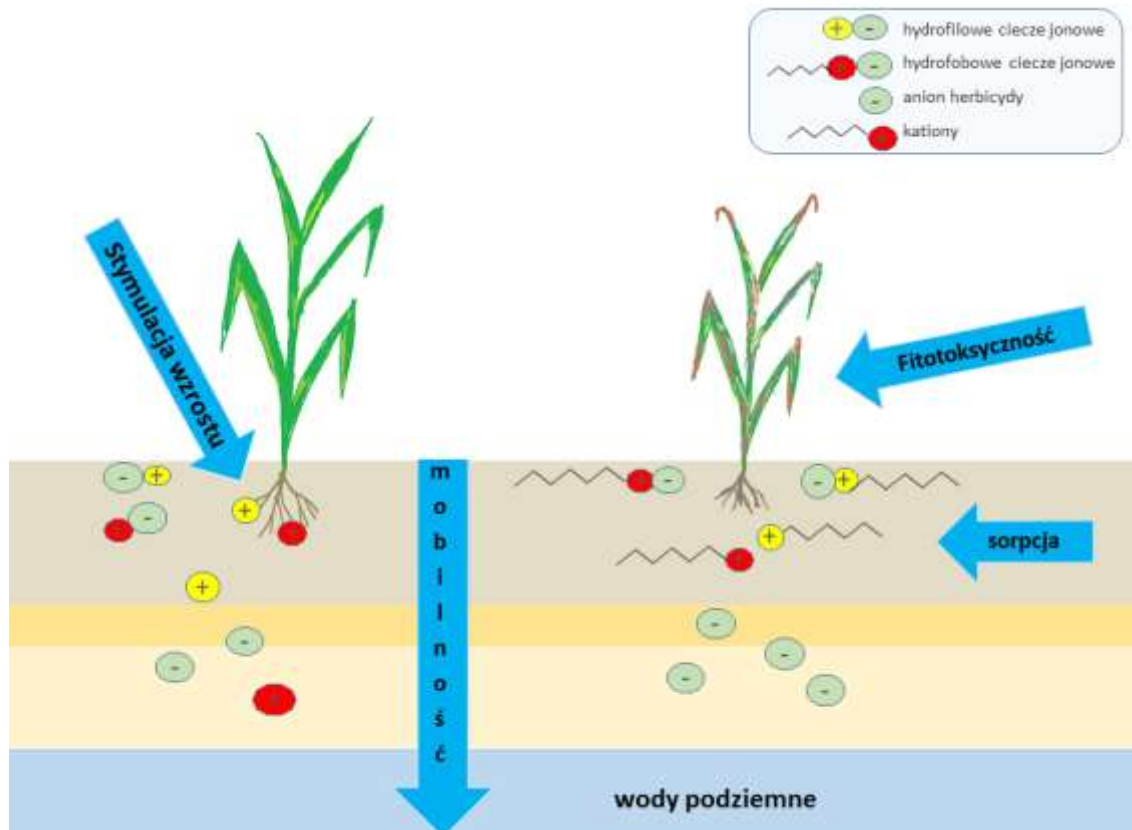
przedostaniu się do środowiska glebowego. Ocenę tę przeprowadziłam poprzez określenie akumulacji (sorpcji) i przemieszczania się (desorpcji i wymywania) cieczy jonowych w glebie w odniesieniu do substancji referencyjnych, którymi były sole sodowe lub potasowe herbicydów. Natomiast w kolejnych etapach uzupełniłam badaniami weryfikującymi ich biodostępność oraz toksyczność w stosunku do wybranych roślin oraz mikroorganizmów oraz podatność na biodegradację ([H4],[H5],[H6],[H7], [H8] i [H9]).

Początkowo badania prowadziłam dla dwóch herbicydowych cieczy jonowych zawierających kation betainy lub choliny oraz anion dikamba [H4]. Uzyskane wyniki wskazują, że hydrofilowy kation betainy nie ulega sorpcji i szybko przemieszcza się w profilu glebowym. Z kolei kation choliny jest sorbowany w około 40%, ale łatwo ulega wymyciu i dalej przemieszcza się w glebie. Z drugiej strony, analiza sorpcji i przemieszczania się anionu dikamba po zastosowaniu cieczy jonowej nie wykazała znaczących różnic w porównaniu z migracją anionu dikamba z substancji referencyjnej jakim była jej sól sodowa. Dodatkowo, aby sprawdzić wpływ rodzaju gleby na proces sorpcji, przeprowadziłam badania dla dwóch wybranych gleb rolniczych różniących się zawartością węgla organicznego oraz zawartością metali ciężkich. Nie zaobserwowałam statystycznie istotnych różnic w wartościach wyznaczonych stałych Freundlicha ( $K_f$ ) dla poszczególnych gleb. Tym samym potwierdziłam, że anion dikamba oraz kationy choliny lub betainy sorbują się w glebach niezależnie od siebie. Ponadto analizowane związki wykazują dużą zdolność migracji w glebach, zarówno kationy, jak i anion dikamba. Obecność kationów (choliny lub betainy) w strukturze cieczy jonowych nie wpłynęła na zmianę mobilności anionu dikamba w glebie (Rys. nr 3). Warto podkreślić, iż szybkość wymywania związku zależy od jego hydrofilowości ([Bet] > [Chol] > [dikamba]). Badania te zrealizowałam w ramach projektu MINIATURA 4 (nr DEC-2020/04/X/ST4/01052), którego byłam kierownikiem.

**Analiza uzyskanych wyników wskazuje, iż modyfikacja struktury herbicydu poprzez wprowadzenie kationu organicznego nie wpływa na zachowanie się anionu herbicydowego w glebie. Obserwacja ta weryfikuje w sposób istotny założenia wskazywane przez wielu autorów, iż poprzez odpowiedni dobór kationu i anionu można wpłynąć na właściwości anionu herbicydowego. Łatwość wymywania i migracji analizowanych związków w profilu glebowym wskazuje, że analizowane cieczy jonowe na bazie herbicydu dikamba z ugrupowaniami hydrofilowymi nie mają tendencji do akumulacji w powierzchniowych warstwach gleby.** Jednak ich szybka migracja do głębszych warstw gleby może prowadzić do ich rozprzestrzeniania się i w konsekwencji wpływać na wzrost roślin uprawnych i chwastów niebędących celem zwalczania, a przede wszystkim mogą zanieczyszczać zbiorniki wodne. Na podstawie uzyskanych wyników oceny fitotoksyczności stwierdziłam, że związki te wykazują silne działanie toksyczne wobec modelowych roślin dwuliściennych. Z drugiej strony, wyniki uzyskane dla roślin jednoliściennych wskazują na efekt ochronny spowodowany obecnością betainy lub kationu choliny (Rys.3.).

**Badania te stanowią pionierskie podejście w kierunku zrozumienia losu cieczy jonowych w środowisku glebowym, zwłaszcza tych zawierających w swojej strukturze kationy i aniony organiczne.** Wyniki badań przedstawione w pracy [H4] dotyczyły układów hydrofilowych, dlatego postanowiłam sprawdzić czy wprowadzenie hydrofobowego łańcucha alkilowego (zawierającego od C<sub>8</sub> do C<sub>14</sub>) do struktury kationu wpłynie na zmniejszenie mobilności anionu dikamba w glebie [H9]. Badania te stanowią nowe zadanie

rozszerzające prace związane z realizacją projektu OPUS 15 (nr DEC-2018/29/B/NZ9/01136), za które byłam odpowiedzialna. Wiadomo, że pary jonowe wykazują silne oddziaływanie pomiędzy kationem i anionem, co może prowadzić do zwiększenia hydrofobowości cieczy jonowej. Teoretycznie taki związek odznaczający się hydrofobowością powinien wykazywać znaczną sorpcją w glebie i przy założeniu integralności połączenia kation-anion zmniejszyć mobilność anionu herbicydowego w profilu glebowym. Tak również sugerowały liczne prace w tematyce cieczy jonowych.



Rys.3. Schemat potencjalnego oddziaływania cieczy jonowych o właściwościach herbicydowych w glebie.

Otrzymane w moich pracach [H9], [H6] i [H8] wyniki jednoznacznie wskazują, iż hydrofobowe modyfikacje kationu choliny były ilościowo sorbowane w glebie stwarzając tym samym długoterminowe niebezpieczeństwo akumulacji. Natomiast, jeżeli chodzi o analizę sorpcji anionu dikamba wprowadzonego w postaci herbicydowej cieczy jonowej, zaobserwowałam zwiększenie adsorpcji anionu dikamba (sorpcja na poziomie 10-25%) dla cieczy zawierających kationy z łańcuchem alkilowym  $C_8$  lub  $C_{10}$  w porównaniu do sorpcji anionu dikamba pochodzącego z soli sodowej. Natomiast dalsze wydłużenie łańcucha alkilowego do  $C_{12}$  i  $C_{14}$  nie zwiększało sorpcji anionu dikamba w glebie. Obserwowane zjawisko zwiększenia sorpcji anionu dikamba z roztworów herbicydowych cieczy jonowych z kationami cholinowymi może być wynikiem zjawiska modyfikacji sorbentu (gleby) poprzez początkowo zaadsorbowany kation. Jak wykazałam w pracy [H9], sorpcja cieczy jonowych na minerałach i glebach może zachodzić poprzez tworzenie dwóch warstw

adsorpcyjnych (pierwszej oddziaływanie columbowski i drugiej poprzez oddziaływanie hydrofobowe). Dzięki zastosowaniu aproksymacji wyników doświadczalnych modelem izotermy Freundlicha potwierdziłam wielowarstwowy mechanizm sorpcji, co wskazuje, że kationy cieczy jonowych mogą działać jako modyfikatory powierzchni mineralnych podobnie, jak to się dzieje w przypadku związków powierzchniowo czynnych. Z innej strony hydrofobowe kationy o właściwościach powierzchniowo czynnych w roztworach wodnych mogą tworzyć micelle lub agregaty, które zatrzymują aniony zmniejszając ich mobilność i pozornie zmniejszając kontakt z dodatnio naładowanymi centrami sorpcyjnymi. Najważniejszym wnioskiem z tych badań jest obserwacja, że wzrost hydrofobowości kationów tylko nieznacznie zwiększył sorpcję anionu dikamba w porównaniu do sorpcji anionu dikamba w herbicydowych cieczach jonowych zawierających kation hydrofilowy (wzrost wartości  $K_f$  z 0.6 do około 1.3). Pozornie może to sugerować ograniczenie mobilność anionu dikamba w glebie. Wyniki te postanowiłam zweryfikować przeprowadzając testy biodostępności w glebie. Biodostępność jest jednym z kluczowych parametrów determinujących procesy takie jak: przemieszczanie się (rozprzestrzenianie w środowisku), pobieranie przez rośliny oraz mikroorganizmy, a także biodegradację. Otrzymane wyniki pozwoliły mi jednoznacznie stwierdzić, że kation cholinowy oraz anion dikamba są związkami łatwo wymywalnymi z gleby pod wpływem wody oraz roztworu o pH w zakresie 4-5. Natomiast modyfikacja struktury kationu poprzez wprowadzenie długich łańcuchów alkilowych spowodowała zmniejszenie ich biodostępności, a w konsekwencji do akumulacji zanieczyszczeń w powierzchniowych warstwach gleby (Rys.3.). Mniejsza biodostępność może przekładać się na zmniejszenie biodegradacji i biotransformacji związków, jak to wykazałam w pracy [H7]. Natomiast anion dikamba odznacza się wysoką biodostępnością, powyżej 65%. Należy zauważyć, iż wymywanie anionu dikamba z gleby, do której wprowadzono herbicydowe ciecze jonowe z łańcuchami  $C_{12}$  i  $C_{14}$  był wyższy o około 10% w porównaniu z jego odzyskiem z gleby zawierającej hydrofilowy kation cholinowy. Wyniki te potwierdzają możliwość tworzenia miceli lub agregatów przez hydrofobowe kationy i pozorne zatrzymywanie anionów. **Moim zdaniem największym osiągnięciem było odkrycie możliwości zwiększenia wymywania anionu herbicydowego z matrycy glebowej i zwiększenia jego mobilności w profilu glebowym. Co istotne, jest to sprzeczne z wieloma teoriami o możliwości zatrzymywania anionu poprzez wprowadzenie kationu hydrofobowego do struktury herbicydowych cieczy jonowych.**

Opis badań uzupełniłam wyznaczając wartości  $K_d$  (współczynnika podziału),  $K_{oc}$  (współczynnika podziału w przeliczeniu na zawartość węgla organicznego w glebie), a także GUS i LIX. Wyznaczone wartości tych współczynników dla anionu dikamba wyraźnie potwierdzają, że ten herbicyd funkcjonuje w glebie niezależnie od kationu, z którym był pierwotnie sparowany w cieczy jonowej. Wykorzystując magnetyczny rezonans jądrowy (NMR), a przede wszystkim uzyskane widma 2D m.in.  $^1H$ - $^1H$  NOESY, wyjaśniono molekularne podstawy braku interakcji kation – anion w cieczach jonowych w roztworach wodnych. Wykonanie badań było możliwe dzięki współpracy naukowej z dr D. Baranowskim oraz dr G. Framskim z Polskiej Akademii Nauk. Takie analizy potwierdzają, iż anion dikamba odznacza się mobilnością w glebie, natomiast hydrofobowe kationy cholinowe mają tendencję do zatrzymywania w powierzchniowych warstwach i zalegania. W dalszych badaniach sprawdziłam czy efekt fitotoksyczny dla związków z hydrofobowymi kationami jest większy w porównaniu do oddziaływania herbicydowych cieczy jonowych z kationem cholinowym, który wykazywał ochronne działanie. Niestety wprowadzenie

alkilowych łańcuchów do struktury kationu spowodowało zmniejszenie działania ochronnego, jaki był obserwowany dla związku z kationem cholinowym [H4], a efekt fitotoksyczny jest porównywalny do działania substancji referencyjnej – soli sodowej dikamba (Rys.3.). Ponadto, dla wszystkich testowanych cieczy jonowych odnotowano możliwość negatywnego wpływu na mikroorganizmy. Wzrost toksyczności był zgodny z wcześniejszymi obserwacjami [H2] i [H3], czyli wzrost hydrofobowości kationu silnie wpływał na zwiększenie aktywności przeciwbakteryjnej. Niewątpliwie wynika to z właściwości powierzchniowo czynnych tych związków. Obecność anionu dikamba nie miała wpływu na toksyczność związku chemicznego, podobnie jak zostało to wykazane w pracy [H4].

**Opisane zależności skłoniły mnie do stwierdzenia, że ciecze jonowe z anionem herbicydowym w kontakcie z glebą tracą swoje charakterystyczne właściwości, które są następstwem interakcji pomiędzy kationami a anionami. Wskazałam, że oddziaływania kation-anion, tak ważne dla cieczy jonowych, nie występują w przypadku wprowadzenia cieczy jonowej do gleby. Kationy i aniony są adsorbowane i migrują w glebie jako niezależne cząsteczki.**

Kolejną grupą związków, którą analizowałam były ciecze jonowe zawierające anion 2,4-dichlorofenoksyoctanowy (2,4-D) i kationy należące do pochodnych betainy [H5]. 2,4-D podobnie jak dikamba odznacza się nieznaczną sorpcją i łatwością wymywania oraz przemieszczania się w zastosowanych glebach. Analizując tę grupę związków postawiłam sobie podobne pytanie jak w przypadku prac [H4] i [H9]: czy wprowadzenie zmodyfikowanego kationu organicznego - zwitterionów betainy charakteryzującymi się zwiększoną hydrofobowością, wpłynie na zmniejszenie mobilności anionu 2,4-D w glebie. Przeprowadzona analiza uzyskanych wyników, potwierdziła wysoką tendencję hydrofobowych kationów takich jak dodecylobetainowy ([C<sub>12</sub>Bet]) i kokamidopropylobetainowy ([CAPBet]) do sorpcji w glebie rolniczej, natomiast nieznaczną, bo zaledwie kilkuprocentową, hydrofilowego kationu betainy glicynowej. Ponadto adsorpcja anionu [2,4-D] była na poziomie kilku procent, niezależnie od użytej cieczy jonowej, co wskazuje na brak statystycznego wpływu hydrofobowości kationu na sorpcję anionu. Obserwowane zjawiska są zgodne z zaproponowanymi na Rys.3. Również w tych badaniach, wykorzystałam technikę 2D NMR (m.in. <sup>1</sup>H-<sup>1</sup>H NOESY), dzięki której potwierdzono brak integralności kation-anion w roztworach wodnych, co jest zgodne z pracami ([H4] i [H9]). Wykonując badania fitotoksyczności potwierdziłam dominującą rolę hydrofobowych pochodnych powierzchniowo czynnych betainy. Zaobserwowałam, iż związek z hydrofilowym kationem stymulował wzrost roślin, podobnie jak opisałam to w pracy [H4] dla cieczy jonowych z anionem dikamba. Natomiast transformacja zwitterionu betainy do hydrofobowych pochodnych przez wprowadzenie łańcuchów alkilowych (zawierających C<sub>12</sub> lub/i ugrupowania kokaimidopropyloвого) spowodowała zwiększenie toksyczności cieczy jonowych. Efekt ten zaobserwowałam zarówno w krótkoterminowych testach fitotoksyczności, jak i w eksperymencie długoterminowym – polowym obejmującym prowadzenie obserwacji do 4 tygodni po zastosowaniu oprysku nalistnego. Opisane wyniki są potwierdzeniem słuszności obserwacji, które przedstawiałam w pracach [H4] i [H9], wskazując, że kationy i aniony z cieczy jonowych opartych na betainie i anionie herbicydowym 2,4-D nie tworzą pary jonowej w środowisku glebowym i podlegają oddzielnym procesom fizykochemicznym.

Oprócz parametrów fizykochemicznych oraz aktywności biologicznej gleby, na akumulację ksenobiotyków kluczową rolę może odgrywać obecność innych zanieczyszczeń (schemat przedstawiony na Rys.2). Ostatnio wiele uwagi poświęca się obecności i wpływowi mikro/nanoplastików (MNPs) (mikro rozmiar: 5 mm-100 nm i nano rozmiar <100 nm) na środowisko glebowe. Chociaż prace naukowe opublikowane w przeciągu 5 lat podają, że MNPs mogą zmieniać właściwości gleby, przez co również wpływać na procesy interakcji z ksenobiotykami i ich biodostępność, to ich rzeczywisty wpływ na funkcjonowanie ekosystemów glebowych jest nadal nieznany. W związku z tym podjęłam się badań związanych z uzyskaniem odpowiedzi na pytanie: czy obecność wybranego mikroplastiku (np. pierwotnego mikropolistyrenu - PS) w glebie wpłynie na zmianę sorpcji kationów oraz mobilności anionu herbicydowego [H8]. W tym celu zastosowałam ciecze jonowe na bazie anionu 2,4-D i kationów hydrofilowego - choliny oraz hydrofobowego – zmodyfikowana cholina dwunastowęglowym łańcuchem. Stwierdziłam, iż pomimo tego, że wprowadzenie polistyrenu jako mikroplastiku w ilości od 1 do 10% (w/w) do gleby powodowało wzrost jej pojemności sorpcyjnej, to jednak sorpcja kationów organicznych, niezależnie od ich struktury, wzrosła tylko o 3-5%. Podobnie jak w badaniach opisanych w pracy [H5], nie odnotowałam sorpcji anionu [2,4-D]. **Po raz kolejny zweryfikowałam integralność cieczy jonowych w środowisku glebowym i potwierdziłam, że kationy i aniony tworzące ciecze jonowe zachowują się niezależnie od siebie. Natomiast obecność innego ksenobiotyku w postaci pierwotnego mikroplastiku polistyrenowego nie wpływa na zwiększenie zatrzymywania anionu herbicydowego w warstwach powierzchniowych gleby.**

Prace [H4],[H5],[H8] i [H9] dotyczyły cieczy jonowych z anionami herbicydowymi odznaczającymi się małą sorpcją i dużą wymywalnością oraz migracją w środowisku glebowym. Mając na uwadze ten parametr, postawiłam pytanie: czy takie same efekty będą obserwowane dla anionów herbicydowych wykazujących sorpcją w glebie. Do tych badań wybrałam ciecze jonowe zawierające anion glifosatu oraz kationy o różnej hydrofobowości: choliną oraz choliną zmodyfikowaną dwunastowęglowym łańcuchem alkilowym ([C<sub>12</sub>Chol]), czy heksadecylo-trimetyloamoniowym ([C<sub>16</sub>TMA]) [H6], a także benzalkoniowym ([BA]) oraz didecylodimetyloamoniowym ([DDA]) [H7]. Otrzymane wyniki były zgodne z moimi przewidywaniami, ponieważ hydrofobowe kationy ulegały prawie 100% adsorpcji a hydrofilowa pochodna cholinowa w około 45% (zgodnie ze schematem przedstawionym na Rys.3). Natomiast sorpcja anionu glifosatu była na poziomie 40% niezależnie od struktury i hydrofobowości kationów wchodzących w skład cieczy jonowych. Trend był zgodny z obserwacjami opisanymi dla związków z anionem dikamba ([H4] i [H9] oraz 2,4-D ([H5] i [H8])). Wykonałam również badania sorpcji anionu glifosatu w glebach o różnej zawartości substancji organicznych, wykazując, że sorpcja była wyższa (ok. 45%) w porównaniu do sorpcji w referencyjnej glebie OECD (30%), lecz wartości współczynnika Freundlicha (K<sub>f</sub>) były stałe, niezależnie od obecności kationów. Chcąc potwierdzić obserwowane zależności, wykonałam eksperyment wymywania cieczy jonowych, który przeprowadziłam w kolumnach wypełnionych glebą, imitujących powierzchniową warstwę profilu gleby (0-20 cm). W badaniu tym potwierdziłam preferencyjną sorpcję hydrofobowych kationów, przy zachowaniu umiarkowanej tendencji do sorpcji i wymywania anionu glifosatu. Wyniki te są spójne i potwierdzają obserwacje opisane w pracach [H4], [H5], [H8] i [H9], czyli niezależną sorpcję kationów i anionów oraz brak statystycznego wpływu kationów na akumulację i przemieszczanie się anionów herbicydowych w glebach. Przeprowadzona analiza widma 2D NMR dla cieczy

jonowych z anionem glifosatu, wykonanych przez dr D. Baranowskiego, również potwierdziła brak oddziaływania kationu z anionem. **Prace, o których mowa ([H6] i [H7]) również stawiają pod wątpliwość słuszność doniesień o możliwości zwiększenia hydrofobowości i zatrzymywania anionu herbicydowego poprzez wprowadzenie odpowiedniego kationu. Wykazałam, iż modyfikacja struktury wprowadzonego kationu do cieczy jonowej może jedynie zwiększyć sorpcję danego kationu, natomiast nie wpływa na zwiększenie sorpcji anionu.**

Moim zdaniem, ocena integralności cieczy jonowych o właściwościach herbicydowych, zachowania się składników jonowych oraz wpływu obecności mikroplastiku na ich akumulację w glebach przedstawione w pracach [H4], [H5], [H6], [H7], [H8] oraz [H9], **stanowi istotne uzupełnienie obecnego stanu wiedzy dotyczącego cieczy jonowych i ich oddziaływania ze składowymi danego ekosystemu. Sądzę, że badania te są nowatorskie i wielokierunkowe, a także mogą być przełomowe w dziedzinie cieczy jonowych, gdyż pokazują, że związki te nie stanowią nowej formy zanieczyszczenia oraz nie stanowią ekologicznej alternatywy dla komercyjnych herbicydów.**

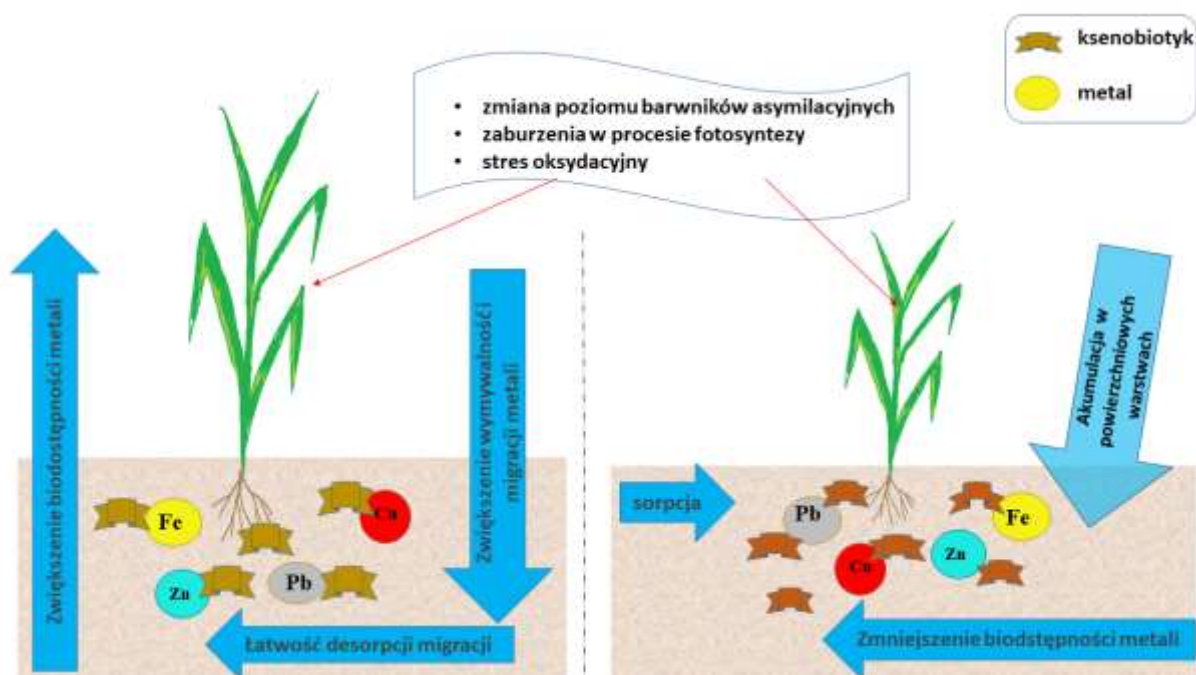
Kontynuując badania oddziaływania cieczy jonowych na środowisko glebowe w aspekcie wielopłaszczyznowej analizy, postanowiłam sprawdzić podatność na degradację wybranych cieczy jonowych, ich biodostępność w glebie oraz toksyczność wobec mikroorganizmów [H7]. Do tych badań wybrałam ciecze jonowe zawierające anion glifosatu. Wyniki pierwotnej degradacji dla wszystkich testowanych związków wskazywały na prawie całkowitą degradację kationów i anionów podczas standardowego 28-dniowego testu. Jednakże, porównując uzyskane wartości z biodostępnością tych substancji w glebie rolniczej, stwierdziłam, że anion glifosatu charakteryzował się wysoką biodostępnością, niezależnie od jego pary kationowej, co jest zgodne z wcześniejszymi badaniami wskazującymi na ich wzajemną niezależność i dość wysoką wymywalność [H6]. Jednocześnie kationy hydrofobowe takie jak: [C<sub>12</sub>Chol], trimetyloheksadecyloamoniowy ([C<sub>16</sub>TMA]), didecyldimetyloamoniowy ([DDA]) oraz benzalkoniowy ([BA]), charakteryzowały się niską biodostępnością na poziomie 13-20%. Wyniki te nie są zaskakujące, gdyż badania sorpcyjne wykazały, iż kationy te odznaczają się blisko 100% sorpcją przy niewielkiej wymywalności [H6] i [H7]. Co ciekawe, badania te stoją w sprzeczności z powszechnymi opiniami, w których kationowe surfaktanty są stosowane jako czynniki desorbujące zaadsorbowane aniony w procesach remediacyjnych. Wiadomo, że kationowe czwartorzędowe amoniowe surfaktanty posiadają zdolność do tworzenia układów kompleksowych z anionami glebowymi, lecz poprzez możliwość oddziaływania z anionami herbicydowymi, powinny zmniejszać ich biodostępność i tym samym ograniczyć ich degradację, szczególnie w przypadku anionów, które wykazują tendencję do sorbowania się w glebie. Ponadto, zgodnie z założeniami o projektowalności cieczy jonowych, ich wprowadzenie do struktury związku powinno przede wszystkim prowadzić do zwiększenia ich adsorpcji. W konsekwencji może to skutkować akumulacją zanieczyszczeń, zwłaszcza w porównaniu do komercyjnie stosowanych preparatów chwastobójczych z anionowymi lub niejonowymi środkami powierzchniowo czynnymi (adiuwantami). Prowadząc te rozważania, zauważyłam, że uzyskane wartości degradacji pierwotnej w rzeczywistości nie przekładają się na biodegradację kationów, ale raczej pokazują tylko niewielką ilość biodostępnej części, która była podatna na degradację. W związku z tym oczekiwane wyniki mineralizacji (ostatecznej biodegradacji) powinny być

znacznie niższe. W rzeczywistości, wydajność mineralizacji mieściła się w zakresie 15-53%. **Interpretując te wyniki, w połączeniu z biodegradacją, zwróciłam uwagę na fakt, że pierwotne wartości degradacji, często stosowane do oceny potencjału degradacji cieczy jonowych, mogą w rzeczywistości nie odzwierciedlać ich degradacji, ale raczej odzyskiwanie części biodostępnej, tj. części dostępnej dla mikroorganizmów, a zatem podatnej na degradację mikrobiologiczną.** M.in. w pracach [H4],[H5],[H6],[H7],[H8] i [H9] zwracam uwagę, że większość hydrofobowych czwartorzędowych kationów amoniowych wykazuje toksyczny wpływ na mikroorganizmy, co niewątpliwie może wpływać na zmianę bioróżnorodności gleby, a także na skuteczność degradacji jonów w środowisku, w tym anionów herbicydowych. **Biorąc pod uwagę powyższe rozważania, udowodniłam, że wyłączna analiza wyników badań degradacji pierwotnej nie pozwala na odróżnienie sorpcji, kompleksowania lub innych zjawisk fizycznych, które mogą zachodzić w glebie od rzeczywistej degradacji ksenobiotyku.**

Opisane powyżej prace [H1],[H2],[H3],[H4],[H5],[H6],[H7],[H8] oraz [H9] dotyczyły określenia oddziaływania związków organicznych o potencjalnym działaniu chwastobójczym w modelowych układach, w których skoncentrowałam się głównie na analizie zachowania się związków wprowadzonych do układu glebowego. Natomiast, w rzeczywistości do środowiska trafiają różne ksenobiotyki (zarówno organiczne jak i nieorganiczne), które mogą oddziaływać ze sobą wpływając na ich akumulację i przemiany (Rys.3.). Ze względu na potencjalne interakcje, w pracy [H10] podjęłam się trudnego zagadnienia związanego z oceną wpływu obecności antybiotyków na mobilność i biodostępność jonów metali w glebie pobranej z okolic huty miedzi Głogów. W badaniach zastosowałam dwa popularne antybiotyki (sulfametoksazol oraz trimetoprym) stosowane m.in. w leczeniu zwierząt hodowlanych, które wraz z odchodami mogą trafiać na pola uprawne. Dzięki zastosowaniu ekstrakcji sekwencyjnej BCR, wykazałam zmianę mobilności metali w glebie pod wpływem analizowanych antybiotyków. Co również potwierdziłam w kolejnych etapach badań dotyczących zmian biodostępności jonów metali dla modelowej rośliny (kukurydzy). Mając na uwadze wielopłaszczyznowe oddziaływanie ksenobiotyków, przedstawioną na Rys.2, badania te rozszerzyłam o analizę zmian poziomów pigmentów asymilacyjnych (chlorofilu oraz karotenoidów) w modelowej roślinie. Uzyskane wyniki jasno wskazują na występowanie stresu oksydacyjnego, który w późniejszym etapie życia roślin może powodować zaburzenia w funkcjonowaniu rośliny, np. w prawidłowym przebiegu fotosyntezy. Całą analizę opisanych zjawisk uzupełniłam poprzez określenie sorpcji i wymywalności analizowanych antybiotyków w glebie. Uzyskane przeze mnie wyniki wskazują, że sulfametoksazol charakteryzuje się niską sorpcją, łatwością wymywania przez wodę, co wyjaśniałoby zjawisko zwiększenia mobilności i biodostępność jonów metali dla modelowej rośliny. Natomiast trimetoprym odznaczał się wysoką sorpcją w glebie i małą wymywalnością, co również jest zgodne z analizą BCR i zmniejszeniem biodostępności jonów metali we frakcjach wymywanych czy zawartości w modelowej roślinie.

Zjawiska, które opisałam w pracy [H10] **jasno wskazują na możliwość interakcji zachodzących pomiędzy ksenobiotykami trafiającymi do gleby a zanieczyszczeniami nieorganicznymi w niej występującymi, co przekłada się na ich biodostępność, rozprzestrzenianie się i akumulację w glebie (Rys.4).**





Rys. 4. Zmiany biodostępności jonów metali pod wpływem ksenobiotyków wykazującej różnicowaną sorpcję i wymywalność w glebie.

Ksenobiotyki przedostające się do środowiska glebowego, niezależnie od tego czy należą do grupy związków organicznych czy nieorganicznych, ulegają podobnym procesom, z wyjątkiem degradacji. Z tego względu, aby usunąć zanieczyszczenia w postaci jonów metali konieczne jest ich zdesorbowanie z gleby lub oddzielenie z roztworu glebowego, a następnie zatężenie lub zastosowanie procesu fitoremediacji. Innym, przeciwnym zabiegiem jest zastosowanie czynników powodujących trwalsze unieruchomienie zanieczyszczenia. Do tych procesów stosowane są różne związki głównie o właściwościach powierzchniowo czynnych lub kompleksotwórczych. Podczas doktoratu oraz po zatrudnieniu w Zakładzie Chemii Organicznej na stanowisku asystenta zajmowałam się syntezą związków powierzchniowo czynnych, których głównym przeznaczeniem było zastosowanie w procesach ekstrakcyjnego odzysku jonów metali z roztworów wodnych, są to prace [1`P – 3`P oraz 1P – 3P] zamieszczone w *Załączniku 4*. Dzięki temu posiadam wiedzę związaną zarówno z planowaniem syntez związków o pożądanym właściwościach, jak i interakcji pomiędzy tymi związkami i jonami metali w układach wodnych. W kolejnym etapie rozwoju naukowego rozszerzyłam swój warsztat badawczy o analizy dotyczące oddziaływania związków o strukturze amfifilowej i właściwościach powierzchniowo czynnych z jonami metali w układach glebowych.

W pracy [H11] zastosowałam związki posiadające bardzo dobre właściwości kompleksotwórcze, *O*-alkilo-pirydynoamidoksyminy o potencjalnym zastosowaniu w procesach ekstrakcyjnego usuwania jonów metali (Cd, Cu, Fe oraz Zn) z roztworów wodnych. Właściwości te opisałam w pracy [3P] (*Załącznik 4*). W badaniach zastosowałam 3 izomery (orto, meta i para) *O*-alkilo-pirydynoamidoksymin, zawierające łańcuch propylowy przyłączony do atomu tlenu w ugrupowaniu iminowym. Na podstawie uzyskanych wyników ekstrakcji sekwencyjnej typu BCR stwierdziłam, iż wprowadzenie tych związków do gleby pochodzącej z okolic huty miedzi w Głogowie powoduje zmniejszenie

mobilności jonów Cu, Pb oraz Fe. Natomiast nie zaobserwowałam wpływu położenia ugrupowania imidoamidowego w pierścieniu pirydynowym na zmianę dostępności metali. Zmniejszenie biodostępności jonów metali spowodowane jest silną sorpcją w glebie powstałych związków kompleksowych. Z jednej strony zjawisko to mogłoby być wykorzystywane do unieruchomienia jonów metali w glebie i zapobieganiu ich rozprzestrzenianiu się w środowisku. Z drugiej strony może prowadzić do akumulacji i zwiększonego zanieczyszczenia gleby. Dodatkowo, dzięki weryfikacji wpływu *O*-alkilopirydinoamidoksymów na kiełkowanie i wzrost modelowych roślin, wykazałam toksyczne oddziaływanie, co stwarza zagrożenie dla roślin i jednocześnie wyklucza te związki jako potencjalne czynniki w procesach remediacyjnych.

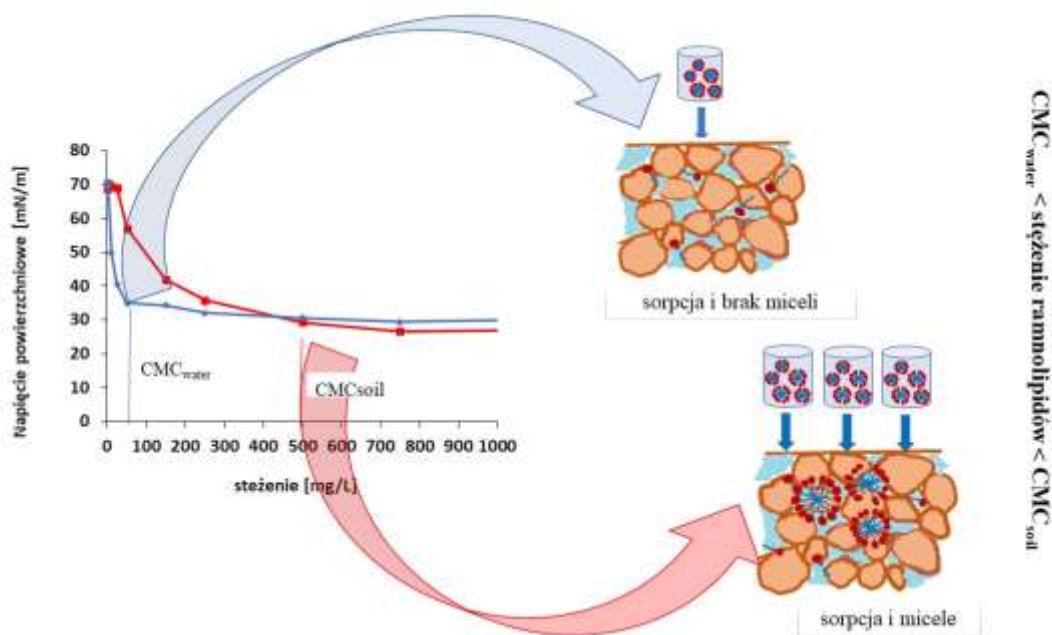
Poszukując alternatywnych, bardziej przyjaznych dla środowiska związków powierzchniowo czynnych, zwróciłam uwagę na surfaktanty otrzymywane na bazie surowców pochodzenia naturalnego, jakimi są cukry [H12]. Zaproponowane i zsyntezowane przeze mnie czwartorzędowe chlorki amoniowe estru glukozy charakteryzowały się dobrymi właściwościami obniżania napięcia powierzchniowego i tworzyły stabilną pianę w kontakcie z wodą, które często były lepsze w porównaniu z komercyjnymi kationowymi środkami powierzchniowo czynnymi. Na podstawie badań wykazałam, że czwartorzędowe amoniowe estru na bazie glukozy wpływają na mobilność jonów metali (w szczególności Ni i Cd) po wprowadzeniu do gleby i zwiększają ich stężenie we frakcji ekstrahowanej wodą. Ta zaobserwowana interakcja pomiędzy surfaktantami a jonami metali wpływa na zwiększenie ich biodostępności, dlatego badanie te rozszerzyłam o analizę zmian aktywności mikroorganizmów glebowych wywołanych obecnością zsyntezowanych surfaktantów w glebie. Uzyskane wyniki wskazują, iż aktywność mikroorganizmów została zwiększona, co może wskazywać na wykorzystanie tych związków jako źródła węgla i energii przez mikroorganizmy środowiskowe. Analizowane związki w swojej strukturze posiadały długie łańcuchy alkilowe zawierające od C<sub>12</sub> do C<sub>16</sub>, lecz nie zaobserwowałam statystycznych różnic wpływu długości łańcucha alkilowego na biodostępność jonów metali czy funkcjonowanie mikroorganizmów glebowych. W pracy [H12] wykazałam, iż **dzięki interakcji jon metalu - surfaktant glukozy, związki te można zaproponować jako nowe, przyjazne dla środowiska surfaktanty, szczególnie w procesach takich jak fitoremediacja lub wymywanie.**

Kolejną grupą związków, która wzbudziła moje zainteresowanie w aspekcie interakcji z glebą i zanieczyszczeniami w postaci jonów metali, były surfaktanty pochodzenia naturalnego – ramnolipidy. Zastosowanie tych związków w procesach remediacyjnych obszarów skażonych zarówno jonami metali, jak i węglowodorami jest znane i opisywane przez wielu autorów. W mojej ocenie brakuje jednak spojrzenia na funkcjonowanie ramnolipidów w środowisku glebowym jako na cząsteczki amfifilowe łączące zarówno właściwości hydrofobowe, jak i hydrofilowe. Związki te, podobnie do syntetycznych surfaktantów, ulegają procesowi sorpcji i micelizacji, co powoduje, że ich efektywne stężenie w glebie jest mniejsze. **Moim zdaniem prace [H13] i [H14] stanowią pierwsze, swoiste i krytyczne analizy opinii innych naukowców na zastosowanie ramnolipidów jako substancji przyjaznych środowisku zalecanych w procesach remediacyjnych.**

**Badania zaprojektowałam tak, aby wykazać jak ważne są następujące kwestie:**

- określenie wpływu efektywnego stężenia ramnolipidów na mobilność jonów metali w glebie,
- wyznaczenie wpływu efektywnego stężenia ramnolipidów na biodostępność jonów metali,
- znalezienie odpowiedzi na pytanie czy ramnolipidy wykazują preferencyjną selektywność w stosunku do jonów metali ciężkich, które są docelowymi zanieczyszczeniami podczas prób oczyszczania środowiska,
- wyznaczenie fitotoksyczności ramnolipidów w stosunku do roślin stosowanych w badaniach fitoekstrakcyjnych.

Każda substancja wprowadzona do środowiska glebowego ulega sorpcji na jej mineralnych i organicznych składowych, z których każdy wykazuje większe lub mniejsze właściwości sorpcyjne. Takie zjawisko prowadzi do zmniejszenia efektywnego stężenia związku, co przekłada się na procesy wymywania, biodostępności oraz fitoekstrakcji. Większość autorów odnosi się do CMC (krytyczne stężenie micelizacji) wyznaczonego dla czystych układów wodnych i nie uwzględnia, że CMC w glebie jest inne i aby wystąpiło tworzenie miceli, stężenie środka powierzchniowo czynnego musi zostać zwiększone o co najmniej stężenie równe utracie sorpcji. W glebie micelle tworzą się przy znacznie wyższych stężeniach, które są nawet kilkakrotnie wyższe w porównaniu do wartości CMC dla czystej wody (Rys.5). I dlatego w pracy podjęłam się zadania wyznaczenia stężenia, przy którym micelle będą tworzyć się w rzeczywistym układzie glebowym [H14].



Rys.5. Wpływ stężenia ramnolipidów na tworzenie się miceli w glebie.

Oczywiście zastosowanie ramnolipidów w niższym stężeniu (CMC<sub>water</sub>) może przyczynić się do pozytywnego działania, lecz w tym przypadku będą one prawdopodobnie funkcjonować jako dodatkowe źródła węgla lub cząsteczki sygnałowe, stymulujące i modyfikujące aktywność drobnoustrojów, co jest niezmiernie istotne podczas interpretacji

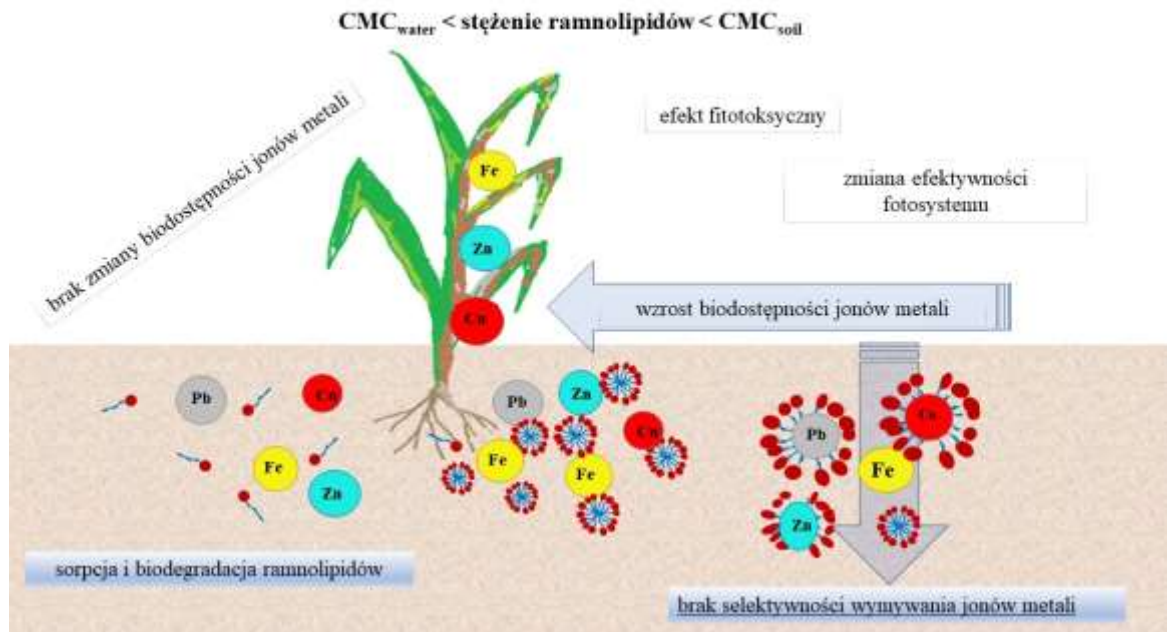
wyników. Ustalenie optymalnego stężenia ramnolipidów jest niezbędne, aby osiągnąć najbardziej efektywne kompleksowanie jonów metali ciężkich lub zamykanie ksenobiotyków w micelach (Rys.6), co wpłynie na biodostępność zanieczyszczeń.

W pracach [H13] oraz [H14] zwracam uwagę również na bardzo istotny fakt, że oprócz dawki ramnolipidów należy uwzględnić inne parametry, np. takie jak pH gleby, porowatość, zdolność do wymiany jonów, ponieważ te parametry dodatkowo będą wpływać na zachowanie się biosurfaktantów. Zastosowanie nadmiernej ilości ramnolipidów do układów glebowych nie jest korzystne. Z tego względu należy zastosować optymalne stężenie, aby zarówno koszty procesu remediacyjnego, oraz ryzyko potencjalnych negatywnych skutków, takich jak toksyczność dla roślin lub mikroorganizmów, były jak najniższe. Jak wykazałam w pracach [H13] i [H14], badania oddziaływań ksenobiotyków, w tym także biosurfaktantów, na rośliny warto rozszerzyć o pomiar zmiany poziomu barwników asymilacyjnych oraz parametrów fotosyntezy, zgodnie z zaprezentowanym przeze mnie schematem wielopłaszczyznowej analizy wpływu ksenobiotyków na ekosystem glebowy (Rys. 2).

Kolejnym kluczowym zagadnieniem, na który zwracam uwagę w pracy [H14] jest zjawisko biodegradacji ramnolipidów, które niewątpliwie wpływa na stężenie i tym samym na efektywność procesów remediacyjnych. Pomimo wielu prac badawczych podejmowanych przez ośrodki naukowe, nadal brak jest dogłębnych badań poświęconych monitorowaniu biodegradacji ramnolipidów.

Praca [H13] stanowi krytyczną polemikę dotyczącą zastosowania ramnolipidów w procesach remediacyjnych oraz fitoremediacyjnych z zastosowaniem ramnolipidów o stężeniu równym  $CMC_{soil}$  oraz wyższym. W pracy tej wykazałam, że zastosowanie wyższych stężeń ramnolipidów od  $CMC_{soil}$  nie wpływa znacząco na mobilność, biodostępność jak i wymywanie metali z gleby (Rys.6). Ponadto stwierdziłam, iż ramnolipidy nie wykazują selektywności wymywania jonów metali czy zwiększenia biodostępności. Zgodnie z zaproponowanym schematem wielopłaszczyznowej analizy oddziaływania ksenobiotyków na ekosystem (Rys.2.), badania te rozszerzyłam o analizę fitotoksyczności poprzez ocenę zmiany poziomu chlorofili oraz parametrów fotosyntezy (m.in. ETR - efektywność transportu elektronów, Y – wydajność reakcji fotochemicznych,  $F_0$  – fluorescencja minimalna,  $F_m$  – fluorescencja maksymalna) oraz uzyskanej biomasy. Otrzymane wyniki badań zmian efektywności fotosystemu, obniżenie zawartości chlorofili oraz zmniejszenie przyrostu biomasy jednoznacznie wskazują na oddziaływanie toksyczne.

Analizując wyniki fitotoksyczności, wzięłam pod uwagę zawartość metali w poszczególnych częściach roślin zastosowanych w badaniach fitoremediacyjnych. Na podstawie tej analizy porównawczej stwierdziłam, że efekt fitotoksyczny jest spowodowany zarówno obecnością biosurfaktantów w stężeniu przekraczającym sorpcję w glebie, powodującym zwiększenie możliwości bezpośredniej interakcji z tkankami roślinnymi. Dodatkowo, niezwykle istotnym czynnikiem jest mobilizacja jonów metali ciężkich, które poprzez kompleksy z ramnolipidami mogą łatwiej przenikać do wnętrza roślin. Dzięki temu jony wchodzi w interakcje z biomolekułami, powodując stres oksydacyjny, uszkodzenie komórek itp.



Rys.6. Wpływ stężenia ramnolipidów na mobilność i biodostępność jonów metali w glebie.

Z pewnością opisane w pracach [H13] i [H14] wyniki oraz zjawiska stanowią krytyczne spojrzenie na stosowanie biosurfaktantów w procesach remediacji gleb. W pracach tych jasno sugerują potrzebę wielopłaszczyznowej oceny efektywności środowiskowej, a także ekonomicznej remediacji wspomaganej ramnolipidami jako strategii zarządzania zanieczyszczonymi glebami.

Zaprezentowane w osiągnięciu zależności mogą być platformą do dalszych prac nad koniecznością wielopłaszczyznowego podejścia do oceny ryzyka środowiskowego jaką może wywołać obecność ksenobiotyków. Bardzo ważną kwestią jest analiza interakcji pomiędzy różnego rodzaju ksenobiotykami i ich wpływem na oddziaływanie ze składowymi danego ekosystemów. Ponadto, zaprezentowane w pracy zależności mogą stanowić podstawę do dalszych badań nad oddziaływaniem cieczy jonowych zawierających anion chwastobójczy na środowisko glebowe. Jak wykazałam, związki te nie są nową grupą zanieczyszczeń, lecz w układach wodnych i glebowych funkcjonują jako mieszanina znanych kationów i anionów. Opisane zjawiska stanowią istotne uzupełnienie wiedzy, wskazując na konieczność dalszych badań nad integralnością kationów i anionów tworzących ciecz jonową. Integralność ta może wpływać na sorpcję, toksyczność oraz przemieszczanie się cieczy jonowych w profilu glebowym. Opisane zależności uzupełniają także stan wiedzy dotyczący wpływu sorpcji związków kompleksotwórczych oraz surfaktantów w glebie na ich efektywne stężenie, co jest kluczowe dla skuteczności procesów remediacyjnych i potencjalnych efektów toksycznych względem mikroorganizmów i roślin. Mogą one również stanowić podstawę do dalszych badań nad analizą formowania układów kompleksowych z jonami metali występującymi w środowisku glebowym, co wpływa na zmianę ich mobilności i biodostępności, a także ich akumulację w powierzchniowych warstwach gleby. Co więcej, opisane w osiągnięciu wyniki mogą stanowić odniesienie do dalszych analiz nad interakcjami ksenobiotyk – jon metalu, prowadzące do tworzenia związków

kompleksowych, które łatwo ulegają desorpcji pod wpływem wody, co zwiększa ich mobilności i biodostępność. Dodatkowo, stanowią istotne dopełnienie stanu wiedzy, dotyczącego oceny ryzyka środowiskowego zachodzących pod wpływem przedostających się związków farmaceutycznych do gleby m.in. na rozwój roślin.

**Za najważniejsze osiągnięcia naukowe moich badań uważam:**

- wskazanie na konieczność wielopłaszczyznowej oceny ryzyka środowiskowego wynikającego z obecności ksenobiotyków ([H5],[H6],[H7],[H8],[H9],[H10],[H13],[H14]),
- określenie integralności kationów i anionów tworzących ciecz jonową w środowisku glebowym. Jako pierwsza wykazałam, iż ta integralność przekłada się na funkcjonowanie cieczy jonowych w środowisku i kwestie środowiskowe, takie jak sorpcja, toksyczność, mobilność itp. ([H4],[H5],[H6],[H7],[H8],[H9]),
- wykazanie, poprzez wielopoziomą analizę oddziaływań cieczy jonowych zawierających anion chwastobójczy na środowisko i następujących po nich interakcji, że nie są one nową i odrębną grupą zanieczyszczeń, ale mieszaniną znanych kationów i anionów, które funkcjonują niezależnie od siebie w środowisku ([H1],[H2],[H3],[H6],[H7],[H8]),
- wykazanie, że skuteczność stosowania związków kompleksotwórczych, jak i surfaktantów (zarówno syntetycznych, jak pochodzenia naturalnego) w procesach remediacyjnych uzależniona jest od zdolności ich do sorbowania w glebie, ponieważ sorpcja w glebie powoduje zmniejszenie efektywnego stężenia i wymusza stosowanie roztworów o dużo wyższych stężeniach. Z kolei takie zabiegi mogą wywoływać efekty toksyczne w stosunku do mikroorganizmów i roślin ([H10],[H11],[H12],[H13],[H14]),
- wykazanie, że formowanie układów kompleksowych z jonami metali występującymi w glebie wpływa na zmianę mobilności i tym samym ich biodostępności ([H10],[H11],[H12],[H13],[H14]),
- wykazanie, że silna sorpcja układów kompleksowych jonów metali z ksenobiotykami w glebie w połączeniu ze słabą wymywalnością wpływa na zmniejszenie mobilności jonów metali i ich akumulację w powierzchniowych warstwach gleby ([H10],[H11]),
- wykazanie, że interakcje ksenobiotyk – jon metalu prowadzące do otrzymania związków kompleksowych o łatwej desorpcji pod wpływem wody przyczynia się do zwiększenia mobilności i biodostępności jonów metali ([H10],[H12]),
- wykazanie, że przedostawanie się związków farmaceutycznych do gleby może wpływać zarówno na zmianę bioróżnorodności mikroorganizmów w danym ekosystemie, ale także na rozwój roślin ([H10]),
- zauważenie, że obecność antybiotyków (typu sulfametoksazol oraz trimetoprym) w podłożu silnie wpływa na zmianę biodostępności jonów metali, a to z kolei powoduje ograniczenia w procesach fitoremediacyjnych ([H10]).

Ponadto:

- praca [H5] powstała w ramach realizacji zadania celowego MINIATURA 4, 2020/04/X/ST4/01052, pt. „Ocena sorpcji oraz mobilności modelowych

*herbicydowych cieczy jonowej z anionem dikamby w matrycy glebowej” (Załącznik 4, pkt 9).*

- Natomiast, w wyniku mojego udziału w realizacji grantów jako wykonawca powstały prace:
  - ✓ prace [H2], [H5], [H6], [H7], [H14] powstały w ramach realizacji projektu OPUS 15, numer projektu: DEC-2018/29/B/NZ9/01136, pt. *“Bioagumentacja bakteriami degradującymi herbicydy jako potencjalny czynnik sprzyjający rozprzestrzenianie odporności na herbicydy wśród roślin”*; (Załącznik 4, pkt 9),
  - ✓ prace [H8], [H9] i [H13] powstały w ramach realizacji projektu OPUS 21, numer projektu: DEC-2021/41/B/NZ9/03981, pt. *“Wielopłaszczyznowe relacje pomiędzy obecnością mikro/nanoplastów (MNPs) w glebie a ilością i dostępnością wody oraz sorpcją ksenobiotyków w aspekcie tempa procesów biodegradacyjnych oraz zmian w populacjach mikroorganizmów”* (Załącznik 4, pkt 9).

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

Wielopłaszczyznowa analiza wpływu ksenobiotyków na ich akumulację, mobilność oraz biodostępność w środowisku glebowym to badania o charakterze interdyscyplinarnym. Jest to możliwe, gdy prowadzi się szeroką współpracę z ekspertami i specjalistami z różnych dziedzin. Kluczowymi etapami dla mojego rozwoju naukowego były 4 staże naukowe, z których 2 odbyłam w zagranicznych ośrodkach badawczych oraz 2 w jednostkach naukowych w Polsce.

W roku 2013 zostałam laureatką projektu „Z transferem na ty – staże i szkolenia praktyczne dla pracowników naukowych i naukowo-dydaktycznych uczelni” nr POKL.08.02.01-30-005/11-02 organizowanego przez Fundację PRO-REGIO, w ramach którego odbyłam **miesięczny staż naukowy** w firmie PE INTERNATIONAL SUSTAINABILITY PERFORMANCE Leinfelden-Echterdingen, Stuttgart, Niemcy (Załącznik 4, pkt II.11, poz.1). Pobyt i praca w międzynarodowej firmie związanej z środowiskową oceną cyklu życia produktu (LCA) uświadomiły mi jak ważne i trudne zarazem jest całościowe podejście do oceny oddziaływania substancji chemicznych na środowisko od etapu substratu do produktu i dalej zagospodarowanie po wykorzystaniu. Zagadnienia związane z oceną cyklu życia (LCA) rozszerzałam podczas kolejnego, tym razem **dwutygodniowego stażu**, który odbyłam w Technical University of Denmark, Department of Management Engineering, Produktionstorvet 424, DK-2800 Kgs. Lyngby (Dania) (Załącznik 4, pkt II.11, poz.4). Podczas tego stażu zapoznałam się z procedurami wyznaczania jednego z kluczowych parametrów stosowanego w LCA, a mianowicie współczynnika *effective factor (EF)*. Wiedzę tę wykorzystałam do oceny wpływu czwartorzędowych soli pirydyniowych na środowisko. Wyjazd do duńskiej jednostki badawczej umożliwił mi pracę w międzynarodowym zespole badawczym, co znacznie poszerzyło moje kwalifikacje naukowe, ale przede wszystkim zapoczątkował współpracę z dr Mikołajem Owsianiakiem związaną ze środowiskową oceną stosowania surfaktantów i biosurfaktantów, w tym ramnolipidów w procesach

remediacyjnych. W wyniku tej współpracy powstały publikacje w czasopismach takich jak *Chemosphere* ([H8]), *Science of The Total Environment* ([H13]), *Journal of Hazardous Materials* ([H14]).

Rozwój naukowy to również nawiązywanie współpracy i odbywanie staży w wiodących krajowych ośrodkach. W roku 2015 odbyłam **6-tygodniowego staż naukowy** (Zał. 4, pkt II.11, poz.2) w Instytut Chemii Bioorganicznej, Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu. Dzięki temu stażowi rozszerzyłam swoje doświadczenie w syntezie amfifilowych związków, czwartorzędowych soli amoniowych oraz cieczy jonowych. Ponadto rozbudowałam swoje kompetencje w analizie spektralnej i uzupełniłam je o techniki takie jak  $^{15}\text{N}$  NMR oraz  $^{31}\text{P}$  NMR, a także 2D NMR. Zsyntezowane podczas stażu związki z grupy czwartorzędowych soli pirydyniowych i glukozowych wykorzystałam podczas kolejnego stażu, który odbyłam w Katedrze Agronomii, Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Podczas **4-tygodniowego stażu** (Zał. 4, pkt II.11, poz.3) w Katedrze Agronomii zdobyłam doświadczenie związane z oceną zmienności parametrów fizjologicznych modelowych roślin pod wpływem czwartorzędowych soli pirydyniowych oraz surfaktantów. Staże te zaowocowały artykułami naukowymi w takich czasopismach jak *New Journal of the Chemistry* ([H1]), *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* (Zał. 4, pkt II.4B, poz.1,2,7,8), *Polish Journal of Natural Sciences* (Zał. 4, pkt II.4B, poz.6), *Fresenius Environmental Bulletin* ([6P] (Zał. 4, pkt.II.4A), z których jeden wchodzi w cykl monotematycznych prac postępowania habilitacyjnego ([H1]),

W trakcie odbywania **stażu naukowego** w Katedrze Agronomii, nawiązałam współpracę naukową z dr inż. Dominiką Radzikowską-Kujawską z Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Katedra Agronomii, ul. Dojazd 11, 60-632 Poznań. W ramach współpracy zostały wykonane badania dotyczące oceny parametrów fizjologicznych modelowych roślin w uprawach narażonych na obecność surfaktantów z zastosowaniem wyspecjalizowanego sprzętu. Wyniki badań zostały opublikowane w czasopiśmie *Fresenius Environmental Bulletin* ([6P]) oraz *Science of the Total Environment* ([H13]).

Istotny wkład w rozwój mojego warsztatu naukowego do stopnia naukowego doktora habilitowanego ma rozwijana współpraca z dr Grzegorzem Framskim z Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu, Instytut Chemii Bioorganicznej, ul. Noskowskiego 12/14, 61-704 Poznań, która trwa do chwili obecnej. W ramach współpracy prowadzimy syntezy nowych związków organicznych, ze szczególnym uwzględnieniem czwartorzędowych soli amoniowych. Współpraca ta umożliwia mi, nie tylko wykonania analizy struktur otrzymanych związków zaawansowanymi technikami spektralnymi ( $^1\text{H}$  NMR,  $^{13}\text{C}$  NMR), ale także doskonalenie umiejętności interpretacji uzyskanych widm. Dotychczas, dzięki tej współpracy powstało 11 publikacji naukowych, z których 9 wchodzi w skład cyklu monotematycznych prac stanowiących podstawę wniosku habilitacyjnego. Prace te zostały opublikowane w takich czasopismach jak *New Journal of Chemistry* ([H1] i [H2]), *Ecotoxicology and Environmental Safety* ([H3]), *Journal of Hazardous Materials* ([H5]), *Journal of Molecular Liquids* ([H6]), *Journal of Environmental Chemical Engineering* ([H4] i [H9]), *Science of the Total Environment* ([H11]), *Turkish Journal of Chemistry* ([H12]), *Fresenius Environmental Bulletin* ([6P] (Zał. 4, pkt II.4A), *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* ([24P] (Zał. 4, pkt II.4A). Wyniki badań zostały również zaprezentowane na konferencjach naukowych, zarówno krajowych jak i międzynarodowych. Ponadto w ramach współpracy systematycznie realizowane są prace dyplomowe (inżynierskie i magisterskie), a także studenci Wydziału Technologii Chemicznej odbywają



staże naukowe, w wyniku których powstają publikacje naukowe (np. **[H2]**, **[H9]** oraz **[26P]** (Zał. 4, pkt II.4A).

Kluczową w rozwoju mojego warsztatu naukowego była współpraca z prof. dr hab. inż. Piotrem Szulcem, Katedra Agronomii, Wydział Rolnictwa i Bioinżynierii, Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań. Kooperacja ta dotyczyła oceny zmienności parametrów fizjologicznych modelowych roślin pod wpływem czwartorzędowych soli pirydyniowych oraz surfaktantów. W tym czasie powstało 7 prac naukowych, które zostały opublikowane w takich czasopismach jak: *New Journal of the Chemistry* (**[H1]**), *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* (Zał. 4, pkt II.4B, poz.1,2,7,8), *Polish Journal of Natural Sciences* (Zał. 4, pkt. 4B, poz.6), *Fresenius Environmental Bulletin* (**[6P]**) (Zał. 4, pkt II.4A). Wyniki badań zostały również zaprezentowane na konferencjach naukowych.

Swój warsztat badawczy związany z analizą oddziaływania różnych ksenobiotyków rozwinęłam dzięki współpracy z dr Anetą Piechalak, pracownikiem Zakładu Biochemii, Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu. W ramach współpracy prowadzone były badania naukowe dotyczące wpływu cieczy jonowych oraz ich metabolitów na rośliny lądowe. Kooperacja ta dała mi możliwość rozszerzenia warsztatu badawczego oraz zdobycia doświadczenia w pracy z materiałem roślinnym, przechowywaniem oraz pozyskiwaniem substancji aktywnych i wykonaniem analiz. W wyniku tej współpracy powstała publikacja w czasopiśmie *New Journal of Chemistry* (**[5P]**) (Zał. 4, pkt II.4A).

Warsztat naukowy związany z analizą odpowiedzi roślin na obecność ksenobiotyków uzupełniłam aktywnie współpracując naukowo w latach 2018 – 2020 z prof. dr hab. Katarzyną Panasiewicz z Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Katedra Agronomii, ul. Dojazd 11, 60-632 Poznań. Dzięki współpracy zrealizowane zostały zadania badawcze dotyczące oceny wpływu ksenobiotyków z grupy farmaceutyków na kiełkowanie nasion roślin uprawnych oraz interakcji pomiędzy nimi a nieorganicznymi zanieczyszczeniami takimi jak metale ciężkie. Dodatkowo w ramach współpracy została zrealizowana praca dyplomowa magisterska, której byłam promotorem, a uzyskane wyniki posłużyły do przygotowania publikacji naukowej, wchodząca w skład monotematycznego cyklu prac postępowania habilitacyjnego, która ukazała się w czasopiśmie *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* (**[H10]**).

Dodatkowo w 2022 roku nawiązałam współpracę naukową z dr Danielem Baranowskim z Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu (Instytut Chemii Bioorganicznej, ul. Noskowskiego 12/14, 61-704 Poznań). Współpraca umożliwiła mi uzupełnienie bardzo istotnych zagadnień dotyczących integralności cieczy jonowych nowoczesnymi technikami 2D NMR, m.in. COSY i NOSY. W ramach tej współpracy powstały trzy prace naukowe wchodzące w cykl prac postępowania habilitacyjnego oraz w czasopismach: *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* (**[H5]**), *Journal of Molecular Liquids* (**[H6]**), *Journal of Environmental Chemical Engineering* (**[H9]**).

Od listopada 2023 rozpoczęłam współpracę z dr Anną Wyrwicką-Drewniak z Katedry Fizjologii i Biochemii Roślin, Wydziału Biologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytetu Łódzkiego. Współpraca ta dotyczy analizy wpływu obecności mikroplastików w uprawach hydroponicznych na zmiany fiotoksyczności antybiotyków oraz herbicydów na bazie glifosatu. W ramach tej współpracy p. N. Lisiecka (doktorantka, której jestem promotorem

pomocniczym) od 12 lutego do 29 marca 2024 przebywała na wyjeździe naukowym i prowadziła badania biochemiczne w Katedrze Fizjologii i Biochemii Roślin.

Szeroki profil aktywności naukowej pozwala czerpać znaczące korzyści ze współpracy z zagranicznych jednostek. Szczególnie owocna jest realizowana współpraca z prof. RNDr Tomas Cajthaml z Institute for Environmental Studies, Faculty of Science, Charles University, Beňatská 2, Prague 2, Czech Republic. W ramach współpracy prowadzę konsultacje naukowe związane zarówno z planowaniem jak i analizą uzyskanych wyników badań dotyczących środowiskowej analizy oddziaływania ksenobiotyków, w tym także mikroplastiku. Chcąc rozwinąć współpracę naukową oraz uzupełnić badania dotyczące wpływu kwasów humusowych na zjawiska sorpcji związków farmaceutycznych w glebie zanieczyszczonej mikroplastikiem złożyłam wniosek projektu wyjazdowego w ramach programu im. Mieczysława Bekkera finansowanego przez NAWA (Załącznik 4, pkt II.11). W marcu 2024 otrzymałam zaproszenie od profesora T. Cajthaml'a, aby wygłosić wykład dla studentów oraz pracowników Institute for Environmental Studies, Faculty of Science, Charles University podczas seminarium dyplomowego pt. „Ionic liquids in the environment – new emerging pollutants?” (wykład odbył się 15 maja 2024 (Załącznik 4, pkt II.7; skan zaproszenia i podziękowania Załącznik 5). Ponadto, podczas **trzydniowego pobytu naukowego** (14-16.05.2024, skan confirmation letter) zostałam ukierunkowana na badania związane ze zmianą akumulacji i rozprzestrzenieniem się zanieczyszczeń w środowisku zanieczyszczonym mikroplastikiem. Spowodowało to, iż złożyłam wniosek w programie im. Mieczysława Bekkera (NAWA) pt. „Analiza zmian rozmieszczenia zanieczyszczeń w wyniku migracji mikroplastiku w środowisku glebowym” (Załącznik 4, pkt 11). Dotychczas w ramach tej współpracy powstały 3 prace opublikowane w czasopiśmie takich jak *Journal of Molecular Liquids* ([H7]), *Chemosphere* ([H8]), *Journal of Environmental Chemical Engineering* ([H9]).

We wrześniu 2024 roku planuję krótki wyjazd do Helmholtz-Centre for Environmental Research w ramach programu ERASMUS+ (Załącznik 4, pkt II.11, poz. 5), podczas którego odbędę szkolenie z zakresu innowacyjnych rozwiązań w prowadzeniu badań środowiskowych. Pomoże mi to w stosowaniu nowych procedur przy planowaniu i realizacji kolejnych badań naukowych, a także w zaplanowaniu wyjazdu stażowego doktorantki, mającego na celu uzupełnienie badań do jej pracy doktorskiej. Ponadto, 6 czerwca 2024 otrzymałam zaproszenie od dr H.J. Heipiepera (Załącznik 4, pkt II.11, poz. 6; skan zaproszenia znajduje się w załączniku 5) na przedłużenie wyjazdu naukowego w celu realizacji badań związanych z analizą oddziaływania toksycznego wybranych ksenobiotyków, takich jak antybiotyki i herbicydy, a także mikroplastiki, na mikroorganizmy poprzez ocenę zmian profili kwasów tłuszczowych w membranach modelowego szczepu bakterii. Wyjazd ten zostanie zrealizowany w ramach jednego z zadań badawczych grantu OPUS21 „Wielopłaszczyznowe relacje pomiędzy obecnością mikro/nanoplastów (MNPs) w glebie a ilością i dostępnością wody oraz sorpcją ksenobiotyków w aspekcie tempa procesów biodegradacyjnych oraz zmian w populacjach mikroorganizmów” nr 2021/41/B/NZ9/03981, którego jestem wykonawcą.

## 6. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo badawczych

Tytuł magistra inżyniera uzyskałam 15 czerwca 2005 roku broniąc pracę pt. „Wpływ niejonowego surfaktantu na proces biodegradacji węglowodorów”, której promotorem był

prof. dr hab. Andrzej Olszanowski. W październiku tego samego roku podjęłam 4-letnie studia doktoranckie na Wydziale Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej. Pracę doktorską zatytułowaną „Zastosowanie hydrofobowych oksymów pochodnych ketonów alkilowopirydylowych w ekstrakcji wybranych jonów metali”, której promotorem był prof. dr hab. Andrzej Olszanowski, obroniłam z wyróżnieniem 14 grudnia 2010 roku w Politechnice Poznańskiej i uzyskałam stopień doktora w dziedzinie nauk chemicznych, w dyscyplinie technologia chemiczna. Głównym tematem wykonywanych przeze mnie prac naukowo-badawczych była wówczas wieloetapowa synteza oksymów pochodnych ketonów alkilowopirydylowych i zastosowanie ich jako ekstrahentów w procesie oczyszczania roztworów wodnych z jonów metali takich jak: Zn, Cd, Cu oraz Fe. Częściowo realizacja badań związana była z grantem pt. „Ekstrakcja Zn(II), Cd(II) i Cu(II) z roztworów chlorkowych hydrofobowymi oksymami pochodnych pirydyny” nr NN 209335737, finansowanym przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, którego byłam wykonawcą w okresie 16.10.2009 do 15.10.2011r. Wyniki badań zostały opublikowane w postaci 3 publikacji naukowych w czasopismach: Hydrometallurgy (*Zał. 4, pkt II.4A, poz. 2`P*), Separation Science and Technology (*Zał. 4, pkt II.4A, poz. 3`P*) oraz Solvent Extraction and Ion Exchange (*Zał. 4, pkt II.4A, poz. 1`P*). W trakcie studiów doktoranckich czynnie uczestniczyłam w konferencjach głównie międzynarodowych, gdzie rezultaty swoich osiągnięć prezentowałam w postaci ustnego komunikatu (*Zał. 4, pkt II.7*) oraz posterów (*Zał. 4, pkt II.7*).

W roku 2012 rozpoczęłam pracę na stanowisku asystenta w Zakładzie Chemii Organicznej Instytutu Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Poznańskiej. Początkowo moja praca badawcza była skoncentrowana na rozszerzaniu badań związanych z syntezą pochodnych ketonów pirydylowych i zastosowaniu ich w procesach ekstrakcyjnych jako podstawowych technikach służących do odzysku jonów metali, a także oczyszczania roztworów wodnych. W roku 2012 byłam również kierownikiem badań realizowanych w ramach projektu celowego finansowanego z subwencji dla młodych naukowców (DSMK 2012; *Zał. 4, pkt III, poz.3*). Z tego zakresu działalności powstały 3 prace naukowe opublikowane w czasopismach *Separation and Purification Technology* (*Zał. 4, pkt II.4A, poz. [1P]*) i *Separation Science and Technology* (*Zał. 4, pkt II.4A, poz. [2P]* i *[3P]*) oraz 3 patenty (*Zał. 4, pkt III.3*).

W maju 2013 roku nawiązałam współpracę z prof. dr hab. inż. Łukaszem Chrzanowskim i od tego momentu rozpoczęłam działalność naukową związaną z oddziaływaniem substancji organicznych na środowisko naturalne. Początkowo były to prace związane z oceną wpływu bioagumentacji i dodatku biosurfaktantów na proces bioremediacji gleby skażonej olejem napędowym. Było to przedmiotem badań w ramach projektu celowego finansowanego z subwencji dla młodych naukowców (DSMK 2013; *Zał. 4, pkt II.9*). W tym okresie starałam się również pozyskać środki finansowe na odbycie stażów naukowych m.in. w ramach projektu „B+R dla Wielkopolski” finansowanego ze środków Unii Europejskiej - Europejskiego Funduszu Społecznego, a także z Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej w ramach programu START 2013 dla młodych naukowców (nr wniosku 0609). Natomiast w roku 2013 zostałam laureatką projektu „Z transferem na ty – staże i szkolenia praktyczne dla pracowników naukowych i naukowo-dydaktycznych uczelni” nr POKL.08.02.01-30-005/11-02 organizowanego przez Fundację PRO-REGIO (*Zał. 4, pkt II.17.H*), w ramach którego odbyłam miesięczny staż naukowy w firmie PE INTERNATIONAL

SUBSTAINABILITY PERFORMANCE Leinfelden-Echterdingen, Stuttgart, Germany (Zał. 4, pkt II.11, poz.1).

W latach 2014 – 2017 dołączyłam do wykonawców projektu SONATA pt. „Ocena zdolności wytwarzania ramnolipidów przez bakterie biodegradujące ropopochodne w warunkach środowiskowych oraz określenie roli ramnolipidów podczas biodegradacji substancji ropopochodnych w warunkach zbliżonych do środowiskowych” (nr UMO-2012/D/NZ9/00981 finansowanego przez NCN. Realizując badania do projektu byłam odpowiedzialna za izolację ramnolipidów z medium pochodowlanego i określenie ich wpływu na mikroorganizmy środowiskowe podczas badań biodegradacji substancji ropopochodnych. Praca pod kierunkiem dr inż. Alicji Szulc (kierownik grantu SONATA) umożliwiła mi zdobycie nowego doświadczenia związanego z pozyskiwaniem biosurfaktantów, oczyszczaniem ich i późniejszym wykorzystaniem w procesach biologicznego rozkładu zanieczyszczeń.

Współpraca naukowa zarówno z prof. dr hab. inż. Piotrem Szulcem z Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, jak i dr Anetą Piechalak z Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu pozwoliła mi na zdobycie umiejętności związanych z uprawą roślin zarówno krótko- jak i długoterminowych w warunkach laboratoryjnych i szklarniowych, oraz analizą parametrów fizjologicznych i metabolicznych roślin. Była to niezmiernie istotna współpraca w mojej karierze naukowej, ponieważ rozpoczęłam badania związane z oceną wpływu czynników chelatujących, biosurfaktantów oraz innych związków o strukturze amfifilowej (pirydinoamidoksymy czy cieczy jonowe) na rozwój roślin w kontekście jednego z punktów wielopłaszczyznowej oceny ryzyka środowiskowego, co wykorzystałam realizując zagadnienia wchodzące w tematykę rozprawy habilitacyjnej. W tym czasie powstało 8 prac naukowych, które zostały opublikowane w takich czasopiśmiech jak: *New Journal of the Chemistry* (Zał. 4, pkt I.1, poz. [H3], Zał. 4, pkt II.4A, poz. [5P]), *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* (Zał. 4, pkt II.4B, poz. 1,2,7,8), *Polish Journal of Natural Sciences* (Zał. 4, pkt II.4B, poz. 6), *Fresenius Environmental Bulletin* (Zał. 4, pkt II.4A, poz. [6P]).

Swoje doświadczenie w analizie oddziaływania związków organicznych na rośliny wykorzystuję prowadząc badania zarówno w analizie skuteczności herbicydowej oraz w określeniu stymulujących właściwości związków nowej generacji na kiełkowanie nasion. W latach 2014-2016 kierowałam pracami badawczymi w ramach projektów celowych finansowanych z subwencji dla młodych naukowców (Zał. 4, pkt II.9). Dotyczyły one przede wszystkim syntezy, analizy podstawowych właściwości otrzymanych związków oraz oceny ich oddziaływania na środowisko glebowe, poprzez określenie fitotoksyczności i podatności na biodegradację. Dzięki możliwości kierowania zespołami badawczymi zdobyłam doświadczenie w planowaniu zadań, weryfikacją otrzymanych wyników, a także zarządzaniem finansami.

W roku 2015 otrzymałam stypendium w ramach projektu „Inżynier Przyszłości. Wzmocnienie potencjału dydaktycznego Politechniki Poznańskiej” nr POKL.04.03.00-00-259/12 (Zał. 4, pkt II.17H, poz.2). Stypendium to umożliwiło mi odbycie dwutygodniowego stażu naukowego w Danii w Division for Quantitative Sustainability Assessment, Department of Management Engineering, Technical University of Denmark (Zał. 4, pkt II.11, poz.4), a także dwa staże w polskich jednostkach naukowych PAN (Zał. 4, pkt II.11, poz.2) oraz na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu (Zał. 4, pkt II.11, poz.3). Podczas odbywania stażu w Katedrze Agronomii poznałam panią dr Dominikę Radzikowską-

Kujawską i rozpoczęłam współpracę, dzięki której poznałam techniki oceny parametrów cyklu fotosyntezy jako wskaźników stresu metabolicznego roślin z użyciem aparatu Multi-Mode Chlorophyll Fluorometer (OS5p, Opti-Sciences, Inc., Hudson, NY, USA), a uzyskane wyniki zostały opublikowane w pracach (Zał. 4, pkt I.1, Poz. [H13] ) oraz (Zał. 4, pkt II.4A, poz. [6P]).

Moje badania naukowe również związane były z oceną przydatności i efektywności sorbentów typu *low-cost* w procesach oczyszczania wód z jonów metali oraz farmaceutyków. Prace te stanowią pewnego rodzaju uzupełnienie światowej literatury związanej z zastosowaniem materiałów odpadowych w procesach sorpcyjnych. M.in. wykazałam, iż materiał roślinny (taki jak zielone okrywki owoców kasztanowca czy przeterminowana mielona kawa) po wysuszeniu bez dodatkowej obróbki lub pod wpływem działania kwasów mineralnych w temperaturze otoczenia, może zostać zastosowany w procesie wydajnego usunięcia ksenobiotyków z wody z wysoką wydajnością (Zał. 4, pkt II.4A, poz. [7P], [8P], [9P]). Prace badawcze z zakresu pozyskiwania, przygotowania materiałów sorpcyjnych i późniejszego zastosowania przyczyniły się do zdobycia doświadczenia w pracach laboratoryjnych związanych z surowcami naturalnymi, a także wyznaczania izoterm adsorpcji, które wykorzystałam w późniejszych badaniach i opracowaniu wyników związanych z zachowaniem się cieczy jonowych oraz innych ksenobiotyków w glebie, związaną tematyką postępowania habilitacyjnego.

Jednym z moich zainteresowań naukowych jest zastosowanie techniki spektroskopii FTIR, a w szczególności techniki odbiciowej (ATR) do identyfikacji grup funkcyjnych związków organicznych, układów kompleksowych, jak i w charakterystyce powierzchni sorbentów, a przede wszystkim do potwierdzenia rodzaju mechanizmów sorpcyjnych i kompleksotwórczych. Swoje wieloletnie doświadczenie w tym zakresie, obecnie wykorzystuję w prowadzonych badaniach naukowych związanych z analizą mechanizmu sorpcji ksenobiotyków na mikroplastikach oraz w glebie zanieczyszczonej mikroplastikiem.

W roku 2017 rozpoczęłam współpracę z dr hab. inż. Joanną Zembruską. W ramach tej współpracy prowadzone są analizy chromatograficzne zmian zawartości ksenobiotyków w próbkach wodnych poddanych oczyszczaniu sorbentami *low-cost*, a także są niezmiernie istotne w ocenie sorpcji, desorpcji, a także pozostałości związków organicznych po procesach biodegradacyjnych w glebach. Dotychczas w wyniku tej współpracy powstało 6 publikacji naukowych (Zał. 4, pkt I.1, poz. [H4], [H6], [H7], [H9], [H10]; oraz pkt II.4A, poz. [8P]) oraz liczne komunikaty i postery zaprezentowane na konferencjach (Zał. 4, pkt III, poz. komunikaty wygłoszone na konferencjach krajowych po uzyskaniu stopnia doktora oraz poz. postery na konferencjach międzynarodowych oraz poz. postery na konferencjach krajowych po doktoracie).

Od roku 2020 prowadzę badania w ramach współpracy z dr hab. inż. Łukaszem Kłapiszewskim, prof. Politechniki Poznańskiej, dotyczące oceny właściwości antybakteryjnych materiałów cementowych. Jest to niezwykle inspirująca współpraca i ogromne wyzwanie, ponieważ kompozyty cementowe to materiały skomponowane z odpowiednio dobranych składników modyfikujących zarówno właściwości reologiczne, trwałościowe jak i antybakteryjne cementów, charakteryzujący się strukturą porowatą co utrudnia badania aktywności i czystości mikrobiologicznej. Współpraca ta zaowocowała 9 pracami naukowymi opublikowanymi w renomowanych czasopismach (Zał. 4, pkt II.4A, poz. [12P], [15P], [17P], [18P], [20P], [21P], [22P], [24P] ). Większość z tych prac powstała w ramach projektu „Projektowanie kompozytów cementowych domieszkowanych nano-

*i mikromateriałami funkcjonalnymi o właściwościach fotokatalitycznych i przeciwdrobnoustrojowych*" nr 2019/35/B/ST8/02535 (OPUS 18) (Załącz. 4, pkt II.9). Od marca 2024 jestem również wykonawcą projektu pt. „Projektowanie kompozytów cementowych z wykorzystaniem zrównoważonych związków jonowych: Ocena właściwości strukturalnych i użytkowych.” nr 2022/45/B/ST8/02288 (OPUS 23) (Załącz. 4, pkt II.9), w którym odpowiadam za dobór substancji (z grupy cieczy jonowych) o potwierdzonych właściwościach antybakteryjnych do kompozycji cementowych, a w kolejnym etapie za określenie aktywności mikrobiologicznej gotowych próbek cementów z domieszkami cieczy jonowych.

Obecnie prowadzę badania naukowe, które stanowią kontynuację tematyki związanej z postępowaniem habilitacyjnym, lecz rozszerzyłam je o analizę wpływu kwasów humusowych oraz mikroplastików na akumulację i biodostępność zanieczyszczeń typu związki farmaceutyczne, herbicydy w środowisku glebowym. Badania te realizuję głównie w ramach projektu pt. „Wielopłaszczyznowe relacje pomiędzy obecnością mikro/nanoplastików (MNPs) w glebie a ilością i dostępnością wody oraz sorpcją ksenobiotyków w aspekcie tempa procesów biodegradacyjnych oraz zmian w populacjach mikroorganizmów” (OPUS 21) (Załącz. 4, pkt II.9.), którego jestem wykonawcą. W projekcie tym jestem odpowiedzialna za planowanie i wykonanie badań w ramach zadań związanych z określeniem sorpcji oraz desorpcji ksenobiotyków na mikroplastikach, a także oceną wpływu obecności mikroplastików w glebie na sorpcję, mobilność oraz biodostępność zanieczyszczeń takich jak herbicydy oraz herbicydowe cieczy jonowe, a także antybiotyki. Chcąc rozszerzyć swój warsztat badawczy zakresu oddziaływania kwasów humusowych z mikroplastikami oraz jego migracji w środowisku w roku 2023 złożyłam wniosek o projekt badawczy/wyjazdowy w ramach Programu im. Mieczysława Bekkera NAWA pt. „Potencjalny wpływ kwasów humusowych na migrację związków farmaceutycznych w glebie zanieczyszczonej mikroplastikiem starzonym” i ponownie w roku 2024 pt. „Analiza zmian rozmieszczenia zanieczyszczeń w wyniku migracji mikroplastiku w środowisku glebowym” (Załącz. 4, pkt II.11).

Mój dorobek naukowy po uzyskaniu stopnia doktora obejmuje 65\* publikacji, w tym 41 publikacji w czasopismach znajdujących się na liście filadelfijskiej (łącznie IF z roku publikacji IF = 185,982\* wg JCR; punkty ministerialne MNiSW\* = 4100), 7 publikacji naukowych w czasopismach nie znajdujących się na liście filadelfijskiej oraz 10 publikacji w innych czasopismach o charakterze popularno-naukowym i 7 monografii w wydawnictwach zbiorowych. Ponadto, jestem współtwórcą 3 patentów polskich. Według bazy Web of Science liczba cytowań wszystkich artykułów z moim udziałem wynosi 518 (bez autocytowań 351), a indeks Hirscha wynosi 13\*. Natomiast wg Scopus liczba cytowań artykułów z moim udziałem wynosi 586\* (bez autocytowań 388), a indeks Hirscha wynosi 15. Wyniki swojej pracy naukowej po uzyskaniu stopnia doktora prezentowałam na 11 konferencjach o zasięgu międzynarodowym oraz 42 konferencjach o zasięgu krajowym.

\*dane z dnia 29.08.2024r.

## 7. Omówienie osiągnięć dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

Moja działalność organizatorska związana jest zarówno z opracowywaniem, jak i zmianami programu studiów na kierunkach realizowanych na Wydziale Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej.

Obecnie jestem członkiem:

- Wydziałowego Zespołu ds. Opracowania Programu Studiów II Stopnia dla Kierunku Technologie Obiegu Zamkniętego,
- Rady Programowej Kierunku Technologia Chemiczna,
- Zespołu ds. Modyfikacji Studiów na Kierunku Technologia Chemiczna,
- Wydziałowego Zespołu ds. Kierunku Bioinformatyka.

W latach 2014 do 2020 roku byłam również członkiem Rady Wydziału Technologii Chemicznej.

Ogromnym wyzwaniem było dla mnie uczestniczenie w pracach związanych z uruchomieniem kierunku Bioinformatyka na Wydziale Informatyki i Telekomunikacji Politechniki Poznańskiej, realizowanym we współpracy z Wydziałem Technologii Chemicznej. Wraz z doktorem hab. inż. Wojciechem Smułkiem byłam koordynatorem prac związanych z przygotowaniem programu studiów związanego z naukami biologicznymi, biotechnologicznymi oraz chemicznymi realizowanymi przez pracowników Wydziału Technologii Chemicznej, a także wniosku o uruchomienie tego kierunku.

Uważam, że dużym wyróżnieniem dla mnie jako dydaktyka jest powierzenie mi odpowiedzialności za przedmiot „Biochemia” na kierunku Bioinformatyka. W ramach tego przedmiotu opracowałam 30 godzinny cykl wykładów obejmujących wprowadzenie do biocząsteczek oraz podstawowych przemian metabolicznych zachodzących w organizmach. Ponadto w ramach tego przedmiotu opracowałam 6 ćwiczeń laboratoryjnych wraz z materiałami wprowadzającymi, na których studenci zapoznają się z podstawowymi właściwościami biomolekuł oraz ich analizą.

Brałam również aktywny udział w procesie opracowania przebiegów ćwiczeń laboratoryjnych dotyczących przedmiotu „Biologia komórkowa” i „Biologia molekularna” realizowanych na kierunku Bioinformatyka. Przedmioty te nigdy wcześniej nie były prowadzone na Politechnice Poznańskiej, co wymagało stworzenia zarówno nowej podstawy programowej, zaplanowania przebiegu zajęć, przygotowania instrukcji do ćwiczeń laboratoryjnych, a także opracowania materiałów dydaktycznych dla studentów zawierających zagadnienia poruszane na ćwiczeniach laboratoryjnych oraz organizacji i zapewnienia niezbędnego wyposażenia laboratorium.

Moje zaangażowanie w proces poprawy warunków i wyników pracy dydaktycznej oraz współautorstwo nowych programów nauczania zostało docenione przez **JM Rektora** Politechniki Poznańskiej zespołową nagrodą za osiągnięcia dydaktyczne dotyczące poprawy warunków i wyników pracy dydaktycznej a także współautorstwa nowych programów nauczania w roku 2023 (*Zał. 4, pkt II.17H, poz.7*).

Jestem mocno zaangażowana w działalność dydaktyczną i promowanie nauki macierzystej uczelni oraz wydziału. Aktywnie uczestniczę w komisjach egzaminacyjnych jako przewodniczący oraz recenzent prac dyplomowych zarówno na I jak i II stopniu studiów.

W latach 2018 – 2021 brałam udział w pracach komisji kwalifikacyjnej dla rekrutacji

na II stopień studiów jako egzaminator (*Zał. 4, pkt II.17D*).

Obecnie prowadzę zajęcia ćwiczeniowe i laboratoryjne dla studentów I jak i II stopnia kierunku: *Technologia Chemiczna, Chemical Technology, Inżynieria Farmaceutyczna, Inżynieria Chemiczna i Procesowa, Technologie Ochrony Środowiska* z przedmiotów (*Zał. 4, pkt II.17E*):

- Metody analizy związków organicznych (ćwiczenia 15h, laboratoria 15h),
- Zaawansowane metody analizy związków organicznych (laboratoria 15h),
- Identyfikacja związków organicznych (laboratoria 15h),
- Zaawansowana identyfikacja związków organicznych (laboratoria 15h),
- Podstawy biotechnologii (laboratoria 30 h),
- Methods of organic compounds analysis (laboratoria 15h),
- Advances methods of organic compounds analysis (laboratoria 15h),
- Introduction to biotechnology (laboratoria 30 h).

Prowadzę również wykłady, ćwiczenia oraz laboratoria dla studentów niestacjonarnych I i II stopnia z przedmiotów (*Zał. III, pkt II.17E*):

- Metody analizy związków organicznych (wykład 15h, ćwiczenia 10h),
- Podstawy biotechnologii (laboratoria 20 h).

Ponadto prowadzę wykłady, ćwiczenia oraz laboratoria na I i II stopniu kierunku Bioinformatyka realizowanym na Wydziale Informatyki i Telekomunikacji Politechniki Poznańskiej (*Zał. 4, pkt II.17E*):

- Biochemia (wykład 30h, laboratoria 15h),
- Wprowadzenie do chemii organicznej (ćwiczenia 15h),
- Biologia komórkowa (laboratoria 15h),
- Mikrobiologia (laboratoria 15h),
- Biotechnologia (laboratoria 30 h).

Warto dodać, że w ramach działalności dydaktycznej w 2020 r. brałam udział w przygotowaniu zajęć laboratoryjnych (Methods of Organic Compounds Analysis, oraz Advances Methods of Organic Compounds Analysis - (*Zał. 4, pkt II.17E*) dla anglojęzycznego kierunku studiów Chemical Technology realizowanego na Wydziale Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej, w ramach programu POWER.

Moja aktywność i zaangażowanie w prowadzenie zajęć dydaktycznych jest doceniana przez studentów czego dowodem są pozytywne opinie w ankietach wypełnianych po zakończeniu semestru, jak i ankietach absolwenckich. Szczególnie zostałam doceniona przez studentów II stopnia w ankietach absolwenckich za rok 2017 plasując się wśród grona najwyżej ocenionych dydaktyków Wydziału Technologii Chemicznej.

Od momentu zatrudnienia na Politechnice Poznańskiej jako pracownika naukowo-dydaktycznego byłam promotorem **20 prac magisterskich** i **25 prac inżynierskich**. Tematyka tych prac jest związana zarówno z moimi zainteresowaniami naukowymi, jak i indywidualnych pomysłów proponowanych przez studentów.

Od października 2022 roku pełnię rolę **promotora pomocniczego pracy doktorskiej** pani mgr inż. Natalii Lisieckiej zatytułowanej „Effect of microplastic on sorption of selected xenobiotics and biodegradation kinetics in aqueous and soil systems” Uważam, że jest to dla mnie ogromny zaszczyt oraz docenienie mojej dojrzałości naukowej związanej z



planowaniem i prowadzeniem badań naukowych. Badania realizowane przez doktorantkę stanowią kontynuację moich badań związanych z sorpcją ksenobiotyków na potencjalnych sorbentach (w tym przypadku mikroplastikach) oraz wpływem tego zjawiska na toksyczność wobec modelowych mikroorganizmów glebowych. W ramach projektu STER finansowanego przez NAWA, w okresie od 3.09. do 05.12.2023 p. Lisiecka odbyła staż naukowy w Helmholtz-Centre for Environmental Research - UFZ, Lipsk, Niemcy, u zaprzyjaźnionego dr Hermanna J. Heipieper`a. W ramach wyjazdu, p. Lisiecka zrealizowała badania dotyczące oceny zmiany profili kwasów tłuszczowych w membranach mikrobiologicznych wywołanych efektem toksycznym ksenobiotyków z grupy cieczy jonowych o właściwościach herbicydowych. Uzyskane wyniki badań stanowią podstawę przygotowania dwóch prac naukowych, które zostały wysłane do czasopism Chemosphere oraz Journal of Hazardous Materials.

Za pracę naukową byłam czterokrotnie uhonorowana nagrodami zespołowymi przez **JM Rektora Politechniki Poznańskiej** w roku 2012, 2019, 2021 oraz 2022 (*Zał. 4, pkt II.17H, poz. 3-6*).

Moją aktywność obejmuje również organizację spotkań naukowych. Byłam członkiem komitetu organizacyjnego krajowych konferencji, seminariów oraz spotkań naukowych (*Zał. 4, pkt II.8*):

- I Seminarium Naukowe Zielone Idee 21 Wieku (Poznań 15.10.2014r.),
- Poznańskie Warsztaty Reologiczne „Reometria optyczna” (Poznań, 4-6.05.2015r.),
- II Seminarium Naukowe Zielone Idee 21 Wieku (Poznań 15.10.2015r.),
- III Seminarium Naukowe Zielone Idee 21 Wieku (Poznań, 30.04.2017r.)
- IX Krajowej Konferencji Bioindykacyjnej, „Praktyczne wykorzystanie systemów bioindykacyjnych do oceny jakości i toksyczności środowiska i substancji chemicznych” (Poznań, 08-10.04.2019r.).

A także dwukrotnie dołączyłam do grona komitetu naukowego krajowej konferencji (*Zał. 4, pkt II.8*):

- VI Ogólnopolskiej Konferencji Młodych Naukowców „Nauka dla Środowiska Przyrodniczego” (Poznań, 12-14.04.2018r.),
- V Ogólnopolskiej Konferencji Młodych Naukowców „Nauka dla Środowiska Przyrodniczego” (Poznań, 21-27.04.2019r.).

W roku 2018 dołączyłam również do zespołu recenzentów międzynarodowej konferencji „International Conference on Novel Functional Materials (ICNFM2018)” (Anshan, China, 16-18.09.2018) (*Zał. 4, pkt II.8*).

Moje doświadczenie naukowe znalazło uznanie w międzynarodowym środowisku naukowym, o czym świadczą liczne zaproszenia do wykonania recenzji artykułu w renomowanych czasopismach takich jak (*Zał. 4, pkt. II.13*): *Chemosphere, Applied Microbiology and Biotechnology, ACS Agricultural Science and Technology, ACS Sustainable Chemistry and Engineering, ACS Omega, Journal of Chemical Technology and Biotechnology, Journal of Chemical Environmental Chemical Engineering, Journal of Environmental Management, Journal of Environmental Safety and Earth Sciences and Environmental, Ecotoxicology and Environmental Safety, Emerging Materials Research,*

*Environmental Science and Pollution Research, FEMS Microbiology Letters, Plants, Journal of Marine Science and Engineering, Journal of Residuals Science and Technology, Journal of Sea Research, Journal of Solutions Chemistry, Journal of Zhejiang University, Life, Metabolites, Metals, Molecules, Open Agriculture, Open Chemistry, Plants, Recent Patents on Materials Science, Science of The Total Environment, Separation Science and Technology, Total Environmental Engineering, Toxicology and Environmental Chemistry, African Journal of Environmental Science and Technology, Agriculture, Agronomy, Annals of Molecular and Genetic medicine, Applied Microbiology and Biotechnology, Chemistry and Ecology, Annals of Marine Biology and Research, Technologie wody.* Łącznie do chwili obecnej zrecenzowałam 146 manuskryptów oraz 7 prac do cyklu monografii pt. "Badania i rozwój młodych naukowców w Polsce".

W latach 2021 – 2024 byłam opiekunem studenckich praktyk, w które studenci odbywali w naukowym laboratorium biotechnologicznym w Zakładzie Chemii Organicznej Politechniki Poznańskiej. Łącznie sprawowałam opiekę nad 10 praktykantami, którzy realizowali od 120 do 160 godzinny cykl praktyk. Ponadto koordynuję praktyki oraz staże naukowe, które studenci odbywają w zaprzyjaźnionym Zakładzie Komponentów Kwasów Nukleinowych, PAN oddział w Poznaniu.

Nieprzerwanie od roku 2015 jestem koordynatorem studenckich projektów naukowych realizowanych przez członków i sympatyków koła naukowego Biolnicjatywa finansowanych ze środków Rektora Politechniki Poznańskiej (*Zał. 4, pkt II.17.F*). 26 marca 2017 r. zostałam opiekunem koła naukowego Biolnicjatywa funkcjonującego na Wydziale Technologii Chemicznej. Członkowie (*Zał. 4, pkt II.17.F*), jak i sympatycy koła naukowego rozwijają swoje pasje z zakresu biotechnologii, chemii oraz mikrobiologii środowiskowej. Aktywnie uczestniczą w badaniach naukowych realizując projekty naukowe finansowane przez JM Rektora Politechniki Poznańskiej, jak i uczestnicząc w dużych projektach naukowych. W roku 2023 ukazał się pierwszy artykuł naukowy w czasopiśmie *Chemosphere* (IF = 8,8; MNiSW = 140), do którego przygotowania wykorzystaliśmy wyniki badań częściowo zrealizowanych przez studentów koła naukowego oraz doktorantów, znaleźli się oni również wśród współautorów publikacji. Ponadto członkowie koła prowadzą działalność popularyzującą naukę poprzez organizację warsztatów i pokazów dla dzieci i młodzieży, promując w ten sposób także macierzysty wydział.

Swoje kompetencje oraz wiedzę rozszerzam uczestnicząc w szkoleniach organizowanych przez firmy dystrybuujące specjalistyczną i często unikatową aparaturę. Ponadto swoje kompetencje w pracy ze studentami rozszerzam uczestnicząc w programach takich jak: „Komunikacja Naukowa”, „Emisja głosu”, „English-Medium Instruction (EM) course”, „Zarządzanie emocjami i wzmocnieniem odporności psychicznej, z uwzględnieniem sytuacji pandemii Covid-19”. Niezwykle inspirujące oraz rozszerzające wiedzę z zakresu syntezy, kapsułkowania oraz analizy biodostępności produktów farmaceutycznych było uczestnictwo w szkołach letnich organizowanych w ramach projektu ORBIS („Open Research Biopharmaceutical Internship Support” Horizon 2020, MSCA, RISE 2018 - 2022). Uczestnicząc w programie ORBIS miałam możliwość również uczestniczyć w wyjeździe szkoleniowym do Pragi do University of Chemistry and Technology oraz do firmy farmaceutycznej Zentiva (*Zał. 4, pkt II.17.J*).

Chętnie angażuję się w promocję zarówno wydziału jak i Politechniki Poznańskiej, o czym świadczy udział w licznych pokazach, warsztatach i wykładach popularno-