ZAŁĄCZNIK 2

AUTOREFERAT

dr inż. Iwona Zawierucha

Instytut Chemii
Wydział Nauk Ścisłych, Przyrodniczych i Technicznych
Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy im. Jana Długosza w Częstochowie

Częstochowa, 2020 r.

1. Imię i nazwisko

Iwona Zawierucha

Identyfikatory autora:
ORCID: 0000-0002-2975-1911; ResearcherID: AAM-9883-2020; Scopus: 164181170500

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

- dyplom magistra inżyniera inżynierii środowiska z dnia 24.06.2003 r. wydany przez Wydział Inżynierii i Ochrony Środowiska Politechniki Częstochowskiej. Tytuł pracy magisterskiej: „*Sorpcja i biodegradacja fenolu na węglu aktywnym ROW 08 SUPRA*" promotor: dr hab. inż. Zygmunt Dębowski, prof. PCz
- świadectwo ukończenia Studium Przygotowania Pedagogicznego z dnia 15.07.2003 r. wydane przez Międzywydziałowe Studium Kształcenia i Doskonalenia Nauczycieli Politechniki Częstochowskiej
- stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie *inżynieria środowiska* z dnia 07.07.2008 r. nadany przez Wydział Inżynierii i Ochrony Środowiska Politechniki Częstochowskiej. Tytuł rozprawy doktorskiej: „*Wspomaganie tlenowej biodegradacji substancji ropopochodnych w środowisku gruntowo-wodnym*", promotor: prof. dr hab. inż. Grzegorz Malina, recenzenci: prof. dr hab. inż. Marian J. Łączny, dr hab. Rafał Kucharski, prof. PCz. Praca doktorska była wykonywana w ramach dziennych studiów doktoranckich odbywanych od dnia 01.10.2003 r. na Wydziale Inżynierii i Ochrony Środowiska Politechniki Częstochowskiej w zakresie nauk technicznych w dyscyplinie *inżynieria środowiska*.

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych

- Od 01.10.2008 r. do 30.09.2009 r. umowa o pracę na stanowisku asystenta w Instytucie Chemii i Ochrony Środowiska, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie
- Od 01.10.2009 r. do 30.09.2018 r. mianowanie na stanowisko adiunkta w Instytucie Chemii, Ochrony Środowiska i Biotechnologii, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy

Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie (od. 01.06.2018 r. Uniwersytetu Humanistyczno-Przyrodniczego im. Jana Długosza w Częstochowie)

- Od 01.10. 2018 r. do chwili obecnej umowa o pracę na stanowisku adiunkta w Instytucie Chemii, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy (od 01.10.2019 r. Wydział Nauk Ścisłych, Przyrodniczych i Technicznych) Uniwersytetu Humanistyczno-Przyrodniczego im. Jana Długosza w Częstochowie

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy

Jako osiągnięcie stanowiące podstawę o ubieganie się o stopień doktora habilitowanego wskazuję cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2b Ustawy.

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego (cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych)

Zastosowanie materiałów sorpcyjnych i immobilizowanych materiałów polimerowych w remediacji wód i ścieków zanieczyszczonych metalami ciężkimi

4.2. Publikacje wchodzące w skład osiągniecia stanowiącego podstawę o ubieganie się o stopień doktora habilitowanego

Osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę o ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego udokumentowane jest cyklem 7 powiązanych tematycznie publikacji naukowych o łącznej sumie punktów **MNiSW – 260** oraz sumarycznym **IF** wg bazy Journal Citation Reports (JCR) – **11,326** (zgodnie z rokiem opublikowania).

[O1] **Zawierucha I.**, Malina G. (2012) Performance of ZVI for removal of heavy metals from groundwater within a PRB. *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 21, No. 5A, 450-453, (**IF_{2012}: 0,462, MNISW: 15 pkt**)

[O2] **Zawierucha I.**, Malina G. (2014) Zastosowanie zeolitu do usuwania jonów metali śladowych z wody w technologii przepuszczalnych barier aktywnych. *Ochrona Środowiska*, Vol. 36, No. 1, 39–44, (**IF_{2014}: 0,392, MNISW: 15 pkt**)

[O3] **Zawierucha I.**, Nowik-Zając A. (2019) Evaluation of permeable sorption barriers for treating of heavy metals contaminated groundwater. *Water Science and Technology*, 80(3), 448-457, **(IF_{2018}: 1,624, MNISW: 40 pkt)**

[O4] **Zawierucha I.**, Kozlowska J., Kozlowski C., Trochimczuk A. (2014) Sorption of Pb(II), Cd(II) and Zn(II) performed with the use of carboxyphenylresorcinarene-impregnated Amberlite XAD-4 resin. *Desalination and Water Treatment*, 52, 1-3, 314-323, (**IF_{2014}: 1,173, MNISW: 20 pkt**)

[O5] **Zawierucha I.**, Kozlowski C., Malina G. (2013) Removal of toxic metal ions from landfill leachate by complementary sorption and transport across polymer inclusion membranes. *Waste Management*, 33(10), 2129-2136, (**IF_{2013}: 3,157, MNISW: 30 pkt)**

[O6] **Zawierucha I.**, Nowik-Zając A., Kozlowski C. (2019) Application of Cr(VI) transport across the polymer inclusion membrane with calixresorcin[4]arene derivative as ion carrier. *Separation Science and Technology*, https://doi.org/10.1080/01496395.2019.1609031, **(IF_{2018}: 1,354, MNISW: 40 pkt)**

[O7] **Zawierucha I.**, Nowik-Zajac A., Kozlowski C. (2019) Removal of Pb(II) ions using polymer inclusion membranes containing calix[4]resorcinarene derivative as ion carrier. *Polymers*, 11(12), 2111, (**IF_{2018}: 3,164, MNISW: 100 pkt**)

Mój indywidualny wkład w powstanie przedstawionych powyżej prac naukowych jest wiodący, co wykazano w załączniku nr 3. Oświadczenia współautorów prac wraz z określeniem indywidualnego wkładu w ich powstanie zestawiono w załączniku 4. Kopie prac zostały zebrane w załączniku 5. Ponadto, żadna z ww. prac nie była częścią monotematycznego cyklu prac w innym postępowaniu habilitacyjnym.

4.3. Wprowadzenie

Środowisko gruntowo-wodne jest głównym odbiorcą wszelkich zanieczyszczeń powstających podczas działalności przemysłowej człowieka. Do najbardziej szkodliwych należą metale ciężkie posiadające zdolność do bioakumulacji, co stanowi poważne zagrożenie środowiskowe i zdrowotne (Kocaoba 2007, Pehlivan i Altun 2007). Dlatego też poszukuje się

innowacyjnych i efektywnych rozwiązań umożliwiających redukcję uciążliwości głównych ognisk zanieczyszczeń oraz remediacji zanieczyszczonych wód podziemnych. Zaostrzone i stale wzrastające wymagania, co do jakości wód i odprowadzanych ścieków sprawiają, iż do usuwania toksycznych jonów metali z roztworów wodnych stosuje się coraz bardziej wyrafinowane i złożone procesy takie jak chemiczne strącanie, ekstrakcję, wymianę jonową, separację membranową oraz sorpcję (Kozlowski 2006, Zawierucha i in. 2012, Kavak i in. 2013).

Procesy membranowe stanowią alternatywę dla konwencjonalnych metod separacji jonów metali z roztworów wodnych ze względu na wysoką wydajność przy stosunkowo niskich nakładach energetycznych oraz możliwość prowadzenia procesu w temperaturze otoczenia. Na szczególną uwagę zasługują techniki membranowe z wykorzystaniem nowego rodzaju membran, jakimi są immobilizowane membrany polimerowe - polimerowe membrany inkluzyjne (ang. Polymer Inclusion Membrane – PIM). Otrzymywane są one w wyniku fizycznej immobilizacji przenośnika jonów wraz z plastyfikatorem w polimerowej matrycy (Gęga 2012, Almeida i in. 2012). Rolę selektywnych przenośników mogą pełnić jonizowalne związki makrocykliczne, które posiadają zdolność „rozpoznawania" jonów i wykazują specyficzne właściwości kompleksotwórcze (Zawierucha i in. 2019). Polimerowe membrany inkluzyjne to membrany wyróżniające się znaczną trwałością, odpornością chemiczną, jak również wytrzymałością mechaniczną i stabilnością działania. Transport jonów metali z użyciem PIM jest procesem złożonym, składającym się z etapu ekstrakcji substancji z fazy zasilającej, dyfuzji powstałego kompleksu przez membranę i reekstrakcji do fazy odbierającej (Pospiech i Kujawski 2015). Istotną cechą polimerowych membran inkluzyjnych jest możliwość modyfikacji ich składu. Jest to bardzo ważne, gdyż dzięki temu można wpływać na efektywność i selektywność separacji jonów metali, przy uwzględnieniu optymalnych warunków procesowych i środowiskowych. Właściwości transportowo-separacyjne PIM umożliwiają usuwanie jonów metali w miejscu ich powstania (Nghiem i in. 2006), co jest szczególnie korzystne z punktu widzenia minimalizacji ryzyka zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego.

Także proces sorpcji stanowi atrakcyjną metodę usuwania jonów metali z roztworów wodnych ze względu na dużą szybkość i wysoką wydajność, łatwość operacji a także stosunkowo elastyczne warunki procesu (Liu i in. 2008, Adhikari i in. 2011a). Wybór odpowiedniego sorbentu jest krytycznym czynnikiem dla uzyskania pełnego odzysku danego metalu i wysokiego stopnia oczyszczenia roztworu wodnego (Ghaedi i in. 2009). W przypadku

skażonych wód podziemnych technologia przepuszczalnych barier aktywnych PRB (ang. Permeable Reactive Barrier) może stanowić efektywną metodę pasywnej i zrównoważonej ich remediacji w warunkach *in-situ* (Malina 2007). W technologii tej metale ciężkie usuwane są bezpośrednio w warstwie wodonośnej podczas przepływu zanieczyszczonego strumienia wód podziemnych przez przepuszczalną barierę wypełnioną materiałem reaktywnym, gdzie następuje unieruchomienie metali ciężkich prowadzące do redukcji ich stężenia w wodzie (Obiri-Nyarko i in. 2014). Zasadniczym procesem, który powoduje zmniejszenie stężenia metali ciężkich jest sorpcja, pod którą można w tym przypadku rozumieć adsorpcję, wymianę jonową i/lub strącanie. Przepuszczalne bariery sorpcyjne (PBS) można stosować zarówno na drodze przepływu zanieczyszczonej wody podziemnej, jak i w celu oczyszczania odcieków ze składowisk na drodze ich przesiąkania przez strefę aeracji (Zawierucha i in. 2012).

Do powszechnie stosowanych sorbentów wykazujących wysoką pojemność sorpcyjną należą: węgiel aktywny, tlenek glinu, krzemionka i tlenek żelaza. Jednakże są one drogie a ich ponowne zastosowanie wymaga regeneracji (Mohan i Gandhimathi 2009). Z kolei większość sorbentów będących rolniczymi produktami odpadowymi, mimo swojej dostępności i niskiej ceny, zazwyczaj charakteryzuje się słabymi zdolnościami wiązania metali i niską stabilnością (Adhikari i in. 2011a). Dlatego też wydaje się być istotnym poszukiwanie nowych selektywnych sorbentów dla skutecznego usuwania wybranych jonów metali z roztworów wodnych i intensyfikacji procesu sorpcji. W ostatnich latach wzrosło szczególnie zainteresowanie zagadnieniem modyfikacji i impregnacji fazy stałej z użyciem związków makrocyklicznych celem polepszenia skuteczności usuwania jonów metali z roztworów wodnych oraz zwiększenia pojemności sorpcyjnej i selektywności sorbenta (Ghaedi i in. 2009, Marahel i in. 2009). Jednakże do tej pory niewiele jest prac poświęconych tematyce zastosowania modyfikowanych sorbentów dla usuwania toksycznych jonów metali z wód i ścieków, zatem poruszenie tej problematyki wydaje się mieć aspekt wysoko poznawczy.

Przykładem związków makrocyklicznych, które mogą zostać wykorzystane do immobilizacji na polimerowym nośniku oraz jako przenośniki jonów są kaliksareny i ich pochodne. Kaliksareny to cykliczne, oligomery fenolowe z bardzo ciekawymi związkami hosta. Cząsteczka kaliksarenu podobna jest kształtem do kielicha, składa się z górnego – szerokiego pierścienia i dolnego – wąskiego. Górna część może składać się z różnej liczby pierścieni aromatycznych, a więc tym samym z różnej liczby grup hydroksylowych, które mogą tworzyć wiązania wodorowe. Charakterystyczna budowa w kształcie kielicha powoduje, że kaliksareny

mają zdolność tworzenia inkluzyjnych kompleksów z dużą gamą analitów. Bardzo istotną zaletą kaliserenów jest możliwość ich łatwej modyfikacji. Kaliksareny mają bowiem w swoim składzie wnęki, których budowa geometryczna jest zależna głównie od molekularnej struktury, a obrzeża oraz ściany tych wnęk mają miejsca oddziałujące, używane do łączenia substratów, w tym jonów metali ciężkich (Benosmane i in. 2009, Sliwa i Kozlowski 2009, Jain i Kanaiya 2011).

Immobilizacja pochodnych kaliksarenów w/na matrycy polimeru wydaje się być korzystnym rozwiązaniem dla technik sorpcyjnych (Ohto i in. 2002, Qureshi i in. 2009, Qureshi i in. 2011). Immobilizacja/impregnacja pochodnych kaliksarenów w strukturze żywicy następuje albo wskutek adsorpcji fizycznej lub w wyniku tworzenia wiązań kowalencyjnych (Adhikari i in. 2011a, Adhikari i in. 2011b). Zagadnienie modyfikacji polimerowego nośnika stanowi nowatorski obszar badań, gdzie nieliczne wyniki wskazują na możliwość zastosowania impregnowanych żywic jako efektywnych sorbentów toksycznych jonów metali z roztworów wodnych (Ohto i in. 2002, Ghaedi i in. 2009, Qureshi i in. 2009, Qureshi i in. 2011, Zawierucha i in. 2016).

4.4. Omówienie celów naukowych przedstawionych prac [O1 – O7] i osiągniętych wyników

Na podstawie zdobytych doświadczeń w remediacji zanieczyszczonego środowiska gruntowo-wodnego oraz analizy potrzeb w zakresie ograniczenia źródeł, jak i metod usuwania toksycznych jonów metali z wód podziemnych i ścieków przemysłowych sformułowałam następujące cele przedstawionych prac:

4.4.1. określenie skuteczności zastosowania materiałów sorpcyjnych w postaci przepuszczalnych barier aktywnych (PRB) do usuwania metali ciężkich z wód podziemnych,

4.4.2. określenie warunków stosowania oraz ocena wydajności nowych sorbentów (impregnowanych żywic) w aspekcie ich potencjalnego wykorzystania do oczyszczania wód i ścieków z metali ciężkich,

4.4.3. ocena efektywności separacji jonów metali ciężkich ze ścieków przemysłowych z użyciem polimerowych membran inkluzyjnych w różnych warunkach parametryzacji systemu oczyszczania.

Wybór materiału aktywnego PRB uzależniony jest od rodzaju i stężenia zanieczyszczeń oraz formy ich występowania w wodach podziemnych (Obiri-Nyarko i in. 2014). Materiał ten powinien zachować założoną aktywność i przepuszczalność hydrauliczną poprzez określony długi czas. Czynnik ten w przypadku sorpcyjnych barier aktywnych można określać poprzez ocenę możliwości wytrącania się różnych związków chemicznych. Ocena ta stanowi o stabilności materiału i wskazuje, w jakim stopniu odpowiada on warunkom danego środowiska (Suponik 2009).

Cel 4.4.1. „**określenie skuteczności stosowania materiałów sorpcyjnych w postaci przepuszczalnych barier aktywnych (PRB) do usuwania metali ciężkich z wód podziemnych**" zrealizowałam w specjalnie zaprojektowanym doświadczeniu testów kolumnowych, którego metodykę i wyniki przedstawiono w pracach **[O1-O3]**. Testy kolumnowe (badania ciągłe w układzie przepływowym) przeprowadziłam w celu odtworzenia warunków panujących podczas przepływu zanieczyszczonej strugi wód podziemnych przez PRB. Do badań użyłam modelowej (syntetycznej) wody podziemnej uzyskanej przez rozpuszczenie 114 mg $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, 69 mg $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$, 83 mg $CaCl_2$, 339 mg $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, 218 mg K_2SO_4 i 165 mg NaCl w 1 dm^3 wody dejonizowanej. Skład modelowej wody podziemnej (tabela 1 **[O2]**) został dobrany w oparciu o charakterystykę próbki wody podziemnej pochodzącej z terenu huty cynku „Miasteczko Śląskie". Badana próbka, pobrana z głębokości 3,1 m p.p.t., reprezentowała triasowe piętro wodonośne – poziom warstw gogolińskich, gdzie wody podziemne są w dużym stopniu przekształcone antropogenicznie.

W badaniach wykorzystałam następujące materiały sorpcyjne: żelazo zerowartościowe (Fe^0) w postaci odpadowych opiłków [**O1**], zeolit naturalny w postaci klinoptylolitu pochodzącego z tufów **[O2, O3],** granulowany węgiel aktywny Baqua 1 (GAC) [**O3**] oraz silnie kwasową żywicę kationitową Amberlite IR120 H o strukturze żelowej typu sulfonianów polistyrenowych [**O3**]. Ich szczegółową charakterystykę przedstawiono w ww. pracach.

Ocenę skuteczności i stabilności badanych materiałów sorpcyjnych w PRB realizowałam przez monitorowanie zmian wartości pH oraz stężeń jonów metali i innych jonów nieorganicznych w wodzie w wyniku jej przepływu przez kolumny.

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdziłam, że pH wody podziemnej uległo gwałtownym zmianom jedynie w wyniku przepływu przez kolumny wypełnione Fe^0 (Rys. 4 **[O1]**) oraz żywicą jonowymienną (Rys. 3 **[O3]**). Dla węgla aktywnego i zeolitu nie odnotowałam większych odchyleń pH od wartości początkowej. W przypadku żelaza

zerowarościowego pH wzrosło z wartości 6,2 do wartości 9,3. Wzrost ten przy jednoczesnym obniżeniu stężenia metali ciężkich (Rys. 4 **[O1]**) potwierdził wysoką reaktywność żelaza zerowartościowego. Na powierzchni Fe^0 nastąpiło wypieranie toksycznych jonów metali na skutek ich strącania w postaci $Zn(OH)_2$ i $Cd(OH)_2$. W wyniku stosowania Fe^0 kadm i cynk mogły być wytrącane również jako siarczki metali, na co wskazuje odnotowany w badaniach dla tego materiału spadek stężenia siarczanów z 120 mg/dm^3 do średnio 25 mg/dm^3 (Rys. 5 **[O1]**). Wysoka skuteczność żelaza zerowartościowego (>99%) w usuwaniu jonów cynku i kadmu z wody podziemnej została zachowana przez czas odpowiadający krotności wymiany objętości bariery równej 36. Wykazałam, że **warunkiem efektywnej pracy PRB wypełnionej Fe^0 powinny być odpowiednio dobrane parametry (porowatość i czas zatrzymania wody podziemnej w barierze) zapobiegające korozji powierzchni żelaza oraz pozwalające na zachowanie jego dłuższej aktywności.** Zastosowanie opiłków żelaza odpadowego o większych rozmiarach cząstek korzystnie wpływało na zdolność filtracyjną PRB.

W przypadku żywicy jonowymiennej gwałtowny spadek pH z wartości początkowej do wartości około 2,4 był wynikiem uwalniania jonów H^+ w procesie wymiany jonowej między tym materiałem a wodą podziemną. Ponadto spadek ten utrzymujący się na stałym poziomie potwierdził wysoką aktywność i długą żywotność żywicy jonowymiennej dla oczyszczania wody podziemnej metodą PRB. Stężenie jonów kadmu i cynku na początku procesu uległo gwałtownemu zmniejszeniu (z 25 mg/dm^3 do średnio 0,05 mg/dm^3), a następnie po osiągnięciu punktu przebicia wzrastało aż do osiągnięcia wartości początkowej (rys. 2 **[O3]**).

W przypadku żywicy jonowymiennej jednoczesne usuwanie sodu (Rys. 4 **[O3]**) z wody podziemnej nie przeszkadzało w zachowaniu wysokiej skuteczności redukcji stężenia metali ciężkich – kadmu i cynku. Z kolei dla zeolitu początkowy wzrost stężenia jonów Na(I) mógł być rezultatem wymiany jonowej zachodzącej w strukturze tego materiału. Azotany w przepływającej wodzie podziemnej nie wchodziły w żadne interakcje z żywicą jonowymienną i zeolitem, jednak wykazywały silne oddziaływanie z GAC (Rys. 5 **[O3]**). W przypadku węgla aktywnego spadek stężenia tych anionów wskazywał, że współzawodniczą one w sorpcji, co mogło stanowić przyczynę szybkiego wyczerpania się pojemności sorpcyjnej GAC dla metali ciężkich.

Skuteczne działanie materiałów sorpcyjnych (>99% usuwanie jonów metali) utrzymywało się przez czas średnio 10000, 500 i 1200 minut odpowiednio dla żywicy; GAC i zeolitu. Na podstawie krzywych przebicia wyznaczyłam pojemności sorpcyjne żywicy, GAC

oraz zeolitu; dla jonów Cd(II) i Zn(II); wynosiły one odpowiednio: 1902 i 355; 4,66 i 4,74 oraz 9,69 i 75,60 mg/g (Tabela 1 **[O3]**). Wykazałam również łatwość regeneracji w/w sorbentów przy użyciu 0,1 M roztworu HCl. W warunkach *in-situ* praca sorpcyjnej bariery może być z powodzeniem kontynuowana dzięki konstrukcji wymienialnych kaset (Van Nooten i in. 2008), które umożliwiałyby zastąpienie wysyconych sorbentów nowym materiałem.

Wyniki badań przedstawione w publikacjach **[O1-O3]** dowiodły, że **badane materiały (zeolit, Fe^0, węgiel aktywny i żywica jonowymienna) mogą być stosowane w PRB do usuwania metali ciężkich z wody podziemnej.** Efektywność ich działania była jednak zróżnicowana. Wykazałam, że **żywica jonowymienna, mimo wyższych kosztów inwestycyjnych w porównaniu do innych materiałów, stanowi optymalny materiał PRB. O jej przydatności do zastosowania w PRB świadczyła zarówno jej wysoka skuteczność w usuwaniu metali ciężkich z wody podziemnej, jak i długa żywotność. Obecność innych jonów w wodzie podziemnej nie wpływała na aktywność i przepuszczalność bariery wypełnionej żywicą. Ponadto do oczyszczenia danej objętości wody podziemnej w systemie PRB może być zastosowana jej mniejsza ilość w porównaniu do innych materiałów.**

Realizację celu 4.4.2. **„określenie warunków stosowania oraz ocena wydajności nowych sorbentów (impregnowanych żywic) w aspekcie ich potencjalnego wykorzystania do oczyszczania wód i ścieków z metali ciężkich”** przeprowadziłam w kilku etapach. Pierwszy etap badań obejmował **preparatykę nowych sorbentów (impregnowanych żywic) poprzez fizyczną immobilizację specyficznych przenośników jonów metali na polimerowym nośniku - żywicy Amberlite XAD-4**. Do badań wykorzystałam następujące związki makrocykliczne – karboksyfenylową (rys. 1 **[O4]**) oraz alkilową pochodną kaliks[4]rezorcynarenu (rys. 1 **[O5]**). Procedura immobilizacji (impregnacji) tych ligandów na żywicy Amberlite XAD-4 została szczegółowo przedstawiona w ww. pracach. W kolejnym etapie badań analizowałam wpływ wybranych parametrów (pH wody, czasu kontaktu i stężenia początkowego jonów metali) na efektywność procesu usuwania jonów metali z roztworu wodnego. Dowiodłam, **że sorpcja jonów metali na impregnowanej żywicy jest ściśle zależna od ww. czynników.** Wykazałam, że w miarę wzrostu odczynu wody efektywność usuwania jonów ołowiu rosła osiągając 99,7% dla pH równego 6,5 (Fig. 3 **[O4]**). Wartość pH jest ważnym parametrem dla usuwania jonów metali z roztworu wodnego, ponieważ odczyn wody wpływa na rozpuszczalność jonów metali, stężenie przeciwjonów grup funkcyjnych

sorbentu i stopień jonizacji metalu podczas procesu sorpcji. Dla danego pH wody selektywność materiału sorpcyjnego względem danego metalu zależy od tworzonych przez niego kompleksów oraz od jego dominującej formy (Adhikari i in. 2011a). Najwyższą skuteczność usuwania ołowiu (99,7%) uzyskałam dla pH wody = 6,5 oraz stężenia początkowego jonów metalu = 10 mg/dm^3.

Wraz ze wzrostem czasu kontaktu ilość sorbowanych jonów ołowiu rosła osiągając stan równowagi po czasie 60 minut (rys. 4 **[O4]**). Również wraz ze wzrostem stężenia jonów metalu w wodzie sorpcja ołowiu wzrastała osiągając wartość 461 mg/g - przy początkowym stężeniu metalu równym 100 mg/dm^3 (Rys. 5 **[O4]**). Według kryterium dopasowania krzywych izoterm sorpcji do danych doświadczalnych i analizy otrzymanych parametrów wykazałam, że **sorpcja jonów metali na impregnowanej żywicy może być określana modelem Langmuira, a redukcja stężenia jonów metali w roztworach wodnych w wyniku stosowania impregnowanej żywicy opiera się na fizycznej adsorpcji jonów na powierzchni i w strukturze tego materiału.** Wyznaczone z krzywych izoterm maksymalne pojemności sorpcyjne impregnowanej żywicy dla jonów Pb(II), Cd(II) i Zn(II) wynosiły odpowiednio 322,6; 49,02 i 60,98 mg/g (Tabela 2 **[O4]**).

Z analizy krzywych przebicia testu kolumnowego (rys. 9 **[O4]**) dowiodłam, że **impregnowana żywica odznaczała się zarówno dużą selektywnością wobec jonów ołowiu jak i wysoką efektywnością ich usuwaniu z modelowej wody**. Jony Cd(II) i Zn(II), w porównaniu do jonów Pb(II), były adsorbowane tylko w niewielkim stopniu, bowiem w ich przypadku początkowe przebicie następowało zaraz po rozpoczęciu przepływu modelowej wody przez kolumnę. Całkowita pojemność sorpcyjna żywicy impregnowanej dla jonów Pb(II) wynosiła 104,4 mg/g przy początkowym stężeniu jonów równym 10 mg/dm^3, gdzie w przypadku jonów Cd(II) i Zn(II) była niewielka, odpowiednio: 7,1 i 6,9 mg/g.

W ostatnim etapie badań żywica impregnowana alkilową pochodną kaliks[4]rezorcynarenu została przetestowana do usuwania jonów metali ciężkich z odcieków ze składowiska odpadów przemysłowych **[O5]**. Kolumna wypełniona modyfikowanym sorbentem stanowiła drugi etap systemu oczyszczania odcieków składowiskowych. Wykazałam, że **filtracja wstępnie oczyszczonych odcieków przez złoże pozwoliła na redukcję zawartości jonów Pb(II), Cd(II) i Zn(II) odpowiednio o 95%, 75% i 40%**. Zróżnicowana skuteczność sorbentu w usuwania danego metalu wynikała ze zdolności kompleksowania metalu, tj. hydratacji jonu i dopasowania promienia jonowego do wielkości wnęki immobilizowanego ligandu. **Stężenia jonów Pb(II), Cd(II) i Zn(II), które wynosiły**

1,20; 0,08 i 3,28 mg/dm^3 uległy obniżeniu odpowiednio do wartości 0,06; 0,02 i 1,97 mg/dm^3 (Tabela 3 **[O5]**). Stężenia tych metali w oczyszczonym odcieku były poniżej dopuszczalnego poziomu ich zawartości w ściekach wprowadzanych do wód lub do ziemi zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 12 lipca 2019 r.

Na podstawie otrzymanych wyników prac **[O4, O5]** dowiodłam, że **żywice immobilizowane pochodnymi kaliks[4]rezorcynarenu mogą być z powodzeniem stosowane do selektywnego i efektywnego usuwania jonów ołowiu z wód i ścieków. Ponadto sorbenty te są łatwo regenerowane i mogą być użyte wiele razy.** Efektywne usuwanie jonów ołowiu z użyciem impregnowanej żywicy utrzymywało się na poziomie powyżej 90% w czasie 15 cykli sorpcji-desorpcji (Rys. 6 **[O5])**.

Innym rodzajem immoblizowanych materiałów polimerowych są immoblizowane membrany – polimerowe membrany inkluzyjne. Mogą one stanowić alternatywę dla konwencjonalnych metod separacji jonów metali z roztworów wodnych. Zastosowanie ich w celach remediacyjnych jest uwarunkowane w dużym stopniu efektywnością i stabilnością działania polimerowego materiału membrany, która w znacznym stopniu zależy od właściwości fizykochemicznych polimeru oraz inkludowanego w nim przenośnika jonów. Badania tych materiałów zrealizowałam w ramach celu 4.4.3. „**ocena efektywności separacji jonów metali ciężkich ze ścieków przemysłowych z użyciem polimerowych membran inkluzyjnych w różnych warunkach parametryzacji systemu oczyszczania**”, a wyniki tych badań zaprezentowałam w pracach **[O5-O7]**. Polimerowe membrany inkluzyjne otrzymałam metodą wylewania roztworu zawierającego polimer, przenośnik jonów i plastyfikator, a następnie powolnego odparowania lotnego rozpuszczalnika. Przenośnik jonów znajdujący się w polimerowej matrycy to istotny składnik membrany odpowiadający za transport jonów metali i decydujący zarówno o szybkości, jak i selektywności całego procesu. Jego rolą jest ułatwienie transportu separowanych jonów przez membranę. Jako przenośniki jonów użyłam odpowiednio: alkilową (rys. 1 **[O5]**), funkcjonalizowaną pirydylową (rys. 1 **[O6]**) i fenylową (rys. 1 **[O7]**) pochodną kaliks[4]rezorcynarenu. W badanych membranach rolę polimerowej matrycy pełnił trioctan celulozy (CTA). Właściwości fizykochemiczne tego polimeru sprawiają, że membrany są termoplastyczne i wykazują znaczną odporność chemiczną oraz trwałość mechaniczną. Miękkość i elastyczność uzyskują dzięki obecności plastyfikatora.

W pracy **[O5]** przetestowałam technologię PIM jako wstępny (pierwszy) etap systemu oczyszczania odcieków składowiskowych z jonów metali ciężkich. Fazę zasilającą stanowił odciek, natomiast fazą odbierającą był 0,1 M roztwór HNO_3. Badania transportu jonów metali przez PIM przeprowadziłam w układzie przedstawionym na rys. 2 **[O5]**, zarówno przy jednakowym stosunku faz oraz zmieniając objętość fazy zasilającej w stosunku do objętości fazy odbierającej. W tym drugim przypadku osiągnęłam **wysoki stopień (89%) redukcji stężenia jonów ołowiu; zawartość jonów ołowiu w odcieku zmalała z 11,2 do 1,2 mg/dm^3** (Tabela 2 **[O5]**).

Parametryzacja składu PIM i warunków procesowych umożliwiła mi określenie, jakie czynniki decydują o dobrych właściwościach transportowych tych membran w aspekcie usuwania danego jonu metalu z roztworu wodnego oraz dobór optymalnych warunków prowadzenia procesu. Badania transportu jonów Cr(VI) (**[O6]**) i Pb(II) (**[O7]**) przez odpowiednio zsyntetyzowane PIM-y prowadziłam w układzie membranowym (przy jednakowym stosunku faz) gdzie wodną fazę zasilającą i odbierającą rozdzielała umieszczona pomiędzy nimi membrana. W celu wyznaczenia kinetyki procesu separacji/wydzielania badanych jonów przez PIM wykonałam pomiary zmian stężeń tych jonów w fazie zasilającej i odbierającej w funkcji czasu transportu. Krzywe kinetyczne zależności c/c_0 w funkcji czasu miały charakter wykładniczy (rys. 2 **[O7]**), co potwierdza kinetyczny model transportu jonów metali opisany równaniem reakcji pierwszego rzędu. Szybkość transportu na granicy fazy zasilającej i membrany oraz membrany i fazy odbierającej była porównywalna, czyli reakcje kompleksowania i dekompleksowania zachodziły z jednakową szybkością.

Wykazałam**,** że **efektywność separacji jonów metali z użyciem polimerowych membran inkluzyjnych zależała głównie od pH fazy zasilającej, składu membrany (stężenia przenośnika i plastyfikatora w PIM) i doboru odpowiedniej fazy odbierającej.** Na podstawie badań wpływu stężenia przenośnika na wydajność transportu jonów metali stwierdziłam, że wraz ze wzrostem stężenia ligandu rośnie efektywność transportu aż do uzyskania wartości maksymalnej przy nasyceniu (saturacji) membrany (Tabela 1 **[O6]**, rys. 5 **[O7]**). Wzrost zawartości plastyfikatora w membranie do wartości 2 cm^3/1 g CTA także skutkował wzrostem wartości strumienia transportu. Konsekwencją dalszego zwiększania zawartości plastyfikatora był jednak wzrost grubości i lepkości membrany, a w efekcie obniżenie szybkości dyfuzji kompleksów metali, co skutkowało widocznym spadkiem wydajności transportu (rys. 4 **[O6]**). Określenie wpływu pH i rodzaju fazy odbierającej

pozwoliło stwierdzić wysoką efektywność transportu jonów metali przez PIM w przypadku, gdy faza zasilająca i faza odbierająca różniły się znacznie wartością pH. Gradient pH stymulował dyfuzję kompleksu przez membranę a w konsekwencji efektywność wydzielania jonów przez PIM.

Dla warunków optymalnych w każdym badanym przypadku odnotowałam wysoką skuteczność usuwania jonów metali z użyciem PIM. W przypadku usuwania jonów Cr(VI) w warunkach optymalnych tj.: fazy odbierającej – 0,1 M CH_3COONa, przy stężeniu fazy zasilającej $1{,}0 \cdot 10^{-3}$ M Cr(VI) o pH = 1,0 oraz składzie membrany: 2,0 cm^3 2-NPOE/1,0 g CTA i 0,3 M stężeniu przenośnika w membranie, uzyskałam 98,4% efektywność transportu jonów chromu w czasie 6 godzin. Z kolei, w przypadku usuwania jonów ołowiu w warunkach optymalnych tj.: fazy odbierającej – 0,1 M HCl, przy stężeniu fazy zasilającej $1{,}0 \cdot 10^{-3}$ M $Pb(NO_3)_2$ o pH = 5,0 oraz składzie membrany: 2,0 cm^3 *o*-NPOE/1,0 g CTA i 0,3 M stężeniu przenośnika w membranie uzyskałam 94% efektywność transportu jonów ołowiu w czasie 6 godzin.

Na podstawie otrzymanych rezultatów wykazałam, że **maksymalizacja transportu membranowego wynika z nasycenia porów membrany kompleksem przenośnika z jonami metalu i nagromadzenia warstwy ligandu na powierzchni membrany, co w konsekwencji powoduje zatrzymanie składnika oddzielanego po stronie wejścia i prowadzi do osiągnięcia stałego strumienia**. Ponadto potwierdziłam, że **transport jonów metali przez badane PIM-y to transport w którym siła napędowa jest generowana przez kompleksowanie jonów metali na granicy faza zasilająca/membrana, jak również na granicy membrana/faza odbierająca oraz przez różnicę stężenia protonów w obu roztworach wodnych**.

Wykazałam również **dużą stabilność działania immobilizowanych membran, a tym samym możliwość ich wielokrotnego użycia** z uwagi na fakt, że współczynniki odzysku (RF) dla jonów chromu i ołowiu w kolejnych 15 cyklach pomiarowych (trwających 6 godzin) utrzymywały się na poziomie odpowiednio ≥ 95% i ≥ 90%.

Określiłam również wydajność układów membranowych z odpowiednią membraną o optymalnym składzie do selektywnego usuwania jonów chromu ze ścieków (zużytych kąpieli galwanicznych) (**[O6]**) oraz usuwania jonów ołowiu ze ścieków z produkcji akumulatorów (**[O7]**). Wykazałam, że współczynnik odzysku dla jonów chromu po 6 godzinach procesu wynosił 92% a dla jonów ołowiu 90%, podczas gdy RF uzyskane dla innych metali zawartych w ściekach nie przekraczały 2% (Rys. 7 **[O7],** Rys. 10 **[O7]**). Powyższe wyniki dowodzą

wysokiej efektywności technologii PIM dla selektywnego usuwania jonów metali ciężkich ze ścieków przemysłowych. Wydzielone i rozdzielone w ten sposób jony metali mogą być zawrócone do ponownego użycia w procesie technologicznym, co nie generuje odpadów i jest korzystne zarówno z ekologicznego, jak i ekonomicznego punktu widzenia.

4.5. Najważniejsze osiągnięcia opisanych badań zawartych w cyklu publikacji [O1-O7]

Za najważniejsze osiągnięcia opisanych prac uważam:

i. otrzymanie nowych sorbentów – impregnowanych żywic na drodze fizycznej immobilizacji pochodnych kaliks[4]rezorcynarenów na polimerowym nośniku,

ii. opracowanie dwustopniowego systemu oczyszczania odcieków składowiskowych, opartego na zastosowaniu immobilizowanych materiałów polimerowych, umożliwiającego obniżenie zawartości jonów metali ciężkich do poziomu pozwalającego na wprowadzenie tych ścieków do wód lub do ziemi;

iii. wykazanie, że żywica jonowymienna, mimo wyższych kosztów inwestycyjnych w porównaniu do innych materiałów sorpcyjnych, stanowi optymalny materiał PRB. O jej przydatności do zastosowania w PRB świadczy zarówno jej wysoka skuteczność w usuwaniu metali ciężkich z wody podziemnej, jak i długa żywotność, a także brak oddziaływania z innymi składnikami zanieczyszczonej wody podziemnej w aspekcie utrzymania przepuszczalności bariery w trakcie eksploatacji. Ponadto do oczyszczenia danej objętości wody podziemnej w systemie PRB może być zastosowana jej mniejsza ilość w porównaniu do innych materiałów.

iv. wykazanie, że impregnowane żywice mogą być z powodzeniem stosowane do selektywnego i efektywnego usuwania jonów metali z wód i ścieków. Sorbenty te są łatwo regenerowane i mogą być użyte wiele razy. Sorpcja jonów metali na impregnowanej żywicy jest ściśle zależna od pH roztworu wodnego oraz stężenia metali. Może być ona określana modelem Langmuira, a redukcja stężenia jonów metali w roztworach wodnych w wyniku stosowania impregnowanej żywicy opiera się na fizycznej adsorpcji jonów na powierzchni i w strukturze tego materiału.

v. wykazanie, że efektywność separacji jonów metali z użyciem polimerowych membran inkluzyjnych zależy głównie od pH fazy zasilającej, składu membrany (stężenia przenośnika i plastyfikatora w PIM) i doboru odpowiedniej fazy odbierającej. Optymalizacja składu PIM i dobór odpowiednich parametrów procesowych pozwalają

na osiągnięcie wysokiej skuteczności i stabilności PIM dla selektywnego usuwania jonów metali ciężkich ze ścieków przemysłowych. Separacja metali ciężkich w procesach membranowych przy zastosowaniu PIM może istotnie usprawnić najważniejsze technologicznie operacje odzysku metali ze ścieków i rozwiązać problem usuwania toksycznych zanieczyszczeń, zarówno w aspekcie technologiczno-ekonomicznym, jak i również z korzyścią dla środowiska naturalnego.

4.6. Podsumowanie

Przeprowadzone badania umożliwiły określenie efektywności stosowania materiałów sorpcyjnych i immobilizowanych materiałów polimerowych do selektywnego usuwania toksycznych jonów metali z wód i ścieków. Analiza rezultatów badań pozwoliła określić zarówno mechanizm usuwania jonów metali z użyciem sorbentów jak i mechanizm transportu jonów metali przez polimerowe membrany inkluzyjne. Identyfikacja czynników limitujących procesy sorpcji i transportu membranowego oraz wyznaczenie stabilności i trwałości działania sorbentów i immobilizowanych membran umożliwiły opracowanie efektywnej metody remediacji skażonych wód podziemnych i ścieków przemysłowych z wykorzystaniem odpowiednio przepuszczalnych barier sorpcyjnych (PBS) i polimerowych membran inkluzyjnych (PIM).

Wykorzystanie nowych materiałów zawierających immobilizowane pochodne kaliks[4]rezorcynarenów w ww. technologiach, ze względu na ich wysoką skuteczność, selektywność, stabilność i niskie zapotrzebowanie na energię stanowi obiecujące rozwiązanie dla poprawy jakości środowiska. Wnioski wyciągnięte na podstawie przeprowadzonych badań mogą przyczynić się do wprowadzenia modyfikacji lub opracowania nowych sposobów intensyfikacji procesu sorpcji toksycznych jonów metali z zanieczyszczonych wód i ścieków. Ponadto otrzymane wyniki badań mogą stanowić podstawę do modelowania procesów immobilizacji metali ciężkich w środowisku gruntowo – wodnym oraz opracowania rozwiązań technologicznych pozwalających na poprawę wydajności i efektywności membranowych układów separacji jonów metali.

4.7. Cytowana literatura

Adhikari B.B., Kanemitsu M., Kawakita H., Jumina, Ohto K. (2011a) Synthesis and application of a highly efficient polyvinylcalix[4]arene tetraacetic acid resin for adsorptive removal of lead from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*, 172, 341-353.

Adhikari B.B., Gurung M., Kawakita H., Jumina, Ohto, K. (2011b) Methylene crosslinked calix[6]arene hexacaarboxylic acid resin: A highly efficient solid phase extractant for decontamination of lead bearing effluents. *Journal of Hazardous Materials*, 193, 200–208.

Almeida M. Ines G.S., Cattrall R. W., Kolev S. D. (2012) Recent trends in extraction and transport of metal ions using polymer inclusion membranes (PIMs). *Journal of Membrane Science*, 415–416, 9–23.

Benosmane N., Hamdi S.M., Hamdi M., Boutemeur B. (2009) Selective transport of metal ions across polymer inclusion membranes (PIMs) containing calix[4]resorcinarenes. *Separation and Purification Technology*, 65, 211-219.

Gęga J. (2012) Perspektywy zastosowania ciekłych membran w procesach hydrometalurgicznych, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.

Ghaedi M., Karami B., Ehsani S., Marahel F., Soylak M. (2009) Preconcentration–separation of Co^{2+}, Ni^{2+}, Cu^{2+} and Cd^{2+} in real samples by solid phase extraction of a calix[4]resorcinarene modified Amberlite XAD-16 resin. *Journal of Hazardous Materials*,172, 802–808.

Jain V.K., Kanaiya P.H. (2011) Chemistry of calix[4]resorinarenes. *Russian Chemical Reviews*, 80(1), 75-102.

Kavak D., Demir M., Başsayel B., Anagün A.S. (2013) Factorial experimental design for optimizing the removal of lead ions from aqueous solutions by cation exchange resin. *Desalination and Water Treatment*, 51, 1712-1719.

Kocaoba S. (2007) Comparison of Amberlite IR 120 and dolomite's performances for removal of heavy metals. *Journal of Hazardous Materials*, 147, 488-496.

Kozlowski C.A. (2006) Facilitated transport of metal ions through composite and polymer inclusion membranes. *Desalination*, 198, 140-148.

Liu C., Bai R., Ly Q.S. (2008) Selective removal of copper and lead ions by diethylenetriamine-functionalized adsorbent: Behaviors and mechanisms. *Water Research*, 42, 1511 – 1522.

Malina G. (2007) Likwidacja zagrożenia środowiska gruntowo-wodnego na terenach zanieczyszczonych. Politechnika Częstochowska, seria Monografie nr 132, Wyd. Polit. Częstochowskiej, Częstochowa.

Marahel F., Ghaedi M., Shokrollahi A., Montazerozohori M., Davoodi S. (2009) Sodium dodecyl sulfate coated poly(vinyl) chloride: an alternative support for solid phase extraction of some transition and heavy metals. *Chemosphere*, 74, 583–589.

Mohan S., Gandhimathi R. (2009) Removal of heavy metal ions from municipal solid waste leachate using coal fly ash as an adsorbent. *Journal of Hazardous Materials*, 169, 351–359.

Nghiem L.D., Mornane P., Potter I.D., Perera J.M., Cattrall R.W., Kolev S.D. (2006) Extraction and transport of metal ions and small organic compounds using polymer inclusion membranes (PIMs). *Journal of Membrane Science*, 281, 7–41.

Obiri-Nyarko F., Grajales-Mesa S. J., Malina G. (2014) An overview of permeable reactive barriers for in situ sustainable groundwater remediation. *Chemosphere* 111, 243–259.

Ohto K., Inoue S., Eguchi N., Shinohara T., Inoue K. (2002) Adsorption behavior of lead ion on calix[4]arene tetracarboxylic acid impregnated resin. *Separation Science and Technology*, 37, 1943-1958.

Pehlivan E., Altun T. (2007) Ion-exchange of Pb^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Cd^{2+}, and Ni^{2+} ions from aqueous solution by Lewatit CNP 80. *Journal of Hazardous Materials*, 140, 299-307.

Pospiech B., Kujawski W. (2015) Ionic liquids as selective extractants and ion carriers of heavy metal ions from aqueous solutions utilized in extraction and membrane separation. *Reviews in Chemical Engineering*, 31, 179-191.

Qureshi I., Memon S., Yilmaz M. (2009) Estimation of chromium(VI) sorption efficiency of novel regenerable p-tert-butylcalix[8]areneoctamide impregnated Amberlite resin. *Journal of Hazardous Materials*, 164, 675–682.

Qureshi I., Qazi M.A., Bhatti A.A., Memon S., Sirajuddin, Yilmaz M. (2011) An efficient calix[4]arene appended resin for the removal of arsenic. *Desalination*, 278, 98–104.

Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 12 lipca 2019 r. w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków, a także przy odprowadzaniu wód opadowych lub roztopowych do wód lub do urządzeń wodnych (Dz.U. 2019 poz. 1311)

Sliwa, W., Kozlowski, C., 2009. Calixarenes and Resorcinarenes. Synthesis, Properties and Applications. Wiley-VCH, Weinheim.

Suponik T. (2009) Zastosowanie żelaza metalicznego w technologii PRB. W: Rekultywacja i rewitalizacja terenów zdegradowanych (red. Malina G.). Zakład Poligraficzny Moś-Łuczak sp. j., PZITS o. Wielkopolski, Poznań, 161-172.

Van Nooten T., Diels L., Bastiaens L. (2008) Design of a multifunctional permeable reactive barrier for the treatment of landfill leachate contamination: laboratory column evaluation. *Environmental Science & Technology*, 42, 8890–8895.

Zawierucha I, Nowik-Zając A., Kozłowski C. (2019) Remediacja wód zanieczyszczonych metalami ciężkimi z użyciem modyfikowanych materiałów polimerowych. W: Praktyczne aspekty rekultywacji, rewitalizacji i remediacji (red. Bukowski Z., Malina G.), Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz, 169-180.

Zawierucha I., Kozlowski C., Malina G. (2012) Heavy metals removal from contaminated groundwater using permeable reactive barriers with immobilised membranes. W: Małoszewski P., Witczak S., Malina G. (Eds), Groundwater Quality Sustainability, IAH Book series: Selected papers on hydrogeology 17. CRC Press/Balkema Taylor and Francis Group, London, UK, chapter 6, 79-88.

Zawierucha I., Kozlowski C., Malina G. (2016) Immobilized materials for removal of toxic metal ions from surface/groundwaters and aqueous waste streams. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 18(4), 429-444.

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

Moje zainteresowania naukowe i badawcze koncentrują się na zagadnieniach z zakresu szeroko pojętej remediacji zanieczyszczonego środowiska gruntowo-wodnego. Od początku mojej działalności naukowej skupiam się na tematyce dotyczącej metod usuwania lub ograniczania rozprzestrzeniania zanieczyszczeń w tym środowisku. Na wybór tej tematyki badawczej niewątpliwy wpływ miały doświadczenia zdobyte podczas studiów doktoranckich na Wydziale Inżynierii i Ochrony Środowiska Politechniki Częstochowskiej oraz udział w projektach badawczych realizowanych w ramach zespołu pod przewodnictwem prof. dr. hab. inż. Grzegorza Maliny. W latach 2003-2004 brałam udział w projekcie badawczym **[PB5]**, pt.: „Natural attenuation processes in hydrocarbon contaminated soils" będącym programem wykonawczym współpracy międzyrządowej: RP i Niemcy (Załącznik 3). W projekcie tym zajmowałam się problematyką biodegradacji węglowodorów ropopochodnych w aspekcie zastosowania w bioremediacji zanieczyszczonego środowiska gruntowo-wodnego. Badania te kontynuowałam w ramach projektu **[PB3]** pt. „Wspomaganie procesów samooczyszczania środowiska gruntowo-wodnego zanieczyszczonego substancjami ropopochodnymi", którego byłam kierownikiem i głównym wykonawcą (Załącznik 3, 6). Uzyskane wyniki projektu zostały przedstawione w formie rozprawy doktorskiej pt. „Wspomaganie tlenowej biodegradacji substancji ropopochodnych w środowisku gruntowo-wodnym", oraz w publikacjach i doniesieniach konferencyjnych wymienionych w załączniku 3 (**[A8]**, **[A11-12], [RM17-18]**, **[AK25]**, **[AK27]**).

[A8] **Zawierucha I.**, Szewczyk A., Malina G. (2007) Effect of temperature on the biodegradation rate in oil hydrocarbons contaminated soil. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16, 3B, 520-524.

[A11] Malina G., **Zawierucha I.** (2007) Potential of bioaugmentation and biostimulation for enhancing intrinsic biodegradation in oil hydrocarbon-contaminated Soil. *Bioremediation Journal*, 11, 3, 2007, 141-147.

[A12] **Zawierucha I.**, Malina G. (2006) Bioaugmentation as a method of biodegradation enhancement in oil hydrocarbons contaminated soil. *International Journal of Ecohydrology and Hydrobiology*, 6, 1-4, 163-169.

[RM17] **Zawierucha I.**, Szewczyk A., Malina G. (2008) Biostymulacja przy użyciu substancji biogennych jako metoda wspomagania biodegradacji substancji ropopochodnych w gruncie. W: Rekultywacja i rewitalizacja terenów zdegradowanych (red. Malina G.), PZITS o. Wielkopolski, Poznań, 99-110, ISBN: 978-83-89696-26-6.

[RM18] **Zawierucha I.**, Szewczyk A., Malina G. (2007) Wspomaganie samooczyszczania gruntu zanieczyszczonego węglowodorami ropopochodnymi: wpływ dawki substancji powierzchniowo czynnej na biodegradację i aktywność dehydrogenaz. W: Rekultywacja i rewitalizacja terenów zdegradowanych (red. Goliński P.), PZITS o. Wielkopolski, Poznań, 237-246, ISBN: 978-83-60055-18-1.

[AK25] **Zawierucha I.**, Szewczyk A., Malina G. (2007) Combined enhancement of intrinsic biodegradation in oil-hydrocarbons contaminated soil, The 10th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST 2007), 5-7.09.2007, Kos, Greece. Materiały konf. str. 1654-1660.

[AK27] Malina G., **Zawierucha I.** (2005) Enhanced natural attenuation for risk reduction at oil hydrocarbons contaminated land, International Workshop "Current developments in remediation of contaminated lands" IUNG, 27-29.10.2005, Puławy. Materiały konf. str. 50-52.

Badania dotyczące biodegradacji substancji ropopochodnych w środowisku gruntowo-wodnym w latach 2009-2014 kontynuowałam w ramach współpracy Instytutu Chemii, Ochrony Środowiska i Biotechnologii AJD w Częstochowie (moja osoba) z Katedrą Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH w Krakowie (prof. dr hab. inż. Grzegorz Malina). Efekty wspólnych działań, dyskusji, analiz udokumentowane są pracami **[A6]**, **[A10]**, **[RM12]** i **[RM14-15]** (Załącznik 3). Kopie najważniejszych z nich (**[A6], [RM12]**) przedstawiono w załączniku 6.

[A6] **Zawierucha I.**, Malina G., Ciesielski W., Rychter P. (2014) Effectiveness of intrinsic biodegradation enhancement in oil hydrocarbons contaminated soil. *Archives of Environmental Protection*, 40, 1, 101-113.

[A10] **Zawierucha I.**, Malina G. (2011) Effects of oxygen supply on the biodegradation rate in oil hydrocarbons contaminated soil. *Journal of Physics Conference Series*, 289(1), 012035.

[RM12] **Zawierucha I.**, Malina G. (2011) Bioremediation of contaminated soils: Effects of bioaugmentation and biostimulation on enhancing biodegradation of oil hydrocarbons. W: "Bioaugmentation, biostimulation and biocontrol", Soil Biology Series Volume 28 (Eds: Singh A., Parmar N., Kuhad R.C.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 187-201, ISBN: 978-3-642-19768-0.

[RM14] **Zawierucha I.,** Malina G. (2010) Efektywność bioaugmentacji jako metody wspomaganego samooczyszczania w gruntach zanieczyszczonych węglowodorami ropopochodnymi. W: Rekultywacja i rewitalizacja terenów zdegradowanych (red. Malina G.). Zakład Poligraficzny Moś-Łuczak sp. j., PZITS o. Wielkopolski, Poznań, 247-259, ISBN: 978-83-89696-77-0.

[RM15] Zawierucha I., Szewczyk A., Malina G. (2009) Strategia redukcji zagrożenia środowiska gruntowo – wodnego zanieczyszczonego substancjami ropopochodnymi. W: Rekultywacja i rewitalizacja terenów zdegradowanych (red. Malina G.), PZITS o. Wielkopolski, Poznań, 181-192, ISBN: 978-83-89696-67-3.

Zdobyte doświadczenie naukowe dotyczące analizy rozkładu substancji ropopochodnych w gruncie zaowocowało współpracą z zespołem prof. dr hab. inż. Marka Kowalczuka z Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN w Zabrzu w ramach której powstała praca **[A7]** dotycząca oceny procesu degradacji mieszanek poliestrów aromatyczno-alifatycznych w glebie (Załącznik 3, 6).

[A7] Rychter P., Biczak R., Herman B., **Zawierucha I.**, Musiał M., Sobota M., Kowalczuk M. (2011) Environmental degradation of aromatic-aliphatic polyester blends. Evaluation of degradation products in soil and their phytotoxicological impact. *Polish Journal of Environmental Studies*, 20(4A), 293-298.

W latach 2003 - 2004 uczestniczyłam w V Ramowym Projekcie UE „WELCOME" (**[PB4]**, Załącznik 3), w którym pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Grzegorza Maliny (kierownika projektu) zajmowałam się tematyką migracji zanieczyszczeń nieorganicznych w środowisku gruntowo – wodnym oraz zagadnieniem immobilizacji zanieczyszczeń w osadach dennych. Jako członek zespołu z ramienia Politechniki Częstochowskiej w ramach tego projektu współpracowałam głównie z Wageningen University (Holandia) oraz Instytutem Ekologii Terenów Uprzemysłowionych (IETU) w Katowicach. W latach 2004 - 2008 współpracowałam z dr inż. Anną Szewczyk prowadzącą badania immobilizacji metali ciężkich w strefie saturacji w procesie biowytrącania, m.in. w ramach projektu badawczego pt.: „Opracowanie zrównoważonej strategii gospodarowania obszarami zanieczyszczonymi metalami ciężkimi", przyjętego do programu wykonawczego do umowy międzyrządowej o współpracy naukowej i naukowo-technicznej z rządem Flandrii (Belgia) i realizowanego przez zespoły prof. dr hab. inż. Grzegorza Maliny z Politechniki Częstochowskiej oraz prof. dr Ludo Diels z Flemish Organisation for Technology Research - VITO (Belgia), co zostało udokumentowane w następujących pracach **[RM16]**, **[RM19]**, **[A9]** i **[AK1]** (Załącznik 3). Kopię pracy **[RM16]** przedstawiono w załączniku 6.

[RM16] Szewczyk A., **Zawierucha I.**, Malina G., Diels L., Vanbroekhoven K., Van Roy S. (2009) The impact of buffering agents on bioprecipitation of heavy metals in saturated zone. W: Rekultywacja i rewitalizacja terenów zdegradowanych (red. Malina G.), PZITS o. Wielkopolski, Poznań, 173-180, ISBN: 978-83-89696-67-3.

[RM19] Szewczyk A., **Zawierucha I.**, Malina G. (2007) Wpływ wybranych dodatków organicznych na intensyfikację procesu biowytrącania metali ciężkich w środowisku gruntowo-wodnym.

W: Rekultywacja i rewitalizacja terenów zdegradowanych (red. Goliński P.), PZITS o. Wielkopolski, Poznań, 209-219, ISBN: 978-83-60055-18-1.

[A9] Szewczyk A., **Zawierucha I.**, Malina G. (2007) The impact of selected parameters on bioprecipitation of heavy metals in saturated zone. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16, 3B, 479-482.

[AK1] Szewczyk A., **Zawierucha I.**, Malina G. (2008) The effect of various carbon sources on stimulating bioprecipitation of heavy metals in the saturated zone, CONSOIL 2008: THEME E - REMEDIATION CONCEPTS & TECHNOLOGIES, VOLS 1-3, str. 864-872.

W okresie od 10.09.2010 do 09.09.2012 byłam kierownikiem i głównym wykonawcą projektu **[PB2]**, pt.: „Wykorzystanie procesów sorpcji i transportu przez immobilizowane membrany do usuwania metali ciężkich z zanieczyszczonych wód podziemnych i odcieków składowiskowych" (Załącznik 3, 6). Rolę członka zespołu badawczego w ramach tego projektu pełnił prof. dr hab. inż. Grzegorz Malina (Katedra Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH w Krakowie). W ramach tego projektu powstały publikacje naukowe **[O1-O5]** (Załącznik 5) wchodzące w skład mojego osiągnięcia naukowego. Wyniki analizy efektywności materiałów sorpcyjnych i immobilizowanych membran w technologii PRB zostały ponadto przedstawione w następujących pracach **[RM10-RM13]** i **[AK20]** (Załącznik 3). Wymiernym udokumentowanym efektem współpracy w ramach tego projektu jest również praca przeglądowa **[A4]** (Załącznik 3, 6).

[A4] **Zawierucha I.**, Kozlowski C., Malina G. (2016) Immobilized materials for removal of toxic metal ions from surface/groundwaters and aqueous waste streams. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 18(4), 429-444.

[RM10] **Zawierucha I.**, Kozlowski C., Malina G. (2012) Heavy metals removal from contaminated groundwater using permeable reactive barriers with immobilised membranes. W: Małoszewski P., Witczak S., Malina G. (Eds), Groundwater Quality Sustainability, IAH Book series: Selected papers on hydrogeology 17. CRC Press/Balkema Taylor and Francis Group, London, UK, chapter 6, 79-88, ISBN: 978-0-415-69841-2.

[RM11] **Zawierucha I.**, Malina G. (2012) Analiza porównawcza wybranych materiałów reaktywnych stosowanych w przepuszczalnych barierach aktywnych. W: Rekultywacja i rewitalizacja terenów zdegradowanych (red. Malina G.), PZITS o. Wielkopolski, Poznań, 173-184, ISBN: 978-83-89696-50-9.

[RM13] **Zawierucha I.**, Malina G. (2011) Zastosowanie żywic jonowymiennych do usuwania metali ciężkich z wód podziemnych przy użyciu przepuszczalnych barier aktywnych. W: Rekultywacja i rewitalizacja terenów zdegradowanych (red. Malina G.), PZITS o. Wielkopolski, Poznań, 175-184, ISBN: 978-83-89696-65-7.

[AK20] **Zawierucha I.** (2012) Laboratory study on permeable sorption barriers for treating of heavy metals contaminated groundwater, The 1st European Symposium "Remediation Technologies

and their Integration in Water Management", 25-26.09.2012, Barcelona, Spain. Materiały konf. str. 168.

W projekcie **[PB2]** do badań intensyfikacji procesu sorpcji wykorzystano ligandy makrocykliczne syntetyzowane w ramach współpracy naukowej przez zespół prof. dr hab. inż. Andrzeja Trochimczuka z Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej. Potwierdzeniem tej współpracy jest publikacja **[O4]** (Załącznik 5) oraz doniesienie konferencyjne **[AK10]** (Załącznik 3, 6).

[AK10] Nowik-Zajac A., **Zawierucha I.**, Kozłowski C., Trochimczuk A. (2018) Selective transport and removal of Ag(I) through polymer inclusion membrane containing calix[4]pyrrole derivative as a carrier, The 5th International Conference on Methods and Materials for Separation Processes "Separation Science – Theory and Practice", 26-30 sierpień 2018, Kudowa Zdrój. Materiały konf. str. 95

Kolejnym projektem, przyczyniającym się bezpośrednio do mojego osiągnięcia naukowego, jest projekt **[PB1]** pt. „Zastosowanie modyfikowanych materiałów polimerowych do usuwania toksycznych jonów metali z wód podziemnych w technologii przepuszczalnych barier sorpcyjnych" SONATA 10, którego również byłam kierownikiem i głównym wykonawcą (Załącznik 3, 6). Częściowe wyniki badań dotyczące zagadnienia stosowania impregnowanych żywic i immobilizowanych membran do usuwania jonów metali z wód i ścieków są przedstawione w publikacjach **[O6-O7]** (Załącznik 5). Ponadto w ramach jednego z zadań badawczych tego projektu dotyczącego modelowania geochemicznego PBS wypełnionej impregnowaną żywicą współpracowałam z dr inż. Katarzyną Pawluk (członek zespołu projektowego) z Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska SGGW w Warszawie. Analiza wyników badań w ramach tego zadania jest w opracowaniu. Pozostałe wyniki projektu **[PB1]** udokumentowane są pracami **[RM1-RM3]**, **[AK3-AK7]** i **[AK9]** (Załącznik 3).

[RM1] **Zawierucha I.**, Nowik-Zając A., Kozłowski C. (2019) Remediacja wód zanieczyszczonych metalami ciężkimi z użyciem modyfikowanych materiałów polimerowych. W: Praktyczne aspekty rekultywacji, rewitalizacji i remediacji (red. Bukowski Z., Malina G.), Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz, 169-180, ISBN: 978-83-8018-298-1.

[RM2] **Zawierucha I.** (2018) Modyfikowane materiały polimerowe do usuwania toksycznych jonów metali z roztworów wodnych. W: Remediacja, rekultywacja i rewitalizacja (red. Malina G.), PZITS Oddział Wielkopolski, Poznań, 127-138, ISBN: 978-83-64959-05-9.

[RM3] **Zawierucha I.** (2017) Zastosowanie modyfikowanej żywicy do usuwania toksycznych jonów metali z roztworów wodnych. W: Remediacja, rekultywacja i rewitalizacja (red. Malina G.), PZITS Oddział Wielkopolski, Poznań, 237-249, ISBN: 978-83-64959-50-9,

[AK3] **Zawierucha I.**, Nowik-Zając A., Kozłowski C. (2019) Impregnated Resins as Novel Sorbents for Removal of Toxic Metal Ions from Aqueous Solutions; 16th International Conference on Environmental Science and Technology CEST 2019, 4-7.09.2019, Rodos, Grecja. Materiały konf. (Dokument Elektroniczny nr CEST2019_00245).

[AK4] Nowik-Zając A., **Zawierucha I.**, Kozłowski C. (2019) Removal of Toxic Metal Ions through Polymer Inclusion Membranes Containing Macrocyclic Ligands as Carriers; 16th International Conference on Environmental Science and Technology CEST 2019, 4-7.09.2019, Rodos, Grecja, Materiały konf. (Dokument Elektroniczny nr CEST2019_00254).

[AK5] **Zawierucha I.**, Nowik-Zając A., Girek T. (2019) Arsenic removal by resin impregnated with cyclodextrin ligands; World Congress on Chemistry, 24-25.10.2019, Walencja, Hiszpania. Materiały konf. str. 30.

[AK6] **Zawierucha I.**, Nowik-Zając A., Kozłowski C. (2019) Transport ołowiu(II) przez plastyfikowane membrany zawierające pochodną rezorcynarenu jako przenośnik jonów; Mikrozanieczyszczenia w środowisku człowieka, 4-7.09.2019, Częstochowa. Materiały konf. str. 175.

[AK7] **Zawierucha I.** (2018) Application of impregnated resin for removal of mercury from aqueous solutions, 21th International Seminar on Physics and Chemistry of Solids and advanced materials (ISPCS), 10-13 czerwiec 2018, Częstochowa. Materiały konf. str. 62.

[AK9] **Zawierucha I.**, Nowik-Zajac A., Kozłowski C. (2018) Removal of mercury(II) from aqueous solutions using calixarene derivative immobilized into membranes and Amberlite XAD-4 resin, The 5th International Conference on Methods and Materials for Separation Processes "Separation Science – Theory and Practice", 26-30 sierpień 2018, Kudowa Zdrój. Materiały konf. str. 122.

Ponadto w ramach prowadzonej działalności statutowej wraz ze swoim zespołem badawczym współpracuję z dr Martą Kołodziejską z Katedry Metalurgii i Technologii Metali Politechniki Częstochowskiej. Wyniki badań dotyczących zastosowania impregnowanych żywic i immobilizowanych membran do selektywnego wydzielania jonów metali szlachetnych (złota i srebra) z roztworów wodnych zawarte są w publikacjach **[A1]**,**[A2]** i **[A5]** (Załącznik 3, 6).

[A1] Nowik-Zajac A., **Zawierucha I.**, Kozlowski C. (2019) Selective recovery of silver using an polymer inclusion membranes containing calixpyrroles. *RSC Advances*, 9(53), 31122-31132.

[A2] Kozlowski C., Kozlowska J., Kolodziejska M., **Zawierucha I.** (2018) Effective and selective Au(III) transport across plasticized membrane with resorcinarene derivatives. *Desalination and Water Treatment*, 128, 39-44.

[A5] **Zawierucha I.**, Kolodziejska M., Kozlowska J., Kozlowski C. (2016) Removal of gold(III) from hydrochloric acid solutions using N-diethylthiophosphoryl)-aza[18]crown-6 immobilized into membranes and Amberlite XAD-4 resin. *Separation Science and Technology*, 51, 2657–2666.

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

Działalność dydaktyczną prowadzę od czasu podjęcia w 2003 roku studiów doktoranckich na Wydziale Inżynierii i Ochrony Środowiska Politechniki Częstochowskiej. W czasie studiów doktoranckich prowadziłam na kierunku *Inżynieria Środowiska* następujące zajęcia: *Bioremediacja gruntów* (ćwiczenia), *Hydrologia i hydrogeologia* (laboratorium), *Hydrologia i gospodarowanie wodą* (ćwiczenia), *Zaopatrzenie w wodę i ochrona wód* (ćwiczenia), *Modelowanie zagrożeń środowiska* (laboratorium) i *Podstawy informatyki* (laboratorium).

W czasie zatrudnienia na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym (obecnie Wydział Nauk Ścisłych, Przyrodniczych i Technicznych) Uniwersytetu Humanistyczno-Przyrodniczego im. Jana Długosza w Częstochowie (UJD) prowadziłam następujące zajęcia dydaktyczne (pogrubioną czcionką zaznaczone te przedmioty, których byłam/jestem koordynatorem i autorem sylabusów):

- kierunek *Ochrona Środowiska* i *Ochrona Środowiska inż.* (I stopień): ***Systemy zaopatrzenia w wodę i usuwania ścieków*** (wykład, ćwiczenia), ***Inżynieria procesowa*** *(wykład, laboratorium, konwersatorium)*, ***Rekultywacja środowiska przyrodniczego*** *(wykład, konwersatorium, ćwiczenia)*, ***Ochrona wód i gospodarka wodna*** (wykład, ćwiczenia), ***Systemy ochrony powietrza*** (wykład), ***Gospodarka osadami ściekowymi*** (wykład, konwersatorium), ***Remediacja zanieczyszczonych gruntów i wód podziemnych*** (konwersatorium), ***Kontrola jakości atmosfery*** (wykład), ***Hydrologia i ochrona wód*** (wykład, ćwiczenia), ***Rekultywacja terenów poprzemysłowych*** (konwersatorium), ***Technologia wód i ścieków*** (wykład, laboratorium), ***Zagospodarowanie i unieszkodliwianie odpadów*** (wykład, konwersatorium), ***Gospodarka odpadami przemysłowymi*** (wykład, konwersatorium), *Biotechnologia przemysłowa* (laboratorium),
- kierunek *Chemia* (II stopień): ***Analiza wód i ścieków*** (wykład, laboratorium), ***Ochrona atmosfery*** (wykład, konwersatorium),
- kierunek *Biotechnologia* (I stopień): *Inżynieria bioprocesowa* (ćwiczenia), *Techniki elektromigracyjne w bioanalityce* (laboratorium), ***Język angielski w* biotechnologii** (ćwiczenia), ***Organizacja produkcji i zapewnienia jakości*** (ćwiczenia),
- kierunek *Inżynieria Bezpieczeństwa* (I stopień): ***Podstawy chemii środowiska*** (laboratorium), ***Monitorowanie zagrożeń bezpieczeństwa*** (wykład, konwersatorium),

- kierune*k Inżynieria Bezpieczeństwa* (II stopień): ***Zagrożenia biologiczne i mikrobiologiczne*** (wykład, laboratorium), ***Fizykochemiczne metody kontroli zanieczyszczeń środowiska*** (wykład, laboratorium), ***Gospodarka odpadami niebezpiecznymi*** (wykład, konwersatorium),
- kierunek *Kosmetologia* (I stopień): *Podstawy chemii* (laboratorium), ***Podstawy toksykologii*** (wykład, konwersatorium).

W ramach działalności dydaktycznej opracowałam programy i treści przedmiotów inżynierskich, doskonaliłam istniejące i organizowałam nowe stanowiska laboratoryjne w zakresie zajęć laboratoryjnych oraz przygotowywałam instrukcje do ćwiczeń.

Byłam promotorem 12 prac magisterskich oraz 16 prac licencjackich i inżynierskich a także recenzentem 23 prac dyplomowych.

W roku akademickim 2013/2014 roku byłam opiekunem studentów I roku kierunku *Ochrona Środowiska* (studia stacjonarne inż.) oraz opiekunem praktyk studenckich realizowanych na III roku tego kierunku. Od roku 2018 jestem opiekunem studentów - stażystów z Czerkaskiego Uniwersytetu Narodowego im. Bohdana Chmielnickiego (Ukraina) oraz współopiekunem studentów podwójnego dyplomowania z Wschodnioeuropejskiego Uniwersytetu Narodowego im. Łesi Ukrainki w Łucku (Ukraina) na kierunku *Chemia*.

W okresie od 21 stycznia do 22 marca 2019 roku opiekowałam się (jako „mentor") studentami - stażystami z Malta College of Arts, Science and Technology realizującymi badania naukowe w ramach programu Erasmus+ (Załącznik 6).

W roku 2014, 2015 i 2017 prowadziłam zajęcia dydaktyczne z *Bioremediacji gruntów* oraz zajęcia seminaryjne z badań własnych odpowiednio dla studentów Universita degli Studi di Perugia (Włochy), Università degli studi di Cagliari (Włochy) i Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (Czechy) w ramach programu Erasmus/Erasmus+ (Załącznik 6). Pobyty te związane były także z wymianą doświadczeń naukowych.

Razem z Kołem Naukowym Studentów Wydziału Nauk Ścisłych, Przyrodniczych i Technicznych byłam odpowiedzialna za cykliczne Interdyscyplinarne Seminaria Studenckie "Forum Młodych Nauki", od planowania, po ich realizację i przewodniczenie sesji „Chemia, Ochrona Środowiska, Biotechnologia". W latach 2016-2017 współorganizowałam także I i II Częstochowskie Forum Młodych "#Nauka.Lubię to!" w zakresie organizacji i obsługi sesji posterowych. Ponadto byłam członkiem komitetów organizacyjnych następujących konferencji naukowych odbywających się w Częstochowie: 5th International Symposium on the Organic

Chemistry of Sulfur (ISOCS-25) (24-29 czerwiec 2012) oraz 57 Zjazdu Naukowego Polskiego Towarzystwa Chemicznego i Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego (14-18 wrzesień 2014). Podczas tych konferencji byłam odpowiedzialna za przygotowanie materiałów konferencyjnych, organizację przerw kawowych oraz organizację i obsługę sesji posterowych.

W latach 2012-2016 byłam członkiem Rady Programowej oraz Zespołu Kierunkowego ds. Jakości Kształcenia kierunku *Ochrona Środowiska* na ówczesnym Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym. Obecnie jestem członkiem Uczelnianej Komisji Wyborczej (kadencja 2019-2024) oraz członkiem Zespołu Kierunkowego ds. Jakości Kształcenia kierunku *Chemia* na Wydziale Nauk Ścisłych, Przyrodniczych i Technicznych Uniwersytetu Humanistyczno-Przyrodniczego im. Jana Długosza w Częstochowie (kadencja 2019-2023).

W okresie swojej pracy zawodowej wielokrotnie brałam udział w wydarzeniach mających na celu popularyzację nauki oraz promocję Wydziału i Uczelni, m.in.:

- prowadzenie stoiska chemików na „Dniu Różnorodności nie tylko Biologicznej" w nieczynnym zrewitalizowanym kamieniołomie „Lipówka" w Rudnikach k. Częstochowy,
- promocja badań naukowych i kierunków studiów podczas wyjazdów zagranicznych w ramach programu Erasmus i Erasmus+ (prezentacja multimedialna),
- wyjazdy do szkół (prezentacja multimedialna),
- pokazy i warsztaty chemiczne dla uczniów szkół podstawowych w siedzibie Uczelni.

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

W omawianym okresie pracy naukowej byłam autorem i współautorem 65 publikacji naukowych, w tym 53 prac z okresu po uzyskaniu stopnia doktora i 12 przed uzyskaniem stopnia doktora (pełny wykaz zamieszczono w Załączniku 3).

Wyniki prowadzonych przeze mnie badań były przedstawiane na 32 konferencjach naukowych i seminariach (16 międzynarodowych i 16 krajowych); podczas 30 konferencji występowałam jako autor prezentujący. Wygłosiłam na zaproszenie dwa wykłady. Pierwszy z nich zatytułowany „*Enhancing natural attenuation/intrinsic biodegradation of oil hydrocarbons in contaminated soil”* został wygłoszony podczas AGH Technical Workshop *Analysis and interpretation of biodegradation in soils and groundwater using physicochemical*

and molecular microbiological methods w dniach 15-16 marzec 2012 w Krakowie, natomiast drugi na temat "Zastosowanie materiałów odpadowych do usuwania metali ciężkich z wód podziemnych w technologii przepuszczalnych barier aktywnych" - w ramach XXVII Seminarium Szkoleniowego z cyklu *Zarządzanie Gospodarką Odpadami* w dniach 17-20 wrzesień 2014 w Zakopanem. Byłam również członkiem komitetu naukowego - Rady Programowej Konferencji Naukowo-Szkoleniowej „Praktyczne aspekty remediacji, rekultywacji i rewitalizacji" odbywającej się w Kołobrzegu w dniach 25 - 28 wrzesień 2019 oraz współprowadzącą sesje podczas cyklicznej Konferencji Naukowo – Szkoleniowej nt.: „Remediacja, rekultywacja i rewitalizacja".

W ramach swojej działalności naukowej wielokrotnie (> 20) recenzowałam manuskrypty publikacji w czasopismach naukowych, m.in. w: *Journal of Hazardous Materials, Waste Management, Molecules, Desalination and Water Treatment, Polymers, Environmental Science and Pollution Research, Scientific Review Engineering and Environmental Sciences, Soil and Sediment Contamination, Applied Soil Ecology, Environmental Technology, Water Science and Technology, Environmental Engineering and Management Journal, Fresenius Environmental Bulletin, African Journal of Microbiology Research, Ecohydrology and Hydrobiology, Bioremediation, Biodiversity and Bioavailability* oraz *Chemistry, Environment, Biotechnology*.

Odbyłam 3 staże zagraniczne w ramach programu Erasmus/Erasmus+ w Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (Czechy), Università degli studi di Cagliari (Włochy) oraz Universita degli Studi di Perugia (Włochy).

W okresie po uzyskaniu stopnia doktora dwukrotnie (w 2009 i 2018 roku) otrzymałam indywidualną Nagrodę Rektora UJD w Częstochowie (III stopnia) za szczególne osiągnięcia w pracy (Załącznik 6).

Byłam kierownikiem 3 projektów badawczych finansowanych w drodze konkursów krajowych oraz członkiem zespołów badawczych w 2 projektach programów międzynarodowych. Oprócz tego byłam kierownikiem 4 grantów uczelnianych oraz brałam udział jako wykonawca w 4 projektach realizowanych w ramach działalności statutowej (szczegółowy wykaz przedstawiono w załączniku 3).

Zdobyte doświadczenie projektowe w badaniach nad materiałami polimerowymi pozwoliło mi na zostanie członkiem zespołu badawczego z ramienia UJD w projekcie złożonym do NCBiR w kwietniu 2020 w ramach konsorcjum naukowego z Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN w Zabrzu i Katedrą Biomateriałów i Kompozytów AGH

w Krakowie. Projekt badawczy został złożony w ramach Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych „Nowoczesne technologie materiałowe" – TECHMATSTRATEG III w obszarze „Technologie materiałów funkcjonalnych i materiałów o projektowanych właściwościach"; tytuł projektu „Opracowanie technologii wytwarzania biodegradowalnych filamentów do otrzymywania metodą druku 3D polimerowych chirurgicznych systemów resorbowalnych z pamięcią kształtu na potrzeby medycyny regeneracyjnej i inżynierii tkankowej".

Jestem ponadto członkiem Polskiego Towarzystwa Chemicznego Oddział Częstochowa oraz opiekunem Laboratorium Chemii Środowiska. Na zlecenie MANULI HYDRAULICS MANUFACTURING Sp. z o.o., Mysłowice wykonałam ekspertyzę dotycząca analizy zawartości jonów miedzi i cynku w próbkach drutów zgodnie z normą ASTM D 2969. Byłam również zaangażowana w przygotowanie założeń i tematyki cyklu artykułów „Natura w cieniu cywilizacji" na potrzeby opracowania wniosku na konkurs Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Katowicach: „Cykliczne upowszechnianie przez media zasady zrównoważonego rozwoju i informacji dotyczących źródeł i systemów finansowania ochrony środowiska w 2016 roku" w ramach współpracy z redakcją „Częstochowskie 24".

Ciągłą potrzebę nauki i zdobywania nowych kwalifikacji zawodowych realizuję poprzez udział w różnych kursach i szkoleniach, m.in.:

- Szkolenie Statistica – poziom podstawowy i zaawansowany, Częstochowa, 26-20.03.2018, 04-06.04.2018 oraz 16-21.04.2018 (w ramach projektu Nauczyciel – Zawodowiec. Rozwój kadry dydaktycznej Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie)
- Kurs „Zarządzanie informacją", Częstochowa, 19-26.02.2018 (w ramach projektu Nauczyciel – Zawodowiec. Rozwój kadry dydaktycznej Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie)
- Szkolenie warsztatowe „Platforma Moodle w szkole wyższej" Częstochowa, Akademia im. Jana Długosza w Częstochowie, 09.12.2016-06.02.2017
- Szkolenie online „e-learning w szkole wyższej", Częstochowa, Akademia im. Jana Długosza w Częstochowie, 07.11-04.12.2016
- Warsztaty szkoleniowe „Efektywne zarządzanie projektem naukowym" Warszawa 14.10.2014

Podsumowanie tabelaryczne osiągnięć naukowych, z podziałem na okres przed uzyskaniem stopnia doktora i po uzyskaniu stopnia doktora, przedstawiłam w tabeli 1.

Tabela 1. Wykaz osiągnięć naukowych przed i po uzyskaniu stopnia doktora. WoS – Web of Science, JCR – Journal Citation Report. Data sporządzenia wykazu 27.05.2020.

Dorobek naukowo-badawczy	Przed doktoratem	Po doktoracie	SUMA
Sumaryczna liczba punktów MNiSW Przed 2019 2019 – 2020	**37** 37 -	**570** 270 300	**607** 307 300
Sumaryczny IF	1,254	21,776	23,030
Indeks Hirscha wg bazy Scopus	b.d.	5	5
Indeks Hirscha wg bazy WoS	b.d.	5	5
Sumaryczna liczba cytowań wg Scopus; w tym bez autocytowań	b.d.	91; 78	91; 78
Sumaryczna liczba cytowań wg WoS; w tym bez autocytowań	b.d.	73; 64	73; 64
Sumaryczna liczba publikacji	**12**	**53**	**65**
Publikacje w czasopismach z listy JCR	2	14	16
Publikacje zamieszczone na WoS i/lub w bazie Scopus	2	1	3
Materiały konferencyjne zamieszczone na WoS i/lub w bazie Scopus	2	-	2
Rozdziały w monografiach (w języku angielskim / w języku polskim)	3 (- / 3)	16 (3 / 13)	19 (3 / 16)
Materiały konferencyjne (oprócz zamieszczonych na WoS i/lub w bazie Scopus) (w języku angielskim / w języku polskim)	3 (3 / -)	22 (21 / 1)	25 (24 / 1)
Udział w konferencjach i seminariach (krajowe/międzynarodowe)	3 (2 / 1)	27 (13 / 14)	30 (15 / 15)
Projekty badawcze ogółem (w tym jako kierownik) - krajowe realizowane w drodze konkursu - międzynarodowe - inne (w ramach działalności statutowej)	**4 (1)** 1 (1) 2 1	**9 (6)** 2 (2) - 7 (4)	**13 (7)** 3 (3) 2 8 (4)

Promotor prac inżynierskich i dyplomowych oraz magisterskich	-	28	28
Nagrody i wyróżnienia	-	2	2

……..……..…….

(podpis wnioskodawcy)