

Bydgoszcz, 16.12.2016 r.

dr Elżbieta Radzymińska-Lenarcik
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich
Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej
Katedra Chemii Nieorganicznej
ul. Seminaryjna 3
85-326 Bydgoszcz

Centralna Komisja ds. Stopni i Tytułów

**ZASTOSOWANIE ALKILOWYCH POCHODNYCH IMIDAZOLU
DO SEPARACJI I ODZYSKU WYBRANYCH METALI CIĘŻKICH
Z ROZTWORÓW MODELOWYCH I ŚRODOWISKOWYCH**

Załącznik 2. AUTOREFERAT DO WNIOSKU HABILITACYJNEGO

Posiadane dyplomy i stopnie naukowe:

- 1999** uzyskanie stopnia **doktora nauk chemicznych** w zakresie technologii chemicznej - Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska
- 1987** ukończenie studiów podyplomowych w zakresie **ochrony środowiska**, Politechnika Wrocławska, Wydział Chemiczny
- 1978** Uzyskanie dyplomu **ukończenia studiów magisterskich** na Wydziale Mat.Fiz.Chem., Uniwersytet Łódzki, kierunek: chemia

Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:

- 1991–1995 asystent w Zakładzie Chemicznej Technologii Ochrony Środowiska Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy
- 1996-1999 asystent w Zakładzie Chemii Koordynacyjnej Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy
- od 1999 r. adiunkt w Katedrze Chemii Nieorganicznej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy (dawniej ATR)

DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWA:

- autorstwo lub współautorstwo **24** artykułów naukowych, w tym po doktoracie **20**, z czego **18** z Listy Filadelfijskiej
- **sumaryczny Impact Factor** według Journal Citation Report publikacji po doktoracie IF = **18,616** (w odniesieniu do roku opublikowania według Web of Science), średni IF na jedną publikację (po doktoracie) = **0,93**
- współautorstwo **13**-stu rozdziałów w monografiach, w tym 5 w materiałach konferencji zagranicznych
- całkowita **liczba cytowań** publikacji według Web of Science **110** (bez autocytowań **23**) – dane z października 2016
- **indeks Hirscha** = **7** (według Web of Science w październiku 2016)
- **całkowity Impact Factor** publikacji będących podstawą rozprawy habilitacyjnej **11,607** (zgodny z rokiem opublikowania), średni IF na publikację **0,97**, średni udział własny w publikacji **81,82 %**
- **członek Komitetu Organizacyjnego Międzynarodowych Konferencji *International Symposium on Physicochemical Methods of Separations* “Ars Separatoria”** w latach 2005-2010
- **asystent redaktora naczelnego** czasopisma „Ars Separatoria Acta” w latach 2008 – 2011
- **redaktor naczelny** czasopisma naukowego „Ars Separatoria Acta” od roku 2012, obecnie na liście MNiSW w części B poz.214, nr ISSN 1731-6340, punktów 6
- pełnienie funkcji **promotora pomocniczego** pracy doktorskiej pani mgr Agnieszki Wasilewskiej,
promotor: dr hab. Włodzimierz Urbaniak (Uniwersytet Adama Mickiewicza), tytuł roboczy pracy doktorskiej: Otrzymywanie i właściwości nowych barwnych związków metalokompleksowych typu 1:2 zawierających pochodne kwasu 1,2-dwuazooksy-4-naftalenosulfonowego oraz pochodne β-diketonów. (przewidywany termin obrony czerwiec, 2017 roku)

Zastosowanie alkilowych pochodnych imidazolu do separacji i odzysku wybranych metali ciężkich z roztworów modelowych i środowiskowych

Wprowadzenie

Odpady przemysłowe od lat stanowią balast, który negatywnie wpływa na środowisko. Hutnictwo, przemysł chemiczny, papierniczy, energetyka oparta na spalaniu węgla kamiennego i brunatnego, komunikacja, gospodarka komunalna, wysypiska odpadów, kopalnictwo rud, jak również rolnictwo (nawozy i środki ochrony roślin) wytwarzają duże ilości odpadów w postaci pyłów, szlamów oraz ścieków, które coraz częściej w sposób pośredni lub bezpośredni są wprowadzane do środowiska, zwłaszcza w krajach rozwijających się. Odpady te są poważnym zagrożeniem dla środowiska naturalnego, gdyż niejednokrotnie zawierają metale ciężkie (Cu, Co, Cr, Cd, Fe, Zn, Pb, Sn, Hg, Mn, Ni, Mo). W przeciwieństwie do organicznych zanieczyszczeń, metale ciężkie nie są biodegradowalne i mają tendencję do kumulowania się w organizmach żywych (Hg, Pb, Cd, Tl, Ba). Niektóre metale ciężkie są stałymi i niezbędnymi składnikami organizmów żywych (Fe, Zn, Cu, Mn, Co, Cr), inne są dla organizmu szkodliwe, toksyczne lub kancerogenne w zależności od form, w jakich występują (specjacji) [1-3]. Oddziaływanie na organizmy żywe zależy od stężeń metali. Zjawisko to opisują krzywe Bertranda [4]. Metale ciężkie, które pełnią funkcje mikroelementów w organizmach żywych występują zazwyczaj w ilościach śladowych, ściśle określonych dla danego gatunku. Zarówno ich niedobór, jak i nadmiar wpływa szkodliwie na te organizmy. Natomiast metale uważane za toksyczne są powszechnymi zanieczyszczeniami ekosystemu środowiskowego (Hg, Cd, Pb, Cr, Ni, Zn, Cu). Najsilniejsze właściwości toksyczne mają nieorganiczne związki metali rozpuszczalne w wodzie i silnie dysocjujące, gdyż łatwo przenikają przez błony komórkowe i dostają się do narządów wewnętrznych [5]. Są to najczęściej akwakompleksy tych metali ($[M(H_2O)_6]^{2+}$, $[M(H_2O)_6]^{3+}$). Z drugiej strony, metale ciężkie mają duże znaczenie praktyczne i są niezbędne w funkcjonowaniu i życiu człowieka. Prowadzone są zatem działania, które mają na celu wyizolowanie metali z odpadów i ścieków zwłaszcza, że zasoby naturalnych rud są ograniczone [6, 7]. Proces ten jest korzystny dla środowiska, bowiem poprzez usunięcie metali ciężkich z odpadów można spowodować zmianę ich klasyfikacji na mniej niebezpieczne. Najbardziej rozwinięte kraje zmieniły swoje przepisy wewnętrzne, dotyczące ochrony środowiska i wprowadziły bardziej rygorystyczne normy, określające minimalne dopuszczalne ilości zanieczyszczeń dla powietrza, wody oraz gleby. Sytuacja ta zmusza również Polskę do określenia nowych ustaleń prawnych, jak efektywnie zużywać zasoby naturalne oraz jak pozyskiwać surowce z odpadów [8]. W związku z tym rośnie zainteresowanie rozwojem nowych badań, jak również następuje zmiana podejścia do procesów odzysku metali ciężkich z odpadów przemysłowych [8, 9]. Odzysk cennych metali z odpadów i ścieków pozwala zaoszczędzić znaczne ilości surowców naturalnych. Zapotrzebowanie na metale, w tym zwłaszcza żelazo, systematycznie rośnie, o czym mogą świadczyć wysokie ceny ich sprzedaży. Aktualne ceny sprzedaży wybranych metali zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Tabela cen 1Mg metali na Gieldzie Londyńskiej w USD w dniu 31.10.2016 roku wg [10]

miedź	olów	cynk	cyna	nikiel	glin
4862,50	2052,00	2444,00	20990,00	10445,00	1732,00

Metody odzyskiwania metali

Wysokie ceny czystych metali stwarzają dogodne warunki dla poszukiwania nowych technik ich otrzymywania [11-14]. Metody te można podzielić na:

- ✓ pirometalurgiczne, opierające się na wysokotemperaturowej przeróbce surowców metalonośnych [12, 13],
- ✓ hydrometalurgiczne, polegające na stosowaniu metod fizykochemicznych do wydzielania metali z roztworów wodnych [14-20].

Wybór technologii determinowany jest przez poziom zawartości metali użytecznych w surowcach.

Metodami pirometalurgicznymi otrzymuje się bezpośrednio z rud największą ilość metali (żelazo, miedź, ołów, cynk, nikiel).

Większość światowej produkcji złota, palladu, platynowców, lantanowców, a w ostatnich latach również miedzi, cynku, niklu oraz kobaltu otrzymuje w wyniku procesu hydrometalurgicznego.

W hydrometalurgii do najważniejszych metod wydzielania i separacji jonów z roztworów wodnych należą:

- ekstrakcja rozpuszczalnikowa [13, 14, 17-20, H-1–H-7],
- wymiana jonowa [21-23],
- flotacja jonowa [24, 25],
- transport przez membrany [26, 27, H-8–H-10].

Procesy hydrometalurgiczne mogą skutecznie uzupełniać technologie hutnicze w operacjach uzdatniania surowca lub przetwarzania odpadów poprodukcyjnych. Są również bardziej korzystne dla środowiska, gdyż nie emitują szkodliwych gazów i pyłów. W procesach tych na szczególną uwagę zasługuje etap separacji jonów metali w roztworze wodnym, który decyduje o stopniu czystości otrzymanych produktów.

Głównym celem moich badań było opracowanie efektywnych metod odzysku cennych gospodarczo, a szkodliwych dla środowiska metali z odpadów metalonośnych, takich jak: żużle, pyły, szlamy i ścieki. Po to aby zrealizować ten cel, prowadzono badania na roztworach modelowych, poszukując skutecznych metod i optymalnych warunków do separacji jonów metali [H-1–H-7, 28-40]. Dzięki tym badaniom zdobyte doświadczenia zastosowano do odzysku metali z odpadów, racjonalnie wybierając roztwory ługujące i trafnie dobierając ekstrahenty [41-43, H-11, H-12]. Dzięki temu udało się odzyskać ponad 90% metali zawartych w składowanych na hałdach odpadach pohutniczych [41, 42, H-11, H-12].

Do selektywnego wydzielania metali z wodnych roztworów modelowych i odpadowych stosowałam metodę ekstrakcji rozpuszczalnikowej oraz metodę transportu przez polimerowe membrany ciekłe.

Ekstrakcja rozpuszczalnikowa

W wielu publikacjach naukowych wykazano, że metodą przydatną do separacji lub usuwania jonów metali ciężkich z roztworów wodnych, w szczególności ze ścieków przemysłowych, z roztworów po ługowaniu rud bądź odpadów jest ekstrakcja rozpuszczalnikowa [43, 44, H-11].

Rozwój metod ekstrakcyjnego wydzielania metali pociąga za sobą konieczność poszukiwania nowych, specyficznych ekstrahentów, charakteryzujących się korzystnymi właściwościami, takimi jak: selektywność, szybkość zachodzenia procesu ekstrakcji i reekstrakcji, mała rozpuszczalność w fazie wodnej i niski koszt syntezy. Rolę taką spełniać mogą kwasy karboksylowe, pochodne kwasu fosforowego, złożone oksymy, pochodne amidów kwasowych, etery koronowe, pochodne ketonów, amin oraz pirydyny, jak również alkilowe pochodne imidazolu [13, 14, 44-57, H-1–H-7].

W procesach ekstrakcyjnych ważną rolę pełni rozcieńczalnik, który oczywiście musi być hydrofobowy oraz mieć zdolność do rozpuszczania danego ekstrahenta [44, 58]. Istotna ze względów ekonomicznych jest także jego dostępność, dlatego głównie stosuje się rozpuszczalniki węglowodorowe (np. naftę, benzynę). Z kolei ze względu na ochronę środowiska rozpuszczalnik powinien być biodegradowalny. Do badań nad możliwościami odzysku metali z roztworów modelowych jako główną metodę wybrałam ekstrakcję rozpuszczalnikową, czyli metodę podziału w układzie ciecz-ciecz, gdyż ilość technik badawczych dla trudno rozpuszczalnych w wodzie związków jest bardzo ograniczona. Poznanie liczby i wartości parametrów determinujących proces selektywnej ekstrakcji metali jest głównym celem realizowanych przez mnie badań. Metoda podziału, opisana przez Rydberga [59], pozwala ustalić: liczbę tworzących się w roztworze wodnym kompleksów oraz wyznaczyć odpowiadające im stałe trwałości. Ponadto umożliwia wyznaczenie liczby i składu kompleksów przechodzących do fazy organicznej oraz wyznaczenie odpowiadających im stałych podziału między fazę wodną a organiczną.

Metoda wyznaczania stałych równowag na podstawie badań ekstrakcyjnych w literaturze światowej stanowi nowość naukową. Szczególnie przydatna jest dla ligandów trudno rozpuszczalnych w wodzie, dla których nie można wyznaczać powszechnie stosowaną metodą potencjometryczną, stałych trwałości ich kompleksów z metalami. Zastosowanie nowej metody podziału w układzie ciecz-ciecz do wyznaczania stałych równowag zostało wielokrotnie sprawdzone, a wartości otrzymanych stałych

trwałości kompleksów były porównywalne z danymi wyznaczonymi metodą potencjometryczną, stosowaną dla rozpuszczalnych w wodzie ligandów [29-39, 60-66, H-1–H-7].

Nie rozważano zagadnień dotyczących specjacji metali w badanych roztworach, bowiem zastosowana metodyka nie pozwalała na jednoznaczne określenie form specjacyjnych, mimo że obserwowano wpływ tych form na proces ekstrakcji. Wyjaśnienie tego wpływu jest na tyle złożone, że może stanowić temat oddzielnej rozprawy habilitacyjnej.

Konwencjonalne metody, takie jak ekstrakcja rozpuszczalnikowa, wymiana jonowa, nie nadają się do oczyszczania dużej objętości wód o małej zawartości metali ciężkich (ścieków, roztworów potrawiennych i produktów ługowania surowców metalonośnych). W takich przypadkach bardziej skuteczne są techniki membranowe.

Techniki membranowe

Separacja jonów metali z roztworów wodnych coraz częściej realizowana jest z wykorzystaniem technik membranowych. Membranowe techniki, takie jak: odwrócona osmoza, nanofiltracja, ultrafiltracja, elektrodializa są stosowane do oczyszczania i odsalania wód na skalę przemysłową [67-70]. Interesującą grupę stanowią membrany ciekłe, w których przebiega etap ekstrakcji i reekstrakcji. W porównaniu z tradycyjnymi metodami separacji jonów metali z wodnych roztworów, transport jonów przez ciekłe membrany ma kilka zalet. Ciekła membrana stanowi oddzielną, organiczną fazę oddzielającą dwie różne fazy wodne. Procesy membranowe charakteryzują się lepszym wykorzystaniem przenośnika jonów (ekstrahenta), znajdującego się w fazie organicznej (membranie) w stosunku do tradycyjnego układu ekstrakcyjnego [71-73]. Ponadto pozwalają uniknąć zagrożeń dla środowiska wynikających z rozpuszczalności w wodzie i właściwości toksycznych rozpuszczalników.

Spośród wszystkich typów ciekłych membran, najwyższą stabilność wykazują polimerowe membrany inkluzyjne. Otrzymuje się je przez wylewanie roztworu będącego mieszaniną odpowiedniego polimeru, plastyfikatora i przenośnika jonów na obojętne podłoże. Jest to dogodna technika, gdyż pozwala łatwo modyfikować skład membrany, co jest bardzo istotne, gdyż dzięki temu można wpływać na efektywność i selektywność separacji jonów metali. Selektywność i stabilność działania ciekłych membran zależy w znacznym stopniu od właściwości fizykochemicznych plastyfikatora oraz przenośnika jonów [72, 73]. Tego typu membrany stosowałam w badaniach dotyczących selektywnej separacji jonów Zn, Cu, Co oraz Ni z roztworów modelowych. Większość komercyjnych ekstrahentów, które dotychczas stosowane były w roli przenośników jonów metali nieżelaznych w procesie transportu przez ciekłe membrany nie wykazuje wystarczająco wysokiej selektywności w stosunku do szeregu metali. Z tego względu celowe staje się zatem poszukiwanie nowych, selektywnych przenośników, które pozwolą na rozdzielanie jonów metali z roztworów wodnych.

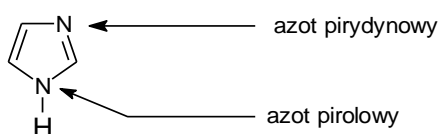
Doświadczenia nabyte podczas badania i analizy procesów zachodzących podczas ekstrakcji rozpuszczalnikowej umożliwiły mi określenie optymalnych warunków prowadzenia procesu transportu membranowego, jak również pozwoliły na dobór odpowiedniego nośnika do selektywnego odzysku pożądanego metalu z mieszaniny.

Proces membranowy z użyciem polimerowych membran inkluzyjnych (PIM) pozwala osiągnąć dwa zasadnicze cele, mianowicie oczyszczać roztwory z kationów metali, a także rozdzielać ich mieszaniny [74-88, H-8–H-10]. Osiągnięcie tych celów zależy od trafnego doboru przenośnika jonów metali oraz warunków prowadzenia eksperymentu.

Jako ekstrahenty w ekstrakcji rozpuszczalnikowej oraz jako nośniki w procesach membranowych wybrałam trudno rozpuszczalne w wodzie alkilowe pochodne imidazolu (1,3-diazolu).

Właściwości alkilowych pochodnych imidazolu

W badaniach własnych jako grupę ligandów wybrałam alkilowe pochodne imidazolu, którego wzór cząsteczki przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Wzór chemiczny cząsteczki imidazolu

Tę grupę trwałych heterocyklicznych zasad organicznych do ekstrakcji rozpuszczalnikowej kationów, takich jak Cu^{2+} , Hg^{2+} , Co^{2+} , Pb^{2+} i Zn^{2+} polecano w patentach [55, 56]. Proponowano w nich złożone pochodne imidazolu, zawierające w podstawnikach w pozycji 1,2 bądź 1,2,4,5 duże grupy alkilowe mające od 6 do 40 atomów węgla lub grupy cykloalkilowe złożone z 5-12 atomów węgla.

Do badań własnych wybrałam związki należące do szeregów homologicznych 1-alkiloimidazoli, 2-alkiloimidazoli, 1,2-dialkiloimidazoli oraz 1,4-dialkiloimidazoli, mające stosunkowo niewielkie podstawniki alkilowe, zawierające od 4 do 16 atomów węgla [28-40, 63, 74-81, 84, 85, 87-89, H-1–H-12]. Począwszy od pochodnych alkilowych zawierających pięć atomów węgla w podstawniku związki te są trudno rozpuszczalne w wodzie, co ma znaczenie praktyczne, gdyż mogą być zastosowane w ekstrakcji rozpuszczalnikowej metali (jako ekstrahenty) lub w innych metodach separacyjnych, np. jako nośniki kationów metali w polimerowych membranach inkluzyjnych.

Alkilowe pochodne imidazolu stanowią dogodną grupę trwałych zasad, których właściwości można stosunkowo łatwo modyfikować, zmieniając wielkość grupy alkilowej i jej położenie w pierścieniu imidazolowym [28-40, 60-66, 90, H-1–H-6]. Na zasadowość pary elektronowej pirydynowego atomu azotu można wpływać, wprowadzając odpowiednie podstawniki do pierścienia imidazolowego [91], o czym świadczą zestawione w tabeli 2 wartości stałych dysocjacji (pK_a) ich protonowanych form ($[\text{HL}^+]$).

Tabela 2. Zmiana zasadowości alkiloimidazoli w zależności od położenia i ilości grup alkilowych wg [91], w temperaturze 25°C, moc jonowa roztworu wodnego $I = 0,5 \text{ mol/dm}^3$ (KNO_3)

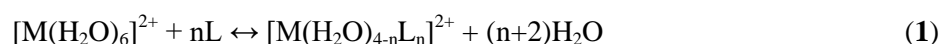
Szereg homologiczny	Równanie liniowe opisujące zasadowość $\text{pK}_a = an + b$
1-alkiloimidazole	$\text{pK}_a = 0,0222 n + 7,165$
1,2-dialkiloimidazole	$\text{pK}_a = 0,0432 n + 8,01$
1,2,4-trialkiloimidazole	$\text{pK}_a = 0,0503 n + 8,46$
1,4-dialkiloimidazole	$\text{pK}_a = 0,0279 n + 7,79$
2-alkiloimidazole	$\text{pK}_a = 0,0349 n + 7,87$

n – oznacza sumę atomów węgla w podstawnikach alkilowych homologów

Wartość wyrazu wolnego (stałej „b”) w przedstawionych w tabeli 2 równaniach liniowych może być podstawą do porównania zasadowości tych szeregów.

Umieszczenie grupy alkilowej w pozycji 1 w cząsteczce imidazolu zmniejsza rozpuszczalność w wodzie cząsteczki (efekt hydrofobowy) i minimalnie zwiększa jej zasadowość oraz właściwości kompleksotwórcze (pK_a imidazolu w temperaturze 25°C wynosi 7,14 [92]). Przy tym zachowany zostaje udział składowej $\pi_{\text{M} \rightarrow \text{L}}$ w połączeniach kompleksowych z kationami metali.

Wprowadzenie nawet niewielkiej grupy alkilowej w pozycje 2 lub 4 pierścienia imidazolu podwyższa silnie zasadowość cząsteczki (tab. 2). 2- i 4-Alkiloimidazole są bardziej twardymi zasadami niż imidazol i 1-alkiloimidazole. Wzrost twardości zasady powoduje zmniejszenie udziału składowej $\pi_{\text{M} \rightarrow \text{L}}$ w tworzeniu związków kompleksowych. Grupa znajdująca się w pozycji α względem donorowego (pirydynowego) atomu azotu (pozycje 2 lub 4) w alkiloimidazolach stanowi zawadę steryczną w procesie tworzenia się kompleksów z kationami metali, co w konsekwencji obniża ich stałe trwałości (tzw. efekt steryczny). Wpływ zawady przestrzennej zależy również od właściwości jonów metali. Utrudnia bowiem tworzenie się kompleksów oktaedrycznych lub o kształcie zbliżonym do oktaedru. Efekt steryczny nie utrudnia tworzenia się kompleksów o kształcie czworościanu lub do niego zbliżonym. Może nawet wpływać na zwiększenie sumarycznych stałych trwałości niektórych kompleksów następczych ML_n . Zjawisko to można zaobserwować dla tych etapów kompleksowania, dla których w roztworze obok kompleksów oktaedrycznych typu $[\text{M}(\text{H}_2\text{O})_6\text{L}_n]^{2+}$ tworzą się połączenia tetraedryczne lub zbliżone do tetraedru $[\text{M}(\text{H}_2\text{O})_{4-n}\text{L}_n]^{2+}$:



W takim przypadku sumaryczna stała trwałości β_n jest sumą stałych trwałości kompleksu 6-koordynacyjnego ($\beta_{n(o)}$) i 4-koordynacyjnego ($\beta_{n(t)}$) ($\beta_n = \beta_{n(o)} + \beta_{n(t)}$) [61, 63, 65, 66, H-2–H-6].

Obiekty badań własnych

Obiektami moich zainteresowań naukowych były:

- modelowe wodne roztwory (azotanowe, siarczanowe i chlorkowe) kationów Cu^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} i Pd^{2+} . Metale te należą do pierwszego szeregu metali przejściowych, różnią się liczbą elektronów w podwarstwie 3d,
- trudno rozpuszczalne w wodzie alkilowe pochodne imidazolu. Stanowią one dogodną grupę ekstrahentów w procesach ekstrakcji, jak i nośników jonów metali przez membrany. Ich właściwości można modyfikować poprzez zmianę wielkości i położenia podstawników w pierścieniu imidazolowym. Modyfikacja ta wpływa nie tylko na właściwości zasadowe (właściwości donorowe) i rozpuszczalność pochodnych imidazolu w wodzie, ale również może powodować zawadę przestrzenną w procesie kompleksowania. Dzięki tym efektom zmienia się trwałość i struktura tworzonych przez nie kompleksów z kationami metali. Mogą więc służyć do selektywnej separacji kationów metali, jak również do odzysku metali z odpadów metalonośnych,
- odpady metalonośne – szlamy po produkcji cynku oraz szlamy poneutralizacyjne po produkcji miedzi. Odpady te znajdują się na hałdach na terenie zakładów produkujących cynk i miedź. W skład nich wchodzi As, Cd, Pb, Cu, Ni, Zn, Cr.

Cel badań

Głównym celem moich badań było poszukiwanie optymalnych metod i warunków dla odzysku metali ciężkich z odpadów metalonośnych za pomocą ekstrakcji rozpuszczalnikowej i technik membranowych. Po to aby ten cel zrealizować, poszukiwałam różnic w procesach tworzenia się, trwałości i strukturze oraz we właściwościach ekstrakcyjnych kompleksów kationów metali w roztworach modelowych. Założyłam, że różnice te mogą być generowane przez dobór odpowiedniego typu ekstrahenta (alkilowej pochodnej imidazolu) i trafnie dobranego rozpuszczalnika. Doświadczenia zdobyte w badaniach roztworów modelowych wykorzystałam w praktyce przy właściwym doborze ekstrahenta, który zapewnił skuteczny i selektywny odzysk pożądanego metalu z odpadów przemysłowych.

Założone cele badawcze osiągnięto poprzez:

1. wykonanie badań ekstrakcyjnych w układzie faza wodna – faza organiczna, celem uzyskania informacji na temat optymalnych warunków istotnych przy odzysku metali,
2. rejestrowanie widm absorpcyjnych w zakresie widzialnym fazy wodnej i organicznej celem uzyskania informacji na temat liczby i struktury tworzących się kompleksów,
3. zbadanie możliwości separacji i odzysku palladu z mieszanin Cu^{2+} – Pd^{2+} – Co^{2+} – Ni^{2+} z wykorzystaniem alkilowych pochodnych imidazolu jako ekstrahentów,
4. zbadanie możliwości separacji i odzysku miedzi oraz cynku z mieszanin Cu^{2+} – Zn^{2+} – Cd^{2+} – Co^{2+} – Ni^{2+} z wykorzystaniem alkilowych pochodnych imidazolu jako nośników metali w polimerowych membranach inkluzyjnych,
5. praktyczne wykorzystanie alkilowej pochodnej imidazolu jako ekstrahenta do odzysku cynku z odpadów pohutniczych metodą ekstrakcji rozpuszczalnikowej.

Wyniki i dyskusja badań własnych

Podstawę mojego osiągnięcia naukowego stanowi: 12 publikacji naukowych (H-1–H-12), opublikowanych w większości w czasopiśmie "Separation Science and Technology". Sześć publikacji poświęconych jest badaniom roztworów modelowych dotyczących składu, trwałości i struktury oraz właściwości ekstrakcyjnych kompleksów Cu^{2+} (H-1–H-5), a także Co^{2+} (H-6) z różnymi typami alkilowych pochodnych imidazolu. Badania te prowadzono metodą podziału w układzie dwufazowym ciecz-ciecz w temperaturze 25°C, przy stałej sile jonowej roztworu wodnego $I = 0,5 \text{ mol/dm}^3$ utrzymywanej przez dodanie kwasu azotowego(V) i azotanu(V) potasu. Ze względu na złożoność i rozległość problemu nie rozważano zagadnień dotyczących specjacji metali w badanych roztworach. Zagadnienia te mogą być dalszym etapem opisanych niżej badań, np. z wykorzystaniem dyfrakcji promieniowania rentgenowskiego w roztworze. Praca H-7 przedstawia możliwość separacji palladu z

mieszaniny jonów Co^{2+} – Ni^{2+} – Cu^{2+} – Pd^{2+} metodą ekstrakcji rozpuszczalnikowej. Jako ekstrahenta użyto w niej 1-heksylo-2-metyloimidazolu.

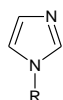
Kolejne prace (H-8–H-10) dotyczą badań transportu metali przez polimerowe membrany inkluzyjne, zawierające alkilowe pochodne imidazolu jako nośniki zapewniające selektywny odzysk miedzi lub cynku z mieszanin jonów metali nieżelaznych. Dzięki nabytemu doświadczeniu w badaniach ekstrakcyjnych określono najbardziej korzystne dla środowiska warunki prowadzenia procesu separacji membranowej. Proces transportu prowadzono w roztworach wodnych przy pH fazy zasilającej wynoszącym 6,0. Fazą odbierającą była woda redestylowana (pH ok.7).

Następne prace dotyczą możliwości odzysku cynku ze szlamów pchutniczych po produkcji cynku (H-11) oraz po produkcji miedzi (H-12) metodą ekstrakcji rozpuszczalnikowej, co ma istotne znaczenie dla ochrony środowiska. Po zbadaniu składu jakościowego odpadów, dzięki doświadczeniom zdobytym w badaniach roztworów modelowych, trafnie dobrano w zależności od pH roztworu po ługowaniu, ekstrahent. Procesy prowadzono w temperaturze 20-25°C, co również jest korzystne dla środowiska. Przedstawione w pracach (H-11, H-12) możliwości selektywnej separacji metali z odpadów zostały zgłoszone w krajowym i europejskim urzędzie patentowym [93-96].

Odzysk metali metodą ekstrakcji rozpuszczalnikowej z roztworów modelowych

- 1-alkiloimidazole jako ekstrahenty jonów Cu^{2+}

Obiektem badań w pracy (H-1) było 10 związków (rys. 2).



$\text{R} = \text{C}_4\text{H}_9 - \text{C}_{10}\text{H}_{21}, \text{C}_{12}\text{H}_{25}, \text{C}_{14}\text{H}_{29}, \text{C}_{16}\text{H}_{33}$

Rys.2. 1-Alkiloimidazole użyte w badaniach w pracy [H-1]

Zastosowano je jako ekstrahenty jonów Cu^{2+} z roztworów modelowych. liczba atomów węgla w prostym łańcuchu alkilowym zmieniała się od 6 do 16. Do badań metodą prób i błędów dobrano 8 skutecznych, niemieszkających się z wodą rozpuszczalników. Były nimi: benzen, toluen, *p*-ksylen, 1,2,3,4-tetrahydronaftalen, chlorek metylenu, chloroform, 2-etyloheksan-1-ol i cykloheksanol. W sumie zbadano 54 układy ekstrakcyjne, złożone z fazy wodnej (roztwór jonów Cu^{2+}) i organicznej, zawierającej rozpuszczony w rozpuszczalniku organicznym ekstrahent (1-alkiloimidazol).

Według Bjerruma [97] jony metali (M^{z+}) mające właściwości kompleksujące wiążą stopniowo aniony lub cząsteczki obojętne (L), które mogą tworzyć wiązanie koordynacyjne z jonami metali (równanie (2)):



w którym N – oznacza maksymalną liczbę koordynacyjną jonu centralnego.

W wyniku tego ustalają się równowagi stopniowego tworzenia kompleksów jednordzeniowych (ML , ML_2 , ..., ML_N).

Proces tworzenia się kompleksów Cu^{2+} w obu fazach badano, mierząc pH fazy wodnej oraz stężenie pozostałego w niej metalu. Wyniki badań podano w postaci wykresów zależności $\log D_\text{M} = f(\text{pH})$ (krzywe ekstrakcji) odrębnie dla każdego użytego w badaniach rozpuszczalnika. Przykładowe tego typu wykresy dla toluenu i chlorku metylenu przedstawiają odpowiednio rysunki 1 i 2 umieszczone w publikacji [H-1]. W badaniach wykazano, że dla wszystkich badanych rozpuszczalników krzywe ekstrakcyjne przesuwają się w kierunku niższych wartości pH w miarę wzrostu długości grupy alkilowej w pozycji 1 w cząsteczce. Oznacza to, że wzrost właściwości hydrofobowych cząsteczki ekstrahenta powoduje wzrost ekstrakcji Cu^{2+} . Inaczej mówiąc, zwiększanie długości grupy alkilowej powoduje, że przechodzenie miedzi do fazy organicznej następuje przy niższych wartościach pH, czyli proces ten wymaga mniejszego stężenia ekstrahenta. Jest to bardzo korzystne ze względów praktycznych (zmniejsza koszty procesu).

Proces ekstrakcji przebiega przy wartościach pH fazy wodnej poniżej 7. W przypadku gdy rozpuszczalnikiem jest toluen zakres ten zawiera się w granicach 4,25 – 5,5, natomiast dla chlorku metylenu krzywe ekstrakcyjne obejmują bardzo szeroki zakres pH, od 1,9 do 6,45. Różnice w wartościach parametru $\text{pH}_{1/2}$, oznaczającego 50% ekstrakcji metalu z roztworu, dla kompleksów Cu^{2+} z

1-butyloimidazolem oraz 1-heksadecyloimidazolem wynoszą ok. 1 jednostki pH w przypadku toluenu i ok. 2 jednostek pH dla chlorku metylenu, co może być wykorzystane w praktyce.

Wykazano również, że kation $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ tworzy z badanymi 1-alkoimidazolami tylko dwa kompleksy (ML i ML_2) o składzie $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_5\text{L}]^{2+}$ oraz $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4\text{L}_2]^{2+}$, przy czym obydwa mają szanse przechodzenia do fazy organicznej, o czym świadczą wysokie wartości ich stałych podziału (tab. 1 w pracy H-1). Warto podkreślić, że ich stałe trwałości wyznaczone metodą podziału w układzie ciecz-ciecz nie zależą od długości łańcucha alkilowego związanego w pozycji 1, mimo że stałe trwałości kompleksów Co^{2+} [60], Ni^{2+} [62] i Zn^{2+} [64] z 1-alkoimidazolami rosną liniowo ze zwiększaniem liczby atomów węgla w grupie alkilowej, o czym świadczą dane zestawione w tabeli 3. Przeczy to również znanej regule, jakoby wraz ze wzrostem zasadowości liganda rosła trwałość kompleksów [98].

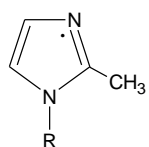
Tabela 3. Stałe trwałości kompleksów metali przejściowych z 1-alkoimidazolami w roztworach wodnych, w temperaturze 25°C, siła jonowa roztworu $I = 0,5 \text{ mol/dm}^3$ (KNO_3)

$\log \beta_n$	Co^{2+} [60]	Ni^{2+} [62]	Cu^{2+} [H-1]	Zn^{2+} [64]
$\log \beta_1$	$y = 0,302x + 1,653$	$y = 0,161x + 2,631$	4,15	$y = 0,229x + 1,986$
$\log \beta_2$	$y = 0,342x + 3,592$	$y = 0,164x + 5,290$	7,57	$y = 0,229x + 4,500$
$\log \beta_3$	$y = 0,377x + 4,881$	$y = 0,164x + 7,233$		$y = 0,229x + 6,700$
$\log \beta_4$	$y = 0,434x + 5,780$	$y = 0,166x + 8,653$		

x – liczba atomów węgla w podstawniku alkilowym w cząsteczce 1-alkoimidazolu

Kompleksy Cu^{2+} z 1-alkoimidazolami wiążą po dwa aniony azotanowe, dzięki czemu mogą przechodzić do fazy organicznej w postaci obojętnych elektrycznie połączeń $[\text{M}(\text{H}_2\text{O})_3\text{L}(\text{NO}_3)_2]$ i $[\text{M}(\text{H}_2\text{O})_2\text{L}_2(\text{NO}_3)_2]$, gdyż jak wykazano w publikacji [99] jony azotanowe mogą tworzyć wiązania koordynacyjne. Możliwe, że w procesie przechodzenia do fazy organicznej cząsteczki wody zastąpione są przez cząsteczki rozpuszczalnika organicznego. Szanse przejścia do fazy organicznej ilustrują wyznaczone dla tworzących się kompleksów Cu^{2+} , stałe podziału P_1 i P_2 . Mają one wysokie wartości, które rosną w miarę zwiększania długości grupy alkilowej w pozycji 1 ekstrahenta (liganda) (rys. 3 i 4 w pracy H-1) i zależą od użytego rozpuszczalnika organicznego. Najwyższe wartości stałych podziału uzyskano dla chlorku metylenu. Dla skrajnie hydrofobowych ekstrahentów, 1-pentyloimidazolu i 1-heksadecyloimidazolu wynoszą odpowiednio $\log P_1 = 1,68$, $\log P_2 = 2,20$ oraz $\log P_1 = 3,76$, $\log P_2 = 6,30$ (tab. 1 w pracy H-1). Otrzymane wyniki wnoszą istotny wkład nie tylko do dziedziny badań kompleksów miedzi, tworzących się w roztworach wodnych i organicznych, ale również pozwalają na określenie warunków selektywnej separacji jonów Cu^{2+} z roztworów wodnych.

• 1-alkilo-2-metyloimidazole jako ekstrahenty jonów Cu^{2+}



$R = -\text{C}_4\text{H}_9, \text{izo}-\text{C}_4\text{H}_9, -\text{C}_5\text{H}_{11}, \text{izo}-\text{C}_5\text{H}_{11}, -\text{C}_6\text{H}_{13}, -\text{C}_8\text{H}_{17}, -\text{C}_{10}\text{H}_{21}, -\text{C}_{12}\text{H}_{25}$

Rys. 3. 1-Alkilo-2-metyloimidazole użyte w badaniach w pracy [H-2]

W publikacji (H-2) przedstawiono wyniki badań procesów kompleksowania 1-alkilo-2-metyloimidazoli (rys. 3) z kationami Cu^{2+} . Celem badań było ustalenie wpływu długości grupy alkilowej w pozycji 1, czyli wzrostu hydrofobowości liganda oraz efektu sterycznego, wynikającego z obecności podstawnika w pozycji 2, na właściwości ekstrakcyjne układów i możliwość odzysku miedzi z roztworów wodnych. Jako przydatne rozpuszczalniki wybrano 2-etyloheksan-1-ol, chlorek metylenu, chloroform oraz toluen (tylko dla 1-dodecylo-2-metyloimidazolu).

Wyniki podziału kompleksów Cu^{2+} z tymi ligandami przedstawiono w postaci krzywych ekstrakcyjnych ($\log D_M = f(\text{pH})$). Wykazano, że krzywe te przesuwają się w kierunku niższych wartości pH w miarę wzrostu hydrofobowości ligandów. Podobne zjawisko zaobserwowano w

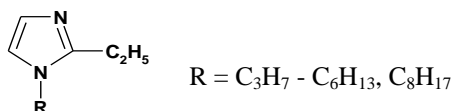
poprzedniej pracy [H-1]. Jednakże dla najbardziej hydrofobowych ligandów z szeregu 1-alkilo-2-metyloimidazoli, krzywe ekstrakcyjne są bardzo do siebie zbliżone, a niektóre nakładają się (rys. 1-3 w pracy H-2). Najtrudniej ekstrahują się kompleksy Cu^{2+} z 1-izobutylo- oraz 1-izopentylo-2-metyloimidazolem. Odpowiadające im krzywe ekstrakcyjne dla wszystkich badanych rozpuszczalników położone są przy najwyższych wartościach pH. Otrzymano dla nich najniższe wartości stosunku podziału metalu (D_M) między fazę wodną a organiczną. Największe wartości $\log D_M$ (ok. 1,5) dla tych połączeń uzyskano podczas ekstrakcji chlorkiem metylenu (rys. 2 w pracy H-2). Dla chloroformu i 2-etyloheksanolu wartości $\log D_M$ odpowiednio wynoszą ok. 0,1 i 0,4 (rys. 1 i 3 w pracy H-2). Wykazano również, że na skutek efektu sterycznego (grupa metylowa w pozycji 2) trwałość kompleksów 1-alkilo-2-metyloimidazoli z Cu^{2+} jest niższa o około jeden rząd niż w przypadku 1-alkilimidazoli [H-1], chociaż pierwsze z tych ligandów są silniejszymi zasadami. Wartości stałych trwałości (β_n) omawianych kompleksów nie zależą od długości grupy alkilowej w pozycji 1, podobnie jak dla szeregu 1-alkilimidazoli. Dowodzi to, że udział wiązania $\pi_{M \rightarrow L}$ dla kompleksów 1-alkilo-2-metyloimidazoli z Cu^{2+} jest jeszcze dość duży. 1-Alkilo-2-metyloimidazole tworzą z jonami Cu(II) trzy kompleksy następcze ML , ML_2 oraz ML_3 , których stałe podziału między fazę wodną a organiczną (P_n) rosną w szeregu $P_1 < P_2 < P_3$ i zależą od hydrofobowości ekstrahenta oraz od użytego rozpuszczalnika (rys. 4 w pracy H-2). Najwyższe wartości stałych podziału P_1 , P_2 i P_3 otrzymano dla układu $\text{Cu(II)}/1\text{-dodecylo-2-metyloimidazol}/\text{chlorek metylenu}$, wynoszą one odpowiednio: 48, 432 i 980. Rozpuszczalnik ten zapewnia selektywną ekstrakcję miedzi.

Zarejestrowane widma absorpcyjne d-d w zakresie widzialnym (rys. 6-8 w pracy H-2) we wszystkich badanych rozpuszczalnikach mają jedno maksimum absorpcji (λ_{max} ok. 600 nm), które nieznacznie przesuwają się w kierunku fal krótszych wraz ze wzrostem wartości pH fazy wodnej. Widma te dowodzą, że w procesie kompleksowania kształt poliedru koordynacyjnego jonu Cu^{2+} nie ulega zmianie. Można przyjąć, że do fazy organicznej przechodzą kompleksy o następującym składzie: $[\text{CuL}(\text{NO}_3)_2\text{S}_3]$, $[\text{CuL}_2(\text{NO}_3)_2\text{S}_2]$, $[\text{CuL}_3(\text{NO}_3)_2\text{S}]$, przy czym S oznacza cząsteczkę rozpuszczalnika.

Cel badań został zrealizowany przez wyznaczenie stałych trwałości, tworzących się w roztworze wodnym kompleksów Cu^{2+} oraz określenie ich struktury. Ich szanse przechodzenia do fazy organicznej, a tym samym możliwości odzysku miedzi, odzwierciedlają wysokie wartości stałych podziału P_n (tab. 1 w pracy H-2).

• 1-alkilo-2-etyloimidazole jako ekstrahenty jonów Cu^{2+}

Celem trzeciej z kolei pracy (H-3) było zbadanie wpływu długości grupy alkilowej w pozycji 1 ekstrahenta oraz rodzaju rozpuszczalnika na proces ekstrakcji kompleksów Cu^{2+} z 1-alkilo-2-etyloimidazolami (rys. 4).



Rys. 4. 1-Alkilo-2-etyloimidazole użyte w badaniach w pracy [H-3]

Do badań użyto pięciu zasad z podanego wyżej szeregu homologicznego. Związki te są silniejszymi zasadami niż 1-alkilimidazole oraz 1-alkilo-2-metyloimidazole, ponadto obecność grupy etylowej w pozycji 2 stwarza większą zawadę steryczną w procesie wiązania jonów metali niż grupa metylowa w 1-alkilo-2-metyloimidazolach. Butan-2-ol, alkohol izopentylowy, 2-etyloheksan-1-ol, chlorek metylenu, chloroform i toluen były użyte jako rozpuszczalniki nie mieszające się z wodą.

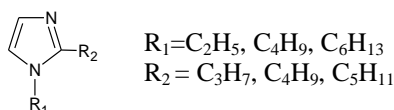
Określano wpływ rozpuszczalnika na przebieg zarówno procesu kompleksowania, jak i ekstrakcji powstających kompleksów, biorąc pod uwagę liczby donorowe (DN) Gutmanna [44, 100] użytych do badań rozpuszczalników. Ilościowo charakteryzowano procesy tworzenia się i podziału kompleksów wykreślając wykresy $\log D_M = f(\text{pH})$ dla każdego ekstrahenta (rys. 2-6 w pracy H-3) oraz dla każdego użytego rozpuszczalnika (rys. 7-11 w pracy H-3). Krzywe ekstrakcyjne wskazują, że proces ekstrakcji zależy od użytego rozpuszczalnika. Ilustruje to przedstawiony w pracy H-3 wykres (rys. 12 w pracy H-3) zależności parametru $\text{pH}_{1/2}$ dla każdego badanego ekstrahenta jako funkcji liczb donorowych rozpuszczalników $\text{pH}_{1/2} = f(\text{DN})$. Wykres ten dowodzi, że w miarę zwiększania liczb donorowych rozpuszczalnika maleją wartości $\text{pH}_{1/2}$. Ma to znaczenie praktyczne, gdyż rozpuszczalnik można dobierać w zależności od pH roztworów, z których jony Cu^{2+} mają być usunięte, np. 50% odzysk

miedzi z roztworu podczas ekstrakcji za pomocą 1-oktyloimidazolu można uzyskać przy pH = 4,75, stosując 2-etyloheksan-1-ol (DN=48 [100]) lub przy pH = 6,4, używając toluenu (DN=0,1 [100]) jako rozpuszczalnika. Odzysk miedzi przy niższym pH roztworu obniża koszty procesu.

Z danych ekstrakcyjnych wyznaczono stałe trwałości tworzących się w roztworze wodnym kompleksów Cu^{2+} , liczbę kompleksów przechodzących do fazy organicznej oraz odpowiadające im stałe podziału. Wykazano, że obecność grupy etylowej w pozycji 2 pierścienia imidazolu zmniejsza trwałość tworzących się kompleksów z Cu^{2+} w porównaniu z 1-alkiloimidazolami, podobnie jak to miało miejsce w przypadku 1-alkilo-2-metyloimidazoli [H-2]. Trwałość kompleksów Cu(II) z 1-alkilo-2-etyloimidazolami rośnie nieznacznie ze wzrostem długości grupy alkilowej w pozycji 1. Wzrost długości grupy alkilowej zwiększa nie tylko trwałość kompleksów, ale również ich szanse przechodzenia do fazy organicznej w procesie ekstrakcji, czego dowodem jest przesuwanie się krzywych ekstrakcyjnych w kierunku niższych wartości pH (rys. 2-6 w pracy H-3). Podobny wpływ na położenie tych krzywych wywiera wzrost wartości liczby donorowej rozpuszczalnika (rys. 7-11 w pracy H-3). Silny efekt steryczny oraz właściwości donorowe rozpuszczalników powodują zmianę liczby koordynacyjnej Cu^{2+} z 6 do 4, o czym świadczą zarejestrowane widma elektronowe fazy organicznej (rys. 16-19 w pracy H-3). Zmiana struktury poliedru koordynacyjnego następuje głównie dla drugiego i trzeciego stopnia kompleksowania (dla ML_2 i ML_3), ale również rozpuszczalnik wpływa na tę zmianę, np. w butan-2-olu widma 4-koordynacyjnych połączeń Cu^{2+} obserwuje się już dla pierwszego stadium kompleksowania (ML). 4-Koordynacyjne kompleksy Cu^{2+} mają najprawdopodobniej kształt silnie odkształconego czworościanu. Redukcja liczby koordynacyjnej miedzi i towarzysząca jej zmiana poliedru koordynacyjnego jest zjawiskiem pożądanym ze względów praktycznych, gdyż powoduje wzrost właściwości ekstrakcyjnych kompleksów. Kompleksy 4-koordynacyjne jako mniej uwodnione, łatwiej przechodzą do fazy organicznej niż 6-koordynacyjne. Proces ten zachodzi przy mniejszym stężeniu ekstrahenta (liganda) i zapewnia większy odzysk miedzi, co jest zgodne z podanymi danymi literaturowymi [14, 18, 19, 44].

• 1,2-dialkiloimidazole jako ekstrahenty jonów Cu^{2+}

Spostrzeżenia z pracy [H-3] zachęciły mnie do zbadania procesów tworzenia się i ekstrakcji kompleksów Cu^{2+} z ekstrahentami wykazującymi jeszcze większy efekt steryczny. Z tego powodu obiektami badań kolejnej pracy [H-4] były 1,2-dialkiloimidazole, których wzór ogólny przedstawiono na rysunku 5. Związki te mają w pozycji 2 coraz dłuższe alkilowe podstawniki, które coraz bardziej utrudniają tworzenie kompleksów z jonami Cu^{2+} .



Rys. 5. 1,2-Dialkiloimidazole użyte w badaniach w pracy [H-4]

W pracy [H-4] zbadano w sumie 9 związków chemicznych z szeregu homologicznego 1,2-dialkiloimidazoli (rys. 5). Jako rozpuszczalniki stosowano 2-etyloheksan-1-ol oraz chloroform, które różnią się zdecydowanie liczbami donorowymi (DN). Ich wartości DN wynoszą odpowiednio 4 i 48 [100]. Wykazano, że długość grup alkilowych zarówno w pozycji 1, jak i 2 cząsteczek ekstrahentów oraz rodzaj użytego rozpuszczalnika wpływają na proces ekstrakcji. Krzywe ekstrakcyjne ($\log D_M = f(\text{pH})$) przesuwają się w kierunku niższych wartości pH wraz ze wzrostem długości podstawnika zarówno w pozycji 1, jak i 2 (rys. 1-6 w pracy H-4). Stałe trwałości kompleksów Cu^{2+} rosną ze wzrostem długości podstawnika w pozycji 1. Ich wartości są porównywalne z wartościami otrzymanymi dla kompleksów Cu^{2+} z 1-alkilo-2-etyloimidazolami [H-3], ale są mniejsze od stałych trwałości kompleksów Cu^{2+} z 1-alkiloimidazolami [H-1]. Długość podstawnika w pozycji 2 wpływa na wartość stałych podziału kompleksów oraz na wartości $\text{pH}_{1/2}$. Wartości stałych podziału P_1 (tab. 1 w pracy H-4) dla wszystkich badanych połączeń są niskie i praktycznie niezależne od wzrostu hydrofobowości cząsteczki wywołanej zwiększeniem długości podstawnika alkilowego w pozycji 1, przy czym ich wartości dla chloroformu są nieco wyższe niż w przypadku użycia alkoholu jako rozpuszczalnika. Natomiast stałe podziału P_2 i P_3 osiągają duże wartości (tabela 1 w pracy H-4), i są większe w przypadku ekstrakcji z zastosowaniem 2-etyloheksan-1-olu niż z użyciem chloroformu. Ponadto, wartości stałych P_2 i P_3 wyraźnie rosną ze wzrostem długości grupy alkilowej w pozycji 1. W

widmach absorpcyjnych dla układu Cu^{2+} /1,2-dibutyloimidazol/2-etyloheksan-1-ol maksimum absorpcji pojawia się przy długości fali ok. 620 nm, przy czym w miarę wzrostu stężenia ekstrahenta pojawia się drugie maksimum absorpcji przy $\lambda = 540$ nm (rys. 14 w pracy H-4).

Podwyższenie wartości stałych P_2 i P_3 oraz elektronowe widma absorpcyjne dowodzą, że od drugiego etapu kompleksowania Cu^{2+} z badanymi 1,2-dialkiloimidazolami zmniejsza się liczba koordynacyjna jonu centralnego zapewne z 6 do 4. Zjawisku temu wyraźnie sprzyja obecność silnie donorowych cząsteczek 2-etyloheksan-1-olu. Przebieg tych reakcji można opisać równaniami:



w których S oznacza cząsteczkę rozpuszczalnika.

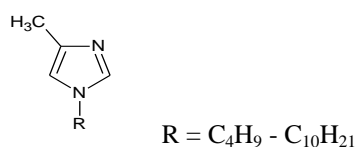
W wyniku takiej zmiany struktury poliedru koordynacyjnego powstają kompleksy niezawierające cząsteczek wody w sferze koordynacyjnej Cu^{2+} i dzięki temu łatwiej przechodzą do fazy organicznej. Zjawisko to może umożliwić selektywną separację jonów miedzi z roztworów zawierających mieszaninę kationów, takich jak: Zn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} lub Cd^{2+} . Metale te często występują w stałych i ciekłych odpadach przemysłowych [6, 7].

W pracy [H-4] wykazano, że na proces ekstrakcji rozpuszczalnikowej Cu^{2+} za pomocą 1,2-dialkiloimidazoli istotny wpływ wywierają dwa efekty – hydrofobowy, zależny od długości grupy alkilowej (R_1) związanej z atomem azotu oraz efekt steryczny wywołany przez obecność podstawnika alkilowego (R_2) w pozycji 2 pierścienia imidazolowego. Wykazano również, że działanie tych efektów można pogłębić (zwiększyć) przez dobór rozpuszczalnika o dostatecznie dużej wartości liczby Gutmanna (DN) [H-4].

Te trzy efekty mogą działać addytywnie, zwiększając szanse przejścia jonów miedzi z fazy wodnej do organicznej [H-4]. Wyraża się to przede wszystkim obniżeniem wartości parametru $\text{pH}_{1/2}$, co ma istotne znaczenia praktyczne, gdyż pozwala uzyskać wyższy procent ekstrakcji metalu przy mniejszym stężeniu ekstrahenta w obu fazach [H-4]. Jest to korzystne ze względu na zastosowanie w ochronie środowiska, jak również ze względów ekonomicznych, gdyż obniża koszty prowadzenia procesu.

• 1-alkilo-4-metyloimidazole jako ekstrahenty jonów Cu^{2+}

Cel kolejnej pracy [H-5] dobrze oddaje jej tytuł. Chodziło w niej o uzyskanie pełnego opisu procesu tworzenia się i ekstrakcji kompleksów za pomocą parametrów determinujących te zjawiska. Obiektami badań były ekstrahenty z kolejnego szeregu homologicznego alkilowych pochodnych imidazoli, a mianowicie były to 1-alkilo-4-metyloimidazole (rys. 6).



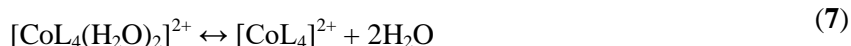
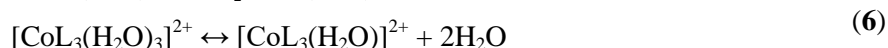
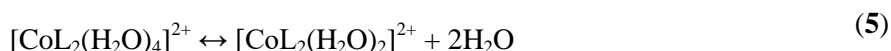
Rys. 6. 1-Alkilo-4-metyloimidazole zbadane w pracy [H-6]

Podstawnik metylowy umieszczony w pozycji 4 wywołuje efekt steryczny podczas tworzenia kompleksów z jonami metali, podobnie jak podstawnik umieszczony w pozycji 2 [H-2–H-4]. Zjawisko to obniża wartości stałych trwałości (β_n). Wartości stałych trwałości kompleksów Cu^{2+} z 1-alkilo-4-metyloimidazolami [H-5] są porównywalne z wartościami otrzymanymi dla 1-alkilo-2-metyloimidazoli [H-3]. Efekt hydrofobowy związany z wydłużaniem łańcucha alkilowego podstawnika w pozycji 1, efekt steryczny podstawnika w pozycji 4 oraz właściwości donorowe rozpuszczalnika powodują, że do fazy organicznej w procesie ekstrakcji przechodzą kompleksy jonów miedzi o liczbie koordynacyjnej 4 o strukturze odkształconego tetraedru. Zjawisko to zachodzi głównie na drugim i trzecim stopniu kompleksowania, dla kompleksów ML_2 i ML_3 . Kompleksy te łatwiej się ekstrahują, o czym świadczą ich wysokie stałe podziału P_2 i P_3 (tab. 2 w pracy H-5), w porównaniu z kompleksami typu ML , zwłaszcza wtedy, gdy grupa alkilowa w pozycji 1 jest dłuższa (bardziej hydrofobowy związek), a rozpuszczalnik ma wysoką liczbę donorową, np. dla *p*-ksylenu i 2-etyloheksan-1-olu mających liczby donorowe równe odpowiednio 1 i 48 [100], dla kompleksów

Cu^{2+} z 1-decylo-4-metyloimidazolem stałe podziału P_2 wynoszą odpowiednio 160 i 700 (rys. 7 w pracy H-5), natomiast P_3 430 i 1300 (rys. 8 w pracy H-5). Wszystkie trzy opisane wyżej zjawiska ułatwiają proces ekstrakcji miedzi i obniżają wartości $\text{pH}_{1/2}$. Ma to praktyczne znaczenie, gdyż proces można prowadzić przy niskich stężeniach, nowego w tym przypadku ekstrahenta (liganda) zarówno w fazie organicznej, jak i wodnej, co sprzyja separacji miedzi z mieszaniny z innymi kationami.

- **1-alkilo-2-metyloimidazole jako ekstrahenty jonów Co^{2+}**

Metodyka badań oraz sposób interpretacji wyników zdobyte podczas badań kompleksów jonów miedzi z alkilowymi pochodnymi imidazolu zastosowano w badaniach kompleksów Co^{2+} z 1-alkilo-2-metyloimidazolami [H-6]. Wzór tego typu cząsteczek przedstawia rysunek 3. Jako ekstrahenty w pracy [H-6] zastosowano związki, które w pozycji 1 zawierały grupy alkilowe od $-\text{C}_4\text{H}_9$, do $-\text{C}_{10}\text{H}_{21}$ oraz $-\text{C}_{12}\text{H}_{25}$. Jako rozpuszczalników organicznych użyto chlorku metylenu, chloroformu i 2-etyloheksan-1-olu. Warunki badań były analogiczne jak w poprzednich pracach. Krzywe ekstrakcyjne kompleksów Co^{2+} przemieszczają się bardzo silnie w kierunku niższych wartości pH w miarę wzrostu hydrofobowości cząsteczek ekstrahentów (rys. 1-3, w pracy H-6). W elektronowych widmach absorpcyjnych obu faz układu Co^{2+} /1-decylo-2-metyloimidazol stwierdzono przesuwanie się pasm absorpcyjnych w kierunku fal dłuższych ze wzrostem pH fazy wodnej (rys. 7 i rys. 8 w pracy H-6). Występują w nich wyraźnie dwa maksima absorpcji, przy długości fali 520 i 570 nm, odpowiadające odpowiednio tworzeniu się kompleksów 6- i 4-koordynacyjnych. Kompleksy te różnią się barwą. Zjawisko to spowodowane jest efektem sterycznym, wywołanym przez grupę metylową w pozycji 2 pierścienia imidazolu, zachodzi głównie na drugim, trzecim i czwartym stopniu kompleksowania. Dzięki temu obserwuje się wzrost sumarycznych stałych trwałości (rys. 5, w pracy H-6) odpowiadających im kompleksów typu ML_2 , ML_3 , ML_4 , tworzących się wg podanych niżej równań reakcji (5-7):



Równowagi ww. reakcji są przesunięte zdecydowanie w prawo przy większych stężeniach liganda. Stałe trwałości tworzących się kompleksów rosną w szeregu: $\beta_1 < \beta_2 < \beta_3 < \beta_4$, a każda obliczona stała trwałości rośnie nieznacznie wraz ze wzrostem hydrofobowości cząsteczki liganda. Tworzenie się równowag konfiguracyjnych tetraedr \leftrightarrow oktaedr sprzyja ekstrakcji jonów kobaltu, o czym świadczą wysokie wartości stałych podziału kompleksów, zwłaszcza P_3 i P_4 (tab. 2, w pracy H-6). Stwarza to dogodne warunki dla ekstrakcji tego metalu, zwłaszcza dla jego selektywnego wydzielania z mieszaniny kationów, np. z roztworów zawierających Ni^{2+} . Praca wnosi istotne nowe dane do opisu procesu tworzenia się nowych kompleksów jonów kobaltu przy nadmiarze liganda oraz wykazuje możliwości jego zastosowania do selektywnej separacji kobaltu [89], zwłaszcza od niklu.

- **separacja jonów Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} i Pd^{2+} metodą ekstrakcyjną**

W pracy [H-7] wykazano, że ekstrakcja rozpuszczalnikowa jest skuteczną metodą rozdzielania jonów Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} i Pd^{2+} z roztworów chlorkowych. Doświadczenia zdobyte podczas badań procesu ekstrakcji jonów Cu^{2+} oraz Co^{2+} pozwoliły na trafny dobór ekstrahenta (1-heksylo-2-metyloimidazol), rozpuszczalnika organicznego (chloroform) oraz warunków prowadzenia procesu (temperatura 25°C , siła jonowa roztworu wodnego $I = 0,5 \text{ mol/dm}^3$ utrzymywana za pomocą chlorku potasu). Budowa cząsteczki i właściwości kompleksujące 1-heksylo-2-metyloimidazolu umożliwiły selektywną separację jonów Pd^{2+} . Badane jony metali w roztworze wodnym istnieją w postaci oktaedrycznych akwakompleksów $[\text{M}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ [97]. Jednakże w wyniku dodania jonów chlorkowych w myśl równania (2), niektóre z tych jonów zmieniają strukturę sfery koordynacyjnej na płaską lub tetraedryczną w zależności od budowy ich podwarstwy elektronowej 3d [97]. Efekt ten dodatkowo potęguje świadomie wybrany ekstrahent (1-heksylo-2-metyloimidazol), którego budowa, jak opisano wcześniej, utrudnia tworzenie się kompleksów oktaedrycznych. Następstwem zmiany symetrii cząsteczek jest podwyższenie sumarycznych stałych trwałości kompleksów (tab. 1 w pracy H-7). W praktyce obserwuje się zwiększoną podatność na ekstrakcję w układzie ciecz-ciecz kompleksów o liczbie koordynacyjnej 4, gdyż jako mniej hydratowane łatwiej przechodzą do fazy organicznej.

Świadczą o tym stałe podziału omawianych kompleksów zebrane w tabeli 2 w pracy H-7. Najwyższe wartości stałych podziału osiągają płaskokwadratowe kompleksy Pd^{2+} z 1-heksylo-2-metyloimidazolem (L) o wzorze $[\text{PdL}_2\text{S}_2]$ (S-cząsteczka rozpuszczalnika), czego się spodziewałam planując omawiane badania. Tworzenie się tego typu kompleksów podczas ekstrakcji opisali Ma i Dreiser w pracy [101].

Procent ekstrakcji metali zależy od pH fazy wodnej. Najwyższe wartości procentu ekstrakcji osiąga się przy $\text{pH} = 7,3$ (rys. 3 w pracy H-7). Taka wartość pH nie stwarza zagrożenia dla wód powierzchniowych. Procent ekstrakcji dla Pd^{2+} wynosi 70%, dla Cu^{2+} 40%. Jony Co^{2+} i Ni^{2+} przechodzą do fazy organicznej tylko w niewielkim stopniu (nie więcej niż odpowiednio 10% i 5%). Najwyższe współczynniki separacji (tab. 3 w pracy H-7) uzyskano dla układów: Pd/Ni, Pd/Co, Cu/Ni, Cu/Co, wynoszą one odpowiednio 13,3 (dla pH 5,4), 7,65 (dla pH 5,4), 5,63 (dla pH 7,0), 3,2 (dla pH 7,33).

Metodę selektywnego wydzielania palladu z ww. mieszaniny opracowano na roztworach modelowych, w celu sprawdzenia możliwości odzysku palladu z odpadów powstających przy przetwarzaniu rud miedzi.

Badania dotyczące separacji metali w procesach transportu przez membrany w układach modelowych

Wyżej omówione badania ekstrakcyjne umożliwiły mi optymalny dobór nośników metali (alkilowych pochodnych imidazolu) oraz warunków prowadzenia procesu transportu z wykorzystaniem metodyki membranowej. W swoich pracach pochodne imidazolu zastosowałam do selektywnego wydzielania jonów Cu^{2+} oraz Zn^{2+} z mieszaniny Cu–Zn–Co–Ni [84-88, H-8–H-10] z roztworów chlorkowych i azotanowych w procesie transportu przez membrany. Na pochodne imidazolu jako nośniki zwrócili też uwagę inni autorzy [86]. Zastosowali oni 1-winyloimidazol do separacji jonów Cu^{2+} i Fe^{3+} w procesie transportu przez membrany z polioctanu winylu [86].

W rozcieńczonych roztworach wodnych jony Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} i Zn^{2+} istnieją w postaci trwałych akwakompleksów $[\text{M}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ o strukturze oktaedrycznej ($\text{Zn}^{2+}, \text{Co}^{2+}, \text{Ni}^{2+}$) lub pseudooktaedrycznej (Cu^{2+}) [97]. Ich promienie jonowe i energia hydratacji są bardzo zbliżone. Dla Zn^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} i Ni^{2+} promienie jonowe wynoszą odpowiednio 74, 73, 74,4, 69 pm [102], a energia hydratacji 2940, 3000, 2920, 3000 kJ/mol [102]. Stąd rozdzielenie i wydobycie tych kationów z roztworu wodnego jest trudne. Jednakże, przeprowadzając jony metali w kompleksy z ligandami innymi niż woda, można zróżnicować ich właściwości i wykorzystać to do ich separacji.

• 1-alkiloimidazole jako nośniki w polimerowych membranach inkluzyjnych

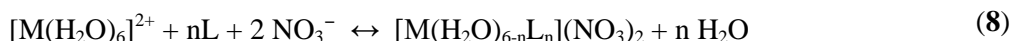
W pracy [H-8] zbadano możliwość zastosowania 1-alkiloimidazoli (długość podstawnika alkilowego zmieniała się od heksylu do decylu) w roli przenośnika jonów Zn^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} i Ni^{2+} w procesie transportu przez polimerowe membrany inkluzyjne (PIM). Wzór ogólny nośnika przedstawia rysunek 2. Określono wpływ stężenia nośnika w membranie na wartości współczynników separacji badanych jonów metali. Przeprowadzone badania miały na celu określenie parametrów kinetycznych oraz własności separacyjnych 1-alkiloimidazoli w procesie transportu jonów metali nieżelaznych. Stwierdzono, że najlepiej transportowane są jony Cu^{2+} , natomiast jony niklu i kobaltu transportowane są w niewielkim stopniu. Z roztworów azotanowych w temperaturze 20°C, przy pH fazy zasilającej równym 6,0, niezależnie od długości łańcucha alkilowego w cząsteczce nośnika (R–) jony transportowane są w szeregu: $\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{Ni}^{2+}$. Najwyższe wartości strumienia początkowego transportu Cu^{2+} obserwowano dla 1-decyloimidazolu (7,03 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$). Dla tego nośnika po 24-godzinny procesie transportu uzyskano również najwyższe wartości odzysku metali (RF), które przy stężeniu nośnika w membranie równym 1 mol/dm³ wynoszą dla Cu – 99,4%, dla Zn – 62,4%, dla Co – 13,8% i dla Ni 10,7%, natomiast przy stężeniu nośnika w membranie równym 1,5 mol/dm³ wynoszą dla Cu – 99,8%, dla Zn 93,1%, dla Co – 56,4% i dla Ni 50,0%. Im większe stężenie nośnika, tym selektywność transportu jest mniejsza, stąd jego optymalne stężenie w membranie przyjęto za równe 1 mol/dm³. Selektywność transportu jonów Cu^{2+} w stosunku do pozostałych metali maleje ze wzrostem długości podstawnika alkilowego w alkiloimidazolach, gdyż wzrasta szybkość transportu jonów Zn^{2+} , Co^{2+} i Ni^{2+} . Najwyższe wartości współczynników selektywności Cu/Zn, Cu/Co i Cu/Ni uzyskano w przypadku 1-heksyloimidazolu jako nośnika przy jego stężeniu w membranie

wynoszącym 1 mol/dm³. Wynoszą one odpowiednio 4,3, 39,7 i 46,9 (H-8). Współczynniki selektywności jonów są wyższe w roztworach azotanowych niż w chlorkowych [84], dla których dla tego samego nośnika wynoszą one odpowiednio 3,7, 17,8 i 35,7. Wartości współczynnika przepuszczalności (P) rosną liniowo ze wzrostem zasadowości nośnika. Podobną korelację liniową dla 1-alkoimidazoli uzyskano dla roztworów chlorkowych [84].

- **1-heksylo-2-metyloimidazol jako nośnik w polimerowych membranach inkluzyjnych**

W poprzedniej pracy [H-8] wykazano, że najlepszym nośnikiem spośród 1-alkoimidazoli jest związek z łańcuchem zawierającym sześć atomów węgla. Z tego względu w kolejnej pracy [H-9] zbadano wpływ efektu sterycznego, wywołanego wprowadzeniem grupy metylowej w pozycję 2 do cząsteczki 1-heksyloimidazolu (1-heksylo-2-metyloimidazol), na proces transportu jonów Zn²⁺, Cu²⁺, Co²⁺ i Ni²⁺ przez polimerowe membrany inkluzyjne (PIM) oraz immobilizowane membrany ciekłe (SLM). Badano proces transportu mieszanin dwuskładnikowych (Cu²⁺-Zn²⁺, Cu²⁺-Co²⁺ i Cu²⁺-Ni²⁺) oraz czteroskładnikowej Cu²⁺-Zn²⁺-Co²⁺-Ni²⁺ w roztworach azotanowych w temperaturze 20°C, przy pH fazy zasilającej równym 6,0. Stwierdzono, że transport badanych jonów przez SLM maleje w szeregu: Cu²⁺ > Zn²⁺ > Co²⁺ > Ni²⁺, natomiast przez PIM Cu²⁺ > Zn²⁺ > Co²⁺, Ni²⁺. Dla obu typów membran najlepiej transportowane są jony miedzi.

Proces transportu polega na przenoszeniu obojętnej pary jonowej, powstającej w reakcji nośnika (L) z jonem metalu (M²⁺):



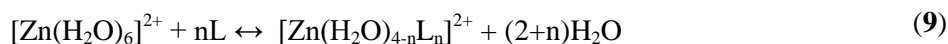
W ten sposób tworzy się hydrofobowy kompleks, który dyfunduje przez membranę. Jon metalu uwalniany jest do fazy odbierającej, a nośnik ulega dalszej dyfuzji przez membranę do fazy zasilającej. Mechanizm przenoszenia jest zgodny z mechanizmem podanym w literaturze [71-73]. Wartości współczynników selektywności Cu/Zn, Cu/Co i Cu/Ni w mieszaninach dwuskładnikowych w przypadku SLM wynoszą odpowiednio 1,9, 6,6 i 8,7, a w przypadku PIM 3,0, 12,9 i 13,6. Natomiast dla mieszaniny czteroskładnikowej (Cu²⁺-Zn²⁺-Co²⁺-Ni²⁺) strumienie początkowe jonów Ni²⁺ i Co²⁺ w transporcie przez PIM są niewielkie i równe sobie. Zjawisko to jest następstwem właściwości nośnika. Efekt steryczny grupy metylowej utrudnia tworzenie się kompleksów Co²⁺ i Ni²⁺, przesuwając tym samym równowagę reakcji (8) w lewo. W efekcie jony kobaltu i niklu w niewielkim stopniu przenoszone są przez membranę. Wartości współczynników selektywności Cu/Zn, Cu/Co, Ni w przypadku PIM wynoszą odpowiednio 3,1 i 15,1, a w przypadku SLM wartości współczynników selektywności Cu/Zn, Cu/Co i Cu/Ni są mniejsze i wynoszą 1,7, 9,6 i 10,4.

Współczynnik odzysku (RF) miedzi po 24-godzinny procesie transportu przez PIM wynosi 95,1%, a przez SLM 78%, natomiast cynku jest porównywalny w obu typach membran i wynosi ok. 53%. Jony kobaltu i niklu pozostają praktycznie w fazie zasilającej, co jest zjawiskiem korzystnym, gdyż po oddzieleniu miedzi i cynku ich roztwór może być poddany procesowi rozdziału w transporcie membranowym z wykorzystaniem 1-heksyloimidazolu jako nośnika.

- **1-decylo-4-metyloimidazol jako nośnik w polimerowych membranach inkluzyjnych**

W pracy [H-10] zbadano proces transportu jonów Zn²⁺, Cd²⁺, Co²⁺ i Ni²⁺ przez polimerowe membrany inkluzyjne (PIM) oraz immobilizowane membrany ciekłe (SLM) zawierające 1-decylo-4-metyloimidazol jako nośnik [H-10]. Badano proces transportu mieszanin dwuskładnikowych (Zn²⁺-Co²⁺, Zn²⁺-Cd²⁺ i Zn²⁺-Ni²⁺) oraz czteroskładnikowej Zn²⁺-Cd²⁺-Co²⁺-Ni²⁺ w roztworach chlorkowych w temperaturze 20°C, przy pH fazy zasilającej równym 6,0. Stwierdzono, że transport badanych jonów przez SLM maleje w szeregu: Zn²⁺ > Cd²⁺ > Co²⁺, Ni²⁺, natomiast przez PIM jest nieco inny: Zn²⁺ > Cd²⁺ > Ni²⁺ > Co²⁺. Obliczone współczynniki selektywności Zn/Co, Zn/Cd i Zn/Ni dla procesu transportu przez PIM są wyższe niż w przypadku SLM w tych samych warunkach i wynoszą odpowiednio 27,3, 7,9 i 22,4.

Współczynnik odzysku (RF) cynku po 24-godzinny procesie transportu dla mieszaniny czteroskładnikowej wynosił 96,9%, natomiast z mieszanin dwuskładnikowych odzyskiwano cynk z prawie 99% wydajnością. Tak wysoki odzysk cynku umożliwiła budowa cząsteczki nośnika (1-decylo-4-metyloimidazolu). Cynk łatwo tworzy kompleksy 4-koordynacyjne z nośnikami w cząsteczkach których występuje zawada steryczna, w myśl równania:



w którym L oznacza cząsteczkę 1-decylo-4-metyloimidazolu.

Jony Co^{2+} i Cd^{2+} tworzą obok 6-koordynacyjnych także 4-koordynacyjne kompleksy. Te ostatnie powstają na wyższych stopniach kompleksowania (na trzecim i czwartym) [62], stąd ich tworzenie wymaga większego stężenia nośnika.

Jony Ni^{2+} mają sztywną sferę koordynacyjną, tworzą kompleksy 6-koordynacyjne i praktycznie nie są przenoszone przez tego typu membranę. Jest to korzystne ze względu na separację metali, gdyż jony te praktycznie pozostają w fazie zasilającej (wysokie wartości współczynników separacji cynku w stosunku do kobaltu i niklu).

Praca ta stanowi rozwinięcie oraz istotną nowość w badaniach dotyczących separacji metali w procesie transportu membranowego.

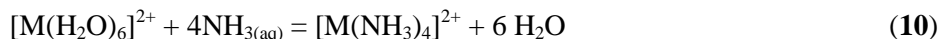
Odzysk cynku z odpadów – praktyczne aspekty badań modelowych

Krajowy przemysł cynkowo-ołowiowy ma wielowiekową tradycję górniczo-hutniczą. Jednak wyczerpujące się zasoby kopalń wskazują, że dalsza działalność tej gałęzi przemysłu bazować będzie na imporcie rud surowca bądź na odzysku cynku z odpadowych materiałów cynkonośnych. Z uwagi na wzrost zastosowania cynku w różnych dziedzinach gospodarki (np. w produkcji stopowych, antykorozyjnych powłok ochronnych stosowanych w przemyśle samochodowym [103, 104]), obecnie w hutnictwie cynku do procesów technologicznych zawracane są materiały o podwyższonej zawartości cynku (proces recykulacji), w tym również odpady z hutnictwa miedzi. Jednak huty cynku wymagają materiałów o zawartości Zn nie mniejszej niż 20% [7, 105]. Istnieje potrzeba pozyskiwania tego cennego metalu z surowców uboższych.

• odzysk cynku z odpadów przemysłowych po produkcji cynku

W pracy [H-11] zbadano możliwość odzysku cynku z odpadów po produkcji cynku metodą hutniczą, które są składowane na wysypiskach. Zawartość cynku w tych szlamach wynosi 10-13%. Biorąc pod uwagę ilość tych odpadów oraz rynkowe ceny czystych metali, odzyskiwanie z nich cynku staje się ekonomicznie opłacalne i pożądane ze względu na ochronę środowiska.

W badaniach zastosowano metodę ługowania kwasami i roztworami zasadowymi [106, 107, H-11, H-12]. Według skuteczności odczynniki ługujące można uszereżować następująco: roztwór stężonego $\text{NH}_3(\text{aq})$ (10,5% Zn), 2 mol/dm³ roztwór HNO_3 (10% Zn), 30% roztwór NaOH (10% Zn), 2 mol/dm³ roztwór H_2SO_4 (9,5%), 2 mol/dm³ roztwór HCl (9%) i 80% roztwór kwasu mlekowego (8%). Jednakże proces ługowania mocnymi kwasami (HCl , HNO_3 , H_2SO_4), nie był dostatecznie selektywny, gdyż oprócz cynku kwasy ługowały Cd, As, Cr, Cu, Fe, Ni i Pb, stąd najlepszymi czynnikami ługującymi były: roztwór stężonego amoniaku, 30% roztwór NaOH i 80% roztwór kwasu mlekowego. Podczas działania na szlam amoniakiem zachodzi reakcja opisana równaniem:



w wyniku której do roztworu wodnego przechodzą aminakompleksy metali. Oprócz cynku (10,5%) ze szlamów ługuje się ok. 1% miedzi.

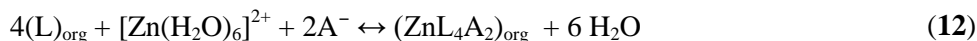
Ługowanie roztworem ługu sodowego można opisać równaniem:



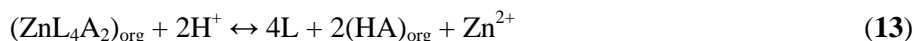
W tym przypadku ługują się również niewielkie ilości As, Cu, Cr i Pb.

Cynk z roztworów po ługowaniu wydzielono metodą elektrolityczną (92-99% metalu osadziło się na katodzie) oraz przez ekstrakcję rozpuszczalnikową w układzie ciecz-ciecz, stosując dla roztworów kwaśnych tributylofosforan (TBP), natomiast dla zasadowych 1-decylo-2-metyloimidazol. Oba te ekstrahenty rozpuszczano w toluenie.

W procesie ekstrakcji następuje przenoszenie cynku do roztworu toluenowego za pomocą ekstrahenta (L). Proces opisuje poniższe równanie, w którym A oznacza anion pochodzący od kwasu:



Z fazy organicznej podczas re-ekstrakcji kwasem siarkowym (równanie (13)) lub amoniakiem ekstrahent może być odzyskany. Jony cynku pozostają wówczas w fazie wodnej.



Wykorzystując TBP jako ekstrahent przy pH ok. 2,7 odzyskano 99% cynku, natomiast stosując 1-decylo-2-metyloimidazol przy pH w granicach 7,5-8,0 - 96-99% cynku. Tak znaczny odzysk cynku wskazuje, że wyżej opisane badania są perspektywiczne i mają szansę na znaczne powodzenie w praktyce odzyskiwania metali.

• odzysk cynku z odpadów przemysłowych po produkcji miedzi

W pracy [H-12] zbadano możliwość odzysku cynku z osadów poneutralizacyjnych oczyszczalni zakładu produkującego miedź (80 Mg/dobę), w których stwierdzono obecność znacznych ilości cynku (11-13%), żelaza (ok.6%) oraz niewielką ilość metali nieżelaznych (ok. 22% Ca, ok. 1,5% Cu, ok.1,3% As, ok. 1% Pb, ok. 0,5% Cd i Cr, oraz ok. 0,1% Al, Co i Ni). Osady te od kilku lat są składowane jako odpady w kilku zbiornikach magazynujących. Na koniec 2007 roku na składowiskach nagromadzono 8881,1 ton odpadów [108]. Zainteresowanie odzyskiwaniem metali towarzyszących rudom miedzi wynika przede wszystkim z potrzeby minimalizacji ilości odpadów poprodukcyjnych.

Podobnie jak w pracy [H-11] w badaniach zastosowano metodę ługowania kwasami (HCl, HNO₃), roztworami zasadowymi (NaOH, NH_{3(aq)}) oraz roztworami soli (NH₄Cl, NH₄SCN, KI) [105, 106, H-11, H-12]. Według skuteczności wyługowania cynku odczynniki ługujące można uszeregować: 2 mol/dm³ roztwór HCl (12,71% Zn), 2 mol/dm³ roztwór HNO₃ (12,54% Zn), bufor amonowy (1:1) (9,74% Zn), 30% roztwór NaOH (9,38% Zn), roztwór stężonego NH_{3(aq)} (5,49% Zn). Jednakże proces ługowania mocnymi kwasami (HCl, HNO₃), nie był dostatecznie selektywny, stąd najlepszymi czynnikami ługującymi były: bufor amonowy (1:1), 30% roztwór NaOH oraz roztwór stężonego amoniaku. Jednakże oprócz cynku ługują one ok. 1% wapnia, który należałoby wydzielić z roztworu przez wytrącanie np. w postaci siarczanu wapnia, który charakteryzuje się małą rozpuszczalnością i dlatego prawie w całości przechodzi do odpadów. Roztwory NH₄Cl, NH₄SCN wykazują bardzo małą skuteczność, ługują ok. 1,5% cynku, natomiast roztwór KI praktycznie wcale nie ługuje tego metalu.

Z uzyskanych roztworów cynk można wydzielić elektrolitycznie pod warunkiem, że wcześniej usunie się:

a) jony Fe(III), np. strącając je w formie jarosytu:



b) jony bardziej elektrododatnich kationów (Me= Cu, Pb, Ni, Cd....), np. w procesie cementacji za pomocą pyłu cynkowego:



Szybkość chemicznego roztwarzania metalicznego cynku jest mała i nie stanowi konkurencji dla procesu cementacji.

Można też wydzielać cynk podczas selektywnej ekstrakcji za pomocą przemysłowego ekstrahenta np. kwasu dietyloheksafosforowego (D2EHPA) [109] rozpuszczonego w nafcie:



lub stosując alkilowe pochodne imidazolu [H-11]. Proces ekstrakcji zachodzi według równania (12).

Pracę [H-12] wykonano w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, lata 2007-2013, Działanie 1.4, projekt UDA-POIG.01.04.00-30-012-/10-00.

Podsumowanie i wnioski

W swoich pracach wykazałam, że właściwości kompleksotwórcze alkiloimidazoli można łatwo różnicować, a różnice w procesach tworzenia, strukturze i trwałości ich kompleksów z kationami metali można wykorzystać do ich selektywnego rozdzielania. Efektami, które różnicują właściwości kompleksotwórcze alkilowych pochodnych imidazolu są:

- efekt steryczny (podstawniki w pozycji 2 lub 4),
- hydrofobowy, związany z długością podstawnika w pozycji 1,
- udział lub brak składowej $\pi_{M \rightarrow L}$ w oddziaływaniu koordynacyjnym.

Ponadto dowiodłam, że ww. zjawiska zmieniają trwałość i strukturę sfery koordynacyjnej niektórych d-elektronowych metali, co ułatwia ich separację zarówno za pomocą ekstrakcji rozpuszczalnikowej,

jak i technik membranowych. Udowodniłam również, że rozpuszczalnik organiczny o dużej liczbie donorowej może uczestniczyć w procesie tworzenia się równowag konfiguracyjnych, zwiększając tym samym skuteczność ekstrakcji. Wykorzystując właściwości kompleksotwórcze alkilimidazoli, szczególnie łatwo można oddzielić miedź od innych metali przejściowych zarówno metodą ekstrakcji rozpuszczalnikowej, jak i z wykorzystaniem technik membranowych. Wykazałam także, że selektywność transportu przez polimerowe membrany inkluzyjne zależy nie tylko od składu fazy zasilającej (pH, stężenia metali) i składu fazy odbierającej (woda destylowana lub roztwór kwaśny), ale także od składu i morfologii membrany.

Tematyka moich badań obejmuje przede wszystkim zagadnienia związane z możliwością usuwania metali nieżelaznych z roztworów modelowych, jak i z roztworów odpadowych o niskiej zawartości metali, np. powstających podczas oczyszczania ścieków, regeneracji roztworów potrawnych i poelektrolitycznych, jak również w wyniku ługowania surowców o niskiej zawartości metali (np. odpadów pchutniczych i przemysłowych), co w ochronie środowiska stanowi kluczowe zagadnienie w usuwaniu toksycznych zanieczyszczeń. Nowatorskim aspektem badań było wykorzystanie właściwości alkilowych pochodnych imidazolu do selektywnego oddzielania Cu, Pd, Zn i Co od innych metali różnymi metodami separacyjnymi za pomocą ekstrakcji rozpuszczalnikowej i technik membranowych. Wykorzystując efekt steryczny ekstrahenta (nośnika) i właściwości donorowe rozpuszczalnika, można w szczególności stwarzać optymalne warunki dla selektywnego wydzielania kationów tych metali, które zmieniają strukturę poliedru koordynacyjnego. Do tej grupy, oprócz miedzi i palladu, należą kobalt, cynk i kadm. Usuwanie z roztworów zwłaszcza kadmu jest bardzo pożądane ze względu na zagrożenia jakie stwarza w środowisku.

Stąd badania, którym poświęcona jest moja praca habilitacyjna dotyczące zarówno układów ekstrakcyjnych, w których alkilimidazole są ekstrahentami, jak i transportu przez polimerowe membrany inkluzyjne zawierające alkilowe pochodne imidazolu jako nośniki, wpisują się w aktualne trendy światowe poszukiwania skutecznych i selektywnych metod rozdzielania mieszanin zawierających związki metali ciężkich, stanowiących poważny problem środowiskowy. Wyniki badań modelowych zostały w pełni wykorzystane w praktyce. Umożliwiły mi zaprojektowanie procesu, pozwalającego na efektywny odzysk cynku (ponad 95%) z odpadów przemysłowych.

Moje nowatorskie wyniki badań zostały zgłoszone w krajowym i europejskim urzędzie patentowym [93-96]. Obecnie w zaawansowanym stopniu przygotowywane są do wdrożenia (podpisana umowa licencyjna).

W związku z powyższym zamierzam kontynuować i intensywnie rozwijać opisane wyżej prace badawcze.

Literatura

1. (red.) Siepak J.: Problemy analityczne oznaczania rtęci i jej form specjacyjnych w próbkach środowiskowych. Wyd. Naukowe UAM, Poznań **2003**
2. Siepak J.: Analiza specjacyjna metali w próbkach wód i osadów dennych. Wyd. Naukowe UAM, Poznań **1998**
3. Frankowski M., Ziola-Frankowska A.: Analiza specjacyjna i frakcjonowanie glinu w próbkach środowiskowych. Wyd. Naukowe UAM, Poznań **2010**
4. Świeczko-Żurek B.: *Biomateriały*. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk **2009**
5. Duffus J.H.: "Heavy metals" a meaningless term? (IUPAC Technical Report). *Pure Applied Chemistry*, **2002**, 74 (5), 793-807.
6. Kucharski M.: *Recykling metali nieżelaznych*. Wydawnictwa AGH, Kraków, **2010**
7. Ulewicz M., Siwka J.: *Procesy odzysku i recyklingu wybranych materiałów*. Wydawnictwo Wydziału Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, **2010**
8. Szczyński P., Siepak J., Niedzielski P., Sobczyński T.: Research on heavy metals in Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*, **2009**, 18, 755-768.
9. Jha M.K., Kumar V., Jeong J., Lee J.: Review on solvent extraction of cadmium from various solutions. *Hydrometallurgy*, **2012**, 111-112, 1-9.
10. <http://hutnictwo.wnp.pl/notowania/metale/>
11. Kopacz S., Wis S.: *Metody otrzymywania metali*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, **1996**
12. Jeżowska-Trzebiatowska B., Kopacz S., Mikulski T.: *Pierwiastki rzadkie*. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, **1976**

13. Cote G.: Hydrometallurgy of Strategic Metals. *Solvent Extraction and Ion Exchange*, **2000**, 18(4), 703-727
14. Szymanowski J.: *Ekstrakcja miedzi hydroksyoksymami*. PWN, Warszawa, **1990**
15. Sohn H.Y., Wadsworth M.E.: *Rate Processes of Extractive Metallurgy*. Plenum Press, London, **1979**
16. Rousseau R.W., *Handbook of separation process technology*. Jon Wiley & Sons, **1987**
17. Murthy T.K.S., Koppiker K.S., Gupta C.K.: *Solvent Extraction in Extractive Metallurgy*, w: Li N.N., Navratil J.D. (ed.): *Recent Developments in Separation Science*. CRS Press, Florida **1986**
18. Habashi F.: *Handbook of extractive metallurgy*. Weinheim Wiley-VCH, **1997**
19. Habashi F.: *Textbook of Hydrometallurgy*. Metallurgie Extractive Quebec, Quebec, **1999**
20. Anthony M.T., Flett D.S.: *Hydrometallurgy — an environmentally sustainable technology?* Hydrometallurgy'94, Chapman & Hall, **1994**, str. 13–26
21. Murakami H., Nishihama S., Yoshizuka K.: Separation and recovery of gold from waste LED using ion exchange method. *Hydrometallurgy*, **2015**, 157, 194-198
22. Zainol Z., Nicol M.J.: Comparative study of chelating ion exchange resins for the recovery of nickel and cobalt from laterite leach tailings. *Hydrometallurgy*, **2009**, 96, 283-287
23. Mendes F.D., Martins A.H.: Recovery of nickel and cobalt from acid leach pulp by ion exchange using chelating resin. *Minerals Engineering*, **2005**, 18, 945-954
24. Murayev M., Fomchenko N.V., Usoltsev E.A., Vasilyev E.A., Kondrat'eva T.F.: Leaching of copper and zinc from copper converter slag flotation tailings using H_2SO_4 and biologically generated $Fe_2(SO_4)_3$. *Hydrometallurgy*, **2012**, 119-120, 40-46
25. Polat H., Erdogan D.: Heavy metal removal from waste waters by ion flotation. *Journal of Hazardous Materials*, **2007**, 148, 267-273
26. Baczyńska M., Regel-Rosocka M., Wiśniewski M.: Zastosowanie polimerowych membran inkluzyjnych w procesie transportu jonów metali. *Przemysł Chemiczny*, **2013**, 92, 928-935
27. Wieczorek P.P., Liquid membranes as a useful method for separation and purification of mixtures. *Przemysł Chemiczny*, **2007**, 86, 996-1000
28. Lenarcik B., **Radzyńska E.**: *Studies on extraction of Cd(II) complexes with some alkylimidazoles in liquid-liquid system*. X International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "ARS SEPARATORIA", Pieczyńska k/Koronowa **1995**
29. **Radzyńska-Lenarcik E.**: *Alkilopochodne imidazolu jako ligandy kompleksotwórcze i reagenty ekstrakcyjne dla jonów Cu(II) i Cd(II)*. Sprawozdawcze Seminarium Naukowe SSN – WTiCh, ATR, Bydgoszcz **1997**
30. Lenarcik B., **Radzyńska-Lenarcik E.**, Żytelewska E.: *The distribution of Cu(II) complexes with some purely soluble in water 1-alkylimidazoles between water and organic phases*. XIIIth International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria 98", Gnień 15-18 lipiec **1998**
31. Lenarcik B., **Radzyńska-Lenarcik E.**, Młodzik A.: *Investigations of distribution of Cu(II) complexes with some 2-alkylimidazoles in two-phase systems*. XIIIth International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria 98", Gnień 15-18 lipiec **1998**
32. **Radzyńska-Lenarcik E.**, Lenarcik B.: *The effect of solvent on composition of extractable Cu(II) complexes with sparingly soluble alkylimidazoles*. XIVth International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria 99", Gnień 5-8 lipiec **1999**
33. **Radzyńska-Lenarcik E.**, Lenarcik B.: *The influence of the steric effect and alkyl chain length on the extraction of Cu(II) complexes with 1-alkyl-2-ethylimidazoles*. XVIth International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria **2001**", Borówno k/Bydgoszczy 20-23 czerwiec 2001
34. **Radzyńska-Lenarcik E.**: *Complexing and extracting properties of 1-alkyl-2-methylimidazole*. XVIIth International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria **2002**", Borówno k/Bydgoszczy 17-20 czerwiec 2002
35. Lenarcik B., Ojczenasz P., Kierzkowska A., **Radzyńska-Lenarcik E.**, Rauckyte T.: *Comparison of parameters determining extraction process of the complexes of Co(II), Ni(II), Cu(II) and Zn(II) with homologous series 1-alkylimidazole*. XVIIIth International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria **2003**", Złoty Potok k/Częstochowy 10-13 czerwiec 2003
36. **Radzyńska-Lenarcik E.**: *Differentiation of extraction properties of sparingly soluble alkylimidazoles towards metal ions*. XIX Ogólnopolska Konferencja Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Rzeszów **2007**
37. **Radzyńska-Lenarcik E.**, Lenarcik B.: *The influence of organic solvents on extraction of Cd(II) complexes with 1,2-dialkylimidazole*. XXIII-th International Symposium on Physicochemical Methods of Separation "Ars Separatoria **2008**", Toruń 6-9 lipiec 2008
38. **Radzyńska-Lenarcik E.**, Lenarcik B.: *Search for conditions of selective extraction of the Co(II), Ni(II), Zn(II) and Cu(II) 1-alkylimidazole complexes*. XXV-th International Symposium on Physicochemical Methods of Separations "Ars Separatoria **2010**", Toruń 4-7 lipiec 2010

39. Radzimska-Lenarcik E.: Influence of the solvent donor number on the O/W partition ratio of Cu(II) complexes of 1,2-dialkylimidazoles. *Chemical Papers*, **2011**, 65, 226-232
40. Radzimska-Lenarcik E., Witt K.: *1-Hexyl-2-methylimidazole as a selective extractant of some transition metals*. Young Scientists Towards the Challenges of Modern Technology, Warszawa, 22–24 wrzesień **2014**
41. Radzimska-Lenarcik E., Ulewicz M.: *Application of polymer membranes with 1-alkyl-4-methylimidazole for recovery of zinc from waste*. III-rd International Conference on Methods and Materials for Separation Processes “Separation Science – Theory and Practice **2015**”, Karpacz 6-10 wrzesień 2015
42. Sulewski M., Radzimska-Lenarcik E.: *Recovery of heavy metals from waste sludges*. In: Proceedings of the 41-st International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering **2014**, Tatranské Matliare, Slovakia, p. 282-291
43. Stepnowski P., Synak E., Szafranek B., Kaczyński Z.: *Techniki separacyjne*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2010
44. Rydberg J., Musakis C.K., Chopin G.R.: *Principles and Practices of Solvent Extraction*. M. Dekker Inc., New York, **1992**
45. Apostoluk W.: *Równowagi ekstrakcji metali kwasami karboksylowymi*. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, **1993**
46. Borowiak-Resterna, A., Pirydynokarboksyamidy jako ekstrahenty miedzi(II) z roztworów chlorkowych. *Przemysł Chemiczny*, **2006**, (8-9), 569-573
47. Erna M.: Use of Solvent Extraction for the Removal of Heavy Metals from Liquid Wastes. *Environmental Monitoring and Assessment*, **1995**, 34(2), 151-162
48. Pośpiech B., Walkowiak W.: Zastosowanie tlenu trioktylofosfiny do separacji jonów metali z roztworów wodnych. *Przemysł Chemiczny*, **2009**, (2), 168-171
49. Dakshinamoorthy A., Dhamia P.S., Naika P.W., Dudwadkara N.L., Munshia S.K., Deya P.K., Venugopalb V.: Separation of palladium from high level liquid waste of PUREX origin by solvent extraction and precipitation methods using oximes. *Desalination*, **2008**, 232(1-3), 26–36
50. du Preez J.G.H.: Recent Advances In Amines As Separating Agents For Metal Ions. *Solvent Extraction and Ion Exchange*, **2000**, 18, 679-701
51. Ruhela R., Sharma J. N., Tomar B. S., Murali M. S., Hubli R. C., Suri A. K.: Dithiodiglycolamide: novel ligand with highest selectivity and extractability for palladium. *Tetrahedron Letters*, **2011**, 52(30), 3929–3932
52. Chun S., Dzyuba S.V, Bartsch R.A: Influence of Structural Variation in Room-Temperature Ionic Liquids on the Selectivity and Efficiency of Competitive Alkali Metal Salt Extraction by a Crown Ether. *Analytical Chemistry*, **2001**, 73(15), 3737–3741
53. Hung N.T., Watanabe M., Kimura T.: Solvent Extraction of Palladium(II) with Various Ketones from Nitric Acid Medium. *Solvent Extraction and Ion Exchange*, **2007**, 25(3), 407-416
54. Borowiak-Resterna A., Chlebowska H., Giezek M.: Zinc extraction from chloride solutions with N-alkyl- and N,N-dialkylpyridinecarboxamides. *Hydrometallurgy*, **2010**, 103, 158-166
55. Cupery M.E.: *N-Imidazole Compounds and Their Complex Metal Derivatives*. US Patent, 3843667, October 22, **1974**
56. Schakers J.M., du Preez J.G.H.: *Solvent Extraction Mixture Comprising Substituted Imidazole or Benzimidazole for the Purification of Groups of Base Metals*. US Patent, US 20040208808 A1, October 21, **2004**
57. Jha M.K., Kumar V., Singh R.J.: Solvent extraction of zinc from chloride solutions. *Solvent Extraction and Ion Exchange*, **2002**, 20, 389-405
58. Wang L.K., Hung Y.T., Shammas N.K.: *Handbook of Environmental Engineering*. vol.4: *Advanced Physicochemical Treatment Processes*. The Homana Press Inc., Totowa, NJ, **2006**
59. Rydberg J.: On the complex formation between thorium and acetylacetone. *Acta Chemica Scandinavica*, **1950**, 4, 1503-1522
60. Lenarcik B., Ojczenasz P.: Investigation of the Stability Constants of Co(II) Complexes with a Homologous Series of 1-Alkylimidazoles in Aqueous Solution by Using a Partition Method with Several Solvents. *Separation Science and Technology*, **2004**, 39, 199-226
61. Lenarcik B., Ojczenasz P., Kopkowski A.: The Influence of the Alkyl Chain Length and Steric Effect on Stability Constants and Extractability of Co(II) Complexes with 1-Alkyl-4(5)-methylimidazoles. *Separation Science and Technology*, **2006**, 41, 1697-1724
62. Lenarcik B., Rauckyte T.: The Influence of Alkyl Length on Extraction Equilibria of Ni(II) Complexes with 1-Alkylimidazoles in Aqueous Solution/Organic Solvent Systems. *Separation Science and Technology*, **2004**, 39, 3353-3372

63. **Radzimska-Lenarcik E.**: Search for the possibility of utilizing the differences in complex-forming capacities of alkylimidazoles for selective extraction of some metal ions from aqueous solutions. *Polish Journal of Chemical Technology*, **2008**, 10, 73-78.
64. Lenarcik B., Kierzkowska A.: The Influence of Alkyl Length on Stability Constants of Zn(II) Complexes with 1-Alkylimidazoles in Aqueous Solutions and Their Partition Between Aqueous Phase and Organic Solvent. *Solvent Extraction and Ion Exchange*, **2004**, 22, 449-471.
65. Lenarcik B., Kierzkowska A.: The Influence of Alkyl Chain Length and Steric Effect on Extraction of Zinc(II) Complexes with 1-Alkyl-2-methylimidazoles. *Solvent Extraction and Ion Exchange*, **2006**, 24, 433-445
66. Lenarcik B., Kierzkowska A.: The Influence of Alkyl Chain Length and Steric Effect on Stability Constants and Extractability of Zn(II) Complexes with 1-Alkyl-4(5)-methylimidazoles. *Separation Science and Technology*, **2004**, 39, 3485-3508
67. Kołtuniewicz A.B., Drioli E.: *Membranes in clean technologies*. Wiley-Vch Verlag GmbH, Weinheim **2008**
68. Bodzek M., Konieczny K.: *Usuwanie zanieczyszczeń nieorganicznych ze środowiska wodnego metodami membranowymi*. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa 2011
69. Bakalár T., Búgel M., Gajdošová L.: *Heavy metal removal using reverse osmosis*. Acta Montanistica Slovaca, **2009**, 14, 250-253
70. Korus I.: *Wykorzystanie ultrafiltracji wspomaganą polimerami do separacji jonów metali ciężkich*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice **2012**
71. Ceynowa J.: *Membrany selektywne i procesy membranowe*. w: Membrany: Teoria i Praktyka. Zeszyt 1. pod red. R. Wódzki, Fundacja Rozwoju Wydziału Chemii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń, **2003**
72. Walkowiak W., Kozłowski C., Pellowski W.: *Zastosowanie polimerowych membran inkluzyjnych do wydzielania i separacji jonów metali*. w: Membrany: Teoria i Praktyka. Zeszyt 1. pod red. R. Wódzki, Fundacja Rozwoju Wydziału Chemii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń, **2003**
73. Szymanowski J.: *Wybrane fizykochemiczne aspekty wydzielania jonów metali*. w: Membrany: Teoria i Praktyka. Zeszyt 1. pod red. R. Wódzki, Fundacja Rozwoju Wydziału Chemii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń, **2003**
74. Michalak A., **Radzimska-Lenarcik E.**: *Polymer membranes pertraction of copper(II) and zinc(II) from liquid solutions by 1-heptyl-2-methylimidazole*. XIII Ogólnopolska szkoła Membranowa "Innowacyjne rozwiązania w membranowych procesach rozdzielczych", Toruń-Przysiek 18-21 października **2015**
75. **Radzimska-Lenarcik E.**, Ulewicz M.: *Comparison transport of Co(II), Ni(II), Cu(II) and Zn(II) ions across a polymer inclusion membrane containing 1-octylimidazole and 1-octyl-2-methylimidazole as the carrier*. In: Proceedings of the 40-th International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering **2013**, Tatranské Matliare, Slovakia, p. 717-727
76. **Radzimska-Lenarcik E.**, Ulewicz M.: *Selektywny transport jonów Cu(II) przez polimerowe membrany inkluzyjne zawierające 1-heksyloimidazol*. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN "Membrany i procesy membranowe w ochronie środowiska" Gliwice **2010**, Nr 66, Tom I, str. 141-149
77. Ulewicz M., **Radzimska-Lenarcik E.**: *Separacja jonów metali nieżelaznych w procesie transportu przez polimerowe membrany inkluzyjne zawierające pochodne alkylimidazolu*. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, „Membrany i Procesy Membranowe w Ochronie Środowiska” Gliwice **2010**, Nr 66 (Tom 2) str. 297-304
78. **Radzimska-Lenarcik E.**, Ulewicz M.: *Selective transport of Zn²⁺ ions cross a polymer inclusion membrane (PIM) doped with 1-decylimidazole*. In: Proceedings of the 39-th International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering **2012**, Tatranské Matliare, Slovakia, p. 724-732
79. **Radzimska-Lenarcik E.**, Ulewicz M.: *The use of the steric effect of the carrier molecule in the polymer inclusion membranes for the separation of non-ferrous metal ions*. In: Proceedings of the 41-st International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering **2014**, Tatranské Matliare, Slovakia, p. 292-304
80. **Radzimska-Lenarcik E.**, Ulewicz M.: *Selectivity of Cu(II) transport across polymer inclusion membranes doped with 1-alkyl-2-methylimidazoles*. In: Proceedings of the 42-nd International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering **2015**, Tatranské Matliare, Slovakia, p. 224-235
81. **Radzimska-Lenarcik E.**, Ulewicz M.: *The use of the steric effect of the carrier molecule in the polymer inclusion membranes for the separation of cobalt(II), nickel(II), copper(II), and zinc(II) ions*. *Polish Journal of Chemical Technology* **2015**, 10, 73-78
82. Ulewicz M., Sadowska K., Biernat J.F.: *Facilitated transport of Zn(II), Cd(II) and Pb(II) across polymer inclusion membrane doped with imidazole azocrown ethers*. *Desalination*, **2007**, 214, 352-364
83. Ulewicz M., Szczygelska-Tao J., Biernat J.F.: *Selectivity of Pb(II) transport across polymer inclusion membranes doped with imidazole azothiacrown ethers*. *Journal of Membrane Science*, **2009**, 344, 32-38

84. Ulewicz M., **Radzymińska-Lenarcik E.**: Transport of metal ions across polymer inclusion membrane with 1-alkylimidazole. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, **2011**, 46, 199-130
85. Ulewicz M., **Radzymińska-Lenarcik E.**: Application of supported and polymer membrane with 1-decyl-2-methylimidazole for separation of transition metal ions. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, **2012**, 48, 91-102
86. Ajji Z., Ali A.M.: Separation of copper ions from iron ions using PVA-g-(acrylic acid/N-vinyl imidazole) membranes prepared by radiation-induced grafting. *Journal of Hazardous Materials*, **2010**, 173, 71-74
87. **Radzymińska-Lenarcik E.**, Ulewicz M.: The use of 1-alkylimidazoles for selective separation of zinc ions in the transport process across polymer inclusion membrane. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, **2014**, 50, 131-142
88. Ulewicz M., **Radzymińska-Lenarcik E.**: Application of polymer inclusion membranes doped with 1-hexyl-4-methylimidazole for pertraction of zinc(II) and other transition metal ions. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, **2015**, 51, 447-460
89. **Radzymińska-Lenarcik E.**, Wasilewska A.: Nickel-cobalt separation by solvent extraction method. *Challenges of Modern Technology* **2015**, 6, 20-23
90. Lenarcik B., Kurdziel K.: Stability and Structure of Transition Metal Complexes of Azoles in Aqueous Solutions. Part XXV. The Effect of the Size and Position of an Alkyl Substituent on the Stability and Structure of Alkylimidazole Complexes. *Polish Journal of Chemistry*, **1982**, 56, 3-14
91. Lenarcik B., Ojczenasz P.: The Influence of the Size and Position of the Alkyl Groups in Alkylimidazole Molecules on Their Acid – Base Properties. *Journal of Heterocyclic Chemistry*, **2002**, 39, 287-290.
92. Barszcz B., Lenarcik B., Complexes of Mn(II) with azoles. Part II. Studies on the stability of Mn(II) complexes with diazoles and their methyl derivatives in aqueous solution. *Polish Journal of Chemistry*, **1989**, 63, 371-380.
93. Eitner K., Urbaniak W., **Radzymińska-Lenarcik E.**, Witt K. : Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej P. 411839 - zgłoszenie w sprawie uzyskania patentu na wynalazek pt. „Polimerowa membrana inkluzyjna oraz sposób jej otrzymywania” z dnia 31 marca 2015 roku
94. Eitner K., Urbaniak W., **Radzymińska-Lenarcik E.**, Witt K.: Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej P. 411842 - zgłoszenie w sprawie uzyskania patentu na wynalazek pt. „Sposób odzyskiwania metali, zwłaszcza cynku, z kwaśnych roztworów odpadowych” z dnia 31 marca 2015 roku
95. Eitner K., Urbaniak W., **Radzymińska-Lenarcik E.**, Witt K.: Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej P. 411843 - zgłoszenie w sprawie uzyskania patentu na wynalazek pt. „Sposób usuwania metali ciężkich z roztworów amoniakalnych” z dnia 31 marca 2015 roku
96. Eitner K., Urbaniak W., **Radzymińska-Lenarcik E.**, Witt K.: Europejski Urząd Patentowy PCT/PL2015/000081- zgłoszenie w sprawie uzyskania patentu na wynalazek pt. „Polymer inclusion membrane and method of preparation thereof” z dnia 19 maja 2015 roku
97. Bjerrum J.: *Metal ammine formation in aqueous solution: theory of the reversible step reactions*. Copenhagen, **1957**
98. Cieślak-Golonka M., Starosta J., Wasielewski M.: *Wstęp do chemii koordynacyjnej*. PWN, Warszawa, **2010**
99. Kurdziel K., Głowiak T.: Crystal structure and physico-chemical characterization of the nitrato complexes of copper(II) with 1-ethoxymethylimidazole. *Transition Metal Chemistry* **1999**, 24, 366-369
100. Marcus Y.: *The Properties of Solvents*. John Wiley & Sons, Chichester, **1998**
101. Ma E., Dreiser H.: Mechanistic studies on the extraction of palladium(II) with 2-hydroxy-5-nonylbenzophenone oxime. *Solvent Extraction and Ion Exchange*, **1983**, 1, 485-496
102. Cotton F.A., Wilkinson G., Gaus P.L.: *Chemia nieorganiczna. Podstawy*. PWN, Warszawa, **2002**
103. Cholewa E., Lutze R., Kwiatkowski L., Okurowski W.: *Elektrolityczne powłoki stopowe cynku – kierunki rozwoju i zastosowanie*. Inżynieria Powierzchni, Wyd. Instytut Mechaniki Precyzyjnej, Warszawa, **2007** (2)
104. Milewski W., Kobus J.: *Przykładowa analiza kosztów eksploatacji powłok antykorozyjnych*. Inżynieria Powierzchni, Wyd. Instytut Mechaniki Precyzyjnej, Warszawa, **2010** (3)
105. Mróz J., *Recykling i utylizacja materiałów odpadowych w agregatach metalurgicznych*. Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, **2006**
106. Łętowski F.: *Podstawy hydrometalurgii*. WNT, Warszawa, **1975**
107. Chmielewski T.: Ługowanie metali z rud, koncentratów, półproduktów i odpadów. *Fizykochemiczne Problemy Metalurgii*. **1996**, 30, 217-231
108. Raport o stanie woj. dolnośląskiego w **2007** r., Dane GUS
109. Pereira D.D., Rocha S.D.F., Mansur M.B.: Recovery of zinc sulphate from industrial effluents by liquid-liquid extraction using D2EHPA (di-2-ethylhexyl phosphoric acid). *Separation and Purification Technology*, **2007**, 53, 89-96

Wykaz opublikowanych prac naukowych stanowiących jednotematyczny cykl publikacji w języku polskim

- (H-1) **Radzymińska-Lenarcik E.** IF = 1,162
Wpływ długości łańcucha alkilowego na równowagę podziału kompleksów Cu(II) z 1-alkiloimidazolami między fazę wodną a organiczną. udział własny 100%
Solvent Extraction and Ion Exchange **2007**, 25, 53-64

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji zastosowania 1-alkiloimidazoli (w sumie 10 pochodnych alkilowych) jako ekstrahentów do usuwania jonów miedzi(II) z roztworów wodnych, zastosowaniu ośmiu nie mieszających się z wodą rozpuszczalników organicznych, zaplanowaniu i wykonaniu badań ekstrakcyjnych, analizie wpływu długości łańcucha alkilowego w cząsteczce 1-alkiloimidazolu na współczynnik ekstrakcji miedzi, analizie krzywych ekstrakcyjnych, obliczeniu stałych trwałości tworzących się kompleksów Cu(II) oraz ich stałych podziału, opracowaniu i dyskusji wyników badań, sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

- (H-2) **Radzymińska-Lenarcik E.** IF = 1,048
Wpływ długości łańcucha alkilowego na proces ekstrakcji kompleksów miedzi(II) z 1-alkilo-2-metyloimidazolami. udział własny 100%
Separation Science and Technology **2007**, 42, 2661-2675

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji zastosowania 1-alkilo-2-metyloimidazoli (w sumie ośmiu pochodnych alkilowych) jako ekstrahentów do usuwania jonów miedzi(II) z roztworów wodnych, zaplanowaniu i wykonaniu badań ekstrakcyjnych przy użyciu trzech nie mieszających się z wodą rozpuszczalników (chlorek metylenu, chloroform, 2-etyloheksanol), analizie krzywych ekstrakcyjnych, wykonaniu badań spektrofotometrycznych fazy wodnej i organicznej w zakresie widzialnym, obliczeniu stałych trwałości tworzących się kompleksów Cu(II) oraz ich stałych podziału, analizie wpływu długości łańcucha alkilowego w pozycji 1 oraz efektu sterycznego podstawnika w pozycji 2 na wartości tych stałych, dyskusji wyników badań, sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

- (H-3) **Radzymińska-Lenarcik E.** IF = 1,139
Wpływ efektu sterycznego i hydrofobowego oraz liczb donorowych rozpuszczalnika na proces ekstrakcji kompleksów Cu(II) z 1-alkilo-2-etyloimidazolami. udział własny 100%
Separation Science and Technology **2008**, 43, 794-814

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji zastosowania 1-alkilo-2-etyloimidazoli (w sumie pięciu pochodnych alkilowych) jako ekstrahentów do usuwania jonów miedzi(II) z roztworów wodnych, zaplanowaniu i wykonaniu badań ekstrakcyjnych w sześciu nie mieszających się z wodą rozpuszczalnikach, analizie wpływu długości łańcucha alkilowego w cząsteczce 1-alkiloimidazolu, efektu sterycznego podstawnika w pozycji 2 (zwiększonego w porównaniu 1-alkilo-2-metyloimidazolami) oraz rodzaju rozpuszczalnika na stałe trwałości kompleksów tworzących się w roztworze wodnym i ich stałe podziału między fazę wodną a organiczną, analizie krzywych ekstrakcyjnych, wykonaniu badań spektrofotometrycznych fazy wodnej i organicznej w zakresie widzialnym, opracowaniu i dyskusji wyników, sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

- (H-4) Radzimska-Lenarcik E.** IF = 1,028
 Wpływ długości łańcucha alkilowego w 1,2-dialkiloimidazach na udział własny
 właściwości ekstrakcyjne i strukturę ich kompleksów z miedzią(II). 100%
Separation Science and Technology **2009**, 44, 954-970

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji zastosowania 1,2-dialkilo podstawionych imidazoli (w sumie zbadano dziewięć związków) jako ekstrahentów do usuwania jonów miedzi(II) z roztworów wodnych, zaplanowaniu i wykonaniu badań ekstrakcyjnych w dwóch nie mieszających się z wodą rozpuszczalnikach (chloroform, 2-etyloheksanol) oraz badań spektrofotometrycznych fazy wodnej i organicznej, analizie krzywych ekstrakcyjnych, analizie wpływu długości łańcucha alkilowego w pozycji 1, efektu sterycznego podstawnika w pozycji 2 (zwiększonego na skutek powiększenia długości łańcucha węglowego – propyl, butyl, pentyl) oraz rodzaju użytego rozpuszczalnika na stałe trwałości kompleksów tworzących się w roztworze wodnym i ich stałe podziału między fazę wodną a organiczną, opracowaniu i dyskusji wyników, sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

- (H-5) Radzimska-Lenarcik E.** IF = 1,821
 Wpływ efektu sterycznego, długości łańcucha alkilowego oraz liczb udział własny
 donorowych rozpuszczalnika na proces ekstrakcji kompleksów Cu(II) 100%
 z 1-alkilo-4-metyloimidazolami.
Solvent Extraction and Ion Exchange **2010**, 28, 636-652

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji zastosowania 1-alkilo-4-metyloimidazoli (w sumie zbadano siedem związków) jako ekstrahentów do usuwania jonów miedzi(II) z roztworów wodnych, zaplanowaniu i wykonaniu badań ekstrakcyjnych w pięciu nie mieszających się z wodą rozpuszczalnikach (toluen, *p*-ksylen, chloroform, chlorek metylenu, 2-etyloheksanol), wykonaniu badań spektrofotometrycznych fazy wodnej i organicznej, analizie krzywych ekstrakcji, analizie wpływu długości łańcucha alkilowego w pozycji 1 ekstrahenta efektu sterycznego podstawnika w pozycji 4 oraz rodzaju użytego rozpuszczalnika na stałe trwałości kompleksów tworzących się w roztworze wodnym i ich stałe podziału między fazę wodną a organiczną, opracowaniu i dyskusji wyników, sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

- (H-6) Radzimska-Lenarcik E., Witt K.** IF = 1,083
 Wpływ długości łańcucha alkilowego i efektu sterycznego na trwałość i udział własny
 ekstrakcję kompleksów Co(II) z 1-alkilo-2-metyloimidazolami. 80%
Separation Science and Technology **2015**, 50, 676-682

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji zastosowania 1-alkilo-2-metyloimidazoli (w sumie ośmiu pochodnych alkilowych) jako ekstrahentów do usuwania jonów Co(II) z roztworów wodnych, zaplanowaniu i kierowaniu badaniami ekstrakcyjnymi w trzech nie mieszających się z wodą rozpuszczalnikach (chlorek metylenu, chloroform, 2-etyloheksanol), analizie krzywych ekstrakcyjnych, analizie wpływu długości łańcucha alkilowego w cząsteczce 1-alkiloimidazolu, efektu sterycznego podstawnika w pozycji 2 oraz rodzaju rozpuszczalnika na stałe trwałości kompleksów tworzących się w roztworze wodnym i ich stałe podziału między fazę wodną a organiczną, analizie zależności van Pantaleona van Eck'a, dyskusji wyników, sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

- (H-7) Radzimska-Lenarcik E., Urbaniak W.** udział własny
 Separacja jonów Co(II), Ni(II), Cu(II) i Pd(II) metodą ekstrakcji 80%
 rozpuszczalnikowej.
Rekultywacja i rewitalizacja terenów zdegradowanych. Red. prof.
 Grzegorz Malina, Wyd. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników
 Sanitarnych, oddział wielkopolski, Poznań **2013**, str. 105-117

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji monografii, wykonaniu badań ekstrakcyjnych, opracowaniu i dyskusji wyników oraz na sformułowaniu wniosków i redakcyjnym przygotowaniu monografii do druku.

- (H-8) **Radzimska-Lenarcik E., Ulewicz M.** IF = 1,164
Selektywny transport Cu(II) przez polimerowe membrany inkluzyjne udział własny
zawierające 1-alkilimidazole z roztworów azotanowych. 50%
Separation Science and Technology **2012**, 47, 1113-1118

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji publikacji, doborze nośników zastosowanych w membranach, opracowaniu i dyskusji wyników badań, sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

- (H-9) Ulewicz M., **Radzimska-Lenarcik E.** IF = 1,164
Transport miedzi(II) z roztworów azotanowych przez podparte (SLM) i udział własny
polimerowe (PIM) membrany zawierające 1-heksylo-2-metyloimidazol. 50%
Separation Science and Technology **2012**, 47, 1383-1389

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji publikacji, wyborze zastosowanego w membranie nośnika, opracowaniu i dyskusji wyników badań oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

- (H-10) Ulewicz M., **Radzimska-Lenarcik E.** IF = 1,2
Zastosowanie podpartych i polimerowych membran z 1-decylo-4- udział własny
metyloimidazolami do rozdzielania jonów metali przejściowych. 50%
Separation Science and Technology **2014**, 49, 1713-1721

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji publikacji, wyborze zastosowanego w membranie nośnika, opracowaniu i dyskusji wyników badań oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

- (H-11) **Radzimska-Lenarcik E., Sulewski M., Urbaniak W.** IF = 0,79
Odzysk cynku z odpadów poprodukcyjnych. udział własny
Polish Journal of Environmental Studies **2015**, 24, 1277-1282 70%

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji publikacji, zaplanowaniu i kierowaniu badaniami, wyborze czynników ługujących cynk z odpadów (w sumie 6 związków), wyborze ekstrahentów przydatnych do usuwania cynku z kwaśnych i zasadowych roztworów otrzymanych po ługowaniu, opracowaniu i dyskusji wyników badań, sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

- (H-12) **Radzimska-Lenarcik E., Urbaniak W.**
Badanie procesu ługowania szlamów po produkcji miedzi celem udział własny
odzysku zawartego w nich cynku. 80%
Gospodarka Odpadami Komunalnymi, Monografia Komitetu Chemii
Analitycznej PAN pod red. K. Szymańskiego, **2013**, 249, 33-44

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji monografii, wykonaniu badań, opracowaniu i dyskusji wyników oraz na sformułowaniu wniosków i redakcyjnym przygotowaniu monografii do druku.

**SUMARYCZNY IMPACT FACTOR DOROBKU NAUKOWEGO BĘDĄCEGO
PODSTAWĄ ROZPRAWY HABILITACYJNEJ IF = 11,599**

Autorstwo lub współautorstwo publikacji naukowych w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)

Sumaryczny IF 18,616

Liczba cytowań 110, bez autocytowań 23 (wg. Web of Science 31.10.2016)

H-index 7 (wg. Web of Science 31.10.2016)

Autorstwo lub współautorstwo publikacji naukowych w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR) – przed uzyskaniem stopnia doktora

—
Autorstwo lub współautorstwo publikacji naukowych w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR) – po uzyskaniu stopnia doktora

- | | | |
|----|---|---|
| 1. | Radzimska-Lenarcik E.
Influence of the alkyl chain length on extraction equilibrium of Cu(II) complexes with 1-alkylimidazoles in aqueous solution/organic solvent systems. Solvent Extraction and Ion Exchange 2007 , <u>25</u> , 53-64 | IF = 1,17
udział
własny =
100% |
|----|---|---|

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji zastosowania 1-alkilimidazoli (w sumie 10 pochodnych alkilowych) jako ekstrahentów do usuwania jonów miedzi(II) z roztworów wodnych, zastosowaniu ośmiu nie miesających się z wodą rozpuszczalników organicznych, zaplanowaniu i wykonaniu badań ekstrakcyjnych, analizie wpływu długości łańcucha alkilowego w cząsteczce 1-alkilimidazolu na współczynnik ekstrakcji miedzi, analizie krzywych ekstrakcyjnych, obliczeniu stałych trwałości tworzących się kompleksów Cu(II) oraz ich stałych podziału, opracowaniu i dyskusji wyników badań, sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

- | | | |
|----|---|--|
| 2. | Radzińska-Lenarcik E.
Effect of alkyl chain length on the extraction of copper(II) complexes with 1-alkyl-2-methylimidazoles. Separation Science and Technology 2007 , <u>42</u> , 2661-2675 | IF = 1,048
udział
własny =
100% |
|----|---|--|

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji zastosowania 1-alkilo-2-metyloimidazoli (w sumie ośmiu pochodnych alkilowych) jako ekstrahentów do usuwania jonów miedzi(II) z roztworów wodnych, zaplanowaniu i wykonaniu badań ekstrakcyjnych przy użyciu trzech nie miesających się z wodą rozpuszczalników (chlorek metylenu, chloroform, 2-etyloheksanol), analizie krzywych ekstrakcyjnych, wykonaniu badań spektrofotometrycznych fazy wodnej i organicznej w zakresie widzialnym, obliczeniu stałych trwałości tworzących się kompleksów Cu(II) oraz ich stałych podziału, analizie wpływu długości łańcucha alkilowego w pozycji 1 oraz efektu sterycznego podstawnika w pozycji 2 na wartości tych stałych, dyskusji wyników badań, sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

- | | | |
|----|---|--|
| 3. | Radzimska-Lenarcik E.
Influence of the steric hindrance, ligand hydrophobicity and DN of solvents on structure and extraction of Cu(II) complexes of 1-alkyl-2-ethylimidazoles. Separation Science and Technology 2008 , <u>43</u> , 794-814 | IF = 1,139
udział
własny =
100% |
|----|---|--|

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji zastosowania 1-alkilo-2-etyloimidazoli (w sumie pięciu pochodnych alkilowych) jako ekstrahentów do usuwania jonów miedzi(II) z roztworów wodnych, zaplanowaniu i wykonaniu badań ekstrakcyjnych w sześciu nie miesających się z wodą rozpuszczalnikach, analizie wpływu długości łańcucha alkilowego w cząsteczce 1-alkiloimidazolu, efektu sterycznego podstawnika w pozycji 2 (zwiększonego w porównaniu 1-alkilo-2-metyloimidazolami) oraz rodzaju rozpuszczalnika na stałe trwałości kompleksów tworzących się w roztworze wodnym i ich stałe podziału między fazę wodną a organiczną, analizie krzywych ekstrakcyjnych, wykonaniu badań spektrofotometrycznych fazy wodnej i organicznej w zakresie widzialnym, opracowaniu i dyskusji wyników, sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

4. **Radzimska-Lenarcik E.**

Search for the possibility of utilizing the differences in complex-forming capacities of alkylimidazoles for selective extraction of some metal ions from aqueous solutions. udział własny = 100%
Polish Journal of Chemical Technology **2008**, 10, 73-78

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji badań, umożliwiającej dobór selektywnego ekstrahenta do usuwania jonów metali (Co(II), Cu(II), Zn(II), Cd(II), Ni(II)) z roztworów wodnych, analizie wpływu długości łańcucha alkilowego w pozycji 1 oraz efektu sterycznego podstawnika w pozycji 2 na współczynniki podziału metali, stałe trwałości tworzących się w roztworze wodnym kompleksów tych metali i ich stałe podziału między fazę wodną a organiczną, sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

5. **Radzimska-Lenarcik E.**

The influence of alkyl chain length in 1,2-dialkylimidazoles on the extraction capacity and structure of their copper(II) complexes. IF = 1,028
udział własny = 100%
Separation Science and Technology **2009**, 44, 954-970

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji zastosowania 1,2-dialkilo podstawionych imidazoli (w sumie zbadano dziewięć związków) jako ekstrahentów do usuwania jonów miedzi(II) z roztworów wodnych, zaplanowaniu i wykonaniu badań ekstrakcyjnych w dwóch nie miesających się z wodą rozpuszczalnikach (chloroform, 2-etyloheksanol) oraz badań spektrofotometrycznych fazy wodnej i organicznej, analizie krzywych ekstrakcyjnych, analizie wpływu długości łańcucha alkilowego w pozycji 1, efektu sterycznego podstawnika w pozycji 2 (zwiększonego na skutek powiększenia długości łańcucha węglowego – propyl, butyl, pentyl) oraz rodzaju użytego rozpuszczalnika na stałe trwałości kompleksów tworzących się w roztworze wodnym i ich stałe podziału między fazę wodną a organiczną, opracowaniu i dyskusji wyników, sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

6. **Radzimska-Lenarcik E.**

The influence of steric effect, alkyl chain length and donor number of solvents on the extraction of copper(II) complexes with 1-alkyl-4-methylimidazoles. IF = 1,821
udział własny = 100%
Solvent Extraction and Ion Exchange **2010**, 28, 636-652

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji zastosowania 1-alkilo-4-metyloimidazoli (w sumie zbadano siedem związków) jako ekstrahentów do usuwania jonów miedzi(II) z roztworów wodnych, zaplanowaniu i wykonaniu badań ekstrakcyjnych w pięciu nie miesających się z wodą rozpuszczalnikach (toluen, *p*-ksylen, chloroform, chlorek metylenu, 2-etyloheksanol), wykonaniu badań spektrofotometrycznych fazy wodnej i organicznej, analizie krzywych ekstrakcji, analizie wpływu długości łańcucha alkilowego w pozycji 1 ekstrahenta efektu sterycznego podstawnika w pozycji 4 oraz rodzaju użytego rozpuszczalnika na stałe trwałości kompleksów tworzących się w roztworze wodnym i ich stałe podziału między fazę wodną a organiczną, opracowaniu i dyskusji wyników, sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

- | | | |
|----|---|---|
| 7. | Radzimska-Lenarcik E.
Influence of the solvent donor number on the O/W partition ratio of Cu(II) complexes of 1,2-dialkylimidazoles.
Chemical Papers 2011 , <u>65</u> , 226-232 | IF= 1,096
udział
własny =
100% |
|----|---|---|

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji umożliwiającej dobór rozpuszczalnika (zbadano wpływ siedmiu nie mieszających się z wodą rozpuszczalników – toluen, alkohol izoamylowy, alkohol benzylowy, 2-etyloheksanol, metylo-propylo keton, chlorek metylenu, chloroform) do usuwania jonów Cu(II) z roztworów wodnych, przy zastosowaniu 1,2-dialkylimidazoli wywierających w procesie kompleksowania zawadę steryczną (w sumie zbadano 13 związków z tego szeregu homologicznego), zaplanowaniu i wykonaniu badań ekstrakcyjnych, analizie krzywych ekstrakcyjnych, analizie wpływu liczb donorowych rozpuszczalnika, efektu hydrofobowego podstawnika alkilowego w pozycji 1 oraz efektu sterycznego podstawnika w pozycji 2 na stałe trwałości kompleksów tworzących się w roztworze wodnym i ich stałe podziału między fazę wodną a organiczną, sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

- | | | |
|----|--|---|
| 8. | Ulewicz M., Radzimska-Lenarcik E.
Transport of metal ions across polymer inclusion membrane with 1-alkylimidazole.
Physicochemical Problems of Mineral Processing 2011 , <u>46</u> , 119-130 | IF = 0,500
udział
własny =
50% |
|----|--|---|

Mój udział w publikacji polegał wyborze nośników zastosowanych w membranie (w sumie zbadano 5 związków z tego szeregu homologicznego), przydatnych do rozdzielania w roztworze wodnym (chlorkowym) jonów metali nieżelaznych, takich jak Co(II), Ni(II), Cu(II) i Zn(II) i selektywnego wydzielenia miedzi, opracowaniu i dyskusji wyników badań oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

- | | | |
|----|--|---------------------------|
| 9. | Lenarcik B., Radzimska-Lenarcik E.
Poszukiwanie różnic we właściwościach kompleksotwórczych alkylimidazoli i ich wykorzystanie. Search for differences in the complex forming abilities of alkylimidazoles and making use of them.
Chemik 2011 , <u>65</u> , 237-242 | udział
własny =
50% |
|----|--|---------------------------|

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji i przygotowaniu pracy przeglądowej dotyczącej właściwości alkilowych pochodnych imidazolu przydatnych do usuwania jonów metali, takich jak Cu(II), Co(II), Ni(II), Zn(II) i Cd(II) z roztworów modelowych oraz na uczestnictwie w dyskusji wyników i redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

- | | | |
|-----|--|--|
| 10. | Ulewicz M., Radzimska-Lenarcik E.
Application of supported and polymer membrane with 1-decyl-2-methylimidazole for separation of transition metal ions.
Physicochemical Problems of Mineral Processing 2012 , <u>48</u> , 91-102 | IF = 0,58
udział
własny =
50% |
|-----|--|--|

Mój udział polegał na wyborze zastosowanego w membranie nośnika, który zapewnia selektywne wydzielenie miedzi z mieszaniny Cu(II)-Zn(II)-Co(II)-Ni(II) z roztworów wodnych (azotanowych), opracowaniu i dyskusji wyników badań oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

- | | | |
|-----|---|---|
| 11. | Radzimska-Lenarcik E. , Ulewicz M.
Selective transport of Cu(II) across a polymer inclusion membrane with 1-alkylimidazole from nitrate solutions.
Separation Science and Technology 2012 , <u>47</u> , 1113-1118 | IF = 1,164
udział
własny =
50% |
|-----|---|---|

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji publikacji, doborze nośników zastosowanych w

membranach (w sumie zbadano 5 związków z tego szeregu homologicznego) przydatnych do selektywnego wydzielenia miedzi z mieszaniny jonów Cu(II)-Zn(II)-Co(II)-Ni(II) z roztworów wodnych (azotanowych), opracowaniu i dyskusji wyników badań, sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

- | | | |
|-----|--|---|
| 12. | Ulewicz M., Radzimska-Lenarcik E.
Supported liquid (SLM) and polymer inclusion (PIM) membranes
pertraction of copper(II) from aqueous nitrate solutions by 1-hexyl-2-
methylimidazole. Separation Science and Technology 2012 , <u>47</u> , 1383-1389 | IF = 1,164
udział
własny =
50% |
|-----|--|---|

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji publikacji, wyborze zastosowanego w membranie nośnika celem selektywnego odzysku miedzi z mieszaniny jonów metali nieżelaznych, opracowaniu i dyskusji wyników badań oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

- | | | |
|-----|--|---|
| 13. | Radzimska-Lenarcik E. , Ulewicz M.
The use of 1-alkylimidazoles for selective separation of zinc ions in the
transport process across a polymer inclusion membrane.
Physicochemical Problems of Mineral Processing 2014 , <u>50</u> , 131-142 | IF = 0,926
udział
własny =
50% |
|-----|--|---|

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji publikacji, doborze nośników zastosowanych w membranach celem selektywnego odzysku cynku z modelowych mieszanin dwuskładnikowych Zn(II)-Co(II) i Zn(II)-Ni(II) i mieszaniny trójskładnikowej Zn(II)-Co(II)-Ni(II), opracowaniu i dyskusji wyników badań, sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

- | | | |
|-----|--|---------------------------------------|
| 14. | Ulewicz M., Radzimska-Lenarcik E.
Application of polymer and supported membranes with 1-decyl-
4-methylimidazole for pertraction of transition metal ions.
Separation Science and Technology 2014 , <u>49</u> , 1713-1721 | IF = 1,2
udział
własny =
50% |
|-----|--|---------------------------------------|

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji publikacji, wyborze zastosowanego w membranie nośnika, celem odzysku cynku z modelowych mieszanin dwuskładnikowych Zn(II)-Co(II), Zn(II)-Ni(II), Zn(II)-Cd(II) i czteroskładnikowej Zn(II)-Co(II)-Cd(II)-Ni(II), opracowaniu i dyskusji wyników badań oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

- | | | |
|-----|--|---|
| 15. | Ulewicz M., Radzimska-Lenarcik E.
Application of polymer membranes doped with 1-hexyl-4-methyl-
imidazole for pertraction of zinc(II) ions.
Physicochemical Problems of Mineral Processing 2015 , <u>51</u> , 447-460 | IF = 0,977
udział
własny =
50% |
|-----|--|---|

Mój udział polegał na wyborze zastosowanego w membranie nośnika przydatnego do separacji cynku z modelowych roztworów chlorkowych – z roztworu dwuskładnikowego Zn(II)-Cd(II), trójskładnikowego Zn(II)-Cd(II)-Co(II) oraz czteroskładnikowego Zn(II)-Cd(II)-Co(II)-Ni(II), opracowaniu i dyskusji wyników badań oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

- | | | |
|-----|--|--|
| 16. | Radzimska-Lenarcik E. , Sulewski M., Urbaniak W.
Recovery of zinc from metallurgic waste sludges.
Polish Journal of Environmental Studies 2015 , <u>24</u> , 1277-1282 | IF = 0,79
udział
własny =
70% |
|-----|--|--|

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji publikacji, zaplanowaniu i kierowaniu badaniami, wyborze czynników ługujących cynk z odpadów po produkcji cynku (w sumie 6 związków), wyborze ekstrahentów przydatnych do usuwania cynku z kwaśnych i zasadowych roztworów otrzymanych po ługowaniu, opracowaniu i dyskusji wyników badań, sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym

przygotowaniu publikacji do druku.

17. **Radzimska-Lenarcik E., Witt K.** IF = 1,083
The influence of alkyl chain length and steric effect on the stability constants and extractability of Co(II) complexes with 1-alkyl-2-methylimidazoles. Separation Science and Technology **2015**, 50, 676-682 udział własny = 80%

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji zastosowania 1-alkilo-2-metyloimidazoli (w sumie ośmiu pochodnych alkilowych) jako ekstrahentów do usuwania jonów Co(II) z roztworów wodnych, zaplanowaniu i kierowaniu badaniami ekstrakcyjnymi w trzech nie mieszających się z wodą rozpuszczalnikach (chlorek metylenu, chloroform, 2-etyloheksanol), analizie krzywych ekstrakcyjnych, analizie wpływu długości łańcucha alkilowego w cząsteczce 1-alkiloimidazolu, efektu sterycznego podstawnika w pozycji 2 oraz rodzaju rozpuszczalnika na stałe trwałości kompleksów tworzących się w roztworze wodnym i ich stałe podziału między fazę wodną a organiczną, analizie zależności van Pantaleona van Eck'a, dyskusji wyników, sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

18. **Radzimska-Lenarcik E., Ulewicz M.** IF = 0,575
The use of the steric effect of the carrier molecule in the polymer inclusion membranes for the separation of cobalt(II), nickel(II), copper(II), and zinc(II) ions. Pol. J. Chem. Technol. **2015**, 17, 51-56 udział własny = 50%

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji publikacji, porównaniu wpływu budowy cząsteczki nośnika na odzysk miedzi, cynku, kobaltu i niklu z modelowych mieszanin jonów Cu(II), Zn(II), Co(II) i Ni(II), opracowaniu i dyskusji wyników badań, sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

19. Witt K., **Radzimska-Lenarcik E.**, Urbaniak W. IF = 1,083
Selective transport of zinc ions through a novel polymer inclusion membranes (PIMs) containing β -diketone derivatives as a carrier reagents. Separation Science and Technology **2016**, 51, 2620-2627 (2015) udział własny = 70%

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji publikacji, porównaniu wpływu budowy cząsteczki 3-podstawionych β -diketonów na selektywny odzysk cynku z modelowych mieszanin jonów Cu(II), Zn(II), Co(II) i Ni(II) w procesie transportu przez polimerowe membrany inkluzyjne. Porównaniu skuteczności separacji jonów cynku w stosunku do acetyloacetonu. Przeanalizowaniu parametrów charakteryzujących membrany otrzymanych w wyniku analizy termicznej (TG i DTG) oraz zdjęć z mikroskopu elektronowego (AFM). Opracowaniu i dyskusji wyników badań, sformułowaniu wniosków.

20. **Radzimska-Lenarcik E., Ulewicz M.** IF = 1,272
Application of polymer and supported membranes with 1-alkyl-2-methylimidazoles for separation of some transition metal ions. Desalination and Water Treatment DOI: 10.5004/dwt.2016.11419 (2015) udział własny = 50%

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji publikacji, porównaniu wpływu budowy cząsteczki nośnika (efektu hydrofobowego oraz sterycznego) na odzysk miedzi z modelowych równomolowych mieszanin jonów Cu(II), Zn(II), Co(II) i Ni(II), opracowaniu i dyskusji wyników badań, sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym przygotowaniu publikacji do druku.

Autorstwo lub współautorstwo monografii, publikacji naukowych w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie JCR lub na liście MNIŚW – przed uzyskaniem stopnia doktora

1. Banaszczyk K., **Radzymińska E.**, Gaca J.
Badania nad oczyszczaniem ścieków po produkcji DAO zawierających miedź i związki barwne. Gaz, Woda i Technika Sanitarna **1994**, (8), 233-235 (udział własny 50%)

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji monografii, opracowaniu i dyskusji wyników oraz na sformułowaniu wniosków i redakcyjnym przygotowaniu artykułu do druku.

2. Gaca J., **Radzymińska E.**, Kędzierska M.
Występowanie chloroformu i innych trihalometanów (THM) w wodzie pitnej Bydgoszczy. Gospodarka Wodna **1996**, (7), 206-210 (udział własny 50%)

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji monografii, opracowaniu i dyskusji wyników oraz na sformułowaniu wniosków i redakcyjnym przygotowaniu artykułu do druku.

3. Lenarcik B., Adach A., **Radzymińska-Lenarcik E.**
The influence of steric effect and alkyl chain length on the extraction of the complexes of Co(II), Ni(II), Cu(II), Zn(II) and Cd(II) with 1-alkyl-2-methylimidazoles.
Polish Journal of Chemistry **1999**, 73, 1273-1281 (udział własny 50%)

Mój udział polegał na dokonaniu obliczeń, wykonaniu rysunków, opracowaniu i dyskusji wyników i redakcyjnym przygotowaniu artykułu do druku.

4. **Radzymińska-Lenarcik E.**, Mirska I., Pernak J.
Przeciwbakteryjna aktywność kompleksów Cu(II) z 1-alkylimidazolem.
Medycyna Doświadczalna i Mikrobiologia **1998**, 50, 269-275 (udział własny 40%)

Mój udział polegał na dokonaniu syntezy stałych związków kompleksowych, dokonaniu ich charakterystyki, opracowaniu i dyskusji wyników oraz redakcyjnym przygotowaniu artykułu do druku.

Autorstwo lub współautorstwo monografii, publikacji naukowych w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie JCR lub na liście MNiSW – po uzyskaniu stopnia doktora

- Radzymińska-Lenarcik E.**, Ulewicz M.
Selektywny transport jonów Cu(II) przez polimerowe membrany inkluzyjne zawierające 1-heksyloimidazol.
1. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN "Membrany i procesy membranowe w ochronie środowiska" Gliwice **2010**, Nr 66, Tom I, str. 141-149 (udział własny = 50%)

Mój udział polegał na wyborze zastosowanego w membranie nośnika, przydatnego do selektywnej separacji jonów Cu(II) z chlorkowych roztworów modelowych, będących mieszaninami czteroskładnikowymi Cu(II)-Zn(II)-Co(II)-Ni(II), zbadaniu wpływu stężenia jonów chlorkowych na odzysk miedzi, opracowaniu i dyskusji wyników oraz w redakcyjnym przygotowaniu monografii do druku.

- Ulewicz M., **Radzymińska-Lenarcik E.**
Separacja jonów metali nieżelaznych w procesie transportu przez polimerowe membrany inkluzyjne zawierające pochodne alkylimidazolu.
2. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, Membrany i Procesy Membranowe w Ochronie Środowiska **2010**, 66 (Tom 2) 297-304 (udział własny = 50%)

Mój udział polegał na wyborze zastosowanych w membranach nośników przydatnych do separacji jonów Cu(II) z mieszanin modelowych, czteroskładnikowych Cu(II)-Zn(II)-Co(II)-Ni(II), opracowaniu i dyskusji wyników oraz w redakcyjnym przygotowaniu monografii do druku.

Radzimska-Lenarcik E., Ulewicz M.

Selective transport of Zn^{2+} ions cross a polymer inclusion membrane (PIM) doped with 1-decylimidazole.

3. In: Proceedings of the 39-th International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering **2012**, Tatranské Matliare, Slovakia, p. 724-732 (udział własny = 50%)

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji monografii, wyborze zastosowanego w membranach nośnika, celem selektywnej separacji cynku z dwuskładnikowych modelowych roztworów Zn(II)-Co(II), Zn(II)-Ni(II) i trójskładnikowego Zn(II)-Co(II)-Ni(II), zestawieniu i dyskusji wyników badań, na sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym przygotowaniu jej do druku

Radzimska-Lenarcik E., Urbaniak W.

Separacja jonów Co(II), Ni(II), Cu(II) i Pd(II) metodą ekstrakcji rozpuszczalnikowej.

4. *pod red. G. Malina: Rekultywacja i rewitalizacja terenów zdegradowanych (Reclamation and revitalization of demoted areas)*, Wyd. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych o/wielkopolski **2013**, 105-117 (udział własny = 80%)

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji monografii, wykonaniu badań ekstrakcyjnych, opracowaniu i dyskusji wyników oraz na sformułowaniu wniosków i redakcyjnym przygotowaniu monografii do druku.

Radzimska-Lenarcik E., Ulewicz M.

Comparison transport of Co(II), Ni(II), Cu(II) and Zn(II) ions across a polymer inclusion membrane containing 1-octylimidazole and 1-octyl-2-methylimidazole as the carrier.

5. In: Proceedings of the 40-th International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering **2013**, Tatranské Matliare, Slovakia, p. 717-727 (udział własny = 50%)

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji monografii, wyborze zastosowanych w membranach nośników, zestawieniu i dyskusji wyników badań, na sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym przygotowaniu jej do druku.

Radzimska-Lenarcik E., Urbaniak W.

Separation of the Zn(II) and Ca(II) ions using solvent extraction method.

6. In: Proceedings of the 40-th International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering **2013**, Tatranské Matliare, Slovakia, p. 252-261 (udział własny = 80%)

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji monografii, wykonaniu badań ekstrakcyjnych, opracowaniu i dyskusji wyników oraz na sformułowaniu wniosków i redakcyjnym przygotowaniu jej do druku.

Radzimska-Lenarcik E., Urbaniak W.

Badanie procesu ługowania szlamów po produkcji miedzi celem odzysku zawartego w nich cynku.

7. *Gospodarka Odpadami Komunalnymi, Monografia Komitetu Chemii Analitycznej PAN pod red. K. Szymańskiego*, **2013**, 249, 33-44 (udział własny = 80%)

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji monografii, wykonaniu badań, opracowaniu i dyskusji wyników oraz na sformułowaniu wniosków i redakcyjnym przygotowaniu monografii do druku.

8. **Radzimska-Lenarcik E., Ulewicz M.**

The use of the steric effect of the carrier molecule in the polymer inclusion membranes for the separation of non-ferrous metal ions.

In: Proceedings of the 41-st International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering **2014**, Tatranské Matliare, Slovakia, p. 292-304 (udział własny = 50%)

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji monografii, wyborze zastosowanych w membranach nośników, zestawieniu i dyskusji wyników badań, na sformułowaniu wniosków oraz w redakcyjnym przygotowaniu jej do druku.

Sulewski M., **Radzimska-Lenarcik E.**

Recovery of heavy metals from waste sludges.

9. In: Proceedings of the 41-st International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering **2014**, Tatranské Matliare, Slovakia, p. 282-291 (udział własny = 80%)

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji monografii, kierowaniu badaniami, opracowaniu i dyskusji wyników oraz na sformułowaniu wniosków i redakcyjnym przygotowaniu monografii do druku.

Radzimska-Lenarcik E., Urbaniak W.

Zastosowanie ekstrakcji w układzie ciecz-ciecz do koncentrowania i rozdzielania metali z odpadów.

10. Gospodarka Odpadami Komunalnymi, Monografia Komitetu Chemii Analitycznej PAN pod red. K. Szymańskiego, **2014**, 250, 151-163 (udział własny = 80%)

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji, wykonaniu badań ekstrakcyjnych, opracowaniu i dyskusji wyników oraz na sformułowaniu wniosków i redakcyjnym przygotowaniu monografii do druku.

Radzimska-Lenarcik E., Ulewicz M.

Selectivity of Cu(II) transport across polymer inclusion membranes doped with 1-alkyl-2-methylimidazoles.

11. In: Proceedings of the 42-nd International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering **2015**, Tatranské Matliare, Slovakia, p. 224-235 (udział własny = 50%)

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji, wyborze zastosowanych w membranach nośników, opracowaniu i dyskusji wyników oraz na sformułowaniu wniosków i redakcyjnym przygotowaniu monografii do druku.

Radzimska-Lenarcik E., Urbaniak W., Sulewski M.

Zagospodarowanie odpadów powstających w procesie produkcji cynku.

12. Materiały X Konferencji „Technologie bezodpadowe i zagospodarowanie odpadów w przemyśle i rolnictwie”. Wyd. volumina.pl Daniel Krzanowski **2016**, 77-80 (udział własny = 60%)

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji, kierowaniu badaniami, wyborze zastosowanych ekstrahentów, opracowaniu i dyskusji wyników oraz na sformułowaniu wniosków.

Radzimska-Lenarcik E.

Wykorzystanie równowag konfiguracyjnych do separacji jonów kobaltu(II) i niklu(II).

13. Nauka i Przemysł – metody spektroskopowe w praktyce – nowe wyzwania i możliwości. pr. zb. pod red. Z. Hubickiego, **2016**, Tom II, 832-836 (udział własny = 100%)

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji, wykonaniu badań, opracowaniu i dyskusji wyników oraz na sformułowaniu wniosków i redakcyjnym przygotowaniu monografii do druku.

- Radzimska-Lenarcik E., Urbaniak W., Totczyk G.**
Zagospodarowanie osadów pokoagulacyjnych powstałych w procesie uzdatniania wody.
14. *pod red. G. Malina: Rekultywacja i rewitalizacja terenów zdegradowanych (Reclamation and revitalization of demoted areas)*, Wyd. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych o/wielkopolski **2016**, 249-258 (udział własny = 60%)

Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji, udziale w opracowaniu i dyskusji wyników, na sformułowaniu wniosków i redakcyjnym przygotowaniu monografii do druku.

Zgłoszenia patentowe krajowe

1. Eitner K., Urbaniak W., **Radzimińska-Lenarcik E.**, Witt K.
Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej P. 411839 - zgłoszenie w sprawie uzyskania patentu na wynalazek pt. „Polimerowa membrana inkluzyjna oraz sposób jej otrzymywania” z dnia 31 marca 2015 roku
2. Eitner K., Urbaniak W., **Radzimińska-Lenarcik E.**, Witt K.
Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej P. 411842 - zgłoszenie w sprawie uzyskania patentu na wynalazek pt. „Sposób odzyskiwania metali, zwłaszcza cynku, z kwaśnych roztworów odpadowych” z dnia 31 marca 2015 roku
3. Eitner K., Urbaniak W., **Radzimińska-Lenarcik E.**, Witt K.
Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej P. 411843 - zgłoszenie w sprawie uzyskania patentu na wynalazek pt. „Sposób usuwania metali ciężkich z roztworów amoniakalnych” z dnia 31 marca 2015 roku
4. Eitner K., Urbaniak W., **Radzimińska-Lenarcik E.**, Witt K.
Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej P. 411844 - zgłoszenie w sprawie uzyskania patentu na wynalazek pt. „Sposób otrzymywania siarczanu amonowego z kwaśnych roztworów odpadowych zawierających metale” z dnia 31 marca 2015 roku
5. Eitner K., Urbaniak W., **Radzimińska-Lenarcik E.**, Witt K.
Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej P. 411845 - zgłoszenie w sprawie uzyskania patentu na wynalazek pt. „Nowy polimer z grupami diketonowymi oraz sposób jego otrzymywania” z dnia 31 marca 2015 roku

Zgłoszenia patentowe zagraniczne

1. Eitner K., Urbaniak W., **Radzimińska-Lenarcik E.**, Witt K.
Europejski Urząd Patentowy PCT/PL2015/000081- zgłoszenie w sprawie uzyskania patentu na wynalazek pt. „Polymer inclusion membrane and method of preparation thereof” z dnia 19 maja 2015 roku

Zgłoszenia patentowe powstały podczas realizacji projektu WND-POIG.01.03.02-04-0077/12

Wystąpienia i prezentacje na międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych

1. Lenarcik B., **Radzimińska E.** (poster)

Wyznaczanie liczby i stałych podziału ekstrahujących się kompleksów Cu(II) w układzie: roztwór wodny Cu(NO₃)₂-1-alkiloimidazol- rozpuszczalnik organiczny.
Zjazd Naukowy PTChem, Warszawa 1994

2. Lenarcik B., **Radzyńska E.** (poster)
Studies on extraction of Cd(II) complexes with some alkyloimidazoles in liquid-liquid system. *X International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "ARS SEPARATORIA"*, Pieczyska k/Koronowa **1995**
3. **Lenarcik B., Radzyńska E.** (poster)
Potencjonometryczna metoda wyznaczania stałych podziału kompleksów Cu(II) z 1-alkiloimidazolami w procesie ekstrakcji ciecz-ciecz. *Zjazd Naukowy PTChem, Lublin 1995*
4. Gaca J., **Radzyńska E., Żak S., Kędzierska M.** (poster)
Oznaczanie zawartości trihalomatanów (THM) w wodzie pitnej w Bydgoszczy. *V Polska Konferencja Chemii Analitycznej, Gdańsk 1995*
5. **Radzyńska-Lenarcik E.** (poster)
Badania przydatności elektrody jonoselektywnej do pomiaru stężenia jonów Cd (II) w roztworach wodnych po ekstrakcji w układzie ciecz-ciecz. *Międzynarodowe Sympozjum Forum Chemiczne, Warszawa 1996*
6. **Radzyńska-Lenarcik E.** (poster)
Ekstrakcja rozpuszczalnikowa kompleksów Cd(II) z 2-dimetyloaminometylo-3-hydroksypirydyną. *XI International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "ARS SEPARATORIA"*, Minikowo **1996**
7. **Radzyńska-Lenarcik E.** (poster)
Trwałość i struktura kompleksów Cd(II) z 2-dimetyloaminometylo-3-hydroksypirydyną w roztworze wodnym. *Zjazd Naukowy PTChem, Poznań 1996*
8. Lenarcik B., **Radzyńska-Lenarcik E.** (poster)
The distribution of Cu(II) complexes with 1-pentyl- and 1-hexylimidazole between water and organic phases. *XII International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "ARS SEPARATORIA"*, Minikowo **1997**
9. Lenarcik B., **Radzyńska-Lenarcik E.** (komunikat)
Trwałość i struktura kompleksów Cd(II) z niektórymi 2-alkiloimidazolami w roztworze wodnym. *Zjazd Naukowy PTChem, Gdańsk 1997*
10. **Radzyńska-Lenarcik E.** (komunikat)
Alkilopochodne imidazolu jako ligandy kompleksotwórcze i reagenty ekstrakcyjne dla jonów Cu(II) i Cd(II). *Sprawozdawcze Seminarium Naukowe SSN – WTiCh ATR, Bydgoszcz 1997*
11. **Radzyńska-Lenarcik E., Muszyńska H., Lenarcik B.** (poster)
Determination of stability constants of some transition metal complexes with 2-alkylimidazoles from extraction data achieved by Rydberg method. *X-th Winter School on Coordination Chemistry, Karpacz 1997*
12. Lenarcik B., **Radzyńska-Lenarcik E., Żytelewska E.** (poster)
The distribution of Cu(II) complexes with some purely soluble in water 1-alkylimidazoles between water and organic phases. *XIIIth International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria 98"*, Gnień 15-18 lipca **1998**
13. Lenarcik B., **Radzyńska-Lenarcik E., Młodzik A.** (poster)
Investigations of distribution of Cu(II) complexes with some 2-alkylimidazoles in two-phase systems. *XIIIth International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria 98"*, Gnień 15-18 lipca **1998**
14. **Radzyńska-Lenarcik E., Lenarcik B.** (poster)

Determination of stability constants of some transition metal complexes with 4,5-dimethyl-imidazole from extraction data. *XIIIth International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria '98"*, Gnień 15-18 lipca **1998**

15. **Radzymińska-Lenarcik E.**, Lenarcik B. (poster)
The influence of the steric effect on extraction of 4,5-di-n-propylimidazole complexes with Co(II), Ni(II), Cu(II), Zn(II) and Cd(II). *XIIIth International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria '98"*, Gnień 15-18 lipca **1998**
16. Pernak J., **Radzymińska-Lenarcik E.** (poster)
Właściwości bakteriobójcze kompleksów miedzi(II) z 1-alkilimidazolami. *III Konferencja Naukowa "Interakcje jonów metali w środowisku"*, Kraków maj **1998**
17. Lenarcik B., **Radzymińska-Lenarcik E.** (poster)
Badanie procesu ekstrakcji kompleksów Cu(II) z trudno rozpuszczalnymi w wodzie mono- di- oraz tri- alkilopochodnymi 1,3-diazoli. *Zjazd Naukowy PTChem*, Wrocław 14-18 września **1998**
18. Pernak J., **Radzymińska-Lenarcik E.** (poster)
Synteza i właściwości kompleksów Cu(II) z 1-alkilimidazolami. *VI Środowiskowa Konferencja Chemików "Chemia dla człowieka i środowiska"*, Poznań **1998**
19. Lenarcik B., **Radzymińska-Lenarcik E.** (poster)
Determination of stability constants of some 1-alkylimidazole complexes with Cd(II) by partition method in the liquid-liquid system. *XI Winter School on Coordination Chemistry*, Karpacz, 7-11 December **1998**
20. Lenarcik B., **Radzymińska-Lenarcik E.** (poster)
A comparison of stability of Co(II), Cu(II), Zn(II) and Cd(II) complexes with benzimidazole, 2-methylbenzimidazole and 2-ethylbenzimidazole. *XIVth International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria 99"*, Gnień 5-8 lipca **1999**
21. **Radzymińska-Lenarcik E.**, Lenarcik B., Ojczenasz P. (poster)
Investigation of stability of the 1-alkyl-2-methylimidazole complexes with Cd(II) by the liquid-liquid partition method. *XIVth International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria 99"*, Gnień 5-8 lipca **1999**
22. **Radzymińska-Lenarcik E.**, Lenarcik B. (poster)
The effect of hydrocarbon chain length on the stability of 1-alkyl- and 1,2-dialkylimidazole Cu(II) complexes. *XIVth International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria 99"*, p. 107, Gnień 5-8 lipca **1999**
23. **Radzymińska-Lenarcik E.**, Lenarcik B. (poster)
The effect of solvent on composition of extractable Cu(II) complexes with sparingly soluble alkylimidazoles. *XIVth International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria 99"*, Gnień 5-8 lipca **1999**
24. Lenarcik B., **Radzymińska-Lenarcik E.** (poster)
The influence of the length and position of alkyl group for the stability of alkylimidazole complexes with Cu(II) and Cd(II). *VIII International Conference Separation of Ionic Solutes SIS'99*, Stara Lesna - High Tatras, Slovakia 11-16 września **1999**
25. Lenarcik B., **Radzymińska-Lenarcik E.** (poster)
Determination of stability constants of Co(II), Ni(II), Cu(II), Zn(II) and Cd(II) complexes with imidazole from extraction data. *XVth International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria 2000"*, Borówko k/Bydgoszczy 14-17 czerwca **2000**
26. **Radzymińska-Lenarcik E.**, Lenarcik B. (poster)
Investigation of stability constants of Cu(II) complexes with 1,4-dialkylimidazoles by the liquid-liquid partition method. *XVth International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria 2000"*, Borówko k/Bydgoszczy 14-17 czerwca **2000**

Separation "Ars Separatoria 2000", Borówno k/Bydgoszczy 14-17 czerwca **2000**

27. **Radzymińska-Lenarcik E.**, Lenarcik B. (poster)
Determination of stability constants of Co(II), Ni(II), Cu(II) and Zn(II) - complexes with 1-butylimidazole from extraction data. *XVth International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria 2000"*, Borówno k/Bydgoszczy 14-17 czerwca **2000**
28. **Radzymińska-Lenarcik E.**, Lenarcik B. (poster)
Stability constants of Cu(II) complexes with 1-alkyl-2-methylimidazoles. *XII Winter School on Coordination Chemistry*, Karpacz 4-8 grudnia **2000**
29. **Radzymińska-Lenarcik E.**, Lenarcik B. (poster)
Determination of the stability constants of Cu(II) complexes with 1-alkyl-4-methylimidazoles by the distribution method. *XVIth International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria 2001"*, Borówno k/Bydgoszczy 20-23 czerwca **2001**
30. **Radzymińska-Lenarcik E.**, Lenarcik B. (poster)
The influence of the steric effect and alkyl chain length on the extraction of Cu(II) complexes with 1-alkyl-2-ethylimidazoles. *XVIth International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria 2001"*, Borówno k/Bydgoszczy 20-23 czerwca **2001**
31. **Radzymińska-Lenarcik E.** (poster)
Complexing and extracting properties of 1-alkyl-2-methylimidazole. *XVIIth International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria 2002"*, Borówno k/Bydgoszczy 17-20 czerwca **2002**
32. **Radzymińska-Lenarcik E.** (poster)
The stability of 1-dodecyl- and 1-tetradecylimidazole complexes with Cu(II) and Cd(II) in aqueous solution. *XVIIth International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria 2002"*, Borówno k/Bydgoszczy 17-20 czerwca **2002**
33. Lenarcik B., Ojczenasz P., Kierzkowska A., **Radzymińska-Lenarcik E.**, Rauckyte T. (poster)
Comparison of parameters determining extraction process of the complexes of Co(II), Ni(II), Cu(II) and Zn(II) with homologous series 1-alkylimidazole. *XVIIIth International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria 2003"*, Złoty Potok k/Częstochowy 10-13 czerwca **2003**
34. **Radzymińska-Lenarcik E.**, Lenarcik B. (poster)
Determination of the stability constants of Cu(II) complexes with 1-alkyl-1,2,4-triazoles by the liquid-liquid partition method. *XIX International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria 2004"*, Złoty Potok k/Częstochowy 10-13 czerwca **2004**
35. **Radzymińska-Lenarcik E.**, Lenarcik B. (poster)
Investigation of stability constants of Pd(II) complexes with 1-alkyl-1,2,4-triazoles by partition method. *XIX International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria 2004"*, Złoty Potok k/Częstochowy 10-13 czerwca **2004**
36. **Radzymińska-Lenarcik E.**, Lenarcik B. (poster)
Investigation of stability constants of Pd(II) complexes with 1-alkylimidazole.
XX International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria 2005", Szklarska Poręba 20-23 czerwca **2005**
37. **Radzymińska-Lenarcik E.**, Lenarcik B. (poster)
Stability constants of Cd(II) complexes with 1-alkyl-1,2,4-triazoles and their extraction properties.
XX International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation "Ars Separatoria 2005", Szklarska Poręba 20-23 czerwca **2005**

38. **Radzyminska-Lenarcik E., Lenarcik B. (poster)**
The influence of steric effect and alkyl chain length on formation of Cu(II) complexes with 1-alkyl-2-propylimidazole. *XX International Symposium on Physico-chemical Methods of the Mixtures Separation* "Ars Separatoria 2005", Szklarska Poręba 20-23 czerwca **2005**
39. **Radzyminska-Lenarcik E., Lenarcik B. (poster)**
The influence of steric effect and alkyl chain length on formation Cu(II) complexes with 1-alkyl-2-butylimidazole. *XXI International Symposium on Physico-chemical Methods of Separation* "Ars Separatoria 2006", Toruń 2-5 lipca **2006**
40. **Radzyminska-Lenarcik E., Lenarcik B. (poster)**
Solvent extraction of Pd(II) from aqueous chloride media with 1-alkyl- 1,2,4-triazoles. *XXI International Symposium on Physico-chemical Methods of Separation* "Ars Separatoria 2006", Toruń 2-5 lipca **2006**
41. **Radzyminska-Lenarcik E., Lenarcik B. (poster)**
Stability constants of Cd(II) complexes with 1-alkyl- 1,2,4-triazoles and their extraction properties. *XXI International Symposium on Physico-chemical Methods of Separation* "Ars Separatoria 2006", Toruń 2-5 lipca **2006**
42. **Radzyminska-Lenarcik E., Lenarcik B. (poster)**
The influence of steric effect and alkyl chain length on formation Cu(II) complexes with 1-alkyl- 2-hexylimidazole. *XXII International Symposium on Physicochemical Methods of Separation* "Ars Separatoria 2007", Szklarska Poręba 10-14 czerwca **2007**
43. **Radzyminska-Lenarcik E., Lenarcik B. (poster)**
Solvent extraction of Cu(II) complexes with 1-alkyl- 1,2,4-triazole. *XXII International Symposium on Physicochemical Methods of Separation* "Ars Separatoria 2007", Szklarska Poręba 10-14 czerwca **2007**
44. **Radzyminska-Lenarcik E. (poster)**
Differentiation of extraction properties of sparingly soluble alkylimidazoles towards metal ions. *XIX Ogólnopolska Konferencja Inżynierii Chemicznej i Procesowej*, Rzeszów **2007**
45. **Radzyminska-Lenarcik E., Lenarcik B. (poster)**
The influence of organic solvents on extraction of Cd(II) complexes with 1,2-dialkylimidazole. *XXIII-th International Symposium on Physicochemical Methods of Separation* "Ars Separatoria 2008", Toruń 6-9 lipca **2008**
46. **Radzyminska-Lenarcik E., Lenarcik B. (poster)**
Solvent extraction of Cd(II) complexes with 1-alkyl-1,2,4-triazole. *XXIV-th International Symposium on Physicochemical Methods of Separations* "Ars Separatoria 2009", Kudowa-Zdrój 14-18 czerwca **2009**
47. **Radzyminska-Lenarcik E., Lenarcik B. (poster)**
Extraction of Pd(II) complexes with 1-alkyl-1,2,4-triazoles. *XXIV-th International Symposium on Physicochemical Methods of Separations* "Ars Separatoria 2009", Kudowa-Zdrój 14-18 czerwca **2009**
48. **Radzyminska-Lenarcik E., Lenarcik B. (poster)**
Determination of stability constants of same 1-alkylimidazole complexes with Cd(II) by extraction method. *XXIV-th International Symposium on Physicochemical Methods of Separations* "Ars Separatoria 2009", Kudowa-Zdrój 14-18 czerwca **2009**
49. **Radzyminska-Lenarcik E., Lenarcik B. (poster)**
Influence of the donor numbers (DN) of solvents on O/W partition constants of Cu(II) complexes with 1,2-dialkylimidazoles. *37-th International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering*, Tatranské Matliare, Słowacja 24-28 maja **2010**

50. Ulewicz M., **Radzimska-Lenarcik E.** (poster)
Separacja jonów metali nieżelaznych w procesie transportu przez polimerowe membrany inkluzyjne zawierające pochodne imidazolu. *VIII Naukowa Konferencja "Membrany i procesy membranowe w ochronie środowiska"* Zakopane 9-12 czerwca **2010**
51. **Radzimska-Lenarcik E.**, Lenarcik B. (poster)
Search for conditions of selective extraction of the Co(II), Ni(II), Zn(II) and Cu(II) 1-alkyl-imidazole complexes. *XXV-th International Symposium on Physicochemical Methods of Separations "Ars Separatoria 2010"*, Toruń 4-7 lipca **2010**
52. Ulewicz M., **Radzimska-Lenarcik E.** (referat)
Transport of metal ions across polymer inclusion membrane with 1-alkylimidazole.
XV International Conference of Mineral Processing, Witaszyce 20-22 września **2010**
53. Ulewicz M., **Radzimska-Lenarcik E.** (poster)
Supported and polymer membranes pertraction of copper(II) from liquid solutions by 1-hexyl-2-methylimidazole. *I-st International Conference on Methods and Materials for Separation Processes "Separation Science – Theory and Practice 2011"*, Kudowa-Zdrój 5-9 czerwca **2011**
54. **Radzimska-Lenarcik E.**, Ulewicz M. (poster)
Selective transport of Zn^{2+} ions across a polymer inclusion membrane (PIM) doped with 1-decylimidazole. *39-th International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering*, Tatranské Matliare, Słowacja 21-25 maja **2012**
55. **Radzimska-Lenarcik E.**, Witt K., Lenarcik B. (poster)
Application of the extraction method to investigating the stability constants of Co(II) complexes with selected 1-alkyl-2-methylimidazoles. *39-th International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering*, Tatranské Matliare, Słowacja 21-25 maja **2012**
56. **Radzimska-Lenarcik E.**, Ulewicz M. (poster)
Comparision transport of Co(II), Ni(II), Cu(II) and Zn(II) ions across a polymer inclusion membrane containing 1-octylimidazole and 1-octyl-2-methylimidazole as the carrier. *40-th International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering*, Tatranské Matliare, Słowacja, 27-31 maja **2013**
57. **Radzimska-Lenarcik E.**, Urbaniak W. (poster)
Separation of the Zn(II) and Ca(II) ions using solvent extraction method. *40-th International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering*, Tatranské Matliare, Słowacja, 27-31 maja **2013**
58. **Radzimska-Lenarcik E.**, Urbaniak W. (referat)
Separacja jonów Co(II), Ni(II), Cu(II) i Pd(II) metodą ekstrakcji rozpuszczalnikowej. *Rekultywacja i rewitalizacja terenów zdegradowanych*, Poznań **2013**
59. Ulewicz M., **Radzimska-Lenarcik E.** (poster)
Application of polymer and supported membranes with 1-decyl-4-methylimidazole for pertraction of transition metal ions. *II-nd International Conference on Methods and Materials for Separation Processes "Separation Science – Theory and Practice 2013"*, Świeradów-Zdrój, 9-13 czerwca **2013**
60. Witt K., Urbaniak W., **Radzimska-Lenarcik E.** (poster)
Synthesis of New compounds from 3-substituted derivatives of α -diketones and amines.
41-st International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering, Tatranské Matliare, Słowacja, 26-30 maja **2014**
61. **Radzimska-Lenarcik E.**, Ulewicz M. (poster)
The use of the steric effect of the carrier molecule in the polymer inclusion membranes for the separation of non-ferrous metal ions. *41-st International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering*, Tatranské Matliare, Słowacja, 26-30 maja **2014**

62. Sulewski M., **Radzimska-Lenarcik E.** (poster)
Recovery of heavy metals from waste sludges. *41-st International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering*, Tatranské Matliare, Słowacja, 26-30 maja **2014**
63. **Radzimska-Lenarcik E.**, Witt K. (poster)
1-Hexyl-2-methylimidazole as a selective extractant of some transition metals.
Young Scientists Towards the Challenges of Modern Technology, Warszawa, 22–24 września **2014**
64. **Radzimska-Lenarcik E.**, Wasilewska A. (poster)
Nickel-cobalt separation by solvent extraction method. *Young Scientists Towards the Challenges of Modern Technology*, Warszawa, 22–24 września **2014**
65. **Radzimska-Lenarcik E.**, Ulewicz M. (poster)
Selectivity of Cu(II) transport across polymer inclusion membranes doped with 1-alkyl-2-methylimidazoles. *42-nd International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering*, Tatranské Matliare, Słowacja, 25-29 maja **2015**
66. **Radzimska-Lenarcik E.** (poster)
Examination of the formation of the complexes Cd (II) complexes with 1-alkylimidazole by the liquid-liquid partition method. *III-rd International Conference on Methods and Materials for Separation Processes "Separation Science – Theory and Practice 2015"*, Karpacz, 6-10 września **2015**
67. Witt K., **Radzimska-Lenarcik E.**, Urbaniak W. (poster)
Application of β -diketones derivatives for selective separation of copper ions in the transport process across polymer inclusion membranes. *III-rd International Conference on Methods and Materials for Separation Processes "Separation Science – Theory and Practice 2015"*, Karpacz, 6-10 września **2015**
68. **Radzimska-Lenarcik E.**, Ulewicz M. (poster)
Application of polymer membranes with 1-alkyl-4-methylimidazole for recovery of zinc from waste. *III-rd International Conference on Methods and Materials for Separation Processes "Separation Science – Theory and Practice 2015"*, Karpacz, 6-10 września **2015**
69. Witt K., **Radzimska-Lenarcik E.** (poster)
Selective transport of Zn(II) across a polymer inclusion membranes with 3-propyl-pentane-2,4-dione from nitrate solutions. *XIII Ogólnopolska szkoła Membranowa "Innowacyjne rozwiązania w membranowych procesach rozdzielczych"*, Toruń-Przysiek, 18-21 października **2015**
70. Michalak A., **Radzimska-Lenarcik E.** (poster)
Polymer membranes pertraction of copper(II) and zinc(II) from liquid solutions by 1-heptyl-2-methylimidazole. *XIII Ogólnopolska szkoła Membranowa "Innowacyjne rozwiązania w membranowych procesach rozdzielczych"*, Toruń-Przysiek, 18-21 października **2015**
71. **Radzimska-Lenarcik E.** (poster)
Wykorzystanie równowag konfiguracyjnych do separacji jonów kobaltu(II) i niklu(II).
IX Ogólnopolskie Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości” Lublin, 7-9 czerwca **2016**
72. **Radzimska-Lenarcik E.**, Urbaniak W., Totczyk G. (komunikat)
Zagospodarowanie osadów pokoagulacyjnych powstałych w procesie uzdatniania wody.
XXII Konferencja Naukowo – Szkoleniowa pt. „Remediacja, rekultywacja i rewitalizacja” Kołobrzeg, 4-7 maja **2016**
73. **Radzimska-Lenarcik E.**, Urbaniak W. (komunikat)
Zagospodarowanie odpadów powstających w procesie produkcji cynku.
X Konferencja „Technologie bezodpadowe i zagospodarowanie odpadów w przemyśle i rolnictwie”. Międzyzdroje, 14-17 czerwca **2016**

74. **Radzimska-Lenarcik E., Ulewicz M.** (poster)
Zastosowanie 1-alkilo-2-metyloimidazoli jako nośników w membranach ciekłych do separacji jonów niektórych metali przejściowych. *XI Konferencja Naukowa „Membrany i procesy membranowe w ochronie środowiska”* Zakopane, 15-18 czerwca 2016
75. **Radzimska-Lenarcik E., Michalak A.** (poster)
Application of polymer inclusion membranes with 1-pentyl-4-methylimidazole for separation Co(II), Ni(II), Zn(II) and Cd(II) ions. *Young Scientists Towards the Challenges of Modern Technology*, Warszawa, 19–21 września 2016
76. Witt K., **Radzimska-Lenarcik E.** (poster)
Aromatic β -diketones as carriers in polymer inclusion membranes (PIMs). *Young Scientists Towards the Challenges of Modern Technology*, Warszawa, 19–21 września 2016
77. **Radzimska-Lenarcik E., Bożejewicz D.** (poster)
Wykorzystanie ługowania alkalicznego do odzysku wybranych metali ciężkich z odpadów przemysłowych. *III Ogólnopolskie Forum Chemii Nieorganicznej*, Kraków 7-9 grudnia 2016
78. Sulewski M., **Radzimska-Lenarcik E.**,
Odzysk metali ciężkich z odpadów hutniczych. *III Ogólnopolskie Forum Chemii Nieorganicznej*, Kraków 7-9 grudnia 2016

Ogółem: 29 wystąpienia na konferencjach krajowych oraz **49** na międzynarodowych,
w tym odbywających się w kraju **39**

Elżbieta Radzimska-Lenarcik