

## OCENA

### **Dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego oraz rozprawy habilitacyjnej dr inż. Ireny Jacukowicz - Sobali pt. „Wielofunkcyjne kompozyty zawierające tlenki miedzi i żelaza otrzymane na bazie wymienniczy anionowych, jako reagenty w procesach oczyszczania wody”**

Dr inż. Jacukowicz-Sobala ukończyła studia chemiczne w zakresie biotechnologii – specjalność chemia środowiska na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej w październiku 2001 r. Od 15.02. 2002 r. została zatrudniona na etacie asystenta naukowo – dydaktycznego w Katedrze Technologii Chemicznej, Wydziału Inżynierii Produkcji Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu.

20 października 2010 roku uzyskała stopień naukowy doktora nauk technicznych w zakresie technologii chemicznej na podstawie rozprawy pt. „Badania nad usuwaniem Cr(VI) z wód za pomocą materiałów hybrydowych zawierających tlenki żelaza otrzymanych na bazie reaktywnych polimerów” obronionej na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Promotorem tej rozprawy była Pani prof. dr hab. Elżbieta Kociołek- Balawejder specjalista z fizykochemii polimerów redoksowych i sorbentów hybrydowych oraz technologii oczyszczania wód i ścieków z toksycznych jonów metali, półmetali i niemetalii. Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora została zatrudniona na stanowisku adiunkta naukowo-dydaktycznego (1.10.2012r.), na którym pozostaje do chwili obecnej.

Jako nauczyciel akademicki zaangażowany w proces nauczania Habilitantka w wymienionym okresie prowadziła zajęcia dydaktyczne takie jak: wykład z zielonej chemii, wykład z podstaw wiedzy o kosmetykach, zajęcia projektowe i seminaryjne z projektowania inżynierskiego i technologicznego, z badań w obszarze zarządzania i inżynierii, ćwiczenia laboratoryjne z: wybranych zagadnień z technologii przemysłu chemicznego, wybranych zagadnień z ochrony środowiska, chemii środowiska, fizykochemicznych metod w ochronie środowiska, ekologii i zarządzania środowiskiem, technologii nieorganicznej oraz seminaria dyplomowe. Jest autorem dwóch rozdziałów w skryptach Elektrochemia w „Technologia chemiczna nieorganiczna –Wybrane zagadnienia” pod redakcją E. Kociołek-Balawejder, UE, Wrocław 2013 i Właściwości tworzyw sztucznych w „ Technologia chemiczna organiczna – Wybrane zagadnienia” pod redakcją E. Kociołek-Balawejder, UE, Wrocław 2013. Habilitantka w latach 2012-2016 była opiekunem specjalności Zarządzanie i inżynieria środowiska. W ramach promocji swojego Wydziału brała udział w VII Dolnośląskim Festiwalu Nauki podczas którego przeprowadziła zajęcia laboratoryjne dla uczniów szkół podstawowych i średnich pt., „ Czym gasić pragnienie”

Habilitantka w Zespole kierowanym przez Panią Profesor Elżbietę Kociołek-Balawejder zajmuje się od początku swojej pracy w Katedrze Technologii Chemicznej, syntezą, właściwościami fizykochemicznymi oraz zastosowaniem nowej generacji sorbentów redox i hybrydowych. Tematykę tą rozpoczęła w ramach realizacji rozprawy doktorskiej



dotyczącej selektywnego wydzielania toksycznych jonów Cr(VI) z wód za pomocą sorbentów hybrydowych zawierających tlenki żelaza otrzymanych na bazie sorbentów redox.

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora kontynuuje badania związane z syntezą nowej generacji sorbentów hybrydowych zawierających w makroporowatej strukturze aglomeraty uwodnionych tlenków żelaza(III), ditlenku manganu oraz mieszaninę tlenków żelaza(III) i manganu(IV) na bazie mocno zasadowych anionitów lub redoksytów N-halogenosulfonamidowych. Określiła właściwości spektroskopowe, magnetyczne i termiczne otrzymanych sorbentów hybrydowych. Wykazała, że wprowadzenie do szkieletu mocno zasadowych anionitów lub redoksytów tlenków żelaza(III), manganu(IV) lub ich mieszaniny nie wpływa znacząco na rozwinięcie powierzchni właściwej jak i nie powoduje zmniejszenia objętości porów. Zbadała przydatność otrzymanych sorbentów hybrydowych do selektywnego usuwania jonów As(III,V) oraz siarczków z wód.

Najważniejszym problemem związanym z toksycznym arsenem(III,V) jest jego wysokie stężenie w wodach naturalnych wykorzystywanych jako źródło wody pitnej. Na początku XX wieku w większości rozwiniętych krajów świata, w tym w Polsce, dopuszczalną zawartość arsenu w wodzie pitnej zmniejszono z 50 do 10  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ , której to normy często nie spełnia woda pobierana z ujęć naturalnych. W największym stopniu problem ten występuje w Bangladeszu, Chile oraz indyjskim stanie Zachodni Bengal, gdzie stężenie arsenu w wodzie gruntowej przekracza nawet 3000  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ , natomiast zawartość arsenu w jeziorze Monolake w Kalifornii przekracza 15000  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ . Problem podwyższonego stężenia związków arsenu w wodach naturalnych dotyczy również szeregu krajów europejskich w tym m.in. Polski (Legnicko-Głogowski Okręg Miedziowy oraz rejon dawnej kopalni rud arsenu w Złotym Stoku). Jego zasięg jest zazwyczaj lokalny i związany ze specyficznymi warunkami geochemicznymi lub eksploatacją złóż rud metali kolorowych.

Dlatego też w szeregu ośrodkach naukowych na świecie prowadzone są badania dotyczące opracowania zarówno prostych jak i ekonomicznie uzasadnionych metod umożliwiających obniżenie zawartości arsenianów (III,V) do pożądanego poziomu w wodach i ściekach. Koncentrują się one z jednej strony na udoskonaleniach znanych metod wykorzystywanych podczas uzdatniania wody, a z drugiej strony na szukaniu oryginalnych rozwiązań mogących znaleźć zastosowanie w indywidualnych ujęciach wody pitnej. Dużo uwagi w badaniach nad usuwaniem związków arsenu z wód i ścieków poświęca się problemowi utleniania arsenianu (III) do arsenianu(V). Wynika to z faktu, iż większość metod stosowanych do usuwania związków arsenu z wody wykazuje niską skuteczność w stosunku do arsenianów(III). Do usuwania jonów arsenu(III,V) z wód i ścieków stosuje się m.in. metody membranowe, sorpcyjne oraz jonowymienne. Przykładowo w USA do usuwania związków arsenu z wody pitnej stosuje się ditlenek tytanu.

Tak więc tematykę badawczą dr inż. Ireny Jacukowicz-Sobali uważam za aktualną i mieszczącą się w bieżącym nurcie światowych badań.

Moim zdaniem Habilitantka jest dobrze przygotowana do realizacji postawionego sobie zadania. Wywodzi się bowiem z Ośrodka - Katedra Technologii Chemicznej UE, który posiadał umiejętność otrzymywania zarówno sorbentów redoksowych (zdolnych do unieszkodliwiania silnie toksycznych roztworów m.in. cyjanków, tiocyjanianów, siarczków, chloranów(I), bromianów(I), hydrazyny i formaldehydu przez ich rozkład do produktów nietoksycznych) jak i tlenkowych sorbentów hybrydowych na bazie redoksytów i



wymieniaczy jonowych (silnie zasadowych anionitów, słabo zasadowych anionitów oraz silnie kwasowych kationitów).

Dorobek naukowy dr inż. Ireny Jacukowicz-Sobali przed doktoratem obejmuje 2 artykuły w czasopiśmie z listy filadelfijskiej (Przemysł Chemiczny), 1 artykuł w Wiadomościach Chemicznych oraz 3 postery prezentowane na konferencjach krajowych.

Pragnę w tym miejscu podkreślić, że po doktoracie dorobek naukowy Habilitantki uległ znacznemu powiększeniu. W tym okresie opublikowała 24 artykuły w czasopismach z listy filadelfijskiej takich jak: Chemical Engineering Journal -1, IF=6.720, Colloids and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects -1, IF=4.210, Environmental Science and Pollution Research -1, IF=2.910, International Journal of Polymer Science -1, IF=2.910, Industrial and Engineering Chemistry Research -1, IF=2.648, Journal of Applied Polymer Science -1, IF=2.011, Journal of Colloid and Interface Science -1, IF=4.042, Journal of Environmental Chemical Engineering -2, IF= 4.303-5.909, Journal of Hazardous Materials -2, IF= 9.038-10.588, Journal of Nanoparticle Research -1, IF=2.253, Materials Chemistry and Physics -1, IF=2.308, Polymery-2, IF=1.741, Polymers-2, IF=1.741, Przemysł Chemiczny-1, IF=0.399, Reactive and Functional Polymers -4, IF=2.515-3.513 Separation Science and Technology-1, IF=2.475, Waste Management and Research-1, IF= 1.616, jeden rozdział w recenzowanej monografii krajowej, dwa wykłady na zaproszenie prezentowane na konferencjach międzynarodowych, jeden poster prezentowany na konferencji międzynarodowej, oraz 3 komunikaty prezentowane na konferencjach krajowych. Świadczy to o Jej dużej aktywności naukowej w ważnej dziedzinie zarówno z punktu widzenia poznawczego jak i aplikacyjnego.

Prace te mają charakter doświadczalny w których uwidacznia się wielka pracowitość, opanowanie techniki badawczej, zastosowanie licznych technik instrumentalnych i inwencja eksperymentalna Habilitantki, każda z tych 24 publikacji prezentuje dobry poziom naukowy. Szeroki zakres wiedzy dr inż. Ireny Jacukowicz-Sobali odzwierciedla szczegółowa interpretacja otrzymanych rezultatów badań. Prace Habilitantki są znane i cenione nie tylko w kraju ale i zagranicą. Ten mój punkt widzenia wynika również z publikowanej dokumentacji w postaci 306 (wg Scopus) 274 (Web of Science) obcych cytowań artykułów Habilitantki. Sumaryczny impact factor Jej artykułów zgodnie z rokiem opublikowania wynosi 76.793 (w tym 0.76 przed uzyskaniem stopnia doktora), a Indeks Hirscha wg Scopus 9 wg Web of Science 10.

Habilitantka brała udział w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka 2007-2013. (Priorytet 1 „Badania i rozwój nowoczesnych technologii). Jako ekspert branżowy uczestniczyła w procesach, których efekty zostały opublikowane w monografii pt. „Identyfikacja potencjału i zasobów Dolnego Śląska w obszarze Nauka i Technologie na rzecz poprawy jakości życia oraz wytyczne przyszłych kierunków rozwoju”. Habilitantka jest również częstym recenzentem artykułów w czasopismach zagranicznych z listy filadelfijskiej m.in. takich jak: Accounts of Chemical Research -1, IF=22.384, Chemical Engineering Journal -1, IF=13.273, Desalination -4, IF=9.501, Environmental Science and Technology -1, IF=9.028, Journal of Environmental Chemical Engineering -3, IF=5.909, Journal of Hazardous Materials-2, IF=10.588, Science of the Total Environment -4, IF=7.963 co dowodzi, że Jej osoba jest znana i ceniona w międzynarodowym środowisku badaczy





zajmujących się syntezą, właściwościami fizykochemicznymi i zastosowaniem nowej generacji sorbentów hybrydowych.

Na podkreślenie zasługuje nawiązanie przez Habilitantkę współpracy naukowo-badawczej z dr Krzysztofem Drabentem z Wydziału Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego dotyczącej syntezy polimerów hybrydowych zawierających tlenki żelaza i manganu w strukturze jonitów oraz określenie możliwości ich zastosowania w procesie wydzielania jonów chromianowych(VI) z wód. W ramach realizacji tych badań zsyntetyzowała kilkanaście sorbentów hybrydowych zawierających w różnorodnych strukturach polimerowych różne grupy funkcyjne jak i depozyty tlenków żelaza i manganu. Wykazano, że metoda osadzania depozytu ma zarówno wpływ na jego wielkość i rozmieszczenie jak i na odmianę polimorficzną zdeponowanego tlenku metalu. Określono za pomocą metod instrumentalnych takich jak FT-IR, XRD oraz mikroskopii skaningowej SEM EDS skład półproduktów i produktów końcowych depozytów tlenkowych. Badania tlenków żelaza stanowiących depozyty za pomocą spektroskopii efektu Mössbauera potwierdziły obecność różnych faz krystalicznych ferromagnetycznych i paramagnetycznych. Wykazano, że w fazie jonitu związki te były zdeponowane w postaci mieszaniny. Owocem tych badań dotyczących osadzania krystalicznych i magnetycznych faz tlenków żelaza w strukturze kationitów sulfonowych i karboksylowych były dwa artykuły w czasopismach z listy filadelfijskiej. Współpraca z dr Jerzym Raczykiem z Laboratorium Gleboznawczego i Hydrochemicznego oraz dr Piotrem Mazurem z Instytutu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Wrocławskiego dotyczyła określenia przydatności sorbentów hybrydowych zawierających tlenki żelaza i manganu osadzone w strukturach styrenodiwinylobenzenowych (kationitów, anionitów i redoksytów) do selektywnego usuwania związków arsenu(III,V) z roztworów wodnych. Habilitantka wykazała, że sorbenty hybrydowe zawierające mieszaniny tlenków żelaza i manganu charakteryzują się wysoką selektywnością w stosunku do jonów arsenu. W oparciu o rezultaty tych badań określiła przydatność odpadu przemysłowego pochodzącego z procesu odżelaziania i odmanganowania wody do usuwania związków arsenu. Określono mechanizm wiązania jonów arsenu na podstawie stopnia utlenienia jego związków zaadsorbowanych na powierzchni sorbenta hybrydowego. Do tego celu posłużyły badania z wykorzystaniem spektroskopii fotoelektronów w zakresie promieniowania rentgenowskiego (XPS), która była jednym z podstawowych narzędzi umożliwiających identyfikację depozytu oraz określenie mechanizmu jego osadzania. Współpraca z dr Piotrem Mazurem była kontynuowana w badaniach na syntezą sorbentów hybrydowych otrzymanych na bazie mocno zasadowych anionitów zawierających tlenki miedzi na różnym stopniu utlenienia. Rezultatem tej współpracy było trzy artykuły opublikowane w czasopismach z listy filadelfijskiej. W ramach współpracy z dr hab. Ewą Dworniczek z Katedry i Zakładu Mikrobiologii Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu określono możliwości stosowania materiałów hybrydowych na bazie mocno zasadowego anionitu oraz miedzi występującej na różnych stopniach utlenienia (II, I, 0), które mogą być uwalniane do środowiska reakcyjnego jako heterogeniczne dezynfekatory. Rezultatem tej współpracy były dwa artykuły opublikowane w czasopismach z listy filadelfijskiej. Godne szczególnego podkreślenia było nawiązanie współpracy z dr hab. Agnieszką Baszczuk i dr hab. Markiem Jasiorskim z Katedry Mechaniki i Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej Politechniki Wrocławskiej obejmującej w początkowej fazie charakteryzację materiałów hybrydowych za pomocą mikroskopii



skaningowej, spektroskopii Ramanowskiej oraz dyfraktometrii rentgenowskiej. Następnie współpraca została rozszerzona o badania dotyczące procesów fotokatalitycznego utleniania związków arsenu(III) oraz fotokatalitycznej degradacji związków organicznych. W marcu 2021 roku utworzono konsorcjum pomiędzy PWr i UE we Wrocławiu w ramach którego przystąpiono do konkursu grantowego Sheng 2 organizowanego przez Narodowe Centrum Nauki we Współpracy z National Natural Science Foundation of China obejmujący finansowaniem polsko-chińskie projekty badawcze. W ramach tego konkursu zespół polski pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Daniela Ocińskiego – kierownika Katedry Technologii Chemicznej UE we Wrocławiu oraz zespół chiński pod kierownictwem prof. Songyan Qin z Tianjin University of Technology złożyły wniosek o finansowanie projektu badawczego pt.,, Usuwanie organicznych związków arsenu z wód z wykorzystaniem biogenicznego tlenku manganu wspomaganego nanocząstkami  $Fe_3O_4$ ”. Ww projekt dotyczy badań nad synteza wielofunkcyjnych materiałów umożliwiających utlenianie związków organicznych arsenu(III) oraz adsorpcję powstałego arsenu(V) na ich powierzchni. Polski zespół planuje opracowanie metod syntezy materiałów hybrydowych zawierających różne grupy funkcyjne o właściwościach jonowymiennych, które jednocześnie zawierają magnetyczne tlenki żelaza (stanowiące centra aktywne) dla sorpcji arsenianów, umożliwiające magnetyczną separację utleniacza /sorbenta, a przede wszystkim pełniące rolę nanozymu wspomagającego proces biologicznego utleniania). Ten interdyscyplinarny projekt nie uzyskał finansowania. Owocem współpracy pomiędzy UE i PWr są trzy artykuły w czasopismach z listy filadelfijskiej. Habilitantka w poszukiwaniu nowych obszarów badawczych nawiązała współpracę z dr hab. Joanną Augustynowicz z Instytutu Biologii Roślin i Biotechnologii Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie w zakresie biosorpcja, usuwanie toksycznych domieszek oraz hydrotermalnego przerobu odpadowej biomasy. W 2018 roku wygłosiła wykład (na zaproszenie) pt.,, Zielona chemia w konwersji biomasy roślinnej do produktów chemicznych” dla pracowników w/w Instytutu Aktualnie planowane są badania nad przerobem odpadowych alg z procesu bioremediacji ścieków zawierających duże stężenie kancerogennego Cr(VI) prowadzone w rozpuszczalnikach w stanie okołokrytycznym. Ponadto przekształcenie nadmiarowej biomasy do tzw. oleju stanowiącego surowiec do otrzymywania paliw ciekłych oraz stałej pozostałości zawierającej stosunkowo duże zawartości chromu(która może być stosowana jako surowiec do otrzymania związków chromu).

Istotnym elementem oceny Kandydatki do stopnia naukowego doktora habilitowanego jest Jej aktywny udział w realizacji jednego projektu badawczego MNiSzW ( 04.11.2009-03.05.2012r) pt.,, Usuwanie mikroilości arsenu z wykorzystaniem reaktywnych polimerów”

Przedstawiona do recenzji rozprawa habilitacyjna dr. inż. Ireny Jacukowicz-Sobali pt.,, Wielofunkcyjne kompozyty zawierające tlenki miedzi i żelaza otrzymywane na bazie wymienniczy anionowych, jako reagenty w procesach oczyszczania wody” składa się z cyklu dziesięciu artykułów opublikowanych w latach 2014-2020 uzupełnionych autoreferatem, który zawiera opracowanie obejmujące zwięzłe wprowadzenie i omówienie celu naukowego badań oraz osiągniętych wyników. Artykuły te zostały opublikowane w czasopismach z listy filadelfijskiej (Colloids Surf. A-1, IF= 3.990, MEN=70, International Journal of Polymer Science -1, IF=1.718, MEN=25, J. Environ. Chem. Eng. -2, IF=4.300-5.909, MEN=100, J. Hazard Mater.-2, IF=9.038-10.588, MEN=200, Przem.Chem.-1, IF=0.399, MEN=15, React. Funct. Polym. -3, IF=2.515-3.151, MEN=35). Z załączonych oświadczeń współautorów



wynika w sposób jednoznaczny wiodący udział Habilitantki w realizacji większości w/w prac. Jest ona pierwszym autorem 4 artykułów, a w 8 pełni funkcję autora korespondencyjnego. Wszystkie artykuły ukazały się w czasopismach których sumaryczny impact factor wynosi 44.688 (ilość punktów Ministerstwa Edukacji i Nauki wynosi 815) co daje średnią ok. 4.46 na publikację. Pewnym miernikiem jakości artykułów jest liczba cytowań publikacji wchodzących w skład rozprawy habilitacyjnej. Publikacje wchodzące w skład rozprawy habilitacyjnej były cytowane wg bazy Web of Science 101 razy (bez autocytowań) co jest dobrym wynikiem.

Celem rozprawy habilitacyjnej była synteza hybrydowych wymiennicy jonowych na bazie mocno zasadowych anionitów poprzez wprowadzenie do ich struktury tlenków miedzi (czystych i w mieszaninie z tlenkami żelaza(III)) oraz określenie możliwości zastosowania otrzymanych materiałów w procesach adsorpcji związków arsenu oraz w procesach dezynfekcji wody.

Zakres badań obejmował:

- osadzanie związków miedzi(I) i (II) w strukturze polimerowej mocno zasadowych anionitów.
- określenie wpływu doboru reagentów i kolejności reakcji na formę i rozmieszczenie nieorganicznego depozytu
- optymalizację skuteczności otrzymywanych materiałów w procesie utleniania /adsorpcji arsenianów (III), a także określenie roli poszczególnych składników polimerów hybrydowych w tym procesie
- zbadanie aktywności antybakteryjnej otrzymanych polimerów hybrydowych zawierających związki miedzi przeciwko patogenom charakteryzującymi się wysoką opornością antybiotykową –bakteriom *Enterococcus faecalis* z uwzględnieniem wpływu fizykochemicznych właściwości polimeru hybrydowego.

Habilitantka kontynuując badania nad syntezą sorbentów hybrydowych na bazie N-halogenosulfonamidów zawierających tlenki żelaza do adsorpcji chromianów(VI) wytypowała kilka produktów o wysokiej selektywności w stosunku do jonów arsenu(III,V). Materiały te charakteryzowały się nie tylko wysoką zdolnością sorpcyjną w stosunku do jonów Cr(IV) oraz arsenu(III,V) ale również dobrymi właściwościami hydraulicznymi i mechanicznymi pozwalającymi na ich zastosowanie w układzie kolumnowym. Jednym z pierwszych tego typu materiałów był polimer hybrydowy który otrzymano w KTChUE w wyniku badań nad wielkocząsteczkowymi (S/DVB) utleniaczami N-halogenosulfonamidowymi oraz wykorzystywaniem ich w procesie odżelaziania wód. W wyniku utleniania za pomocą reaktywnego fluorowca i hydrolizy zachodzącej w matrycy polimeru udało się zdeponować w niej osad wodorotlenku żelaza(III), który po obróbce termicznej przekształca się w uwodnione tlenki żelaza(III). Przeprowadzone przez Habilitantkę badania spektroskopowe FT-IR, Mössbauera oraz dyfrakcji promieni rentgenowskich XRD wykazały, że po optymalizacji procesu immobilizacji depozytu miał on strukturę amorficznego ferrihydrytu, który równomierną warstwą pokrywał powierzchnie wewnętrzną szkieletu polimerowego co potwierdziły badania mikroskopowe SEM EDS oraz struktury porowatej. Ferrihydryt ze względu na dużą powierzchnię właściwą oraz reaktywność odgrywa istotną rolę w eliminacji zanieczyszczeń ze środowiska. Dodatkowo jest wykorzystywany jako sorbent jonów metali i półmetali ciężkich w procesie oczyszczania





ścieków. Ze względu na zmienną zawartość wody w ferrihydrycie żaden jego wzór nie został jednoznacznie zaakceptowany. Różne dane literaturowe przedstawiają wzór ferrihydrytu w odmienny sposób m.in. jako  $\text{Fe}_{10}\text{O}_{14}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Fe}_5\text{HO}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_6(\text{O}_4\text{H}_3)_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{FeO} \cdot \text{OH} \cdot 2,6\text{H}_2\text{O}$ . W artykule H1 zastosowano ten sorbent hybrydowy w procesie adsorpcji jonów arsenu (III,V) z roztworów wodnych. Określono maksymalną skuteczność adsorpcji tych dwóch form arsenu w różnych warunkach:  $\text{pH} < 3,5$  dla As(V) oraz w zakresie  $\text{pH} 6-10$  dla As(III), co stanowi problem w doborze parametrów procesu oczyszczania wód zawierających jony As(III) i As(V). Badania równowagowe przeprowadzone w warunkach  $\text{pH}$  zbliżonego do wód naturalnych wykazały wyższą zdolność sorpcyjną w stosunku do As(III) (26,1mg/g) w porównaniu do As(V) (10,9mg/g). Wykazano, że sorbent ten okazał się selektywny dla obu form arsenu w obecności wysokich stężeń innych jonów występujących w wodach naturalnych za wyjątkiem jonów fosforanowych (V), siarczanowych(VI), krzemianowych, które powodują spadek skuteczności adsorpcji arsenianów (V). Stwierdzono, że na złożu tego sorbenta można oczyścić wodę naturalną z As(III,V) obniżając ich stężenia z 100ppm do poniżej 10ppb (wartość dopuszczalna w wodzie do picia) w ilości 4800 objętości złoża. Wykazano, że sorbent ten po procesie sorpcji As(III,V) można efektywnie zregenerować za pomocą roztworu zawierającego mieszaninę 1M NaCl i 1M NaOH. Wykazano, że roztwór po desorpcji As(III) zawiera pewne ilości As(V) prawdopodobnie wskutek utleniania z udziałem redukcji Fe(III) do Fe(II) lub katalitycznego utleniania z udziałem związków żelaza(II) i tlenu rozpuszczonego w wodzie. Stwierdzono, że dyfuzja jonów As(V) jest znacznie spowolniona w porównaniu do dyfuzji niezdisocjowanego  $\text{H}_3\text{AsO}_3$ . Przyczyną tego była prawdopodobnie obecność resztkowych grup sulfonowych (pochodzących z przekształcenia grup sulfonowych w grupy N-halogenosulfonamidowe), których ładunek ujemny mógł spowolnić dyfuzję jonów As(V) co może być powodem niższej skuteczności ich usuwania z wody. W kolejnych badaniach zastosowała mocno zasadowy anionit makroporowaty domieszkowany tlenkami metali o właściwościach utleniających. Habilitantka w artykule H2 przedstawiła rezultaty badań dotyczących syntezy i wykorzystywania sorbenta hybrydowego zawierającego tlenki żelaza i manganu do usuwania arsenianów(III,V) z wód. W wyniku dwuetapowego procesu modyfikacji makroporowatego mocno zasadowego anionitu otrzymała sorbent hybrydowy zawierający w szkielecie depozyt tlenków żelaza (228,3mg/g) i manganu (94,24mg/g). Habilitantka wykazała, że wprowadzone tlenki pokrywały grubą warstwą całą powierzchnię wewnętrzną i zewnętrzną anionitu. Badania mikroskopowe wykazały, że tlenki żelaza zostały zdeponowane w całej objętości ziarna, a tlenki manganu obecne były w centralnej części ziarna sorbenta hybrydowego. Otrzymany sorbent charakteryzował się dużą pojemnością sorpcyjną w stosunku do As(III) (40,2mgAs/g) oraz As(V)(86,5mgAs/g) nawet w obecności dużego stężenia jonów siarczanowych(VI) w oczyszczanej wodzie. Wykazała, że skuteczność sorpcji w niewielkim stopniu była zależna od wartości  $\text{pH}$  w przedziale 3-9. Na szczególne podkreślenie z aplikacyjnego punktu widzenia zasługuje fakt, że na tym sorbencie można oczyścić 16000 objętości złoża nie stwierdzając w wycieku przekroczenia dopuszczalnej zawartości arsenu(III,V).

Na szczególne podkreślenie zarówno z poznawczego jak i aplikacyjnego punktu zasługują rezultaty badań nad usuwaniem As(III,V) z wód za pomocą sorbentów hybrydowych zawierających tlenki miedzi(II) tlenki miedzi(I) oraz mieszaninę tlenków



miedzi i żelaza na bazie mocno zasadowego anionitu. W artykułach H3, H6 i H7 podjęto próby wprowadzenia takiego depozytu, który pozwoliłby na łączenie funkcjonalności nanocząstek tlenku miedzi i grup funkcyjnych anionitu. Habilitantka wykazała, że przeprowadzenie anionitu w formę tetrachloromiedziową (II) pozwoliło na ilościowe wprowadzenie do struktury sorbenta, prekursora tlenku miedzi(II). Stwierdziła, że ilość zdeponowanej miedzi(II) była zbliżona do ilości wprowadzonej na etapie wymiany jonowej. Analiza XRD tlenku miedzi(II) wykazała obecność tenorytu a badania mikroskopowe SEM EDS stwierdziły, że depozyt został osadzony głównie w zewnętrznych partiach ziarna anionitu. Było to prawdopodobnie skutkiem szybkiej reakcji rozkładu kompleksu anionowego do  $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ , który wskutek elektrostatycznego odpychania uległ hydrolizie dopiero w zewnętrznych partiach ziarna w kontakcie z alkalicznym roztworem. Na spowolnienie reakcji hydrolizy wpływa także niższe powinowactwo jonów  $\text{OH}^-$  do grup funkcyjnych anionitu (typ 1) w porównaniu z jonami  $\text{Cl}^-$ , co spowolniało ich dyfuzję w głąb fazy anionitu. Strącenie dużych ilości nieuwodnionego tlenku miedzi w zewnętrznych partiach ziarna spowodowało zmniejszenie powierzchni właściwej anionitu z  $21,7 \text{ m}^2/\text{g}$  do  $2,9 \text{ m}^2/\text{g}$ .

W następnym artykule H4 określiła przydatność w/w sorbenta hybrydowego w procesie adsorpcji arsenu(III). Stwierdziła, że otrzymany sorbent wykazywał zdolność sorpcyjną w stosunku do As(III), a analiza zdesorbowanego sorbatu wraz z analizą spektroskopową XPS potwierdziły wysoką skuteczność jego utleniania do As(V). Wykazała, że sorbent ten łatwo ulegał regeneracji, a jego właściwości hydrauliczne i mechaniczne były korzystne dla prowadzenia procesu adsorpcji w systemie kolumnowym. Niestety niska pojemność sorpcyjna wynosząca  $6.6 \text{ mg As(III)/g}$  uzyskana w badaniach równowagowych była niezadawalająca. W artykule H5 określiła pojemności sorpcyjne pięciu sorbentów hybrydowych zawierających tlenki miedzi, tlenki żelaza oraz ich mieszaniny (otrzymane w wyniku sorpcji mieszaniny  $[\text{CuCl}_4]^{2-}$ , i  $[\text{FeCl}_4]^-$  na anionicie w formie chlorkowej) względem jonów arsenu(III). Porównała ich pojemność sorpcyjną uwzględniając ich różną strukturę porowatą, dystrybucję tlenków w ziarnie anionitu oraz liczbę moli tlenków osadzonych w szkielecie jonitu. Na tej podstawie do dalszych prac wytypowano sorbent hybrydowy, który nie zawierał zbyt dużego depozytu, tlenków miedzi i żelaza. Sorbent ten charakteryzował się korzystną kinetyką adsorpcji przy niskich stężeniach As(III) w roztworze oraz najkorzystniejszym stosunkiem zaadsorbowanego arsenu do tlenków metali zdeponowanych w anionicie. Metoda jego otrzymania polegała na współstrącaniu równocześnie wprowadzonych chlorkowych kompleksów Cu(II) i Fe(III) ze względu na swą prostotę była najbardziej korzystną z aplikacyjnego punktu widzenia. Na podkreślenie zasługuje fakt, że uzyskana w badaniach równowagowych maksymalna pojemność sorpcyjna wynosiła  $34.4 \text{ mg As(III)/g}$  i była wyższa od zdolności sorpcyjnej hybrydowego sorbenta zawierającego tlenki manganu i żelaza. Wykazała również wysoką selektywność tego adsorbenta w stosunku do arsenu(III) w obecności konkurencyjnych anionów takich jak fosforany, siarczany, chlorki, wodorowęglany oraz na jednoetapowy proces regeneracji. Stwierdziła, że zastosowanie tego adsorbenta hybrydowego dało dobre wyniki w procesie kolumnowym, pozwalając na oczyszczanie wody źródlanej zanieczyszczonej związkami arsenu(III,V) o stężeniu po 250 ppb. Wykazała, że przy dużym natężeniu przepływu wynoszącym  $3.25 \text{ cm}^3/\text{min}$  niewielkie złoże o objętości  $7.2 \text{ cm}^3$  pozwoliło na oczyszczenie  $13 \text{ dm}^3$  wody do stężenia nieprzekraczającego 10ppb całkowitej zawartości arsenu (III,V). Interesujące są badania





Habilitantki [8] dotyczące określenia antybakteryjnej aktywności sorbentów hybrydowych (na bazie makroporowatego lub żelowego mocno zasadowego anionitu zawierających w swojej strukturze  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$  oraz  $\text{CuO}$ ) przeciwko gram- dodatnim bakteriom *Enterococcus faecalis*. Habilitantka stwierdziła, że największa aktywność wykazał makroporowaty sorbent hybrydowy zawierający  $\text{CuO}$  zdeponowany w wewnętrznych warstwach ziarna.

Prezentowany cykl artykułów kończy badania dotyczące konwersji wodorotlenku miedzi (II) do  $\text{Cu}_2\text{O}$  w strukturze mocno zasadowego anionitu [H9 i H10]. Jako surowce zastosowała hybrydowy sorbent zawierający wodorotlenek miedzi(II) oraz reduktory kwas askorbinowy lub glukoza. Przeprowadzone badania wykazały, że produkty otrzymane w roztworach alkalicznych obu reduktorów zawierały głównie  $\text{Cu}_2\text{O}$  oraz niewielkie domieszki  $\text{CuO}$ . Klastery osadzonego tlenku miedzi(I) o rozmiarach  $1\mu\text{m}$  były rozmieszczone w całej objętości ziarna. Otrzymane sorbenty hybrydowe zawierające  $\text{Cu}_2\text{O}$  mogą stanowić wielofunkcyjne materiały użyteczne w ochronie środowiska, odtleniania wody oraz jako reagenty antybakteryjne. Ponadto Habilitantka kontynuując tą tematykę badawczą powinna określić w ilu cyklach sorpcja – desorpcja można stosować przedstawione w rozprawie habilitacyjnej sorbenty hybrydowe. Jest to szczególnie istotne w przypadku wdrażania uzyskanych wyników w przemyśle a byłyby to niewątpliwie duży sukces.

Trudno jest wymienić w recenzji wszystkie osiągnięcia rozprawy habilitacyjnej dr inż. Ireny Jacukowicz-Sobali zawierającej bardzo dużą ilość materiału doświadczalnego. Novum pracy zarówno z punktu widzenia poznawczego jak i aplikacyjnego, duża ilość osiągniętych wyników oraz wnikliwa ich interpretacja pozwala uznać, że oceniana praca habilitacyjna w pełni odpowiada kryterium dobrej rozprawy.

Uzyskane przez Habilitantkę wyniki świadczą o dobrej znajomości stosowanych instrumentalnych technik badawczych i umiejętności rozwiązywania problemów. Prace habilitacyjną oraz całkowity dorobek naukowy i dydaktyczno-organizacyjny Habilitantki oceniam wysoko z następujących względów:

1. Wyboru aktualnej tematyki
2. Ilości uzyskanych wyników
3. Ilości zastosowanych technik instrumentalnych
4. Szerokiej interpretacji uzyskanych wyników
5. Możliwości wykorzystania wyników w przemyśle
6. Szerokiej współpracy z krajowymi ośrodkami naukowymi

W mojej ocenie Habilitantka posiada niezbędną wiedzę potrzebną do prowadzenia samodzielnej i twórczej pracy naukowej jest też głęboko zaangażowanym w proces dydaktyczny nauczycielem akademickim i organizatorem posiadającym umiejętności w nawiązywaniu współpracy z uczelniami krajowymi.


Stwierdzam, że dr inż. Irena Jacukowicz-Sobala posiada w swoim dorobku osiągnięcia naukowe stanowiące istotny i oryginalny wkład w rozwój dyscypliny naukowej nauki chemiczne. Ponadto wykazuje się istotną aktywnością naukową realizowaną w swojej macierzystej jednostce, ale również w innych ośrodkach. Kandydatka spełnia warunki do uzyskania stopnia naukowego doktora habilitowanego, określone w art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2022 r. poz. 574 z późn. zm.). Uwzględniając dobrą ocenę osiągnięcia naukowego, aktywności naukowej,



dydaktycznej i organizacyjnej wnioskuję o nadanie dr inż. Irenie Jacukowicz-Sobali stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki chemiczne.

Dlatego przedkładam Radzie Naukowej Dyscypliny Nauki Chemiczne Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu wniosek o dopuszczenie Pani dr inż. Ireny Jacukowicz-Sobali do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

Lublin 3.06.2022

  
Prof. dr hab. Zbigniew Hubicki

