



Politechnika Łódzka

Wydział Chemiczny

Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej

prof. dr hab. inż. Małgorzata Iwona Szynkowska-Jóźwik

## RECENZJA

**o całokształcie dorobku Pani dr inż. Anny Siekierki, ze szczególnym uwzględnieniem osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego, w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria chemiczna, zatytułowanego „Systemy elektromembranowe do frakcjonowania jonów metali wraz z możliwością odzysku energii na przykładzie kationów metali”**

Recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Chemiczna Politechniki Wrocławskiej prof. dr hab. inż. Izabeli Michałak w oparciu o pismo RDND05/37/2024-2028. Ocena została przeprowadzona na podstawie dokumentacji do wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego zawierającą wykaz osiągnięć naukowych Habilitantki, autoreferat omawiający jednolity cykl 9 publikacji, oświadczenia współautorów, kopie publikacji oraz przedstawione informacje o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych i współpracy naukowej.

### **Przebieg kariery naukowej Habilitantki**

Pani dr inż. Anna Siekierka uzyskała dyplom inżyniera Technologii Chemicznej na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej w 2013 r. Następnie kontynuowała naukę na tym samym wydziale, zdobywając tytuł magistra inżyniera Technologii Chemicznej w 2014 roku, broniąc pracę zatytułowaną „Samoorganizujące się membrany do filtracji białek”.

W 2019 roku Habilitantka obroniła doktorat na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej w dyscyplinie inżynieria chemiczna. Jej rozprawa doktorska uzyskała wyróżnienie i dotyczyła metody pojemnościowej

dejonizacji do selektywnego wychwytu jonów litu z roztworów wodnych. Promotorem pracy był prof. dr hab. inż. Marek Bryjak, z którym Kandydatka współpracuje od początku swojej kariery naukowej.

Po uzyskaniu stopnia doktora, dr inż. Anna Siekierka odbyła roczny staż podoktorski (w okresie 08.2019-08.2020) na stanowisku *Associate Research Fellow* w *Electro-Membrane Separation Institute for Frontier Materials* w Deakin University w Australii. W ramach tego stażu zdobyła cenne doświadczenie w międzynarodowej współpracy badawczej. Od października 2020 roku do dnia dzisiejszego jest adiunktem badawczo-dydaktycznym na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej.

Podsumowując przebieg kariery naukowej stwierdzam, że Habilitantka posiada stopień naukowy doktora, a zatem spełnia przesłankę pierwszą warunkującą nadanie stopnia doktora habilitowanego (art. 219 p.s.w.n.).

### **Ocena osiągnięcia naukowego będącego podstawą o ubieganie się o stopień doktora habilitowanego**

Podstawą ubiegania się o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego jest osiągnięcie naukowe pod tytułem: „Systemy elektromembranowe do frakcjonowania jonów metali wraz z możliwością odzysku energii na przykładzie kationów metali” przedstawione jako monotematyczny cykl 9 publikacji naukowych [H1-H9] opublikowanych w czasopismach indeksowanych na liście *Thomson Reuters JCR* w latach 2020-2023. Sumaryczny współczynnik wpływu tych artykułów (JCR) wynosi 69,2, suma punktów według listy MNiSW jest na poziomie 1360, a liczba cytowań podana we wniosku jest równa 112.

Są to artykuły opublikowane w następujących czasopismach: [H1, H4, H5, H7] *Desalination*, [H2] *Separation Science and Technology*, [H3, H6] *Separation and Purification Technology*, [H8] *Chemical Engineering and Processing – Process Intensification*, [H9] *Journal of Environmental Chemical Engineering*.

W 8. publikacjach (oprócz publikacji H5), Kandydatka jest pierwszym i korespondencyjnym autorem, w 3. publikacjach (H1, H2, H3) jest jedyną ich autorką. Załączone oświadczenia Habilitantki i współautorów świadczą o Jej dominującej roli w opracowaniu koncepcji prac naukowych, interpretacji uzyskanych wyników oraz przygotowaniu publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego (średni obliczony udział we wszystkich publikacjach ponad 80%), co jednocześnie wypełnia wymagania określone w Ustawie.

Badania dr inż. Anny Siekierki mają znaczenie zarówno naukowe, jak i aplikacyjne oraz istotny wpływ na rozwój dyscypliny inżynieria chemiczna, szczególnie w obszarze technologii elektromembranowych, nowatorskiego podejścia do separacji jonów metali, odzysku metali oraz konwersji energii.

Badania opisane w osiągnięciu habilitacyjnym zostały podzielone na 4 główne grupy, przedstawiające wyniki w zakresie otrzymania selektywnych sorbentów i membran, ich zastosowania w różnych procesach elektromembranowych dedykowanych do odzyskiwania kationów metali z pierwotnych i wtórnych źródeł litu oraz do konwersji energii. Cykl habilitacyjny obejmuje osiągnięcia dotyczące:

1. Procesów hybrydowej, pojemnościowej dejonizacji z wykorzystaniem nowych materiałów sorbujących, koncentrujących się na różnicach w sorpcji kationów, w szczególności jonów  $\text{Li}^+$ ;
2. Procesu pojemnościowego mieszania (ang. *Capacitive Mixing* - CapMix) opartego na dwóch stałych elektrodach oraz ich konfiguracjach do konwersji energii, pochodzącej ze zjawiska generowania różnicy potencjałów podczas kontaktowania dwóch cieczy o różnym zasoleniu;
3. Procesu elektrodializy wyposażonego w serie selektywnych membran kationowymiennych, przeznaczonych do odzysku kationów kobaltu;
4. Procesu odwróconej elektrodializy do jednoczesnego odzysku kationów metali oraz konwersji energii.

Publikacje H1-H3 opisują selektywne frakcjonowanie kationów metali za pomocą procesów pojemnościowej dejonizacji. Badania przedstawione w publikacji H1, wsparte finansowo przez stypendium START z Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej, dotyczą procesu separacji litu i magnezu z solanek za pomocą hybrydowej, pojemnościowej dejonizacji (HCDI) i opracowania efektywnej metody selektywnego wychwytu jonów litu z roztworów wieloskładnikowych zawierających magnez. Publikacje H2 i H3, finansowane ze środków projektu Preludium kierowanego przez Habilitantkę, przedstawiają badania związane z opracowaniem składu elektrod i analizy ich właściwości adsorpcyjnych w procesie HCDI do selektywnego wychwytu jonów litu [H2] oraz sprawdzeniem przydatności sorbentu litowo-żelazowo-manganowego (LFM) do selektywnego wychwytu kationów litu w procesie HCDI z roztworów jednoskładnikowych, jak i wieloskładnikowych [H3].

Publikacje H4 i H5 przedstawiają wyniki badań pojemnościowego mieszania jako alternatywy do konwersji energii z wód zasolonych i były one wsparte przez projekt GEOTHERM w ramach współpracy bilateralnej Polska-Turcja. Badania koncentrowały się głównie na zwiększeniu wytwarzania energii podczas mieszania roztworów o różnym

zasoleniu przy użyciu interpolimerowych membran jonowymiennych w procesie pojemnościowego mieszania (CapMix) i pokazały, że optymalizacja procesu CapMix, szczególnie w zakresie przygotowania miękkich elektrod, może uczynić go konkurencyjną techniką produkcji energii.

Publikacje H6, H7 i H8 dotyczą opracowania selektywnych membran kationowymiennych w procesie elektrodializy. Są one wynikiem badań prowadzonych podczas stażu Habilitantki w *Technical University of Liberec* w Liberecu w Czechach [H6] oraz stażu w *Deakin University* w Geelong w Australii [H7]. Badania [H8] koncentrowały się na poznaniu selektywnego mechanizmu transportu wybranych kationów metali przejściowych z zastosowaniem selektywnych membran. Publikacja H9 jest wynikiem badań przeprowadzonych w *Technical University of Liberec* w Czechach i związana jest z zastosowaniem odwróconej elektrodializy jako alternatywy do konwersji energii i recyklingu metali pokazując potencjalną ścieżkę zrównoważonej produkcji energii i odzyskiwania zasobów z odpadów akumulatorowych.

Do najważniejszych osiągnięć Kandydatki przedstawionych w przedłożonej pracy habilitacyjnej należy zaliczyć opracowania dotyczące:

- sorbentu litowo-manganowo-żelazowego jako materiału katodowego do selektywnego wychwytu kationów litu;
- składu elektrod do zastosowania w pojemnościowej dejonizacji oraz hybrydowej pojemnościowej dejonizacji;
- wyjaśnienia zjawiska selektywnego rozdzielenia kationów litu i magnezu na drodze hybrydowej pojemnościowej dejonizacji;
- sposobu konwersji energii z mieszania dwóch cieczy o różnym zasoleniu na drodze pojemnościowego mieszania, w tym opracowanie zintegrowanych elektrod węglowych z warstwami jonowymiennymi;
- membran kobaltoselektywnych na drodze chemicznej modyfikacji polimerów oraz wprowadzenie czynnika chelatującego w strukturę membrany;
- metody selektywnego rozdzielenia kationów metali przejściowych i litu pochodzących z modelowych roztworów połączonych ze zużytych baterii litowych;
- unikalnej metody konwersji energii przy jednoczesnym wysokim stopniu odzysku kationów metali przejściowych (kationów kobaltu) o dużej czystości w oparciu o zastosowanie ultraselektywnych membran;
- wyjaśnienia zjawiska jednoczesnej selektywnej separacji kationów metali wraz z konwersją energii.

Podsumowując stwierdzam, że wybór tematyki badawczej realizowanej w ramach procedury awansowej jest interesujący, ważny i aktualny. Badania przedstawione w cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych [H1-H9] będących osiągnięciem naukowym Habilitantki, uznaję za istotny wkład w rozwój reprezentowanej przez Nią dyscypliny naukowej. Uważam, że wpisują się one w kluczowe obszary takie jak:

- innowacyjne materiały i technologie: opracowanie nowych materiałów, takich jak sorbenty litowo-manganowo-żelazowe oraz kobaltoselektywne membrany kationowymienne, przyczynią się do rozwoju bardziej efektywnych i selektywnych procesów separacji jonów metali. Zastosowanie HCDI jako metody selektywnego wychwytu jonów litu i magnezu z roztworów wieloskładnikowych otwiera nowe możliwości w dziedzinie separacji jonów metali.
- zrównoważony rozwój i gospodarka o obiegu zamkniętym: badania nad odzyskiem kationów metali z zużytych baterii litowych i innych źródeł wtórnych mają potencjał do zrównoważonego zarządzania zasobami i redukcji odpadów. Procesy takie jak CapMix i odwrócona elektrodializa (RED) umożliwiają jednoczesne odzyskiwanie metali i generowanie energii, co jest zgodne z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym.
- efektywność energetyczna: badania ukierunkowane na zwiększenie efektywności energetycznej procesów separacji i konwersji energii.

Cykl artykułów H1-H9 opublikowany w czasopiśmie naukowym ujętych w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust.2 pkt 2 lit. b p.s.w.n. do oceny jako praca habilitacyjna nie budzi żadnych wątpliwości.

### **Ocena pracy dydaktycznej i organizacyjnej**

Dr inż. Anna Siekierka wykazuje się dużym zaangażowaniem w działalność dydaktyczną, organizacyjną oraz popularyzującą naukę. Prowadzi różnorodne formy zajęć ze studentami zarówno w języku polskim, jak i w języku angielskim. Wykazuje się wysoką aktywnością w opiece naukowej nad realizowanymi pracami dyplomowymi, w latach 2020-2024 była promotorem/opiekunem 21 prac inżynierskich oraz 9 prac magisterskich. Od października 2023 roku pełni funkcję promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim Pani mgr inż. Justyny Nowickiej, której promotorem głównym jest dr hab. inż. Agnieszka Saeid.

Kandydatka aktywnie włącza się we współpracę międzynarodową w ramach prowadzenia zajęć dydaktycznych, m.in. w ramach programów: *Blended Intensive Program „Circularity of Polymers”*, *Sustainable Biomass and Bioproducts Engineering*, *World Association of Membrane Societies Education Working Group* od 2023 roku z ramienia Polskiego

Towarzystwa Membranowego. Jest zaangażowana w popularyzację nauki, uczestnicząc w konkursach i audycjach radiowych. Odniosła zwycięstwo w ogólnopolskim konkursie *Falling Walls Poland* w 2023 r.

Należy również wymienić uczestnictwo Habilitantki w organizacjach i towarzystwach, tj.: *Academia Iuvenum* (2022-2024) – prestiżowa organizacja Politechniki Wrocławskiej dla młodych, wybitnych naukowców; Europejskie Towarzystwo Membranowe – członek w latach 2018-2021; Polskie Towarzystwo Membranowe – członek zarządu w kadencji 2023-2027.

Pani dr inż. Anna Siekierka otrzymała wiele znaczących nagród i wyróżnień za Swoje osiągnięcia naukowe, m. in.: Nagrodę Rektora Politechniki Wrocławskiej za wyróżniający wkład w rozwój Politechniki Wrocławskiej (2024); 2021 *Best Paper Award from Resources, Conservation & Recycling* (RCR), Elsevier za publikację: "A review of membrane crystallization, forward osmosis and membrane capacitive deionization for liquid mining"; Stypendium dla Wybitnych Młodych Naukowców (2021-2024), Nagroda Ministra Edukacji i Nauki; Stypendium START (2021), Fundacja na Rzecz Nauki Polskiej; Nagrodę Primus Politechniki Wrocławskiej za publikacje o liczbie punktów MNiSW równej 200; Nagrodę Secundus (2021, 2023, 2024), Nagrodę Rektora Politechniki Wrocławskiej za najwyższe punktowany dorobek naukowy; *European Membrane Society Conference Fee Award* (2020). Przed uzyskaniem stopnia doktora otrzymała również nagrody na wielu konferencjach oraz Nagrody Rektora Politechniki Wrocławskiej i Dziekana Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej.

### **Ocena całości dorobku naukowego**

Całkowity dorobek naukowy dr inż. Anny Siekierki, w dniu składania wniosku, składał się z 31 publikacji (27 z listy JCR), w tym 20 (18 z listy JCR) po uzyskaniu stopnia doktora. Sumaryczny współczynnik wpływu wszystkich publikacji wynosił  $IF = 153,4$ . Należy tutaj podkreślić istotny wzrost liczby prac oraz ich parametrów, opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora, które wynosiły odpowiednio  $IF = 122,7$  oraz  $IF = 30,7$  (przed uzyskaniem stopnia doktora). Prace te cytowane były 592 razy według bazy Scopus oraz 507 razy (400 bez autocytowań) na podstawie bazy Web of Science. Indeks Hirscha wynosił  $H = 16$  (Scopus). Habilitantka jest również współautorem 4. rozdziałów w monografiach i 2. zgłoszeń patentowych (1 zgłoszenie autorskie: Anna Siekierka, Sposób rozdziału kationów litu, kobaltu i niklu w roztworach baterii litowo-jonowych. Zgłoszenie patentowe P.443773 z dnia 10.02.2023).

Dr inż. Anna Siekierka brała udział w 18. konferencjach, w tym 17. międzynarodowych. Wygłosiła na nich 18 referatów, w tym część wykładów na zaproszenie, oraz przewodniczyła 9. sesjom naukowym, co pokazuje już na tym etapie rozwoju Kandydatki dużą rozpoznawalność w środowisku naukowym.

Habilitantka brała aktywny udział w realizacji 5 projektów, w 4. pełniła rolę wykonawcy, a w 1 funkcję kierownika (NCN, Preludium 13). Obecnie jest kierownikiem w projekcie NCN SONATA 18 (2023-2026) dotyczącym syntezy i charakterystyki selektywnych jonowych kowalencyjno-organicznych struktur jako sorbentów do wydzielania metali przejściowych.

W latach 2020-2024 uczestniczyła w programie *European Cooperation in Science and Technology* COST w ramach CA19123 – *Protection, resilience, rehabilitation of damaged environment (PHOENIX)*.

Na wyróżnienie zasługuje fakt zakwalifikowania się wniosku Kandydatki do drugiego etapu oceny merytorycznej w konkursie europejskim *European Research Council Starting Grant* 2024.

Habilitantka wykonała 70 recenzji, w tym dla czasopism o wysokim współczynniku oddziaływania, m.in. *ACS Environmental Science and Technology Letters*, *ACS Environmental Science and Technology*, *Journal of Water Process Engineering*, *Electrochimica Acta*, *Desalination*, *Separation and Purification Technology*.

Bardzo istotne, godne podkreślenia jest również ukierunkowanie badań na możliwość ich praktycznego wykorzystania w gospodarce, co pokazuje współpraca z sektorem przemysłowym obejmująca współpracę z dwiema firmami: SANHUA AWECO Polska Alliances oraz MIDAS Investments. Habilitantka brała udział w opracowaniu innowacyjnego rozwiązania technologicznego dotyczącego wykonania elementów budowy demonstratora elektrochemicznego, przeznaczonego do zmiękczenia wody stosowanej w zmywarkach domowych dla przedsiębiorstwa SANHUA AWECO Polska Appliances. Wspólnie z firmą MIDAS Investments przygotowała wniosek projektowy do konkursu LIDER (Narodowe Centrum Badań i Rozwoju) dotyczący wykorzystywania odpadów bateryjnych z hydrometalurgicznego węzła przeróbki zużytych baterii pt. „Opracowanie metody wykorzystywania surowców odpadowych pochodzących ze zużytych baterii litowych w celu wytworzenia wodorotlenku litu – LIMES”.

Pani dr inż. Anna Siekierka współpracowała z naukowcami z 18 ośrodków naukowych, wśród których 16 stanowiły instytucje zagraniczne (m.in. *Deakin University, Centre for Cellular and Molecular Biology, School of Life and Environmental Science*, Australia; *Khalifa University, Department of Chemical Engineering*, Abu Dhabi, United Arab

Emirates; *Research Center on CO<sub>2</sub> and Hydrogen (RICH)*, Khalifa University, Abu Dhabi, United Arab Emirates; *Technical University of Liberec, Faculty of Mechatronics, Informatics and Interdisciplinary Studies*, Liberec, Czech Republic; *Faculty of Textile Engineering, Technical University of Liberec*, Liberec, Czech Republic; *Laboratoire Ampere CNRS UMR 5005, Département Génie Electrique et des Procédés, Université de Lyon*, France; *Institute for Nanomaterials, Advanced Technologies, and Innovation, Technical University of Liberec*, Liberec, Czech Republic; *Nicolaus Copernicus University in Toruń, Faculty of Chemistry*, Toruń, Polska; *AGH University of Science and Technology, Faculty of Geology, Geophysics and Environmental Protection*, Kraków, Polska). W ramach współpracy zostało opublikowanych 15 artykułów naukowych z listy JCR, co potwierdza istotną rolę tej działalności w rozwoju kariery naukowej i zdobyciu cennych doświadczeń. Habilitantka odbyła 4 staże (dwa krótkoterminowe staże przed uzyskaniem stopnia doktora), a także 2 po uzyskaniu stopnia doktora:

- 08.2019-08.2020 roczny staż podoktorski na stanowisku *Associate Research Fellow* w *Electro-Membrane Separation Institute for Frontier Materials* w *Deakin University* w Australii, gdzie pracowała nad selektywnym rozdziałem kationów metali (kobaltu, niklu i litu) z roztworów połączonych baterii litowych za pomocą procesu elektrodializy;

- 01.03-31.05.2022, 3 - miesięczny staż w *Technical University of Liberec*, Liberec, Czechy w ramach programu bilateralnego Polska-Czechy, finansowanego ze środków Narodowej Agencji Wymiany Akademickiej NAWA. Kontynuacja tematyki związanej z selektywnym frakcjonowaniem roztworów połączonych baterii litowych.

Wyrażam przekonanie, że ogólny dorobek naukowy Habilitantki jest na wysokim poziomie i spełnia warunek ustawy dotyczący wykazania się „aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej” (art. 219 p.s.w.n.).

### **Wniosek końcowy**

Osiągnięcie naukowe dr inż. Anny Siekierki zatytułowane „Systemy elektromembranowe do frakcjonowania jonów metali wraz z możliwością odzysku energii na przykładzie kationów metali” będące podstawą o ubieganie się o stopień doktora habilitowanego, jak również całokształt dorobku naukowego, dydaktycznego, organizacyjnego oraz aktywność naukowa realizowana w więcej niż jednej instytucji spełnia całkowicie wymagania formalne stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego określone w art. 219 – warunki nadania stopnia doktora habilitowanego ust.1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2023, poz.742).



Podsumowując stwierdzam, że dr inż. Anna Siekierka posiada ogromny potencjał do dalszego rozwoju naukowego jako samodzielny pracownik nauki i zasługuje na uzyskanie stopnia doktora habilitowanego. Wnoszę rekomendację do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Chemiczna Politechniki Wrocławskiej o nadanie Jej stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria chemiczna.



prof. dr hab. inż. Małgorzata Iwona Szynkowska-Jóźwik

Łódź, 23.01.2025 r.