



Kraków, 3.06.2025

Prof. dr hab. inż. Wojciech Nowak

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica

Wydział Energetyki i Paliw

Al. A. Mickiewicza 30

30-059 Kraków

wnowak@agh.edu.pl

Tel: 604410913

Recenzja wniosku habilitacyjnego

Pani dr inż. Patrycji Makoś-Chełstowskiej

Wstęp

Recenzję rozprawy habilitacyjnej opracowano na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Chemiczna Wydziału Chemicznego Politechniki Gdańskiej z 06.05.2025 (pismo L.Dz. 126 WCh/Dz/2025)

1. Informacje ogólne

Przedmiotem niniejszej recenzji jest ocena osiągnięć naukowych, dydaktycznych i organizacyjnych dr inż. Patrycji Makoś-Chełstowskiej, zatrudnionej na Wydziale Chemicznym Politechniki Gdańskiej. Kandydatka ubiega się o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria

chemiczna. Wniosek habilitacyjny oparty jest na osiągnięciu naukowym stanowiącym cykl 17 publikacji naukowych, których wspólnym mianownikiem jest zastosowanie cieczy eutektycznych (w tym cieczy głęboko eutektycznych – DES) w różnorodnych procesach oczyszczania paliw, biopaliw, surowców oraz ścieków i pozostałości przemysłowych. Tematyka badań kandydatki wpisuje się w aktualne kierunki rozwoju zielonych technologii oraz zrównoważonej inżynierii chemicznej.

2. Osiągnięcie naukowe – charakterystyka ogólna

Osiągnięcie naukowe obejmuje cykl 17 artykułów opublikowanych w renomowanych czasopismach z listy JCR, głównie z dziedziny inżynierii chemicznej, inżynierii środowiska oraz zielonej chemii. Prace te zostały pogrupowane tematycznie przez autorkę w cztery obszary aplikacyjne:

- 1) zastosowanie cieczy DES w absorpcji LZO z biogazu,
- 2) modyfikacja właściwości sorpcyjnych adsorbentów,
- 3) ekstrakcyjna detoksykacja substratów fermentacyjnych,
- 4) usuwanie olejów i substancji hydrofobowych z wód.

Prace cechuje spójność tematyczna oraz zróżnicowane, interdyscyplinarne podejście łączące inżynierię procesową, chemię materiałową i modelowanie molekularne.

3. Szczegółowa analiza cyklu publikacji naukowych

3.1 Publikacje H1- H8

Cykl publikacji oznaczony jako H1–H8 stanowi spójny blok badawczy poświęcony opracowaniu i zastosowaniu cieczy eutektycznych (w tym głęboko eutektycznych, DES) jako nowoczesnych i ekologicznych adsorbentów do usuwania lotnych związków organicznych (LZO) z biogazu. Punktem wyjścia do podjęcia tych badań była obserwacja luki technologicznej i badawczej w dostępnych metodach oczyszczania biogazu – szczególnie w zakresie skutecznego usuwania LZO, takich jak siloksany, BTEX, chloro- i tlenoorganiczne związki lotne. Problem ten zidentyfikowano w ramach

międzynarodowego projektu badawczego realizowanego w krajach basenu Morza Bałtyckiego.

Badania przeprowadzone przez Kandydatkę obejmowały:

- Projektowanie i syntezę nowych cieczy DES: zaproponowano szereg kompozycji, w tym wiele niepublikowanych wcześniej układów, których właściwości zostały przewidziane teoretycznie (m.in. przy użyciu modelu COSMO-RS) oraz potwierdzone eksperymentalnie.
- Analizę mechanizmów sorpcji i oddziaływań molekularnych: zastosowano modelowanie molekularne (m.in. DFT) w celu wyjaśnienia selektywności DES względem konkretnych grup związków oraz ustalenia dominujących mechanizmów wiązania zanieczyszczeń – co czyni prace oryginalnymi na tle literatury.
- Badania doświadczalne w warunkach dynamicznych: przeprowadzono testy absorpcji LZO w rzeczywistych warunkach przepływowych, z wykorzystaniem wcześniej wyselekcjonowanych rozpuszczalników. Wskazano optymalne warunki procesu oraz możliwości regeneracji cieczy.
- Porównanie z metodami konwencjonalnymi: wskazano przewagi DES nad komercyjnymi absorbentami – takimi jak glikole, oleje mineralne czy aminy – pod względem pojemności sorpcyjnej, nietoksyczności, odporności chemicznej i możliwości regeneracji bez energochłonnych procesów.

Osiągnięcia z prac H1–H8 mają duże znaczenie aplikacyjne w kontekście podnoszenia jakości biogazu do standardu biometanu, umożliwiając jego wtłaczanie do sieci gazowej lub wykorzystanie jako paliwa alternatywnego. Proponowane rozwiązania technologiczne mogą wypełnić istotną lukę w zakresie oczyszczania biogazu, a jednocześnie realizują założenia zrównoważonego rozwoju przez eliminację toksycznych rozpuszczalników i możliwość regeneracji DES.

W pracy H8 Kandydatka przedstawiła monoautorską pracę przeglądową jako podsumowanie dotychczasowych osiągnięć w omawianej tematyce. Praca spotkała się z dużym zainteresowaniem innych grup naukowych zajmujących się zbliżoną tematyką badawczą i rok po opublikowaniu artykułu w czasopiśmie *Journal of Hazardous Materials*, uzyskała wystarczającą liczbę cytowań, aby znaleźć się w 1% najlepszych publikacji w dziedzinie inżynierii według Web of Science, uzyskując tak zwany status Highly Cited Paper.

3.9 Publikacja H9

W pracy H9 dr inż. Patrycja Makoś-Chelstowska zaprezentowała nowatorskie zastosowanie cieczy eutektycznych (DES) do modyfikacji żelu krzemionkowego w celu zwiększenia jego skuteczności w adsorpcji węglowodorów aromatycznych ze strumieni gazowych. Wykazano, że wysoko lepkie DES, choć nieefektywne w klasycznej absorpcji, istotnie poprawiają trwałość i pojemność sorpcyjną adsorbentu (wzrost o 3,5–6%). Zmodyfikowane materiały charakteryzowały się wysoką stabilnością termiczną, zachowaniem porowatości i możliwością wielokrotnego użycia. Praca wnosi istotny wkład w rozwój zaawansowanych, regenerowalnych materiałów sorpcyjnych.

3.10 Publikacja H10

Praca H10 przedstawia innowacyjną koncepcję oczyszczania biogazu z lotnych związków siarkoorganicznych przy użyciu biosorbentów wytworzonych z odpadów lignocelulozowych (np. kolby kukurydzy, topola, odpady drzewne), modyfikowanych cieczami głęboko eutektycznymi (DES). W odróżnieniu od wcześniejszej pracy H9, zamiast komercyjnych materiałów użyto sorbentów pochodzenia odpadowego, co dodatkowo wzmacnia aspekt zrównoważonego rozwoju.

Zastosowanie DES oparte było na wcześniejszym modelowaniu COSMO-RS i doborze układów o wysokim powinowactwie do związków siarkowych (CS_2 , DMS, tiole), co potwierdzono eksperymentalnie. Modyfikowane biosorbenty zachowały strukturę porowatą i wykazały dobre właściwości sorpcyjne oraz stabilność termiczną. Mechanizmy wiązania DES z powierzchnią materiału zostały wyjaśnione za pomocą analizy FT-IR,

wskazując na tworzenie wiązań wodorowych z komponentami ligniny i celulozy. Badania te dowodzą dużego potencjału odpadowych biosorbentów modyfikowanych DES jako efektywnych i ekologicznych materiałów do odsiarczania biogazu.

3.11 Publikacja H11

W pracy H11 dr inż. Patrycja Makoś-Chełstowska wykazała skuteczność cieczy eutektycznych (DES) w usuwaniu inhibitorów fermentacji – furfuralu (FF) i hydroksymetylofurfuralu (HMF) – z lignocelulozowych hydrolizatów, w tym rzeczywistych próbek z wierzby energetycznej. Badania potwierdziły, że choć efektywność ekstrakcji spada po wielokrotnym użyciu DES bez regeneracji, to zastosowanie adsorpcji na węglu aktywnym przywraca pełną wydajność nawet po 12 cyklach. Zastosowanie trójstopniowej ekstrakcji pozwoliło na niemal całkowite usunięcie inhibitorów (do 99,99%) bez utraty sacharydów. Oczyszczone hydrolizaty wykorzystano w procesie ciemnej fermentacji, osiągając wysoką wydajność biowodoru (365–389 mL H₂/L), porównywalną z wynikami uzyskiwanymi przy użyciu znacznie droższej i bardziej wymagającej hydrolizy enzymatycznej. Praca ta potwierdza wysoką efektywność i praktyczność zastosowania DES w procesach detoksykacji hydrolizatów, wpisując się w kierunki rozwoju zrównoważonych technologii w biorafineriach.

3.12 Publikacja H12

W pracy Kandydatka opracowała i zoptymalizowała metody ekstrakcji inhibitorów fermentacji (FF, HMF i kwasu lewulinowego) z brzeczek pofermentacyjnych z zastosowaniem różnych cieczy eutektycznych (DES) oraz gwajakolu jako ekstrahenta. Na podstawie modelowania COSMO-RS i badań spektroskopowych wytypowano najbardziej efektywne układy DES. Wykazano, że DES i gwajakol tworzą wiązania niekowalencyjne z ekstrahowanymi związkami, co pozwalało na selektywną i skuteczną ekstrakcję, szczególnie FF i HMF (do 98,5%).

Efektywność ekstrakcji kwasu lewulinowego była niższa, ale możliwa do poprawy przy zastosowaniu sekwencyjnej ekstrakcji. Badania na rzeczywistych próbkach potwierdziły skuteczność opracowanej metody, choć obecność polifenoli i białek mogła ograniczać wydajność procesu. Praca wskazuje na duży potencjał aplikacyjny DES w

biotechnologicznej detoksykacji brzeczek i wpisuje się w koncepcję gospodarki cyrkularnej.

3.13 Publikacja H13

W tej pracy dr inż. Patrycja Makoś-Chełstowska kontynuowała badania nad tworzeniem cieczy eutektycznych „in-situ” w roztworach hydrolizatów poprzez ekstrakcję inhibitorów fermentacji, głównie furfuralu (FF). Przeanalizowano możliwość tworzenia DES z monoterenami (np. tymol, eugenol) i FF bez potrzeby wcześniejszej syntezy rozpuszczalnika. Wykazano, że tymol tworzy najefektywniejsze interakcje z FF dzięki wiązaniom wodorowym, osiągając efektywność ekstrakcji rzędu 92–95% w optymalnych warunkach (pH 7, 40°C, 50 min). Uzyskany DES wykazywał porównywalne właściwości do klasycznie przygotowanych układów. Praca potwierdza skuteczność, selektywność oraz proekologiczny potencjał nowatorskiej metody „in-situ” dla oczyszczania hydrolizatów w procesie produkcji biowodoru.

3.14 Publikacja H14

W pracy H14 dr inż. Patrycja Makoś-Chełstowska zaprezentowała nowatorską metodę ekstrakcji inhibitorów fermentacji (FF i HMF) z hydrolizatów przy użyciu magnetycznych cieczy głęboko eutektycznych (MDES). Zastosowanie MDES pozwala na szybsze i bardziej efektywne oddzielenie fazy wodnej dzięki właściwościom magnetycznym rozpuszczalników. Na podstawie modelowania COSMO-RS wytypowano optymalne układy MDES, a następnie przeprowadzono ich syntezę i charakterystykę fizykochemiczną. Najlepsze wyniki ekstrakcji (do 99,99%) uzyskano dla układów mentol:tymol:FeCl₃, przy czym udowodniono także możliwość regeneracji i wielokrotnego użycia MDES. Spektroskopowe analizy potwierdziły obecność oddziaływań van der Waalsa i wiązań wodorowych, odpowiedzialnych za efektywność ekstrakcji. Badania na próbkach rzeczywistych wykazały wysoką skuteczność, mimo obecności konkurencyjnych substancji. Praca pokazuje nie tylko możliwość oczyszczania hydrolizatów z wykorzystaniem MDES, ale także odzysk inhibitorów fermentacji jako wartościowych związków chemicznych, co stanowi istotny wkład w rozwój zrównoważonych technologii procesowych.

Praca posiada wysokie walory aplikacyjne i oryginalny wkład w rozwój metod oczyszczania i odzysku zanieczyszczeń. Badania w większości zostały zrealizowane na Uniwersytecie w Walencji w ramach stażu sfinansowanego z projektu AMERICIUM - 'Excellence Initiative - Research University' (DEC-12/2021/IDUB/II.AMERICIUM), w którym Kandydatka pełniła rolę kierownika projektu.

3.15 Publikacja H15

Publikacja H15 analizuje zagadnienie związane z wykorzystaniem cieczy eutektycznych w procesie separacyjnym. W artykule przedstawiono charakterystykę fizykochemiczną DES, ich zastosowanie w specyficznym obszarze oraz przeprowadzono ocenę efektywności procesu. Dodatkowo, zastosowano narzędzia modelowania molekularnego do identyfikacji mechanizmów sorpcji lub ekstrakcji. Praca posiada wysokie walory aplikacyjne i oryginalny wkład w rozwój metod oczyszczania i odzysku zanieczyszczeń.

Badania zaprezentowane w publikacjach H15-H17 zostały zrealizowane w ramach grantu „Superhydrofobowe gąbki impregnowane głębokimi cieczami eutektycznymi do usuwania składników ropy naftowej z wody” (nr DEC-2020/04/X/ST8/00754) finansowanego z programu Miniatura (Narodowe Centrum Nauki), w których Kandydatka pełniła rolę kierownika projektu. Po raz pierwszy została zaproponowana modyfikacja gąbek melaminowych cieczami głęboko eutektycznymi do usuwania plam ropy naftowej z powierzchni wody. Jest to rozwiązanie ekologiczne i ekonomiczne, które dotychczas nie było testowane przez inne zespoły naukowe.

3.16 Publikacja H16

W pracy H16 dr inż. Patrycja Makoś-Chełstowska przedstawiła badania nad zoptymalizowaną metodą separacji ropy naftowej z wody przy użyciu gąbek modyfikowanych jonowymi cieczami głęboko eutektycznymi (DES). Opracowana metoda uwzględniała wpływ stężenia DES, czasu sorpcji oraz temperatury procesu na efektywność i selektywność sorpcji.

Wyniki wykazały, że najkorzystniejsze właściwości sorpcyjne osiągnięto przy 15% stężeniu DES i czasie kontaktu 37 sekund. Wzrost zawartości mentolu w DES poprawiał

hydrofobowość i selektywność sorbentu, jednak zbyt wysokie stężenia DES ograniczały przepuszczalność porów. Badania wykazały także, że zbyt wysoka temperatura osłabiała oddziaływanie DES z gąbką, obniżając efektywność separacji. Zastosowane gąbki zapewniły wysoką pojemność sorpcyjną (do 132,2 g/g), możliwość separacji różnych typów rop naftowych oraz ich ponownego wykorzystania. Materiały wykazały stabilność i możliwość wielokrotnej regeneracji nawet po 80 cyklach pracy, co potwierdza ich potencjał do praktycznego zastosowania w warunkach przemysłowych.

3.17 Publikacja H17

W pracy H17 dr inż. Patrycja Makoś-Chełstowska zaprezentowała innowacyjne podejście do usuwania plam olejowych z powierzchni wody za pomocą superhydrofobowych i magnetycznych gąbek melaminowych, impregnowanych cieczami głęboko eutektycznymi zawierającymi nanocząstki Fe_3O_4 . Opracowany materiał łączył właściwości hydrofobowe, oleofilowe oraz ferromagnetyczne, umożliwiając zdalne sterowanie gąbką za pomocą pól elektromagnetycznych. Najlepsze parametry sorpcyjne i fizykochemiczne osiągnięto dla gąbki modyfikowanej DES mentol:tymol: Fe_3O_4 , wykazującej wysoką porowatość (99%), niską gęstość oraz superhydrofobowość (kąt zwilżania 151°). Badania potwierdziły wysoką efektywność separacji lekkich frakcji ropy, trwałość materiału w wielu cyklach regeneracyjnych oraz jego odporność termiczną i mechaniczną. Nowatorskie połączenie eutektyków z nanocząstkami magnetycznymi oraz podejście zero-emisyjne w usuwaniu zanieczyszczeń ropopochodnych czyni tę pracę wyjątkowo wartościową w kontekście zastosowań środowiskowych i przemysłowych.

4. Podsumowanie osiągnięć naukowych (wykazanie istotnych nowości naukowych)

Cykl publikacji autorstwa dr inż. Patrycji Makoś-Chełstowskiej wnosi istotny wkład w rozwój metod oczyszczania paliw, biopaliw i surowców do ich produkcji z wykorzystaniem cieczy głęboko eutektycznych (DES). Do najważniejszych osiągnięć należą:

- zaprojektowanie ponad 1600 układów cieczy eutektycznych i otrzymanie ponad 100 DES o zdefiniowanych właściwościach strukturalnych i sorpcyjnych, z których większość nie była dotąd opisana w literaturze,
- rozwój nowatorskich metod absorpcyjnego usuwania LZO (w tym siloksanów, BTEX, VOC i siarkowodoru) z modelowych strumieni biogazu, wraz z mechanistycznym wyjaśnieniem interakcji gaz-sorbent i skuteczną regeneracją DES,
- modyfikacja komercyjnych i odpadowych adsorbentów (krzemionki, biosorbenty lignocelulozowe) przy użyciu DES, co pozwoliło na znaczne zwiększenie ich pojemności sorpcyjnej i stabilności,
- opracowanie metod ekstrakcyjnej detoksykacji brzeczek pofermentacyjnych i hydrolizatów z wykorzystaniem DES – w tym nowatorskiej koncepcji tworzenia DES in-situ oraz zastosowania magnetycznych DES pozwalających na ultraszybką separację faz,
- otrzymanie nowej klasy superhydrofobowych i superoleofilowych materiałów do separacji ropy naftowej z wody – gąbek DES-modyfikowanych (także magnetycznych) – oraz szczegółowa analiza ich właściwości i mechanizmów działania.

Dorobek ten cechuje się wysoką oryginalnością, interdyscyplinarnością i dużym potencjałem aplikacyjnym, zarówno w sektorze energetyki odnawialnej, jak i inżynierii chemicznej i środowiska.

5. Wkład w rozwój inżynierii chemicznej

Dorobek naukowy dr inż. Patrycji Makoś-Chełstowskiej wnosi istotny i oryginalny wkład w rozwój współczesnej inżynierii chemicznej, w szczególności w trzech kluczowych obszarach: zaawansowanych metod separacji gazów, oczyszczania strumieni technologicznych i środowiskowych oraz opracowywania nowej generacji

zrównoważonych materiałów sorpcyjnych. Jej badania koncentrują się na głęboko eutektycznych cieczach jonowych (DES), które stanowią nowatorską klasę rozpuszczalników funkcjonalnych – projektowanych i modyfikowanych zgodnie z zasadami zrównoważonej inżynierii chemicznej.

Wkład dr inż. Patrycji Makoś-Chełstowskiej jest szczególnie istotny z kilku powodów:

1. Projektowanie nowych rozpuszczalników zorientowane na funkcję – Kandydatka wykazała, że możliwe jest celowe konstruowanie układów DES o wysokiej selektywności wobec konkretnych zanieczyszczeń gazowych, takich jak BTEX, VCOC, siloksany, disiarczki dimetylu czy siarkowodor. Wykorzystując metody obliczeniowe (DFT, COSMO-RS) oraz eksperymentalne, opracowała ponad 100 efektywnych cieczy DES, z których większość nie była wcześniej opisana w literaturze światowej. Stanowi to jedno z największych dotychczasowych osiągnięć w zakresie funkcjonalnego projektowania sorbentów cieczowych nowej generacji.
2. Nowe podejścia do oczyszczania i odzysku w ramach gospodarki obiegu zamkniętego – badania Kandydatki obejmują nie tylko usuwanie zanieczyszczeń, ale także odzysk substancji wartościowych, np. poprzez ekstrakcyjne usuwanie inhibitorów fermentacji z hydrolizatów lignocelulozowych. W tym kontekście opracowała m.in. koncepcję tworzenia DES in-situ, co pozwala znacznie uprościć i przyspieszyć procesy separacyjne oraz ograniczyć zużycie dodatkowych chemikaliów.
3. Zastosowania w technologii biogazu i biorafineriach – Kandydatka zaproponowała konkretne rozwiązania dla oczyszczania biogazu, zwiększające jego jakość do poziomu biomethanu, przy jednoczesnym ograniczeniu emisji odorów i substancji toksycznych. Jej prace znajdują bezpośrednie zastosowanie w modernizacji instalacji fermentacji beztlenowej i wytwarzania zielonego wodoru oraz wpisują się w agendę transformacji energetycznej.
4. Zrównoważony rozwój i materiały z odpadów – na szczególne podkreślenie zasługuje wykorzystanie odpadów lignocelulozowych i gąbek melaminowych jako

matryc dla sorbentów DES, co łączy efektywność procesu z ekologicznym podejściem do zagospodarowania odpadów przemysłowych.

5. Interdyscyplinarność i innowacyjność – osiągnięcia dr inż. Patrycji Makoś-Chelstowskiej znajdują się na styku inżynierii chemicznej, środowiskowej, materiałowej i chemii. Łączą klasyczne podejścia do bilansu masy i transportu z nowoczesnymi technikami projektowania rozpuszczalników i sorbentów funkcjonalnych. Jej prace nie tylko poszerzają granice wiedzy, ale także dostarczają narzędzi technologicznych o potencjale wdrożeniowym.

Podsumowując, badania dr inż. Patrycji Makoś-Chelstowskiej wnoszą nową jakość do obszaru technologii separacyjnych i materiałów sorpcyjnych. Jej wkład ma znaczenie zarówno teoretyczne (nowe mechanizmy, modele sorpcji, projektowanie materiałów), jak i praktyczne (możliwość zastosowania w realnych układach przemysłowych). Tym samym jej dorobek stanowi wyraźne rozszerzenie stanu wiedzy w dyscyplinie inżynierii chemicznej.

6. Samodzielność i oryginalność osiągnięcia

Dr inż. Makoś-Chelstowska jest autorką korespondencyjną większości publikacji i inicjatorką linii badawczej poświęconej cieczom eutektycznym, co jednoznacznie wskazuje na jej samodzielność naukową. Wykazała się zdolnością tworzenia interdyscyplinarnych projektów badawczych, skutecznie łącząc chemię, inżynierię środowiska i procesową. Jej prace są oryginalne pod względem doboru rozpuszczalników, konstrukcji sorbentów oraz metod regeneracji i oceny efektywności procesów separacyjnych. Wskazują na nową klasę zrównoważonych materiałów o dużym potencjale aplikacyjnym, w tym przemysłowym.

7. Analiza bibliometryczna i kontekst międzynarodowy

Osiągnięcie naukowe obejmuje łącznie 2420 punktów MNiSW i ponad 270 cytowań bez autocytowań (Scopus), co potwierdza wysoką rozpoznawalność dorobku. Indeks Hirscha 27 (24 bez autocytowań) wg. Bazy Scopus; 29 wg bazy Google Scholar. Publikacje ukazały się w renomowanych czasopismach takich jak Journal of Hazardous

Materials, Green Chemistry, Chemical Engineering Journal. Na tle zespołów badawczych zajmujących się cieczami eutektycznymi w Europie i Azji, dorobek Kandydatki wyróżnia się aplikacyjnością, wykorzystaniem surowców naturalnych i zrównoważonym podejściem do inżynierii separacyjnej. Współpraca z zagranicznymi partnerami (m.in. Hiszpania, Francja, Słowacja) nadaje Jej dorobkowi charakter międzynarodowy.

8. Wnioski końcowe

Tytuł: E. Słupek, P. Makoś (Makoś-Chełstowska), J. Gębicki, "Deodorization of model biogas by means of novel non-ionic deep eutectic solvent", Archives of Environmental Protection, 2020. IF: 1.5.

Opis: Praca prezentuje skuteczność nowej niejonowej cieczy eutektycznej w procesie usuwania odorów z biogazu. Wskazano, że DES oparte na naturalnych związkach chemicznych mogą skutecznie absorbować wybrane zanieczyszczenia lotne. W badaniach uwzględniono wpływ temperatury, składu mieszaniny i parametrów operacyjnych procesu.

Tytuł: E. Słupek, P. Makoś (Makoś-Chełstowska), "Absorptive Desulfurization of Model Biogas Stream Using Choline Chloride-Based Deep Eutectic Solvents", Sustainability, 2020. IF: 3.3.

Opis: Celem pracy było opracowanie efektywnych DES na bazie chlorku choliny do selektywnego usuwania disiarczku dimetylu. Zastosowano metody spektroskopowe (FTIR) i modelowanie molekularne (DFT, ESP, RDG) w celu wyjaśnienia mechanizmów sorpcji. Uzyskano wysoką wydajność procesu i wykazano możliwość regeneracji rozpuszczalników.

Tytuł: P. Makoś-Chełstowska et al., "Deep eutectic solvents – based green absorbents for effective volatile organochlorine compounds removal from biogas", Green Chemistry, 2021. IF: 9.3.

Opis: Artykuł opisuje projektowanie i zastosowanie ekologicznych DES do absorpcji lotnych związków chloroorganicznych. Przeprowadzono charakterystykę fizykochemiczną nowych DES oraz ocenę ich właściwości sorpcyjnych w odniesieniu do

VCOC (m.in. dichlorometanu, chloroformu). Badania eksperymentalne zostały wsparte modelowaniem molekularnym i analizą spektroskopową.

Tytuł: E. Słupek, P. Makoś-Chełstowska, J. Gębicki, "Removal of Siloxanes from Model Biogas by Means of Deep Eutectic Solvents in Absorption Process", *Materials*, 2021. IF: 3.1.

Opis: Artykuł bada zdolność DES do usuwania siloksanów – trudnych do eliminacji związków obecnych w biogazie. DES oparte na cholinie i karwonie wykazały dobrą selektywność i zdolność regeneracyjną. Porównano skuteczność różnych układów DES.

Tytuł: P. Makoś-Chełstowska et al., "New Carvone-Based Deep Eutectic Solvents for Siloxanes Capture from Biogas", *International Journal of Molecular Sciences*, 2021. IF: 4.9.

Opis: W tej publikacji opracowano nowe DES oparte na karwonie jako składniku naturalnym. Badania potwierdziły ich skuteczność w selektywnej absorpcji siloksanów, z dużą stabilnością termiczną i chemiczną.

Tytuł: P. Makoś-Chełstowska et al., "Green monoterpenes based deep eutectic solvents for effective BTEX absorption from biogas", *Chemical Engineering Research & Design*, 2022. IF: 3.7.

Opis: Praca analizuje DES oparte na monoterpenach w kontekście usuwania BTEX. Zastosowano symulacje COSMO-RS i potwierdzono wysoką zdolność sorpcyjną wobec węglowodorów aromatycznych.

Tytuł: E. Słupek, P. Makoś-Chełstowska, J. Gębicki, "Theoretical and Economic Evaluation of Low-Cost Deep Eutectic Solvents for Effective Biogas Upgrading to Bio-Methane", *Energies*, 2021. IF: 3.0.

Opis: Artykuł łączy analizy eksperymentalne z oceną ekonomiczną zastosowania tanich DES w doczyszczaniu biogazu. Zastosowano modelowanie procesowe, oceniając potencjał wdrożeniowy.

Tytuł: P. Makoś-Chełstowska, "VOCs absorption from gas streams using deep eutectic solvents – A review", *Journal of Hazardous Materials*, 2023. IF: 12.2.

Opis: Przeglądowa praca prezentująca aktualny stan wiedzy o zastosowaniach DES w

absorpcji LZO. Analizuje mechanizmy sorpcji, wpływ struktury i właściwości fizykochemicznych DES oraz perspektywy zastosowań przemysłowych.

Tytuł: P. Makoś-Chełstowska et al., "Silica Gel Impregnated by Deep Eutectic Solvents for Adsorptive Removal of BTEX from Gas Streams", *Materials*, 2020. IF: 3.1.

Opis: Praca dotyczy modyfikacji krzemionki żelowej poprzez impregnację DES, poprawiającą jej właściwości sorpcyjne wobec BTEX. Zastosowano charakterystykę materiałową i analizę izoterm adsorpcji.

Tytuł: P. Makoś-Chełstowska et al., "Lignocellulosic waste biosorbents infused with deep eutectic solvents for biogas desulfurization", *Chemical Engineering Journal*, 2024. IF: 13.3.

Opis: Zastosowanie biosorbentów z odpadów lignocelulozowych zmodyfikowanych DES do usuwania H₂S z biogazu. Badania potwierdzają wysoką selektywność i możliwość regeneracji biosorbentu.

Tytuł: P. Makoś-Chełstowska et al., "Extractive detoxification of feedstocks for the production of biofuels using new hydrophobic deep eutectic solvents", *Journal of Molecular Liquids*, 2020. IF: 5.3.

Opis: Przedstawiono nowatorskie DES o właściwościach hydrofobowych w ekstrakcji inhibitorów fermentacji. Zastosowano modelowanie DFT i testy eksperymentalne w układach wodnych.

Tytuł: P. Makoś-Chełstowska et al., "Efficient Extraction of Fermentation Inhibitors by Means of Green Hydrophobic Deep Eutectic Solvents", *Molecules*, 2022. IF: 4.2.

Opis: Skoncentrowano się na ekstrakcji furfuralu i HMF z hydrofilowych matryc wodnych. DES opracowano z naturalnych związków, wykazując ich efektywność i biodegradowalność.

Tytuł: P. Makoś-Chełstowska et al., "Extractive detoxification of hydrolysates with simultaneous formation of deep eutectic solvents", *Chemical and Process Engineering: New Frontiers*, 2023. IF: 0.5.

Opis: Praca przedstawia koncepcję równoczesnej ekstrakcji związków zakłócających

fermentację oraz tworzenia DES in situ. Nowatorska koncepcja łączy efektywność separacji z niskimi kosztami operacyjnymi.

Tytuł: P. Makoś-Chelstowska et al., "Magnetic deep eutectic solvents as efficient media for extraction of furfural and 5-HMF from aqueous samples", *Journal of Molecular Liquids*, 2023. IF: 5.3.

Opis: Rozwinięcie idei DES o właściwości magnetyczne, ułatwiające separację po ekstrakcji. Zastosowano nowatorskie DES na bazie chlorków metali i naturalnych kwasów organicznych.

Tytuł: P. Makoś-Chelstowska et al., "Superhydrophobic sponges based on green deep eutectic solvents for spill oil removal from water", *Journal of Hazardous Materials*, 2022. IF: 12.2.

Opis: Praca opisuje modyfikację pianek melaminowych DES w celu nadania im właściwości superhydrofobowych. Zastosowanie w oczyszczaniu środowisk wodnych z wycieków ropy.

Tytuł: P. Makoś-Chelstowska, "Superhydrophobic and superoleophilic melamine sponges impregnated with deep eutectic solvents for oil spill cleanup", *Separation and Purification Technology*, 2023. IF: 8.1.

Opis: Rozwinięcie poprzednich badań o dodatkowe testy trwałości i selektywności sorpcji. DES poprawiają właściwości powierzchniowe gąbek, umożliwiając skuteczne usuwanie ropy w warunkach terenowych.

Tytuł: P. Makoś-Chelstowska et al., "Magnetic superhydrophobic melamine sponges for crude oil removal from water", *Chemosphere*, 2024. IF: 8.1.

Opis: Artykuł kończący cykl, w którym zastosowano DES nadające właściwości magnetyczne gąbkom. Opracowano systemy umożliwiające łatwe odzyskiwanie gąbek po absorpcji ropy.

9. Działalność dydaktyczna i organizacyjna

Dr inż. Patrycja Makoś-Chelstowska aktywnie uczestniczy w procesie dydaktycznym na Politechnice Gdańskiej, prowadząc zajęcia laboratoryjne i projektowe z

zakresu inżynierii procesowej, technologii chemicznej oraz inżynierii środowiska. Jest ceniona przez studentów za merytoryczność, zaangażowanie oraz umiejętność przekazywania wiedzy. Współorganizowała seminaria, warsztaty badawcze oraz była opiekunką prac dyplomowych. Kandydatka aktywnie działa również na rzecz rozwoju jednostki macierzystej, angażując się w projekty badawcze, wnioski grantowe oraz działania popularyzujące naukę. Jej zaangażowanie w realizację projektów badawczych o zasięgu międzynarodowym przyczynia się do rozwoju współpracy Politechniki Gdańskiej z partnerami zagranicznymi.

10. Podsumowanie i wniosek końcowy

Przedłożony przez dr inż. Patrycję Makoś-Chełstowską dorobek naukowy stanowi spójny, oryginalny i interdyscyplinarny cykl publikacji, który w istotny sposób rozwija wiedzę w zakresie inżynierii chemicznej, szczególnie w obszarze nowoczesnych metod separacji zanieczyszczeń przy zastosowaniu cieczy eutektycznych. Kandydatka wykazała się wysokim poziomem samodzielności naukowej, zdolnością do prowadzenia interdyscyplinarnych badań oraz do skutecznego wdrażania nowych rozwiązań zorientowanych na potrzeby przemysłu i zrównoważonego rozwoju. Działalność dydaktyczna i organizacyjna również zasługuje na pozytywną ocenę.

Uwzględniając powyższe, uważam, że dr inż. Patrycja Makoś-Chełstowska w pełni spełnia kryteria określone w obowiązującym prawie dotyczącym nadawania stopni i tytułów naukowych art. 190 ust.3 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz.U. 2018 poz. 1668 z późn.zm.) niezbędne do nadania jej stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria chemiczna.

