



Zachodniopomorski  
Uniwersytet Technologiczny  
w Szczecinie

## Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej

Szczecin, 11.08.2025 r.

prof. dr hab. inż. Rafał Rakoczy  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
Wydział technologii i Inżynierii Chemicznej  
Katedra Inżynierii Chemicznej i Procesowej  
al. Piastów 42, 71-065 Szczecin  
tel. 91 449 43 32, e-mail: rrakoczy@zut.edu.pl

### Recenzja

**osiągnięć naukowych pani dr inż. Patrycji Makoś-Chełstowskiej w związku z wnioskiem o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria chemiczna**

#### 1. Podstawa prawna

Recenzja została opracowana w odpowiedzi na pismo Pana Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżyniera Chemiczna dra hab. inż. Jacka Gębickiego, prof. PG (pismo wpłynęło do kancelarii Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie w dniu 14.05.2025 r.).

Na recenzenta w postępowaniu habilitacyjnym pani dr inż. Patrycji Makoś-Chełstowskiej przez Radę Dyscypliny Inżyniera Chemiczna Wydziału Chemicznego z dnia 06.05.2025 r.

#### 2. Sylwetka Habilitantki

Pani dr inż. Patrycja Makoś-Chełstowska ukończyła studia inżynierskie na Wydziale Chemicznym Politechniki Gdańskiej w 2013 roku. W 2014 roku Habilitantka uzyskała tytuł zawodowy magistra inżyniera w zakresie technologii chemicznej (specjalność analityka techniczna i przemysłowa). Stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie technologia chemiczna uzyskała na podstawie rozprawy doktorskiej nt. „Nowe metodyki kontroli procesowej oczyszczania silnie zanieczyszczonych alkalicznych ścieków przemysłowych”.

Od 2019 roku pani dr inż. Patrycja Makoś-Chełstowska jest zatrudniona, najpierw na stanowisku asystenta, następnie na stanowisku adiunkta w Katedrze Inżynierii Procesowej i Technologii Chemicznej Wydziału Chemicznego Politechniki Gdańskiej.

Zgodnie z informacjami podanymi przez panią dr inż. Patrycja Makoś-Chełstowska w dokumentacji habilitacyjnej, spełniona została przesłanka warunkująca nadanie stopnia doktora habilitowanego, mianowicie posiadanie stopnia doktora uzyskanego na podstawie przepisów obowiązujących w polskim systemie prawa.

#### 3. Ocena osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę wniosku o przeprowadzenie postępowania w celu nadania stopnia doktora habilitowanego

Osiągnięciem naukowym pani dr inż. Patrycji Makoś-Chełstowskiej, będącym podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego, o którym mowa w art. 219 ust. 1 pkt 2a Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.), jest cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania





artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b, zatytułowany „Projektowanie, charakterystyka i zastosowanie cieczy (głęboko) eutektycznych jako nowych mediów sorpcyjnych w oczyszczaniu paliw, biopaliw i surowców do ich produkcji oraz pozostałości”

Podstawą do przeprowadzenia postępowania habilitacyjnego jest cykl 17 powiązanych tematycznie artykułów, opublikowanych w latach 2020-2024 w czasopismach znajdujących się w bazie *Journal Citation Reports* (JCR) oraz indeksowanych w ministerialnym wykazie punktowanych czasopism naukowych. Oceniając dorobek Habilitantki pod względem jakościowym należy wskazać, że sumaryczny *Impact Factor* (IF) w roku publikacji, dla przedstawionego do oceny dorobku naukowego, wynosi 111,8 (średnia wartość na artykuł – 6,58). Średni IF (aktualny) wynosi łącznie 101,1, co wskazuje na spadek (o 9,6%) jakości czasopism w najnowszym rankingu JCR. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że pani dr inż. Patrycja Makoś-Chetłowska jest współautorką artykułów naukowych opublikowanych w cenionych czasopismach tematycznie związanych z dyscypliną inżynieria chemiczna (np.: *Journal of Hazardous Materials*, *Chemical Engineering Journal*, *Green Chemistry*). Zgodnie z ministerialnym wykazem czasopism punktowanych liczba punktów dorobku habilitacyjnego pani dr inż. Patrycji Makoś-Chetłowskiej wynosi 2420 pkt (w roku publikacji), co daje średnio 142,35 pkt na publikację. Wysokopunktowe artykuły naukowe (200 pkt) stanowią ok. 23% osiągnięcia naukowego, co potwierdza prezentowanie przez Habilitantkę wyników badań w topowych czasopismach naukowych. Łączna liczba cytowań przedstawionych do oceny publikacji naukowych wynosi 380 (według bazy *Scopus*; stan na 18.01.2025), natomiast cytowania bez autocytowań wynosi 272 (71,6% ogółu cytowań, co jest dobrym wskaźnikiem niezależnego wpływu). Średnia liczba cytowań na artykuł wynosi 22,35 (bez autocytowań 16). Najczęściej cytowane publikacje to: [H7] (43 cytowania/33 bez autocytowań); [H8] (54 cytowania/50 bez autocytowań); [H11] (52 cytowania/39 bez autocytowań); i [H15] (42 cytowania/33 bez autocytowań). Należy również podkreślić, że pani dr inż. Patrycja Makoś-Chetłowska w większości pozycji w przedstawionym do oceny osiągnięciu naukowym jest autorką korespondencyjną, co podkreśla Jej wiodącą rolę w przygotowaniu i opracowaniu wyników prowadzonych prac badawczych.

Podsumowując jakościową ocenę cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych należy podkreślić, że wyniki prac badawczych ([H3], [H8], [H10], [H15]) pani dr inż. Patrycji Makoś-Chetłowskiej są publikowane w czasopismach o wysokiej renomie, często uwzględnionych w kwartyle Q1 (czasopismo znajduje się wśród najlepszych 25% w swojej kategorii z uwagi na *SCImago Journal Rank* (SJR), czyli wskaźnika prestiżu naukowego czasopisma z uwzględnieniem pochodzenia cytowań).

Osiągnięcie naukowe pani dr inż. Patrycji Makoś-Chetłowskiej związane jest z pracami badawczymi nad tzw. *DES - deep eutectic solvents*, czyli cieczami głęboko eutektycznymi oraz wpisuje się w aktualne wyzwania inżynierii chemicznej związane z opracowywaniem „zielonych” rozpuszczalników zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju. Rozwój cieczy eutektycznych (ES) i głęboko eutektycznych (DES) jako alternatywy dla cieczy jonowych, których wdrożenie ogranicza wysoki koszt, skomplikowana synteza, generowanie odpadów przy ich produkcji, toksyczność oraz małą biodegradowalność. Ciecze eutektyczne są mieszaninami dwuskładnikowymi lub trójskładnikowymi, których składniki połączone są wiązaniami niekowalencyjnymi. Powszechnie DES określa się mieszaninę dwóch lub więcej związków będącą kombinacją donora wiązań wodorowych i akceptora wiązań wodorowych. DES mają niższą temperaturę topnienia niż ich poszczególne składniki. Według



literatury jako DES są traktowane również mieszanina dwóch lub więcej czystych związków, dla których temperatura punktu eutektycznego jest niższa niż temperatura idealnej mieszaniny.

Pani dr inż. Patrycja Makoś-Chetstowska tematyką DES zajęta się już podczas realizacji pracy doktorskiej. Otrzymane nowe DES zastosowała w technikach mikroekstrakcji do izolacji i wzbogacania analitów z próbek ścieków pochodzących z procesu produkcji asfaltów naftowych. Głównym rezultatem prowadzonych prac badawczych było uzyskanie potwierdzenia, że otrzymane DES mogą być stosowane jako media sorpcyjne oraz dzięki możliwości „projektowania” ich właściwości fizykochemicznych oraz dostosowywania powinowactwa do wybranej grupy związków chemicznych przez dobór odpowiednich składników. Habilitantka bazując na uzyskanych wynikach ukierunkowała dalsze prace badawcze na syntezę i charakterystykę DES dedykowanych separacji złożonych mieszanin – biogazu, surowców do jego produkcji oraz ropy naftowej z wody. Jej badania łączą aspekt innowacyjny z aplikacyjnym, odpowiadając na konkretne potrzeby przemysłu paliwowego i biopaliwowego poprzez opracowanie efektywnych i ekologicznych technologii sorpcji. Należy podkreślić, że realizowana przez panią dr inż. Patrycję Makoś-Chetstowską tematyka badawcza charakteryzuje się interdyscyplinarnością oraz wpisuje się w priorytetowe kierunki badań Unii Europejskiej związane z zielonymi technologiami oraz gospodarką o obiegu zamkniętym.

Przedstawione przez Habilitantkę osiągnięcie naukowe obejmuje 17 artykułów naukowych opublikowanych w latach 2020-2024 w wysoko punktowanych czasopismach z listy JCR. Wyniki prac badawczych przedstawionych w monotematycznym cyklu publikacji związane są z projektowaniem, syntezą, charakterystyką oraz zastosowaniem cieczy eutektycznych (ES) i cieczy głęboko eutektycznych (DES) jako mediów sorpcyjnych w technikach separacyjnych. Głównym celem prowadzonych prac było opracowanie i optymalizacja ES i DES i ich zastosowanie w następujących obszarach badawczych:

1. Zastosowanie cieczy głęboko eutektycznych i mieszanin eutektycznych jako absorbentów do usuwania lotnych związków organicznych z biogazu [H1–H8].
2. Zastosowanie DES i ES jako modyfikatorów adsorbentów przeznaczonych do usuwania LZO z biogazu [H9–H10].
3. Zastosowanie DES i ES jako rozpuszczalników ekstrakcyjnych w separacji inhibitorów fermentacji z hydrolizatów i brzeczek pofermentacyjnych [H11–H14].
4. Zastosowanie DES i ES jako modyfikatorów gąbek w procesach separacji ropy naftowej od wody [H15–H17].

Obszar badawczy nr 1 związany był z opracowaniem nowych cieczy eutektycznych jako absorbentów do usuwania lotnych związków organicznych (LZO) z biogazu. Opracowanie nowych metod usuwania oczyszczania biogazu jest kluczowym wyzwaniem dla przemysłu energetycznego, ponieważ usunięcie LZO z biogazu pozwoli na jego efektywne wykorzystanie jako paliwa do pojazdów lub zatłaczanie do sieci gazowej. Opracowanie innowacyjnych i proekologicznych metod usuwania LZO stanowi uzupełnienie istniejącej luki technologicznej oraz rozwój nowoczesnych związków chemicznych wpisujących się koncepcję tzw. „zielonej chemii”.

Głównym celem pracy [H1] było opracowanie i ocena przydatności nowej, trzyskładnikowej, niejonowej cieczy eutektycznej (w składzie: gwałajol,  $\pm$ kamfora, kwas lewulinowy, stosunek molowy 1:1:3) pozyskiwanej z komponentów możliwych do otrzymania ze źródeł naturalnych, jako ekologicznego absorbenta lotnych związków organicznych (LZO) ze strumieni gazowych, w tym biogazu wysypiskowego i z osadów ściekowych. Opracowana nowa EC wykazała możliwość wielokrotnego



użycia po regeneracji na węglu aktywnym, bez utraty zdolności sorpcyjnych ani zmian w strukturze chemicznej, co potwierdza jego potencjał aplikacyjny w oczyszczaniu gazów przemysłowych.

W pracy [H2] Habilitantka zbadała możliwość zastosowania trzech ES (chlorek choliny : fenol (1:2), chlorek choliny : kwas lewulinowy (1:2) oraz chlorek choliny : glikol etylenowy (1:2)) w absorpcji disiarczku dimetylu z modelowego strumienia biogazu. Najwyższą pojemność sorpcyjną wykazał układ chlorek choliny : fenol, co potwierdzono zarówno w badaniach eksperymentalnych, jak i w analizach FT-IR oraz modelowaniu molekularnym (DFT). Proces desorpcji przeprowadzono za pomocą barbotażu oraz potwierdzono, że ta metoda skutecznie usuwa disiarczek dimetylu z testowanych ES bez zmiany ich właściwości sorpcyjnych.

Wyniki prac badawczych przedstawionych w pracy [H3] związane są z usuwaniem lotnych związków chloroorganicznych z modelowego strumienia gazu z wykorzystaniem EC. Najlepsze wyniki uzyskano dla układu syngol : kwas lewulinowy (1:1), osiągając pojemność sorpcyjną 292–661 mg/g, znacznie przewyższającą uzyskane rezultaty dla komercyjnie dostępnych absorbentów. Habilitantka przeprowadziła również wyniki badań strukturalnych z wykorzystaniem technik spektroskopowych oraz badań teoretycznych w celu potwierdzenia obecności wiązań wodorowych w budowie ES. Wykonano również testy regeneracji dla analizowanej ES, które potwierdziły nieznaczny spadek pojemności sorpcyjnej lotnych związków chloroorganicznych.

Głównym celem pracy [H4] była analiza zastosowania jonowych DES na bazie czwartorzędowych soli amoniowych i glikoli do usuwania siloksanów z biogazu. W tym celu zastosowano model predykcyjny COSMO-RS w celu zaprojektowania i wyboru absorbentów mających najlepszą zdolność do rozpuszczania siloksanów. Najwyższą rozpuszczalność stwierdzono dla układu bromek tetrapropyloamoniowy : glikol tetraetylenowy (1:3). Uzyskane wyniki potwierdziły, że efektywność sorpcji wynika z tworzenia wiązań wodorowych pomiędzy grupami –OH DES i grupami –O–Si w siloksanach. DES zachowuje charakter cieczy Newtonowskiej, a stabilna lepkość zapewnia niewielkie zmiany efektywności wraz ze wzrostem temperatury. W optymalnych warunkach otrzymana DES usuwała siloksany znacznie skuteczniej niż oleje mineralne. Pomimo wyższej ceny jednostkowej DES, możliwość jej wielokrotnego użycia obniża koszt procesu, czyniąc DES konkurencyjną alternatywą dla komercyjnych absorbentów.

W pracy [H5] przedstawiono opracowanie i ocenę nowych DES otrzymanych z naturalnych składników (monoterpenów (karwon) i kwasów karboksylowych (dekanowego, undekanowego, dodekanowego)) jako absorbentów do usuwania siloksanów z biogazu. Na podstawie badań modelowych COSMO-RS spośród 90 mieszanin wytypowano układy o najwyższym powinowactwie do siloksanów, które następnie otrzymano i przeanalizowano ich właściwości fizykochemiczne. Badania spektroskopowe ( $^1\text{H}$  NMR,  $^{13}\text{C}$  NMR, FT-IR) oraz analiza  $\sigma$ -profilów wykazały, że stabilność DES determinują wiązania wodorowe pomiędzy grupą ketonową karwonu ( $=\text{O}$ ) a grupą karboksylową kwasów ( $-\text{COOH}$ ), natomiast efektywne wychwytywanie siloksanów zachodzi głównie dzięki słabszym oddziaływaniom niekwalencyjnym. Opracowane DES charakteryzowały się wysoką selektywnością sorpcji, dużą efektywnością wymiany masy w niskich temperaturach oraz możliwością łatwej regeneracji metodą barbotażu w podwyższonej temperaturze, z jedynie niewielkim spadkiem wydajności po pięciu cyklach. Wyniki wskazują na istotny potencjał proponowanej metody oczyszczania strumienia biogazu występujących w praktyce przemysłowej.

W publikacji [H6] Habilitantka opracowała nową metodę fizycznej absorpcji węglowodorów aromatycznych BTEX (benzen, toluen, etylobenzen, ksyleny) z biogazu z wykorzystaniem DES zbudowanych z monoterpenów i kwasów karboksylowych. Spośród 39 zsyntezowanych DES wybrano



siedem układów o najwyższym powinowactwie do BTEX, korzystnych właściwościach fizykochemicznych (niska lepkość, gęstość i temperatura topnienia) oraz przyjaznym dla środowiska charakterze. Badania strukturalne ( $^1\text{H}$  NMR,  $^{13}\text{C}$  NMR, FT-IR) i fizykochemiczne uzupełniono analizą mechanizmu absorpcji przy użyciu modelu COSMO-RS. Najwyższą pojemność sorpcyjną uzyskał układ eukaliptol : kwas oktanowy (1:1), co wiązano z oddziaływaniami van der Waalsa oraz  $\pi$ - $\pi$  pomiędzy cząsteczkami BTEX a DES. W warunkach optymalnych (10°C) pojemność absorpcyjna toluenu wynosiła 0,056 g/g, a uzyskane wartości były porównywalne z komercyjnymi absorbentami. DES można było regenerować bez utraty właściwości sorpcyjnych przez co najmniej pięć cykli, a niski koszt wytwarzania czyni je konkurencyjną do powszechnie stosowanych związków chemicznych. Dodatkowo potwierdzono możliwość monitorowania procesu w czasie rzeczywistym z użyciem matrycy czujników gazowych, uzyskując wyniki zgodne z analizą chromatograficzną, co stwarza perspektywę zastosowania tej technologii w skali przemysłowej.

W pracy [H7] Habilitantka przeprowadziła analizę zastosowania 23 tanich DES, zbudowanych z czwartorzędowych soli amoniowych i komponentów organicznych, w procesie usuwania głównych zanieczyszczeń biogazu ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , siloksany). Na podstawie parametrów termodynamicznych (współczynnik aktywności, entalpia nadmiarowa, stała Henry'ego) wytypowano dwa najbardziej efektywne układy: chlorek choliny : mocznik (1:2) oraz chlorek choliny : kwas szczawiowy (1:2). Analiza  $\sigma$ -profilów i  $\sigma$ -potencjałów wykazała, że główną siłą napędową procesu są oddziaływania elektrostatyczne pomiędzy zanieczyszczeniami a DES. Wykonana analiza ekonomiczna oszacowała koszt wytworzenia 1 m<sup>3</sup> biometanu na 0,35–0,37 EUR, co jest porównywalne z kosztami obecnie stosowanych technologii, przy istotnej przewadze w postaci możliwości jednoczesnego usuwania  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  i siloksanów w jednym etapie. DES wytwarzane są z tanich, łatwo dostępnych surowców, mogą być wielokrotnie regenerowane bez utraty zdolności sorpcyjnej, a uzyskany biometan spełnia parametry jakościowe gazu sieciowego i paliwa CNG.

W pracy [H8] Habilitantka przedstawiła przegląd literatury dotyczący zastosowania cieczy głęboko eutektycznych (DES) w procesach usuwania lotnych związków organicznych (LZO) ze strumieni gazowych, takich jak powietrze, gazy procesowe, odpadowe i paliwa gazowe. Omówiono rodzaje stosowanych DES, ich właściwości fizykochemiczne wpływające na efektywność absorpcji, metody oceny skuteczności technologii oraz możliwości regeneracji absorbentów. Przeanalizowano mechanizmy oddziaływań między komponentami DES a cząsteczkami LZO, podkreślając możliwość dostrajania właściwości sorpcyjnych poprzez dobór odpowiednich donorów i akceptorów wiązań wodorowych (HBD, HBA). Wskazano, że mimo dużego potencjału DES jako alternatywy dla komercyjnych absorbentów, w literaturze wciąż brakuje badań w skali półtechnicznej i przemysłowej oraz pełnych analiz mechanizmów usuwania niektórych grup LZO. Autorzy przewidują, że przyszłe badania będą obejmować ukierunkowaną syntezę DES o wysokiej selektywności w stosunku do wybranych zanieczyszczeń, usuwanie wielu grup LZO w jednym etapie oraz szczegółowe testy biodegradowalności i toksyczności.

Kolejne dwie prace współautorstwa pani dr inż. Patrycji Makoś-Chetłowska związane są z zastosowaniem ES i DES jako modyfikatorów adsorbentów przeznaczonych do usuwania LZO z biogazu. W pracy [H9] opracowano nowe adsorbenty na bazie żelu krzemionkowego ( $\text{SiO}_2$ ) impregnowanego cieczami głęboko eutektycznymi (DES) w celu zwiększenia efektywności adsorpcji węglowodorów aromatycznych BTEX (benzen, toluen, etylobenzen, p-ksylen) ze strumieni gazowych. DES syntetyzowano z wykorzystaniem chlorku choliny, bromku tetrapropylaamoniowego, kwasu lewulinowego, kwasu mlekowego i fenolu, a następnie nanoszono na żel krzemionkowy metodą



impregnacji kapilarnej. Struktura i właściwości nowych materiałów zostały scharakteryzowane za pomocą FTIR-ATR, TG/DTG, SEM, XRD i analizy BET. Wszystkie adsorbenty  $\text{SiO}_2$ -DES wykazywały wyższą pojemność adsorpcyjną w porównaniu z czystym  $\text{SiO}_2$ , co przypisano specyficznym oddziaływaniom, głównie wiązaniami wodorowym, pomiędzy DES a cząsteczkami BTEX. Najwyższą skuteczność uzyskano dla adsorbentu  $\text{SiO}_2$  impregnowanego układem bromek tetrapropyloamoniowy : kwas mlekowy (1:2), który przewyższał zarówno czyste  $\text{SiO}_2$ , jak i inne opracowane materiały  $\text{SiO}_2$ -DES. Adsorbent ten zachował stabilność i wysoką efektywność w wielokrotnych cyklach adsorpcji-desorpcji w warunkach pokojowych i ciśnienia atmosferycznego, co wskazuje na jego potencjał do zastosowań przemysłowych.

W publikacji [H10] Habilitantka przedstawia innowacyjną metodę oczyszczania biogazu z lotnych związków siarkoorganicznych (VSC) z wykorzystaniem biosorbentów lignocelulozowych modyfikowanych cieczami głęboko eutektycznymi (DES). Do badań użyto odpadowych materiałów roślinnych – drewna topoli energetycznej, drzewa antipka, kolb kukurydzy oraz drewna bukowego – różniących się zawartością ligniny i hemicelulozy. Najkorzystniejszy DES, wytypowany na podstawie modelowania COSMO-RS, stanowił układ bromek tetrapropyloamoniowy : 1,2-heksanodiol (1:3). Po przygotowaniu biosorbentów (rozdrobienie, oczyszczenie, przesiewanie) wykonano ich modyfikację wybranym DES, a następnie analizę właściwości fizykochemicznych (lepkość, gęstość, temperatura topnienia) oraz badań strukturalnych (TGA, SEM, XRD). Najwyższą skuteczność wykazał sorbent na bazie kolb kukurydzy modyfikowanych DES, osiągając pojemności sorpcyjne od 103,8 do 112,1 mg/g dla poszczególnych związków ( $\text{CS}_2$ , IPM, PM, DMDS), co stanowi wartości wyższe niż raportowane w literaturze. Proces adsorpcji opisywały modele kinetyczne pseudo-drugiego rzędu (PSO) oraz Yoon-Nelson i Adams-Bohart, a wysoka efektywność wynikała z jednoczesnego zachodzenia adsorpcji w porowatej strukturze biomasy i absorpcji w cienkiej warstwie DES. Sorbenty charakteryzowały się możliwością wielokrotnej regeneracji bez utraty właściwości oraz niskim kosztem wytworzenia, co wskazuje na ich duży potencjał wdrożeniowy w procesach uszlachetniania biogazu zgodnych z zasadami zielonej inżynierii.

Kolejny obszar tematyczny w osiągnięciu naukowym pani dr inż. Patrycji Makoś-Chetłowski jest z zastosowaniem ES i DES jako rozpuszczalników ekstrakcyjnych w separacji inhibitorów fermentacji z hydrolizatów i brzeczek pofermentacyjnych (prace [H11]-[H14]). W pracy [H11] opracowano nowe hydrofobowe ciecz głęboko eutektyczne (DES) oparte na nietoksycznych składnikach naturalnych, przeznaczone do usuwania inhibitorów fermentacji – furfuralu (FF) i 5-hydroksymetylofurfuralu (HMF) – z hydrolizatów lignocelulozowych. Mechanizm tworzenia DES scharakteryzowano na podstawie analiz  $^1\text{H}$  NMR,  $^{13}\text{C}$  NMR, FT-IR oraz obliczeń DFT. Określono właściwości fizykochemiczne, zoptymalizowano warunki ekstrakcji (DES C:DOL w stosunku molowym 1:2, czas 40 min, pH 7, temperatura 40 °C, stosunek objętości  $V_{\text{DES}}:V_{\text{Hyd}} = 1,5:1$ ) oraz zbadano wpływ stężenia FF i HMF, liczbę etapów ekstrakcji, możliwość utraty cukrów, regenerację i ponowne wykorzystanie rozpuszczalników. W optymalnych warunkach uzyskano efektywność ekstrakcji na poziomie 79,2% (FF) i 87,9% (HMF) z modelowych hydrolizatów oraz 74,2–76,1% i 82,3–87,8% odpowiednio z próbek rzeczywistych, bez strat cukrów. W czterostopniowym procesie ekstrakcji usunięto niemal całkowicie (99,99%) oba związki. Zregenerowany DES zachował pełną aktywność w kolejnych cyklach. Wyniki te potwierdzają, że głównymi siłami napędowymi procesu są wiązania wodorowe i oddziaływania van der Waalsa pomiędzy składnikami DES i inhibitorami. Uzyskana wydajność produkcji bio-wodoru w procesie fermentacji ciemnej po detoksykacji DES była porównywalna z wynikami uzyskanymi po standardowej hydrolizie enzymatycznej. Praca wskazuje na



duży potencjał aplikacyjny hydrofobowego DES C:DOL w przemysłowej detoksykacji hydrolizatów lignocelulozowych.

W pracy [H12] zaprezentowano zastosowanie hydrofobowych cieczy głęboko eutektycznych (DES) do ekstrakcji inhibitorów fermentacji – furfuralu (FF), 5-hydroksymetylofurfuralu (HMF) i kwasu lewulinowego (LA) – z pofermentacyjnych cieczy (PFB) powstających w procesach wytwarzania biogazu i biowodoru. W pierwszym etapie wykonano szybki screening 56 DES przy użyciu modelu COSMO-RS, wybierając sześć układów o największej rozpuszczalności badanych związków i niskiej rozpuszczalności w wodzie. Dla wybranych DES określono właściwości fizykochemiczne, stabilność w próbkach modelowych i rzeczywistych PFB, a także struktury i mechanizm ich tworzenia (FT-IR, NMR, analiza  $\sigma$ -profilu). W drugiej części pracy przeprowadzono optymalizację parametrów ekstrakcji (temperatura, czas, pH, stosunek objętościowy DES:PFB) metodą Box–Behnkena. Najwyższą efektywność uzyskano dla DES Cam:OA (1:1) w warunkach: 40 °C, 30 min,  $V_{DES}:V_{PFB} = 1,5:1$ , oraz dla czystego guajakolu (Gu): 40 °C, 50 min,  $V_{Gu}:V_{PFB} = 2,5:1$ . W optymalnych warunkach ekstrakcji dla DES Cam:OA (1:1) osiągnięto: FF = 86,71%, HMF = 77,92%, LA = 70,64%. Wykazano, że głównym mechanizmem odpowiadającym za tworzenie DES i efektywną ekstrakcję są wiązania wodorowe pomiędzy HBA i HBD oraz badanymi inhibitorami. Ponadto przeanalizowano efekt przeciwdrobnoustrojowy procesu, wskazując możliwość jednoczesnego usuwania mikroorganizmów i białek zdegradowanych poprzez ich wytrącanie. Autorzy podkreślają, że metoda umożliwia uniknięcie stosowania wysokich temperatur i silnych kwasów, a racjonalny dobór DES pozwala na efektywne oczyszczanie PFB.

W pracy [H13] Habilitantka przedstawiła nowatorską metodę detoksykacji hydrolizatów lignocelulozowych poprzez jednoczesne usuwanie inhibitorów fermentacji z zastosowaniem DES. Na podstawie analizy próbek hydrolizatów metodą HPLC zidentyfikowano obecność furfuralu (FF) jako głównego inhibitora. Do badań wstępnych wytypowano cztery monoterpény jako potencjalne komponenty DES, z których wybrano tymol ze względu na obecność aktywnej grupy –OH oraz wysokie powinowactwo do FF. Proces optymalizacji parametrów ekstrakcji (temperatura, pH, stosunek molowy HBD:hydrolizat, czas) przeprowadzono z wykorzystaniem modelu Central Composite Design (CCD), ustalając optymalne warunki na 40 °C, pH 7, stosunek molowy 2:1 i czas 50 min. W tych warunkach uzyskano wysoką efektywność usuwania FF (92,1–94,6%) w procesie jednoetapowym, co istotnie zwiększyło wydajność produkcji biowodoru. Analiza FT-IR i NMR wykazała, że struktura DES powstałego w procesie in-situ z rzeczywistych hydrolizatów była zbliżona do DES otrzymanego z czystych reagentów, z niewielkimi różnicami w lepkości, gęstości i napięciu powierzchniowym wynikającymi z obecności wody i innych inhibitorów. Zaproponowana metoda umożliwia nie tylko skuteczną detoksykację hydrolizatów, lecz także odzysk stosunkowo czystego FF poprzez rozdział DES przez obniżenie temperatury, z recyklingiem tymolu do ponownego użycia. Opracowana metoda jest zgodna z zasadami zielonej inżynierii i gospodarki o obiegu zamkniętym.

Publikacja [H14] Habilitantka przedstawiła możliwości zastosowanie nowej klasy rozpuszczalników – magnetycznych cieczy głęboko eutektycznych (MDES) – do efektywnej ekstrakcji furfuralu (FF) i 5-hydroksymetylofurfuralu (HMF) z hydrolizatów lignocelulozowych. Wstępny dobór 400 układów MDES przeprowadzono z wykorzystaniem modelu COSMO-RS, identyfikując najlepsze pod kątem rozpuszczalności FF i HMF. Wybrane rozpuszczalniki scharakteryzowano pod względem właściwości fizykochemicznych (lepkość, gęstość, temperatura topnienia) oraz strukturalnych (FT-IR, DFT). Proces optymalizacji parametrów ekstrakcji metodą Central Composite Design (CCD) wykazał, że układ mentol:tymianek:chlorek żelaza(III) w stosunku molowym 1:1:0,5 cechuje się najkorzystniejszymi



właściwościami – niską lepkością, wyraźną różnicą gęstości w stosunku do wody, niską temperaturą topnienia oraz właściwościami magnetycznymi, umożliwiającymi eliminację etapu wirowania przy rozdziale faz. W optymalnych warunkach (25 °C, pH 7, VMDES:VHyd = 2:1, czas 30 min) uzyskano wydajność ekstrakcji 98,5% dla FF i 78,8% dla HMF w procesie jednoetapowym, a po trzech cyklach osiągnięto całkowite usunięcie inhibitorów (EE = 99,99%). Badania mechanizmu wykazały, że główną siłą napędową procesu były oddziaływania van der Waalsa między FF/HMF a MDES. Testy regeneracji potwierdziły stabilność rozpuszczalnika – efektywność ekstrakcji nie zmieniła się po 15 cyklach. Autorzy wskazują, że układ Ment:Th:FeCl<sub>3</sub> (1:1:0,5) stanowi obiecującą, zieloną alternatywę dla przemysłowych procesów biorafineryjnych, łącząc wysoką selektywność, możliwość wielokrotnego użycia oraz uproszczony proces rozdziału faz.

Pani dr inż. Patrycja Makoś-Chetłowska swoje zainteresowania naukowe skupiła również na zastosowaniu ES i DS jako modyfikatorów gąbek w procesach separacji ropy naftowej od wody (prace [H15–H17]). W pracy [H15] Habilitantka opracowała nową metodę separacji ropy naftowej od wody z wykorzystaniem superhydrofobowych i superoleofilowych gąbek melaminowych impregnowanych cieczami głęboko eutektycznymi (MS-DES). Wstępny dobór 156 niejonowych DES przeprowadzono z użyciem modelu COSMO-RS, wybierając układy o wysokim powinowactwie do węglowodorów i niskiej rozpuszczalności w wodzie. Wybrane DES, oparte wyłącznie na składnikach naturalnych (monoterpeny, fenole, kwasy karboksylowe), nanoszono na powierzchnię gąbek. Analizy FT-IR, SEM, XRD oraz pomiary kąta zwilżania potwierdziły uzyskanie materiału o kącie zwilżania wodą 152°, kącie zwilżania ropą 0°, niskiej gęstości (9,23 mg/cm<sup>3</sup>) i wysokiej porowatości (99,39%). Najlepsze właściwości wykazały gąbki impregnowane układem eukaliptol:mentol (1:5), osiągając pojemność sorpcyjną rzeczywistej ropy naftowej w zakresie 96,1–132,2 g/g, z niewielką zależnością od składu ropy, oraz wyjątkową trwałość – brak istotnej utraty efektywności po 80 cyklach użycia. Badania powinowactwa MS-DES do frakcji SARA potwierdziły wysoką selektywność sorpcji wobec składników ropy. Opracowana metoda impregnacji jest tania, prosta, przyjazna środowisku i może być stosowana do modyfikacji powierzchni zarówno nowych, jak i zużytych gąbek. Uzyskane wyniki podkreślają, że MS-DES stanowią obiecującą alternatywę dla sorbentów stosowanych w usuwaniu rozlewów ropy naftowej i rekultywacji środowiska.

W publikacji [H16] Habilitantka przedstawiła opracowanie nowych sorbentów opartych na gąbkach melaminowych impregnowanych hydrofobowymi DES do efektywnego usuwania ropy naftowej z wody. Spośród 760 potencjalnych DES, wyselekcjonowanych z użyciem modelu COSMO-RS pod kątem wysokiego powinowactwa do węglowodorów i niskiej rozpuszczalności w wodzie, najlepsze właściwości wykazał układ chlorek tetraetyloamoniowy : kwas dekanowy (1:2). Otrzymane DES-MS charakteryzowały się bardzo wysoką pojemnością sorpcyjną (40,9–99,8 g/g), superhydrofobowością (kąt zwilżania wodą 151°), superoleofilowością (kąt zwilżania olejem 0°), niską gęstością (0,177 g/cm<sup>3</sup>), wysoką porowatością (88,25%), wysoką stabilnością termiczną, mechaniczną i chemiczną oraz możliwością wielokrotnej regeneracji bez utraty efektywności sorpcyjnej. Wysoka wydajność usuwania ropy wynikała z tworzenia oddziaływań niekowalencyjnych pomiędzy składnikami DES a frakcjami węglowodorowymi. W pracy wykazano, że opis proces jest tani, bezodpadowy i oparty na nietoksycznych składnikach pochodzenia naturalnego, powszechnie stosowanych w przemyśle farmaceutycznym. Ponadto opracowana technologia może mieć zastosowanie nie tylko w usuwaniu ropy z powierzchni wody, lecz także w odzysku rozpuszczalników z wody oraz oczyszczaniu ścieków z substancji organicznych.



W pracy [H17] opracowano nową klasę sorbentów opartych na gąbkach melaminowych modyfikowanych cieczami głęboko eutektycznymi (DES) oraz nanocząstkami  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , charakteryzujących się właściwościami superhydrofobowymi, superoleofilowymi i magnetycznymi. Spośród 105 mieszanin DES wyselekcjonowanych przy użyciu modelu COSMO-RS, a następnie zoptymalizowanych metodą Box–Behnkena, najlepsze wyniki uzyskał układ mentol:tymianek (1:1)@ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -MS. Osiągnął on pojemność sorpcyjną rzeczywistej ropy naftowej na poziomie 101,7–127,3 g/g, zachowując jednocześnie paramagnetyzm (31,06 emu/g), niski ciężar właściwy (15,6 mg/cm<sup>3</sup>), bardzo wysoką porowatość (99%), kąt zwilżania wodą 151° i kąt zwilżania olejem 0°, a także doskonałą stabilność mechaniczną, chemiczną i termiczną. Wysoka efektywność usuwania ropy wynikała z tworzenia wiązań hydrofobowych, oddziaływań  $\pi$ – $\pi$  oraz słabszych oddziaływań elektrostatycznych pomiędzy składnikami DES a frakcjami węglowodorowymi. Proces impregnacji jest prosty, tani, wykorzystuje nietoksyczne składniki naturalnego pochodzenia (mentol, tymol) oraz  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Materiał zachowuje właściwości sorpcyjne po wielokrotnych cyklach regeneracji oraz może stanowić efektywną i przyjazną środowisku alternatywę dla obecnie stosowanych metod usuwania rozlewów ropy na wodzie.

Podsumowując osiągnięcie naukowe pani dr inż. Patrycji Makoś-Chetstowskiej należy podkreślić, że przedstawiony do recenzji cykl publikacji obejmuje prace badawcze nad projektowaniem, syntezą, charakterystyką i zastosowaniem cieczy eutektycznych (ES) i cieczy głęboko eutektycznych (DES) jako nowoczesnych, ekologicznych mediów separacyjnych w procesach absorpcji i adsorpcji lotnych związków organicznych (LZO) z biogazu i innych strumieni gazowych, detoksykacji hydrolizatów lignocelulozowych z inhibitorów fermentacji oraz separacji ropy naftowej i wody. W publikacjach [H1–H8] po raz pierwszy zastosowano DES w oczyszczaniu gazów z LZO, opracowano liczne nowe rozpuszczalniki o wysokiej efektywności, możliwości regeneracji, niskich stratach metanu oraz potencjale ekonomicznym, a praca przeglądowa [H8] uzyskała status *Highly Cited Paper*. W pracach [H9–H10] zaproponowano innowacyjne adsorbenty na bazie krzemionki i biosorbentów impregnowanych DES, charakteryzujące się dużą pojemnością sorpcyjną, stabilnością i możliwością wielokrotnego użytku. W pracach [H11–H14] opracowano nowe metody ekstrakcji inhibitorów fermentacji, w tym technikę tworzenia *in-situ* DES oraz zastosowanie magnetycznych DES, umożliwiającą szybką separację faz, odzysk cennych związków i wpisującą się w gospodarkę o obiegu zamkniętym. W pracach [H15–H17] po raz pierwszy wykorzystano DES do modyfikacji gąbek melaminowych w celu uzyskania superhydrofobowych, superoleofilowych i magnetycznych sorbentów o wysokiej pojemności sorpcyjnej (do 132,2 g/g), odporności mechanicznej, możliwości wielokrotnej regeneracji oraz zdolności do zdalnego sterowania. Całość badań łączy zaawansowane modelowanie molekularne (COSMO-RS) wsparte dobrze zaprojektowanymi eksperymentami oraz zastosowanie zaawansowanych technik analitycznych, co pozwoliło na dostarczenie nowej wiedzy o mechanizmach powstawania i działania DES. Osiągnięcie naukowe pani dr inż. Patrycji Makoś-Chetstowskiej ma znaczący wkład w rozwój inżynierii chemicznej ponieważ proponuje ekologiczne, wydajne i ekonomiczne rozwiązania gotowe do wdrożenia w przemyśle.

#### 4. Ocena dorobku naukowego

Tematyka przedstawionego do oceny dorobku naukowego Habilitantki jest imponująca i obejmuje:

- 28 współautorskich prac z listy JCR opublikowanych przed złożeniem dokumentacji o nadanie stopnia doktora habilitowanego;
- 9 współautorskich prac z listy JCR opublikowanych przed uzyskaniem stopnia doktora;





Zachodniopomorski  
Uniwersytet Technologiczny  
w Szczecinie

## Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej

Pani dr inż. Patrycja Makoś-Chetstowska nie wykazała członkostwa w redakcjach naukowych monografii. Habilitantka wyniki swoich prac prezentowała w formie wystąpień ustnych na konferencjach krajowych i zagranicznych.

W ramach dotychczasowej działalności naukowo-badawczej dr inż. Patrycja Makoś-Chetstowska uczestniczyła w realizacji wielu projektów finansowanych w drodze konkursów krajowych i zagranicznych, pełniąc role zarówno kierownika, jak i wykonawcy. Obecnie kieruje czterema projektami, w tym dwoma finansowanymi w ramach programów Radium Learning Through Research Programs i Technetium Talent Management Grants (Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza), dotyczącymi zastosowania biosorbentów z materiałów odpadowych oraz cieczy głęboko eutektycznych do usuwania lotnych związków organicznych i zanieczyszczeń siarkoorganicznych z biogazu. Ponadto realizuje projekt w programie SONATA (NCN) związany z opracowaniem nowych biosorbentów modyfikowanych zielonymi rozpuszczalnikami do oczyszczania strumieni paliw gazowych. Równolegle bierze udział jako wykonawca w projektach OPUS (NCN) obejmujących zagospodarowanie frakcji bio do wytwarzania biowodoru z jednoczesnym oczyszczaniem gazów przy użyciu zielonych rozpuszczalników oraz monitorowanie związków toksycznych w produktach konsumenckich. Wśród zakończonych przedsięwzięć, w których pełniła funkcję kierownika, znajdują się m.in. projekt Americium International Career Development (IDUB) – długoterminowy staż w wiodącym zagranicznym ośrodku naukowym, projekt Argentum Triggering Research Grants (IDUB) dotyczący opracowania nowych materiałów absorpcyjnych do selektywnego usuwania zanieczyszczeń z biogazu oraz projekt MINIATURA (NCN) poświęcony superhydrofobowym gąbkom impregnowanym cieczami głęboko eutektycznymi do usuwania składników ropy naftowej z wody. Jako wykonawca uczestniczyła w projektach międzynarodowych i krajowych dotyczących m.in. oczyszczania Bałtyku, rozwoju technologii pozyskiwania biogazu i substancji odżywczych, redukcji zanieczyszczeń ścieków z produkcji asfaltów oraz badań nad konwersją biomasy lignocelulozowej do biogazów. Realizacja tych przedsięwzięć umożliwiła Habilitantce zdobycie szerokiego doświadczenia w zarządzaniu projektami badawczymi, opracowywaniu innowacyjnych technologii w obszarze zielonej chemii oraz pracy w interdyscyplinarnych, często międzynarodowych zespołach badawczych.

Pani dr inż. Patrycja Makoś-Chetstowska odbyła staże i wizyty badawcze w renomowanych ośrodkach naukowych w Hiszpanii i Francji, które przyczyniły się do rozwoju jej kompetencji oraz nawiązania trwałej współpracy międzynarodowej. W okresie od 1 stycznia do 30 czerwca 2022 r. (6 miesięcy) zrealizowała staż naukowy na Uniwersytecie w Walencji (Hiszpania) pod opieką prof. Miguela de la Guardia. Badania dotyczyły opracowania nowych magnetycznych cieczy głęboko eutektycznych (MDES) jako mediów sorpcyjnych do ekstrakcji związków z grupy furanów z wodnych hydrolizatów, a ich wymiernym efektem były dwie publikacje w *Journal of Molecular Liquids* (100 pkt MNiSW, IF 5,3). W dniach 11–20 grudnia 2023 r. przebywała jako profesor wizytujący na Uniwersytecie Littoral-Côte-d'Opale w Dunkierce (Francja) na zaproszenie prof. Sophie Fourmentin. Wygłosiła seminarium dla pracowników i doktorantów dotyczące zastosowania cieczy głęboko eutektycznych w technikach separacyjnych oraz omówiła możliwości dalszej współpracy, czego efektem był wspólny artykuł przeglądowy w *Environmental Chemistry Letters* (100 pkt MNiSW, IF 15,0). Natomiast w dniach 8–11 września 2024 r. odbyła wizytę konsultacyjną na Uniwersytecie w Valladolid (Hiszpania) w ramach projektu OPUS (NCN, nr UMO-2021/41/B/ST8/02395), podczas której wygłosiła seminarium i wspólnie z prof. Raulem Muñozem ustaliła dalsze etapy realizacji zadań badawczych oraz plany publikacyjne.

Analizując dorobek naukowy pani dr inż. Patrycja Makoś-Chetstowska w bazie *Scopus* należy zwrócić uwagę na liczbę cytowań (2896) i h-indeks (28), co świadczy o zauważeniu prac naukowych





Habilitantki przez innych naukowców. Swoje doświadczenie naukowe przekazuje również podczas współpracy w realizacji prac doktorskich jako promotor pomocniczy (od 2019 do 2023 roku: dr inż. Edyta Słupek; data obrony: 17.11.2023 r).

### 5. Ocena działalności dydaktycznej i organizacyjnej

W ramach działalności dydaktycznej, organizacyjnej i popularyzującej naukę pani dr inż. Patrycja Makoś-Chetstowska prowadzi zajęcia wykładowe, laboratoryjne i projektowe na Wydziale Chemicznym Politechniki Gdańskiej, obejmujące m.in. przedmioty: *Metody analizy technicznej*, *Analityka techniczna i kontrola jakości*, *Wybrane zagadnienia ochrony środowiska w przemyśle*, *Techniki rozdzielania*, *Inżynieria chemiczna* oraz *Podstawy inżynierii bioprosesowej*. Jest współautorką skryptu *Inżynieria chemiczna i procesowa – wybrane zagadnienia* (2022). Sprawowała opiekę naukową nad 5 pracami magisterskimi i 1 inżynierską, pełniła funkcję promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim zakończonym obroną w 2023 r. oraz opiekowała się studentkami realizującymi Indywidualny Program Studiów Badawczych (2023–2024). Recenzowała łącznie 7 prac dyplomowych, oceniała postępy w realizacji doktoratu (2022) i uczestniczyła jako członek komisji w obronie doktoratu na University of the Littoral Opal Coast (2024). Aktywnie angażuje się w prace organizacyjne, będąc m.in. członkiem Rady Wydziału (2020–2024), Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej (2020/2021), Komisji ds. umiędzynarodowienia (2024–2025) oraz opiekunem roku na kierunku Chemia Budowlana (2021–2026). Działa na rzecz popularyzacji nauki poprzez wykłady popularnonaukowe (np. w projekcie *Farmalityka*), organizację warsztatów w ramach dni otwartych uczelni oraz przygotowywanie pokazów na Bałtycki Festiwal Nauki (2019, 2023, 2024). W celu podnoszenia kompetencji dydaktycznych ukończyła liczne szkolenia, m.in. z projektowania zajęć e-learningowych, metod aktywizujących studentów, pracy metodą projektu oraz zastosowania sztucznej inteligencji w edukacji.

Habilitantka aktywnie uczestniczy w pracach komitetów organizacyjnych i naukowych konferencji, m.in. jako członek Komitetu Organizacyjnego konferencji BIOMATFORUM 2024 (Praga, Czechy, 9–10.05.2024 r.), a także jest członkiem Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego (SITPChem). Od 2020 r. pełni funkcję członka Komitetu Redakcyjnego czasopisma *Applied Spectroscopy Review* (Taylor & Francis) oraz była współredaktorem gościnnym zeszytu specjalnego "Green Technologies in Air Treatment" w czasopiśmie *Sustainability* (MDPI, 2020–2021). Posiada bogaty dorobek recenzencki – dotychczas oceniła 163 artykuły naukowe dla czasopism międzynarodowych z listy JCR, w tym m.in. *Journal of Molecular Liquids*, *Separation and Purification Technology*, *Applied Spectroscopy Reviews*, *Journal of Hazardous Materials*, *Food Chemistry*, *Catalysts*, *Trends in Analytical Chemistry*, *Journal of Chromatography A*, *Energies*, *Chemical Engineering Journal* i wiele innych, wydawanych przez Elsevier, MDPI, Springer, ACS czy RSC. W działalności dydaktycznej prowadzi wykłady, laboratoria i zajęcia projektowe na kierunkach Technologia Chemiczna, Inżynieria i Technologie Nośników Energii, Biotechnologia oraz Inżynieria Zasobów Naturalnych, a także jest współautorką skryptu *Inżynieria chemiczna i procesowa – wybrane zagadnienia* (2022). Była promotorem pięciu prac magisterskich i jednej inżynierskiej, promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim (2019–2023), opiekunem studentów realizujących Indywidualny Program Studiów Badawczych (2023–2024) oraz recenzentem siedmiu prac dyplomowych. Pełniła funkcje organizacyjne jako członek Rady Wydziału (2020–2024), Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej (2020/2021), Komisji ds. umiędzynarodowienia (2024–2025) oraz opiekun roku (2021–2026). Angażuje się w popularyzację nauki poprzez wykłady i pokazy w ramach Bałtyckiego Festiwalu Nauki, dni otwarte Politechniki Gdańskiej oraz projekt *Farmalityka*. Systematycznie podnosi kompetencje dydaktyczne, uczestnicząc w



szkoleniach z zakresu e-learningu, metod aktywizujących, wykorzystania sztucznej inteligencji w edukacji oraz pracy metodą projektu.

Pani dr inż. Patrycja Makoś-Chetstowska za swoją działalność naukowo-badawczą otrzymała Nagrody Rektora Politechniki Gdańskiej dla Młodych Pracowników Nauki (w latach 2019-2023) oraz Nagrodę Rektora za osiągnięcia dydaktyczne (współautorstwo skryptu). W 2024 r. Habilitantka uzyskała również stypendiów Ministra Nauki dla wybitnych młodych naukowców. Na szczególne wyróżnienie należy wskazać, że pani dr inż. Patrycja Makoś-Chetstowska znalazła się na liście TOP 2% najbardziej wpływowych ludzi nauki na świecie opracowanej przez Uniwersytet Stanforda (w latach 2021-2023).

## **6. Wniosek końcowy**

W oparciu o przedstawioną dokumentację i ocenę dorobku naukowego, dydaktycznego oraz organizacyjnego pani dr inż. Patrycji Makoś-Chetstowskiej stwierdzam, że Habilitantka spełnia wszystkie przesłanki określone w art. 219 ust. 1 pkt 2a Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z późniejszymi zmianami. Osiągnięcie naukowe w postaci cyklu 17 powiązanych tematycznie publikacji wnosi istotny, oryginalny i interdyscyplinarny wkład w rozwój inżynierii chemicznej, obejmując projektowanie, syntezę, charakterystykę oraz zastosowanie cieczy eutektycznych (ES) i głęboko eutektycznych (DES) w nowoczesnych technikach separacyjnych. Prace te łączą zaawansowane modelowanie molekularne z weryfikacją eksperymentalną, proponując ekologiczne i efektywne rozwiązania gotowe do wdrożenia w przemyśle paliwowym, biopaliwowym oraz w obszarze ochrony środowiska.

Dorobek publikacyjny Habilitantki jest bardzo dobry pod względem jakościowym (m.in. publikacje w czasopiśmie Q1, praca przeglądowa o statusie Highly Cited Paper), a wskaźniki bibliometryczne (h-indeks 28, wysoka liczba cytowań) potwierdzają międzynarodowy zasięg i wpływ prowadzonych badań. Pani dr inż. Patrycja Makoś-Chetstowska wykazuje wysoką aktywność projektową jako kierownik i wykonawca licznych projektów krajowych i międzynarodowych, odbyła staże w renomowanych ośrodkach zagranicznych, a także posiada znaczące osiągnięcia w dydaktyce, działalności organizacyjnej i popularyzującej naukę.

Uwzględniając rangę osiągnięcia naukowego, skalę dorobku, wpływ publikacji oraz szeroki zakres aktywności akademickiej, wnoszę o nadanie pani dr inż. Patrycji Makoś-Chetstowskiej stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria chemiczna.