

## **ZAŁĄCZNIK 2**

do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego z obszaru nauk technicznych  
w dyscyplinie naukowej inżynieria chemiczna

### **Autoreferat**

wraz z opisem osiągnięcia i wykazem prac stanowiących  
jednotematyczny cykl publikacji

dr inż. Elżbieta Gabruś

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny  
w Szczecinie

Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej

Al. Piastów 42, 71-065 Szczecin

tel. 91 449 49 25

e-mail: Elzbieta.Gabrus@zut.edu.pl

## 1. Imię i Nazwisko: Elżbieta Gabruś

## 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

**mgr inż.**, obrona 24.06.1988, Politechnika Szczecińska, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, tytuł pracy: „Kinetyka i dynamika adsorpcji metanolu na węglu aktywnym N”. Promotor: prof. dr hab. inż. Mściśław Paderewski.

**dr nauk technicznych**, obrona 8.12.1997 (z wyróżnieniem), Politechnika Szczecińska, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, tytuł rozprawy: „Modelowanie procesu suszenia cieczy organicznych metodą adsorpcyjną”. Promotor: prof. dr hab. inż. Mściśław Paderewski.

**dyplom kwalifikacji pedagogicznych** do pracy nauczyciela akademickiego uzyskany w Studium Doskonalenia Pedagogicznego Politechniki Szczecińskiej w 1989 roku.

## 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

1988-1998	asystent w Instytucie Inżynierii Chemicznej i Chemii Fizycznej na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Szczecińskiej.
od 1998	adiunkt w Instytucie Inżynierii Procesowej i Procesów Ochrony Środowiska na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Szczecińskiej (obecnie Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie)
1992-1993	przerwa w aktywności zawodowej związana z urodzeniem syna
2000-2001	przerwa w aktywności zawodowej związana z urodzeniem córki

## 4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)

### a) tytuł osiągnięcia naukowego:

Osiągnięcie naukowe stanowi cykl publikacji pod wspólnym tytułem:

**„Otrzymywanie i odzyskiwanie bezwodnych alkoholi alifatycznych przy zastosowaniu łączonych/sekwencyjnych metod adsorpcyjnych i membranowych”**

### b) wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe

Cykl jednotematycznych publikacji, stanowiących osiągnięcie naukowe, zawiera 24 prac autorstwa lub współautorstwa habilitantki, opublikowanych w latach 2003–2016. Ich łączny współczynnik oddziaływania z roku publikacji wynosi **IF: 16,349**. Sumaryczna liczba punktów dla tych publikacji (według listy czasopism MNiSzW z 18.12.2015 r.) wynosi **365**.

Monografia oraz siedem artykułów to prace jednoautorskie. W przypadku pozostałych publikacji, oświadczenia współautorów, określające indywidualny wkład każdego z nich w powstanie poszczególnych prac, przedstawiono w **Załączniku 4**, natomiast oświadczenia habilitantki, określające jej indywidualny wkład, przedstawiono w **Załączniku 3** do tego wniosku. Prace składające się na jednotematyczny cykl publikacji zebrano w **Załączniku 5**. Opracowany nowy sposób sorpcji lotnych związków organicznych o potencjalnych możliwościach aplikacyjnych, który wraz z urządzeniem do sorpcji lotnych związków organicznych zgłoszono do ochrony patentowej w kraju. Udzielony patent włączono w cykl 24 jednotematycznych publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe. Wyniki badań, dotyczące przedmiotu rozprawy habilitacyjnej, przedstawiono ponadto w postaci 26 prezentacji podczas międzynarodowych oraz krajowych konferencji naukowych. Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela. Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe

Symbol	Dane bibliometryczne publikacji	IF z roku publikacji, (IF obecnie)	Punktacja MNiSzW (2015 r.)	Udział własny (%)
<b>Monografia</b>				
H1	<b>Gabruś Elżbieta</b> , „Wybrane metody adsorpcyjno-membranowe w inżynierii procesowej”, BEL Studio, Warszawa 2016, ISBN 978-83-7798-197-9		25	100
<b>Publikacje w czasopismach naukowych uwzględnionych w bazie <i>Journal Citation Reports</i></b>				
H2	<b>Gabruś Elżbieta</b> , „Przewidywanie krzywych przebiecia w procesie adsorpcyjnego osuszania ciekłego etanolu”, Inżynieria Chemiczna i Procesowa, 24 (2003), 113-119	0,394 (0,653)	15	100
H3	<b>Gabruś Elżbieta</b> , Szaniawska Daniela, “Water removal from aqueous ethanol using the adsorption technique”, Polish Journal of Chemical Technology, 8, 3 (2006), 138-140	nienotowany w 2006 r. (0,536)	15	50
H4	<b>Gabruś Elżbieta</b> , Szaniawska Daniela, „Badania foulingu w procesie mikrofiltracji roztworów drożdży z zastosowaniem membran ceramicznych”, Przemysł Chemiczny, 87, 5 (2008), 444-446	0,344 (0,399)	15	50
H5	Downarowicz Dorota, <b>Gabruś Elżbieta</b> , „Elektrotermiczna zmiennotemperaturowa adsorpcja. Szansa na efektywne odzyskiwanie lotnych związków organicznych z gazów odlotowych”, Przemysł Chemiczny, 87, 7 (2008), 768-774	0,344 (0,399)	15	50
H6	<b>Gabruś Elżbieta</b> , Szaniawska Daniela, „Application of backflushing for fouling reduction during microfiltration of yeast suspensions”, Desalination, 240, 1-3 (2009), 46-53	3,041 (3,756)	45	50
H7	Ambrożek Bogdan, Nastaj Józef, <b>Gabruś Elżbieta</b> , “Modeling of adsorptive drying of n-propanol”, Drying Technology, 30, 10 (2012), 1072-1080	1,814 (1,518)	30	40
H8	Ambrożek Bogdan, Nastaj Józef, <b>Gabruś Elżbieta</b> , „Modeling and experimental studies of adsorptive dewatering of selected aliphatic alcohols in temperature swing adsorption system”, Drying Technology, 15, 31 (2013), 1780-1789	1,77 (1,518)	30	40
H9	<b>Gabruś Elżbieta</b> , Nastaj Józef, Tabero Piotr, Aleksandrak Tomasz, „Experimental studies on 3A and 4A zeolite molecular sieves regeneration in TSA process: Aliphatic alcohols dewatering–water desorption”, Chemical Engineering Journal, 259 (2015), 232-242	4,321 (4,321)	45	75
H10	<b>Gabruś Elżbieta</b> , Downarowicz Dorota, „Anhydrous ethanol recovery from wet air in TSA systems – Equilibrium and column studies”, Chemical Engineering Journal, 288 (2016), 321-331	4,321 (4,321)	45	50

<b>Publikacje w czasopismach naukowych z listy MNiSW (część B wykazu)</b>			
H11	<b>Gabruś Elżbieta</b> , „Określanie stopnia regeneracji zeolitowych sit molekularnych”, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 2 (2003), 13-16	7	100
H12	<b>Gabruś Elżbieta</b> , Szaniawska Daniela, „Membranowo-adsorpcyjne metody otrzymywania bezwodnego bioetanolu”, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 4s (2003), 32-33	7	50
H13	<b>Gabruś Elżbieta</b> , „Wpływ parametrów desorpcji gazem inertnym na efektywność regeneracji zeolitowych sit molekularnych”, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 5s (2006), 43-44	7	100
H14	<b>Gabruś Elżbieta</b> , Daniela Szaniawska „Badania procesu mikrofiltracji roztworów substancji wielkocząsteczkowych z zastosowaniem membran nieorganicznych”, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 5s (2006), 45-46	7	50
H15	<b>Gabruś Elżbieta</b> , Downarowicz Dorota, „Obróbka oczyszczająca rozpuszczalników organicznych odzyskiwanych w procesie adsorpcji zmiennotemperaturowej”, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 5 (2009), 32-33	7	50
H16	<b>Gabruś Elżbieta</b> , „Badania wydajności procesu mikrofiltracji roztworów stosowanych w produkcji piwa”, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 5 (2009), 30-31	7	100
H17	Downarowicz Dorota, <b>Gabruś Elżbieta</b> , „Odzyskiwanie alkoholi alifatycznych podczas desorpcji elektrotermicznej”, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 5 (2009), 26-27	7	50
H18	<b>Gabruś Elżbieta</b> , „Analiza wpływu parametrów mikrofiltracji na wydajność procesu separacji związków wielkocząsteczkowych”, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 2 (2010), 43-44	7	100
H19	<b>Gabruś Elżbieta</b> , Ambrozek Bogdan, „Doświadczalne badania regeneracji złoża po adsorpcji z fazy ciekłej”, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 5 (2011), 30-31	7	80
H20	<b>Gabruś Elżbieta</b> , Downarowicz Dorota, „Przewidywanie krzywych przebiegu par izopropanolu w kolumnie z nieruchomym złożem węgla aktywnego w oparciu o teorię przenoszenia frontu adsorpcji”, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 4 (2013), 306-307	7	50
H21	<b>Gabruś Elżbieta</b> , Downarowicz Dorota, „Odwadnianie ciekłego etanolu na adsorbentach zeolitowych”, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 4 (2014), 239-240	7	50
<b>Rozdziały w recenzowanych monografiach</b>			
H22	<b>Gabruś Elżbieta</b> , Downarowicz Dorota, „Ocena efektywności odzyskiwania rozpuszczalników organicznych w procesach adsorpcji zmiennotemperaturowej”, Ochrona powietrza w teorii i praktyce. pod red. J. Koniecznyńskiego: Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, 2010	4	50
H23	Downarowicz Dorota, <b>Gabruś Elżbieta</b> , „Oczyszczanie powietrza z par 1-propanolu w procesie ETSA”, Ochrona powietrza w teorii i praktyce. pod red. J. Koniecznyńskiego: Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, 2010	4	50
<b>Udzielone patenty</b>			<b>Udział</b>
H24	Downarowicz Dorota, <b>Gabruś Elżbieta</b> , 2014, „Sposób sorpcji lotnych związków organicznych i urządzenie do sorpcji lotnych związków organicznych”, Urząd Patentowy RP, patent numer 218064, zgłoszenie z roku 2012		30%
<b>Podsumowanie</b>	<b>Sumaryczny IF z roku publikacji</b>	<b>Sumaryczny IF 2014/2015</b>	<b>Sumaryczna punktacja MNiSW</b>
	<b>16,349</b>	<b>17,421</b>	<b>365</b>

### **c) omówienie celu naukowego wyżej wymienionych prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania**

Osiągnięcie naukowe stanowi monografia i cykl publikacji pod wspólnym tytułem:

**„Otrzymywanie i odzyskiwanie bezwodnych alkoholi alifatycznych przy zastosowaniu łączonych/sekwencyjnych metod adsorpcyjnych i membranowych”**

#### **Wprowadzenie**

Przedstawiony do oceny dorobek naukowy jest związany z procesami adsorpcyjnymi i niskociśnieniowymi procesami membranowymi (mikrofiltracja i ultrafiltracja), stosowanymi do separacji ciekłych roztworów alkoholi alifatycznych oraz ich odzyskiwania z fazy gazowej metodą adsorpcyjną. Separacja dotyczy wyodrębnienia alkoholi alifatycznych z brzezki fermentacyjnej, a następnie ich oczyszczania, zatężania i odwadniania do uzyskania bezwodnego produktu (biopaliwa), który może być stosowany jako komponent lub substytut paliw silnikowych. Otwierające się nowe pole badań i możliwość praktycznego zastosowania wybranych procesów w produkcji biopaliw, była inspiracją do podjęcia złożonej tematyki naukowej.

Pod wpływem publikacji, ukazujących się w literaturze światowej, na temat możliwości zastosowania alkoholi alifatycznych (etanol, n-propanol, n-butanol), jako paliw alternatywnych dla konwencjonalnych paliw ropopochodnych, nastąpiło ukierunkowanie moich zainteresowań badawczych na ich adsorpcyjne odwadnianie, ponieważ jednym z warunków zastosowania tych alkoholi w silnikach spalinowych, jest obniżenie zawartości wody poniżej 0,5% (ułamek wagowy). W związku z powyższym, podjęto badania procesu adsorpcji wody z etanolu i n-propanolu na złożu zeolitowych sita molekularnych w skali wielkolaboratoryjnej (wysokość złoża 0,76 m i średnica 0,05m). Badano cykliczny proces adsorpcji zmiennotemperaturowej TSA (Temperature Swing Adsorption), gdzie adsorpcja przebiega w umiarkowanych temperaturach, natomiast desorpcja w temperaturach podwyższonych. Proces adsorpcji może być alternatywą lub uzupełnieniem destylacji, której zdolności rozdzielcze ograniczane są przez występowanie azeotropu (dla etanolu, 4,5 % wagowych wody).

Rozwijając zakres badań adsorpcyjnych, jednocześnie poszukiwałam szerszego aspektu zagadnień separacji, oczyszczania podczas otrzymywania i odzyskiwania alkoholi alifatycznych. Od 2003 roku zainteresowania naukowe skierowałam na niskociśnieniowe procesy membranowe (mikrofiltrację i ultrafiltrację) oraz rozpoczęłam poszukiwania możliwości ich powiązania z dotychczasowymi badaniami procesów adsorpcyjnych. Rezultaty badań wybranych procesów adsorpcyjnych i membranowych przedstawiono w monografii [H1].

#### **Problematyka badawcza – alkohole alifatyczne jako biopaliwa**

W ostatnich latach nastąpił rozwój technik procesowych mających na celu pozyskiwanie energii ze źródeł odnawialnych (OZE), w tym z biomasy. Alkohole, takie jak etanol, n-propanol i n-butanol, mogą być otrzymywane w procesie fermentacji biomasy. W zależności od rodzaju użytej biomasy nazywamy je biopaliwami generacji pierwszej (biomasa nadająca się do

spożycia), drugiej (biomasa, która nie nadaje się do spożycia) lub trzeciej (algi). Bioprodukty otrzymywane tą metodą charakteryzują się niskimi stężeniami alkoholi, złożonym składem i niezbędne jest wydzielenie produktów i mikroorganizmów z zawiesiny fermentacyjnej. Analiza procesów zachodzących podczas wytwarzania bioalkoholi wskazywała na możliwości ulepszenia technologii na etapie wydzielenia alkoholu z brzeczki fermentacyjnej oraz na etapie końcowego odwadniania w celu uzyskania zawartości wody poniżej wymaganego poziomu, przedstawionego w normie PN-EN 15376:2014-11 „Paliwa do pojazdów samochodowych - Etanol jako komponent benzyny silnikowej - Wymagania i metody badań”. Połączenie procesów membranowych i adsorpcyjnych przebiegających w fazie ciekłej było przez kolejne lata przedmiotem moich badań, a ich wyniki przedstawiono w monografii [H1].

Etanol, będący już tradycyjnym biopaliwem, nie jest uważany za idealne paliwo ze względu na swoją dużą higroskopijność, stosunkowo małą wartość energetyczną i dużą lotność, co generuje wysokie koszty związane z przechowywaniem i dystrybucją tego paliwa. Dodatkowym problemem jest wpływ etanolu na korozję elementów silnika. W związku z powyższym, n-butanol staje się obecnie obiecującym biopaliwem, ze względu na: wysoką wartość energetyczną zbliżoną do benzyny, niską temperaturę krzepnięcia, mniejszy wpływ na korozyjność elementów silnika, dużo niższą lotność niż etanol oraz możliwość stosowania w silnikach z zapłonem iskrowym. Potencjalnym biopaliwem jest również n-propanol, którego bioprodukcja jest przedmiotem badań inżynierii metabolicznej w celu udoskonalenia procesu fermentacji. N-propanol, podobnie jak n-butanol charakteryzuje się wysoką wartością energetyczną, zbliżoną do benzyny. Zalety n-butanolu są znane od dawna, ale metoda jego produkcji z paliw kopalnych nie stanowiła konkurencji dla benzyny. Zmiana nastąpiła, gdy do jego produkcji zastosowano znaną od dawna, ale zarzuconą metodę fermentacji ABE, w której głównymi produktami są aceton, n-butanol i etanol, występujące w roztworze fermentacyjnym, odpowiednio, w stosunku 3:6:1. Kluczowy dla wytwarzania bioalkoholi jest dobór odpowiedniego szczepu bakterii i warunków prowadzenia procesu fermentacji. W literaturze zaczęły pojawiać się publikacje dotyczące postępów w inżynierii metabolicznej i wyników najnowszych osiągnięć w hodowli bakterii z grupy *Clostridia*, zdolnych do przetrwania przy wyższych niż dotąd stężeniach produktu fermentacji, co jest interesujące z ekonomicznego punktu widzenia. Powyższe zagadnienia zostały szerzej omówione w monografii [H1].

### **Zastosowanie procesów membranowych w separacji roztworów fermentacyjnych**

Separacja roztworów fermentacyjnych, zawierających zawiesiny i rozpuszczone związki organiczne, może być dokonana za pomocą niskociśnieniowych procesów membranowych (mikrofiltracji i ultrafiltracji). W związku z nawiązaną współpracą z browarem w Szczecinie, zapoczątkowano badania na rzeczywistych roztworach fermentacyjnych, otrzymanych podczas produkcji piwa. Jednakże gęstwa, pobierana okresowo ze zbiorników fermentacyjnych, ulegała zbyt szybkiemu zepsuciu, aby można było wykonać pełny cykl badań. W związku z tym, dalsze badania prowadzono na roztworach modelowych, w których w wodzie rozpuszczano drożdże, białko lub polisacharydy (dekstrany). Alkohol etylowy, obecny w rzeczywistych roztworach, nie

był stosowany w badaniach permeacyjnych, ponieważ jako związek małocząsteczkowy nie ulegał retencji na wybranych membranach porowatych o granicach rozdziału (cut-off) 1, 15, 150 kDa (ultrafiltracja) oraz 0,45 i 0,8  $\mu\text{m}$  (mikrofiltracja). Instalacja laboratoryjna była wyposażona w moduł rurowy z wymiennymi membranami ceramicznymi o powierzchni 0,009375  $\text{m}^2$ , które charakteryzują się trwałością, wytrzymałością termiczną oraz chemiczną i mogą być poddawane sterylizacji parą wodną.

Zaletą procesów membranowych jest czysto fizyczna zdolność rozdzielcza membran oraz łatwość powiększania skali, która odbywa się poprzez zwiększanie liczby takich samych modułów, a zatem badania można ograniczyć do jednego modułu. Badania transportu masy w niskociśnieniowych procesach membranowych obejmowały separację roztworów zawierających substancje nierozpuszczalne (mikrofiltracja) i rozpuszczalne (ultrafiltracja). Wyniki badań pozwoliły na określenie wydajności i stopnia retencji, dla wybranych układów roztwór – membrana, w szerokim zakresie parametrów procesowych (ciśnienie transmembranowe, prędkość przepływu nadawy, stężenie i pH roztworu) przy ustalonej temperaturze 20°C. Wyniki badań permeacji dla wybranych układów, zostały przedstawione w monografii [H1] oraz w pracach [H4, H6, H14, H18]. Stwierdzono, że główne problemy występujące podczas realizacji tych procesów, to zjawisko foulingu (odwracalnego i nieodwracalnego), polaryzacja stężeniowa, wzrost oporów transportu, a w konsekwencji spadek strumienia permeatu w trakcie trwania procesu. Badania te wykazały, że retencja komórek drożdży na wybranych membranach jest całkowita, dekstranu do pominięcia, a dla białka zależna od pH roztworu, ponieważ konformacja i sumaryczny ładunek elektryczny białka ulega zmianie w jego roztworach wodnych. W konsekwencji zmienia się rodzaj oddziaływań pomiędzy białkiem i membraną (przyciąganie, odpychanie lub brak oddziaływań), które odpowiadają za retencję membrany i zjawisko foulingu nieodwracalnego, spowodowanego adsorpcją białka na powierzchni i w porach membrany. Zmniejszone pole przekroju poprzecznego porów membrany powoduje zmniejszenie strumienia permeatu. Badania te, pozwoliły określić optymalne parametry pracy instalacji [H1].

Zbadano również możliwość i skuteczność użycia techniki płukania wstecznego (backflushing) do zapobiegania spadkowi strumienia permeatu w czasie procesu. Zaobserwowano, że wysokie ciśnienie sprzyja szybkiemu blokowaniu porów membrany, co objawia się wyraźnym spadkiem wielkości strumienia permeatu i szybszym osiągnięciem stanu ustalonego. Wyniki badań wskazują, że podczas mikrofiltracji zawiesin drożdży można z dobrym skutkiem zastosować płukanie wsteczne, które okresowo zwiększa strumień permeatu. Wartość uśrednionego strumienia, obliczonego z modelu matematycznego, jest w takim przypadku wyższa niż równowagowego osiąganego bez płukania wstecznego. Świadczy to o dużym udziale foulingu odwracalnego w całkowitym oporze membrany [H6]. Płukanie wsteczne jest jednak mało skuteczne podczas ultrafiltracji białek i dekstranów, i praktycznie nie wpływa na zwiększenie strumienia permeatu, co świadczy o obecności foulingu nieodwracalnego, który usuwano metodą chemiczną.

Na podstawie sekwencji pomiarów przepuszczalności membrany określano opory: membrany czystej, membrany zanieczyszczonej (sumaryczne opory membrany oraz foulingu odwracalnego i nieodwracalnego), membrany po płukaniu wstecznym (sumaryczne opory membrany czystej oraz foulingu nieodwracalnego), membrany po czyszczeniu chemicznym (do porównania z oporem membrany czystej). Wyniki zostały opracowane za pomocą modeli oporów szeregowych i polaryzacji stężeniowej [H6, H14, H16, H18] oraz modeli blokowania porów dla filtracji krzyżowej (cross-flow) [H1].

Na podstawie wyników badań oraz obliczeń modelowych dokonano identyfikacji oporów transportu masy przez membranę. Stwierdzono, że podczas mikrofiltracji zawiesin drożdży dominował mechanizm blokowania porów przez placek filtracyjny. Natomiast podczas ultrafiltracji roztworów białek dominujący był mechanizm pośredniego blokowania porów. Wyniki badań przedstawiono w monografii [H1].

Fouling membrany powoduje zmniejszenie wydajności instalacji membranowej przy zwiększonym zapotrzebowaniu na energię. Wyznaczone na drodze eksperymentalnej wartości jednostkowego zużycia energii, wskazują na możliwość uzyskania jego minimum przy odpowiednio dobranych parametrach operacyjnych [H4].

### **Koncepcje zastosowania procesów adsorpcyjnych w otrzymywaniu i odzyskiwaniu bezwodnych alkoholi**

Procesy adsorpcyjne znajdują zastosowanie do głębokiego oczyszczania i odwadniania (osuszania) gazów i cieczy. Przeprowadzone badania dotyczyły głównie procesu przebiegającego w fazie ciekłej [H2, H3, H7, H8, H10, H21], ale dla potrzeb opracowania całościowej koncepcji zagospodarowania wszystkich strumieni procesowych (układy łączone), prowadzono badania również w fazie gazowej [H10, H20, H23, H24].

Do badań adsorpcyjnych wybrano następujące układy ciekłe: roztwory alkoholi alifatycznych (etanol, n-propanol, n-butanol) z wodą i adsorbenty zeolitowe (sita molekularne typu 3A i 4A), a wyniki zostały opublikowane w pracach [H2, H3, H7, H8, H10, H21]. Analizę procesu adsorpcji przebiegającego w fazie gazowej przeprowadzono dla par wody [H9, H10], etanolu [H10], izopropanolu [H20] na adsorbentach węglowych (Sorbonorit 4) i zeolitowych sitach molekularnych 3A [H10]. Badania doświadczalne dla wybranych układów obejmowały pomiary równowagi i kinetyki adsorpcji [H1] oraz badania kolumnowe TSA [H2, H3, H7, H8, H10, H21]. Wyniki badań równowag adsorpcji umożliwiły określenie pojemności adsorpcyjnych adsorbentów względem poszczególnych składników roztworów ciekłych i gazowych (woda, alkohol alifatyczny), w zależności od temperatury (wielotemperaturowe izotermy adsorpcji) [H10]. Badania kinetyki pozwoliły na identyfikację mechanizmów limitujących proces adsorpcji i ustalenie czasu kontaktu pomiędzy substancją adsorbowaną i adsorbentem [H1]. Badania wykazały, że woda na zeolitowych sitach molekularnych 3A i 4A była adsorbowana selektywnie, zarówno z fazy ciekłej jak i gazowej. Natomiast alkohole alifatyczne praktycznie nie ulegają adsorpcji na tych adsorbentach, ale znakomicie adsorbowane są przez adsorbenty



węglowe. Jednakże woda również dobrze adsorbuje się na węglach aktywnych, co w praktyce stanowi problem konkurencyjnej adsorpcji w stosunku do alkoholi [H10].

Badania kolumnowe prowadzone były w instalacjach adsorpcyjno-desorpcyjnych, a każdy cykl procesu TSA składał się z dwóch zasadniczych etapów: adsorpcji i desorpcji (regeneracji złoża). Sposób prowadzenia regeneracji złoża adsorbentu zależał od tego czy etap adsorpcji przebiegał z fazy gazowej czy ciekłej oraz rodzaju adsorbentu (węgiel aktywny, zeolitowe sita molekularne). W przypadku adsorpcji z fazy ciekłej, pełny cykl (stosowany do odwadniania alkoholi alifatycznych) obejmował: adsorpcję wody z ciekłego roztworu alkoholu, grawitacyjne usuwanie cieczy zawieszanej na złożu, desorpcję gorącym powietrzem oraz chłodzenie złoża [H1, H9]. W przypadku adsorpcji z fazy gazowej na złożu węgla aktywnego, cykl pracy instalacji TSA obejmował adsorpcję, desorpcję gorącym gazem inertnym lub elektrotermiczną oraz chłodzenie złoża. Metoda ogrzewania złoża prądem elektrycznym okazała się nieefektywna wobec zeolitowych sit molekularnych 3A i 4A. Odporne na wysoką temperaturę zeolitowe sita molekularne skutecznie regenerowano za pomocą strumienia gorącego powietrza [H9, H11, H13].

Procesy adsorpcyjne przebiegające w fazie ciekłej są wciąż rzadko stosowane w praktyce na dużą skalę. Problemem jest regeneracja wilgotnego złoża i odzyskiwanie zaadsorbowanych składników. W literaturze brak jest danych o tego rodzaju instalacjach. Zatem przeprowadzone badania miały charakter nowatorski. Adsorpcyjne odwadnianie strumieni ciekłych alkoholi przeprowadzono dla różnych stężeń początkowych wody w roztworze alkoholu oraz różnych prędkości przepływu cieczy przez złożo. Wyniki otrzymano w postaci krzywych przebiecia na czterech wysokościach złoża oraz profili temperaturowych na pięciu jego wysokościach, które stanowiły obraz pracy złoża podczas procesu [H2, H3, H7, H8, H10, H21] oraz umożliwiły walidację modeli matematycznych stosowanych do opisu procesu adsorpcji z fazy ciekłej [H2, H7, H8]. Oceniono również przydatność uproszczonych metod projektowania adsorberów do określania istotnych parametrów pracy instalacji adsorpcyjnych (czas przebiecia, wysokość strefy wymiany masy, pojemność adsorpcyjna złoża w warunkach dynamicznych) [H1, H10].

Pionierskie badania regeneracji wilgotnego złoża (po adsorpcji z fazy ciekłej), w skali wielkolaboratoryjnej, przebiegająca in situ (w kolumnie), połączone były z odzyskiwaniem zaadsorbowanych substancji [H5, H10, H15, H22]. Etap odwadniania alkoholu przebiega w fazie ciekłej i adsorbowana jest wyłącznie woda, ale po zakończeniu tego etapu, w kolumnie adsorpcyjnej obecny jest również alkohol zwilżający złożo (w przestrzeni międzyciarnowej). Następujący po nim etap desorpcji termicznej (regeneracji złoża), przebiega w fazie gazowej i ma na celu usunięcie zaadsorbowanej na złożu wody i odparowanie alkoholu. Do ogrzewania złoża stosowano strumień gorącego powietrza o różnych temperaturach i natężeniach przepływu. Zdesorbowane pary z kolumny adsorpcyjnej kierowane były do skraplacza, ale efektywność odzyskiwania alkoholi, zależy od temperatury panującej w skraplaczu podczas schładzania strumienia powietrza [H5, H13, H17, H19, H22]. W celu zmniejszenia strat alkoholu, wynikających z niecałkowitego wykroplenia jego par, można zastosować kolumnę adsorpcyjną wypełnioną węglem aktywnym, gdzie adsorpcja przebiega w fazie gazowej.

Przeprowadzone badania wskazują na możliwość zastosowania cyklicznego procesu TSA do odwadniania ciekłych alkoholi na zeolitowych sitach molekularnych w połączeniu z instalacją ETSA ze złożem węgla aktywnego [H10, H22]. Zadaniem tej drugiej instalacji jest odzyskiwanie alkoholi i minimalizację strat w procesie TSA.

W przypadku węgla aktywnego, który dobrze przewodzi prąd, bardzo efektywną metodą regeneracji jest zmodyfikowana metoda ETSA (Electrothermal Swing Adsorption), gdzie etap desorpcji realizowany był metodą bezpośredniego ogrzewania złoża adsorbentu prądem elektrycznym [H5, H10, H17, H23, H24]. W związku z udziałem, (jako główny wykonawca) w grantie N N208 2151 33 pt „Badania teoretyczne i doświadczalne procesu ETSA do odzyskiwania lotnych związków organicznych z gazów odlotowych” opracowano oraz uzyskano patent [H24] na urządzenie do sorpcji lotnych związków organicznych, w którym do desorpcji został zastosowany układ elektryczny w celu galwanicznego połączenia złoża ziarnistego węgla aktywnego ze źródłem prądu elektrycznego. Złoże węgla aktywnego, charakteryzującego się właściwościami półprzewodnikowymi, nagrzewało się w krótkim czasie w całej swojej objętości. Zdesorbowana, w ten sposób, substancja była wymywana ze złoża za pomocą niewielkiego strumienia azotu, a jej stężenie było bardzo wysokie, co sprzyjało kondensacji par. Odzyskiwanie alkoholu ze złoża węgla aktywnego metodą ETSA zostało przedstawione w pracach [H10, H23, H24].

W celu pogłębienia zagadnienia regeneracji stosowanych zeolitów (we współpracy z Zakładem Chemii Nieorganicznej) wykonano badania adsorbentów świeżych i używanych do adsorpcji z fazy ciekłej, metodami analizy termogravimetrycznej (TGA) i termicznej analizy różnicowej (DTA) oraz analizy struktur metodami XRD, IR i UV-Vis-NIR. Metody analizy termicznej są badaniami niszczącymi, ale dostarczyły cennych informacji o zakresie stosowalności adsorbentu. Wyniki tych badań przedstawiono w pracy [H9]. Kompleksowe wyniki badań regeneracji zeolitowych sit molekularnych, pozwoliły na dobranie optymalnych parametrów operacyjnych procesu desorpcji (regeneracji), które zapewniły możliwość wielokrotnego użycia tego samego złoża bez pogorszenia jego właściwości sorpcyjnych [H9, H13, H19].

Badania równowagowe i kolumnowe wykazały ponadto, że efekty energetyczne, występujące podczas egzotermicznego procesu adsorpcji, są zależne od stężenia substancji adsorbowanej. Obserwowany wzrost temperatury złoża, nie sprzyja adsorpcji i w praktyce oznacza, że proces najkorzystniej stosować do usuwania substancji o niskich stężeniach [H10].

W inżynierii procesowej duże znaczenie ma modelowanie procesów, dzięki któremu można znacząco ograniczyć czasochłonną i kosztocłonną fazę badań doświadczalnych. Wyniki przeprowadzonych badań posłużyły do weryfikacji modeli matematycznych opisujących proces adsorpcji. Stosowano złożone modele matematyczne rozwiązywane metodami numerycznymi [H7, H8], ale także oceniano modele, w których wprowadzono założenia upraszczające w celu uzyskania rozwiązań analitycznych [H1].

Model dyspersji osiowej z rozwiązaniem asymptotycznym, został opracowany do przewidywania doświadczalnych krzywych przebiegu dla adsorpcji z fazy ciekłej. Stwierdzono,

że model dobrze opisuje profile stężeń i może być stosowany dla instalacji o wysokościach złoża większych od wysokości strefy wymiany masy oraz masowej liczby Pecleta większej od 30 [H2].

Model oparty na teorii przenoszenia frontu adsorpcji z izotermą Freundlicha może być stosowany do przewidywania krzywych przebiecia adsorpcji par w badanym układzie w całym zakresie stężeń. Natomiast model z izotermą Langmuira wykazuje dobre dopasowanie dla obu faz: gazowej i ciekłej, ale w obszarze niezbyt wysokich stężeń przebiecia, jednakże interesujących z praktycznego punktu widzenia [H1, H20].

Uproszczone modele matematyczne Thomasa, Yoona-Nelsona, Clarka i Yana, dobrze opisują krzywe przebiecia na wylocie z kolumny dla adsorpcji z fazy ciekłej w początkowym zakresie stężeń względnych (mniejszych od 0,2). Pełne krzywe przebiecia najlepiej przewiduje model Yana, dobrze odzwierciedlając niesymetryczność krzywych przebiecia, charakterystycznych dla adsorpcji w badanych układach ciekłych [H1, H10].

Szeroko zakrojone badania adsorpcji i desorpcji w procesie kolumnowym umożliwiły poznanie efektów wymiany ciepła i masy, występujących w izolowanym złożu o dużych wymiarach i masie. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań doświadczalnych i obliczeń modelowych, można symulować przebieg procesu adsorpcji z fazy ciekłej lub gazowej w większej skali [H1, H7, H8].

Procesy adsorpcyjne przebiegające na nieruchomym złożu są okresowe. W związku z badaniami prowadzonymi pod kątem przeniesienia procesów adsorpcji do większej skali, analizowano problemem kryterium cykliczności pracy instalacji adsorpcyjnej. W pracy cyklicznej pożądane jest, aby sumaryczny czas regeneracji złoża nie przekraczał czasu adsorpcji. W przypadku wymogu zapewnienia ciągłości oczyszczania strumieni często wystarczą dwie kolumny adsorpcyjne pracujące naprzemiennie [H10, H15]. W przypadku, gdy czas adsorpcji jest krótszy konieczne jest wprowadzenie trzeciej kolumny i rozwiązanie konstrukcyjne, umożliwiające przełączanie kolumn na kolejne etapy pracy, przy czym dwie z nich pracują w etapie adsorpcji i są połączone szeregowo, a złożo w trzeciej jest regenerowane. Zaletą jest pełniejsze wykorzystanie pojemności adsorpcyjnej złoża poprzez możliwość prowadzenia procesu do nasycenia złoża. Zagadnienie to rozwiązywane było również na potrzeby opisu patentowego [H24].

### **Zastosowanie procesów adsorpcyjnych i membranowych w otrzymywaniu bezwodnych alkoholi alifatycznych**

Procesy adsorpcyjne i niskociśnieniowe procesy membranowe mogą być łączone ze sobą oraz z bioreaktorami lub innymi technikami separacji (destylacja, perwaporacja etc.), co znacząco poszerza zakres ich zastosowań. Separacja składników metodami adsorpcyjnymi i membranowymi przebiega wyłącznie na drodze fizycznej, bez udziału dodatkowych związków chemicznych, a produkty rozdziału mogą być ponownie użyte. Uwzględniając zalety obu procesów podjęto próbę analizy możliwości ich zastosowania w układach łączonych do

separacji i oczyszczania strumieni surowców i produktów oraz zagospodarowania strumieni odpadowych [H1].

Wdrożenie do praktycznego zastosowania procesów adsorpcyjnych i membranowych, wymaga przeprowadzenia badań doświadczalnych wspartych modelowaniem matematycznym, w celu określenia optymalnych parametrów procesowych ze względu na wydajności i selektywność procesu. Jednym z podstawowych zagadnień jest dobór odpowiednich membran oraz adsorbentów, ponieważ separacja, oczyszczanie, zatężanie i końcowe odwadnianie produktu może być przeprowadzone wieloetapowo z zastosowaniem różnych technik. Propozycje konfiguracji badanych procesów analizowano w wybranych układach: membranowo-membranowych, adsorpcyjno-adsorpcyjnych oraz adsorpcyjno-membranowych i przedstawiono w monografii j [H1].

Alkohole alifatyczne produkowane w procesie fermentacji można oddzielać z brzezki w procesie mikrofiltracji, uzyskując klarowne roztwory, zawierające cząsteczki, między innymi, białek, polisacharydów i alkoholi rozpuszczonych w wodzie. Zatrzymane na membranie mikroorganizmy mogą być ponownie zastosowane do fermentacji. Rozpuszczone związki wielkocząsteczkowe, takie jak białka i polisacharydy, można zatrzymać na membranach ultrafiltracyjnych, otrzymując roztwór zawierający alkohol. Do dalszej obróbki roztworów fermentacyjnych można zastosować układ cyklicznych procesów adsorpcyjnych TSA. Do wydzielenia alkoholu z ciekłych roztworów o niewielkim stężeniu można zastosować adsorbenty węglowe, a następnie podczas desorpcji odzyskiwać go otrzymując roztwór alkoholu o wyższym stężeniu. W zależności od stężenia alkoholu, można zastosować kolejny adsorbent (węglowy lub polimerowe żywice adsorpcyjne), który zapewni dalsze jego zatężenie. Do końcowego odwadniania można zastosować zeolitowe sita molekularne (odpowiednio 3A dla etanolu i n-propanolu oraz 4A dla n-butanolu) i uzyskać praktycznie bezwodne alkohole [H2, H3, H10, H12, H21], które mogą być stosowane jako biopaliwo [H1].

Podczas transportu i magazynowania alkohole odparowują. W celu ich odzyskania z powietrza zaproponowano zastosowanie adsorpcji zmiennotemperaturowej (TSA) na nieruchomym złożu węgla aktywnego. Problemem jest para wodna, zawsze obecna w powietrzu, której konkurencyjna adsorpcja, powoduje przedwczesne wyczerpanie pojemności adsorpcyjnej złoża. Zaadsorbowany na węglu aktywnym alkohol (oraz woda) można odzyskać następnie w etapie desorpcji. Gaz desorbujący, nasycony parami alkoholu i wody, kierowany jest z kolumny adsorpcyjnej do skraplacza. Otrzymane skropliny to ciekły alkohol, zawierający niewielką ilość wody, którą można usunąć w kolejnej kolumnie adsorpcyjnej wypełnionej zeolitowymi sitami molekularnymi [H1, H10, H15, H22]. Produktem jest praktycznie bezwodny ciekły alkohol.

Alternatywną konfigurację układu adsorpcyjnego do odzyskiwania alkoholu z powietrza, stanowią dwie szeregowo połączone instalacje TSA pracujące cyklicznie. Pierwsza z nich (klasyczna TSA) posiada kolumnę wypełnioną adsorbentem zeolitym, a druga (zmodyfikowana ETSA) złożę węgla aktywnego. Na pierwszym złożu zaadsorbowana zostanie

tylko woda, a na drugim złożu alkohol bez konkurencji wody [H10]. Alkohol odzyskiwany jest ze złoża węgla aktywnego w etapie desorpcji elektrotermicznej, gdzie zdesorbowane pary są usuwane z kolumny za pomocą niewielkiego strumienia azotu. Gaz nasycony parami kierowany jest do skraplacza, a otrzymane skropliny to bezwodny alkohol. Charakterystyczne dla metody ETSA jest bardzo wysokie stężenie zdesorbowanych par alkoholu w strumieniu gazu inertnego, które sprzyja wysokiej efektywności wykraplania, zwiększając sprawność odzyskiwania alkoholu [H10].

### **Podsumowanie wyników badań**

Zastosowanie niskociśnieniowych procesów membranowych w połączeniu z procesami adsorpcyjnymi jest korzystne z punktu widzenia sprawności rozdzielania, nakładów energetycznych oraz ochrony środowiska. Sekwencyjne procesy membranowo-adsorpcyjne pozwalają na efektywne wspomaganie technologii produkcji biopaliw od procesu fermentacji do gotowego produktu, spełniającego wysokie wymagania. Zagadnienia związane z ich zastosowaniem w praktyce nie są jeszcze w pełni rozwiązane. Jednakże wydają się być obiecujące, ponieważ są przyjazne dla środowiska ze względu na minimalizację strumieni odpadowych i kompleksowe zagospodarowanie wszystkich strumieni. Procesy te wzajemnie się uzupełniają, przez co umożliwiają efektywne zastosowania w praktyce przemysłowej i stanowią o nowej jakości produktów [H1].

Przeprowadzone wieloaspektowe badania teoretyczno-doświadczalne i modelowanie matematyczne procesów separacji, skupione na fazie ciekłej, uwypukliły problematykę badawczą, która jeszcze nie jest całkowicie zbadana lub wskazuje na możliwości dalszych kierunków badań. Niniejsza rozprawa habilitacyjna stanowi próbę wypełnienia tej luki i jednocześnie wkład w kompleksowym podejściu do problematyki produkcji bezwodnych bioalkoholi alifatycznych (od procesu fermentacji biomasy do finalnego produktu - biopaliwa).

### **Zasadnicze osiągnięcia uzyskane w pracy habilitacyjnej**

- Zaproponowanie metody badań doświadczalnych procesu TSA w skali wielkolaboratoryjnej z etapem adsorpcji przebiegającym w fazie ciekłej i regeneracji wilgotnego złoża. Zastosowana metodyka badawcza pozwoliła na określenie optymalnych parametrów operacyjnych w etapie adsorpcji, takich jak temperatura, liniowa prędkość przepływu płynu przez kolumnę oraz zakres zalecanych stężeń substancji rozpuszczonej w cieczy.
- Zaproponowanie metodyki regeneracji wilgotnego złoża adsorbentu usypanego w kolumnie, składającą się z etapu grawitacyjnego usunięcia cieczy zawieszzonej pomiędzy ziarnami adsorbentu po etapie adsorpcji, desorpcji termicznej gorącym powietrzem oraz chłodzenia zimnym powietrzem w celu przygotowania złoża do kolejnego cyklu adsorpcyjno-desorpcyjnego.
- Zastosowanie do badań regeneracji wilgotnego złoża adsorbentu dwóch niezależnych metod, analizy termicznej TGA/DTA i badań kolumnowych TSA umożliwiły określenie zakresu skutecznej pracy złoża zeolitu po desorpcji termicznej. Regenerowane gorącym gazem inertnym złoża zeolitowe może być wielokrotnie używane bez pogorszenia jego

pojemności adsorpcyjnej, która stabilizuje się w warunkach dynamicznych na poziomie około 70% adsorpcji równowagowej.

- Zaproponowanie nowych koncepcji zastosowania połączonych procesów TSA z adsorpcją przebiegającą w fazach ciekłej na różnych adsorbentach w celu uzyskania określonego efektu rozdziału w technologii wytwarzania bioalkoholi od fermentacji biomasy do uzyskania bezwodnego produktu - biopaliwa.
- Zaproponowanie metodyki odzyskiwania lotnych związków organicznych z powietrza z zastosowaniem łączonych procesów adsorpcyjnych przebiegających na różnych adsorbentach. Celem jest minimalizacja strat podczas transportu i magazynowania bezwodnych alkoholi alifatycznych.
- Zaproponowanie zastosowania łączonych procesów membranowych, mikrofiltracji i ultrafiltracji, do separacji roztworów fermentacyjnych, co zapewnia zachowanie składników roztworów w niezmienionej postaci, umożliwia ich ponowne wykorzystanie oraz minimalizuje ilość odpadów.
- Zaproponowanie sekwencyjnego połączenia procesów adsorpcji TSA z niskociśnieniowymi procesami membranowymi (mikrofiltracja i ultrafiltracja) w różnych kombinacjach, do otrzymywania bezwodnych alkoholi alifatycznych - potencjalnych biopaliw. Przykładowa kombinacja to: **mikrofiltracja** po procesie fermentacji (usuwanie zawiesin powodujących mętność), otrzymany klarowny permeat jest oczyszczany z rozpuszczalnych związków wielkocząsteczkowych (białka, polisacharydy) w procesie **ultrafiltracji**, otrzymany permeat jest zatężany na drodze **adsorpcji na węglu aktywnym**, produkt ten jest ostatecznie odwadniany w procesie **adsorpcji na zeolitowych sitach molekularnych**. Celem jest poprawienie jakości otrzymywanego produktu, ale również odzyskanie cennych składników oraz zagospodarowanie strumieni odpadowych przy jednoczesnym zmniejszeniu ich ilości.

## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Zainteresowania badawcze, w dziedzinie procesów adsorpcyjnych, rozwijałam pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Mściśław Paderewskiego. Adsorpcja z fazy gazowej była przedmiotem mojej pracy magisterskiej. Po uzyskaniu dyplomu magistra inżyniera zostałam zatrudniona na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej, gdzie rozwijałam zainteresowania badawcze w dziedzinie adsorpcji z fazy gazowej. Wyniki badań zostały opublikowane w formie artykułów [E1, E10, E11, E12, E13] i w materiałach konferencyjnych [G3, G4, G5, G8, G10, G25, G30, G33] (Załącznik 3). Następnie badania rozszerzyłam na adsorpcję z fazy ciekłej, a modelowanie dynamiki adsorpcji na nieruchomym złożu adsorbentu było przedmiotem mojej pracy doktorskiej. Do badań doświadczalnych wybrano proces adsorpcyjnego odwadniania ciekłego n-butanolu na zeolitowych sitach molekularnych 4A. W ramach rozprawy, opracowano model matematyczny w postaci równań różniczkowych cząstkowych drugiego rzędu z członem uwzględniającym dyspersję osiową wzdłuż wysokości złoża. Dyskretyzację równań modelu przeprowadzono metodą linii, a następnie rozwiązywano metodą Rungego-Kutty czwartego rzędu. Walidacja modelu matematycznego wykazała dobrą zgodność wyników obliczeń

z danymi doświadczalnymi. Wyniki przeprowadzonych badań doświadczalnych i modelowania opublikowano w pracach [A1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, G1, G6] (załącznik 3).

Pomimo faktu, że badania doświadczalne prowadzono w cyklach adsorpcyjno-desorpcyjnych, to praca doktorska nie obejmowała analizy regeneracji złoża po adsorpcji z fazy ciekłej, ponieważ to złożone zagadnienie wymagało wykonania pogłębionych badań. Po uzyskaniu stopnia doktora, zmodernizowano węzeł do regeneracji złoża adsorbentu w instalacji do badań cyklicznych procesów adsorpcyjnych (z adsorpcją z fazy ciekłej). Instalację wyposażono w podgrzewacz powietrza desorbującego nowej konstrukcji oraz prototypowy układ regulacyjno-rejestrujący wraz z systemem pomiarowym rozmieszczonym w złożu i połączonym za pomocą przetworników analogowo-cyfrowych z komputerem. Za pomocą oprogramowania DasyLab sterowano pracą podgrzewacza i prowadzono akwizycję danych w czasie przebiegu procesu. Wyniki zostały opublikowane w postaci artykułów [H9, H19] oraz w materiałach konferencyjnych [G14, G26] (Załącznik 3).

Moje badania procesów adsorpcyjnych dotyczyły głównie fazy ciekłej i są przedmiotem rozprawy habilitacyjnej. Wyniki badań adsorpcyjnego odwadniania etanolu, n-propanolu i n-butanolu w procesie TSA były prezentowane w artykułach naukowych [H2, H3, H7, H8, H10, H15, H21, H22, E2], ale również w materiałach konferencyjnych [G10, G11, G12, G13, G18, G19, G20, G27, G28, G32] (Załącznik 3).

Moje zainteresowania badawcze dotyczyły również zastosowania nowatorskiej metody elektrotermicznej regeneracji złoża węgla aktywnego. Wyniki zostały opublikowane w postaci artykułów [H5, H17, H23], w materiałach konferencyjnych [G2, G22, G25] oraz udzielony został patent [H24]. Część badań finansowana była z grantu KBN nr N N208 2151 33, gdzie byłam głównym wykonawcą (Załącznik 3).

Od 2003 roku zainteresowania naukowe skierowałam na niskociśnieniowe procesy membranowe (mikrofiltrację i ultrafiltrację) i stanowią one część mojej rozprawy habilitacyjnej. Wyniki zostały opublikowane w postaci artykułów [H4, H6, H16, H18, E8] oraz w materiałach konferencyjnych [G15, G16, G17, G21, G23].

Jednocześnie rozpoczęłam poszukiwania możliwości ich powiązania z dotychczasowymi badaniami procesów adsorpcyjnych. Praktyczne połączenie procesów adsorpcyjnych i membranowych znalazłam przy produkcji alkoholi alifatycznych metodą fermentacji, a następnie oczyszczaniu, zateżaniu i odwadnianiu do bezwodnego produktu, który może być użyty jako biopaliwo. Rezultaty badań wybranych procesów adsorpcyjnych i membranowych w otrzymywaniu alkoholi alifatycznych metodą fermentacji biomasy przedstawiono w pracach [H1, H12] i w materiałach konferencyjnych [G7, G9].

W ramach zagadnienia dotyczącego odzyskiwania par z powietrza opuszczającego adsorber, analizowano sprawność kondensatora [E9, G29]. Prowadzone badania procesów adsorpcyjnych miały cele nie tylko naukowe, ale i aplikacyjne. W związku z tym analizowano problematykę powiększania skali dla instalacji TSA, a wyniki opublikowano w pracach [E13, G33].

## Podsumowanie dorobku publikacyjnego

Mój całkowity dorobek naukowy obejmuje 37 publikacji, w tym 32 publikacje po uzyskaniu stopnia doktora. W jego skład wchodzi:

- monografia pt. „Wybrane metody adsorpcyjno-membranowe w inżynierii procesowej”
- 5 rozdziałów w monografiach
- 9 publikacji w czasopismach uwzględnionych w bazie *Journal Citation Reports* (sumaryczny współczynnik *impact factor* liczony zgodnie z rokiem publikowania, wynosi **IF=16,588**)
- 24 publikacje w recenzowanych czasopismach punktowanych według listy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz spoza listy,
- 33 prezentacje na konferencjach krajowych i międzynarodowych,
- 1 patent udzielony na terenie Polski.

Według danych bibliograficznych zawartych w bazie Web of Science (z dnia 11.05.2016 r.) **liczba cytowań** wszystkich artykułów wynosi **35 (28 bez autocytowań)**

**Indeks Hirscha** wynosi **4**

Według punktacji Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego z 23.12.2015 r., dorobek publikacyjny po uzyskaniu stopnia doktora osiągnął wartość **412** punktów (przy uwzględnieniu udziału procentowego **253,68**).

Szczegółowy wykaz wszystkich wymienionych publikacji zamieściłam w **Załączniku 3**.

## Inne osiągnięcia

Za twórcze osiągnięcia naukowe otrzymałam indywidualną Nagrodę JM Rektora macierzystej uczelni w 2004 roku.

Na zaproszenie edytorów, zrecenzowałam 8 artykułów naukowych dla czasopism o zasięgu międzynarodowym, znajdujących się w bazie Journal Citation Reports, takich jak: Chemical and Process Engineering, Chemical Engineering and Technology, Desalination and Water Treatment, Polish Journal of Chemical Technology (**Załącznik 3**).

## Działalność dydaktyczna

W trakcie mojej pracy zawodowej prowadziłam zajęcia w formie wykładów, ćwiczeń audytoryjnych, projektów oraz laboratoriów z 19 przedmiotów. Opracowałam sylabusy KRK do 17 przedmiotów. Brałam udział w kształceniu na studiach stacjonarnych oraz niestacjonarnych na kierunkach inżynieria chemiczna i procesowa, technologia chemiczna i ochrona środowiska.

Pod moim kierunkiem zostały wykonane 42 prace dyplomowe (magisterskie i inżynierskie). Przez wiele lat byłam opiekunem grup studenckich oraz studentów zagranicznych. Szczegółowe informacje zamieszczone zostały w **Załączniku 3**.



### **Działalność organizacyjna**

Byłam i jestem członkiem Senatu Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie jako przedstawiciel niesamodzielnych nauczycieli akademickich, w kadencjach 2010-2012 i 2012-2016.

Byłam członkiem trzech zespołów przygotowujących raport samooceny do akredytacji kierunków studiów: inżynieria chemiczna i procesowa, towaroznawstwo oraz akredytacji instytucjonalnej Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Szczegółowe dane zostały zamieszczone w **Załączniku 3**.

### **Inna działalność**

W ramach promocji Wydziału prowadziłam zajęcia laboratoryjne dla szkół ponadgimnazjalnych w tematyce adsorpcyjnego i membranowego rozdzielania roztworów ciekłych.

W ramach promocji Wydziału wygłosiłam wykład dla uczniów szkół ponadgimnazjalnych w ramach cyklicznego Festiwalu Nauki organizowanego w Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym w Szczecinie. Szczegółowe dane zostały zamieszczone w **Załączniku 3**.

*Elżbieta Gubinska*