



Politechnika  
Śląska



UCZELNIA  
BADAWCZA  
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI  
Ministerstwo Nauki  
i Szkolnictwa Wyższego



PTMem  
Polish Membrane Society



# XVII SZKOŁA MEMBRANOWA

Materiały dla uczestników

Gliwice 25-27.09.2024



## Komitet organizacyjny

prof. dr hab. inż. Marian Turek - Kierownik wydarzenia

prof. dr hab. inż. Piotr Dydo

dr hab. inż. Gabriela Dudek, prof. PŚ

dr hab. inż. Agata Jakóbiak-Kolon, prof. PŚ

dr hab. inż. Gabriela Kamińska, prof. PŚ

dr hab. inż. Monika Krasowska, prof. PŚ

dr hab. inż. Mariola Rajca, prof. PŚ

dr inż. Dorota Babilas-Krzyżowska

dr inż. Joanna Bok-Badura

dr inż. Hanna Jaroszek

dr inż. Anna Marszałek

dr inż. Andrzej Milewski

dr inż. Krzysztof Mitko

dr inż. Anna Strzelewicz

dr inż. Jolanta Trojanowska

mgr inż. Paweł Skóra

## Patronat



## Patronat Honorowy



## Sponsorzy





Politechnika  
Śląska



UCZELNIA  
BADAWCZA  
INICJATYWA DOSKONALOŚCI



Patron medialny





**Katowice Airport** obsługuje województwo śląskie, czyli najbardziej zurbanizowany, jeden z najsilniejszych gospodarczo i demograficznie regionów w Polsce. **Śląskie** to najgęstsza w kraju sieć dróg ekspresowych i autostrad oraz bliskość granicy z Czechami i Słowacją, co powoduje, że w obszarze oddziaływania lotniska mieszka 14,2 mln potencjalnych pasażerów.

Katowice Airport oferuje bogatą siatkę ponad 100 połączeń regularnych i czarterowych. Z takimi nowościami jak Bahrajn czy Indie. Jest krajowym liderem w segmencie przewozów czarterowych i należy do grona największych polskich lotnisk cargo. Dysponuje najlepiej rozwiniętą wśród portów regionalnych infrastrukturą do obsługi technicznej samolotów.

W roku 2023 rok lotnisko obsłuży ponad 5,5 mln podróżnych, co jest najlepszym wynikiem w historii Katowice Airport.



**Hidrofilt Sp. z o.o.** od 1990 roku specjalizuje się w dziedzinie uzdatniania wody dla celów pitnych i przemysłowych oraz oczyszczaniu ścieków. Hidrofilt Sp. z o.o., jako główny wykonawca i dostawca, dokłada wszelkich starań, aby wszystkie usługi były realizowane na najwyższym poziomie i z pełnym profesjonalizmem.

Dzięki wieloletniemu doświadczeniu i zastosowaniu innowacyjnych rozwiązań Hidrofilt Sp. z o.o. oferuje najnowocześniejsze systemy uzdatniania dla każdego rodzaju wody oraz jest projektantem, producentem i operatorem systemów uzdatniania wody dla różnych gałęzi przemysłu, gmin i rolnictwa.



**Intermasz – Filtracja membranowa** od 1969 r. zajmuje się **technikami membranowymi**. Firma zaprasza do współpracy wszystkich, którzy zainteresowani są problematyką klaryfikacji, separacji, zagęszczania i emulsyfikacji przy wykorzystaniu membran.

Intermasz – Filtracja membranowa jest wyłącznym przedstawicielem producenta membran ceramicznych – firmy Tami Industries w Polsce. Urządzenia Intermasz występują w całej Europie Środkowo-Wschodniej i pracują w oparciu zarówno o membrany ceramiczne jak i polimerowe.



## Program szkoły

### 25.09 (środa)

**10:00 – 12:45** Rejestracja uczestników – hol Hotelu Royal

**13:00 – 14:00** Obiad – Hotel Royal

**14:15 – 15:00** Otwarcie Szkoły Membranowej. Wykład inauguracyjny (Prof. dr hab. inż. Marian Turek, Politechnika Śląska, *Procesy ciśnieniowe i elektromembranowe w układach zintegrowanych i hybrydowych*) - Hotel Royal

**15:30 – 18:30** Warsztaty – Politechnika Śląska (grupy z przewodnikiem)

**19:30** Kolacja koleżeńska - Hotel Royal

### 26.09 (czwartek)

**8:00 – 9:00** Śniadanie - Hotel Royal (dla osób nocujących w hotelu)

**9:15 – 12:45** Wykłady - Hotel Royal – sesja 1 – prowadzący prof. dr hab. inż. Piotr Dydo

**9:15 – 9:50** Dr hab. inż. Przemysław Borys, prof. PŚ, Politechnika Śląska, *Teoretyczne aspekty transportu masy przez membrany*

**9:50 – 10:25** Prof. dr hab. inż. Marek Bryjak, Politechnika Wrocławska, *Czy membrany mogą być wykorzystane w innych niż separacja procesach?*

**10:25 – 10:45** przerwa kawowa

**10:45 – 11:05** Marcin Skrzypek (INTERMASZ – Filtracja Membranowa)

**11:05 – 11:40** Prof. dr hab. inż. Sylwia Mozia, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, *Fotokatalityczne reaktory membranowe w oczyszczaniu wody i ścieków*

**11:40 – 12:15** Dr hab. inż. Wirginia Tomczak, prof. PBŚ, Politechnika Bydgoska, *Możliwości stosowania membran polimerowych w procesach uszlachetniania biogazu*

**12:15 – 12:45** Dr hab. inż. Maciej Szwał, prof. PW, Politechnika Warszawska, *Sztuczna inteligencja i uczenie maszynowe w procesach membranowych*

**13:00 – 14:00** Obiad - Hotel Royal



**14:15 – 16:00** Wykłady - Hotel Royal - sesja 2 – prowadzący prof. dr hab. inż. Marian Turek

**14:15 – 14:50** Prof. dr hab. Stanisław Koter, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, *Modelowanie procesów membranowych w środowisku COMSOL Multiphysics®*

**14:50 – 15:25** Dr inż. Krzysztof Mitko, Politechnika Śląska, *Zastosowanie technik membranowych w odzysku surowców ze ścieków przemysłowych*

**15:25 – 16:00** Mgr inż. Grzegorz Studziński, Politechnika Śląska, *Komercjalizacja praw własności intelektualnej, czyli jak skutecznie wdrożyć wyniki projektu badawczego do praktyki gospodarczej*

**16:15 – 18:30** Sesja posterowa – hol Hotelu Royal

**19:00 – 22:00** Biesiada – IBU Craft Beers (ul. Jana Matejki 3, Gliwice)

## **27.09 (piątek)**

**8:00 – 9:00** Śniadanie - Hotel Royal (dla osób nocujących w hotelu)

**9:15 – 9:45** Wręczenie nagród i zakończenie Szkoły - Hotel Royal

**10:30 – 14:00** Wycieczka naukowa do TAURON Wytwarzanie S.A. Elektrownia Łagisza, zwiedzanie instalacji wody demi (zbiórka na parkingu PŚ, ul. Łużycka)





## Ważne miejsca:

Hotel Royal (ul. Jana Matejki 10):

<https://maps.app.goo.gl/z7qoYFd9CsrudSTh8>

Warsztaty:

Nowa Chemia II (ul. B. Krzywoustego 6, wejście od ul. B. Krzywoustego 4):

<https://maps.app.goo.gl/RdoviCX6beBQFtBY6>

Szara Chemia (ul. Strzody 7):

<https://maps.app.goo.gl/P66iCLUjJ4DqmbNq6>

Centrum Nowych Technologii (ul. Konarskiego 22b):

<https://maps.app.goo.gl/2pbDuPXrtTCNevXS8>

Biesiada – IBU Craft Beers (ul. Jana Matejki 2):

<https://maps.app.goo.gl/oEgkrmtFSYKveTnv8>



## Sesja posterowa

Stanowisko	Autor prezentujący	Tytuł
1.	Julia Botor	Badania wpływu wybranych cieczy jonowych na morfologię i zwilżalność heterogenicznych membran jonowymiennych
2.	Zuzanna Flanc	Nowe technologie produkcji membran PVDF: zielone rozpuszczalniki i zrównoważony rozwój
3.	Martyna Gloc	Opracowanie technologii umożliwiającej ponowne wykorzystanie wody pochodzącej ze ścieków przemysłowych
4.	Wiktoria Grzesik	Wpływ grubości powlekania oraz pH nadawy na właściwości separacyjne membran celulozowych w procesie nanofiltracyjnego usuwania jonów żelaza (III) z roztworów wodnych
5.	Paweł Grzybek	Zastosowanie magnetycznych membran zawierających hematyt ( $Fe_2O_3$ ) do selektywnego rozdziału mieszaniny $CO_2/N_2$
6.	Yevheniia Husak	Alcohol-assisted technique of thin MXene deposition for PCL membrane
7.	Justyna Jakubska	Elektroprądzenie jako nowatorska metoda poprawy właściwości barierowych i mechanicznych ekologicznych opakowań żywności
8.	Łukasz Jakubski	Synergiczny efekt połączenia proszku neodymowego i magnezu molekularnego dla membranowego odwadniania etanolu
9.	Aleksandra Klimonda	Zatężanie ścieków przemysłowych w procesie osmozy prostej
10.	Anna Kowalik-Klimczak	Procesy membranowe w oczyszczaniu kwaśnych ścieków galwanicznych w systemie obiegu zamkniętego
11.	Dominika Kozakiewicz	Separacja jonów cynku i żelaza(III) z wykorzystaniem membran celulozowych metodą nanofiltracji
12.	Łukasz Migdał	Otrzymywanie i właściwości nowych sorbentów na bazie alginianów
13.	Wojciech Mikołajczak	Kwaśne wody drenażowe z kopalni odkrywkowych metali nieżelaznych jako potencjalne źródło surowców krytycznych
14.	Mentari Mukti	Potential of lithium and arsenic extraction from geothermal water using composites of zeolite and hydrogel
15.	Milena Nocoń	Zastosowanie procesu nanofiltracji do separacji metali ciężkich
16.	Justyna Nowicka	Preparatyka membran jonowymiennych do zastosowania w dejonizacji pojemnościowej z elektrodą płynącą
17.	Daniel Polak	Badanie właściwości adsorpcyjnych modyfikowanych membran w układzie przepływowym
18.	Kornelia Pyżewicz	Wstępne oczyszczanie ścieków szarych z zastosowaniem koagulacji, poprzedzające procesy membranowe
19.	Barbara Tomaszewska	Ocena efektywności odzysku litu z wód i koncentratów geotermalnych z wykorzystaniem procesów membranowych
20.	Piotr Woźniak	Biofouling podczas ultrafiltracji ścieków z myjni samochodowej
21.	Izabela Zielińska	Usuwanie substancji farmaceutycznych z wody
22.	Wiktoria Zych	Zastosowanie biopolimerowych membran na bazie chitozanu i alginianu jako klucz w redukcji emisji $CO_2$ do atmosfery
23.	Maciej Życki	Termiczna konwersja zużytych membran polimerowych w materiały węglowe dedykowane do wytwarzania smarów plastycznych
24.	Kamil Stępień	Technologie membranowe w procesach przemysłowych



## STRESZCZENIA



Teoretyczne aspekty transportu masy przez membrany .....	13
Czy membrany mogą być wykorzystane do innych niż separacja procesach? .....	15
Modelowanie procesów membranowych w środowisku COMSOL Multiphysics® .....	16
Zastosowanie technik membranowych w odzysku surowców ze ścieków przemysłowych.....	17
Fotokatalityczne reaktory membranowe w oczyszczaniu wody i ścieków .....	18
Komercjalizacja praw własności intelektualnej, czyli jak skutecznie wdrożyć wyniki projektu badawczego do praktyki gospodarczej .....	20
Sztuczna inteligencja i uczenie maszynowe w procesach membranowych .....	21
Możliwości stosowania membran polimerowych w procesach uszlachetniania biogazu .....	22
Procesy ciśnieniowe i elektromembranowe w układach zintegrowanych i hybrydowych .....	23
Badania wpływu wybranych cieczy jonowych na morfologię i zwilżalność heterogenicznych membran jonowymiennych.....	24
Nowe technologie produkcji membran PVDF: zielone rozpuszczalniki i zrównoważony rozwój .....	25
Opracowanie technologii umożliwiającej ponowne wykorzystanie wody pochodzącej ze ścieków przemysłowych .....	27
Wpływ grubości powlekania oraz pH nadawy na właściwości separacyjne membran celulozowych w procesie nanofiltracyjnego usuwania jonów żelaza(III) z roztworów wodnych .....	28
Zastosowanie magnetycznych membran zawierających hematyt ( $Fe_2O_3$ ) do selektywnego rozdzielenia mieszaniny $CO_2/N_2$ .....	30
Alcohol-assisted technique of thin MXene deposition for PCL membrane .....	32
Elektroprądzenie jako nowatorska metoda poprawy właściwości barierowych i mechanicznych ekologicznych opakowań żywności .....	34
Synergiczny efekt połączenia proszku neodymowego i magnezu molekularnego dla membranowego odwadniania etanolu .....	36
Zatężenie ścieków przemysłowych w procesie osmozy prostej.....	38
Procesy membranowe w oczyszczaniu kwaśnych ścieków galwanicznych w systemie obiegu zamkniętego.....	39
Separacja jonów cynku i żelaza(III) z wykorzystaniem membran celulozowych metodą nanofiltracji .....	41
Otrzymywanie i właściwości nowych sorbentów na bazie alginianów.....	43
Kwaśne wody drenażowe z kopalni odkrywkowych metali nieżelaznych jako potencjalne źródło surowców krytycznych.....	44
Potential of lithium and arsenic extraction from geothermal water using composites of zeolite and hydrogel .....	45
Zastosowanie procesu nanofiltracji do separacji metali ciężkich.....	47
Preparatyka membran jonowymiennych do zastosowania w dejonizacji pojemnościowej z elektrodą płynącą.....	48
Badanie właściwości adsorpcyjnych modyfikowanych membran w układzie przepływowym .....	49
Wstępne oczyszczanie ścieków szarych z zastosowaniem koagulacji, poprzedzające procesy membranowe.....	50
Ocena efektywności odzysku litu z wód i koncentratów geotermalnych z wykorzystaniem procesów membranowych.....	52
Biofouling podczas ultrafiltracji ścieków z myjni samochodowej .....	54
Usuwanie substancji farmaceutycznych z wody .....	55
Zastosowanie biopolimerowych membran na bazie chitozanu i alginianu jako klucz w redukcji emisji $CO_2$ do atmosfery .....	56
Termiczna konwersja zużytych membran polimerowych w materiały węglowe dedykowane do wytwarzania smarów plastycznych. ....	58



## Teoretyczne aspekty transportu masy przez membrany

Przemysław Borys<sup>1</sup>\*

<sup>1</sup> Wydział Chemiczny Politechniki Śląskiej w Gliwicach

\* autor do korespondencji, e-mail: Przemyslaw.Borys@polsl.pl

**Streszczenie:** Wykład ma na celu uporządkowanie wiedzy dotyczącej matematycznego opisu procesów transportu przez membranę. Na wstępie wyprowadzone zostanie I-sze prawo Ficka, podkreślona zostanie różnica między strumieniem stacjonarnym i przejściowym (mierzonym tak na wejściu, jak i na wyjściu membrany), omówiony zostanie strumień w przypadku współczynnika dyfuzji zależnego od koncentracji.

W dalszym etapie wyprowadzone zostanie II-gie prawo Ficka i omówione będzie jego uogólnienie na przypadek, gdy na dyfundujące cząstki działa siła. Podkreślona zostanie też komplikacja opisu ruchu cząstek naładowanych, gdzie zmiana profilu ich koncentracji skutkuje zmianami potencjału elektrycznego. Tutaj także wspomniany zostanie wpływ na transport (realistycznych) sił wynikających z klasycznych gradientów pola magnetycznego oraz z efektów związanych z polem wymiany.

W uzupełnieniu dyskusji równania dyfuzji, zostaną omówione typowe warunki brzegowe i początkowe zagadnień dyfuzyjnych, a także odniesienie tego do realnego przykładu - wydawałoby się "przenikania".

Określiwszy czym matematycznie jest przenikanie, postaram się wyprowadzić wzory na opóźnienia czasowe (time-lag), aby słuchacze byli w stanie prawidłowo stosować tę technikę we własnych pomiarach.

Kolejnym tematem, który zostanie poruszony - będzie kwestia fizycznego sensu współczynnika podziału, często pomijanego w różnych publikacjach.

Po przedstawieniu tych podstaw teoretycznych krótko omówię najbardziej elastyczny sposób modelowania procesów transportu - z wykorzystaniem błędzenia przypadkowego.



Następnym punktem wykładu będzie krótki wstęp do opisu transportu w ciałach porowatych. W tym celu najpierw skomentuję kwestię rozkładu ciśnienia w membranie, a następnie - poprzez analogię do prawa Poisseuille - wprowadzę prawo Darcy'ego i dla przemian adiabatycznych wyprowadzę równanie transportu w ciele porowatym. Ponieważ równanie to przedstawia znaczne trudności w zakresie rozwiązywania, uzupełnię je również o proste modele symulacyjne transportu w ciałach porowatych.

**Słowa kluczowe:** dyfuzja, time-lag, błędzenie przypadkowe, porous medium equation



## Czy membrany mogą być wykorzystane do innych niż separacja procesach?

Marek Bryjak<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Wrocławska

\* autor do korespondencji, e-mail: marek.bryjak@pwr.edu.pl

**Streszczenie:** Ogólnie przyjęło się, że membrany wykorzystywane są głównie w procesach separacyjnych. Celem tego wykładu jest pokazanie innych zastosowań membran. W przypadku membran wykorzystywanych do odzysku energii z gradientu zasolenia przedstawione zostaną trzy metody: PRO, RED oraz CapMix. Mimo, że nie są one jeszcze stosowane w skali przemysłowej to prace nad nimi nadal trwają.

Kolejna metoda to emulgowanie membranowe pozwalające otrzymać emulsje, w których krople fazy zdyspergowanej posiadają podobne wymiary. Gdy zdyspergowane monomer podda się polimeryzacji to otrzymuje się jednorodne ziarna polimerowe. Z kolei gdy na powierzchni porów membrany szczepi się polimer czuły na bodźce zewnętrzne, to jest to metoda otrzymywania membran o charakterze nano-zaworów. W zależności od wielkości bodźca zewnętrznego są one przepuszczalne lub potrafią blokować strumień permeatu. Dość zaskakującym zastosowaniem membran jest ich wykorzystanie do sprężania wodoru. Stosując membrany typu PEM (proton exchange membrane) i przeprowadzając proces red-ox wodoru cząsteczkowego można sprężać wodór do kilkuset, a producenci mówią że do tysiąca, atmosfer. Przy czym wielkość sprężarki porównać można do średniej wielkości lodówki. W końcu membrany mogą być wykorzystane do krystalizacji. Energia nukleacji na powierzchni powoduje, że zaczynają na niej rosnać kryształy czystej substancji, co może być interesujące w niektórych gałęziach przemysłu.

Jak widać z tego przeglądu membrany mogą mieć inne zastosowanie niż separatory.

**Słowa kluczowe:** energia z gradientu zasolenia, cząstki mono dyspersyjne, nano zawory membranowe, sprężarki wodoru, krystalizacja membranowa



## Modelowanie procesów membranowych w środowisku COMSOL

### Multiphysics®

Stanisław Koter<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Chemii, ul. Gagarina 7, 87-100 Toruń

\* autor do korespondencji, e-mail: [skoter@umk.pl](mailto:skoter@umk.pl)

**Streszczenie:** COMSOL Multiphysics® to oprogramowanie do modelowania i symulacji przy użyciu metod numerycznych. Może ono symulować m.in. zjawiska fizykochemiczne, jak np. dyfuzję, konwekcję, reakcję chemiczną, procesy elektrodowe, przepływ ciepła, itd.

W niniejszej prezentacji, po krótkiej charakterystyce oprogramowania, zostanie pokazane jak wykorzystać je do symulacji procesów membranowych. W tej części prezentacji najpierw zostaną przedstawione możliwości opisu samej membrany (membrana jako powierzchnia nieciągłości, jako faza o skończonych rozmiarach, jako ciało porowate, czy z grupami jonowymi) oraz równania transportowe, następnie zostanie omówiona implementacja wybranych procesów membranowych (dializa dyfuzyjna, elektrodializa, separacja gazów). Na koniec przedstawione zostaną niektóre trudności związane z modelowaniem procesów membranowych.

**Słowa kluczowe:** COMSOL Multiphysics®, symulacja, procesy membranowe





## Zastosowanie technik membranowych w odzysku surowców ze ścieków przemysłowych

Krzysztof Mitko<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Wydział Chemiczny, Katedra Chemii Nieorganicznej, Analitycznej i Elektrochemii, ul. B. Krzywoustego 6, 44-100 Gliwice

\* autor do korespondencji, e-mail: [krzysztof.mitko@polsl.pl](mailto:krzysztof.mitko@polsl.pl)

**Streszczenie:** Zmniejszające się zasoby czystej wody powodują, że rośnie nacisk na to, by zakłady przemysłowe ograniczały zarówno pobór wody, jak i zrzut ścieków do środowiska. Zintegrowane systemy oczyszczania ścieków, oparte o techniki membranowe, pozwalają zakładom przemysłowym nie tylko na zmniejszenie zużycia wody, ale również na zmianę problematycznego odpadu w nowe źródło przychodów poprzez odzysk surowców. Zastosowanie technik membranowych zostanie omówione na przykładzie czterech branż wytwarzających duże ilości zasolonych ścieków: produkcji krzemu, przemysłu włókienniczego, produkcji wody demineralizowanej oraz wydobywania węgla kamiennego. Przedstawione zostaną rozwiązania techniczne oraz analiza ekonomiczna zastosowania technik membranowych do obróbki ścieków przemysłowych.

**Słowa kluczowe:** systemy zintegrowane, ścieki przemysłowe, odzysk surowców



## Fotokatalityczne reaktory membranowe w oczyszczaniu wody i ścieków

Sylwia Mozia<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Technologii Chemicznej Nieorganicznej i Inżynierii Środowiska, ul. Pułaskiego 10, 70-322 Szczecin

\* autor do korespondencji, e-mail: sylwia.mozia@zut.edu.pl

**Streszczenie:** Fotokatalityczne reaktory membranowe (FRM) są układami hybrydowymi, w których proces fotokatalityczny i separacja membranowa zachodzą jednocześnie. W ostatnich latach idea FRM skupia uwagę coraz większego grona badaczy, co znajduje potwierdzenie w stale rosnącej liczbie publikacji dotyczących tej tematyki. Głównym zastosowaniem FRM opisanych w literaturze jest oczyszczanie wody i ścieków. Większość badań odnosi się do idei membrany fotokatalitycznej, w przypadku której fotokatalizator jest osadzony na powierzchni membrany lub rozproszony w jej matrycy, zatem aby mógł zajść proces fotokatalityczny konieczne jest jej naświetlenie. Innym podejściem jest FRM z fotokatalizatorem w zawiesinie. Koncepcja ta oferuje większą elastyczność, ponieważ źródło promieniowania może być umieszczone nad lub w module membranowym, bądź moduł membranowy i fotoreaktor mogą być osobnymi elementami układu. Oba systemy mają swoje zalety i wady.

Zaletą membran fotokatalitycznych jest brak konieczności separacji fotokatalizatora z zawiesiny. Ponadto obecność fotokatalizatora w strukturze membrany zwykle zwiększa jej odporność na fouling. Natomiast w przypadku zawiesinowych FRM istnieje możliwość dostosowania ilości fotokatalizatora do składu nadawy, co może poprawić efektywność oczyszczania. Ponadto fotokatalizator można łatwo wymienić, gdy utraci swoją aktywność.



Główną słabością membran fotokatalitycznych, szczególnie polimerowych, jest ich ograniczona trwałość i stabilność. Innym problemem jest zanieczyszczenie membrany wskutek foulingu lub skalingu, co skutkuje ograniczeniem dostępu promieniowania do fotokatalizatora, wpływając niekorzystnie na efektywność degradacji zanieczyszczeń. Kluczową kwestią dla obu typów FRM jest opracowanie wysoce aktywnego i stabilnego fotokatalizatora. Biorąc pod uwagę, że procesy membranowe, zwłaszcza ciśnieniowe, są od lat stosowane w pełnej skali, to właśnie fotokataliza wydaje się być główną przeszkodą dla rozwoju i wdrożenia FRM w oczyszczaniu wody i ścieków.

**Słowa kluczowe:** fotokatalityczny reaktor membranowy, membrana fotokatalityczna, fotokataliza



## Komercjalizacja praw własności intelektualnej, czyli jak skutecznie wdrożyć wyniki projektu badawczego do praktyki gospodarczej

Grzegorz Studziński\*

<sup>1</sup> Politechnika Śląska – Centrum Inkubacji i Transferu Technologii

\* autor do korespondencji, e-mail: grzegorz.studzinski@polsl.pl

**Streszczenie:** Wystąpienie obejmie prezentację założeń wniosku o dofinansowanie niezbędnych do uwzględnienia już na etapie aplikowania o pozyskanie projektu badawczo – rozwojowego. W dalszej części przedstawione zostaną ścieżki komercjalizacji najczęściej wykorzystywane w praktyce, rozwinięciem tej części będzie omówienie problematyki ochrony powstałych praw własności intelektualnej na gruncie praw autorskich, własności przemysłowej i know-how. Finalnie przedstawione zostaną zasady wspólności praw do rezultatów wraz ze wskazaniem możliwych do zastosowania ścieżek komercjalizacji w oparciu o praktykę i doświadczenie własne prelegenta. W trakcie prezentacji zostanie wyjaśnione również pojęcie wyceny rynkowej w odniesieniu do działań komercjalizujących efekty prowadzonej działalności badawczo – rozwojowej. Całość prezentacji zostanie skoncentrowana na aspekty praktycznego i efektywnego wykorzystywania mechanizmów występujących w stanie prawnym, umożliwiając efektywne działania na polu wdrożeń przemysłowych we współpracy z partnerami z otoczenia gospodarczego.

**Słowa kluczowe:** wdrożenie, komercjalizacja, prawa własności intelektualnej



## Sztuczna inteligencja i uczenie maszynowe w procesach membranowych

Maciej Szwast<sup>1\*</sup>, Daniel Polak<sup>1</sup>, Jan Krzysztoforski<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Warszawska

\* autor do korespondencji, e-mail: maciej.szwast@pw.edu.pl

**Streszczenie:** Metody sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego znajdują coraz szersze zastosowania w inżynierii chemicznej, gdzie stanowią użyteczne narzędzia m.in. do modelowania właściwości fizykochemicznych czystych substancji oraz ich mieszanin, do przewidywania wydajności procesu w zależności od parametrów operacyjnych bądź też do optymalizacji procesowej oraz do sterowania i regulacji procesów przemysłowych. W zakresie technik i procesów membranowych metody te zostały pomyślnie zastosowane m.in. do wyznaczenia optymalnych warunków wytwarzania membran, do przewidywania sprawności separacji, jak i do monitorowania membranowych procesów separacyjnych.

Zaprezentowano wybrane aplikacje algorytmów sztucznej inteligencji do analizy oraz sterowania procesów membranowych. Przedstawiono możliwości wykorzystania takich algorytmów oraz wskazano kierunki rozwoju sztucznej inteligencji w zastosowaniu do procesów membranowych.

**Słowa kluczowe:** procesy membranowe, sztuczna inteligencja, uczenie maszynowe



## Możliwości stosowania membran polimerowych w procesach uszlachetniania biogazu

Wirginia Tomczak<sup>1\*</sup>, Monika Daniluk<sup>1</sup>, Sławomir Żak<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Bydgoska im. J.J. Śniadeckich, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej

\* autor do korespondencji, e-mail: wirginia.tomczak@pbs.edu.pl

**Streszczenie:** Biogaz jest odnawialnym nośnikiem energii powstającym w procesie fermentacji beztlenowej. W 2022 r. produkcja biogazu w Europie wyniosła 21 mld m<sup>3</sup> [1]. Według danych Europejskiego Stowarzyszenia Biogazu (European Biogas Association) jego roczna produkcja podwoi się w przeciągu kilku lat [2]. W skład biogazu wchodzi głównie metan (CH<sub>4</sub>) i dwutlenek węgla (CO<sub>2</sub>) oraz niewielkie ilości azotu (N<sub>2</sub>), tlenu (O<sub>2</sub>), wodoru (H<sub>2</sub>) i siarkowodoru (H<sub>2</sub>S) [3]. W związku z powyższym uwaga naukowców na całym świecie skupiona jest na metodach umożliwiających zwiększenie jakości biogazu poprzez zwiększenie stężenia CH<sub>4</sub>.

Głównym celem prezentowanej pracy było kompleksowe omówienie najnowszych osiągnięć w zakresie możliwości stosowania membran polimerowych w procesach uszlachetniania biogazu.

W świetle postawionego celu badawczego kluczowe było dowiedzenie, że separacja membranowa może z powodzeniem zastąpić konwencjonalne technologie. Na podstawie analizy ustaleń przedstawionych w literaturze wywnioskowano, że wzbogacanie biogazu przy użyciu membran polimerowych istotnie zwiększa konkurencyjność tej technologii na rynku. Przedstawione wnioski mają praktyczne implikacje i mogą przyczynić się do rozwoju procesów membranowych.

[1] EBA Statistical Report 2022.

[2] European Biogas Association. Available online: <https://www.europeanbiogas.eu/> (accessed on 1 January 2024).

[3] Kujawski W. et al.. 2020. Materials, 13, 2847. DOI: 10.3390/ma13122847

**Słowa kluczowe:** biogaz, membrany polimerowe, metan

## Procesy ciśnieniowe i elektromembranowe w układach zintegrowanych i hybrydowych

Marian Turek<sup>1\*</sup>, Hanna Jaroszek<sup>2</sup>, Krzysztof Mitko<sup>1</sup>, Paweł Skóra<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Wydział Chemiczny, Katedra Chemii Nieorganicznej, Analitycznej i Elektrochemii, ul. B. Krzywoustego 6, 44-100 Gliwice

<sup>2</sup> Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych, ul. Sowińskiego 5, 44-100 Gliwice

\* autor do korespondencji, e-mail: marian.turek@polsl.pl

**Streszczenie:** Omówione zostaną pokrótce ciśnieniowe procesy membranowe oraz procesy elektromembranowe: mechanizm transportu, zasada działania, możliwości separacyjne, ograniczenia dotyczące selektywności i zakresu stężenia rozdzielanych składników. Przedstawione zostaną rozwiązania pozwalające na przewycięzenie ograniczeń poprzez zintegrowanie różnych procesów membranowych jak i „tradycyjnych” metod separacji, tzn. zastosowanie sekwencji poszczególnych procesów lub też połączenie poszczególnych procesów w sposób bardziej złożony tworząc układy hybrydowe. Na przykładach przedstawione zostaną korzyści zastosowania układów zintegrowanych i hybrydowych oraz możliwości zwiększenia konkurencyjności procesów membranowych wobec szczególnie energochłonnych procesów separacji a mianowicie procesów wyparnych.

**Słowa kluczowe:** ciśnieniowe procesy membranowe, procesy elektromembranowe, układy zintegrowane, układy hybrydowe

## Badania wpływu wybranych cieczy jonowych na morfologię i zwilżalność heterogenicznych membran jonowymiennych

Julia Botor<sup>1,2\*</sup>, Andrzej Milewski<sup>1</sup>, Dorota Babilas<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Wydział Chemiczny, Katedra Chemii Nieorganicznej, Analitycznej i Elektrochemii, B. Krzywoustego, 44-100 Gliwice, Polska

<sup>2</sup> Studenckie Koło Naukowe Chemików, Politechnika Śląska, Wydział Chemiczny, M. Strzody 9, 44-100 Gliwice, Polska

\* autor do korespondencji: [jb309900@student.polsl.pl](mailto:jb309900@student.polsl.pl), [dorota.babilas@polsl.pl](mailto:dorota.babilas@polsl.pl)

**Streszczenie:** Ciecze jonowe (*IL*) definiuje się jako związki chemiczne charakteryzujące się temperaturą topnienia poniżej 100°C. Substancje te znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach, w tym w przemyśle farmaceutycznym, katalizie, syntezie nanocząstek, przemyśle galwanotechnicznym i elektrochemii. Ze względu na ich szkodliwy wpływ na środowisko oraz stosunkowo wysoką cenę koniecznym jest opracowanie efektywnych metod ich odzysku. Znanymi metodami stosowanymi do odzysku *IL* są destylacja, ciśnieniowe procesy membranowe, ekstrakcja i adsorpcja. Jedną z obiecujących metod odzysku *IL* z roztworów wodnych jest również elektrodializa. Jednakże, *IL*, ze względu na ich dużą lepkość mogą powodować fouling lub degradację membran jonowymiennych. W związku z tym w pracy zbadano wpływ wybranych imidazoliowych *IL* na morfologię i zwilżalność heterogenicznych membran jonowymiennych stosowanych w procesie elektrodializy. Badania wykonano dla membran AM(H) - CM(H) (Ralex, Czechy) oraz AM-A – AM-C (Ionsep, Chiny).

**Słowa kluczowe:** ciecze jonowe, membrany jonowymienne, elektrodializa

**Podziękowania:** Badania zostały sfinansowane ze środków Narodowego Centrum Nauki, Polska, w ramach projektu nr 2021/43/D/ST8/02776.





## Nowe technologie produkcji membran PVDF: zielone rozpuszczalniki i zrównoważony rozwój

Zuzanna Flanc<sup>1</sup>, Joanna Kujawa <sup>1\*</sup>, Wojciech Kujawski<sup>1</sup>, Bartosz Tylkowski<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Membranes and Membrane Techniques Research Group, Faculty of Chemistry, Nicolaus Copernicus University in Toruń, ul. Jurija Gagarina 7, Toruń, 87-100, Poland

<sup>2</sup> Eurecat, centre Tecnològic de Catalunya, Unitat de Tecnologia Química, Marcel·lí Domingo 2, Tarragona, 43007, Spain

<sup>3</sup> Department of Clinical Neuropsychology, Faculty of Health Science, Ludwik Rydygier Collegium Medicum in Bydgoszcz, Nicolaus Copernicus University in Torun, ul. Skłodowskiej Curie 9, Bydgoszcz, 85-094, Poland

\* autor do korespondencji, e-mail: joanna.kujawa@umk.pl

**Streszczenie:** Celem badań było opracowanie innowacyjnych membran z poli(fluorku winylidenu) (PVDF) przy zastosowaniu zrównoważonych technologii produkcji, w tym zielonych rozpuszczalników takich jak Cyrene. W ramach projektu, technologia membranowa została zaprojektowana tak, aby wspierać zrównoważone procesy, w szczególności w kontekście formulacji bio-pestycydów, a także przyczynić się do realizacji celów środowiskowych strategii rolnictwa polskiego w ramach Wspólnej Polityki Rolnej (WPR) 2023-2030.

Proces eksperymentalny obejmował wykorzystanie PVDF w połączeniu z zasadami zrównoważonej chemii. Membrany były wytwarzane z użyciem zielonych rozpuszczalników, co pozwalało na redukcję tradycyjnego zużycia szkodliwych substancji chemicznych. Następnie membrany modyfikowano w sposób chemiczny oraz fizyczny przy pomocy olejków eterycznych (olejek rozmarynowy) oraz komplementarnych do nich kwasów (kwas rozmarynowy). Morfologiczne właściwości membran badano przy użyciu skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM). Parametry chropowatości (Ra) mierzono metodą AFM w trybie tapping, skanując obszar 5×5 μm. Badania zwilżalności, w tym określenie kąta kontaktowego (CA), swobodnej energii powierzchniowej (SFE) oraz krytycznego napięcia



powierzchniowego ( $\gamma_{cr}$ ), przeprowadzono metodą goniometryczną. Stosowano różne ciecze testowe, w tym wodę, diiodometan, glicerynę, N,N-dimetyloformamid, ksyleny, toluen, n-dodekan, cykloheksan, heksan i ich mieszaniny, o stałej objętości 3  $\mu$ L i czasie równowagi wynoszącym 5 sekund.

Wyniki badań wykazują, że hydrofobowe membrany PVDF produkowane z użyciem zielonych rozpuszczalników, takich jak Cyrene, charakteryzują się doskonałą kompatybilnością i wydajnością w różnych procesach aplikacyjnych, w tym w emulsyfikacji. Produkcja membran przy użyciu zrównoważonych metod pozwala na znaczącą redukcję zużycia rozpuszczalników oraz generowanych odpadów w porównaniu do konwencjonalnych procesów. Potencjał szerokiego zastosowania tych innowacyjnych membran w przemyśle rolniczym i innych sektorach otwiera nowe możliwości dla osiągnięcia celów zrównoważonego rozwoju określonych w strategii WPR 2023-2030.

**Słowa kluczowe:** membrany PVDF, zrównoważona chemia, zielone rozpuszczalniki, cyrene, olejki eteryczne, bio-pestycydy

## Opracowanie technologii umożliwiającej ponowne wykorzystanie wody pochodzącej ze ścieków przemysłowych

Martyna Gloc<sup>1,2\*</sup>, Katarzyna Paździor<sup>2</sup>, Joanna Olczyk<sup>1</sup>, Renata Żyła<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centrum Gospodarki o Obiegu Zamkniętym, Sieć Badawcza Łukasiewicz - Łódzki Instytut Technologiczny

<sup>2</sup> Katedra Inżynierii Bioprosesowej, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka.

\* autor do korespondencji, e-mail: [martyna.gloc@dokt.p.lodz.pl](mailto:martyna.gloc@dokt.p.lodz.pl)

**Streszczenie:** Wraz z rosnącą liczbą ludności na świecie, ekspansją miast oraz rozwojem przemysłu wzrasta zapotrzebowanie na świeżą wodę. Czysta woda jest niezbędna do prawidłowego funkcjonowania całego ekosystemu, wykorzystywana jest niemal w każdym obszarze życia człowieka i stanowi podstawę wielu procesów przemysłowych. Wzrost jej zużycia nie jest jednak jedyną przyczyną deficytu wody na Ziemi. Często problematykę stanowi jej zła jakość, wynikająca z nieodpowiedniego poziomu oczyszczania ścieków generowanych m.in. przez przemysł. Dlatego jakościowa i ilościowa ochrona zasobów wodnych stała się fundamentalnym filarem globalnego zarządzania wodą i ściekami. A opracowywanie nowych technologii oczyszczania wody i ścieków umożliwiających zamykanie wody procesowej w obiegu stało się jednym z kluczowych działań w realizacji tego zadania.

W pracy przedstawiono możliwość oczyszczenia rzeczywistych ścieków przemysłowych z zastosowaniem unikalnej technologii wykorzystującej metody biologiczne oraz filtrację membranową. Do badań wykorzystano bioreaktor zraszany z wypełnieniem na bazie odpadów tekstylnych połączony z zewnętrznym modułem membranowym, w skali laboratoryjnej. Przeprowadzono proces biologicznego podczyszczania ścieków oraz oczyszczania z użyciem poliamidowych membran nanofiltrycyjnych. Potwierdzono możliwość ponownego wykorzystania oczyszczonego strumienia i stworzenia obiegu zamkniętego wody procesowej.

**Słowa kluczowe:** biologiczne oczyszczanie, nanofiltracja, ścieki włókiennicze



## Wpływ grubości powlekania oraz pH nadawy na właściwości separacyjne membran celulozowych w procesie nanofiltracyjnego usuwania jonów żelaza(III) z roztworów wodnych

Sonia Wardejn<sup>1\*</sup>, Wiktoria Grzesik<sup>1</sup>, Paweł Grzybek<sup>1,2</sup>, Gabriela Dudek<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Katedra Fizykochemii i Technologii Polimerów, Wydział Chemiczny, Politechnika Śląska, ul. ks. M. Strzody 9, 44-100 Gliwice

<sup>2</sup> Wspólna Szkoła Doktorów ul. Akademicka 2a, 44-100 Gliwice

\* autor do korespondencji, e-mail: sw300312@student.polsl.pl

**Streszczenie:** Nanofiltracja (NF) jest techniką membranową stosowaną do usuwania cząstek o bardzo niewielkich rozmiarach na przykład jonów, czy barwników z wody.

Ze względu na niewielki rozmiar porów, to jest od 1 do 10 nm, membrany nanofiltracyjne skutecznie zatrzymują wielowartościowe jony oraz związki niskocząsteczkowe. Szczególne zainteresowanie budzą membrany celulozowe, które ze względu na biodegradowalność i stosunkowo niskie koszty produkcji stanowią ekologicznie przyjazną alternatywę w oczyszczaniu ścieków przemysłowych, uzdatnianiu wody przemysłowej oraz oczyszczaniu wody pitnej. Głównym wyzwaniem dla nanofiltracji jest podatność membran na fouling (zanieczyszczenie membran), co w efekcie prowadzi do spadku wydajności procesu.

Celem niniejszych badań było wyznaczenie wpływu grubości powlekania roztworu celulozy podczas przygotowania membran oraz pH nadawy na efektywność usuwania jonów żelaza (III) w procesie NF. Membrany otrzymano poprzez rozprowadzenie roztworu celulozy w cieczy jonowej (octanie 1-etylo-3-metyloimidazoliowym), o stężeniu 5% za pomocą aplikatora o wyregulowanej grubości powlekania: 100, 150, 200, 250 i 300  $\mu\text{m}$  (oznaczono je C\_X, gdzie X – grubość powlekania) a następnie poddano mokrej inwersji faz w wodzie i wysuszono. Dodatkowo zbadano wpływ pH nadawy (roztworu  $\text{FeCl}_3$ ) dla najbardziej efektywnej membrany tj. przygotowanej poprzez powlekanie roztworu celulozy na grubość 300  $\mu\text{m}$ , przy czym zakres badanego pH wynosił 1.5 – 12.5. Do badań użyto komory filtracyjnej wyposażonej w mieszadło



magnetyczne, które miało na celu przeciwdziałanie polaryzacji stężeniowej przy powierzchni membrany. Proces nanofiltracji prowadzono przy ciśnieniu 4 bar i częstotliwości mieszania 500 rpm.

Badania wykazały, że współczynnik retencji wzrastał wraz ze wzrostem grubości powlekania roztworu celulozy, co umożliwiło bardziej efektywne zatrzymywanie jonów. Membrana C\_300 osiągnęła najwyższy współczynnik retencji wynoszący 99%, choć charakteryzowała się bardzo niskim strumieniem. Zaobserwowano również, że wartość strumienia malała wraz ze wzrostem grubości powlekania roztworu celulozy. Membrana C\_100 wykazała najwyższy strumień, jednak dla takiej grubości, całkowita retencja była bliska zeru, co świadczy o niskiej zdolności separacyjnej. Membrana C\_250 wykazała bardzo wysoki stopień zatrzymania jonów wraz ze stosunkowo wysoką wartością strumienia, co pozwoliło zachować wysoką skuteczność procesu NF z wody. Wraz ze wzrostem grubości powlekania od 100  $\mu\text{m}$  do 200  $\mu\text{m}$  zaobserwowano wyraźny spadek współczynnika odzysku strumienia (FFR). Membrana C\_100 charakteryzowała się najwyższym FFR, co oznacza jej małą podatność na fouling. Z kolei grubsze membrany (od 200  $\mu\text{m}$ ), miały niższe wartości FFR, co sugeruje większe obciążenie foulingiem.

Najwyższy współczynnik retencji, wynoszący 99% uzyskano dla pH 7.0, 8.5, 10.5 i 12.5, co sugeruje wysoką efektywność membrany w separacji jonów żelaza (III). Najlepsza całkowita retencja została osiągnięta dla pH 10.5 oraz 12.5, wynosząca odpowiednio 22,56% i 15,97%, co wskazuje na najwyższą skuteczność usuwania jonów. Powodem tego mogło być częściowe wytrącenie się osadu wodorotlenków żelaza (III), które ze względu na rozmiar cząstek, mogły zostać zatrzymane na membranie efektywniej niż jony  $\text{Fe}^{3+}$ .

**Podziękowania:** Badania zostały przeprowadzone dzięki finansowaniu udzielonemu przez Politechnikę Śląską w ramach projektu nr 31/010/SDU20/0006-10.

## Zastosowanie magnetycznych membran zawierających hematyt ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) do selektywnego rozdziału mieszaniny $\text{CO}_2/\text{N}_2$

Paweł Grzybek<sup>1,2,\*</sup>, Gabriela Dudek<sup>1</sup>

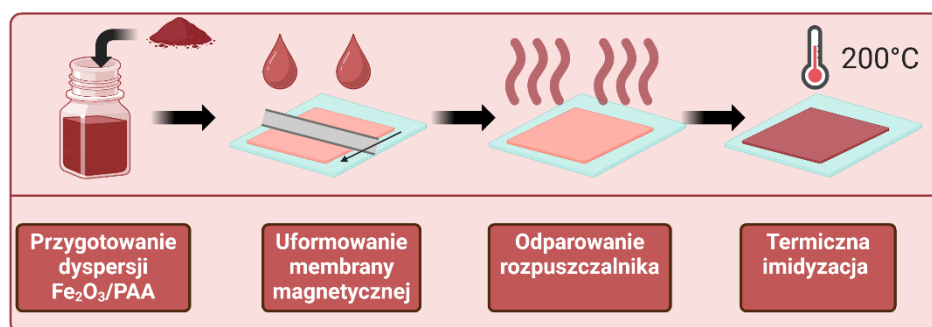
<sup>1</sup> Katedra Fizykochemii i Technologii Polimerów, Wydział Chemiczny, Politechnika Śląska ul. ks. M. Strzody 9, 44-100 Gliwice

<sup>2</sup> Wspólna Szkoła Doktorów ul. Akademicka 2a, 44-100 Gliwice

\* autor do korespondencji, e-mail: pgrzybek@polsl.pl

**Streszczenie:** Wśród membran nieporowatych, które znajdują zastosowanie w procesach separacji ciekłych i gazowych mieszanin jednorodnych, coraz częściej badane są membrany z wypełnieniem w postaci nanocząstek. Obecność wypełnienia (nanocząstek) w matrycy polimerowej bardzo często nadaje unikalnych właściwości membranom, w tym także znacząco wpływa na ich właściwości separacyjne i transportowe [1].

W przypadku rozdziału mieszaniny gazowej  $\text{CO}_2/\text{N}_2$  polimerem, który wykazuje dobrą selektywność wobec cząsteczek tej mieszaniny jest poliimid [2]. Aby poprawić selektywność membran wykonanych z poliimidu, podjęto próbę modyfikacji matrycy poprzez wprowadzenie do niej nanocząstek hematytu ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), który jest tlenkiem żelaza o właściwościach antyferromagnetycznych. Schemat otrzymywania takich membran został pokazany na Rysunku 1.



Rysunek 1 Schemat otrzymywania membran z poliimidu z nanocząstkami  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , PAA – kwas poliaminowy będący prekursorem poliimidu.

Tak otrzymane membrany zostały przebadane pod kątem właściwości transportowych i separacyjnych wobec wzorcowej mieszaniny CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>. W szczególności, określono wpływ ilości nanocząstek Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> w matrycy poliimidowej na przenikalność obu tych gazów przez membranę, na wartość współczynnika separacji CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> oraz na wartość współczynnika selektywności dyfuzyjnej i sorpcyjnej, które zostały obliczone w oparciu o model rozpuszczalnościowo – dyfuzyjny. W celu przeprowadzenia dogłębnej charakterystyki membran magnetycznych, zbadano również ich długoterminową stabilność separacyjną wobec mieszaniny CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>, a także określono wpływ plastyfikacji membrany dwutlenkiem węgla na wartość współczynnika separacji.

Otrzymane wyniki okazały się bardzo obiecujące, gdyż dodatek nanocząstek Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> znacząco poprawił selektywność membrany, a jednocześnie wydajność procesu zmniejszyła się jedynie nieznacznie. Dodatkowo membrany magnetyczne wykazały długoterminową stabilność separacyjną.

[1] H. R. Harami, M. Asghari, A. H. Mohammadi, Magnetic nanoFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – incorporated PEBA membranes for CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> separation: experimental study and grand canonical Monte Carlo and molecular dynamic simulations, *Greenhouse Gases: Science and Technology* 9 (2019) 306-330.

[2] S. S. Madaeni, R. M. Nooripour, V. Vatanpour, Preparation and characterization of polyimide and polyethersulfone blend membrane for gas separation, *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering* 7 (2011) 747-754.

**Podziękowania:** Badania zostały sfinansowane w całości lub częściowo przez Narodowe Centrum Nauki, numer grantu: 2022/47/O/ST8/01853.



## Alcohol-assisted technique of thin MXene deposition for PCL membrane

Yevheniia Husak<sup>1,2</sup>, Yuliia Varava<sup>2</sup>, Natalia Waloszczyk<sup>1</sup>, Viktoriia Korniienko<sup>2,3</sup>,  
Kateryna Diedkova<sup>2,3</sup>, Volodymyr Deineka<sup>2,3</sup>, Veronika Zahorodna<sup>4</sup>,  
Oleksiy Gogotsi<sup>4</sup>, Wojciech Simka<sup>1</sup>, Maksym Pogorielov<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup> Silesian University of Technology, Gliwice, Poland

<sup>2</sup> Sumy State University, Sumy, Ukraine

<sup>3</sup> University of Latvia, Riga, Latvia

<sup>4</sup> Materials Research Center LTD, Kyiv, Ukraine

\* autor do korespondencji, e-mail: m.pogorielov@gmail.com

**Streszczenie:** Polycaprolactone (PCL) electrospun membranes are a ductile polymer construction used for the development of tissue-engineering materials due to their great cytocompatibility, slow degradation rate, and excellent strength. Recently, gold- and graphene-based PCL scaffolds have successfully been applied to conductive tissue regeneration, including heart and nerve tissues. However, their low biocompatibility has called for more advanced strategies to enhance clinical outcomes. Last years, scientists moved on to the use of 2D nanomaterials, MXene ( $Ti_3C_2T_x$ ), for PCL electrospun mat modifications. Several publications displayed the successful application of MXene sheets for PCL membranes. Different strategies (alkali and acidic pretreatment, oxygen plasma) are utilized to facilitate the MXene deposition of the hydrophobic PCL membrane. We aimed to develop alcohol-assisted deposition technology to provide uniform MXene distribution over the electrospun PCL membrane.

PCL electrospun membranes were immersed twice in an alcohol-based  $Ti_3C_2T_x$  MXene solution (70% ethanol containing  $200\text{ mg}\cdot\text{ml}^{-1}$  MXene), followed by 24 hours of drying at room temperature. Scanning electron microscopy (SEM) and energy-dispersive X-ray analysis (EDX) were used to evaluate the structural and elemental composition of the as-spun and MXene-deposited PCL mats.





SEM and EDX analysis proved the ability to achieve uniform MXene distribution over the electrospun PCL membrane with deep penetration of the 2D sheets. The alcohol-assisted deposition method effectively minimized the risk of alkali or acid residue deposition.

**Podziękowania:** This research received support from the Horizon Europe MSCA-2021-SE-01 project 101086184 MX-MAP and from the Ukraine MES grant ID: 0122U000784. Electrospun fibres provided under the bilateral LV-UA projects “Implementation of 2D bi-layered nanomembranes for guided tissue regeneration in endo-perio lesions and periimplantitis” and “Novel copper-loaded wound healing patches with advanced regeneration capacity and antibacterial effect”. This work received support from the statutory subsidy of the Faculty of Chemistry of the Silesian University of Technology, Poland, under research project no. BKM-532/RCH1/2024.

**Słowa kluczowe:** PCL electrospun membrane, MXene, alcohol-based deposition

## Elektroprzędzenie jako nowatorska metoda poprawy właściwości barierowych i mechanicznych ekologicznych opakowań żywności

Justyna Jakubska<sup>\*</sup>, Gabriela Dudek<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Wydział Chemiczny, Katedra Fizykochemii i Technologii Polimerów

<sup>\*</sup> autor do korespondencji, e-mail: jl309041@student.polsl.pl

**Streszczenie:** W obliczu rosnącej świadomości społecznej oraz polityki Unii Europejskiej w zakresie ochrony środowiska, istotne staje się zwiększenie wykorzystania substancji pochodzenia naturalnego, zamiast powszechnie stosowanych syntetycznych tworzyw sztucznych, do produkcji materiałów opakowaniowych do żywności. W codziennym zastosowaniu pojawiają się już folie oparte na biodegradowalnych polimerach. Niemniej jednak, chitozan i alginian sodu dotychczas rzadziej znajdują zastosowania na skalę przemysłową, głównie ze względu na znacząco słabsze właściwości barierowe i mechaniczne tych materiałów w porównaniu z tradycyjnymi opakowaniami spożywczymi. Aby zaradzić temu problemowi, naturalne polimery są poddawane różnym modyfikacjom. W przypadku niniejszego badania, otrzymano wielowarstwowe folie z nanowłóknami wytwarzanymi metodą elektroprzędzenia. Uzyskane materiały zostały scharakteryzowane pod kątem właściwości barierowych (przepuszczalność tlenu, dwutlenku węgla i pary wodnej), mechanicznych, hydrofilowych oraz antybakteryjnych.



Dodatkowo, zbadano struktury analizowanych materiałów. Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że dodanie elektroprzędzonych nanowłókien do folii z chitozanu i alginianu, znacząco poprawia ich właściwości fizykochemiczne. Co więcej, korzystny wpływ połączenia różnych warstw folii, czyni je bardziej odpowiednimi do stosowania jako biodegradowalne materiały opakowaniowe na szeroką skalę.

**Słowa kluczowe:** folie wielowarstwowe, włókna elektroprzędzone, barierowość, ekologiczne opakowania

**Podziękowania:** Badania zostały przeprowadzone dzięki finansowaniu udzielonemu przez Politechnikę Śląską w ramach projektu nr 31/010/SDU20/0006-10.



## Synergiczny efekt połączenia proszku neodymowego i magnesu molekularnego dla membranowego odwadniania etanolu

Łukasz Jakubski<sup>1\*</sup>, Gabriela Dudek<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Wydział Chemiczny, Katedra Fizykochemii i Technologii Polimerów

\* autor do korespondencji, e-mail: lukajak378@student.polsl.pl

**Streszczenie:** Etanol, będący kluczowym rozpuszczalnikiem organicznym, zyskuje coraz większe znaczenie jako surowiec w produkcji biopaliw, co przyczynia się do zrównoważonego rozwoju i redukcji emisji zanieczyszczeń. W związku z powyższym, zwiększenie efektywności procesów separacji wody od etanolu, mających na celu uzyskanie etanolu bezwodnego, jest istotnym wyzwaniem dla przemysłu. W niniejszym badaniu przedstawiono innowacyjne podejście do odwadniania etanolu metodą perwaporacji z wykorzystaniem alginianowych membran kompozytowych wzbogaconych proszkiem neodymowym Magnequench Fine Powder (MQFP) oraz magnezem molekularnym  $[\text{Fe}_4(\text{acac})_6(\text{Br-mp})_2]$  (MM). Celem badań była analiza wpływu różnych proporcji proszków na właściwości transportowe membran w procesie rozdziału azeotropu etanol/woda. Rezultaty wykazały, że kombinacja MM z MQFP znacząco poprawia zarówno właściwości magnetyczne membran, jak i efektywność separacji, co jest wynikiem równomiernego rozkładu wypełniaczy w matrycy alginianowej i ich synergicznego działania. Membrany o zoptymalizowanym składzie, zawierające 1% wag. MQFP oraz 9% wag. MM, osiągnęły najwyższy perwaporacyjny indeks separacji ( $40\,974\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ) oraz współczynnik separacji (12 735,14), co czyni je wyjątkowo efektywnymi w procesie perwaporacji.



Wyniki te wskazują na duży potencjał zastosowania otrzymanych membran w przemyśle, szczególnie w kontekście zrównoważonej produkcji biopaliw i procesów związanych z odwadnianiem etanolu.

**Słowa kluczowe:** membrany magnetyczne, bezwodny etanol, perwaporacja

**Podziękowania:** Badania zostały przeprowadzone dzięki finansowaniu udzielonemu przez Politechnikę Śląską w ramach projektu nr 31/010/SDU20/0006-10.

## Zatężanie ścieków przemysłowych w procesie osmozy prostej

Aleksandra Klimonda<sup>\*</sup>, Izabela Kowalska<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Wrocławska, wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

<sup>\*</sup> autor do korespondencji, e-mail: [aleksandra.klimonda@pwr.edu.pl](mailto:aleksandra.klimonda@pwr.edu.pl)

**Streszczenie:** W pracy zbadano możliwość zastosowania osmozy prostej do zatężania ścieków przemysłowych pochodzących z płukania linii produkcyjnej kationowego surfaktantu typu esterquat. Testy realizowano w instalacji laboratoryjnej wyposażonej w moduł SEPA Sterlitech z membraną płaską FTSH<sub>2</sub>O z warstwą aktywną z trójoctanu celulozy skierowaną do roztworu zasilającego. Roztwory procesowe stanowiły: 2,5 dm<sup>3</sup> ścieków przemysłowych (roztwór zasilający) oraz 3 dm<sup>3</sup> roztworu NaCl o stężeniu 1 mol/dm<sup>3</sup> (roztwór odbierający).

Zatężanie prowadzono do dwukrotnego zmniejszenia objętości roztworu zasilającego. Efektem zrealizowanych testów było ok. dwukrotne zwiększenie stężenia surfaktantu w zatężonym roztworze (z ok. 2700 do 6160 mg/dm<sup>3</sup>) i ChZT (z ok. 20800 do ok. 42200 mg/dm<sup>3</sup>).

Niekorzystnym zjawiskiem zachodzącym w trakcie osmozy prostej było przenikanie małocząsteczkowych związków organicznych ze ścieków do roztworu odbierającego, skutkujące zanieczyszczeniem solanki (stężenie OWO po zakończeniu procesu ok. 200 mg/dm<sup>3</sup>). Ponadto, w efekcie występowania zjawiska strumienia wstecznego soli, dochodziło do wzrostu zasolenia roztworu zasilającego. Stężenie chlorków w zatężonym roztworze po zakończeniu eksperymentu było ok. 10-krotnie większe niż na jego początku.

**Słowa kluczowe:** proces membranowy, gospodarka cyrkularna, proces membranowy



## Procesy membranowe w oczyszczaniu kwaśnych ścieków galwanicznych w systemie obiegu zamkniętego

Anna Kowalik-Klimczak<sup>1\*</sup>, Maciej Życki<sup>1</sup>, Monika Łożyńska<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technologii Eksploatacji

\* autor do korespondencji, e-mail: [anna.kowalik-klimczak@itee.lukasiewicz.gov.pl](mailto:anna.kowalik-klimczak@itee.lukasiewicz.gov.pl)

**Streszczenie:** W pracy zaprezentowano wyniki badań prowadzonych w celu poprawy wykorzystania surowców odpadowych, zgodnie z modelem gospodarki o obiegu zamkniętym. Przedstawiono opracowane rozwiązanie technologiczne służące do odzysku wodnych roztworów kwasu solnego z cieczy użytkowych powstających w przemyśle galwanicznym. Specyfika ścieków powstających w tym przemyśle, gdzie obciążeniem są zarówno związki mineralne, jak i metale ciężkie powoduje, że problem ich oczyszczania do poziomów, umożliwiających ponowne ich wykorzystanie, wiąże się z odpowiednim łączeniem różnych procesów. Zaproponowana w pracy koncepcja systemu regeneracji cieczy użytkowych po operacji trawienia powierzchni elementów metalowych obejmuje wstępne oczyszczanie w procesie mikrofiltracji (MF) oraz odzysk wodnych roztworów kwasu solnego w procesie nanofiltracji (NF). Proces MF prowadzony na membranie typu TM10-QXF firmy Trisep pod ciśnieniem 0,5 bar charakteryzował się wydajnością na poziomie 17,4 dm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>h). Umożliwił on zredukowanie mętności i zawiesiny ogólnej odpowiednio o 99,5% i 97,6%. Z kolei proces NF prowadzony na membranie typu TS80 firmy Trisep pod ciśnieniem 24 bar charakteryzował się wydajnością wynoszącą 4,9 dm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>h) i umożliwił usunięcie jonów metali, w tym Cr na poziomie 98,6%, Fe – 99,3% i Zn -99,4%. Na podstawie wyników zrealizowanych badań zakłada się, że opracowane nowe rozwiązanie technologiczne pozwoli w sposób przyjazny dla środowiska zmniejszyć ilość ścieków powstających w przedsiębiorstwach galwanicznych, umożliwiając jednocześnie zawrótce wodnego roztworu kwasu solnego pozbawionego niepożądanych zanieczyszczeń do operacji trawienia elementów metalowych. Oznacza to, że uzyskane wyniki badań mogą być wykorzystane wprost do rozwiązywania problemów,



dotyczących przede wszystkim ograniczenia oddziaływania na środowisko ścieków z przemysłu galwanicznego oraz poprawy ekonomii technologii powierzchniowej obróbki elementów metalowych ze względu na zmniejszenie zużycia wody i ograniczenie wykorzystywania kwaśnych roztworów chemicznych.

**Słowa kluczowe:** mikrofiltracja (MF), nanofiltracja (NF), ścieki galwaniczne, odzysk wodnych roztworów kwasu solnego, gospodarka o obiegu zamkniętym

**Podziękowania:** Praca powstała w wyniku realizacji projektu „Kompleksowa technologia oczyszczania cieczy użytkowych po procesie cynkowania galwanicznego umożliwiającą zamknięcie obiegu wody technologicznej i zagospodarowanie produktów oczyszczania” (Akronim: GalvaWaterCycle) współfinansowanego przez Centrum Łukasiewicz w ramach Dotacji Celowych (Umowa nr 1/Ł-ITEE/CŁ/2021).





## Separacja jonów cynku i żelaza(III) z wykorzystaniem membran celulozowych metodą nanofiltracji

Wiktor Grzesik<sup>1\*</sup>, Dominika Kozakiewicz<sup>1</sup>, Paweł Grzybek<sup>1,2</sup>, Monika Krasowska<sup>1</sup>, Gabriela Dudek<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Katedra Fizykochemii i Technologii Polimerów, Wydział Chemiczny, Politechnika Śląska, ul. ks. M. Strzody 9, 44-100 Gliwice

<sup>2</sup> Wspólna Szkoła Doktorów ul. Akademicka 2a, 44-100 Gliwice

\* autor do korespondencji, e-mail: dk304935@student.polsl.pl

**Streszczenie:** Celem niniejszej pracy było określenie właściwości separacyjno-transportowych membran celulozowych w procesie nanofiltracyjnego usuwania jonów cynku i żelaza(III). W tym celu przygotowano membrany metodą inwersji faz, przeprowadzono pomiary usuwania jonów metali przy zastosowaniu komory filtracyjnej oraz scharakteryzowano membrany pod kątem ich właściwości strukturalno-morfologicznych.

Produkcja wyrobów metalicznych wiąże się ściśle z koniecznością ich ochrony przed korozją. Szacuje się, że corocznie rdza niszczy 10 – 25 mln ton stali. Aby temu zapobiec, na materiały metaliczne nakłada się powłoki ochronne, głównie poprzez cynkowanie. Podstawowym jednak problemem związanym z procesem cynkowania jest powstawanie dużych ilości ścieków potrawiennych. Zawierają one bowiem znaczne ilości jonów żelaza (III) oraz cynku. Możliwość odzysku tych jonów nie jest podyktowana jedynie ochroną środowiska, ale również ich wartością jako surowców przemysłowych. Tanimi i ekologicznymi metodami usuwania jonów metali ze ścieków są metody membranowe, a w szczególności nanofiltracja (NF). W ostatnich latach coraz większą popularnością cieszą się materiały biopolimerowe stosowane jako membrany w tych procesach. Ze względu na ich biodegradowalność są przyjazne dla środowiska, a ich utylizacja nie stanowi poważnego problemu.

W niniejszej pracy zastosowano jako materiał membranowy celulozę długowłóknistą, którą rozpuszczono w cieczy jonowej. Przygotowano membrany o stężeniu 4, 5 i 6%<sub>wag.</sub>



celulozy. Badania prowadzono przy ciśnieniu 2 - 4 barów. Z przeprowadzonych badań wynika, że otrzymane membrany celulozowe w sposób efektywny separowały jony żelaza (III) i cynku znajdujące się w wodzie oraz wykazywały optymalną wartość strumienia filtratu. Wartość ta różniła się w zależności od zastosowanego ciśnienia procesu oraz stężenia roztworu celulozy, z którego została przygotowana membrana. Najefektywniejszą membraną okazała się ta badana pod ciśnieniem 4 bar o stężeniu 4%<sub>wag.</sub>

Dodatkowo, sprawdzono korelację pomiędzy morfologią membrany celulozowej a jej właściwościami transportowymi. W tym celu wyznaczono porowatość, wielkość, kształt, rozmiar oraz rozmieszczenie porów w membranie w oparciu o obrazy ze skaningowego mikroskopu elektronowego. Z otrzymanych wyników badań wynika, że zwiększenie zawartości celulozy w membranie wpływa na zmianę morfologii poprzez zmniejszenie średniej powierzchni porów oraz ich liczby, co wpłynęło pozytywnie na selektywność membrany. Ponadto membrany z wyższą zawartością celulozy, dzięki bardziej regularnej strukturze porów, charakteryzowały się mniejszą podatnością na zjawisko foulingu, co przekłada się na dłuższą żywotność i mniejsze koszty eksploatacji. Porównując zdjęcia SEM przed i po procesie filtracji, można zauważyć, że pory membran absorbują jony z przepływającej przez nie nadawy. Przed procesem pory membran mają regularne kształty, natomiast po - cylindryczny kształt. Membrana w trakcie filtracji pęcznieje, czego dowodzi nieregularna powierzchnia.

**Słowa kluczowe:** membrana, celuloza, nanofiltracja, morfologia, separacja, retencja, strumień, SEM.

**Podziękowania:** Badania zostały przeprowadzone dzięki finansowaniu udzielonemu przez Politechnikę Śląską w ramach projektu nr 31/010/SDU20/0006-10.

## Otrzymywanie i właściwości nowych sorbentów na bazie alginianów

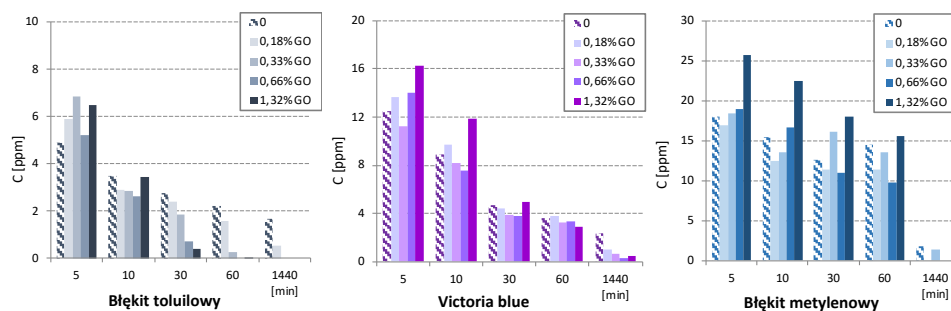
Łukasz Migdał<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Bielsko-Bialski

\* autor do korespondencji, e-mail: lukaszmigdal22@gmail.com

**Streszczenie:** W wyniku produkcji i zastosowania barwników powstają trudne do oczyszczenia ścieki. Jedną z metod ich usuwania są metody adsorpcyjne, a wszechstronnym sorbentem jest tlenek grafenu (GO). Ciekawym rozwiązaniem do zastosowania GO jest otrzymywanie materiałów kompozytowych na bazie biopolimerów, jako materiałów przyjaznych dla środowiska. Spośród biopolimerów na uwagę zasługują dostępne, tanie i biodegradowalne alginiany.

W pracy zaprezentowano badania nad zastosowaniem biodegradowalnych kompozytowych granulek GO/ALG do usuwania barwników zasadowych (błękit toluiłowy, Victoria blue, błękit metylenowy) oraz barwników kwasowych (błękit metyłowy, czerwień kongo, oranż II) z roztworów wodnych. W tym celu wytworzono granulki GO/ALG, które koagulowano (5 min.) w roztworze CaCl<sub>2</sub>, otrzymując sfery zbudowane z półprzepuszczalną membraną. Taka budowa granulek pozwoliła na swobodną dyfuzję barwników wewnątrz granulek, powstanie wiązań pomiędzy cząsteczkami barwnika, a grupami funkcyjnymi GO oraz ALG. W wyniku przeprowadzonych badań zaobserwowano, że barwniki zasadowe, zawierające grupy aminowe są szybko i trwale adsorbowane przez granulki GO/ALG, co zapewnia skuteczne ich usuwanie ze ścieków. Natomiast barwniki kwasowe ze względu na obecność grup sulfonowych nie ulegają adsorpcji na badanych granulках.



**Słowa kluczowe:** ścieki przemysłowe, barwniki, alginiany, tlenek grafenu



## Kwaśne wody drenażowe z kopalni odkrywkowych metali nieżelaznych jako potencjalne źródło surowców krytycznych

Wojciech Mikołajczak<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Metali Nieżelaznych

\* autor do korespondencji, e-mail: wojciech.mikolajczak@imn.lukasiewicz.gov.pl

**Streszczenie:** Odkrywkowa działalność wydobywcza stwarza konieczność zagospodarowania kwaśnych wód drenażowych usuwanych z wyrobiska. Wody te zawierają szereg pierwiastków klasyfikowanych jako krytyczne.

W ramach projektu Reecovery (EIT RM – 21033) prowadzone są badania pilotowe technologii odzysku wartościowych metali z jednoczesnym ograniczeniem oddziaływania kwaśnych wód drenażowych na środowisko, zgodnie z ideą zrównoważonej gospodarki. Prace realizowane są na terenie kopalni miedzi Minera Los Frailes (MLF, Hiszpania), z której rocznie odprowadza się 1 750 m<sup>3</sup> kwaśnych wód drenażowych zawierających 700 g/m<sup>3</sup> cynku, 60 g/m<sup>3</sup> miedzi, 5 g/m<sup>3</sup> kobaltu oraz 25 g/m<sup>3</sup> metali ziem rzadkich (REE). W pierwszym etapie procesu Zn, Cu oraz Co strącane są z wykorzystaniem odpadowego H<sub>2</sub>S. Następnie, z roztworu separowane są REE w postaci szczawianów. Szacuje się, że pełne zagospodarowanie wód drenażowych umożliwi pozyskanie w skali roku 1 800 ton ZnS, oraz 116 ton koncentratów REE zaspokajając odpowiednio ok. 0,1% oraz 1,2% rocznego zapotrzebowania całej Unii Europejskiej. Wykorzystanie technik membranowych pozwoli dodatkowo na odzyskanie do 1 100 m<sup>3</sup> wody na rok.

**Słowa kluczowe:** REE, pierwiastki ziem rzadkich, surowce krytyczne

**Podziękowania:** Praca finansowana ze środków EIT Raw Materials (EIT RM – 21033) w ramach projektu „REECOVERY: Metal Influenced Acid Water as a source of valuable and critical raw materials”



## Potential of lithium and arsenic extraction from geothermal water using composites of zeolite and hydrogel

Barbara Tomaszewska<sup>1</sup>, Mentari Mukti<sup>\*</sup>, Maciej Sobczyk<sup>1</sup>, Tomasz Bajda<sup>1</sup>, Milena Koza<sup>1</sup>

<sup>1</sup> AGH University of Krakow, Faculty of Geology, Geophysics and Environmental Protection, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Krakow, Poland

\* autor do korespondencji, e-mail: mukti@agh.edu.pl

**Streszczenie:** The research aims to propose solutions for the effective management of waste geothermal waters using techniques enabling the recovery of critical elements. Geothermal waters have a wide range of mineralization, often with an increased concentration of critical elements such as Li and As. The project focuses on extracting Li and As from geothermal wastewater using a composite of zeolite-hydrogel. Zeolite-hydrogel composites are hybrid polymer materials formed by the reaction of a zeolite mineral and a cross-linking agent. The materials show good sorption properties, mainly of cationic forms, thanks to heterovalent substitution, generating an excess negative charge, which can be compensated by sorbed cations. The study of methodology in creating polymers in which zeolite reacts with cross-linking reagents (e.g. chitosan, sodium alginate) in an aqueous solution to form zeolite composite is limited. Whereas synthetic active sorption material can be used for the selective recovery of Li and As from geothermal waters and geothermal water concentrates, which indicates that using composites with high sorption capacity will enable the recovery of these elements.

Six adsorbent material including Clinoptilolite\_Alginate(5g), Clinoptilolite\_Alginate, Clinoptilolite\_Alginate\_Chitosan, Granulates PX1, Chitosan\_PX1\_Granulates, DMAPAA\_Chitosan were synthesized. It was experimented on batch adsorption test with a variation of mass of adsorbent with the weight variation is 0.5g, 1g, and 1.5g. The concentrations of Li and As in geothermal water are 55.02 mg/L and 63.51 mg/L. The results indicate that the co-polymer material that has the ability to adsorb Li and As was Clinoptilolite-co-Alginate and P1-co-Alginate.

**Słowa kluczowe:** Geothermal Water, Lithium and Arsenic Extraction, Adsorbent

**Podziękowania:** Research project supported by program „Excellence Initiative – Research University” for the AGH University of Krakow.

## Zastosowanie procesu nanofiltracji do separacji metali ciężkich

Milena Nocoń<sup>1\*</sup>, Irena Korus<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Katedra Inżynierii Wody i Ścieków, ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice

\* autor do korespondencji, e-mail: milena.nocon@polsl.pl

**Streszczenie:** Przemysł hutniczy cynku i ołowiu dostarcza wielu materiałów odpadowych. Należą do nich m.in. pyły, zgary, żużle lub osady, które często są źródłem wielu metali ciężkich. Z tego powodu, materiały te są przedmiotem zainteresowania wielu badaczy ze względu na potencjalny odzysk cennych metali. Wiele technik separacji, jak na przykład ekstrakcja ciało stałe-ciecz są szczególnie skuteczne w procesie odzyskiwania, jednak mogą generować znaczne ilości cieczy bogatych w metale. Istotną kwestią staje się więc dalsza obróbka otrzymanych ekstraktów i dalsza koncentracja metali wykorzystując na przykład procesy membranowe.

W prezentowanej pracy do zateżania metali ciężkich takich jak Pb, Zn, Cd wykorzystano roztwory poekstrakcyjne otrzymane w wyniku ekstrakcji ciało stałe – ciecz metali z osadów, za pomocą środków ługujących takich jak: NaOH, NTA i HNO<sub>3</sub>. Zastosowano zmienne pH nadawy w zależności od użytego środka. Proces nanofiltracji zastosowany do zateżania wymytych metali w uzyskanych ekstraktach odznaczał wysokie wartości współczynników retencji, szczególnie dla ołowiu (do 95%) z ekstraktów HNO<sub>3</sub> (pH nadawy = 8). W przypadku cynku współczynniki retencji nie były niższe niż 88% dla żadnego z badanych roztworów przy najwyższym pH nadawy, i kadmu (98%) w NTA przy pH = 10 nadawy. Zastosowanie nanofiltracji do celów opisanych powyżej wykazało wysoką wydajność i wysoką selektywność.

**Słowa kluczowe:** nanofiltracja, hutnictwo cynku i ołowiu, ługowanie



## Preparatyka membran jonowymiennych do zastosowania w dejonizacji pojemnościowej z elektrodą płynącą

Justyna Nowicka<sup>1\*</sup>, Anna Siekierka<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Wroclawska, Wydział Chemiczny, Katedra Inżynierii i Technologii Procesów Chemicznych

<sup>2</sup> Politechnika Wroclawska, Wydział Chemiczny, Katedra Inżynierii Procesowej i Technologii Materiałów Polimerowych i Węglowych

\* autor do korespondencji, e-mail: justyna.nowicka@pwr.edu.pl

**Streszczenie:** Membrany stanowią kluczowe elementy w wielu zastosowaniach przemysłowych, pełniąc funkcję selektywnych barier w procesach separacji. Umożliwiają one segregację cząstek na podstawie takich cech, jak ładunek czy rozmiar. Ich stosowanie pozwala na zmniejszenie zużycia energii i czynników chemicznych w porównaniu z innymi metodami rozdziału mieszanin. Celem zaprezentowanych badań jest stworzenie membran jonowymiennych do zastosowania w procesach elektromembranowych. Aby osiągnąć jak najlepszą selektywność i wydajność procesu modyfikowano warunki syntezy membran. Dalsze prace skupią się na zastosowaniu uzyskanych membran w jednostce dejonizacji pojemnościowej z elektrodą płynącą (FCDI). Dzięki zastosowaniu zawiesiny węgla aktywnego jako elektrody płynącej w tym procesie możliwe są jednocześnie selektywna separacja jonów i ich ciągły odbiór w formie zaadsorbowanej na materiale stałym. FCDI może w przyszłości zostać zaadaptowane do odzysku metali krytycznych z odpadów bateryjnych. Rozwój takich nowoczesnych technik membranowych umożliwi wdrażanie założeń gospodarki cyrkularnej.

**Słowa kluczowe:** membrany jonowymienne, PVDF, membrany porowate, elektrodializa, dejonizacja pojemnościowa z elektrodą płynącą





## Badanie właściwości adsorpcyjnych modyfikowanych membran w układzie przepływowym

Aleksandra Lorek<sup>1</sup>, Daniel Polak<sup>1\*</sup>, Izabela Zielińska<sup>1,2</sup>, Maciej Szwałt<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Warszawska

<sup>2</sup> Szkoła Doktorska, Politechnika Warszawska

\* autor do korespondencji, e-mail: daniel.polak@pw.edu.pl

**Streszczenie:** Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono możliwość poprawy właściwości adsorpcyjnych membran zawierających  $\text{CaCO}_3$ . Uzyskanie membran o wysokich właściwościach adsorpcyjnych może poprawić efektywność procesów filtracji membranowej w zastosowaniu do usuwania substancji farmaceutycznych z wody.

W przeprowadzonych badaniach zastosowano polisulfonowe membrany wytworzone metodą mokrej inwersji faz. Do przygotowania membran wykorzystano mieszaninę membranotwórczą wytworzoną z polisulfonu (*Sigma-Aldrich*) rozpuszczonego w N-metylopirolidonie (*Pol-Aura*) w stosunku masowym 1:10. Proces modyfikacji membran przebiegał na etapie przygotowywania mieszaniny membranotwórczej, do której dodawana była określona masa węgla wapnia ( $\text{CaCO}_3$ ). Związek ten charakteryzuje się zdolnością adsorpcji związków farmaceutycznych z wody.

Na podstawie przeprowadzonych badań w układzie laboratoryjnym można stwierdzić, że modyfikacja membran związkiem  $\text{CaCO}_3$  zwiększa masę usuniętej tetracykliny i sulfadiazyny z wody, odpowiednio o około 4 i 5 razy względem membrany niemodyfikowanej. Dodatkowo membrany modyfikowane  $\text{CaCO}_3$  charakteryzują się większą przepuszczalnością, jak również wykazują lepsze właściwości bakteriostatyczne w stosunku do membrany niemodyfikowanej.

**Słowa kluczowe:** filtracja membranowa, adsorpcja, modyfikacja membranę, węgiel wapnia, substancje farmaceutyczne



## Wstępne oczyszczanie ścieków szarych z zastosowaniem koagulacji, poprzedzające procesy membranowe

Kornelia Pyżewicz<sup>1\*</sup>, Rafał Tytus<sup>1</sup>, Karolina Fitobór<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Gdańska Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Gdańsk, Polska

\* autor do korespondencji, e-mail: kornelia.pyzewicz@pg.edu.pl

**Streszczenie:** Ograniczone zasoby wód naturalnych powodują, że coraz częściej rozpatrywane są alternatywne źródła zaopatrzenia w wodę, w tym tzw. „ścieki szare”, czyli głównie ścieki z kąpeli, prania oraz zmywania naczyń, pochodzące najczęściej z indywidualnych gospodarstw domowych. Do oczyszczania ścieków szarych najczęściej proponuje się procesy mechaniczne (sedymentację i filtrację), koagulację, biodegradację oraz procesy membranowe. Te ostatnie, w zależności od zastosowanego procesu, pozwalają uzyskać wysokie efekty oczyszczania.

Głównym ograniczeniem w zastosowaniu tych metod jest blokowanie membran, związane z obecnością w filtrowanej wodzie zawiesin mechanicznych oraz związków koloidalnych. Z tego względu zastosowanie procesów membranowych do oczyszczania ścieków szarych powinno być poprzedzone konwencjonalnymi metodami oczyszczania. Jednym z najczęściej stosowanych parametrów, pozwalających określić przydatność wody lub ścieków do oczyszczania z zastosowaniem procesów membranowych jest parametr SDI (Silt Density Index).

Celem niniejszej pracy było określenie skuteczności oczyszczania ścieków szarych z zastosowaniem koagulacji jako sposobu wstępnego przygotowania do dalszego ich oczyszczania z wykorzystaniem procesów membranowych. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem naturalnie powstałych ścieków szarych pochodzących z kąpeli z indywidualnych gospodarstw domowych. Do koagulacji zastosowano wytypowany podczas wcześniejszych badań wysokozasadowy modyfikowany koagulant glinowy PAX XL19H firmy Kemipol. Zastosowano dawki w ilościach od 5 do 40 mg Al/l. Oczyszczanie ścieków przeprowadzono w układzie: dozowanie koagulantu, mieszanie szybkie, mieszanie powolne, sedymentacja oraz filtracja przez złożę z piasku



kwarcowego. Dla tak oczyszczonych ścieków wyznaczano indeks SDI zgodnie ze standardem ASTM D4189-07. Po koagulacji nawet dla najniższych dawek koagulantu oczyszczone ścieki pod względem estetycznym były bardzo dobrej jakości i wizualnie nie odbiegały od wody wodociągowej. Jedynym organoleptycznym parametrem wskazującym na obecność w wodzie zanieczyszczeń było stosunkowo intensywne pienienie się wody. Obserwacje te potwierdziły analizy jakościowe oczyszczonej wody. W większości próbek ścieków po koagulacji mętność oraz barwa były niższe od odpowiednio 1,0 NTU oraz 15 mg Pt/l. Natomiast ChZT oraz absorbancja UV wskazywały na obecność w wodzie związków organicznych. Ponadto wszystkie parametry jakościowe malały wraz ze wzrostem dawki koagulantu. Jakość nieoczyszczonych ścieków szarych, uniemożliwiała pomiar indeksu SDI, gdyż czas pomiaru pierwszych 500 ml ścieków przekraczał 15 minut. Po koagulacji Indeks SDI mieścił się już w zakresie od 5,0 dla najniższej dawki koagulantu do około 4,0 dla dawek 20 mg Al/l i większych.

**Słowa kluczowe:** ścieki szare, koagulacja, filtracja membranowa, SDI



## Ocena efektywności odzysku litu z wód i koncentratów geotermalnych z wykorzystaniem procesów membranowych

Barbara Tomaszewska<sup>1\*</sup>, Magdalena Tyszer<sup>2</sup>, Michał Kaczmarczyk<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica, A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

<sup>2</sup> Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, ul. Wybickiego 7A, 31-261 Kraków, Polska

\* autor do korespondencji, e-mail: [bts@agh.edu.pl](mailto:bts@agh.edu.pl)

**Streszczenie:** Światowe zapotrzebowanie na rzadkie pierwiastki, w tym lit, rośnie z roku na rok ze względu wzrost m. in. produkcji baterii litowo-jonowych. Skłania to do poszukiwania efektywnych metod jego pozyskiwania z alternatywnych źródeł, takich jak wody geotermalne. Jak dotąd wskazano, że wody te stanowią obiecujące zasoby litu, między innymi w Ameryce Południowej, Japonii oraz w niektórych częściach Europy, w tym w Niemczech oraz w Anglii (Kornwalia). W Polsce, dotychczas rozpoznane zasoby wód geotermalnych są w mniejszym stopniu zasobne w lit, aniżeli we wskazanych lokalizacjach. Celem badania była ocena efektywności usuwania litu z wód geotermalnych o różnym zasoleniu przy użyciu procesów membranowych, a dokładniej nanofiltracji (NF). Przeprowadzono eksperymenty w skali laboratoryjnej na próbkach wód geotermalnych o zasoleniu od kilku do ponad kilkudziesięciu g/dm<sup>3</sup>. Przeanalizowano wpływ parametrów operacyjnych, takich jak ciśnienie operacyjne, temperatura i pH, na wydajności odzysku litu. Dodatkowo, wykonano modelowanie geochemiczne w programie PHREEQC w celu prognozy rozkładu specjacji litu w wodach geotermalnych, co w sposób istotny wpływa na efektywność separacji za pomocą procesów membranowych.



Badania dostarczyły cennych informacji na temat możliwości wykorzystania NF do usuwania litu z wód geotermalnych oraz podkreśliły znaczenie modelowania geochemicznego, co może przyczynić się do opracowania bardziej efektywnych i opłacalnych ekonomicznie metod pozyskiwania tego cennego pierwiastka z alternatywnych źródeł.

**Słowa kluczowe:** lit, wody geotermalne, procesy membranowe, koncentraty geotermalne,

**Podziękowania:** Projekt badawczy finansowany ze środków programu „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza” w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.



## Biofouling podczas ultrafiltracji ścieków z myjni samochodowej

Piotr Woźniak<sup>1\*</sup>, Marek Gryta<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Katedra Technologii Chemicznej Nieorganicznej i Inżynierii Środowiska

\* autor do korespondencji, e-mail: pwozniak@zut.edu.pl

**Streszczenie:** Myjnie samochodowe zużywają duże ilości wody. Z tego względu w niektórych myjniach stosuje się instalację do częściowego recyklingu wody. Najczęściej w tym celu wykorzystuje się sedymentację i filtrację przez złożę piaskowe. Jednak takie oczyszczanie nie usuwa bakterii, które są później rozpylane pod wysokim ciśnieniem w formie aerozolu, stanowiąc potencjalne zagrożenie dla pracowników/osób myjących samochód. Dlatego do recyklingu wody na myjniach samochodowych proponuje się zastosować ultrafiltrację, która pozwala usunąć mikroorganizmy z oczyszczanej wody. Ze względu na fouling, membrany są okresowo czyszczone chemicznie środkami alkalicznymi (pH=10-12). Badania wykazały, że bakterie *Escherichia coli* są w 100% usuwane z instalacji już po kilkunastu minutach takiego mycia. Natomiast istotnym problem stanowią bakterie tworzące przetrwalniki, takie jak bakterie z rodzaju *Bacillus*, które wykazują silną adhezję także do powierzchni stali tworząc biofilm wewnątrz instalacji. W rezultacie, pomimo kilkusetapowego czyszczenia z użyciem kąpiei alkalicznych i kwasowych, nie wyeliminowano powstawania biofilmu na membranach. Wprowadzenie cyklicznego mycia instalacji (co 5-7 h) pozwoliło ograniczyć rozwój biofoulingu i uzyskać stabilną wydajność instalacji membranowej.

**Słowa kluczowe:** membrany, bakterie, biofouling, myjnia samochodowa

**Podziękowania:** Badania dofinansowana ze środków budżetu państwa w ramach programu Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą „Nauka dla Społeczeństwa” nr projektu NdS/538617/2021/2022 kwota dofinansowania 352 135 zł, całkowita wartość projektu 352 135 zł.

## Usuwanie substancji farmaceutycznych z wody

Izabela Zielińska<sup>1,2\*</sup>, Daniel Polak<sup>1</sup>, Maciej Szwałt<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Warszawska

<sup>2</sup> Szkoła Doktorska, Politechnika Warszawska

\* autor do korespondencji, e-mail: izabela.zielinska.dokt@pw.edu.pl

**Streszczenie:** Procesy membranowe są wykorzystywane do oczyszczania wody z różnych związków, w tym z substancji farmaceutycznych. W celu zwiększenia efektywności usuwania tych substancji, można poprawić właściwości adsorpcyjne membran. W przeprowadzonych badaniach modyfikując powierzchnię membran roztworem zawierającym wielościenne nanorurki węglowe sfunkcjonalizowane kwasem karboksylowym (z ang. *carboxylated multiwall carbon nanotubes* – MWCNT-COOH) zwiększono efektywność usuwania tetracykliny i sulfadiazyny. Do modyfikacji komercyjnie dostępnych membran PVDF (z ang. *polyvinylidene fluoride*) o średniej średnicy porów 0,2  $\mu\text{m}$  (*PCI Membranes FiltrationGrup*) wykorzystano metodę dip-coating. Wytwarzanie modyfikującej warstwy filtracyjnej na powierzchni membrany odbywało się przez proces suchej inwersji faz. Warstwę modyfikującą stanowiła mieszanina PVDF z MWCNT-COOH w stosunku masowym 9:1. Właściwości adsorbujące zmodyfikowanych membran określono w układzie stacjonarnym oraz przepływowym z wykorzystaniem typowej instalacji do procesu mikrofiltracji. Dodatkowo analizowano wpływ pH środowiska na ilość usuwanej substancji farmaceutycznej. Stwierdzono limitujący wpływ tego parametru na efektywność procesu.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że względem membran niemodyfikowanych efektywność membran zmodyfikowanych przy usuwaniu tetracykliny jest 2,6 wyższa.

**Słowa kluczowe:** substancje farmaceutyczne, nanorurki węglowe, membrany

## Zastosowanie biopolimerowych membran na bazie chitozanu i alginianu jako klucz w redukcji emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery

Paweł Grzybek<sup>1,2,\*</sup>, Wiktoria Zych<sup>1</sup>, Janusz Pryciuk<sup>1</sup>, Gabriela Dudek<sup>1</sup>

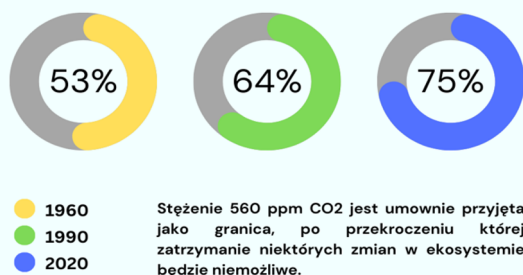
<sup>1</sup> Katedra Fizykochemii i Technologii Polimerów, Wydział Chemiczny, Politechnika Śląska ul. ks. M. Strzody 9, 44-100 Gliwice

<sup>2</sup> Wspólna Szkoła Doktorów ul. Akademicka 2a, 44-100 Gliwice

\* autor do korespondencji, e-mail: pgrzybek@polsl.pl

**Streszczenie:** Problem nadmiernej emisji dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>) do atmosfery jest wciąż aktualny i pomimo tak wielu działań mających na celu jej ograniczenie, stężenie tego gazu w powietrzu wzrasta z roku na rok (jak pokazano na Rysunku 1). Jak wynika z danych dotyczących źródeł emisji CO<sub>2</sub>, obecnie największa ilość tego gazu emitowana jest do atmosfery ze spalania paliw kopalnych zarówno w przemyśle jak i w gospodarstwach domowych. Oprócz CO<sub>2</sub> jako uboczny produkt spalania bardzo często powstaje również azot (N<sub>2</sub>). Z drugiej strony, tlen (O<sub>2</sub>) jest gazem, w atmosferze którego zachodzi spalanie paliw, dlatego także niemal zawsze występuje razem z CO<sub>2</sub>.

### ILOŚĆ CO<sub>2</sub> W ATMOSFERZE W STOSUNKU DO GRANICZNEGO STĘŻENIA 560 PPM



Rysunek 1 Ilość dwutlenku węgla w atmosferze ziemskiej w stosunku do granicznej ilości 560 ppm w latach 1960, 1990 i 2020.

W celu ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery można wykorzystać proces rozdziału membranowego mieszanin CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> tak, aby CO<sub>2</sub> mógł zostać zawrócony do innych procesów, przekształcony w bardziej stabilną formę (na przykład anion HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> lub formaldehyd) bądź też zmagazynowany i przechowany w specjalnych zbiornikach.





Przedmiotem niniejszych badań jest określenie możliwości zastosowania biopolimerowych membran na bazie alginianu sodu i chitozanu do membranowego rozdziału mieszanin  $\text{CO}_2/\text{N}_2$  i  $\text{CO}_2/\text{O}_2$ . Ze względu na ograniczoną wytrzymałość mechaniczną membran, zaproponowano dodatek naturalnych plastyfikatorów z grupy związków polihydroksylowych takich jak glicerol i sorbitol. Zbadano także wpływ ilości poszczególnych plastyfikatorów na stopień rozdziału mieszanin  $\text{CO}_2/\text{N}_2$  i  $\text{CO}_2/\text{O}_2$  oraz na wydajność separacji membranowej. Na podstawie założeń mechanizmu rozpuszczalnościowo – dyfuzyjnego określono także, który z czynników (sorpcja i dyfuzja) i w jakim stopniu wpływa na całkowitą selektywność membrany. W szczególności, dokonano porównania struktury otrzymanych membran zawierających plastyfikatory poprzez analizę obrazów ze skaningowego mikroskopu elektronowego, porównanie hydrofilowości powierzchni membran za pomocą pomiaru kąta zwilżania oraz analizę wytrzymałości mechanicznej membran.

Opisane badania właściwości transportowych i separacyjnych dla membran z biopolimerów zawierających plastyfikatory stanowią wstęp do dalszych rozważań nad zastąpieniem komercyjnych membran do separacji gazów membranami całkowicie biodegradowalnymi. Ponadto porównanie parametrów fizykochemicznych tych membran z membranami komercyjnymi pozwoli na określenie, czego jeszcze potrzeba, aby biomembrany stały się równie wydajne w stosunku do komercyjnych.

**Podziękowania:** Badania zostały sfinansowane w całości lub częściowo przez Narodowe Centrum Nauki, numer grantu: 2022/47/O/ST8/01853.



## Termiczna konwersja zużytych membran polimerowych w materiały węglowe dedykowane do wytwarzania smarów plastycznych

Maciej Życki<sup>1\*</sup>, Monika Łożyńska<sup>1</sup>, Paweł Radulski<sup>1</sup>, Rafał Kozdrach<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Technologii Eksploatacji

\* autor do korespondencji, e-mail: maciej.zycki@itee.lukasiewicz.gov.pl

**Streszczenie:** W pracy zweryfikowano możliwość zastosowania termicznej konwersji do zagospodarowania odpadów pofiltracyjnych w postaci zużytych membran polimerowych oraz przedstawiono potencjalne zastosowanie wytworzonego materiału węglowego. Procedura przygotowania materiału odpadowego obejmuje osuszanie i rozdrabnianie membran, a dopiero w następnym etapie ich konwersję termiczną, której parametry są uzależnione od rodzaju polimeru (wsadu do procesu termicznej konwersji). W pracy zaprezentowano wyniki uzyskane podczas termicznej konwersji membran z polieterosulfonu (PES) oraz poliamidu (PA-TFC) prowadzonej w temperaturze 400-600°C w atmosferze CO<sub>2</sub>. Wytworzone materiały węglowe poddano analizie strukturalnej z użyciem spektroskopii fourierowskiej w podczerwieni (FTIR) oraz spektroskopii Ramana. Wyniki analiz spektroskopowych potwierdziły degradację membran do węgla w przedziale temperatur 500-600°C. Zastosowanie membran z PES oraz PA-TFC jako surowca do procesu termicznej konwersji przyczyniło się do wytworzenia materiału węglowego, w którym wykryto obecność dwóch pasm: G (określające strukturę grafitową) przy liczbie falowej ok. 1590 cm<sup>-1</sup> oraz D (tzw. pasmo defektów) przy liczbie falowej ok. 1350 cm<sup>-1</sup> w temperaturze 600°C. Natomiast dla temperatury 500°C dla obydwu typów membran obserwowano tylko pik G, natomiast intensywność pików D była poniżej progu oznaczalności aparatu. Na podstawie uzyskanych wartości intensywności pików obliczono stosunki I<sub>D</sub>/I<sub>G</sub> pozwalające ocenić stopień uporządkowania struktury badanych materiałów. Najbardziej uporządkowaną strukturą charakteryzował się materiał węglowy wytworzony podczas termicznej konwersji membrany z PES w temperaturze 500°C. W tym przypadku obserwowano pik G o największej intensywności. Biorąc pod uwagę, że stosunek ten dla wysoce



uporządkowanej struktury grafitu dąży do 0 można stwierdzić, że wytworzony materiał posiada strukturę grafitopodobną. Materiał o takiej strukturze potencjalnie może zastąpić komercyjny grafit stosowany podczas wytwarzania smarów plastycznych. Na podstawie wyników przeciwzużyciowych testów tribologicznych (graniczne obciążenie zużycia -  $G_{oz}/40$ , graniczne obciążenie zatarcia -  $P_{oz}$ ) przeprowadzonych na smarze plastycznym wytworzonym z 5% dodatkiem opracowanego materiału węglowego stwierdzono, że wpływa on na obniżenie parametru  $G_{oz}/40$ . Jednak wartość utrzymuje się w przedziale 400-600N/mm<sup>2</sup>, co klasyfikuje smar jako skuteczny przeciwzużyciowo jednocześnie podnosząc parametr  $P_{oz}$  o 57% w stosunku do smaru bez dodatku materiału węglowego. W konsekwencji wpływa to pozytywnie na eksploatację smaru w trudnych warunkach. Badania zrealizowane w niniejszej pracy rozszerzają zagadnienia materiałowe dotyczące zagospodarowania odpadów pofiltracyjnych w postaci zużytych membran polimerowych o dane dotyczące ich termicznej konwersji w użyteczne materiały węglowe.

**Słowa kluczowe:** zużyte membrany polimerowe, zagospodarowanie odpadów pofiltracyjnych, konwersja termiczna, grafitopodobne dodatki do smarów