

XIV Ogólnopolska
Konferencja
**Przepływów
Wielofazowych**
Gdańsk 13-15.10.2025



KSIĄŻKA ABSTRAKTÓW

Gdańsk 13–15.10.2025

Komitet Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Polska Akademia Nauk

**Katedra Inżynierii Procesowej i Technologii Chemicznej,
Wydział Chemiczny, Politechnika Gdańska**

**Pomorska Rada Federacji Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych NOT,
Sekcja Inżynierii i Aparatury Chemicznej SITPChem**

REDAKCJA

dr hab. inż. Donata Konopacka-Łyskawa, prof. PG

dr inż. Piotr Rybarczyk

SKŁAD I PROJEKT OKŁADKI

Ireneusz Jelonek

Materiały konferencyjne zostały przygotowane na podstawie abstraktów przesłanych przez uczestników XIV Ogólnopolskiej Konferencji Przepływów Wielofazowych. Nadesłane prace zostały sprawdzone przez wybrane osoby z Komitetu Naukowego i zatwierdzone jako zgodne z tematyką konferencji. Organizatorzy nie ponoszą odpowiedzialności za ich treść.

Strona internetowa konferencji:

<https://event.mostwiedzy.pl/event/79/>

Oferta wydawnicza Politechniki Gdańskiej jest dostępna pod adresem

<https://www.sklep.pg.edu.pl>

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2025

ISBN 978-83-7348-939-4

Patronat honorowy



Rektor Politechniki Gdańskiej

prof. dr hab. inż. Krzysztof Wilde, czł. koresp. PAN

Komitet naukowy

przewodnicząca

prof. dr hab. inż. Bożenna Kawalec-Pietrenko

prof. dr hab. inż. Dorota Antos	Politechnika Rzeszowska
dr hab. inż. Krystian Czernek, prof. PO	Politechnika Opolska
prof. dr hab. inż. Ewa Dłuska	Politechnika Warszawska
prof. dr hab. inż. Marek Dziubiński	Politechnika Łódzka
dr hab. inż. Donata Konopacka-Łyskawa, prof. PG	Politechnika Gdańska
prof. dr hab. inż. Paweł Sobieszuk	Politechnika Warszawska
prof. dr hab. inż. Tomasz Sosnowski	Politechnika Warszawska
dr hab. inż. Jacek Stelmach	Politechnika Łódzka
prof. dr hab. inż. Stanisław Witczak	Politechnika Opolska
prof. dr hab. inż. Lidia Zander	Uniwersytet Warmińsko-Mazurski

Komitet organizacyjny

dr inż. Izabela Frąckiewicz	Politechnika Gdańska
dr inż. Iwona Hołowacz, prof. PG	Politechnika Gdańska
dr hab. inż. Donata Konopacka-Łyskawa, prof. PG	Politechnika Gdańska
dr inż. Piotr Rybarczyk	Politechnika Gdańska
dr inż. Bartosz Szulczyński	Politechnika Gdańska

Spis treści

WYKŁAD INAUGURACYJNY

WYBRANE ELEMENTY DOTYCZĄCE EDUKACJI INŻYNIERÓW DLA PRZEMYSŁU 4.0.....	7
<i>Bożenna Kawalec-Pietrenko</i>	

ABSTRAKTY REFERATÓW I POSTERÓW

1. WPŁYW PARAMETRÓW PROCESOWYCH NA BEZPOŚREDNIĄ KARBONATYZACJĘ GIPSU W OBECNOŚCI AMONIAKU I 1,4-BUTANODIOLU.....	8
<i>Temesgen Amibo, Donata Konopacka-Łyskawa</i>	
2. OBRAZOWA ANALIZA PRZEPIŃWÓW DWUFUZOWYCH JAKO PODSTAWA ADAPTACYJNEGO STEROWANIA I SAMOREGULACJI STRUKTUR PRZEPIŃWU.....	9
<i>Stanisław Anweiler, Maciej Masiukiewicz, Marek Krok</i>	
3. OPTYMALIZACJA PROCESU PRODUKCJI POLI(CHLORKU WINYLU) Z WYKORZYSTANIEM OPROGRAMOWANIA DO MODELOWANIA PROCESÓW CHEMICZNYCH.....	10
<i>Daniel Bartkowski</i>	
4. WPŁYW MATERIAŁU WYPEŁNIAJĄCEGO NA SKUTECZNOŚĆ USUWANIA ZWIĄZKÓW BTEX W TRÓJFAZOWYM REAKTORZE DO BIOFILTRACJI GAZÓW ODLOTOWYCH.....	12
<i>Krzysztof Cichon, Piotr Rybarczyk, Jacek Gębicki</i>	
5. BEZPOŚREDNIA EKSFOLIACJA Z ZASTOSOWANIEM DITLENKU WĘGLA W STANIE NADKRYTYCZNYM I ULTRADŹWIĘKÓW JAKO NOWA METODA WYTWARZANIA GRAFENU PŁATKOWEGO.....	13
<i>Małgorzata Djas, Marek Henczka, Adrian Chlanda, Artur Dobrowolski, Jakub Jagiełło, Magdalena Romaniec</i>	
6. SUSZENIE AEROŻELI KRZEMOORGANICZNYCH Z ZASTOSOWANIEM PŁYNU W STANIE NADKRYTYCZNYM.....	14
<i>Małgorzata Djas, Bartosz Nowak, Magdalena Romaniec, Marek Henczka</i>	
7. WIELOFAZOWY NOŚNIK EMULSYJNY DO DOSTARCZANIA TERAPEUTYKÓW.....	15
<i>Ewa Dłuska, Agnieszka Markowska-Radomska, Konrad Kosicki</i>	
8. MODELOWANIE HYDRODYNAMIKI CZĄSTEK W MINIKRYSTALIZATORACH METODĄ CFD-DPM.....	16
<i>Bartłomiej Filip, Roman Bochenek, Dorota Antos</i>	
9. WPŁYW DOMIESZEK CEO ₂ NA MAGAZYNOWANIE WODORU W METANOLU I JEGO KATALITYCZNE UWALNIANIE.....	18
<i>Izabela Frąckiewicz, Marcin Łapiński, Marta Przeźniak-Welenc, Andrzej Rogala, Jacek Gębicki</i>	
10. BADANIE ZDOLNOŚCI RUCHU NANOCZĄSTEK TYPU JANUS PT-AG W WARUNKACH IN-SITU Z POMOCĄ LC-TEM.....	19
<i>Anna Gołqbiewska, Hanna Zagórska, Natalia Wyzlic, Magdalena Parlińska-Wojtan, Mirosława Pawlyta</i>	
11. MODELOWANIE UWALNIANIA LEKU Z IMPLANTU HYDROŻELOWEGO DO BŁONY ŚLUZOWEJ DZIAŚŁA.....	21
<i>Tomasz Grygier, Maciej Grabowski, Anna Trusek</i>	
12. ANALIZA CFD HYDRODYNAMIKI PODGRZEWANIA WODY W RÓŻNYCH WARUNKACH PROCESOWYCH – WSTĘPNE BADANIE OPTYMALNYCH PARAMETRÓW ZACIERANIA...	22
<i>Kacper Jagiełło, Wojciech Ludwig</i>	
13. TRANSPORT RADONU W GLEBIE JAKO PRZYKŁAD PRZEPIŃWU GAZU W UKŁADZIE WIELOFAZOWYM CIAŁO STAŁE–CIECZ–GAZ.....	23
<i>Daniel Janecki</i>	

14. AN EVALUATION OF PHOSPHORUS-32 AS A RADIOTRACER FOR DETERMINING RTD IN AN AERATED CSTR PRODUCING POLY(3-HYDROXYBUTYRATE).....	24
<i>Magdalena Jasińska M., Otton K. Roubinek, Tomasz Smoliński, Katarzyna Kozak, Jacek Palige, Andrzej G. Chmielewski</i>	
15. INŻYNIERIA MOLEKULARNA W PROJEKTOWANIU NANOKATALIZATORÓW NA WYPEŁNIENIACH STRUKTURALNYCH DO KONWERSJI CO ₂	26
<i>Hanna Kierzkowska-Pawlak, Bartosz Panek</i>	
16. ROZWÓJ TECHNOLOGII ABSORPCJI CO ₂ – NOWE ROZPUSZCZALNIKI, NOWOCZESNA APARATURA I INTEGRACJA PROCESOWA	27
<i>Donata Konopacka-Łyskawa, Mateusz Siemieniuk</i>	
17. OCZYSZCZANIE BRZECZEK POFERMENTACYJNYCH Z ZASTOSOWANIEM SEPARACJI PIANOWEJ	28
<i>Karolina Kucharska, Edyta Słupek, Ilona Strzelczyk, Jacek Gębicki</i>	
18. WYKORZYSTANIE ODPADOWEJ BIOMASY DO OTRZYMYWANIA KATALIZATORÓW DEDYKOWANYCH DO PROCESU REFORMINGU PAROWEGO METANOLU	29
<i>Natalia Łukasik, Izabela Frąckiewicz, Ewelina Pawelczyk, Andrzej Rogala, Michał Jakubowski, Jacek Gębicki</i>	
19. PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIE ZAAWANSOWANYCH MODELI REOLOGICZNYCH DO MODELOWANIA PRZEPIYWU PŁYNÓW WIELOFAZOWYCH.....	30
<i>Łukasz Makowski, Wojciech Orciuch, Krystian Jędrzejczak, Radosław Krzosa</i>	
20. HYDRATACJA ZAGĘSTNIKÓW STOSOWANYCH DO FARB WŁÓKIENNICZYCH – DOBÓR RODZAJU MIESZADŁA I PARAMETRÓW PROCESOWYCH.....	32
<i>Piotr Owczarz, Jacek Stelmach</i>	
21. OTRZYMYWANIE DOMIESZKOWANEGO HYDROKSYPATYTU W POSTACI NANOCZĄSTEK.....	33
<i>Kornel Prystupiak, Witold Zarzycki, Michał Wojasiński, Paweł Sobieszuk</i>	
22. THE INFLUENCE OF LIQUID DENSITY AND VISCOSITY DIFFERENCES ON THE GENERATION OF THE INTERMATERIAL SURFACE AREA IN THE PROCESS OF HYDRODYNAMIC FOCUSING	34
<i>Antoni Rozeń</i>	
23. EFFECTS OF GAS AND LIQUID PHASE MODIFICATION ON THE PERFORMANCE OF BTEX COMPOUNDS REMOVAL FROM AIR IN BIOTRICKLING FILTERS.....	36
<i>Piotr Rybarczyk, Patrycja Pliszka, Karolina Kucharska, Daniel Dobslaw, Benjamin Korth, Jacek Gębicki</i>	
24. REORGANIZACJA DYSTRYBUCJI PRZEPIYWU DWUFUZOWEGO W MIKORADIATORZE DLA CELÓW POPRAWY CHŁODZENIA.....	37
<i>Gurjeet Singh, Paweł Dąbrowski, Dariusz Mikielewicz, Ritunesh Kumar</i>	
25. BIOCHEMICZNY KOD WODORU, CZYLI JAK ZAWARTOŚĆ BIAŁKA NAPĘDZA AKTYWNOŚĆ FOTOSYNTETYZUJĄCYCH BAKTERII W ZINTEGROWANYM PROCESIE FERMENTACYJNYM.....	38
<i>Edyta Słupek, Karolina Kucharska, Ilona Strzelczyk, Jacek Gębicki</i>	
26. SYMULACJE CFD MIESZANIA CIECZY MIESZADŁAMI STATYCZNYMI	39
<i>Jacek Stelmach</i>	
27. REOLOGICZNE I HYDRODYNAMICZNE ASPEKTY MECHANICZNEGO MIESZANIA MIKROŻELI I MAGNETOŻELI: PRZEGLĄD ZAGADNIENÍ.....	40
<i>Anna Story, Grzegorz Story, Rafał Rakoczy, Kleopatra Majewska</i>	

28. NUMERYCZNA ANALIZA PRZEPIYU UKŁADÓW CIAŁO STAŁE–CIECZ Z UDZIAŁEM CZĄSTEK ŻELOWYCH: WPŁYW PARAMETRÓW REOLOGICZNYCH I PROCESOWYCH NA ROZKŁAD PRĘDKOŚCI W MIESZALNIKU	41
<i>Grzegorz Story, Anna Story, Rafał Rakoczy, Kleopatra Majewska</i>	
29. BIOWODÓR Z ODPADÓW FERMENTACYJNYCH – EFEKTYWNOŚĆ I PRODUKTY UBOCZNE PROCESU FOTOFERMENTACJI Z UDZIAŁEM RHODOSPIRILLUM RUBRUM	42
<i>Ilona Strzelczyk, Karolina Kucharska, Edyta Słupek, Jacek Gębicki</i>	
30. MODELOWANIE PROCESÓW W PRODUKCJI SODY METODĄ SOLVAYA Z WYKORZYSTANIEM CYFROWYCH BLIŹNIAKÓW	43
<i>Sławomir Szczeblewski, Jacek Gębicki</i>	
31. WPŁYW DODATKU ZWIĄZKU HYDROFILOWEGO NA EFEKTYWNOŚĆ USUWANIA ZWIĄZKÓW HYDROFOBOWYCH W BIOFILTRZE ZE ZŁOŻEM ZRASZANYM.....	44
<i>Bartosz Szulczyński, Dominik Dobrzyniewski, Piotr Rybarczyk, Jacek Gębicki</i>	
32. MODELOWANIE HEMOLIZY W PRZECIEKU MITRALNYM PRZY UŻYCIU MODELU REOLOGICZNEGO OPARTEGO NA BILANSIE POPULACJI	45
<i>Krzysztof Truchel, Krzysztof Wojtas, Łukasz Sadłowski, Bogdan Ciszek, Wojciech Orciuch, Łukasz Makowski</i>	
33. WPŁYW PARAMETRÓW PRACY MŁYNA KULECZKOWEGO NA ENERGOCHŁONNOŚĆ PROCESU DEAGLOMERACJI WYBRANYCH PIGMENTÓW FARB DRUKARSKICH	46
<i>Julia Wilewska, Radosław Krzosa, Adam Dudala, Paweł Gierycz, Wojciech Orciuch, Łukasz Makowski</i>	
34. HYDRODYNAMIKA OPADAJĄCEGO W RURACH PIONOWYCH PIERŚCIENIOWEGO PRZEPIYU CIECZY DWUFAZOWEJ W STRUDZE TRÓJFAZOWEJ GAZ–CIECZ–CIECZ	47
<i>Stanisław Witeczak, Krystian Czernek</i>	
35. THE GROWING PROBLEM OF WATER POLLUTION WITH MICROPOLLUTANTS	48
<i>Anna Zielińska-Jurek, Anna Grzegórska, Jakub Smoliński, Ivar Zekker, Jiexi Zhong, Kai Bester</i>	
INDEKS NAZWISK	49

WYBRANE ELEMENTY DOTYCZĄCE EDUKACJI INŻYNIERÓW DLA PRZEMYSŁU 4.0

Bożenna Kawalec-Pietrenko

Pomorska Rada Federacji Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych NOT, Sekcja Inżynierii i Aparatury Chemicznej SITPChem

Czwarta Rewolucja Przemysłowa zaistniała w świecie, ale konieczna jest stała realizacja szeregu działań dla wejścia w zmieniające się w sposób ciągły obszary przemysłu. Okres Przemysłu 4.0 jest okresem zaniku bariery ludzie–maszyny. Przyczyną tego jest unifikacja rzeczywistego świata maszyn i technologii produkcyjnych ze światem wirtualnym Internetu.

Podstawą Przemysłu 1.0, tj. Pierwszej Rewolucji Przemysłowej dokonanej w wieku XVIII było odkrycie pary wodnej jako źródła energii. Opracowano wówczas mechaniczne krosno tkackie i wynaleziono silnik parowy.

Za początek Przemysłu 2.0 uznano wynalezienie elektryczności na przełomie wieków XIX i XX, silnika Diesla i linii montażowej samochodów. Ceny samochodów produkowanych masowo w latach 1909–1913 na liniach montażowych spadły o około 35% w stosunku do produkowanych wcześniej nie na liniach montażowych.

W latach 70. XX wieku rozpoczął się okres Przemysłu 3.0. Do głównych faktów charakteryzujących ten okres zalicza się cyfryzację, powstawanie coraz wydajniejszych komputerów, automatyzację produkcji oraz sterowania procesami za pomocą oprogramowania.

Wyniki testów i eksperymentów dowiodły, że sztuczna inteligencja bazując na danych legislacji i historii spraw sądowych, była w stanie wydać wyrok bardzo bliski wyrokom wydawanym przez zawodowych sędziów.

Terminu Czwarta Rewolucja Przemysłowa, tj. Przemysł 4.0 po raz pierwszy użył prof. fizyki Henning Kagermann w roku 2011. Przemysł 4.0 rozumie się jako zanik bariery ludzie–maszyny. Powstające systemy cyberfizyczne są przekształcane w inteligentne ciągi produkcyjne, w których maszyny komunikują się, podejmują decyzje i sterują procesami wytwórczymi.

Niezbędnym narzędziem dla wypracowania konkurencyjności firmy jest cyfryzacja. Rozwój Przemysłu 4.0 zmierzają ku temu, aby komputery bardziej trafnie niż człowiek analizowały fakty procesowe i przewidywały skutki działań, a zatem przewidywały przyszłość procesów wytwórczych. Podstawowym wymogiem zaistnienia czwartej rewolucji przemysłowej w zakładzie produkcyjnym jest automatyczna akwizycja danych procesu produkcyjnego. Jednakże nie ma żadnych wątpliwości, że główną siłą napędową rozwoju Przemysłu 4.0 jest cena produktu.

W Europie większość przedsiębiorstw znajduje się w obszarze rewolucji 3.0, to znaczy przedsiębiorstwa są w pełni zautomatyzowane. W Polsce jest niewiele takich fabryk i implementacja systemu spełniającego zamierzenia Przemysłu 4.0 jest obecnie w Polsce poza zasięgiem większości przedsiębiorstw.

Niestety uczelnie techniczne niewiele korzystają z doświadczeń przemysłowych. Obecnie zajęcia ze studentami prowadzą młodzi zdolni asystenci nakierowani na pracę naukowo-badawczą. Wskazane byłoby, aby w miarę możliwości część zajęć na uczelniach prowadzili specjaliści z przemysłu i biur projektowych.

Byłoby korzystne, gdyby przedmioty takie jak: aparatura, inżynieria procesowa i technologia chemiczna były prowadzone przez specjalistów z dużym doświadczeniem w projektowaniu, wdrażaniu technologii i obsługi linii technologicznych.

Ze strony przemysłu wyrażana jest opinia, że należy stworzyć system umożliwiający absolwentom przejście następującej drogi: uczelnia wyższa oraz staż w instytucjach i zespołach, które opracowały i wdrożyły nowe technologie i nową aparaturę.

Istnieje również opinia, że uczelnie i przemysł są przekonani, że studenci jako przyszli inżynierowie winni odbyć w przemyśle obowiązkowe praktyki, realizując wysokie wymagania stawiane ze strony zakładu przemysłowego. Zdaniem przemysłu uczelnie powinny tworzyć i rozwijać formy ustawicznego kształcenia w zakresie wąskich specjalistycznych studiów podyplomowych.

WPŁYW PARAMETRÓW PROCESOWYCH NA BEZPOŚREDNIĄ KARBONATYZACJĘ GIPSU W OBECNOŚCI AMONIAKU I 1,4-BUTANODIOLU

Temesgen Amibo, Donata Konopacka-Łyskawa

Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny, Katedra Inżynierii Procesowej i Technologii Chemicznej

Karbonatyzacja mineralna to proces, w którym jony metali dwuwartościowych, takich jak wapń, reagują z dwutlenkiem węgla, prowadząc do powstania trwałych węglanów. Może on zachodzić zarówno w fazie stałej, jak i ciekłej. Wyróżnia się dwie główne metody mineralnej karbonatyzacji: bezpośrednią i pośrednią. W karbonatyzacji bezpośredniej rozpuszczanie i karbonatyzacja zachodzą jednocześnie w jednym reaktorze, natomiast w podejściu drugim etapy te są rozdzielone. Obecnie, oprócz minerałów naturalnych, do karbonatyzacji wykorzystuje się również różne odpady stałe i ciekłe, takie jak żużel hutniczy, odpady betonowe, fosfogips, popioły z łupków bitumicznych czy ciecz podestylacyjną z procesu Solvaya. Wykorzystanie odpadów w procesie karbonatyzacji wpisuje się w ideę gospodarki cyrkularnej. Zamiast składować odpady, przekształca się je w wartościowe produkty, np. węglan wapnia do zastosowań w budownictwie, rolnictwie, przemyśle papierniczym lub przetwórstwie polimerów.

Celem niniejszej pracy było zbadanie wpływu wybranych parametrów procesowych bezpośredniej karbonatyzacji gipsu na efektywność absorpcji CO_2 oraz właściwości fizykochemiczne otrzymanych cząstek stałych. Wychwył CO_2 prowadzono w obecności amoniaku z dodatkiem 1,4-butanodiolu (BUD). Eksperymenty przeprowadzono w reaktorze okresowym, stosując stosunek fazy stałej do ciekłej 1:0,015 g/dm^3 , przepływ mieszaniny $\text{CO}_2/\text{powietrze}$ 0,5 dm^3/min (15% obj. CO_2) oraz czas reakcji 70 minut. Badano wpływ zmiennych procesowych, takich jak stosunek molowy $\text{Ca}:\text{NH}_3$, częstość obrotów mieszadła i stężenie BUD na efektywność absorpcji CO_2 , stopień przemiany gipsu oraz charakterystykę cząstek stałych. Eksperymenty zaplanowano zgodnie z planem Boxa-Behnkena. Wszystkie badane czynniki wykazały istotny statystycznie wpływ ($p < 0,05$) na efektywność karbonatyzacji i jakość produktu. Najwyższą efektywność absorpcji CO_2 (84,56%) uzyskano przy stosunku $\text{Ca}:\text{NH}_3$ 1:2,8, częstości obrotów mieszadła 500 obr./min i stężeniu BUD 0,5 M. Z kolei najwyższą zawartość CaCO_3 w proszku (88,48%) osiągnięto przy stosunku $\text{Ca}:\text{NH}_3$ 1:2,4 i częstości obrotów mieszadła 600 obr./min. Maksymalna zawartość waderytu w produkcie wyniosła 86,99%.

Wyniki wskazują, że zwiększenie stężenia amoniaku i BUD sprzyja absorpcji CO_2 oraz konwersji gipsu, a także poprawia właściwości fizykochemiczne otrzymanych cząstek węglanu wapnia.

OBRAZOWA ANALIZA PRZEPŁYWÓW DWUFAZOWYCH JAKO PODSTAWA ADAPTACYJNEGO STEROWANIA I SAMOREGULACJI STRUKTUR PRZEPŁYWU

Stanisław Anweiler¹, Maciej Masiukiewicz¹, Marek Krok²

¹Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Procesowej i Środowiska

²Politechnika Opolska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Katedra Automatyki

Złożone, nieliniowe zjawiska występujące w przepływach dwufazowych gaz–ciecz i ciało stałe–gaz utrudniają ich modelowanie, kontrolę oraz stabilną eksploatację w warunkach przemysłowych. Klasyczne metody monitoringu, oparte na pomiarze spadku ciśnienia lub sygnałów punktowych, nie pozwalają na lokalną ocenę stanu przepływu ani na jego dynamiczną klasyfikację. W pracy rozwinięto podejście łączące dynamiczną analizę obrazów z kamery wideorejestracji z elementami sterowania adaptacyjnego. Analiza czasowo-przestrzenna sygnału poziomu szarości w wybranych regionach zainteresowania (ROI) umożliwia identyfikację reżimów przepływu na podstawie takich cech sygnału jak wartość średnia, wariancja, energia oraz funkcje autokorelacyjne i korelacji między regionami.

Główna hipoteza badawcza stanowi, że włączenie dodatkowych parametrów stereologicznych do analizy obrazu może znacząco zwiększyć czułość i skuteczność systemu detekcji reżimów przepływu. W szczególności rozważane są: udział objętościowy fazy rozproszonej (VV), powierzchnia międzyfazowa na jednostkę objętości (SV), liczba obiektów (np. pęcherzyków) na jednostkę objętości (NV), średnia długość cięciw obrazowych (średni rozmiar obiektów; l'_m), średnia wolna droga między obiektami (λ).

W ramach kontynuacji projektu planowane jest wykorzystanie metod uczenia maszynowego (np. klasyfikatorów opartych na drzewach decyzyjnych, sieciach neuronowych) w celu zbadania, jak kombinacje wybranych cech (zarówno statystycznych, jak i stereologicznych) wpływają na jakość predykcji stanu przepływu. Szczególny nacisk położony zostanie na ocenę możliwości automatycznej samoregulacji procesu np. utrzymywania pożądanego reżimu fluidyzacji przez adaptacyjną kontrolę zaworu przepływowego w czasie rzeczywistym. Zaproponowane podejście stanowi fundament dla rozwoju inteligentnych systemów sterowania opartych na danych obrazowych przydatnych w energetyce, suszeniu, inżynierii chemicznej i środowiskowej.

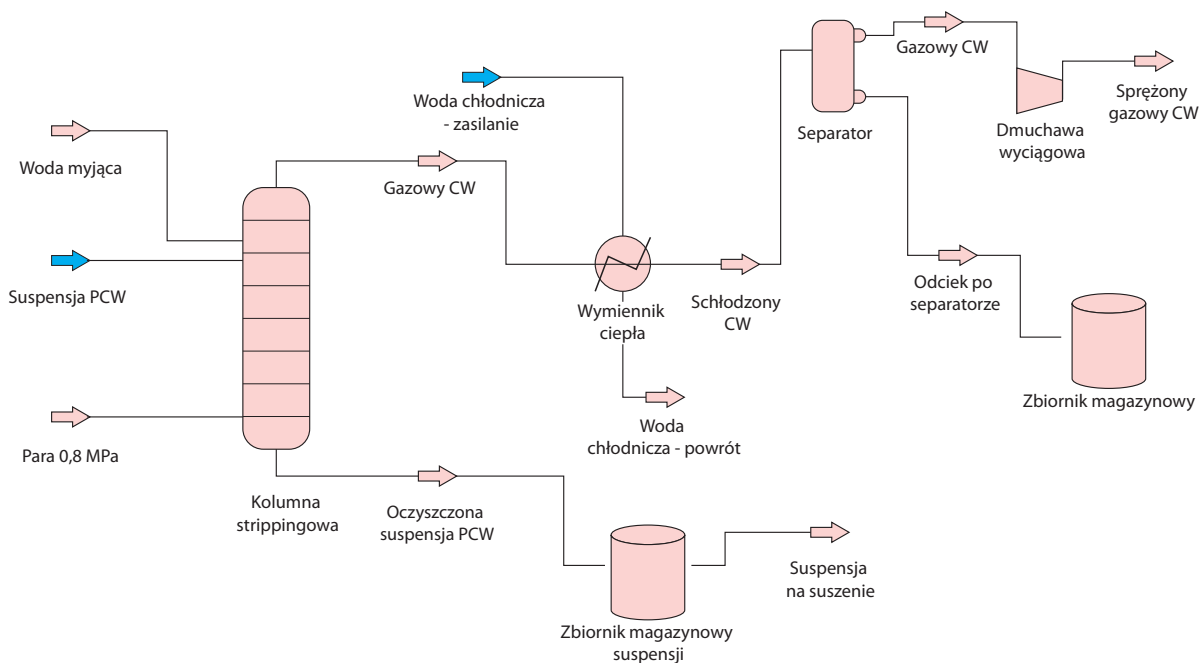
OPTIMALIZACJA PROCESU PRODUKCJI POLI(CHLORKU WINYLU) Z WYKORZYSTANIEM OPROGRAMOWANIA DO MODELOWANIA PROCESÓW CHEMICZNYCH

Daniel Bartkowski^{1,2}

¹Politechnika Gdańska, Szkoła Doktorska Wdrożeniowa

²ANWIL, Grupa ORLEN

Przemysł chemiczny jest jedną z najbardziej energochłonnych gałęzi przemysłu. W ostatnim okresie z uwagi na znaczące wahania cen surowców (w tym prądu i gazu) sektor przemysłu chemicznego w Europie znajduje się w trudnym położeniu z punktu widzenia opłacalności produkcji. Ponadto ceny energii elektrycznej w Polsce są jednymi z najwyższych w Europie i na Świecie, w związku z czym konkurencyjność firm z sektora chemicznego, szczególnie prowadzących energochłonne procesy takie jak np. elektroliza, spada w stosunku do konkurencyjnych podmiotów z innych części świata.



Rys. 1. Model procesu strippingu PCW

Do energochłonnych procesów należy również produkcja suspensyjnego poli(chlorku winylu) (PCW), którego jedynym producentem w Polsce jest ANWIL z siedzibą we Włocławku. Produkcja PCW jest wieloetapowym procesem, na który składa się kilkaset operacji jednostkowych. W związku z tym na poszczególnych etapach znajduje się wiele wąskich gardeł, które generują nadmiarowe straty energii. Niestety z uwagi na zależność pomiędzy poszczególnymi etapami produkcji PCW wykonywanie prób oraz testów mających na celu poprawę efektywności procesu wiąże się z ryzykiem zatrzymania ciągu produkcyjnego.

W związku z powyższym przedmiotowa praca ma na celu optymalizację produkcji PCW z wykorzystaniem oprogramowania do modelowania procesów chemicznych. Jest to bezpieczny sposób optymalizacji procesu, który może pozwolić na znaczące oszczędności w zakresie wykorzystania energii elektrycznej/pary procesowej w trakcie produkcji poli(chlorku winylu). Dodatkowo dzięki ograniczeniu zużycia energii elektrycznej pośrednio ograniczona zostanie emisja dwutlenku węgla, co jest zgodne z polityką klimatyczną Unii Europejskiej, która dąży do określonego poziomu dekarbonizacji.

W celu zawężenia obszaru optymalizacji przeprowadzono analizę miejsc o najwyższym potencjale w oparciu o szereg kryteriów m.in. poziom ryzyka czy ograniczenia technologiczne. Wytypowano cztery węzły produkcyjne, a następnie przygotowano zestawienie kluczowych parametrów, które mogą zostać poddane optymalizacji. Na podstawie zebranych informacji przygotowano model w symulatorze procesów chemicznych dla procesu strippingu PCW, który przedstawiono na rys. 1. Na podstawie przeprowadzonych analiz dynamicznych uzyskano szereg usprawnień wykazujących możliwość optymalizacji pracy węzła strippingu PCW.

WPŁYW MATERIAŁU WYPEŁNIAJĄCEGO NA SKUTECZNOŚĆ USUWANIA ZWIĄZKÓW BTEX W TRÓJFAZOWYM REAKTORZE DO BIOFILTRACJI GAZÓW ODLOTOWYCH

Krzysztof Cichon^{1,2}, Piotr Rybarczyk³, Jacek Gębicki³

¹Politechnika Gdańska, Szkoła Doktorska Wdrożeniowa

²Zakład Utylizacyjny sp. z o.o. w Gdańsku

³Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny, Katedra Inżynierii Procesowej i Technologii Chemicznej

Benzen, toluen, etylobenzen i ksylen (BTEX) należą do grupy tzw. lotnych związków organicznych (LZO). Źródłami emisji wymienionych związków są m.in. zakłady chemiczne, rafinerie i przetwórstwo odpadów. M.in. z powodu wysokiej szkodliwości dla zdrowia, związki BTEX muszą być skutecznie usuwane z gazów odlotowych. Cechy takie jak niewysokie koszty inwestycyjne oraz eksploatacyjne, brak powstawania zanieczyszczeń wtórnych, a także zrównoważony charakter i wysoka skuteczność powodują, że do oczyszczania gazów ujmowanych z obiektów gospodarki komunalnej z powodzeniem stosuje się technikę biofiltracji, realizowaną w aparatach wypełnionych materiałami pochodzenia naturalnego. Degradacja tego typu materiałów w czasie pracy biofiltra powoduje obniżenie skuteczności oczyszczania powietrza oraz konieczność periodycznej wymiany wypełnienia. Dobór materiału wypełniającego jest więc kluczowy dla stabilności, skuteczności i ekonomii prowadzenia procesu biofiltracji. Przedmiotem niniejszej pracy jest ocena wpływu materiału wypełniającego na skuteczność eliminacji związków BTEX w procesie biofiltracji powietrza ujmowanego z kompostowni frakcji biologicznej odpadów komunalnych w Zakładzie Utylizacyjnym sp. z o.o. w Gdańsku. Badania zrealizowano w dziesięciu biofiltrach kolumnowych, z których połowę zaszczerpiono wyselekcjonowanym liofilizatem mikroorganizmów, a pozostałe biofiltry traktowano jako kontrolę. Zastosowano następujące wypełnienia: keramzyt, kora sosnowa, pianka poliuretanowa, elementy z tworzyw sztucznych stosowane w desorberach, rozdrobnione tworzywa PET/PE pochodzące z recyklingu. Skuteczność procesów oceniano na podstawie zmian stężeń związków BTEX w strumieniach gazów opuszczających biofiltry w stosunku do stężeń w strumieniach wlotowych, z wykorzystaniem techniki chromatografii gazowej. Oceniono zmiany w składzie mikrobiologicznym biofilmów, na podstawie wyników analizy metagenomicznej próbek DNA wyizolowanych z badanych materiałów.

Wyniki badań wskazały, że najwyższą skuteczność usuwania związków BTEX (RE między 0.80 a 0.99) osiągnięto w przypadku biofiltrów wypełnionych keramzytem, gdy wypełnienie dodatkowo zaszczerpiono preparatem bakteryjnym. Analiza mikrobiologiczna wykazała, że dodatkowa inokulacja zwiększyła ogólną różnorodność bakterii w biofiltrach, głównie poprzez zwiększenie udziału rzadkich taksonów. Zastosowanie preparatu bakteryjnego znacząco skróciło okres rozruchu biofiltrów, co korelowało z szybszym tworzeniem się stabilnego i bardziej zróżnicowanego biofilmu. Skuteczność biofiltracji warunkowana była przede wszystkim rodzajem zastosowanego złoża oraz właściwościami fizykochemicznymi poszczególnych związków z grupy BTEX.

BEZPOŚREDNIA EKSFOLIACJA Z ZASTOSOWANIEM DITLENKU WĘGLA W STANIE NADKRYTYCZNYM I ULTRADŹWIĘKÓW JAKO NOWA METODA WYTWARZANIA GRAFENU PŁATKOWEGO

Małgorzata Djas^{1,2}, Marek Henczka¹, Adrian Chlanda², Artur Dobrowolski², Jakub Jagiełło², Magdalena Romaniec²

¹Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej

²Sieć Badawcza Łukasiewicz, Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki

Grafen to materiał o grubości jednej warstwy atomów węgla o hybrydyzacji sp^2 , ułożonych w strukturę heksagonalną. Taka budowa grafenu decyduje o jego unikatowych właściwościach: wysokim przewodnictwie elektrycznym i cieplnym, stabilności chemicznej oraz wytrzymałości mechanicznej. Grafen posiada bardzo szerokie możliwości zastosowania, m.in. w: elektronice, urządzeniach magazynujących energię, materiałach kompozytowych, sensorach, membranach filtracyjnych, powłokach barierowych, a nawet w biomedycynie. W związku z tym istnieje konieczność poszukiwania metod, które zarówno umożliwiają otrzymywanie grafenu płatkowego o wysokiej jakości i dużej czystości, a jednocześnie cechują się dużą wydajnością, krótkim czasem realizacji i bezpieczeństwem dla środowiska naturalnego. Intensywny rozwój nowych technologii wytwarzania materiałów wynika z konieczności stosowania w praktyce przemysłowej strategii zrównoważonego rozwoju i zasad Zielonej Chemii.

Efektywną, a jednocześnie bezpieczną dla środowiska naturalnego i jednoetapową metodą otrzymywania grafenu płatkowego jest metoda bezpośredniej eksfoliacji realizowana z użyciem ditlenku węgla w stanie nadkrytycznym. Zastosowanie ditlenku węgla w stanie nadkrytycznym pozwala na eliminację szkodliwych rozpuszczalników organicznych używanych w klasycznej metodzie bezpośredniej eksfoliacji, jak również niebezpiecznych i toksycznych substancji chemicznych (stężone kwasy, silne utleniacze i reduktory) używanych w chemicznej metodzie utleniania–redukcji. Ponadto uzyskany grafen nie wymaga dalszego oczyszczania, jest znacznie mniej zdefektowany i posiada lepsze przewodnictwo elektryczne, niż grafen wytwarzany innymi standardowymi metodami.

W pracy przedstawiono wyniki badań doświadczalnych wytwarzania grafenu nowatorską metodą bezpośredniej eksfoliacji, realizowaną z zastosowaniem ditlenku węgla w stanie nadkrytycznym, w połączeniu z oddziaływaniem ultradźwięków. Zbadano wpływ parametrów operacyjnych, takich jak ciśnienie, czas i amplituda oddziaływania ultradźwięków, rodzaj grafitu na efektywność metody i jakość otrzymanego materiału.

Praca finansowana przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu badawczego nr 2019/35/D/ST8/02977 „Identyfikacja mechanizmów i badania procesu wytwarzania grafenu płatkowego metodą bezpośredniej eksfoliacji z zastosowaniem ditlenku węgla w stanie nadkrytycznym”.

SUSZENIE AEROŻELI KRZEMOORGANICZNYCH Z ZASTOSOWANIEM PŁYNU W STANIE NADKRYTYCZNYM

Małgorzata Djas^{1,2}, Bartosz Nowak¹, Magdalena Romaniec², Marek Henczka¹

¹Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej

²Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki

Aerożele to nowe materiały, składające się z mikroporowatego ciała stałego. Ze względu na bardzo porowatą strukturę, charakteryzują się unikatowymi właściwościami fizykochemicznymi, takimi jak duża powierzchnia właściwa, mała gęstość i przewodność cieplna, dzięki którym mogą być stosowane w wielu dziedzinach nauki oraz przemysłu. Aerożele są stosowane jako izolacja cieplna, np. w budownictwie, przemyśle kosmicznym – NASA wykorzystuje aerożele do budowy statków kosmicznych w celu ich ochrony przed ekstremalnymi temperaturami panującymi w kosmosie oraz jako filtry wyłapujące cząstki pyłu. Ponadto aerożele znajdują zastosowanie jako katalizatory, kondensatory oraz materiały dźwiękoszczelne.

Obecnie rośnie zainteresowanie hybrydowymi aerożelami stanowiącymi połączenie konwencjonalnych struktur aerożelowych z dodatkowymi komponentami poprawiającymi ich właściwości mechaniczne, termiczne, elektryczne czy też sorpcyjne. Takie połączenie pozwala na znaczne rozszerzenie zakresu stosowania aerożeli. Jednym z intensywniej rozwijających się obszarów badań są aerożele na bazie krzemu z dodatkiem materiałów grafenowych, np. tlenku grafenu czy też zredukowanego tlenku grafenu. Dodatek struktur węglowych do aerożeli zapewnia wzrost ich stabilności termicznej oraz elektrycznej co sprawia, że są wykorzystywane w obszarze magazynowania energii, usuwania zanieczyszczeń, a także katalizie oraz biomedycynie.

Kluczowym etapem w produkcji aerożeli jest proces suszenia, który odgrywa decydującą rolę w kształtowaniu porowatej struktury oraz właściwości końcowego produktu. Opracowanie efektywnej metody suszenia jest obszarem badań wielu naukowców. Jedną z obiecujących metod suszenia aerożeli jest suszenie z zastosowaniem płynu w stanie nadkrytycznym (ang. SCD – *supercritical drying*). Metoda ta polega na usunięciu z porów żelu rozpuszczalnika stosowanego podczas syntezy, wykorzystując w tym celu płyn w stanie nadkrytycznym, aby uniknąć skurczenia się i zniszczenia porowatej struktury aerożelu.

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących suszenia hybrydowych aerożeli krzemoorganicznych wytwarzanych z prekursora alkoksylanowego z dodatkiem tlenku grafenu, realizowanego z zastosowaniem ditlenku węgla w stanie nadkrytycznym. Przedstawiono wpływ parametrów suszenia, składu próbki oraz rodzaju rozpuszczalnika na właściwości aerożeli, takie jak skurcz liniowy, gęstość i porowatość.

WIELOFAZOWY NOŚNIK EMULSYJNY DO DOSTARCZANIA TERAPEUTYKÓW

Ewa Dłuska¹, Agnieszka Markowska-Radomska¹, Konrad Kosicki²

¹Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej

²Uniwersytet Warszawski, Wydział Biologii, Instytut Genetyki i Biotechnologii

Wielofazowe nośniki, w tym emulsyjne, znajdują zastosowanie w nowoczesnych terapiach onkologicznych, ostatnio w strategiach łączących wyciszenie genów z celowaną chemioterapią. Zastosowanie tego typu nośników wykazuje duży potencjał w zakresie zwiększenia specyficzności wobec komórek nowotworowych oraz umożliwia pokonywanie mechanizmów oporności lekowej, charakterystycznej dla tradycyjnej chemioterapii, obniżającej efektywność leczenia. Przedstawiono wyniki badań wytwarzania oraz właściwości transportowych (transport masy) wielofunkcyjnego nośnika w formie emulsji wielokrotnych (woda-w-oleju-w-wodzie). Nośnik ten został zaprojektowany do jednoczesnego dostarczania siRNA do wyciszania określonych genów oraz leku cytostatycznego (doksorubicyny-DOX), stosowanych w terapiach antynowotworowych. Nośnik emulsyjny wytwarzano w aparacie z przepływem Couette'a-Taylor'a (CTF). DOX została zamknięta w wewnętrznych kroplach emulsji, natomiast siRNA w liposomach znajdujących się w zewnętrznej (wodnej) fazie emulsji. Takie rozwiązanie poprawia transport siRNA do guza i wpływa na efektywność wyciszania genów odpowiedzialnych za rozrost guza lub uniemożliwiających naprawę szlaków molekularnych wywołanych działaniem cytostatyku. Opracowany nośnik wykazuje właściwości mukoadhezyjne dzięki obecności soli sodowej karboksymetylocelulozy–biopolimeru o wysokiej lepkości. Cecha ta umożliwia jego miejscowe podanie, np. w obrębie guza jelita grubego, mózgu lub po chirurgicznej resekcji zmiany nowotworowej. Nośnik charakteryzuje się również pH-zależną kinetyką procesu uwalniania leków (preferencyjne uwalnianie w kwaśnym środowisku guza). Skuteczność terapeutyczna systemu została potwierdzona w badaniach *in vitro* z zastosowaniem komórek glejaka (linia LN229). Badania wykazały, że zastosowanie siRNA prowadzi do znaczącego obniżenia żywotności komórek wybranych linii nowotworowych. Zaobserwowano spadek przeżywalności komórek do niespełna 30% już przy minimalnym stężeniu DOX (0,01 μM) na skutek celowanego wyciszenia aktywności genu BRCA1, odpowiedzialnego za mechanizmy naprawy DNA w komórkach nowotworowych. Emulsyjny nośnik charakteryzuje się skutecznością terapeutyczną i ograniczoną toksycznością dla zdrowych tkanek z uwagi na wielofazową strukturę (toksyczny lek zawarty w kroplach wewnętrznych emulsji). Stanowi też obiecujące rozwiązanie w zakresie personalizowanej terapii nowotworów litych dzięki możliwości dostosowania rodzaju i dawek terapeutyków w wielofazowej strukturze typu „krople w kroplach”.

Badania zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki, Polska, projekt nr 2023/49/B/ST8/03535.

MODELOWANIE HYDRODYNAMIKI CZĄSTEK W MINIKRYSTALIZATORACH METODĄ CFD-DPM

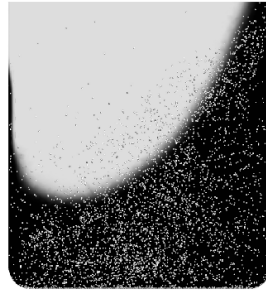
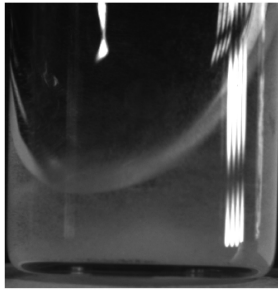
Bartłomiej Filip, Roman Bochenek, Dorota Antos

Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Wydział Chemiczny,
Katedra Inżynierii Chemicznej i Procesowej

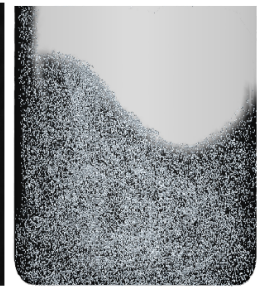
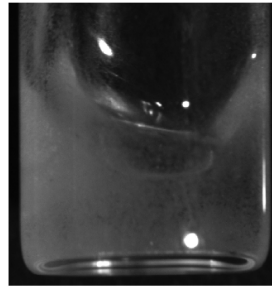
Krystalizacja zyskuje coraz większe znaczenie jako metoda oczyszczania i formulacji związków aktywnych biologicznie. W fazie rozwoju procesu krystalizacji powszechnie stosuje się mini-krystalizatory, czyli reaktory o objętościach zaledwie kilku mililitrów, co umożliwia wyznaczenie parametrów operacyjnych krystalizacji przy minimalnym zużyciu cennego materiału biologicznego. Jednak przebieg procesu krystalizacji silnie zależy od warunków hydrodynamicznych panujących w minikrystalizatorze, tj. od jego geometrii i sposobu mieszania. Określenie tej zależności jest nieodzownym warunkiem pomyślnego przeniesienia skali procesu z laboratoryjnej do przemysłowej. W niniejszej pracy do tego celu wykorzystano model CFD-DPM, która bazuje na metodzie Eulera-Lagrange'a, gdzie hydrodynamika cieczy jest opisana modelem Naviera-Stokesa, a faza rozproszona jest scharakteryzowana jako zbiór indywidualnie śledzonych cząstek. Trajektorie cząstek wyznacza się z drugiego prawa dynamiki Newtona, uwzględniając siły: oporu, grawitacji, gradientu ciśnienia, wirtualnej masy oraz nośną. Model CFD-DPM umożliwił analizę czynników kluczowych w projektowaniu procesu krystalizacji biomolekuł, m.in. trajektorii, prędkości względnych i osiadania cząstek w różnych warunkach hydrodynamicznych i dla różnych typów układów mieszających.

Symulacje komputerowe wykonano przy zastosowaniu programu ANSYS Fluent 2025 R1, w którym zaimplementowano model CFD-DPM. Wykonano symulacje numeryczne dla trzech typów układów mieszających: mechanicznego, orbitalnego, obrotowego, uwzględniając zmienność geometrii oraz intensywność mieszania. Walidację modelu numerycznego dokonano na podstawie porównania symulowanej trajektorii cząstek o różnej gradacji z trajektorią zarejestrowaną kamerą (rys. 1). Rozwiązanie modelu umożliwiło szczegółową ocenę koncentracji i rozmieszczenia cząstek modelowych o różnej gradacji, ich unoszenia i osiadania oraz obliczenie prędkości poślizgu cząstek względem cieczy. Pozwoliło to na wyznaczenie względnej liczby Reynoldsa i określenie dominującego reżimu warunków hydrodynamicznych w zależności od rodzaju urządzenia i intensywności mieszania. Jest to informacja kluczowa umożliwiająca ilościowy opis transportu masy w różnych układach mieszających oraz identyfikację warunków hydrodynamicznych sprzyjających wzrostowi cząstek i ograniczających ich rozpad. Jest ona niezbędna do projektowania i optymalizacji krystalizatorów w skali laboratoryjnej i przenoszenia skali.

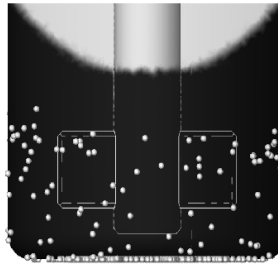
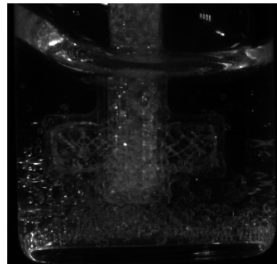
a) wytrząsarka (800 rpm, frakcja 40-80 μm)
38% cząstek w reżimie przejściowym



b) karuzela (40 rpm, frakcja 40-80 μm)
25% cząstek w reżimie przejściowym



c) mieszalnik mechaniczny (900 rpm, frakcja 250-380 μm)
100% cząstek w reżimie przejściowym



Rys. 1. Porównanie trajektorii cząstek wyznaczonych eksperymentalnie (lewa strona) z symulacjami (prawa strona)

Badania finansowane z grantu NCN (UMO-2023/51/I/ST8/01518). Obliczenia wykonano z wykorzystaniem komputerów Centrum Informatycznego Trójmiejskiej Akademickiej Sieci Komputerowej.

WPŁYW DOMIESZEK CeO_2 NA MAGAZYNOWANIE WODORU W METANOLU I JEGO KATALITYCZNE UWALNIANIE

Izabela Frąckiewicz¹, Marcin Łapiński², Marta Prześniak-Welenc², Andrzej Rogala¹, Jacek Gębicki¹

¹Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny, Katedra Inżynierii Procesowej i Technologii Chemicznej

²Politechnika Gdańska, Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej

Wyczerpywanie się zasobów naturalnych oraz trwający kryzys gospodarczo-polityczny stawiają przed społeczeństwami wyzwanie w zakresie zapewnienia stabilnych, odnawialnych i bezpiecznych źródeł energii. W tym kontekście rośnie zainteresowanie alternatywnymi nośnikami energii, wśród których szczególną rolę odgrywa wodór, uznawany za czyste paliwo przyszłości. Choć obecnie wodór produkowany jest głównie poprzez reforming parowy gazu ziemnego, coraz większy udział w jego wytwarzaniu mają źródła odnawialne i odpadowe. Jedną z kluczowych barier w szerokim zastosowaniu wodoru jest jego magazynowanie i transport. Ze względu na mały rozmiar cząsteczki i jej reaktywność, dystrybucja wodoru wymaga budowy nowej lub kosztownej modernizacji istniejącej infrastruktury. Alternatywą może być chemiczne magazynowanie wodoru w stabilnych związkach, takich jak metanol, który jest łatwy w transporcie, może być reformowany w łagodnych warunkach z wykorzystaniem istniejącej infrastruktury paliwowej i logistycznej.

Reforming metanolu, prowadzony zwykle w temperaturze około 260°C i pod ciśnieniem atmosferycznym, jest procesem katalitycznym, w którym najczęściej stosowanym materiałem jest komercyjny katalizator typu CZA (Cu–Zn–Al). Głównym ograniczeniem tej technologii jest powstawanie tlenku węgla(II), który negatywnie wpływa na czystość wodoru i wymaga dalszych etapów oczyszczania. Obecność CO znacząco komplikuje proces separacji wodoru, zwłaszcza jeśli planowane jest wykorzystanie reformingu metanolu w ogniwach paliwowych, które są bardzo wrażliwe na obecność tego związku. Z tego względu konieczne są dodatkowe etapy oczyszczania strumienia gazowego lub modyfikacje samego katalizatora. W celu poprawy selektywności procesu wobec wodoru i ograniczenia emisji tlenku węgla(II), prowadzi się modyfikacje składu katalizatora, m.in. poprzez domieszkowanie cerem.

W celu zwiększenia selektywności procesu i ograniczenia emisji CO, przeprowadzono badania nad wpływem domieszki tlenku ceru (CeO_2) na właściwości katalizatorów. Wykazano, że odpowiednia ilość CeO_2 istotnie zwiększa wydajność generowania wodoru, zmniejsza ilość powstającego CO, a także wpływa korzystnie na właściwości fizykochemiczne katalizatora, takie jak powierzchnia właściwa, struktura krystaliczna czy dyspersja cząstek miedzi.

Badania finansowane przez Politechnikę Gdańską w ramach programu VHR „H2Tech LAB – Laboratory of Hydrogen Technologies. Gdańsk Tech Hydrogen transport and storage in chemical compounds”, nr DEC-22/2022/IDUB/VHR.

BADANIE ZDOLNOŚCI RUCHU NANOCZĄSTEK TYPU JANUS PT-AG W WARUNKACH IN-SITU Z POMOCĄ LC-TEM

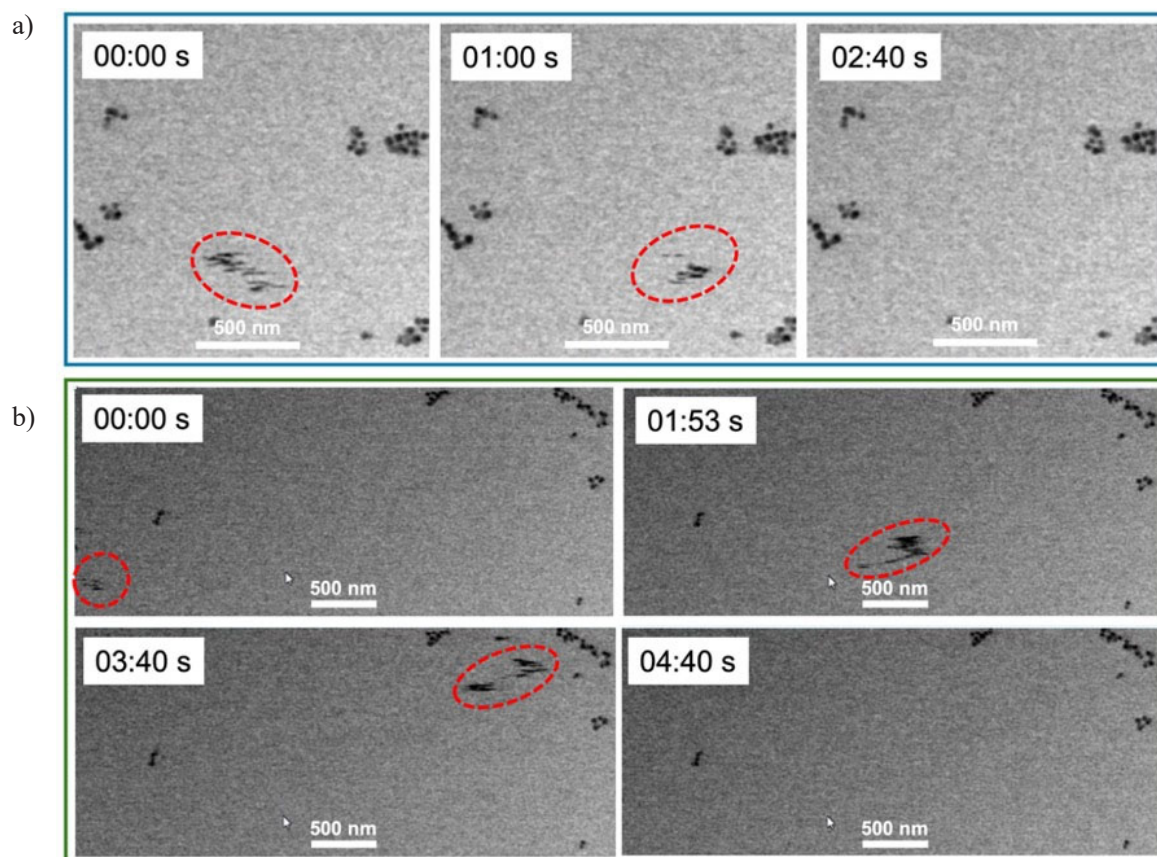
Anna Gołąbiewska¹, Hanna Zagórska¹, Natalia Wyźlic¹, Magdalena Parlińska-Wojtan²,
Mirosława Pawlyta³

¹Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii, Katedra Technologii Środowiska

²Instytut Fizyki Jądrowej Polska Akademia Nauk

³Politechnika Śląska, Laboratorium Badań Materiałowych

Rosnąca liczba zachorowań na nowotwory oraz skutki uboczne konwencjonalnej chemioterapii skłaniają do poszukiwania alternatywnych metod leczenia. Nanocząstki typu Janus, zbudowane z platyny i srebra lub złota, wykazują właściwości przeciwnowotworowe oraz zdolność do samodzielnego poruszania się w cieczach dzięki wykorzystaniu mechanizmu samoelektroforezy. Ruch ten sprzyja penetracji tkanek nowotworowych i celowanemu dostarczaniu jonów Pt²⁺. W literaturze naukowej brakuje jednak doniesień, które wyjaśniałyby zachowanie tych cząstek w środowisku o różnej lepkości oraz ich rzeczywiste zdolności do ruchu w warunkach in-situ, co jest kluczowe dla oceny ich przydatności w środowisku biologicznym.



Rys. 1 a-b. Obrazy w jasnym polu (STEM) uzyskane podczas eksperymentu w warunkach in-situ z wykorzystaniem LC-TEM, przedstawiające autonomiczny ruch nanocząstek typu Janus Pt-Ag w 10% roztworze H₂O₂

Celem pracy było opracowanie prostej metody wytwarzania i charakterystyki asymetrycznych cząstek typu Janus zbudowanych z platyny i srebra (Pt-Ag), wykazujących zdolność do samobieżnego poruszania się w ośrodkach płynnych, pod wpływem paliwa chemicznego, jakim jest nadtlenek wodoru. Obserwacje ruchu przeprowadzono z wykorzystaniem transmisyjnej mikroskopii elektronowej w fazie ciekłej w warunkach in-situ (z ang. *liquid-cell transmission electron microscopy*, LC-TEM). Zaobserwowano autonomiczny,

kierunkowy ruch cząstek typu Janus Pt-Ag. Na rys. 1 przedstawiono trajektorię ruchu cząstek, których położenie w każdym punkcie czasowym zaznaczono czerwoną przerywaną elipsą ilustrującą kierunkowy napęd cząstek. Wyniki potwierdzają skuteczność napędu chemicznego w warunkach wodnych. Kolejnym etapem badań będzie ocena mobilności cząstek Pt-Ag lub Pt-Au w cieczach o wyższej lepkości, odwzorowujących warunki fizjologiczne. Pozwoli to ocenić ich przydatność jako aktywnych nośników leków w nowoczesnych terapiach nowotworowych.

Autorzy składają podziękowanie Instytutowi Materiałów Inżynierskich i Biomateriałów Politechniki Śląskiej za udostępnienie instrumentu Titan FEI TEM oraz Centrum Nauk Biologiczno-Chemicznych Uniwersytetu Warszawskiego za udostępnienie instrumentu Talos F200 FEI TEM, zbudowanego w ramach projektu współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, lata 2007–2013.

MODELOWANIE UWALNIANIA LEKU Z IMPLANTU HYDROŻELOWEGO DO BŁONY ŚLUZOWEJ DZIAŚŁA

Tomasz Grygier, Maciej Grabowski, Anna Trusek

Politechnika Wroclawska, Wydział Chemiczny

W pracy zaprezentowano model przenikania leku do błon śluzowych ze szczególnym uwzględnieniem implantów mocowanych w okolicach dziąseł i przyzębia. Założenia modelu sformułowano z uwzględnieniem nieustalanej dyfuzji składnika wewnątrz implantu, dyfuzyjnego i/lub konwekcyjnego transportu w fazie ciekłej oraz wnikania do wnętrza tkanki. Zaproponowano ogólną geometrię implantu w formie płaskiego prostopadłościanu o podstawie trójkątnej. Umożliwiło to zarówno dyskusję wpływu, jakie cechy geometryczne mają na zjawiska transportowe, jak również odtworzenie układu w warunkach eksperymentalnych z wykorzystaniem biodruku. Poczynione obserwacje stanowiły podstawę do zaproponowania metody regulowania szybkości dostarczania substancji aktywnej, np. poprzez selektywne nakładanie dodatkowej fazy polimerowej na niektóre obszary implanta. Przedstawiono rozwiązania numeryczne dla obu przypadków – bez oraz z powłoką polimerową. Analiza wyników przeprowadzonych symulacji umożliwiła opracowanie zaleceń praktycznych dla prefabrykacji implantów.

Badania sfinansowano z grantu NCN/OPUS 2022/47/O/ST8/02850.

ANALIZA CFD HYDRODYNAMIKI PODGRZEWANIA WODY W RÓŻNYCH WARUNKACH PROCESOWYCH – WSTĘPNE BADANIE OPTYMALNYCH PARAMETRÓW ZACIERANIA

Kacper Jagiełło, Wojciech Ludwig

Politechnika Wroclawska, Wydział Chemiczny, Katedra Inżynierii Procesowej i Technologii Materiałów Polimerowych i Węglowych

W trakcie produkcji piwa jednym z pierwszych etapów warzenia jest tzw. zacieranie, podczas którego następuje mieszanie słołu z wodą wraz z ogrzewaniem całej mieszaniny. Ma ono na celu rozłożenie cukrów (głównie skrobi) zawartych w słołu, a następnie ich ekstrakcję z ziarna do fazy ciekłej. Kluczowe z punktu widzenia wydajności procesu jest utrzymanie stałej temperatury w kadzi zaciernej na odpowiednim poziomie w trakcie przerw, co uzyskuje się za pomocą mieszania. Jednym z jego sposobów jest wykorzystanie pompy cyrkulacyjnej. Dodatkowym, istotnym czynnikiem jest położenie wlotu i wylotu z kadzi. Wybór odpowiedniej kombinacji wlot-wylot dla danego urządzenia ma wpływ na hydrodynamikę przepływu. Zastosowanie metod CFD umożliwia wskazanie optymalnej wartości natężenia przepływu wraz z najlepszą kombinacją wlot-wylot bez konieczności prowadzenia eksperymentów marnujących znaczne ilości wody.

Za pomocą symulacji CFD przeprowadzono analizę wpływu natężenia przepływu cyrkulującej cieczy dla czterech różnych kombinacji wlot-wylot dla standardowej geometrii kadzi zaciernej znajdującej się na Politechnice Wroclawskiej. Za pomocą modelu wielofazowego Volume of Fluid oraz modelu turbulencji SST $k-\omega$ with Low Re correction zasymulowano 20 minut ogrzewania dwufazowego układu analizując wybraną geometrię wraz z natężeniem przepływu pod kątem osiągniętej średniej temperatury w kadzi zaciernej, odchylenia standardowego temperatury oraz występowania martwych stref. Referat ma na celu wskazanie wpływu wymienionych parametrów na wydajność prowadzenia procesu zacierania oraz wskazanie optymalnych warunków jego prowadzenia.

TRANSPORT RADONU W GLEBIE JAKO PRZYKŁAD PRZEPŁYWU GAZU W UKŁADZIE WIELOFAZOWYM CIAŁO STAŁE–CIECZ–GAZ

Daniel Janecki

Uniwersytet Opolski, Instytut Inżynierii Środowiska i Biotechnologii

Gleba stanowi naturalny, porowaty układ wielofazowy, w którym współwystępują fazy: stała (matryca mineralna), ciekła (wilgoć glebowa) oraz gazowa (powietrze glebowe zawierające m.in. radon-222). Transport radonu w takim ośrodku odbywa się głównie na drodze dyfuzji molekularnej, choć w warunkach dynamicznych możliwa jest również adwekcja gazu wskutek zmian ciśnienia atmosferycznego lub przepływu powietrza.

W pracy zaprezentowano wyniki pomiarów stężenia radonu w powietrzu glebowym wykonane za pomocą sondy penetracyjnej oraz monitora AlphaGUARD™ DF2000, pracującego w trybie przepływowym. Pomiary prowadzono na różnych głębokościach i w zmiennych warunkach wilgotności gleby. Uzyskane dane umożliwiły określenie profilu stężenia radonu oraz wskazanie zależności między zawartością wody w glebie a efektywnym transportem gazu.

Wyniki zostały zinterpretowane w ujęciu transportu masy w układzie wielofazowym gaz–ciecz–ciało stałe. Szczególną uwagę poświęcono wpływowi fazy ciekłej na ograniczenie porowatości efektywnej i zmniejszenie współczynnika dyfuzji radonu. Praca wskazuje na zasadność traktowania glebowego ośrodka jako systemu wielofazowego w kontekście procesów migracji zanieczyszczeń gazowych i wymiany masy w środowisku.

AN EVALUATION OF PHOSPHORUS-32 AS A RADIOTRACER FOR DETERMINING RTD IN AN AERATED CSTR PRODUCING POLY(3-HYDROXYBUTYRATE)

Magdalena M. Jasińska¹, Otton K. Roubinek², Tomasz Smoliński³, Katarzyna Kozak², Jacek Palige³, Andrzej G. Chmielewski³

¹Warsaw University of Technology, Faculty of Chemical and Process Engineering

²Lukasiewicz Research Network – Industrial Chemistry Institute, Warsaw

³Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Warsaw

Nowadays, due to the growing focus on environmental protection and the implementation of circular economy objectives, the range of applications for biodegradable polymers is constantly expanding. It is therefore extremely important to intensify efforts aimed at replacing conventional petroleum-based, non-biodegradable materials with fully biodegradable alternatives. Biopolymers represent an excellent substitute for the majority of such materials. Among them, poly(3-hydroxybutyrate) (P3HB) is widely used, particularly in packaging production and medical applications.

Compounds belonging to the PHA group are produced intracellularly by bacteria as storage materials that can be metabolized when other energy sources are unavailable [1,2]. Various bacterial strains can be utilized for this purpose, including *Escherichia coli*. However, since *E. coli* does not naturally synthesize such metabolites, genetic modifications of these strains were implemented in study to enable P3HB production.

Additional research was carried out to optimize the culturing conditions in an aerated bioreactor (**Figure 1**). Investigations into continuous-flow reactors are particularly important, as they are expected to support the transition from batch or fed-batch modes of operation. However, this transition still requires numerous studies, including the design of appropriate bioreactor geometry, as well as the optimization of the associated processes.

Radiotracers appear to play a crucial role in this area. Appropriately selected radiotracers can be used to determine the actual RTD, which may in turn help enhance the efficiency of the bacteria and P3HB production. However, due to the presence of various salts in the medium, high biomass concentrations, and potential contaminants traditional methods involving dyes or salts are often not practically feasible.

The main objective of this study is, therefore, to propose an alternative method for effectively investigating mixing and mass transfer in multiphase bioreactors used for the continuous cultivation of microorganisms and the production of bio- and co-biopolymers, with the aim of significantly improving bioprocess yields.

[1] Verlinden R.A.J., Hill D.J., Kenward M.A., Williams C.D., Radecka I. *J Appl Microbiol* 102(6), 1437-49 (2007). [doi:10.1111/j.1365-2672.2007.03335.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2007.03335.x).

[2] Vasudevan M., Natarajan N. *Biomass Conv. Bioref.* 15, 1729–1748 (2025). <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02399-z>.

Part of presented research was financially supported by Lukasiewicz Research Network – Industrial Chemistry Institute “Research on the aeration of bioreactors with mechanical mixing used for the cultivation of microorganisms” (2022).

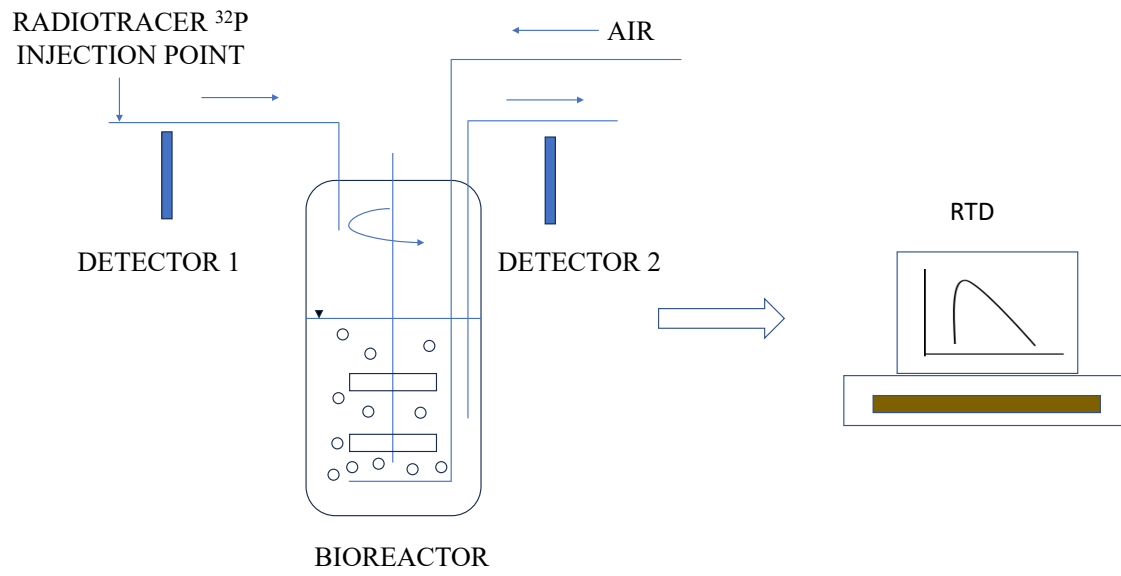


Figure 1. Schematic representation of an aerated bioreactor for determining RTD

INŻYNIERIA MOLEKULARNA W PROJEKTOWANIU NANOKATALIZATORÓW NA WYPEŁNIENIACH STRUKTURALNYCH DO KONWERSJI CO₂

Hanna Kierzkowska-Pawlak, Bartosz Panek

Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Katedra Inżynierii Chemicznej i Molekularnej

Inżynieria molekularna procesów i produktów to współczesny paradygmat w inżynierii chemicznej, łączący potencjał precyzyjnego projektowania na poziomie molekularnym z praktycznymi zastosowaniami w makroskali [1]. Ma to szczególne znaczenie w projektowaniu heterogenicznych katalizatorów, gdzie z jednej strony kluczowa jest kontrola struktury na poziomie nano, decydująca o aktywności katalitycznej, a z drugiej – odpowiednia forma i właściwości materiału umożliwiające jego efektywne wykorzystanie w warunkach przemysłowych.

Obecnie rośnie znaczenie racjonalnego projektowania nanokatalizatorów o ściśle określonych właściwościach na poziomie molekularnym, co pozwala na precyzyjne kształtowanie ich funkcjonalności. Jedną z obiecujących metod „bottom-up” do ich syntezy jest plazmowa depozycja z fazy gazowej (PECVD) z wykorzystaniem metaloorganicznych prekursorów, która umożliwia wytwarzanie cienkowarstwowych materiałów o unikalnej budowie molekularnej i nanostrukturze, wykazującej wysoką aktywność katalityczną. Forma katalizatora w postaci cienkiej warstwy naniesionej na stałe podłoże o złożonej geometrii, takiej jak metalowe siatki, otwiera nowe możliwości w projektowaniu heterofazowych reaktorów z katalitycznym wypełnieniem strukturalnym. Zastosowanie takich wypełnień pozwala na efektywniejszą wymianę masy i ciepła w złożu katalitycznym w porównaniu do tradycyjnych aparatów ze złożem usypowym.

Omówiono potencjał inżynierii molekularnej oraz metody depozycji plazmowej w projektowaniu nowej generacji wieloskładnikowych katalizatorów na bazie tlenków metali przejściowych, do uwodornienia CO₂ do metanu i tlenku węgla. Otrzymane materiały to cienkowarstwowe nanohybrydy z heterozłączami, oparte na nowatorskiej koncepcji projektowania ich nanostruktury [2]. Nanohybrydy, zbudowane z nanocząstek półprzewodnikowych tlenków, takich jak CoO, FeO_x i WO₃, osadzonych w matrycy węglowej, zostały scharakteryzowane za pomocą technik XPS, XRD, SEM oraz HRTEM. Badania aktywności katalitycznej przeprowadzono w izotermicznym reaktorze rurowym i zbiornikowym w zakresie 100–400°C.

Nasze wyniki potwierdziły istotną rolę oddziaływań międzyfazowych między nanocząstkami tlenków metali oraz matrycą węglową w nanohybrydowych warstwach katalitycznych w regulacji zarówno aktywności, jak i selektywności uwodornienia CO₂. Wykazano, że zastosowane podejście pozwala na precyzyjne projektowanie nanostruktury katalizatorów, a w konsekwencji kontrolę ich właściwości katalitycznych zgodnie z założeniami inżynierii molekularnej. Praktyczna forma katalizatora – cienka warstwa osadzona na nośniku o odpowiedniej geometrii – umożliwia jego zastosowanie w wydajnych reaktorach heterofazowych.

[1] New Directions for Chemical Engineering. 2022, Washington, DC: The National Academies Press.

[2] Tyczkowski, J., Kierzkowska-Pawlak, H. 2024, Classical Concept of Semiconductor Heterojunctions in the Approach to Nanohybrid Catalysts. ACS Applied Materials & Interfaces, 16(29), 37339-37345.

ROZWÓJ TECHNOLOGII ABSORPCJI CO₂ – NOWE ROZPUSZCZALNIKI, NOWOCZESNA APARATURA I INTEGRACJA PROCESOWA

Donata Konopacka-Łyskawa, Mateusz Siemieniuk

Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny, Katedra Inżynierii Procesowej i Technologii Chemicznej

Dwutlenek węgla jest oddzielany ze strumieni gazowych ze względów technologicznych i środowiskowych. Jego usuwanie stanowi kluczowy etap w takich procesach jak oczyszczanie gazu ziemnego, produkcja gazu syntezowego i wodoru czy synteza Fischera-Tropscha. Natomiast z punktu widzenia ochrony środowiska dwutlenek węgla, jako jeden z głównych gazów cieplarnianych, jest usuwany ze źródeł punktowych emisji, aby zmniejszyć jego uwalnianie do atmosfery.

Do najczęściej stosowanych metod separacji CO₂ ze strumieni gazowych należą: absorpcja, adsorpcja, separacja membranowa, separacja kriogeniczna, metody biochemiczne oraz rozwiązania hybrydowe. Coraz większe znaczenie zyskują także technologie wychwytu i składowania dwutlenku węgla (CCS) oraz jego wykorzystania (CCU), w których separacja CO₂ jest zintegrowana z produkcją nowych związków chemicznych. Spośród dostępnych technologii, najbardziej rozwiniętą i szeroko stosowaną metodą przemysłową jest absorpcja, wykorzystywana m.in. w przemyśle rafineryjnym, energetycznym i chemicznym.

W niniejszej pracy przedstawiono rozwój technologii absorpcji CO₂ w ostatnich latach. Obserwowany postęp wynika m.in. z intensyfikacji badań nad technologiami CCS jako odpowiedzi na zmiany klimatyczne, poszukiwań nowych, bardziej efektywnych i ekologicznych rozpuszczalników, a także wdrażania nowoczesnych rozwiązań aparaturowych. Celem tych działań jest zmniejszenie zużycia energii, poprawa efektywności procesów oraz uwzględnienie aspektów zrównoważonego rozwoju, takich jak biodegradowalność, toksyczność i ślad węglowy stosowanych substancji. Wśród innowacyjnych rozwiązań w zakresie rozpuszczalników można wymienić: syntezę nowych amin, rozpuszczalniki dwufazowe i hybrydowe, ciecze jonowe, rozpuszczalniki głęboko eutektyczne, nanopłyny, stosowanie promotorów absorpcji oraz rozpuszczalniki projektowane molekularnie. Nowe koncepcje aparaturowe obejmują m.in. kolumny z wirującym złożem, mikroreaktory i mikrokanaly, integrację systemów absorpcji i regeneracji, a także układy hybrydowe, np. membranowo-absorpcyjne. Dodatkowo, w celu intensyfikacji procesu, proponuje się zastosowanie ultradźwięków w kolumnach absorpcyjnych oraz mikrofalowego ogrzewania w kolumnach desorpcyjnych. Kierunki rozwoju technologii absorpcji CO₂ wpisują się w ideę intensyfikacji procesów, czyli dążenia do prowadzenia ich w mniejszych aparatach, przy wyższej efektywności energetycznej i wydajności, z jednoczesnym ograniczeniem wpływu na środowisko i redukcją kosztów operacyjnych.

OCZYSZCZANIE BRZECZEK POFERMENTACYJNYCH Z ZASTOSOWANIEM SEPARACJI PIANOWEJ

Karolina Kucharska, Edyta Słupek, Ilona Strzelczyk, Jacek Gębicki

Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny, Katedra Inżynierii Procesowej i Technologii Chemicznej

Wytwarzaniu biopaliw ciekłych i gazowych z biomasy towarzyszy problem zagospodarowania brzeczek pofermentacyjnych. W pozostałościach po procesie fermentacji ciemnej i fotofermentacji zmierzających do pozyskania biowodoru, mogą występować różne zanieczyszczenia, zależnie od rodzaju surowca, mikroorganizmów użytych w fermentacji oraz warunków procesu. Zanieczyszczenia organiczne, takie jak resztki cukrów, niewykorzystane przez mikroorganizmy; kwasy organiczne, stanowiące produkty uboczne fermentacji; lipidy wytwarzane przez algi, mogą być zagospodarowane po ich ekstrakcji lub oddzieleniu z brzeczek. Wszelkie frakcje związane z elementami morfotycznymi komórek mikroorganizmów oraz białka i peptydy, występujące w roztworach jako pozostałości po mikroorganizmach fermentujących lub kontaminujących proces fermentacji stwarzają szereg trudności technologicznych, utrudniając lub czyniąc całkowicie niemożliwym odprowadzenie brzeczek do ścieków.

Zanieczyszczenia białkowe wykazują szczególną właściwość, obniżając napięcie powierzchniowe brzeczek względem napięcia powierzchniowego wody. Właściwość tę można wykorzystać stosując technikę separacji pianowej do podczyszczania brzeczek pofermentacyjnych. Separacja pianowa należy do metod wykorzystujących właściwości powierzchni międzyfazowej w celu selektywnego wydzielenia składników z roztworów. Technika ta opiera się na zjawisku selektywnej adsorpcji związków powierzchniowo czynnych na granicy faz gaz–ciecz. W procesie separacji pianowej kluczową rolę odgrywa powierzchnia międzyfazowa gaz–ciecz, która determinuje zdolność adsorpcyjną związków o budowie amfipatycznej. Cząsteczki białek zawierają grupy funkcyjne nadające im właściwości powierzchniowe, takie jak grupy hydroksylowe, karboksylowe, tiolowe oraz aminowe (pierwszorzędowe, drugorzędowe i trzeciorzędowe). W czasie separacji pianowej, tj. podczas przepływu pęcherzy gazu przez słup cieczy, grupy polarne orientują się w kierunku fazy wodnej, natomiast niepolarne łańcuchy węglowodorowe – w stronę fazy gazowej. W czasie postępu procesu, białka wynoszone są przez pęcherze przepływającego gazu do warstwy piany. Ciecz wyczerpana cechuje się obniżonymi względem surowki wartościami parametrów ChZT, BZT5 i OWO.

Badania zrealizowano w ramach projektu NCN OPUS, zgodnie z porozumieniem UMO-2021/41/B/ST8/02395

WYKORZYSTANIE ODPADOWEJ BIOMASY DO OTRZYMYWANIA KATALIZATORÓW DEDYKOWANYCH DO PROCESU REFORMINGU PAROWEGO METANOLU

Natalia Łukasik, Izabela Frąckiewicz, Ewelina Pawelczyk, Andrzej Rogala, Michał Jakubowski, Jacek Gębicki

Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny, Katedra Inżynierii Procesowej i Technologii Chemicznej

Biomasa lignocelulozowa stanowi odnawialne, tanie i łatwo dostępne źródło energii i chemikaliów, będące alternatywą dla konwencjonalnych paliw kopalnych. Jej światowa roczna produkcja szacowana jest na 200 miliardów ton i zalicza się do niej odpady z rolnictwa i leśnictwa, takie jak m.in. łodygi, słoma, skórki warzyw i owoców, trawy, łupiny orzechów, liście, zrębki, i in. [1]. Biomasa lignocelulozowa zyskuje coraz większe zainteresowanie w otrzymywaniu zaawansowanych materiałów funkcjonalnych, takich jak sorbenty czy katalizatory. Dzięki obecności grup funkcyjnych ($-OH$, $-COOH$) i porowatej strukturze, lignoceluloza sprzyja reakcjom powierzchniowym oraz dystrybucji centrów aktywnych, a jej polimerowy charakter może zwiększać wytrzymałość mechaniczną i termiczną otrzymywanych materiałów [2]. Tego typu katalizatory znajdują zastosowanie m.in. w generowaniu wodoru na żądanie – kluczowego czynnika w transformacji energetycznej i dekarbonizacji przemysłu. Jedną ze strategii otrzymywania tego gazu jest wykorzystanie metanolu jako nośnika H_2 . Istnieje kilka metod uwalniania wodoru z metanolu, do których zalicza się reforming parowy, reforming autotermiczny, częściowe utlenianie i dekompozycję metanolu. Spośród tych procesów, reforming parowy zapewnia największą zawartość wodoru w otrzymanej mieszaninie gazowej [3].

Celem badań jest otrzymanie katalizatorów dedykowanych do generowania wodoru na drodze reformingu parowego metanolu. Jako prekursor materiałów katalitycznych została wykorzystana odpadowa biomasa – skórka banana – na której, za pomocą impregnacji i współstrącania, osadzono cząstki metaliczne. Uzyskane po obróbce termicznej katalizatory typu CZA (tj. $Cu/ZnO/Al_2O_3$) scharakteryzowano za pomocą XRD, FTIR, SEM-EDS, analizy elementarnej CHNS, TGA i XPS. Określona została zależność pomiędzy składem, strukturą i morfologią powierzchni katalizatorów a ich aktywnością w procesie reformingu parowego metanolu.

- [1] J. Liang, M. Nabi, P. Zhang, G. Zhang, Y. Cai, Q. Wang, Z. Zhou, Y. Ding, Promising biological conversion of lignocellulosic biomass to renewable energy with rumen microorganisms: A comprehensive review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 134 (2020) 110335. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110335>.
- [2] M. Belluati, S. Tabasso, E. Calcio Gaudino, G. Cravotto, M. Manzoli, Biomass-derived carbon-based catalysts for lignocellulosic biomass and waste valorisation: a circular approach, *Green Chem.* 26 (2024) 8642–8668. <https://doi.org/10.1039/d4gc00606b>.
- [3] E. Pawelczyk, N. Łukasik, I. Wysocka, A. Rogala, J. Gębicki, Recent Progress on Hydrogen Storage and Production Using Chemical Hydrogen Carriers, *Energies.* 15 (2022) 4964–4999. <https://doi.org/10.3390/en15144964>.

Autorzy dziękują za wsparcie finansowe Politechnice Gdańskiej w ramach projektu Argentum Triggering Research Grants – ‘Excellence Initiative – Research University (DEC-9/1/2023/IDUB/I3b/Ag).

PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIE ZAAWANSOWANYCH MODELI REOLOGICZNYCH DO MODELOWANIA PRZEPŁYWU PŁYNÓW WIELOFAZOWYCH

Łukasz Makowski, Wojciech Orciuch, Krystian Jędrzejczak, Radosław Krzosa
Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej

Praca przedstawia zastosowanie modeli reologicznych połączonych z obliczeniową mechaniką płynów na przykładzie dwóch praktycznych aplikacji. W pierwszym przypadku model został zaproponowany, aby opisać właściwości reologiczne zawiesiny tlenku tytanu na potrzeby badania procesów deaglomeracji cząstek z wykorzystaniem przemysłowych urządzeń dyspergujących. Badania z użyciem reometru rotacyjnego MCR 302 firmy Anton Paar pokazały, że zawiesina jest silnie rozrzedzana ścinaniem dla niskich wartości szybkości ścinania. W układzie podwójnie logarytmicznym zależność lepkości od szybkości ścinania jest liniowa, z tego względu właściwości reologiczne zawiesiny tlenku tytanu można opisać za pomocą równania Ostwalda-de Waele'a, dobierając stały indeks płynięcia n dla wszystkich zakresów szybkości ścinania o dwie wartości współczynnika konsystencji k , w zależności od wartości szybkości ścinania. Aby dopasować model reologiczny tak, aby funkcja go opisująca była ciągła oraz różniczkowalna w całym zakresie zbadanej szybkości ścinania do opisu przejścia pomiędzy różnymi wartościami współczynnika konsystencji wykorzystano funkcję aktywacji, w postaci:

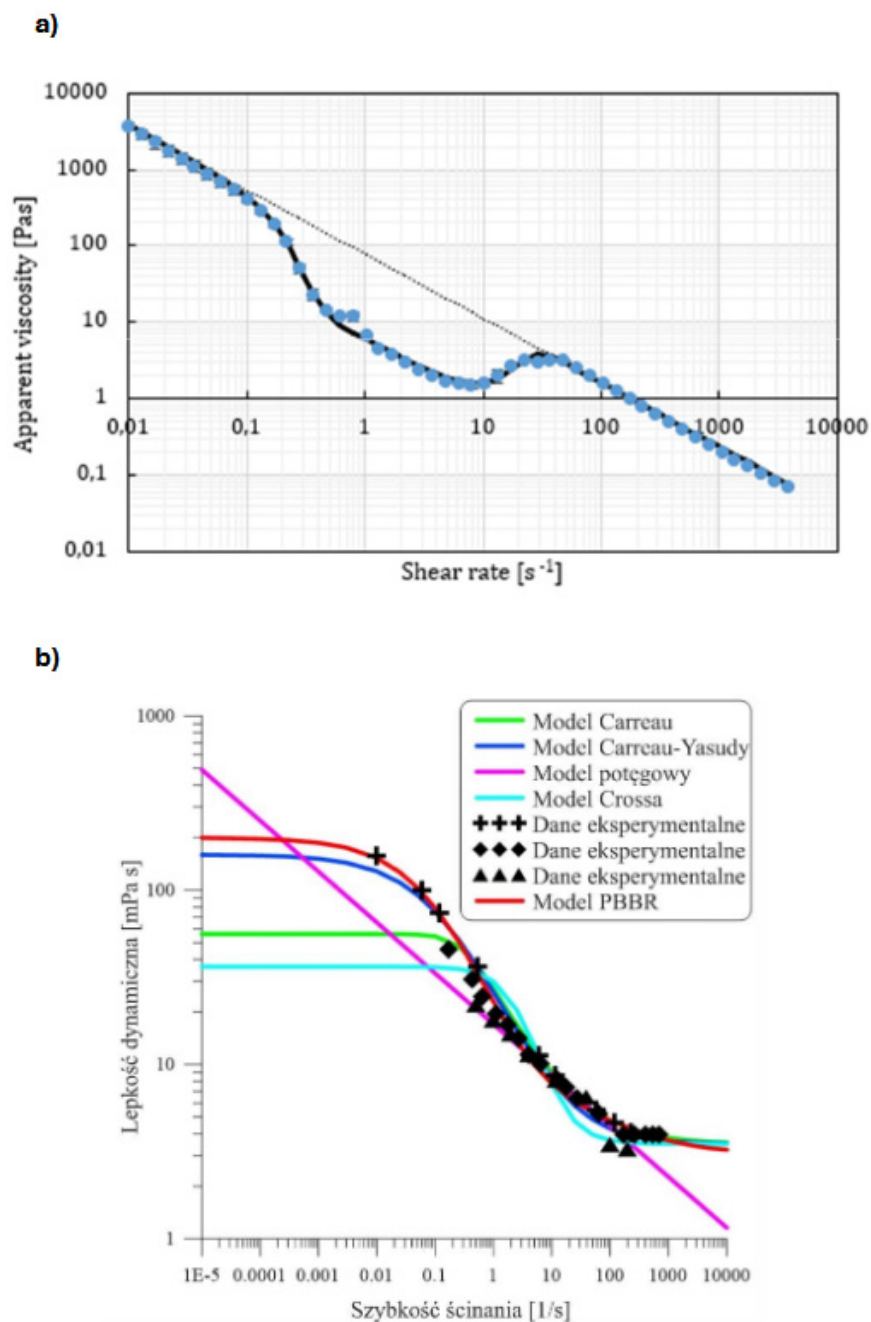
$$f(\dot{\gamma}) = \frac{L_1}{1 + e^{-\lambda_1(\dot{\gamma}-\dot{\gamma}_1)}} - \frac{L_2}{1 + e^{-\lambda_2(\dot{\gamma}-\dot{\gamma}_2)}}$$

gdzie $L_{1,2}$ są wartościami odchyłki od początkowego liniowego przebiegu, parametry $\lambda_{1,2}$ opisują szybkość zmiany pomiędzy wartości lepkości pomiędzy prostymi, natomiast parametry $\dot{\gamma}_{1,2}$ opisują wartości szybkości ścinania, przy których zaczynają się odstępstwa od przebiegu liniowego. Zależność lepkości od szybkości ścinania można więc opisać ostatecznie równaniem:

$$\eta(\dot{\gamma}) = k\dot{\gamma}^{n-1} \cdot 10^{-f(\dot{\gamma})}$$

Zastosowanie takiego równania pozwala na wyznaczanie zmian lepkości przy różnych wartościach szybkości ścinania podczas obliczeń CFD pracy takiego układu.

Kolejnym przykładem jest model reologii krwi. Zaproponowany model PBBR uwzględnia aglomeracje i deaglomeracje aglomeratów czerwonych krwinek pod wpływem zmiennych naprężeń ścinających. Ponadto w przypadku występowania naprężeń ścinających powyżej progu wytrzymałości erythrocytu dochodzi do zjawiska hemolizy mechanicznej, która również jest uwzględniona w modelu. W związku z tym, że model opiera się na rozwiązaniu bilansu populacji rozkładu aglomeratów czerwonych krwinek uwzględnia on zarówno właściwość krwi do bycia rozrzedzanej ścinaniem, jak i efekty tiksotropowe.



Rys. 1. (a) Zależność lepkości zawiesiny tlenku tytanu od szybkości ścinania dla temperatury 5°C;
(b) lepkość dynamiczna krwi w funkcji szybkości ścinania

Krzosa R., Makowski Ł., Orciuch W., Özcan-Taşkın G., Adamek R., Wojasiński M. Characterization of structures and properties of TiO₂ powders. Powder Technol. 2023;421. [doi:10.1016/j.powtec.2023.118437](https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.118437).

Jędrzejczak K., Makowski Ł., Orciuch W. Model of blood rheology including hemolysis based on population balance. Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul. 2023;116. [doi:10.1016/j.cnsns.2022.106802](https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2022.106802).

HYDRATAcja ZAGĘSTNIKÓW STOSOWANYCH DO FARB WŁÓKIENNICZYCH – DOBÓR RODZAJU MIESZADŁA I PARAMETRÓW PROCESOWYCH

Piotr Owczarz, Jacek Stelmach

Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Katedra Inżynierii Chemicznej i Molekularnej

Proszki stosowane są w wielu gałęziach przemysłu m.in. jako zagęstniki w procesach barwienia tkanin, papierów, folii. Ze względu na wymagania jakościowe wyrobów, ich funkcjonalność oraz atrakcyjność dla konsumentów szybko wzrasta liczba i różnorodność stosowanych substancji, a tym samym istnieje potrzeba lepszego zrozumienia zmian zachodzących w ich właściwościach oraz zachowania podczas procesów hydratacji. Powszechnie stosowane substancje strukturotwórcze to materiały występujące w postaci suszonych aglomeratów makrocząstek głównie z grupy polisacharydów i ich pochodnych. Związki takie składają się z długich łańcuchów spolimeryzowanych cząsteczek cukrów prostych zawierających liczne grupy hydroksylowe mogące tworzyć wiązania wodorowe z cząsteczkami wody. Gdy polisacharyd zostaje zanurzony w wodzie, to

- cząsteczki wody wnikają między łańcuchy polisacharydu powodując rozpad agregatów i wydzielenie mniejszych grup makrocząstek;
- grupy hydroksylowe wiążą wodę poprzez wiązania wodorowe tworząc strukturę przestrzenną, która może ulegać rozpadowi pod wpływem bodźców mechanicznych;
- łańcuchy biopolimeru ulegają rozwinięciu i rozdzieleniu;
- polisacharyd pęcznieje lub rozpuszcza się (jeśli jest rozpuszczalny).

W przypadku zagęstników stosowanych w przemyśle włókienniczym popularnymi substancjami strukturotwórczymi wykorzystywanymi w procesach farbowania są eter poligalaktomananowy oraz mieszanina polisacharydów w tym eteru skrobiowego. Stosowane procesy nadruku wymagają stabilizacji właściwości farb w bardzo wąskim zakresie lepkości. Jednocześnie konieczne jest dokładne odgazowanie medium – pęcherzyki gazu powodują nieprawidłowe wybarwienie tkanin.

Celem pracy była analiza przebiegu procesu przygotowania pierwotnego jednorodnego zagęstnika do farbowania fazowego o lepkości ok. 16 Pa·s przy jednoczesnym ograniczeniu zawartości pęcherzy gazowych.

Wykonano badania reologiczne zawiesiny proszku oraz medium zawierającego w pełni spęczniały polimer, badania turbidymetryczne nawilżania złożeń, jak również badania symulacji procesu rozpuszczania w skali laboratoryjnej i półtechnicznej. W skali laboratoryjnej stosowano układ do kleikowania bezieściennionowego przystosowany do pracy z reometrem rotacyjnym Anton Paar oraz układ mieszalnika w skali ćwierć technicznej wyposażony w regulację i pomiar częstości obrotowej mieszadła jak również układ pomiaru momentu obrotowego. Badania przeprowadzono dla mieszadeł śmigłowych, turbinowych o pochylonych łopatkach oraz ślimakowych.

Na podstawie uzyskanych danych laboratoryjnych oraz wstępnych badań laboratoryjnych stwierdzono, że założone efekty rozpuszczania badanego polisacharydu przy najmniejszych nakładach energetycznych oraz ograniczeniu zawartości gazu uzyskano dla mieszadła ślimakowego o średnicy równej połowie średnicy mieszalnika. Czas procesu wyznaczony w oparciu o uzyskanie stałej wartości momentu obrotowego, odpowiadający stałej wartości współczynnika lepkości dynamicznej przy stałych obrotach mieszadła wynosił, tak jak w przypadku badań laboratoryjnych, około dwóch godzin.

OTRZYMYWANIE DOMIESZKOWANEGO HYDROKSYAPATYTU W POSTACI NANOCZĄSTEK

Kornel Prystupik, Witold Zarzycki, Michał Wojasiński, Paweł Sobieszuk

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej

Hydroksyapatyt (HAp) to związek nieorganiczny o wzorze $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, szeroko wykorzystywany w medycynie, szczególnie w ortopedii i stomatologii, m.in. jako składnik powłok implantów, wypełnień ubytków kostnych czy cementów medycznych. Jego popularność wynika z właściwości bioaktywnych i biodegradowalnych, a także ze strukturalnego podobieństwa do mineralnego składnika tkanki kostnej. Hydroksyapatyt występujący w organizmach żywych zawiera dodatkowe jony (np. magnezowe), których obecność zwiększa gęstość materiału i poprawia jego wytrzymałość mechaniczną. Ponadto hydroksyapatyt domieszkowany magnezem (Mg-HAp) poprawia przyczepność osteoblastów i proliferację komórek oraz ma właściwości antibakteryjne. Z tego powodu intensywnie rozwijane są metody umożliwiające otrzymywanie domieszkowanego Mg-HAp w postaci nanocząstek.

W pracy przedstawiono wyniki badań doświadczalnych otrzymywania domieszkowanych magnezem nanocząstek hydroksyapatytu z wykorzystaniem precypitacji z roztworu (tzw. metoda mokra) w minireaktorze przepływowym oraz w procesie mechanochemicznym.

W metodzie mokrej, opracowanej dla otrzymywania hydroksyapatytu bez domieszek substratami był azotan wapnia i wodorofosforan diamonu [1]. W celu domieszkowania magnezem część azotanu wapnia zastąpiono azotanem magnezu w ten sposób, że 5% moli Ca zastąpiono molami Mg. Otrzymano nanocząstki kuliste o charakterystycznym dla HAp widmie FTIR. Stopień podstawienia wapnia magnezem sięgnął 4%. W metodzie mokrej substraty muszą być doprowadzone do pH 10, co wymaga wielokrotnego oczyszczenia końcowego produktu. Ponadto absorpcja CO_2 w alkalicznych roztworach wodnych powoduje pojawienie się węglanów w strukturze hydroksyapatytu. W celu uniknięcia tych wad zbadano otrzymywanie Mg-HAp w metodzie mechanochemicznej. Początkowo użyto azotanu wapnia, wodorofosforanu diamonu i azotanu magnezu w identycznych proporcjach do metody mokrej i zmielono te substraty w młynie kulowym na sucho. Ponownie otrzymano kuliste nanocząstki Mg-HAp, niewymagające oczyszczenia i niezawierające grup węglanowych. Kolejnym krokiem było zmielenie otrzymanego w metodzie mokrej HAp z azotanem magnezu. Ta modyfikacja również zakończyła się otrzymaniem pożądanego produktu. Przedstawione wyniki badań wskazują na możliwość domieszkowania HAp również innymi pożądanymi jonami jak strontu, kobaltu, miedzi i cynku.

[1] Latocha J., Wojasiński M., Jurczak K., Gierlotka S., Sobieszuk P., Ciach T., „Precipitation of hydroxyapatite nanoparticles in 3D-printed reactors”, Chem. Eng. Process. Process Intensif. 133, 221–233, (2018).

THE INFLUENCE OF LIQUID DENSITY AND VISCOSITY DIFFERENCES ON THE GENERATION OF THE INTERMATERIAL SURFACE AREA IN THE PROCESS OF HYDRODYNAMIC FOCUSING

Antoni Rozeń

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej

The development of the contact surface of mixed liquids and the reduction of the thickness of layers or the diameters of filaments and droplets of the dispersed phase suspended in the continuous phase enable effective diffusive transport of liquid solution components under laminar flow conditions. This can be achieved at the initial mixing stage by reducing the size of the mixer and using hydrodynamic focusing, which involves the deformation of the additive liquid stream by the main liquid stream [1]. The focusing of the additive stream occurs as a result of viscous stresses tangential to the liquid contact surface and stresses normal to this surface related to the pressure distribution in the main liquid stream. As a result, the additive stream takes the form of an elongated filament [2] (3D focusing) or a thin striation [3] (2D focusing) surrounded by the main stream. This work aims to investigate the influence of physical properties, in particular the density differences of mixed liquids, and the method of hydrodynamic focusing on the final intermaterial surface area in vertical flow micromixers. Such systems can be used to avoid destabilisation of the contact surface and secondary gravitational segregation of liquid phases during flow along horizontal channels. In this work, the continuity and Navier-Stokes equations were solved analytically and numerically, using the finite element method, for the axi-symmetric core-ring flow in a pipe and the stratified symmetric flow along a rectangular channel. The influence of differences in liquid density and viscosity, as well as the effect of the axial pressure gradient of the liquid, on the filament diameter and striation thickness of the additive stream, and the concentration of the contact surface area in both downward and upward flow in a micromixer channel, were determined.

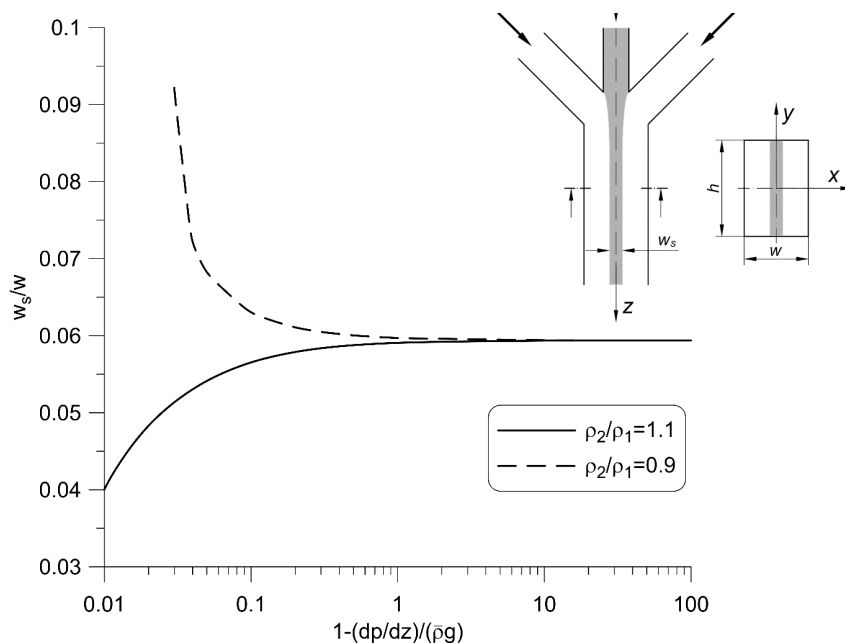


Fig. 1. Effect of the liquid density ration and the axial pressure gradient on the width of the central additive stream in the downward flow: $Q_2/Q_1 = 0.1$, $\mu_2/\mu_1 = 0.1$, $h/w = 2$

-
- [1] Knight, J.B., Vishwanath, A., Brody, J.P., Austin, R.H., 1998. *Phys. Rev. Lett.*, 80, 3863–3866.
- [2] Chiu, Y.-J., Cho, S.H., Mei, Z., Lien, V., Wu, T.-F., Lo, Y.-H., 2013. *Lab Chip*, 13, 1803–1809.
- [3] Lee, G.-B., Chang, C.-C., Sung-Bin Huang, S.-B., Yang, R.-J., 2006. *J. Micromech. Microeng.*, 16, 1024–1032.

EFFECTS OF GAS AND LIQUID PHASE MODIFICATION ON THE PERFORMANCE OF BTEX COMPOUNDS REMOVAL FROM AIR IN BIOTRICKLING FILTERS

Piotr Rybarczyk¹, Patrycja Pliszka¹, Karolina Kucharska¹, Daniel Dobslaw², Benjamin Korth³, Jacek Gębicki¹

¹Gdańsk University of Technology, Faculty of Chemistry, Department of Process Engineering and Chemical Technology

²University of Stuttgart, Institute of Spatial and Regional Planning, Germany

³Helmholtz Centre for Environmental Research, Department of Microbial Biotechnology, Germany

Biotrickling filters are three-phase systems allowing for efficient treatment of waste air, especially for the removal of odorous volatile organic compounds (VOCs). In a biotrickling filter, waste gas stream is passed through a layer of porous packing elements which are sprayed with aqueous solution. Upon inoculating the biofilter with microorganisms, the biofilm layer develops at the surface of the packing elements. When VOCs are the sole source of carbon for the microorganisms, they are utilized as an energy source, biodegraded within the biofilm and thus removed from the air stream. However, biodegradation of VOCs is limited by the mass transfer of the gaseous compounds to the aqueous phase. The limited mass transfer is especially problematic for hydrophobic VOCs. In this work, influence of ethanol addition to the liquid and gaseous phases on the biotrickling filtration performance of benzene, toluene, ethylbenzene, xylene and styrene is investigated.

Experiments were run in three similar biotrickling filters (BTFs). Each BTF was packed with polyurethane (PU) foam discs. Prior to the process start-up, PU discs were inoculated with microorganisms originating from wastewater treatment plant activated sludge. The packing was sprayed periodically with a mineral salt medium. Following systems were investigated: BTF 1 served as a reference with no modification of gas or liquid phase throughout the experimentation time; in BTF 2 ethanol was added to the gaseous phase, and in BTF 3 ethanol was added to the liquid phase. Effects of variable loads of VOCs as well as concentrations of ethanol on the VOCs removal performance, CO₂ production, pressure drop across the packed layer, pH and surface tension of the trickling liquid were investigated. Interpretation of the results is supplemented by metagenomic analyses of DNA samples isolated from biofilms of each biotrickling filter.

The results show that the highest removal performance of BTEX compounds from air was achieved in a biofiltration system where ethanol was added to the gaseous phase. This finding is accompanied by higher CO₂ production, higher pressure drop and lower surface tension of the trickling liquid, compared to the reference system. The results indicate higher VOCs biodegradation rate as well as more favorable conditions for mass transfer of BTEX compounds from gas to liquid phase when ethanol is present in the treated gaseous stream.

Financial support of these studies from Gdańsk University of Technology by DEC-9/2022/IDUB/II.2/Sc grant under the Scandium – “Excellence Initiative – Research University” program is gratefully acknowledged.

REORGANIZACJA DYSTRYBUCJI PRZEPŁYWU DWUFAZOWEGO W MIKORADIATORZE DLA CELÓW POPRAWY CHŁODZENIA

Gurjeet Singh¹, Paweł Dąbrowski², Dariusz Mikielwicz², Ritunesh Kumar¹

¹Indian Institute of Technology, Indore, Indie

²Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa, Instytut Energii

Wrzenie w przepływie w mikrokanalach wciąż budzi ogromne zainteresowanie na całym świecie ze względu na doskonałą dyssypację ciepła i pojawiające się wyzwania związane ze zjawiskiem przepływów wstecznych. Przepływy te są spowodowane nasileniem nierównomierności przepływu. Zjawisko to jest szczególnie istotne dla pracy mikrokanalowych radiatorów (Micro Channel Heat Sink – MCHS) i powoduje nierównomierny rozkład temperatury na powierzchni chłodzonego elementu, np. procesora. W tym kontekście niniejsza praca zajmuje się nierównomiernym rozkładem przepływu i jego wewnętrznym związkiem z niestabilnością wrzenia w skali mikro. Podczas badań przetestowano eksperymentalnie dwie konfiguracje MCHS: konstrukcję konwencjonalną (CD-MCHS) oraz konstrukcję o zmiennej wysokości kanałów (VH-MCHS), która ma na celu ujednoczenie rozprawy na powierzchni radiatora. Zauważono, że przy silnej nierównomierności przepływu (układ CD-MCHS), wrzenie następuje w bocznych mikrokanalach, podczas gdy w kanałach centralnych przepływ pozostaje jednofazowy. Z drugiej strony, zaproponowana konstrukcja VH-MCHS zapewnia bardziej równomierny rozkład przepływu płynu, który pomaga wyeliminować opóźnienie wrzenia między mikrokanalami bocznymi a centralnymi. Jednorodność strumienia masy w równoległych kanałach radiatora zwiększa rozpraszany strumień ciepła odpowiadający za rozpoczęcie procesu wrzenia. Zaobserwowano zwiększenie o 7,7–17,3% gęstości strumienia ciepła w badanym zakresie przepływu masowego przy $m_{in}=0,8-3,2$ g/s w porównaniu do CD-MCHS. Proponowana konstrukcja obniża również przegrzanie ścianki na początku wrzenia zarodkowego ze 107,5°C dla CD-MCHS do 106,3°C dla konstrukcji VH-MCHS przy $m_{in}=2,4$ g/s oraz $T_{in}=30^{\circ}\text{C}$. Ponadto konstrukcja VH-MCHS zapewnia lepszą jednorodność profilu temperatury na powierzchni, niższą intensywność cofania się pary i niskie wahania sygnałów ciśnienia niż konstrukcja CD-MCHS. W pracy zaproponowano korelację dla dwufazowego współczynnika spadku ciśnienia podczas wrzenia w przepływie przechłodzonym.

Badania przedstawione w niniejszej pracy zostały sfinansowane w ramach projektów badawczych we współpracy polsko-indyjskiej pomiędzy Ministerstwem Nauki i Szkolnictwa Wyższego w Polsce a Departamentem Nauki i Technologii w Indiach nr DST/INT/Pol/P-29/2016 oraz Narodowego Centrum Nauki nr 2023/51/D/ST8/01989 w latach 2024–2027.

BIOCHEMICZNY KOD WODORU, CZYLI JAK ZAWARTOŚĆ BIAŁKA NAPĘDZA AKTYWNOŚĆ FOTOSYNTETYZUJĄCYCH BAKTERII W ZINTEGROWANYM PROCESIE FERMENTACYJNYM

Edyta Słupek, Karolina Kucharska, Ilona Strzelczyk, Jacek Gębicki

Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny, Katedra Inżynierii Procesowej i Technologii Chemicznej

Rosnące globalne zapotrzebowanie na zrównoważone i bezemisyjne źródła energii przyczyniło się do intensyfikacji badań nad biologiczną produkcją wodoru jako alternatywy dla paliw kopalnych. Obecnie fermentacja ciemna zyskała szczególne uznanie ze względu na zdolność do przekształcania szerokiego spektrum odpadów przemysłu rolno-spożywczego, w wodór w warunkach beztlenowych. Jednak proces charakteryzuje się niską wydajnością produkcji wodoru, ograniczonym odzyskiem energii oraz wysokimi kosztami operacyjnymi. W celu przezwyciężenia ograniczeń, coraz częściej stosuje się podejście synergiczne, które łączy fermentację ciemną z fotofermentacją, umożliwiając zwiększenie wydajności poprzez wykorzystanie pofermentacyjnej brzezki jako substratu dla bakterii fotosyntetyzujących.

Celem badania było określenie wpływu udziału objętościowego brzezki pofermentacyjnej jako substratu w procesie fotofermentacji z wykorzystaniem bakterii *Rhodospirillum rubrum* (NCIB 8255). Badania przeprowadzono w zakresie stężeń od 0,02% do 0,5% objętości brzezki względem modelowej wody morskiej. Ocena parametrów takich jak chemiczne zapotrzebowanie na tlen (ChZT), biochemiczne zapotrzebowanie na tlen (BZT_s) oraz zawartość białka przed i po procesie fotofermentacji stanowiła kluczowy element analizy. Proces charakteryzował się wielofazowym przebiegiem, obejmującym transport składników odżywczych w fazie ciekłej, wydzielanie gazu oraz aktywność mikrobiologiczną, związaną z uwalnianiem lipidów. Zwiększenie stężenia brzezki (0,5:0,5) skutkowało ograniczeniami w zakresie separacji faz oraz tłumieniem penetracji światła. Z kolei układ o większym rozcieńczeniu (0,02:0,98) zapewniał stabilne warunki przepływu i lepszą transmisję światła.

W badaniach wykazano, że zawartość białka w medium reakcyjnym może pełnić funkcję wskaźnika intensywności aktywności metabolicznej bakterii fotosyntetyzujących. Zastosowanie wskaźników umożliwiło ilościowe określenie zmian w składzie organicznym medium oraz aktywności metabolicznej mikroorganizmów, co bezpośrednio koreluje z wydajnością produkcji wodoru. Innowacyjność podejścia polegała na kompleksowej ocenie parametrów środowiskowych i biochemicznych, które dotychczas były rzadko analizowane w kontekście synergii fermentacji ciemnej i fotofermentacji.

Badania zrealizowano w ramach projektu NCN, zgodnie z porozumieniem UMO-2021/41/B/ST8/02395, Zagospodarowanie odpadów frakcji bio do dwuetapowego wytwarzania biowodoru z jednoczesnym uzdatnianiem strumieni gazowych za pomocą zielonych rozpuszczalników.

SYMULACJE CFD MIESZANIA CIECZY MIESZADŁAMI STATYCZNYMI

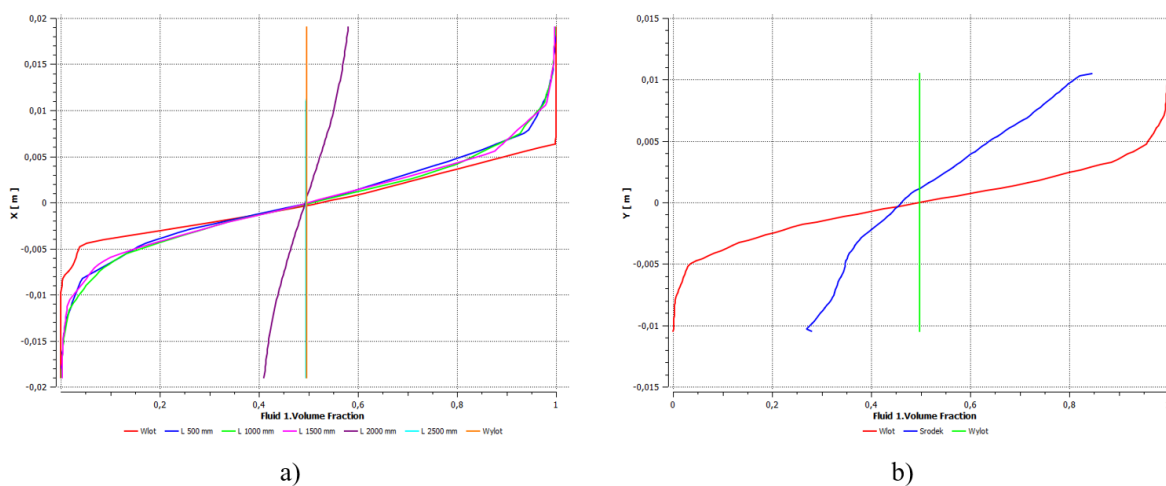
Jacek Stelmach

Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska

W pracy podjęto próbę określenia jednorodności cieczy podczas przepływu w rurze zaopatrzonej w różne mieszadła statyczne (Kenics, PK, śrubowe). W przypadku przepływów burzliwych symulowano mieszanie wody i alkoholu etylowego (podstawowe składniki płynu do spryskiwaczy samochodowych). Dla zakresu przepływów laminarnych przeprowadzono symulacje mieszania glikolu etylenowego i propylenowego. Jako warunki odniesienia przyjęto przepływ w prostoliniowej rurze o długości $L = 3$ m i średnicy wewnętrznej $d = 38$ mm i $d = 50$ mm (rys. 1a). Obliczenia prowadzono w programie Ansys CFX dla różnych stosunków natężeń przepływów cieczy i różnych prędkości wlotowych.

W przypadku przepływu burzliwego mieszadła statyczne skracają drogę mieszania (rys. 1b), ale odbywa się to kosztem zwiększonych oporów przepływu. W przypadku zastosowań przemysłowych pozwala to na zwiększenie prawdopodobieństwa otrzymania jednorodnego roztworu. Również koszt instalacji w porównaniu do zbiornika z mieszadłem mechanicznym jest wielokrotnie mniejszy. Natomiast dla mieszania w przepływie laminarnym uzyskano jednorodne mieszaniny, co nie było możliwe dla rury bez wypełnienia strukturalnego. Symulacje komputerowe przeprowadzono również dla różnych układów wlotowych, które mogą poprawić warunki mieszania podczas przepływu płynów.

Użycie komercyjnych programów CFD pozwala niewielkim kosztem dobrać układ do mieszania cieczy w przepływie. Niestety obecnie nie są możliwe symulacje, gdy jedna ciecz porusza się laminarnie, a druga burzliwie.



Rys. 1. Symulacje mieszania glikolu etylenowego i propylenowego

REOLOGICZNE I HYDRODYNAMICZNE ASPEKTY MECHANICZNEGO MIESZANIA MIKROŻELI I MAGNETOŻELI: PRZEGLĄD ZAGADNIĘĆ

Anna Story, Grzegorz Story, Rafał Rakoczy, Kleopatra Majewska

Zachodniopomorski Uniwersytet Techniczny w Szczecinie, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej

Mikrożele i magnetożele są przykładami złożonych układów ciecz–ciało stałe, które charakteryzują się unikalnymi właściwościami reologicznymi i strukturalnymi. Dzięki swojej zdolności do reagowania na bodźce mechaniczne oraz – w przypadku magnetożeli – na zewnętrzne pole magnetyczne, materiały te zyskują rosnące znaczenie w przemyśle kosmetycznym, farmaceutycznym, a także w dziedzinach technologii inteligentnych materiałów. Układy te wykorzystywane są m.in. jako matryce w systemach kontrolowanego uwalniania substancji czynnych, zagęstniki, media transportowe, a także elementy aktywne w miękkiej robotyce i sensorach.

Reologia mikrożeli i magnetożeli często wykazuje cechy cieczy nienewtonowskich – takie jak pseudoplastyczność, obecność granicy płynięcia czy silne zależności lepkości od prędkości ścinania. Tego typu zachowania stanowią istotne wyzwanie w projektowaniu i prowadzeniu procesów mieszania, które są kluczowe dla uzyskania jednorodnej struktury materiału i jego przewidywalnych właściwości użytkowych. Problemy te nasilają się w skali przemysłowej, gdzie dodatkowo należy uwzględnić kwestie skalowania hydrodynamiki, kontroli temperatury oraz ograniczenia energetyczne.

W niniejszym przeglądzie przedstawiono aktualny stan wiedzy dotyczący reologii oraz hydrodynamiki mechanicznego mieszania mikrożeli i magnetożeli. Omówiono najczęściej stosowane modele matematyczne opisujące ich zachowanie reologiczne, a także mechanizmy wpływające na skuteczność mieszania w mieszalnikach mechanicznych. Szczególną uwagę poświęcono porównaniu klasycznych układów mikrożelowych (np. opartych na Carbopolu) z nowszymi materiałami magnetoaktywnymi, które mogą być zdalnie sterowane za pomocą zmiennego pola magnetycznego. Uwzględniono również najnowsze doniesienia literaturowe dotyczące technik pomiarowych i wizualizacji przepływu, takich jak PIV (*Particle Image Velocimetry*) czy symulacje CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Zidentyfikowano typowe trudności związane z modelowaniem i eksperymentalnym badaniem tych systemów, w tym istnienie stref martwych, gradientów stężenia i niejednorodnej dyspersji cząstek żelowych.

Celem pracy jest wskazanie kluczowych czynników wpływających na efektywność mieszania układów ciecz–ciało stałe o właściwościach żelowych oraz identyfikacja obszarów wymagających dalszych badań, szczególnie w kontekście praktycznego wdrażania tych materiałów w złożonych procesach technologicznych.

NUMERYCZNA ANALIZA PRZEPŁYWU UKŁADÓW CIAŁO STAŁE–CIECZ Z UDZIAŁEM CZĄSTEK ŻELOWYCH: WPŁYW PARAMETRÓW REOLOGICZNYCH I PROCESOWYCH NA ROZKŁAD PRĘDKOŚCI W MIESZALNIKU

Grzegorz Story, Anna Story, Rafał Rakoczy, Kleopatra Majewska

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej

Układy zawiesin cząstek żelowych w cieczach nienewtonowskich stanowią przykład przepływów wielofazowych ciało stałe–ciecz o dużym znaczeniu praktycznym, zwłaszcza w przemyśle farmaceutycznym, kosmetycznym oraz spożywczym. Jednym z kluczowych etapów ich przetwarzania jest mieszanie, które ze względu na złożoną reologię i obecność deformowalnych cząstek żelowych wymaga indywidualnego podejścia projektowego. W tego typu układach przepływ ma charakter silnie niestacjonarny i niejednorodny, a rozkład prędkości zależy zarówno od właściwości cieczy ciągłej, jak i od charakterystyki cząstek żelowych oraz geometrii i warunków pracy mieszalnika.

Celem niniejszej pracy była numeryczna analiza przepływu układu ciecz–ciało stałe z udziałem cząstek żelowych (Carbopol Ultrez 30) w mieszalniku mechanicznym. Model numeryczny opracowano przy użyciu komercyjnego oprogramowania CFD, Ansys Fluent 2024 R2, uwzględniając przepływ cieczy nienewtonowskiej opisywanej równaniem Herschela-Bulkleya. Przeprowadzono symulacje w różnych warunkach procesowych, obejmujących zmienną geometrię i prędkość obrotową mieszadła, a także zróżnicowane stężenie mikrożelu wpływające na zmianę parametrów reologicznych mieszanego medium.

Wyniki symulacji pozwoliły na ocenę wpływu poszczególnych parametrów reologicznych i procesowych na rozkład prędkości w objętości roboczej zbiornika oraz identyfikację obszarów o ograniczonej cyrkulacji. Zaobserwowano istotne różnice w strukturze przepływu przy zmianie lepkości pozornej cieczy, a także geometrii mieszadła i jego prędkości obrotowej. Wzrost stężenia fazy rozproszonej sprzyjał powstawaniu rozległych stref martwych, zwłaszcza w obszarach oddalonych od bezpośredniego zasięgu działania mieszadła. Z kolei zwiększenie szybkości obrotów oraz zastosowanie mieszadeł generujących bardziej intensywną cyrkulację cieczy prowadziło do intensyfikacji mieszania i poprawy homogenizacji układu.

Uzyskane wyniki stanowią podstawę do lepszego zrozumienia mechanizmów przepływu w układach ciało stałe z cząstkami żelowymi–ciecz i mogą być wykorzystane w praktyce inżynierskiej do optymalizacji mieszalników pracujących z cieczami o złożonych właściwościach reologicznych.

BIOWODÓR Z ODPADÓW FERMENTACYJNYCH – EFEKTYWNOŚĆ I PRODUKTY UBOCZNE PROCESU FOTOFERMENTACJI Z UDZIAŁEM *RHODOSPIRILLUM RUBRUM*

Ilona Strzelczyk, Karolina Kucharska, Edyta Słupek, Jacek Gębicki

Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny, Katedra Inżynierii Procesowej i Technologii Chemicznej

W ostatnich latach obserwuje się rosnące zainteresowanie produkcją biowodoru metodami biologicznymi, w szczególności fermentacją ciemną, ze względu na jej możliwość przetwarzania odpadów organicznych w czasie procesu. Wysoki potencjał energetyczny oraz brak emisji gazów cieplarnianych w trakcie użytkowania sprawia, że wodór postrzegany jest jako kluczowy element w rozwoju zrównoważonych systemów energetycznych.

W prezentowanych badaniach wykorzystano odpadowe brzezki pofermentacyjne z fermentacji ciemnej jako substrat w procesie fotofermentacji, stanowiącej drugi etap w zintegrowanym procesie biologicznej produkcji wodoru. Substratem w fermentacji ciemnej była glukoza, a proces prowadzono z wykorzystaniem szczepu *Enterobacter aerogenes*. Uzyskaną po fermentacji brzeczkę, zawierającą mieszaninę związków organicznych (m.in. kwasy organiczne, metabolity wtórne, fragmenty ścian komórkowych oraz pozostałości mikroorganizmów metanogennych), poddano oczyszczeniu i wykorzystano jako pożywkę w procesie fotofermentacji. Eksperyment przeprowadzono w układzie składającym się z dziesięciu reaktorów periodycznych, wyposażonych w mieszadła magnetyczne oraz lampy emitujące promieniowanie podczerwone. Do każdej próbki dodano zawiesinę bakterii *Rhodospirillum rubrum* w wodzie morskiej oraz różne objętości oczyszczonej brzezki. Skład gazów pofermentacyjnych analizowano za pomocą chromatografii gazowej z detektorem przewodnictwa cieplnego (GC-TCD). Fazę olejową poddano analizie FTIR w celu identyfikacji lipidów i kwasów uronowych oraz oznaczenia ich zawartości. Określono również napięcie powierzchniowe i międzyfazowe próbek.

W przeprowadzonych badaniach wykazano, że proces fotofermentacji może skutecznie zwiększyć całkowity uzysk biowodoru, osiągając maksymalne chwilowe stężenie 53% obj. H₂ oraz średnią zawartość 26% obj. w próbkach, w których brzezka stanowiła 20% objętości. Udział objętościowy na wskazanym poziomie umożliwił efektywną produkcję wodoru, co wskazuje na istotny wpływ dawki substratu na aktywność bakterii fotosyntetyzujących. Proces pozwolił na odzysk cennych produktów ubocznych, takich jak lipidy i polisacharydy, co zwiększa jego atrakcyjność w kontekście biorafinerii.

Badania zrealizowano w ramach projektu NCN, zgodnie z porozumieniem UMO-2021/41/B/ST8/02395.

MODELOWANIE PROCESÓW W PRODUKCJI SODY METODĄ SOLVAYA Z WYKORZYSTANIEM CYFROWYCH BLIŹNIAKÓW

Sławomir Szczepblewski¹, Jacek Gębicki²

¹Politechnika Gdańska, Szkoła Doktorska Wdrożeniowa, Qemetica Soda Polska

²Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny, Katedra Inżynierii Procesowej i Technologii Chemicznej

Produkcja sody metodą Solvaya oparta jest na kompleksowych zjawiskach transportu masy oraz ciepła w układach wielofazowych z włączeniem reakcji gaz–ciecz i ciecz–ciało stałe. Podstawą analiz jest zrozumienie i optymalizacja nieliniowości oraz dynamizmu zachodzących procesów. Dane procesowe zostały powiązane z symulacjami numerycznymi (włączając metody uczenia maszynowego) tak, aby odwzorować realistycznie warunki operacyjne procesu. Uzyskane wyniki wskazują na szeroki potencjał technologii modelowania w zakresie przewidywania parametrów procesowych, optymalizacji oraz identyfikacji odchyłeń operacyjnych. Prezentowany poster opisuje cyfrowy model użyty do symulacji, jego walidację oraz przykłady wykorzystania modelu. Wykorzystanie technologii cyfrowych bliźniaków wpisujące się w idee Przemysłu 4.0 może znacząco wpływać na efektywność procesów, zmniejszenie wykorzystania surowców oraz poprawę kontroli jakości.

WPŁYW DODATKU ZWIĄZKU HYDROFILOWEGO NA EFEKTYWNOŚĆ USUWANIA ZWIĄZKÓW HYDROFOBOWYCH W BIOFILTRZE ZE ZŁOŻEM ZRASZANYM

Bartosz Szulczyński, Dominik Dobrzyniewski, Piotr Rybarczyk, Jacek Gębicki

Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny, Katedra Inżynierii Procesowej i Technologii Chemicznej

Hydrofilowe lotne związki organiczne (LZO) są na ogół łatwo usuwane z powietrza w procesach biologicznych ze względu na ich stosunkowo wysoką rozpuszczalność w wodzie i biodostępność. Skuteczność usuwania związków hydrofobowych jest jednak niższa niż w przypadku związków hydrofilowych. Dodatkowo odpowiednia konfiguracja biofiltra ze złożem zraszonym umożliwia zarówno modyfikację składu cieczy zraszającej, jak i dobór gatunków mikroorganizmów, które mają być zaszczerpione na elementach wypełnienia, dlatego te reaktory nadają się do dalszego rozwoju i optymalizacji ich parametrów pracy do efektywnego oczyszczania określonych gazów odlotowe, w tym zawierających związki hydrofobowe [1,2]. Obecnie rozwój technik biofiltracji, w tym BTF, koncentruje się na doskonaleniu metod usuwania hydrofobowych LZO. Można to zrealizować kilkoma podejściami, m.in. zastosowanie środków powierzchniowo czynnych lub modyfikacja bioreaktora. Co ciekawe, badania wskazują, że usuwanie związków hydrofobowych można poprawić, gdy do oczyszczonego strumienia gazu zostaną wprowadzone związki hydrofilowe [3].

Celem pracy jest zbadanie mechanizmów wpływu dodatku etanolu (związku hydrofilowego) na skuteczność usuwania wybranych związków hydrofobowych w biofiltrze ze złożem zraszonym wypełnionym pianką poliuretanową i zaszczerpionym konsorcjum grzybów. Biofiltry ze złożem zraszonym, w porównaniu z konwencjonalnymi, charakteryzują się stabilniejszą pracą i możliwością pełniejszej kontroli procesu. Z kolei grzyby, ze względu na strukturę morfologiczną, wykazują wyższą skuteczność usuwania związków hydrofobowych niż bakterie, a także wykazują większą zdolność do przetrwania niekorzystnych warunków (np. niskie pH).

- [1] Barbusinski, K.; Kalemba, K.; Kasperczyk, D.; Urbaniec, K.; Kozik, V. Biological methods for odor treatment – A review. *J. Clean. Prod.* 2017, 152, 223–241, [doi:10.1016/J.JCLEPRO.2017.03.093](https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.03.093).
- [2] Schiavon, M.; Ragazzi, M.; Rada, E.C.; Torretta, V. Air pollution control through biotrickling filters: a review considering operational aspects and expected performance. *Crit. Rev. Biotechnol.* 2016, 36, 1143–1155, [doi:10.3109/07388551.2015.1100586](https://doi.org/10.3109/07388551.2015.1100586).
- [3] Yang C, Qian H, Li X, Cheng Y, He H, Zeng G, Xi J. Simultaneous Removal of Multicomponent VOCs in Biofilters. *Trends Biotechnol.* 2018, 36, 673–685, [doi:10.1016/j.tibtech.2018.02.004](https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2018.02.004).

MODELOWANIE HEMOLIZY W PRZECIEKU MITRALNYM PRZY UŻYCIU MODELU REOLOGICZNEGO OPARTEGO NA BILANSIE POPULACJI

Krzysztof Truchel¹, Krzysztof Wojtas¹, Łukasz Sadłowski¹, Bogdan Ciszek², Wojciech Orciuch¹, Łukasz Makowski¹

¹Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej

²Warszawski Uniwersytet Medyczny, Zakład Anatomii Prawidłowej i Klinicznej

Niedomykalność zastawki mitralnej jest najczęstszą chorobą zastawek serca. Przy leczeniu zachowawczym 10-letnia przeżywalność wynosi zaledwie 4%, natomiast po operacji sięga 29%. Dostępne są dwie metody leczenia chirurgicznego: naprawa zastawki lub wszczepienie nowej. Choć pierwsza z nich jest skuteczniejsza i bezpieczniejsza, jednak nie zawsze jest możliwa do wykonania.

Jednym z poważnych powikłań po wszczepieniu sztucznej zastawki jest przeciek okołozastawkowy (PVL), czyli sztuczny kanał łączący komorę z przedsionkiem. Zjawisko to zwiększa niewydolność serca i może powodować wzmożoną hemolizę, czyli rozrywanie czerwonych krwinek. PVL stwierdza się u 22% pacjentów w chwili wypisu ze szpitala i u 74% po roku od zabiegu.

W celu zbadania hemodynamiki analizowanego stanu patologicznego przeprowadzono symulacje numeryczne z wykorzystaniem obliczeniowej mechaniki płynów, odwzorowujące fazę skurczu lewej komory serca. Domenę obliczeniową opracowano na podstawie danych z tomografii komputerowej oraz zweryfikowanych uproszczeń geometrycznych. W trakcie symulacji oceniano ryzyko hemolizy, przyjmując wartość progową naprężeń ścinających równą 300 Pa – poziom uznawany za krytyczny dla destrukcji erytrocytów.

Krew z uwagi na obecność elementów morfotycznych rozproszonych w osoczu jest płynem wielofazowym. Obecność deformujących i aglomerujących erytrocytów sprawia, że krew zaliczana jest do płynów rozrzedzanych ścinaniem z granicą płynięcia. W symulacjach badano zachowanie tego medium wykorzystując bilans populacji i opracowany na jego podstawie model reologiczny. Wyniki porównano z rezultatami dla popularnego w literaturze modelu Carreau-Yasuda.

Wyniki symulacji wskazują, że hemoliza zachodzi przez cały czas skurczu w okolicach ściany na wlocie kanału. Wykorzystanie modelu bazującego na bilansie populacji i opisującego wielofazowy charakter przepływu prowadziło do niewiele wyższych wartości naprężeń przy ścianie niż te z modelu Carreau-Yasuda, choć same wartości i ich trendy nie odbiegały od siebie znacząco. Model bazujący na bilansie populacji lepiej odwzorowywał zachowania przyścienne, w których zachodzą procesy deaglomeracyjne i następuje hemoliza. Zastosowanie modelu Carreau-Yasuda nie prowadzi jednak do istotnych błędów i – ze względu na mniejsze wymagania obliczeniowe – model może być używany w badaniach naukowych i diagnostyce medycznej.

WPŁYW PARAMETRÓW PRACY MŁYNA KULECZKOWEGO NA ENERGOCHŁONNOŚĆ PROCESU DEAGLOMERACJI WYBRANYCH PIGMENTÓW FARB DRUKARSKICH

Julia Wilewska¹, Radosław Krzosa¹, Adam Dudała², Paweł Gierycz¹, Wojciech Orciuch¹, Łukasz Makowski¹

¹Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej

²hubergroup Polska Spółka z o.o.

Dotychczas stosowana technologia produkcji farb drukarskich, polegająca na dyspergowaniu i mieleniu pigmentów, jest długotrwała i energochłonna, a jej wydajność zależy m.in. od parametrów sprzętu homogenizującego [1]. Słaba dyspersja pigmentu skutkuje niższą jakością produktu, polegającą na zmniejszonej sile koloru i sedymentacji podczas przechowywania [2]. Konieczne jest zatem przeprowadzenie analizy wpływu parametrów procesowych na wydajność pracy urządzeń dyspergujących w celu prowadzenia procesu w sposób zrównoważony kosztowo, czasowo i energetycznie. Niższe zużycie energii przez producentów jest kluczem do ograniczenia zanieczyszczeń, zminimalizowania produkcji gazów cieplarnianych i bardziej efektywnego wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych, a w konsekwencji utrzymania naszej planety w stanie nie gorszym niż obecnie.

W przeprowadzonych badaniach rozważano proces deaglomeracji cząstek pigmentów organicznych prowadzony w młynie kuleczkowym. Celem pracy było określenie wpływu parametrów pracy młyna kuleczkowego na energochłonność procesu przy zachowaniu wysokiej jakości produktów. W pracy została przeprowadzona analiza eksperymentalna i numeryczna. Wytwarzanie koncentratów pigmentowych przeprowadzono w dwóch krokach: przygotowanie predispersji z wykorzystaniem mieszalników zdolnych do wytwarzania wysokich naprężeń ścinających oraz przeprowadzenie mielenia. W badaniach wykorzystano trzy typy pigmentów: żółty, czerwony i niebieski, o różnych parametrach wytrzymałościowych, a zatem podatności na mielenie. Mielenie prowadzono z wykorzystaniem dwóch częstości obrotowych młyna 1500 rpm i 2000 rpm oraz dla dwóch zakresów rozmiarów kulek mielących 0,7–0,9 mm i 0,8–1,4 mm. Ocena jakości produktów obejmowała pomiary rozkładu rozmiarów cząstek pigmentu w zawieszynie oraz lepkości dyspersji, które są kluczowymi parametrami jakości i stabilności zawiesiny. W trakcie procesu korygowano pH oraz lepkość zawiesiny pigmentowej zgodnie z wytycznymi kontroli jakości gotowych produktów. Na podstawie otrzymanych wyników doświadczalnych stworzono model matematyczny pozwalający na określenie zmiany rozkładu rozmiarów cząstek oraz lepkości zawiesiny w trakcie trwania procesu. Model ten wykorzystano do przeprowadzenia analizy numerycznej z wykorzystaniem środowiska obliczeniowej mechaniki płynów ANSYS Fluent.

Przeprowadzone badania pozwoliły na określenie parametrów pracy młyna kuleczkowego minimalizujących jego energochłonność przy jednoczesnym zachowaniu wymaganej jakości produktu. Ponadto uzyskano wysoką zgodność pomiędzy wynikami eksperymentalnymi i opracowanego modelu numerycznego, zarówno w zakresie zmian rozmiarów cząstek, jak i poboru mocy podczas trwania procesu.

[1] C. Agbo, W. Jakpa, B. Sarkodie, A. Boakye, and S. Fu, 'A Review on the Mechanism of Pigment Dispersion', *J. Dispers. Sci. Technol.*, vol. 39, no. 6, pp. 874–889, Jun. 2018, [doi:10.1080/01932691.2017.1406367](https://doi.org/10.1080/01932691.2017.1406367).

[2] S. Magdassi, *The Chemistry of Inkjet Inks*. WORLD SCIENTIFIC, 2009. [doi:10.1142/6869](https://doi.org/10.1142/6869).

HYDRODYNAMIKA OPADAJĄCEGO W RURACH PIONOWYCH PIERŚCIENIOWEGO PRZEPŁYWU CIECZY DWUFAZOWEJ W STRUDZE TRÓJFAZOWEJ GAZ–CIECZ–CIECZ

Stanisław Witczak, Krystian Czernek

Politechnika Opolska

Przepływy wielofazowe, w tym także z udziałem cieczy wzajemnie niemieszających się występują w wielu urządzeniach przemysłowych, a w szczególności w wyparkach i reaktorach rurowych. Równoczesny przepływ dwóch cieczy powoduje, że tworzą się różne struktury przepływu związane z wzajemnym rozmieszczeniem poszczególnych składników ciekłej mieszaniny dwufazowej.

W przypadku projektowania aparatury wykorzystującej ten rodzaj przepływu istotnego znaczenia nabierają problemy określania takich wielkości jak: minimalna wartość zraszania, zakresy występowania poszczególnych struktur przepływu, rzeczywiste wartości udziałów objętościowych faz oraz wartość grubości tworzących się filmów cieczy dwufazowej. Nie bez znaczenia jest również wskazanie, która ze spływających cieczy stanowi fazę ciągłą, a która fazę rozproszoną. Ma to istotne znaczenie na efektywność procesów wymiany ciepła oraz masy, które są ściśle związane z hydrodynamiką spływu cieczy dwufazowej.

Celem określenia oraz opisu części z omawianych zagadnień w pracy przedstawiono wyniki badań oraz ich analizę odnośnie hydrodynamiki pierścieniowego przepływu wielofazowego gazu i dwóch wzajemnie niemieszających się cieczy. W wyniku przeprowadzonych badań doświadczalnych, obejmujących identyfikację struktur przepływu wielofazowego, wyznaczanie wartości udziałów objętościowych poszczególnych faz oraz wartości grubości różnych jakościowo filmów cieczy dwufazowej woda–olej, dokonano rozszerzenia i uzupełnienia stanu wiedzy w wybranych obszarach opisu przepływu trójfazowego gaz–ciecz–ciecz.

W zakresie tym opracowano nowe zależności do obliczania wartości udziałów objętościowych faz oraz grubości filmów cieczy zarówno w warunkach ich spływu grawitacyjnego, jak i współprądowego przepływu z gazem. Ich wartości powiązano ze strukturami przepływu uwzględniającymi przepływ z dominacją fazy wodnej oraz fazy olejowej. Przedstawione w pracy mapy przepływu wielofazowego oraz zależności do obliczania udziałów objętościowych faz oraz grubości filmów cieczy dwufazowej mogą być w pełni wykorzystane do projektowania oraz analizy warunków pracy aparatów cienkowarstwowych z hydraulicznie wytwarzanym filmem cieczy typu WFH.

THE GROWING PROBLEM OF WATER POLLUTION WITH MICROPOLLUTANTS

Anna Zielińska-Jurek¹, Anna Grzegórska¹, Jakub Smoliński¹, Ivar Zekker², Jiexi Zhong³, Kai Bester³

¹Gdańsk University of Technology, Faculty of Chemistry, Department of Process Engineering and Chemical Technology

²University of Tartu, Institute of Chemistry, Estonia

³Aarhus University, Department of Environmental Science, Denmark

Environmental pollution caused by micropollutants, particularly active pharmaceutical ingredients, has become an emerging problem. The most frequently detected antibiotics, including ciprofloxacin, sulfamethoxazole, and ofloxacin, antiepileptics like carbamazepine, as well as non-steroidal anti-inflammatory drugs such as ibuprofen, diclofenac, ketoprofen, naproxen, and acetaminophen, belong to the group of 20 most frequently consumed medicines and have been detected in wastewater treatment plant effluents and surface waters worldwide.

To effectively address these challenges, the new European Urban Wastewater Treatment Directive requires the implementation of quaternary treatment processes to achieve a minimum removal efficiency of 80% for selected micropollutants. In this regard, there is a need to research and develop technologies to identify the most promising strategies for quaternary treatment.

Advanced treatment methods, based on the in-situ generation of the strongest oxidants, were combined with a moving bed biofilm reactor (MBBR) system for the efficient elimination of micropollutants frequently present in wastewater.

The persulfate-assisted photocatalysis combined with MBBR system has been demonstrated to be the most efficient (>99%) treatment train for the degradation of 13 studied pharmaceuticals (gabapentin, carbamazepine, citalopram, diclofenac, ibuprofen, venlafaxine, benzotriazole, mycophenolic acid, olmesartan, losartan, sulphamethoxazole, trimethoprim X, metoprolol) present at the highest level in the Baltic Sea Region waters. Overall, the study introduces a feasible approach to prevent micropollutant emissions from sources such as WWTPs to the surface waters and the marine environment.

The research was financially supported by the project “Improving quality of BSR waters by advanced treatment processes” (acronym: AdvIQwater) within European Regional Development, Interreg Baltic Sea Region Programme (2021–2027).

Indeks nazwisk

A

Amibo Temesgen 8
Antos Dorota 3, 16
Anweiler Stanisław 9

B

Bartkowski Daniel 10
Bester Kai 48
Bochenek Roman 16

C

Chlanda Adrian 13
Chmielewski 24
Cichon Krzysztof 12
Ciszek Bogdan 45
Czernek Krystian 3, 47

D

Dąbrowski Paweł 37
Djas Małgorzata 13, 14
Dłuska Ewa 3, 15
Dobrowolski Artur 13
Dobrzyniewski Dominik 44
Dobslaw Daniel 36
Dudała Adam 46
Dziubiński Marek 3

F

Filip Bartłomiej 16
Frackiewicz Izabela 3, 18, 29

G

Gębicki Jacek 12, 18, 28, 29, 36, 38, 42, 43, 44
Gierycz Paweł 46
Gołębiewska Anna 19
Grabowski Maciej 21
Grygier Tomasz 21
Grzegórska Anna 48

H

Henczka Marek 13, 14
Hołowacz Iwona 3

J

Jagiello Jakub 13, 22
Jakubowski Michał 29
Janecki Daniel 23
Jasińska Magdalena M. 24
Jędrzejczak Krystian 30

K

Kawalec-Pietrenko Bożenna 3, 7
Kierzkowska-Pawlak Hanna 26
Konopacka-Łyskawa Donata 3, 8, 27
Korth Benjamin 36
Kosicki Konrad 15
Kozak Katarzyna 24
Krok Marek 9
Krzosa Radosław 30, 46
Kucharska Karolina 28, 36, 38, 42
Kumar Ritunesh 37

L

Ludwig Wojciech 22

Ł

Łapiński Marcin 18
Łukasik Natalia 29

M

Majewska Kleopatra 40, 41
Makowski Łukasz 30, 45, 46
Markowska-Radomska Agnieszka 15
Masiukiewicz Maciej 9
Mikielewicz Dariusz 37

N

Nowak Bartosz 14

O

Orciuch Wojciech 30, 45, 46
Owczarz Piotr 32

P

Palige Jacek 24
Panek Bartosz 26
Parlińska-Wojtan Magdalena 19
Pawelczyk Ewelina 29
Pawlyta Mirosława 19
Pliszka Patrycja 36
Prystupiuk Kornel 33
Prześniak-Welenc Marta 18

R

Rakoczy Rafał 40, 41
Rogała Andrzej 18, 29
Romaniec Magdalena 13, 14
Roubinek Otton K. 24
Rozeń Antoni 34
Rybarczyk Piotr 3, 12, 36, 44

S

Sadłowski Łukasz 45

Siemieniuk Mateusz 27
Singh Gurjeet 37
Słupek Edyta 28, 38, 42
Smoliński Jakub 48
Smoliński Tomasz 24
Sobieszuk Paweł 3, 33
Sosnowski Tomasz 3
Stelmach Jacek 3, 32, 39
Story Anna 40, 41
Story Grzegorz 40, 41
Strzelczyk Ilona 28, 38, 42
Szczęblewski Sławomir 43
Szulczyński Bartosz 3, 44

T

Truchel Krzysztof 45
Trusek Anna 21

W

Wilewska Julia 46
Witczak Stanisław 3, 47
Wojasiński Michał 33
Wojtas Krzysztof 45
Wyźlic Natalia 19

Z

Zagórska Hanna 19
Zander Lidia 3
Zarzycki Witold 33
Zekker Ivar 48
Zhong Jiexi 48
Zielińska-Jurek Anna 48