POLITECHNIKA POZNAŃSKA

WYDZIAŁ TECHNOLOGII CHEMICZNEJ
Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej, Zakład Inżynierii i Aparatury Chemicznej
dr hab. inż. Szymon Woziwodzki
ul. Berdychowo 4, 60-965 Poznań, tel.: +48 (61) 665 21 47
e-mail: szymon.woziwodzki@put.poznan.pl; www.fct.put.poznan.pl

Poznań, dnia 15 grudnia 2023 roku

Recenzja osiągnięcia naukowego
dr inż. Macieja Konopackiego
pt. „Modelowanie matematyczne wybranych procesów inżynierii chemicznej i bioprocesowej”

1. Podstawa wykonania recenzji

Recenzję wykonałem na podstawie pisma Pani Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Chemiczna Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie prof. dr hab. inż. Zofii Lendzion-Bieluń z dnia 19 października 2023 roku z w sprawie powołania mnie w skład Komisji habilitacyjnej wraz z prośbą o opracowanie recenzji zawierającej ocenę czy osiągnięcie naukowe dr inż. Macieja Konopackiego ubiegającego się o stopień doktora habilitowanego (postępowanie wszczęte 31 maja 2023 roku), odpowiada wymaganiom określonym w art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).

Dokumentację habilitacyjną (zawierającą wniosek, dane wnioskodawcy, kopie dokumentu potwierdzającego uzyskanie stopnia doktora nauk technicznych, autoreferat, wykaz osiągnięć naukowych, oświadczenia współautorów, kopie publikacji wchodzących w skład cyklu prac powiązanych tematycznie odebrałem 21 października 2023 roku. Całość dokumentacji nie budzi wątpliwości formalnych i spełnia wszystkie wymogi ustawowe i zwyczajowe stawiane Kandydatom do stopnia doktora habilitowanego.

2. Ogólna sylwetka kandydata

Dr inż. Maciej Konopacki od 2013 roku związany jest z Zachodniopomorskim Uniwersytetem Technologicznym w Szczecinie, w którym to roku został po raz pierwszy zatrudniony. W 2017 roku uzyskał stopień naukowy doktora w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria chemiczna na podstawie rozprawy doktorskiej p.t. *„Analiza wpływu wirującego pola magnetycznego na parametry życiowe wybranych mikroorganizmów”* obronionej z wyróżnieniem. Promotorem rozprawy był prof. dr hab. inż. Rafał Rakoczy (ówczesny profesor uczelni) a recenzentami prof. dr hab. inż. Arkadiusz Moskal (ówczesny profesor uczelni) oraz dr hab. inż. Marek Ochowiak, prof. PP. Stopień doktora przyznano decyzją Rady Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej Zachodniopomorskiego

Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Od 2018 roku dr inż. Maciej Konopacki zatrudniony jest na stanowisku Adiunkta.

Zgodnie z danymi zaprezentowanymi we wniosku dorobek naukowy dr inż. Macieja Konopackiego obejmuje 52 publikacje naukowe (16 przed doktoratem), 24 patenty (wszystkie po doktoracie), 7 rozdziałów w monografiach naukowych (wszystkie po doktoracie), 38 prezentacji na konferencjach naukowych (20 przed doktoratem). Wynika z tego, że 36 publikacji, wszystkie patenty i rozdziały w monografiach powstały po uzyskaniu stopnia doktora. Świadczy to o prawidłowym i dynamicznym rozwoju naukowym kandydata. Sumaryczny Indeks Hirscha bez autocytowań wynosi od 10 do 12 w zależności od bazy bibliograficznej (Scopus, Web of Science, ResearchGate), sumaryczny Impact Factor dorobku kandydata wynosi 163,18. Są to wysokie wskaźniki bibliograficzne, które wskazują na wysoką wartość naukową prac. Świadczy o tym również wysoka liczba cytowań prac kandydata: 229 wg. Web of Science, 283 według bazy Scopus (bez autocytowań) oraz 452 według ResearchGate.

3. Ocena osiągnięcia naukowego będącego podstawą wszczęcia postępowania habilitacyjnego

Zgodnie z wnioskiem z dnia 31 maja 2023 roku o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jako osiągnięcie naukowe stanowiące znaczny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria chemiczna Habilitant przedstawił cykl 16 publikacji pod wspólnym tytułem *„Modelowanie matematyczne wybranych procesów inżynierii chemicznej i bioprocesowej”*. Opublikowano je w latach 2013-2023 w czasopismach z listy JCR (16): Chemical and Process Engineering (2015, 2019, 2022), Journal of Magnetism and Magnetic Materials (2021), Chemical Engineering & Processing: Process Intensification (2018), Processes (2020), Microorganisms (2020, 2023), Biochemical Engineering Journal (2020, 2022), Archives of Microbiology (2022), Chemical Engineering Science (2014) oraz Polish Journal of Chemical Technology (2013). Publikacje **[C4-C16]** zostały wydane po uzyskaniu stopnia doktora a publikacje **[C1-C3]** przed uzyskaniem przez Habilitanta stopnia doktora. Stwierdzam, że publikacje **[C1-C3]** nie mogą zostać zaliczone w skład osiągnięcia będącego podstawą uzyskania stopnia naukowego doktora. W ośmiu publikacjach **[C4-C5]**, **[C9-C12], [C14]**, **[C16]** dr inż. Maciej Konopacki jest pierwszym autorem, drugim autorem w trzech **[C6, C7, C15]**, trzecim w jednej **[C8]** i piątym w jednej publikacji naukowej **[C15]**. Ponadto jest on autorem korespondencyjnym w 8 z 13 publikacji **[C4, C9-C12, C14-C16]**. Habilitant dostarczył we wniosku oświadczenia współautorów, z których wynika, że jest on autorem koncepcji jednej pracy **[C10]** oraz współautorem koncepcji pracy w 11 publikacjach **[C4-C9, C11-C12, C14-C16]**. Należy zauważyć, że porównując autoreferat z oświadczeniami autorów i z oświadczeniami zamieszczonymi w niektórych publikacjach **[C5, C9, C14, C16],** pojawiają się pewne różnice w ocenie wkładu poszczególnych autorów. Prawdopodobnie jest to wynikiem braku ustalenia bardziej szczegółowego udziału autorów.

Przedstawiony cykl publikacji **[C4-C16]** koncentruje się na zagadnieniu opisu matematycznego niektórych procesów inżynierii chemicznej takich jak wymiana ciepła **[C4-**

C5], wymiana masy **[C6-C7, C9]**, hydrodynamika przepływu **[C7-C9]** i procesów biotechnologicznych **[C10-C16]**. Habilitant prowadził badania w reaktorach zbiornikowych oraz reaktorach wspomaganych wirującym polem magnetycznym **[C4-C6, C11, C16]**, komercyjnych reaktorach badawczych **[C7-C8]** lub bioreaktorach **[C9, C11-C15]**. Specyfikacja badań wymagała wykorzystania układów jedno- jak i wielofazowych. Opisy matematyczne opierają się na wykorzystaniu równań bezwymiarowych **[C4-C6]** dla reaktorów z wirującym polem magnetycznym jak i bez przyłożonego pola, wykorzystaniu modelowania CFD realizowanego w oprogramowaniu Ansys CFX **[C7-C9]**, wykorzystaniu modelowania blokowego w oprogramowaniu Simulink **[C14-C16]** czy planowania eksperymentu DOE w Matlab **[C11]**.

W publikacji **[C4]** dr inż. Maciej Konopacki prowadził analizę wymiany ciepła w reaktorze wspomaganym wirującym polem magnetycznym. Reaktor stanowił zbiornik cylindryczny bez przegród oraz mieszadło. Z tego powodu opis wymiany ciepła w tej przestrzeni został oparty przez Habilitanta na modelu konwekcyjnym, w którym liczba Nusselta *Nu* jest funkcją liczby Prandtla *Pr* i Grashofa *Gr*. Zaproponował on równania korelacyjne dla reaktora z wspomaganiem i bez wspomagania polem magnetycznym. Na podstawie wykonanego opisu matematycznego i wyznaczonych współczynników wnikania ciepła Habilitant porównał otrzymane wyniki doświadczalne z danymi teoretycznymi dla przypadku konwekcji swobodnej. Wykazał, że w warunkach wirującego pola magnetycznego (RMF) uzyskuje się większe o około 27% wartości współczynników wnikania ciepła. Wyniki zostały również przedstawione w formie zależności współczynnika efektywności od bezwymiarowej wartości częstotliwości wirowania pola. Habilitant wykazał, że zastosowanie wirującego pola magnetycznego w bioreaktorze prowadzi do zwiększenia efektywności procesu wnikania ciepła o ok. 20-70% a intensyfikacja zwiększa się wraz z częstotliwością wirowania pola. Pewien niedosyt zostawia brak głębszej analizy statystycznej dla proponowanych korelacji np. analizy istotności różnic pomiędzy korelacjami w celu zaproponowania jednego równania korelacyjnego dla reaktora wspomaganego i niewspomaganego RMF. Jednakże proponowany opis matematyczny może być z powodzeniem wykorzystany do porównania wpływu różnych rodzajów pól magnetycznych na operacje wymiany ciepła w bioprocesach.

W kolejnym kroku **[C5]** dr inż. Maciej Konopacki analizował wymianę ciepła w reaktorze z RMF podczas ogrzewania cząstek ferromagnetycznych w procesie hipertermii. Zastosowany opis matematyczny oparto na funkcji logistycznej pozwalającej opisać zależność temperatury zawiesiny nanocząstek (tlenek grafenu (GO) oraz tlenek żelaza Fe_3O_4 w roztworze soli buforowanej fosforanami) od czasu. Dodatkowo efektywność ogrzewania układu za pomocą wirującego pola magnetycznego została opisana przez Habilitanta za pomocą współczynnika SAR (*Specific Absorption Rate*), który bazuje na szybkości zmian temperatury badanej zawiesiny nanocząstek w czasie trwania procesu. Zaproponował on równanie empiryczne uzależniające $SAR_{specific}$ (moc jednostkowa liczona na masę nanocząstek) od stężenia nanocząstek. Dzięki zastosowanemu opisowi matematycznemu dr inż. Maciej Konopacki wykazał, że wirujące pole magnetyczne może być wykorzystane jako czynnik wspierający proces hipertermii, zwłaszcza w przypadku użycia niskich stężeń mieszaniny nanocząstek,

gdzie większe rozproszenie cząstek oraz brak tworzenia się aglomeratów prowadzi do wyższej wydajności procesu ogrzewania.

W publikacji **[C6]** Habilitant analizował wpływ RMF na wymianę masy co ma znaczenie w przypadku procesów prowadzonych z zastosowaniem materii ożywionej. Badana te są logiczną kontynuacją wcześniejszych badań nad wymianą ciepła. Zostały przeprowadzone w reaktorze opisanym w **[C4]** zaopatrzonym w jedno lub dwa mieszadła (turbiny Rushtona) dla układów dwufazowych gaz-ciecz, gdzie fazę ciągłą stanowiła woda a rozpraszaną powietrze. Podczas eksperymentów zbadano, wnikanie tlenu do płynu pod wpływem pola magnetycznego. Następnie porównano to z procesem wymiany masy w tym samym reaktorze, ale bez wpływu pola magnetycznego. Transport masy w bioreaktorze opisano zależnościami matematycznymi w formie funkcji współczynnika wnikania masy od szybkości gazu liczonej na przekrój aparatu, częstości obrotów mieszadła (dla procesów z mieszadłem mechanicznym) i średniej indukcji pola magnetycznego (dla procesów w obecności pola elektromagnetycznego). Przeprowadzone badania wskazały, że wartość indukcji magnetycznej ma największy wpływ na wymianę masy. Wpływ pola magnetycznego oceniano za pomocą parametru *J*, będącego ilorazem współczynników wnikania masy w procesie prowadzonym pod wpływem pola i w warunkach bez zastosowanego pola magnetycznego. Uzyskane wyniki wykazały intensyfikację wymiany masy pod wpływem przyłożonego pola magnetycznego, co tłumaczy się zmniejszeniem wielkości pęcherzy gazowych i tym samym zwiększeniem powierzchni wymiany.

W celu opisania procesów wymiany ciepła i masy niezbędna jest znajomość hydrodynamiki. Zagadnienia te zostały podjęte w publikacji **[C7]**. Analizie poddano hydrodynamikę jak również wykonano opis matematyczny i modelowanie zjawisk zachodzących w bioreaktorach komercyjnych BioFlo 415 i 115 zaopatrzonych w mieszadło mechaniczne (turbina Rushtona). Przeprowadzono modelowanie CFD w oparciu o równania RANS i model burzliwości $k-\omega$. Należy podkreślić, że symulacja wymagała wprowadzenia modyfikacji modelu związanych z efektami dla małych liczb Reynoldsa, ściśliwością i przepływem ścinającym. Niedosyt pozostawia fakt braku dokładnego opisania zaproponowanych modyfikacji. Wyniki modelowania CFD pozwoliły na określenie profili prędkości w bioreaktorach jak również określenie stref intensywnego mieszania. Umożliwia to ustalenie położenia miejsca podawania reagentów do bioreaktora a w konsekwencji szybkie i efektywne rozprzestrzeniane ich w objętości wsadu bioreaktora. W kolejnych krokach przeprowadzono badania eksperymentalne nad mocą mieszania dla cieczy oraz układu dwufazowego gaz-ciecz, wyznaczając zależność liczby Newtona od liczby Reynoldsa oraz mocy względnej P_g/P_0 od liczby przepływu gazu *Q*, co należy traktować jako klasyczne podejście. Uzyskane wyniki dla układów jednofazowych (woda destylowana) wskazują, że w analizowanym zakresie częstości obrotów mieszadła nie uzyskano mieszania burzliwego. Wynikiem badań było zaproponowanie dla komercyjnych reaktorów BioFlo 115 i 415 równań korelacyjnych opartych na funkcji ekspotencjalnej wiążącej moc względną i liczbę przepływu gazu. W drugim etapie analizie poddano czas mieszania stosując opis matematyczny oparty na zależności bezwymiarowego czasu mieszania od liczby Reynoldsa oraz liczby przepływu gazu.

Ponadto zaproponowano równania wiążące czas mieszania i jednostkową moc mieszania liczoną na jednostkę objętości. Pozwoliło to na ocenę pracy tych bioreaktorów. Trzeci krok badań dotyczył analizy energii zmieszania rozumianej jako iloczyn mocy mieszania i czasu mieszania dla układów jednofazowych i gaz-ciecz. W ostatnim kroku porównywano wymianę masy w obu bioreaktorach określając zależności objętościowego współczynnika wnikania masy k_La w zależności od jednostkowej mocy mieszania P_g/V oraz liczby przepływu gazu. Zaproponowane równania korelacyjne uzyskano korzystając z analizy regresji w programie Matlab i ograniczają się tylko do analizowanych reaktorów. Uzyskane równania korelacyjne jak również modelowanie hydrodynamiki przyczyniają się do lepszego zrozumienia pracy reaktorów komercyjnych BioFlo.

Analizy CFD zostały przeprowadzone również w badaniach opisanych w publikacjach **[C8-C9]** gdzie dalszej analizie poddano przepływowy bioreaktor komercyjny BioFlo 415 i reaktor UniVessel. W pracy **[C8-C9]** zastosowane symulacje oparte na tych samych równania i zmodyfikowanym modelu jak w publikacji **[C7]**. Habilitant wykorzystał oprogramowanie Ansys CFX a do stworzenia geometrii modelu Autodesk AutoCAD. Analiza CFD pozwoliła uzyskać profile prędkości w poszczególnych strefach wewnątrz bioreaktora. Zastosowano tutaj model stref CM (*Compartment Model*) **[C8]** Następnie na podstawie modelowania CFD zaproponowano strukturę blokową modelu matematycznego (Matlab/Simulink) opartą na układzie reaktorów zbiornikowych (CSTR) z idealnym wymieszaniem. Poszczególne strefy odnosiły się do obszarów mieszadła (2), obszaru między mieszadłami oraz strefy poniżej dolnego mieszadła i powyżej górnego a model równań różniczkowych zintegrowano numerycznie metodą Runge'a – Kutty. Metoda ta jest powszechnie stosowana ze względu na prostotę implementacji, relatywnie proste wzory, dużą szybkość oraz wysoki rząd metody. Wykorzystując ją i metodę CM wyznaczono krzywe zależności rozkładów czasu przebywania RTD. Dodatkowo porównano metody CFD i CM, wskazując ostatnią metodę jako szybszą, krótszą i łatwą do zastosowania. Należy zaznaczyć, że zaproponowany model matematyczny, który został opracowany do opisu bezwymiarowej funkcji rozkładu czasu przebywania w bioreaktorze, pozwala na prognozowanie rozkładu czasu przebywania reagentów w bioreaktorze. Można go dostosować do konkretnego bioprocesu, aby maksymalizować stopień reakcji substratów lub wyprodukować odpowiednią ilość biomasy, co z kolei zwiększa efektywność bioreaktora. Dało to podstawę do dalszych badań wzrostu biomasy oraz produkcji metabolitów wtórnych bakterii *Pseudomonas aeruginosa* – piocyjaniny oraz ramnolipidów w reaktorze komercyjnym UniVessel (Sartorius) **[C9]**. Zastosowane modelowanie CFD pozwoliło na analizę hydrodynamiki pracy tego bioreaktora a rezultaty na sformułowanie opisu matematycznego mieszania w zależności od częstości obrotów mieszadła i wydatku gazu. Opis matematyczny wiążący czas mieszania i moc mieszania oparto na klasycznych zależnościach $PD\rho^2/\eta^3 = f(t_m\eta/D^2\rho)$. Dzięki temu wytypowano parametry procesowe, dla których osiągnięto efektywne mieszanie. Analiza wzrostu bakterii *Pseudomonas aeruginosa* w zadanych warunkach pozwoliła z kolei stwierdzić wpływ napowietrzania i częstości obrotów mieszadła. Stwierdzono, co było zgodne z oczekiwaniami,

że zbyt wysoka częstość obrotów mieszadła sprzyja zmniejszeniu aktywności metabolicznej bakterii.

W kolejnym etapie badań naukowych Habilitant zastosował opisy matematyczne dla procesu wzrostu komórek *Klebsiella pneumoniae* **[C10]**. Ze względu na przebieg krzywej wzrostu, która ma kształt sigmoidalny, wykorzystano funkcję logistyczną. Na jej podstawie możliwe było wyznaczenie maksymalnej szybkości wzrostu, czasu trwania lag-fazy oraz maksymalne stężenie biomasy. Dodatkowo Habilitant zaproponował opis matematyczny, a następnie zdefiniował współczynnik wzrostu komórek, który zweryfikowano eksperymentalnie. Uzyskany opis matematyczny pozwoli na wybranie optymalnej temperatury wzrostu komórek. Badania te kontynuowano w publikacji **[C11]**. Habilitant zastosował metodę planowania doświadczenia DOE stosując plan kompozycyjny, dwuczynnikowy. Funkcję celu stanowił współczynnik wzrostu opisany w **[C10]**. Podejście takie uważam za całkowicie uzasadnione. Dodatkowo przeprowadzono badania eksperymentalne wzrostu komórek w reaktorze wspomaganym polem magnetycznym RMF i bez pola magnetycznego, co stanowiło próbę referencyjną. Uzyskany opis matematyczny pozwolił na uzyskanie zależności wzrostu bakterii od temperatury i częstotliwości wirującego pola magnetycznego a tym samym znalezienie optymalnych warunków, które dla badanych komórek wynosiło 34°C i 30 Hz. Zastosowane pole magnetyczne pozwoliło uzyskać w optymalnych warunkach 10% wzrost komórek.

Publikacja **[C12]** stanowi kontynuację badań zawartych w **[C10-C11].** Tematyka dotyczyła analizy aktywności bakteriofagów i znalezienie odpowiedniego parametru opisującego tę aktywność. Bakteriofagi mogą stanowić alternatywę dla terapii antybiotykowej ze względu na zdolności do selektywnego niszczenia skupisk bakterii bez uszkodzenia pożytecznej flory bakteryjnej. Badania prowadzono dla wybranych gatunków bakteriofagów litycznych. Podstawę opisu matematycznego stanowiła krzywa wzrostu oraz powierzchnia pod tą krzywą. Podobnie jak w poprzednich podejściach Habilitant opisał krzywą wzrostu za pomocą funkcji logistycznej. Pozwoliło to na zaproponowanie współczynnika P_s PhageScore. Dane eksperymentalne analizowano za pomocą wskaźnika frakcji hamującej koncentrację (FICI) i metody PhageScore. Należy podkreślić, że zaproponowana metoda może być użytecznym narzędziem do charakteryzowania synergii między bakteriofagiem a antybiotykiem. Wskazana jest również optymalizacja współczynnika w kontekście interakcji z antybiotykami. Tematykę tę podjęto w publikacji **[C13]**. Metoda PhageScore została zastosowana w ocenie interakcji trzech bakteriofagów infekujących bakterię *Acinetobacter baumannii* oraz pięciu antybiotyków: gentamycyny, cyprofloksacyny, meropenu, norfloksacyny i fosfomycyny. Uzyskane rezultaty potwierdzają, że dobór odpowiedniego antybiotyku może zwiększyć skuteczność terapii a metoda PhageScore pozwala na dobór odpowiednich bakteriofagów. Z tego powodu produkcja bakteriofagów w odpowiednich ilościach staje się kluczową sprawą. Tematyce produkcji bakteriofagów Habilitant poświęcił kolejną publikację **[C14]**. Celem było zaproponowanie modelu matematycznego dzięki któremu możliwe byłoby wyznaczenie ilości wytwarzanych bakteriofagów. Badania eksperymentalne prowadzono wobec bakterii *Escherichia coli* oraz bakteriofaga typu dzikiego T-4. Zaproponowany model bazował na

krzywej wzrostu opartej na funkcji wielomianowej 4-tego stopnia a ilość wytwarzanych bakteriofagów na bazie funkcji ekspotencjalnej. Dodatkowo zastosowano transformacje Laplace'a w celu wyznaczenia funkcji przejścia do domeny s. Dało to podstawy do stworzenia modelu blokowego z wykorzystaniem oprogramowania Matlab i Simulink. Habilitant przeprowadził weryfikację otrzymanego modelu dla różnych początkowych stężeń wirusa. Badania wykazały, że niższe początkowe stężenia sprzyjają uzyskaniu większych ilości bakteriofagów a weryfikacja modelu wykazała jego dobre dopasowanie szczególnie w końcowych etapach wytwarzania.

Jednym z ważniejszych aspektów stosowania opisów matematycznych jest ich szeroki aspekt aplikacyjny w różnych procesach produkcyjnych. Z tego powodu Habilitant podjął próbę aplikacji zaproponowanych modeli matematycznych **[C14]** w innym procesie produkcyjnym. W publikacji **[C15]** Habilitant podjął próbę zastosowania tych modeli do opisu produkcji bioetanolu. Model matematyczny zbudowano na podstawie trzech równań opisujących zmiany biomasy, substratów i etanolu. Podobnie jak w poprzednich publikacjach **[C12-C13]** zastosowano funkcje logistyczną wzrostu bakterii oraz model kinetyki Monoda. Dodatkowo wykorzystano równania Gompertza dla opisu zmian stężenia produktu oraz równania Panda dla współczynnika uzysku do opisu zmian stężenia substratu. Układy równań rozwiązano z wykorzystaniem oprogramowania Matlab Simulink. Weryfikację zaproponowanego modelu matematycznego przeprowadzono w bioreaktorze BioFlo 115 **[C7]** i szczepu drożdży ATCC 7754 *Saccharomyces cerevisiae*. Wyniki eksperymentalne potwierdziły dobrą zgodność zaproponowanego modelu matematycznego, który jest w stanie opisywać zmiany stężenia substratów, etanolu oraz kinetykę procesu.

W ostatniej publikacji z cyklu **[C16]** Habilitant podjął próbę opisu matematycznego kolejnego procesu produkcyjnego – celulozy bakteryjnej BC w magnetycznie wspomaganym bioreaktorze w obecności bakterii kwasu octowego. Celuloza bakteryjna znajduje zastosowanie w wielu dziedzinach, w tym w medycynie. Dzięki swoim właściwościom, takim jak wysoka higroskopijność, elastyczność i wytrzymałość mechaniczna, celuloza bakteryjna znajduje również zastosowanie w wytwórstwie produktów spożywczych. Do badań zastosowano bakterię *Komagataeibacter xylinus*. W opisie matematycznym wykorzystano dwie funkcje wymuszające. Jako pierwszą zastosowaną ogólny model wzrostu Monoda. Jako drugi model wykorzystano sigmoidalna funkcję wzrostu biomasy zaprezentowaną w pracy **[C10]**. Następnie, podobnie jak w poprzednich pracach, Habilitant stworzył model blokowy w oprogramowaniu Matlab Simulink, stosując wcześniejszą funkcję przejścia **[C14].** Wyniki uzyskane przez model zostały zweryfikowane eksperymentem badawczym wykazując dobre dopasowanie zaproponowanego modelu zarówno dla reaktora z RMF jak i bez. Dodatkowo stwierdzono, że zastosowanie wirującego pola magnetycznego RMF znacząco wpływa na produkcję BC skutkując produkcję większej ilości biomasy o większej żywotności.

Na podstawie przedstawionych publikacji **[C4-C16]** stanowiących cykl publikacji dra inż. Macieja Konopackiego, za najważniejsze osiągnięcia uważam:

- zaproponowanie nowego wskaźnika PhageScore P_s do oceny aktywności litycznej bakteriofagów

- modelowanie i opis matematyczny procesu produkcji bakteriofagów, bioetanolu i celulozy bakteryjnej,
- zaproponowanie równań logistycznych do oceny kinetyki wzrostu mikroorganizmów,
- wykorzystanie modelowania CFD do oceny hydrodynamiki pracy reaktorów i bioreaktorów,
- wykorzystanie metod planowania eksperymentu DOE do oceny kinetyki wzrostu mikroorganizmów,
- analizę wymiany ciepła w reaktorze wspomaganym wirującym polem magnetycznym RMF,

Na podstawie powyższego uważam cykl publikacji **[C4-C16]** za oryginale osiągnięcie Habilitanta stanowiące znaczny wkład w rozwój inżynierii chemicznej, które w istotny sposób poszerza wiedzę z zakresu opisu procesów w bioreaktorach i reaktorach. Osiągnięcia, o których mowa wnoszą istotny element nowości naukowej oraz stanowią wartościowy wkład w rozwój reprezentowanej przez Kandydata dyscypliny naukowej.

Obok wartości naukowej należy podkreślić walor aplikacyjny osiągnięcia. Poszukiwanie opisów matematycznym i modelów procesów realizowanych w aparaturze jest jednym z celów jakie stawia sobie inżynieria chemiczna. Zaproponowane modele matematyczne mogą być z powodzeniem wykorzystane do poszukiwania optymalnych warunków prowadzenia procesu. Dodatkowo, zaprezentowane osiągnięcia naukowe są uzupełnieniem istniejącego stanu wiedzy i mogą być podstawą dla kontynuacji badań w nowych kierunkach w celu pełniejszego zrozumienia procesów zachodzących w bioreaktorach wspomaganych polem magnetycznym.

4. Ocena istotnej aktywności naukowej albo artystycznej realizowanej w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej

W trakcie swojej kariery naukowej, w okresie po doktoracie, dr inż. Maciej Konopacki odbył dwa staże naukowe: jeden w uczelni, którą był Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie i staż zagraniczny w firmie Envimac Engineering GmbH w Oberhausen oraz jeden staż przemysłowy w firmie ECS Global sp. z o.o.

Staż naukowy w Pomorskim Uniwersytecie Medycznym w Szczecinie trwał 6 miesięcy w okresie od 15.01.2020 do 15.07.2020. Habilitant brał czynny udział w badaniach naukowych prowadzonych w Katedrze Mikrobiologii, Immunologii i Medycyny Laboratoryjnej m.in. przy realizacji projektu badawczego „Optymalizacja i analiza biologicznego wpływu pola elektromagnetycznego na wspomaganie produkcji i aktywność preparatów bakteriofagowych". Wynikiem tego stażu były publikacje naukowe **[C9, C11, C13-C14, C16]**, które stanowią ważną część cyklu naukowego przedstawionego do oceny.

Drugi staż naukowy (3 miesiące) Habilitant zrealizował w firmie Envimac Engineering GmbH w Niemczech. Staż trwał w okresie od 01.10.2018 do 31.12.2018 roku. Firam Envimac jest uznanym w świecie dostawcą nowych rozwiązań dla procesów wymiany masy, w szczególności projektowaniu nowych rozwiązań konstrukcyjnych elementów kolumn procesowych (np. wypełnienia, odkraplacze), optymalizacji i automatyzacji istniejących instalacji procesowych. Firma posiada rozbudowany dział naukowy z własnymi pilotażowymi

instalacjami i może być uznana za instytut badawczy. W trakcie tego stażu dr inż. Maciej Konopacki zajmował się wyznaczaniem parametrów nowych rodzajów wypełnień oraz badaniu hydrauliki kolumn wypełnionych. Ponadto Habilitant zajmował się modelowaniem CFD profili prędkości i spadków ciśnień w rozdzielaczach cieczy. Na podkreślenie wymaga fakt, że w trakcie stażu Habilitant zaproponował nowatorskie rozwiązanie modelu obliczeniowego polegające na zaproponowaniu nowego pseudofazowego modelu matematycznego, którego skutkiem było lepsze zrozumienie efektów zachodzących w odkraplaczach.

Trzeci staż dr inż. Maciej Konopacki odbył w okresie od 01.07.2018 do 30.09.2018 roku w firmie ECS Global. sp z o.o. Habilitant zajmował się analizą prowadzonego procesu technologicznego jak również modelowaniem CFD zbiorników z prototypowym mieszadłem.

Obok mobilności na uwagę zasługuje dalsza współpraca Habilitanta z firmą Envimac m.in. wykonanie ekspertyz rozdzielaczy dla kolumn o średnicach powyżej DN 3000 jak również współpraca z firmą ECS Global polegająca na opracowaniu wytycznych i projektowania modelów przemysłowych dla procesu kondycjonowania wody.

Dr inż. Maciej Konopacki współpracuje ponadto z firmą PhageArmour sp z o.o. Współpraca polega na opracowywaniu nowych metod produkcyjnych preparatów fagowych oraz wpływu pola elektromagnetycznego na namnażanie komórek bakterii i bakteriofagów.

Stwierdzam, że aktywność naukowa dr inż. Macieja Konopackiego w więcej niż jednej uczelni bądź instytucji badawczej, w szczególności zagranicznej spełnia wymogi stawiane Kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego.

5. Ocena pozostałych osiągnięć naukowych, dydaktycznych, organizacyjnych i popularyzujących naukę

Pozostała działalność Habilitanta związana jest z głównym nurtem Jego działalności naukowej i obejmuje analizę wpływu pola magnetycznego na indukcję profagów, wymianę masy w aparaturze, na wzrost bakterii Gram-dodatnich i Gram-ujemnych, mieszanie układów dwufazowych ciało stałe-ciecz cząstkami o właściwościach magnetycznych, odpowiedź układów bakteryjnych czy produkcję bakteriofagów Dodatkowo pozostałe publikacje obejmują zagadnienia związane z produkcją celulozy bakteryjnej m.in. wytwarzanie papieru, charakterystyki membran wykonanych z celulozy czy dostarczaniem przez skórę ibuprofenu z wykorzystaniem membran celulozowych. Habilitant zajmował się również zagadnieniami związanymi z mieszaniem mechanicznym czy analizą hydrodynamiki reaktorów typu air-lift z wspomaganiem i bez wspomagania polem magnetycznym. Efektem tych działań są publikacje w czasopismach naukowych takich jak: Chemical Engineering Journal, Biochemical Engineering Journal, International Journal of Molecular Sciences, European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, Chemical and Process Engineering.

W ramach działalności dydaktycznej dr inż. Maciej Konopacki prowadził laboratoria z Dynamiki procesowej, Podstaw automatyki, zajęcia projektowe z Mechaniki technicznej i wytrzymałości materiałów, Procesów cieplnych i aparatów, Inżynierii chemicznej oraz ćwiczenia audotyryjne. Na podkreślenie zasługuje prowadzenie przez Habilitanta zajęć w

języku angielskim takich jak Chemical Reactor Engineering, Computational Fluid Dynamics, Fluid Dynamics czy Transport and Separation Processes. Dodatkowo dr inż. Maciej Konopacki prowadził zajęcia dla pracowników Grupy Azoty Poliolefins S.A. Jest również promotorem 3 prac inżynierskich i 6 prac magisterskich oraz promotorem pomocniczym w jednym otwartym przewodzie doktorskim. Nie zauważyłem autorstwa lub współautorstwa skryptu lub innej publikacji o charakterze dydaktycznym, co jest pewnym uchybieniem, tym bardziej, że tematyka, którą się zajmuje Habilitant jest bardzo interesująca dla studentów.

W ramach działań popularyzujących naukę, dr inż. Maciej Konopacki uczestniczył w ponad 20 konferencjach o zasięgu krajowym i międzynarodowych prezentując swoje osiągnięcia. Ponadto aktywnie brał udział w wydarzeniach popularyzujących naukę takich jak Europejska Noc Naukowców, Noc Muzeów oraz akcji promujących Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej ZUT.

Działalność organizacyjna Habilitanta to członkostwo w Komisji Dyscyplinarnej dla studentów ZUT w kadencji 2020-2024, członkostwo w Radzie Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej ZUT w latach 2017-2019. Działalność ta jest wystarczająca choć pozostawia pewien niedosyt. Podkreślić należy również, że dr inż. Maciej Konopacki jest członkiem Szczecińskiego Towarzystwa Naukowego oraz był członkiem Komitetu Organizacyjnego Konferencji Inżynierii Chemicznej i Procesowej w latach 2013 i 2023. Habilitant nie jest członkiem żadnego komitetu redakcyjnego czasopisma promującego naukę.

Mimo pewnych braków całokształt działalności organizacyjno-dydaktycznej oceniam bardzo dobrze.

6. Wniosek końcowy

Na podstawie oceny dorobku naukowego, z uwzględnieniem cyklu 13 powiązanych tematycznie artykułów *„Modelowanie matematyczne wybranych procesów inżynierii chemicznej i bioprocesowej”* oraz innych osiągnięć dydaktycznych i organizacyjnych z uwzględnieniem istotnej działalnościach naukowej w innych instytucjach, szczególnie zagranicznych stwierdzam, że dr inż. Maciej Konopacki posiada istotne osiągnięcia naukowe po uzyskaniu stopnia naukowego doktora, które wnoszą elementy nowości naukowej oraz wkład w rozwój dyscypliny Inżynieria Chemiczna

Według mojej oceny Pan dr inż. Maciej Konopacki spełnia wymogi formalne i ustawowe stawiane Kandydatom do stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk techniczno-inżynieryjnych, w dyscyplinie inżynieria chemiczna, zawarte w art. 219 ust. 1 punkt 2 ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym” z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Wnioskuję zatem do Wysokiej Komisji Habilitacyjnej o przeprowadzenie dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

Szymon Woziwodzki