

Prof. dr hab. inż. Agata Markowska-Szczupak
Katedra Inżynierii Chemicznej i Procesowej
Al. Piastów 42, pok.25
71-065 Szczecin
tel. +48 91 449 41 55

Szczecin, 12.01.2026 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej nt.

„Intensyfikacja wymiany masy w bioreaktorze z mieszaniem typu *wave*”

wykonanej przez

mgra inż. Mateusza Bartczaka

Promotor: dr hab. inż. Maciej Pilarek, prof. uczelni

1. Podstawa formalna wykonania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest Uchwała nr 12-1.2025 Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Chemiczna Politechniki Warszawskiej, z dnia 9 grudnia 2025 r. z prośbą o opracowanie recenzji rozprawy doktorskiej mgra inż. Mateusza Bartczaka nt. „Intensyfikacja wymiany masy w bioreaktorze z mieszaniem typu *wave*”.

2. Podstawowe informacje o ocenianej rozprawie doktorskiej

Przesłana do recenzji rozprawa zatytułowana „Intensyfikacja wymiany masy w bioreaktorze z mieszaniem typu *wave*” została przygotowana przez Pana mgra inż. Mateusza Bartczaka na

Wydziale Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Warszawskiej, pod opieką naukową Pana dra hab. inż. Macieja Pilarka, prof. uczelni, w dyscyplinie inżynieria chemiczna.

Pan mgr inż. Mateusz Bartczak przedstawił rozprawę doktorską w formie zbioru 4 artykułów naukowych, opublikowanych w czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym (lista *Journal Citation Reports*, JCR), posiadających wysokie współczynniki wpływu IF od 3,00 do 13,273. Sumaryczna wartość współczynnika IF dla czasopism, w których swoje osiągnięcia opublikował Doktorant, wynosi 33,31 (średni IF/pracę = 8,328), a łączna punktacja – 680 pkt (Komunikat Ministra Edukacji i Nauki w sprawie wykazu czasopism naukowych i materiałów z konferencji międzynarodowych z dnia 5 stycznia 2024 r. z późn. zm.). Wszystkie wieloautorskie prace, wchodzące w skład rozprawy zostały opublikowane w latach 2022 – 2025. Dwie prace opublikowano w czasopiśmie *Chemical Engineering Journal* (A1, A4), po jednej w *Industrial and Engineering Chemistry Research* (A2) i *Energies* (A3). Pan mgr inż. Mateusz Bartczak jest pierwszym autorem wszystkich wymienionych prac.

Tytuł rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Mateusza Bartczaka odpowiada tematyce artykułów wchodzących w skład zbioru. Do publikacji, stanowiących osiągnięcie Doktoranta został dołączony obszerny (liczący 177 stron) przewodnik. W sposób klasyczny podzielono go na: wstęp, rozdział obejmujący cele i tezy badawcze, wprowadzenie nt. aktualnego stanu wiedzy dotyczącej bioreaktorów typu *single-use*, metodologię, omówienie uzyskanych wyników oraz podsumowanie. W skład dysertacji wchodzi ponadto bardzo obszerne streszczenia w języku polskim i angielskim, zestawienie dorobku naukowego Doktoranta, wykaz stosowanych w rozprawie symboli i skrótów, bibliografia, spis rysunków i tabel oraz publikacje stanowiące osiągnięcie. Ogółem tekst całości rozprawy doktorskiej obejmuje 237 stron.

3. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Rozprawa Pana mgra inż. Mateusza Bartczaka nt. „Intensyfikacja wymiany masy w bioreaktorze z mieszaniem typu *wave*”, realizowana była w dyscyplinie inżynieria chemiczna, co wymaga przedstawienia stosownego uzasadnienia merytorycznego.

Obecnie bioreaktory odgrywają fundamentalną rolę w rozwoju licznych gałęzi przemysłu, farmaceutycznego, spożywczego, chemicznego, kosmetycznego, oraz rolnictwa, czyli

wszędzie tam, gdzie wykorzystuje się organizmy żywe, komórki lub enzymy do prowadzenia procesów technologicznych. Wybór odpowiedniego bioreaktora umożliwia zarówno wydajne przeprowadzenie procesu, jaki i pozwala na redukcję kosztów oraz czasu produkcji. Reaktory jednorazowe (ang. *single-use*) zapewniają możliwość szybkiego i bezpiecznego wytwarzania, zwłaszcza krótkich serii produktów. Z tego powodu coraz częściej wypierają klasyczne reaktory szklane lub metalowe używane w przemyśle farmaceutycznym i w biotechnologii. Do głównych zalet bioreaktorów typu *single-use* należą ograniczenie ryzyka kontaminacji, brak konieczności mycia i sterylizacji (CIP/SIP), krótszy czas przygotowania procesu oraz większa elastyczność operacyjna. Prowadzi to do upraszczania procedur walidacyjnych procesów w nich przeprowadzanych. Główne kierunki postępu w bioreaktorach jednorazowego użytku obejmują zwiększenie skalowalności, zmianę parametrów geometrii worków, optymalizację procesów mieszania i przenoszenia masy, a także rozwój nieinwazyjnych czujników i integrację technologii analizy procesów PAT (ang. *Process Analytical Technology*) z zasadami jakości poprzez projektowanie oparte na jakości QbD (ang. *Quality by Design*). Ze względu na specyfikę jakości materiału biologicznego hodowanego w reaktorach typu *single-use*, dobór sposobu mieszania jest kluczowym czynnikiem umożliwiającym utrzymanie jednorodnych warunków środowiska (natlenienia, stężenia substratów/metabolitów itp.) oraz skutecznego transportu masy i minimalizacji stresu mechanicznego. Mieszanie falowe (ang. *wave mixing*), wykorzystujące efekt fali uzyskiwanej dzięki oscylacyjnym lub wahadłowym ruchom elementów układu, w którym umieszczone zostało naczynie hodowlane, stosuje się zarówno do hodowli komórek zwierzęcych i roślinnych, jak i do hodowli wglębnej mikroorganizmów.

W swojej rozprawie doktorskiej Pan mgr inż. Mateusz Bartczak zajął się określeniem wpływu parametrów procesowych bioreaktora *single-use* z mieszaniem typu *wave* na wydajność mieszania fazy ciekłej oraz wpływu wybranych właściwości fazy ciekłej na wydajność wnikania masy. Ponadto opracował autorską adaptację metody kolorymetrycznej do pomiaru czasu mieszania w układzie. Zaproponował również strukturalne modyfikacje polimerowych zbiorników Cellbag™ 2L i określił ich wpływ na czas mieszania hodowli i przyrost biomasy komórek tytoniu szlachetnego *Nicotiana tabacum* linii BY-2 (ang. *Bright Yellow-2*). Biorąc powyższe pod uwagę, nie ma wątpliwości, że przedmiot rozprawy doktorskiej pozostaje w obszarze kluczowych zagadnień związanych z dyscypliną inżynieria

chemiczna. Wysoko oceniam nowatorstwo dysertacji mgra inż. Mateusza Bartczaka, która wpisuje w się w najnowsze trendy w projektowaniu bioreaktorów typu *single-use*, które opisałam powyżej. Ponadto, w trakcie realizacji pracy Doktorant wykazał się biegłością w projektowaniu rozwiązań inżynierskich np. systemu do zautomatyzowanego dozowania znacznika, czy wypustek w zbiorniku Cellbag™ 2L oraz wielu innych.

W mojej opinii rozprawa mgra inż. Mateusza Bartczaka zasługuje również na wysoką ocenę pod względem merytorycznym. Zakres treści rozprawy pozostaje w pełnej zgodności z jej tytułem. W części literaturowej („Wprowadzenie”) Doktorant umiejętnie zarysował problematykę z zakresu historii i zastosowań jednorazowych bioreaktorów oraz parametrów charakteryzujących wymianę masy w tego typu aparatach. Pozytywnie należy ocenić krytyczne podejście Doktoranta do przedstawionych zagadnień. Rozdział „Materiały i metody” obejmuje opis zastosowanego bioreaktora, układów do rejestracji zmian wartości badanych parametrów, materiałów badawczych, procedur eksperymentalnych oraz metod analizy wyników. W kolejnej części rozprawy („Wyniki i dyskusja”) Doktorant omawia uzyskane wyniki, poddaje je analizie i celnie konfrontuje z danymi literaturowymi. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że mgr inż. Mateusz Bartczak, w każdym podrozdziale odnosi się do postawionych hipotez badawczych, dokonując ich weryfikacji na podstawie uzyskanych wyników. W tej części dysertacji Doktorant przedstawia również walidację prototypu zmodyfikowanego zbiornika Cellbag™ o pojemności 2 L, w którym prowadzono hodowlę komórek *N. tabacum* BY-2. Wyniki te nie zostały opublikowane w artykułach, wchodzących w skład osiągnięcia.

Cytowana w rozprawie doktorskiej literatura została dobrana właściwie, a większość prac pochodzi z ostatnich dziesięciu lat, co świadczy zarówno o aktualności przywołanych źródeł, jak i o dobrej znajomości tematu przez Doktoranta. Dysertację kończy podsumowanie oraz syntetyczne zestawienie najważniejszych osiągnięć naukowych.

Wszystkie artykuły wchodzące w skład dysertacji mgra inż. Mateusza Bartczaka są wartościowymi opracowaniami, tworzącymi oryginalny, dobrze i konsekwentnie zaprojektowany zbiór badań dotyczących charakterystyki czasu mieszania cieczy w bioreaktorze *single-use* z mieszaniem typu *wave*, opracowania adaptacji metody kolorymetrycznej pomiaru czasu mieszania z komputerowym przetwarzaniem i analizą obrazu

oraz opracowania strukturalnych modyfikacji polimerowych zbiorników do hodowli komórek tytoniu, pozwalających na uzyskanie większej wydajności mieszania i wymiany masy. Doktorant opisowo określił swój znaczący udział w przygotowaniu artykułów wchodzących w skład zbioru publikacji stanowiących osiągnięcie. Jego czynny udział w opracowaniu nowych urządzeń, wykorzystywanych w trakcie realizacji badań potwierdza również współautorstwo zgłoszeń patentowych (Doktorant nie podał jednak swojego udziału % w ich przygotowaniu).

Całość rozprawy doktorskiej wskazuje, że Doktorant posiada niezbędną wiedzę teoretyczną oraz, że może samodzielnie prowadzić badania naukowe. Wysoki standard strony edytorskiej rozprawy świadczy o starannym podejściu Doktoranta do prezentacji materiału i dbałości o czytelność tekstu. Błędy językowe o charakterze potocznym występują sporadycznie i nie będą omawiane.

Wszystkie artykuły naukowe stanowiące elementy rozprawy doktorskiej mgra inż. Mateusza Bartczaka zostały już ocenione przez recenzentów czasopism, w których się ukazały, dlatego trudno mieć do nich zastrzeżenia merytoryczne. Obowiązkiem recenzenta jest również wykazanie słabszych punktów rozprawy przedstawionej do oceny.

Autor często stosuje anglicyzmy, np. *wave*, *single-use*, nauki *life-science*, białko *spike*, choć w wielu przypadkach możliwe byłoby użycie odpowiedników w języku polskim np. falowego, jednorazowego, nauki przyrodnicze, białka kolca itd. W mojej opinii, zgodnie z zasadami ustawy o języku polskim warto dążyć do tworzenia polskich odpowiedników dla terminów obcojęzycznych, co może przyczynić się do wzbogacenia słownictwa naukowego oraz wzmocnić samowystarczalność języka polskiego w literaturze fachowej i w dyskursie naukowym.

Przy lekturze dysertacji Pana mgra Mateusza Bartczaka nasuwają się też pewne pytania, o odpowiedź na które prosiłabym podczas publicznej obrony:

- 1) Co wiemy na temat zmian temperatury medium w reaktorach *single-use* z mieszaniem metodą falową (ang. *wave*)?
- 2) Główną wadą worków *single-use* jest podatność na uszkodzenia mechaniczne, np. przebicia czy przecieki. Czy mógłby Pan powiedzieć czy sprawiało to problemy w czasie realizacji prowadzonych badań?

- 3) Hodowla komórek *Nicotiana tabacum* BY-2 jest bardzo popularnym modelem w biotechnologii roślinnej oraz do testowania optymalizacji parametrów hodowli, modyfikacji zbiorników i analizy reologii zawiesiny, co wynika z jej specyficznych właściwości. Czy Doktorant może powiedzieć dlaczego hodowle *N. tabacum* są tak chętnie wybierane przez naukowców?
- 4) Jednorazowe worki do hodowli komórkowych mogą być dostępne w różnych rozmiarach i konfiguracjach, od skali laboratoryjnej do przemysłowej (> 2000 L), co oznacza, że po zakończeniu procesu generowana jest duża ilość odpadów plastikowych. Jaka jest Pana opinia na temat ich recyklingu i czy nie jest to zbyt poważne ograniczenie ekologiczne do powszechnego zastosowania tych reaktorów?

4. Podsumowanie

Reasumując recenzowana rozprawa doktorska jest kompleksowym opracowaniem, stanowiącym oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Do niewątpliwych osiągnięć mgr inż. Mateusza Bartczaka należy zaliczyć:

- wyznaczenie szeregu korelacji umożliwiających szacowanie wartości czasu mieszania w funkcji parametrów operacyjnych wybranego bioreaktora;
- opracowanie autorskiej adaptacji metody kolorymetrycznej z komputerowym przetwarzaniem i analizą obrazu do pomiaru czasu mieszania falowego (ang. *wave*) w zastosowanym bioreaktorze;
- przygotowanie i wdrożenie strukturalnych modyfikacji jednorazowych zbiorników (ang. *single-use*);
- bioprosesowa weryfikacja zmodyfikowanych zbiorników w hodowli wybranych komórek roślinnych.

Wyniki uzyskane w trakcie przygotowywania rozprawy doktorskiej przez mgr inż. Mateusza Bartczaka wnoszą istotny wkład w wiedzę z zakresu inżynierii chemicznej, zwłaszcza w zakresie projektowania i eksperymentalnej weryfikacji reaktorów jednorazowych (ang. *single-use*). Dodatkowym atutem dysertacji jest aktualność podejmowanej problematyki oraz oryginalność zaproponowanych ujęć i rozwiązań, które mogą stanowić punkt odniesienia dla dalszych badań lub dyskusji specjalistycznych. Upowszechnienie modeli matematycznych

i równań korelacyjnych do szacowania wartości parametrów procesowych może przyczynić się do zwiększenia zainteresowania reaktorami *single-use*.

5. Ocena dorobku doktoranta

Cały dorobek naukowy mgr inż. Mateusza Bartczaka w oparciu o bazę WoS (03.01.2026 r.) obejmuje 4 prace z bazy JCR (w tym 4 publikacje wchodzące do zbioru, stanowiącego rozprawę doktorską) oraz 5 rozdziałów w monografiach konferencyjnych. Index Hirscha wynosi 3, a liczba cytowań – 25 (bez autocytowań). Pozostały dorobek mgr inż. Mateusza Bartczaka obejmuje 4 zgłoszenia patentowe oraz łącznie 15 prezentacji ustnych i posterowych na konferencjach krajowych i zagranicznych. Doktorant był kierownikiem trzech projektów wewnętrznych Politechniki Warszawskiej.

6. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Mateusza Bartczaka, stanowiąca spójny tematycznie zbiór publikacji naukowych pod wspólnym tytułem „Intensyfikacja wymiany masy w bioreaktorze z mieszaniem typu *wave*”, spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez Ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r.

Wobec wysokiego poziomu pracy (dwa artykuły wchodzące w skład osiągnięcia zostały opublikowane w periodyku o najwyższej wartości naukowej), wykazaną samodzielność Doktoranta oraz znaczący wkład w rozwój wiedzy o bioreaktorach jednorazowych, wnoszę o wyróżnienie pracy doktorskiej Pana mgr inż. Mateusza Bartczaka. W uzasadnieniu warto jeszcze raz podkreślić spójność i logiczność opracowania, staranne przygotowanie przewodnika, a także praktyczne znaczenie sformułowanych wniosków.

Andrzej Marchalec