Warszawa, 08.08.2021 r.

Prof. dr hab. inż. Tomasz Sosnowski
Katedra Inżynierii Procesów Zintegrowanych
Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej
Politechnika Warszawska
ul. Waryńskiego 1, 00-645 Warszawa

RECENZJA

osiągnięć naukowych **Pana dr. inż. Macieja Bogusza JASKULSKIEGO**
w związku z postępowaniem o nadanie stopnia
doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych
w dyscyplinie inżynieria chemiczna

Podstawą opracowania recenzji jest pismo dr. hab. inż. Grzegorza Wielgosińskiego, prof. uczelni, Dziekana Wydziału Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej z dnia 16 czerwca 2021 roku, przekazane łącznie z dokumentacją postępowania

1. *Ogólna charakterystyka sylwetki Kandydata*

Dr inż. Maciej Jaskulski uzyskał tytuł zawodowy magistra inżyniera kończąc Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej (WIPOŚ PŁ) w roku 2010. W roku 2016 uzyskał w tej samej jednostce stopień doktora nauk technicznych na podstawie rozprawy doktorskiej pt. *„CFD modeling of particle agglomeration in counter-current spray drying process"*, której promotorem był prof. dr hab. inż. Ireneusz Zbiciński.

Choć nie ma wprost tej informacji w Autoreferacie, można się domyślić, że po obronie pracy magisterskiej Kandydat podjął działalność naukową z zespole prof. Zbicińskiego na WIPOŚ PŁ (Kandydat podał, że uzyskiwał granty i nagrody Rektora PŁ w latach 2010-13). Jeszcze przed doktoratem, w latach 2014-16, Kandydat pracował jako asystent na Otto-von-Guericke-Universität w Magdeburgu (Niemcy). Po doktoracie, w roku 2017 dr Jaskulski został adiunktem naukowo-dydaktycznym w Katedrze Inżynierii Środowiska WIPOŚ PŁ, gdzie jest zatrudniony do dnia dzisiejszego. Przytoczone informacje pokazują, że dr Jaskulski prowadził badania naukowe zarówno na macierzystym wydziale, jak i w ośrodku zagranicznym, co należy uznać za bardzo wartościowy element kariery naukowej Kandydata.

Od czasu rozpoczęcia pracy nad doktoratem, zainteresowania naukowe Kandydata koncentrowały się na zastosowaniu obliczeniowej mechaniki płynów (CFD) do modelowania procesu suszenia rozpyłowego (rozpryskowego) w aparatach przemysłowych o różnej konstrukcji, a także na innych zagadnieniach inżynierskich związanych z tą tematyką. Prowadzone badania były związane przede wszystkim z udziałem Kandydata w projektach

badawczych realizowanych we współpracy z partnerami przemysłowymi lub finansowanych ze źródeł budżetowych, w tym – z dużego projektu europejskiego dotyczącego zagadnień energetycznych procesu produkcji mleka w proszku (akronim ENTHALPY – projekt realizowany w latach 2013-16 m.in. przez uniwersytet w Magdeburgu). Kandydat samodzielnie nie kierował jeszcze dużym projektem badawczym (do takich nie zaliczam projektów wydziałowych oraz związanych z opieką nad Kołem Naukowym), ale był głównym wykonawcą we wspomnianym projekcie europejskim, zaś obecnie jest wykonawcą projektów finansowanych przez NCN oraz czeskie Ministerstwo ds. Edukacji, Młodzieży i Sportu. Pełnił również rolę głównego wykonawcy w siedmiu oraz wykonawcy w dwóch projektach przemysłowych w latach 2010-2020 (we współpracy z m.in. Henkel, PSA Group, TatraPak, Procter and Gamble). Uzyskane w taki sposób doświadczenie badawcze i organizacyjne należy uznać za w pełni wystarczające do prowadzenia przez Kandydata samodzielnej aktywności naukowo-technicznej w dalszym toku rozwoju jego kariery akademickiej. Jako ważny element sylwetki Kandydata w tym obszarze można wskazać również fakt, że był on współzałożycielem firmy spin-off Akrimtech sp. z o.o., która efektywnie pozyskuje wsparcie finansowe ze środków samorządowych na rozwój urządzeń do namnażania komórek macierzystych. Współpraca techniczna, zwłaszcza z sektorem biotechnologicznym i farmaceutycznym zaowocowała również dwoma zgłoszeniami patentowymi, których współautorem jest dr Jaskulski. Działalność badawcza związana ze współpracą z przedstawicielami otoczenia gospodarczego została doceniona m.in. w postaci nagród JM Rektora Politechniki Łódzkiej, które Kandydat (wraz z zespołem) otrzymał w latach 2010-13.

Dr Jaskulski posiada w dorobku publikacje ze współautorami zagranicznymi i wielokrotnie prezentował swoje wyniki na konferencjach międzynarodowych, zwłaszcza z zakresu suszarnictwa. Jego osiągnięcia w tej tematyce obszarze zostały docenione w postaci prestiżowej nagrody Europejskiej Federacji Inżynierii Chemicznej *EFCE Excellence Award in Drying and Freeze-Drying* (2019). Kilka lat wcześniej (2015) Kandydat uzyskał nagrodę na konferencji *Nordic Baltic Drying* za rozwój i popularyzację technologii suszarniczych. Był kilkukrotnie zapraszany na wykłady z metod modelowania CFD na Otto-von-Guericke-Universität w Magdeburgu. Recenzował kilkanaście publikacji w czasopismach JCR oraz została mu powierzona funkcja *Guest Editor* specjalnego tomu czasopisma *Processes* dotyczącego zastosowań CFD w modelowaniu przemysłowych układów dyspersyjnych. Przytoczone fakty potwierdzają, że Kandydat jest rozpoznawalny i ceniony przez międzynarodowe środowisko naukowe.

Kandydat ma doświadczenie w kształceniu młodszej kadry, co stanowi ważny element działalności przyszłego samodzielnego pracownika naukowego. Był promotorem pomocniczym jednego obronionego doktoratu (2019) i pełni funkcję promotora pomocniczego w trzech kolejnych (w tym jednego na uniwersytecie w Magdeburgu). Wypromował 14 inżynierów i magistrów. Niewątpliwym atutem działalności Kandydata w obszarze wspierania młodszych naukowców jest pełnienie przez niego funkcji opiekuna Koła Naukowego *OKTAN* na WIPOŚ PŁ (od 2017 r.), które odnosi liczne sukcesy (m.in. nagroda w konkursie StRuNa).

Dane bibliometryczne Kandydata są na oczekiwanym poziomie, biorąc pod uwagę specyfikę dyscypliny i uprawianej tematyki. Indeks h wynosi 7, zaś liczba cytowań niezależnych – ok. 140 (wg danych bazy Scopus na dzień sporządzenia recenzji). Najważniejszym elementem dokumentującym aktywność badawczą Kandydata jest monotematyczny cykl 12 publikacji z lat 2017-2020, składających się na osiągnięcie naukowe będące podstawą niniejszego wniosku habilitacyjnego.

2. *Ocena osiągnięcia naukowego będącego przedmiotem wniosku habilitacyjnego oraz innych elementów dorobku i aktywności naukowej.*

2a. Ocena osiągnięcia naukowego będącego przedmiotem wniosku habilitacyjnego

Jako osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę wniosku habilitacyjnego Kandydat przedstawił cykl 12 powiązanych tematycznie publikacji z lat 2017-2020 opatrzonych wspólnym tytułem: ***„Modelowanie wpływu parametrów procesu na właściwości fizykochemiczne cząstek w suszeniu rozpryskowym"***. Większość prac została opublikowana w czasopismach o dobrym współczynniku wpływu dla dyscypliny inżynieria chemiczna (1,97-2,66 - IF wg roku opublikowania). W skład zestawu wchodzi też jeden rozdział z książki wydanej przez renomowane wydawnictwo zagraniczne (*CRC Press,* Boca Raton, USA) oraz dwa pełnotekstowe materiały konferencji międzynarodowych. Udział Kandydata w ww. publikacjach wieloautorskich został oszacowany na poziomie od 30% do 70%, co można by w kilku przypadkach uznać za nie dominujący (np. udziały po 30% w pracach [1, 2, 5, 11 i 12]), jednak na podkreślenie zasługuje tutaj fakt, że Kandydat był autorem korespondencyjnym niemal we wszystkich publikacjach, co wskazuje na jego wiodącą rolę w ich powstawaniu. Zadeklarowane udziały zostały potwierdzone oświadczeniami współautorów (choć nie wszystkich, ze względu na wykazany brak możliwości skontaktowania się z niektórymi z nich).

W pierwszej publikacji z cyklu [1] (*Adv. Powder Technol.,* 2017), napisanej wspólnie ze współautorami z WIPOŚ PŁ (zespół prof. Zbicińskiego), zajęto się modelowaniem CFD procesu suszenia rozpyłowego w przemysłowym (H = 31 m, ∅ = 6 m) aparacie przeciwprądowym i określeniem wpływu parametrów procesu na właściwości sproszkowanego produktu (detergentu – jak podano w Autoreferacie), uwzględniając proces aglomeracji cząstek. Dane obliczeniowe CFD zweryfikowano w oparciu o dane doświadczalne. Wkład Kandydata dotyczył opracowania modelu matematycznego, jego implementacji do pakietu CFD i wykonania obliczeń symulacyjnych. Zaproponowane podejście obliczeniowe, zgodnie z deklaracją autorów publikacji, ma charakter uniwersalny, choć zostało zweryfikowane w aparacie o dość szczególnej konstrukcji.

Artykuły [2-5] (*Drying Technol., Adv. Powder Technol.,* 2017) zostały napisane wspólnie ze współautorami z zagranicy i są związane z badaniami wykonanymi w projekcie europejskim ENTHALPY, dotyczącymi suszenia kropel mleka odtłuszczonego. Prace te objęły m.in. określenie kinetyki procesu odparowania pojedynczej kropli w specjalnie zaprojektowanym układzie doświadczalnym, a także wyliczenie ewolucji temperatury suszonych cząstek, co pozwoliło na wskazanie warunków możliwej degradacji termicznej białek mleka. Kandydat uczestniczył tu także w pracach doświadczalnych przy opracowaniu i zastosowaniu nowatorskiego systemu optycznego pomiaru on-line średnic kropel/cząstek w suszarce.

Publikacja [6] jest współautorskim, blisko 50-stronicowym przeglądowym rozdziałem w monografii, dotyczącym enkapsulacji w wybranych procesach rozpryskowych, zawierającym również obszerne omówienie metod CFD stosowanych w obliczaniu suszenia rozpyłowego. Wysokie kompetencje Kandydata w tej tematyce są potwierdzone jego dominującym wkładem autorskim w opracowaniu rozdziału (70%).

Publikacje [7-9] (dwa pełnotekstowe materiały konferencyjne i jeden artykuł w *Drying Technol.,* 2018-19) dotyczą analizy pracy suszarki współprądowej (skala pilotowa, H = 8 m, ∅ = 0,5 m) przy otrzymywaniu proszków z rozpylanego prekursora spienionego. Prace zostały opublikowane ze współautorami z WIPOŚ PŁ, zaś istotny wkład autorski Kandydata (40-70%)

dotyczył opracowania modeli matematycznych i ich implementacji do CFD, wykonania symulacji i porównania wyników obliczeń z danymi doświadczalnymi. Do podobnej tematyki nawiązuje publikacja [11] (*Drying Technol.* 2020), w której w bardzo szczegółowy sposób określono właściwości produktu tworzonego przez mikrokapsułki zawierające olej słonecznikowy. Na szczególną uwagę zasługuje tu zastosowanie oryginalnej metody badania struktury wewnętrznej kapsułek przez wybarwianie fazy olejowej rodaminą.

Publikacja [10] (*Drying Technol.*, 2020) i dwa wymienione wraz z nią materiały konferencyjne (2018-19) dotyczą analizy obliczeniowej CFD wpływu konfiguracji wielodyszowych atomizerów wibracyjnych (monodyspersyjnych) oraz aranżacji przepływu powietrza na proces suszenia mleka w aparacie współprądowym (H = 6 m, , ∅ = 0,4 m). Wyniki obliczeń wykazały korzyści z wyeliminowania zawirowania powietrza, pozwalającego na zmniejszenie depozycji kropel i proszku na ściankach aparatu. Prace powstały we współpracy z zespołem z Magdeburga.

Zamykający cykl publikacji artykuł [12] (*Drying Technol.*, 2020) powstał w zespole z WIPOŚ PŁ we współpracy z Procter and Gamble i dotyczy suszenia detergentów w suszarce przeciwprądowej. Wkład Kandydata – w odróżnieniu od większości pozostałych publikacji w cyklu – dotyczy tutaj badań eksperymentalnych. Tematycznie publikacja w pewnym stopniu nawiązuje do pracy [1], tj. suszenia detergentów w aparacie o analogicznym sposobie kontaktu faz, choć badania opisane w publikacji [12] wykonano w suszarce skali pilotowej dostępnej na PŁ i innego prekursora. Praca ta koncentruje się na badaniu wpływu wybranych parametrów pracy suszarki na jakość produktu (sproszkowanego detergentu).

Poziom naukowy przedstawionego cyklu prac jednoznacznie potwierdza, że osiągnięcia naukowe Kandydata stanowią znaczny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria chemiczna. Zwięzły tych osiągnięć i przewodnik po ww. publikacjach Kandydat zawarł w Autoreferacie, który, niestety, został opracowany w sposób daleki od ideału. Z obowiązku recenzenta przytoczę tylko niektóre z zauważonych niedociągnięć: (i) symbole zastosowane w przytoczonych równaniach nie zostały zdefiniowane, a więc trudno jest śledzić sens wywodów bez sięgania do publikacji źródłowych; (ii) pomylono numerację rysunków - od rys. 21 do końca autoreferatu, (iii) błędnie wskazano, że zarówno równania 10-11 jak i 12-13 dotyczą tych samych warunków (temperatura powietrza powyżej 100 °C – str. 32); (iv) użyto nieprecyzyjnych lub wręcz błędnych określeń, np. „mokre krople" (str. 15), „rozkład kropel" - zamiast „rozkład średnic kropel" (str. 16 i 24), „przesłona" aparatu - zamiast „przysłona" (str. 28), „małe frakcje kropel" - chyba chodzi o „frakcje małych kropel" (str. 35), „o dużym rozkładzie końcowym średnic" - chyba chodzi tu o dużą szerokość rozkładu średnic cząstek proszku (str. 36); (v) stosowano żargon techniczny pisząc o eksperymentach prowadzonych „na" wieży/suszarce/kolumnie - zamiast „w" wieży/suszarce/kolumnie (str. 13, 23, 28); (vi) nie ustrzeżono się błędów edycyjnych, np. „slover" zamiast „solver" (str. 10, 30); „dryin" zamiast „drying" (str. 12), proszek „odpierany" zamiast „odbierany" (str. 32), „Hiszpani" zamiast „Hiszpanii" (str. 39). Odnosząc się do samej treści Autoreferatu chciałbym zauważyć, że Kandydat słusznie pisze o CFD jako jedynym narzędziu umożliwiającym symulacje obliczeniowe pracy suszarki rozpyłowej (str. 30). Szkoda jednak, że przy tak kompleksowym opracowaniu tego zagadnienia nie wspomniał on o innym podejściu umożliwiającym osiągnięcie analogicznego celu, tj. o ujęciu doświadczalno-obliczeniowym, wykorzystującym metodykę planowania eksperymentu (DoE). Umożliwia ono identyfikację parametrów o najsilniejszym wpływie na przebieg procesu a następnie ich rzeczywistą optymalizację. Zaproponowana przez Kandydata koncepcja wykorzystująca CFD nosi raczej znamiona metody prób i błędów, tj. symulacji prowadzonych dla przyjętych

(zaproponowanych) wartości parametrów układu w celu sprawdzenia, czy uzyskuje się zadowalające rozwiązania. Podejście takie jest oczywiście wygodniejsze i tańsze od prac doświadczalnych, zwłaszcza w przypadku dużych instalacji, gdzie prowadzenie badań dla kolejno zmienianych parametrów wiąże się z dużymi kosztami, a czasem i ryzykiem (np. awarii). W stosunku do zaproponowanej metodyki (tj. symulacji CFD) unikałbym jednak sformułowania, że umożliwia ona wyznaczenie „optymalnych" wartości parametrów procesu, gdyż ten sposób podejścia wcale nie gwarantuje, że uzyskane wartości są faktycznie najlepsze z możliwych - są one być może najkorzystniejsze spośród tych, dla których zdecydowano się wykonać obliczenia. Kandydat zapewne ma świadomość, że zagadnienia optymalizacji w inżynierii chemicznej i procesowej polegają na zastosowaniu całkiem odmiennej metodyki (m.in. definicja funkcji celu, wskaźnika jakości, zastosowanie algorytmów optymalizacyjnych, itd.) niż ta, która została zaproponowana w badaniach Kandydata. Zauważone niedociągnięcia opracowania Autoreferatu nie umniejszają oczywiście wartości merytorycznej samego osiągnięcia naukowego, jednak jako recenzent postanowiłem zwrócić na nie uwagę, chcąc podkreślić znaczenie staranności w formułowaniu przekazu pisemnego dla klarowności przekazywanych treści.

Oceniając zbiorczo przedstawione osiągnięcie naukowe nietrudno zauważyć, że w istotnym stopniu było ono kształtowane przez tematykę badań wstępnie zdefiniowanych przez projekty zorientowane na konkretne zastosowania technologiczne procesu suszenia rozpyłowego (np. mleka odtłuszczonego, detergentów, maltodekstryny) w aparatach o narzuconej konstrukcji i sposobie działania (przeciwprąd - a czasem współprąd, różne sposoby atomizacji cieczy, doprowadzanie surówki na jednym lub kilku poziomach aparatu, itd.). Podejście takie można uznać za usprawiedliwione, gdyż każde badania wymagają finansowania, a jest ono często pozyskiwane, m.in., w ramach współpracy z otoczeniem gospodarczym (bardzo pożądanej w naukach inżynieryjno-technicznych). Uniemożliwiło to chyba jednak Kandydatowi w pełni autonomiczne zdefiniowanie problemu badawczego i usystematyzowanie badań (np. wg klasycznego schematu: postawienie problemu naukowego, wykonanie badań w dobrze kontrolowanym układzie laboratoryjnym w celu weryfikacji opracowanych modeli i procedur obliczeniowych, a następnie powiększenie skali procesu do przemysłowej). Wyniki i wnioski uzyskane wg metodyki badań przyjętej przez Kandydata mają więc mniejszą uniwersalność, przez co ich adaptacja do innych realizacji procesu (tj. innych suszarek rozpyłowych i/lub suszonych substancji) zapewne nie będzie łatwa. Zastosowana metodyka sprawiła też, że „spoiwem" dorobku stał się dość szeroko rozumiany proces suszenia rozpyłowego i jego modelowanie oparte na wykazaniu stosowalności symulacji CFD, prowadzących do poprawy działania konkretnej suszarki w zadanej aplikacji.

Warto jednocześnie zauważyć, że CFD jest obecnie w zasadzie rutynowym narzędziem do rozwiązywania zagadnień przepływu w układach jedno- lub wielofazowych z jednoczesnym przenoszeniem ciepła i masy, przemianami fazowymi, reakcjami chemicznymi, itd. Oczywiście problemy rozwiązywane metodami CFD różnią się stopniem złożoności, który w przypadku procesu suszenia rozpyłowego - przy uwzględnieniu zmiany wielkości cząstek fazy rozproszonej na skutek odparowania, agregacji i depozycji na ściankach aparatu - istotnie rośnie. Należy więc uznać, że obliczenia wykonane przez Kandydata, które wymagały wpierw opracowania modelu matematycznego, a następnie uzupełnienia komercyjnego pakietu CFD o szereg autorskich procedur UDF, stanowią potwierdzenie zaawansowanego opanowania i wykorzystania przez Kandydata tego narzędzia obliczeniowego. Finalnie zaowocowało to istotnym i nowatorskim

wkładem dr. Jaskulskiego w rozwój wiedzy, prowadząc do lepszego zrozumienia wybranych aspektów procesu suszenia rozpyłowego i działania aparatów, w których jest on realizowany.

2b. Ocena innych osiągnięć naukowych

Oprócz zestawu publikacji wchodzących w skład powiązanego tematycznie cyklu publikacji, Kandydat ma w dorobku jeszcze 5 artykułów w czasopismach z listy JCR (dwie sprzed doktoratu) dotyczących zbliżonej tematyki tj. modelowania CFD suszenia rozpyłowego, ale także innych wybranych zagadnień z obszaru inżynierii chemicznej. Zauważalna jest (wspomniana już wcześniej) aktywność konferencyjna Kandydata, który dotychczas na krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych zaprezentował 23 komunikaty. Cztery komunikaty Kandydata zakwalifikowane na Międzynarodowe Sympozjum Suszarnicze IDS, które nie odbyło się w 2020 r., oczekują na prezentację po ogłoszeniu nowego terminu Sympozjum. Jak już nadmieniono, Kandydat jest także współautorem dwóch zgłoszeń patentowych w UPRP, nie związanych bezpośrednio z tematyką osiągnięcia habilitacyjnego.

Podsumowując zawartość merytoryczną dorobku Kandydata stwierdzam, że dr inż. Maciej Jaskulski wykazał się w nim szerokimi kompetencjami badawczymi, zarówno w zakresie modelowania matematycznego z zastosowaniem CFD, jak i realizacji badań eksperymentalnych dotyczących układów rozproszonych, w szczególności - w zastosowaniu do procesu suszenia rozpyłowego. Zostało to udokumentowane publikacjami w renomowanych czasopismach i wydawnictwach naukowych. Dotychczasowe osiągnięcia naukowe dr Jaskulskiego spełniają warunki wymagane przy ubieganiu się o stopień doktora habilitowanego, stanowiąc nowatorski i istotny wpływ na rozwój dyscypliny inżynieria chemiczna.

3. *Wniosek końcowy*

Przedstawiona powyżej ocena wniosku habilitacyjnego dr. inż. Macieja Jaskulskiego wskazuje, że działalność naukowa Kandydata ma charakter nowatorski, prowadząc do lepszego zrozumienia przebiegu procesów suszenia rozpyłowego oraz wskazując możliwości jego zaawansowanego modelowania matematycznego z wykorzystaniem CFD. Zawartość merytoryczna zestawu prac składających się na osiągnięcie naukowe świadczy o wysokich kompetencjach badawczych Kandydata. Pan dr inż. Maciej Jaskulski posiada w dorobku osiągnięcia naukowe stanowiące znaczny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria chemiczna.

Działając zgodnie z zapisami Art. 221 ust. 8 Ustawy o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dn. 20 lipca 2018 (z późn. zmianami), stwierdzam, że spełnione zostały warunki Art. 219 ust. 1 p. 2 niniejszej Ustawy, a tym samym popieram wniosek o nadanie dr. inż. Maciejowi Jaskulskiemu stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria chemiczna.