



Poznań, 28.11.2025 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
mgra inż. Marcina Sojki
zatytułowanej
***Opracowanie innowacyjnego inteligentnego wieloskładnikowego
preparatu nawozowego na bazie surowców odpadowych
i o spowolnionym uwalnianiu składników***

Podstawa: Uchwała 180/14/RDND05/2024-2028 Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Chemiczna Politechniki Wrocławskiej z dnia 15 października 2025 roku oraz stosowne pismo przewodnie RDND05/134/2024-2028 Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Chemiczna Pani prof. dr hab. inż. Izabeli Michalak z dnia 20 października 2025 roku.

Podstawa prawna: zgodność z elementami uwzględnionymi w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r., poz. 1571 z późn. zm.).

Cel i zakres pracy

Przedłożona do recenzji dysertacja doktorska Pana mgra inż. Marcina Sojki została zrealizowana w Katedrze Inżynierii i Technologii Procesów Chemicznych Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej i wpisuje się w dziedzinę nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinę inżynieria chemiczna. Badania w zdecydowanej większości zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, numer grantu PL-RPA2/08/BioSeFert/2019, pt. *Biofortyfikacja biomasy roślinnej w selen z wykorzystaniem bionawozów otrzymanych na drodze solubilizacji mikrobiologicznej* w ramach II konkursu na polsko-południowoafrykańskie projekty badawcze.

Pracę doktorską wykonano pod kierunkiem Pani dr hab. inż. Agnieszki Saeid, prof. uczelni, uznanej specjalistki w zakresie inżynierii chemicznej i technologii procesów chemicznych, cenionej za dorobek naukowy w zakresie waloryzacji odpadów, nawozów i bionawozów oraz wykorzystania mikroorganizmów w procesach technologicznych.

Nadrzędnym celem badań przeprowadzonych przez Doktoranta było opracowanie innowacyjnej formułacji stałego wieloskładnikowego preparatu nawozowego zawierającego bakterie solubilizujące składniki odżywcze, zagospodarowującego rolno-spożywcze surowce odpadowe oraz popiół, mającego na celu zwiększenie plonu roślin oraz zawartości Zn i Se. Cele szczegółowe obejmowały:

- wyizolowanie szczepu bakterii lub konsorcjum mikroorganizmów zwiększających dostępność P, Zn i Se oraz wspomagających wzrost roślin,
- identyfikację i dobór surowców odpadowych bogatych w składniki odżywcze, kompatybilnych z mikroorganizmami i podatnych na solubilizację mikrobiologiczną,
- opracowanie trwałego produktu nawozowego o wysokiej koncentracji składników odżywczych,

- poprawę plonowania roślin oraz zwiększenie zawartości Zn i Se w roślinach dzięki zastosowaniu opracowanego preparatu.

Cele pracy zostały jasno sformułowane w oparciu o hipotezy badawcze i są spójne z zakresem badań określonym przez Doktoranta. Tematyka rozprawy jest aktualna i istotna naukowo; wszystkie badania są logicznie powiązane, odpowiadają współczesnym wyzwaniom w zakresie waloryzacji odpadów, rozwoju innowacyjnych nawozów i wykorzystania mikroorganizmów w procesach technologicznych. Praca wpisuje się w nurt wysokiej jakości badań prowadzonych w wiodących ośrodkach akademickich, a podejmowane zagadnienia świadczą o jej wartości naukowej, innowacyjnym podejściu oraz istotnym wkładzie w rozwój dyscypliny.

Ocena układu rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska została przedstawiona na 214 stronach maszynopisu w języku polskim. Pełen tytuł dysertacji doktorskiej zdefiniowany przez Pana mgra inż. Marcina Sojkę brzmi: *Opracowanie innowacyjnego inteligentnego wieloskładnikowego preparatu nawozowego na bazie surowców odpadowych i o spowolnionym uwalnianiu składników*. Został on sformułowany poprawnie i w pełni odnosi się do prezentowanych w rozprawie wyników badań i całego zawartego w niej materiału naukowego.

Rozprawę doktorską otwiera *Spis treści* (str. 7–9), po którym Autor przedstawił *Część teoretyczną* (str. 11–29), obejmującą kluczowe zagadnienia istotne dla realizacji pracy. Wśród nich znalazły się m.in.: (i) *Wprowadzenie* (str. 11); (ii) *Potrzeba zwiększenia odżywczości żywności* (str. 11–13), gdzie omówiono problem głodu i głodu ukrytego, znaczenie pierwiastków P, Zn i Se oraz aktualne strategie uzupełniania ich niedoborów w diecie; (iii) *Strategie nawożenia w ujęciu systemowym* (str. 14–23), w tym nawożenie naturalne, syntetyczne oraz inteligentne; (iv) *Alternatywne źródła składników odżywczych* (str. 24), (v) *Propozycja podejścia zintegrowanego* (str. 25–26), (vi) *Waloryzacja surowców odpadowych na cele nawozowe* (str. 26).

Część literaturowa została opracowana w sposób wyjątkowo rzetelny i przemyślany, w oparciu o najnowszą literaturę naukową, w tym publikacje z ostatnich pięciu lat, obejmujące wyniki badań prowadzonych we wiodących ośrodkach krajowych i międzynarodowych. Prezentowane zagadnienia tworzą solidną podstawę dla dalszych badań eksperymentalnych, jak również wartościowe źródło wiedzy dla innych badaczy i praktyków w zakresie inżynierii chemicznej oraz technologii nawozów.

Kolejno, materiał teoretyczny został wykorzystany do postawienia właściwych celów pracy, zakresu badań oraz hipotez badawczych, które zostały przejrzysto zilustrowane ogólnym schematem badań (str. 27–29). Staranność opracowania pierwszej części dysertacji doktorskiej oraz jej wysoki poziom merytoryczny świadczą o doskonałym przygotowaniu Doktoranta, a także o tym, że praca stanowi znaczący wkład w rozwój nauki w podjętym obszarze.

W drugiej części rozprawy, określonej przez Autora jako *Część praktyczna*, przedstawiono bardzo skrupulatnie i rzeczowo materiały, w tym: odczynniki, aparaturę oraz podłoża mikrobiologiczne (str. 30–31). Doktorant w sposób wyczerpujący zaprezentował także metodykę przygotowawczą i analityczną (str. 32–39), a następnie szczegółowo omówił zastosowane materiały i procedury badawcze (str. 40–59). Wśród nich znalazły się m.in.: wybór i charakterystyka szczepów bakterii, dobór surowców odpadowych oraz ocena ich podatności na solubilizację mikrobiologiczną, opracowanie formulacji nawozowej, a także kompleksowa analiza właściwości użytkowych przygotowanego preparatu nawozowego.

Część eksperymentalna została opracowana w sposób wyjątkowo profesjonalny, logiczny i przejrzysty, umożliwiając pełne odtworzenie prowadzonych badań. Staranność i systematyczność prezentacji materiału oraz procedur badawczych świadczą o rzetelności pracy i wysokim poziomie kompetencji Doktoranta.

W kolejnej części pracy Doktorant przedstawił rozbudowany rozdział zatytułowany *Wyniki i analiza* (str. 60–181), wypełniony szczegółowymi wynikami badań oraz rzetelną dyskusją powiązaną z aktualną literaturą naukową. Dla zachowania przejrzystości i czytelności, Autor podzielił tę część rozprawy na cztery obszerne podrozdziały:

- *Wybór i charakterystyka bakterii* (str. 60–86),
- *Wybór surowców odpadowych i ocena podatności na solubilizację* (str. 87–111),
- *Opracowanie formulacji stałego granulowanego preparatu nawozowego* (str. 112–157),
- *Ocena właściwości użytkowych preparatu nawozowego w uprawach roślinnych* (str. 158–181).

Każdy podrozdział kończy się rzeczowym podsumowaniem, co dodatkowo zwiększa klarowność i spójność przekazu oraz ułatwia śledzenie logiki prowadzonych badań. Struktura i sposób prezentacji wyników świadczą ponownie o wysokim poziomie merytorycznym pracy, a jednocześnie umożliwiają czytelnikowi samodzielne odniesienie wyników do współczesnej literatury naukowej. Szczegółowa analiza zawartości tej części zostanie przedstawiona w kolejnych fragmentach niniejszej recenzji.

Dopełnieniem *Części praktycznej* rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Marcina Sojki są: *Podsumowanie i rekomendacje przyszłych badań* (str. 181–184), *Wnioski* (str. 184–185) oraz *Literatura* (str. 186–195), obejmująca obszerne i adekwatne zestawienie publikacji, przede wszystkim najnowszych, o zasięgu międzynarodowym, pochodzących z uznanych periodyków naukowych. Praca zawiera również szczegółowe spisy materiałów ujętych w rozprawie, obejmujące: 85 tabel (str. 195–196), 43 wykresy (str. 197–199), 27 zdjęć (str. 199–200) oraz 11 schematów (str. 200), które w sposób czytelny i systematyczny uzupełniają prezentowaną analizę wyników.

Trzecią i zarazem ostatnią część rozprawy stanowią *Załączniki*, które obejmują: *Ulotkę informacyjną granulowanego preparatu nawozowego* (str. 201), *Suplement* (str. 202–206) oraz *Dorobek naukowy* (str. 207–210), w ramach którego Autor zaprezentował m.in. publikacje naukowe, udział w konferencjach, realizację projektów badawczych, wizyty studyjne i współpracę międzynarodową, a także szkolenia oraz aktywność akademicką.

Dysertacja kończy się streszczeniami w języku polskim (str. 211–212) oraz angielskim (str. 213–214), które w zwięzły sposób przedstawiają cele, metody i najważniejsze wyniki pracy.

Podsumowując, układ rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Marcina Sojki jest przejrzysty, logiczny i spójny, co ułatwia czytelnikowi orientację w prezentowanym, obszernym materiale naukowym. Szczególnie godne pochwały są staranność opracowania, estetyka i dbałość o detale, które podnoszą wartość merytoryczną pracy.

Ocena merytoryczna rozprawy

Praca doktorska Pana mgr inż. Marcina Sojki stanowi niezwykle solidne, rzetelne i nowatorskie opracowanie naukowe w obszarze inżynierii chemicznej i technologii procesów chemicznych, wpisujące się w aktualne wyzwania w zakresie waloryzacji odpadów oraz zrównoważonego nawożenia roślin.

W pierwszym etapie badań, Doktorant skoncentrował się na doborze i charakterystyce mikroorganizmów o zdolnościach solubilizacji składników odżywczych i promowania wzrostu roślin. Zebrał kolekcję 16 szczepów bakterii, pochodzących zarówno z kolekcji kultur, jak i izolowanych

z gleby rolnej. Wybrane szczepy, w szczególności *Pseudomonas putida* i *Bacillus megaterium*, wykazały wysoką aktywność solubilizacyjną wobec fosforu i cynku, zdolność do redukcji form Se, produkcję metabolitów wspomagających wzrost roślin (siderofory, amoniak, kwas indolilo-3-octowy – IAA), a także kompatybilność w konsorcjum. Zastosowanie sacharozy jako krioprezerwantu pozwoliło na stabilne przechowywanie bakterii w formie liofilizatu, co jest istotnym osiągnięciem praktycznym, umożliwiającym ich dalsze wykorzystanie w formulacji nawozowej.

Drugi etap badań dotyczył selekcji surowców odpadowych oraz oceny ich podatności na solubilizację. Doktorant poddał analizie 11 surowców pochodzenia rolniczego i przemysłowego, z których wyłoniono popiół z osadu czynnego i mączkę rybną jako najbardziej wartościowe pod kątem zawartości P, Zn i Se. Na podstawie przeprowadzonych badań Pan Marcin Sojka wykazał istotny wzrost rozpuszczalnych form składników odżywczych pod wpływem konsorcjum bakterii, a także zależność efektywności solubilizacji od dawki surowca i zawartości C_{org}. Analizy strukturalne potwierdziły mikrobiologiczne działanie dezintegrujące, co umożliwiło efektywne uwalnianie składników z trudnych surowców. W tym etapie Doktorant osiągnął kluczowy postęp w określeniu kompatybilnych i wartościowych surowców bazowych dla preparatu NawLiof.

Trzeci etap obejmował opracowanie formulacji granulowanego preparatu nawozowego. Doktorant przetestował 15 wariantów mieszanki surowcowej, a następnie zoptymalizował skład, uzyskując granulaty o wysokiej odporności mechanicznej, równowadze składników odżywczych oraz stabilności biologicznej bakterii. Efektem jest produkt NawLiof, łączący cechy nawozu organiczno-mineralnego i biostymulatora mikrobiologicznego, zdolny do stopniowego uwalniania składników odżywczych i poprawy jakości gleby. Opracowanie technologii granulacji i określenie optymalnych proporcji surowców stanowią istotny wkład w dziedzinę inżynierii chemicznej procesów nawozowych.

W czwartym etapie Autor ocenił efektywność preparatu w warunkach laboratoryjnych i w uprawach wazonowych. Na podstawie przeprowadzonych badań Pan mgr inż. Marcin Sojka jednoznacznie potwierdził poprawę wzrostu biomasy roślin, zwiększenie zawartości P, Zn i Se w plonie oraz korzystny wpływ na aktywność enzymatyczną gleby i parametry mikrobiologiczne. Optymalna dawka NawLiof dla testowanej rzodkiewki wyniosła 0,25% m/m. Wyniki te jednoznacznie potwierdzają skuteczność i innowacyjność opracowanego preparatu.

Najistotniejsze wnioski wynikające z pracy obejmują opracowanie nowatorskiej, mikrobiologicznej formulacji nawozowej, potwierdzenie skuteczności wybranych szczepów bakteryjnych w zwiększaniu biodostępności P, Zn i Se, wykorzystanie odpadów rolno-przemysłowych jako surowców bazowych oraz udowodnienie synergizmu mikrobiologicznego w konsorcjum bakterii. Praca pokazuje również praktyczne zastosowanie liofilizacji dla stabilności mikroorganizmów oraz możliwości optymalizacji proporcji surowców w celu uzyskania granulatów o pożądanych właściwościach fizycznych i biologicznych. Zapewne, nie byłoby tak interesujących i wartościowych wyników, gdyby nie możliwość współpracy z bardzo doświadczoną promotorką ocenianej dysertacji doktorskiej – Panią profesorem Agnieszką Saeid, wybitną specjalistką w zakresie realizowanej tematyki.

Podsumowując, rozprawa doktorska Pana mgr inż. Marcina Sojki wyróżnia się wysoką rzetelnością merytoryczną oraz staranną i estetyczną szatą graficzną i edytorską. Prezentacja materiału jest klarowna, logiczna i spójna, a dbałość o opracowanie treści, tabel, schematów i wyników zasługuje na najwyższe uznanie. Nie stwierdzam istotnych błędów merytorycznych, a drobne uchybienia stylistyczne lub interpunkcyjne są minimalne i nie wpływają na czytelność ani wartość naukową pracy.

W kontekście przedstawionych wyników i wniosków warto jednak zwrócić uwagę na kilka zagadnień o charakterze dyskusyjnym, które mogą stanowić inspirację do dalszych refleksji i przemyśleń:

- jak ocenia Pan potencjalną ekonomiczną opłacalność preparatu NawLiof, w porównaniu z nawozami komercyjnymi, zarówno w aspekcie produkcji, jak i stosowania w gospodarstwach rolnych?
- jakie innowacyjne metody monitorowania uwalniania składników odżywczych i aktywności mikrobiologicznej w glebie warto według Pana wdrożyć w przyszłych pracach?
- czy uważa Pan, że opracowanie modeli matematycznych przewidujących dynamikę solubilizacji mogłoby wspierać dalszą optymalizację preparatu w warunkach polowych?
- w jaki sposób wyniki uzyskane przez Pana i opisane w pracy mogą inspirować rozwój zrównoważonych nawozów w praktyce rolniczej?

Na zakończenie chciałbym jeszcze raz wyraźnie podkreślić, że praca Pana mgr inż. Marcina Sojki stanowi znaczący wkład w rozwój nauki w zakresie inżynierii chemicznej. Jej niezwykle wysoka wartość merytoryczna, skrupulatność, logiczna struktura oraz staranność edytorska czynią z niej przykład wyróżniającej rozprawy doktorskiej, która może służyć zarówno jako źródło wiedzy naukowej, jak i inspiracja do dalszych badań oraz praktycznych zastosowań w rolnictwie cyrkularnym.

Ocena całego dorobku naukowego

Aktualnie chciałbym pokrótce podsumować dotychczasową aktywność naukową Pana mgr inż. Marcina Sojki.

Doktorant wykazał się aktywną i wszechstronną działalnością naukową, obejmującą publikacje, udział w konferencjach, realizację projektów badawczych, współpracę międzynarodową, szkolenia oraz aktywność akademicką. Do jego dorobku publikacyjnego należą zarówno artykuły badawcze (m.in. w czasopiśmie *Chemical and Biological Technologies in Agriculture, Advances in Sample Preparation, Open Chemistry*), jak i artykuły przeglądowe oraz rozdziały w monografiach naukowych, a także streszczenia konferencyjne.

Pan Marcin Sojka aktywnie uczestniczył w konferencjach o zasięgu krajowym i międzynarodowym, gdzie wygłaszał referaty ustne, które bez wątpienia sprzyjały promocji jego badań w środowisku naukowym i umożliwiły wymianę doświadczeń z badaczami z różnych ośrodków. W zakresie projektów badawczych Doktorant był wykonawcą w dwóch znaczących grantach finansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) oraz Narodowe Centrum Nauki (NCN), realizowanych w ramach współpracy polsko-południowoafrykańskiej i krajowej.

Istotnym elementem jego aktywności są wizyty studyjne i współprace międzynarodowe, w tym szkolenie analityczne ICP-OES na Uniwersytecie w Johannesburgu, które bezpośrednio wspierało prace eksperymentalne do rozprawy doktorskiej. Pan Sojka systematycznie poszerzał również swoje kompetencje poprzez liczne szkolenia z zakresu analizy danych, metod statystycznych, zarządzania projektami, komunikacji naukowej oraz nowoczesnych technologii laboratoryjnych.

Dodatkowo, Doktorant aktywnie uczestniczył w życiu akademickim, obejmując opiekę naukową nad badaniami magistrantów oraz współorganizując wydarzenia naukowe, co świadczy o jego zaangażowaniu w rozwój środowiska akademickiego i dydaktycznego.

Podsumowując, całokształt dorobku naukowego, wyszczególnionego przez Doktoranta w pracy doktorskiej, oceniam bardzo pozytywnie.

Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska Pana mgra inż. Marcina Sojki stanowi znaczący wkład w dziedzinę nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinę inżynieria chemiczna. Praca wyróżnia się wysokim poziomem merytorycznym, starannością opracowania oraz systematycznym i logicznym przedstawieniem wyników badań. Doktorant w sposób kompleksowy opracował innowacyjną formułę granulowanego preparatu nawozowego, łącząc aspekty mikrobiologiczne, technologiczne i środowiskowe. Dysertacja jest również cennym źródłem wiedzy dla środowiska naukowego i praktyki rolniczej, pokazując zastosowanie surowców odpadowych w tworzeniu nawozów o wysokiej efektywności biologicznej i odżywczej.

Stąd, na podstawie oceny rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Marcina Sojki zatytułowanej *Opracowanie innowacyjnego inteligentnego wieloskładnikowego preparatu nawozowego na bazie surowców odpadowych i o spowolnionym uwalnianiu składników* oraz zawartej w dysertacji aktywności naukowej jednoznacznie stwierdzam, że recenzowana praca spełnia wszystkie wymogi ustawowe i zwyczajowe stawiane rozprawom doktorskim. Dlatego wnioskuję do Wysokiej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Chemiczna Politechniki Wrocławskiej o przyjęcie pracy i przeprowadzenie dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia naukowego doktora.

Wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej

Mając na uwadze innowacyjny charakter badań, kompleksowość podejścia, wysoki poziom rzetelności merytorycznej, staranność edytorską oraz istotny potencjał wdrożeniowy opracowanego preparatu, w mojej ocenie rozprawa doktorska Pana mgra inż. Marcina Sojki zasługuje na wyróżnienie.

Praca nie tylko w pełni spełnia kryteria naukowe stawiane rozprawom doktorskich, ale również stanowi przykład badań prowadzących do praktycznych zastosowań w obszarze zrównoważonego rolnictwa i technologii nawozów.

