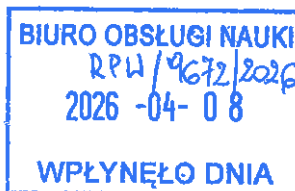




UNIwersytet  
PRZYRODNICZY  
WE WRocławIU



KATEDRA CHEMII ŻYwnoŚCI I BIOKATALIZY

Wrocław,  
28.03.2026r.

Prof. dr hab. Teresa Olejniczak

Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

**Ocena pracy doktorskiej**  
**mgr inż. Kariny Jasińskiej**  
**pt. *Badania nad enzymatyczną modyfikacją związków fenolowych i ich wykorzystaniem jako dodatków funkcjonalnych do olejów roślinnych***

Niniejsza recenzja została przygotowana na podstawie pisma Przewodniczącej Rady Dyscypliny Technologia Żywności i Żywienia Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Pani prof. dr hab. Ewy Jakubczyk, dotyczącego powierzenia mi funkcji recenzenta zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny Nr 37/TŻiŻ z dnia 23 stycznia 2026 r.

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Kariny Jasińskiej została przygotowana w oparciu o prace eksperymentalne wykonane w Katedrze Chemii Instytutu Nauk o Żywności SGGW pod opieką merytoryczną dr hab. inż. Agaty Fabiszewskiej, prof. SGGW, oraz promotora pomocniczego dr. inż. Bartłomieja Zieniuka.

**Charakterystyka formalna rozprawy**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska ma formę cyklu składającego się z jednej pracy przeglądowej oraz czterech oryginalnych publikacji naukowych opublikowanych w latach 2023–2025 w zagranicznych czasopismach indeksowanych w bazie *Journal Citation Reports* (JCR). W skład cyklu wchodzi następujące prace:



1. **Jasińska K.**, Fabiszewska A., Białecka-Florjańczyk E., Zieniuk B.: *Mini-Review on the Enzymatic Lipophilization of Phenolics Present in Plant Extracts with the Special Emphasis on Anthocyanins*. *Antioxidants*, 2022, vol. 11, nr 8, art. 1528, s. 1–16. DOI:10.3390/antiox11081528.
2. **Jasińska K.**, Zieniuk B., Jankiewicz U., Fabiszewska A.: *Bio-Based Materials versus Synthetic Polymers as a Support in Lipase Immobilization: Impact on Versatile Enzyme Activity*. *Catalysts*, 2023, vol. 13, nr 2, art. 395, s. 1–14. DOI:10.3390/catal13020395.
3. **Jasińska K.**, Zieniuk B., Piasek A.M., Wysocki Ł., Sobiepanek A., Fabiszewska A.: *Obtaining a biodegradable biocatalyst – study on lipase immobilization on spent coffee grounds as potential carriers*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2024, nr 59, art. 103255, s. 1–14. DOI:10.1016/j.bcab.2024.103255.
4. **Jasińska K.**, Nowosad M., Perzyna A., Bielacki A., Dziwiński S., Zieniuk B., Fabiszewska A.: *Sustainable Lipase Immobilization: Chokeberry and Apple Waste as Carriers*. *Biomolecules*, 2024, vol. 14, nr 12, art. 1564, s. 1–14. DOI:10.3390/biom14121564.
5. **Jasińska K.**, Zieniuk B., Bryła M., Padewska D., Brzezińska R., Kruszewski B., Nowak D., Fabiszewska A.: *The Double Life of Plant-Based Food Waste: A Source of Phenolic Acids and a Carrier for Immobilization of Lipases Capable of Their Lipophilization*. *International Journal of Molecular Sciences*, 2025, vol. 26, nr 23, art. 11400. DOI:10.3390/ijms262311400.

Prace opublikowano w czasopismach o uznanej renomie, po przejściu procedury recenzyjnej. Łączna liczba punktów MEiN (według daty opublikowania) wynosi 510, a sumaryczny Impact Factor — 23,4. Powyższe wskaźniki naukometryczne oceniam wysoko.

Przedstawione publikacje są opracowaniami wieloautorskimi, realizowanymi we współpracy głównie w obrębie macierzystej uczelni. Na podkreślenie zasługuje fakt, że we wszystkich pracach Pani mgr inż. Karina Jasińska jest pierwszym oraz jednym z dwóch autorów korespondencyjnych, co potwierdza jej dominującą rolę. Zgodnie z załączonymi oświadczeniami, wkład Doktorantki miał charakter wiodący i obejmował: prowadzenie części eksperymentów, analizę danych oraz przygotowanie publikacji.

Złożone oświadczenia są jednak ogólne i utrudniają precyzyjne ustalenie zakresu pracy eksperymentalnej wykonanej przez Doktorantkę oraz poszczególnych współautorów. Wyjątek stanowią oświadczenia dotyczące opracowania metodyki i przeprowadzenia analiz HPLC i LC-



MS. Niejasne są natomiast sformułowania części współautorów takie jak „przeprowadzenie części badań”, „selekcja i analiza danych” oraz „napisanie części manuskryptu”.

Oczywiste jest, że załączone publikacje mają charakter wieloautorski i każdy wnosił istotny wkład. Podkreślam jedynie ogólność i brak precyzji w przedstawionych oświadczeniach.

Rozprawa doktorska, bez załączonych oświadczeń Doktorantki i współautorów oraz publikacji stanowiących podstawę ubiegania się o stopień doktora, liczy 75 stron. Autoreferat zawiera streszczenia w języku polskim i angielskim oraz wprowadzenie teoretyczne, uzasadniające, że immobilizacja lipaz na biodegradowalnych nośnikach, takich jak wytloki jabłkowe, aroniowe czy fusy kawowe, zwiększa ich stabilność operacyjną, umożliwia wielokrotne użycie i ułatwia odzysk z mieszaniny reakcyjnej. Te naturalne nośniki oferują odpowiednią porowatość, obojętność chemiczną i niski koszt, a ich zastosowanie redukuje negatywny wpływ na środowisko. Dzięki immobilizacji lipazy zachowują lub poprawiają aktywność katalityczną, enancjoselektywność oraz tolerancję na ekstremalne warunki, co poszerza ich zastosowanie w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym i przy produkcji biopaliw. Kwasy fenolowe, występujące powszechnie w roślinach, wykazują cenne właściwości przeciwutleniające, przeciwzapalne i przeciwdrobnoustrojowe, ale ich niska rozpuszczalność w tłuszczach ogranicza zastosowanie. Enzymatyczna lipofilizacja, prowadzona w łagodnych warunkach przy użyciu lipaz, esteraz lub innych enzymów, pozwala na otrzymanie estrów o zwiększonej hydrofobowości, lepszej biodostępności i skuteczniejszym działaniu antyoksydacyjnym w układach lipidowych. Proces ten jest selektywny, ekologiczny i umożliwia modyfikację zarówno pojedynczych związków, jak i ekstraktów roślinnych, poprawiając stabilność i funkcjonalność produktów spożywczych oraz nutraceutyków.

Celem pracy było opracowanie immobilizowanego biokatalizatora na bazie odpadów spożywczych (wytłoków jabłkowych, aroniowych i fusów kawowych) oraz wykorzystanie go do lipofilizacji kwasów fenolowych, głównie kwasu chlorogenowego – dominującego w tych ekstraktach. Otrzymane estry i zmodyfikowane ekstrakty miały poprawiać stabilność oksydacyjną oleju roślinnego. Postawiono cztery hipotezy: że odpady mogą posłużyć jako efektywny nośnik



do immobilizacji enzymów; że immobilizowane lipazy skutecznie katalizują estryfikację; że lipofilowe estry zachowają lub zwiększą aktywność przeciwutleniającą/przeciwdrobnoustrojową oraz poprawią stabilność oleju; oraz że lipofilizacja ekstraktów zachowa lub wzmocni ich właściwości bioaktywne przy zwiększonej lipofilowości.

Kolejny rozdział omawia materiały i metody zastosowane w badaniach i zawiera opis materiałów i metod, technik immobilizacji lipaz (w tym na odpadach spożywczych), przygotowania ekstraktów i ich składu, a także oznaczenie aktywności hydrolitycznej i syntetycznej. Przeprowadzono optymalizację reakcji enzymatycznej syntezy według modelu Boxa–Behnkena, wraz z analizami jakościowymi i ilościowymi, oznaczeniem aktywności przeciwutleniającej i właściwości przeciwdrobnoustrojowych.

Na kolejnych 22 stronach w sposób skondensowany omówiono i przedyskutowano dane eksperymentalne weryfikujące poszczególne hipotezy badawcze. Rozdział zakończono logicznymi wnioskami.

Badania wykazały, że odpady przemysłu spożywczego (fusy kawowe, wytloki aroniowe i jabłkowe) skutecznie służą jako nośniki do immobilizacji lipazy, z najwyższą aktywnością dla fusów kawowych. Przeprowadzono enzymatyczną lipofilizację kwasu chlorogenowego, uzyskując estry o poprawionej lipofilowości. Ester butylowy (C4) wykazał wysoką aktywność antyoksydacyjną, podczas gdy estry średniołańcuchowe (C6, C8) – silne działanie przeciwdrobnoustrojowe wobec bakterii Gram-dodatnich. Dodatek estrów krótkołańcuchowych znacząco poprawił stabilność oksydacyjną oleju rzepakowego. Pomimo obniżenia aktywności antyoksydacyjnej po lipofilizacji ekstraktów, odpady stanowią obiecujący surowiec do wytwarzania innowacyjnych dodatków do żywności.

Autoreferat zamyka wykaz cytowanej literatury, obejmujący 106 pozycji, w zdecydowanej większości opublikowanych w ostatnich latach.

Podsumowując, od strony formalnej praca jest przygotowana starannie i nie budzi zastrzeżeń.



### Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska stanowi wartościowe i kompleksowe studium badawcze z zakresu biokatalizy enzymatycznej i zrównoważonej biotechnologii. Praca koncentruje się na kluczowym wyzwaniu współczesnej nauki – wykorzystaniu odpadów agrospożywczych do opracowywania innowacyjnych rozwiązań technologicznych. Autorka w sposób systematyczny i metodyczny podejmuje temat immobilizacji lipaz na naturalnych nośnikach pochodzących z wytlóków jabłkowych, aroniowych oraz fusów kawowych, wykazując głębokie zrozumienie zagadnień enzymologicznych i materiałoznawczych.

Struktura pracy jest logiczna i przemyślana. We wstępie teoretycznym Autorka trafnie uzasadnia wybór tematu, wskazując na pilną potrzebę rozwoju ekologicznych metod immobilizacji enzymów oraz ograniczenia negatywnego wpływu przemysłu na środowisko. Szczególnie wartościowe jest połączenie problematyki immobilizacji enzymów z modyfikacją kwasów fenolowych poprzez lipofilizację, co nadaje pracy wyraźny charakter aplikacyjny.

Część badawcza imponuje starannością metodologiczną. Zastosowanie zaawansowanych technik optymalizacji procesu (model Boxa-Behnkena) świadczy o wysokich kompetencjach w zakresie planowania eksperymentów i analizy danych. Przeprowadzone badania wieloaspektowo weryfikują postawione hipotezy, dostarczając przekonujących dowodów na skuteczność wykorzystania odpadów jako nośników do immobilizacji oraz na funkcjonalność otrzymanych estrów kwasów fenolowych.

Wyniki pracy mają istotny walor poznawczy i praktyczny. Udowodniono, że fusy kawowe charakteryzują się szczególnie wysoką przydatnością jako nośnik do immobilizacji lipaz, co otwiera perspektywę ich szerokiego zastosowania w przemyśle. Równie ważne jest wykazanie, że otrzymane estry kwasu chlorogenowego nie tylko zachowują, ale w niektórych przypadkach nawet wzmacniają aktywność biologiczną, przy jednoczesnej poprawie lipofilowości.

Praca wnosi znaczący wkład w rozwój zrównoważonych technologii, oferując konkretne rozwiązania mogące znaleźć zastosowanie w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym i kosmetycznym. Jej strona merytoryczna nie budzi zastrzeżeń, a przeprowadzone badania spełniają wymagania stawiane pracom doktorskim.



Cykl publikacji stanowiący podstawę nadania stopnia doktora prezentuje spójny i konsekwentnie rozwijany program badawczy o wysokiej wartości naukowej. Artykuły świadczą o dojrzałości naukowej Autorki oraz umiejętności prowadzenia zaawansowanych badań na styku wielu dyscyplin.

Publikacje charakteryzują się wyraźną interdyscyplinarnością, łącząc elementy enzymologii, inżynierii bioprosesowej, chemii analitycznej oraz nauki o materiałach. Ta wieloaspektowość podejścia pozwala na kompleksowe zrozumienie badanych zjawisk i procesów.

Artykuły cechują się wysoką jakością merytoryczną, przejrzystym przedstawieniem wyników oraz trafnymi dyskusjami umieszczającymi uzyskane wyniki w szerszym kontekście naukowym. Publikacje w znaczący sposób poszerzają wiedzę w dziedzinie biokatalizy i stanowią solidną podstawę do nadania stopnia doktora.

**Znaczące osiągnięcia naukowe:**

1. *Opracowanie innowacyjnych, zrównoważonych nośników do immobilizacji enzymów z odpadów agroprzemysłowych (Publikacje 2–5):* Po raz pierwszy wykorzystano fusy kawowe, pestki aronii i jabłek oraz wyciągi owocowe jako nośniki do immobilizacji lipaz. Osiągnięcie to łączy recykling odpadów z projektowaniem biokatalizatorów, oferując ekologiczną i ekonomiczną alternatywę dla komercyjnych nośników syntetycznych.
2. *Kompleksowe podejście do lipofilizacji związków fenolowych z wykorzystaniem immobilizowanych biokatalizatorów (Publikacje 1 i 5):* Zademonstrowano pionierskie podejście polegające na jednoczesnym wykorzystaniu odpadów jako źródła bioaktywnych związków (głównie kwasu chlorogenowego) i nośników dla enzymów przeprowadzających ich lipofilizację. Osiągnięcie to ma szczególne znaczenie dla wytwarzania estrów o poprawionej lipofilności i właściwościach funkcjonalnych.
3. *Wykazanie synergii między nośnikami pochodzenia naturalnego a aktywnością immobilizowanych enzymów:* Badania wykazały, że naturalne nośniki, zwłaszcza fusy kawowe, nie tylko zapewniają skuteczną immobilizację lipaz, lecz także mogą wpływać na poprawę ich stabilności i aktywności katalitycznej w porównaniu z nośnikami syntetycznymi.



4. *Opracowanie i optymalizacja procesów biokatalitycznych z wykorzystaniem metod statystycznych*: Zastosowanie zaawansowanych technik modelowania (model Boxa-Behnkena) pozwoliło na precyzyjne określenie optymalnych warunków prowadzenia reakcji enzymatycznych, co przełożyło się na wysoką wydajność i powtarzalność procesów.

#### Komentarze i uwagi

Przechodząc do uwag wynikających z powierzonej mi roli recenzenta, obok pozytywnej oceny pracy doktorskiej pragnę zwrócić uwagę, że zabrakło rozdziału zawierającego rekomendacje co do kierunków dalszych badań.

Chciałabym, aby Pani mgr inż. Karina Jasińska podczas końcowego etapu przewodu doktorskiego odniosła się do następujących zagadnień:

- Użyte w pracy biodegradowalne nośniki, takie jak wyłoki jabłkowe, aroniowe czy fusy kawowe, mogą być określane jako odpady lub produkty uboczne przemysłu spożywczego. Jak można zagospodarować biodegradowalne nośniki z enzymami po zakończonym procesie?
- W opisie metodologii napisano: „Do immobilizacji użyto 20 cm<sup>3</sup> płynu po hodowli drożdży *Y. lipolytica* oraz 1 cm<sup>3</sup> nieimmobilizowanej lipazy Novozym 51032 (rozcieńczonej w 14 cm<sup>3</sup> wody destylowanej)”. Skąd wiadomo, które enzymy odpowiadały za aktywność katalityczną?
- W schemacie reakcji (Rysunek 6, strona 47): co powoduje, że reakcja jest nieodwracalna? Lipazy katalizują zarówno estryfikację, jak i hydrolizę. Czy jest tam jakiś czynnik wiążący cząsteczkę wody? Czy w przyszłych badaniach miałyby sens zastosowanie transestryfikacji?
- W rozdziale 3.8.2 zastosowano bardzo nietypowy program do analiz HPLC, który rozpoczyna się od 80% metanolu, a następnie zmniejsza się do 50%. Dlaczego wybrano taki gradient?
- Na stronie 44 użyto terminu „alkohol tłuszczowy”. Co ten termin dla Pani oznacza?



- Na stronie 25 w opisie jest tylko heksan, natomiast na schemacie i w publikacji wymieniono heksan i etanol. Dlaczego wybrano właśnie te rozpuszczalniki?
- Dlaczego usunięcie hemicelulozy redukuje aktywność lipolityczną?
- Dlaczego aktywność syntetyczna była wyższa po immobilizacji?
- Czy analizowano wpływ rozpuszczalników organicznych na trwałość enzymów?
- Dlaczego wydajność lipofilizacji wzrastała z długością łańcucha alkoholu? Jak ją wyznaczono? Na stronie 30 sugeruje się, że na podstawie pola powierzchni w analizach HPLC – jednak skład procentowy z pól powierzchni możemy odczytywać wartości tylko dla związków z szeregu homologicznego? Czy brano pod uwagę molowy współczynnik ekstynkcji?
- Czym kierowano się, wybierając metodykę do oznaczania aktywności przeciw drobnoustrojowej? Do oznaczania wybrano dawkę 50 mg/mL, a na krążek podano 500 µg. Z moich doświadczeń wynika, że nie każdy związek (w tym estry) dobrze dyfunduje w agarze. Odwrotne podejście, czyli rozpuszczenie związku w agarze i sprawdzenie, ile kolonii bakterii wyrosło, bywa lepsze.
- Czy przeprowadzono analizę sensoryczną oleju? Zarówno kwas chlorogenowy, jak i jego ester są gorzkie.
- Jakie były koszty przygotowania nośników w porównaniu z nośnikami komercyjnymi?

### **Podsumowując:**

Przedstawiona rozprawa doktorska, oparta na cyklu pięciu publikacji (jednej przeglądowej i czterech oryginalnych) opublikowanych w latach 2023–2025 w czasopiśmie indeksowanym w Journal Citation Reports (JCR), stanowi znakomite połączenie zaawansowanych badań naukowych z praktycznym wymiarem zrównoważonej biotechnologii. Autorka wykazała się dojrzałością naukową, interdyscyplinarnością oraz umiejętnością prowadzenia wieloaspektowych badań na styku enzymologii, inżynierii



bioprosesowej i nauk o materiałach. Główne dokonania obejmują opracowanie innowacyjnych, zrównoważonych nośników do immobilizacji enzymów z odpadów agro-spożywczych, takich jak fusy kawowe, pestki aronii i jabłek oraz wyciąki owocowe. W szczególności wykazano wysoką przydatność fusów kawowych jako nośnika do immobilizacji lipaz, a także opracowano kompleksowe podejście do lipofilizacji związków fenolowych z wykorzystaniem immobilizowanych biokatalizatorów, umożliwiające otrzymanie estrów kwasu chlorogenowego o poprawionej lipofilności i zachowanej aktywności biologicznej. Badania charakteryzują się nowoczesną metodologią, w tym wykorzystaniem zaawansowanych technik optymalizacji i charakterystyki materiałowej, a ich wyniki mają istotny walor aplikacyjny dla przemysłu spożywczego, przyczyniając się do rozwoju gospodarki o obiegu zamkniętym.

### **Wnioski końcowe**

Uznając oryginalność i wartość merytoryczną ocenianej rozprawy, stwierdzam, że niniejsza rozprawa spełnia zwyczajowe wymagania stawiane dysertacjom doktorskim. Na tej podstawie potwierdzam, iż rozprawa spełnia warunki określone 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. zmianami*).

Wnoszę do Wysockiej Dyscypliny Technologia Żywności i Żywnienia Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie o dopuszczenie Pani mgr inż. Kariny Jasińskiej do dalszych etapów procedury ubiegania się o stopień naukowy doktora. Jednocześnie ze względu na wysoką naukową i aplikacyjną wartość dysertacji, szeroki zakres wykonanych eksperymentów wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej

### **Uzasadnienie wniosku o wyróżnienie pracy doktorskiej**

Wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr inż. Kariny Jasińskiej jest uzasadniony jej wyjątkową aktywnością naukową. Oprócz pięciu publikacji stanowiących



podstawę dysertacji, Autorka jest współautorką kolejnych dziesięciu prac oraz dwóch zgłoszeń patentowych, co świadczy o wysokiej produktywności badawczej i umiejętności transferu wyników do praktycznych rozwiązań. Odbyła staże naukowe, w tym trzymiesięczny w Hiszpanii oraz dziewięciomiesięczny we Włoszech, co wpłynęło na poszerzenie jej kompetencji i umiejętności współpracy międzynarodowej. Aktywnie uczestniczyła w licznych konferencjach i szkoleniach, a także zaangażowała się w projekty popularyzujące naukę, m.in. jako członek zespołu projektowego „Popularyzacja nie boli” oraz Zespołu roboczego ds. mediów społecznościowych Wydziału Technologii Żywności SGGW. Jej dokonania naukowe, bogate doświadczenie oraz liczny udział w publikacjach i zgłoszeniach patentowych są podstawą do nadania Pani mgr inż. Karinie Jasińskiej stopnia doktora z wyróżnieniem.

Prof. dr hab. Teresa Olejniczak

*T. Olejniczak*