



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ CHEMICZNY

Katedra Chemii, Technologii i Biotechnologii Żywności

Gdańsk, 19.05.2025 r.

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Katarzyny Wierzchowskiej
pt.: „**Badania nad pozyskiwaniem oleju mikrobiologicznego z komórek drożdży olejogennych
i możliwością wykorzystania go jako dodatku do żywności**”
wykonanej w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Instytutu Nauk o Żywności,
Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
pod kierunkiem dr hab. inż. Doroty Nowak oraz dr hab. inż. Agaty Fabiszewskiej pełniącej funkcję
promotora pomocniczego

Podstawą opracowania recenzji jest Uchwała nr 28/TŻiŻ-2024/2025 Rady Dyscypliny Technologia Żywności i Żywienia Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie z dnia 14 marca 2025 r. oraz Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce oraz Uchwała nr 89-2022/2023 Senatu SGGW z dnia 26 czerwca 2023 r. w sprawie uchwalenia Regulaminów przeprowadzania postępowań w sprawie nadania stopnia doktora w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Pani mgr inż. Katarzyna Wierzchowska podjęła się realizacji tematu badawczego, który dotyczy biotechnologicznego pozyskiwania olejów mikrobiologicznych z drożdży *Yarrowia lipolytica* i ich potencjalnego wykorzystania jako dodatków do żywności. Uważam, że temat ten jest aktualny, innowacyjny i pożądany – zarówno z naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia. Wspomniane zagadnienia wpisują się w szerszy kontekst współczesnych wyzwań związanych z zapewnieniem bezpieczeństwa żywnościowego, zrównoważonym rozwojem i gospodarowaniem zasobami.

Dynamiczny wzrost liczby ludności na świecie, zmiany klimatyczne, postępująca degradacja środowiska oraz wyczerpywanie się zasobów naturalnych skłaniają naukowców i przemysł do poszukiwania innowacyjnych, a zarazem zrównoważonych rozwiązań w zakresie produkcji żywności. Według prognoz do 2050 r. liczba ludności przekroczy 9 miliardów, co znacząco zwiększy zapotrzebowanie na żywność, a w szczególności na białko i tłuszcze. Jednocześnie niemal blisko miliard ludzi wciąż cierpi z powodu niedożywienia lub braku dostępu do pełnowartościowych produktów żywnościowych. Wobec tego konieczne staje się poszukiwanie alternatywnych źródeł składników odżywczych oraz technologii umożliwiających efektywne i odpowiedzialne wykorzystanie dostępnych zasobów. W tym kontekście szczególnego znaczenia nabierają rozwiązania oparte na zasadach gospodarki o obiegu zamkniętym, które nie tylko ograniczają straty surowcowe, lecz także pozwalają zagospodarować odpady przemysłowe w sposób bezpieczny i korzystny dla środowiska

Jednym z obiecujących rozwiązań w tym zakresie jest wykorzystanie mikroorganizmów, a w szczególności drożdży olejogennych, do przekształcania odpadów organicznych w wysokoenergetyczne i wartościowe produkty, takie jak oleje mikrobiologiczne (ang. single cell oils). Szczególną uwagę zwraca się na drożdże z gatunku *Yarrowia lipolytica*, które charakteryzują się zdolnością do syntezy tych olejów z szerokiej gamy substratów, w tym również materiałów odpadowych. Uzyskiwane tą drogą oleje są bogate w nienasycone kwasy tłuszczowe, sterole i inne składniki bioaktywne, co czyni je atrakcyjną alternatywą dla konwencjonalnych tłuszczów roślinnych i zwierzęcych. Oleje te wykazują szeroki potencjał aplikacyjny – mogą być wykorzystane w przemyśle spożywczym jako komponenty żywności funkcjonalnej, składniki analogów produktów pochodzenia zwierzęcego, a także dodatki wzbogacające o wysokiej wartości odżywczej. Tym samym rozwój metod biotechnologicznych z udziałem drożdży olejogennych stanowi realny wkład w zwiększenie dostępności pełnowartościowej żywności, poprawę jej jakości oraz wdrażanie rozwiązań zgodnych z celami zrównoważonego rozwoju.

Ocena formalna pracy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Katarzyny Wierzchowskiej została przygotowana w formie sześciu spójnych tematycznie publikacji naukowych, opublikowanych w recenzowanych czasopismach z listy Journal Citation Report (*Waste and Biomass Valorization, Applied Sciences, European Food Research and Technology, Food Bioscience*) oraz artykułu zaprezentowanego na 3. Międzynarodowej Elektronicznej Konferencji nt. Żywności: Żywność, Mikrobiom i Zdrowie, który ukazał się w materiałach konferencyjnych *Biology and Life Science Forum*. Doktorantka pełni rolę pierwszego autora we wszystkich pracach, co świadczy o jej istotnym zaangażowaniu w opracowanie publikacji oraz w realizację badań. Potwierdzają to także dołączone do dokumentacji oświadczenia współautorów. Chociaż p. Katarzyna Wierzchowska nie przedstawiła procentowego oszacowania swojego udziału, to zarówno opisany zakres jej działań, jak i opinie współautorów wskazują na jej wiodącą rolę w całym przedsięwzięciu badawczym.

W skład tego opracowania wchodzi następujące publikacje:

1. Wierzchowska K., Zieniuk B., Fabiszewska A. 2022. Use of non-conventional yeast *Yarrowia lipolytica* in treatment or upgradation of hydrophobic industry wastes. *Waste and Biomass Valorization* 13, 757–779. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01516-9> 70 pkt., IF₂₀₂₂ - 3.2
2. Wierzchowska K., Zieniuk B., Nowak D., Fabiszewska A. 2021. Phosphorus and nitrogen limitation as a part of the strategy to stimulate microbial lipid biosynthesis. *Applied Sciences* 11, 11819. <https://doi.org/10.3390/app112411819> 100 pkt., IF₂₀₂₁ - 2.7
3. Wierzchowska K., Musiałek A., Zieniuk B., Jasińska K., Nowak D., Fabiszewska A. 2022. Is there any possibility to use ultrasounds, high-pressure homogenization or pulsed electric field in single cell oil release from oleaginous yeast cells? *Biology and Life Science Forum* 18, 56. <https://doi.org/10.3390/Foods2022-12959>
4. Wierzchowska K., Pakulska A., Derewiaka D., Piasecka I., Zieniuk B., Nowak D., Fabiszewska A. 2022. Concept of batch and fed-batch cultures of *Yarrowia lipolytica* as a valuable source of sterols with

simultaneous valorization of molasses and post-frying rapeseed oil. *Applied Sciences* 12, 12877. <https://doi.org/10.3390/app122412877> 100 pkt., IF₂₀₂₂ - 2.7

5. Wierzchowska K., Derewiaka D., Zieniuk B., Nowak D., Fabiszewska A. 2023. Whey and post-frying oil as substrates in the process of microbial lipids obtaining: a value-added product with nutritional benefits. *European Food Research and Technology* 249, 2675–2688. <https://doi.org/10.1007/s00217-023-04322-w> 70 pkt., IF₂₀₂₃ - 3.0
6. Wierzchowska K., Roszko M., Derewiaka D., Szulc K., Zieniuk B., Nowak D., Fabiszewska A. 2024. Yeast lipids as a sustainable source of nutrients in dairy products analogs. *Food Bioscience* 62, 105321. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105321>. 70 pkt., IF₂₀₂₃ - 4.8

Sumaryczny Impact Factor wg JCR dla przedstawionych powyżej publikacji wynosi 16,4, a łączna punktacja MNiSW to 410 pkt. Wartości tych wskaźników są odpowiednie przy ubieganiu się o stopień naukowy doktora.

Integralną częścią rozprawy pani mgr inż. Katarzyny Wierzchowskiej jest 90-stronicowe opracowanie zawierające: Streszczenia – w języku polskim i angielskim – oraz omówienie zagadnień związanych z tematyką pracy doktorskiej (Wstęp; 1. Przegląd piśmiennictwa. 2. Cel i hipotezy badawcze; 3. Materiały i metody badawcze; 4. Omówienie i dyskusja wyników; 5. Spostrzeżenia i wnioski; 6. Spis literatury). Opracowanie zostało poprawnie przygotowane, w logicznej kolejności. Przedstawiony do oceny tekst prezentuje najważniejsze osiągnięcia naukowe i wyniki badań zrealizowanych przez Doktorantkę, które znajdują odzwierciedlenie w opublikowanych artykułach naukowych. W opracowaniu znalazłam drobne uchybienia językowe i stylistyczne, które miejscami mogą wpływać na czytelność tekstu i wskazują na potrzebę dalszej redakcji.

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska spełnia wszystkie wymogi formalne przy ubieganiu się o stopień naukowy doktora.

Ocena merytoryczna

Zarówno opracowanie zbiorcze, jak i powiązane z nim artykuły naukowe tworzą dobrze przemyślaną tematycznie zintegrowaną całość, co stanowi podstawę do ich merytorycznej oceny. Każda kolejna publikacja rozwija wątki poprzednich, układając się w ciągłą narrację obejmującą przegląd literatury, optymalizację warunków wzrostu drożdży i ich metabolizmu lipidowego, aż po zastosowania praktyczne. Przedstawione prace składają się na spójny cykl badań eksperymentalnych, w których wykazano możliwość efektywnej biosyntezy lipidów z wykorzystaniem różnych produktów odpadowych/ubocznych, takich jak: posmażalniczy olej rzepakowy, serwatka i melasa. Dodatkowo oceniono wpływ ograniczenia składników pokarmowych, przede wszystkim azotu i fosforu, na metabolizm lipidowy *Y. lipolytica*. Sprawdzono także, czy zastosowanie sonikacji, homogenizacji wysokociśnieniowej oraz pulsacyjnego pola elektrycznego pozwoli na efektywną ekstrakcję lipidów z komórek drożdży, a także określono skład kwasów tłuszczowych i steroli oraz zawartość metali ciężkich i makro- i mikro-elementów w otrzymanym oleju. Określono również potencjał oleju jako dodatku do żywności wegańskiej. Prace cechują się wysokim poziomem merytorycznym i eksperymentalnym, a badania zostały przeprowadzone z wykorzystaniem

nowoczesnej aparatury i zaawansowanych metod analitycznych. Wartość naukowa i aplikacyjna wyników jest wysoka – prace wpisują się w aktualne trendy gospodarki o obiegu zamkniętym, biotechnologii środowiskowej i żywności funkcjonalnej. Po zapoznaniu się z tymi pracami stwierdzam, że charakteryzują się one wysokim poziomem merytorycznym.

Ocena poszczególnych publikacji wchodzących w skład cyklu:

P1 – „Use of non-conventional yeast *Yarrowia lipolytica* in treatment or upgradation of hydrophobic industry wastes” – jest to artykuł przeglądowy, który przedstawia aktualny stan wiedzy na temat potencjału wykorzystania drożdży *Y. lipolytica* w biotransformacji hydrofobowych odpadów przemysłowych oraz w bioremediacji zanieczyszczeń środowiskowych. Stanowi syntetyczne i wartościowe podsumowanie oparte na 132 publikacjach naukowych, z których większość pochodzi z ostatnich 25 lat. Praca prezentuje możliwości zastosowania drożdży *Y. lipolytica* w przetwarzaniu odpadów przemysłu spożywczego, w tym mięsnego i rybnego, a także utylizacji odpadowego oleju kuchennego lub ścieków z olejarni palmowych i oliwkowych w celu biosyntezy cennych metabolitów. Mocną stroną tego przeglądu jest wskazanie szerokiego spektrum typów odpadów i zastosowań drożdży *Y. lipolytica* w produkcji lipidów mikrobiologicznych oraz redukcji BZT i ChZT w ściekach przemysłowych. Pomimo bogatego zakresu tematycznego, odczułam pewien niedosyt związany z brakiem analizy ekonomicznej oraz danych dotyczących skalowalności opisanych procesów.

P2 – „Phosphorus and nitrogen limitation as a part of the strategy to stimulate microbial lipid biosynthesis” – artykuł dotyczy wpływu ograniczenia dostępności fosforu i azotu w podłożu hodowlanym, zawierającym odpadowy olej rzepakowy jako źródło węgla, na biosyntezę lipidów przez drożdże *Y. lipolytica*. W pracy określono optymalne warunki stymulujące produkcję oleju mikrobiologicznego i wydajności biomasy oraz przeprowadzono analizę składu kwasów tłuszczowych wytwarzanych olejów. Zastosowanie odpadowego oleju rzepakowego jako rzeczywistego i ekonomicznego źródła węgla jest interesującym rozwiązaniem, wpisującym się w koncepcję zrównoważonego rozwoju i gospodarki o obiegu zamkniętym. Kompleksowe podejście do badania wpływu ograniczenia fosforu i azotu w różnego rodzaju hodowlach (kolbowych i bioreaktorach) umożliwiło wieloaspektową ocenę procesów biosyntezy lipidów przez drożdże. Natomiast znajomość profilu kwasów tłuszczowych w uzyskanych olejach mikrobiologicznych ma istotne znaczenie dla oceny ich wartości odżywczej i przemysłowej. W pracy tej zabrakło mi informacji o powtarzalności wyników, gdyż nie podano błędów standardowych ani zakresów odchyłań dla kluczowych parametrów, np. wydajności biomasy lub lipidów. W dyskusji wyników skupiono się wyłącznie na *Y. lipolytica* bez odniesienia do alternatywnych mikroorganizmów, np. drożdży olejogennych z rodzaju *Rhodotorula*.

P3 – „Is there any possibility to use ultrasounds, high-pressure homogenization or pulsed electric field in single cell oil release from oleaginous yeast cells?” – w artykule poruszono aktualny i oryginalny temat zastosowania niekonwencjonalnych metod – sonikacji, homogenizacji wysokociśnieniowej i pulsacyjnego pola elektrycznego – do uwalniania oleju z komórek drożdży olejogennych. Takie podejście jest nowatorskie i ma dużą wartość aplikacyjną. Badania mają praktyczny charakter i mogą znaleźć zastosowanie jako etap wstępny do ekstrakcji lipidów, co stwarza potencjał do wykorzystania

w przemyśle. Niestety, zastosowane parametry obróbki okazały się mało skuteczne i niewystarczające do uwolnienia lipidów bez użycia rozpuszczalników organicznych. W kontekście dostępnych danych literaturowych zastanawiam się, dlaczego nie podjęto prób zastosowania bardziej intensywnych lub zoptymalizowanych warunków obróbki (np. wyższych ciśnień, dłuższego czasu działania), które mogłyby zwiększyć efektywność procesu. Ograniczona objętość publikacji – wynikająca z jej formy jako „proceeding paper” – sprawia, że dyskusja jest skrócona i nie w pełni rozwinięta. Warto byłoby uzupełnić tekst o krótką analizę ekonomiczną, szacującą opłacalność wykorzystania testowanych metod w warunkach przemysłowych.

P4 – „*Concept of batch and fed-batch cultures of Yarrowia lipolytica as a valuable source of sterols with simultaneous valorization of molasses and post-frying rapeseed oil*” – artykuł przedstawia nowatorskie podejście do określenia potencjału drożdży *Y. lipolytica* do biosyntezy steroli i lipidów przy wykorzystaniu melasy i oleju posmażalniczego, w warunkach hodowli okresowej i okresowej z dokarmianiem. Zastosowanie dwóch strategii prowadzenia hodowli pozwoliło na wieloaspektową ocenę wpływu warunków procesu na profil kwasów tłuszczowych, zawartość steroli oraz stabilność oksydacyjną uzyskanych olejów. W pracy przedstawiono wyniki z szerokiego zakresu analiz fizykochemicznych, w tym z analizy składu pierwiastkowego biomasy, co wzbogaciło wartość poznawczą pracy. Wysoka jakość metodologiczna oraz odniesienie wyników do kontekstu przemysłowego sprawiają, że publikacja ma duży potencjał aplikacyjny i doskonale wpisuje się w aktualne kierunki badań z tego zakresu.

P5 – „*Whey and post-frying oil as substrates in the process of microbial lipids obtaining: a value-added product with nutritional benefits*” – publikacja stanowi ciekawe rozwinięcie wcześniejszych badań Doktorantki. W tym artykule do otrzymywania oleju mikrobiologicznego zastosowano nowy układ substratowy – połączenie serwatki kwaśnej i oleju posmażalniczego. Wysoko oceniam wartość aplikacyjną przedstawionych badań, zarówno w kontekście zrównoważonego rozwoju, jak i potencjalnych zastosowań uzyskanych olejów mikrobiologicznych jako składników żywności funkcjonalnej lub surowców przemysłowych. Niewątpliwym atutem pracy jest kompleksowa charakterystyka zarówno produktów lipidowych (profil kwasów tłuszczowych, zawartość steroli, stabilność oksydacyjna), jak i biomasy (zawartość makro- i mikroelementów), a także prowadzenie hodowli w bioreaktorach. Podobnie jak w poprzedniej publikacji, istotnym elementem jest odniesienie uzyskanych wyników do realiów przemysłowych i żywnościowych – tym razem z większym naciskiem na aspekt żywieniowy. Mimo licznych zalet pracy, brakuje w niej pełnej analizy ekonomicznej – nie oszacowano kosztów ani opłacalności wdrożenia przedstawionych metod w praktyce przemysłowej.

P6 – „*Yeast lipids as a sustainable source of nutrients in dairy products analogs*” – publikacja stanowi istotne dopełnienie wcześniejszych badań Doktorantki. Tym razem badania poszły o krok dalej, prezentując praktyczne zastosowanie olejów i biomasy drożdżowej w produkcie spożywczym – roślinnym analogu sera camembert. Praca wyróżnia się kompleksowym podejściem: od doboru substratów i analizy składu mikrobiologicznego po ocenę stabilności oksydacyjnej i zawartości związków niepożądanych (takich jak wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne i pozostałości rozpuszczalników). Autorzy uwzględnili również zgodność produktów z wymogami legislacyjnymi UE, co zwiększa potencjał komercyjnego zastosowania uzyskanych olejów i biomasy. W kontekście dotychczasowych badań p.

Katarzyny, publikacja ta stanowi logiczne rozwinięcie dotychczasowego dorobku – przechodząc od surowców i technologii do konkretnego produktu końcowego o określonym profilu żywieniowym i funkcjonalnym.

Podsumowując, stwierdzam, że mgr inż. Katarzyna Wierzchowska stosując umiejętnie zaprojektowane postępowanie doświadczalne oraz racjonalnie dobrane metody pomyślnie zrealizowała zaplanowane zadania badawcze. Uzyskane przez nią rezultaty mają elementy nowości naukowej, a jednocześnie są istotne ze względów praktycznych.

Stwierdzam, że przedstawiona do oceny praca doktorska spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z Ustawą z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.) i wnioskuję do Rady Dyscypliny Technologia Żywności i Żywienia Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie o przyjęcie pracy i dopuszczenie do dalszych etapów postępowania celem uzyskania stopnia doktora.