



dr hab. Kamila Goderska

Poznań, 21.05.2026

Katedra Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego

Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Natalii Burlaga  
pt. „Functional Colloidal Systems Containing Probiotic Bacteria”**

wykonanej w Instytucie Technologii i Inżynierii Chemicznej

Wydziału Technologii Chemicznej

Politechniki Poznańskiej

pod kierunkiem naukowym **Prof. dr hab. inż. Ewy Kaczorek**

### **Podstawa formalno-prawna opracowania recenzji**

Podstawą wykonania recenzji jest uchwała Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Poznańskiej z dnia 31 marca 2026 r. Podstawę prawną stanowiły wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2024 r. poz. 1571 ze zm.).

### **Ocena formalna pracy**

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska jest przygotowana zgodnie z powszechnie obowiązującymi standardami naukowymi. Praca obejmuje: obszerny, dobrze ustrukturyzowany wstęp teoretyczny, jasno sformułowany cel główny i cele szczegółowe, szczegółowy opis materiałów i metod, przedstawienie wyników badań w sposób systematyczny, a także odniesienia do literatury zgodne z konwencją prac naukowych, podsumowanie i wnioski. Układ rozdziałów jest logiczny i przejrzysty. Poszczególne sekcje



są poprawnie wydzielone, a narracja zachowuje spójność merytoryczną.

Praca została przygotowana w języku angielskim na wysokim poziomie stylistycznym. Tekst jest precyzyjny, zrozumiały i poprawny językowo. Terminologia mikrobiologiczna, biotechnologiczna i chemiczna została stosowana konsekwentnie i prawidłowo. Materiały ilustracyjne są czytelne, prawidłowo podpisane i spójne z tekstem. Cytowania literatury są kompletne, aktualne i właściwie osadzone w kontekście omawianych zagadnień.

Dysertacja spełnia standardy formalne, w szczególności: posiada wyraźnie określone cele naukowe, obejmuje obszerny przegląd literatury oraz uzasadnienie naukowe badań, dostarcza szczegółowy opis metodologii, umożliwiając replikację badań, przedstawia oryginalne wyniki, zawiera zestawienie materiałów eksperymentalnych zgodne z wymogami transparentności badań, a w zakresie formalnym i edytorskim zachowuje poprawną strukturę i przejrzystość.

Opis metod jest wyjątkowo wyczerpujący, obejmuje: charakterystykę zastosowanych szczepów, szczegółowe procedury mikrobiologiczne, komórkowe i analityczne, warunki hodowli, zestawy odczynników, aparaturę i oprogramowanie. Dokumentacja ta spełnia wymogi transparentności i powtarzalności badań.

W analizowanym materiale widoczne są: spójna numeracja tabel i rycin, wyraźne opisy i odniesienia, konsekwentna terminologia oraz właściwa hierarchia nagłówków. Praca pod względem edytorskim prezentuje wysoki poziom staranności.

Podsumowując, układ treści, jakość językowa, kompletność metodologii oraz właściwa prezentacja danych wskazują na wysoki poziom przygotowania i profesjonalizm Autorki. Nie stwierdzono uchybień formalnych, które uniemożliwiałyby dopuszczenie pracy do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Przedstawiona do recenzji dysertacja zawiera 176 stronnicowe opracowanie oraz 10 stronnicowy opis osiągnięć naukowych Doktorantki. Dysertacja ma układ typowy dla prac o charakterze eksperymentalnym. Obejmuje ona streszczenie w języku angielskim i języku polskim, wykaz skrótów stosowanych w pracy, przegląd literatury, hipotezę badawczą i cele pracy, rozdział przedstawiający organizację badań: materiały i metody, omówienie i dyskusję wyników, podsumowanie i wnioski oraz spis literatury obejmujący 238 pozycji. Można stwierdzić, że Doktorantka wykazuje bardzo dobrą znajomość aktualnego piśmiennictwa z zakresu pokrewnego tematyce pracy doktorskiej oraz posiada umiejętność sprawnego wyszukiwania i wykorzystywania materiałów źródłowych do przygotowywania dysertacji oraz



własnych publikacji.

Struktura przedłożonej do oceny rozprawy jest typowa. Układ pracy jest przejrzysty i logicznie uporządkowany tworząc spójną całość. Język angielski rozprawy cechuje się należytą precyzją i poprawnością stylistyczną. Drobne potknięcia Autorki w braku precyzyjnego opisu testowanych szczepów bakterii nie umniejszają wysokiego poziomu rozprawy doktorskiej.

Prace badawcze będące przedmiotem dysertacji zostały zrealizowane w ramach projektu finansowanego przez NCN w konkursie PRELUDIUM 22 pt. „MiCo: new microbe-colloids for oral delivery of probiotics” o nr 2023/49/N/NZ9/02128, którego kierownikiem jest mgr inż. Natalia Burlaga. Należy podkreślić wysoką umiejętność Doktorantki w pisaniu projektu badawczego, która zakończyła się sukcesem czyli przyznaniem finansowania na realizowane w ramach pracy badania naukowe.

### **Ocena merytoryczna**

W przemyśle spożywczym ale też farmaceutycznym stabilizacja mikroorganizmów probiotycznych może stanowić skuteczne rozwiązanie problemów związanych z niską przeżywalnością w trakcie procesów technologicznych i przechowywania a włączenie składników wspierających lub bioaktywnych dodatkowo może zwiększa przeżywalność probiotyków oraz zwiększyć biodostępnością cennych związków bioaktywnych. Dzięki zamknięciu mikroorganizmów probiotycznych w kapsułkach hydrożelowych oraz oddziaływanie z liposomowymi nośnikami może zwiększyć ich stabilność podczas przechowywania w porównaniu z wolnymi komórkami, a włączenie składników wspierających lub bioaktywnych dodatkowo zwiększa przeżywalność probiotyków. Daje to możliwość ich efektywnego wprowadzenie do produktów spożywczych czy suplementów diety oraz zwiększenie ich przyswajalności przez organizm. Dzięki temu możliwe może być projektowanie produktów o lepszych właściwościach odżywczych i prozdrowotnych.

W trakcie lektury nasunęło mi się pytanie do Doktorantki:

Jakie jest praktyczne wykorzystanie otrzymanych kapsułek hydrożelowych w produktach spożywczych czy żywieniu człowieka?

Podjęta przez Doktorantkę problematyka badawcza, obejmująca badania koloidalnych układów nośnikowych zaprojektowanych w celu zwiększenia potencjału funkcjonalnego



probiotyków wpisuje się w aktualne kierunki badań nad zastosowaniem enkapsulacji celem zwiększenia żywotności i stabilności bakterii probiotycznych w trakcie procesów technologicznych oraz przechowywania i stanowiące podstawę w opracowywaniu skutecznych produktów spożywczych i nutraceutycznych mogących odgrywać ważną rolę w prewencji chorób cywilizacyjnych. Analizy łączące architekturę nośnika z fizjologią probiotyków, ich stabilnością w trakcie przechowywania oraz funkcjonalną aktywnością stanowią niezwykle interesujące zagadnienie i są niewątpliwie nowatorskim podejściem do stabilizacji mikroorganizmów probiotycznych. Należy jednak podkreślić, że wdrożenie preparatów probiotycznych w przetwórstwie żywności wymaga wcześniejszej oceny potencjalnego ryzyka ich stosowania.

O aktualności podjętego przez Doktorantkę problemu badawczego świadczy również duża liczba publikacji dotyczących zastosowania hydrożelowych kapsułek dla probiotyków, formułacja lipidowa zawierająca fluwastatynę, formułacje liposomalne dla probiotyków (odpowiednio 117 prac według bazy Web of Science w ostatnich pięciu latach, 2 prace według bazy Web of Science w ostatnich pięciu latach, 1 praca według bazy Web of Science w ostatnich pięciu latach). W związku z tym uznaję, że wybór tematyki badawczej, obejmującej stabilizację bakterii probiotycznych i zaprojektowanie oraz kompleksowa ocena takich układów koloidalnych poprzez opracowanie formułacji, ich charakterystykę strukturalną i fizykochemiczną oraz wieloparametrową ocenę biologiczną jest w pełni uzasadniony i trafny. Testowane formułacje liposomalne dodatkowo zapewniały mechanizm stabilizacji poprzez tworzenie zewnętrznej, okołokomórkowej lipidowej otoczki. Oba badane układy lipidowe utrzymywały uporządkowaną strukturę koloidalną oraz umożliwiały utrzymanie fizjologicznie istotnych subpopulacji bakterii. Z kolei formułacja lipidowa zawierająca fluwastatynę stanowiła układ o podwójnej funkcji, łączący stabilizację probiotyku z obecnością bioaktywnej fazy liposomalnej.

Przedstawioną do oceny pracę rozpoczyna abstract w języku angielskim i streszczenie w języku polskim.

Sekcja Przegląd literatury (Literature review) recenzowanej dysertacji stanowi obszerne i wieloaspektowe studium literatury przedmiotu. Autorka podjęła udaną próbę syntetycznego ujęcia probiotyków i ich znaczenia w naukach o żywności i zdrowiu, wprowadzenie do układów koloidalnych i zastosowanie koloidów w kapsułkowaniu substancji czynnych oraz znaczenie i perspektywy badań nad koloidalnymi systemami probiotycznymi. Na uznanie zasługuje szerokie tło badawcze, obejmujące probiotyki, prebiotyki, synbiotyki ale także



postbiotyki- bardzo aktualny temat w obszarze mikroorganizmów probiotycznych. Głęboka analiza układów koloidalnych stosowane w przemyśle spożywczym i w produktach probiotycznych oraz ich zastosowanie w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym i kosmetycznym stanowi wyczerpujące wprowadzenie do realizowanych celów badawczych. Doktorantka wykazała się biegłością w poruszaniu po aktualnym piśmiennictwie, szczególnie omawiając zakres realizowanego tematu badawczego.

Struktura narracji jest logiczna i prowadzi czytelnika od ogólnych zagadnień dotyczących probiotyków do specyficznych właściwości układów koloidalnych i bioaktywnych komponentów kapsułek, co stanowi solidny fundament pod postawioną w pracy hipotezę badawczą. Doktorantka w syntetyczny sposób dokonała przeglądu literatury, który został oparty na aktualnych publikacjach naukowych i w sposób wyczerpujący uzasadnia celowość podjętych badań.

W rozdziale drugim Autorka sformułowała hipotezę badawczą i określiła główne cele badań oraz cele szczegółowe. Postawiona hipoteza to stwierdzenie, że matryce enkapsulacyjne na bazie hydrożelu oraz nośniki liposomowe poprawiają żywotność probiotyków podczas przechowywania w porównaniu z komórkami niekapsułkowanymi.

Sekcja definiująca cele badawcze (Aim of the study) rozprawy charakteryzuje się wysokim stopniem klarowności w sformułowaniu głównego problemu badawczego. Autorka słusznie stawia na zaprojektowanie oraz kompleksową ocenę układów koloidalnych poprzez opracowanie formułacji, ich charakterystykę strukturalną i fizykochemiczną oraz wieloparametrową ocenę biologiczną. Autorka wykazała się interdyscyplinarnością, planując integrację wyników z zakresu stabilizacji bakterii w hydrożelowych matrycach oraz oddziaływanie z liposomowymi nośnikami poprawiają stabilność podczas przechowywania w porównaniu z wolnymi komórkami, włączeniem składników wspierających lub bioaktywnych dodatkowo zwiększających przeżywalność probiotyków. Formułacja lipidowa zawierająca fluwastynę stanowiła układ o podwójnej funkcji, łączący stabilizację probiotyku z obecnością bioaktywnej fazy liposomalnej. Doktorantka dokonała charakterystyki strukturalnej i fizykochemicznej oraz wieloparametrową ocenę biologiczną otrzymanych preparatów.

Do istotnych zalet tej części pracy należą: precyzja celu głównego, logiczna struktura celów szczegółowych oraz ambitny charakter pracy. Jasne wskazanie na ocenę potencjału hydrożelowych matryc w kapsułkowaniu szczepów bakterii probiotycznych i połączenie fluwastyny w układzie lipidowym wpisuje się w najnowsze trendy badań nad



mikroorganizmami probiotycznymi i interakcją z mikrobiotą jelitową. Zaproponowana ścieżka badawcza, od przeprowadzenie badań przesiewowych wybranych dodatków do preparatów w celu oceny ich kompatybilności z wolnymi komórkami probiotycznymi oraz oceny ich działania ochronnego w kontrolowanych warunkach hodowli, opracowanie probiotycznych układów koloidalnych opartych na matrycach hydrożelowych i liposomowych, przeznaczonych do włączenia wybranych szczepów probiotycznych, z dodatkiem prebiotyków lub innych związków bioaktywnych lub bez nich, charakterystyka opracowanych probiotycznych układów koloidalnych pod kątem ich właściwości strukturalnych i fizykochemicznych, ocena żywotności probiotyków w opracowanych układach koloidalnych w celu określenia ochronnego wpływu enkapsulacji na przeżywalność komórek probiotycznych i cena stabilności układów koloidalnych zawierających probiotyki podczas przechowywania poprzez monitorowanie integralności preparatu oraz żywotności probiotyków w odpowiednich warunkach przechowywania świadczy o dojrzałym planowaniu eksperymentalnym.

W sekcji Materiały i metody (Materials and Methods) Doktorantka bardzo starannie opisała materiały oraz procedury laboratoryjne, co świadczy o solidnym przygotowaniu warsztatowym. Sekcja zawiera pełną listę odczynników, materiałów zużywalnych oraz aparatury, co sprzyja powtarzalności badań. Doktorantka zaplanowała badania, które przechodzą logicznie od selekcji szczepu, przez wytypowanie trehalozy, inuliny i gumy arabskiej jako najbardziej korzystne składniki do dalszego opracowania formułacji oraz formułacje liposomalne zapewniały dodatkowy mechanizm stabilizacji poprzez tworzenie zewnętrznej, okołokomórkowej lipidowej otoczki aż po formułację lipidowa zawierająca fluwastatynę stanowiący układ o podwójnej funkcji, łączący stabilizację probiotyku z obecnością bioaktywnej fazy liposomalnej i testy aktywności po procesie przechowywania. Jest to struktura charakterystyczna dla zaawansowanych badań naukowych. Zastosowano metodologię wielowarstwową, badania obejmują różne poziomy analizy a morfologię układów opartych na liposomach zbadano za pomocą kriomikroskopii elektronowej (cryoSEM) przy użyciu mikroskopu skaningowego. Jest to szeroki i ambitny zakres metod, rzadko spotykany w pojedynczej pracy doktorskiej. Opisy procedur są jasne, szczegółowe i poprawne technologicznie. Dobór testów, szczególnie mikroskopii sił atomowych oraz mikroskop elektronowy z transmisją celem obrazowania morfologii komórek bakteryjnych uważam za bardzo interesujące naukowo i jednocześnie znakomite osiągnięcie będące podstawą zgłoszenia patentowego, którego Doktorantka jest współautorem. Wszystkie zastosowane



metody są właściwie dobranymi narzędziami badawczych. W wielu miejscach podkreślono liczbę powtórzeń, co świadczy o świadomości Doktorantki w zakresie rzetelności eksperymentalnej. Zastosowanie analizy statystycznej świadczy o samodzielności i kompetencjach Doktorantki w pracy z danymi naukowymi, które zostały również przedstawione w tabelach i na wykresach. Świadczy to o wysokich kompetencjach analitycznych Doktorantki oraz o dobrym opanowaniu warsztatu badawczego niezbędnego do prowadzenia badań w obszarze mikrobiologii, biologii i chemii. Zastosowane metody badawcze zostały dobrane właściwie i umożliwiły realizację stawianych celów badawczych. Wykorzystanie nowoczesnych narzędzi mikrobiologicznych podnosi wartość naukową dysertacji, czyniąc ją projektem nowoczesnym i wychodzącym poza standardowe testy mikrobiologiczne.

Sekcja Wyniki i dyskusja (Results and discussion) stanowi kluczowy element opiniowanej rozprawy, prezentujący wyniki szeroko zakrojonych badań nad stabilizacją wybranych probiotyków (*Lactiplantibacillus plantarum subsp. plantarum* PCM 2675, *Lacticaseibacillus rhamnosus* PCM 2677, *Lacticaseibacillus paracasei subsp. paracasei* PCM 3039, and *Lactococcus lactis subsp. lactis* PCM 2678) zależną od składu oraz organizacji strukturalnej matrycy koloidalnej. W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki eksperymentów wraz z ich interpretacją w odniesieniu do hipotezy badawczej i konkretnych celów badawczych. Wyniki uporządkowano zgodnie z kolejnymi etapami eksperymentu, odzwierciedlającymi chronologię badań.

Nasuwa mi się pytanie:

Czym podyktowany był wybór tych szczepów mikroorganizmów do badań?

Przedstawione wyniki charakteryzują się wzorową przejrzystością i logicznym układem. Doktorantka z powodzeniem zastosowała strukturę prowadząc czytelnika od podstawowej wstępnej oceny składu wybranych dodatków, skuteczność preparatów probiotycznych na bazie hydrożelu, ocenę funkcjonalną systemów probiotycznych stabilizowanych lipidami oraz ocenę funkcjonalną systemów probiotycznych z liposomami zawierającymi fluwastatynę. Wpływ wybranych środków o potencjalnym działaniu ochronnym na przeżywalność komórek probiotycznych oceniono przy użyciu uzupełniających się metod analitycznych. Aktywność metaboliczną oceniono za pomocą testu MTT, potencjalną cytotoksyczność za pomocą testu AlamarBlue (AB), a żywotność komórek za pomocą cytometrii przepływowej. Zastosowano nowoczesne metody analityczne, które potwierdzono jeszcze podstawową metodą płytkową oceny żywotności mikroorganizmów. Taka koncepcja badań pozwala na pełne zrozumienie



procesu selekcji szczepu *Lactiplantibacillus plantarum subsp. plantarum* PCM 2675 jako najcenniejszego kandydata do dalszych badań.

Na wysoką ocenę zasługuje bogaty warsztat badawczy. Wykorzystanie komplementarnych technik, od klasycznych testów przeżywalności, przez zaawansowane testy komórkowe, po nowoczesne narzędzia mikrobiologiczne i analityczne, świadczy o dużej skrupulatności badawczej Doktorantki. Doktorantka wykazuje się dużą rzetelnością w raportowaniu danych. Na szczególną aprobatę zasługuje umiejętność rozróżniania istotności statystycznej od trendów. W sekcji wyników wyraźnie zarysowuje się dojrzały warsztat badawczy Doktorantki, co objawia się w krytycyzmie naukowym, świadomości ograniczeń oraz umiejętności syntezy. Autorka potrafi obiektywnie ocenić własne wyniki. Sprawne zestawienie wyników własnych z aktualnym stanem wiedzy literaturowej nadaje pracy charakteru pogłębionej dyskusji naukowej już na etapie prezentacji danych.

Dane udostępniono w formie tabel i rysunków umożliwiającą natychmiastową weryfikację. To świadczy o dbałości Doktorantki o transparentność wyników oraz świadomości wymogów publikacyjnych w mikrobiologii. Mimo ogólnie bardzo wysokiego poziomu, ta sekcja dysertacji nie jest wolna od uchybień, które wymagają wskazania. Autorka w miejscu opisu eksperymentów dla *Lactiplantibacillus plantarum subsp. plantarum* PCM 2675 podaje tylko nazwę gatunku *Lactiplantibacillus plantarum*, co nie jest precyzyjne. W badaniach nad mikroorganizmami probiotycznymi wiemy, że właściwości probiotyczne są szczepozależne i tak jest również w wielu badaniach nad stabilizacją konkretnych mikroorganizmów. Obserwujemy dane cechy i stabilność dla konkretnego szczepu mikroorganizmów probiotycznych, podając rozwiązanie technologiczne przypisane dla danego szczepu. Autorka w części materiały podała wszystkie dane dotyczące testowanych w badaniach szczepów, ale w opisie wyników należy również podać pełne dane testowanych szczepów bakterii.

W tym miejscu pragnę zadać Doktorantce pytanie: Jakie znaczenie aplikacyjne ma opracowanie funkcjonalnych systemów liposomalnych zawierających fluwastatynę i probiotyki oraz charakterystyka ich właściwości strukturalnych i fizykochemicznych, wykazanie zwiększonej aktywności metabolicznej i żywotności komórek oraz ocena stabilności zarówno w temperaturze pokojowej, jak i fizjologicznej?

Sekcja dyskusja (Discussion) została przygotowana starannie i stanowi jeden rozdział z opisem wyników, jest obszerna i dobrze osadzona w aktualnej literaturze. Doktorantka interpretuje



uzyskane wyniki w sposób spójny, logiczny i krytyczny, odnosząc je zarówno do wcześniejszych badań nad aktywnością metaboliczną, cytotoksycznością i żywotnością w różnych środowiskach o potencjalnym działaniu ochronnym, poprzez zmiany morfologiczne komórek mikroorganizmów mogące wpływać na przeżywalność oraz właściwości funkcjonalne *L. plantarum* w badanych warunkach i z doniesieniami opisującymi zwiększoną stabilność probiotyków w układach lipidowych/liposomalnych, co może wiązać się z modulacją warunków na granicy faz oraz zmniejszoną ekspozycją na stres. Na działanie probiotyków wpływa wiele wzajemnie oddziałujących czynników, w tym właściwości fizykochemiczne dodatków, ich stężenie oraz cechy charakterystyczne poszczególnych szczepów w zakresie metabolizmu i reakcji na stres. Doktorantka płynnie zestawia własne wyniki z danymi publikowanymi w ostatnich latach. Dzięki temu dyskusja jest osadzona w aktualnym stanie wiedzy, co podnosi jej wartość naukową.

To właśnie w dyskusji najlepiej widoczna jest dojrzałość badawcza Doktorantki, przejawiająca się w krytycznej analizie wyników i ostrożności w formułowaniu wniosków, a także podkreślanie elementów wymagających dalszych badań. Jej komentarze dotyczące właściwości otaczającej matrycy koloidalnej wpływają na fizjologię probiotyków, integralność błon, równowagę oksydacyjną oraz stabilność koloidalną, a także fakt, że odpowiednio zaprojektowane systemy nośnikowe wiązały się z lepszą skutecznością probiotyków w porównaniu z grupą kontrolną zawierającą wolne komórki. Wyniki badań nad hydrożelem wskazują, że ochronne działanie probiotyków zależy nie tylko od fizycznego uwięzienia, ale także od środowiska wytworzonego wokół komórek. Różnice we właściwościach błony komórkowej, wewnątrzkomórkowej homeostazie metali śladowych oraz morfologii kulek sugerują, że skład matrycy wpływa na transfer masy, nawodnienie oraz interakcje między komórkami a matrycą. Odkrycia te potwierdzają pogląd, że racjonalne projektowanie nośników hydrożelowych wymaga jednoczesnego uwzględnienia czynników biologicznych i fizykochemicznych, a nie tylko liczby kolonii lub ogólnych wskaźników żywotności.

Kolejną część pracy stanowi Podsumowanie i wnioski (Summary). Doktorantka sformułowała 10 wniosków, które w większości bardzo dobrze odzwierciedlają wyniki przeprowadzonych badań. Sekcja ta stanowi zwięzłe podsumowanie pracy i w syntetyczny sposób podsumowuje kluczowe wyniki uzyskane w toku badań. Doktorantka prezentuje w niej najważniejsze ustalenia dotyczące m.in. systemów liposomowych zawierające fluwastatynę, które rozszerzyły podejście do stabilizacji bakterii probiotycznych poprzez połączenie komórek probiotycznych z bioaktywną fazą liposomową, tworząc preparat o podwójnym



działaniu. W systemach tych komórki *L. plantarum* zostały pokryte z zewnątrz wieloma liposomami DOPG, w tym pęcherzykami zawierającymi fluwastatynę, zamiast być w nich zamknięte. Wyniki wskazały, że oba systemy liposomowe zachowały organizację strukturalną podczas przechowywania, podczas gdy wariant zawierający fluwastatynę wprowadził dodatkowy komponent funkcjonalny bez uszczerbku dla właściwości fizjologicznych probiotyków. Analizy biologiczne wykazały, że układy oparte na liposomach modyfikowały profile metaboliczne, zachowywały istotne z fizjologicznego punktu widzenia subpopulacje oraz wiązały się z obniżonym poziomem markerów stresu oksydacyjnego w porównaniu z grupą kontrolną zawierającą wolne komórki.

Doktorantka w sposób przejrzysty prezentuje wnioski wynikające z pracy, widać logiczne powiązanie między celami badawczymi a otrzymanymi rezultatami. Sekcja nie jest nadmiernie rozbudowana, lecz trafnie koncentruje się na głównych blokach tematycznych wykazując korzyści płynące z połączenia metod biologicznych, fizykochemicznych i strukturalnych w ocenie preparatów probiotycznych. Połączenie metod opartych na hodowli bakteryjnej, testach metabolicznych, cytometrii przepływowej oraz analizie membranowej i powierzchniowej, analizie wskaźników stresu oksydacyjnego, pomiarach właściwości koloidalnych oraz obrazowanie mikroskopowe umożliwiły ocenę uzupełniających się aspektów działania probiotyków, których nie dałoby się uchwycić za pomocą jednej metody analitycznej. Ta zintegrowana metodologia miała zasadnicze znaczenie dla rozróżnienia między pozorną zdolnością do namnażania, zróżnicowaniem fizjologicznym, adaptacją do stresu oraz stabilnością zależną od postaci preparatu. Opracowane układy koloidalne, zarówno na bazie hydrożelu, jak i lipidów, zapewniały korzystniejsze warunki dla stabilności probiotyków w porównaniu z komórkami niezakapsułkowanymi, choć stopień ochrony zależał od składu matrycy i struktury układu.

W mojej opinii wnioski 8, 9 i 10 podsumowują dysertację i wyznaczają dalszą drogę badawczą i jej cel. Doktorantka podkreśla, że konieczne są dalsze badania w celu poszerzenia możliwości zastosowania opracowanych układów. W szczególności przyszłe badania powinny skupić się na analizie ich zachowania w symulowanych warunkach żołądkowo-jelitowych, w tym w obecności kwaśnego pH, enzymów trawiennych i soli żółciowych, a także na profilu uwalniania zawartych w nich składników. Badania takie stanowiłyby logiczny kolejny krok w kierunku praktycznego wdrożenia opracowanych probiotycznych układów koloidalnych w przemyśle spożywczym, nutraceutycznym lub biomedycznym. Wnioskowanie jest trafne i zgodne z aktualną wiedzą oraz wskazuje to na dojrzałość interpretacyjną Doktorantki.



Bibliografia (References) obejmuje 238 publikacji z lat 2011—2025, co świadczy o śledzeniu najnowszego dorobku w dziedzinie probiotyków, charakterystyki i stabilizacji probiotyków, nowej taksonomii probiotyków, nowoczesnych metod mikrobiologicznych oraz aplikacji mikroorganizmów probiotycznych. Obecność bardzo świeżych artykułów (np. z 2024, 2025 r.) wskazuje, że Doktorantka pracowała na aktualnym stanie wiedzy. Wykorzystano publikacje z uznanych czasopism co podkreśla solidne podstawy naukowe pracy. Świadczy to o umiejętności Doktorantki do łączenia wiedzy z wielu obszarów w sposób interdyscyplinarny i dojrzałe wyważonej perspektywie, budowaniu wiedzy na solidnych podstawach, ale z uwzględnieniem aktualnych kierunków badań. Literatura ściśle odpowiada tematyce badań a dobór jest przemyślany i zgodny z zakresem eksperymentów, co wskazuje na umiejętność krytycznego wyboru źródeł.

W pracy uwzględniono również podsumowanie poświęcone wyznaczeniu przyszłych kierunków badawczych. Wskazuje to na dojrzałość naukową Autorki, rozumianą jako zdolność do krytycznej analizy własnych wyników oraz formułowania dalszych pytań badawczych w oparciu o uzyskane dane.

### **Wniosek końcowy**

Podsumowując stwierdzam, że przedłożona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Natalii Burlaga charakteryzuje się dużą wartością poznawczą i praktyczną. Została zrealizowana przy pomocy nowoczesnych technik badawczych, z wykorzystaniem których przeprowadzono bardzo szeroki zakres badań, a otrzymane wyniki opracowano z uwzględnieniem metod statystycznych.

Dysertacja, przygotowana w języku angielskim, reprezentuje wysoki poziom edytorski i merytoryczny. Układ pracy jest logiczny, a narracja spójna. Praca prezentuje dojrzały warsztat badawczy. Doktorantka wykazała, że enkapsulacja w hydrożelowych matrycach oraz oddziaływanie z liposomowymi nośnikami poprawiają stabilność testowanych bakterii probiotycznych podczas przechowywania w porównaniu z wolnymi komórkami, a włączenie składników wspierających lub bioaktywnych dodatkowo zwiększa przeżywalność probiotyków. Wyniki pracy mają bardzo dużą wartość poznawczą oraz wnoszą znaczący i oryginalny wkład do rozwoju wiedzy z zakresu technologii żywności i żywienia, farmacji, mikrobiologii i chemii.



Przedstawiona rozprawa doktorska mgr inż. Natalii Burlaga stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i wnosi istotny wkład w wiedzę o stabilizacji bakterii probiotycznych. Autorka wykazała się samodzielnością i umiejętnością planowania złożonych doświadczeń.

**Tym samym stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Natalii Burlaga pt. „Functional Colloidal Systems Containing Probiotic Bacteria” spełnia warunki określone w art. 187 ust. 1-4 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024, poz. 1571 ze zm.) i wnioskuję do Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne, Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie Pani mgr inż. Natalii Burlaga do dalszych etapów postępowania doktorskiego. Jednocześnie doceniając istotny wkład w rozwój wiedzy z zakresu ochrony oraz skutecznego dostarczania związków bioaktywnych do organizmu, nowatorski charakter prowadzonych badań oraz wysoki poziom naukowy przedstawionej do oceny pracy wnioskuję do Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Poznańskiej o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Natalii Burlaga.**

