

## OCENA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Natalii Burlagi

pt. „*Functional colloidal systems containing probiotic bacteria*”

Przedłożona do oceny praca doktorska została wykonana przez mgr inż. Natalię Burlagę w Instytucie Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Poznańskiej. Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Ewa Kaczorek uznana specjalistka z zakresu biotechnologii środowiskowej.

Podstawą wydania opinii jest pismo Pani Dziekana Wydziału Chemii Ewy Kaczorek z dnia 31 marca 2026 r. (RD-7/1/2026).

Zaproponowana w dysertacji tematyka badań jest nowoczesna i aktualna. Praca porusza bardzo istotny problem projektowania koloidalnych układów nośnikowych dla probiotyków, które obejmują zaawansowane systemy enkapsulacji żywych kultur bakterii w strukturach o rozmiarach koloidalnych (nanocząstki, mikrozele, emulsje), co pozwala na ich ochronę przed niekorzystnym środowiskiem przewodu pokarmowego oraz efektywne dostarczenie do jelit. Zastosowanie układów koloidalnych w enkapsulacji probiotyków niesie ze sobą szereg istotnych korzyści, zarówno z punktu widzenia ochrony mikroorganizmów, jak i skuteczności ich działania. Przede wszystkim układy te zabezpieczają bakterie probiotyczne przed niekorzystnym wpływem kwaśnego środowiska żołądka, enzymów trawiennych oraz soli żółciowych, co znacząco zwiększa ich przeżywalność podczas przechodzenia przez przewód pokarmowy. Istotną zaletą takich systemów jest również możliwość celowanego dostarczania probiotyków do jelita grubego, gdzie ich aktywność biologiczna jest najbardziej pożądana. Dzięki odpowiednio zaprojektowanym nośnikom możliwe jest ograniczenie strat żywych komórek i zwiększenie efektywności działania probiotyków.

Do wytwarzania układów koloidalnych wykorzystuje się nowoczesne materiały pochodzenia naturalnego, takie jak alginian sodu, chitozan, białka oraz inne biopolimery. Pozwalają one tworzyć stabilne struktury, między innymi mikrozele i kapsułki hydrożelowe, charakteryzujące się dobrą biogodnością i bezpieczeństwem stosowania. Co więcej, układy te mogą pełnić nie tylko funkcję ochronną, ale również aktywnie wspierać żywotność i funkcjonalność probiotyków poprzez obecność składników bioaktywnych lub substancji wspomagających wzrost i przeżywalność bakterii.

Wiedza dotycząca enkapsulacji probiotyków wciąż wymaga pogłębienia, szczególnie w zakresie zależności pomiędzy architekturą nośnika a fizjologią probiotyków, które wpływają zarówno na ich stabilność podczas przechowywania, jak i na zachowanie aktywności funkcjonalnej.

Celem pracy było opracowanie nowych formułacji, ich charakterystyka strukturalna i fizykochemiczna oraz wieloparametrowa ocena biologiczna. W badaniach zastosowano enkapsulację w hydrożelowych matrycach oraz liposomowych układach nośnikowych. Założono, że tak zaprojektowane systemy poprawią stabilność probiotyków podczas przechowywania w porównaniu z wolnymi komórkami. Dodatkowo przyjęto, że zastosowanie składników wspierających lub bioaktywnych zwiększy przeżywalność probiotyków.

Podjęty temat jest szczególnie istotny i posiada wysoki potencjał wdrożeniowy. Nadal istotnym wyzwaniem pozostaje skalowalność procesu produkcji, zapewnienie standaryzacji wielkości kapsułek oraz koszty surowców klasy spożywczej. Tak więc przedłożona do oceny praca doktorska była zarazem dużym wyzwaniem badawczym.

Rozprawa doktorska została podzielona tradycyjnie na następujące zasadnicze części: część literaturową obejmującą 20 stron, część opisującą hipotezę badawczą i cele badań (4 strony), badania (26 stron), rezultaty i dyskusję (81 stron) oraz podsumowanie pracy (5 stron). Na końcu pracy zamieszczono również odnośniki literaturowe oraz osiągnięcia naukowe doktorantki.

Część literaturowa pracy została opracowana w sposób uporządkowany, logiczny i kompleksowy, stanowiąc solidne podstawy teoretyczne dla realizowanych badań eksperymentalnych. Doktorantka przedstawiła aktualny stan wiedzy dotyczący probiotyków oraz nowoczesnych układów koloidalnych wykorzystywanych do enkapsulacji substancji bioaktywnych, ze szczególnym uwzględnieniem zastosowań w naukach o żywności i zdrowiu.

W pierwszym rozdziale omówiono znaczenie probiotyków w kontekście żywności funkcjonalnej oraz ich wpływu na zdrowie człowieka. Przedstawiono klasyfikację i charakterystykę najważniejszych grup bakterii probiotycznych, mechanizmy ich działania prozdrowotnego oraz czynniki technologiczne i środowiskowe wpływające na przeżywalność komórek. Cennym elementem tej części jest również omówienie aktualnych kierunków rozwoju probiotyków, co pozwala osadzić realizowane badania w szerszym kontekście współczesnych trendów naukowych i aplikacyjnych.

Kolejny rozdział poświęcono charakterystyce układów koloidalnych. Autorka przedstawiła klasyfikację i właściwości koloidów, ze szczególnym uwzględnieniem hydrożeli oraz lipidowych układów nośnikowych. W sposób przejrzysty omówiono znaczenie układów koloidalnych w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym i kosmetycznym, podkreślając ich rolę jako nowoczesnych systemów dostarczania substancji aktywnych.

W trzecim rozdziale skoncentrowano się na zastosowaniu układów koloidalnych w enkapsulacji substancji bioaktywnych. Szczegółowo scharakteryzowano polimerowe kulki hydrożelowe oraz liposomy jako systemy nośnikowe, a także przedstawiono ich wykorzystanie do immobilizacji i ochrony bakterii probiotycznych. Ta część pracy stanowi wartościowe połączenie zagadnień z zakresu mikrobiologii, technologii żywności oraz inżynierii materiałowej.

Na szczególne podkreślenie zasługuje ostatni rozdział części literaturowej, w którym Autorka przedstawiła znaczenie oraz perspektywy dalszych badań nad koloidalnymi układami probiotycznymi. W sposób trafny uzasadniono oryginalność i innowacyjny charakter podjętej tematyki badawczej, wskazując jednocześnie kierunki dalszego rozwoju tej dziedziny. Rozdział ten dobrze podkreśla aplikacyjny potencjał opracowywanych rozwiązań oraz potrzebę dalszych badań nad stabilnością, funkcjonalnością i możliwościami wdrożeniowymi układów enkapsulacji probiotyków. Tematyka pracy jest bardzo szeroko opisywana w literaturze, tak więc wybór cytowanych pozycji to trudne wyzwanie. Doktorantka odwołuje się do bardzo aktualnych 238 pozycji literaturowych.

Na uwagę zasługuje również bardzo staranne opracowanie graficzne części literaturowej. W każdym rozdziale zamieszczono tabelaryczne zestawienia literatury, które w przejrzysty sposób porządkują omawiane zagadnienia i ułatwiają analizę dostępnych danych. Dodatkowym atutem pracy są liczne, bardzo dobrze przygotowane rysunki schematyczne, które znacząco ułatwiają zrozumienie opisywanych procesów, mechanizmów oraz zależności

pomiędzy strukturą układów koloidalnych a ich funkcjonalnością. Całość części literaturowej świadczy o bardzo dobrej znajomości omawianej problematyki, umiejętności krytycznej analizy literatury oraz właściwym przygotowaniu Autorki do realizacji interdyscyplinarnych badań naukowych.

Przeprowadzona analiza literatury oraz badania wstępne pozwoliły na sformułowanie hipotezy badawczej, zgodnie z którą hydrożelowe matryce enkapsulacyjne oraz liposomowe układy nośnikowe mogą poprawiać przeżywalność i stabilność probiotyków podczas przechowywania w porównaniu z komórkami nieenkapsulowanymi. Założono również, że wprowadzenie do tych układów składników wspierających, takich jak prebiotyki lub inne związki bioaktywne, może dodatkowo zwiększać ochronę bakterii probiotycznych i wpływać korzystnie na utrzymanie ich aktywności funkcjonalnej.

Głównym celem pracy doktorskiej było opracowanie oraz ocena układów koloidalnych zawierających bakterie probiotyczne, ze szczególnym uwzględnieniem hydrożelowych matryc enkapsulacyjnych i liposomowych nośników. W ramach badań zaplanowano dobór składników formulacyjnych, opracowanie nowych formułacji oraz badania struktury oraz wykonanie charakterystyki fizykochemicznej i biologicznej. Zaplanowano również badania wpływu enkapsulacji oraz dodatku składników funkcjonalnych na przeżywalność probiotyków i stabilność opracowanych układów podczas przechowywania.

W rozdziale wyniki i dyskusja przedstawiono wyniki badań wraz z ich interpretacją w odniesieniu do hipotezy badawczej oraz szczegółowych celów. Wyniki uporządkowano zgodnie z kolejnymi etapami eksperymentu, odzwierciedlającymi chronologię przeprowadzonych prac badawczych.

Pierwsza część wyników rozprawy doktorskiej obejmowała etap badań preformulacyjnych, którego celem była ocena wpływu wybranych dodatków ochronnych (PPAs) na właściwości bakterii probiotycznych oraz identyfikacja związków o największym potencjale aplikacyjnym w formułacjach hydrożelowych. Analiza miała charakter wieloparametrowy i obejmowała ocenę aktywności metabolicznej i żywotności komórek, właściwości osłon komórkowych, odpowiedzi stresowej, cech morfologicznych oraz stabilności zawiesin. Wykazano zarówno efekt wspólny, jak i szczeropoleżny badanych związków.

Najbardziej korzystny profil działania wykazywała trehaloza, która wiązała się ze zwiększoną aktywnością metaboliczną oraz utrzymaniem wysokiego udziału komórek aktywnych. Jednocześnie obserwowano stabilizację osłon komórkowych *Lactobacillus*

*plantarum*, obejmującą wygładzenie powierzchni, obniżenie przepuszczalności błony oraz zmniejszenie hydrofobowości, co wskazuje na efekt ochronny w warunkach stresowych. Kwas askorbinowy zwiększał aktywność metaboliczną, jednak jego działanie było zależne od stężenia i szczepu. Maltodekstryna i glutaminian sodu poprawiały stabilność zawiesin i przeżywalność komórek, natomiast chitozan i inulina wykazywały efekty częściowo korzystne, lecz zróżnicowane. Kwas glicyryzynowy wpływał głównie na właściwości powierzchniowe komórek, obniżając ich hydrofobowość.

Podkreślono, że ocena dodatków ochronnych wymaga podejścia wieloparametrowego, ponieważ pojedyncze wskaźniki nie oddają w pełni złożoności odpowiedzi biologicznej probiotyków. Uzyskane wyniki umożliwiły wybór najbardziej perspektywicznych związków do dalszych etapów badań nad hydrożelowymi systemami dostarczania mikroorganizmów probiotycznych.

W drugim etapie badań dokonano oceny funkcjonalności hydrożelowych formułacji probiotycznych opartych na alginianie jako nośniku ochronnym dla *Lactobacillus plantarum*. Celem było określenie wpływu składu matrycy hydrożelowej oraz dodatku komponentów prebiotycznych (inuliny, trehalozy oraz ich mieszaniny) na żywotność bakterii, integralność osłon komórkowych oraz stabilność fizykochemiczną układów. Porównano komórki enkapsulowane z kontrolą zawierającą komórki wolne, co umożliwiło ocenę efektywności działania matryc synbiotycznych.

Enkapsulacja *L. plantarum* w kulkach alginianowych wzbogaconych łuską babki jajowatej (PH) lub gumą arabską (GA) zapewniała korzystniejsze warunki dla bakterii niż układ kontrolny. Najbardziej korzystne efekty uzyskano dla formułacji PH, szczególnie w obecności inuliny. Układy PH-IN oraz w mniejszym stopniu PH-IN/TRE najlepiej podtrzymywały żywotność i funkcjonalność komórek. Z kolei formułacje z GA powodowały wzrost aktywności metabolicznej, jednak bez proporcjonalnej poprawy przeżywalności, co wskazuje na odmienne mechanizmy oddziaływania obu matryc.

Analiza osłon komórkowych wykazała, że układy PH utrzymywały integralność błon na poziomie zbliżonym do kontroli oraz sprzyjały bardziej hydrofilowemu charakterowi powierzchni komórek, zwłaszcza w obecności mieszaniny IN/TRE. Wskazuje to na tworzenie bardziej uwodnionego i łagodnego mikrośrodowiska wokół bakterii. W przypadku GA obserwowano zwiększoną przepuszczalność błon oraz wzrost hydrofobowości powierzchni, co sugeruje bardziej zwartą i ograniczającą strukturę interfejsową.

Dodatkowo analiza homeostazy jonów metali śladowych wykazała, że formułacje PH sprzyjały wyższemu poziomowi Mn, Fe i Zn w komórkach, wspierając procesy metaboliczne i mechanizmy obrony przed stresem oksydacyjnym. Matryce GA ograniczały natomiast akumulację tych jonów, co może wynikać z utrudnionego transportu na granicy faz.

Różnice funkcjonalne potwierdziła analiza morfologii kulek hydrożelowych. Struktury PH były regularne, uwodnione i bardziej porowate, co sprzyjało lepszym warunkom dla komórek. Z kolei kulki GA były większe, bardziej zwarte i charakteryzowały się wyraźnie zdefiniowaną warstwą zewnętrzną, wskazującą na silniejsze upakowanie strukturalne. W rezultacie jako najbardziej perspektywiczną formułację wskazano PH-IN. Układ ten zapewniał najlepszą równowagę pomiędzy wysoką żywotnością komórek, integralnością osłon komórkowych oraz korzystnymi właściwościami fizykochemicznymi matrycy.

Kolejna część badań dotyczyła funkcjonalnej oceny lipidowo stabilizowanych układów probiotycznych opartych na komórkach *Lactococcus lactis* pokrytych warstwą lipidową DMPC. W przeciwieństwie do klasycznych systemów enkapsulacji, liposomy nie zamykały komórek, lecz tworzyły zewnętrzną koronę lipidową na granicy faz komórka–środowisko. Celem badań była ocena wpływu tej warstwy na aktywność metaboliczną, żywotność, stabilność fizjologiczną oraz właściwości koloidalne bakterii podczas przechowywania w różnych temperaturach.

Zaobserwowano, że komórki pokryte DMPC cechowały się lepszymi parametrami funkcjonalnymi niż kontrola, szczególnie w temperaturze pokojowej, gdzie obserwowano wcześniejszą aktywację metaboliczną, wyższą aktywność oraz większą stabilność populacji. W warunkach 4 °C efekt ochronny był słabszy, co wiązano z ograniczoną płynnością DMPC i spowolnieniem procesów fizjologicznych bakterii. Mimo to przewaga układów lipidowych była utrzymywana w całym okresie obserwacji. Analiza właściwości koloidalnych potwierdziła stabilizujący efekt DMPC. Komórki wykazywały bardziej ujemny i stabilny potencjał zeta, niższą polidispersyjność oraz ograniczoną agregację w porównaniu z kontrolą. Zawiesiny bez otoczki lipidowej ulegały stopniowej destabilizacji i tworzeniu większych agregatów. Stabilność samych liposomów potwierdziła ich trwałość jako uporządkowanego systemu koloidalnego. Obserwacje CryoSEM jednoznacznie wykazały obecność zewnętrznej, nanostrukturalnej korony lipidowej na powierzchni komórek, potwierdzając jej perykomórkowy charakter, a nie klasyczną enkapsulację.

Podsumowując Doktorantka wykazała, że lipidowa korona DMPC skutecznie stabilizuje probiotyki poprzez modyfikację ich mikro- i nanośrodowiska, ograniczając agregację, poprawiając stabilność elektrostatyczną oraz wspierając utrzymanie aktywności biologicznej podczas przechowywania.

Ostatnia część badań dotyczyła funkcjonalnej oceny liposomalnych układów probiotycznych zawierających fluwastatynę, opartych na komórkach *Lactiplantibacillus plantarum* oraz anionowych liposomach DOPG. W tym systemie bakterie nie były enkapsulowane, lecz oddziaływały z liposomami powierzchniowo, tworząc zewnętrzną koronę lipidową. Otrzymany układ stanowił dwuskładnikowy system koloidalny, łączący stabilizację probiotyków z obecnością substancji farmakologicznie aktywnej.

Celem badań była ocena wpływu liposomów zawierających fluwastatynę na aktywność metaboliczną, przeżywalność, odpowiedź na stres oksydacyjny oraz stabilność fizykochemiczną bakterii podczas przechowywania. Wykazano, że układy liposomalne tworzyły stabilne zawiesiny koloidalne, zachowujące integralność strukturalną i funkcjonalną aktywność komórek.

Analiza metaboliczna wykazała modulujący wpływ formulacji zależny od składu. Liposomy bez leku sprzyjały utrzymaniu podwyższonej aktywności redukcyjnej, natomiast układ z fluwastatyną charakteryzował się początkową fazą adaptacyjną, po której następowała stabilizacja funkcji metabolicznych. Cytometria przepływowa potwierdziła, że obserwowane zmiany wynikały z dynamicznej reorganizacji subpopulacji komórkowych, przy czym oba układy zwiększały udział aktywnych fizjologicznie komórek w środkowym okresie przechowywania, szczególnie w wariancie z fluwastatyną.

Równocześnie analiza aktywności GST wskazała na obniżone zapotrzebowanie na mechanizmy detoksykacyjne względem stresu oksydacyjnego w porównaniu z kontrolą, co sugeruje efekt buforujący układu liposomalnego. Badania fizykochemiczne potwierdziły wysoką stabilność formulacji. Układy zachowywały ujemny potencjał zeta, stabilne rozkłady wielkości cząstek oraz ograniczoną agregację, w przeciwieństwie do prób kontrolnych. CryoSEM wykazała tworzenie zewnętrznej korony lipidowej, potwierdzając powierzchniowy charakter oddziaływań oraz brak wpływu fluwastatyny na jej powstawanie.

Doktoranta konkluduje, że liposomalne układy DOPG skutecznie stabilizują probiotyki w formie uporządkowanych układów koloidalnych, umożliwiając utrzymanie aktywnych subpopulacji komórek podczas przechowywania i w warunkach fizjologicznych. Formułacja

bez leku pełniła głównie funkcję stabilizującą, natomiast układ zawierający fluwastatynę wprowadzał dodatkowy komponent funkcjonalny przy zachowaniu aktywności biologicznej bakterii.

Uzyskane w pracy doktorskiej wyniki wskazują, że właściwości otaczającej matrycy koloidalnej wpływają na fizjologię probiotyków, integralność błon komórkowych, równowagę oksydacyjną oraz stabilność koloidalną, a odpowiednio zaprojektowane układy nośnikowe wiążą się z poprawą właściwości funkcjonalnych probiotyków w porównaniu z układami zawierającymi wolne komórki.

Czytając pracę, zastanawiałam się nad kilkoma aspektami:

- Praca obejmuje bardzo szerokie spektrum systemów koloidalnych (hydrożele, lipidy, liposomy, układy z lekiem), co stanowi jej dużą wartość, ale jednocześnie rodzi pytanie o stopień ich porównywalności. W szczególności nie jest w pełni jasne, czy wszystkie systemy były analizowane w warunkach umożliwiających bezpośrednie zestawienie ich efektywności.
- Które z trzech podejść (hydrożelowe, lipidowe, liposomalne z fluwastatyną) Doktorantka uznaje za najbardziej perspektywiczne z punktu widzenia realnej aplikacji i dlaczego?
- Czy możliwe jest wskazanie jednego dominującego mechanizmu stabilizacji probiotyków, czy raczej mamy do czynienia z wieloczynnikowym systemem bez jednego czynnika krytycznego?
- W jakim stopniu opracowane systemy mogą być uznane za „platformowe”, czyli możliwe do adaptacji dla innych szczepów i innych związków bioaktywnych?
- Jaki był główny cel wprowadzenia fluwastatyny: demonstracja platformy czy potencjał aplikacyjny?
- Czy testowane warunki temperaturowe są wystarczające do wnioskowania o stabilności technologicznej w zastosowaniach przemysłowych? Czy rozważano testy w warunkach bardziej ekstremalnych (np. suszenie, cykle temperaturowe)? Czy systemy były oceniane pod kątem długoterminowej stabilności?
- Koncepcja korony lipidowej jest interesująca. Czy istnieją dane ilościowe określające stopień pokrycia komórek (np. liczba liposomów na komórkę lub powierzchnia kontaktu)?
- Czy zaobserwowane efekty synergistyczne lub antagonistyczne dodatków?

Za najważniejsze elementy naukowe recenzowanej pracy uważam:

- wykazanie szczepozależnego wpływu dodatków formulacyjnych na probiotyki oraz konieczności stosowania wieloparametrowej oceny ich działania,

- identyfikacja trehalozy, inuliny i gumy arabskiej jako najbardziej perspektywicznych dodatków oraz *L. plantarum* jako szczepu modelowego,
- opracowanie hydrożelowych formułacji probiotycznych zapewniających skuteczniejszą ochronę bakterii niż układy z wolnymi komórkami,
- identyfikacja formułacji opartej na łusce babki jajowatej i inulinie jako układu o najbardziej korzystnych właściwościach,
- potwierdzenie kluczowej roli mikrośrodowiska hydrożelowego w stabilizacji probiotyków poprzez wpływ na hydratację,
- wykazanie, że zewnętrzna korona lipidowa DMPC poprawia aktywność metaboliczną i stabilność koloidalną probiotyków bez konieczności klasycznej enkapsulacji komórek,
- opracowanie dwufunkcyjnego liposomalnego układu probiotycznego zawierającego fluwastatynę, integrującego stabilizację bakterii probiotycznych z funkcją farmakologiczną,
- zastosowanie zintegrowanego podejścia biologicznego, fizykochemicznego i strukturalnego do kompleksowej oceny formułacji probiotycznych,
- poszerzenie wiedzy dotyczącej projektowania wielofunkcyjnych koloidalnych nośników probiotycznych zawierających składniki biologicznie aktywne,
- kompleksowa realizacja wszystkich założonych celów badawczych obejmujących projektowanie, charakterystykę oraz ocenę stabilności opracowanych układów probiotycznych,
- wskazanie kierunków dalszych badań obejmujących ocenę działania formułacji w warunkach symulujących przewód pokarmowy oraz analizę uwalniania składników aktywnych.

Z ogromnym zainteresowaniem przeglądałam zestawienie dorobku naukowego Doktorantki, który należy ocenić jako bardzo dobry, szczególnie biorąc pod uwagę fakt, że powstał w ciągu 5 lat. Całość aktywności badawczej wskazuje na wyraźną dojrzałość naukową. Doktorantka jest współautorką ośmiu artykułów naukowych opublikowanych w renomowanych czasopismach międzynarodowych, takich jak *Journal of Hazardous Materials*, *Science of the Total Environment*, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, *Chemosphere*, *Food Bioscience*, *International Journal of Pharmaceutics* oraz *Molecules*. Czasopisma te charakteryzują się wysokimi współczynnikami wpływu (IF od 3.8 do 14.224), co potwierdza wysoki poziom merytoryczny publikacji oraz ich znaczenie w obiegu międzynarodowym. Łączny IF dorobku wynosi 59.378, a punktacja MNiSW osiąga 1050 punktów, co stanowi bardzo dobry wynik w kontekście oceny dorobku doktorskiego.

Bardzo istotnym elementem dorobku jest aktywność projektowa. Doktorantka uczestniczyła w licznych projektach finansowanych przez Narodowe Centrum Nauki (w tym OPUS, SONATA i PRELUDIUM), programy uczelniane oraz programy międzynarodowe, takie jak MSCA RISE i Horizon Europe. Szczególnie wyróżniająca jest pełnienie przez nią funkcji kierownika projektu w ramach konkursu PRELUDIUM 22, co stanowi istotne potwierdzenie samodzielności naukowej.

Dorobek doktorantki uzupełnia aktywność w zakresie własności intelektualnej, obejmująca jeden przyznany patent, jedno zgłoszenie patentowe w toku oraz rejestrację trzech szczepów bakteryjnych w bazie GenBank. Świadczy to o zdolności do przekładania wyników badań podstawowych na rozwiązania aplikacyjne oraz o potencjale wdrożeniowym prowadzonych badań.

Na szczególne podkreślenie zasługuje również intensywne mobilność naukowa, obejmująca staże zagraniczne w ośrodkach akademickich i przemysłowych (m.in. Australia, Czechy, Ukraina), a także udział w szkołach letnich i programach szkoleniowych o charakterze interdyscyplinarnym. Aktywność ta sprzyjała poszerzeniu kompetencji badawczych oraz budowaniu współpracy międzynarodowej.

Dorobek doktorantki wzbogacają także liczne nagrody i wyróżnienia, w tym m.in. znalezienie się w gronie Top 1000 Innovators of Poland in Silicon Valley, zwycięstwa w międzynarodowych konkursach innowacyjnych oraz uzyskanie stypendiów naukowych i mobilnościowych, co potwierdza zarówno wysoką jakość prowadzonych badań, jak i ich potencjał aplikacyjny.

Podsumowując, badania przeprowadzone w ramach rozprawy doktorskiej tworzą spójny i konsekwentnie zrealizowany projekt badawczy, obejmujący ambitne i złożone zagadnienie naukowe. Doktorantka podjęła się wymagającego wyzwania i systematycznie je realizowała na kolejnych etapach pracy. Na szczególne uznanie zasługuje również staranna redakcja rozprawy.

Na podstawie oceny pracy doktorskiej Pani mgr inż. Natalii Burlagi pt. „*Functional colloidal systems containing probiotic bacteria*” stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim określone w art. 187 ust. 1-3 Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, z dnia 20 lipca 2018 r. (t.j. Dz. U. 2022, poz. 574 z późn. zm.). Wnoszę więc do Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie

mgr inż. Natalię Burlagę do dalszych etapów przewodu o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauk chemicznych.

Jednocześnie biorąc pod uwagę wysoką wartość naukową pracy doktorskiej, nowatorskie osiągnięcia, ponadprzeciętny dorobek naukowy, jak i imponujący udział w kierowaniu projektami w tak krótkim czasie prowadzenia pracy naukowej, wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

Oceniana rozprawa doktorska to przykład ciekawego i starannie zaplanowanego projektu badawczego, którego wyniki wnoszą istotny wkład do rozszerzenia wiedzy na temat projektowania koloidalnych układów nośnikowych dla probiotyków. Rezultaty pracy są bazą dla przyszłych zastosowań. Uważam, że postawiony przez Doktorantkę ambitny cel pracy został osiągnięty na wysokim światowym poziomie naukowym.

Doktorantka wykazała się umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz poprawnego formułowania wniosków na podstawie obszernego i wartościowego materiału doświadczalnego. Potwierdziła wysokie kompetencje w zakresie projektowania eksperymentów oraz ich realizacji w obszarze chemii bioorganicznej. Całość osiągnięć jednoznacznie wskazuje na bardzo dobre przygotowanie doktorantki do samodzielnej pracy naukowej oraz dalszego rozwoju w akademickim środowisku badawczym.

