



AGH

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
KATEDRA BIOMATERIAŁÓW I KOMPOZYTÓW

Prof. dr hab. inż. Elżbieta PAMUŁA

Kraków, 20 sierpnia 2026

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr Tetiany Dyrdy-Terniuk
pt. *"Opracowanie metodologii do kompleksowej analizy biokoloidów
oraz ich wykorzystanie na potrzeby przemysłu mleczarskiego"*
zrealizowanej pod kierunkiem
Promotora dr. hab. Pawła Pomastowskiego, prof. UMK

Recenzja została opracowana na podstawie uchwały
Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Uniwersytetu Mikołaja Kopernika
w Toruniu i pisma Dziekan Wydziału Chemii
dr hab. Urszuli Kiełkowskiej, prof. UMK
z dnia 23 czerwca 2026

W ostatnich latach obserwuje się coraz szersze zainteresowanie wykorzystaniem mleka nie tylko do wytwarzania klasycznych przetworów takich jak np. sery, ale również do pozyskiwania produktów mlecznych wzbogaconych w składniki prozdrowotne, takie jak np. witaminy. Ponadto duży nacisk kładzie się na izolację składników białkowych z surowców poprodukcyjnych, takich jak np. serwatka, które uznawane dotychczas były za odpady i były poddawane utylizacji, a mogą stanowić cenny surowiec nie tylko w technologii żywności ale również dla przemysłu farmaceutycznego czy technologii biomedycznych.

Pani mgr Tetiana Dyrda-Terniuk w swojej rozprawie doktorskiej podjęła się opracowania zarówno metodologii badawczej biokoloidów pochodzenia mleczarskiego jak też nowych rozwiązań technologicznych mających na celu wykorzystanie tych układów w technologii żywności o lepszych walorach prozdrowotnych oraz w bardziej niestandardowych zastosowaniach, np. biomedycznych.



WIMiC

Akademia Górniczo-Hutnicza | Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
Katedra Biomateriałów i Kompozytów

al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, tel. +48 12 617 44 48, fax. +48 12 617 33 71
e-mail: epamula@agh.edu.pl, www.ceramika.agh.edu.pl
Regon: 000001577, NIP: 675 000 19 23

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że wybór tematyki rozprawy doktorskiej jest trafny, aktualny i właściwie uzasadniony.

Praca doktorska pani mgr Tetiany Dyrdy-Terniuk to cykl jednotematyczny pięciu artykułów opublikowanych w recenzowanych, prestiżowych czasopismach anglojęzycznych o zasięgu międzynarodowym i wysokim współczynniku oddziaływania (*Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *Journal of Dairy Science*, *International Dairy Journal*, *Inorganic Chemistry Frontiers*). Czasopisma, w których wydano artykuły są umieszczone na liście *Journal Citation Report* a ich współczynnik oddziaływania IF wynosi odpowiednio: 5,4, 6,2, 4,4, 3,4 i 6,4. Artykuły zostały opublikowane w latach 2023-2026 i zyskały już istotną rozpoznawalność objawiającą się liczbą cytowań. We wszystkich artykułach doktorantka jest pierwszą autorką a ponadto w czterech z nich autorką do korespondencji. Tematem przewodnim analizowanych prac są biokoloidy pochodzenia mleczarskiego, ocena ich budowy a także modyfikacja ich właściwości w celu poprawy cech użytkowych istotnych z punktu widzenia głównie przemysłu mleczarskiego ale również przemysłu farmaceutycznego oraz wyrobów medycznych. Oświadczenia doktorantki, promotora i wszystkich współautorów nie pozostawiają wątpliwości, że autorka dysertacji wniosła dominujący wkład w powstanie wszystkich artykułów stanowiących jej rozprawę doktorską.

Tytuł dysertacji doktorskiej „*Opracowanie metodologii do kompleksowej analizy biokoloidów oraz ich wykorzystanie na potrzeby przemysłu mleczarskiego*” został właściwie sformułowany i wskazuje, że praca dobrze wpisuje się w dyscyplinę nauki chemiczne.

Oprócz pełnych wersji publikacji naukowych włączonych do rozprawy, dysertacja zawiera wykaz skrótów (2 strony), wprowadzenie (2 strony), wstęp literaturowy (32 strony) oparty na 114 pozycjach literaturowych, cele badawcze pracy (2 strony),

podsumowanie i wnioski (4 strony). Ponadto dołączone zostały streszczenia w języku polskimi i angielskim (w sumie 4 strony), spis dorobku naukowego doktorantki (5 stron) oraz oświadczenia doktorantki i współautorów o ich wkładzie w powstanie artykułów, stanowiących rozprawę doktorską. Badania prowadzone w ramach rozprawy doktorskiej i zawarte w pracach P2, P3 i P5 zostały sfinansowane z projektu NCBiR LIDER, którego kierownikiem był promotor rozprawy doktorskiej kandydatki a kandydatka była w nim zatrudniona na stanowisku asystenta. Badania zawarte w pracy P1 były sfinansowane z projektu FNP TEAM-NET.

Praca spełnia podstawowe wymagania ustawowe i zwyczajowe dla prac doktorskich.

Rozprawę pani mgr Tetiany Dyrdy-Terniuk rozpoczyna rozdział zatytułowany *Wprowadzenie*, w którym doktorantka podkreśla celowość podjęcia przez nią badań w kontekście niestandardowego wykorzystania surowców mleczarskich np. jako nośnika substancji bioaktywnych. Następnie definiuje układy koloidalne oraz podaje przykłady układów koloidalnych występujących w surowcach mleczarskich. W dalszej części przedstawia sposoby wzbogacania mleka i jego przetworów w dodatkowe składniki odżywcze i witaminy po czym przechodzi do omówienia wyzwań jakie dotyczą przemysłu mleczarskiego, a następnie omawia produkty dotychczas uznawane za uboczne takie jak np. serwatka, kwaśny permeat serwatkowy czy maślanka. W rozdziale tym omówiono również dwa białka pozyskiwane z surowców mleczarskich, mianowicie kazeinę i laktoferynę. Przedstawiono najnowsze doniesienie w kontekście wykorzystania kazeiny jako nośnika jonów metali np. srebra i cząsteczek bioaktywnych takich jak np. polifenole czy kwasy tłuszczowe. Szczegółowo omówiono strukturę laktoferyny i jej powinowactwo do jonów metali a także mechanizm oddziaływania z komórkami ssaczymi, szczególnie tymi, na których dochodzi do ekspresji receptorów laktoferynowych. Doktorantka podkreśliła, że układ laktoferyna-receptory laktoferynowe mogłyby być wykorzystany

do celowanego dostarczania leków cytostatycznych do komórek nowotworowych.

Powyższy rozdział doskonale nakreśla stan wiedzy i podaje co badania doktorantki wniosły do literatury przedmiotu. Rozdział ten został bardzo dobrze zredagowany pod względem merytorycznym, chociaż doktorantka nie ustrzegła się w nim drobnych błędów stylistycznych, które przytaczam z obowiązku pełnienia funkcji recenzenta. Na przykład na str. 14 doktorantka napisała *„Uzyskana wartość potencjału zeta determinuje o stabilności koloidalnej badanego układu.”*, a lepiej brzmiałoby użyć czasownika *„decyduje o”*. Na str. 15 użyte są terminy *„kationy wapnia, magnezu, sodu oraz potasu a także aniony fosforanu, chlorku oraz cytrynianu”* a bardziej poprawne byłoby użycie terminów: *„kationy wapniowe, magnezowe, sodowe oraz potasowe a także aniony fosforanowe, chlorkowe oraz cytrynianowe”*. Na str. 19 w pierwszym akapicie w zdaniu dotyczącym witaminy D występują obok siebie dwa czasowniki *„związana”* i *„spowodowane”*, podobnie na str. 23 umieszczono obok siebie dwa wyrazy *„było oznaczono”*. Kilku niedociągnięć stylistycznych można doszukać się też w rozdziale dotyczącym kazeiny na str. 27-32. Nie jest jasne też co autorka miała na myśli pisząc na str. 34, *„że struktura pierwszorzędowa laktoferyny jest wysoko konserwowana międzygatunkowo”*. Na str. 40 pojawiło się niefortunne wyrażenie *„Związki $Ru(II/III)$ posiadają szeroki spektrum aktywności biologicznej, wykazują przede wszystkim mają działanie przeciwnowotworowe”* a na str. 42 wyrażenie *„W celu kompleksowej charakterystyki układów było wykorzystano techniki spektroskopowe, spektrometryczne, [...]”*. W mojej opinii są to jednak drobne niedociągnięcia edytorskie, które nie mają wpływu na wartość merytoryczną dysertacji doktorskiej.

W dalszej części doktorantka omówiła cel główny i cele poboczne swojej rozprawy doktorskiej oraz zaprezentowała używane techniki badawcze. Rozdział ten został zredagowany w sposób właściwy i nie mam do niego zastrzeżeń.

Teraz chciałabym odnieść się do załączonych artykułów doktorantki, które stanowią cykl publikacji.

W publikacji oryginalnej 1, pt. *Immobilization of Silver Ions onto Casein (Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2023, 667, 131390) doktorantka opisała mechanizm oddziaływania srebra w postaci diaminu srebra(I) z kazeiną i tworzenie stabilnych kompleksów przy pH 8. Wykazała, że odsalanie kazeiny spowodowało istotny wzrost jej zdolności sorpcyjnej a za wiązanie jonów srebra odpowiadały grupy karboksylowe kwasu asparaginowego i glutaminowego. Kompleks srebro-kazeina wykazywał działanie przeciwbakteryjne, jednak wykazywał też pewien stopień cytotoksyczności. Praca została zacytowana 11 razy (wg bazy Scopus na dzień przygotowania recenzji).

W publikacji przeglądowej 2, pt. *The Multifaceted Roles of Bovine Lactoferrin: Molecular Structure, Isolation Methods, Analytical Characteristics, and Biological Properties (Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2023, 71, 20500–20531) doktorantka przedstawiła bieżący stan wiedzy na temat laktoferyny bydlęcej opisując takie zagadnienia jak: struktura, czynniki wpływające na stabilność, metody izolacji oraz przetwarzania produktów ubocznych, oddziaływania laktoferyny z jonami metali. Opisała też metody badawcze, pozwalające na charakteryzację jej budowy i właściwości. Na końcu przeanalizowała potencjał biologiczny laktoferyny, jej wykorzystanie w różnych dziedzinach i nakreśliła trendy na przyszłość. Praca ta, opierająca się aż na 300 pozycjach literaturowych, spotkała z bardzo dużym uznaniem środowiska naukowego, co objawia się aż 71 cytowaniami.

W publikacji oryginalnej 3, pt. *Impact of Ultrafiltration on the Physicochemical Properties of Bovine Lactoferrin: Insights into Molecular Mass, Surface Morphology, and Elemental Composition (Journal of Dairy Science*, 2024, 107, 10280–10298) doktorantka opisała swoje badania nad izolacją laktoferyny z wykorzystaniem dodatkowej ultrafiltracji. Wykazała w niej, że zastosowana przez nią

metoda usuwa zanieczyszczenia i sole znajdujące się w próbce ale nie wpływa na masę cząsteczkową laktoferyny, choć zmienia jej morfologię po wysuszeniu. Uzyskane wyniki mają duże znaczenie w przypadku analizy spektroskopowej laktoferyny oraz mogą być przydatne przy opracowywaniu metody izolacji i uzyskiwaniu produktu o dobrze zdefiniowanej stabilności i aktywności biologicznej. Praca została zacytowana 4 razy.

W pracy oryginalnej 4 pt. *The Impact of Lactiplantibacillus Plantarum on the Cream Composition: Insight into Changes of Vitamin D3 Content and Fatty Acid Composition* (*International Dairy Journal*, 2025, 161) doktorantka badała wpływ bakterii probiotycznych *Lactiplantibacillus plantarum* w formie żywej i liofilizowanej dodanych do śmietany na biosyntezę witaminy D₃ i rodzaj produkowanych kwasów tłuszczowych. Uzyskała imponujące wyniki polegające na ponad 9-krotnym zwiększeniu syntezy witaminy D₃ oraz zmniejszeniu udziału nasyconych kwasów tłuszczowych w stosunku do jednonienasyconych kwasów tłuszczowych. Praca zawiera bardzo bogaty materiał eksperymentalny właściwie zaprezentowany i przedyskutowany. Była jak dotąd cytowana 4 razy.

W pracy oryginalnej 5 pt. *Lactoferrin as an Active Coordination Scaffold for Ruthenium(III)* (*Chemistry Frontiers*, 2026, 13, 4867) doktorantka wykazała, że jon rutenu posiada duże powinowactwo do laktoferyny, co prowadzi do jej zmian strukturalnych, rozmiaru, potencjału zeta. Kompleksy ruten-laktoferyna cechowały się dość dużą stabilnością w symulowanym środowisku biologicznym i właściwościami antybakteryjnymi ale także cytotoksycznością w zależności od stężenia i zastosowanej linii komórkowej. Na podkreślenie zasługuje również to, że w celu opisanie oddziaływań ruten-laktoferyna zastosowano komplementarne metody obliczeniowe, np. symulacje dynamiki molekularnej oraz obliczenia kwantowo-mechaniczne.

Na końcu doktorantka podsumowała uzyskane wyniki i wyciągnęła wnioski, co świadczy o jej umiejętności syntetycznego spojrzenia na otrzymane rezultaty.

Studiując dysertację nasunęły mi się trzy pytania do dyskusji w czasie publicznej obrony:

1. W publikacji 1 do oceny cytotoksyczności wykorzystano jedynie test MTT. Czy doktorantka mogłaby zaproponować jeszcze inne testy i metody badawcze, które potwierdziłyby cytozgodność kompleksów kazeina-jony srebra? Gdzie można byłoby wykorzystać uzyskane kompleksy – w jakich zastosowaniach?
2. Czy doktorantka wykonywała badania stabilności i aktywności laktoferyny izolowanej według metody standardowej i opracowanej w publikacji 3, albo czy planuje przeprowadzenie takich badań w przyszłości?
3. Jaki był cel badań właściwości antybakteryjnych systemów laktoferyna-ruten opisanych w pracy 5? W jakich zastosowaniach system ten mógłby być w przyszłości użyty?

Stwierdzam, że dysertacja doktorska pani mgr Tetiany Dyrdy-Tereniuk pt. *„Opracowanie metodologii do kompleksowej analizy biokoloidów oraz ich wykorzystanie na potrzeby przemysłu mleczarskiego”* bardzo dobrze wpisuje się w dyscyplinę nauki chemiczne, gdyż dotyczy systematycznego opisu zjawisk występujących w biokoloidach pozyskiwanych z mleka i występujących w produktach mleczarskich. Dysertacja spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim wg. Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. poz. 1669, z późn. zm.), gdyż prezentuje ogólną wiedzę kandydatki w dyscyplinie nauki chemiczne, wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia przez nią pracy naukowej a ponadto stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

W związku z powyższym wnoszę o przyjęcie rozprawy doktorskiej oraz dopuszczenie pani mgr Tetiany Dyrdy-Tereniuk do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.

Biorąc pod uwagę: (1) kompleksowe podejście doktorantki do tematu oraz końcowy efekt polegający m.in. na wykorzystaniu białek takich jak kazeina i laktoferyna jako nośników jonów o znaczeniu biologicznym oraz wzbogacaniu produktów mleczarskich w związki o charakterze leczniczym takie jak np. witamina D₃ i nienasycone kwasy tłuszczowe; (2) opublikowanie wyników w pięciu bardzo dobrych czasopismach o wysokim współczynniku oddziaływania; (3) zainteresowanie środowiska naukowego objawiające się dużą liczbą cytowań; (4) realizację prac w ramach projektów finansowanych w drodze konkursów NCBR, PROW, FNP oraz IDUB; (5) upowszechnianie wyników na konferencjach – wnoszę o wyróżnienie rozprawy.



Signed by /
Podpisano przez:

Elżbieta Pamuła

Date / Data: 2026-
08-20 16:35