

Lublin, 23.12.2025 r.

Prof.dr hab. Urszula Gawlik
Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
urszula.gawlik@up.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej

Doktorant: mgr Marcellus Arnold

Tytuł rozprawy: „Innowacyjne techniki impregnacji oraz optymalizacja procesu kształtowania właściwości fizykochemicznych, funkcjonalnych, enzymatycznych i sensorycznych liofilizowanych przekąsek jabłkowych”

Promotor: prof. dr hab. Anna Gramza-Michałowska, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Nauk o Gastronomii i Żywności Funkcjonalnej, Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu

Podstawa prawna: ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2023 r., poz. 742 z późn. zm.)

Uzasadnienie podjęcia tematu badawczego oraz ocena formalna pracy

Uzasadnienie podjęcia tematu badawczego jest dobrze osadzone w aktualnych wyzwaniach zdrowia publicznego, w szczególności w wysokiej częstotliwości występowania osteoporozy oraz niedoborów wapnia. Praca odpowiada na rosnące zapotrzebowanie na żywność funkcjonalną wytwarzaną z lokalnych surowców, wpisując się jednocześnie w założenia Celów Zrównoważonego Rozwoju Organizacji Narodów Zjednoczonych. Koncentrując się na wzbogacaniu liofilizowanych jabłek w związki bioaktywne pochodzące z soku z rokitnika oraz w wapń, badania odpowiadają zarówno na potrzeby żywieniowe, jak i technologiczne. Ponadto uwzględnienie aspektów jakościowych, takich jak brunatnienie enzymatyczne, stabilność przechowalnicza oraz właściwości sensoryczne, dodatkowo potwierdza zasadność i praktyczną użyteczność podjętej tematyki badawczej.

Rozprawa została przygotowana zgodnie z zasadami określonymi dla rozpraw doktorskich (art. 187 ust. 3 ustawy). Zgodnie z art. 187 ust. 4 ustawy praca zawiera streszczenia w języku polskim i angielskim, które w sposób zwięzły przedstawiają tło badań, cele, główne wyniki oraz wnioski płynące z przeprowadzonych badań. Rozprawa doktorska mgr. Marcellusa Arnolda pt. „Innovative Impregnation Techniques and Process Optimization for Shaping the Physicochemical, Functional, Enzymatic, and Sensory Properties of Freeze-Dried Apple Snacks” została oparta na cyklu pięciu publikacji



naukowych opublikowanych w latach 2022–2025 w renomowanych czasopismach z zakresu technologii żywności, żywności funkcjonalnej oraz żywienia:

A1 Arnold, M., & Gramza-Michałowska, A. (2024). Recent development on the chemical composition and phenolic extraction methods of apple (*Malus domestica*)—a review. *Food and Bioprocess Technology*, 17(9), 2519–2560.

A2 Arnold, M., & Gramza-Michałowska, A. (2022). Enzymatic browning in apple products and its inhibition treatments: a comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(6), 5038–5076.

A3 Arnold, M., Białas, W., Kulczyński, B., Multisona, R. R., Suliburska, J., Świeca, M., Wojdyło, A., & Gramza-Michałowska, A. (2025). Product development study of freeze-dried apples enriched with sea buckthorn juice and calcium lactate. *Molecules*, 30(7), 1504.

A4 Arnold, M., Tylewicz, U., Suliburska, J., Świeca, M., Wojdyło, A., & Gramza-Michałowska, A. (2025). Vacuum and ultrasound-assisted impregnation of Gala apple with sea buckthorn juice and calcium lactate: functional properties, antioxidant profile, and activity of polyphenol oxidase and peroxidase of freeze-dried products. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 75(3), 283–302.

A5 Arnold, M., Suliburska, J., Świeca, M., Wojdyło, A., & Gramza-Michałowska, A. (2025). Storage stability of bioactive-enriched freeze-dried Gala apples: functional properties, sensory evaluation, and enzymatic browning. *Food and Bioprocess Technology*.

Łączny współczynnik wpływu (IF) powyższych publikacji wynosi 33,3, natomiast łączna punktacja MNiSW – 640 punktów, co świadczy o wysokiej widoczności naukowej oraz uznanej wartości dorobku naukowego doktoranta w obszarze technologii żywności, żywności funkcjonalnej oraz żywienia. Wszystkie publikacje są pracami wieloautorskimi, przy czym doktorant figuruje jako pierwszy autor każdej z nich. Zgodnie z załączonymi oświadczeniami wkład doktoranta obejmował opracowanie koncepcji badań, planowanie i realizację eksperymentów, dobór i zastosowanie metod badawczych, analizę i interpretację wyników oraz przygotowanie zarówno wstępnych, jak i ostatecznych wersji manuskryptów.

Badania zostały sfinansowane ze środków kilku projektów badawczych, w tym grantu Preludium Narodowego Centrum Nauki (2023/49/N/NZ9/00862), środków Ministerstwa Edukacji i Nauki (SKN/SP/534738/2022), programu Regionalna Inicjatywa Doskonałości (005/RID/2018/19), grantu dla młodych naukowców Wydziału Nauk o Żywności i Żywieniu Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu (2022–2023), a także ze środków statutowych Katedry Nauk o Gastronomii i Żywności Funkcjonalnej. Uzyskane finansowanie potwierdza instytucjonalne uznanie oraz znaczenie prowadzonych badań.

Rozprawa zawiera streszczenia w języku polskim i angielskim, które w sposób syntetyczny przedstawiają tło badań, cele, najważniejsze wyniki oraz wnioski, zapewniając czytelnikowi przejrzysty



obraz całej pracy. Części wstępne obejmują również wykaz skrótów, który – wraz ze streszczeniami – ułatwia lekturę i zrozumienie treści rozprawy poprzez szybki dostęp do terminów specjalistycznych i stosowanych oznaczeń.

Główna część rozprawy rozpoczyna się rozdziałem 1 (Wstęp), który stanowi teoretyczne podstawy prowadzonych badań. Omówiono w nim osteoporozę oraz niedobory wapnia jako istotne problemy zdrowia publicznego, przedstawiono koncepcję żywności funkcjonalnej opartej na lokalnych surowcach, ze szczególnym uwzględnieniem technik impregnacji, a także zaprezentowano metody zapobiegania brunatnieniu enzymatycznemu w produktach jabłkowych. Rozdział kończy się syntezą przeglądu literatury, prowadzącą w logiczny sposób do sformułowania celów badawczych.

Rozdział 2 przedstawia cele i hipotezy badawcze pracy. Cel główny oraz cele szczegółowe zostały jasno określone i bezpośrednio wynikają ze zidentyfikowanego problemu badawczego. Sformułowane hipotezy są spójne i możliwe do weryfikacji. Rozdział zawiera również schemat badań, ilustrujący układ eksperymentalny oraz zależności pomiędzy celami, hipotezami i zastosowanymi metodami badawczymi.

Rozdział 3 (Materiały i metody) opisuje zastosowane materiały oraz procedury badawcze. Metody dotyczące przygotowania jabłek, impregnacji, liofilizacji oraz analizy właściwości fizykochemicznych, funkcjonalnych, enzymatycznych i sensorycznych zostały dobrane właściwie i przedstawione w stopniu umożliwiającym powtarzalność badań. Struktura rozdziału jest zgodna z założonymi celami badawczymi.

Rozdział 4 (Wyniki badań) prezentuje rezultaty badań eksperymentalnych w trzystopniowej strukturze, zgodnej ze schematem badań oraz publikacjami stanowiącymi podstawę rozprawy. Obejmuje on optymalizację impregnacji pod ciśnieniem atmosferycznym, zastosowanie impregnacji próżniowej i wspomaganą ultradźwiękami oraz ocenę trzymiesięcznej stabilności przechowalniczej wzbogaconych liofilizowanych produktów jabłkowych. Taka struktura zapewnia spójność pomiędzy celami, hipotezami oraz uzyskanymi wynikami.

Rozdział 5 (Wnioski i implikacje praktyczne) zamyka rozprawę, podsumowując najważniejsze wyniki badań oraz wskazując ich znaczenie praktyczne. Wnioski pozostają w bezpośrednim związku z celami i hipotezami badawczymi, zachowując logiczną spójność całej pracy. Rozprawa zawiera również kompletny wykaz piśmiennictwa oraz część wskazującą publikacje stanowiące jej podstawę, wraz z załączonymi oświadczeniami potwierdzającymi istotny i samodzielny wkład doktoranta. W połączeniu ze streszczeniami, wykazami skrótów oraz przejrzystą strukturą rozdziałów elementy te sprawiają, że rozprawa jest dobrze uporządkowana, transparentna i przystępna dla czytelnika.

Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Ponieważ wyniki badań zostały już poddane procedurze recenzji naukowej na etapie publikacji, niniejsza część recenzji koncentruje się przede wszystkim na ich znaczeniu dla rozwoju wiedzy, z jedynie ograniczonym odniesieniem do szczegółowych danych liczbowych.



Zbiór publikacji stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej tworzy spójny i logicznie uporządkowany cykl badawczy. Pierwsza praca przeglądowa pt. „Recent development on the chemical composition and phenolic extraction methods of apple (*Malus domestica*) – a review” (A1) stanowi kompleksowe i aktualne omówienie składu odżywczego oraz bioaktywnego jabłek, ze szczególnym uwzględnieniem związków fenolowych jako kluczowych komponentów odpowiadających za ich właściwości prozdrowotne. Praca ta systematycznie analizuje zmienność składu jabłek w zależności od odmiany i regionu uprawy oraz dokonuje krytycznej oceny konwencjonalnych i nowoczesnych metod ekstrakcji związków fenolowych stosowanych wobec różnych matryc jabłkowych (miąższ, skórka, wytloki, pulpa). Istotnym elementem publikacji jest również uwzględnienie aspektów zrównoważonego rozwoju poprzez omówienie rozpuszczalników dopuszczonych do kontaktu z żywnością oraz rozwiązań przyjaznych środowisku, co pozwala powiązać jakość żywnościową z zagadnieniami środowiskowymi. Dzięki wszechstronnej syntezie aktualnego stanu wiedzy dotyczącej bioaktywnych składników jabłek oraz strategii ich ekstrakcji, publikacja A1 stanowi solidną podstawę naukową dla dalszych badań eksperymentalnych. Uzasadnia ona w sposób przekonujący wybór jabłek jako matrycy żywności funkcjonalnej oraz wspiera zastosowane w kolejnych etapach pracy podejścia technologiczne, w tym procesy impregnacji i wzbogacania. W tym kontekście praca przeglądowa nie stanowi odrębnego, autonomicznego wkładu, lecz pełni funkcję kluczowego punktu wyjścia – zarówno koncepcyjnego, jak i metodologicznego – dla badań oryginalnych zaprezentowanych w kolejnych publikacjach.

Druga praca przeglądowa pt. „Enzymatic browning in apple products and its inhibition treatments: a comprehensive review” (A2) w sposób logiczny uzupełnia pierwszy przegląd, podejmując jedno z kluczowych wyzwań technologicznych związanych z przetwarzaniem jabłek, jakim jest brunatnienie enzymatyczne. Publikacja ta dostarcza pogłębionej syntezy najnowszych badań dotyczących mechanizmów brunatnienia enzymatycznego w minimalnie przetworzonych produktach jabłkowych oraz krytycznie omawia zarówno konwencjonalne, jak i niekonwencjonalne metody jego ograniczania. Szczególną uwagę poświęcono skuteczności naturalnych i syntetycznych substancji przeciwbrunatnieniowych, a także nowym technologiom przetwarzania, z uwzględnieniem ich wpływu na stabilność związków fenolowych, aktywność antyoksydacyjną oraz jakość sensoryczną produktów. Podkreślenie potencjału metod niekonwencjonalnych oraz podejść łączonych pozwala na identyfikację aktualnych ograniczeń oraz kierunków dalszych badań w tym obszarze. Co istotne, publikacja A2 tworzy solidne zaplecze technologiczne i jakościowe dla części eksperymentalnej rozprawy. Poruszone w niej zagadnienia bezpośrednio uzasadniają koncentrację kolejnych badań na kontroli brunatnienia enzymatycznego podczas impregnacji, suszenia oraz przechowywania produktów jabłkowych, zapewniając tym samym spójność całego cyklu publikacyjnego.

Łącznie obie prace przeglądowe świadczą o zdolności Doktoranta do krytycznej analizy obszernej

literatury przedmiotu oraz identyfikowania istotnych luk badawczych. Rdzeń eksperymentalny rozprawy tworzą publikacje A3–A5, które razem składają się na spójny i metodycznie rygorystyczny cykl badawczy. Prace te są ze sobą logicznie powiązane, zapewniając ciągłość od etapu koncepcji produktu (A3), poprzez innowacje procesowe (A4), aż po ocenę praktycznej przydatności i stabilności przechowalniczej (A5). Łącznie stanowią one innowacyjny, aplikacyjnie istotny i naukowo solidny wkład w rozwój liofilizowanych produktów jabłkowych wzbogaconych w składniki bioaktywne, ukierunkowanych na profilaktykę osteoporozy oraz suplementację wapnia.

Publikacja A3 („Product development study of freeze-dried apples enriched with sea buckthorn juice and calcium lactate”) stanowi punkt wyjścia cyklu badań, koncentrując się na optymalizacji warunków impregnacji w celu poprawy pojemności antyoksydacyjnej, zawartości wapnia, aktywności enzymatycznej oraz właściwości sensorycznych liofilizowanych jabłek odmiany Gala. W kolejnym etapie zastosowanie zaawansowanych technik impregnacji – próżniowej oraz wspomaganej ultradźwiękami – pozwoliło na dalsze zwiększenie retencji związków bioaktywnych, efektywności wzbogacania w wapń oraz ograniczenie brunatnienia enzymatycznego w porównaniu z metodami konwencjonalnymi (A4, „Vacuum and ultrasound-assisted impregnation of Gala apple with sea buckthorn juice and calcium lactate”). Cykl badawczy zamyka ocena stabilności przechowalniczej produktu, obejmująca analizę właściwości funkcjonalnych, żywieniowych i sensorycznych w okresie trzech miesięcy, co potwierdza praktyczny potencjał opracowanego produktu (A5, „Storage stability of bioactive-enriched freeze-dried Gala apples”). Łącznie badania te łączą systematyczną optymalizację procesu, innowacyjne podejścia technologiczne oraz kompleksową ocenę parametrów fizykochemicznych, enzymatycznych, żywieniowych i sensorycznych. Uzyskane wyniki dostarczają jasnych wskazówek dla potencjalnych zastosowań przemysłowych i skutecznie łączą badania laboratoryjne z rozwojem żywności funkcjonalnej odpowiadającej na wyzwania zdrowia publicznego.

Całościowo rozprawa prezentuje logicznie spójny i metodycznie poprawny dorobek naukowy, cechujący się zarówno wysokim rygiorem badawczym, jak i znaczną przydatnością praktyczną, stanowiąc solidną podstawę do dalszej oceny jej innowacyjności, ograniczeń oraz potencjału rozwojowego.

Pomimo wyraźnych walorów naukowych i aplikacyjnych rozprawy, na uwagę zasługuje kilka kwestii wymagających krytycznej refleksji:

Wpływ na profilaktykę osteoporozy:

Należy rozważyć, w jaki sposób formy wapnia zastosowane w produkcie (askorbinian, cytrynian), a także ich interakcje z pektynami i polifenolami, mogą wpływać na biodostępność wapnia w organizmie człowieka. Warto również wskazać potencjalne ograniczenia tej funkcjonalności oraz możliwości ich oceny lub poprawy w praktyce. Ponadto, ze względu na prawdopodobnie niewielkie porcje spożycia liofilizowanych przekąsek jabłkowych, ich rzeczywisty wkład w pokrycie zapotrzebowania na wapń oraz



profilaktykę osteoporozy może być ograniczony, co powinno zostać omówione w kontekście znaczenia dla zdrowia publicznego.

Adekwatność formy produktu dla grupy docelowej:

Chrupka struktura przekąski może stanowić utrudnienie dla osób starszych mających problemy z żuciem lub połykaniem. Alternatywne formy produktu, takie jak mus, purée czy wzbogacony napój, mogłyby być bardziej dostępne i lepiej dostosowane do potrzeb docelowych konsumentów.

Koszty i możliwość skalowania procesu:

Proces produkcyjny obejmujący impregnację, liofilizację oraz wzbogacanie w składniki bioaktywne może generować stosunkowo wysokie koszty. Warto rozważyć, czy potencjalne korzyści zdrowotne uzasadniają poniesione nakłady oraz czy proces ten może zostać efektywnie przeskalowany do warunków przemysłowych.

Badania *in vitro* a skuteczność *in vivo*:

Uzyskane wyniki dotyczące aktywności antyoksydacyjnej oraz retencji wapnia oparto na badaniach *in vitro*. Dalsze analizy, obejmujące biodostępność, bioprzyswajalność lub badania z udziałem ludzi, byłyby niezbędne do potwierdzenia efektów funkcjonalnych w rzeczywistych warunkach żywieniowych.

Długoterminowa stabilność i akceptacja sensoryczna:

Choć trzymiesięczne badania przechowalnicze dostarczają cennych informacji, rozszerzenie dyskusji o dłuższy okres trwałości, wpływ opakowania oraz stabilność cech sensorycznych mogłoby dodatkowo wzmocnić praktyczny wymiar uzyskanych wyników.

Powyższe uwagi nie umniejszają ogólnej jakości i znaczenia rozprawy, stanowiąc konstruktywną informację zwrotną, którą doktorant może wykorzystać zarówno podczas publicznej obrony, jak i w dalszych badaniach naukowych.

Podsumowując, publikacje stanowiące podstawę rozprawy wykazują konsekwentne ukierunkowanie na rozwój, ocenę funkcjonalną oraz stabilność przechowalniczą liofilizowanych jabłek wzbogaconych w składniki bioaktywne, podkreślając istotny wkład doktoranta w rozwój dziedziny żywności funkcjonalnej i żywienia człowieka. Rozprawa doktorska mgr. Marcellusa Arnolda jest poprawna formalnie, metodycznie rzetelna i naukowo wartościowa. Połączenie prac przeglądowych z oryginalnymi badaniami eksperymentalnymi tworzy spójny cykl badawczy o wyraźnym znaczeniu aplikacyjnym, a wskazane uwagi krytyczne wyznaczają potencjalne kierunki dalszego rozwoju.

Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr. Marcellusa Arnolda pt. „Innovative impregnation techniques and process optimization for shaping the physicochemical, functional, enzymatic, and sensory



properties of freeze-dried apple snacks” spełnia wymagania określone w art. 13 ust. 1–4 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2023 r., poz. 742 z późn. zm.). W związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie mgr. Marcellusa Arnolda przez Radę Naukową Wydziału Nauk o Żywności i Żywieniu Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.



Prof. dr hab. Urszula Gawlik



