

Dr hab. inż. Dariusz Kowalczyk, profesor uczelni
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii
Katedra Biochemii i Chemii Żywności
Zakład Nutraceutyków i Wzbogacania Żywności
ul. Skromna 8, 20-704 Lublin

Lublin, 6.05.2026

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Magdaleny Karoliny Mikus pt.: „Biopolimerowe folie aktywne i ich zastosowanie jako powłoki ochronne w monitorowaniu jakości pozbiorczej jabłek” wykonanej pod kierunkiem dr hab.

Sabiny Galus, profesor uczelni, w Katedrze Inżynierii Żywności
Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie (SGGW)

1. Podstawa formalna recenzji:

- ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (PSWiN) (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.),
- uchwała Rady Dyscypliny Technologia Żywności i Żywienia SGGW nr 48/TŻiŻ-2025/2026 z dnia 13 marca 2026 r.

2. Informacje wstępne

Rozprawa doktorska została przygotowana jako **zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych**, co odpowiada formie przewidzianej w art. 187 ust. 3 ustawy PSWiN. Składają się na nią cztery publikacje: jedna przeglądowa [P1] i trzy badawcze [P2–P4], opublikowane w latach 2025–2026 w czasopismach indeksowanych w Journal Citation Reports („Applied Sciences”, „Molecules”, „Processes”), co świadczy o umiędzynarodowieniu wyników badań. Impact Factor (IF) czasopism mieści się w przedziale 2,5–4,6; łączny IF zbioru wynosi 12,4, a suma punktów Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (wg komunikatu z 5.01.2024) to 410.

Część opisowa rozprawy liczy 77 stron (od strony tytułowej) i zawiera: streszczenia w języku polskim i angielskim, omówienie publikacji wraz z wybranymi rysunkami i tabelami oraz bibliografię. W rozprawie zamieszczono również oświadczenia współautorów (określające ich wkład w poszczególne publikacje) oraz wykaz osiągnięć naukowych.

3. Ocena rozprawy doktorskiej w odniesieniu do wymagań określonych w ustawie PSWiN

Przedmiot rozprawy doktorskiej, określony w art. 187 ust. 2 ustawy PSWiN jako **oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**, obejmuje: (i) otrzymanie i porównanie właściwości strukturalno-użytkowych jadalnych folii pektynowych aktywowanych wybranymi kwasami fenolowymi oraz (ii) opracowanie metody wydłużania trwałości pozbiorczej jabłek poprzez zastosowanie jadalnej powłoki pektynowej z dodatkiem wspomnianych związków. Przyjęta etapowość badań jest właściwa dla tego typu prac, gdyż umożliwia ocenę właściwości materiału w postaci folii przed jego zastosowaniem na powierzchni żywności, tj. przed formowaniem powłok.

Należy podkreślić, że choć koncepcja powlekania żywności znana jest od dawna, współczesne badania, w tym przedstawiona rozprawa doktorska, rozwijają ją w kierunku zaawansowanej inżynierii materiałowej, obejmującej ekoprojektowanie materiałów aktywnych i/lub reagujących na procesy zachodzące w żywności, ze szczególnym naciskiem na zależności pomiędzy ich strukturą, właściwościami i funkcją. Rozprawa wykazuje innowacyjność oraz potencjał wdrożeniowy opracowanych materiałów, przy czym warto doprecyzować, które elementy proponowanego rozwiązania stanowią jego rzeczywisty wkład nowości w stosunku do dotychczasowych badań nad foliami i powłokami pektynowymi oraz istniejącymi systemami aktywnej ochrony jakości jabłek.

Publikacja [P1] stanowi merytoryczny fundament rozprawy, potwierdzający m.in. spełnienie wymagań określonych w art. 187 ust. 1 ustawy PSWiN w zakresie **prezentacji ogólnej wiedzy teoretycznej kandydata w dyscyplinie**. O biegłości teoretycznej doktorantki w dyscyplinie technologia żywności i żywienia świadczy fakt, iż w opracowaniu tym dokonała kompleksowej syntezy wiedzy integrując zagadnienia z zakresu biochemii owoców z nowoczesną inżynierią materiałową ukierunkowaną na optymalizację trwałości pozbiorniczej jabłek. Autorka przeprowadziła krytyczną analizę spektrum dostępnych rozwiązań - od metod powszechnie stosowanych, po nowatorskie doniesienia literaturowe - wykraczając poza standardowe techniki chłodnicze w stronę zaawansowanych systemów opakowań aktywnych i inteligentnych. Ewaluacja ta pozwoliła na identyfikację wyzwań związanych z ograniczaniem strat żywności oraz wskazanie możliwości wdrażania założeń gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) poprzez uytylitarne wykorzystanie produktów ubocznych.

Umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej (art. 187 ust. 1 ustawy PSWiN) potwierdza fakt, że doktorantka we wszystkich czterech publikacjach pełniła funkcję pierwszego autora. Szczególnie istotne jest, że trzy artykuły to opracowania dwuautorskie przygotowane z promotorem, co dowodzi kluczowego udziału doktorantki na każdym etapie procesu badawczego: od syntezy wiedzy, poprzez prowadzenie badań eksperymentalnych, aż po redakcję manuskryptów i merytoryczną obsługę recenzji (pomimo braku formalnego statusu autora korespondencyjnego).

Pozostały dorobek doktorantki (obejmujący 11 publikacji naukowych, jeden rozdział w monografii, udział w konferencjach oraz pełnienie funkcji wykonawcy w projekcie BioStrateg III finansowanym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju) stanowi istotny formalny miernik jej zaawansowania metodologicznego, orientacji w aktualnym dyskursie naukowym oraz zdolności do samodzielnej pracy badawczej, organizacyjnej i popularyzatorskiej.

4. Ocena metodologiczna i merytoryczna części opisowej rozprawy

Punktem wyjścia dla części badawczej rozprawy było przygotowanie wodnych roztworów pektynowo-glicerolowych: kontrolnego (bez dodatków) oraz sześciu wariantów zawierających dodatek kwasów fenolowych (ferulowego, galusowego, kawowego, kumarowego, protokatechowego i synapinowego) wyłącznie w jednym stężeniu. W publikacjach [P2–P3] z ww. roztworów otrzymano folie metodą wylewania i suszenia, a następnie określono ich cechy strukturalne (na podstawie zdjęć mikroskopowych oraz spektroskopii fourierowskiej w podczerwieni (FTIR)), stabilność termiczną, powinowactwo do wody (zawartość wody, zwilżalność, kinetykę absorpcji wody i pary wodnej, rozpuszczalność), właściwości optyczne (barwę, połysk, przepuszczalność światła, przezroczystość), barierowe względem gazów (pary wodnej, tlenu, dwutlenku węgla), mechaniczne oraz aktywność przeciwutleniającą. W pracy [P4] oceniono wpływ powłok pektynowych (kontrolnej oraz z dodatkiem kwasu kawowego i

protokatechowego), naniesionych metodą zanurzeniową, na jakość jabłek odmiany 'Golden Delicious'. W trakcie 28-dniowego przechowywania w warunkach symulujących obrót handlowy monitorowano: ubytki masy, barwę, ekstrakt ogólny, kwasowość, twardość, parametry wymiany gazowej (tempo oddychania i wydzielania etylenu) oraz atrybuty sensoryczne.

Tematyka badawcza jest trafna i aktualna w kontekście zapewniania jakości żywności oraz zwiększania jej potencjału prozdrowotnego, a także ograniczania marnotrawstwa żywności i zanieczyszczenia środowiska odpadami opakowaniowymi poprzez ekoprojektowanie biopolimerowych materiałów o zwiększonej funkcjonalności, co wpisuje się m.in. w założenia Europejskiego Zielonego Ładu, w tym dyrektywę odpadową (nr 2025/189) oraz rozporządzenie PPWR (z ang. Packaging and Packaging Waste Regulation, nr 2025/40).

Tytuł rozprawy jest zbyt ogólny w odniesieniu do jej rzeczywistego zakresu i wymaga lepszego dostosowania do celu oraz przyjętych założeń badawczych.

Streszczenie ma charakter zbyt ogólny i wymaga doprecyzowania. Nie wymieniono wszystkich użytych kwasów fenolowych, a ich rola została ograniczona do działania przeciwtleniającego. Tymczasem w przypadku przechowywania świeżych jabłek kluczowym czynnikiem obniżającym ich jakość jest rozwój mikroorganizmów (jak doktorantka sama wskazuje w dalszej części rozprawy), co wymaga bardziej adekwatnego uzasadnienia zastosowania tych związków. Nie określono szczegółowego celu badań, ani nie przedstawiono liczby otrzymanych wariantów folii oraz różnic między nimi, co utrudnia analizę uzyskanych wyników. Ponadto wpływ powlekania na jakość jabłek przedstawiono jedynie w ujęciu ogólnym, bez analizy różnic w działaniu poszczególnych wariantów powłok.

Rozdział 1 pt. „Uzasadnienie podjęcia tematu pracy” stanowi wystarczające tło teoretyczne dla części badawczej. Dla zachowania spójności warto byłoby zamienić kolejność dwóch ostatnich podrozdziałów, co zapewniłoby płynne przejście od jakości jabłek, przez metody jej zapewniania, aż do powlekania. Doktorantka wielokrotnie określa jadalne folie i powłoki mianem opakowań, jednak w świetle prawa żywnościowego Unii Europejskiej (UE) nie są one klasyfikowane jako opakowania w ujęciu regulacyjnym.

Cel badawczy i hipotezy zostały przedstawione w sposób zrozumiały, jednak wymagają dalszego doprecyzowania i właściwej terminologii. Aktywne powłoki jadalne służą ochronie jakości, a nie jej monitorowaniu; do tego celu stosuje się materiały wskaźnikowe, których w rozprawie nie otrzymano. Ponadto autorka w całym tekście w nieuzasadniony sposób używa określenia „kompozyt”.

Podrozdział 3.1 pt. „Organizacja badań” (choć właściwy byłby tytuł „Zakres badań”) zawiera m.in. krótki opis wykonanych badań wstępnych, jednak nie uzasadniono doboru ilościowego składników roztworów folio-/powłokotwórczych, tj. 5% pektyny, 2,5% plastyfikatora (glicerol) i 0,25% kwasów fenolowych. Czym się kierowano przy wyborze tych wartości? W etapie III nie wskazano obiektu badań w testach migracji, natomiast w etapie V pominięto informację, że owoce powlekano również roztworem kontrolnym.

Kolejne **podrozdziały 3.2-3.7 opisują w sposób ogólny materiały i metody** użyte w rozprawie doktorskiej. Doktorantka wskazuje, że materiał badawczy stanowiły roztwory, folie oraz owoce, podczas gdy w rzeczywistości są to obiekty badań. Tabela 1 przedstawia nazwy, wzory sumaryczne i strukturalne kwasów fenolowych, a nie ich charakterystykę, jak wskazuje tytuł tabeli. Pominięto informacje dotyczące ilości dodawanych kwasów fenolowych, a także nie sprecyzowano, jakie właściwości reologiczne roztworów były analizowane. Badania rozpuszczalności folii wykonano na pozostałościach po oznaczeniu zawartości wody (suszenie przez 24 h w 105°C), podczas gdy powinny być one przeprowadzone z użyciem folii aklimatyzowanych, analogicznie jak w przypadku pozostałych testów. Nie wykazano, co stanowiło materiał odniesienia do obliczenia

całkowitej różnicy barwy folii. Przepuszczalność światła przez folie badano w zakresie 200–800 nm, który obejmuje nie tylko zakres UV/VIS, jak wskazuje doktorantka, lecz także niewielki fragment bliskiej podczerwieni.

Ponieważ powłoki pektynowe otrzymano poprzez zanurzanie jabłek w roztworach powłokotwórczych, a następnie w roztworze chlorku wapnia, uzyskane warstewki nie są w pełni tożsame z uprzednio przygotowanymi foliami, co rodzi pytanie o uzasadnienie przyjętego podejścia metodycznego. Badanie ilości wydzielanego etylenu nie stanowi bezpośredniej miary „aktywności oddechowej” owoców, jak sugeruje doktorantka. Skoro w badaniach przechowalniczych występowały dwie zmienne niezależne, tj. sposób traktowania oraz czas przechowywania jabłek, należało zamiast jednoczynnikowej analizy wariancji zastosować analizę dwuczynnikową.

Rozdział 4 zatytułowany „Omówienie i dyskusja wyników” został opracowany w stopniu jedynie częściowo zadowolającym. Zauważalne są liczne niedociągnięcia, które ograniczają klarowność wnioskowania. Autorka podkreśla, że otrzymane przez nią materiały wpisują się w założenia GOZ, choć w rzeczywistości nie dokonano bezpośredniej waloryzacji produktów ubocznych. Kolejność prezentacji wyników (i tym samym zastosowanych metod) wymagałaby lepszego uporządkowania w celu zwiększenia ich przejrzystości i ułatwienia interpretacji. W sposób zasadny omówienie wyników doktorantka rozpoczyna od właściwości mikrostrukturalnych, ponieważ determinują one i/lub wyjaśniają pozostałe analizowane cechy fizykochemiczne. Następnie zasadne byłoby przedstawienie wyników FTIR jako podstawy chemicznej interpretacji dalszych właściwości materiału. Doktorantka błędnie klasyfikuje ‘zawartość wody’ i ‘stopień pęcznienia’ jako właściwości strukturalne folii, podczas gdy są to wskaźniki powinowactwa do wody. Warto zwrócić uwagę, że choć nie istnieje jedna obowiązkowa jednostka dla wyników przepuszczalności gazów, jednostki zastosowane w rozprawie są mało czytelne ze względu na użycie zapisu potęgowego (np. $\times 10^{-16}$). Zamiast sekund i Pa należałoby zastosować doby i kPa. Ponadto w jednostkach brakuje odniesienia do pola powierzchni (m^2), przez które zachodzi przepływ gazu, oraz uwzględnienia grubości folii. Autorka wskazuje, zarówno w opisie wyników, jak i we wnioskach, na wzrost wytrzymałości folii na zerwanie po wprowadzeniu kwasów fenolowych, jednak istotność statystyczna tego efektu została wykazana jedynie w dwóch przypadkach. Analogiczne uwagi można odnieść również do niektórych pozostałych wyników badań i wniosków. Interpretacja wyników dotyczących folii pektynowych wymaga pogłębienia w celu pełniejszego wyjaśnienia obserwowanych zjawisk. Wybór formulacji do dalszych badań wydaje się być arbitralny.

Aplikacyjny charakter ostatniej pracy z cyklu wskazuje, że doktorantka dostrzega konieczność przejścia od badań materiałowych do analiz prowadzonych w warunkach rzeczywistych, z wykorzystaniem złożonego układu biologicznego, jakim są świeże owoce. Przeprowadzone w ramach pracy [P4] badania dotyczące właściwości reologicznych roztworów oraz tempa migracji kwasów fenolowych z folii pektynowych do etanolu nie wydają się w pełni uzasadnione, ponieważ nie wykazano ich bezpośredniego związku przyczynowo-skutkowego z oceną jakości jabłek. Omawianie wyników publikacji [P4] należało rozpocząć od tempa oddychania, ponieważ to ono determinuje inne zmiany zachodzące w przechowywanych jabłkach. Badania wydzielania etylenu stanowią wartościowy element analizy procesów zachodzących w owocach, jednak zastosowana metodyka nie uwzględnia możliwej retencji tego gazu przez powłokę, dlatego bardziej adekwatne byłoby oznaczanie składu atmosfery wewnętrznej niż jedynie gazów w przestrzeni opakowania. Pominięcie danych dotyczących wydzielania etylenu i CO_2 w czasie początkowym ($t = 0$) uniemożliwia pełną ocenę dynamiki zachodzących zmian w jabłkach powlekanych. Brakuje również dokumentacji fotograficznej jabłek powlekanych i niepowlekanych

w czasie $t = 0$. W tabeli 6 zamiast ogólnego określenia „ekstrakt” należało użyć „ekstrakt ogólny”, odnoszący się do zawartości rozpuszczalnych substancji stałych.

Rozdział 5 pt. „Podsumowanie i wnioski” jest zasadniczo zrozumiały, jednak jak wcześniej wspomniano, w kilku miejscach, budzi zastrzeżenia merytoryczne ze względu na pomijanie wyników analizy statystycznej przy formułowaniu wniosków. Stwierdzenie, że folie pektynowe „tworzyły struktury”, jest nieprecyzyjne, ponieważ folie same w sobie stanowią materiały o określonej strukturze. Przygotowano siedem wariantów folii, jednak nie określono, który z nich jest optymalny. Bez tego wnioski tracą walor praktyczny. Wnioski dotyczące powlekania jabłek mają zbyt ogólny charakter w stosunku do przedstawionych wyników. Którą formułą doktorantka rekomenduje do wdrożenia?

Sześciostronnicowy rozdział pt. „Spis literatury” został przygotowany należycie, z zachowaniem spójnego formatowania. Dobór literatury jest adekwatny do tematyki pracy. W odniesieniu do **strony redakcyjnej opracowania** stwierdza się następujące uwagi: skróty należy objaśniać przy pierwszym użyciu, podając pełną nazwę wraz ze skrótem w nawiasie; nie należy łączyć tabel z fotografiami, ponieważ tabele służą do prezentacji danych liczbowych, a materiały ilustracyjne utrudniają ich porównanie; linie trendu powinny być jednoznacznie odróżnialne.

5. Ocena metodologiczna i merytoryczna części publikacyjnej rozprawy

Ponieważ publikacje składające się na rozprawę były już poddane recenzjom wydawniczym, analizę ograniczono do aspektów istotnych dla oceny rozprawy jako całości i kwestii nieuwzględnionych w części 4 niniejszej recenzji.

Atutem artykułu [P4] jest jego ścisła spójność z celem rozprawy doktorskiej. Autorka akcentuje w nim potrzebę waloryzacji surowców ubocznych przetwórstwa jabłek, w tym wykorzystanie pektyn, oraz znaczenie kwasów fenolowych jako składników aktywnych powłok i folii ochronnych, co stanowi odpowiednie tło teoretyczne dla badań.

W publikacjach [P1] i [P4] doktorantka trafnie co do intencji odwołuje się do unijnych strategii i regulacji (w szczególności rozporządzeń nr 1935/2004, 10/2011 i 450/2009), co dowodzi jej świadomości, że implementacja rozwiązań naukowych musi być zgodna z obowiązującym ustawodawstwem. W tym kontekście kluczowe staje się doprecyzowanie statusu prawnego folii i powłok jadalnych w UE oraz określenie realnej ścieżki ich komercjalizacji. Pojawia się zatem pytanie, w jakim stopniu przywołane przepisy zachowują swoją przydatność w procesie transferu tego typu technologii/materiałów do gospodarki, zwłaszcza w obliczu wejścia w życie rozporządzenia PPWR, które redefiniuje pojęcie opakowania? Ponadto czy w świetle przepisów prawa unijnego pektyny (E440) oraz glicerol (E422) mogą być legalnie aplikowane na powierzchnię całych świeżych owoców i warzyw? Należy przy tym pamiętać, że horyzont wdrożeniowy opisywanych rozwiązań wykracza poza rynek wspólnotowy, co wymaga konfrontacji przyjętych założeń z regulacjami globalnymi oraz standardami obowiązującymi w krajach pozaeuropejskich.

W publikacjach [P2–P3] autorka zbyt upraszcza opis pektyny oraz nie precyzuje, czy zastosowana pektyna jabłkowa była natywna, czy amidowana, jak sugeruje część opisowa rozprawy. Brak jednoznacznej informacji, które wyniki potwierdzają przypuszczalne działanie sieciujące kwasów fenolowych na pektynę, a także nie wyjaśniono mechanizmu tego procesu. Wartość 100% zdaje się być traktowana jako maksymalna wartość „indeksu pęcznienia”, podczas gdy z obliczeń wynika, że możliwe są również wyższe wyniki. Autorka formułuje wnioski dotyczące wpływu glicerolu na właściwości folii, mimo że analiza tego parametru nie była celem przeprowadzonych badań. W przypadku wielu właściwości wskazane byłoby uzupełnienie dyskusji

wyników o publikacje bezpośrednio dotyczące folii pektynowych, zamiast przytaczania prac poświęconych innym materiałom, takim jak folie z chitozanu czy glutenu. W części dotyczącej oznaczania właściwości przeciwnadkwasotwórczych nie przedstawiono jednoznacznego opisu procedury; w szczególności nie określono, czy folie kontaktowano bezpośrednio z roztworami syntetycznych wolnych rodników, czy badano ich ekstrakty. Nie uzasadniono także zastosowania dwóch metod oznaczania tych właściwości. W pracy [P3] wyniki spektroskopii w podczerwieni są pomieszczone z interpretacją widm UV-VIS folii, a ponadto nie jest jasno określone, zależność jakich wielkości przedstawia tabela 4.

W nawiązaniu do hipotezy badawczej nr 1, w pracach [P1–P4] nie wskazano jednoznacznie, które właściwości otrzymywanych materiałów są pożądane, a które niepożądane z punktu widzenia ich potencjalnego zastosowania. Nasuwa się pytanie, czy w przypadku powłok jadalnych wysoka rozpuszczalność w wodzie stanowi cechę korzystną czy niekorzystną, podobnie jak wysoka lub niska przepuszczalność tlenu i dwutlenku węgla, oraz jakie inne właściwości materiału są pożądane/niepożądane w kontekście zaplanowanego zastosowania? Uzasadniłoby to wybór optymalnych formułacji do powlekania jabłek.

6. Podsumowanie i wniosek końcowy

Rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Karoliny Mikus stanowi spójne, wieloetapowe i oryginalne rozwiązanie problemu naukowego o charakterze interdyscyplinarnym, łączącym technologię żywności i żywienia z elementami inżynierii materiałowej. Taki charakter badań mógł w pewnym stopniu warunkować wystąpienie wskazanych niedoskonałości, które jednak nie podważają ogólnej wysokiej wartości naukowej rozprawy ani jej zgodności z wymaganiami określonymi w ustawie PSWiN.

Uzyskane wyniki poszerzają stan wiedzy w zakresie ekoprojektowania jadalnych folii i powłok aktywnych (stanowiących specyficzną grupę produktów żywnościowych) oraz dostarczają podstaw do dalszych badań nad ich optymalizacją i wdrożeniem. Biorąc pod uwagę całokształt dorobku doktorantki, w tym stosowanie zaawansowanych technik instrumentalnych, znajomość teorii z zakresu technologii żywności i żywienia oraz umiejętność jej integracji z innymi dziedzinami nauki, a także pozostałą aktywność naukową, świadczącą o zdolności do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, stwierdzam, że rozprawa spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy PSWiN i stanowi podstawę do nadania stopnia doktora. Wnioskuje o dopuszczenie rozprawy mgr inż. Magdaleny Karoliny Mikus do publicznej obrony w dyscyplinie technologii żywności i żywienia.

Dariusz Kowalczyk

Dr hab. inż. Dariusz Kowalczyk, profesor uczelni

UNIWERSYTET PRZYRODNICZY
Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii
Katedra Biochemii i Chemii Żywności
20-704 Lublin, ul. Skromna 8
tel./fax 081 462 33 24, skr. poczt. 158
REGON 000001896

B 8679/2026

R
(00)759007734283135127


Poczta Polska
Opłata pobrana _____ zł _____ gr

2025



POLECONY

OPŁATA
TAXE PERÇ
Umowa z Po
ID nr €


RPM/14175/2026 N
Data: 2026-05-11

Biurow Obsługi Nauki

SZKOŁA GŁÓWNA GOSPODARSTWA WIEJSKIEGO W WARSZAWIE
ul. Nowoursynowska 166