



Szczecin 25 maja, 2026

prof. dr hab. inż. Artur Bartkowiak  
Centrum Bioimmobilizacji i Innowacyjnych Materiałów Opakowaniowych  
Wydział Nauk o Żywności i Rybactwa  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Karoliny Mikus

pt. „Biopolimerowe folie aktywne i ich zastosowanie jako powłoki ochronne w monitorowaniu jakości pozbiorczej jabłek”

wykonanej w Instytucie Nauk o Żywności  
Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie  
pod kierunkiem dr hab. inż. Sabiny Galus, prof. SGGW

Podstawę opracowania niniejszej recenzji stanowią:

- Uchwała nr 48/TZiZ-2025/2026 Rady Dyscypliny Technologia Żywności i Żywnienia Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie z dnia 13 marca 2026 r. powołująca mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Karoliny Mikus;
- rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Karoliny Mikus pt. „Biopolimerowe folie aktywne i ich zastosowanie jako powłoki ochronne w monitorowaniu jakości pozbiorczej jabłek”;
- Regulamin przeprowadzania postępowań w sprawie nadania stopnia doktora w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, stanowiący Załącznik nr 3 do Uchwały Nr 89–2022/2023 Senatu SGGW z dnia 26 czerwca 2023 roku;
- przepisy Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2024 r., poz. 1571 z późn. zm.).

**Ocena aktualności i znaczenia podjętej tematyki badawczej**

Problematyka opracowywania aktywnych materiałów opakowaniowych oraz jadalnych powłok ochronnych opartych na biopolimerach stanowi obecnie jeden z najintensywniej rozwijających się kierunków badań w obszarze technologii żywności i inżynierii materiałowej. Wzrost zainteresowania tego typu rozwiązaniami jest bezpośrednio związany z potrzebą ograniczania negatywnego wpływu konwencjonalnych materiałów opakowaniowych na środowisko naturalne, a także z koniecznością zmniejszania strat żywności na etapie pozbiorczym.

W szczególności zagadnienia związane z wydłużaniem trwałości przechowalniczej świeżych owoców, ograniczaniem strat masy, opóźnianiem procesów dojrzewania oraz utrzymaniem odpowiednich parametrów jakościowych produktów roślinnych mają istotne znaczenie zarówno naukowe, jak i praktyczne. Dotyczy to zwłaszcza jabłek, które stanowią jeden z najważniejszych produktów sadowniczych w Polsce oraz znaczącą grupę produktów eksportowych.

W tym kontekście wybór tematu rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Karoliny Mikus należy uznać za bardzo trafny, aktualny i dobrze wpisujący się zarówno w światowe trendy badawcze dotyczące aktywnych materiałów opakowaniowych, jak również w założenia gospodarki o obiegu zamkniętym oraz Europejskiego Zielonego Ładu. Szczególnie wartościowe jest połączenie w jednej pracy badań nad właściwościami materiałów foliotwórczych z praktyczną oceną ich funkcjonalności podczas przechowywania owoców.

Na podkreślenie zasługuje również fakt wykorzystania pektyny jabłkowej jako materiału bazowego do wytwarzania aktywnych folii i powłok ochronnych oraz zastosowanie wybranych kwasów fenolowych jako naturalnych składników bioaktywnych o właściwościach przeciwutleniających. Takie podejście ma istotny potencjał aplikacyjny i może stanowić podstawę do opracowania nowych, przyjaznych środowisku systemów opakowaniowych.

Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska została przygotowana w formie cyklu publikacji naukowych poprzedzonych obszernym 83-stronicowym opracowaniem. Rozprawa obejmuje:

- streszczenie w języku polskim i angielskim,
- wykaz publikacji stanowiących rozprawę doktorską,
- wykaz skrótów,
- uzasadnienie podjęcia tematu pracy,
- opis organizacji badań, materiałów i metodyki,
- omówienie i dyskusję wyników,
- podsumowanie i wnioski,
- spis literatury,
- dorobek naukowy,
- publikacje stanowiące rozprawę doktorską wraz z oświadczeniami współautorów.

Rozprawę stanowią cztery publikacje naukowe:

1. Mikus M., Galus S. (2025). *Extending the Shelf Life of Apples After Harvest Using Edible Coatings as Active Packaging – A Review*. Applied Sciences, 15(2), 767.
2. Mikus M., Galus S. (2025). *The Effect of Phenolic Acids on the Sorption and Wetting Properties of Apple Pectin-Based Packaging Films*. Molecules, 30(9), 1960.
3. Mikus M., Galus S. (2026). *The Effect of Selected Phenolic Acids on the Functional Properties of Pectin-based Packaging Films*. Applied Sciences, 16(2), 797.
4. Mikus M., Szulc K., Galus S. (2025). *The Use of Bioactive Edible Coatings Based on Pectin and Phenolic Acids for Enhancing Quality Attributes of Golden Delicious Apples During Storage*. Processes, 13(12), 3821.

Łączny Impact Factor publikacji wynosi 12,4, natomiast suma punktów ministerialnych wynosi 410 pkt. Wszystkie publikacje zostały opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych o międzynarodowym zasięgu.

Układ rozprawy jest logiczny i przejrzysty. Autorka w sposób konsekwentny prowadzi czytelnika od analizy stanu wiedzy, poprzez sformułowanie problemu badawczego, aż do przedstawienia wyników eksperymentalnych oraz ich praktycznej interpretacji.

### **Ocena celu pracy i hipotez badawczych**

Celem pracy była charakterystyka aktywnych folii jadalnych wytworzonych z pektyny jabłkowej z dodatkiem wybranych kwasów fenolowych oraz ocena możliwości ich zastosowania jako powłok ochronnych ograniczających niekorzystne zmiany jakościowe jabłek podczas przechowywania.

Zakres badań obejmował:

- analizę wpływu dodatku 6 różnych kwasów fenolowych na właściwości strukturalne, sorpcyjne, mechaniczne i barierowe folii pektynowych,
- ocenę właściwości funkcjonalnych oraz aktywności przeciwutleniającej otrzymanych materiałów,
- analizę reologiczną roztworów powłokotwórczych,
- badanie kinetyki uwalniania substancji aktywnych,
- ocenę wpływu powłok ochronnych na parametry jakościowe jabłek odmiany *Golden Delicious* podczas przechowywania.

Cel pracy został sformułowany prawidłowo i jednoznacznie. Jest on spójny z przedstawionym stanem wiedzy oraz odpowiada zidentyfikowanej przez Autorkę luce badawczej. Na szczególne podkreślenie zasługuje kompleksowy charakter badań obejmujący zarówno aspekt materiałowy, jak i praktyczną ocenę funkcjonalności opracowanych systemów powłokowych.

### **Ocena części eksperymentalnej i zastosowanej metodyki**

Zakres przeprowadzonych badań eksperymentalnych należy ocenić bardzo wysoko. Autorka zastosowała szeroki zestaw metod badawczych umożliwiających kompleksową charakterystykę opracowanych materiałów.

W pracy przeprowadzono między innymi:

- pomiary właściwości reologicznych roztworów foliotwórczych,
- oznaczenia grubości, zawartości wody, rozpuszczalności oraz pęcznienia folii,
- badania kinetyki i izoterm adsorpcji pary wodnej,
- analizę kąta zwilżania,
- obserwacje mikrostruktury,
- pomiary właściwości optycznych,
- badania właściwości mechanicznych,
- oznaczenia właściwości barierowych,
- analizę termograwimetryczną,
- analizę FTIR,
- oznaczenia aktywności przeciwutleniającej,
- badania kinetyki uwalniania kwasów fenolowych,
- ocenę jakości pozbiorczej jabłek podczas przechowywania.

Metodyka badań została opisana szczegółowo i w sposób umożliwiający powtórzenie doświadczeń. Dobór metod analitycznych należy uznać za właściwy i adekwatny do postawionego celu pracy. Na szczególne podkreślenie zasługuje kompleksowość podejścia badawczego oraz połączenie badań podstawowych z oceną praktycznych możliwości zastosowania opracowanych materiałów.

Pozytywnie oceniam również zastosowanie odpowiednich metod analizy statystycznej wyników oraz właściwe opracowanie danych eksperymentalnych.

### **Ocena merytoryczna wyników badań**

Uzyskane przez Doktorantkę wyniki mają istotną wartość poznawczą oraz aplikacyjną.

Wykazano między innymi, że:

- kwasy fenolowe mogą pełnić funkcję skutecznych czynników sieciujących w materiałach opartych na pektynie jabłkowej,
- dodatek kwasów fenolowych wpływa na poprawę wybranych właściwości mechanicznych i barierowych folii,
- zastosowane dodatki ograniczają przepuszczalność światła i zwiększają potencjał ochronny materiałów,
- opracowane powłoki ochronne wpływają na ograniczenie strat masy jabłek oraz spowalniają procesy dojrzewania podczas przechowywania,
- powlekanie owoców umożliwia lepsze zachowanie jędrności oraz ograniczenie aktywności oddechowej.

Szczególnie cenne jest wykazanie zależności pomiędzy rodzajem zastosowanego kwasu fenolowego a właściwościami funkcjonalnymi otrzymanych materiałów. Wyniki badań wskazują, że odpowiedni dobór składników aktywnych pozwala na świadome kształtowanie właściwości materiałów powłokowych. Doktorantka trafnie wskazała na istotny wpływ budowy chemicznej zastosowanych kwasów fenolowych na właściwości otrzymanych materiałów i podjęła próbę interpretacji obserwowanych zależności w oparciu o strukturę tych związków. Jednak zagadnienie to nie zostało w pracy wyjaśnione w pełni mechanistycznie i może stanowić bardzo interesujący kierunek dalszych badań.

Na uwagę zasługuje również fakt, że Autorka nie ograniczyła się wyłącznie do charakterystyki materiałowej, lecz przeprowadziła praktyczną weryfikację skuteczności opracowanych powłok podczas przechowywania jabłek. Takie podejście znacząco zwiększa wartość aplikacyjną rozprawy.

Interpretacja wyników została przeprowadzona prawidłowo i poparta aktualną literaturą naukową. Autorka wykazała umiejętność krytycznej analizy danych eksperymentalnych oraz właściwego formułowania wniosków.

### **Uwagi krytyczne i dyskusyjne**

Otrzymane powłoki są wartościowym, oryginalnym i skutecznym rozwiązaniem, szczególnie w kontekście prostego typu „czysta etykieta” układu pektyna jabłkowa–kwas fenolowy oraz zastosowania dla całych jabłek *Golden Delicious* przechowywanych w temperaturze pokojowej. Ich skuteczność jest porównywalna z wieloma znanymi powłokami jadalnymi, ale w literaturze opisano również układy, zwłaszcza kompozytowe, wielowarstwowe, lipidowo-

biopolimerowe lub zawierające chitozan/olejki/ekstrakty roślinne, które w wybranych parametrach — szczególnie barierowości wobec pary wodnej lub trwałości przechowalniczej — osiągały lepsze wyniki.

Pomimo bardzo pozytywnej oceny rozprawy, w pracy można wskazać kilka elementów o charakterze dyskusyjnym lub wymagających doprecyzowania:

1. W części literaturowej przydatne byłoby bardziej syntetyczne zestawienie dostępnych w literaturze rozwiązań dotyczących aktywnych powłok opartych na pektynie wraz z porównaniem ich właściwości funkcjonalnych co zdecydowanie ułatwiłoby potwierdzenie oryginalności i porównanie otrzymanych wyników do prac innych autorów.
2. Należy zwrócić uwagę, że zastosowane w pracy kwasy fenolowe charakteryzowały się istotnie różnymi masami molowymi. Oznacza to, że przy stosowaniu identycznego dodatku masowego (0,25 g) liczba moli poszczególnych kwasów różniła się nawet o około 45%, co mogło częściowo wpływać na obserwowane różnice właściwości otrzymanych filmów. Dlatego w badaniach porównujących wpływ związków o odmiennej budowie chemicznej bardziej metodologicznie uzasadnione byłoby stosowanie stężeń równomolowych zamiast jednakowych dodatków masowych, co umożliwiłoby bardziej jednoznaczną interpretację wpływu struktury chemicznej poszczególnych kwasów na właściwości otrzymanych materiałów. Dodatkowo szkoda, że dla najlepszych układów nie pokuszono się o określenie weryfikacji optymalnej ilości zastosowanych kwasów fenolowych.
3. W pracy zabrakło szerszej dyskusji dotyczącej możliwości przemysłowego wdrożenia opracowanych rozwiązań oraz potencjalnych ograniczeń technologicznych związanych z ich aplikacją w warunkach przemysłowych.
4. Interesującym uzupełnieniem badań byłaby ocena trwałości mikrobiologicznej powlekanych owoców oraz analiza wpływu opracowanych powłok na rozwój mikroorganizmów podczas przechowywania.
5. Warto byłoby szerzej omówić ekonomiczne aspekty wykorzystania kwasów fenolowych w produkcji aktywnych materiałów opakowaniowych.
6. W kilku miejscach pracy można zauważyć drobne niedociągnięcia redakcyjne i stylistyczne, które jednak nie wpływają na ogólną wysoką ocenę rozprawy.

Powyższe uwagi mają charakter dyskusyjny i nie obniżają wartości naukowej przedstawionej rozprawy doktorskiej.

#### **Ocena dorobku publikacyjnego Doktorantki**

Dorobek publikacyjny Doktorantki związany z tematyką rozprawy należy ocenić bardzo wysoko. Publikacje stanowiące rozprawę zostały opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych indeksowanych w międzynarodowych bazach danych.

Na podkreślenie zasługuje zarówno liczba publikacji, jak i ich wysoka jakość naukowa. Uzyskany sumaryczny Impact Factor oraz liczba punktów ministerialnych świadczą o dużej aktywności naukowej Doktorantki i potwierdzają znaczenie prowadzonych badań.

Doktorantka wykazała się umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych, planowania eksperymentów, interpretacji wyników oraz przygotowywania publikacji naukowych. W mojej ocenie publikacje 2–4 nie stanowią jedynie „pracy odtwórczej” opartej na znanych układach, lecz reprezentują rzeczywisty wkład w rozwój wiedzy dotyczącej aktywnych biopolimerowych materiałów opakowaniowych i powłok ochronnych dla owoców klimakterycznych. Na podkreślenie zasługuje fakt, że mimo iż pierwsza z publikacji ukazała się zaledwie przed 17 miesiącami, cały cykl prac został już zacytowany łącznie 40 razy przez innych autorów, a publikacje były przeglądane ponad 13 tysięcy razy (łącznie 13 259 wyświetleń artykułów), co świadczy o dużym zainteresowaniu środowiska naukowego podjętą tematyką badawczą.

### **Podsumowanie i wniosek końcowy**

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Karoliny Mikus pt. „Biopolimerowe folie aktywne i ich zastosowanie jako powłoki ochronne w monitorowaniu jakości pozbiorczej jabłek” stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną Kandydatki w dyscyplinie technologia żywności i żywienia.

Doktorantka wykazała się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, właściwego doboru metod badawczych, krytycznej analizy wyników oraz formułowania poprawnych wniosków naukowych.

Rozprawa posiada istotną wartość poznawczą i aplikacyjną. Uzyskane wyniki mogą stanowić podstawę do dalszych badań nad aktywnymi materiałami opakowaniowymi oraz ich praktycznym wykorzystaniem w technologii żywności. Na uwagę zasługuje również fakt, że część zastosowanych kwasów fenolowych, w szczególności kwas kawowy, ferulowy, kumarowy i protokatechowy, naturalnie występuje w jabłkach oraz wyciekach jabłkowych podobnie jak sama powłokotwórcza pektyna, co dodatkowo wzmacnia koncepcję opracowania materiałów opartych na surowcach pochodzenia jabłkowego i wpisuje badania w założenia gospodarki o obiegu zamkniętym.

Stwierdzam, że przedstawiona rozprawa doktorska spełnia 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 z późn. zm.) oraz wymagania określone w Regulaminie przeprowadzania postępowań w sprawie nadania stopnia doktora w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. W związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Magdaleny Karoliny Mikus do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora w dyscyplinie technologia żywności i żywienia.



**PODPIS ZAUFANY**

**ARTUR  
BARTKOWIAK**  
25.05.2026 19:52:47 GMT+0200  
Dokument podpisany elektronicznie  
podpisem zaufanym