



Prof. dr hab. Janusz Kapuśniak  
Katedra Dietetyki i Badań Żywności  
Wydział Nauk Ścisłych, Przyrodniczych i Technicznych  
Uniwersytet Jana Długosza w Częstochowie  
ul. Waszyngtona 4/8  
42-200 Częstochowa

Częstochowa, 08.12.2025

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Patrycji Karoliny Pękali – Doktorantki  
w Interdyscyplinarnej Szkole Doktorskiej Nauk Rolniczych w Instytucie  
Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN w Lublinie  
pt. „Zmiany stopnia O-acetylacji niecelulozowych polisacharydów  
podczas rozwoju i dojrzewania owoców i ich wpływ na właściwości  
mechaniczne i mikrostrukturę tkanki roślinnej”**

**1. Podstawa formalna opracowania recenzji**

Recenzja została przygotowana na podstawie pisma Dyrektora Instytutu Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN prof. dr hab. Cezarego Stawińskiego, czł. koresp. PAN z dnia 19 listopada 2025 r. informującego mnie, że uchwałą Rady Naukowej Instytutu Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN z dnia 17 listopada 2025 r. zostałem powołany na funkcję recenzenta w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk rolniczych w dyscyplinie rolnictwo i ogrodnictwo wszczętego na wniosek mgr Patrycji Pękali.

**2. Ocena formalna rozprawy doktorskiej**

Rozprawa doktorska została przygotowana pod kierunkiem promotora dr hab. Moniki Szymańskiej-Chargot, prof. IA PAN. Stanowi ją cykl czterech publikacji naukowych:

1. Pękala, P., Szymańska-Chargot, M., Zdunek, A. (2023). Interactions between non-cellulosic plant cell wall polysaccharides and cellulose emerging from adsorption studies. *Cellulose*, 30, 9221-9239
2. Pękala, P., Szymańska-Chargot, M., Cybulska, J., Zdunek, A. (2025). Monosaccharide composition and degree of acetylation of non-cellulosic cell wall polysaccharides and their relationship to apple firmness. *Food Chemistry*, 470, 142639



3. Pękała, P., Szymańska-Chargot, M., Zdunek, A. (2025). Acetylated hemicelluloses and esterified pectin alterations in apple cell walls during the development of two apple cultivars: Insights from FT-IR, Raman spectroscopy, and imaging. *Food Chemistry*, 493, 146129
4. Szymańska-Chargot, M., Pękała, P., Myśliwiec, D., Cieśla, J., Pieczywek, P. M., Siemińska-Kuczer, A., Zdunek, A. (2024). A study of the properties of hemicelluloses adsorbed onto microfibrillar cellulose isolated from apple parenchyma. *Food Chemistry*, 430, 137116

Pierwsza praca ma charakter przeglądowy i została opublikowana w czasopiśmie *Cellulose*, którego współczynnik IF za 2023 r. wynosi 4,9, a punktacja zgodnie z listą MNiSW – 100 pkt. Trzy kolejne artykuły są pracami oryginalnymi. Wszystkie zostały opublikowane w czasopiśmie *Food Chemistry*, którego współczynnik IF za 2024 r. wynosi 9,8, a punktacja zgodnie z listą MNiSW – 200 pkt. W artykułach P1, P2 i P3 Pani magister jest pierwszym autorem. Do rozprawy Pani mgr Pękała dołączyła oświadczenia o udziale autorów w opracowaniu publikacji. W kwestii określania udziału procentowego współautorów w powstanie artykułu naukowego mam jednoznacznie wyrobioną negatywną opinię i próbuję ją przedstawić przy okazji każdej sporządzanej recenzji. Uważam, że ustalenie wkładu procentowego na poziomie 5% nigdy nie odzwierciedla rzeczywistego zaangażowania badacza w powstanie dzieła. Z drugiej strony suma udziałów nie może być większa od 100%. Dlatego jestem przekonany, że znacznie ważniejsze dla osoby czytającej artykuł naukowy, a także recenzenta w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego jest poznanie rzeczywistego zaangażowania poszczególnych współautorów w wykonanie konkretnych prac badawczych, omówienie wyników, wreszcie przygotowanie manuskryptu do druku. Chciałem podziękować Doktorantce za to, że w swojej rozprawie opisała swój wkład w powstanie każdej z publikacji. Z lektury oświadczeń wynika, że Pani magister zainicjowała podjęcie badań, których rezultatem były oceniane publikacje. Jej wkład w powstanie prac obejmował analizę danych literaturowych, współudział w opracowaniu koncepcji, metodyki i zakresu badań, przeprowadzenie badań laboratoryjnych, analizę i interpretację wyników badań, wiodący udział w procesie przygotowania, edycji i korekcie wszystkich czterech manuskryptów oraz statystyczne i graficzne opracowanie danych. Cykl czterech publikacji naukowych został uzupełniony o dwa dodatkowe rozdziały, które stanowią spoiwo łączące całość opracowania w jedną logiczną historię badawczą.



Struktura samej rozprawy doktorskiej jest poprawna i typowa dla tego typu opracowań naukowych. Pracę doktorską stanowi 183-stronnicowy manuskrypt zawierający typowe elementy, jak: wstęp, hipoteza badawcza i cele rozprawy doktorskiej, materiał i metody, omówienie wyników przedstawionych w publikacjach, omówienie wyników przedstawionych w materiałach uzupełniających, podsumowanie i wnioski, bibliografia, oświadczenia współautorów. Do opracowania zostały dołączone skany publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej. Ponadto Doktorantka przedstawiła swój życiorys naukowy.

Bardzo dobrze prezentuje się również aparat naukowy pracy. Rozprawa zawiera bogaty, aktualny i różnorodny zestaw cytowanej literatury. Wykorzystano zarówno klasyczne pozycje dotyczące struktury ściany komórkowej i chemii polisacharydów, jak i najnowsze publikacje eksperymentalne oraz prace teoretyczne dotyczące dynamiki oddziaływań polimerowych. Liczba pozycji bibliograficznych jest adekwatna do skali pracy — jest ich ponad sto, co świadczy o bardzo dobrej orientacji Autorki w literaturze przedmiotu oraz o umiejętności selekcji źródeł. Bardzo ważne jest także to, że Doktorantka cytuje prace z ostatnich dziesięciu lat, dotyczące najnowszych koncepcji struktury ściany i jej funkcjonowania. W tym sensie rozprawa jest w pełni osadzona w aktualnym stanie wiedzy.

Zastosowana hybrydowa forma rozprawy doktorskiej opartej z jednej strony na cyklu czterech publikacji naukowych, a z drugiej na materiałach dotychczas niepublikowanych jest z pewnością formą wymagającą od Doktorantki nie tylko umiejętności prowadzenia poszczególnych badań, ale również zdolności połączenia wyników z kilku odrębnych artykułów naukowych w jeden spójny obraz. W przypadku mgr Patrycji Pękali ta umiejętność została zademonstrowana w sposób dojrzały i niezwykle konsekwentny. Widać, że nie są to luźne, przypadkowe artykuły spięte ze sobą okładką, lecz przemyślana całość, w której każdy kolejny etap badawczy wynika logicznie z poprzedniego, a każdy rozdział rozprawy uzupełnia i dopełnia obraz powstającej koncepcji.

Ilustracje, wykresy, mapy Ramana oraz fotografie zostały przygotowane w sposób czytelny i estetyczny. Zostały też poprawnie opisane, a ich lokalizacja w tekście pozwala od razu odnieść je do prezentowanych wyników. Praca nie zawiera błędów technicznych, edytorskich czy językowych, które zakłócałyby odbiór tekstu. Styl naukowy jest poprawny, a jednocześnie nie nadmiernie hermetyczny. Autorka potrafiła przedstawiać skomplikowane kwestie w sposób przejrzysty i przemyślany.



Z formalnego punktu widzenia rozprawa jest więc przygotowana wzorowo i spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim, a nawet przewyższa je w zakresie kompletności, przejrzystości i dbałości o stronę edytorską.

### **3. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej**

Już lektura Wstępu pozwala stwierdzić, że Doktorantka dysponuje bardzo rozległą wiedzą z zakresu budowy ściany komórkowej i jej właściwości fizykochemicznych. Rozdział ten nie jest zwykłą kompilacją literatury, lecz starannie przemyślanym i bardzo przejrzystym napisanym wprowadzeniem, które prowadzi czytelnika przez złożone laboratorium, jakim jest ściana komórkowa. Autorka w sposób niezwykle obrazowy i zarazem merytoryczny opisuje rolę celulozy jako „szkieletu konstrukcyjnego” oraz hemiceluloz i pektyn jako macierzy odpowiedzialnej za elastyczność, spójność i dostosowywanie się struktury komórki do zmian zachodzących w czasie dojrzewania owoców. Warto podkreślić, że przegląd literatury jest bardzo aktualny, odwołuje się do najnowszych prac eksperymentalnych, a Autorka wyraźnie rozumie zarówno historyczny rozwój koncepcji budowy ściany, jak i najnowsze jej modele. Najważniejszym, z punktu widzenia tematyki rozprawy, wątkiem poruszonym we Wstępie jest rola acetylacji, czyli modyfikacji chemicznej polegającej na przyłączaniu grup acetylowych do szkieletu polisacharydowego. Autorka wyjaśnia, jakie są dotychczasowe hipotezy dotyczące wpływu acetylacji na interakcje polimerów w ścianie komórkowej, pokazując jednocześnie, jak niewiele badań eksperymentalnych dotyczy hemiceluloz, a zwłaszcza ich acetylowanych pochodnych. Przygotowana przez Panią mgr Pękałą rozprawa doktorska ma za zadanie wypełnienie tej luki badawczej.

Na podstawie przeglądu literatury Autorka sformułowała hipotezę badawczą, zgodnie z którą acetylacja polisacharydów niecelulozowych utrudnia ich oddziaływanie z mikrofibrylami celulozy, a tym samym zmniejsza integralność ściany komórkowej i tkanki roślinnej. Następnie Doktorantka zdefiniowała główny cel rozprawy, którym było określenie wpływu stopnia acetylacji polisacharydów niecelulozowych (hemiceluloz, pektyn) na właściwości mechaniczne i mikrostrukturę tkanki roślinnej. Autorka postawiła także cele szczegółowe badań, które próbowała osiągnąć w ramach realizacji prac badawczych, które złożyły się na trzy prace eksperymentalne oraz dodatkowo badania opisane w rozdziale 5. Zarówno hipoteza badawcza, jak i cele rozprawy doktorskiej zostały sformułowane jasno, konsekwentnie i logicznie. Należy w tym miejscu podkreślić, że Autorka nie unikała w kolejnych fragmentach pracy krytycznej oceny własnych założeń, co niewątpliwie jest cechą dojrzałości badawczej.



Bardzo mocną stroną pracy jest warsztat badawczy i zaplanowane prace eksperymentalne, które zostały szczegółowo opisane w rozdziale zatytułowanym Materiały i metody. Metodyka obejmowała: pobieranie materiału roślinnego i ocenę dojrzałości zbiorczej owoców (test jodowy, SSC, jędrność, sucha masa), sekwencyjną ekstrakcję frakcji polisacharydowych, analizę monosacharydów, wyznaczanie stopnia acetylacji i metylacji, spektroskopię FT-IR i Ramana, obrazowanie ramanowskie, charakterystykę mikrostrukturalną celulozy (potencjał zeta, krystaliczność), badania adsorpcji (kinetyka, równowaga, modelowanie izoterm), analiza statystyczna głównych składowych (PCA). Tak szeroki wachlarz metod świadczy o dużej samodzielności badawczej oraz o wyjątkowej dojrzałości naukowej Doktorantki, zwłaszcza że techniki takie jak obrazowanie Ramana wymagają dużego doświadczenia w interpretacji wyników.

Rozdział 4 rozprawy stanowi swoistego rodzaju przewodnik po publikacjach, które złożyły się na rozprawę doktorską. Jednym z najważniejszych osiągnięć tej części rozprawy doktorskiej są wyniki dynamiki zmian stopnia acetylacji hemiceluloz podczas dojrzewania i przechowywania jabłek. W wielu wcześniejszych badaniach skupiano się albo na degradacji pektyn, albo na roli enzymów hydrolitycznych, natomiast w rozprawie Pani mgr Pękali pojawiło się nowe podejście tj. monitorowanie zmian stopnia modyfikacji chemicznych, które nie polegają na degradacji łańcucha, lecz na bardziej subtelnych przekształceniach struktury. Uzyskane wyniki są bardzo klarowne, pokazują bowiem, że stopień acetylacji hemiceluloz wzrastał w terminach dojrzałości przedzbiorczej i pozbiorczego przechowywania oraz wykazywał negatywną korelację z jędrnością jabłek. Co ciekawe, zmiany te przebiegały inaczej w przypadku dwóch badanych odmian jabłek: Pinova i Idared, przy czym ta druga odmiana wykazywała wyraźnie większy spadek jędrności. Podczas trzymiesięcznego przechowywania jabłka odmiany Idared znacznie zmiękły. Kolejnym ważnym i wymagającym podkreślenia elementem ocenianej pracy są zaawansowane badania z wykorzystaniem metod spektroskopowych, w tym szczególnie z wykorzystaniem obrazowania Ramana. Technika ta, stosowana najczęściej w badaniach ściany komórkowej głównie w kontekście celulozy i lignin, została tutaj użyta do wizualizacji acetylowanych polisacharydów. Jest to osiągnięcie bardzo wartościowe, wymagające dużej wiedzy i umiejętności interpretacji pasm. Autorka potrafiła nie tylko zarejestrować widma, ale również je odróżnić, sklasyfikować i skorelować ze stanem fizjologicznym tkanek. Doktorantka nie tylko wykonywała mapy, ale potrafiła je zinterpretować w odniesieniu



do: lokalizacji pektyn nisko- i wysokoestryfikowanych, dystrybucji hemiceluloz acetylowanych i deacetylowanych, struktury ściany komórkowej i miejsc łączeń komórkowych. Obrazowanie Ramana umożliwiło Autorce wskazanie obszarów bogatych w acetylowane hemicelulozy oraz ich zmian w czasie przechowywania, co stanowi bardzo ważne osiągnięcie rozprawy doktorskiej. W interpretacji wyników badań spektroskopowych Autorka nie poprzestała na prostych korelacjach, lecz starała się osadzić obserwowane zjawiska w szerszym kontekście struktury ściany komórkowej. W szczególności należy docenić umiejętność rozróżnienia pasm pochodzących z hemiceluloz o różnym pochodzeniu, co jest zadaniem trudnym, a w wielu publikacjach realizowanym w sposób zdecydowanie mniej precyzyjny.

Najbardziej zaskakujące i jednocześnie najciekawsze merytorycznie okazały się jednak wyniki badań adsorpcyjnych opisane w rozdziale 5 rozprawy. Klasyczne modele sugerowałyby, że acetylacja powinna ograniczać możliwość tworzenia wiązań wodorowych, a więc powinna zmniejszać adsorpcję hemiceluloz na celulozie. Tymczasem Autorka wykazała z pełną wiarygodnością eksperymentalną, że dla najważniejszych hemiceluloz, takich jak glukomannan czy ksyloglukan, efekt ten jest odwrotny: niska acetylacja zwiększała ich zdolność adsorpcji. Wynik ten jest nie tylko intrygujący, ale otwiera nową linię interpretacyjną dotyczącą interakcji hydrofobowych, konformacji łańcuchów oraz elastyczności domen polisacharydowych. Autorka nie unika tej trudności interpretacyjnej — przeciwnie, stawia ciekawe i dobrze uargumentowane hipotezy dotyczące potencjalnych mechanizmów tego zjawiska. Stanowi to kolejny dowód na Jej dojrzałość naukową.

Rozprawa wyróżnia się wyraźną umiejętnością zestawienia wyników czysto chemicznych i spektroskopowych z wynikami pomiarów jędrności, które są kluczowe dla jakości przechowalniczej owoców. Taka korelacja nie jest trywialna — jędrność jest parametrem zależnym od wielu czynników, w tym od aktywności enzymów, struktury tkanki, zawartości wody, czy przebiegu stresów fizjologicznych. Tym bardziej imponujące jest, że Autorka potrafiła wyciągnąć z tego wieloczynnikowego układu jeden wyraźny element, który najwyraźniej wiąże się ze zmianami jędrności: rosnący stopień acetylacji hemiceluloz, zwłaszcza we frakcji rozpuszczalnej w chlorku litu w dimetylosulfotlenku, która jest szczególnie istotna dla struktury ściany komórkowej.

W kontekście merytorycznym rozprawa wnosi zatem bardzo istotny wkład do wiedzy o strukturze i dynamice zmian ściany komórkowej owoców, proponując nowy



mechanizm osłabienia tkanek związany nie z degradacją polimerów, lecz z ich chemiczną modyfikacją podczas przechowywania.

Do najbardziej nowatorskich i wartościowych elementów rozprawy zaliczyłbym: udokumentowanie zmian stopnia acetylacji hemiceluloz podczas dojrzewania i przechowywania jabłek, wykazanie negatywnej korelacji między acetylacją hemiceluloz a jędrnością owoców, zastosowanie spektroskopii Ramana i obrazowania ramanowskiego do rozróżnienia hemiceluloz acetylowanych i deacetylowanych, badania adsorpcyjne hemiceluloz i ich acetylowanych pochodnych na celulozie mikrofibrylarnej, opracowanie własnej metody acetylacji hemiceluloz oraz ich charakterystyki spektroskopowej. Do mocnych stron pracy należy niewątpliwie: doskonała znajomość literatury i kontekstu badawczego; zdyscyplinowana, logiczna konstrukcja rozprawy; wybitnie szeroka i zaawansowana metodyka; staranna interpretacja wyników spektroskopowych, często pomijana w pracach doktorskich; umiejętność łączenia danych strukturalnych, chemicznych i mechanicznych; oryginalność wyników i ich znaczenie dla nauki; wkład w rozwój wiedzy o ścianie komórkowej.

Jeśli chodzi o uwagi krytyczne, które oczywiście mają charakter konstruktywny i nie podważają w żaden sposób wartości rozprawy, to uważny czytelnik może odnieść wrażenie, że rozbieżność pomiędzy hipotezą zakładającą osłabienie oddziaływań acetylowanych polisacharydów niecelulozowych z mikrofibrylami celulozy, a wynikami badań adsorpcyjnych zasługuje na bardziej szczegółowe omówienie w końcowych częściach rozprawy. Ponadto warto byłoby rozszerzyć dyskusję o odniesienia do najnowszych prac opartych na symulacjach metodami dynamiki molekularnej, dotyczących konformacji acetylowanych hemiceluloz w roztworach i w kontakcie z powierzchniami celulozowymi. Niewielką słabością jest także ograniczenie się do dwóch odmian jabłek, choć ich wybór został logicznie uzasadniony poprzez zróżnicowane właściwości przechowalnicze.

W trakcie publicznej obrony pracy doktorskiej chciałbym zapytać Doktorantkę o znaczenie Jej pracy, jak również pewne ograniczenia: Jakie przesłanki skłoniły Panią do postawienia hipotezy, że acetylacja hemiceluloz może odgrywać kluczową rolę w utracie jędrności owoców podczas przechowywania? Jakie techniki analityczne chciałaby Pani dołączyć do swoich badań, gdyby dysponowała Pani nieograniczonymi możliwościami aparaturowymi? Jakie były najważniejsze ograniczenia Pani badań i w jaki sposób mogły one wpłynąć na interpretację wyników? Który z wyników swojej rozprawy uważa Pani za



najbardziej obiecujący i dlaczego? Jakie implikacje praktyczne dla przechowywania owoców mogą wynikać z Pani pracy? Czy uważa Pani, że acetylacja hemiceluloz mogłaby być wskaźnikiem do selekcji odmian o lepszej trwałości przechowalniczej?

#### 4. Ocena końcowa

Rozprawa doktorska mgr Patrycji Pękali stanowi wartościowe, oryginalne i spójne opracowanie naukowe, wnoszące **bardzo istotny wkład w rozwój dyscypliny rolnictwo i ogrodnictwo, w szczególności w rozwój wiedzy o strukturze roślinnej ściany komórkowej** oraz mechanizmach odpowiedzialnych za utratę jędrności owoców. Praca prezentuje bardzo wysoki poziom naukowy, metodyczny i edytorski. Praca doktorska mgr Pękali w pełni spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim, a przedstawione w niej wyniki mają znaczenie nie tylko poznawcze, lecz także aplikacyjne.

#### 5. Wniosek

W mojej ocenie przedstawiona do recenzji praca doktorska odpowiada wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim określonym w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.). W związku z powyższym wnoszę do Rady Naukowej Instytutu Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN w Lublinie o dopuszczenie mgr Patrycji Karoliny Pękali do dalszych etapów postępowania doktorskiego.

Jednocześnie w oparciu o zapisy § 5 ust. 6 dokumentu „Sposób postępowania w sprawie nadania stopnia doktora w Instytucie Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk” składam wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej pt. „Zmiany stopnia O-acetylacji niecelulozowych polisacharydów podczas rozwoju i dojrzewania owoców i ich wpływ na właściwości mechaniczne i mikrostrukturę tkanki roślinnej”. Rozprawa stanowi wyjątkowo wartościowe, nowatorskie i kompleksowe opracowanie zagadnienia zmian stopnia O-acetylacji polisacharydów niecelulozowych w trakcie rozwoju i przechowywania owoców oraz ich wpływu na właściwości mechaniczne i mikrostrukturę tkanki roślinnej. **Na wyróżnienie zasługuje zarówno oryginalność problemu badawczego, wysoka jakość warsztatu naukowego, jak i znaczenie praktyczne wyników.** Autorka badała zjawisko, które dotychczas w literaturze było opisywane bardzo powierzchownie – rolę hemiceluloz i ich acetylacji w kształtowaniu jędrności owoców oraz integralności ściany komórkowej. Większość dotychczasowych publikacji koncentrowała się na pektynach, pomijając hemicelulozy,



mimo ich istotnej funkcji strukturalnej. Rozprawa obejmuje zaawansowany zestaw technik badawczych, stosowanych łącznie bardzo rzadko nawet w literaturze międzynarodowej. Za wyróżnieniem rozprawy doktorskiej przemawia bardzo wysoka jakość dorobku publikacyjnego. Rozprawę stanowi cykl czterech artykułów opublikowanych w najwyższej punktowanych czasopismach (Food Chemistry – IF 9,8; Cellulose – IF 4,9). Łączna punktacja MNiSW publikacji wynosi 700 punktów, co jednoznacznie wskazuje na **wybitny dorobek naukowy** Autorki rozprawy doktorskiej. Uzyskane wyniki cechuje duża wartość poznawcza. Najważniejsze osiągnięcia to m.in.: wykazanie, że acetylowane hemicelulozy negatywnie korelują z jędrnością owoców, identyfikacja przestrzennego rozmieszczenia polisacharydów w ścianie komórkowej, potwierdzenie aktywnej roli acetylowanego glukomannanu w przebudowie ściany komórkowej, zrozumienie mechanizmów adsorpcji polisacharydów na mikrofibrach celulozy. **Są to rezultaty nowe, dobrze udokumentowane i mające potencjał stania się punktami odniesienia dla przyszłych badań nad strukturą ściany komórkowej owoców.**

Moim zdaniem poziom recenzowanej rozprawy doktorskiej wyraźnie przekracza standardowe wymagania stawiane pracom doktorskim, a tym samym rozprawa w pełni spełnia kryteria do jej wyróżnienia.