

Gliwice, 13.01.2026.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Martyny Krysy

Wstęp

Praca doktorska mgr Martyny Urszuli Krysy pt. „Wpływ dodatku związków biologicznie czynnych na strukturę i właściwości kompozytów na bazie celulozy mikrofibrylarniej i nanocelulozy” została zrealizowana w Instytucie Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk w Lublinie pod opieką dr hab. Moniki Szymańskiej-Chargot, prof. IA PAN. Pracę przygotowano jako przewodnik po trzech tematycznie spójnych publikacjach, w których Doktorantka jest pierwszym autorem. Ponadto została ona rozszerzona o badania uzupełniające, koherentne z tematem oraz wspomnianymi publikacjami.

Niniejszą ocenę przedstawiam w związku z powołaniem mnie przez Radę Naukową Instytutu Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk w Lublinie na recenzenta w dniu 15 grudnia 2025 r. Recenzję opieram na ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668).

Ocena merytoryczna pracy

Intensywna produkcja rolna stanowi jeden z filarów współczesnej gospodarki, której nadrzędnym celem jest zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego, a częściowo również energetycznego. Produkcja, transport i przechowywanie żywności wymagają stosowania materiałów umożliwiających zachowanie jej świeżości i przydatności do spożycia. Jednocześnie procesy przetwórstwa generują znaczne ilości odpadów, których racjonalna waloryzacja pozostaje od lat przedmiotem intensywnych badań. W tym kontekście idea gospodarki o obiegu zamkniętym jest obecnie jednym z kluczowych zagadnień, stanowiąc fundament polityki zrównoważonej produkcji i konsumpcji.

Praca doktorska mgr Martyny Urszuli Krysy doskonale wpisuje się w te nurty, łącząc poszukiwania możliwości wykorzystania prostych, powszechnie dostępnych surowców — takich jak celuloza — z nadaniem im nowych wartości użytkowych poprzez wzbogacenie w bioaktywne wyłoki roślinne. Utworzenie stosownych kompozytów na takiej drodze oraz ocena ich właściwości stały się przedmiotem analizy w kontekście zastosowań opakowań żywności.

Praca składa się z czterech zasadniczych części: wstępu, opisu materiałów i metod badawczych, omówienia własnych publikacji P1–P3 (które stanowią integralną część rozprawy), a także przedstawienia badań uzupełniających. Ponadto wyodrębniono hipotezę badawczą oraz podsumowanie wraz z wnioskami.

Politechnika Śląska
Wydział Chemiczny

ul. B. Krzywoustego 4, pok. 18, 44-100 Gliwice
+48 32 237 19 15 / +48 694 22 00 77
nikodem.kuznik@polsl.pl

NIP 631 020 07 36
ING Bank Śląski S.A. o/Gliwice 60 1050 1230 1000 0002 0211 3056

Wstęp teoretyczny wprowadza czytelnika w zagadnienia dotyczące polifenoli i celulozy, obejmując ich pochodzenie roślinne, budowę oraz znaczenie przemysłowe. Autorka w sposób klarowny i zrównoważony opisuje strukturę oraz właściwości celulozy, formy jej modyfikacji, a także obszary zastosowań w sektorze opakowań żywności. Wprowadzenie zostało przygotowane umiejętnie, z właściwie rozłożonymi akcentami między charakterystyką surowców a ich specyfiką funkcjonalną. Doktorantka swobodnie porusza się po złożonych zagadnieniach strukturalnych flawonoidów — co stanowi rozwinięcie wyników zawartych w publikacji P1 — budząc pełne przekonanie o jej kompetencjach merytorycznych i szerokiej perspektywie badawczej.

Z kolei część dotycząca celulozy stanowi uzupełnienie prac P2 i P3, obejmując opis jej morfologii oraz modyfikacji mechanicznych (m.in. homogenizacji) i chemicznych. W zakończeniu wstępu przedstawiono aktualny stan badań nad interakcjami polifenoli z celulozą, co stanowi solidny fundament do podjęcia badań własnych. Szczególnie wartościowa jest synteza aktualnego stanu wiedzy zawarta na s. 26, w której Autorka wskazuje istniejące luki badawcze oraz możliwe kierunki dalszej eksploracji.

Na stronie 17 przedstawiono ogólny schemat strukturalny fenoli, obrazujący potencjalne kierunki oddziaływań z innymi związkami. Zaznaczono na nim fragment aromatyczny jako główny element chromoforowy odpowiedzialny za absorpcję światła. W tym kontekście można byłoby dodatkowo wyróżnić grupę $-OH$ jako grupę auksokromową. Ponadto opis reaktywności budzi pewne wątpliwości (pytanie 1): atom tlenu z grupy $-OH$ oznaczono jako „potencjalny akceptor elektronów”, z kolei atom wodoru jako „potencjalny donor elektronów”. Zwracam się zatem z pytaniem, czy Doktorantka mogłaby podczas obrony przedstawić przykłady oddziaływań potwierdzających taki opis. Ponadto według schematu pierścieni aromatyczny miałby uczestniczyć jedynie w oddziaływaniach van der Waalsa, podczas gdy należałoby jeszcze oczekiwać udziału w oddziaływaniach typu $\pi-\pi$ lub $H-\pi$. Uprzejmie proszę o komentarz do tej kwestii.

Opis materiałów i metod został wykonany bardzo skrupulatnie. Tak przedstawiony warsztat badawczy sprzyja wysokiej powtarzalności i odtwarzalności wyników, a jednocześnie buduje wiarygodność prowadzonych prac. Na uznanie zasługuje również szeroki zakres technik analitycznych i eksperymentalnych, świadczący o interdyscyplinarności projektu. Autorka precyzyjnie opisuje pochodzenie surowców roślinnych oraz zakres ich przetwarzania. W mojej ocenie, ze względu na duże zróżnicowanie składu owoców pomiędzy odmianami jabłoni, warto byłoby w przyszłych badaniach uwzględniać informację o odmianie, udziale poszczególnych odmian w próbce oraz poziomie ich dojrzałości określonym za pomocą wystandaryzowanych skal. W tym miejscu chciałbym zapytać (pytanie 2), jaki parametr lub zestaw parametrów dojrzałości Doktorantka uznałaby za najbardziej przydatny do oceny jakości owoców. Czy któryś z testów wykorzystywanych w pracy mógłby pełnić taką funkcję? A może wystarczające byłoby proste oznaczenie refraktometryczne zawartości cukrów?

Zwracam również uwagę na metodę oznaczania zdolności antyoksydacyjnej według Biskupa (2013), omówioną w sekcji 3.2.2.4. Metoda ta odnosi się do rozpuszczalnych polifenoli; powstaje więc pytanie (pytanie 3), na ile jest ona adekwatna w odniesieniu do polifenoli obecnych w kompozytach celulozowych. Kluczową rolę odgrywa tutaj proces ekstrakcji. Czy czas ekstrakcji (30 min) został uprzednio zoptymalizowany? Spójność wyników uzyskanych różnymi metodami wydaje się przemawiać za zasadnością zastosowanej procedury, jednak z zainteresowaniem poznam argumenty Autorki przemawiające za takim doбором metodyki.

Publikacja P1: Krysa, M., Szymańska-Chargot, M., & Zdunek, A. (2022). FT-IR and FT-Raman fingerprints of flavonoids – A review. Food Chemistry, 393, 133430.

Publikacja ma charakter hybrydowy — łączy elementy przeglądowe i badawcze. Autorzy, przy znaczącym wkładzie intelektualnym i eksperymentalnym Doktorantki, podjęli się bardzo wymagającego zadania charakteryzacji flawonoidów metodami spektroskopii IR i Ramana. Kontekstem tych badań była obecność flawonoidów w produktach żywnościowych oraz ich istotna rola biologiczna, dietetyczna i technologiczna. W pracy dokonano klasyfikacji flawonoidów według podobieństwa szkieletów strukturalnych. Większość spośród omawianych związków to układy dwupierścieniowe z podstawionym pierścieniem fenylowym, a część z nich zawiera dodatkowo jednostki cukrowe. Autorzy zwracają uwagę na dwie cechy wspólne flawonoidów: ich właściwości przeciwutleniające wynikające ze zdolności do udziału w reakcjach redoks i tworzenia stosunkowo trwałych rodników, ich barwę oraz jej zależność od pH.

Analiza literatury uzupełniona badaniami własnymi doprowadziła do stworzenia bogatej, specyficznej dla każdego przedstawiciela grupy flawonoidów biblioteki widm IR i Ramana. Szczególną wartość stanowi wskazanie zakresów i sygnałów charakterystycznych umożliwiających jednoznaczną identyfikację poszczególnych związków. Co istotne, Doktorantka wielokrotnie wykorzystwała tę bibliotekę w swoich późniejszych badaniach, co stanowi dowód jej praktycznego znaczenia.

Wysoka liczba cytowań (194 cytowania na dzień 12.01.2026) jednoznacznie potwierdza uznanie społeczności naukowej dla wartości tej pracy.

Pozwolę sobie jednak odnotować jedno oczekiwanie badawcze: wartość publikacji byłaby jeszcze większa, gdyby opracowane techniki umożliwiały również ilościowy udział poszczególnych flawonoidów w mieszaninie. Czy Doktorantka widzi taką możliwość? (Pytanie 4).

Publikacja P2: Krysa, M., Szymańska-Chargot, M., Pieczywek, P. M., Adamczuk, A., Pertile, G., Frąc, M., Zdunek, A. (2025). The effect of surface adsorption of caffeic, chlorogenic, and gallic acids on the properties of cellulose- and nanocellulose-based films, Industrial Crops and Products, 224, 120349.

W pracy podjęto próbę oceny adsorpcji trzech związków polifenolowych na powierzchni celulozy oraz filmów utworzonych z nanocelulozy. Związki te mają wspólny charakter kwasowy i zawierają 2–3 grupy hydroksylowe przy pierścieniu benzenowym, różnią się jednak dodatkowymi podstawnikami – np. w kwasie kawowym obecny jest fragment winylowy, podobnie jak w kwasie chlorogenowym. Ten ostatni jest najbardziej polarny z uwagi na obecność fragmentu kwasu chinowego. W mojej ocenie modele te zostały bardzo trafnie dobrane i mogą mieć odniesienie do grup flawonoidów. Badania te stanowią pierwszy krok w kierunku zwiększenia użyteczności celulozy jako materiału do opakowań żywnościowych z wykorzystaniem naturalnych surowców. Ponadto Autorzy poświęcili wiele uwagi analizie zmian morfologii oraz tworzeniu nowych oddziaływań między komponentami. Ocena ewolucji widm celulozy po modyfikacji wymienionymi kwasami pozwoliła wyciągnąć wnioski dotyczące oddziaływań poprzez wiązania C–O i C–OH przy wyższych stężeniach kwasów. Zauważono również zmiany w zachowaniu grup CH₂ w analizie spektroskopowej.

Badania użytkowe, obejmujące ocenę właściwości mechanicznych, zwilżalności oraz aktywności antybakteryjnej, wykazały, że zastosowanie kwasu kawowego na poziomie 900 ppm w filmach nanocelulozowych jest optymalnym rozwiązaniem dla opakowań żywności. Praca ma wymiar poznawczy, ale przede wszystkim aplikacyjny. Wybór kwasu kawowego jako najlepszego „uszlachetniacza” celulozy nadaje kierunek dalszym badaniom. Strukturalne elementy tego dodatku wydają się konieczne dla uzyskania najlepszych właściwości użytkowych.

Drobny komentarz dotyczy zastosowania chemicznie czystych „uszlachetniaczy”. Wprawdzie nanoceluloza została wydzielona z wyłoków jabłkowych, jednak badane kwasy nie występują w przyrodzie w czystej postaci. Doktorantka, pod opieką prof. Szymańskiej-Chargot, była świadoma modelowego charakteru tych badań; dlatego w dalszych eksperymentach uwzględniono kompozyty zawierające składniki dostępne wprost z ogrodu, co zasługuje na szczególne uznanie.

Publikacja P3: Krysa, M., Szymańska-Chargot, M., Adamczuk, A., Pertile, G., Frąc, M., Zdunek, A. (2025). Properties of composites based on microfibrillar and nanofibrillar cellulose from apple pomace and two pairs of flavonoids – quercetin/rutin and naringin/naringenin in liposomal form, Food Research International, 221, 117335.

Praca ta stanowi kolejny krok w rozpoznaniu możliwości zastosowania celulozy jako naturalnego, biodegradowalnego materiału do pakowania żywności. Autorzy wykorzystali różnorodność flawonoidów, wzbogacając celulozę parami z grup flawonoli i flawononów. Substancje te naniesiono w postaci liposomów z użyciem lecytyny jako emulgatora.

Badania strukturalne ujawniły charakter oddziaływań między komponentami. Istotny okazał się homogeniczny charakter powierzchni, który był najlepszy w przypadku kwercytyny. Badania użytkowe, obejmujące ocenę hydrofobowości oraz ochrony przez światło, szczególnie w zakresie UV-C, również potwierdziły efektywność tego kompozytu. Co istotne, Autorzy potwierdzili progres w stosunku do wcześniejszych badań.

Należy docenić naukową intuicję Autorów, ich specjalistyczną wiedzę oraz umiejętności badawcze rozwijane przez Panią prof. Monikę Szymańską-Chargot i jej Zespół. Uwieńczeniem badań było naniesienie kompozytu na skórkę jabłek w postaci sprayu i ocena właściwości powłoki. Mikrometrowa warstwa nanocelulozy z kwercytyną, potwierdzona technikami Ramana, przyczyniła się do ochrony przed promieniowaniem w całym zakresie światła oraz zwiększenia hydrofobowości. Są to szczególnie korzystne cechy dla konserwacji świeżych owoców. Warto byłoby przedyskutować (pytanie 5), czy taką powłokę można łatwo usunąć prostymi metodami przed spożyciem owoców.

Badania uzupełniające: Badania uzupełniające oparto na hipotezie, że wyłoki zawierające flawonoidy o intensywnej barwie (aronia, czarne porzeczki, ciemne winogrona) mogą pełnić rolę bioindykatorów informujących o świeżości żywności.

Kompozyty przygotowano z nanocelulozy pozyskanej z wyłoków jabłkowych, lecytyny jako emulgatora oraz ekstraktów z wyżej wymienionych owoców. Uzyskane materiały poddano szeregowi badań fizykochemicznych i użytkowych, obejmujących: zawartość polifenoli, zdolność antyoksydacyjną, właściwości barierowe oraz korelację barwy kompozytu z produktami niepożądanego rozkładu żywności.

Badania te są niezwykle interesujące i wartościowe. Wyniki nie są jeszcze na poziomie gotowego materiału opakowaniowego, ale stanowią istotny krok w tym kierunku. Analiza interakcji poszczególnych składników dostarcza istotnej wiedzy w zakresie naturalnych opakowań bioresponsywnych i biodegradowalnych. Publikacja P1 wносиła wiedzę dotyczącą charakterystyki spektroskopowej czystych flawonoidów, zarejestrowane widma FT-IR pozwoliły na przybliżone oszacowanie frakcji poszczególnych klas flawonoidów, co jest warte podkreślenia.

Dodatkowo warto rozważyć zastosowanie innych metod, które umożliwiłyby weryfikację hipotezy dotyczącej oddziaływań grup –OH celulozy. Ponadto widma IR wykazują bardzo zróżnicowane intensywności – trudno powiązać je ilościowo z udziałem składników w próbce, jednak względna absorpcja kompozytu jest wyraźnie niższa niż poszczególnych komponentów zarejestrowanych oddzielnie. Warto byłoby omówić możliwe przyczyny tego efektu (pytanie 6).

Ocena strony formalnej i edytorskiej pracy

Dysertacja ma typowy układ pracy przewodnikowej opartej na monotematycznych publikacjach. Jest kompletna, zawiera pełny spis skrótów, spis treści, bibliografię oraz klarowny podział na rozdziały. Taki układ nadaje pracy wrażenie dojrzałej i starannie przemyślanej rozprawy naukowej.

Praca została napisana językiem fachowym, a zarazem przystępnym. Tekst czyta się płynnie, co świadczy o dobrym opanowaniu sposobu prezentacji wyników i formy pisemnej pracy naukowej. Strona edytorska jest schludna i czytelna; formatowanie jest konsekwentne, choć w niektórych tytułach stosowanie dwukropka wydaje się zbędne.

Pomimo ogólnej staranności, w dysertacji pojawiają się nieliczne błędy edytorskie i nomenklaturowe. Na przykład poprawny zapis chemiczny to „kwas siarkowy(VI)” (str. 20), a jednostki fizykochemiczne powinny być zapisane z odstępem od wartości liczbowej (np. str. 29). W tekście występują również drobne nieścisłości językowe: str. 18 – „pod kontem biostymulatorów” (poprawnie: „pod kątem biostymulatorów”), str. 45 – „celulozę nanofibrylarną oczyszczoną” (bardziej zgrabnie: „oczyszczoną nanofibrylarną celulozę”), natomiast w zdaniu na str. 66 – „znaczący wpływ na adsorpcję na powierzchni filmu celulozowego ma ilość i lokalizacja grup wodorotlenowych” – wskazane byłoby doprecyzowanie, czego dokładnie dotyczy adsorpcja.

Wszystkie te uwagi mają charakter drobnych korekt redakcyjnych i nie utrudniają odbioru tekstu ani nie zmniejszają jego wartości merytorycznej. Zachęcam Doktorantkę do uwzględnienia tych sugestii w przyszłych publikacjach i tekstach naukowych, co dodatkowo podkreśli profesjonalizm i dbałość o precyzję językową.

Ocena dorobku naukowego

Doktorantka posiada solidny dorobek publikacyjny oraz wartościowe doświadczenie badawcze. Potwierdzeniem jej otwartości jest ukończenie studiów I i II stopnia na UMCS a realizacja pracy doktorskiej w innej jednostce naukowej, tj. w Instytucie Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego PAN w Lublinie. Ponadto w 2022 roku odbyła dwutygodniowy staż na renomowanej szwedzkiej uczelni oraz uczestniczyła w realizacji projektu OPUS15 NCN.

Wyniki swoich badań Doktorantka zaprezentowała na licznych konferencjach, w tym międzynarodowych, otrzymując wyróżnienia za swoje prezentacje. Warto również podkreślić, że pierwszą publikację naukową uzyskała jeszcze podczas studiów magisterskich.

Wszechstronna działalność Pani Krysy obejmuje także liczne inicjatywy organizacyjne i popularyzatorskie, co świadczy o silnej identyfikacji ze środowiskiem naukowym oraz dużej motywacji do jego współtworzenia.

Pewną luką w dotychczasowej działalności jest brak zgłoszenia wynalazku w Urzędzie Patentowym. Opisane w pracy kompozyty, w tym te opracowane w badaniach uzupełniających, mają niewątpliwie duży potencjał aplikacyjny. Zachęcam więc, aby w przyszłości osiągnięcia o takiej wartości intelektualnej zostały poddane ochronie prawnej.

Mimo tego dorobek Doktorantki należy ocenić jako wszechstronny, bogaty i potwierdzający wysoką świadomość naukową młodej Badaczki.

Podsumowanie i rekomendacja

Praca doktorska mgr Martyny Krysy zawiera istotne elementy nowości naukowej, które obejmują opracowanie metodyki otrzymywania nowych kompozytów opartych na celulozie i jej frakcjach, wzbogaconych w polifenole, w tym kwasy i flawonoidy, przy wykorzystaniu bogatego doświadczenia Zespołu badawczego pod kierunkiem prof. Szymańskiej-Chargot. Wyniki pracy stanowią ważny wkład w zrozumienie interakcji i funkcji naturalnych dodatków do celulozy pochodzenia roślinnego, których modyfikacje umożliwiają zastosowanie jej w roli materiałów opakowaniowych w sektorze żywności. Dysertacja została przygotowana w klasycznej formie rozprawy naukowej, a uzyskane wyniki znalazły odzwierciedlenie w recenzowanych publikacjach naukowych.

Stwierdzam, że przedłożona praca doktorska spełnia wymagania określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018, poz. 1668) i wnoszę do Rady Naukowej Instytutu Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk o dopuszczenie mgr Martyny Krysy do publicznej obrony pracy doktorskiej oraz o dalsze procedowanie przewodu doktorskiego.

Wniosek o wyróżnienie

Realizacja ambitnego zadania badawczego, obejmującego charakterystykę flawonoidów, zbadanie wpływu kwasów polihydroksylowych i flawonoidów na właściwości użytkowe celulozy oraz analizy interakcji będących ich przyczyną, stanowi wyróżniający się aspekt naukowy pracy doktorskiej mgr Martyny Krysy. Na szczególne uznanie zasługuje również imponujący dorobek naukowy Doktorantki oraz jej bogate doświadczenie w realizacji badań w ramach projektu OPUS15 NCN. Prezentacja wyników na konferencjach naukowych oraz działania na rzecz popularyzacji wiedzy dodatkowo podkreślają jej aktywność i zaangażowanie w środowisko naukowe.

Tak bogaty i dojrzały dorobek stanowi w mojej ocenie ponadprzeciętne osiągnięcie badawcze, w pełni uzasadniające wniosek o wyróżnienie pracy doktorskiej mgr Martyny Krysy przez Radę Naukową Instytutu Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk.