

Profesor dr hab. inż. Dorota Gumul

Katedra Technologii Węglowodanów i Przetwórstwa Zbóż

Wydział Technologii Żywności

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Ul. Balicka 122

30-149 Kraków

Ocena rozprawy doktorskiej

mgr Martyny Urszuli Krysy

**pt.” WPŁYW DODATKU ZWIĄZKÓW BIOLOGICZNIE CZYNNYCH NA
STRUKTURĘ I WŁAŚCIWOŚCI KOMPOZYTÓW NA BAZIE CELULOZY
MIKROFIBRYLARNEJ I NANOCELULOZY „**

**THE INFLUENCE OF THE BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS ADDITIVES
ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF COMPOSITES BASED ON
MICROFIBRILLAR CELLULOSE AND NANOCELLULOSE**

wykonanej pod kierunkiem dr hab. Moniki Szymańskiej-Chargot, prof. IA PAN

w Instytucie Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN w Lublinie

Podstawa wykonania recenzji

Podstawą wykonania recenzji było pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Instytutu Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN w Lublinie prof. dr hab. Wiesława Oleszka, czł. rzecz. PAN z dnia 15 grudnia 2025 roku.

Recenzję wykonano w oparciu o Ustawę z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dziennik Ustaw z 2024 poz. 1571 z późniejszymi zmianami).

Recenzja została wykonana na podstawie przesłanych materiałów obejmujących rozprawę doktorską w formie papierowej wraz z kopiami trzech publikacji i oświadczeniami współautorów wraz z częścią dodatkową, która obejmuje badania uzupełniające (niepublikowane). Całość stanowi osiągnięcie naukowe spójne tematycznie. Nadmieniam, że Autorka dostarczyła tożsamą wersję elektroniczną na nośniku elektronicznym.

Ocena wyboru tematyki badawczej opiniowanej rozprawy doktorskiej

Opakowania do żywności pełnią szereg ważnych funkcji, bowiem stanowią ochronę produktu przed niekorzystnym działaniem czynników zewnętrznych i wewnętrznych, stanowią o wygodzie i funkcjonalności produktu, jak również pełnią funkcję informacyjną. Aktualnie w świecie nauki obserwuje się trend proekologicznych opakowań mających na celu ograniczenie użycia opakowań syntetycznych na rzecz opakowań na bazie biopolimerów. Stanowi to obiecującą alternatywę dla niebiodegradowalnych folii z tworzyw sztucznych oraz pozwoli ograniczyć powszechnie zanieczyszczenie środowiska plastikiem jak również mikro i nanoplastikiem. Pozyskanie biopolimerów do tych folii z odpadów produkcyjnych wpisuje się dodatkowo w bieżący trend technologii *zero waste*, który pojawia się nie tylko w nauce, ale również w zastosowaniach praktycznych. Z drugiej strony rosnące wymagania konsumentów sprawiają, że opakowania zarówno w swojej formie i funkcjonalności powinny być coraz bardziej zaawansowane oraz aktywnie oddziaływać na produkt celem przedłużenia terminu przydatności do spożycia produktów spożywczych, utrzymywać odpowiednią jakość wraz z bezpieczeństwem zdrowotnym żywności. Dlatego też odpowiedzią na potrzeby rynkowe było zainteresowanie się innowacyjnymi rozwiązaniami nazwanymi opakowaniami aktywnymi, czy inteligentnymi. Te ostatnie informują konsumenta o warunkach panujących na zewnątrz jak i wewnątrz opakowania i pozwalają oceniać w czasie rzeczywistym jakość zapakowanego produktu i jego bezpieczeństwo żywnościowe bez konieczności otwierania opakowania. Tego rodzaju opakowania nie tylko pozwalają monitorować na bieżąco jakość żywności, w tym bezpieczeństwo zdrowotne, ale również mogą realnie przyczynić się do zmniejszenia ryzyka zatrucia pokarmowych, zredukować marnotrawienie żywności oraz polepszyć logistykę. Dlatego też zainteresowanie się tym tematem przez Doktorantkę oraz próby otrzymania biokompozytów (z celulozy odzyskanej z biomasy a następnie jej modyfikacje) na bazie nano i mikrofibrylarnej celulozy w połączeniu z polifenolami celem zbadania interakcji i oddziaływań pomiędzy biopolimerem, którym jest zmodyfikowana celuloza oraz polifenolem, jak również określenie podstawowych właściwości wytworzonych biokompozytów w kontekście ich potencjalnej aplikacji w żywności uważam za bardzo zasadne, zwłaszcza że wpisuje się to w najnowsze trendy badań w literaturze światowej, które dotyczą innowacyjnych opakowań stosowanych w żywności.

Ocena pracy doktorskiej pod względem formalnym

Rozprawę doktorską stanowi zbiór trzech opublikowanych prac, które pomyślnie przeszły ocenę międzynarodowych recenzentów, jak również badania uzupełniające (niepublikowane) powiązanych tematycznie i przedstawionych pod wspólnym tytułem „*Wpływ dodatku związków biologicznie czynnych na strukturę i właściwości kompozytów na bazie celulozy mikrofibrylarnej i nanocelulozy*”

Krysa, M., Szymańska-Chargot, M., i Zdunek, A.: FT-IR and FT-Raman fingerprints of flavonoids – A review. Food Chemistry, 2022, Volume 393, 133430. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.133430>

Krysa, M., Szymańska-Chargot, M., Pieczywek, P. M., Adamczuk, A., Pertile, G., Frąc, M., Zdunek, A. The effect of surface adsorption of caffeic, chlorogenic, and gallic acids on the properties of cellulose- and nanocellulose-based films, Industrial Crops i Products, 2024, Volume 224, 120349. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.120349>

Krysa, M., Szymańska-Chargot, M., M., Adamczuk, A., Pertile, G., Frąc, M., Zdunek, A. 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, 2025, Volume 221, 117335. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.117335>

Opiniowana praca doktorska przygotowana jest na podstawie trzech ww. publikacji oraz badań uzupełniających - niepublikowanych (dotyczących biokompozytów z ekstraktami pochodzącymi z wyłoków owocowych jako bioindykatorów) i obejmuje łącznie 144 strony, w tym 12 rysunków jak również kserokopie trzech publikacji.

Praca została podzielona na: streszczenie w języku polskim i angielskim, wprowadzenie, w którym przedstawiono zagadnienia teoretyczne związane z pracą, hipotezę oraz cele badań, materiał i metody badawcze (dla części opublikowanej i niepublikowanej), omówienie wyników zarówno związanych z badaniami opublikowanymi i niepublikowanymi, podsumowanie i wnioski, jak również bibliografię (załączniki: kserokopie publikacji, oświadczenia współautorów publikacji, informacja o dorobku naukowym Kandydatki)

Moim zdaniem przyjęty układ pracy jest poprawny oraz nie budzi zastrzeżeń.

Autorka cytowała łącznie 103 pozycje literaturowe będące bezpośrednio związane z realizowanym tematem badawczym. Bardzo obszerna i wszechstronnie cytowana literatura obejmuje przede wszystkim pozycje z ostatnich lat (od 2019 do 2025). Wszystkie z cytowanych pozycji są w języku angielskim, a większość z nich opublikowano w renomowanych czasopismach z tzw. listy filadelfijskiej o dużym współczynniku Impact Factor, co stanowi fundament do przygotowania pracy doktorskiej o odpowiedniej wartości merytorycznej.

Praca doktorska pod względem językowym zawiera pewne błędy stylistyczne i gramatyczne, niemniej jednak nie umniejszają one w żadnym stopniu wartości merytorycznej pracy. Przykłady tych błędów wymieniono poniżej:

- str. 16, akapit 2, linia 3 „Definiuje się je, jako grupę związków, które posiadają pierścień aromatyczny z dwiema lub większą ilością grup hydroksylowych” bardziej poprawne określenia;” charakteryzują się, odznaczają się , wykazują”

- str. 16, akapit 2, linia 11 " Ponadto umiejscowione..." – raczej zlokalizowane
- str. 27, akapit 1, linia 22 "Ich adsorpcja na powierzchni filmu celulozowego mogłaby umożliwić wytwarzanie kompozytów o dodatkowych, korzystnych w kontekście przechowywania żywności właściwościach" – powinno być „Ich adsorpcja na powierzchni filmu celulozowego mogłaby umożliwić wytwarzanie kompozytów o dodatkowych, korzystnych właściwościach podczas przechowywania żywności,,
- str. 54, akapit 1, linia 7 „, Interesującym wynikiem jest ogólna zawartości fenoli w ekstraktach (TPC) „, powinno być - "Interesującym wynikiem jest ogólna zawartości polifenoli w ekstraktach (TPC)"
- str. 54, akapit 1, linia 12 „Inny stosunek wartości między ekstraktami w porównaniu do stosunku suchej masy liofilizatów może wynikać z faktu, że sama metoda Folina-Ciocalteu (TPC) jest metoda niespecyficzną tzn. reaguje nie tylko z polifenolami ale również z aromatycznymi aminami, aminokwasami..." - to nie metoda reaguje tylko odczynnik Folina-Ciocalteu z innymi związkami – proszę o przeredagowanie zdania.
- str. 56, akapit 1, linia 1 „Zgodność wyników ogólnej zawartości fenoli (TPC)..." powinno być- „Zgodność wyników ogólnej zawartości polifenoli (TPC)"...

Ocena merytoryczna pracy doktorskiej

Tytuł pracy

Tytuł pracy doktorskiej w mojej ocenie nie budzi zastrzeżeń i nie mam uwag.

Streszczenie

Na początku streszczenia powinno być zdanie wprowadzające, podające przyczynę dlaczego zajęto się zagadnieniem związanym z biokompozytami (z biopolimerów) w połączeniu z polifenolami. Chociaż jest to dość szeroko opisane na stronie 23 sekcji Wstęp to wydaje się, że tego typu stwierdzenie powinno być zawarte w streszczeniu.

Wstęp i część teoretyczna

Uważam, że wybór tematu zwieńczony napisaniem dysertacji doktorskiej jest bardzo dobry i nader aktualny, ponieważ brakuje holistycznego podejścia do oceny zarówno budowy struktury, interakcji jak i właściwości aplikacyjnych biokompozytów w połączeniu z polifenolami, a następnie ich aplikacji w technologii żywności. W mojej opinii przedstawione w dalszej części wyniki badań mogą mieć istotne znaczenie dla szerokiego i właściwego wykorzystania tego typu biokompozytów jako opakowań inteligentnych w żywności. Niemniej jednak w obowiązku Recenzenta postanowiłam przytoczyć kilka uwag:

We Wstępie w podrozdziale 1.1. Doktorantka powinna zamieścić pełną klasyfikację polifenoli. Ponadto w podrozdziale 1.2. Wstępu dotyczącego właściwości i roli polifenoli w

przemysle skupiono się głównie na przemyśle niespożywczym, a przecież praca dotyczy folii inteligentnych dla przemysłu spożywczego. Dlatego *de facto* należało omówić szerzej zastosowanie związków polifenolowych w żywności ze względu na ich chemoprewencyjne właściwości. Niestety ograniczono się tylko do stwierdzenia, że te związki bioaktywne używane są do żywności jako barwniki celem podniesienia atrakcyjności produktów spożywczych, a nie jest to prawdą. Stąd moje pierwsze pytanie do Kandydatki - proszę o omówienie aplikacji polifenoli w żywności jako związków, które przyczyniają się do podniesienia właściwości prozdrowotnej produktów. W dalszej kolejności mgr Martyna Krysa opisuje budowę, właściwości fizykochemiczne oraz modyfikacje celulozy w sposób syntetyczny, trafnie zwracając uwagę na wady i zalety tego biopolimeru w kontekście zastosowania go jako folii. W kolejnym zaś podrozdziale 1.6. Wstępu wyjaśniono dlaczego zajęto się tymi opakowaniami biodegradowalnymi wskazując, że jest to alternatywa dla opakowań syntetycznych. W ostatnim podrozdziale Wstępu przybliżono biokompozyty na bazie celulozy oraz nanocelulozy i polifenoli posługując publikacjami własnymi jak i publikacjami innych autorów kończąc ten podrozdział racjonalnym spostrzeżeniem, że nie ma łatwej odpowiedzi na pytania jaka jest interakcja, oddziaływanie pomiędzy celulozą, a polifenolem oraz czy pozyskanie celulozy z biomasy i jej modyfikacja, a następnie połączenie z polifenolem będzie charakteryzowało się odpowiednimi właściwościami, aby taki materiał w perspektywie wykorzystać w żywności. Te właśnie spostrzeżenia stanowią prelude do sformułowania hipotezy badawczej, celów dysertacji oraz zakresu badań pracy doktorskiej, które znajdują się w dalszej części tej pracy.

Hipoteza badawcza jest słusznie przedstawiona, a cele rozprawy doktorskiej w ilości sześciu są dobrze dobrane oraz właściwe i logicznie postawione. Najpierw wg Kandydatki była próba opracowania biokompozytu z odpadów przemysłowych, następnie modyfikacja oraz adsorpcja na nim substancji polifenolowych, porównanie właściwości matrycowych zmodyfikowanej celulozy jako nośnika substancji bioaktywnych polifenolowych, a następnie wyjaśnienie interakcji molekularnych pomiędzy celulozą, a wybranymi polifenolami, później określenie właściwości funkcjonalnych biokompozytów, aby finalnie wybrać najbardziej obiecujący i zastosować go w technologii żywności.

Uważam, że podjęty temat jest bardzo interesujący, wykazuje zarówno aspekty poznawcze (naukowe) jak i aplikacyjne czyli praktycznie, a jak powszechnie wiadomo ważna jest koniunkcja nauki z praktyką (badania częściowe finansowane z projektu NCN).

Moim zdaniem jako Recenzenta przyjęte założenie pracy, hipoteza oraz cele jak również zakres badań nie budzą zastrzeżeń, a poszczególne części składają się w logiczną całość. Ale nurtuje mnie pytanie, które jest kolejnym dla Doktorantki - dlaczego właśnie te kwasy fenolowe i flawonoidy zostały wybrane spośród prawie 8 tysięcy zw. polifenolowych, co stanowiło kryterium doboru tych związków bioaktywnych do badań przedstawionych w dysertacji doktorskiej.

Material i metody badawcze

W pracy wykorzystano na ogół metody badań aktualnie stosowane w publikacjach o zasięgu krajowym i międzynarodowym w tym również metody z wykorzystaniem specjalistycznej aparatury pomiarowo - kontrolnej (między innymi spektroskopie FT-IR i FT-Ramana, skaningowy mikroskop elektronowy itd.) W mojej opinii jako Recenzenta w pracy znajduje się szereg właściwie dobranych metod badawczych, które zostały podzielone na analizy interakcji molekularnej otrzymanych biokompozytów poprzez zastosowanie spektroskopii FT-IR i spektroskopii FT-Ramana, które są metodami komplementarnymi, przez co są idealnymi do badań różnych aspektów struktury molekularnej, dając pełniejszy obraz molekularny analizowanych filmów kompozytowych. Kolejnymi badaniami zastosowanymi przez Autorkę były badania powierzchni z wykorzystaniem skaningowej mikroskopii elektronowej, mikroskopii Ramana, pomiaru zwilżalności powierzchni oraz zdolności antyoksydacyjnej. Następnie wykonano badania barierowe czyli zdolność barierową biokompozytów wobec światła, wobec przepuszczalności pary wodnej jak również przeanalizowano właściwości hamujące rozwój drobnoustrojów. Dodatkowo wykonano badania mechaniczne dotyczące wytrzymałości folii biokompozytowych.

W obowiązku Recenzenta pragnę zwrócić uwagę na pewne niedociągnięcia w metodykach. Moje uwagi do tej części pracy są następujące:

Przy otrzymywaniu i oczyszczaniu pulpy celulozowej z wytloku jabłkowego nie podano wydajności tego procesu, która jest bardzo istotna z ekonomicznego punktu widzenia.

Ponadto przy sporządzeniu filmów biokompozytowych nie omówiono również sposobu przechowywania tych folii przed przystąpieniem do analiz.

Przy oznaczeniu zdolności antyoksydacyjnej powierzchni filmów biokompozytowych nie opisano czym stabilizowano ABTS (czyli kationorodnik).

Dodatkowo przy oznaczeniu przepuszczalności światła w zakresie UV-VIS nie podano co jest punktem odniesienia (czy była to pusta kuweta?).

Do pełnego zobrazowania właściwości aplikacyjnych należało oznaczyć zawartość wody w filmach biokompozytowych, rozpuszczalność i stopień pęcznienia, jak również szybkość biodegradacji tego typu kompozytów w glebie. W opinii Recenzenta brak tych informacji stanowi pewną lukę w przeprowadzonych badaniach, ale też należy wytłumaczyć Autorkę, że w przypadku tych ostatnich badań dotyczących szybkości biodegradacji biokompozytów w glebie byłyby to badania czasowe dość długotrwałe, stąd też najprawdopodobniej nie poruszono tej kwestii.

Dodatkowo w badaniach uzupełniających (niepublikowanych) dotyczących otrzymania biokompozytu mogącego pełnić funkcję bioindykatora, wskazującego na psucie się żywności w czasie rzeczywistym używając do tego celu antocyjanów z wytloków owoców kolorowych, rozszerzono metodyki o przygotowanie ekstraktu z wytloków owoców kolorowych, analizę wydajności ekstrakcji oraz zawartości polifenoli ogółem oraz antocyjanów w ekstraktach. Następnie wytworzono biokompozyt z udziałem wyżej wymienionych ekstraktów, w których oprócz interakcji molekularnych oznaczono zdolność antyoksydacyjną, zmianę koloru w zależności od zmiany pH przy symulowanym teście

zepsucia oraz przeprowadzono badania barierowe ww. biokompozytu (przepuszczalność dla światła, kąt zwilżania, przepuszczalność dla pary wodnej). Pewnym niedociągnięciem w metodyce badań uzupełniających było niezbyt konsekwentne przedstawienie metodyki, bowiem wydajność ekstrakcji, zawartość związków polifenolowych i antocyjanów w ekstraktach wiązały się z ekstraktami, dlatego powinny być omówione po przygotowaniu ekstraktów. Następnie pozostałe metodyki związane z filmem biokompozytowym powinny być objaśnione w dalszej części tej sekcji.

Szkoda, że Doktorantka nie zastosowała w ocenie parametrów barwy skali CIE ($L^*a^*b^*$) (użycie np. spektrofotometru CM-3500d, Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan) bardzo popularnej w badaniach barwy płynów, proszku, opakowań w przemyśle spożywczym zarówno w kontekście badań barwy biokompozytów z kwasami fenolowymi, flawonoidami jak również finalnie później z antocyjanami. Owszem były oznaczenia RGB w kontekście zmian koloru tylko tych ostatnich biokompozytów. Dlatego też kolejnym pytaniem do Autorki jest prośba o porównanie tych dwóch metod określenia barwy produktu czyli oznaczenia RGB w kontekście zmian koloru i oznaczenia parametrów barwy w systemie CIE ($L^*a^*b^*$).

Ponadto zauważyłam jako Recenzent, że wycinki owocowe po wyschnięciu zostały rozmielone w młynie kulowym, czyli została tutaj dodatkowo zastosowana mikronizacja materiału biologicznego. Pewnym błędem był fakt, że nie oznaczono rozmiarów tych powstałych cząstek np. w laserowym analizatorze wielkości ziaren. Mam nadzieję, że ta mikronizacja zwiększyła wydajność ekstrakcji polifenoli, zwłaszcza antocyjanów z tych wycinków i właśnie w tym aspekcie była tutaj wykorzystana. Chyba, że Doktorantka miała co innego na myśli, dlatego prosiłabym o wyjaśnienie tego zagadnienia.

Konkludując, zastosowane wyżej wymienione metody badawcze przez Doktorantkę świadczą o jej umiejętności doboru metod badawczych, które z jednej strony będą charakteryzować strukturę biokompozytów, a z drugiej pozwolą ocenić ich właściwości aplikacyjne, czyli te, które są niezwykle cenne przy ich potencjalnym zastosowaniu w przemyśle.

Wyniki i dyskusja

Przedstawiona dyskusja wyników jest poprawnie przeprowadzona i wsparta odpowiednimi źródłami literaturowymi. W pierwszej części dyskusji Doktorantka omawia wyniki przedstawione w trzech publikacjach, aby w dalszej części przedyskutować badania uzupełniające – niepublikowane.

Pierwsza z trzech publikacji składających się na osiągnięcie to publikacja przeglądowa, która dotyczy analiz widm spektroskopowych dla struktur chemicznych flawonoidów i stanowi swoiste doprecyzowanie charakterystycznych pasm dla tych związków, niezbędnych do ich prawidłowej identyfikacji w małych ilościach, w krótkim czasie, co jest niezwykle pomocne dla przemysłu farmaceutycznego, kosmetycznego i spożywczego.

W drugiej publikacji Autorka badała wpływ trzech fenolokwasów w dwóch różnych stężeniach na strukturę i właściwości powierzchniowe, barierowe i mechaniczne biokompozytów jako potencjalnych opakowań, słusznie dostrzegając różnice w ich wpływie na wyżej wymienione właściwości. Szczególną uwagę Doktorantka zwróciła na dwa fenolokwasy to jest kwas kawowy, który z nanocelulozą dawał dość sztywny biokompozyt, hydrofobowy, o homogenicznym uporządkowaniu tego kwasu fenolowego na powierzchni biokompozytu z wyraźną barierowością w stosunku do drobnoustrojów, zwłaszcza bakterii, ale o słabych właściwościach antyoksydacyjnych. Z kolei kwas galusowy przyczynił się do otrzymania biokompozytu o dużej elastyczności o silnych właściwościach antyoksydacyjnych, ale również o znacznej hydrofilności co zagroziło właściwościom barierowym w stosunku do drobnoustrojów. Stąd moje kolejne pytanie do Doktorantki - dlaczego kwas galusowy był fenolokwasem który spowodował najsilniejsze właściwości antyutleniające w filmie celulozowym w relacji do dwóch pozostałych kwasów fenolowych (chlorogenowego i najgorzej pod tym względem wypadającego kwasu kawowego)(str. 40 i 41 w sekcji 4. Omówienie wyników przedstawionych w publikacjach, 4.2 Publikacja P2).

Kolejna publikacja dotyczyła analizowania właściwości kompozytów na bazie mikrofibrylarniej i nanofibrylarniej celulozy z dodatkiem flawonoidów aplikowanych w formie liposomalnej. Doktorantka trafnie zauważyła różnicę w oddziaływaniach pomiędzy poszczególnymi flawonoidami, a celulozą tłumacząc to ilością grup hydroksylowych w poszczególnych flawonoidach, rozmiarem ich cząsteczki oraz przestrzenną strukturą tych związków bioaktywnych. Ponadto przebadła właściwości barierowe otrzymanych biokompozytów potwierdzając, że dodatek różnych flawonoidów będzie odmiennie wpływał na te właściwości. Autorka jednoznacznie stwierdziła, że kompozyt z celulozy nanofibrylarniej z dodatkiem kwercetyny odznaczał się najwyższą aktywnością przeciwdrobnoustrojową, silnymi właściwościami antyoksydacyjnymi, nawet po ekspozycji na światło UVC, ale niestety wykazał dość dużą hydrofilowość powierzchni, co jest cechą niekorzystną oraz dużą przepuszczalność pary wodnej. Pomimo tego zdecydowano się użyć ten rodzaj biokompozytu na skórę jabłka jako materiału do otoczkowania owoców. Autorka powołuje się na barwę powierzchni jabłka, która jest taka sama bez aplikacji filmu biokompozytowego jak i z tym filmem (str. 44 ostatni akapit). Niestety nie znalazłam ani w sekcji 4. Omówieniu wyników przedstawionych publikacji, ani w dołączonej oryginalnej publikacji, jak również w *Supplementary materials* oznaczenia tej barwy. Dlatego też proszę Doktorantkę o wyjaśnienie tej kwestii.

Ponadto bardzo proszę o zinterpretowanie dlaczego flawonoidy do tych biokompozytów były użyte jako enkapsulaty, gdyż były w formie liposomalnej. Dodatkowo proszę o wyjaśnienie dlaczego nie oznaczono grubości folii, gdyż moim zdaniem nieprzezroczystość folii z dodatkiem kwercetyny mogła być determinowana tą właśnie cechą.

Odnosząc się do badań uzupełniających (niepublikowanych) poniżej rozpatrzyłam sekcję **Wyniki i dyskusji** tej części pracy. W omówieniu wyników niepublikowanych badań dotyczących biokompozytów z celulozy nanofibrylarniej z ekstraktami z wyciągów owoców kolorowych należy zwrócić uwagę na rozdział 5.4.3. *Określenie zawartości związków polifenolowych oraz pojemności antyoksydacyjnej wyciągów i kompozytów*, w którym Autorka dociekliwie dokonała porównania zawartości antocyjanów, polifenoli ogółem oraz

aktywności antyoksydacyjnej w wyżej wymienionych ekstraktach oraz biokompozytach z ich udziałem. Prawidłowo zauważyła, że pojemność antyoksydacyjna zależy od zawartości poszczególnych rodzajów polifenoli oraz ich formy. Należy tu wspomnieć, że mgr Martyna Krysa podjęła logiczną i dość szczegółową analizę tego zagadnienia. Jednak zwracam uwagę na fakt, że ekstrakty z wyłoków owocowych są złożoną matrycą i na pojemność antyoksydacyjną mogą mieć wpływ również inne związki bioaktywne zawarte w tych ekstraktach nienależące do polifenoli. Proszę Kandydatkę o wytłumaczenie tej kwestii.

Ciekawym zagadnieniem przedyskutowanym przez Doktorantkę są właściwości barierowe biokompozytów z wyciągami z wyłoków owoców kolorowych oraz zmiana barwy jako wskaźnika zmian pH imitującego psucie się żywności (na przykład mięsa - w tym przypadku symulowany test zepsucia). Autorka rzetelnie omawia wyżej wymienione badania, trafnie je reasumując, a mianowicie, że na wyżej wymienione właściwości wpływa wiele czynników (determinantów), które wyjaśniła pod wieloma względami. Po przeczytaniu tej części pracy nasuwa mi się kolejne pytanie do Autorki - Czy znane są Doktorantce polifenole oprócz antocyjanów, które mogą być zastosowane do folii kompozytowych i odpowiednio zmieniać pH sugerując psucie się żywności. Jeżeli tak, to jakie?

Niewątpliwie atutem tego osiągnięcia przedstawionego jako dysertacja doktorska jest otrzymanie biokompozytów z celulozy nanofibrylarniej z dodatkiem ekstraktów z wyłoków owocowych jako bioindykatorów, nie umniejszając pozostałym badaniom wykonanym w ramach tej pracy, które również uznaję za bardzo interesujące. Możliwość bowiem otrzymania tego rodzaju biokompozytu w całości z odpadów przemysłowych o optymalnych właściwościach antyoksydacyjnych, barierowych, zmieniających barwę w zależności od pH żywności uważam za nowatorskie podejście do tego zagadnienia, zwłaszcza w kontekście że Polska jest znaczącym producentem owoców, a po ich przetwórstwie również odpadów. Odpady owocowe zawierają duże ilości związków organicznych, które z kolei niezagospodarowane prowadzą do zwiększenia zanieczyszczeń gleby, wód powierzchniowych i gruntowych. Ponadto otrzymanie opakowań inteligentnych zmniejsza marnotrawienie żywności, a jest to główne założenie Agendy 2030 która porusza aspekt zrównoważonego rozwoju konsumpcji i produkcji żywności.

Moim zdaniem jako Recenzenta całość ocenianej przeze mnie dysertacji doktorskiej zarówno wyników opublikowanych jak i nieopublikowanych jest istotnym osiągnięciem z punktu widzenia rolnictwa i ogrodnictwa oraz technologii żywności, bowiem stanowi wkład do tak zwanej gospodarki cyrkularnej.

Podsumowanie i wnioski

Doktorantka przedstawiła jak gdyby dwie oddzielne sprawy tj. podsumowanie i wnioski korespondujące z sześcioma szczegółowymi celami postawionymi na początku pracy. Ogólnie rzecz ujmując można przyjąć tego typu rozwiązanie, niemniej jednak proszę o przeredagowanie wniosków łącząc je z podsumowaniem, tak aby stanowiły całość adekwatną do postawionych celów.

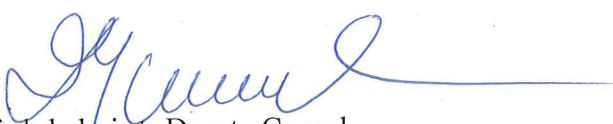
Wniosek końcowy

W opinii Recenzenta przedłożona do oceny praca pani magister Martyny Krysy pod tytułem *„Wpływ dodatku związków biologicznie czynnych na strukturę i właściwości kompozytów na bazie celulozy mikrofibrylarnej i nanocelulozy”* w pełni spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, zarówno pod względem formalnym jak i merytorycznym, zawarte w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dziennik Ustaw z 2024 poz. 1571 z późniejszymi zmianami).

Praca zawiera zarówno aspekty naukowe i praktyczne, a Doktorantka wykazała ogólną wiedzę teoretyczną z zakresu biokompozytów, umiejętność logicznego planowania pracy naukowej, jej samodzielnego prowadzenia, opracowania, publikowania oraz formułowania odpowiednich wniosków. Pewne niedociągnięcia, które wykazałam z racji pełnienia funkcji Recenzenta mogą wynikać z bardzo szerokiego i dość głębokiego zakresu pracy jaki został przyjęty przez Doktorantkę w powyższej dysertacji. Zgłoszone przeze mnie uwagi krytyczne nie zmniejszają ogólnie pozytywnej oceny merytorycznej pracy. Ponadto uważam, że recenzowana praca zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a całokształt dorobku naukowego i parametry bibliometryczne Doktorantki są odpowiednie do uzyskania stopnia naukowego *doktora nauk rolniczych w dyscyplinie rolnictwo i ogrodnictwo*.

Przekładając Radzie Naukowej Instytutu Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN w Lublinie niniejszą ocenę rozprawy doktorskiej, stawiam wniosek o jej przyjęcie i dopuszczenie Pani magister Martyny Krysy do dalszy etapów przewodu doktorskiego.

Kraków, dnia 20.01.2026 r.


prof. dr hab. inż. Dorota Gumul