



Gdańsk 10.07.2026

dr hab. inż. Robert Tylingo, prof. PG
Wydział Chemiczny
Politechnika Gdańska

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Ewy Górskiej

pt. *Wieloskalowa analiza wpływu parametrów technologicznych procesu ekstrakcji z zastosowaniem naturalnych mieszanin głęboko eutektycznych na właściwości pektyn z wyłoków owocowych*

wykonanej pod kierunkiem dr hab. inż. Izabeli Pawlaczyk-Graji, prof. uczelni, w dyscyplinie
inżynieria chemiczna

Badania stanowiące podstawę rozprawy były finansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu PRELUDIUM BIS 2 pt. „Wieloskalowa analiza wpływu parametrów technologicznych procesu ekstrakcji z zastosowaniem naturalnych mieszanin głęboko eutektycznych na właściwości pektyn z wyłoków owocowych”, nr 2020/39/O/ST8/03514. W dysertacji wskazano również staż zagraniczny finansowany przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej, współpracę naukową z Wydziałem Chemii Słowackiej Akademii Nauk w Bratysławie, realizowaną pod opieką prof. Petera Capeka i dr Zuzany Košťálovej, a także wsparcie rzeczowe producenta Frunutex sp. z o.o., polegające na bezpłatnym pozyskaniu surowca do badań. Informacje te sytują pracę na dobrze określonym zapleczu projektowym, wskazując jednocześnie na współpracę międzynarodową oraz kontakt z otoczeniem gospodarczym.

Problematyka rozprawy została osadzona w obszarze zrównoważonych technologii przetwarzania biomasy odpadowej, w którym istotne znaczenie ma odzysk składników o wartości funkcjonalnej z surowców ubocznych przemysłu rolno-spożywczego. W pracy jako szczególnie ważny strumień biomasy wskazano wyłoki owocowe, stanowiące produkt uboczny przetwórstwa owoców i potencjalne źródło pektyn oraz innych składników biologicznie aktywnych. W tym ujęciu wyłoki owocowe przestają być wyłącznie odpadem technologicznym, a stają się surowcem procesowym, którego wartość zależy od właściwego zaprojektowania ścieżki ekstrakcji, oczyszczania i charakterystyki otrzymanych biopolimerów. Z perspektywy inżynierii chemicznej istota podjętego problemu nie sprowadza się do prostego „wydobycia” określonego związku z biomasy odpadowej, lecz dotyczy projektowania procesu separacyjnego, w którym parametry technologiczne, charakter medium ekstrakcyjnego, właściwości matrycy roślinnej oraz późniejsza charakterystyka produktu decydują o jakości końcowej frakcji pektynowej. Tak rozumiany proces wymaga uwzględnienia zarówno warunków ekstrakcji, jak i strukturalnej złożoności pektyn, ponieważ właściwości tych heteropolisacharydów są związane z udziałem kwasu galakturonowego, organizacją domenową, obecnością regionów homo-

galakturonianowych i ramnogalakturonianowych, stopniem estryfikacji, masą cząsteczkową oraz obecnością frakcji towarzyszących. Ważnym punktem odniesienia dla recenzowanej rozprawy są ograniczenia konwencjonalnej ekstrakcji pektyn, w szczególności metod opartych na działaniu podwyższonej temperatury oraz roztworów kwasów lub zasad. W pracy wskazano, że metody te mogą wiązać się z długim czasem procesu, wysokim zapotrzebowaniem energetycznym, ograniczoną selektywnością, korozywnością medium ekstrakcyjnego oraz możliwością niekontrolowanych zmian strukturalnych wyodrębnianych polisacharydów. Na tym tle naturalne mieszaniny głęboko eutektyczne, NADES, zostały przedstawione jako alternatywne media ekstrakcyjne wpisujące się w kierunek zielonej chemii i poszukiwania bardziej przyjaznych środowiskowo rozwiązań technologicznych. W dysertacji podkreślono, że właściwości NADES, w tym polarność, lepkość, skład, proporcje komponentów oraz dodatek wody, mogą wpływać na przebieg ekstrakcji i efektywność separacji składników z matrycy roślinnej.

Recenzowana rozprawa podejmuje zatem aktualny i ważny problem naukowy oraz technologiczny, jakim jest opracowanie efektywnego procesu odzysku frakcji pektynowych z biomasy odpadowej z zastosowaniem mediów ekstrakcyjnych zgodnych z założeniami zielonej chemii. Jej zasadniczy problem polega na określeniu, w jaki sposób parametry technologiczne ekstrakcji z wykorzystaniem NADES wpływają na wydajność procesu, skład chemiczny oraz właściwości fizykochemiczne i strukturalne produktów pektynowych otrzymanych z wyłóków owocowych. Cel rozprawy sformułowano jako wyznaczenie korelacji pomiędzy parametrami technologicznymi procesu ekstrakcji, obejmującymi m.in. skład i proporcje komponentów NADES, dodatek wody, temperaturę i czas procesu, a wydajnością oraz właściwościami fizykochemicznymi pektyn wyodrębnionych z wyłóków wybranych rodzimych owoców jagodowych. Zakres badań obejmuje wybór układu ChCl/CA (chlorek choliny/kwas cytrynowy) jako korzystnego medium NADES, optymalizację procesu z wykorzystaniem metodologii planowania eksperymentu DoE oraz analizy powierzchni odpowiedzi RSM, a także analizę statystyczną ANOVA. Następnie wybrane warunki zastosowano do pozostałych badanych surowców oraz przeprowadzono oczyszczanie produktów metodami chromatograficznymi. Charakterystyka otrzymanych produktów została zaplanowana jako wielokierunkowa i obejmowała techniki spektrofotometryczne, chromatograficzne, spektroskopowe oraz mikroskopowe, w tym UV-Vis, LH-20, HPLC-SEC, GC-MS, FTIR-ATR, NMR oraz SEM-EDS. Tak zaprojektowany zakres badań wskazuje na wieloaspektowy charakter dysertacji, łączącej inżynierię chemiczną, chemię polisacharydów, technologię żywności, zieloną chemię oraz analitykę makrocząsteczek. Na tym tle tematyka rozprawy mgr inż. Ewy Górskiej wpisuje się w ważny obszar badań nad waloryzacją biomasy odpadowej, projektowaniem zielonych procesów separacyjnych oraz otrzymywaniem polisacharydów o kontrolowanych właściwościach strukturalnych. Szczególnie istotne jest, że praca nie ogranicza się do izolacji pektyn jako produktu końcowego, lecz obejmuje próbę powiązania składu układu rozpuszczalnikowego, parametrów ekstrakcji i cech surowca roślinnego z właściwościami otrzymanych frakcji pektynowych. Takie ujęcie nadaje rozprawie charakter procesowy i analityczny, co jest spójne z dyscypliną inżynieria chemiczna.

Recenzowana dysertacja ma układ właściwy dla rozpraw eksperymentalnych z obszaru inżynierii chemicznej i technologii chemicznej, przy czym jej zasadniczy ciężar merytoryczny został położony na projektowanie procesu ekstrakcji, jego optymalizację oraz wielokierunkową charakterystykę otrzymanych produktów pektynowych. Zgodnie ze spisem treści praca obejmuje przegląd literatury, cel rozprawy, część doświadczalną, podsumowanie, materiały i metody, literaturę, dodatek oraz część dotyczącą dorobku naukowego. Taki układ pozwala przejść od przeglądu podstaw strukturalnych i technologicznych, przez sformułowanie celu, do prezentacji procesu badawczego i zastosowanych metod, a następnie do syntetycznego ujęcia rezultatów oraz informacji uzupełniających.

W rozdziale pierwszym, zatytułowanym „Przegląd literatury”, Autorka wprowadza czytelnika w zagadnienia niezbędne do zrozumienia problemu badawczego rozprawy, rozpoczynając od ogólnej charakterystyki polisacharydów jako makrocząsteczek. Autorka w sposób logiczny prowadzi narrację od struktury pierwszorzędowej, obejmującej sekwencję monosacharydów, konfigurację anomeeryczną i możliwe podstawienia grupami funkcyjnymi, przez struktury drugo- i trzeciorzędowe, aż do agregatów międzylańcuchowych opisywanych jako struktura czwartorzędowa. Takie ujęcie dobrze przygotowuje grunt pod dalszą część rozdziału, ponieważ Autorka konsekwentnie wskazuje, że właściwości fizykochemiczne i użytkowe polisacharydów wynikają z ich organizacji molekularnej oraz oddziaływań wewnątrz- i międzycząsteczkowych. Na podkreślenie zasługuje także zestawienie metod analitycznych stosowanych do charakterystyki polisacharydów, obejmujące techniki mikroskopowe, spektrofotometryczne, spektroskopowe, chromatograficzne, elektroforetyczne, chemiczne i reologiczne, ponieważ pokazuje ono złożoność warsztatu koniecznego do badania tej grupy biopolimerów. Kolejna część przeglądu została poświęcona pektynom i stanowi właściwe zawężenie problematyki ogólnej do głównego przedmiotu rozprawy. Autorka omawia pektyny jako składniki ścian komórkowych roślin naczyniowych, wskazuje udział kwasu D-galakturnowego jako podstawowego elementu łańcucha oraz przywołuje kryterium klasyfikacyjne oparte na zawartości GaIA przekraczającej 65%. W sposób uporządkowany przedstawiono strukturę domenową pektyn, obejmującą homogalakturnian, ramnogalakturnian I, ramnogalakturnian II, a także rzadziej występujące domeny XG i AG oraz łańcuchy boczne zbudowane z cukrów obojętnych. Istotnym elementem tej części jest również omówienie stopnia estryfikacji jako parametru pozwalającego odróżniać pektyny wysoko- i niskometylowane, co ma bezpośrednie znaczenie dla późniejszej interpretacji właściwości funkcjonalnych otrzymywanych produktów. Rozdział dobrze pokazuje zależność między strukturą pektyn a ich funkcją: Autorka omawia wpływ DE, masy cząsteczkowej, udziału GaIA, składu monosacharydowego i obecności grup acetylowych na żelowanie, właściwości emulgujące, lepkość, aktywność biologiczną oraz zdolność wiązania wody i oleju. W mojej ocenie jest to jedna z mocniejszych części przeglądu, ponieważ wyraźnie łączy parametry strukturalne z cechami użytkowymi pektyn, a tym samym uzasadnia potrzebę późniejszej wielowymiarowej charakterystyki produktów pektynowych. Bardzo ważną funkcję pełni część dotycząca ekstrakcji pektyn z biomasy roślinnej. Autorka omawia konwencjonalne metody, w tym ekstrakcję wodną w podwyższonej temperaturze oraz ekstrakcję w roztworach kwasów i zasad, wskazując na ich ograniczenia: długi czas procesu, wysokie zapotrzebowanie energetyczne, ograniczoną selektywność, korozyjność medium i możliwość niekontrolowanych zmian strukturalnych polisacharydów. Następnie przedstawiono szeroki przegląd metod alternatywnych, obejmujący m.in. UAE, MAE, EAE, PHWE, SWE, SFE, IL, DES i NADES, a także techniki łączone z udziałem ultradźwięków lub mikrofal. Szczególnie istotna dla uzasadnienia tematu rozprawy jest część poświęcona DES i NADES, w której Autorka omawia budowę tych układów, rolę HBA i HBD, mechanizm obniżenia temperatury topnienia, klasyfikację DES oraz potencjalny mechanizm ekstrakcji polisacharydów związany z penetracją ściany komórkowej i zaburzaniem sieci wiązań wodorowych. W dalszej części Autorka charakteryzuje NADES jako podgrupę DES zbudowaną ze związków pochodzenia naturalnego, omawia ich klasyfikację, biokompatybilność, polarność, lepkość, znaczenie dodatku wody oraz możliwość projektowania właściwości układów przez dobór HBA i HBD. W mojej ocenie fragment ten dobrze uzasadnia wybór NADES jako medium ekstrakcyjnego, choć pewne zastrzeżenie budzi brak wyraźnego syntetycznego podsumowania po tej części, w którym Autorka mogłaby jeszcze mocniej wyodrębnić, które ograniczenia i luki literaturowe dotyczące DES/NADES bezpośrednio prowadzą do hipotez badawczych rozprawy.

Za wartościowe należy uznać omówienie parametrów determinujących proces ekstrakcji pektyn. Autorka wskazuje temperaturę, czas, pH, postać i właściwości surowca, stosunek fazy stałej do ciekłej, dobór rozpuszczalnika, skład NADES, proporcje HBA/HBD oraz udział wody jako czynniki

wpływające na wydajność, selektywność, dyfuzję, degradację łańcuchów i właściwości produktu końcowego. Szczególnie trafne jest uwzględnienie współekstrakcji polifenoli i białek, ponieważ Autorka wskazuje, że związki te mogą oddziaływać z pektynami, tworząc kompleksy lub koniugaty wpływające na strukturę i właściwości produktów. Rozdział dobrze przygotowuje również podstawę metodologiczną dla dalszych badań, ponieważ Autorka omawia potrzebę podejścia wieloczynnikowego oraz przedstawia DoE i RSM jako narzędzia umożliwiające analizę efektów interakcji i optymalizację procesu przy ograniczeniu liczby eksperymentów. W podrozdziale dotyczącym planowania eksperymentu przedstawiono modele Box-Behnken, CCD oraz modele optymalne, ze szczególnym uwzględnieniem modelu I-optimal, którego zaletą jest minimalizacja średniej wariancji predykcji w przestrzeni eksperymentalnej. Cenne jest także powiązanie tej części z luką badawczą, gdy Autorka wskazuje brak doniesień o wyodrębnianiu pektyn z wyłoków czarnej porzeczki z wykorzystaniem NADES oraz uzasadnia próbę połączenia tego kierunku z modelem I-optimal. Pewne zastrzeżenie budzi jedynie miejscami encyklopedyczny charakter wywodu, zwłaszcza tam, gdzie nagromadzenie klasyfikacji i zestawień metod mogłoby zostać uzupełnione krótkimi wnioskami syntetycznymi wskazującymi hierarchię ich znaczenia dla konkretnego planu badawczego rozprawy.

Końcowy fragment rozdziału, poświęcony odpadowej biomasie roślinnej w przetwórstwie owoców, dobrze domyka argumentację części literaturowej. Autorka osadza wybór wyłoków owocowych w kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym, symbiozy przemysłowej i ponownego wykorzystania odpadów poprodukcyjnych jako surowców w innych łańcuchach technologicznych. Następnie uzasadnia znaczenie wyłoków owocowych jako źródła pektyn, odwołując się do danych dotyczących produkcji owoców w Polsce, w tym owoców jagodowych, oraz do skali powstawania biomasy odpadowej. Pozytywnie oceniam również aktualność wykorzystanego piśmiennictwa w analizowanym rozdziale, ponieważ w odwołaniach literaturowych przywoływanych w tekście pojawiają się prace z lat 2024–2026, m.in. przy omawianiu struktury polisacharydów, metod ekstrakcji, NADES i planowania eksperymentu. Podsumowując, część literaturowa została przygotowana starannie i stanowi dobrze dobrane tło naukowe dla dalszych etapów rozprawy, choć jej wartość byłaby jeszcze większa przy silniejszym syntetycznym wyeksponowaniu bezpośredniego związku między zidentyfikowanymi lukami literaturowymi a hipotezami badawczymi pracy.

Rozdziały „Cel rozprawy” oraz „Część doświadczalna” stanowią konstrukcyjny rdzeń dysertacji, ponieważ to właśnie w nich szeroka problematyka zielonej ekstrakcji pektyn zostaje przetożona na ciąg decyzji technologicznych, analitycznych i interpretacyjnych. Autorka formułuje problem badawczy jako potrzebę wyznaczenia korelacji między parametrami procesu ekstrakcji z użyciem NADES a wydajnością oraz właściwościami fizykochemicznymi pektyn z wyłoków rodzimych owoców jagodowych, natomiast kolejne rozdziały przedstawiają eksperymentalną realizację tej koncepcji - od doboru surowca, przez przesiewowe badania ekstrakcyjne i optymalizację, po szeroką charakterystykę produktów.

Rozdział zatytułowany „Cel rozprawy” oceniam jako zwięzły, ale dobrze osadzony w logice całej dysertacji. Autorka uzasadnia wybór NADES jako alternatywy dla technologii konwencjonalnych opartych na kwasach mineralnych, wskazując na ich proekologiczny charakter, zgodność z ideą zielonej chemii oraz możliwość przekształcania zasobów odnawialnych w produkty o wartości dodanej. Cel główny został sformułowany ambitnie: obejmuje korelację składu i proporcji komponentów NADES, dodatku wody, temperatury i czasu procesu z wydajnością oraz właściwościami fizykochemicznymi pektyn wyodrębnionych z wyłoków wybranych rodzimych owoców jagodowych. Na szczególne podkreślenie zasługuje to, że cel nie został zawężony wyłącznie do maksymalizacji wydajności ekstrakcji, lecz od początku obejmuje relację „parametr procesu – właściwość produktu”, co jest właściwe dla rozprawy z zakresu inżynierii chemicznej. Trzy hipotezy badawcze tworzą logiczną sekwen-

cję: pierwsza dotyczy możliwości uzyskania koniugatów polifenoli z polisacharydami o charakterze pektyn, druga - kontrolowanej modyfikacji właściwości fizykochemicznych frakcji pektynowych przez skład NADES, trzecia - wpływu matrycy roślinnej oraz oddziaływań w układzie rozpuszczalnik - surowiec na strukturę i walory użytkowe produktu. Jednocześnie tak szeroko sformułowany cel wymaga dużej dyscypliny interpretacyjnej. W mojej ocenie Autorka konsekwentnie rozwija w części doświadczalnej wątek składu NADES, proporcji ChCl/CA , dodatku wody oraz czasu ekstrakcji. Właściwa optymalizacja statystyczna obejmuje jako zmienne niezależne ilość ChCl , ilość CA i czas ekstrakcji, przy stałym stosunku NADES/woda oraz stałej temperaturze $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Oznacza to, że część parametrów wskazanych w celu rozprawy została przebadana w trybie wcześniejszego ustalania warunków procesowych, a nie jako pełnoprawne zmienne modelu I-optimal/RSM. Nie osłabia to zasadniczej wartości pracy, ale zawęża zakres wnioskowania statystycznego: korelacje ilościowe wynikające z ANOVA/RSM odnoszą się przede wszystkim do składu ChCl/CA i czasu procesu, a nie do pełnego zestawu parametrów. Pewnego doprecyzowania wymagałoby także pojęcie „walorów użytkowych”, ponieważ Autorka bardzo szeroko charakteryzuje skład, strukturę, masę cząsteczkową, stopień estyfikacji i morfologię produktów, natomiast nie przedstawia jeszcze bezpośrednich oznaczeń reologicznych, żelowania, WHC/OHC lub właściwości emulgujących, które wprost weryfikowałyby potencjał użytkowy frakcji pektynowych. Część doświadczalna została zaprojektowana z wyraźną logiką narastającej złożoności. Autorka rozpoczyna od wyboru czterech surowców odpadowych - wyłóków czarnej porzeczki, maliny, truskawki i rokitnika - powiązanych z krajowym przetwórstwem owoców i potencjałem zagospodarowania biomasy ubocznej. Dobór ten został uzupełniony charakterystyką makro- i mikroskopową, w której wskazano istotne różnice morfologiczne: bardzo wysoki stopień rozdrobnienia czarnej porzeczki, obecność elementów nasiennych w malinach i truskawkach, większą niejednorodność materiału truskawkowego oraz płatkową strukturę rokitnika. Autorka nie traktuje tych cech jako opisu botanicznego oderwanego od technologii, lecz wiąże je z powierzchnią kontaktu fazy stałej z medium ekstrakcyjnym, filtracją i potencjalnym przebiegiem transportu masy. Również oznaczenie wilgotności surowców ma znaczenie praktyczne, ponieważ potwierdza stabilność suchej biomasy i umożliwia porównywanie wyników ekstrakcji w odniesieniu do surowców o kontrolowanej jakości. Badania wstępne HWE, prowadzone w wodzie w 100°C przez 4 h, pełniły dobrze dobraną funkcję punktu odniesienia dla technologii NADES. Wybór czarnej porzeczki jako surowca modelowego jest uzasadniony w sposób interesujący: nie dlatego, że jest to układ najprostszy, lecz dlatego, że produkt z tego surowca zawierał najwyższy udział polifenoli i białek, co Autorka postrzegała jako wyzwanie technologiczne dla dalszej optymalizacji. Kolejny blok badań dotyczący pH, siły jonowej oraz składu medium ekstrakcyjnego oceniam jako szczególnie ważny, ponieważ łączy tradycyjne metody ekstrakcji z oceną układów NADES. Autorka zastosowała roztwory ChCl , CA , OA , AO , TA , ST i AA , prowadząc ekstrakcję w 100°C przez 6 h przy stałym stosunku fazy stałej do cieklej 1:15, a następnie zestawiała pH, przewodność właściwą, wydajność oraz udział polisacharydów, kwasów uronowych, polifenoli i białek. Przekonujące jest wykazanie, że środowisko kwasowe w zakresie pH 1,5–2,5 sprzyjało wydajnej ekstrakcji polisacharydów bogatszych w UA przy ograniczeniu polifenoli, podczas gdy pH poniżej 1 oraz wysoka przewodność właściwa działały niekorzystnie na wydajność i udział polisacharydów. Uzasadnienie wyboru układu ChCl/CA jako podstawy NADES jest zasadniczo logiczne: chlorek choliney pełni funkcję HBA, kwas cytrynowy funkcję HBD, a dodatkowo roztwory CA sprzyjały wzbogaceniu produktów w UA przy ograniczeniu polifenoli. Dobrze zaprojektowano także etap rozcieńczania NADES wodą. Autorka świadomie podejmuje problem lepkości, transportu masy i reorganizacji sieci wiązań wodorowych, a następnie eksperymentalnie porównuje układy NADES/ H_2O 1:1, 1:2, 1:5 i 1:9. Ten etap jest zgodny z kierunkiem zielonej chemii, choć wymaga ostrożności w ocenie pełnego bilansu środowiskowego procesu: medium ekstrakcyjne ma charakter bardziej przyjazny środowisku, lecz etap wytrącania nadal wykorzystuje metanol. Autorka sama zaznacza, że metanol nie nadaje się do produktów spożywczych, kosmetycznych ani farma-

ceutycznych. Za najważniejszą część warsztatu badawczego uznają optymalizację ekstrakcji w środowisku NADES z zastosowaniem planu I-optimal, RSM i ANOVA. Autorka definiuje trzy zmienne niezależne - ilość ChCl , ilość CA i czas ekstrakcji - oraz cztery zasadnicze odpowiedzi układu: wydajność, udział polisacharydów, udział UA i udział polifenoli. Wartością tej części jest nie tylko zastosowanie narzędzia statystycznego, ale również próba zrównoważenia kryteriów. Nie chodzi o maksymalizację jednej odpowiedzi, lecz o pogodzenie wydajności, zawartości kwasów uronowych, udziału polisacharydów i możliwie niskiego poziomu polifenoli. Modele regresyjne wykazują zróżnicowaną jakość dopasowania: dla polisacharydów i polifenoli uzyskano bardzo dobre dopasowanie, natomiast model wydajności wyjaśnia około 60% zmienności danych dla skorygowanego współczynnika determinacji, co powinno skłaniać do ostrożności przy interpretacji predykcji procesowych. Mocną stroną jest eksperymentalna weryfikacja predykcji dla produktów 38 i 39 oraz wskazanie produktu 38 jako najbardziej korzystnego ze względu na wysoki udział polisacharydów, najwyższy udział UA w produkcie i ograniczony udział polifenoli. Dobrze oceniam także włączenie aspektu ekonomicznego czasu ekstrakcji. Autorka pokazuje, że wydłużenie procesu zwiększa zużycie energii i może nasilać ko-ekstrakcję polifenoli oraz białek, przez co czterogodzinny czas procesu staje się racjonalnym kompromisem technologicznym. Zastrzeżenie dotyczy natomiast pominięcia białek w modelowaniu RSM/ANOVA z powodu braku korelacji z analizowanymi zmiennymi. Przy hipotezie dotyczącej koniugatów polifenolowo-polisacharydowych oraz możliwej obecności układów polisacharydowo-białkowo-polifenolowych wymagałoby to szerszego komentarza. Zastosowanie wytypowanych warunków do innych biomas - maliny, truskawki i rokitnika - jest wartościowym etapem weryfikacyjnym, ponieważ pozwala sprawdzić, czy procedura zoptymalizowana na surowcu modelowym ma szerszą użyteczność. Autorka porównuje ekstrakcję w wodzie, w 10% kwasie cytrynowym oraz w trzech układach NADES, a następnie wskazuje produkty M2, T3 i R2 do dalszych analiz fizykochemicznych. Szczególnie istotny jest wniosek, że matryca roślinna silnie wpływa na wydajność procesu i jakość produktów, niezależnie od medium ekstrakcyjnego, co Autorka wiąże z odmienną budową komórek i składem ścian komórkowych analizowanych surowców. Jednocześnie należy zaznaczyć, że pełną optymalizację wykonano tylko dla czarnej porzeczki. Jest to racjonalne uproszczenie eksperymentalne, pozwalające ograniczyć rozmiar planu doświadczeń, ale ogranicza możliwość generalizacji wniosku, że dane proporcje ChCl/CA są optymalne również dla matryc o innej morfologii, odmiennym udziale nasion, innej zawartości białek, polifenoli i składników mineralnych. Największą wartość analityczną ma w szerokiej, komplementarnej charakterystyce otrzymanych produktów i frakcji. Chromatografia jonowymienna IEC umożliwiła wydzielenie frakcji dominujących, w tym 38-F1, M2-F1, T3-F1 i R2-F1, oraz wykazała znaczne oczyszczenie frakcji z polifenoli i białek przy wzbogaceniu w UA . Chromatografia LH-20 dostarczyła pośrednich przesłanek dotyczących współtęlowania polifenoli z polisacharydami, co Autorka interpretuje jako przesłankę możliwej obecności koniugatów polifenolowo-polisacharydowych po etapie IEC. HPLC-SEC/GPC pozwoliła ocenić zakresy mas cząsteczkowych i polidispersyjność produktów, pokazując między innymi dużą niejednorodność produktu 38 oraz wyjątkowo zróżnicowany profil R2, w którym zaobserwowano populację wielkocząsteczkową mogącą sugerować obecność koniugatów polisacharydowych z matrycą polifenolową. Analiza FTIR-ATR potwierdziła obecność pasm typowych dla kwasowych polisacharydów i umożliwiła oszacowanie stopnia estryfikacji, przy czym większość produktów optymalnych i frakcji zaklasyfikowano jako pektyny niskometoksyłowe, z wyjątkiem produktu 38. Analiza GC-MS dostarczyła ważnych argumentów na rzecz pektynowego charakteru produktów, ponieważ wykazała dominujący udział GalA , obecność Rha , Ara , Xyl , Man , Gal i Glc oraz brak GlcA w analizowanych produktach porzeczki, a w produktach NADES potwierdziła wysoki udział GalA , szczególnie w frakcjach z maliny, truskawki i rokitnika. Analizy NMR dobrze uzupełniają tę sekwencję interpretacyjną, wskazując na dominację domen HG i RG-I oraz elementy strukturalne związane z resztami GalA , Rha , Gal i Xyl . Mikroskopia optyczna oraz SEM-EDS dopełniają analizę na poziomie morfologicznym i pierwiastko-

wym, pokazując różnice między produktami a frakcjami oraz dominację węgla i tlenu w składzie powierzchniowym, przy obecności pierwiastków towarzyszących, takich jak sód, chlor, wapń, azot, potas, fosfor czy siarka. Najważniejszą mocną stroną analizowanej części rozprawy jest konsekwentne prowadzenie czytelnika od prostych doświadczeń przesiewowych do wieloczynnikowej optymalizacji, a następnie do wieloskalowej charakterystyki produktów. Autorka nie ogranicza się do oceny wydajności, ale łączy parametry technologiczne z kompozycją chemiczną, udziałem GaLA, masą cząsteczkową, stopniem estryfikacji, udziałem domen HG i RG-I, morfologią oraz składem pierwiastkowym produktów i frakcji. W mojej ocenie jest to część rozprawy o największej wartości naukowej, ponieważ najpełniej pokazuje warsztat Autorki: umiejętność projektowania łańcucha procesowego, stosowania metod statystycznych i integrowania technik chemicznych, chromatograficznych, spektroskopowych oraz mikroskopowych. Ograniczenia tej części pracy mają charakter konstruktywny i nie przekreślają jej wartości. Po pierwsze, zakres pełnej optymalizacji nie obejmuje wszystkich parametrów wymienionych w celu rozprawy, ponieważ dodatek wody i temperatura zostały ustalone wcześniej, a nie modelowane równolegle z ChCl, CA i czasem ekstrakcji. Po drugie, brak niezależnej optymalizacji dla maliny, truskawki i rokitnika ogranicza zakres uogólniania wniosków na inne matryce, choć jest zrozumiały jako kompromis organizacyjny i eksperymentalny. Po trzecie, zastosowanie metanolu na etapie precypitacji pozostaje elementem metodycznie skutecznym, ale częściowo niespójnym z proaplikacyjną narracją dotyczącą produktów potencjalnie spożywczych, kosmetycznych lub farmaceutycznych, co Autorka sama sygnalizuje. Po czwarte, w przedstawionej części wynikowej nie przedstawiono bezpośrednich oznaczeń funkcjonalnych, takich jak właściwości reologiczne, zdolność żelowania czy aktywność emulgująca, dlatego wątek „walorów użytkowych” pozostaje na tym etapie oparty głównie na przesłankach strukturalnych i składowych. Po piąte, rola białek w końcowych produktach, choć oznaczana kolorymetrycznie i obecna w tabelach, została wyłączone z modelowania RSM/ANOVA, co warto szerzej uzasadnić w kontekście możliwych kompleksów wieloskładnikowych.

Do obrony proponuję następujące pytania, wynikające z treści rozprawy i sformułowanych wyżej uwag:

1. Jak Autorka uzasadnia zakres wnioskowania z modelu I-optimal/RSM, skoro w celu pracy wymieniono także dodatek wody i temperaturę, natomiast zmiennymi niezależnymi w modelu były ilości ChCl i CA oraz czas ekstrakcji?
Uzasadnienie: pytanie dotyczy granic interpretacji zależności „parametr procesu - właściwość produktu” oraz zakresu wnioskowania statystycznego.
2. Jakie przesłanki technologiczne i chemiczne zdecydowały o wyborze układu ChCl/CA jako podstawy NADES w zestawieniu z roztworami AO, ST i AA?
Uzasadnienie: dobór medium ekstrakcyjnego i jego rozcieńczenie są kluczowe dla interpretacji mechanizmu ekstrakcji oraz oceny rzeczywistego udziału struktury eutektycznej w układzie NADES/woda 1:9.
3. W jakim stopniu parametry zoptymalizowane dla wyłoków czarnej porzeczki można przenosić na malinę, truskawkę i rokitnik bez niezależnej optymalizacji dla każdej matrycy?
4. Jakie kryterium miało największą wagę przy wyborze produktu 38 oraz produktów M2, T3 i R2 jako wariantów optymalnych: wydajność procesu, udział polisacharydów, udział UA, ograniczenie polifenoli i białek czy przydatność do dalszego frakcjonowania?
5. W jaki sposób Autorka odróżnia współtęlowanie profili polisacharydowych i polifenolowych w LH-20 od rzeczywistego występowania koniugatów polifenolowo-polisacharydowych oraz jakie dodatkowe dane mogłyby rozstrzygnąć charakter tych oddziaływań?

6. Jaką rolę mogą odgrywać białka w końcowych produktach, szczególnie w próbkach, w których obserwowano istotniejszy udział frakcji białkowej, i czy mogą one współtworzyć układy polisacharydowo-białkowo-polifenolowe?
7. Jakie kolejne badania - reologiczne, emulgujące, dotyczące żelowania, WHC/OHC lub aktywności biologicznej - byłyby najważniejsze dla potwierdzenia deklarowanych walorów użytkowych otrzymanych produktów pektynowych?
8. Jak należałoby zaprojektować odzysk lub recykling mieszaniny NADES ChCl/CA oraz ograniczyć użycie metanolu w etapie precypitacji, aby ocenić rzeczywisty bilans środowiskowy procesu ekstrakcji?

Końcowe rozdziały rozprawy pełnią istotną funkcję domykającą całość dysertacji, ponieważ z jednej strony syntetyzują drogę badawczą prowadzącą od wyboru biomasy odpadowej, przez dobór układu NADES i optymalizację procesu, aż do charakterystyki produktów pektynowych, a z drugiej strony przedstawiają zaplecze proceduralne, bibliograficzne, uzupełniające dane dowodowe oraz dorobek naukowy Doktorantki. Taki układ końcowych części pracy pozwala ocenić nie tylko wyniki jako rezultat eksperymentów, lecz także stopień ich udokumentowania, powtarzalności i osadzenia w szerszym kontekście naukowym. Z punktu widzenia recenzenta ważne jest również to, że po rozdziale syntetycznym następuje rozdział metodyczny, a następnie literatura, dodatek i dorobek naukowy. Końcowa część rozprawy to nie tylko podsumowanie wyników, ale też zestawienie pokazujące, jak zebrano i opracowano dane.

Rozdział „Podsumowanie” pełni w rozprawie funkcję nie tylko konkludującą, lecz także porządkującą, ponieważ Doktorantka rozpoczyna go od przypomnienia głównego celu pracy, tj. optymalizacji procesu ekstrakcji pektyn z wytłoków wybranych rodzimych owoców jagodowych z zastosowaniem NADES oraz charakterystyki otrzymanych produktów i frakcji pektynowych. Następnie Autorka logicznie odtwarza kolejne etapy badań: wybór czarnej porzeczki jako surowca modelowego oraz maliny, truskawki i rokitnika jako surowców alternatywnych, ekstrakcje wstępne HWE, określenie warunków procesowych w wodzie, dobór mediów o różnym pH i sile jonowej, wybór ChCl/CA jako składników NADES oraz wskazanie korzystnego stosunku NADES/woda 1:9. Za szczególnie wartościowe uważam to, że podsumowanie nie ogranicza się do prostego wyliczenia rezultatów, lecz zachowuje ciąg przyczynowo-skutkowy: wyniki badań wstępnych prowadzą do wyboru układu NADES, następnie do optymalizacji I-optimal/RSM/ANOVA, a dalej do zastosowania wybranych warunków wobec kolejnych surowców oraz do oczyszczania, frakcjonowania i wielotechnikowej charakterystyki produktów. Autorka syntetycznie wskazuje produkt (38) jako dominujący wariant dla czarnej porzeczki, a produkty M2, T3 i R2 jako optymalne dla odpowiednio maliny, truskawki i rokitnika, po czym opisuje ich oczyszczanie metodą IEC, ocenę jednorodności LH-20, analizę mas cząsteczkowych HPLC-SEC, charakterystykę monosacharydową GC-MS, FTIR-ATR, NMR oraz SEM-EDS. W analizowanym fragmencie nie znajdują jednak wyodrębnionej, bezpośredniej i punktowej weryfikacji hipotez badawczych; wnioski są obecne, ale mają raczej formę narracyjnego powrotu do celu i wyników niż osobnego zestawienia hipoteza–dowód–konkluzja.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że Doktorantka w końcowej części rozdziału „Podsumowanie” jasno identyfikuje ograniczenia własnego materiału eksperymentalnego i wskazuje dalsze kierunki badań, w tym potrzebę niezależnej optymalizacji ekstrakcji dla pozostałych surowców, rozszerzenia analiz NMR, zastosowania metody Hakomoriego oraz przeprowadzenia badań reologicznych obejmujących lepkość, żelowanie, zdolność wiązania wody. Jest to istotny przejaw dojrzałości naukowej Autorki, ponieważ pokazuje świadomość, że uzyskane wyniki stanowią mocną podstawę do dalszej charakterystyki, ale nie zamykają jeszcze pełnej oceny funkcjonalnej i aplikacyjnej otrzymanych frakcji pektynowych. W tym kontekście sformułowania dotyczące „potencjału aplikacyjnego”

należy traktować jako uzasadnioną perspektywę badawczą, a nie jako definitywnie zweryfikowaną właściwość użytkową. Podobnie, końcowe stwierdzenie o projektowaniu bardziej zrównoważonych procesów ekstrakcyjnych jest spójne z zastosowaniem NADES, ale wymagałoby w przyszłości poszerzenia o kwestię odzysku lub recyklingu medium oraz pełniejszego bilansu środowiskowego; w analizowanym fragmencie udokumentowano przede wszystkim szacunkowe koszty zużycia energii, a nie pełną ocenę cyklu życia procesu. Rozdział „Materiały i metody” stanowi formalną podstawę odtwarzalności badań i jest przygotowany z dużą dbałością o identyfikację aparatury, surowców, odczynników oraz podstawowych parametrów operacyjnych. Wykaz aparatury obejmuje m.in. urządzenia do odparowywania próżniowego, spektrofotometrię, FTIR-ATR, NMR, GC-MS, GPC/SEC, mikroskopię optyczną i SEM, co odpowiada szerokości technik użytych w części doświadczalnej. Część dotycząca materiałów jasno identyfikuje pochodzenie surowców roślinnych: wyttoki czarnej porzeczki zakupione od firmy Zdrowsze Życie oraz wyttoki maliny, truskawki i rokitnika uzyskane w ramach współpracy z firmą Frunutex, wraz z informacją o postaci surowca, opakowaniu, deklarowanej wilgotności, warunkach suszenia i deklaracji braku GMO. Metody opisano w sposób w dużej mierze proceduralny: obejmują oznaczanie wilgotności biomasy, ocenę mikroskopową surowca, ekstrakcję wodną, ustalanie parametrów wstępnych, ekstrakcje w mediach o różnym pH i sile jonowej, przygotowanie mieszanin CHCl_3/CA , rozcieńczanie NADES wodą, wytrącanie metanolem, dializę, przygotowanie roztworów próbek oraz metody kolorymetryczne oznaczania cukrów całkowitych, kwasów uronowych, polifenoli i białek. Rozdział obejmuje również planowanie eksperymentu z użyciem DoE/RSM, plan I-optimal i ANOVA, frakcjonowanie IEC, chromatografię LH-20, HPLC-SEC/GPC, FTIR-ATR, GC-MS, NMR, mikroskopię optyczną i SEM-EDS, co dobrze wspiera wiarygodność wyników zaprezentowanych wcześniej.

Mocną stroną rozdziału „Materiały i metody” jest podawanie konkretnych wartości operacyjnych, takich jak masa surowca, objętość medium, stosunek faz, temperatura, czas, prędkość wirowania, MWCO membran dializacyjnych, parametry kolumn chromatograficznych, stężenia eluentów, parametry HPLC-SEC/GPC, warunki rejestracji widm FTIR i NMR oraz warunki analizy GC-MS. Dodatkowo Autorka wskazuje liczbę powtórzeń dla oznaczania wilgotności oraz dla wielu metod kolorymetrycznych, a także podaje krzywe wzorcowe i współczynniki dopasowania dla oznaczeń spektrofotometrycznych. Pewne elementy mogłyby jednak zostać doprecyzowane w celu dalszego wzmocnienia odtwarzalności: szczególnie przydatne byłoby bardziej syntetyczne zestawienie liczby niezależnych powtórzeń całych procesów ekstrakcyjnych, sposobu kontroli i wymiany wody dializacyjnej, kryteriów akceptacji końca oczyszczania poza przewodnością, a także uzasadnienia i propagacji korekt stosowanych w obliczeniach kolorymetrycznych, które rozwinięto dopiero w dodatku. Pewne zastrzeżenie budzi również nietypowe umieszczenie rozdziału „Materiały i metody” po „Podsumowaniu”; rozwiązanie to nie obniża wartości merytorycznej pracy, ale podczas lektury może utrudniać bieżącą weryfikację procedur przy interpretacji wyników, ponieważ szczegółowe zaplecze metodyczne pojawia się dopiero po syntetycznym zamknięciu części wynikowej. Spis literatury jest adekwatny do interdyscyplinarnego charakteru rozprawy, ponieważ obejmuje zarówno klasyczne prace metodyczne dotyczące oznaczeń kolorymetrycznych i kwasów uronowych, jak i współczesne publikacje odnoszące się do chemii polisacharydów, struktury i funkcji pektyn, DES/NADES, zielonych rozpuszczalników, ekstrakcji z biomasy odpadowej, DoE/RSM oraz technik analitycznych stosowanych do charakterystyki makrocząsteczek. Na podstawie widocznych w tekście odwołań można stwierdzić, że bibliografia jest aktualna w zakresie tematów dynamicznie rozwijających się. Dobór literatury dobrze wspiera cel rozprawy, ponieważ łączy podstawy chemii pektyn i polisacharydów z aspektami procesowymi, optymalizacyjnymi oraz analitycznymi, a więc odpowiada wieloskalowemu charakterowi pracy deklarowanemu w tytule i realizowanemu w rozdziałach końcowych. Dodatek stanowi wartościowe uzupełnienie rozprawy, ponieważ przenosi do części pomocniczej dane

liczbowe i zestawienia analityczne, które są potrzebne do kontroli interpretacji, ale mogłyby nadmierne obciążyć tekst główny. Szczególnie istotna jest Tabela D1, w której przedstawiono wartości wyjściowe i skorygowane dla oznaczeń cukrów całkowitych wraz z opisem przyjętej logiki korekty, co zwiększa transparentność obliczeń kolorymetrycznych. Tabele D2 i D3 dokumentują szacunkowe koszty zużycia energii elektrycznej oraz parametry pracy urządzeń przyjęte do oszacowań, dzięki czemu czytelnik może prześledzić założenia ekonomiczno-energetyczne procesu ekstrakcji. Z kolei Tabele D4–D7 porządkują pasma FTIR charakterystyczne dla produktów i frakcji otrzymanych z wyttoków czarnej porzeczki, maliny, truskawki i rokitnika, wzmacniając dokumentację spektroskopową i pozwala lepiej kontrolować interpretację stopnia estryfikacji oraz obecności charakterystycznych grup funkcyjnych.

Dorobek naukowy Doktorantki, przedstawiony w rozdziale 8, jest tematycznie spójny z dysertacją i potwierdza aktywne uczestnictwo Doktorantki w badaniach dotyczących zielonych metod ekstrakcji, NADES, pektyn, biomasy odpadowej i charakterystyki polisacharydów. W rozprawie wskazano trzy publikacje naukowe, w tym prace w „Carbohydrate Polymers” i „Polymers”, dotyczące m.in. ekstrakcji pektyn z użyciem NADES, porównania planów I-optimal i Box–Behnken, odzysku pektyn bogatych w homogalakturnian oraz przeglądu wielofunkcyjnych pektyn z odpadów żywnościowych. W części konferencyjnej wykazano referaty i materiały konferencyjne związane z ekstrakcją pektyn z wyttoków czarnej porzeczki, polisacharydami z makuchu lnianego oraz zastosowaniem NADES w separacji polisacharydów. Dorobek obejmuje również udział w projekcie NCN PRELUDIUM BIS 2 dotyczącym wieloskalowej analizy ekstrakcji pektyn z zastosowaniem NADES oraz projekt stażu doktorskiego NAWA. Szczególnie pozytywnie należy ocenić współpracę ze Słowacką Akademią Nauk w Bratysławie oraz staż naukowy poświęcony zaawansowanym analizom chromatograficznym i spektroskopowym wybranych produktów pektynowych, ponieważ zakres tej aktywności pozostaje bezpośrednio związany z metodami wykorzystanymi w rozprawie. Rozdział dokumentuje ponadto nagrodę kategorii A w konkursie dla młodych naukowców za wystąpienie dotyczące ekstrakcji pektyn z wyttoków czarnej porzeczki z użyciem NADES oraz aktywność organizacyjną w ramach warsztatów prowadzonych podczas Dni Otwartych Wydziału Chemicznego. W analizowanym fragmencie nie przedstawiono szczegółowych oświadczeń pozwalających ilościowo ocenić wkład Doktorantki w poszczególne publikacje.

Najważniejsze uwagi krytyczne dotyczą potrzeby bardziej bezpośredniego powiązania końcowych wniosków z hipotezami, ostrożniejszego formułowania tez aplikacyjnych przed wykonaniem pełnych badań funkcjonalnych, doprecyzowania wybranych elementów odtwarzalności oraz rozwinięcia zagadnień recyklingu NADES i bilansu środowiskowego procesu. Uwagi te nie podważają wartości pracy, lecz wskazują naturalne kierunki pogłębienia badań i stanowią dobry punkt wyjścia do dalszej formalnej konkluzji recenzji.

Rozprawa została napisana zasadniczo poprawnym, komunikatywnym językiem naukowym, a sposób prezentacji wyników zwykle pozwala prześledzić tok rozumowania Autorki. Warto jednak zwrócić uwagę na miejsca, w których język interpretacji jest mniej precyzyjny niż przedstawione dane eksperymentalne. Dotyczy to zwłaszcza fragmentów poświęconych ocenie efektywności ekstrakcji, optymalności wariantów procesowych, selektywności NADES oraz skuteczności oczyszczania frakcji pektynowych. W tych partiach pracy pojawiają się określenia jakościowe, takie jak „wysoki”, „niski”, „duży”, „niewielki”, „satisfakcjonujący”, „najlepszy”, „obietujący” czy „efektywny”, które nie zawsze są bezpośrednio powiązane z wartością liczbową, punktem odniesienia albo jednoznacznym kryterium oceny. Szczególnie istotne jest doprecyzowanie, co w poszczególnych kontekstach oznacza „efektywność”, „optymalność” lub „selektywność” procesu. Przykładowo, stwierdzenie, że rozcieńczenie NADES 1:9 było „najbardziej efektywne”, powinno wskazywać, czy podstawą tej oceny

była wydajność, uzysk kwasów uronowych z jednostki masy surowca, udział GaA, ograniczenie współekstrakcji polifenoli i białek, czy też kompromis kilku parametrów. Podobnie uznanie produktu M2 za „najlepszy” ze względu na „satysfakcjonującą wydajność” i „wysoki udział UA” byłoby bardziej jednoznaczne, gdyby zostało bezpośrednio powiązane z wartościami liczbowymi i rankingiem przyjętych kryteriów. Większej ostrożności wymagają również fragmenty, w których wyniki metod pośrednich są przekładane na wnioski naukowe. Dotyczy to m.in. interpretacji profili chromatograficznych jako przesłanki obecności koniugatów polifenolowo-polisacharydowych, oceny efektywności usuwania białek na podstawie niskich wartości absorbancji, a także wnioskowania o deestryfikacji, uporządkowaniu struktury lub zależności morfologii od składu chemicznego na podstawie FTIR, NMR, HPLC-SEC oraz SEM-EDS. W takich miejscach należałoby wyraźniej odróżniać wynik bezpośredni od interpretacji zgodnej z danymi, ale wymagającej dalszego potwierdzenia. W szczególności wnioski o skuteczności oczyszczania powinny być, tam gdzie to możliwe, wyrażane poprzez procentową redukcję zawartości składników towarzyszących, współczynnik oczyszczenia lub bilans odzysku frakcji.

Uwagi te nie podważają wartości uzyskanych wyników, lecz wskazują na potrzebę większej dyscypliny terminologicznej w formułowaniu wniosków. Dotyczy to także używania terminu „korelacja” tam, gdzie właściwsze byłoby określenie „zależność”, „współwystępowanie”, „współtęlowanie” lub „zbieżność profili”, jeżeli nie przeprowadzono formalnej analizy korelacyjnej. W końcowych partiach rozprawy ostrożniejszego sformułowania wymagają również wnioski dotyczące perspektywiczności NADES jako medium ekstrakcyjnego. Wyniki pracy wskazują na możliwość otrzymywania produktów bogatych w GaA, jednak pełna ocena aplikacyjna wymagałaby jeszcze analizy odzysku rozpuszczalnika, skalowania procesu, kosztów, wpływu środowiskowego oraz właściwości funkcjonalnych produktów pektynowych.

Nasuwać się dodatkowe pytania wymagają wyjaśnienia powyższych aspektów:

1. Jakie kryteria ilościowe przyjmowała Pani przy określaniu wariantu ekstrakcji jako „efektywnego”, „najbardziej efektywnego” lub „selektywnego”?
2. W jaki sposób rozstrzygała Pani, że produkty M2, T3 i R2 są wariantami najlepszymi lub optymalnymi? Czy wybór ten wynikał z maksymalizacji jednego parametru, czy z kompromisu między wydajnością, udziałem UA, zawartością polifenoli i białek oraz dalszą przydatnością produktu do frakcjonowania?
3. Jak należy interpretować wybór czasu 4 h jako rozwiązania korzystnego, skoro analiza powierzchni odpowiedzi dla udziału UA wskazywała wysokie wartości przy czasie 6 h?
4. Jaką miarą ilościową można byłoby najtrafniej wyrazić skuteczność usuwania białek i polifenoli podczas IEC oraz LH-20?
5. W jaki sposób odróżniała Pani współtęlowanie polifenoli i polisacharydów od rzeczywistego występowania koniugatów polifenolowo-polisacharydowych? Jakie dodatkowe dane mogłyby rozstrzygnąć charakter tych oddziaływań?
6. Jakie dane mogłyby potwierdzić, że obserwowane obniżenie DE po IEC wynika z deestryfikacji podczas frakcjonowania, a nie z etapu przygotowania próbek, w szczególności kontaktu z roztworem NaOH?

Podsumowując, recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Ewy Górskiej pt. „Wieloskalowa analiza wpływu parametrów technologicznych procesu ekstrakcji z zastosowaniem naturalnych mieszanin głęboko eutektycznych na właściwości pektyn z wyłoków owocowych” mieści się w dyscyplinie inżynieria chemiczna i podejmuje ważny, aktualny oraz dobrze uzasadniony problem naukowo-technologiczny, związany z rozwojem zielonych technologii ekstrakcji, zastosowaniem naturalnych



mieszanin głęboko eutektycznych jako alternatywnych mediów procesowych, waloryzacją biomasy odpadowej oraz otrzymywaniem frakcji pektynowych z wyłoków owocowych. W mojej ocenie rozprawa stanowi wartościowe opracowanie eksperymentalne, w którym Autorka wykazała znajomość literatury przedmiotu i umiejętność osadzenia własnego problemu badawczego w aktualnym stanie wiedzy, a cel rozprawy oraz postawione hipotezy dotyczące zależności między parametrami procesu ekstrakcji NADES a wydajnością i właściwościami fizykochemicznymi produktów pektynowych zostały zasadniczo zrealizowane. Część doświadczalna została zaprojektowana logicznie: obejmuje dobór i charakterystykę surowców, badania wstępne, optymalizację procesu z wykorzystaniem DoE/RSM i planu I-optimal, weryfikację parametrów optymalnych oraz zastosowanie wybranych warunków do innych rodzajów biomasy odpadowej. Na pozytywną ocenę zasługuje wielokierunkowy zestaw metod analitycznych, obejmujący zarówno optymalizację procesu, jak i charakterystykę produktów oraz frakcji pektynowych metodami chromatograficznymi, spektroskopowymi, spektrofotometrycznymi i mikroskopowymi. Przedstawiony materiał badawczy potwierdza, że praca zawiera element oryginalnego rozwiązania problemu naukowego, polegający na wieloskalowej analizie procesu ekstrakcji pektyn z odpadowej biomasy owocowej z użyciem NADES oraz na wskazaniu zależności między parametrami technologicznymi procesu a składem i strukturą otrzymanych produktów. Uwagi krytyczne sformułowane w recenzji, dotyczące m.in. potrzeby doprecyzowania niektórych wniosków, ostrożniejszego określenia zakresu uogólnienia wyników, dalszych badań funkcjonalnych i reologicznych oraz rozwinięcia aspektów związanych z odzyskiem lub obiegiem NADES, mają charakter konstruktywny i nie podważają zasadniczej wartości rozprawy ani jej pozytywnej oceny końcowej. Rozprawa potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie inżynieria chemiczna, umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz przedstawia oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w rozumieniu artykułu 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2022 r. poz. 574 z późn. zm.).

W świetle przedstawionych wyników uznaję, że rozprawa doktorska mgr inż. Ewy Górskiej zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Element nowości naukowej nie polega tu na samym wykorzystaniu znanych już naturalnych mieszanin głęboko eutektycznych, lecz na całościowym i konsekwentnie udokumentowanym powiązaniu składu medium NADES, w szczególności układu ChCl/CA , parametrów procesu ekstrakcji, rodzaju biomasy odpadowej oraz właściwości fizykochemicznych i strukturalnych otrzymanych frakcji pektynowych. Autorka trafnie zidentyfikowała lukę dotyczącą niedostatecznego rozpoznania zależności między właściwościami rozpuszczalnika, matrycą roślinną, efektywnością ekstrakcji oraz strukturą i funkcjonalnością pektyn, a następnie przełożyła ją na cel pracy obejmujący określenie zależności między parametrami technologicznymi procesu a wydajnością i właściwościami produktów. Nowość ta ma charakter naukowo-technologiczny, jest wystarczająco udokumentowana wynikami własnymi, aby uznać, że rozprawa wnosi oryginalny wkład w projektowanie i ocenę procesów ekstrakcji frakcji pektynowych z biomasy odpadowej z zastosowaniem NADES. Biorąc pod uwagę powyższe, stwierdzam, że przedłożona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Ewy Górskiej spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, i wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Ewy Górskiej do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dyscyplinie inżynieria chemiczna.