

Prof. dr hab. Katarzyna Zarębska

Recenzja
rozprawy doktorskiej

mgr inż. Kingi Mareckiej

*pt. „Otrzymywanie substancji o właściwościach nutraceutyków z torfu i węgla brunatnego
w procesach ekstrakcji alkalicznej wspomaganej mikrofalami i ultradźwiękami”*

1. Podstawa prawna sporządzenia recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pani mgr inż. Kingi Mareckiej pt. *„Otrzymywanie substancji o właściwościach nutraceutyków z torfu i węgla brunatnego w procesach ekstrakcji alkalicznej wspomaganej mikrofalami i ultradźwiękami”*, opracowana pod kierunkiem promotora Prof. dr. hab. inż. Józefa Hoffmanna i promotora pomocniczego dr. inż. Dominika Niewiesia.

Formalną podstawą przygotowania opinii jest zawiadomienie nr 31/10/D05/2025, Prorektora ds. Badań i Innowacji Pana Prof. dr. hab. inż. Dariusza Łydźby, z dnia 20 października 2025 r., w oparciu o uchwałę Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Chemiczna nr 178/14/RDND05/2024–2028, z dnia 15.10.2025 r.

2. Dane o Kandydatce

Pani mgr inż. Kinga Marecka ukończyła studia inżynierskie i magisterskie na Wydziale Chemii Politechniki Wrocławskiej na kierunku Technologia chemiczna, otrzymując wyróżnienie Dziekana za bardzo dobre wyniki. W latach 2021–2025 realizowała studia doktoranckie na Wydziale Chemicznym PWr, przygotowując pod opieką prof. Józefa Hoffmanna i dr. inż. Dominika Niewesia rozprawę dotyczącą otrzymywania substancji o właściwościach nutraceutyków z torfu i węgla brunatnego w procesach ekstrakcji wspomaganej mikrofalami i ultradźwiękami.

W trakcie tych studiów Doktorantka również aktywnie uczestniczyła w działalności naukowej i dydaktycznej Wydziału, prowadząc zajęcia laboratoryjne i opracowując nowe ćwiczenia dotyczące niekonwencjonalnych metod ekstrakcji. Jej badania koncentrują się na zrównoważonych technologiach pozyskiwania substancji humusowych z torfu i węgla brunatnego oraz intensyfikacji tych procesów.

Jest współautorką 13 publikacji, 8 zgłoszeń patentowych i uczestniczką 7 konferencji. Brała udział w projektach realizowanych z przemysłem, m.in. nad antyzbrylaczami i nawozami NPK. Należy do IHSS, PTSH i SITPChem, a w 2024 r. otrzymała IHSS Travel Award. Obecnie kontynuuje badania nad efektywną ekstrakcją kwasów huminowych i fulwowych z surowców alternatywnych.

Dorobek naukowy i aktywność naukową Kandydatki oceniam **bardzo wysoko**.

Dotychczas Kandydatka nie ubiegała się o nadanie stopnia doktora.

3. Ocena rozprawy doktorskiej

3.1. Temat rozprawy

Wybrany temat rozprawy doktorskiej „*Otrzymywanie substancji o właściwościach nutraceutyków z torfu i węgla brunatnego w procesach ekstrakcji alkalicznej wspomaganej mikrofalami i ultradźwiękami*” wpisuje się w obszar badawczy dyscypliny Inżynieria Chemiczna.

Przedłożona rozprawa doktorską podejmuje temat niezwykle aktualny i istotny zarówno z perspektywy nauk o żywności, jak i nowoczesnych technologii przetwarzania surowców naturalnych. Rosnące zainteresowanie żywnością funkcjonalną oraz nutraceutykami o potwierdzonej aktywności biologicznej uzasadnia potrzebę poszukiwania nowych, efektywnych

V2

i bezpiecznych źródeł związków bioaktywnych. W tym kontekście wybór substancji humusowych: kwasów huminowych i fulwowych, jako potencjalnych składników funkcjonalnych jest bardzo zasadny i umotywowany ich właściwościami antyoksydacyjnymi, detoksykacyjnymi oraz zdolnością modulacji procesów biochemicznych w organizmach żywych.

3.2. Układ pracy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska, składająca się z 379 ponumerowanych stron, wraz ze streszczeniami w dwóch językach oraz typową strukturą części wstępnej. Dysertacja zawiera 20 ponumerowanych rozdziałów, w tym: *Stosowane skróty, Wstęp, Część literaturowa, Analiza podstawowa, Regulacje prawne, Wybór tematyki rozprawy doktorskiej, Cel i zakres rozprawy doktorskiej, Część eksperymentalna, Charakterystyka surowców, Badania nad otrzymaniem kwasów huminowych oraz kwasów fulwowych metodami ekstrakcji alkalicznej, Ocena jakościowa związków bioaktywnych otrzymanych w wybranych optymalnych parametrach procesowych, Uproszczone studium wykonalności wybranych procesów otrzymywania kwasów huminowych i fulwowych, Uproszczona ocena cyklu życia, Wnioski, Podsumowanie, Bibliografia, Spis tabel oraz Spis rysunków.*

Struktura pracy jest typowa dla prac eksperymentalnych, jej konstrukcja jest właściwa. Biorąc pod uwagę obszerność pracy, układ jest przejrzysty.

3.3. Ocena celowości podjętej tematyki

Tematyka rozprawy jest trafnie dobrana i w pełni uzasadniona aktualnymi wyzwaniami naukowymi oraz praktycznymi. W obliczu rosnącego zainteresowania żywnością funkcjonalną i nutraceutykami, zwłaszcza tymi opartymi na naturalnych związkach bioaktywnych, podjęcie badań nad substancjami humusowymi jako potencjalnymi składnikami funkcjonalnymi należy uznać za aktualne i celowe. Autorka właściwie identyfikuje niszę badawczą związaną z brakiem nowoczesnych, energooszczędnych i środowiskowo korzystnych metod pozyskiwania kwasów huminowych i fulwowych, a wybór technologii wspomaganych mikrofalami i ultradźwiękami wpisuje się w światowe trendy intensyfikacji procesów ekstrakcyjnych. Zastosowanie analizy patentowej, studium wykonalności oraz uproszczonej oceny cyklu życia dodatkowo potwierdza praktyczny i aplikacyjny charakter pracy, zaś połączenie badań laboratoryjnych z oceną ekonomiczną i środowiskową świadczy o kompleksowym ujęciu problemu. W tym kontekście temat rozprawy należy ocenić jako w pełni uzasadniony, nowoczesny i odpowiadający

rzeczywistym potrzebom sektora biotechnologii, technologii chemicznej i przemysłu nutraceutycznego.

3.4. Struktura i ocena kluczowych rozdziałów rozprawy

Przedłożona rozprawa doktorska stanowi obszerne, starannie opracowane studium dotyczące pozyskiwania substancji humusowych z torfu i węgla brunatnego metodami ekstrakcji alkalicznej, wspomaganej ultradźwiękami i mikrofalami, oraz ich charakterystyki pod kątem zastosowań nutraceutycznych.

We wstępie Autorka syntetycznie opisuje ewolucję technologii pozyskiwania i przetwarzania żywności, wskazując na rosnące zainteresowanie żywnością funkcjonalną oraz nutraceutykami. Trafnie podkreśla znaczenie naturalnych substancji bioaktywnych oraz potrzebę opracowania metod ich pozyskiwania zgodnych z zasadami zrównoważonego rozwoju. Trafnie i rzeczowo argumentuje wybór substancji humusowych - kwasów huminowych i fulwowych jako potencjalnych nutraceutyków o aktywności antyoksydacyjnej i detoksykacyjnej.

Rozdziały przeglądowe 4.1 do 4.4 stanowią obszerne i poprawnie zredagowane omówienie najnowszej i dostępnej literatury naukowej w dziedzinie będącej przedmiotem pracy. Autorka jasno przedstawia definicje i klasyfikacje żywności funkcjonalnej oraz nutraceutyków, wykazując różnice między nimi i omawiając charakterystyczne grupy związków bioaktywnych (aminokwasy, węglowodany, NNKT, minerały, witaminy, polifenole, karotenoidy). Bardzo szczegółowo i kompetentnie omówiono właściwości substancji humusowych, ich genezę, strukturę chemiczną oraz wielokierunkowe zastosowania: od bioremediacji i rolnictwa, poprzez preparaty paszowe, suplementy diety, kosmetyki aż po wykorzystanie przemysłowe.

Na uwagę zasługuje rozdział poświęcony analizie patentowej, obejmujący trzecią dekadę rozwoju technologii pozyskiwania substancji humusowych (lata 1995–2025). Autorka prawidłowo identyfikuje dominujące kierunki rozwoju: klasyczną ekstrakcję alkaliczną oraz nowoczesne podejścia wykorzystujące fermentację, hydrolizę, metody mechanochemiczne, separację membranową czy modyfikacje chemiczne. Spośród około 7000 zgłoszeń patentowych wybrała 50 najbardziej reprezentatywnych, analizując je pod kątem surowców, zastosowanych technologii i przeznaczenia produktów. Rozwiązania te dobrze wpisują się w aktualne trendy gospodarki o obiegu zamkniętym i wzrostu znaczenia surowców odnawialnych.

W rozdziale dotyczącym aspektów prawnych (**rozd. 6**) Autorka właściwie wskazuje na brak odrębnej kategorii regulacyjnej dla nutraceutyków, klasyfikowanych obecnie jako

suplementy diety, co ma istotne znaczenie dla bezpieczeństwa i odpowiedzialności producentów. Analiza ta została przeprowadzona rzetelnie i w oparciu o aktualne przepisy.

W kolejnych rozdziałach Autorka precyzyjnie uzasadnia wybór tematu, formułując jasno cele - opracowanie technologii pozyskiwania kwasów huminowych i fulwowych o jakości umożliwiającej zastosowanie nutraceutyczne oraz wykonanie uproszczonego studium wykonalności i oceny cyklu życia. Wyznaczone zadania badawcze tworzą spójną, logiczną całość obejmującą charakterystykę surowców, optymalizację metod ekstrakcji, ocenę właściwości związków oraz analizę środowiskową i ekonomiczną procesów.

Rozdział 8 obejmuje *Cel i zakres rozprawy doktorskiej*, w którym Doktorantka jako główne zamierzenie badawcze wytycza sobie otrzymanie kwasów huminowych i fulwowych o jakości pozwalającej na ich zastosowanie jako nutraceutyki oraz opracowanie Uproszczonego Studium Wykonalności wraz z uproszczoną Oceną Cyklu Życia.

Część eksperymentalna (rozdz. 9) jest przedstawiona bardzo szczegółowo. Autorka poprawnie identyfikuje kluczowe zmienne operacyjne (temperatura, czas, mieszanie, intensywność ultradźwięków i mikrofal) i uzasadnia użycie planu Boxa-Behnkena. Opis procedur laboratoryjnych, oprzyrządowania oraz stosowanych metod analitycznych jest kompletny i umożliwia powtórzenie doświadczeń. Uwagę zwraca dbałość o wiarygodność statystyczną: losowa kolejność eksperymentów, kontrola czynników zakłócających oraz szczegółowe analizy ANOVA i diagnostyki modelu. Charakterystyka surowców wykazuje istotne różnice właściwości torfu i węgla brunatnego, dotyczące wilgotności, zawartości popiołu, stosunku KH/KF, składu pierwiastkowego oraz widm FTIR. Autorka trafnie interpretuje te różnice jako odzwierciedlenie stopnia przeobrażenia geochemicznego surowców. Wyniki części eksperymentalnej (**rozdz. 11 i 12**) zawierają obszerne modele statystyczne, wykresy odpowiedzi oraz szczegółowe omówienia wpływu parametrów procesu. |

Bardzo wysoko oceniam **rozdział 13** dotyczący jakości otrzymanych substancji humusowych. Zawarte tu analizy elementarne, oznaczenia grup funkcyjnych (karboksylowych i fenolowych), badania aktywności antyoksydacyjnej oraz interpretacja widm FTIR i NMR są poprawne metodycznie i bogate w szczegóły. |

Otrzymane wyniki są spójne z danymi literaturowymi i wskazują na dobry poziom kontroli nad procesem ekstrakcji.

W końcowej części rozprawy przedstawione zostało uproszczone studium wykonalności wraz z bilansem masowym i wstępną oceną cyklu życia dla 1 kg produktu. Jest to wartościowy i rzadko spotykany w pracach doktorskich element, świadczący o inżynierskim i aplikacyjnym podejściu Autorki.

W **rozdziale 14.3** Autorka omawia aparaturę procesową niezbędną do realizacji analizowanych wariantów technologicznych. W sposób poprawny i świadczący o zrozumieniu zagadnienia zwraca uwagę na ograniczenia stosowanych technologii oraz na warunki procesowe determinujące dobór urządzeń. Przedstawiono kryteria wyboru aparatury dla ekstrakcji z mieszaniem mechanicznym, ekstrakcji wspomaganej ultradźwiękami lub mikrofalami, uzupełniając je o orientacyjne koszty urządzeń. W opinii recenzenta pewnego doprecyzowania wymaga skala projektowanej w pracy aparatury. Autorka przyjmuje parametry obliczeniowe na potrzeby studium wykonalności, jednak w tekście nie przedstawiono jednoznacznego uzasadnienia dla przyjętych wartości operacyjnych (dozy odpowiadające 100 kg KH lub 10 kg KH w przypadku mikrofal). Mimo to przedstawione zestawienie aparatury jest poprawne, funkcjonalne i adekwatne do zakresu pracy. W **rozdziale 14.4** zawarto uproszczone studium wykonalności otrzymywania kwasów huminowych z torfu i węgla brunatnego. Opracowanie to stanowi jeden z najcenniejszych fragmentów rozprawy, wskazujące na umiejętność łączenia wyników eksperymentalnych z analizą techniczno-ekonomiczną oraz środowiskową. Autorka określiła bilanse materiałowo-energetyczne, zapotrzebowanie na surowce, odczynniki i energię, a także oszacowała ilość odpadów i wody technologicznej oraz koszty operacyjne i inwestycyjne. Zastosowane wskaźniki ekonomiczne (NPV, IRR, PT, MESP) pozwalają na rzeczywistą ocenę opłacalności poszczególnych wariantów technologicznych, a przyjęcie jednostki odniesienia 1 kg suchego KH jest metodologicznie prawidłowe. Autorka przeprowadza porównanie trzech metod ekstrakcji z mieszaniem mechanicznym, wspomaganej ultradźwiękami oraz mikrofalami, wykazując różnice w energochłonności oraz wpływie na środowisko. Wyniki przedstawiono klarownie i konsekwentnie.

Doktorantka uwzględnia również wpływ recyrkulacji wody technologicznej i odczynników, co podnosi wartość opracowania, wskazując na dojrzałe podejście do analizy środowiskowej.

Podrozdział dotyczący wpływu procesów na środowisko stanowi istotne uzupełnienie analizy techniczno-ekonomicznej. Wykonana ocena, obejmująca zużycie energii, odczynników oraz stopień generowania odpadów, jest przedstawiona w sposób przejrzysty, a porównanie torfu i węgla brunatnego w różnych wariantach procesowych pozwala na jednoznaczne sformułowanie wniosków.

Omówione szczegółowo, we wcześniejszej części opracowania, **rozdziały 14.3 i 14.4** oceniam pozytywnie. Stanowią przykład kompleksowego podejścia technologicznego, obejmującego nie tylko wyniki laboratoryjne, lecz również ich przełożenie na realne uwarunkowania przemysłowe. Autorka wykazuje się umiejętnością krytycznej i rzeczowej oceny procesów ekstrakcyjnych, właściwie zestawia parametry technologiczne oraz prawidłowo formułuje wnioski o charakterze aplikacyjnym. Jest to fragment o wysokiej wartości poznawczej i praktycznej, który znacząco podnosi rangę całej rozprawy doktorskiej. W podsekcji **rozdziału 14.4 – Analiza ekonomiczna**, Autorka przedstawia ocenę opłacalności badanych metod ekstrakcji kwasów huminowych, uwzględniając CAPEX, OPEX i kluczowe wskaźniki finansowe.

Rozdział 14.5 stanowi uproszczone studium wykonalności produkcji kwasów fulwowych z torfu i węgla brunatnego. Oceniono trzy warianty technologiczne (MME, UAE, MAE) pod kątem

VR

bilansów materiałowo-energetycznych, wpływu na środowisko oraz opłacalności ekonomicznej. Analiza obejmuje koszty operacyjne i inwestycyjne, zużycie surowców i energii, a także wskaźniki NPV, IRR i czas zwrotu. Wyniki pozwalają wskazać najbardziej efektywny technologicznie, środowiskowo i ekonomicznie wariant oraz stanowią podstawę do dalszej analizy cyklu życia (LCA).

Rozdział 15 – *Uproszczona ocena cyklu życia* przedstawia LCA procesów wytwarzania kwasów huminowych i fulwowych z torfu i węgla brunatnego dla trzech technologii ekstrakcji (MME, UAE, MAE). Analiza ma charakter gate-to-gate i obejmuje etapy jednostkowe realizowane w instalacji przemysłowej, z pominięciem wydobycia surowców i końca życia produktów. Określono jednostkę funkcjonalną (1 kg KH lub 1 kg KF), opisano sposób alokacji współproduktów zgodnie z normami ISO 14044 i PEF oraz zasady modelowania energii elektrycznej. W LCA uwzględniono trzy kategorie wpływu: emisje gazów cieplarnianych, zużycie zasobów kopalnych oraz zużycie wody.

Dane wejściowe podzielono na foreground i background, a ich jakość oceniono metodologią DQR, wskazując najwyższą wiarygodność danych dotyczących energii. W rozdziale przedstawiono inwentaryzację cyklu życia (LCI) i ocenę wpływu (LCIA) procesów otrzymywania kwasów huminowych i fulwowych z torfu i węgla brunatnego dla trzech technologii: MME, UAE i MAE. Zebrano dane dotyczące zużycia surowców, energii elektrycznej, pary technologicznej oraz odczynników (NaOH, HCl), a także półproduktów podlegających alokacji.

Wykonana analiza ujawniła różnice między wariantami:

W ocenie środowiskowej uwzględniono trzy kategorie wpływu: GWP, RUF i AWARE.

W **podrozdziale 15.3** – *Analiza LCA*, której wyniki są silnie zależne od przyjętych założeń i uproszczeń, wskazuje również na znaczne różnice środowiskowe między technologiami.

Jednocześnie zakres *gate-to-gate* i zróżnicowana jakość danych (szczególnie dla odczynników) ograniczają możliwość pełnej i porównywalnej oceny środowiskowej.

W **rozdziale 16 Wnioski** Autorka przedstawia w punktach 32 konkluzje wynikające z realizacji pracy. Najistotniejsze z nich wskazują, że torf i węgiel brunatny różnią się znacząco składem. Torf jest materiałem bardziej alifatycznym i mniej humifikowanym, natomiast węgiel brunatny charakteryzuje się większą aromatycznością i wyższą zawartością kwasów huminowych.

W analizie cyklu życia stwierdzono, że wytwarzanie kwasów huminowych jest mniej obciążające środowisko niż produkcja kwasów fulwowych, głównie ze względu na niższe zużycie zasobów kopalnych i energii.

Rozdział 17 Podsumowanie w sposób syntetyczny przedstawia najistotniejsze z punktu widzenia Doktorantki osiągnięcia będące efektem realizowanych badań. Opracowano pełną koncepcję technologii ekstrakcji alkalicznej kwasów huminowych i fulwowych z torfu i węgla brunatnego, obejmującą ocenę techniczną, środowiskową i ekonomiczną różnych metod: mieszania mechanicznego, ultradźwięków i mikrofal. Przeprowadzone badania pozwoliły wyznaczyć optymalne parametry ekstrakcji, opracować bilanse materiałowe oraz zbudować

koncepcję aparaturową i pełną analizę procesów.

Opracowane rozwiązania wskazują na realną możliwość wdrożenia technologii ekstrakcji substancji humusowych z torfu i węgla brunatnego w skali przemysłowej, szczególnie w wariantach wspomaganych mikrofalami. Dodatkową wartością jest możliwość zagospodarowania niskoenergetycznych surowców, takich jak torf niskiej wartości opałowej czy węgiel brunatny, jako źródła cennych składników bioaktywnych.

Rozdział 18 Bibliografia liczy 394 aktualnych, z ostatnich 10 lat, pozycji literaturowych o zasięgu międzynarodowym. Dobór literatury uważam za właściwy. Praca zawiera 118 ponumerowanych i opisanych tabel oraz 90 ponumerowanych i podpisanych rysunków.

Rozprawa prezentuje wysoki poziom merytoryczny, oryginalność podejścia oraz bardzo dobre opanowanie metod eksperymentalnych i analizy danych. Autorka wykazała się umiejętnością łączenia badań laboratoryjnych z analizą procesową i środowiskową, a przedstawione wyniki wnoszą istotny wkład do rozwoju technologii pozyskiwania i charakterystyki substancji humusowych wykorzystywanych w charakterze nutraceutyków.

Cele postawione w pracy uważam za prawidłowe i w sposób wyczerpujący zrealizowane przez Kandydatkę.

Metodyka przeprowadzonych i opisanych badań/procedur badawczych jest wystarczająca i właściwa.

Podjęty temat jest aktualny i omawiany w literaturze, jednak podejście Doktorantki do tematu jest **oryginalne i nowatorskie**, stanowi istotny wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie inżynieria chemiczna w obszarze zastosowania kwasów huminowych i fulwowych jako nowych, bezpiecznych składników żywności funkcjonalnej.

W trakcie czytania rozprawy nasuwają się drobne uwagi, przedstawione poniżej, w mojej opinii najistotniejsze:

- Należy ujednolicić zapis stężenia, w kilku miejscach równolegle stosowane są oznaczenia M oraz mol/dm^3 , powinno być mol/dm^3 .

- W tekście występują drobne niekonsekwencje interpunkcyjne (szczególnie w zestawieniach z użyciem „oraz” i „i”).
- W opisie procesów zaleca się stosowanie terminu „utlenianie” zamiast „oksydacja”.
- Na stronie 35 jako jednostkę masy cząsteczkowej podano [Da], zgodnie z nomenklaturą IUPAC właściwe jest użycie [u].
- Na stronie 57 pojawia się określenie „duża sorpcyjność”, mające charakter żargonowy, wskazane byłoby zastosowanie terminu wysoka pojemność sorpcyjna.
- Na stronie 82 (rozdz. 9.6.2) w tytule podrozdziału występuje błąd, zdanie „Oznaczenie zawartości popiołu zgodnie...” jest urwane i niedokończone.
- Na stronie 88 pojawia się termin „molarność” – zaleca się konsekwentne stosowanie „stężenie molowe”.
- W rozdziale dotyczącym LCA (str. 76) właściwa forma to „ocena oddziaływania środowiskowego”, nie „ocena oddziaływań środowiskowych”.
- Rozdział 17 – *Podsumowanie i wnioski* stanowi zbiór ogólnych konkluzji. Według mnie zasadne byłoby krótkie przedstawienie czy omówienie tych szczególnie istotnych, jak potwierdzenie postulowanych hipotez badawczych, na przykład w formie porównania czy też podsumowania całego obszaru przeprowadzonych badań w kontekście otrzymanych wyników.

Powyższych uwag nie należy odczytywać jako zarzutów, gdyż należy podkreślić, iż temat jest aktualny, przeprowadzone przez Autorkę badania bardzo ciekawe i istotne zarówno w aspekcie naukowym jak i ich potencjalnego zastosowania. Poniżej komentarze i uwagi, o których wyjaśnienie poproszę podczas obrony:

- 1) W części eksperymentalnej stosowano bardzo małe masy próbek (1 g). Jak Autorka zapewniła reprezentatywność materiału przy tak małych ilościach, zważywszy na heterogeniczność torfu i węgla brunatnego?
- 2) W zestawieniu aparatury i kosztów brakuje informacji, czy podane wartości obejmują wyłącznie zakup urządzeń, czy również koszty instalacji, infrastruktury oraz eksploatacji?
- 3) W interpretacji wyników FTIR i NMR dominują opisy jakościowe. Czy wykonano również analizę porównawczą (np. stosunek struktur aromatycznych do alifatycznych)?

- 4) Plan Boxa-Behnkena nie obejmuje skrajnych wartości zmiennych. Czy Autorka uwzględniła to ograniczenie w interpretacji wyników? W opisie wyników pojawia się wzmianka o efektach liniowych i kwadratowych. Czy została przeprowadzona analiza interakcji między zmiennymi? Jeżeli tak, warto przedstawić jej znaczenie.
- 5) _____
Jak zdefiniowano kryterium korzystności: energetyczne, czasowe, jakościowe czy ekonomiczne?
- 6) W rozdziale dotyczącym LCA brakuje jednoznacznego określenia zakresu granic systemu (system boundaries). Czy analiza obejmuje jedynie etap ekstrakcji, czy także przygotowanie surowca, produkcję odczynników i energii?
- 7) Analizę przeprowadzono na podstawie danych laboratoryjnych skalowanych do większych jednostek. Jak uwzględniono niepewności wynikające z takiego przeskalowania?
- 8) Analiza środowiskowa procesów ekstrakcji – tu kluczowym elementem jest zużycie energii oraz generowanie odpadów. Czy analizowano również toksyczność odpadów lub ich potencjał recyklingowy? Procesy z użyciem NaOH generują ścieki o wysokim pH. Czy Autorka uwzględniła koszty i wpływ środowiskowy neutralizacji roztworów poreakcyjnych?
- 9) W mojej opinii brakuje analizy wrażliwości (sensitivity analysis) dla kluczowych parametrów, takich jak zużycie energii, stężenie roztworów alkalicznych czy wydajność ekstrakcji. Czy Autorka ma możliwość przewidzenia, które parametry mają największy wpływ na wynik środowiskowy?
- 10) W niektórych fragmentach wyniki LCA i analiza ekonomiczna wskazują inne warianty jako korzystne. Czy Autorka przewidziała łączną funkcję celu (np. eco-efficiency), która pozwoliłaby na zintegrowaną ocenę obu aspektów? Czy rozważano wpływ zmiany założeń energetycznych (np. udziału OZE) na porównanie metod ekstrakcji?
- 11) Autorka przedstawia ocenę oddziaływania środowiskowego osobno dla torfu i węgla brunatnego. Czy porównanie między surowcami odniesiono do tony surowca, czy do 1 kg produktu? Ma to istotne znaczenie dla interpretacji wyników.

Rozprawa została napisana poprawnie. Na podkreślenie zasługuje dodatkowe opracowanie obszernych wyników badań w renomowanych czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym i wysokim współczynniku oddziaływania, co czyni mgr inż. Kingę Marecką

rozpoznawalną na arenie międzynarodowej w tematyce technologii przetwarzania i zagospodarowania surowców naturalnych. Autorka wyróżnia się biegłością w doborze materiału, planowaniu eksperymentu oraz analizie uzyskanych wyników doświadczalnych.

Sformułowany cel naukowy został przez Doktorantkę osiągnięty. Mimo drobnych uwag o charakterze dyskusyjnym pracę oceniam wysoko.

4. Wniosek końcowy

Pani mgr inż. Kinga Marecka wykazała się odpowiednią znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie opracowanej dysertacji, umiejętnością planowania i prowadzenia badań, wykorzystania metod badawczych, analizy wyników i formułowania wniosków. Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę Pani mgr inż. Kingi Mareckiej w dyscyplinie Inżynieria Chemiczna **oraz umiejętność samodzielnego planowania i prowadzenia pracy naukowej.** Przedstawione w recenzji uwagi mają na celu poprawę warsztatu naukowego, gdyż jak podkreślono, temat jest aktualny, przeprowadzone przez Autorkę badania są bardzo interesujące i istotne, zarówno w aspekcie naukowym jak i ich potencjalnego zastosowania. Rozprawę doktorską mgr inż. Kingi Mareckiej oceniam pozytywnie, a **oryginalne rozwiązanie problemu naukowego** wnosi istotny wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie Inżynieria Chemiczna.

Opiniowana rozprawa doktorska spełnia wymagania określone w artykule 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1668 ze zm.) stawiane rozprawom doktorskim, tj. prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie inżynieria chemiczna oraz umiejętność prowadzenia badań naukowych przez Doktorantkę.

Na tej podstawie wnioskuję o dopuszczenie Pani mgr inż. Kingi Mareckiej do obrony rozprawy.

Jednocześnie, uwzględniając wysoką wartość merytoryczną, ponadprzeciętne osiągnięcia naukowe Kandydatki, w szczególności w obszarze praktycznego zastosowania otrzymanych wyników oraz znaczący dorobek w zakresie zgłoszeń patentowych zwracam się do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynierii Chemicznej Politechniki Wrocławskiej z wnioskiem **o wyróżnienie rozprawy.**

