



Poznań, 20.01.2025 r.

RECENZJA**rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Braun-Giwerskiej**

z tytułowanej

**„Wykorzystanie naturalnych materiałów węglonośnych
w technologiach produktów użytecznych”**opracowana na zlecenie Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Chemiczna
Politechniki Wrocławskiej

(Uchwała nr 32/3/RDND05/2024-2028 z dnia 13.11.2024 r. oraz pismo RDND05/48/2024-2028 z dnia 20.11.2024 r.)

Informacje ogólne i ocena tematyki rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Braun-Giwerskiej została zrealizowana w Katedrze Inżynierii i Technologii Procesów Chemicznych Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej, pod kierunkiem dr hab. inż. Marty Huculak-Mączka, prof. PWr, a zagadnienia w niej poruszane są kontynuacją realizowanego przez zespół nurtu prac badawczych nad pozyskiwaniem preparatów huminowych z krajowych surowców węglonośnych.

Oceniając przedłożoną do recenzji pracę doktorską pod uwagę brano następujące kryteria: oryginalność i nowatorski charakter badań, trafność wyboru problemu badawczego, metodologię postępowania, dobór wykorzystanych metod oraz technik badawczych, jak również poprawność interpretacji uzyskanych wyników oraz dyskusji skorelowanej z aktualnym stanem wiedzy. Zweryfikowana została także skuteczność osiągnięcia założonego celu badań. Istotny, aczkolwiek dodatkowy aspekt oceny, stanowiły osiągnięcia naukowe Doktorantki.

Tematyka rozprawy doktorskiej skoncentrowana została na opracowaniu nowej metody otrzymywania kwasów huminowych i biowęgla z wybranych surowców węglonośnych (torf i węgiel brunatny), o właściwościach predysponujących do ich użycia w szeroko rozumianym rolnictwie.

Wytwarzanie wartościowych produktów w różnych gałęziach przemysłu, w głównej mierze opiera się na przetwarzaniu surowców naturalnych, których złoża są limitowane, a to skłania do ich racjonalnego i efektywnego wykorzystania. Stąd opracowywanie skutecznych, alternatywnych do powszechnie stosowanych, metod pozyskiwania szerokiej gamy materiałów z surowców naturalnych jest przedmiotem badań wielu renomowanych ośrodków naukowych na całym świecie. Biorąc pod uwagę różnorodność surowców naturalnych, m.in. zróżnicowany skład chemiczny i wykazywane właściwości fizykochemiczne, determinowane miejscem występowania czy pochodzeniem, ich przetwarzanie nie jest wcale takie proste i wymaga wszechstronnej analizy/optimalizacji. Do tej grupy surowców zalicza się opisany w pracy torf czy węgiel brunatny, które ze względu na zachodzące w środowisku procesy humifikacji czy mineralizacji,

są wartościowym źródłem m.in. substancji humusowych. Pomimo, że do dnia dzisiejszego zaproponowano i opublikowano wiele rozwiązań w zakresie pozyskiwania substancji humusowych z surowców naturalnych, wciąż dąży się do ich udoskonalania i propozycji nowych, jako że odgrywają one kluczową rolę w transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym, która jest niezbędnym elementem tworzenia niskoemisyjnej, zasobooszczędnej, innowacyjnej i konkurencyjnej gospodarki Polski. Gospodarka o obiegu zamkniętym, o której mowa, wpisana jest jako Krajowa Inteligentna Specjalizacja (KIS 7 z dnia 13.02.2023 r.) wskazująca na preferencyjne obszary wsparcia innowacyjnych prac badawczych, rozwojowych i wdrożeniowych, związanych ze zrównoważonym zagospodarowaniem zasobów odnawialnych i nieodnawialnych. W ten nurt wpisuje się tematyka ocenianej rozprawy doktorskiej, której głównym założeniem jest efektywne wykorzystanie niskowartościowych surowców i strumieni odpadowych jako źródła cennych komponentów dla rolnictwa. Jest ona bardzo aktualna i istotna z naukowego oraz z praktycznego punktu widzenia. Do wyodrębniania substancji humusowych stosuje się najczęściej ekstrakcję w warunkach alkalicznych, a jej skuteczność determinowana jest przede wszystkim rodzajem surowca i ekstrahenta. Temu zagadnieniu poświęcona została istotna część prac badawczych zaprezentowanych w ocenianej rozprawie doktorskiej. Doktorantka podjęła się rozwiązania oryginalnego problemu badawczego związanego z modyfikacją powszechnie stosowanej metodyki (opisanej przez Międzynarodowe Towarzystwo Substancji Humusowych), proponując użycie alternatywnych ekstrahentów i czynników strącających, które w razie ich pozostałości w matrycy substancji humusowych czy biowęgla, nie będą eliminowały lub utrudniały ich praktycznego użycia w rolnictwie. Co więcej, podjęta została także próba dalszej obróbki stałego „odpadu” pozostającego po ekstrakcji, w kierunku otrzymania biowęgla. Zaproponowane przez Doktorantkę podejście jest ambitne, interdyscyplinarne i wielokierunkowe – od oceny jakości surowców węglonośnych, przez ich ekstrakcję i pozyskanie kwasów huminowych, a kolejno wykorzystanie pozostałości poprocesowej jako źródła biowęgla. Na uwagę zasługuje także wnikliwa analiza wpływu parametrów technologicznych na wydajność analizowanego procesu, wsparta opisem matematycznym z użyciem macierzy eksperymentalnej oraz optymalizacyjnych modeli wielomianowych. Takie podejście stwarza możliwości do efektywnego wykorzystania surowców naturalnych, wpływa na ograniczenie strat wartościowej frakcji huminowej, z jednoczesnym zmniejszeniem ilości stałej pozostałości poprocesowej. Ponadto, było platformą do opracowania uproszczonej koncepcji opisanego w rozprawie procesu, co stanowi użyteczny aspekt prezentowanych zagadnień. Warto podkreślić, że jakakolwiek zmiana/usprawnienie w gospodarce surowcami naturalnymi i komponentami z nich pozyskiwanymi może nieść ze sobą wymierne korzyści ekonomiczne czy środowiskowe – tak istotne z punktu widzenia założeń zrównoważonej gospodarki, co Autorka podkreśla w swoich rozważaniach. W mojej ocenie jest to jednoznaczne potwierdzenie znaczenia i nowatorskiego charakteru tematyki badawczej, której poświęcona została rozprawa doktorska, a także zasadności prowadzenia badań w tym kierunku.

Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Oceniana rozprawa doktorska, została przygotowana w języku polskim i przedstawiona na 178 stronach maszynopisu. Układ dysertacji jest klasyczny. Warto podkreślić, że została zredagowana bardzo poprawnie, a jej szata graficzna jest godna pochwały. Pierwszy element pracy stanowią *Streszczenia w języku polskim i angielskim, Spis treści, Wykaz stosowanych skrótów i oznaczeń próbek badawczych oraz Wprowadzenie*. W dalszej części, Doktorantka prezentuje *Część literaturową*, która bardzo dobrze wprowadza czytającego w tematykę prezentowanych zagadnień

badawczych. Treści zawarte w poszczególnych rozdziałach w głównej mierze dotyczą charakterystyki substancji humusowych, ich klasyfikacji, metod otrzymywania na drodze ekstrakcji, znaczenia i potencjalnych kierunków gospodarczego zastosowania. Poruszone zostają także zagadnienia związane z torfem i węglem brunatnym jako surowcami do otrzymywania wspomnianych substancji. Za kluczowy, z punktu widzenia tematyki rozprawy doktorskiej, uznaje rozdział prezentujący przegląd patentów w zakresie metod otrzymywania substancji humusowych. Ten fragment rozprawy dowodzi dokładnej analizy zagadnienia, co z jednej strony potwierdza świetne przygotowanie Doktorantki, a z drugiej, wskazuje na elementy nowości naukowej zrealizowanych prac eksperymentalnych. Wartościowy przegląd literatury kończy rozdział, w którym zaprezentowane zostały ogólne informacje odnośnie biowęgla. Biorąc pod uwagę zakres zaplanowanych prac badawczych, zwłaszcza etap „transformacji” pozostałości poprocesowej w biowęgiel, w mojej opinii ten fragment pracy powinien być bardziej rozbudowany, kosztem miejscami zbyt szczegółowo potraktowanych rozdziałów o torfie i węglu brunatnym. Zaprezentowana część literaturowa jednoznacznie dokumentuje ilość opublikowanych prac naukowych dotyczących zasadności pozyskiwania substancji humusowych z zasobów naturalnych na drodze ekstrakcji, stanowiących interesującą frakcję o właściwościach predysponujących do zastosowań w różnych aspektach gospodarki.

Kolejnym elementem rozprawy jest *Cel i zakres pracy* – w mojej opinii cel badań został dobrze zdefiniowany i wskazuje na wielokierunkowe podejście Doktorantki do analizowanego zagadnienia. Jest on swego rodzaju połączeniem koncepcji chemicznej i technologicznej procesu – od zaplanowania eksperymentu, poprzez wykonanie prac doświadczalnych, wsparte opisem matematycznym, aż po wstępne opracowanie założeń technologicznych mających potencjał aplikacyjny. Doktorantka wyszczególniła 4 główne etapy prac badawczych, a nadrzędnym założeniem było opracowanie nowatorskiej metody otrzymywania wartościowych składników dla rolnictwa – kwasów huminowych i biowęgla – z krajowych surowców węglonośnych:

- ✓ wyselekcjonowanie i charakterystyka materiałów węglonośnych jako źródła substancji humusowych;
- ✓ analiza procesu otrzymywania kwasów huminowych z wyselekcjonowanych surowców, na drodze ekstrakcji alkalicznej oraz strącania;
- ✓ ocena wpływu parametrów technologicznych proponowanego rozwiązania na wydajność pozyskiwania substancji humusowych, wsparta opisem matematycznym (macierz eksperymentalna i optymalizacyjne modele wielomianowe);
- ✓ analiza możliwości pozyskiwania biowęgla z pozostałości poekstrakcyjnych.

Zabrakło mi jednak zaakcentowania nowości naukowej podjętych badań czy postawionej hipotezy badawczej, na którą odpowiedzią powinny być uzyskane zależności eksperymentalne. Do zrealizowania założonego celu naukowego mgr inż. Magdalena Braun-Giwerska zastosowała niezbędne metody i techniki badawcze.

W *Części doświadczalnej*, Doktorantka prezentuje opis stosowanych w badaniach materiałów, przebieg eksperymentów, charakterystykę zastosowanych technik badawczych, jak i omówienie uzyskanych wyników. Autorka szczegółowo opisała kolejne etapy prac uwzględniające analizę surowców oraz powstających substancji humusowych czy biowęgla – metodę oznaczania zawartości wilgoci i popiołu, oznaczanie kwasów huminowych, analizę elementarną, spektroskopię magnetycznego rezonansu jądrowego (^{13}C NMR), spektroskopię w podczerwieni (ATR-FTIR) czy procedurę miareczkowania potencjometrycznego. Na uwagę zasługuje spektrum zastosowanych metod i technik analitycznych, które w zdecydowany sposób pozwoliły na wyciągnięcie

wartościowych wniosków z przeprowadzonych badań. Wartością dodaną jest podsumowanie pojawiające się po każdym opisanym etapie prac badawczych. Całość pracy wieńczą: *Wnioski i Podsumowanie*, *Bibliografia* obejmująca 204 aktualne pozycje publikacyjne i monograficzne, z których większość to doniesienia z ostatnich 10-15 lat, *Spis rysunków i tabel* (oceniana rozprawa zawiera 32 rysunki i 39 tabel), oraz *Dorobek naukowy* Doktorantki.

Ocena osiągnięć Doktorantki

Analizując tok postępowania oraz osiągnięcia poszczególnych etapów prac doświadczalnych, nie podlega wątpliwości, że mgr inż. Magdalena Braun-Giwerska podjęła się rozwiązania ambitnego i oryginalnego problemu badawczego, o istotnym znaczeniu poznawczym i praktycznym. Uzyskane zależności eksperymentalne zostały zaprezentowane w sposób przejrzysty, szczegółowy, właściwie podsumowane i skorelowane z obecnym stanem wiedzy, a ich chronologia w zdecydowany sposób ułatwia poruszanie się po dość obszernym materiale eksperymentalnym. Rozważania nad doбором najkorzystniejszych warunków wydzielania frakcji kwasów huminowych z krajowych surowców węglonośnych, z dodatkową możliwością ich wzbogacenia w makroskładniki nawozowe, przy jednoczesnym zmniejszeniu szkodliwości procesu dla środowiska, powinny sprzyjać projektowaniu innowacyjnych rozwiązań dla szeroko rozumianej technologii chemicznej nieorganicznej. Tym samym, w mojej opinii, cele postawione przez Doktorantkę zostały zrealizowane, a do najważniejszych osiągnięć mgr inż. Magdaleny Braun-Giwerskiej zaliczyć należy:

- ✓ zaproponowanie wykorzystania alternatywnych reagentów w procesie otrzymywania kwasów huminowych, na etapie ekstrakcji i strącania ($\text{NH}_{3\text{aq}}$ oraz H_3PO_4), i udokumentowanie braku ich negatywnego wpływu na jakość wyodrębnianej frakcji kwasów huminowych – zaletą jest także wzbogacanie frakcji w wartościowe makroelementy;
- ✓ potwierdzenie istotnych różnic w jakości/właściwościach kwasów huminowych uzyskiwanych z dwóch surowców węglonośnych (torfu i węgla brunatnego) w dwóch różnych wariantach prowadzenia procesu ekstrakcji i strącania;
- ✓ określenie wpływu parametrów technologicznych (stężenie ekstrahenta, czas i temperatura reakcji) na wydajność wydzielania frakcji kwasów huminowych, stosując analizę statystyczną oraz optymalizacyjne modele wielomianowe – pozwoliło to na wskazanie najkorzystniejszych parametrów etapu ekstrakcji torfu i węgla brunatnego, których wymiernym efektem powinna być poprawa ekonomiki procesu i ograniczenie jego oddziaływania na środowisko, będąca następstwem efektywnego wykorzystania surowców naturalnych, maksymalizacji ilości wydzielanej frakcji kwasów huminowych z jednoczesnym ograniczaniem ilości pozostałości poprocesowej;
- ✓ potwierdzenie możliwości otrzymania wartościowego produktu – biowęgla – w procesie zagospodarowania pozostałości po procesie ekstrakcji torfu i węgla brunatnego, na drodze pirolizy, a także wskazanie najkorzystniejszych warunków realizacji procesu, w tym istotnych różnic w jego wydajności, oraz naturze formowanych produktów w zależności od rodzaju surowca i temperatury pirolizy;
- ✓ zaproponowanie wstępnej, uproszczonej koncepcji pozyskiwania frakcji kwasów huminowych i biowęgla z surowców węglonośnych i pozostałości poprocesowej z etapu ich ekstrakcji, opartej o uzyskane zależności eksperymentalne oraz wykonane bilanse materiałowe, uwzględniającej m.in. obieg zamknięty wody procesowej (ten element pracy należy uznać za niezwykle utylitarny ponieważ łączy badania podstawowe z możliwością ich zaimplementowania/wdrożenia przemysłowego) – zaletą proponowanego rozwiązania jest możliwość uzyskania zróżnicowanej

frakcji wartościowych produktów – suchych kwasów huminowych, roztworu kwasów fulwowych, biowęgla czy gazowych i ciekłych produktów priolizy.

Oceniając zamieszczony w pracy dorobek Doktorantki, trudno nie ocenić jej aktywności naukowej jako bardzo dobrej. Osiągnięcia Pani mgr inż. Magdaleny Braun-Giwerskiej zostały zaprezentowane w 11 opublikowanych, wieloautorskich, oryginalnych pracach naukowych (8 związanych z tematyką rozprawy, 6 w czasopismach indeksowanych przez *Thomson Reuters Journal Citation Reports*), 5 rozdziałach w monografiach (2 związanych z tematyką rozprawy), w formie 2 patentów (w tym jednego międzynarodowego) i 2 zgłoszeń patentowych, co dodatkowo potwierdza nowatorski charakter prowadzonych prac badawczych. Ponadto, Doktorantka legitymuje się znaczącym udziałem w konferencjach naukowych, podczas których prezentowała swoje osiągnięcia naukowe. Warty odnotowania jest również udział Pani mgr inż. Magdaleny Braun-Giwerskiej w pracach zleconych, związanych bezpośrednio z tematyką ocenianej rozprawy doktorskiej, realizowanych we współpracy z jednostkami sektora gospodarczego. Odbyła również staż naukowy w firmie „POLLENA”.

Należy podkreślić istotny wkład Pani mgr. inż. Magdaleny Braun-Giwerskiej w rozwój technologii chemicznej i dziedzin pokrewnych. Sposób zaplanowania eksperymentów, zrealizowane badania, forma przedstawienia oryginalnych wyników oraz ich wnikliwa i rzeczowa analiza na tle literatury światowej, świadczą o bardzo wysokich kompetencjach naukowo-badawczych Autorki rozprawy i są niepodważalnym dowodem Jej przygotowania do prowadzenia dalszych badań naukowych czy pracy w jednostkach działalności gospodarczej.

Ocena pracy i kwestie dyskusyjne

W tej części opinii pozwolę sobie wskazać zidentyfikowane w pracy „niedociągnięcia” i kwestie dyskusyjne. Generalnie dysertacja doktorska została zredagowana bardzo poprawnie i zawiera nieliczne błędy edytorskie czy stylistyczne, których znaczenie można pominąć – niemniej jednak, na dowód wnikliwej lektury pracy, kilka z nich prezentuję poniżej:

- ✓ str. 4: „wraz z organizmami żywymi **but**ującymi w glebie...”;
- ✓ str. 14: „w porównaniu z nawozami konwencjonalnym - ...”;
- ✓ str. 14: mowa jest o dużej powierzchni **cząsteczek** substancji humusowych warunkujących ich zdolności sorpcyjne – w przypadku powierzchni właściwej powinno mówić się o cząstkach;
- ✓ str. 15, 16 i 17: sformułowania „badania wykazują”, „badania opisują” czy „badania udowodniły” są błędem stylistycznym – „analiza wyników badań wskazuje”;
- ✓ str. 46: „intersującym”;
- ✓ str. 56: „**cząsteczki** sorbentu” – „cząstki sorbentu”; „Kolejną zaletą **w** **związana** z produkcją..”;
- ✓ str. 72: „stałe **cząsteczki** zanieczyszczeń”;
- ✓ rys. 14 – opisanie grup na widmach ułatwiłoby ich interpretację;
- ✓ str. 86: „różnice strukturalne **mogą być powiązać**”;
- ✓ str. 112: „...badane próbki na bazie surowca torfowego charakteryzowała **wyższa (większa)** liczba powierzchniowych grup funkcyjnych, takich jak grupy karboksylowe. Prawdopodobnie próbki te charakteryzują się **większymi (lepszymi)** zdolnościami sorpcyjnymi.”
- ✓ str. 113: „powodują degradację stuktur..”

Poniżej pozwolę sobie zaprezentować natomiast kwestie do dyskusji podczas publicznej obrony:

- ✓ wybierając torf i węgiel brunatny jako potencjalne źródła substancji humusowych należało się spodziewać pewnych różnic w wydajności ekstrakcji i jakości uzyskiwanych produktów –

jest to związane z warunkami procesu ekstrakcji, ale także z charakterem surowców naturalnych m.in. ze stopniem ich uwęglenia. We wnioskach Doktorantka wielokrotnie wskazuje, że „może to być związane ze stopniem uwęglenia surowca”, ale nie doszukałem się stwierdzenia dlaczego? Czy w takiej sytuacji, znając stopień uwęglenia surowca, jesteśmy w stanie przewidzieć wydajność ekstrakcji i jakość uzyskiwanych substancji humusowych? To samo dotyczy skuteczności pozyskiwania biowęgla i jego parametrów użytkowych z pozostałości po procesie ekstrakcji surowców o różnym stopniu uwęglenia.

- ✓ w tym samym nurcie prosiłbym o doprecyzowanie interpretacji danych z Tabeli 12, zwłaszcza istotnych różnic w stosunku C/N przy zastosowaniu NaOH i $\text{NH}_{3\text{aq}}$ jako ekstrahentów?
- ✓ na str. 112 Doktorantka pisze: „...badane próbki na bazie surowca torfowego charakteryzowała większa liczba powierzchniowych grup funkcyjnych, takich jak grupy karboksylowe. Prawdopodobnie próbki te charakteryzują się większymi zdolnościami sorpcyjnymi.” – czy wyłącznie na podstawie charakteru i ilości grup funkcyjnych można twierdzić o zdolnościach sorpcyjnych materiału? Co z powierzchnią właściwą i porowatością? Czy mogę prosić o komentarz odnośnie zależności aktywności powierzchniowej (determinowanej liczbą i rodzajem grup funkcyjnych), a rozwinięciem powierzchni i porowatością materiału?
- ✓ czy mogę prosić o stanowisko Doktorantki dotyczące uniwersalności proponowanego rozwiązania (opracowanej koncepcji) w stosunku do zmienności surowca naturalnego?
- ✓ czy podjęto próbę analizy fizykochemicznej pozostałości po procesie ekstrakcji, którą kolejno obrabiano celem uzyskania biowęgla? Taka analiza byłaby wartościowym uzupełnieniem interpretacji uzyskanych zależności eksperymentalnych, zwłaszcza w kierunku oceny wpływu rodzaju surowca czy ekstrahenta użytych w procesie, a także warunków i wydajności pirolizy i otrzymywania biowęgla.
- ✓ założeniem zrealizowanych prac badawczych było, jak wskazuje Doktorantka, uzyskanie wartościowych komponentów dla rolnictwa – czy takie próby były podjęte? A jeżeli nie, to jak Doktorantka zaplanowałaby tego typu prace badawcze?

Powyższe uwagi czy sugestie mają charakter komentarza naukowego i nie pomniejszają wartości merytorycznej ocenianej pracy.

Podsumowanie i ocena końcowa

Oceniając przedłożoną do recenzji rozprawę doktorską autorstwa Pani mgr inż. Magdaleny Braun-Giwerskiej, z jednej strony należy podkreślić, że prezentuje ona ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w zakresie inżynierii chemicznej i procesowej, z drugiej, wskazuje praktyczne rozwiązania problemów związanych z pozyskiwaniem substancji humusowych z surowców naturalnych. Nie podlega wątpliwości, że zaprezentowane zależności eksperymentalne są wartościowe, a co ważniejsze perspektywiczne, i w niedalekiej przyszłości mogą przynieść wymierne korzyści ekonomiczne i ekologiczne, jako potencjalne rozwiązania udoskonalające gospodarkę surowcami naturalnymi i pozyskiwanymi z nich wartościowymi komponentami m.in. dla rolnictwa.

Na podstawie oceny pracy doktorskiej Pani mgr inż. Magdaleny Braun-Giwerskiej, zatytułowanej „*Wykorzystanie naturalnych materiałów węglonośnych w technologiach produktów użytecznych*” jednoznacznie stwierdzam, że **recenzowana rozprawa prezentuje oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i spełnia wszystkie wymogi ustawowe i zwyczajowe stawiane rozprawom doktorskim. Wniosuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Chemiczna**

Politechniki Wrocławskiej o przyjęcie rozprawy i przeprowadzenie dalszych etapów postępowania doktorskiego.

Biorąc pod uwagę aktualność podjętej tematyki badawczej, zakres prac eksperymentalnych, jakość wniosków i ich wkład w istniejący stan wiedzy, **wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Chemiczna Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Braun-Giwerskiej.** Precyzyjnie zaplanowany eksperyment, obejmujący rzetelnie zrealizowane prace badawcze, zwieńczone propozycją koncepcji technologicznej o istotnym potencjale aplikacyjnym, wskazują na ambitne podejście Autorki do wielokierunkowo analizowanego problemu badawczego. Co więcej, zaproponowanie innowacyjnego/oryginalnego rozwiązania i potwierdzenie jego skuteczności/zasadności, w moim odczuciu, wydaje się być istotnym osiągnięciem. Zaprezentowane zagadnienia stanowią wartościowe uzupełnienie istniejącego stanu wiedzy i mogą być platformą do dalszych prac nad udoskonalaniem technologii przetwarzania surowców naturalnych w wartościowe produkty dla licznych sektorów gospodarki. Ten element rozprawy uważam za użyteczny, wskazujący ponadto na istotny potencjał aplikacyjny proponowanych rozwiązań.

Filip Ciesielny