



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

dr hab. inż. Jakub Zdarta, prof. PP
Wydział Technologii Chemicznej
Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej
ul. Berdychowo 4, 60-965 Poznań
tel. +48 61 665 3720, fax +48 61 665 3649
e-mail: Jakub.Zdarta@put.poznan.pl



Poznań, 14.11.2025r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Agaty Wawoczny

**pt.: „Chemoenzymatyczne przetwarzanie biomasy roślinnej z użyciem mieszanin głęboko eutektycznych”
opracowana na zlecenie Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Śląskiej na podstawie uchwały
nr RDNCh.512.5.2025 z dnia 17.09.2026 r.**

Rozprawa doktorska mgr inż. Agaty Wawoczny została zrealizowana w Katedrze Chemii Organicznej, Bioorganicznej i Biotechnologii na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej pod kierunkiem dr hab. inż. Danuty Gillner, prof. PŚ – specjalistki w zakresie biotechnologii i biokatalizy – jako promotora. Zakres przedkładanej pracy w ogólnym zarysie dotyczy zastosowania różnych technik, w tym opartych na biokatalizie oraz rozpuszczalnikach głęboko eutektycznych, do pozyskiwania wartościowych produktów z biomasy, jako alternatywnego źródła wielu substancji.

Oceniając przedłożoną rozprawę doktorską brano pod uwagę przede wszystkim oryginalność i nowatorski charakter zrealizowanych prac, aktualność tematyki badawczej, trafność wyboru i zdefiniowanie problemu badawczego, metodologię badań, dobór wykorzystanych metod oraz technik analitycznych, jak również poprawność interpretacji uzyskanych wyników oraz przeprowadzonej dyskusji, także w świetle aktualnego stanu wiedzy, a także skuteczność osiągnięcia założonego celu badań. Istotny aspekt, aczkolwiek nie determinujący całościową ocenę stanowiły także osiągnięcia naukowe Doktorantki, w tym te wychodzące poza bezpośredni zakres przedłożonej rozprawy.

Chemoenzymatyczne przetwarzanie biomasy stanowi jedno z najbardziej obiecujących podejść w nowoczesnej biotechnologii przemysłowej, łącząc zalety metod chemicznych i enzymatycznych w celu efektywnej konwersji surowców odnawialnych do wartościowych produktów. Biomasa lignocelulozowa, obejmująca drewno, słomę, odpady rolnicze czy algi, jest jednym z najpowszechniejszych i najtańszych surowców odnawialnych na świecie. Jej złożona struktura – zbudowana głównie z celulozy, hemicelulozy i ligniny – wymaga jednak wstępnej obróbki, aby umożliwić efektywny dostęp enzymów do materiału polimerowego.

W pierwszym etapie procesu stosuje się często metody chemiczne, takie jak hydroliza kwasowa, alkaliczna lub wykorzystanie nowoczesnych rozpuszczalników, które rozbijają wiązania w strukturze lignocelulozowej. Jednym z najciekawszych rozwiązań ostatnich lat jest zastosowanie cieczy głęboko

eutektycznych (DES, ang. Deep Eutectic Solvents). Są to mieszaniny dwóch lub więcej związków, które w wyniku interakcji wodorowych tworzą ciecz o temperaturze topnienia znacznie niższej niż jej składniki. DES mogą pełnić funkcję ekologicznych rozpuszczalników w procesie frakcjonowania biomasy, skutecznie rozdzielając ligninę od frakcji węglowodanowej, przy jednoczesnym zachowaniu aktywności enzymów. Co istotne, cechują się one niską toksycznością, biodegradowalnością i możliwością ponownego wykorzystania, dzięki czemu doskonale wpisują się w założenia zielonej chemii.

Po etapie wstępnej obróbki biomasy następuje część enzymatyczna, w której stosuje się m.in. celulazy, hemicelulazy i ligninazy. Enzymy te katalizują rozkład polisacharydów do monosacharydów, takich jak glukoza, ksyliza czy arabinaza. Uzyskane cukry proste stanowią następnie surowiec do dalszych procesów biotechnologicznych, np. fermentacji prowadzącej do wytwarzania bioetanolu, biobutanolu, kwasu mlekowego, bursztynowego czy innych związków chemicznych o wysokiej wartości dodanej. Połączenie chemii, biokatalizy i zielonych rozpuszczalników, takich jak ciecze głęboko eutektyczne, pozwala na stworzenie bardziej zrównoważonych i efektywnych technologii przetwarzania biomasy. Dzięki wysokiej selektywności enzymów oraz możliwości kontrolowania warunków reakcji chemicznych, proces chemoenzymatyczny minimalizuje zużycie energii i toksycznych reagentów. W rezultacie staje się on kluczowym elementem rozwoju gospodarki o obiegu zamkniętym i produkcji zrównoważonych bioproduktów przyszłości.

W ten nurt badawczy doskonale wpisuje się tematyka dysertacji doktorskiej Pani mgr inż. Agaty Wawoczny, co jednoznacznie wskazuje na jej istotność i aktualność, a także na znaczny potencjał opracowanych w pracy rozwiązań. Celem zrealizowanej pracy było opracowanie efektywnych metod waloryzacji biomasy lignocelulozowej z użyciem ekologicznych rozpuszczalników i katalizatorów. W pracy główną uwagę skupiono na zastosowaniu rozpuszczalników głęboko eutektycznych (DESS) oraz enzymów z klasy celulaz w procesach przetwarzania biomasy roślinnej, jak i w procesach izolacji bioaktywnych składników z odpadowych surowców pochodzenia naturalnego. W trakcie badań zdefiniowano wpływ warunków prowadzenia procesu delignifikacji oraz rodzaju użytego DES na efektywność wydzielania ligniny oraz określono jak zawartość DES oraz ILs w mieszaninie poreakcyjnej kształtuje aktywność enzymów celulolitycznych. Osobny aspekt działań dotyczył wydzielania substancji aktywnych z odpadowej biomasy, a celem szerszego opisanie tego procesu zdefiniowano efektywność ekstrakcji związków biologicznie czynnych oraz opisano wpływ DES na ten proces. Niezwykle wartościowe było następnie zastosowanie otrzymanych ekstraktów roślinnych jako składników aktywnych w foliach chitozanowych, stosowanych jako biodegradowalne opakowania do żywności, co dobitnie wskazuje nie tylko na wysokim poziom przedkładanej dysertacji, ale także na kompleksowe podejście do realizacji tematu i celu badań, począwszy od syntezy i charakterystyki układów, co wnosi aspekt naukowy, po ich praktyczne zastosowanie.

Recenzowana rozprawa doktorska Pani mgr inż. Agaty Wawoczny jest napisana w języku polskim i ma formę spójnego zbioru sześciu artykułów naukowych (oznaczonych jako P1-P6) opublikowanych w czasopiśmie indeksowanych przez *Thomson Reuters Journal Citation Reports*. Wszystkie artykuły naukowe zostały już opublikowane i posiadają pełne dane bibliometryczne. Sumaryczny *Impact Factor* tych prac, z roku opublikowania, wynosi 39,7, a suma punktów ministerialnych, zgodnie z obowiązującym wykazem czasopism, równa się 880. Rezultaty przeprowadzonych badań wchodzących w monotematyczny cykl zostały opublikowane w renomowanych

czasopismach, m.in. takich jak *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *Bioresource Technology*, *Food Chemistry*, *Industrial Crops and Products* czy *Journal of Molecular Liquids*. Doktorantka jest pierwszym autorem w pięciu spośród tych artykułów, a zgodnie z przedstawionymi oświadczeniami, dominujący udział Pani mgr inż. Agaty Wawoczny w przygotowywaniu wszystkich wymienionych artykułów nie budzi najmniejszych wątpliwości. Przekłada się to bezpośrednio na stwierdzenie, że zamieszczona w pracy dokumentacja jest odpowiednia i również nie budzi najmniejszych wątpliwości.

Główną część analizowanej rozprawy stanowi swoisty przewodnik po artykułach naukowych stanowiących monotematyczny cykl prac składający się z Celu pracy (2 strony), Wprowadzenia literaturowego (19 stron), w którym opisano aktualny stan wiedzy, Omówienia wyników (27 stron), w którym przedstawiono uzyskane wyniki badań oraz Podsumowania i wniosków (4 strony). Całość zwieńczona jest zaprezentowaniem dorobku naukowego Doktorantki, a także spisem literatury, który zawiera aż 210 pozycji, które są aktualne i właściwie dobrane. Ostatnią część pracy stanowią spisy tabel i rysunków oraz załączniki, którymi są kopie oświadczeń o wkładzie poszczególnych współautorów w powstanie publikacji naukowych stanowiących cykl prac (Załącznik 1), jak i kopie tych publikacji wraz z materiałami dodatkowymi (Załącznik 2).

Układ przedłożonej do recenzji pracy jest klasyczny, w odniesieniu do rozpraw przedstawianych jako zbiór powiązanych ze sobą tematycznie artykułów. Praca, jako najważniejsze części, zawiera interesujące wprowadzenie teoretyczne, omówienie uzyskanych wyników i jest zwieńczona podsumowaniem i wnioskami powstałymi po interpretacji uzyskanych zależności. Całościowy materiał przedstawiono na 218 stronach, z włączeniem oryginałów opublikowanych prac, jak i oświadczeniami o procentowym wkładzie współautorów w powstanie poszczególnych prac. Warto podkreślić, że rozprawa została zredagowana niezwykle poprawnie stylistycznie i edytorsko, a pojawiające się nieliczne błędy w najmniejszym stopniu nie wpływają na jej odbiór. Jedyny niedosyt budzi mała liczba grafik w części teoretycznej.

Zaprezentowany cel badań uważam za rozbudowany i ambitny, a zarazem dobrze sprecyzowany i właściwie zdefiniowany. Nadrzędnym celem prac było opracowanie efektywnych metod waloryzacji biomasy lignocelulozowej z użyciem ekologicznych rozpuszczalników i katalizatorów, ze szczególnym uwzględnieniem zdefiniowania wpływu poszczególnych rozpuszczalników na efektywność procesu, czystość finalnych produktów oraz aktywność biokatalizatorów stosowanych na dalszych etapach konwersji. Doktorantka, aby zrealizować nadrzędny cel badań, postawione wyzwania naukowe podzieliła na dwa główne punkty, które odpowiadają poszczególnym etapom badań i są podzielone na bardziej szczegółowe wyzwania.

1. Zastosowanie DESs w obróbce wstępnej i enzymatycznym przetwarzaniu lignocelulozy pochodzącej z biomasy roślinnej.
2. Zastosowanie DESs w izolacji substancji bioaktywnych z biomasy roślinnej.

Opis kluczowych uzyskanych zależności eksperymentalnych zaprezentowano w rozdziale „Omówienie wyników”, w którym wydzielono cztery główne podrozdziały. Ich treść ściśle koresponduje ze szczegółowymi celami badawczymi, a jednocześnie w sposób przejrzysty i logiczny obrazuje zawartość całej rozprawy, przybliżając najważniejsze rezultaty przedstawione w publikacjach naukowych. Przedstawiony opis stanowi swoiste kompendium kluczowych wyników zaprezentowanych w pracach P1–P6, które tworzą monotematyczny cykl

artykułów stanowiących podstawę przedłożonej do oceny dysertacji. Choć zaprezentowane w rozprawie zależności eksperymentalne mają charakter syntetyczny i obejmują najistotniejsze wyniki, w mojej ocenie ta część pracy mogłaby zostać nieco bardziej rozbudowana. Warto byłoby przedstawić szerszy zakres danych doświadczalnych oraz pogłębioną dyskusję uzyskanych rezultatów w kontekście dostępnej literatury przedmiotu. Uzasadnieniem takiego podejścia jest fakt, iż czasopisma, w których opublikowano wyniki badań eksperymentalnych, potwierdzają zarówno ich nowość naukową, jak i znaczenie poznawcze, co znajduje odzwierciedlenie w pozytywnych recenzjach niezależnych ekspertów. Należy podkreślić, że przedstawione w dysertacji zależności mają znaczenie nie tylko z punktu widzenia badań podstawowych, lecz również w kontekście potencjalnych zastosowań praktycznych. Wyróżnienia wymaga również fakt, że Doktorantka w swojej pracy wykorzystwała szeroki wachlarz technik analitycznych, co umożliwiło przeprowadzenie wielowymiarowej analizy badanych układów i tym samym zwiększyło wiarygodność oraz głębię uzyskanych wniosków.

Do najważniejszych osiągnięć zaprezentowanych przez Doktorantkę zaliczam:

1. Zastosowanie DESs zbudowanych z chlorku choliny oraz wybranych kwasów karboksylowych do delignifikacji biomasy roślinnej i opisanie wpływu zastosowanego DES na efektywność procesu.
2. Wykorzystanie reaktorów o zmiennej konfiguracji do delignifikacji biomasy z wykorzystaniem DES i identyfikacja zalet i wad poszczególnych typów reaktorów.
3. Zastosowanie DES jako substancji wydajnych i alternatywnych dla konwencjonalnych rozpuszczalników organicznych w ekstrakcji substancji bioaktywnych z roślin.
4. Dowiedzenie, że odpowiednia modyfikacja/projektowanie układów DES prowadzi do selektywnej ekstrakcji związków o różnych właściwościach co przekłada się na lepszą kontrolę procesu.
5. Wykazanie, że pozyskane ekstrakty z liści pomidora mogą zostać zastosowane jako dodatki do biodegradowalnych folii polisacharydowych, gdzie pełnią podwójną rolę – plastyfikatora oraz konserwantu żywności.

Oceniając całkowity dorobek Doktorantki należy podkreślić, że jest on na bardzo wysokim poziomie, zwłaszcza uwzględniając wczesny etap kariery naukowej. Pani mgr inż. Agata Wawoczny jest współautorką w sumie dziewięciu artykułów naukowych (uwzględniając w tym artykuły wchodzące w monotematyczny cykl prac) oraz trzech rozdziałów w monografiach. Doktorantka brała też czynny udział w licznych konferencjach krajowych i międzynarodowych gdzie przedstawiła zarówno wystąpienia ustne, jak i prezentacje posterowe. Doktorantka jest także współautorem jednego patentu oraz dwóch zgłoszeń patentowych, co zasługuje na osobne wyróżnienie. Doktorantka jest także laureatką licznych nagród i wyróżnień przyznawanych za osiągnięcie naukowe zarówno na konferencjach międzynarodowych, jak i na macierzystej uczelni. Mgr inż. Agata Wawoczny angażuje się także w opiekę nad młodymi naukowcami, jak i w promocję Politechniki Śląskiej.

Obowiązkiem recenzenta jest jednak wskazanie kwestii dyskusyjnych i/lub problematycznych w recenzowanej pracy. Choć wyniki zrealizowanych prac były już oceniane przez niezależnych ekspertów i nie jest moją rolą ich ponowna weryfikacja, to jednak pozwolę sobie wskazać kilka kwestii z prośbą do Doktorantki o szerszą dyskusję na ich temat. Chciałbym jednak podkreślić, że uwagi te stawiam głównie celem dyskusji i nie umniejszają one jednoznacznie pozytywnego odbioru pracy.

1. Tabela 3 zawiera wykaz wybranych związków bioaktywnych jakie pozyskać można z roślin. Nie są to jednak wszystkie tego typu związki. Prosiłbym o wymienienie też innych związków biologicznie aktywnych, lub choć nazw grup substancji do jakich te związki należą, jakie znaleźć można w biomase.
2. Dlaczego w badaniach skupiono się na wydzielaniu ligniny i obliczono stopień delignifikacji? Dlaczego nie analizowano ile celulozy i hemicelulozy pozostało w biomase?
3. W pracy skupiono się na badaniu aktywności celulaz w konwersji biomasy. Dlaczego nie zastosowano też innych enzymów lub nawet koktajlu enzymatycznego do bardziej wydajnej konwersji biomasy?
4. Prosiłbym o komentarz dlaczego w pracy skupiono się na ekstrakcji polifenoli? Czy tylko brak doniesień o ekstrakcji tych związków był motywacją, czy badania te były motywowane chęcią praktycznego zastosowania tych związków?
5. Czy dla zaprezentowanych zdjęć SEM robione też analizę EDS i mapping rozmieszczenia poszczególnych pierwiastków na powierzchni biomasy? Pozwoliło by to na zweryfikowanie gdzie faktycznie znajduje się krzemionka, lignina itd.
6. Doktorantka w pracy prowadziła procesy ekstrakcji z wykorzystaniem różnych związków, a następnie badano odzysk ekstrahenta i jego ponowne wykorzystanie. Prosiłbym o komentarz jakie są skutki dla środowiska przeprowadzonych operacji jednostkowych, które występują w opisanych procesach (np. odmycie ekstrahenta, rozdział mieszaniny po ekstrakcji itd.)?

Oceniając realizację założonego celu pracy, opublikowane artykuły naukowe oraz przedstawioną aktywność naukową, należy ocenić je jednoznacznie jako bardzo dobre. Co więcej, sposób zaplanowania eksperymentów, zrealizowanie oryginalnych i nowatorskich badań, interpretacja uzyskanych zależności oraz forma ich prezentacji wsparta wnikliwą i rzeczową analizą, świadczą nie tylko o wysokich kompetencjach naukowo-badawczych mgr inż. Agaty Wawoczny, ale także wskazują na znaczną dojrzałość Doktorantki.

Na podstawie oceny rozprawy doktorskiej autorstwa Pani mgr inż. Agaty Wawoczny pod tytułem „Chemoenzymatyczne przetwarzanie biomasy roślinnej z użyciem mieszanin głęboko eutektycznych” oraz zawartej w dysertacji aktywności naukowej jednoznacznie stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wszystkie wymogi ustawowe i zwyczajowe stawiane rozprawom doktorskim. Wnioskuje zatem do Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Śląskiej o przyjęcie pracy i przeprowadzenie dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jednocześnie, biorąc pod uwagę bardzo wysoki poziom recenzowanej rozprawy doktorskiej, aktualność podjętej tematyki badawczej, ogrom wykonanej pracy eksperymentalnej, jakość uzyskanych danych i przedstawionych wniosków oraz ich wkład w istniejący stan wiedzy, wnioskuję do Rady Dyscypliny Nauki Politechniki Śląskiej o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr inż. Agaty Wawoczny. Uzasadniając ten wniosek, chciałbym zwrócić szczególną uwagę na ambitne podejście Doktorantki do opracowania nowych metod uwalniania wartościowych substancji z biomasy, które dodatkowo są przyjazne dla środowiska, co może skutkować zaproponowaniem skutecznych metodą prowadzących do podniesienia efektywności pozyskiwania pożądaných związków z biomasy, w tym też odpadowej. Wymiernym potwierdzeniem interdyscyplinarnego podejścia Doktorantki oraz jakości uzyskanych zależności eksperymentalnych są także czasopisma, w których opublikowano prace będące podstawą do przygotowania dysertacji.

Signed by /
Podpisano przez:

Jakub Łukasz
Zdarta

5

Date / Data: 2025-
11-17 11:16