



Politechnika Łódzka
Instytut Technologii Polimerów i Barwników



*Prof. dr hab. inż. Anna Masek,
Instytut Technologii Polimerów i Barwników
Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka
ul. Stefanowskiego 16, Łódź 90-537*

Łódź, 8.09.2025

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr Darii Katarzyny Zielińskiej
zatytułowanej

„Struktura nadcząsteczkowa i właściwości fizykochemiczne kompozytów polipropylenowych z wypełniaczami nanocelulozowymi”

Podstawa: *Pismo Dziekana Wydziału Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej -
Pani Prof. dr hab. inż. Ewy Kaczorek*

Podstawa prawna: *art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z dnia 21 czerwca 2016 r., poz. 882).*

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr inż. Darii Katarzyny Zielińskiej została zrealizowana w Instytucie Technologii i Inżynierii Chemicznej, Wydziału Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej. Pracę wykonano pod kierunkiem Pana dr hab. inż. Sławomira Borysiaka, profesora Politechniki Poznańskiej, posiadającego bardzo duże doświadczenie naukowe w zakresie

badania bionapełniaczy pochodzenia roślinnego. Promotorem pomocniczym rozprawy jest Pan dr inż. Przemysław Bartzczak. W recenzji przedłożonej do oceny rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Darii Zielińskiej wzięłam pod uwagę następujące kryteria: podjęty problem badawczy, innowacyjność badań, adekwatność technik badawczych oraz umiejętność merytorycznej, naukowej dyskusji uzyskanych wyników, w odniesieniu do aktualnego stanu wiedzy. Recenzowana praca doktorska została przedstawiona w postaci monotematycznego cyklu badawczego opartego na sześciu publikacjach naukowych opublikowanych w renomowanych naukowo czasopismach międzynarodowych. Celem pracy doktorskiej było otrzymanie kompozytów polimerowych zawierających nanocelulozę, charakteryzujących się poprawionymi właściwościami mechanicznymi, barierowymi oraz zwiększoną odpornością na działanie mikroorganizmów. Doktorantka podzieliła badania na III główne nurty badawcze. W pierwszym z nich przedstawiła proces enzymatycznej hydrolizy celulozy, prowadzący do otrzymania nanocelulozy oraz wykazano istotną, dotychczas nieopisaną zależność między strukturą nadmolekularną, a efektywnością tego procesu. W drugim nurcie Pani D. Zielińska podjęła się badań nad strukturą, przemianami fazowymi oraz właściwościami fizykochemicznymi i użytkowymi kompozytów polimerowych wzmacnianych nanocelulożą, wskazując wyraźny wpływ napelniaczy na parametry mechaniczne materiałów polimerowych. Trzeci nurt badań obejmował prace nad kompozytami polipropylenowymi z udziałem hybrydowych napelniaczy nanocelulozy w połączeniu z tlenkiem metalu oraz układów nanoceluloza i sole cynkowo-amonowe, które pozwoliły na uzyskanie materiałów o podwyższonych właściwościach barierowych i przeciwmikrobiologicznych przy jednoczesnym zachowaniu bardzo dobrych właściwości mechanicznych.

W badaniach zastosowano szerokie spektrum metod badawczych, obejmujących spektroskopię w podczerwieni FTIR/ATR, chromatografię HPLC-RI, skaningową kalorymetrię różnicową DSC, analizę termogravimetryczną TGA, dyfraktometrię rentgenowską XRD, pomiary DLS, obserwacje mikroskopowe SEM i PLM, analizę powierzchni BET, spektroskopię fotoelektronów rentgenowskich XPS oraz metody badań właściwości mechanicznych. Interdyscyplinarność pracy potwierdzają także badania barierowe, dotyczące przepuszczalności gazów i pary wodnej, jak również testy mikrobiologiczne, w tym analiza odporności wytworzonych materiałów na działanie grzybów.

W ostatnich latach coraz częściej pojawiają się liczne doniesienia naukowe dotyczące metod wytwarzania i modyfikacji biokompozytów polimerowych o zdefiniowanych właściwościach użytkowych, w szczególności pod kątem aplikacji opakowaniowych. Tematyka jest niezwykle ważna w zakresie projektowania nowych biomateriałów zgodnych z zasadami zrównoważonego rozwoju. Napelniacze celulozowe o rozmiarach nanometrycznych charakteryzują się unikalnymi i

uniwersalnymi właściwościami fizykochemicznymi ułatwiającymi ich chemiczną i enzymatyczną modyfikację. Natomiast modyfikowana celuloza to doskonały materiał kompatybilny z kompozycjami syntetycznych polimerów.

Oceniana rozprawa doktorska została przedstawiona w języku polskim i liczy 123 strony maszynopisu. Na stronach 124–241 zamieszczono pełne teksty publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe, wraz z oświadczeniami współautorów. Tytuł rozprawy został odpowiednio sformułowany i pozostaje w pełni spójny z uzyskanymi wynikami badań przedstawionymi w pracy doktorskiej. Przedstawiona dysertacja ma klasyczny charakter, stanowi spójny opis łączący opublikowaną część badawczą z rozszerzonym opisem badań zawartych w publikacjach, tworząc wartościową całość w wymiarze interdyscyplinarnym. Dysertacja napisana jest poprawnym językiem polskim, a jej lektura jest płynna i interesująca. Tekst jest dobrze udokumentowany i przejrzysty, dzięki czemu może stanowić cenne odniesienie dla dalszych badań nad projektowaniem proekologicznych biokompozytów polimerowych. Literatura przedmiotu została przedstawiona w sposób kompleksowy; zestawienie obejmuje 386 pozycji, co świadczy o szerokim zakresie i starannym doborze źródeł i aktualności przeglądu.

Praca doktorska została podzielona na jedenaście części. Rozprawa doktorska obejmuje część teoretyczną dotyczącą materiałów opakowaniowych, celulozy i nanocelulozy, hipotezę i cele pracy, opis trzech zakresów badawczych dotyczących otrzymywania i funkcjonalizacji nanocelulozy oraz kompozytów polipropylenowych, a także podsumowanie wyników, bibliografię i dokumentację aktywności naukowej Autorki. Kolejnym ważnym punktem tej części pracy jest *Wskazanie osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę postępowania doktorskiego (Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 Nr 65 poz. 595) – 2)*. Zakres tej części pracy przedstawionej na stronach 8-10 maszynopisu, obejmuje: tytuł osiągnięcia naukowego; wykaz jednotematycznych artykułów naukowych stanowiących osiągnięcia naukowe z określonym IF oraz liczbą punktów wg listy MNiSW. W tej części Doktorantka przedstawiła 6 publikacji oznaczonych P1-P6:

1. Zielińska Daria, Szentner Kinga, Waśkiewicz Agnieszka, Borysiak Sławomir*. Production of nanocellulose by enzymatic treatment for application in polymer composites, *Materials*, 2021, 14(9), DOI: 10.3390/ma14092124. P1 2
2. Zielińska Daria, Rydzkowski Tomasz, Thakur Vijay Kumar, Borysiak Sławomir*. Enzymatic engineering of nanometric cellulose for sustainable polypropylene nanocomposites, *Industrial Crops and Products*, 2021, 161, 113188-1 – 113188-11. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.113188.

3. Zielińska Daria, Siwińska-Ciesielczyk Katarzyna*, Bula Karol, Jesionowski Teofil, Borysiak Sławomir*. TiO₂/nanocellulose hybrids as functional additives for advanced polypropylene nanocomposites, *Industrial Crops and Products*, 2022, 176, 114314-1 – 114314-17. DOI: 10.1016/j.indcrop.2021.114314.
4. Zielińska Daria, Skrzypczak† Andrzej, Peplińska Barbara, Borysiak Sławomir*. Nanocellulose-based polymer composites functionalized with new gemini ionic liquids, *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, 23(24), 15807-1 – 15807-21. DOI: 10.3390/ijms232415807.
5. Zielińska Daria, Siwińska-Ciesielczyk Katarzyna*, Bula Karol, Peplińska Barbara, Jesionowski Teofil, Borysiak Sławomir*. Advanced nanocellulose hybrid fillers for sustainable polypropylene biomaterials with enhanced oxygen barrier properties, *Applied Materials Today*, 2023, 34, 101897-1 – 101897-16. DOI: 10.1016/j.apmt.2023.101897.
6. Zielińska Daria*, Wyrwas Bogdan, Ławniczak Łukasz, Borysiak Sławomir. Nanocellulose-polypropylene composites with novel antimicrobial complex salt, *Polymer Composites*, 2025, 46(3), 2447 – 2465. DOI: 10.1002/pc.29116.

Badania przedstawione w rozprawie mają istotne znaczenie zarówno naukowe, jak i aplikacyjne. Z jednej strony poszerzają wiedzę na temat biologicznej degradacji polimerów oraz enzymatycznej konwersji celulozy do nano-bionapełniaczy, co wpisuje się w aktualne kierunki rozwoju biotechnologii środowiskowej. Z drugiej strony uzyskane wyniki mogą przyczynić się do opracowania nowych, bardziej przyjaznych środowisku materiałów kompozytowych oraz technologii ich wytwarzania, co ma bezpośrednie przełożenie na praktykę przemysłową. Zastosowanie nanocelulozy i napełniaczy hybrydowych w polimerach otwiera perspektywy tworzenia innowacyjnych, trwałych i funkcjonalnych materiałów kompozytowych, które mogą znaleźć zastosowanie w wielu gałęziach gospodarki, od opakowalnictwa po inżynierię materiałową. Opracowane badania stanowią duży wkład w zakresie badań podstawowych i przemysłowych, w zakresie projektowania nowych ekologicznych kompozytów polimerowych z surowców odnawialnych.

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska została opracowana z należytą starannością edytorską, co uzasadnia jej pozytywną ocenę w tym zakresie. Hipoteza badawcza recenzowanej rozprawy opiera się na założeniu, że zastosowanie włókien nanocelulozy otrzymanej metodami enzymatycznymi, jak również jej hybrydowych połączeń z tlenkami metali oraz solami cynkowo-amonowymi umożliwi uzyskanie nowej generacji funkcjonalnych bionapełniaczy o unikalnych właściwościach fizykochemicznych i użytkowych. Tak sformułowana hipoteza znajduje uzasadnienie zarówno w dotychczasowych wyzwaniach badawczych, jak i w rosnącym znaczeniu materiałów kompozytowych opartych na polimerach dla przemysłu nowoczesnych technologii. Na początku rozprawy Doktorantka

przedstawiła streszczenie w języku polskim i angielskim, zgodnie z obowiązującymi standardami redakcyjnymi. We wstępie, zamieszczonym na stronach 15–42, w sposób merytoryczny przedstawiono kontekst naukowy pracy, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień związanych z metodami otrzymywania nanocelulozy oraz jej funkcjonalizacją. Rozdział numer 3 stanowi logiczne i spójne wprowadzenie teoretyczne do tematyki pracy, porządkujące oraz podsumowujące kluczowe zagadnienia. Na uwagę zasługuje także podrozdział 3.1 pt. „Polimerowe materiały opakowaniowe” i zarysowuje kontekst badań oraz pokazuje aktualne kierunki rozwoju materiałów stosowanych w przemyśle opakowaniowym. Następnie Pani Daria Zielińska w przeglądzie literaturowym przedstawia biomateriał, jakim jest celuloza, oraz szczegółowo omówiono celulozę o rozmiarach nanometrycznych (3.3). Oba te zagadnienia są odpowiednio ujęte w tekście i dobrze uzasadniają wybór podjętej tematyki. Rozdział o numerze 3 w czytelny sposób prezentuje różne metody otrzymywania nanocelulozy (mechaniczne, chemiczne i enzymatyczne). Szczególnie interesujące jest także opisanie funkcjonalizacji celulozy, które pokazuje potencjał modyfikacji tego surowca i jego znaczenie w kontekście zastosowań przemysłowych. Ostatni podrozdział pt. „Kompozyty polipropylenu z celulozą” łączy całość, wskazując praktyczny wymiar omawianych zagadnień oraz wyjaśniając możliwe ścieżki aplikacyjne dla opracowanych materiałów.

Tak opisany przegląd literaturowy nie tylko stanowi wprowadzenie teoretyczne, lecz także pozwala na sformułowanie hipotezy badawczej podjętej w recenzowanej pracy doktorskiej. Od 56 do 98 strony rozprawy jest przedstawiony najobszerniejszy rozdział, poświęcony prezentacji wyników badań, stanowiących opis i uzupełnienie sześciu opublikowanych manuskryptów, które są podstawą niniejszego doktoratu. Cała koncepcja badawcza została przejrzyście i logicznie podzielona na trzy główne części tematyczne:

1. Enzymatyczny proces otrzymywania nanocelulozy.

2. Otrzymywanie i charakterystyka kompozytów polimerowych z wypełniaczami nanocelulozowymi oraz układami hybrydowymi.

3. Otrzymywanie i charakterystyka kompozytów polimerowych o polepszonych właściwościach barierowych i zwiększonej odporności na drobnoustroje.

Podsumowując, Pani D. Zielińska dokonała wszechstronnej analizy zależności między strukturą nanocelulozy, a właściwościami fizykochemicznymi kompozytów polimerowych z jej udziałem. Charakterystyka metod badawczych oraz materiałów i odczynników chemicznych stosowanych w pracy jest wyjątkowo precyzyjnie opisana, zawiera wszystkie niezbędne szczegóły potrzebne do właściwego zrecenzowania poprawności i adekwatności doboru materiałów oraz technik badawczych w świetle podjętej przez Autorkę tematyki badawczej. Doktorantka, jako obiekt badań w swojej pracy

zastosowała 4 rodzaje celulozy różniące się długością włókien oraz enzymy celulolityczne pochodzące z różnych źródeł. W pracy przedstawiła zarówno wyselekcjonowane rodzaje celulozy, takie jak Avicel PH-101, Sigmacell Typ 20, Sigmacell Typ 101 oraz Arbocel UFC100, jak i preparaty enzymów celulitycznych uzyskane z grzybów mikroskopowych *Trichoderma reesei* oraz *Aspergillus sp.* Tak wyselekcjonowane materiały badawcze umożliwiły wykonanie szerokiej analizy zależności pomiędzy właściwościami substratów, a aktywnością enzymów celulitycznych, jednocześnie pozwalając na dokładną ocenę przebiegu procesów biokonwersji celulozy.

Pani Daria Zielińska w sposób przemysłany zaprojektowała wysokowydajną reakcję enzymatyczną, której cechą wyróżniającą było uzyskanie wysokiego stężenia monosacharydu, w roztworze poreakcyjnym, przy jednoczesnym otrzymaniu makrocząsteczek celulozy o znaczącym udziale rozmiaru nanometrycznego. Część badań została wykonana we współpracy z Katedrą Chemii Wydziału Technologii Drewna Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

W ramach pierwszego zagadnienia, opisanego w publikacjach oznaczonych P1–P3, opracowano metodę enzymatycznej hydrolizy celulozy prowadzącej do uzyskania nanocelulozy o założonych właściwościach, w szczególności dotyczących wielkości cząstek. Analiza wpływu rodzaju substratu, typu enzymu (m.in. *Trichoderma reesei*, *Aspergillus sp.*, celobiasa) oraz czasu trwania biokonwersji (4 i 24 h) wykazała, że kluczowe znaczenie dla wydajności procesu ma odpowiednia kombinacja powyższych parametrów. Najwyższą wydajność i najlepsze parametry morfologiczne nanocelulozy (jednorodność, niski stopień polidispersyjności) uzyskano dla 24-godzinnej hydrolizy enzymatycznej z użyciem enzymów pochodzących z *Trichoderma reesei*. Uzyskane wyniki badań stanowią nowość naukową, ponieważ dotychczas w literaturze przedmiotowej brakowało szczegółowych danych łączących warunki biokonwersji z rozkładem rozmiarów cząstek nanocelulozy.

Kontynuacją tego tematu były badania zaprezentowane w publikacji oznaczonej P4, w których nanocelulozę sfunkcjonalizowano zaprojektowanymi cieczami jonowymi zawierającymi grupy karboksylowe. Wykazano, że takie podejście umożliwia utworzenie stabilnej sieci przestrzennej pomiędzy nanowłóknami, co skutkowało znacznym ograniczeniem ich tendencji do aglomeracji. Uzyskano dyspersje o wysokiej stabilności i dobrej jednorodności, co w praktyce przełożyło się na lepszą kompatybilność nanonapełniacza z polimerową matrycą. Proces ten nie wymagał użycia rozpuszczalników organicznych, co jest ważnym aspektem proekologicznym zgodnym z założeniami zielonej chemii.

W publikacjach oznaczonych P1, P2 i P4, Doktorantka wraz ze współautorami przedstawiła badania dla kompozytów polipropylenowych z opracowanymi nanonapełniaczami. Pani D. Zielińska udowodniła jednoznacznie, że parametry morfologiczne i dyspersyjne nanocelulozy bezpośrednio wpływają na tworzenie określonych odmian polimorficznych matrycy polipropylenowej. Wykonane badania mechaniczne wskazały istotne zwiększenie wytrzymałości na rozciąganie, modułu sprężystości oraz odporności na uderzenie. Potwierdzono także silny efekt nukleacyjny nanocelulozy, korzystnie wpływający na strukturę nadmolekularną poliolefiny. Wyniki badań potwierdziły również, że modyfikacja nanocelulozy cieczami jonowymi znacząco wpływa na jej dyspersję w matrycy polimerowej, jednoznacznie przekładając się na poprawę właściwości tak wytworzonego kompozytu.

Ciekawym i nowatorskim aspektem badawczym były napełniacze typu hybrydowego, w tym układ nanoceluloza–tlenek metalu (P3). Innowacyjnie zastosowano mechanochemiczną modyfikację do otrzymania hybrydowych napełniaczy. Doktorantka w swoich badaniach potwierdziła, że dodatek napełniacza hybrydowego celulozy z ditlenkiem tytanu pozwolił uzyskać kompozytów o polepszonych właściwościach mechanicznych i termicznych oraz zwiększonej aktywności nukleacyjnej. Analiza korelacji pomiędzy odmianą polimorficzną tlenku metalu, a właściwościami mechanicznymi kompozytów stanowi nowy aspekt naukowy, poszerzający i uzupełniający dostępne informacje literaturowe.

Trzeci nurt badawczy przedstawiony w dysertacji dotyczył analizy właściwości barierowych i przeciwdrobnoustrojowych materiałów kompozytowych. W publikacji P5 Pani D. Zielińska zaprezentowała kompozyty polipropylenu wzmocnione hybrydowymi napełniaczami nanocelulozy z tlenkiem metalu, otrzymane metodą solwotermiczną. Na podstawie uzyskanych wyników badań, stwierdzono, że ich dobra dyspersja w matrycy polimerowej wpłynęła na znaczne zmniejszenie przepuszczalności tlenu i pary wodnej, przy jednoczesnym zachowaniu wysokich parametrów mechanicznych. Podobnie, jak w poprzednim nurcie wykazano zależność pomiędzy strukturą polimorficzną materiału a właściwościami barierowymi kompozytów.

Interesujące wyniki badań przedstawiono także w publikacji oznaczonej P6, w której opisano kompozyty PP zawierające nanocelulozę oraz nowy typ modyfikatora w postaci soli cynkowo-amonowej. Wykazano, że takie kompozyty cechują się aktywnością przeciwdrobnoustrojową dla bakterii i grzybów, a jednocześnie zachowują wysoką elastyczność, udarność i stabilność termiczną (np. układ z 7% mas. soli cynkowo-amonowej). Jest to rozwiązanie nowatorskie, warte podkreślenia, ponieważ nie zostało dotąd odnotowane w literaturze.

Podsumowując, wyniki uzyskane w rozprawie doktorskiej autorstwa Pani D. Zielińskiej wnoszą treści do obszaru badań nad kompozytami polimerowymi modyfikowanymi bio-napełniaczami. Doktorantka w sposób kreatywny połączyła metody biotechnologiczne, chemiczne i inżynierii materiałowej, uzyskując wyniki o dużej wartości naukowej i realnym potencjale aplikacyjnym. Na uwagę zasługuje fakt, że opracowane kompozyty mogą znaleźć zastosowanie, jako innowacyjne materiały opakowaniowe o zwiększonej trwałości, barierowości i właściwościach przeciwdrobnoustrojowych, co wpisuje się w aktualne potrzeby przemysłu i zrównoważonego rozwoju.

Dysertacja doktorska zawiera jednak pewne błędy edytorskie i stylistyczne (brak znaków interpunkcyjnych, błędy literowe i stylistyczne, terminologiczne etc.). Wyżej wymienione uwagi lub komentarze są jedynie drobnymi sugestiami i proszę, aby Doktorantka odniosła się podczas publicznej obrony jedynie do najistotniejszych kwestii. Ponadto, pozwolę sobie w tym miejscu wskazać kilka kwestii dyskusyjnych lub problematycznych, a wynikają one z obowiązków recenzenta i dają pośrednio dowód na zapoznanie się z pracą:

1. W rozprawie Doktorantka niewiele miejsca poświęciła celulozie bakteryjnej (BC) oraz jej dokładnym porównaniu z otrzymanymi rodzajami celulozy, zarówno w aspekcie właściwości, jak i w kontekście analiz ekonomicznych związanych z potencjalnym wdrożeniem. Szersze omówienie tej problematyki wzbogaciłoby pracę i podkreśliło jej praktyczny wymiar.
2. W przedłożonej dysertacji wykorzystano ditlenek tytanu, jako składnik napełniacza hybrydowego. Mając na uwadze, że TiO_2 został w ostatnich latach zaklasyfikowany jako substancja o potencjalnym działaniu szkodliwym dla zdrowia ludzi, jak ten aspekt przekłada się na kwestie bezpieczeństwa i potencjalnych ograniczeń aplikacyjnych otrzymanych materiałów kompozytowych pod kątem opakowań dla żywności?.
3. Czy Autorka widzi potrzebę zbadania zjawiska migracji zastosowanych modyfikatorów, zarówno z powierzchni celulozy i z kompozytów, w kontekście bezpieczeństwa materiałów opakowaniowych?.
4. Niejasno sformułowane wydaje się stwierdzenie ze strony numer „Warto podkreślić, że aktualne dane literaturowe nie przedstawiają dowodów na wytwarzanie kompozytów polipropylenowych z nanonapełniaczem celulozowym otrzymanym poprzez zastosowanie metod enzymatycznych, co stanowi niezaprzeczalną nowość naukową dysertacji doktorskiej.”
5. Poza częścią przeglądową termin „włókno” nie został w rozprawie użyty do opisu badań. Proszę o dokładne wyjaśnienie geometrii cząstek celulozy otrzymanych po przeprowadzonych modyfikacjach (kształt/forma, zakres rozmiarów, wskaźnik smukłości, stopień

aglomeracji/sięciowania) oraz wskazanie metod i danych, na których oparto tę charakterystykę.

Poniżej zestawione są przykładowe przykładowe opisy z pracy:

Strona 63, „Stwierdzono, że polisacharyd o rozmiarze mikrometrycznym, wyróżniający się większą zawartością obszarów amorficznych, był bardziej podatny na działanie enzymów celulolitycznych w kontekście konwersji do większej ilości cząstek nanometrycznych celulozy.”

Strona 67: „Jednakże należy podkreślić, że najbardziej znaczące zmiany zauważono dla materiałów otrzymanych w wyniku hydrolizy enzymatycznej z wykorzystaniem celulazy pochodzącej z mikroorganizmu *Trichoderma reesei*, gdzie uzyskany rozmiar cząstek nie przekraczał 164 nm.”

Na stronie 68 Doktorantka podjęła się bardzo ogólnie próby opisanie geometrii celulozy po modyfikacji enzymami:

„Ważnym elementem badań było określenie kształtu otrzymanych nanoceluloz w wyniku przeprowadzonych procesów enzymatycznych. W tym celu wykorzystano badania elektronowej mikroskopii skaningowej, których wybrane wyniki zostały zilustrowane na rysunku 24.”

Wskazane powyżej uwagi mają charakter marginalny i nie wpływają na moją jednoznacznie pozytywną ocenę recenzowanej rozprawy. Doktorantka wykazała się znacznym zaangażowaniem badawczym, a dysertacja stanowi opracowanie o wysokiej wartości naukowej.

Na koniec, chciałabym pokrótce podsumować dotychczasową całkowitą aktywność naukową Pani mgr inż. Darii Zielińskiej. Dorobek naukowy dr inż. Darii Zielińskiej obejmuje 7 artykułów w czasopismach z listy JCR o łącznym IF przekraczającym 38 i sumarycznej punktacji MEiN równej 1090, opublikowanych w latach 2021-2025, w tym w wysoko notowanych czasopismach, takich jak: *Industrial Crops and Products* (200 pkt) oraz *Applied Materials Today* (140 pkt). Uzupełnieniem dorobku jest 6 rozdziałów opublikowanych w monografiach. Doktorantka zaprezentowała wyniki badań w formie 27 wystąpień konferencyjnych (5 ustnych, 22 posterowych), w tym na konferencjach międzynarodowych i zjazdach PTChem. Pani D. Zielińska Brała udział w 5 projektach badawczych SBAD, w tym dwóch jako kierownik, oraz odbyła staż przemysłowy w KGL S.A. Jej osiągnięcia zostały nagrodzone m.in. nagrodą Santander Universidades (2022 i 2024) oraz stypendium dla najlepszych doktorantów (2022). Ponadto Pani magister wykazuje się znaczną aktywnością organizacyjną i popularyzatorską, pełniła także funkcję przewodniczącej Wydziałowej Rady Doktorantów (2020-2024) oraz sekretarza Rady Doktorantów Politechniki Poznańskiej (2023-2024), była członkiem Polskiego Towarzystwa Chemicznego, angażowała się w organizację konferencji