



Gdańsk, 04.02.2026 r.

dr hab. inż. Robert Tylingo  
Wydział Chemiczny  
Politechnika Gdańska

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr Zofii Nuc  
pt. *Wybrane skorupiaki z wód polskich jako alternatywne źródło chityny i chitozanu*,  
wykonanej na Wydziale Oceanografii i Geografii pod kierunkiem promotora:  
dr hab. Aldony Dobrzyckiej-Kraheil, prof. UWSB.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska w formie cyklu publikacji, poświęcona pozyskaniu chityny i chitozanu z wybranych gatunków skorupiaków występujących w wodach polskich, w tym ocenie możliwości zastosowania „zielonej” ekstrakcji (NADES) oraz wstępnej ocenie aktywności biologicznej otrzymanych chitozanów. Punktem wyjścia jest założenie, że chityna – jako biopolimer powszechnie występujący w środowisku – może stanowić surowiec do otrzymywania chitozanu, a parametry tych materiałów, determinujące aktywność biologiczną, zależą od źródła polimeru oraz warunków ekstrakcji i deacetylacji. W konsekwencji w praktyce aplikacyjnej, w perspektywie zastosowań medycznych, kluczowe staje się nie tylko to, „czy” dany organizm może być źródłem chityny/chitozanu, lecz także to, „jak” zastosowana ścieżka technologiczna wpływa na jakość otrzymanego polimeru. Jednocześnie rozprawa opisuje ograniczenia przemysłowej metody izolacji chityny, opartej na użyciu HCl i NaOH, wskazując na jej niekorzystny bilans środowiskowy, m.in. energo- i wodochłonność, generację ścieków oraz możliwość degradacji izolowanego polimeru wskutek działania silnych odczynników. Z tego powodu zasadniczym komponentem problemu badawczego jest poszukiwanie i weryfikacja metod alternatywnych, zgodnych z paradygmatem chemii przyjaznej środowisku, w tym ekstrakcji z wykorzystaniem mieszanin naturalnych rozpuszczalników głęboko eutektycznych (NADES). Na tym tle Doktorantka identyfikuje lukę badawczą dotyczącą potencjału wybranych skorupiaków występujących w wodach polskich – *Pontastacus leptodactylus*, *Faxonius limosus*, *Dikerogammarus villosus* i *Neomysis integer* – jako alternatywnych źródeł chityny i chitozanu, w szczególności z ukierunkowaniem na zastosowania medyczne, oraz możliwości „zielonej” izolacji chityny z tych surowców metodą NADES. W takim ujęciu problem badawczy ma charakter interdyscyplinarny: łączy zagadnienia doboru źródeł biopolimerów, doboru i walidacji „zielonej” technologii ekstrakcji oraz oceny użyteczności funkcjonalnej materiału w kontekście potencjalnych zastosowań biomedycznych.

Zgodnie z wymaganiami rozpraw doktorskich prezentowanych w formie cyklu publikacji praca składa się z wykazu prac wchodzących w skład rozprawy – wskazania 3 prac jako podstawy dorobkowej, wykazu skrótów oraz streszczenia i abstraktu, wprowadzenia, hipotez i celów badawczych, opisu metodyki i koncepcji badań, omówienia uzyskanych wyników, weryfikacji hipotez i wniosków, a także części poświęconej dalszemu rozwojowi badań – podsumowaniu stopnia potwierdzenia hipotez i wniosków, wskazaniu kierunków dalszych prac oraz literaturze, stanowiącej bibliografię części opisowej. W dalszej części Doktorantka załączyła pełen tekst publikacji i oświadczenia współautorów. Część syntetyzująca dysertację ma postać komentarza do trzech prac naukowych. Autorka uzasadnia

podjęcie tematu zarówno od strony wartości aplikacyjnej chityny/chitozanu, jak i od strony technologicznej, wskazując, że klasyczne procedury izolacji, oparte na roztworach kwasów i zasad, należy konfrontować z rozwiązaniami „zielonej chemii”, w tym z użyciem rozpuszczalników eutektycznych (NADES). W rozdziale 2 jasno sformułowano dwie hipotezy: H1 – wybrane gatunki skorupiaków jako alternatywne źródło chityny i chitozanu z ukierunkowaniem na zastosowania medyczne oraz H2 – możliwość izolacji chityny metodą „zieloną”, z użyciem NADES. Autorka wskazuje lukę badawczą dotyczącą niedostatecznego opisu właściwości chityny/chitozanu izolowanych z wybranych gatunków, w tym gatunków inwazyjnych, i wiąże to z potencjałem „zero-waste” oraz gospodarowania odpadami. Taki argument jest spójny z aktualnymi trendami „upcyklingu” biomasy, nawet jeśli w pracy nie ma jeszcze pełnej analizy wdrożeniowej. Z hipotezami powiązано cele obejmujące porównanie ekstrakcji konwencjonalnej z materiałem kontrolnym, optymalizację i ocenę ekstrakcji NADES, deacetylację chityny uzyskanej konwencjonalnie oraz ocenę aktywności przeciwbakteryjnej i cytotoksycznej chitozanu. Autorka zestawia wiele metod alternatywnych (ILs, NADES, elektroforezę, DBD) i omawia ich ogólne zalety, ale następnie wybór konkretnego systemu NADES (ChCl:MA) jest uzasadniony w zasadzie jednym źródłem (badania z 2017 r.) oraz argumentem o klasyfikacji GRAS chlorku choliny przez FDA. To może być wystarczający punkt startu, ale w pracy doktorskiej oczekuje się zwykle krytycznego porównania co najmniej kilku układów NADES (różne HBD/HBA, proporcje molowe, lepkość, pH) albo mocniejszego uzasadnienia, dlatego testuje się tylko jeden system. Metodyka obejmuje zbiór i przygotowanie materiału biologicznego oraz dwie metody izolacji: konwencjonalną – demineralizację HCl, deproteinizację NaOH, bielenie KMnO<sub>4</sub>/kwasem szczawiowym – oraz metodę z wykorzystaniem NADES (chlorek choliny–kwas malonowy, z wariantami temperatury i etapem z kwasem cytrynowym). Charakterystykę materiałową oparto na FTIR, TGA i SEM, a dla chitozanu dodatkowo na wyznaczeniu masy cząsteczkowej metodą HPSEC. Aktywność biologiczną oceniano przez MIC/MBC wobec *E. coli* (ATCC 10536) i *S. aureus* (ATCC 6538) oraz test MTT na komórkach A549, z analizą statystyczną ANOVA (R;  $p < 0,05$ ). Omówienie wyników syntetyzuje kluczowe obserwacje: wydajność ekstrakcji konwencjonalnej zależy od gatunku – ok. 20% dla *P. leptodactylus* i *F. limosus* oraz ok. 8% i 7% dla *D. villosus* i *N. integer*. W metodzie z użyciem NADES uzyskano skuteczną izolację chityny jedynie z *P. leptodactylus*, natomiast dla pozostałych gatunków materiał wykazywał pozostałości zanieczyszczeń białkowych. W części biologicznej wskazano wyższą aktywność przeciwbakteryjną badanych chitozanów względem materiału handlowego. Doktorantka wykazała także zależną od dawki i czasu cytotoksyczność oraz określiła brak cytotoksyczności poniżej 250 µg/mL po 24 h. Na tej podstawie Autorka uznała hipotezę 1 za potwierdzoną, a hipotezę 2 za potwierdzoną częściowo. Część syntetyzującą kończy rozdział pt. „Perspektywy dalszych badań”, opisujący rozwój układów NADES, oraz bibliografia obejmująca 54 pozycje.

W mojej ocenie postawione przez Doktorantkę hipotezy są zrozumiałe, ale obarczone istotnym ryzykiem metodologicznym wynikającym z ich sformułowania w sposób dość ogólny. Hipotezy odwołują się do „zastosowania medycznego”, które jest pojęciem wielowymiarowym i wymaga określenia kryteriów weryfikujących biokompatybilność, sterylność, czystość chemiczną, stopień deacetylacji, zawartość endotoksyn, kompatybilność z konkretną tkanką lub drogą podania itd. W materiałach rozprawy przedstawiono jedynie część tego łańcucha dowodowego: Autorka wykonała oznaczenia cytotoksyczności na jednej linii komórkowej (A549) i testy przeciwbakteryjne na dwóch szczepach modelowych, przy równoległej charakterystyce fizykochemicznej FTIR, TGA, SEM i HPSEC. Jednocześnie wskazany cel nadrzędny – „potencjał jako alternatywne źródło” – wymaga doprecyzowania: czy chodzi o potencjał surowcowy, dotyczący wydajności, sezonowości, logistyki i powtarzalności, czy procesowy, dotyczący skalowalności, odzysku rozpuszczalnika i energochłonności, czy

głównie o potencjał biomedyczny, dotyczący właściwości i aktywności biologicznej. Autorka miesza te porządki argumentacji, co w części opisowej prowadzi do wniosków szerzej sformułowanych niż zakres przedstawionych dowodów. Przykładowo w części „Weryfikacja hipotez i wnioski” wskazano pozytywną weryfikację hipotezy 1 w odniesieniu do wszystkich czterech gatunków, podczas gdy w streszczeniu pojawia się także teza o „odrzuconiu *N. integer*”. Cele badawcze zapisano jako listę działań: ekstrakcję, optymalizację, analizę, deacetylację i testy aktywności, co jest typowe, ale stanowi słabszą postać celu naukowego niż cel mierzalny, tj. próba odpowiedzi na pytanie, jak parametry procesu wpływają na zdefiniowane wskaźniki jakości chityny/chitozanu i aktywności biologicznej. W obecnym brzmieniu cele są planem czynności laboratoryjnych, a w mniejszym stopniu precyzyjnym planem oceny hipotez z jasno zdefiniowanymi kryteriami tej oceny. W zakresie nowości i oryginalności Autorka deklaruje m.in., że „po raz pierwszy wyizolowano i scharakteryzowano” chitynę i chitozan z *F. limosus*, *D. villosus* oraz *N. integer*, a także przeprowadzono szerszą charakterystykę preparatów pozyskanych z *P. leptodactylus* w celu uzupełnienia luki w wiedzy naukowej.

Strona redakcyjna rozprawy wymaga niewielkiej korekty. Najważniejsze problemy redakcyjne mają charakter stylistyczny, ale też merytoryczny, bo dotyczą terminologii lub jednostek. W streszczeniu i abstrakcie pojawia się sformułowanie o „wolnych grupach amidowych” chitozanu jako podstawie jego reaktywności, co jest co najmniej terminologicznie niefortunne, ponieważ w chemii polimerów chitozan kojarzony jest z grupami aminowymi wynikającymi z deacetylacji, a nie „amidowymi” – te dominują w chitynie. Występują także niespójności nazewnictwa taksonomicznego i dat (w obrębie dokumentu i tytułów: „*Astacus*”/„*Pontastacus*”, różne lata w nawiasach przy autorstwie gatunku); pojawiają się one w części wykazu prac oraz w załączonych publikacjach i wymagają ujednoczenia oraz wyjaśnienia, która nomenklatura jest przyjmowana. Literatura zawiera widoczny błąd redakcyjny: podwójnie powtórzoną pozycję Van de Loosdrecht i in. z 1994 r. jako dwie kolejne pozycje, a część zapisów linków/adresów i dat dostępu jest niesformalizowana. W manuskrypcie nieopublikowanym występują oczywiste elementy robocze: w części „Results” pozostawiono zdania instruktażowe typowe dla szablonów MDPI („This section may be divided by subheadings...”). Włączenie takiej wersji do rozprawy jest dopuszczalne jako materiał roboczy, ale wymaga bardzo wyraźnego oznaczenia statusu i – z punktu widzenia jakości doktoratu – dopracowania językowego przed obroną lub przed ewentualnym udostępnieniem w repozytorium.

Zakres warsztatowy rozprawy obejmuje część chemiczno-procesową oraz część analityczno-biologiczną. Po stronie mocnej warsztatu należy odnotować, że Autorka opisuje kluczowe parametry aparaturowe i warunki pomiaru dla stosowanych technik FTIR (zakres, rozdzielczość, liczba skanów, liczba powtórzeń), TGA (masa próbki, zakres temperatur, szybkość grzania, atmosfera azotu, przepływ, liczba powtórzeń), SEM (napięcie, odległość robocza, przygotowanie próbki) oraz HPSEC (skład eluentu, kolumny, detektor, warunki przygotowania próbek i krzywa kalibracyjna). Jest to baza wystarczająca do odtwarzalności części analitycznej na poziomie proceduralnym. Jednocześnie widoczny jest szereg problemów metodycznych, które – w obecnej formie – osłabiają siłę dowodową wniosków. Opis procesu ekstrakcji w części syntetyzującej jest jakościowo mniej precyzyjny niż ujęty w załączonych publikacjach, a miejscami wręcz mylący. W opisie padają sformułowania o „stężonym HCl” i „stężonej zasadzie” w kontekście ekstrakcji konwencjonalnej, podczas gdy w publikacjach opisano zastosowanie HCl 3,6% (w/v) i NaOH 8% (w/v) w etapach demineralizacji i deproteinizacji. Z punktu widzenia chemii procesowej 3,6% HCl nie jest „stężonym kwasem”, a taka terminologia może wprowadzać czytelnika w błąd co do agresywności procesu i

potencjalnej degradacji polimeru. Optymalizacja deacetylacji została opisana skrótowo: Autorka wskazuje, że po „niezadowalającym wyniku pierwszej deacetylacji” wykonano kilka podejść (czas 1–6 h, temperatura 90–180°C, NaOH 50–60%) i ostatecznie uznano warunki z zastosowaniem 60% NaOH, 180°C i 2 h za „najlepsze”. Brakuje jednak w opisie uporządkowanej dokumentacji tej optymalizacji (matrycy planu badań, kryteriów wyboru, wyników pośrednich, miar jakości), co utrudnia ocenę, czy dobór warunków był oparty na danych ilościowych, czy raczej na obserwacjach jakościowych (np. „rozpuszczalności” i interpretacjach FTIR/TGA). Kluczowe dla jakości chitozanu parametry, takie jak stopień deacetylacji (DD) oraz krystaliczność, nie zostały w przedstawionych materiałach podane jako wyniki ilościowe. Autorka sama wskazuje w „Dalszym rozwoju badań”, że warto je dalej oznaczać. Z punktu widzenia standardów dziedziny jest to luka istotna, ponieważ DD jest jedną z podstawowych zmiennych wyjaśniających rozpuszczalność, ładunek, właściwości reologiczne i aktywność biologiczną chitozanu. W pracy pojawia się rozumowanie pośrednie na podstawie TGA i FTIR, ale Autorka zaznacza niejednoznaczność takiej inferencji. W części optymalizacji pozyskiwania chityny z wykorzystaniem NADES poważnym ograniczeniem jest zakres powtórzeń i kontrola zmienności procesu. W publikacji pt. *Pontastacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823) and *Faxonius limosus* (Rafinesque, 1817) as New, Alternative Sources of Chitin and Chitosan wprost odnotowano, że każdą ekstrakcję NADES wykonano tylko raz. W publikacji pt. Green extraction of chitin from two crustacean species: *Dikerogammarus villosus* (Sowinsky, 1894) and *Neomysis integer* (Leach, 1814) and characterization of chitin and chitosan obtained from them with standard method analogicznie wskazano, że podejścia NADES wykonywano pojedynczo. W konsekwencji nie można w sposób wiarygodny statystycznie ocenić powtarzalności ani porównać wariantów prowadzenia ekstrakcji NADES, a tym bardziej formułować mocnych wniosków o efektywności ekstrakcji w sensie procesowym. W obszarze testów biologicznych procedury są opisane dość szczegółowo (szczepy, warunki hodowli, zakres stężeń, dializa, liofilizacja, definicje MIC/MBC, kontrola pozytywna – ampicylina, MTT i sposób liczenia żywotności), natomiast brakuje klarownej argumentacji, dlaczego dobrano akurat taki układ modeli biologicznych przy jednoczesnym postulacie „zastosowania medycznego” o szerokim zakresie. Autorka sama uzasadnia linię A549 jako model stosowany w badaniach substancji o potencjalnym zastosowaniu w lekach wziewnych, ale w warstwie wniosków praca odwołuje się również do opatrunków i inżynierii tkankowej. To zestawienie wymaga doprecyzowania logiki doboru modeli – komórki nabłonkowe płuc czy fibroblasty, keratynocyty lub komórki śródbłonna.

Autorka wykorzystwała komercyjne standardy chityny i chitozanu jako punkty odniesienia, a wyniki analiz FTIR i TG interpretuje w ujęciu porównawczym względem tych standardów. Jednocześnie analiza oraz formułowanie wniosków miejscami wykraczają poza przedstawione dane lub charakteryzują się nadmiernym uproszczeniem. W części wprowadzającej Doktorantka zestawia obserwacje uzyskane przy użyciu mikroskopii skaningowej (SEM) z potencjalnymi zastosowaniami w obszarze medycyny regeneracyjnej, w tym inżynierii tkankowej oraz projektowania nowoczesnych opatrunków. Jednakże analiza ta ma charakter wyłącznie jakościowy i nie jest poparta wynikami pomiarów ilościowych. Brakuje systematycznej oceny właściwości mechanicznych badanych materiałów, a także oznaczenia porowatości przy zastosowaniu metod ilościowych. Również parametryzacja obrazów SEM nie została w pełni przeprowadzona – ograniczono się jedynie do pojedynczego opisu rozmiarów porów w przypadku chityny pozyskanej z *P. leptodactylus* przy użyciu układu NADES. Takie uzupełnienie analizy o aspekt ilościowy znacząco podniosłoby wiarygodność wniosków oraz umożliwiło jednoznaczne powiązanie mikrostruktury z przewidywanymi funkcjonalnościami

biomateriałów. Autorka omawia we wprowadzeniu możliwe związki między przebiegami TG a stopniem deacetylacji, przy czym sama zaznacza, że TGA nie daje jednoznacznej informacji i niższa temperatura degradacji może wynikać zarówno z wyższego DD, jak i zanieczyszczeń. Jest to poprawne metodologicznie zastrzeżenie, ale w dalszej narracji wciąż pojawiają się sformułowania sugerujące potwierdzenie skuteczności deacetylacji dla wybranych próbek na podstawie TGA. W mojej ocenie takie stwierdzenie wymaga uzupełnienia o niezależne oznaczenie stopnia deacetylacji. We wstępnym opisie przywołano wprost wartości Mw dla czterech chitozanów, klasyfikując je według literatury jako „średnie” i „duże” Mw. Są to wartości zaczerpnięte z publikacji drugiej i trzeciej. Wnioski o powiązaniu Mw z aktywnością przeciwbakteryjną są tu prowadzone w narracji literaturowej, jednak – z perspektywy recenzenckiej – brak zrozumiałej próby odseparowania efektu Mw od innych zmiennych, takich jak stopień deacetylacji, dyspersyjność, zawartość białek czy pozostałości kwasów organicznych lub ich bezwodników. W części opisującej cytotoksyczność pada kluczowe założenie interpretacyjne: cytotoksyczność definiowana jest jako spadek żywotności poniżej 70% (zgodnie z ISO, co Autorka przywołuje także w publikacji), a następnie formułowane są rekomendacje dotyczące granicznego stężenia 250 µg/mL po 24 h. Jednak w streszczeniu polskim pojawia się jednostka „250 µl/mL”, a w dalszej części tekstu „250 µg/mL”, co stanowi niespójność edytorską (różne wielkości fizyczne). W opisie prowadzonych prac badawczych pojawia się też fragment, w którym z jednej strony „odrzuca się *N. integer* jako atrakcyjne źródło” na podstawie dyspersyjności, z drugiej zaś w „Weryfikacji hipotez” Autorka stwierdza, że wszystkie cztery gatunki mają potencjał jako alternatywne źródła. To nie jest drobna różnica stylistyczna – to realna sprzeczność we wnioskach, wymagająca rozstrzygnięcia metodologicznego: jakie są kryteria oceny „atrakcyjności” źródła pozyskiwania chityny?

Pytania oraz uwagi, jakie nasunęły mi się podczas lektury tej dysertacji i wymagają ustosunkowania się Autorki, są następujące:

Hipoteza o „zastosowaniu medycznym” jest zbyt szeroka względem zastosowanych modeli biologicznych. Proszę doprecyzować, jaki konkretny scenariusz aplikacyjny „medyczny” jest celem (opatrunki, inżynieria tkankowa, droga wziewna?) i jakie kryteria minimalne przyjęto dla „potencjału medycznego”.

Cel „optymalizacja metody NADES” jest sformułowany czynnościowo, bez kryteriów optymalizacji. Proszę wskazać, jakie zmienne decyzyjne i jaka funkcja celu zostały przyjęte w optymalizacji oraz dlaczego.

Wnioski o „atrakcyjności” źródeł nie są rozdzielone na poziom surowcowy i biomedyczny. Proszę doprecyzować, czy gatunki uznaje się za atrakcyjne przede wszystkim ze względu na wydajność chityny/chitozanu, czy ze względu na parametry biologiczne chitozanu, czy łącznie – i jak ważono te kryteria.

W [P2] opisano gotowanie osobników przez 8 h, z pięciokrotną wymianą wody, przed suszeniem. Proszę wyjaśnić, czy etap gotowania był elementem standaryzacji biomasy i jak mógł wpływać na skład pancerzy.

W publikacji 3 występuje niejasność w opisie wydajności (chityna 4% wobec 7% w [R] dla *N. integer*). Proszę doprecyzować podstawę odniesienia (sucha masa całego organizmu wobec suchej masy pancerzy) i ujednolicić wartości w opisie uzyskanych wyników.

Warianty ekstrakcji z użyciem NADES obejmują liczne czynności płukania i suszenia, co może działać jako „ukryta” zmienna i wpływać na stopień usunięcia białek. Proszę doprecyzować, czy monitorowano masy pośrednie i pH w sposób kontrolowany.

Pojawia się założenie, że dodatkowe pasmo FTIR (ok.  $1414\text{ cm}^{-1}$ ) świadczy o pozostałościach białek. Proszę wskazać, czy wykonano jakiegokolwiek niezależne potwierdzenie pozostałości białek.

W HPSEC zastosowano krzywą kalibracyjną z wykorzystaniem standardów polistyrenosulfonianu. Proszę omówić ograniczenia takiego podejścia przy oznaczeniach mas cząsteczkowych polisacharydów.

W opisie prowadzonych badań pojawia się stwierdzenie, że chitozan „nie jest rozpuszczalny w DMSO”, więc przygotowano sól w HCl, a następnie w dalszej części testy MIC/MBC wykonuje się na próbkach rozpuszczanych w 10% DMSO. Proszę doprecyzować, na jakim etapie powstaje roztwór testowy i co faktycznie jest rozpuszczane w DMSO, oraz jak kontrolowano wpływ rozpuszczalników.

W dysertacji pada stwierdzenie, że wszystkie próbki miały aktywność wyższą niż chitozan referencyjny. W publikacji drugiej przedstawiono jednak wyjątek – np. MIC dla *E. coli* nie jest niższe dla wszystkich próbek. Proszę doprecyzować, które wskaźniki – MIC czy MBC – dla którego szczepu były podstawą tej tezy.

Linia A549 to linia nowotworowa o wysokiej liczbie pasaży (84–94), co może wpływać na odpowiedź komórkową i porównywalność wyników. Proszę uzasadnić wybór wysokich pasaży i wskazać, czy kontrolowano ich stabilność fenotypu.

W publikacji drugiej omówiono kontrolę wpływu kwasu octowego w testach cytotoksyczności; proszę omówić szczegółowo ten wynik, szczególnie w kontekście interpretacji toksyczności przy  $1000\text{ }\mu\text{g/mL}$ .

W opisie wprowadzającym podano, że chityna z *N. integer* stanowiła 7% suchej masy, podczas gdy w publikacji 3 podano 4%. Proszę wyjaśnić różnicę, wskazując podstawę jednostkową i warunki.

W jaki sposób Autorka operacyjnie definiuje „atrakcyjność” źródła chityny/chitozanu: czy jest to wydajność, jakość (Mw/Dm/DD), aktywność biologiczna czy kombinacja tych kryteriów? Proszę wskazać kryteria i uzasadnić ich wagi w świetle sprzeczności dotyczącej *N. integer*.

Proszę omówić, jakie były wyniki i kryteria optymalizacji deacetylacji (czas/temperatura/NaOH) i dlaczego wybrano warunki 60% NaOH,  $180^{\circ}\text{C}$ , 2 h – jakie dane przesądziły o wyborze?

W jaki sposób Autorka rozdziela wpływ Mw i dyspersyjności (Dm) na aktywność biologiczną chitozanu, skoro w badaniach nie oznaczono ilościowo DD i nie kontrolowano innych potencjalnych zanieczyszczeń?

Proszę omówić, jak Autorka interpretuje bardzo wysoką dyspersyjność Dm (np. 12,3 w [P2] i 27 w [P3]) w kontekście jakości materiału i jego potencjalnych zastosowań – czy jest to przeszkoda, czy cecha dopuszczalna?

Jakie dodatkowe oznaczenia (w pierwszej kolejności) Autorka uznałaby za kluczowe, aby zwiększyć siłę dowodową wniosków o zastosowaniach biomedycznych.

Proszę krytycznie ocenić, czy przedstawione procedury NADES w obecnym kształcie są rzeczywiście „zielone” w sensie procesowym, biorąc pod uwagę liczbę operacji płukania i suszenia oraz użycie H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> i kwasu cytrynowego – i jak Autorka zaprojektowałaby minimalny bilans masowo-energetyczny dla porównania metod.

Pomimo powyższych krytycznych uwag stwierdzam, że na podstawie dostarczonych materiałów rozprawa przedstawia zrealizowany program badań, zawiera udokumentowane wyniki eksperymentalne oraz wskazuje, że Autorka opanowała podstawowe elementy warsztatu naukowego z pogranicza technologii chemicznej, chemii materiałowej i biooceny materiałów polimerowych. W mojej ocenie rozprawa spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w zakresie przedstawienia problemu naukowego, metod badawczych i wyników. Biorąc pod uwagę przedstawiony w rozprawie zakres badań, dojrzałość metodyczną, spójność argumentacji oraz jakość analizy i dyskusji wyników, stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr Zofii Nuc spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Wnoszę do Rady Dyscypliny Nauki o Ziemi i środowisku o dopuszczenie mgr Zofii Nuc do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dyscyplinie: Nauki o Ziemi i środowisku.

