

Lublin, 10.03.2026

prof. dr hab. Magdalena Frąc, czł. koresp. PAN
Instytut Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego
Polskiej Akademii Nauk
Zakład Badań Systemu Gleba-Roślina
Laboratorium Mikrobiologii Molekularnej i Środowiskowej
ul. Doświadczalna 4
20-290 Lublin

**Komisja Uniwersytetu Łódzkiego do spraw stopni
naukowych w dyscyplinie nauki biologiczne**

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Aleksandry Tończyk
pt. „*Aktywność biologiczna i toksyczność nanocząstek srebra pozyskanych na drodze
mikrobiologicznej przy udziale grzyba strzępkowego *Gloeophyllum striatum*”***

Rozprawa doktorska mgr Aleksandry Tończyk została przygotowana w Szkole Doktorskiej BioMedChem Uniwersytetu Łódzkiego oraz Instytutów Polskiej Akademii Nauk w Łodzi pod kierunkiem promotora – prof. dr hab. Katarzyny Lisowskiej oraz promotora pomocniczego – dr Katarzyny Niedziałkowskiej. Tematyka pracy dotyczy biologicznej syntezy nanocząstek srebra z wykorzystaniem grzyba strzępkowego *Gloeophyllum striatum* oraz oceny ich aktywności biologicznej i potencjalnej toksyczności.

1. Tematyka i struktura rozprawy

Problematyka przedłożonej do recenzji rozprawy doktorskiej wpisuje się w dynamicznie rozwijający się obszar badań nad nanotechnologią i nanomateriałami, które znajdują coraz szersze zastosowanie w medycynie, biotechnologii, ochronie środowiska oraz rolnictwie. Analizując literaturę, można zauważyć, że w ostatnich dekadach rozwój nanotechnologii istotnie zmienił podejście do projektowania nowych materiałów o określonych właściwościach fizykochemicznych i biologicznych. Nanocząstki metali, w tym nanocząstki srebra, należą do najlepiej poznanych i najczęściej wykorzystywanych nanomateriałów ze względu na ich silne właściwości przeciwdrobnoustrojowe, potencjał aplikacyjny w biomedycynie, a także możliwości zastosowania w dezynfekcji środowiska, technologii żywności czy nowoczesnych materiałach funkcjonalnych.

Jednocześnie wraz z dynamicznym rozwojem technologii nanomateriałów rośnie potrzeba opracowywania metod ich wytwarzania, które będą nie tylko efektywne technologicznie, ale również bezpieczne dla środowiska i zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju. W tym kontekście szczególnie istotne staje się poszukiwanie metod syntezy nanocząstek przyjaznych środowisku, opartych na procesach biologicznych, które stanowią atrakcyjną alternatywę dla tradycyjnych metod fizycznych i chemicznych.

Wykorzystanie mikroorganizmów do produkcji nanomateriałów stanowi obecnie jeden z najbardziej obiecujących kierunków badań w dziedzinie nanobiotechnologii. Mikroorganizmy posiadają zdolność do redukcji jonów metali oraz stabilizacji powstających nanocząstek dzięki produkowanym metabolitom wtórnym, enzymom i innym związkom biologicznie aktywnym. Szczególnie interesującą grupą organizmów w tym kontekście są grzyby strzępkowe, które dzięki szybkiemu wzrostowi, wysokiej produkcji biomasy oraz zdolności do wydzielania licznych metabolitów zewnątrzkomórkowych mogą stanowić wydajne i stosunkowo łatwe w hodowli systemy biologicznej syntezy nanomateriałów.

Z drugiej strony rozwój nanotechnologii wiąże się również z szeregiem wyzwań naukowych, technologicznych i środowiskowych. Jednym z najważniejszych problemów jest konieczność dokładnej oceny potencjalnej toksyczności nanomateriałów zarówno wobec komórek organizmów wyższych, jak i wobec organizmów środowiskowych. Wraz z rosnącą produkcją nanocząstek zwiększa się bowiem prawdopodobieństwo ich obecności w środowisku naturalnym, co rodzi pytania dotyczące ich wpływu na ekosystemy wodne i glebowe, procesy mikrobiologiczne zachodzące w środowisku oraz potencjalnej bioakumulacji w łańcuchach pokarmowych. Z tego względu szczególnego znaczenia nabierają badania łączące analizę potencjału aplikacyjnego nanomateriałów z kompleksową oceną ich bezpieczeństwa biologicznego i środowiskowego.

Biorąc pod uwagę powyższe potrzeby oraz wyzwania środowiskowe, należy uznać, że tematyka podjęta przez Doktorantkę jest bardzo aktualna i istotna zarówno z poznawczego, jak i aplikacyjnego punktu widzenia. Badania nad biosyntezą nanocząstek srebra z wykorzystaniem mikroorganizmów oraz ocena ich aktywności biologicznej i potencjalnej toksyczności wpisują się w ważny nurt współczesnych badań interdyscyplinarnych łączących mikrobiologię, biotechnologię, nanotechnologię oraz toksykologię środowiskową.

Rozprawa doktorska ma charakter cyklu publikacji naukowych. Składa się z czterech oryginalnych artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie o zasięgu

międzynarodowym. Publikacje te dotyczą optymalizacji procesu biosyntezy nanocząstek srebra, analizy ich aktywności przeciwdrobnoustrojowej, oceny toksyczności środowiskowej oraz badania potencjalnej synergii działania nanocząstek z antybiotykami. **Taki zakres badań pozwala na kompleksową ocenę zarówno właściwości biologicznych uzyskanych nanomateriałów, jak i ich potencjalnego znaczenia środowiskowego.**

Układ dysertacji jest typowy dla rozpraw doktorskich opartych na publikacjach i obejmuje: wprowadzenie, cel pracy, hipotezy badawcze, metodologię badań, omówienie wyników badań przedstawionych w publikacjach wchodzących w skład rozprawy doktorskiej, podsumowanie oraz wnioski i stwierdzenia końcowe. Rozprawa doktorska opatrzona jest abstraktami w języku polskim i angielskim, a także zawiera dorobek naukowy Doktorantki, literaturę uzupełniającą oraz załączniki, w tym kopie publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej oraz oświadczenia współautorów o udziale w publikacjach. Całość pracy jest spójna tematycznie, logicznie uporządkowana i dobrze przygotowana pod względem edytorskim.

Biorąc pod uwagę stan wiedzy, aktualność problematyki badawczej oraz perspektywy rozwoju badań, z pełnym przekonaniem stwierdzam, że podjęte przez Doktorantkę badania są nowatorskie i wnoszą istotny wkład w rozwój nauk ścisłych i przyrodniczych oraz dyscypliny nauk biologicznych.

2. Wiedza Doktorantki

W części wprowadzającej liczącej 8 stron oraz we wstępach do czterech publikacji naukowych wchodzących w skład rozprawy doktorskiej mgr Aleksandra Tończyk przedstawiła szeroki przegląd literatury dotyczący nanotechnologii oraz właściwości biologicznych nanocząstek srebra. W sposób kompetentny omówiła metody ich syntezy – zarówno konwencjonalne, obejmujące metody fizyczne i chemiczne, jak i metody biologiczne, które w ostatnich latach zyskują coraz większe znaczenie w badaniach nad nanomateriałami. **Szczególną uwagę Autorka poświęciła biosyntezie nanocząstek z udziałem mikroorganizmów**, w tym zwłaszcza grzybów strzępkowych, które dzięki swojej zdolności do produkcji licznych metabolitów wtórnych mogą pełnić rolę naturalnych czynników redukujących i stabilizujących powstające nanomateriały.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że Doktorantka w sposób przejrzysty przedstawiła nie tylko aktualny stan wiedzy dotyczący właściwości fizykochemicznych nanocząstek srebra, ale także odniosła się do mechanizmów warunkujących ich aktywność biologiczną. W

szczegółności podkreśliła znaczenie mechanizmów działania przeciwdrobnoustrojowego nanocząstek srebra, takich jak generowanie reaktywnych form tlenu, oddziaływanie z błonami komórkowymi drobnoustrojów czy zaburzenia funkcjonowania materiału genetycznego komórek mikroorganizmów. Doktorantka wskazała również na szerokie spektrum aktywności biologicznej tych nanomateriałów, obejmujące działanie przeciwbakteryjne, przeciwgrzybowe czy ograniczające rozwój biofilmu poprzez zaburzenia sił międzycząsteczkowych, ograniczenie adhezji drobnoustrojów do powierzchni, hamowanie produkcji egzopolisacharydów lub hamowanie zjawiska *quorum sensing* między bakteriami.

W części teoretycznej dysertacji mgr Aleksandra Tończyk zaprezentowała także potencjalne kierunki zastosowania nanocząstek srebra w różnych dziedzinach nauki i gospodarki, w tym w medycynie, przemyśle farmaceutycznym, technologii żywności, ochronie środowiska oraz w materiałach funkcjonalnych. Autorka zwróciła uwagę na rosnące znaczenie nanotechnologii w kontekście współczesnych wyzwań cywilizacyjnych, takich jak wzrastająca oporność drobnoustrojów na antybiotyki czy konieczność opracowywania nowych metod dezynfekcji środowiska.

Istotnym elementem części wprowadzającej jest również podkreślenie problemu potencjalnej toksyczności nanomateriałów. W tym kontekście Doktorantka słusznie zaakcentowała konieczność prowadzenia kompleksowych badań obejmujących zarówno ocenę aktywności biologicznej nanocząstek, jak i analizę ich cytotoksyczności oraz ekotoksyczności.

Przedstawiony przegląd literatury jest dobrze dobrany i obejmuje aktualne publikacje naukowe dotyczące omawianej tematyki. Autorka wykazała się umiejętnością syntetycznego przedstawienia dużej liczby danych literaturowych oraz logicznego powiązania ich z celami prowadzonych badań. Należy podkreślić, że **część teoretyczna pracy stanowi solidne uzasadnienie podjętej problematyki badawczej oraz jasno wskazuje na lukę badawczą, którą Doktorantka podjęła się wypełnić.**

Podsumowując, przedstawiony przegląd literatury wskazuje, że Doktorantka posiada bardzo dobrą orientację w aktualnym stanie wiedzy dotyczącym nanotechnologii, mikrobiologii oraz toksykologii środowiskowej. Część teoretyczna pracy została przygotowana w sposób rzetelny i stanowi właściwe wprowadzenie do problematyki badawczej podejmowanej w rozprawie. Świadczy to o solidnym przygotowaniu teoretycznym Doktorantki do prowadzenia badań naukowych w omawianym obszarze. Ta część dysertacji jednoznacznie wskazuje również, że Doktorantka posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie nauk biologicznych.

3. Samodzielność Doktorantki

Na podstawie przedstawionej rozprawy można stwierdzić, że mgr Aleksandra Tończyk wykazała się dużą samodzielnością w planowaniu i realizacji badań naukowych. Oświadczenia współautorów publikacji jednoznacznie wskazują na wiodącą rolę Doktorantki w ich powstaniu, wskazując Jej 70-80% udział w przygotowaniu każdej z prac. **Podkreślono również, że współudział mgr Aleksandry Tończyk obejmował opracowanie koncepcji badań, zaplanowanie i realizację doświadczeń, udział w badaniach laboratoryjnych, analizę statystyczną uzyskanych wyników, opracowanie manuskryptów publikacji oraz udział w przygotowaniu odpowiedzi na recenzje, co potwierdza samodzielność Doktorantki.**

Warto zwrócić też uwagę, że zakres zastosowanych metod badawczych jest szeroki i obejmuje zarówno techniki mikrobiologiczne, jak i zaawansowane metody analizy fizykochemicznej nanomateriałów. W pracy zastosowano m.in. skaningową mikroskopię elektronową (SEM), mikroskopię konfokalną, spektroskopię w podczerwieni z transformacją Fouriera (FTIR), analizę wielkości nanocząstek zawieszonych w cieczy techniką NTA (*Nanoparticle Tracking Analysis*), chromatografię gazową sprzężoną ze spektrometrią mas (GC-MS) i chromatografię cieczową sprzężoną z tandemową spektrometrią mas (LC-MS/MS), a także szereg testów biologicznych i toksykologicznych. W badaniach wykorzystano również standaryzowane testy ekotoksykologiczne obejmujące organizmy różnych poziomów troficznych z wykorzystaniem technik spektrofotometrycznych i spektrofluorymetrycznych. **Tak szeroki zakres metod świadczy o wysokich kompetencjach eksperymentalnych Doktorantki oraz o Jej zdolności do prowadzenia interdyscyplinarnych badań naukowych.**

Choć dorobek naukowy Doktorantki nie jest przedmiotem oceny rozprawy doktorskiej, warto również wspomnieć, że załączone do dysertacji zestawienie aktywności mgr Aleksandry Tończyk wskazuje na dużą Jej aktywność naukową, organizacyjną i popularyzatorską, a także zwraca uwagę na podnoszenie kompetencji w ramach kursów i szkoleń, potwierdzając systematyczne zaangażowanie mgr Tończyk w rozwój naukowy oraz dobre przygotowanie do dalszej pracy badawczej i działalności akademickiej.

4. Oryginalność rozprawy

Najważniejszym osiągnięciem przeprowadzonych badań jest opracowanie oraz optymalizacja metody mikrobiologicznej syntezy nanocząstek srebra z wykorzystaniem grzyba brunatnej zgnilizny drewna *Gloeophyllum striatum*. **Gatunek ten nie był dotychczas szeroko analizowany w kontekście biosyntezy nanocząstek metali, co nadaje przeprowadzonym badaniom wyraźnie nowatorski charakter. Poszukiwanie nowych mikroorganizmów zdolnych do efektywnej biosyntezy nanomateriałów stanowi obecnie jedno z ważniejszych wyzwań w dziedzinie nanobiotechnologii, a uzyskane w pracy wyniki wypełniają istotną lukę w wiedzy dotyczącej potencjału biotechnologicznego grzybów powodujących rozkład drewna.**

Warto podkreślić, że przedstawiona rozprawa nie ogranicza się jedynie do samego opracowania metody biosyntezy nanocząstek srebra, ale obejmuje również kompleksową analizę właściwości fizykochemicznych uzyskanych nanomateriałów oraz szeroką ocenę ich aktywności biologicznej. Doktorantka wykazała, że warunki syntezy, takie jak temperatura czy napowietrzanie, mogą w istotny sposób determinować właściwości powstających nanocząstek, w tym ich wielkość, stabilność oraz aktywność biologiczną. Wyniki te mają szczególne znaczenie z punktu widzenia projektowania procesów biosyntezy nanomateriałów o określonych, pożądanym właściwościach funkcjonalnych.

Istotnym osiągnięciem pracy jest także wieloaspektowa analiza aktywności biologicznej uzyskanych nanocząstek srebra. Autorka przeprowadziła badania obejmujące zarówno ocenę ich aktywności przeciwdrobnoustrojowej wobec bakterii i grzybów, jak również analizę potencjalnej cytotoksyczności oraz ekotoksyczności wobec organizmów reprezentujących różne poziomy troficzne ekosystemów. **Tak szerokie podejście badawcze należy uznać za szczególnie wartościowe, ponieważ w literaturze naukowej wciąż stosunkowo rzadko spotyka się prace, które w sposób kompleksowy analizują zarówno potencjał aplikacyjny nanomateriałów, jak i związane z nimi ryzyko środowiskowe.**

Uzyskane wyniki pozwoliły również wskazać wariant nanocząstek srebra syntetyzowanych w określonych warunkach (4°C, bez napowietrzania), który charakteryzuje się korzystnym profilem biologicznym – wysoką aktywnością przeciwdrobnoustrojową przy jednocześnie relatywnie niższym potencjale cytotoksycznym. **Identyfikacja takich zależności pomiędzy warunkami biosyntezy a właściwościami biologicznymi nanomateriałów stanowi ważny krok w kierunku opracowania bezpiecznych i efektywnych technologii produkcji nanocząstek metali.**

Na szczególną uwagę zasługują także wyniki dotyczące synergistycznego działania nanocząstek srebra z wybranymi antybiotykami. W kontekście narastającego problemu

antybiotykooporności bakterii badania te mają duże znaczenie poznawcze i potencjalnie aplikacyjne. Wykazanie możliwości wzmacniania działania antybiotyków poprzez jednoczesne zastosowanie nanocząstek srebra wskazuje na interesujący kierunek dalszych badań nad nowymi strategiami walki z drobnoustrojami opornymi na leczenie.

Przeprowadzone badania pozwoliły także częściowo uzupełnić istniejące luki w wiedzy dotyczące wpływu nanocząstek srebra syntetyzowanych biologicznie na organizmy środowiskowe. Wyniki analiz ekotoksykologicznych wskazują, że aktywność nanocząstek może być silnie uzależniona zarówno od ich właściwości fizykochemicznych, jak i od rodzaju organizmu, na który oddziałują. **Wnioski te podkreślają potrzebę prowadzenia dalszych badań nad oddziaływaniem nanomateriałów na różne komponenty środowiska naturalnego, zwłaszcza w kontekście rosnącej skali produkcji i wykorzystania nanocząstek w różnych gałęziach gospodarki.**

Zaprezentowane w rozprawie wyniki otwierają również interesujące perspektywy dla przyszłych badań. W szczególności zasadne wydaje się dalsze pogłębienie analiz dotyczących mechanizmów molekularnych odpowiedzialnych za obserwowane różnice w aktywności biologicznej nanocząstek syntetyzowanych w różnych warunkach. Interesującym kierunkiem badań mogłoby być również rozszerzenie analiz o inne szczepy mikroorganizmów zdolnych do biosyntezy nanocząstek metali, a także ocena stabilności i aktywności uzyskanych nanomateriałów w warunkach zbliżonych do środowiska naturalnego lub warunków aplikacyjnych. Sprawia to, że podjęte przez mgr Aleksandrę Tończyk badania mają wielką perspektywę kontynuacji w kierunkach istotnych dla dziedziny nauk biologicznych.

Podsumowując, największym osiągnięciem niniejszej rozprawy jest kompleksowe podejście do problematyki biosyntezy nanocząstek srebra – obejmujące zarówno opracowanie i optymalizację procesu ich wytwarzania z wykorzystaniem mało dotychczas poznanego mikroorganizmu, jak również szczegółową analizę ich właściwości biologicznych, potencjalnej toksyczności oraz możliwości zastosowań w kontekście przeciwdrobnoustrojowym. Uzyskane wyniki stanowią istotny wkład w rozwój badań nad biologiczną syntezą nanomateriałów oraz nad ich potencjalnym wykorzystaniem w medycynie, biotechnologii i ochronie środowiska. Przedstawiona rozprawa doktorska stanowi oryginalne i wartościowe opracowanie naukowe, zawierające bogaty materiał empiryczny oraz wyniki badań, które w istotny sposób uzupełniają istniejące luki w wiedzy dotyczącej biologicznej syntezy nanocząstek srebra. Uzyskane rezultaty wskazują na duży potencjał biosyntezy nanocząstek z udziałem grzyba *Gloeophyllum striatum* oraz ich możliwe zastosowanie jako innowacyjnych

czynników przeciwdrobnoustrojowych o znaczeniu dla rozwoju nanobiotechnologii i badań nad nowymi strategiami zwalczania drobnoustrojów.

5. Pytania i uwagi dotyczące rozprawy

W pracy wykazano, że warunki biosyntezy nanocząstek mogą istotnie wpływać na ich właściwości fizykochemiczne i biologiczne. Dlatego chciałabym zapytać, w jaki sposób takie parametry środowiskowe jak temperatura hodowli oraz stopień napowietrzania wpływają na proces biosyntezy nanocząstek srebra przez *Gloeophyllum striatum*? Czy Autorka mogłaby syntetycznie podsumować, jak zmiany tych parametrów determinują właściwości otrzymanych nanocząstek – w szczególności ich wielkość, stabilność oraz aktywność biologiczną – w odniesieniu do ogólnego wniosku drugiego sformułowanego w rozprawie?

W kontekście przeprowadzonych badań oraz zaprezentowanej analizy wyników nasuwa się również pytanie dotyczące mechanizmów biologicznych leżących u podstaw biosyntezy nanocząstek srebra przez badany szczep grzyba *Gloeophyllum striatum*. Czy wiadomo, jakie procesy mikrobiologiczne lub metaboliczne mogą odgrywać kluczową rolę w redukcji jonów srebra i stabilizacji powstających nanocząstek? Czy możliwe jest wskazanie konkretnych metabolitów, enzymów lub innych komponentów komórkowych grzyba, które mogą uczestniczyć w tym procesie?

Wyniki przedstawione w pracy wskazują na interesujący efekt synergistycznego działania nanocząstek srebra z antybiotykami. Jakie mikrobiologiczne mechanizmy mogą odpowiadać za obserwowany efekt synergii pomiędzy nanocząstkami a antybiotykami? Czy zdaniem Doktorantki efekt ten może wynikać z zaburzeń integralności błony komórkowej bakterii, zwiększenia penetracji antybiotyku do komórki, czy też z innych procesów komórkowych? W jaki sposób obserwowane zjawisko mogłoby zostać wykorzystane w przyszłości w opracowywaniu nowych strategii przeciwdrobnoustrojowych w kontekście narastającej antybiotykooporności drobnoustrojów?

Dodatkowo podczas lektury rozprawy nasunęły mi się pytania dotyczące możliwości praktycznego wykorzystania uzyskanych wyników, w tym o charakterze technologiczno-regulacyjno-wdrożeniowym:

- 1) Czy Doktorantka planuje dalsze badania nad możliwością zastosowania uzyskanych nanocząstek w praktyce medycznej lub środowiskowej?

- 2) Czy Doktorantka rozważała możliwość skalowania opracowanej metody biosyntezy nanocząstek do warunków póltechnicznych lub przemysłowych?
- 3) Jakie są potencjalne bariery prawne i technologiczne związane z wprowadzeniem nanomateriałów tego typu do zastosowań praktycznych?

Powyższe pytania mają charakter dyskusyjny i nie wpływają na wysoką ocenę wartości naukowej przedstawionej rozprawy, stanowią natomiast wyraz dużego zainteresowania podjętą tematyką badawczą oraz zaprezentowanymi wynikami i ich potencjalnym znaczeniem naukowym i aplikacyjnym.

6. Ocena końcowa

Dysertacja doktorska Pani mgr Aleksandry Tończyk stanowi opracowanie wnoszące istotny wkład w rozwój badań nad nanobiotechnologią, a w szczególności nad biologiczną syntezą nanocząstek srebra z udziałem mikroorganizmów. Przedstawione w pracy wyniki badań znacząco poszerzają wiedzę dotyczącą możliwości wykorzystania grzybów strzępkowych, w tym *Gloeophyllum striatum*, w procesach biosyntezy nanomateriałów oraz wskazują na ich potencjał jako czynników o aktywności przeciwdrobnoustrojowej. Doktorantka wykazała się bardzo dobrą znajomością podejmowanej problematyki badawczej, opanowała szeroki zakres metod mikrobiologicznych, analitycznych i fizykochemicznych stosowanych w badaniach nad nanomateriałami, a także wykazała umiejętność krytycznej analizy i interpretacji uzyskanych wyników oraz prezentowania ich w formie publikacji naukowych.

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska Pani mgr Aleksandry Tończyk spełnia warunki określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.) i wnioskuję do Komisji Uniwersytetu Łódzkiego do spraw stopni naukowych w dyscyplinie nauki biologiczne o dopuszczenie mgr Aleksandry Tończyk do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki biologiczne.

Jednocześnie wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr Aleksandry Tończyk ze względu na jej znaczący i wyróżniający wkład w rozwój wiedzy dotyczącej biologicznej syntezy nanocząstek srebra, kompleksową analizę ich właściwości fizykochemicznych oraz aktywności biologicznej, w tym działania przeciwdrobnoustrojowego i potencjalnej synergii z antybiotykami. Na szczególne

podkreślenie zasługuje wykorzystanie mało dotychczas badanego w tym kontekście gatunku grzyba *Gloeophyllum striatum*, zastosowanie szerokiego, innowacyjnego podejścia opartego o synergę nanocząstek i antybiotyków oraz nowoczesnego warsztatu badawczego obejmującego zarówno analizy fizykochemiczne, jak również testy biologiczne i ekotoksykologiczne, a także wysoka wartość naukowa publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej oraz przeprowadzonych eksperymentów. W świetle przedstawionej recenzji należy podkreślić, że oceniana rozprawa doktorska cechuje się wyróżniającą jakością badań, posiada szczególne walory poznawcze oraz potencjalnie aplikacyjne, a także stosuje innowacyjne podejście badawcze.

prof. dr hab. Magdalena Frąc, czł. koresp. PAN