



Bydgoszcz, 3 września 2026

prof. dr hab. inż. Aleksandra Dunisławska
Katedra Biotechnologii i Genetyki Zwierząt
Wydział Hodowli i Biologii Zwierząt
Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

lek. wet. Aleksandry Marzec

pt. „Czy odpowiedź immunologiczna i oksydoredukcyjna organizmu na zastosowanie nanocząstek miedzi zależna jest od zróżnicowanych funkcji fizjologicznych błonnika pokarmowego?”

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska lek. wet. Aleksandry Marzec stanowi spójne i interesujące poznawczo opracowanie naukowe, obejmujące kompleksową ocenę biologicznych skutków zastosowania nanocząstek miedzi (CuNPs) w zależności od ich dawki oraz rodzaju błonnika pokarmowego obecnego w diecie. Szczególną wartością pracy jest wielokierunkowa analiza badanego zagadnienia, obejmująca funkcjonowanie przewodu pokarmowego, biodostępność i dystrybucję miedzi, metabolizm wątrobowy, status oksydacyjno-redukcyjny oraz odpowiedź immunologiczną organizmu.

Rozprawa doktorska została przygotowana w formie cyklu pięciu powiązanych tematycznie prac naukowych, opublikowanych w latach 2023-2026 w czasopismach o zasięgu międzynarodowym: *Nutrients*, *Antioxidants*, *Annals of Animal Science* oraz *Journal of Animal and Feed Sciences*. Łączna wartość współczynnika *Impact Factor* prac przedstawionych w cyklu wynosi **20,1**, natomiast suma punktów zgodnie z wykazem czasopism naukowych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego zgodnie z rokiem opublikowania wynosi **620**. W czterech spośród pięciu publikacji Doktorantka jest pierwszym autorem.

Na podstawie załączonych oświadczeń dotyczących współautorstwa można stwierdzić, że udział Doktorantki w powstaniu cyklu był znaczący i w większości publikacji miał charakter wiodący. Obejmował on m.in. opracowanie koncepcji badań, nadzór nad przebiegiem doświadczenia, wykonywanie analiz, opracowanie wyników oraz przygotowanie publikacji. W pracy, w której Doktorantka nie była pierwszym autorem, jej udział obejmował wykonanie analiz, opracowanie wyników oraz udział w przygotowaniu ostatecznej wersji publikacji. Zakres deklarowanego wkładu wskazuje na istotne zaangażowanie Doktorantki zarówno w część eksperymentalną, jak i interpretacyjną realizowanych badań.

Oceniana rozprawa została przygotowana w Katedrze Biochemii i Toksykologii Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie pod kierunkiem prof. dr hab. Katarzyny Ognik, z udziałem promotora pomocniczego dr. hab. Bartosza Fotschkiego. Badania zrealizowano w ramach projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki. Realizacja pracy w ramach finansowanego projektu badawczego stworzyła warunki do przeprowadzenia rozbudowanego, wielokierunkowego doświadczenia z zastosowaniem szerokiego panelu metod analitycznych.

Rozprawa obejmuje część syntetyczną, na którą składają się streszczenia w języku polskim i angielskim, wstęp, hipoteza badawcza i cele badań, opis materiału i metod, omówienie wyników wraz z dyskusją, wnioski oraz bibliografia. Uzupełnienie stanowią pełne teksty publikacji wchodzących w skład cyklu oraz oświadczenia Doktorantki i współautorów dotyczące ich udziału w powstaniu poszczególnych prac. Układ rozprawy jest logiczny i przejrzysty, a poszczególne publikacje tworzą spójną całość podporządkowaną nadrzędnemu problemowi badawczemu.

Ocena problematyki badawczej

Problematyka podjęta w rozprawie doktorskiej jest aktualna, dobrze uzasadniona i istotna zarówno z poznawczego, jak i aplikacyjnego punktu widzenia. Rozwój nanotechnologii oraz rosnące zainteresowanie wykorzystaniem nanoform składników mineralnych w żywieniu zwierząt powodują, że zagadnienia związane z ich biodostępnością, metabolizmem oraz bezpieczeństwem stosowania stanowią ważny obszar współczesnych badań. Nanocząstki miedzi, ze względu na niewielki rozmiar, dużą powierzchnię właściwą oraz odmienną reaktywność biologiczną, mogą wykazywać inny profil działania niż tradycyjne nieorganiczne źródła tego pierwiastka. Jednocześnie ich wpływ na organizm nie jest jednoznaczny i może obejmować zarówno efekty korzystne, jak i niepożądane, zależne m.in. od dawki, czasu ekspozycji oraz warunków środowiska przewodu pokarmowego.

Za szczególnie interesujące i wartościowe uważam uwzględnienie w koncepcji badań błonnika pokarmowego jako czynnika mogącego modulować biologiczne działanie CuNPs. Poszczególne frakcje błonnika różnią się bowiem właściwościami fizykochemicznymi i fizjologicznymi, takimi jak fermentowalność, lepkość czy zdolność wiązania wody, a poprzez wpływ na pH treści jelitowej, aktywność mikroflory i produkcję krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych mogą pośrednio wpływać również na biodostępność i metabolizm składników mineralnych. Takie ujęcie problemu pozwala rozpatrywać działanie nanocząstek miedzi nie jako efekt izolowanego składnika diety, lecz jako wynik bardziej złożonych interakcji zachodzących w przewodzie pokarmowym.

Na podkreślenie zasługuje również kompleksowość podjętego problemu badawczego. Jak wskazuje Doktorantka, dostępne badania dotyczące CuNPs koncentrują się często na wybranych aspektach ich działania, natomiast znacznie mniej jest opracowań integrujących ocenę funkcjonowania przewodu pokarmowego, gospodarki mineralnej, metabolizmu wątrobowego, statusu oksydacyjno-redukcyjnego oraz odpowiedzi immunologicznej przy jednoczesnym uwzględnieniu modulującego działania różnych rodzajów błonnika pokarmowego.

W mojej ocenie wybór problematyki badawczej należy uznać za trafny. Praca wpisuje się w aktualny nurt badań dotyczących bezpieczeństwa stosowania nanomateriałów w żywieniu, a jednocześnie wnosi istotny element związany z oceną ich działania w kontekście składu diety.

Hipoteza badawcza i cele pracy

Hipoteza badawcza została sformułowana w sposób jasny, logiczny i zgodny z aktualnym stanem wiedzy przedstawionym we wstępie rozprawy. Doktorantka założyła, że biologiczne działanie nanocząstek miedzi ma charakter zależny od dawki oraz że jest istotnie modulowane przez rodzaj błonnika pokarmowego obecnego w diecie. Szczególną rolę przypisano frakcjom fermentującym, zwłaszcza inulinie i pektynie, które poprzez wpływ na mikroflorę jelitową, produkcję krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych oraz integralność bariery jelitowej mogą regulować biodostępność CuNPs, ograniczać stres oksydacyjny oraz modyfikować odpowiedź metaboliczną i immunologiczną organizmu.

Główny cel badań, określony jako wyjaśnienie mechanizmów odpowiedzialnych za zależną od diety modulację efektów biologicznych CuNPs oraz określenie roli błonnika pokarmowego jako

czynnika regulującego bezpieczeństwo i kierunek działania nanoform miedzi, należy uznać za ambitny, ale adekwatny do zakresu przeprowadzonych doświadczeń. Cel ten został rozwinięty poprzez ocenę wpływu badanych czynników na funkcjonowanie przewodu pokarmowego, aktywność mikrobioty jelitowej, status oksydacyjno-redukcyjny organizmu, biodostępność i dystrybucję miedzi, wybrane aspekty metabolizmu wątrobowego, odpowiedź immunologiczną oraz parametry hematologiczne.

Za mocną stroną pracy uważam dużą spójność pomiędzy postawioną hipotezą, sformułowanym celem a zakresem wykonanych analiz. Poszczególne elementy cyklu publikacyjnego odnoszą się do kolejnych poziomów odpowiedzi organizmu na CuNPs, począwszy od przewodu pokarmowego, poprzez gospodarkę mineralną i metabolizm wątrobowy, aż po status oksydoredukcyjny i odpowiedź immunologiczną. Dzięki temu badania nie ograniczają się do opisu pojedynczego efektu biologicznego, lecz umożliwiają wieloaspektową ocenę zależności pomiędzy dawką nanocząstek miedzi a właściwościami fizjologicznymi błonnika.

Materiał i metody badawcze

Materiał doświadczalny oraz zastosowane metody badawcze zostały dobrane adekwatnie do postawionej hipotezy i celów pracy. Doświadczenie przeprowadzono na samcach szczurów, które po okresie adaptacji losowo przydzielono do grup doświadczalnych i utrzymywano przez sześć tygodni w kontrolowanych warunkach środowiskowych. Układ doświadczenia obejmował dwie dawki miedzi, a także cztery źródła błonnika pokarmowego.

Za istotną zaletę projektu badawczego uważam zastosowanie kilku frakcji błonnika o odmiennych właściwościach fizjologicznych, co umożliwiło ocenę, czy biologiczne działanie nanocząstek miedzi jest modulowane nie tylko przez obecność błonnika w diecie, lecz również przez jego specyficzne właściwości funkcjonalne. Celuloza stanowiła źródło kontrolne, natomiast inulina, pektyna i psyllium reprezentowały frakcje różniące się pod względem fermentowalności, lepkości i oddziaływania na środowisko przewodu pokarmowego. Takie zróżnicowanie diet należy uznać za dobrze uzasadnione z punktu widzenia postawionej hipotezy badawczej.

Szczególnie wysoko oceniam szeroki i komplementarny zakres zastosowanych metod analitycznych. Badania obejmowały ocenę funkcjonowania przewodu pokarmowego i aktywności metabolicznej mikrobioty jelitowej, oznaczenia krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych, analizę histologiczną jelita cienkiego i wątroby, analizę ekspresji wybranych genów, ocenę globalnej metylacji DNA i aktywności APE-1, badania bilansowe oraz oznaczenia zawartości miedzi i innych pierwiastków. W pracy oceniano również parametry statusu oksydacyjno-redukcyjnego, markery uszkodzeń oksydacyjnych, parametry hematologiczne, stężenia immunoglobulin, cytokin prozapalnych oraz białka C-reaktywnego. Tak szeroki panel analiz umożliwił ocenę efektów stosowania CuNPs na różnych poziomach organizacji biologicznej - od zmian zachodzących w przewodzie pokarmowym, poprzez biodostępność i dystrybucję miedzi, aż po odpowiedź metaboliczną, oksydoredukcyjną i immunologiczną.

Uzyskane wyniki i ich dyskusja

Uzyskane wyniki tworzą spójny i logicznie powiązany obraz biologicznego działania nanocząstek miedzi w zależności od ich dawki oraz rodzaju błonnika pokarmowego. Za szczególnie wartościowe uważam to, że Doktorantka nie ograniczyła interpretacji do pojedynczych parametrów, lecz podjęła próbę zintegrowania wyników dotyczących biodostępności i dystrybucji miedzi, funkcjonowania przewodu pokarmowego, metabolizmu wątrobowego, statusu oksydacyjno-redukcyjnego oraz odpowiedzi immunologicznej. Takie podejście dobrze odpowiada złożoności badanego zagadnienia i pozwala na szerszą interpretację zależności pomiędzy składem diety a biologicznymi skutkami stosowania CuNPs.

W odniesieniu do gospodarki miedzią wykazano, że zastąpienie CuCO_3 nanocząstkami miedzi wiązało się ze zmniejszeniem wydalania miedzi oraz zwiększeniem jej strawności i wykorzystania, co wskazuje na większą biodostępność CuNPs. Jednocześnie stwierdzono zmianę dystrybucji miedzi w organizmie, w tym zmniejszenie jej akumulacji w mózgu i mięśniach, a także zmiany stężeń innych pierwiastków mineralnych w osoczu. Ważnym wynikiem było również wykazanie, że przy zwiększonej podaży CuNPs zastosowanie wybranych rodzajów błonnika sprzyjało zwiększonemu wydalaniu miedzi, przy jednoczesnym zachowaniu jej efektywnego wykorzystania. Wyniki te wskazują, że skład diety może istotnie wpływać na losy ustrojowe nanocząstek miedzi i modulować ich biodostępność.

Interesujące są również obserwacje dotyczące przewodu pokarmowego. Zastosowanie CuNPs wpływało na parametry integralności jelita cienkiego, a jednocześnie wiązało się ze zwiększeniem uszkodzeń DNA. Doktorantka słusznie zwraca uwagę na niejednoznaczny charakter tych zmian tj. ograniczenie apoptozy może wskazywać na mechanizmy adaptacyjne, jednak współwystępowanie uszkodzeń materiału genetycznego wymaga ostrożnej interpretacji z punktu widzenia bezpieczeństwa stosowania nanocząstek. W tym kontekście istotne jest wykazane działanie ochronne wybranych frakcji błonnika, szczególnie inuliny i pektyny, które wpływały na środowisko jelitowe oraz parametry związane z integralnością bariery jelitowej.

Za cenne uważam także wyniki dotyczące metabolizmu wątrobowego. Przy wyższej dawce CuNPs obserwowano zwiększoną akumulację lipidów, cholesterolu i triglicerydów w wątrobie, którym towarzyszyły zmiany histopatologiczne i aktywacja procesów zapalnych. Jednocześnie zastosowanie błonnika, szczególnie psyllium i inuliny, ograniczało część tych zmian, w tym ekspresję genów związanych z lipogenezą i stanem zapalnym. Szczególnie wyraźny efekt ochronny wykazano dla psyllium. Wyniki te wzmacniają koncepcję, że biologiczny efekt CuNPs nie jest determinowany wyłącznie przez ich dawkę, lecz także przez właściwości składników diety mogących wpływać na ich dostępność i dalsze skutki metaboliczne.

Istotnym elementem rozprawy są badania dotyczące równowagi oksydacyjno-redukcyjnej. Wykazano, że odpowiedź organizmu na CuNPs ma charakter zarówno zależny od dawki, jak i tkankowo swoisty. Szczególnie ważne są stwierdzone interakcje pomiędzy dawką nanocząstek a rodzajem błonnika dla markerów peroksydacji lipidów i aktywności enzymów antyoksydacyjnych. Inulina wykazywała korzystne działanie przy dawce rekomendowanej, natomiast przy wyższej podaży CuNPs efekt ochronny był bardziej widoczny dla pektyny i psyllium. Wyniki te w przekonujący sposób pokazują, że wpływ błonnika na odpowiedź oksydoredukcyjną nie ma charakteru uniwersalnego, lecz zależy zarówno od właściwości konkretnej frakcji, jak i poziomu ekspozycji na CuNPs.

Uzupełnieniem powyższych obserwacji są wyniki dotyczące odpowiedzi immunologicznej. Wykazano, że CuNPs wpływały na stężenia cytokin prozapalnych, liczbę leukocytów oraz poziom immunoglobulin, co wskazuje na ich zdolność do modulowania funkcjonowania układu immunologicznego. Jednocześnie zastosowanie inuliny i psyllium ograniczało część zmian prozapalnych, w tym poziom IL-6 i $\text{TNF-}\alpha$. Wyniki te dobrze korespondują z obserwacjami dotyczącymi statusu oksydoredukcyjnego i funkcjonowania przewodu pokarmowego, wskazując na wzajemne powiązanie tych procesów z odpowiedzią immunologiczną organizmu.

Dyskusję wyników oceniam pozytywnie. Doktorantka nie ogranicza się do ich prostego zestawienia, lecz podejmuje próbę wyjaśnienia mechanizmów obserwowanych zmian oraz odnosi własne wyniki do danych literaturowych. Szczególnie interesująca jest koncepcja jelita jako kluczowego punktu regulacyjnego, od którego zależą dalsze efekty metaboliczne, oksydoredukcyjne i immunologiczne.

Oryginalność wkładu naukowego

Za najważniejszy oryginalny wkład rozprawy uważam wykazanie, że biologiczna odpowiedź organizmu na CuNPs jest modyfikowana przez właściwości fizjologiczne błonnika pokarmowego, a kierunek i nasilenie tej modulacji zależą od dawki nanocząstek. Szczególnie wartościowe jest wykazanie odmiennego działania poszczególnych frakcji błonnika w zależności od poziomu ekspozycji na CuNPs. Istotną wartością poznawczą pracy jest ponadto integracja wyników dotyczących przewodu pokarmowego, biodostępności i dystrybucji miedzi, metabolizmu wątrobowego oraz odpowiedzi oksydoredukcyjnej i immunologicznej. Takie wielopoziomowe ujęcie pozwoliło na przedstawienie biologicznego działania CuNPs w kontekście składu diety, a nie jako efektu izolowanego czynnika żywieniowego.

Ocena wniosków

Wnioski sformułowane przez Doktorantkę są syntetyczne, logicznie powiązane z postawioną hipotezą badawczą i w zasadniczej części znajdują uzasadnienie w uzyskanych wynikach. Ich niewątpliwą zaletą jest próba całościowego ujęcia rezultatów przedstawionych w pięciu publikacjach, a nie jedynie powtórzenie szczegółowych obserwacji z poszczególnych etapów doświadczenia.

Pierwszy wniosek odnosi się do większej biodostępności CuNPs w porównaniu z tradycyjną nieorganiczną formą miedzi oraz konsekwencji tego zjawiska dla homeostazy pierwiastków i statusu oksydoredukcyjnego. Kierunek tego wniosku znajduje potwierdzenie w wynikach badań, jednak pewnego doprecyzowania wymaga stwierdzenie, że większa biodostępność CuNPs sprzyja ich kumulacji w tkankach. W części dotyczącej dystrybucji miedzi Doktorantka wykazała bowiem bardziej złożony i tkankowo swoisty charakter tego procesu, w tym zmniejszoną akumulację miedzi w mózgu i mięśniach. Bardziej precyzyjne byłoby zatem wskazanie, że zwiększona biodostępność CuNPs prowadzi do zmiany dystrybucji miedzi w organizmie, a nie w sposób jednoznaczny do zwiększenia jej kumulacji we wszystkich tkankach.

Drugi wniosek podkreśla centralną rolę jelita w regulacji odpowiedzi organizmu na CuNPs i dobrze koresponduje z koncepcją rozwijaną w części dyskusyjnej rozprawy. Doktorantka łączy zmiany aktywności metabolicznej mikrobioty i produkcji SCFA z integralnością bariery jelitowej, procesami zapalnymi oraz dalszymi efektami ogólnoustrojowymi. W mojej ocenie jest to interesująca i biologicznie dobrze uzasadniona interpretacja wyników.

Trzeci wniosek, dotyczący modulującego działania błonnika pokarmowego, odpowiada głównej hipotezie rozprawy i można go uznać za najważniejszy z punktu widzenia całego cyklu. Na szczególne podkreślenie zasługuje wykazanie, że efekt poszczególnych frakcji błonnika jest zależny od poziomu podaży CuNPs.

Ocena strony formalnej oraz redakcyjnej

Rozprawa została przygotowana starannie i ma przejrzystą, logiczną strukturę. Część syntetyczna prowadzi czytelnika od wprowadzenia teoretycznego i uzasadnienia podjętej problematyki, poprzez hipotezę badawczą, opis materiału i metod, aż do omówienia wyników, dyskusji i wniosków. Poszczególne części pozostają ze sobą tematycznie powiązane, a układ pracy ułatwia prześledzenie realizacji postawionych celów badawczych. Na pozytywną ocenę zasługuje również zamieszczenie wykazu stosowanych skrótów, co przy szerokim zakresie analiz biochemicznych, molekularnych, immunologicznych i oksydoredukcyjnych zdecydowanie poprawia czytelność opracowania.

Część opisowa rozprawy została przygotowana w sposób syntetyczny. Doktorantka nie powiela szczegółowo treści publikacji wchodzących w skład cyklu, lecz podejmuje próbę ich integracji i przedstawienia wyników w odniesieniu do wspólnej hipotezy badawczej. Za

szczególnie istotną uważam część „Omówienie wyników i dyskusja”, w której rezultaty uzyskane w poszczególnych publikacjach zostały zestawione w jeden ciąg interpretacyjny obejmujący biodostępność i dystrybucję miedzi, funkcjonowanie przewodu pokarmowego, metabolizm wątrobowy oraz odpowiedź oksydoredukcyjną i immunologiczną. Takie rozwiązanie sprzyja zachowaniu spójności rozprawy przygotowanej w formie cyklu publikacji.

Piśmiennictwo części syntetycznej obejmuje 37 pozycji, w tym zarówno publikacje stanowiące podstawę ocenianego cyklu, jak i prace dotyczące biologicznej roli miedzi, nanocząstek miedzi, ich toksyczności i biodostępności oraz znaczenia błonnika pokarmowego i środowiska jelitowego. Dobór literatury należy uznać za właściwy dla omawianej problematyki. Wykorzystano zarówno prace o charakterze podstawowym, istotne dla interpretacji mechanizmów homeostazy i wchłaniania miedzi, jak i nowsze publikacje dotyczące nanomateriałów oraz ich interakcji z organizmem. Bibliografia potwierdza dobrą orientację Doktorantki w podejmowanej tematyce.

Pod względem językowym rozprawa jest napisana poprawnie i zasadniczo zachowuje styl właściwy opracowaniu naukowemu. Terminologia fachowa stosowana jest konsekwentnie, a sposób prezentacji zagadnienia jest czytelny.

Uwagi dyskusyjne i pytania

Wyniki uzyskane przez Doktorantkę są wielowątkowe i otwierają kilka interesujących problemów dotyczących zarówno mechanizmów działania nanocząstek miedzi, jak i możliwości praktycznego wykorzystania uzyskanej wiedzy.

Pierwszym zagadnieniem wymagającym szerszej dyskusji jest relacja pomiędzy zwiększoną biodostępnością CuNPs a ich dystrybucją tkankową. Doktorantka wykazała zwiększoną strawność i wykorzystanie miedzi, a jednocześnie zmniejszoną jej akumulację m.in. w mózgu i mięśniach. Warto zatem rozważyć, **jakie mechanizmy homeostatyczne i transportowe mogą odpowiadać za taki profil dystrybucji oraz czy większa biodostępność nanoformy miedzi powinna być interpretowana jako zjawisko korzystne z punktu widzenia bezpieczeństwa biologicznego?**

Kolejna kwestia dotyczy roli mikrobioty jelitowej. Wyniki pracy wskazują na zmiany aktywności metabolicznej mikrobioty oraz produkcji SCFA, a Doktorantka przypisuje środowisku jelitowemu ważną rolę w kształtowaniu dalszej odpowiedzi oksydoredukcyjnej i immunologicznej. Interesujące byłoby zatem odniesienie się do pytania, **na ile uzyskane wyniki pozwalają mówić o przyczynowej roli mikrobioty, a na ile stanowią przesłankę do takiej interpretacji. Jakie dodatkowe analizy mikrobiologiczne i molekularne mogłyby w przyszłości zweryfikować zaproponowany mechanizm?**

Ostatnie zagadnienie dotyczy potencjalnego znaczenia aplikacyjnego przedstawionych wyników. Doktorantka wskazuje, że uzyskane dane mogą stanowić podstawę do opracowania bezpieczniejszych strategii suplementacji mineralnej u zwierząt gospodarskich, przy czym wszystkie doświadczenia wykonano na modelu szczura laboratoryjnego. Stąd też moje pytanie - **które z uzyskanych zależności Doktorantka uważa za najbardziej perspektywiczne z punktu widzenia żywienia zwierząt gospodarskich oraz jakie doświadczenia należałoby przeprowadzić przed sformułowaniem praktycznych zaleceń dotyczących stosowania CuNPs?**

Podsumowanie

W świetle przedstawionych powyżej argumentów stwierdzam, że przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska lek. wet. Aleksandry Marzec pt. „Czy odpowiedź immunologiczna i oksydoredukcyjna organizmu na zastosowanie nanocząstek miedzi zależna jest od zróżnicowanych funkcji fizjologicznych błonnika pokarmowego?” stanowi spójne i wartościowe opracowanie naukowe. Podjęta problematyka jest aktualna i istotna zarówno z poznawczego, jak

i potencjalnie aplikacyjnego punktu widzenia. Na szczególne podkreślenie zasługuje kompleksowy charakter przeprowadzonych badań, obejmujących ocenę funkcjonowania przewodu pokarmowego, biodostępności i dystrybucji miedzi, metabolizmu wątrobowego, statusu oksydacyjno-redukcyjnego oraz odpowiedzi immunologicznej organizmu. Istotną wartością pracy jest wykazanie, że biologiczne działanie nanocząstek miedzi nie zależy wyłącznie od ich dawki, lecz jest również modulowane przez właściwości fizjologiczne błonnika pokarmowego, przy czym poszczególne jego frakcje wykazują zróżnicowane działanie w zależności od poziomu ekspozycji na CuNPs.

Na podstawie powyższego stwierdzam, że rozprawa doktorska lek. wet. Aleksandry Agnieszki Marzec spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (t.j. Dz.U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.). Biorąc pod uwagę aktualność podjętej problematyki, oryginalność uzyskanych wyników, kompleksowy i wielokierunkowy charakter przeprowadzonych badań, szeroki zakres zastosowanych metod badawczych oraz wartość naukową przedstawionego cyklu publikacji, **wnoszę o dopuszczenie lek. wet. Aleksandry Marzec do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk rolniczych w dyscyplinie zootechnika i rybactwo.**

Jednocześnie, mając na uwadze oryginalność podjętego problemu naukowego, kompleksowość przeprowadzonych badań, spójność cyklu publikacyjnego oraz istotną wartość poznawczą uzyskanych wyników, wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej lek. wet. Aleksandry Marzec.

Bydgoszcz, 3.09.2026
Dariusz Aleksander