

Hajfa, dn. 20.02.2026 r.

Witold Łojkowski, Prof. dr hab
Laboratorium Nanostruktur
Instytut Wysokich Ciśnień PAN
ul. Sokołowska 29/37, 01-142 Warszawa,
Polska

Recenzja rozprawy doktorskiej

Mgr Bartłomieja Dominiaka

pt. „Embriotoksyczność nanocząstek opartych na tlenkach metali”

”

Promotor: Dr hab. Michał M. Godlewski, prof. SGGW

Niniejsza recenzja została wykonana na podstawie Uchwały nr 14/WET-2025/2026 Rady Dyscypliny
Weterynaria Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

1. UWAGI OGÓLNE O TEMATYCE ROZPRAWY

1.1. Znaczenie problematyki podjętej w recenzowanej rozprawie

Praca dotyczy bardzo ważnej dla społeczeństwa i dla rozwoju technologii sprawy: jakie zagrożenia dla zdrowia ludzi i zwierząt mogą wyniknąć z coraz szerszego stosowania nanomateriałów w technice. Nanomateriały są definiowane jako materiały w rozmiarach mierzonych w nanometrach. Trwają dyskusje jak je definiować, ale w skrócie można powiedzieć, że to materiały, których właściwości zaczynają zależeć od rozmiaru i kształtu. Mogłem już ponad 20 lat temu słuchać wykładu przedstawiciela ówczesnej wielkiej firmy przemysłu chemicznego, w którym pokazywał, że cząstki dobrze znanych pod wpływem wpływu na zdrowie materiałów, kiedy ich rozmiar spada do kilkudziesięciu nanometrów, mogą przenikać drogą oddechową do organizmu i powodować nieznane szkody, a ilość graniczna jest nieznana. Do tej pory wg mojej wiedzy nie powstały satysfakcjonujące rekomendacje dla organizacji odpowiedzialnych za dopuszczenie na rynek substancji chemicznych i materiałów. Sytuacja jest złożona, gdyż ich oddziaływanie na organizmy i przyrodę zależy od składu fazowego, kształtu, składu chemicznego powierzchni, sposobu otrzymania, i środowiska, w którym się znajdują. Z kolei kształt może przyjmować najróżnorodniejsze postaci. W tej sytuacji opracowanie wytycznych jest bardzo trudnym zadaniem. Jedno jest pewne – nanomateriały należy traktować jako substancja o potencjalnie szkodliwym wpływie na zdrowie.

Ponieważ zatrzymać praktycznego zastosowania nanomateriałów nie można, prace nad poznaniem różnych aspektów działania nanocząstek na organizmy będą trwałe, a wiedza będzie gromadzona. Być może nastanie czas, gdy urzędy zajmujące się bezpieczeństwem stosowania materiałów będą mogły podejmować decyzje uzasadnione naukowo. Recenzowana praca wniesie do tej wiedzy istotny wkład. Kandydat do stopnia doktora, dalej zwany Autorem, zajął się sprawą embriotoksyczności. Jest to mniej zbadany obszar w dziedzinie nanotoksyczności, a przecież w oczywisty sposób, bardzo ważny.

1.2. Tytuł, cel i teza rozprawy

Tytuł pracy „Embriotoksyczność nanocząstek opartych na tlenkach metali” jest nieco mylący. Co to znaczy „nanocząstek opartych na tlenkach metali”? W jaki sposób są one oparte o tlenki metali? To są po prostu tlenki metali.

Celem pracy jest porównanie embriotoksyczności nanocząstek na modelu zarodka kurzego, przy czym zmiennymi eksperymentalnymi (co Autor nazwał w skomplikowanej terminologii „modalnością” są stopień biodegradowalności i kształt: owalny lub wydłużony. W ten sposób wybrano 4 materiały do testów: biodegradowalny ZnO, o kształcie owalnym i wydłużonym, oraz niebiodegradowalne ZrO₂ i Y₂O₃.

Postawiono hipotezy:

1. Nanocząstki tlenków metali (ZnO , ZrO_2 i Y_2O_3) przenikają do tkanek zarodka kurzego, a ich dystrybucja zależy od kształtu i dawki.
2. Nanocząstki tlenków metali o różnym kształcie (owalne vs. podłużne) nie wpływają na rozwój zarodka i nie indukują niekorzystnych zmian w jego tkankach.

Pierwsza hipoteza jest dobrze sformułowana a jej weryfikacja jest ciekawym tematem.

Druga hipoteza jest sformułowana w sposób nie do końca zrozumiały. Czy chodzi o to, że wpływ nanocząstek na rozwój zarodka i zmiany w jego tkankach nie zależy od kształtu nanocząstek?

Zadania badawcze są w logiczny sposób podporządkowane celom i tezom pracy. Tworzą zbiór zadań koniecznych i wystarczających dla udowodnienia tez pracy. Cel, tezy i zadania badawcze rozprawy tworzą logiczną całość.

Godne uznania jest skupienie uwagi na embriotoksyczności dla modelu zarodka kurzego. Pozwala to obserwować, jak przemieszczają się nanocząstki w jajku kurzym, jak penetrują tkanki zarodka, jak wpływają na jego rozwój, na poszczególne tkanki oraz jak wpływają one na procesy zachodzące w czasie rozwoju. Model zarodka kurzego od dawna jest badany na SGGW, co powoduje, że metody doświadczalne są dobrze rozpracowane.

Dobrze dobrano zmienne eksperymentalne:

1. stopień biodegradowalności – wysoki dla ZnO , i brak biodegradowalności: ZrO_2 i Y_2O_3 .
2. Kształt: owalny i wydłużony, dla ZnO i przy porównaniu ZrO_2 i Y_2O_3 .

2. FORMALNA STRONA ROZPRAWY

2.1. Struktura rozprawy i wykorzystana literatura

Rozprawa jest napisana w języku polskim i liczy 120 stron. Na stronie tytułowej podane jest źródło finansowania i podziękowania. Pracę rozpoczyna streszczenie w języku polskim oraz angielskim zakończone słowami kluczowymi, spis 52 rysunków oraz 4 tabel. Potem następuje wykaz skrótów. No końcu pracy podany jest spis 115 pozycji literatury. Większość cytowanej literatury pochodzi z ostatniego dziesięciolecia. Jest też kilka cytowań odpowiednich rozporządzeń i stanowisk ciał zajmujących się tematyką bezpieczeństwa stosowania nanomateriałów.

Układ pracy jest przejrzysty a treści kolejnych rozdziałów i podrozdziałów są poprawnie rozdzielone. Rozdział 1: Przegląd piśmiennictwa został starannie wykonany i zawiera informacje niezbędne dla uzasadnienia pracy.

Rozdział 2 zawiera krótkie uzasadnienie celów i hipotez pracy.

Rozdział 3 zawiera opis metod badawczych i sposoby otrzymywania materiałów. Odnośnie do metod w testach biologicznych nie będę się wypowiadać. Odnośnie do metod otrzymywania nanomateriałów, trzy zdania ten temat na stronie 49 są niewystarczające.

Rozdział 4 zawiera zarówno wyniki badań jak i ich dyskusję. Bogaty zbiór zebranych danych został opracowany bardzo starannie i elegancko. Dyskusja wyników wykonana została w sposób wnikliwy oraz respektując zasady dyscypliny intelektualnej wymaganej w rozprawach naukowych. Konsekwentnie stosowana jest statystyczna analiza istotności wyników.

W rozdziale 5 – podsumowanie, przedstawiona jest analiza czy wyniki pracy potwierdzają tezy pracy oraz czy cele zostały osiągnięte.

Pracę kończą syntetycznie przedstawione Wnioski.

W podsumowaniu tej części oceny, bardzo wysoko oceniam sposób jak praca została napisana. Edycja jest perfekcyjna. Układ i logika rozdziałów doskonałe. Logika zbioru zdań opisujących cel, hipotezy i zadania badawcze są bardzo dobrze ułożone. Dwa zastrzeżenia: do tytułu pracy i do drugiej hipotezy, dotyczą sposobu formułowania zdań. Jest to sprawa osobistych preferencji i Autor ma pełne prawo tak formułować te zdania jak tego dokonał.

3. OCENA MERYTORYCZNA

Rozdział 1: Przegląd literatury został przez Autora dobrze wykonany. Uzasadnia on celowość pracy. Pokazuje ważność tematyki. Pokazuje luki w wiedzy, które uzasadniały jej podjęcie. Prowadzi w naturalny sposób do sformułowania tezy i celów pracy. Jednak nie podano literatury dotyczącej sposobu przygotowania materiałów. Cytowana jest praca Rosowska i in 2025. Jednak nie znalazłem jej w spisie literatury.

Rozdział 2: Uzasadnienie celów i hipotez pracy. Jest to zwarty i logiczny tekst. Nie do końca zgadzam się z użytymi w tytule i w drugiej hipotezie zdaniami. Jest to jednak sprawa indywidualnych preferencji językowych, i Autor może mieć inne preferencje od Recenzenta.

Rozdział 3. Część pracy poświęcona materiałom i metodom jest starannie opracowana. Jednak lepiej powinny zostać przedstawione metody otrzymywania nanomateriałów lub skąd zostały pozyskane. Nie jest podane jak otrzymano owalne i podłużne cząstki ZnO. Nie jest podane jak otrzymano nanocząstki ZrO₂ i Y₂O₃. Nie jest też podane w jaki sposób nanocząstki domieszkowano jonami europu. Dla powtarzalności badań naukowych obowiązkowe jest podanie źródła materiałów badanych lub sposobu ich otrzymania. Dla wszystkich pozostałych substancji chemicznych Autor pochodzenie podaje. Częściowo kompensuje ten niedostatek wykonanie starannej charakteryzacji sosowanych nanocząstek. Otrzymane charakterystyki są wystarczające dla wnioskowania o wpływie nanocząstek na badaną embriotoksyczność.

Rozdział 4 omawia wyniki oraz przedstawia ich interpretację a rozdział 5 – Podsumowanie a 6 to Wnioski. Omówię je razem.

Całość tekstu budzi uznanie, jeśli ocenić sposób analizy wielu złożonych zależności i skomplikowanych procesów biologicznych. Autor wykazał się doskonałym warsztatem naukowym, zarówno od strony planowania pracy, jak i sposobu przeprowadzenia badań i analizy ich wyników.

Pierwsza teza pracy została potwierdzona: nanocząstki tlenków metali (ZnO, ZrO₂ i Y₂O₃) przenikają do tkanek zarodka kurzego, a ich dystrybucja zależy od kształtu i dawki. Jednak uzyskano więcej wyników niż tylko to stwierdzenie.

Stwierdzono nagromadzenie nanocząstek w nerkach zarodka, z czego wnioskowano, że nerki są narządem filtrującym i wydalającym nanocząstki z organizmu.

Stwierdzono również, że owalne nanocząstki ZnO penetrują równomiernie wszystkie tkanki zarodka kurzego, i mogą mieć nawet korzystny wpływ na rozwój zarodka, mimo pewnych oddziaływań na poziomie komórkowym .

Stwierdzono, że niedegradowalne nanocząstki ZrO₂ i Y₂O₃ wywołują wyraźny stres oksydacyjny. Jest to zgodne z intuicją, podpowiadającą, że lepiej nie mieć w organizmie niedegradowanych nanocząstek.

Stwierdzono, że dystrybucja nanocząstek w poszczególnych organach zależy od czasu.

Są to cenne informacje wzbogacające naszą wiedzę o embriotoksyczności nanocząstek i powinny zostać opublikowane.

Odnosnie do drugiej tezy „2. Nanocząstki tlenków metali o różnym kształcie (owalne vs. podłużne) nie wpływają na rozwój zarodka i nie indukują niekorzystnych zmian w jego tkankach.”

Będę wdzięczny za wyjaśnienie przez Autora jak rozumieć to zdanie. Zdanie to można rozumieć w ten sposób, że nanocząstki niezależnie od kształtu nie wpływają na rozwój zarodka. Jest to sprzeczne z tezą 1.

Podsumowanie zawiera wiele zdań wskazujących na zależność zjawisk w zarodku od kształtu cząstek: *„Porównując wyłącznie wpływ kształtu nanocząstek, po podaniu nanocząstek ZnO widoczne są większe zmiany dla nanocząstek ZnO OVAL niż po podaniu nanocząstek ZnOLONG. ... Jest to widoczne zarówno w markerach stresu oksydacyjnego jak i na poziomie zmian genomowych”*. Inne zdania na końcu strony 109 i początku strony 110 pokazują liczne różnice w reagowaniu przez zarodek na nanocząstki, zależnie do kształtu.

Autor słusznie stwierdza, że Hipoteza druga nie została potwierdzona.

Jakkolwiek ... nie stwierdzono różnic w zamieralności zarodków, zaobserwowano znaczące zmiany dotyczące markerów stresu oksydacyjnego i programowanej śmierci komórki.

Można zatem wnioskować, że kształt nanocząstek ma istotne znaczenie dla oceny ryzyka ich stosowania,

Dodam jeszcze, że zmiana kształtu może wynikać z różnic w metodach syntezy, które mogą wpływać na przykład na stopień zdefektowania struktury nanokryształu i nie są też do oddzielenia od zmian rozmiaru nanocząstek. Zatem stwierdzenie: „wpływ zmiany kształtu” jest uproszczeniem. Jest to jednak uproszczenie dopuszczalne biorąc pod uwagę złożoność spraw oceny ilościowej struktury nanocząstek.

4. Sylwetka Autora

W dostarczonej mi dokumentacji nie znalazłem wykazu publikacji autora ani jego wystąpień konferencyjnych. W Google Scholar znalazłem jedną pracę, publikowaną w *Nanomaterials*. pracę: Dominiak, B.; Rosowska, J.; Wał, A.; Majewska, A.; Witkowski, B.S.; Wachnicki, Ł.; Kaszewski, J.; Słońska, A.; Cymerys, J.; Gralak, M.A.; et al. Zinc Oxide Nanoparticles Affect the Genomic and Redox Status of Chicken Embryo—Influence of Shape. *Nanomaterials* **2025**, *15*, 1412. <https://doi.org/10.3390/nano15181412>

Jest też współautorem dwóch prac niezwiązanych z tematem recenzowanej Dysertacji.

5. OCENA ROZPRAWY I WNIOSKI KOŃCOWE

Praca doktorska mgr Bartłomieja Dominiaka pt. „Embriotoksyczność nanocząstek opartych na tlenkach metali stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Autor podjął się trudnego i ważnego zadania oceny potencjalnej szkodliwości dla zdrowia nanocząstek zależnie od ich kształtu i degradowalności w organizmie. Umiejętnie wybrał model dla badań. Skupienie uwagi na embriotoksyczności było dobrą decyzją. Wszystkie badania wykonał na bardzo wysokim poziomie zarówno pod względem eksperymentalnym, jak i opracowania i interpretacji wyników. Wnioski są doskonale uzasadnione i wyważone. Autor wykazał się doskonałym warsztatem badawczym i naukowym. Wyniki pracy będą miały istotne znaczenie dla wypracowania regulacji i norm w zakresie stosowania nanocząstek w sytuacjach, gdy mogą się przedostać do organizmów. Praca zasługuje na wyróżnienie.

Stwierdzam, że przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska pt. „Embriotoksyczność nanocząstek opartych na tlenkach metali” mgr Bartłomieja Dominiaka spełnia wymagania określone Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.) oraz mieści się w dyscyplinie naukowej Weterynaria. Biorąc powyższe pod uwagę stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr Bartłomieja Dominaka do publicznej obrony.



Witold Łojkowski