

Prof. dr hab. inż. Marcin Bizukojć

Łódź, 27 marca 2026 r.

Politechnika Łódzka

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska

Katedra Inżynierii Bioprocessowej

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

Autor: mgr Aleksandra Tończyk

Tytuł: „Aktywność biologiczna i toksyczność nanocząstek srebra pozyskanych na drodze mikrobiologicznej przy udziale grzyba strzępkowego *Gloeophyllum striatum*”

Promotor: prof. dr hab. Katarzyna Lisowska

Promotor pomocniczy: dr Katarzyna Niedziałkowska

Podstawą opracowania recenzji jest pismo przewodniczącej Komisji Uniwersytetu Łódzkiego ds. stopni naukowych w dyscyplinie nauki biologiczne prof. dr hab. Agnieszki Marczak z dnia 11 grudnia 2025 roku z prośbą o przygotowanie oceny rozprawy doktorskiej mgr Aleksandry Tończyk zatytułowanej:

„Aktywność biologiczna i toksyczność nanocząstek srebra pozyskanych na drodze mikrobiologicznej przy udziale grzyba strzępkowego *Gloeophyllum striatum*”

w postępowaniu o nadanie stopnia doktora nauk biologicznych.

### **1. Podstawowe informacje o ocenianej rozprawie doktorskiej**

Mgr Aleksandra Tończyk przedstawiła rozprawę doktorską zatytułowaną „Aktywność biologiczna i toksyczność nanocząstek srebra pozyskanych na drodze mikrobiologicznej przy udziale grzyba strzępkowego *Gloeophyllum striatum*” w formie cyklu czterech artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym posiadającym *Impact Factor*. Te artykuły zostały uzupełnione o zestawienie źródeł finansowania badań, wprowadzenie do tematu rozprawy doktorskiej, sformułowanie celów pracy, postawienie hipotez badawczych, przedstawienie metodologii badań oraz syntetyczne omówienie treści

artykułów należących do cyklu publikacji wraz podsumowaniem i wnioskami. Na końcu Doktorantka umieściła listę literatury uzupełniającej. Oprócz tych wyżej wyliczonych składników rozprawy doktorskiej mgr Aleksandra Tończyk przedstawiła także swój pozostały dorobek naukowy, opisała swoją działalność naukową, dydaktyczną, popularyzatorską i organizacyjną, wyliczyła szkolenia, jakie odbyła w czasie studiów w szkole doktorskiej oraz załączyła oświadczenia współautorów artykułów naukowych zaliczonych do cyklu. Rozprawa doktorska jest w mojej ocenie kompletna, a jej układ prawidłowy.

## **2. Ocena merytoryczna pracy**

### **2.1. Wprowadzenie, cel pracy, hipoteza, metody badawcze i literatura**

Na początku ocenię wybór tematu pracy. Srebro metaliczne oraz jednododatnie jony srebra już od ponad stu lat są znane i wykorzystywane w medycynie jako substancje hamujące wzrost mikroorganizmów chorobotwórczych. Oddziaływanie srebra oraz jego jonów w dużej mierze zależy od ich formy, a rozwój nanotechnologii otworzył nowe możliwości stosowania tego pierwiastka w medycynie. Otóż nanocząstki srebra metalicznego (czyli nanosrebro) o wielkości mierzonej w nanometrach, w porównaniu do wcześniej stosowanego srebra o rozproszeniu koloidalnym, wykazują jeszcze silniejsze właściwości biobójcze i przyczyniły się do wielu zmian w zwalczaniu zakażeń, szczególnie tych towarzyszących operacjom chirurgicznym czy oparzeniom. Dodać należy, że medycyna nie jest jedyną dziedziną, w której nanocząstki srebra mogą być zastosowane. Dezynfekcja wody, przemysł kosmetyczny i tekstylny również wykorzystują biobójcze właściwości nanocząstek srebra. Pewnym ograniczeniem stosowania nanocząstek srebra metalicznego o wielkości rzędu nanometrów jest kwestia ich otrzymywania. Chociaż fizyka i chemia proponują konwencjonalne metody syntezy nanocząstek srebra, trzeba jednak pamiętać, że wymaga to stosowania różnych dodatkowych odczynników chemicznych. Mogą to być glukoza czy kwas askorbinowy, ale też bardziej wątpliwy borowodorek sodu (żrący i toksyczny), czy chyba jeszcze gorsza pod względem bezpieczeństwa stosowania hydrazyna (żrąca, toksyczna i rakotwórcza) jako reduktory jonów srebra. Konieczność dodatku polimeru (np. poliwinylpirolidonu) w celu stabilizacji nanocząstek srebra obciąża chemicznie uzyskany produkt. Przy metodach fizycznych wytwarzania nanocząstek srebra stosuje się ultradźwięki oraz promieniowanie laserowe, które wymagają dużego zużycia energii.

W tej sytuacji wykorzystanie metod biologicznych, które proponuje mgr Aleksandra Tończyk jest całkiem atrakcyjne w porównaniu do metod fizycznych i chemicznych. Mikroorganizmy są zdolne do wydzielania metabolitów pierwotnych i wtórnych, które mogą zredukować jony srebra do nanosrebra metalicznego. Jako "dostawcę" potencjału redukcyjnego dla jonów srebrowych mgr Aleksandra Tończyk wybrała grzyb brunatnej zgnilizny *Gloeophyllum striatum*. Nie był on jeszcze badany w aspekcie produkcji nanocząstek srebra i dlatego uważam ten wybór za słuszny.

Należy jeszcze wyraźnie podkreślić, że Doktorantka nie tylko wytworzyła nanocząstki srebra, ale również szczegółowo przebadła ich strukturę i właściwości biobójcze wobec organizmów chorobotwórczych, co jest ze wszech miar logiczne. Co więcej będąc świadomą, że nanocząstki srebra są niespecyficzne i "atakują" każdą żywą komórkę, wykonała testy toksyczności swojego produktu wobec komórek ludzkich. Zważywszy na bezpieczeństwo stosowania nanocząstek srebra i ich potencjalne uwalnianie do środowiska, dodatkowo przeprowadziła testy ekotoksyczności uzyskanego produktu wobec organizmów wskaźnikowych zarówno wodnych, jak i glebowych

Podsumowując, uważam wybór tematu za trafny. Biologiczna alternatywa wytwarzania nanocząstek srebra wobec metod fizycznych czy chemicznych jest w mojej opinii warta prac badawczych.

Cel pracy został sformułowany w formie pięciu punktów, które tu zacytuję:

- Opracowanie wydajnej metody syntezy mikrobiologicznej nanocząstek srebra z wykorzystaniem grzyba strzępkowego brunatnej zgnilizny drewna *Gloeophyllum striatum* oraz charakterystyka fizykochemiczna uzyskanych nanomateriałów;
- Ocena aktywności przeciwdrobnoustrojowej uzyskanych nanocząstek srebra wobec mikroorganizmów: bakterii gram-ujemnych i gram-dodatnich, w tym bakterii beztlenowych, oraz drożdży i grzybów strzępkowych;
- Określenie potencjału cytotoksycznego zsyntetyzowanych mikrobiologicznie nanocząstek srebra wobec komórek ludzkich;
- Kompleksowa ocena toksyczności środowiskowej obejmująca organizmy z różnych poziomów troficznych ekosystemów szczególnie narażonych na zwiększoną ekspozycję na nanocząstki srebra;

- Określenie potencjalnej aktywności synergistycznej nanocząstek srebra zsyntetyzowanych przy użyciu *G. striatum* w połączeniu z konwencjonalnie stosowanymi antybiotykami.

Już osiągnięcie dwóch pierwszych celów daje poczucie kompletności prac eksperymentalnych. Są to uzyskanie produktu metodą biologiczną w postaci nanocząstek srebra oraz ocena ich właściwości biobójczych. Jednak mgr Aleksandra Tończyk idzie dalej i stawia sobie dwa kolejne cele, aby ocenić bezpieczeństwo swojego biobójczego produktu, badając jego cytotoksyczność wobec komórek ludzkich i ekotoksyczność w środowisku. Ostatni cel jest dopełnieniem planu badawczego i jest najsilniej ukierunkowany na zastosowanie nanocząstek srebra w medycynie, pomimo ich pewnych wad, które Doktorantka wykaże, osiągając wcześniejsze cele. Zatem uważam, że mgr Aleksandra Tończyk prawidłowo sformułowała cele badawcze, a ich osiągnięcie doprowadziło do rozwiązania oryginalnego problemu naukowego i uzyskania nowej wiedzy.

Mgr Aleksandra Tończyk postawiła w rozprawie doktorskiej trzy hipotezy badawcze, które tu cytuję:

- Grzyb strzępkowy brunatnej zgnilizny drewna *Gloeophyllum striatum* zdolny jest do wydajnej produkcji nanocząstek srebra.
- Warunki syntezy wpływają na aktywność biologiczną i toksyczność nanocząstek srebra pozyskanych na drodze mikrobiologicznej przy udziale *G. striatum*.
- Zastosowanie różnych warunków syntezy nanocząstek srebra pozwala uzyskać nanocząstki o wysokiej skuteczności przeciwdrobnoustrojowej przy jednoczesnej niskiej toksyczności i nieznacznej toksyczności środowiskowej.

Mogę stwierdzić, że wszystkie trzy hipotezy zostały potwierdzone, a to potwierdzenie znajduje się w publikacjach naukowych składających się na spójny cykl: hipoteza 1 w publikacji 1, hipoteza 2 w publikacjach 1 i 2, a hipoteza 3 w publikacjach 2, 3 i 4.

Mgr Aleksandra Tończyk zastosowała szereg metod badawczych, które zwięźle przedstawiła w tabeli uzupełniającej cykl publikacji. Do oceny właściwości uzyskanych nanocząstek srebra zastosowała skaningową mikroskopię elektronową (SEM), spektroskopię w podczerwieni z transformacją Fouriera (FTIR), wizualizację i analizę wielkości nanocząstek zawieszonych w cieczy techniką NTA (Nanoparticle Tracking Analysis) oraz spektrofotometrię. Spektrofotometrię dodatkowo używała do oceny toksyczności, cytotoksyczności i wzrostu mikroorganizmów chorobotwórczych. Komórki poddane działaniu

nanocząstek srebra badała również na poziomie molekularnym. Mikroskopia konfokalna była narzędziem do oceny przepuszczalności błon komórkowych pod wpływem nanocząstek srebra, zaś chromatografia cieczowa sprzężona ze spektrometrią mas służyła do oceny profilu fosfolipidowego komórek bakterii i grzybów poddanych działaniu nanocząstek. Testy toksyczności na różnych poziomach troficznych oraz spektrofluorymetria pozwoliły na zbadanie bezpieczeństwa stosowania nanocząstek srebra. Techniki analityczne stosowane przez Doktorantkę są liczne i zaawansowane, co zdecydowanie bardzo wysoko oceniam.

Jeżeli chodzi o dobór piśmiennictwa, nie mam tu krytycznych uwag. Na liście literatury uzupełniającej dominują publikacje z obecnej dekady, czyli lat dwudziestych XXI wieku. Kilka publikacji pochodzi z drugiej połowy poprzedniej dekady. Podobnie jest w przypadku artykułów naukowych cytowanych w publikacjach cyklu, będącego podstawą ubiegania się o stopień doktora. Trudno tu znaleźć artykuły sprzed 2010 roku. Świadczy to o aktualności zagadnień badawczych i o tym, że mgr Aleksandra Tończyk jest na bieżąco z literaturą przedmiotu.

## 2.2 Ocena wyników badań

Na rozprawę doktorską składają się cztery prace oryginalne o łącznym IF = 17,5 oraz sumie punktów MNiSzW = 560:

1. **Tończyk Aleksandra**, Niedziałkowska Katarzyna, Lisowska Katarzyna. 2023. Optimizing the microbial synthesis of silver nanoparticles using *Gloeophyllum striatum* and their antimicrobial potential evaluation, Scientific Reports, 13: 21124; DOI: 10.1038/s41598-023-48414-9 IF<sub>2023</sub> = 3,8; IF<sub>5-letni</sub> = 4,3; MNiSzW = 140
2. **Tończyk Aleksandra**, Niedziałkowska Katarzyna, Nowak-Lange Marta, Bernat Przemysław, Lisowska Katarzyna. 2025. Mycogenic silver nanoparticles: promising antimicrobials with fungistatic properties. International Journal of Molecular Sciences, 26: 6639; DOI: 10.3390/ijms26146639 IF<sub>2025</sub> = 4,9; IF<sub>5-letni</sub> = 5,7; MNiSzW = 140
3. **Tończyk Aleksandra**, Niedziałkowska Katarzyna, Lisowska Katarzyna. 2025. Ecotoxic effect of mycogenic silver nanoparticles in water and soil environment. Scientific Reports, 15: 10815; DOI: 10.1038/s41598-025-95485-x IF<sub>2025</sub> = 3,9; IF<sub>5-letni</sub> = 4,3; MNiSzW = 140

4. **Tończyk Aleksandra**, Niedziałkowska Katarzyna, Bernat Przemysław, Lisowska Katarzyna. 2025. Synergistic activity of *Gloeophyllum striatum*-derived AgNPs with ciprofloxacin and gentamicin against human pathogenic bacteria. *International Journal of Molecular Sciences*, 26: 3529; DOI: 10.3390/ijms26083529 IF<sub>2025</sub> = 4,9; IF<sub>5-letni</sub> = 5,7; MNiSzW = 140

Artykuły zostały opublikowane w dobrych czasopismach o wysokich współczynnikach wpływu, również docenianych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Z naukometrycznego punktu widzenia uważam to osiągnięcie na bardzo dobre. Poniżej omówię po kolei zawartość tych publikacji.

Artykuł [1] przedstawia metodę wytwarzania nanocząstek srebra z wykorzystaniem grzyba *Gloeophyllum striatum*, a dokładniej w wykorzystaniem podłoża pochodowlanego. Następnie mgr Aleksandra Tończyk słusznie skupiła się na właściwościach uzyskanego produktu, czyli nanocząstek srebra, korzystając z zaawansowanych technik analitycznych, jak spektroskopia FTIR, NTA oraz SEM. Co do rozmiaru, Doktorantka uzyskała nanocząstki srebra o większej średnicy niż typowe (zakres 10-100 nm), aczkolwiek ten zakres dotyczy raczej nanocząstek srebra uzyskiwanych metodami chemicznymi. Należy podkreślić, że Doktorantka przedstawiła wielkość cząstek nanosrebra w postaci wykresów przedstawiających rozkład ich wielkości, co oczywiście daje lepszy pogląd na uzyskany produkt niż tylko średnica średnia nanocząstek. Zauważyć można, że rozkład wielkości nanocząstek srebra uzyskanych metodą biologiczną jest dość szeroki.

Dalej mgr Aleksandra Tończyk wykonała testy uzyskanych nanocząstek w kierunku zbadania ich toksyczności wobec patogenów (np. bakterie *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Campylobacter jejuni* oraz biofilmu *Pseudomonas aeruginosa*). Następnie przeprowadziła testy toksyczności wobec komórek ludzkich (aktywność hemolityczna i cytotoksyczna), które to komórki, co oczywiste, nie powinny być uszkodzane przez nanocząstki. Doktorantka odniosła te właściwości do stężenia nanocząstek srebra uzyskiwanych w różnych warunkach (temperatura 4°C i 28°C oraz mieszanie bądź jego brak). Widać wyraźnie na wszystkich wykresach ostro zaznaczone graniczne stężenie nanocząstek, które powoduje prawie 100% wyginięcie patogenów, oprócz *L. monocytogenes* (zaskakująca stymulacja wzrostu tejże bakterii i jego zahamowanie przy najwyższym zastosowanym stężeniu nanocząstek srebra 25 µg /ml) i *C. jejuni*, która już przy stężeniu 6.25 µg/ml poddała się nanocząstkom, choć jej wzrost był szybszy poniżej tego stężenia niż w kontroli. W

przypadku biofilmu *P. aeruginosa* nie był on całkowicie zniszczony, choć same bakterie, jak dowiodła Doktorantka, były wrażliwe na nanocząstki srebra.

Analiza aktywności hemolitycznej i cytotoksycznej dała podobne wyniki w tym sensie, że stężenia bójcze dla bakterii czy biofilmu okazały się bliskie do tych uzyskanych w tychże analizach, co może być niebezpieczne z punktu widzenia komórek ludzkich. Wyraźnie w artykule [1] mgr Aleksandra Tończyk to potwierdziła, co nie napawa optymizmem w związku ze stosowaniem tych nanocząstek.

Świadomość faktu, że nanocząstki srebra mają silne właściwości biobójcze była przyczyną rozszerzenia badań nad toksycznością nanocząstek srebra wobec patogenów grzybowych zarówno drożdży (*Candida albicans* i *Malassezia furfur*), jak i pleśni (dwa gatunki z rodzaju *Aspergillus*). To było tematem artykułu [2]. Wśród uzyskanych wyników okazało się, że patogeny grzybowe są wrażliwsze na nanocząstki srebra i Doktorantka obserwowała inhibicję wzrostu grzybów przy niższych ich stężeniach niż w przypadku bakterii. Interpretacji tego wyniku poszukiwała, badając wpływ nanocząstek srebra na profile fosfolipidowe w komórkach grzybowych. Uzasadniła, że zwiększenie płynności błon *Candida albicans* pod wpływem nanocząstek srebra odpowiada za ich wrażliwość na ten biobójczy środek. Ten artykuł zdecydowanie potwierdził fungistatyczne działanie nanocząstek srebra.

Bezpieczeństwo stosowania nanocząstek srebra to nie tylko komórki organizmu ludzkiego, ale to także los tych nanocząstek w środowisku. Temu mgr Aleksandra Tończyk poświęciła trzeci artykuł [3] z cyklu. Artykuł ten przedstawia szerokie badania ekotoksykologiczne uzyskanych nanocząstek srebra wobec organizmów wskaźnikowych na różnych poziomach troficznych i w różnych przedziałach środowiska. W wodzie były to skorupiaki (słodko- i słonowodne) oraz bakterie i rośliny wodne, a w glebie bakterie glebowe, grzyby i rośliny wyższe (jedno- i dwuliścienne). Razem było to kilkanaście gatunków, co świadczy o szerokim zakresie badań. Zdecydowanie tę pracę uważam za wzorcową w dziedzinie badań ekotoksyczności nowych, ale także znanych już substancji chemicznych. Eksperymenty mgr Aleksandry Tończyk potwierdziły silne antybakteryjne działanie nanocząstek srebra zarówno wobec bakterii glebowych, jak i wodnych, ale słabsze wobec grzybów z rodzaju *Trichoderma*. W przypadku skorupiaków wodnych nastąpiła duża różnica. Znacznie wrażliwsza była słodkowodna *Daphnia magna* niż słonowodna *Artemia franciscana*. W przypadku roślin to wodna *Spirodela polyrhiza* była znacznie wrażliwsza od praktycznie niewrażliwych roślin lądowych zarówno jedno-, jak i dwuliściennych.

W odpowiedzi na działanie toksyczne nanocząstek srebra wobec komórek ludzkich mgr Aleksandra Tończyk zaproponowała zmniejszenie stężenia stosowanych nanocząstek srebra poprzez połączenie ich efektu z powszechnie stosowanymi antybiotykami ciprofloksacyną oraz gentamycyną. Badania toksyczności odpowiednich mieszanin prowadzone były na 96-dołkowych płytkach w zakresie stężeń antybiotyków od 0 do 8 µg/ml. W przypadku nanocząstek srebra było to od 0 do 12.5 µg/ml i od 0 do 1.56 µg/ml odpowiednio dla *Staphylococcus aureus* i *Pseudomonas aeruginosa*. Doktorantka udowodniła, że występuje efekt synergistyczny pomiędzy nanocząstkami srebra i badanymi antybiotykami. Nawet udało się doprowadzić do pełnej inhibicji tworzenia biofilmu *S. aureus*. Działanie synergistyczne było potwierdzone poprzez analizę profilu fosfolipidowego, z tym, że odpowiedź na nanocząstki srebra była odmienna zależnie od gatunku bakterii. Skłoniło to Doktorantkę do słusznego wniosku, że łączenie nanocząstek srebra z antybiotykami i efekt tego działania na patogen jest zależny od gatunku bakterii i nie da się tu wyciągnąć uogólnionych wniosków. Jednakże istnieje ryzyko, że taka synergia nie nastąpi, o czym świadczył niestety zupełnie odwrotny efekt stosowanych mieszanin na wzrost biofilmu *P. aeruginosa*.

Po lekturze artykułów i przewodnika po nich nasuwają się pewne wątpliwości, wymagające dodatkowych wyjaśnień i uzupełnień oraz uwagi dyskusyjne.

1. Opis otrzymywania nanocząstek srebra pozostawia pewien niedosyt. Czytając opis w publikacji [1] widać, że sposób otrzymywania nanocząstek srebra był oryginalnym osiągnięciem Doktorantki. W tym akapicie nie ma odniesienia do żadnych wcześniejszych publikacji. Stąd rodzi się pytanie, dlaczego Doktorantka dodawała azotan srebra do wody, którą płukała wyrośniętą (czas wzrostu 120 godzin) biomasę przez kolejne 120 godzin, a nie bezpośrednio do podłoża, w którym rósł *Gloeophyllum striatum*. Jakie były przesłanki zastosowania temperatury 28°C oraz 4°C? Czy literatura przedmiotu coś mówi, o spodziewanym efekcie tak drastycznie różnych temperatur? Tutaj muszę jeszcze podkreślić, że Doktorantka popełniła błąd terminologiczny w opisie metody otrzymywania nanocząstek srebra. Otóż nie można powiedzieć, że warunki otrzymywania nanocząstek srebra były ze wstrząsaniem i bez wstrząsania (ang. shaking). Doktorantka używała mieszadła magnetycznego, które zdecydowanie nie powoduje wstrząsania. Powinno tu być użyte słowo "agitated". Co więcej w przewodniku do publikacji Doktorantka utożsamia fakt mieszania ze słowem

"napowietrzanie", co również jest nieściśle, gdyż, choć mieszanie powoduje wnikanie tlenu do podłoża, słowa "napowietrzanie" używamy, kiedy mamy zainstalowane w bioreaktorze jakieś urządzenie napowietrzające typu bełkotka czy membrana do dyfuzyjnego wprowadzania tlenu do hodowli.

2. Kolejny punkt to uwaga dyskusyjna. Czy Doktorantka próbowała zidentyfikować metabolity, które ze względu na swoje właściwości redukujące przyczyniły się do syntezy nanocząstek srebra? Bardziej ogólnie, jakim grupom grzybowych metabolitów zewnątrzkomórkowych przypisuje się zdolność do redukcji jonów srebrowych?
3. Stężenie jonów srebrowych po dodaniu azotanu srebra Doktorantka deklaruje na poziomie 5 mM. Tu nasuwa się kolejne pytanie, czy wszystkie te jony przereagowały i ilościowo przekształciły się w metaliczne nanocząstki srebra. Jeśli nie, czy Doktorantka w jakiś sposób oczyszczała nanosrebro z nadmiaru jonów srebrowych. Dobrze byłoby wiedzieć, ile wolnych jonów srebrowych, jeśli w ogóle jakieś, pozostawały po syntezie nanocząstek srebra. Wydaje się to o tyle istotne, że wolne jony srebrowe same w sobie mogą być toksyczne. Co więcej Doktorantka pisze później o tym, że jony srebra uwalniają się z nanosrebra, wywołując efekt biobójczy zatem jednak dobrze byłoby wiedzieć, ile jonów srebra pozostało po syntezie. To zagadnienie wymaga przedyskutowania.
4. Toksyczność nanocząstek srebra wobec skorupiaków morskich okazała się mniejsza niż słodkowodnych. Czy nie ma na to wpływu obecność jonów chlorkowych w wodzie morskiej, które mogły się łączyć z jonami srebra? Iloczyn rozpuszczalności chlorku srebra jest niski między 1,6 a  $1,8 \cdot 10^{-10}$ , co powoduje wytrącanie jonów srebra.
5. Do dyskusji. Dlaczego do badań nad synergistycznym efektem nanocząstek srebra z antybiotykami zostały wybrane akurat ciprofloksacyna (antybiotyk fluorochinolonowy II generacji) i gentamycyna (z grupy glikozydów)? Czy jest coś szczególnego w ich właściwościach i zastosowaniach? Do dyskusji, czy nie należałoby sprawdzić takiego efektu dla jakiegoś antybiotyku  $\beta$ -laktamowego czy też makrolidu, które są również powszechnie stosowane?

### 3. Podsumowanie i ostateczne wnioski

Niniejsza rozprawa doktorska prezentuje bardzo wysoki poziom. Stanowi fragment rozwiązania szerszego problemu naukowego związanego ze zwalczaniem patogennych bakterii i grzybów. Nie ma wątpliwości, że niniejsza rozprawa jest dowodem na wiedzę mgr Aleksandry Tończyk na temat wytwarzania i zastosowania nanocząstek srebra oraz przede wszystkim badania ich właściwości biobójczych. Jest to wiedza wsparta solidnymi fundamentami wiedzy ogólnej z obszaru mikrobiologii, biochemii, ekologii, toksykologii i ekotoksykologii. Imponujące są na pewno też wiedza i umiejętności mgr Aleksandry Tończyk na temat zaawansowanych metod analitycznych i interpretacji wyników badań, nie wspominając oczywiście wiedzy i umiejętności na temat statystycznej obróbki wyników eksperymentalnych. Z czystym sumieniem mogę stwierdzić, że mgr Aleksandra Tończyk jest na pewno samodzielną badaczką, która się będzie dalej rozwijać. Istnieje również wysokie prawdopodobieństwo, że wyniki tych badań mogą zostać wykorzystane w praktyce, gdyż nanocząstki srebra nadal pozostają w obszarze zainteresowań nie tylko medycyny, ale i szeroko rozumianej inżynierii jako sposobu na zwalczanie patogennych mikroorganizmów.

Uwagi o charakterze terminologicznym i dyskusyjnym zawarte w niniejszej recenzji nie mają wpływu na moją bardzo wysoką ocenę niniejszej rozprawy doktorskiej.

Dodatkowy dorobek Doktorantki poza cyklem publikacji składa się z jednej publikacji w czasopiśmie z IF i ośmiu komunikatów konferencyjnych. Indeks Hirscha jest równy 2, prace Doktorantki były do tej pory 4 razy cytowane. Uważam to za odpowiedni wynik na tym etapie rozwoju kariery naukowej.

Zatem, ostatecznie stwierdzam, że w mojej ocenie rozprawa doktorska mgr Aleksandry Tończyk spełnia wymogi określone w stosownych przepisach Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, innych towarzyszących aktach prawnych oraz aktach wykonawczych do tejże ustawy. W związku z tym wnioskuję do Komisji Uniwersytetu Łódzkiego ds. stopni naukowych w dyscyplinie nauki biologiczne o dopuszczenie mgr Aleksandry Tończyk do dalszych etapów postępowania doktorskiego.

Jednocześnie składam wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr Aleksandry Tończyk, biorąc pod uwagę:

- bardzo wysoką jakość prowadzonych badań, zastosowanie zaawansowanych technik analitycznych oraz dojrzały sposób ich przedstawienia,

- wyróżniający się poziom merytoryczny pracy i jej interdyscyplinarność; zastosowane metody i techniki badawcze należą do kilku obszarów nauk biologicznych,
- formę przedstawionej rozprawy doktorskiej (cztery tematycznie spójne publikacje w dobrych czasopismach z wysokim *Impact Factor* i punktowanych na poziomie 140 punktów przez MNiSzW),
- istotny potencjał aplikacyjny prowadzonych badań pozwalający na wejście we współpracę z naukowcami pracującymi w obszarze medycyny.

prof. dr hab. inż. Marcin Bizukojć