



# Uniwersytet Warszawski

## Wydział Biologii



Dr hab. Roksana Iwanicka-Nowicka  
Zakład Biologii Systemów  
Instytut Biologii Eksperymentalnej i Biotechnologii Roślin  
Wydział Biologii, Uniwersytet Warszawski

Warszawa, 23.05.2025

### Recenzja

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Agaty Marii Lange zatytułowanej:**  
**„Materiały grafenowe jako nośniki nanocząstek metali o właściwościach antybakteryjnych”**  
**wykonanej pod kierunkiem dr. hab. Sławomira Jaworskiego, prof. SGGW,**  
**w Katedrze Nanobiotechnologii,**  
**Instytut Biologii Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.**

Antybiotykooporność to zjawisko będące jednym z większych zagrożeń dla zdrowia publicznego na całym świecie. Jego skala wciąż rośnie w konsekwencji powodując wzrost śmiertelności spowodowany zakażeniami wywołanymi przez oporne drobnoustroje. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) szacuje, że oporność mikroorganizmów na antybiotyki przyczynia się rocznie do około 2 milionów zgonów na świecie.

Wyczerpywanie się możliwości terapeutycznych związanych z zastosowaniem dostępnych antybiotyków, których działanie opiera się zazwyczaj na interakcji z jednym celem molekularnym, skutkuje poszukiwaniem innych substancji o właściwościach antybakteryjnych. Są nimi między innymi nanokompozyty, których działanie przeciwbakteryjne opiera się na wielu różnych mechanizmach.

Przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska poświęcona jest szerokiej analizie właściwości antybakteryjnych nanokompozytów, a konkretnie materiałów grafenowych pokrytych różnymi nanocząsteczkami.

W skład rozprawy wchodzi 3 prace opublikowane w czasopismach z listy filadelfijskiej JCR.

1. Lange, A., Sawosz Chwalibóg, E., Wierzbicki, M., Kutwin, M., Daniluk, K., Strojny Cieślak, B., Ostrowska, A., Wójcik, B., Łojkowski, M., Gołębiowski, M., Chwalibog, A., Jaworski, S. (2022). Nanocomposites of Graphene Oxide—Silver Nanoparticles for Enhanced Antibacterial Activity: Mechanism of Action and Medical Textiles Coating. *Materials*, 15, 1–17.

2. Lange, A., Sawosz Chwalibóg, E., Daniluk, K., Wierzbicki, M., Małolepszy, A., Gołębiowski, M., Jaworski, S. (2022). Bacterial Surface Disturbances Affecting Cell Function during Exposure to Three-Compound Nanocomposites Based on Graphene Materials. *Nanomaterials*, 12, 1–25.

3. Lange, A., Kutwin, M., Zawadzka, K., Ostrowska, A., Strojny-Cieślak, B., Nasiłowska, B., Bombalska, A., Jaworski, S. (2024). Impaired Biofilm Development on Graphene Oxide-Metal Nanoparticle Composites. *Nanotechnology, Science and Applications*, 17, 303-320.

Oprócz listy publikacji, dysertacja zawiera: spis treści, streszczenie w języku polskim i angielskim, wykaz stosowanych skrótów, wstęp, hipotezę badawczą, materiały stosowane w badaniach i ich metodykę. Kolejno przedstawiony został układ doświadczeń i omówienie ich wyników. Rozprawę kończy podsumowanie, wnioski i spis publikacji na które powołuje się Autorka w różnych rozdziałach swojej rozprawy. Do pracy dołączone są kopie publikacji wchodzących w jej skład oraz oświadczenia Współautorów.

Wstęp poświęciła Autorka na wprowadzenie czytelnika w tematykę swoich badań. Opisała strukturę nanomateriałów i nanocząsteczek oraz ich dotychczasowe wykorzystanie i potencjalne możliwości użycia. Jasno przedstawiła problem antybiotykoodporności podkreślając istotną rolę badań nad innymi niż antybiotyki sposobami walki z bakteriami. Tak przygotowany wstęp tłumaczy postawienie określonej hipotezy badawczej i celu pracy.

Celem niniejszej pracy było zbadanie potencjału antybakteryjnego nanokompozytów, które składają się z materiałów grafenowych pokrytych nanocząstkami metali (AgNPs, CuNPs, ZnONPs). Analizowano zarówno skuteczność jak i mechanizm ich działania wobec różnych gatunków bakterii (*S. aureus*, *P. aeruginosa*, *S. enterica*, *L. monocytogenes* i *E. cloacae*).

Cel naukowy jest jasno sprecyzowany i, podobnie jak zakres przeprowadzonych eksperymentów, opisany w szczegółowych podpunktach.

Bardzo podoba mi się sposób przedstawienia opisanych w poszczególnych publikacjach badań. Autorka posłużyła się formą graficzną zamieszczając schemat kolejnych doświadczeń wykonanych w ramach realizowanej pracy doktorskiej. Taka prezentacja, łącząca zarówno wykorzystane w każdej z publikacji modele badawcze jak i nanostruktury, ułatwia zrozumienie całości rozprawy.

W przeprowadzonych badaniach wykorzystany został różnorodny zestaw metod, z których każda wymagała doświadczenia eksperymentalnego zarówno podczas przygotowania prób,

wykonywania eksperymentów jak i analizy otrzymanych danych. We wszystkich tych aspektach Doktorantka wykazała dokładność, profesjonalizm i dojrzałość naukową.

Zgodnie z oświadczeniami Autorki i Współautorów prac, będących składowymi rozprawy, którzy dołączyli swoje oświadczenia, udział Doktorantki na wszystkich etapach ich powstawania był wiodący. Jednakże liczba dołączonych oświadczeń jest mniejsza niż liczba Współautorów każdej z publikacji. Choć nie jest to warunek niezbędny i często trudny do spełnienia, szczególnie przy prowadzeniu szerokiej współpracy, warto dać szansę wszystkim Współautorom na wyrażenie swojej opinii.

Trzy publikacje wchodzące w skład rozprawy doktorskiej mają łączny IF = 13.6, a suma punktów ministerialnych wynosi 440. Prace te były recenzowane przed publikacją w związku z tym nie będę odnosiła się do poszczególnych wyników, ale zwrócę uwagę na kluczowe, moim zdaniem, osiągnięcia wynikające z przeprowadzonych eksperymentów i opisane w kolejnych publikacjach.

#### Publikacja 1

Celem badania było stworzenie nanokompozytu, składającego się z tlenku grafenu i nanocząstek srebra, o działaniu bakteriobójczym. Badania biologiczne nanokompozytu oraz jego składników obejmowały ocenę toksyczności wobec dwóch gatunków bakterii patogennych - *Pseudomonas aeruginosa* i *Staphylococcus aureus*. Efekt bakteriobójczy tego nanokompozytu wobec wymienionych gatunków bakterii był znacząco silniejszy niż samego srebra. Udowodniono, że tlenek grafenu może stanowić funkcjonalną platformę dla nanocząstek srebra, poprawiając jego właściwości bakteriobójcze.

#### Publikacja 2

Celem opisanych w tej publikacji badań było poznanie mechanizmu działania nanokompozytów trójskładnikowych opartych na materiałach grafenowych. Wykazano ich silny efekt antybakteryjny wobec wszystkich badanych gatunków bakterii (*Enterobacter cloacae*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enterica* i *Staphylococcus aureus*). Zaprezentowano wieloaspektowy efekt ich działania powodujący uszkodzenie komórki bakteryjnej poprzez: mechaniczne uszkodzenie błony, zmiany w ładunku powierzchniowym, redukcję zawartości ATP oraz zmiany w pH wewnątrzkomórkowym.

#### Publikacja 3

Badania opisane w tej pracy koncentrowały się na opracowaniu materiału skutecznego w walce z bakteriami tworzącymi strukturę biofilmu. Połączenie nanocząstek metali (AgNPs, CuNPs i ZnONPs) z tlenkiem grafenu, stanowiącym platformę i poprawiającym właściwości fizykochemiczne nanocząstek, umożliwiło stworzenie skutecznego środka przeciwdrobnoustrojowego, który może ograniczyć tworzenie biofilmu. Wykazano również, że

nanokompozyty GOAg zachowują właściwości antybakteryjne nawet w przypadku zastosowania ich do powlekania materiałów włókienniczych.

Podsumowując, stwierdzam, że przedstawione publikacje układają się w logiczną całość, pokazując drogę Doktorantki od postawienia hipotezy badawczej do realizacji celu naukowego pracy.

Interesuje mnie, jak Doktorantka widzi przyszłość badań, którym poświęciła swoją pracę doktorską. Czy i w jakiej perspektywie możliwe będzie zastosowanie wyników tych i podobnych analiz na szerszą skalę?

### **Ocena końcowa**

Rozprawa doktorska autorstwa magister inżynier Agaty Lange spełnia wszystkie wymagania formalne stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668 z późn. zm.).

Całość pracy stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w dziedzinie biologii, pokazuje dużą wiedzę biologiczną Kandydatki, opartą o bogatą bibliografię, możliwości zaplanowania i technicznego przeprowadzenia przez nią eksperymentów, które są logicznie ułożone i prowadzą do wyznaczonego celu pracy i potwierdzenia hipotezy badawczej. Wskazuje to na umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktorantkę.

Podsumowując, rozprawę doktorską Pani magister inżynier Agaty Lange oceniam bardzo wysoko.

Wnoszę zatem do Rady Dyscypliny Nauk Biologicznych Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie o dopuszczenie Pani magister inżynier Agaty Lange do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Dodatkowo, biorąc pod uwagę wysoki poziom merytoryczny rozprawy, praktyczne znaczenie uzyskanych wyników oraz ogólny, bardzo dobry, dorobek naukowy Doktorantki wnoszę o wyróżnienie rozprawy stosowną nagrodą.