



Wrocław, dn. 04.08.2026 r.

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Agaty Kowalskiej zatytułowanej „*Synteza, charakterystyka i ocena potencjału aplikacyjnego nanostruktur rdzeń-powłoka Au@SiO₂ jako wielofunkcyjnych platform do dostarczania substancji biologicznie aktywnych*”

Rozprawa doktorska mgr inż. Agaty Kowalskiej zatytułowana „*Synteza, charakterystyka i ocena potencjału aplikacyjnego nanostruktur rdzeń-powłoka Au@SiO₂ jako wielofunkcyjnych platform do dostarczania substancji biologicznie aktywnych*” została zrealizowana w Katedrze Chemii Analitycznej Wydziału Chemii Uniwersytetu Gdańskiego pod kierunkiem dr hab. Beaty Grobelnej, prof. UG oraz promotora pomocniczego dr Elżbiety Adamskiej.

Rozprawa doktorska została przygotowana w formie autoreferatu do trzech publikacji wydanych w latach 2025-26 w czasopismach *Dalton Transactions*, (IF₂₀₂₄ = 3,3; 140 pkt. MNiSW), *Nanomedicine: Nanotechnology Biology and Medicine*, (IF₂₀₂₅ = 4,6; 140 pkt. MNiSW), *Scientific Reports*, (IF₂₀₂₅ = 3,9; 140 pkt. MNiSW). Selekcja czasopism do prezentacji wyników wskazuje na ich wysoki jakościowy poziom mieszczący się w najnowszych trendach badań światowych dotyczących zastosowań nanotechnologii w medycynie.

Znaczący jest również pozostały dorobek naukowy Doktorantki. Poza cyklem publikacji stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej jest współautorką siedmiu publikacji w czasopismach *Surface and Interfaces*, *Current Medicinal Chemistry*, *ChemNanoMat*, *Molecules*, *ChemMedChem*, *Materials*, rozdziałów w dwóch monografiach oraz trzech zgłoszeń patentowych (P.452353,2025; P.453529, P. 455757). Niezwykle bogata jest również aktywność konferencyjna, wygłosiła kilkanaście referatów na konferencjach krajowych, jej wyniki były prezentowane w formie posterów na kilkudziesięciu konferencjach krajowych i międzynarodowych. Dwukrotnie była laureatką konkursu Young Fahrenheit promującego innowacyjne projekty doktorantów UG o potencjale komercjalizacji. Z sukcesem aplikowała o projekty w ramach Badań Naukowych Służących Rozwojowi Młodych Naukowców oraz Uczestników Studiów Doktoranckich i programu małych grantów w ramach Inicjatywy Doskonałości IDUB. Angażowała się w działalność związaną z popularyzacją nauki prowadząc

**WYDZIAŁ CHEMII**

Prof. dr hab. Jolanta Ejfler
Kierownik Zakładu Technologii Chemicznej
ul. F. Joliot-Curie 14
50-383 Wrocław
jolanta.ejfler@chem.uni.wroc.pl

warsztaty w ramach Dni Otwartych Wydziału Chemii UG i Pomorskiej Nocy Naukowców. Ten zakres wskazuje na ponadstandardowe zaangażowanie w życie akademickie uczelni.

Tematyka rozprawy doktorskiej wpisuje się w aktualne trendy badań dotyczących projektowania funkcjonalnych platform nanomateriałowych do zastosowań w obszarze biomedycyny, w tym przypadku do rozwijania nanostruktur Au@SiO_2 jako uniwersalnych nośników systemów kontrolowanego dostarczania leków. Nowoczesne strategie w tym zakresie proponowane przez nanotechnologie oferują skuteczne narzędzia zwiększające efektywność terapeutyczną substancji czynnych. Niwelują szereg ograniczeń związanych z biodostępnością, selektywnością działania, toksycznością ogólnoustrojową. Nowe rozwiązania stosowane w nanonośnikach bezpośrednio wpływają na stabilność leku w organizmie, poprawę dystrybucji i kontrolowane uwalnianie w miejscu docelowym. Nanometryczne systemy nośnikowe otwierają te perspektywy w aplikacjach medycznych, umożliwiają synergię diagnostyki, terapii i transportu leków w jednym wielofunkcyjnym systemie. Tematyka tej pracy jest niewątpliwie aktualna, dotyczy tych zaawansowanych rozwiązań współczesnej nanomedycyny, które wskazują możliwości zwiększenia skuteczności terapii przy jednoczesnym ograniczeniu efektów ubocznych, co jest szczególnie istotne w kontekście spersonalizowanej farmakoterapii.

Autoreferat do cyklu publikacji pokrywa treści prezentowane w pracach P1-P3 stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej. Przedstawia kompilację tych treści w kolejnych rozdziałach: wprowadzenia w tematykę doktoratu i wynikające z tych rozważań cele badań, szczegółowego opisu metodyki stosowanej do charakterystyki otrzymanych układów, który stanowi częściowo dyskusję wyników kontynuowanej w kolejnym rozdziale, badania własne. Podsumowanie zawiera szereg istotnych wniosków, które mogły stanowić osobny element z wyszczególnieniem najważniejszych osiągnięć doktoratu. Perspektywy badawcze to końcowy wątek autoreferatu, przedstawione tam wątki wskazują na gruntowną wiedzę doktorantki w rozwijanej tematyce oraz prezentują interesujące perspektywy rozwoju badań co



również potwierdza jej kompetencje w zakresie projektowania koncepcji dalszego rozwoju naukowego.

Wstęp zawarty w autoreferacie przedstawia aktualne strategie syntezy AuNPs, metody ich funkcjonalizacji poprawiające kluczowe właściwości fizykochemiczne i biologiczne oraz ich zastosowanie w nanomedycynie. W tym aspekcie podkreślono istotne ograniczenia nanocząstek złota w aplikacjach medycznych oraz jakie są wyzwania w zakresie strategii projektowania trwałych powłok ochronnych stabilizujących nanocząstki oraz umożliwiające ich kontrolowaną funkcjonalizację. Wybór rozwiązania w postaci powłoki krzemionkowej jako funkcjonalnego komponentu nanostruktur typu rdzeń-powłoka (Au@SiO_2) łączącego korzystne właściwości optyczne złota z funkcjonalnością i stabilnością warstwy krzemionkowej również szczegółowo uzasadniono. Podkreślono nowy potencjał nanostruktur Au@SiO_2 w porównaniu do klasycznych platform nośnikowych, wskazując synergii rdzenia i powłoki jako jeden z kluczowych walorów oraz dodatkowe cechy jak porowatość i wysoką powierzchnię właściwą powłoki tworzącą uniwersalny, elastyczny system zdolny do enkapsulacji farmaceutyków o różnej strukturze chemicznej. Określono jak system ten można dalej modelować poprzez integrację z innymi matrycami jak hydrożele. Te innowacyjne elementy z sukcesem zastosowano w projekcie pracy doktorskiej do otrzymania układów hybrydowych łączących zaawansowane właściwości faz nanomateriału i sieci polimerowej.

Metodyka syntezy i charakterystyka otrzymanych nanostruktur Au@SiO_2 jest spójna i zawiera wszystkie elementy w tym zakresie prezentowane w cyklu prac P1-3. Przedstawiono szczegółowo proces funkcjonalizacji powierzchni otrzymanych nanostruktur, ich kompleksową charakterystykę fizykochemiczną. W kolejnych etapach oceniono możliwości immobilizacji nanonośnika, enkapsulacji i kontrolowanego uwalniania substancji biologicznie aktywnych o zróżnicowanych właściwościach fizykochemicznych. Istotnym i najbardziej innowacyjnym elementem było otrzymanie hybrydowych materiałów na bazie nanostruktur Au@SiO_2 oraz hydrożeli. Schemat prezentowanej w autoreferacie dyskusji wyników przedstawiono jako badania własne skoncentrowane na analizie kolejnych etapów badań: (1) syntezie i charakterystyce fizykochemicznej nanostruktur Au@SiO_2 , P1-3; (2) ocenie właściwości funkcjonalnych nanonośników, P1-3; (3) koniugacji nanonośników z substancjami biologicznie czynnymi, P1-2; (4) inkorporacji nanostruktur do matrycy hydrożelowej, P3.



Przegląd tych elementów skompensowanych z prac cyklu był zgodny z prezentacją wyników w publikacjach. Przedstawiono syntezę nanocząstek złota stanowiących rdzeń projektowanych nanostruktur, osadzanie powłoki krzemionkowej oraz kompleksową charakterystykę fizykochemiczną otrzymanych Au@SiO_2 z zastosowaniem komplementarnych technik analitycznych. Kompleksowa analiza wyników potwierdziła, że opracowana procedura syntezy umożliwia otrzymanie nanostruktur Au@SiO_2 o zdefiniowanej architekturze rdzeń-powłoka, wysokiej stabilności koloidalnej i korzystnych właściwościach powierzchniowych. Otrzymane materiały podlegały wieloetapowej ocenie właściwości istotnych dla aplikacji biomedycznych. Analizowano oddziaływania z barierami biologicznymi, cytotoksyczność, właściwości antyoksydacyjne, interakcję z materiałem genetycznym. Rezultaty tych badań wskazały na otrzymanie stabilnej, bezpiecznej platformy nośnikowej o odpowiednich właściwościach biologicznych do zastosowania w układach kontrolowanego dostarczania leków. Ten etap był wprowadzeniem do kluczowej fazy doktoratu, eksploracji otrzymanych nanonośników do enkapsulacji substancji aktywnych reprezentujących odmienne klasy terapeutyczne i właściwości fizykochemiczne. Ostateczna modyfikacja nośnika dotyczyła wbudowania nanostruktur Au@SiO_2 do hydrożeli, w tym celu wybrano biokompatybilne biopolimery hialuronian sodu i hydroksycelulozę. Ostatnie rozdziały to klasyczne podsumowanie oraz perspektywy badawcze wskazujące potencjalny rozwój badań prezentowanych w rozprawie doktorskiej.

Elementy innowacyjne rozprawy to niewątpliwie opracowanie procedury otrzymywania nanostruktur rdzeń-powłoka Au@SiO_2 stanowiących funkcjonalną platformę projektowania nanonośników do systemów kontrolowanego uwalniania leków. Powłoka krzemionkowa stabilizuje rdzeń ograniczając ekspozycję na środowisko biologiczne i zwiększa bezpieczeństwo stosowania nanonośników. Nanostruktury wykazują wysoką biogodność, właściwości antyoksydacyjne, istotny potencjał w zastosowaniach ochronnych i regeneracyjnych. Enkapsulacja substancji czynnych o zróżnicowanym profilu uwalniania również jest interesująca w tym na bazie nowych układów hybrydowych z zastosowaniem



hydrożeli. Wskazano metodykę, narzędzia syntetyczne do projektowania zaawansowanych systemów dostarczania substancji aktywnych o potencjale terapeutycznym.

Autoreferat jest napisany dojrzałym językiem naukowym, w prezentowanych rozdziałach stosowano odpowiednią terminologię, logicznie i klarownie formułowano treści związane z przeglądem literaturowym, analizą i dyskusją wyników badań. Tekst jest dobrze zredagowany pomimo niewielu rysunków i schematów, całość spełnia funkcję komentarza do cyklu publikacji. Autoreferat oraz cykl publikacji stanowiący podstawę doktoratu oceniam jako dobrze zaplanowany projekt, zawierający starannie przygotowaną koncepcję i plan badań, całość to konsekwentny program badawczy z przedstawioną perspektywą do dalszej kontynuacji. Doktorantka zrealizowała obszerny projekt zawierający imponującą część eksperymentalną. Wykazała się wysokimi umiejętnościami w zakresie projektowania syntez nanośników, analizy ograniczeń i wyboru odpowiednich metod analitycznych, interpretacji złożonych danych pomiarowych.

Prezentacja wyników, przegląd literatury zawarte w autoreferacie oraz pełne dane przedstawione w publikacjach nie dają podstaw do szczegółowych pytań, jednak interesujące są następujące kwestie, które wymagają komentarza:

1. „Obecność grup -Si-OH na powierzchni powłoki krzemionkowej umożliwia wprowadzenie kolejnych funkcjonalności, które mogą modyfikować właściwości fizykochemiczne i biologiczne nanocząstek (s. 25)”. W tym kontekście niejasne jest kolejne zdanie w autoreferacie „(...) powłoka SiO_2 może być funkcjonalizowana poprzez przyłączenie różnych grup funkcyjnych, które stanowią miejsce immobilizacji kolejnych ligandów. Proszę podać przykłady takiego zastosowania w oparciu o konkretne reakcje chemiczne.
2. Inkorporacja nanostruktur do hydrożeli może być realizowana na szereg sposobów, które zostały opisane w autoreferacie. Opisanie tych procesów w formie skondensowanej powoduje nieścisłości w przekazie tych informacji (s. 32). Proszę doprecyzować na dowolnym przykładzie zdanie w autoreferacie (...) „podejściem stosowanym w inkorporacji nanostruktur do matryc hydrożelowych jest ich integracja kowalencyjna, prowadząca do uzyskania trwałych i stabilnych układów kompozytowych.”



3. W celach pracy wskazano na otrzymanie funkcjonalnych kompozytów chociaż bardziej trafne określenie dla otrzymanych układów to koniugaty. Proszę o wyjaśnienie, które z tych stwierdzeń jest bardziej adekwatne do opisu układów otrzymanych w pracy doktorskiej.
4. Jaki etap badań uważa Kandydatka za ograniczenie w skalowaniu ewentualnych syntez do aplikacji przemysłowych?
5. Jakie jest zdaniem Doktorantki najważniejsze osiągnięcie pracy doktorskiej?

Ponadto stwierdzam, że w pracy doktorskiej przedstawiono wartościowy materiał w zakresie nanotechnologii, efekty badań istotnie poszerzają wiedzę w zakresie projektowania funkcjonalnych nośników do systemów kontrolowanego dostarczania leków. Rozprawa prezentuje wysoki poziom, potwierdzony trzema publikacjami w renomowanych czasopismach z obszaru chemii materiałowej i nanotechnologii, wnosi oryginalne rozwiązania syntetyczne i mieści się w aktualnych trendach badań z zakresu nanomedycyny. Biorąc pod uwagę wysoki poziom publikacji P1-3, dodatkowy dorobek naukowy wnioskuję o jej wyróżnienie.

Podsumowując stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr inż. Agaty Kowalskiej spełnia wymogi i warunki określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U z 2024 r. poz 1571 z późn. zm.) stawiane pracom składanym przez osoby ubiegające się o stopień naukowy doktora



WYDZIAŁ CHEMII

Prof. dr hab. Jolanta Ejfler
Kierownik Zakładu Technologii Chemicznej
ul. F. Joliot-Curie 14
50-383 Wrocław
jolanta.ejfler@chem.uni.wroc.pl

i z pełnym przekonaniem wnioskuję o dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów postępowania.

Stwierdzam, że w pracy doktorskiej przedstawiono wartościowy materiał, który daje podstawy do uznania pracy jako wyróżniającej. Bez wątpliwości zwracam się do Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Uniwersytetu Gdańskiego o przyjęcie pracy doktorskiej i jej wyróżnienie.

H. Ejfler