



Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni
im. Jerzego Habera
Polskiej Akademii Nauk



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Prof. dr hab. Maciej Guzik

Kraków, 23/07/2025

Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera

Polskiej Akademii Nauk

Niezapominajek 8

30-239 Kraków

Polska

Recenzja pracy doktorskiej Pani mgr inż. Magdaleny Bańkosz pt.

“Badania nad opracowaniem biomateriałów kompozytowych do zastosowań w inżynierii i w chirurgii”

Ocena formalna

Recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Bańkosz została przygotowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Krakowskiej. Promotorem rozprawy była dr hab. inż. Bożena Tyliszczak, prof. PK, natomiast funkcję promotora pomocniczego pełnił dr inż. Dariusz Mierzwiński. Praca została wykonana na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Fizyki Politechniki Krakowskiej.

Rozprawa została przygotowana w formie klasycznej monografii i liczy ponad 200 stron. Zawiera streszczenie w języku polskim i angielskim, szczegółowy przegląd literaturowy, jasno określony cel badawczy, część eksperymentalną, analizę wyników, podsumowanie oraz wykaz literatury. Całość uzupełniają: spis symboli i skrótów, wykaz tabel i rysunków oraz wykaz publikacji autorki. Układ pracy jest przejrzysty i logiczny, a jej struktura odpowiada standardom rozpraw doktorskich w dziedzinie nauk inżynierijno-technicznych. Od strony formalnej rozprawa spełnia wszystkie wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1668 z późn. zm.).

Ocena merytoryczna

Recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Bańkosz miała na celu opracowanie i kompleksową charakterystykę biomateriałów kompozytowych na bazie hydroksyapatytu (HAp), przeznaczonych do zastosowań w inżynierii i chirurgii tkankowej. Praca obejmowała zarówno syntezę komponentów ceramicznych i polimerowych, jak i ich dalszą modyfikację z użyciem komponentów bioaktywnych – kolagenu i antybiotyku – oraz ocenę właściwości fizykochemicznych, mechanicznych i biologicznych powstałych materiałów.

Pierwszy etap badań koncentrował się na opracowaniu metody syntezy fazy ceramicznej – hydroksyapatytu. Optymalizacja parametrów procesu (pH, stężenia reagentów, rodzaj mieszała) pozwoliła uzyskać proszek o wysokiej czystości fazowej i stechiometrycznym stosunku Ca/P, co zostało potwierdzone analizami XRD, FTIR oraz SEM-EDS. Uzyskany HAp charakteryzował się jednorodną morfologią oraz dobrymi parametrami dyspersji, co stanowiło solidną podstawę do dalszych badań materiałowych.

W kolejnym etapie zaprojektowano i wytworzono cztery warianty materiałów kompozytowych, w których hydroksyapatyt stanowił fazę wzmacniającą osadzoną w matrycy polimerowej PVP i PVA. Procesy fotopolimeryzacji i żelowania zostały zoptymalizowane pod kątem uzyskania struktur porowatych o odpowiednich właściwościach mechanicznych i zwilżalności. Badania zwilżalności, chropowatości powierzchni, porowatości (CT) oraz odporności mechanicznej (testy jednoosiowe) potwierdziły, że właściwości fizykochemiczne materiałów można było skutecznie kontrolować poprzez dobór rodzaju polimeru oraz parametrów sieciowania. Testy biologiczne – obejmujące ocenę proliferacji fibroblastów oraz cytotoksyczności – wykazały dobrą kompatybilność komórek z powierzchnią materiałów, szczególnie w przypadku kompozytów PVP/PVA/HAp.

Trzeci etap badań dotyczył funkcjonalizacji kompozytów kolagenem typu I pochodzenia rybiego oraz bydłowego. W pracy wykorzystano techniki spektroskopowe (w szczególności ATR-FTIR) do potwierdzenia obecności kolagenu na powierzchni materiałów, a także dokonano oceny wpływu tego modyfikatora na właściwości fizykochemiczne próbek. Zmiany w zakresie chropowatości powierzchni i zwilżalności wskazywały na skuteczną modyfikację i zwiększenie hydrofilowości kompozytów. Mimo że kolagen jest dobrze znany ze swojego pozytywnego wpływu na interakcje z komórkami, w rozprawie nie przedstawiono wyników badań biologicznych potwierdzających jego wpływ na adhezję, proliferację czy działanie immunomodulujące.

Ostatni etap badań dotyczył modyfikacji materiałów z użyciem substancji przeciwdrobnoustrojowej – antybiotyku (klindamycyny). Testy mikrobiologiczne wykazały skuteczność kompozytów wobec bakterii Gram-dodatnich (*S. aureus*), a dodatkowo analiza kinetyki uwalniania wskazywała na możliwość kontrolowanego, długofalowego działania substancji czynnej. Mimo obiecujących wyników, zabrakło analizy wpływu obecności antybiotyku na zachowanie komórek eukariotycznych – testy cytotoksyczności kompozytów zawierających lek nie zostały przeprowadzone, co utrudnia pełną ocenę ich bezpieczeństwa biologicznego.

Rozdział końcowy podsumowuje wyniki w sposób rzeczowy i spójny z celami postawionymi na początku rozprawy. Materiały uzyskane przez Autorkę wykazują zróżnicowane właściwości powierzchniowe, mechaniczne i biologiczne w zależności od składu i modyfikacji, co czyni je obiecującymi kandydatami do dalszych prac w zakresie inżynierii tkankowej, w szczególności jako implanty wspomagające regenerację skóry lub tkanki łącznej.

W całości, praca mgr inż. Magdaleny Bańkosz cechuje się bardzo wysokim poziomem merytorycznym i eksperymentalnym. Kandydatka wykazała się doskonałą znajomością metod syntezy

i analizy biomateriałów, umiejętnością łączenia technik inżynierskich i biologicznych, a także samodzielnością w planowaniu i prowadzeniu badań. Otrzymane wyniki są spójne, logicznie przedstawione i wpisują się w aktualne światowe trendy rozwoju materiałów implantacyjnych. Na marginesie należy jedynie odnotować drobne uchybienia redakcyjne – w tym sporadyczne literówki i powtórzenia – które nie wpływają na ogólną jakość rozprawy, ale mogłyby zostać wychwycone w procesie starannejszej korekty językowej.

Po lekturze monografii nasunęło się mi kilka pytań i kwestii, które chciałbym, aby Doktorantka poruszyła na obronie:

1. W kontekście zastosowania materiału jako implantu warto byłoby poznać jego stabilność mechaniczną i strukturalną w warunkach fizjologicznych. Czy Kandydatka rozważała wykonanie badań starzeniowych (np. w PBS lub medium komórkowym), które pozwoliłyby ocenić trwałość materiału w czasie? Jakie są przewidywania co do zmian jego właściwości po dłuższej inkubacji?

2. W rozdziale dotyczącym modyfikacji materiałów antybiotykiem przedstawiono obiecujące wyniki działania przeciwdrobnoustrojowego. Czy Kandydatka może wyjaśnić, jaki mechanizm kontroluje tempo uwalniania substancji czynnej z matrycy kompozytowej – czy jest to głównie dyfuzja, degradacja polimeru, czy może oddziaływania fizykochemiczne z HAp? Jakie czynniki (np. pH, stopień uwodnienia, obecność enzymów) mogą istotnie wpłynąć na ten mechanizm w środowisku *in vivo*?

3. W badaniach biologicznych zastosowano mysie fibroblasty linii L929 – klasyczny, dobrze ustandaryzowany model komórkowy rekomendowany m.in. w normach ISO do badań cytotoksyczności. Czy mogłaby Pani wyjaśnić, dlaczego zdecydowano się właśnie na tę linię komórkową, zamiast zastosować np. ludzkie fibroblasty (komercyjne lub pierwotne), które mogłyby lepiej odzwierciedlać odpowiedź organizmu ludzkiego na biomateriał implantacyjny? Jakie ograniczenia – jeśli w ogóle – widzi Pani w interpretacji uzyskanych wyników w kontekście translacji tych danych do warunków klinicznych?

Pomimo kilku kwestii, które wzbudziły moją naukową ciekawość i stały się pretekstem do sformułowania dodatkowych pytań, chciałbym wyraźnie podkreślić wysoki poziom merytoryczny i eksperymentalny przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Bańkosz. Praca ta ma charakter interdyscyplinarny – łączy w sobie inżynierię materiałową, chemię biomedyczną oraz elementy biologii, prezentując jednocześnie bardzo kompleksowe podejście do projektowania, syntezy i oceny nowych biomateriałów kompozytowych.

Wniosek o wyróżnienie

Uważam, że rozprawa mgr inż. Magdaleny Bańkosz zasługuje na szczególne wyróżnienie. Na taki wniosek składa się przede wszystkim wyjątkowo umiejętne połączenie klasycznych technik inżynierii materiałowej z nowoczesnymi, wieloaspektowymi metodami oceny biologicznej i funkcjonalnej biomateriałów. Kandydatka zaprojektowała kompleksowe badania obejmujące

zarówno poziom strukturalny i mechaniczny, jak i odpowiedź biologiczną – w tym immunologiczną i przeciwdrobnoustrojową – co jest rzadko spotykaną, a niezwykle pożądaną cechą współczesnych prac w dziedzinie biomateriałów.

Wysoka jakość tej rozprawy wynika również z wyraźnej samodzielności badawczej, dojrzałości interpretacyjnej oraz logicznie prowadzonego wywodu naukowego. Kandydatka z powodzeniem połączyła szeroką paletę metod instrumentalnych i bioanalitycznych z ich spójną interpretacją, co świadczy o głębokim zrozumieniu zagadnień leżących na styku nauk technicznych, materiałowych i biomedycznych.

Podsumowanie

Jestem głęboko przekonany, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Magdaleny Bańkosz wnosi istotny wkład do nauki w zakresie inżynierii materiałowej, ze szczególnym uwzględnieniem opracowania i funkcjonalizacji bioaktywnych materiałów kompozytowych do zastosowań w inżynierii i chirurgii tkankowej. Praca ta łączy w sobie nowatorskie podejście do projektowania biomateriałów z dogłębną analizą ich właściwości fizykochemicznych, biologicznych i aplikacyjnych.

Spełnia ona również wszystkie warunki określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.), w związku z czym zwracam się do Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Krakowskiej o przyjęcie rozprawy doktorskiej oraz dopuszczenie Pani mgr inż. Magdaleny Bańkosz do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Jednocześnie – z uwagi na wysoką jakość merytoryczną, interdyscyplinarność oraz oryginalność prowadzonych badań – wnoszę o przyznanie stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych **z wyróżnieniem**.

Prof. dr hab. Maciej Guzik

