



Prof. dr hab. inż. Jakub D. Rybka, MBA
Centrum NanoBioMedyczne
Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu
Ul. Wszechnicy Piastowskiej 3
61-614 Poznań
e-mail: jrybka@amu.edu.pl

Poznań, 09.12.2025

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Julii Lisoń-Kubicy
pt. „Kształtowanie własności fizykochemicznych stopu
Ti-13Nb-13Zr z wykorzystaniem niskotemperaturowej
metody osadzania warstw atomowych ALD”
wykonanej pod kierunkiem **prof. PŚ dr hab. inż. Marcina Basiagi**
oraz **dr inż. Magdaleny Antonowicz-Hüpsch**
w Katedrze Biomateriałów i Inżynierii Wytwarzania Medycznych,
Wydziału Inżynierii Biomedycznej
Politechniki Śląskiej

1. Ocena formalna rozprawy

Pod względem formalnym, rozprawa stanowi opracowanie liczące 133 strony. Napisana jest w języku polskim i zawiera elementy, które powinny znaleźć się w rozprawie doktorskiej, tj. Spis treści, Wykaz skrótów, Wprowadzenie, Przegląd Pismiennictwa, Cel pracy, Materiały, metodyka badań, wyniki pracy, omówienie wyników, wnioski, bibliografia oraz streszczenie w języku polskim oraz abstrakt. Bibliografię stanowi 127 pozycji. Wyniki zostały zilustrowane za pomocą 59 rycin i 14 tabel. **Praca napisana oraz zedytowana jest na bardzo wysokim poziomie.**

Na etapie edytorskim dziwię się wyobrébnieniu podrozdziałowi 3 zatytułowanemu „Modyfikacja powierzchni”. W moim odczuciu powinien to być element podrozdziału „Materiał” lub „Metody”.

W momencie pisania tej recenzji, na podstawie bazy Scopus doktorantka jest współautorką 14 publikacji, Jej index Hirscha to 3 a ilość cytowani to 43.



2. Ocena celu rozprawy i trafności tematu

Zakażenia okołowszczepowe pozostają jednym z największych wyzwań współczesnej medycyny, a ich leczenie jest trudne i obarczone znacznym ryzykiem niepowodzeń. Kluczowym elementem zapobiegania tym powikłaniom jest ograniczenie możliwości adhezji bakterii do powierzchni implantów oraz zahamowanie tworzenia biofilmu, struktury zapewniającej drobnoustrojom wysoką oporność na antybiotyki i układ odpornościowy. Obecnie stosowane biomateriały metaliczne nie wykazują naturalnych właściwości przeciwdrobnoustrojowych, dlatego konieczne staje się opracowanie nowych strategii modyfikacji powierzchni.

W literaturze naukowej brakuje kompleksowych opracowań, które łączyłyby analizę właściwości fizykochemicznych oraz mikrobiologicznych nowoczesnych implantów kostnych z powłokami o potencjale antybakteryjnym. Szczególnie widoczna jest luka dotycząca wykorzystania tlenku cyny(IV) (SnO_2) jako powłoki nanoszonej metodą osadzania warstw atomowych (ALD) na powierzchni stopów tytanu nowej generacji, takich jak Ti-13Nb-13Zr. Zarówno sam stop, jak i SnO_2 mają wysoki potencjał aplikacyjny, jednak ich połączenie nie zostało dotąd opisane w dostępnej literaturze.

W związku z tym **głównym celem pracy** jest:

Opracowanie warunków wytwarzania antybakteryjnych powłok SnO_2 metodą ALD na powierzchni stopu Ti-13Nb-13Zr oraz określenie zależności między strukturą i właściwościami fizykochemicznymi powłoki a jej aktywnością przeciwdrobnoustrojową.

Realizacja badań opiera się na założeniu, że nanometryczna powłoka SnO_2 może:

- poprawić właściwości fizykochemiczne stopu (takie jak biokompatybilność, zwilżalność, odporność korozyjna),
- ograniczyć adhezję bakterii i tworzenie biofilmu,
- zwiększyć bezpieczeństwo i funkcjonalność implantów stosowanych zarówno krótkoterminowo, jak i długoterminowo.

Brak wcześniejszych badań nad stosowaniem SnO_2 na stopie Ti-13Nb-13Zr sprawia, że proponowane podejście ma charakter innowacyjny i może wypełnić istotną lukę badawczą w inżynierii biomedycznej.



Na tej podstawie sformułowano **hipotezę badawczą**:

Wytworzenie powłok SnO₂ metodą ALD na powierzchni stopu Ti-13Nb-13Zr umożliwia zwiększenie jego oporności na kolonizację mikrobiologiczną.

W celu weryfikacji hipotezy zaplanowano kompleksowy zestaw badań, obejmujący analizę procesów zachodzących na powierzchni stopu po jego modyfikacji oraz ocenę właściwości istotnych dla funkcjonowania w układzie kostnym.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Wprowadzenie do tematyki

Wstęp (35 stron) został podzielony jest na 4 rozdziały i zawiera 18 czytelnich rycin. Rodział stanowi przegląd kluczowych zagadnień stanowiących podstawę przedłożonej pracy.

Na początku omówiono problematykę tworzenia się biofilmu bakteryjnego, opisano pochodzeni i rozwój biofilmu a następnie metody zwalczania biofilmu. W dalszej części opisano problematykę stosowania implantów ze stopów tytanu oraz charakterystykę powłok bakteriobójczych i bakteriostatycznych. Na zakończenie zaprezentowano podsumowanie przeglądu piśmiennictwa.

Tekst przedstawia problem, jego genezę, ograniczenia obecnych rozwiązań oraz proponowaną strategię. Bardzo dobrze pokazano, dlaczego SnO₂ i ALD są celowym wyborem.

Prowadzona narracja jest spójna a tekst odnosi się zarówno do aspektów mikrobiologicznych, jak i materiałoznawczych, co buduje interdyscyplinarność. Styl jest dojrzały, charakterystyczny dla pracy doktorskiej.

Materiały i Metodyka badawcza

Opis jest krótki i zawiera charakterystykę stopu Ti-13Nb-13Zr, opis PBSu oraz metodykę modyfikacji powierzchni. Następnie pojawia się metodyka badań, która obszernie opisuje metody inżynierskie oraz biologiczne.

Wyniki i ich omówienie

Zastosowanie technologii ALD umożliwiło wytworzenie jednorodnych i dobrze związanych z podłożem powłok SnO₂ o kontrolowanej grubości, rosnącej wraz z liczbą cykli depozycji (37 nm dla 500 cykli, 94 nm dla 1500 cykli). Powłoki zachowywały morfologię wynikającą z wcześniejszej preparatyki powierzchni stopu Ti-13Nb-13Zr, co potwierdza dziedziczenie (jak napisała autorka pracy) topografii substratu.



SnO₂ okazał się skuteczną barierą ochronną, ograniczając migrację jonów zarówno ze stopu, jak i samej powłoki do roztworu PBS. Badania elektrochemiczne potwierdziły poprawę odporności korozyjnej, zwłaszcza odporności na korozję wżerową i szczelinową. Na powierzchniach polerowanych powłoka zmniejszała kąt zwilżania, pozostawiając je hydrofilowymi, co sprzyja redukcji reakcji zapalnych oraz zmniejszonej adhezji *S. aureus* i *E. coli*.

Analiza biologiczna wykazała brak negatywnego wpływu na morfologię i proliferację fibroblastów, co wskazuje na dobrą cytokompatybilność SnO₂. Najlepsze własności fizykochemiczne i mikrobiologiczne zaobserwowano dla powłok osadzonych przy 1500 cyklach na powierzchniach uprzednio polerowanych. Wyniki wskazują na zasadność kontynuowania badań na poziomie gotowego implantu oraz potwierdzają tezę o możliwości podwyższenia oporności mikrobiologicznej stopu Ti-13Nb-13Zr dzięki powłoce SnO₂ osadzonej ALD.

Chciałbym uzyskać odpowiedzi na parę pytań po lekturze tej ciekawej pracy:

1. Co decyduje o wyborze liczby cykli ALD i jak wpływa ona na właściwości powłoki?
2. Dlaczego ALD jest lepszą metodą nanoszenia powłok na implanty o złożonej geometrii niż PVD lub CVD?
3. W jaki sposób topografia powierzchni substratu wpływa na późniejszą funkcjonalność powłoki SnO₂?
4. Jak interpretować zależność między kątem zwilżania a adhezją bakterii?
5. Jakie mechanizmy mogą odpowiadać za ograniczenie adhezji *S. aureus* i *E. coli* na powłoce SnO₂?
6. Dlaczego zachowanie prawidłowej morfologii fibroblastów jest kluczowe dla oceny cytokompatybilności?
7. Jak wyniki badań in vitro mogą różnić się od zachowania powłoki in vivo?
8. Jakie potencjalne problemy technologiczne mogą pojawić się przy skalowaniu produkcji implantów z powłoką SnO₂?
9. Czy SnO₂ ma przewagę nad innymi tlenkami metali (TiO₂, ZnO, ZrO₂) w kontekście zastosowań implantologicznych?



4. Uwagi końcowe

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Julii Lisoń-Kubicy pt.: „**Kształtowanie własności fizykochemicznych stopu Ti-13Nb-13Zr z wykorzystaniem niskotemperaturowej metody osadzania warstw atomowych ALD**” wnosi do dyscypliny elementy poznawcze i ma istotne znaczenie dla praktyki. Doktorantka wykazała się dużą inwencją naukową i techniczną przy planowaniu i realizacji prac badawczych, w stopniu zapewniającym możliwość samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Podsumowując, stwierdzam, że praca spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim, w szczególności odpowiada warunkom określonym w Ustawie (Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dz. U. z 2024 r poz. 1571, z późn. zm.) i **wnoszę o dopuszczenie pani Julii Lisoń-Kubicy do publicznej obrony.**

Biorąc pod uwagę poziom naukowy oraz wysoki aspekt aplikacyjny wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

prof. dr hab. inż. Jakub D. Rybka, MBA