



Politechnika Łódzka
Instytut Inżynierii Materiałowej

POLITECHNIKA GDAŃSKA
BIURO RADY DYSCYPLINY NAUKOWEJ
INŻYNIERIA MATERIAŁOWA

Wpłynęło dnia 01.10.2025
L.dz. 4.6/2025
Podpis ...



Imię i nazwisko recenzenta:

Prof. dr hab. inż. Łukasz Kaczmarek

Łódź, 28 września 2025 r.

(data i miejsce)

Dane adresowe:

Politechnika Łódzka

Wydział Mechaniczny

Instytut inżynierii Materiałowej

Recenzja pracy doktorskiej

Mgr inż. Joanna Sypniewska

(imię i nazwisko ~~doktoranta~~ / doktorantki)

pod tytułem: „Wpływ obróbki laserowej biostopów tytanu i zastosowanie dodatków na wybrane właściwości funkcjonalne”

przygotowanej pod kierunkiem:

prof. dr hab. inż. Marka Szkodo

(imię i nazwisko promotora)

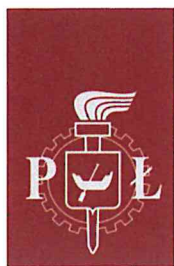
Dr inż. Beata Majkowska Marzec

(imię i nazwisko promotora pomocniczego)

1. Podstawa opracowania

Ocena została wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynierii Materiałowa Politechniki Gdańskiej uchwałą z dnia 9 lipca 2025 r. Pismo nr 32/WFTiMS/RDIM/2025.

Podstawa prawna art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (z późn. zm.).



Opinia dotycząca przedmiotowej rozprawy doktorskiej zawiera trzy elementy:

- 1) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie inżynieria materiałowa;
- 2) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktorantkę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora;
- 3) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

2. Charakterystyka i opis rozprawy

Zgodnie z raportem Eurostat 2025 na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci obserwuje się znaczne wydłużenie średniego czasu życia populacji oraz jednoczesny wzrost udziału osób starszych. Koniecznym w tym przypadku staje się zapewnienie odpowiedniej opieki medycznej umożliwiającej w pełni normalne korzystanie z życia, populacji o całym przekroju wiekowym.

Tylko w Polsce, wg danych Głównego Urzędu Statystycznego, w 2024 roku średnia długość życia wyniosła 74,9 roku dla mężczyzn i 82,2 roku dla kobiet. To o ponad 10 lat dłużej na przestrzeni ostatnich 50 lat. Wydłużenie czasu życia niestety ma też swoje konsekwencje w zdolności do swobodnego poruszania się tych osób. Częste problemy ze stawami utrudniają codzienne, sprawne przemieszczanie się.

Z tego względu obserwuje się intensywny rozwój takich obszarów nauki jak biomechanika, implantologia czy inżynieria materiałowa, których zadaniem jest m.in. zbadanie kinematyki ruchu i jego zmiany na przestrzeni lat oraz jego korekty, a także opracowywanie nowoczesnych materiałów na implanty lub endoprotezy. Odbywa się to często za sprawą wymiany zużytych tkanek, w tym kości czy stawów np. nadgarstkowo - śródreźnego kciuka. Niezależnie, fakt ten przybiera na sile również w implantologii stomatologicznej.

Wówczas opracowanie implantów czy endoprotez musi spełniać dość wąski przedział właściwości fizykochemicznych, które będą odpowiadać właściwościom żywych tkanek. Bezwzględnie w tym zakresie wykorzystuje się narzędzia biomimetyki kopiując rozwiązania bezpośrednio wykształcone przez żywe organizmy. Pomagają w tym także rozwijane metody druku 3D, które pozwalają tworzyć dedykowane implanty bazując na odtworzeniu kształtu, wielkości i struktury zużytych tkanek. Jednakże bardzo istotnym elementem jest zastosowany materiał, którego właściwości muszą być unikatowe ze względu na konieczność zapewnienia z jednej strony zadanej gęstości odpowiadającej np. danej kości, a z drugiej, strukturę umożliwiającą szybką regenerację poprzez osteointegrację.



Z tego względu w wielu czołowych ośrodkach naukowych na całym świecie prowadzi się badania nad materiałami służącymi szeroko rozumianej implantologii. W tym przypadku można wymienić takie ośrodki naukowe jak:

- School of Integrative Medicine, Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin, China
- Fujian Key Laboratory of Oral Diseases & Fujian Provincial Engineering Research Center of Oral Biomaterial & Stomatological Key Laboratory of Fujian College and University, School and Hospital of Stomatology, Fujian Medical University, Fuzhou, 350002, China
- Department of Dental Medicine, Graduate School of Medical Science, Kyoto Prefectural University of Medicine, Kamigyo-ku, Kyoto 602-8566, Japan
- Department of Bioengineering, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA 19004, USA.

Fakt podejmowania niniejszej kwestii przez wiele ośrodków na świecie wyraźnie wskazuje na problem globalny, a nie lokalny, który wymaga przebadania wielu potencjalnych dodatków, w tym również ich wzajemnej interakcji.

Pomijając szczegółowe informacje o technicznym układzie recenzowanej pracy (obrona doktoratu ma charakter publiczny z pełnym dostępem do pracy i recenzji) warto zwrócić uwagę na fakt, że wyniki badań stanowi zbiór **5 artykułów** naukowych opatrzonych stosownymi komentarzami oraz są uzupełnione o dodatkowe wyniki badań, które nie zostały w nich zawarte.

Zbiór publikacji stanowi:

[JS1] Sypniewska J., Szkodo M.; Influence of Laser Modification on the Surface Character of Biomaterials: Titanium and Its Alloys - A Review, Coatings, (2022), doi.org/10.3390/coatings 12101371 (IF: 3.4; 100 pkt na liście MNiSW)

[JS2] J.Sypniewska, M.Szkodo, B. Majkowska-Marzec, A. Mielewczyk-Gryń; Effect of hybrid modification by ceramic layer formation in MAO process and laser remelting on the structure of titanium bio-alloy Ti13Nb13Zr; Ceramics international, (2023) doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.02.018 (IF: 5.1, 100 pkt na liście MNiSW)

[JS3] Sypniewska J., Szkodo M., Majkowska-Marzec B., Mielewczyk-Gryń A.; Exploring the composition and corrosion resistance in hybrid-modified Ti13Nb13Zr alloy. MRS Communications (2024); doi.org/10.1557/s43579-024-00663-z (IF: 1.8; 100 pkt na liście MNiSW)

[JS4] Sypniewska, J., Szkodo, M., Majkowska-Marzec, B. Pawłowski L., Mirowska A., Ryl J., Mielewczyk-Gryń A., Gawęł L. Campos E.M., Fernández Hernán J.P., Hybrid laser-micro-arc oxidation techniques for enhanced biocompatibility and surface modification of Ti13Nb13Zr alloy in biomedical



applications. Applied Surface Science (2024); doi.org/10.1016/j.apsusc.2025.163136 (IF: 6.3, 140 pkt na liście MNiSW)

[JS5] Sypniewska J., Szkodo M., Majkowska-Marzec B., Pawłowski L., Martinez- Campos E., Fernández Hernán J.P.; Influence of hybrid modification on functional properties of a commercial bio-titanium alloy Ti6Al4V*; Materials Letters (2025) *Artykuł w trakcie recenzji w czasopiśmie Materials Letters (IF: 70 pkt na liście MNiSW)

Analiza stanu literatury na łamach przedłożonych do oceny publikacji została opisana bardzo szczegółowo z uwzględnieniem szerokiej palety możliwych do wykorzystania materiałów, ich właściwości fizykochemicznych oraz dostępności.

W pracy, za niezwykle cenne uważam konieczność zamieszczania syntetycznego, krytycznego podsumowania stanu wiedzy, którego niestety w tym przypadku zabrakło. Fakt ten bezwzględnie podkreśliłby ważność tematyki oraz nakreśliłby kluczowe kierunki badań.

Niezależnie, na podstawie powyższego uważam, że rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie inżynieria materiałowa, zatem spełnia w niniejszej części warunki ustawowe.

Recenzowana praca dotyczy badań wpływu modyfikacji powierzchniowej stopów Ti13Nb13Zr i Ti6Al4V poprzez zastosowanie hybrydowej obróbki laserowej: Nd:YAG w połączeniu z mikrołukowym utlenianiem pod kątem perspektywicznego zastosowania ich na implanty.

Teza recenzowanej pracy dotyczy:

Cyt. „...możliwe jest wytworzenie rozwiniętej morfologicznie powierzchni przy wykorzystaniu podwójnej modyfikacji przy użyciu techniki laserowej i techniki osadzania mikrołukowego, która poprawi odporność na korozję materiału, zapewni odpowiednie parametry chropowatości i zwilżalności powierzchni oraz dodatkowo możliwe będzie kontrolowane wzbogacenie materiału w jony bioaktywne, co spowoduje pozytywną odpowiedź komórkową.”

Dodatkowo Doktorantka zdefiniowała:

Cel naukowy pracy dotyczący:

1. sprawdzenia możliwości przeprowadzenia podwójnej modyfikacji z wykorzystaniem dwóch technik, pierwszej modyfikacji wiązką lasera Nd:YAG, drugiej techniki mikrołukowego wytwarzania warstwy ceramicznej na biostopach tytanu,



2. określenia wpływu kombinowanej obróbki powierzchniowej, obejmującej modyfikację laserową oraz proces mikrołukowego utleniania (MAO), z zastosowaniem dodatków pierwiastków bioaktywnych, na strukturę, topografię i właściwości funkcjonalne biostopów tytanu.

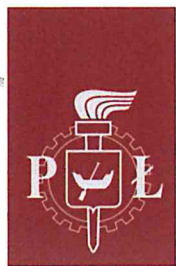
Oraz **cel użytkowy dotyczący** „opracowanie metody podwójnej modyfikacji powierzchni biostopów tytanu, umożliwiającej uzyskanie warstw wierzchnich o wysokiej odporności korozyjnej i korzystnych właściwościach biologicznych (zwilżalność, chropowatość, bioaktywność), które mogą znaleźć zastosowanie w produkcji nowoczesnych implantów o zwiększonej trwałości i lepszej integracji z tkankami.

Przedłożone do oceny wyniki prowadzonych prac posiadają użytkowy charakter, o czym świadczy:

- (a) opracowane przez Doktorantkę pole parametrów procesu modyfikacji laserem Nd:YAG z następczym mikroutlenianiem techniką mikrołukowego wytwarzania warstw dla materiałów Ti13Nb13Zr oraz Ti6Al4V z jednoczesnym wbudowaniem w strukturę Ti13Nb13Zr hydroksyapatytu. Fakt ten przyczynił się do intensywnej polifracji komórek dla stopu Ti13Nb13Zr czego nie stwierdzono w przypadku stopu Ti6Al4V. W przypadku stopu Ti6Al4V najlepsze właściwości biologiczne uzyskano dla elektrolitu wzbogaconego o nanotlenek cynku.

Niezależnie od powyższego następujące kwestie wymagają dodatkowego omówienia przez Doktorantkę:

1. Z czego wynika różnica w opisywanych właściwościach biologicznych zmodyfikowanych stopów Ti13Nb13Zr oraz Ti6Al4V? przecież opisywane zjawiska zachodzą na powierzchni sfunkcjonalizowanych materiałów, która to pokryta jest warstwą tlenków. Proszę omówić jaka jest tego przyczyna uwzględniając różnice składu fazowego jak i chemicznego, a także stopnia szczelności wytworzonych powłok na wyżej wymienionych stopach.
2. Proszę wyjaśnić pojęcie „rozwiniecie morfologiczne” strona 62 oraz odniesienie go do poruszanego w dalszej części wypowiedzi, chropowatości powierzchni badanych materiałów oraz projektowanego efektu hydrofilowego i hydrofobowego powłok.
3. Proszę doprecyzować czy po procesie przetapiania laserowego powierzchni danego stopu dochodziło do zmiany jego składu chemicznego? Jeśli tak jakie zjawiska odpowiadają za wyższe wartości przyczepności warstw tlenkowych do uprzednio przetopionej warstwy stopów tytanu? Czy tylko za ten efekt odpowiada wzrost chropowatości powierzchni? Czy może to być także spowodowane zmianą energii układu i wzrostem oddziaływań



Politechnika Łódzka

Instytut Inżynierii Materiałowej



prowadzących także do generowania większej ilości wiązań chemicznych i fizycznych na granicy fazowej? Proszę o komentarz.

Praca napisana jest bardzo starannie. Czytelnik prowadzony jest w sposób logiczny po wszystkich etapach jej realizacji. O tym fakcie świadczą też periodyki, w których opublikowano niniejsze wyniki. Są to czasopisma o bardzo wysokich wartościach IF. Wynika to m.in. z zastosowania wielu nowoczesnych metod badawczych: X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS), X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscope (SEM), Atomic Force Microscopy (AFM), Nanoindentacji, Spektroskopia w Podczerwieni z Transformacją Fouriera (FTIR), a także prawidłowej interpretacji uzyskanych wyników badań. **Fakt ten potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia prac naukowych przez Kandydatkę.**

Praca jest bezwzględnie interdyscyplinarna. Natomiast jej główny nurt wpisuje się w dyscyplinę **inżynierię materiałową.**

Podsumowując, na podkreślenie zasługują następujące osiągnięcia doktorantki dotyczące opracowania podstaw technologicznych hybrydowej modyfikacji powierzchni stopów Ti13Nb13Zr oraz Ti6Al4V. Proces ten polega na przeprowadzeniu wstępnej obróbki laserem Nd:YAG badanych stopów z następczym mikroutlenianiem techniką MAO, z jednoczesnym wbudowaniem w strukturę Ti13Nb13Zr hydroksyapatytu oraz nanotlenku cynku w strukturę Ti6Al4V. Fakt ten przyczynił się do intensywnej poliferaacji komórek w odniesieniu do badanych stopów.

Powyższe osiągnięcia stanowią oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, co również znajduje swoje potwierdzenie w opublikowanych artykułach oznaczonych w przedłożonej dysertacji JS1-JS5.

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania art.187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późn.zm.) i wnioskuję o jej dopuszczenie do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

Biorąc pod uwagę wysoki poziom merytoryczny, szeroki zakres, aktualność tematyki oraz opublikowania jej wyników na łamach czasopism o wysokiej renomie naukowej zaliczam rozprawę do kategorii wybitnie dobrej i zasługującej na wyróżnienie. Autorka we wszystkich 5 publikacjach jest pierwszym autorem, a jej wkład w ich powstanie jest dominujący. Tym samym wnioskuję o uznanie rozprawy doktorskiej Pani Joanny Sypniewskiej za wyróżniającą się.



3. Wniosek końcowy.

Podsumowując, uważam, że recenzowana praca wpisuje się w światowy nurt badawczy dotyczący opracowania nowoczesnych materiałów o ponadprzeciętnych właściwościach biologicznych predysponowanych do zastosowań w implantologii. Ponadto Doktorantka wykazała się samodzielnością w planowaniu i prowadzeniu eksperymentów badawczych stosując przy tym stosowne metody i techniki badawcze. **Cel i teza pracy został osiągnięty.** Uzyskane wyniki stanowią przyczynek do dalszych badań i analiz, w tym badań z wykorzystaniem innych dodatków, w tym wpływu składu chemicznego stosowanych substratów.

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późn.zm.) i wnioskuję o jej dopuszczenie do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa.



Signed by / Podpisano
przez:

Łukasz Piotr
Kaczmarek
Politechnika Łódzka

Date / Data: 2025-09-
28 22:46

Prof. dr hab. inż. Łukasz Kaczmarek