

dr hab. Joanna Lewandowska-Łańcucka, prof. UJ
Zespół Nanotechnologii Polimerów i Biomateriałów
e-mail: joanna.l.lewandowska@uj.edu.pl



UNIwersytet
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Kraków, 2 lipca 2026 r

**Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Gabrieli Gąsior**

pt.: „Biodegradowalne materiały na bazie żelaza – wpływ porowatej architektury i stabilności warstwy produktów korozji na proces degradacji oraz odpowiedź biologiczną”

Wydział Chemii

Recenzja została opracowana na podstawie decyzji
Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Wydziału Chemii Uniwersytetu im.
Mikołaja Kopernika w Toruniu z dnia 8 maja 2026 r.

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr inż. Gabrieli Gąsior została przygotowana pod kierunkiem Pani dr hab. Aleksandra Radtke, prof. Uniwersytetu im. Mikołaja Kopernika w Katedrze Chemii Nieorganicznej i Koordynacyjnej UMK. Badania były prowadzone w ramach grantów finansowanych przez Narodowe Centrum Nauki w tym grantu Preludium BIS a także grantu NAWA Preludium BIS.

Podjęta tematyka badawcza; omówienie istotności badań

Recenzowana rozprawa obejmuje badania, których celem było opracowanie, optymalizacja oraz kompleksowa charakterystyka strukturalna i biologiczna *in vitro* porowatych rusztowań żelaznych, wytwarzanych metodą replikacji z użyciem szablonów polimerowych. Doktorantka skoncentrowała się na weryfikacji nowatorskiej hipotezy, zakładającej, że świadome projektowanie architektury porowatej oraz kontrola stabilności warstwy produktów korozji stanowią skuteczniejsze narzędzia regulacji kinetyki degradacji niż tradycyjna modyfikacja składu stopowego. Podjęta w niniejszej rozprawie doktorskiej tematyka badawcza jest niezwykle istotna zarówno z naukowego, jak i społecznego punktu widzenia. Odpowiada ona bowiem na globalne wyzwania zdrowotne związane z chorobami układu krążenia, w tym w szczególności z chorobą wieńcową (CAD), która pozostaje główną przyczyną śmiertelności w krajach wysoko rozwiniętych. Dynamiczny rozwój biomateriałów biodegradowalnych stanowi bezpośrednią odpowiedź na zapotrzebowanie kliniczne na implanty tymczasowe, które po spełnieniu swojej funkcji ulegają bezpiecznej resorpcji w organizmie. Zaproponowana w pracy strategia, polegająca na zintegrowanym podejściu do projektowania struktur żelaznych,

ul. Gronostajowa 2

30-387 Kraków

tel. +48 12 686 26 00

fax +48 12 686 27 50

sekretar@chemia.uj.edu.pl

www.chemia.uj.edu.pl



gdzie architektura porowata i warstwa produktów korozji są traktowane jako równorzędne czynniki sterujące procesem degradacji, wydaje się być niezwykle obiecującym podejściem badawczym. Tym samym Doktorantka podjęła się bardzo ambitnego zadania, dążąc do zrozumienia i kontrolowania złożonych mechanizmów korozyjnych w warunkach fizjologicznych, co jest kluczowe dla przewyciężenia/minimalizacji ograniczeń aplikacyjnych czystego żelaza. Warto podkreślić, iż podjęta w pracy tematyka wymagała wysoce interdyscyplinarnego podejścia, biegłości w zaawansowanych technikach badawczych jak również głębokiego zrozumienia procesów elektrochemicznych oraz mechanizmów odpowiedzi komórkowej w kontakcie z produktami degradacji. Doktorantka z powodzeniem wyszła naprzeciw takiemu kompleksowemu ujęciu, łącząc analizę mikrostrukturalną z badaniami funkcjonalnymi w warunkach statycznych i dynamicznych.

Omówienie i ocena merytoryczna pracy

Rozprawa Pani mgr inż. Gabrieli Gąsior liczy łącznie 380 stron, została napisana w języku polskim i ma układ klasyczny. Praca składa się z dwóch głównych części – teoretycznej i doświadczalnej (z czego sam wstęp teoretyczny zaprezentowano na 165 stronach). Całość poprzedzona jest wstępem, na który składają się wprowadzenie do podjętej tematyki badawczej a także bardzo ciekawy podrozdział 3.2. zatytułowany *Logika struktury rozprawy i sposób jej interpretacji*. Część teoretyczna pracy stanowi wnikliwy przegląd literatury przedmiotu, skupiający się na złożonych mechanizmach degradacji żelaza oraz znaczeniu architektury porowatej dla mikrośrodowiska biologicznego. Autorka w przemyślany i uporządkowany sposób zaprezentowała kolejne rozdziały, wprowadzając Czytelnika w poruszane zagadnienia układające się w logiczną całość. Doktorantka rzetelnie przygotowała fundament merytoryczny dla wyników badań własnych, kreśląc przy tym niezbędny kontekst kliniczny, materiałowy oraz technologiczny. Przykładowo rozdział 5 traktuje o Trwałych metalach w konstrukcji stentów. Doktorantka omawia najważniejsze metale niebiodegradowalne wykorzystywane na przestrzeni lat do konstrukcji stentów wieńcowych i obwodowych — w tym stal austenityczną, stopy kobaltu i chromu (Co–Cr), chromu i platyny (Pt–Cr), tantal (Ta) oraz stopy niklu i tytanu. Autorka koncentruje się przy tym na ich właściwościach oraz zachowaniu w środowisku fizjologicznym, wskazując jednocześnie na istotne ograniczenia kliniczne tych materiałów. Rozdział wieńczy znakomicie sformułowane podsumowanie, w którym zamieszczono tabele zestawiające omawiane metale pod kątem ich właściwości mechanicznych, fizycznych i biologicznych, a także aspektów technologicznych oraz wad materiałowych. Taka synteza trafnie uzasadnia potrzebę dalszego rozwoju rusztowań o charakterze bioresorbowalnym, stanowiących przedmiot analizy w kolejnej części pracy. Ten przyczynowo-skutkowy sposób prowadzenia wywodu sprawia, iż z dużym zainteresowaniem śledzi się tok myślenia Autorki.

ul. Gronostajowa 2

30-387 Kraków

tel. +48 12 686 26 00

fax +48 12 686 27 50

sekretar@chemia.uj.edu.pl

www.chemia.uj.edu.pl



Praca jest bardzo obszerna, ale Doktorantka zadbała o komfort Czytelnika przygotowując rozprawę, w której każdy rozdział ma swoje merytoryczne uzasadnienie! Niewątpliwie wymagało to od Pani Gąsior ogromnego nakładu pracy i zaangażowania, ale zdaniem Recenzentki wynik końcowy jest absolutnie wyróżniający. **Doktorantka nie unika trudnych pytań i złożonych zagadnień – wręcz przeciwnie sama na nie dojrzałe wskazuje.** Przykładowo przechodząc do kwestii związanych z rusztowaniami bioresorbowalnymi (BRS) nie ogranicza się wyłącznie do kwestii biodegradowalności i uwzględnia również wymagane inne funkcjonalności w tym stabilność mechaniczną, obojętność biologiczną i wymagania zabiegowe (np. elastyczność podczas implantacji czy widoczność implantu w promieniowaniu rentgenowskim). We wstępie do rozdziału 8 dotyczącego żelaza Autorka pisze wprost, iż jej intencją nie jest cytując „idealizacja żelaza, lecz krytyczna analiza jego rzeczywistego potencjału i ograniczeń w świetle współczesnej wiedzy materiałowej”. Doktorantka sprawnie operuje literaturą przedmiotu, włączając do analizy wyniki badań *in vitro* oraz *in vivo*, co pozwala Jej na sformułowanie trafnych spostrzeżeń i wskazanie istotnych prawidłowości. Warto podkreślić, że Autorka z dużą biegłością posługuje się specjalistyczną terminologią, dbając przy tym o zachowanie pełnej spójności i przejrzystości. Zdaniem Recenzentki na szczególną uwagę i docenienie zasługują również zamieszczone w pracy dane dotyczące badań klinicznych odnoszących się np. do żelaznych BRS (rozdział 8.6). Doktorantka nie tylko zestawiała wyniki/status badań dla trzech systemów stenów (w tym IBS Angel™, IBST™ (DES), IBS Titan™) ale również na ich podstawie zaprezentowała autorskie podsumowanie nakreślając dalsze perspektywy rozwoju. To kolejny przykład na kompletność zaprezentowanych we wstępie treści i ich głęboko przemyślanej kompozycji. W rozdziale 9 Doktorantka omówiła technologie wytwarzania układów żelaznych (m.in. stapianie, obróbkę plastyczną i cięcie laserowe, metalurgię proszków i spiekanie, elektroformowanie, elektroprzędzenie, druk 3D metalu) zwracając uwagę na różnice w uzyskiwanej mikrostrukturze i porowatości. Tymczasem w kolejnym rozdziale mamy logiczną kontynuację i szeroko zakrojone rozważania dotyczące korelacji porowatość/mikrostruktura żelaza a jego korozja, biogodność oraz właściwości mechaniczne a wszystko poparte solidnym przeglądem literaturowym.

Uwagę Recenzentki zwróciły również starannie sformułowane tytuły wybranych rozdziałów, czego doskonałym przykładem jest rozdział 13: „*Ramy interpretacyjne degradacji porowatych struktur żelaznych w świetle literatury*”. Rozdział ten stanowi niezwykle trafne, syntetyczne podsumowanie części teoretycznej rozprawy. Warto podkreślić, że to właśnie w tym miejscu, bazując na wnioskach z przeprowadzonego, obszernego przeglądu literatury, Doktorantka zaproponowała autorski, hierarchiczny model kontroli degradacji żelaza i jego stopów. W opracowanym modelu przyjęto, iż kluczową rolę w

ul. Gronostajowa 2

30-387 Kraków

tel. +48 12 686 26 00

fax +48 12 686 27 50

sekretar@chemia.uj.edu.pl

www.chemia.uj.edu.pl



procesie degradacji *in vivo* odgrywają właściwości powierzchni. To one determinują szybkość korozji, rodzaj powstających produktów oraz tendencję do pasywacji lub lokalnej aktywacji materiału. Z kolei rdzeń metalu, definiowany przez skład chemiczny i mikrostrukturę, warunkuje potencjał degradacyjny — rozumiany jako podatność na reakcje elektrochemiczne — który pozostaje jednak ściśle zależny od stanu warstwy wierzchniej. Autorka wskazuje na trzy współzależne czynniki: (i) charakter i przewodnictwo warstwy tlenkowej, (ii) stabilność i adhezję produktów korozji oraz (iii) przepuszczalność powierzchni dla jonów Fe^{2+}/Fe^{3+} . Ich wspólne uwzględnienie pozwala na zrozumienie i przewidywanie zachowania materiału, niezależnie od składu stopu. Zdaniem Recenzentki jest to ujęcie bardzo oryginalne, zwłaszcza ze względu na bezpośrednią korelację z efektami klinicznymi, takimi jak czas resorpcji czy drożność naczynia. Co istotne, model ten jest uniwersalny — pozwala na opis zarówno czystego żelaza, jak i systemów o złożonym rdzeniu

Zaprezentowany wstęp teoretyczny dowodzi dojrzałości naukowej Doktorantki i jej umiejętności dokonywania wnikliwego i krytycznego przeglądu literaturowego. Autorka znakomicie orientując się w literaturze przedmiotu, świetnie poruszając się przy tym w zagadnieniach na pograniczu inżynierii materiałowej, chemii i medycyny.

Celem części doświadczalnej pracy było opracowanie, otrzymanie i kompleksowa charakterystyka porowatych struktur żelaza wytwarzanych metodą replikacji z wykorzystaniem polimerowych szablonów na bazie pianki poliuretanowej (PU) o strukturze otwartej oraz gąbki melaminowej (Mel) o drobnoziarnistej porowatości. Koncepcja badawcza obejmowała kolejno (i) proces syntezy, (ii) optymalizację parametrów spiekania, (iii) charakterystykę mikrostrukturalną i powierzchniową, (iv) analizę degradacji i mechanizmów korozji a także (v) badania biokompatybilności produktów korozji. Otrzymane struktury żelazne umożliwiły Doktorantce analizę zależności architektura porów - stabilność strukturalna – mechanizm degradacji *in vitro*. Jak podkreśliła Autorka jej intencją nie było zaprojektowanie odpowiedników klinicznych stentów naczyniowych, lecz opracowanie modelu stanowiącego narzędzie pozwalające na ocenę wpływu topologii i parametrów procesu wytwarzania na zachowanie porowatego żelaza.

Struktura tej części rozprawy została zaplanowana tak, aby odzwierciedlać kolejne etapy pracy – począwszy od optymalizacji metod wytwarzania, poprzez szczegółowe badania korozyjne, aż po testy biologiczne. Doktorantka Przyjęta strategię zapewniła spójną prezentację uzyskanych rezultatów oraz umożliwiła Autorce dokonanie przejrzystego powiązania parametrów technologicznych z mikrostrukturą, porowatością, degradacją i odpowiedzią biologiczną. Na szczególne podkreślenie zasługuje dojrzałość w planowaniu metodologii badawczej. Doktorantka zastosowała szereg metod



eksperymentalnych, które pozwoliły je na realizację przyjętej koncepcji badawczej w tym m.in. skaningową mikroskopię elektronową (obserwacje mikrostruktury i morfologii), mikroanalizę rentgenowską EDX (ocena jednorodności chemicznej szkieletu), dyfrakcję rentgenowską XRD (identyfikacja faz krystalicznych materiału wyjściowego oraz produktów korozji po testach degradacyjnych), spektroskopię Ramana (analiza produktów degradacji), metodę adsorpcji azotu (BET) (wyznaczenie powierzchni właściwej oraz mikro/mezoporowatości ściany porów). Testy degradacji prowadzono zarówno w układzie statycznym jak i dynamicznym (wykorzystując przy tym autorski model przepływowy!) a ich uzupełnieniem były pomiary elektrochemiczne, które umożliwiły wyznaczenie parametrów korozyjnych (potencjał korozyjny E_{corr} oraz gęstość prądu korozyjnego i_{corr}) i dokonanie ilościowej oceny podatności korozyjnej opracowanych materiałów. Badania biologiczne obejmowały ewaluację odpowiedzi komórkowej na odpowiednio zebrane ekstrakty materiałowe (wybrano 4 linie komórkowe w tym ludzkie: komórki mięśni gładkich aorty i komórki śródbłonna żyły pępowinowej a także mysie: fibroblasty i makrofagi). W ramach oceny biologicznej wykonano testy MTT (służące ocenie żywotności, proliferacji i cytotoksyczności) oraz LDH (ocena uszkodzenia błon komórkowych), a także oznaczono stężenia wybranych cytokin za pomocą testu immunoenzymatycznego, co pozwoliło określić potencjał pro- i przeciwzapalny materiałów. Doktorantka precyzyjnie zdefiniowała swój wkład w tę część rozprawy, obejmujący współdziałanie w opracowaniu koncepcji eksperymentów oraz samodzielną interpretację i powiązanie wyników z pozostałymi rezultatami badawczymi. Warto odnotować, że badania te zrealizowano we współpracy z dr. hab. Tomaszem Jędrzejewskim z Katedry Immunologii UMK w Toruniu, co dodatkowo podnosi rangę merytoryczną uzyskanych danych.

Doktorantka w toku realizacji planu badawczego napotykała na różne trudności i komplikacje – jak sama to bardzo barwnie ujęła (w rozdziale 16.7) „problemy eksploatacyjne (...) stanowiły integralny element długotrwałych badań prowadzonych w wymagających warunkach procesowych”. Zapewne dzięki m.in. wytrwałości i determinacji Autorki po bardzo licznych próbach i po ponad 2 latach systematycznych prac, udało się wypracować zoptymalizowaną (stabilną i powtarzalną) wersję technologii. Również w tej części pracy Autorka zamieściła liczne tabele (np. *Tabela 16.1 Porównanie zachowania melaminy i poliuretanu podczas pirolizy oraz ich konsekwencji technologicznych dla procesu replikacji przestrzennej; Tabela 16.2 Zestawienie głównych problemów technologicznych, ich przyczyn oraz wdrożonych rozwiązań podczas optymalizacji procesu wytwarzania pian żelaznych*) znakomicie porządkujące i uzupełniając dojrzałą dyskusją otrzymanych wyników. Dzięki takiemu ujęciu rozprawa jeszcze bardziej zyskuje na czytelności i przejrzystości.



Przedstawiona część doświadczalna stanowi niewątpliwą dowód dojrzałości naukowej Doktorantki, jest potwierdzeniem Jej umiejętności projektowania i prowadzenia eksperymentów, a także świadectwem zdolności do krytycznej analizy i interpretacji uzyskanych wyników.

Przykładowo, analizując porowatość otrzymanych pian żelaznych, Autorka wykorzystuje metodę Archimedesesa, trafnie wskazując przy tym na jej ograniczenia. Dążąc do uzyskania pełnego obrazu struktury, konsekwentnie sięga po metody uzupełniające, takie jak obrazowanie SEM oraz niskotemperaturową adsorpcję azotu. Rozdział wieńczy podsumowanie, w którym zestawiono wyniki uzyskane z trzech komplementarnych źródeł, co pozwoliło na sformułowanie rzetelnych i spójnych wniosków. Warto również odnotować, że Doktorantka dostrzega możliwość dalszego rozszerzenia charakterystyki materiałów, wskazując na potencjał zastosowania mikrotomografii rentgenowskiej (micro-CT).

Wydział Chemii

Szczególnie wartościowa poznawczo jest przeprowadzona w pracy analiza porównawcza struktur otrzymanych na różnych szablonach polimerowych. Autorka wykazała, że architektura porów bezpośrednio narzuca odmienne reżimy kinetyczne degradacji, co stanowi dowód na to, że geometria porowata jest parametrem istotnie determinującym aktywność korozyjną materiału. W strukturach o wysokiej otwartości (PU) dominował mechanizm powierzchniowo kontrolowany o niemal liniowym ubytku masy, wynikający z intensywnej wymiany medium. Z kolei w strukturach melaminowych (Mel), zaobserwowano dwufazowy charakter degradacji będący następstwem i większej zawłości sieci kanałów i retencji produktów korozji.

W zakresie modyfikacji składu materiałowego Autorka wykazała, że wpływ dodatków stopowych (Mn, Cu) pozostaje podporządkowany architekturze porowatej. Warto zauważyć, że choć dodatek manganu zwiększał globalną reaktywność osnowy, a obecność miedzi sprzyjała zjawisku mikrogalwanizacji, to przebieg procesu degradacji w czasie pozostawał zdeterminowany przede wszystkim przez strukturę rusztowania. Podobną zależność zaobserwowano w przypadku powłok polimerowych na bazie poli(ϵ -kapolaktonu) (PCL) i układu PCL z 5% kwasu acetylosalicylowego (PCL-ASA), w przypadku których skuteczność barierowa była silnie skorelowana z geometrią porów. Interesującym wnioskiem jest również wykazanie, że poprzez hydrolizę ASA można celowo modyfikować lokalne pH i destabilizować warstwę produktów korozji, co otwiera drogę do projektowania systemów typu *drug delivery*.

Doktorantka bardzo swobodnie porusza się w zagadnieniach dotyczących charakterystyki fizykochemicznej opracowanych systemów. Niemniej również część poświęcona badaniom biologicznym została opracowana z należytą starannością i zrozumieniem. Eksperymenty biologiczne *in vitro* na liniach

ul. Gronostajowa 2

30-387 Kraków

tel. +48 12 686 26 00

fax +48 12 686 27 50

sekretar@chemia.uj.edu.pl

www.chemia.uj.edu.pl



UNIWERSYTET
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Wydział Chemii

komórkowych zaprojektowano stosując różne testy i metody, dzięki czemu możliwym było otrzymanie rzetelnych danych.

Na uznanie zasługuje również krytyczna refleksja Doktorantki nad przyjętą metodologią badań. Autorka bardzo trafnie wskazała na istotne rozbieżności, jakie mogą występować pomiędzy krótkoterminowymi pomiarami elektrochemicznymi a rzeczywistym ubytkiem masy materiału w czasie. Jest to niezwykle ważny głos w dyskusji nad standardami oceny metali biodegradowalnych. Doktorantka słusznie argumentuje, że parametry takie jak E_{corr} czy i_{corr} , choć pomocne w opisie stanu początkowego, okazują się niewystarczające do wiarygodnego prognozowania zachowania struktur o złożonej geometrii w dłuższym terminie. Ta odważna krytyka uproszczonych schematów oraz propozycja przejścia ku analizie wieloparametrycznej nie tylko świadczy o dużej dojrzałości naukowej Pani Gąsior, ale przede wszystkim stanowi o istotnym nowatorstwie i wysokiej wartości merytorycznej całej rozprawy.

Ważnym elementem pracy, który w ocenie Recenzentki zasługuje na szczególne wyróżnienie, jest podjęcie przez Doktorantkę próby opracowania prototypu o geometrii zbliżonej do rzeczywistej architektury implantacyjnej (rozdział 20). W tym celu jako szablon wykorzystano komercyjny stent polimerowy (PLA), który poddano infiltracji zawiesiną proszku żelaza, a następnie procesom usuwania matrycy i spiekania. To przejście od prostych struktur piankowych do form o wysokim stopniu złożoności geometrycznej pozwoliło na realną weryfikację potencjału technologicznego metody replikacji przestrzennej. Wykorzystując ocenę makroskopową (w tym testy obciążeń manualnych) oraz obrazowanie SEM, Autorka udowodniła, że możliwe jest wierne przeniesienie skomplikowanej architektury rusztowej na materiał metaliczny. Jednocześnie, co po raz kolejny świadczy o dużej dojrzałości badawczej i krytycyzmie naukowym Doktorantki, Pani Gąsior otwarcie wskazała na obecne ograniczenia tej technologii. Przyznaje ona, że uzyskana struktura charakteryzuje się jeszcze ograniczoną ciągłością i dużą podatnością na deformacje, co pozwoliło Jej na precyzyjne sformułowanie wytycznych dla przyszłych badań (poprawa jednorodności materiału, ścisła kontrola grubości żeber, optymalizacja parametrów spiekania). Takie rzetelne ujęcie tematu potwierdza, że Autorka nie tylko sprawnie podejmuje ambitne wyzwania konstrukcyjne, ale potrafi również dokonać obiektywnej oceny uzyskanych rezultatów i wskazać merytoryczną ścieżkę dalszego rozwoju opracowanego modelu

W końcowych rozdziałach rozprawy Doktorantka syntetycznie podsumowuje uzyskane wyniki, wskazując na najważniejsze osiągnięcia oraz elementy nowości naukowej. Kluczową część pracy wieńczą rozważania dotyczące dalszych planów badawczych, co po raz kolejny dowodzi dużej dojrzałości i świadomości naukowej Doktorantki oraz Jej umiejętności samodzielnego

ul. Gronostajowa 2

30-387 Kraków

tel. +48 12 686 26 00

fax +48 12 686 27 50

sekretar@chemia.uj.edu.pl

www.chemia.uj.edu.pl



prowadzenia badań. Rozprawę uzupełniają starannie przygotowane spisy skrótów, tabel i ilustracji, a także dwa wartościowe aneksy. W Aneksie 1 Autorka przybliżyła rys historyczny rozwoju leczenia chorób serca, natomiast w Aneksie 2 szczegółowo omówiła metody formowania, modyfikacji oraz funkcjonalizacji polimerowych stentów bioresorbowalnych. Warto podkreślić imponujący wykaz literatury, obejmujący aż 540 pozycji, które są aktualne i ściśle związane z tematyką pracy.

Uwagi i pytania do Doktorantki

Recenzowaną rozprawę oceniam bardzo wysoko, nie mając wątpliwości co do jej istotnej wartości merytorycznej. Jednocześnie z obowiązku Recenzentki chciałabym wskazać na wybrane zagadnienia, które w mojej ocenie wymagają dodatkowego wyjaśnienia/doprecyzowania. Pragnę przy tym podkreślić, iż przedstawione poniżej uwagi nie mają charakteru krytyki i należy je traktować wyłącznie jako zaproszenie do dyskusji naukowej.

1. W badaniach biologicznych wykorzystano cztery linie komórkowe w tym ludzkie komórki mięśni gładkich aorty (HASMC), ludzkie komórki śródbłonna żyły pępowinowej (HUVEC), mysie fibroblasty (L929) i mysie makrofagi (RAW 264.7). W tym zestawieniu zastanawia mnie czym sugerowano się wybierając jako model mysie fibroblasty. Proszę o komentarz.
2. Badania biologiczne koncentrowały się na ocenie odpowiedzi komórkowej na produkty degradacji opracowanych materiałów (z wykorzystaniem ekstraktów). Czy w toku prac rozważano uzupełnienie tego obrazu o eksperymenty *in vitro* w kontakcie bezpośrednim? Podzielałabym opinię Doktorantki, że w przypadku struktur porowatych o tak złożonej architekturze interpretacja wyników w kontakcie bezpośrednim może być metodologicznie trudna. Niemniej, biorąc pod uwagę, że w warunkach *in vivo* kontakt ten jest nieunikniony, wydaje się, że warto byłoby przeprowadzić choćby pilotażowe testy hemokompatybilności (np. hemolizy krwi). Proszę o komentarz.
3. Eksperymenty degradacji prowadzone w autorskim modelu przepływowym ujawniły zwiększoną destabilizację materiałów oraz ryzyko fragmentacji, co jest szczególnie istotne w kontekście bezpieczeństwa przyszłych zastosowań klinicznych. Czy zdaniem Doktorantki możliwa jest taka optymalizacja technologii wytwarzania, która pozwoliłaby zminimalizować ten efekt? Który z etapów procesu produkcyjnego odgrywa w tym aspekcie kluczową rolę?

Wydział Chemii

ul. Gronostajowa 2

30-387 Kraków

tel. +48 12 686 26 00

fax +48 12 686 27 50

sekretar@chemia.uj.edu.pl

www.chemia.uj.edu.pl



4. W części dotyczącej prototypu wskazano na trudny kompromis między złożonością architektury a stabilnością mechaniczną struktury. Które z wymienionych w pracy parametrów optymalizacji (np. parametry spiekania czy kontrola grubość żeber) zdaniem Doktorantki mogą okazać się kluczowe, by zbliżyć zaprezentowany model do funkcjonalnego wyrobu medycznego?
5. Czy w świetle przeprowadzonych badań zdaniem Doktorantki, technologia replikacji przestrzennej jest optymalna dla stentów, czy być może lepiej sprawdzi się w innych rodzajach implantów? Proszę o komentarz.

Rozprawa została napisana piękną polszczyzną. Tekst pracy jest płynny, logiczny i spójny terminologicznie. W tekście pojawiają się bardzo nieliczne niedociągnięcia edytorskie [np. *Mpa* zamiast MPa (str 44), nadmiarowe spacje (str 44, str 66/67, 69), *wykazuje jak silnie anodowy* (str 58), *metoda testy* (str 176), *próbki.rialu* (str 213), *zaabsorbowana ilość* (opis skali rzędnych na rys 17.11)]. Pani Gąsior zadbała również o wysoką jakość szaty graficznej. Rozprawa jest wzbogacona licznymi ilustracjami, wykresami i tabelami, co podnosi czytelność i jakość przygotowanego opracowania.

Wydział Chemii

Na podkreślenie zasługuje również znaczący dorobek naukowy Doktorantki. Pani Gąsior jest współautorką pięciu prac opublikowanych w renomowanych czasopismach (m.in. *Journal of Functional Biomaterials*, *European Cells and Materials* czy *Journal of Polymer Research*) o sumarycznym współczynniku wpływu $IF=20,4$. Warto zaznaczyć, że jedna z publikacji ma charakter przeglądowy. W dwóch pracach Pani Gąsior jest pierwszą Autorką. Indeks Hirscha Doktorantki według bazy Scopus wynosi 3, przy liczbie 117 cytowań (stan na 02.07.2026 r.), co stanowi bardzo dobry wynik, biorąc pod uwagę fakt, iż prace te zostały opublikowane w latach 2021-2025. Dorobek naukowy Doktorantki obejmuje również współautorstwo publikacji oraz liczne wystąpienia konferencyjne, podczas których Pani Gąsior prezentowała wyniki swoich badań zarówno w formie plakatów, jak i referatów. Pani Gabriela była wielokrotną laureatką stypendium Rektora Politechniki Rzeszowskiej dla najlepszych studentów, a także dwukrotną stypendystką Fundacji LOTTO (programy „65 na 65” oraz „100 na 100”). Na szczególne wyróżnienie zasługują zagraniczne staże naukowe odbyte w latach 2021–2023, m.in. w Michigan Technological University (USA) oraz na University of Malta. Tego typu aktywność międzynarodowa nie jest standardem w dorobku doktorantów, co tym bardziej należy docenić. Pani Gąsior pełniła również rolę wykonawcy-doktoranta w projekcie PRELUDIUM BIS (NCN), kierowanym przez dr hab. Aleksandrę Radtke, prof. UMK.

ul. Gronostajowa 2

30-387 Kraków

tel. +48 12 686 26 00

fax +48 12 686 27 50

sekretar@chemia.uj.edu.pl

www.chemia.uj.edu.pl



Wniosek końcowy

Podsumowując, recenzowana rozprawa prezentuje spójną koncepcję badawczą o istotnym znaczeniu poznawczym oraz aplikacyjnym. Całość przedstawionych wyników i wniosków pozwala stwierdzić, że praca ta stanowi dojrzałe, wieloaspektowe studium, które istotnie poszerza wiedzę na temat mechanizmów degradacji porowatych struktur żelaznych i wyznacza nowe standardy w ich projektowaniu oraz charakterystyce. Rozprawa ma charakter interdyscyplinarny, co wymagało od Pani Gąsior opanowania wielu technik badawczych, a także dogłębnego zrozumienia procesów zachodzących na pograniczu chemii, biologii i medycyny. Zdaniem Recenzentki za szczególne osiągnięcia niniejszej pracy należy uznać: (i) zaproponowanie autorskiego, hierarchicznego modelu kontroli degradacji żelaza i jego stopów, (ii) opracowanie autorskiego układu do badań degradacji w warunkach przepływowych, oraz (iii) wytworzenie prototypu stentu naczyniowego o geometrii zbliżonej do architektury implantacyjnej z wykorzystaniem metody replikacji przestrzennej. Nie mam wątpliwości, iż Pani Gąsior jest znakomicie przygotowana do dalszej, samodzielnej pracy naukowej.

Tym samym, po uważnej analizie przedłożonej do recenzji pracy stwierdzam, iż spełnia one formalne wymagania stawiane przewodom doktorskim i warunki określone w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018. poz. 1668 z późn. zm.) w odniesieniu do rozpraw doktorskich. W związku z tym wnoszę do Rady Dyscypliny Nauki Chemicznej Wydziału Chemii Uniwersytetu im. Mikołaja Kopernika w Toruniu o dopuszczenie Pani mgr inż. Gabrieli Gąsior do dalszych etapów przewodu doktorskiego. **Jednocześnie biorąc pod uwagę wysoki poziom merytoryczny recenzowanej rozprawy, aktualność podjętej tematyki jak również udokumentowany i znaczący dorobek publikacyjny Doktorantki wnioskuję o jej wyróżnienie.**

ul. Gronostajowa 2

30-387 Kraków

tel. +48 12 686 26 00

fax +48 12 686 27 50

sekretar@chemia.uj.edu.pl

www.chemia.uj.edu.pl