AGH
AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
KATEDRA BIOMATERIAŁÓW I KOMPOZYTÓW

Prof. dr hab. inż. Elżbieta PAMUŁA
Prodziekan ds. Nauki WIMiC

Kraków, 29 lipca 2022

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgr inż. ŻANETY GARCZYK
pt. "*Trójwymiarowy model jako narzędzie do wyznaczania objętości porów biomateriału przeznaczonego do implanta*cji"
zrealizowanej pod kierunkiem Promotorów
Dr. hab. Sebastiana Stacha, Prof. UŚ
Dr. hab. inż. Andrzeja Swinarewa, Prof. UŚ

Recenzja została opracowana na podstawie decyzji
Rady Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna Politechniki Śląskiej
oraz zlecenia Przewodniczącego Rady Dyscypliny
Prof. dr. hab. inż. Marka Gzika
z dnia 26 maja 2022

Dostępność do prostych i skutecznych metod i narzędzi pozwalających na opis mikrostruktury materiałów porowatych odgrywa istotną rolę przy projektowaniu i testowaniu materiałów do różnych zastosowań, np. katalitycznych, filtracyjnych, ale również biomedycznych. Biomateriały porowate, w tym ceramiczne mają bardzo duży potencjał jako substytuty kości i nośniki leków.

Pani mgr inż. Żaneta Garczyk w swojej rozprawie doktorskiej zajęła się opracowaniem narzędzia pozwalającego na wygenerowanie trójwymiarowego modelu mikrostruktury porowatego biomateriału korundowego otrzymanego metodą spieniana chemicznego. Zastosowała w pracy oryginalne podejście polegające na wykorzystaniu obrazów otrzymanych za pomocą skaningowego mikroskopu konfokalnego powierzchni badanego materiału, na

WIMiC
Akademia Górniczo-Hutnicza | Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
Katedra Biomateriałów i Kompozytów
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, tel. +48 12 617 44 48, fax. +48 12 617 33 71
e-mail: epamula@agh.edu.pl, www.ceramika.agh.edu.pl
Regon: 000001577, NIP: 675 000 19 23

podstawie których możliwe było określenie założeń i dostarczenie niezbędnych danych do stworzenia takiego modelu.

Podjęta przez doktorantkę tematyka odgrywa istotną rolę w kontekście projektowania biomateriałów kościozastępczych. Dlatego uważam, że wybór tematyki rozprawy doktorskiej jest trafny i uzasadniony.

Rozprawa doktorska pani mgr inż. Żanety Garczyk została zredagowana w języku polskim i liczy 107 stron.

Na początku rozprawy znajduje się wprowadzenie i streszczenie pracy. Potem jest rozdział 2 oparty na doniesieniach literaturowych zatytułowany „Analiza stanu zagadnienia", który zajmuje 48 stron. Rozdział 4 to „Cele i zakres rozprawy" (1 strona). Najważniejszą część rozprawy stanowi rozdział 5 „Badania własne" (30 stron) i rozdział 6 „Wnioski końcowe o podsumowanie" (2 strony). Pracę kończy spis 148 pozycji literaturowych, a także spis rysunków i tabel. Praca zawiera również streszczenie i abstrakt w języku angielskim, a więc pod względem formalnym praca spełnia również wymagania ustawowe.

Pobieżna analiza rozprawy wskazuje, że proporcja pomiędzy częścią literaturową a doświadczalną została nieco przesunięta na korzyść części literaturowej.

W części literaturowej w rozdziale 3.1 autorka omówiła zagadnienia dotyczące najważniejszych grup biomateriałów, przyjmując jako kryterium podział stosowany w naukach inżynierskich, a mianowicie kolejno były to biomateriały metalowe, ceramiczne, polimerowe, węglowe i kompozytowe. Odnośnie materiałów metalowych doktorantka wyróżniła cztery podstawowe grupy tych materiałów (stale austenityczne, stopy kobaltu, tytan i jego stopy a także stopy z pamięcią kształtu) a ponadto podkreśliła ich największe zalety i obszary zastosowań w medycynie. Do tej części mam tylko jedną uwagę: autorka zamiennie używa wyrażenia „biomateriały metalowe" i „biomateriały metaliczne". Termin

"metaliczne" częściej odnosi się do rodzaju wiązań chemicznych, dlatego w tym kontekście sugerowałabym używanie terminu „biomateriały metalowe". Odnośnie biomateriałów ceramicznych zostały omówione te, które ulegają resorpcji w organizmie, cechują się kontrolowaną reaktywnością oraz określane są jako obojętne (inertne). Do tych ostatnich doktorantka zaliczyła ceramikę korundową i cyrkonową. W tym miejscu chciałabym zgodzić się ze stwierdzeniem autorki, że ceramika korundowa posiada dobre właściwości mechaniczne, w tym wysoką wytrzymałość na ściskanie i ścieranie oraz wysoką twardość. Trudno zgodzić mi się jednak ze stwierdzeniem, że posiada też dobrą wytrzymałość na zginanie. Generalnie wszystkie materiały ceramiczne posiadają niską wytrzymałość na zginanie i najlepiej pracują, gdy działają na nie obciążenia ściskające. Odnośnie podrozdziału dotyczącego biomateriałów polimerowych doktorantka najpierw opisała wymagania, jakie im są stawiane a następnie omówiła polimery pochodzenia naturalnego i syntetycznego, a te ostatnie sklasyfikowała jako niedegradowalne, degradowalne i bioresorbowalne. Do tego podrozdziału mam jedną uwagę nomenklaturową: zgodnie z zaleceniami Międzynarodowej Unii Chemii Czystej i Stosowanej (UIPAC) nazwy polimerów, które są dwuczłonowe powinno się pisać z wykorzystaniem nawiasu (np. poli(tereftalan etylenu) zamiast politeraftalan etylenu czy poli(kwas mlekowy) a nie polikwas mlekowy). Druga uwaga dotyczy niefortunnego sformułowania, jakoby polimery cechowały się „lekkością" (str. 15) – doktorantce zapewne chodziło o ich niską gęstość. Odnośnie biomateriałów węglowych doktorantka pisze, że są to „biomateriały o najmniejszym zastosowaniu" – tu może lepiej było napisać, że są najrzadziej stosowane, albo stanowią najmniejszy udział w rynku wyrobów medycznych. W podrozdziale dotyczącym biomateriałów kompozytowych przedstawiono kompozyty o różnych osnowach ze wzmocnieniem włóknistym i z użyciem cząstek oraz ich najważniejsze obszary zastosowań w medycynie. Nie mam uwag krytycznych do tego podrozdziału.

W rozdziale 3.2 doktorantka skupiła się na zagadnieniach dotyczących porowatości biomateriałów, opisała rodzaje porów a także wpływ porowatości biomateriałów na integrację z tkankami. Za szczególnie wartościowy uważam akapit, w którym zestawia najważniejsze doniesienia literaturowe dotyczące wpływu wielkości porów na proces osteointegracji i mineralizacji (str. 25) oraz definiuje parametry opisujące materiały porowate, takie jak porowatość otwarta i zamknięta, kształt, wielkość i rozkład wielkości porów, powierzchnia właściwa porów, przepuszczalność gazów i cieczy.

Rozdział 3.3 dotyczy szeroko pojętej porowatej bioceramiki i obejmuje zarówno opis metod jej otrzymywania jak i wykorzystanie w charakterze materiału kościozastępczego, do pokrywania implantów i jako nośnik leków. Rozdział został bardzo dobrze zredagowany i znalazłam tylko kilka niefortunnych sformułowań, które podaję z obowiązku recenzentki, np. zamiast wyrażenia, że „materiały powinny poddawać się sterylizacji" należało użyć wyrażenie, że „powinny być podatne na sterylizację", (str. 32), zamiast wyrażenia "wysoka powierzchnia materiału" należało użyć terminu „wysokie rozwiniecie powierzchni" (str. 33), zamiast "kości mają strukturę porową" napisać, że mają strukturę "porowatą" (str. 35). Zamiast „fosforek wapnia" należało napisać „fosforan wapnia" (str. 37), zaś prawidłowym wyrażeniem jest „narządy wewnętrzne" a nie „organy wewnętrzne" (str. 44).

Rozdział 3.4. stanowi niejako kompendium wiedzy na temat metod wyznaczania porowatości biomateriałów, do których należą metody grawimetryczne, porozymetria gazowa i rtęciowa, metody mikroskopowe i mikrotomografia komputerowa.

Podsumowując, nie mam istotnych uwag krytycznych do części literaturowej pracy doktorskiej pani mgr inż. Żanety Garczyk. Została ona zredagowany starannie, wszystkie zawarte w niej treści są w pełni uzasadnione tematyką pracy a powyższe uwagi nie obniżają wartości merytorycznej tej części pracy.

W rozdziale 4 określono cel główny rozprawy, którym było opracowanie trójwymiarowego modelu porów w biomateriale korundowym i weryfikacja modelu na materiale rzeczywistym oraz sześć celów pośrednich. Rozdział ten zawiera również zakres i plan rozprawy, który wynikał z postawionych celów.

W rozdziale 5 przestawione zostały wyniki badań własnych. Najpierw autorka podała, że materiał badawczy stanowiły próbki porowatego materiału korundowego wytworzonego metodą spieniania chemicznego i spiekania w temperaturze 1730°C. Następnie opisała zastosowane narzędzia badawcze (laserowy mikroskop konfokalny i mikrotomograf komputerowy) i sposób, w jaki dokonała akwizycji, przetwarzania i analizy obrazów z mikroskopu konfokalnego powierzchni próbek materiału korundowego. W dalszej części doktorantka dokonała pomiarów: liczby porów przypadających na jednostkową powierzchnię, średnic porów, powierzchni zajmowanej przez pory, a także obwodu porów. Następnie stwierdziła, że uzyskane histogramy średnic porów przyjmują rozkład Rayleigha oraz wyznaczyła parametry morfologiczne, które w kolejnej części posłużyły do opracowania trójwymiarowego modelu porów badanego biomateriału. Kolejny etap obejmował określenie założeń i zależności dla trójwymiarowego modelu porów, implementację modelu w środowisku programistycznym pakietu Matlab i przeprowadzenie symulacji komputerowej z wykorzystaniem opracowanego modelu. Model został zweryfikowany dwiema metodami: poprzez porównanie z wynikami analizy obrazów mikroskopowych powierzchni próbek oraz obrazów tych samych próbek analizowanych za pomocą mikrotomografii komputerowej.

Uzyskane wyniki pozwalają na stwierdzenie, że opracowany program jest w stanie wygenerować trójwymiarowy model mikrostruktury porowatego materiału korundowego na podstawie danych uzyskanych za pomocą skaningowego laserowego mikroskopu konfokalnego powierzchni tego materiału.

Podczas studiowania tej części pracy nasunęły mi się następujące pytania do dyskusji w czasie publicznej obrony:

1) Czy doktorantka miała możliwość wykorzystania opracowanego podejścia i napisanego przez siebie programu do analizy innych próbek materiałów ceramicznych otrzymywanych tą samą metodą, ale przy innych parametrach, a więc najprawdopodobniej różniących się średnicą i udziałem objętościowym porów?
2) Czy opracowany program można zastosować do wygenerowania modelu mikrostruktury w materiałach ceramicznych otrzymywanych innymi technikami, np. replikacji gąbki polimerowej czy za pomocą metod przyrostowych?
3) Czy można byłoby wykorzystać opracowane podejście, jeśli materiały porowate wykazywałyby anizotropię budowy mikrostrukturalnej?
4) Jakie zalety ma opracowane podejście w porównaniu z wykorzystaniem mikrotomografii komputerowej i komercyjnych programów pozwalających na generowanie trójwymiarowych obrazów materiałów porowatych?

Nie mam istotnych uwag krytycznych do rozprawy doktorskiej pani mgr inż. Żanety Garczyk. Praca ta została staranie przygotowana zarówno pod względem merytorycznym jak i edytorskim. Stanowi też przyczynek do poszerzenia wiedzy na temat opisu budowy mikrostrukturalnej biomateriałów ceramicznych.

Chciałabym podkreślić, że dysertacja doktorska pani mgr inż. Żanety Garczyk spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w dyscyplinie inżynieria biomedyczna w myśl obowiązującej Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2020 r. poz.85 z późn. zm). Na wymienione niewielkie niedociągnięcia głównie natury edytorskiej, zwróciłam uwagę z obowiązku recenzentki, aby doktorantka nie powielała ich w przyszłości w kolejnych swoich

pracach. Uwagi te w żaden sposób nie umniejszają mojej wysokiej oceny merytorycznej recenzowanej pracy. Pozostałe uwagi i pytania są zaproszeniem do dyskusji naukowej w trakcie publicznej obrony.

Uważam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim w myśl obowiązujących przepisów i w związku z tym wnoszę o jej przyjęcie oraz dopuszczenie pani mgr inż. Żanety Garczyk do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Podpisała Elżbieta Pamuła (podpis odręczny)