



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, 20 listopada 2021

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. ADAMA PATALASA
pt. *"Badanie procesu zagłębiania w kość wielospilkowego skafoldu
stawowej endoprotezy powierzchniowej"*
zrealizowanej pod kierunkiem Promotora
dr. hab. inż., dr. n.med. Ryszarda Uklejewskiego, Prof. UKW
i Promotora pomocniczego Dr. inż. Mariusza Winieckiego

Recenzja została opracowana na podstawie decyzji
Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna Politechniki
Warszawskiej oraz zlecenia Dziekana Wydziału Mechatroniki
Politechniki Warszawskiej Prof. dr. hab. inż. Gerarda Cybulskiego
z dnia 26 października 2021

Endoprotezoplastyka stawów, głównie biodrowego czy kolanowego jest obecnie jedną z najczęściej wykonywanych procedur medycznych w ortopedii. Wiąże się to z wciąż rosnącym zapotrzebowaniem na tego typu procedury, co jest związane ze zmianami demograficznymi, czyli zwiększającą się średnią oczekiwaną długości życia, co również przyczynia się globalnie do wzrostu liczby przypadków chorób osteodegeneracyjnych, które statystycznie znacznie częściej występują u osób w podeszłym wieku. Jeśli uwzględnimy jeszcze przypadki uszkodzeń stawów w wyniku wypadków komunikacyjnych, czy – paradoksalnie uprawiania sportu – wówczas rysuje się pełniejszy obraz dotyczący zapotrzebowania na wyroby medyczne, które pozwoliłyby na przywrócenie funkcji motorycznych pacjentom.



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

Bardzo ciekawym kierunkiem badawczym i aplikacyjnym jest opracowywanie różnorodnych rozwiązań pozwalających na leczenie i rekonstrukcję uszkodzonych stawów. I nie chodzi tu tylko o rozwijanie najbardziej powszechnego podejścia do tego tematu, a więc cementowych i bezcementowych endoprotez stawu biodrowego, ale również innych procedur, które byłyby mniej traumatyczne dla pacjentów, gdyż pozwalałyby jedynie na rekonstrukcję uszkodzonych powierzchni stawowych, oszczędzając zdrową tkankę kostną.

Pan mgr inż. Adam Patalas w swojej rozprawie doktorskiej przeprowadził szerokie badania symulacyjne i doświadczalne nad zachowaniem się wieloszpilkowej protezy w trakcie zagłębiania jej tkankę kostną. Badania te – oprócz celów poznawczych – miały na celu opracowanie efektywnego narzędzia komputerowego pozwalającego na projektowanie procesu osadzania w tkance kostnej personalizowanych powierzchniowych endoprotez stawu biodrowego. Tematyka protez wieloszpilkowych jest od wielu lat rozwijana w zespole Pana Prof. Uklejewskiego, co zaowocowało szeregiem publikacji, patentów, projektów, a systematyczne prace w tym zakresie doprowadziły do walidacji powyższego rozwiązania na modelach zwierzęcych, a w recenzowanej rozprawie doktorskiej – również na modelu ludzkiej kości *ex vivo*. Podjęta tematyka ma istotne znaczenie w kontekście wytwarzania nowej generacji endoprotez stawu biodrowego, które szczególnie nadawałyby się do rekonstrukcji powierzchni stawowych uszkodzonych w wyniku chorób zwyrodnieniowych. Podejście to jest stosunkowo małoinwazyjne i oszczędzające głowę i szyję kości udowej, przez co oddala konieczność implantacji typowej całościowej endoprotezy stawu biodrowego. Dlatego uważam, że wybór tematyki rozprawy doktorskiej jest jak najbardziej trafny, aktualny i w pełni uzasadniony.

Rozprawa doktorska pana mgr. inż. Adama Patalasa została zredagowana w języku polskim, liczy 158 stron i została wydana w 2021 roku przez Wydział Mechatroniki Politechniki Warszawskiej.

Na początku rozprawy znajduje się streszczenie pracy i *Abstract* w języku angielskim, następnie jest krótkie wprowadzenie, w którym zawarto również genezę, cel i zakres pracy oraz dwa rozdziały literaturowe zaznajamiające czytelnika z zagadnieniami endoprotezoplastyki stawu biodrowego oraz metodami numerycznymi i doświadczalnymi wykorzystywanymi w ocenie oddziaływań kość-implant. W dalszej części znajduje się aż pięć rozdziałów poświęconych eksperymentom przeprowadzonym przez doktoranta. Ostatni rozdział to podsumowanie przeprowadzonych badań i wyciągnięte z nich wnioski. Pracę kończy spis 187 pozycji literaturowych oraz załączniki przedstawiające m.in. niektóre wyniki badań, zgodę komisji bioetycznej czy potwierdzenie zgłoszenia wniosku patentowego. Pracę charakteryzuje bardzo dobra proporcja pomiędzy częścią literaturową a doświadczalną.

Wprowadzenie do pracy zostało bardzo dobrze zredagowane, cel jest jednoznacznie określony a teza właściwie sformułowana. W części literaturowej autor opisał anatomię i biomechanikę stawu biodrowego, jego choroby zwyrodnieniowe i metody leczenia za pomocą implantacji endoprotez długo- i krótkotrzeniowych, zwracając szczególną metodę na ich mocowanie cementowe i bezcementowe. W zakresie mocowania bezcementowego uważam za bardzo udane zebranie danych na temat sposobów modyfikacji powierzchni endoprotez zestawione syntetycznie w Tabeli 2.3, a także listę możliwych problemów pooperacyjnych alloplastyki stawu biodrowego zawartą w podrozdziale 2.3.2. Następnie autor opisał powierzchniowe endoprotezy stawu biodrowego, stosowane w tzw. kapoplastyce, skupiając się również na powikłaniach pooperacyjnych z nią związanych. Na końcu tej części pracy zaprezentował ideę i dotychczasowe wyniki dotyczące rozwiązania, będącego przedmiotem jego doktoratu, a więc prototypowej, bezcementowej endoprotezy mocowanej za pomocą wieloszpilekowego rusztowania. Kolejny rozdział zawiera przegląd piśmiennictwa w zakresie metod numerycznych stosowanych w analizie oddziaływań kość-implant.

Podoba mi się bardzo tabelaryczne zestawienie wyników najnowszych badań za pomocą metody elementów skończonych (MES) oddziaływań na granicy faz implant-kość. Wynika z niego jednak, że w literaturze jest bardzo mało doniesień na temat procesu osadzania implantów w tkance kostnej, co świadczy o tym, że prowadzone przez doktoranta prace są nowatorskie – zresztą tak jak sama badana przez niego proteza. W rozdziale tym zebrane zostały wyniki badań właściwości mechanicznych kości ludzkich i zwierzęcych w zależności od ich miejsca anatomicznego (Tabela 3.2), oraz umieszczono zestawienie norm dotyczących badań endoprotez stawów (Tabela 3.3). Na końcu tego rozdziału przedstawiono plan badań prowadzonych przez autora w ramach doktoratu w postaci czytelnego diagramu. Wynika z niego, że badania zostały dobrze przemyślane i zaplanowane.

Nie mam uwag krytycznych do części literaturowej pracy doktorskiej pana mgr. inż. Adama Patalasa. Twierdzę, że została ona zredagowana bardzo starannie pod względem merytorycznym i może być uznana za kompendium aktualnej wiedzy na temat endoprotez stawu biodrowego oraz metod badawczych stosowanych do ich analizy.

W części doświadczałnej pracy autor opisał najpierw wyniki badań numerycznych metodą elementów skończonych dotyczące wpływu cech geometrycznych wieloszpilkowego rusztowania (wysokość szpilek i odległość między podstawami szpilek, kąt wierzchołkowy i wielkość czaszy wierzchołkowej szpilek) na przenoszenie obciążeń w układzie kość-implant. Badania wykazały, że istnieje zależność między przenoszeniem obciążeń a budową rusztowań oraz, że za pomocą analizy numerycznej możliwe jest wyselekcjonowanie rusztowania o takiej geometrii, w której przenoszenie obciążeń w kości w kontakcie z implantem wieloszpilkowym będzie najbardziej zbliżone do fizjologicznego. Wyniki opisane w rozdziale 4. zostały już opublikowane w dwóch artykułach (*Applied Bionics and Biomechanis*, 2017 i *Computer*

Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, 2018), których mgr inż. Adam Patalas jest współautorem.

Rozdziały 5 i 6 stanowią – zdaniem moim – bardzo istotną część dysertacji doktorskiej, gdyż opisują wyniki zarówno przeprowadzonych badań doświadczalnych mechanicznego zagłębiania wieloszpilekowego rusztowania w kość gąbczastą, badań symulacyjnych za pomocą MES jak i oceny *in situ* tego procesu za pomocą mikrotomografii komputerowej (μ CT). Badania te pozwoliły na opracowanie modelu symulacyjnego pozwalającego na przewidywanie wartości przykładanej siły podczas zagłębiania modelowego rusztowania w tkankę kostną oraz na oszacowanie wytrzymałości połączenia kość-implant. Wyniki powyższych badań zostały opublikowane w czasopiśmie *Materials* w 2021 r.

Na podkreślenie zasługuje zaprojektowanie też oryginalnej przystawki do badania procesu zagłębiania bezpośrednio w komorze tomografu oraz dane wykazujące, że dochodzi do zagęszczenia kości poniżej obszaru kontaktu szpilki-kość. Uzyskane wyniki pozwoliły na zmodyfikowanie modelu symulacyjnego i ostateczne opracowanie modelu, który z bardzo dobrą dokładnością opisywał dane doświadczalne. Model taki może ponadto posłużyć do projektowania personalizowanych implantów wieloszpilekowych, różniących się konstrukcją w zależności od budowy i właściwości tkanki kostnej pacjenta.

Autor ponadto twierdzi, że najkorzystniejsze pod względem biomechanicznym jest osadzenie w kości rusztowania do połowy wysokości szpilek. I tu nasuwają mi się dwa pytania do dyskusji w czasie publicznej obrony pracy doktorskiej: 1) Co wg doktoranta będzie się działo w obszarze pomiędzy powierzchnią szpilek, która nie będzie w bezpośrednim kontakcie z tkanką kostną a podstawami szpilek, gdyż takie wprowadzenie implantu – przynajmniej na początku – zakłada istnienie pustki, która zapewne ulegnie wypełnieniu szpikiem kostnym lub płynami fizjologicznym?; 2) Czy w takim razie nie byłoby korzystniejsze zaprojektowanie rusztowań o zredukowanej wysokości szpilek?

W rozdziale 7 autor przedstawił wyniki badań za pomocą μ CT wpływu zagłębiania wieloszpilkowego rusztowania w beleczkową kość podchrzęstną głów kości udowych pobranych od pacjentów cierpiących na zwyrodnienie chrząstki stawowej, u których przeprowadzono pełną endoprotezoplastykę stawu biodrowego. Uważam, takie zaprojektowanie eksperymentu i uzyskane w jego wyniku rezultaty za bardzo wartościowe, gdyż pozwalają one na przewidywanie, jak taki implant na początku jego stosowania będzie się zachowywał w warunkach klinicznych. Proszę też o skomentowanie, czy – a jeśli tak, to – jak zdaniem doktoranta należy spreparować głowę kości udowej i przygotować ją do implantacji tego typu wieloszpilkowej protezy powierzchniowej?

W rozdziale 8 autor zaprezentował aplikację komputerową napisaną w *JavaScript*, mogącą wspomagać zarówno konstruktora personalizowanych wieloszpilkowych endoprotez jak i chirurga, który je będzie wszczepiał. Tak więc można uznać, że najważniejszy cel niniejszej pracy doktorskiej został również zrealizowany.

W rozdziale 9 zostały bardzo ładnie podsumowane wyniki przeprowadzonych eksperymentów, wyciągnięte wnioski szczegółowe i podsumowujące oraz nakreślone plany dalszych badań.

Nie mam istotnych uwag krytycznych do pracy doktorskiej pana mgr. inż. Adama Patalasa. Została ona starannie przygotowana zarówno pod względem językowym jak i edytorskim. Zauważyłam niewielką liczbę błędów edytorskich w całym tekście pracy, które przytaczam z obowiązku recenzentki (np. str. 18 – powinno być "ocenę siły mięśniowej" a nie "ocenę siłowy mięśniowej"; str. 28 „liczba komponentów" a nie „ilość komponentów", str. 32 „Przynosadowe trzpienie" a nie „Przynosadowej trzpienie"; str. 37 „Procesy te mają na celu ułatwienie komórkom adhezji..." a nie „Proces te mają na celu ułatwienie komórką adhezji..."; str. 46 "minimalizację, ...rehabilitację" a nie „minimalizacje, ...rehabilitacje"; str. 57 „elementy tetraedralne" a nie "element tetraedralne"; str. 89 „siła zagłębiania rośnie nieznacznie" zamiast "siła zagłębiania rośnie nieznani"; str. 100 „dodano wkładkę" a nie "dodano wkładka"; str.

101 „poprzeczy moduł Younga” a nie „tranwersalny moduł Younga”; str. 120 „umożliwia analizę”, a nie „umożliwia na analizę”; str. 122 „wszystkie punkty scenariuszy symulacyjnych” a nie „wszystkie punktu scenariuszów symulacyjnych”).

Na wymienione niewielkie niedociągnięcia natury edytorskiej, zwróciłam uwagę z obowiązku recenzentki, aby doktorant nie powielał ich w przyszłości w kolejnych swoich pracach. Uwagi te w żaden sposób nie umniejszają mojej wysokiej oceny merytorycznej recenzowanej pracy.

Na podkreślenie zasługuje też, że większość zaprezentowanych wyników została już opublikowana w dobrych periodykach o dużym współczynniku oddziaływania, ponadto kandydat do stopnia doktora jest współautorem wniosku zgłoszonego do Urzędu Patentowego. Nie ulega więc wątpliwości, że zarówno zakres prowadzonych badań i osiągnięte wymierne efekty świadczą, że pan mgr inż. Adam Patalas może pochwalić się bardzo dobrym dorobkiem, jak na ten etap rozwoju naukowego.

Uważam, że recenzowana rozprawa doktorska, tak ze względu na wartości naukowe, znaczenie poznawcze oraz wysoki poziom warsztatu naukowego, spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim w dyscyplinie inżynieria biomedyczna myśl ustawy i obowiązujących przepisów. W związku z tym, wnoszę o jej przyjęcie oraz dopuszczenie pana mgr. inż. Adama Patalasa do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Chciałabym jeszcze podkreślić, że praca pana mgr. inż. Adama Patalasa: 1) jest bardzo bogata metodycznie, gdyż autor wykorzystuje jednocześnie podejścia stosowane w szeroko rozumianej inżynierii biomedycznej, obejmującej zarówno biomechanikę, inżynierię biomateriałów i informatykę medyczną; 2) stanowi przyczynek do poszerzenia wiedzy na temat oddziaływań na granicy faz implanty-tkanka kostna; 3) dostarcza nowych i wartościowych informacji na temat projektowania nowoczesnych

materiałów implantacyjnych; 4) wskazuje, że pozyskana wiedza może być zastosowana praktycznie przy projektowaniu personalizowanych implantów; a ponadto doktorant 5) prezentuje wyniki, z których większość została opublikowana w czasopismach o wysokim współczynniku oddziaływania.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że praca doktorska pana mgr. inż. Adama Patalasa w pełni zasługuje na wyróżnienie.

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'E. Patalas', is located in the lower right quadrant of the page.