



Dr hab. inż. Janusz Szewczenko
Katedra Biomechatroniki
Wydział Inżynierii Biomedycznej
Politechnika Śląska
ul. Roosevelta 40
41-800 Zabrze

Zabrze, 19.02.2016 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Sonii LOSKI

pt.: „Badania struktury i własności fizykochemicznych Ti i stopu

Ti6Al4V ELI stosowanych na implanty w protetyce stomatologicznej”

wykonanej pod kierunkiem promotora

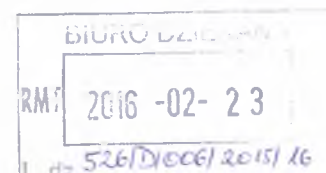
prof. dr. hab. inż. Zbigniewa Paszendy

Recenzja rozprawy doktorskiej została opracowana na podstawie uchwały Rady Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej z dnia 18.11.2015 roku oraz zlecenia Dziekana Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej prof. dr. hab. inż. Arkadiusza Mężyka (pismo RMT0-197/D/006/15/16).

1. Ocena oryginalności problematyki rozprawy doktorskiej

Brak lub niedostateczna higiena jamy ustnej w połączeniu ze złymi nawykami żywieniowymi są podstawowymi przyczynami rozwoju próchnicy zębów. W wyniku jej rozwoju dochodzi do uszkodzenia, a w przypadku braku leczenia do zniszczenia tkanek twardych zęba, konsekwencją czego może być konieczność jego ekstrakcji. Jednakże brak nawet pojedynczego zęba stanowi nie tylko problem estetyczny, lecz może być przyczyną wielu innych problemów, między innymi wad zgryzu oraz ubytków kostnych. Stąd potrzeba szybkiego uzupełnienia każdego ubytku, niezależnie od jego lokalizacji. Obecnie możliwe jest leczenie implantacyjne lub protetyczne.

W leczeniu protetycznym w przypadku znacznego lub całkowitego zniszczenia korony zęba, przy zachowanym w dobrym stanie korzeniu możliwe jest jego wykorzystanie jako naturalnego wszczepu służącego do rekonstrukcji zęba. W celu zapewnienia wymaganej wytrzymałości protezy niezbędne jest wprowadzenie do korzenia wkładu koronowo-korzeniowego, prefabrykowanego lub indywidualnego. Wkłady prefabrykowane wykonane są z biomateriałów metalowych (w tym z tytanu i jego stopów), ceramiki oraz kompozytów wzmocnianych włóknami szklanymi, kwarcowymi lub węglowymi.



Retencję protezy wykorzystującej wkład koronowo-korzeniowy można rozpatrywać w kontekście odporności na synergiczne oddziaływanie czynników mechanicznych oraz środowiska korozyjnego jamy ustnej, jak również tkanek ją otaczających. Generowane naprężenia zależne są od przenoszonych obciążeń oraz od kształtu i właściwości mechanicznych protezy. Oprócz kształtu powierzchni trzonu, korzeni oraz powierzchni nośnej na rozkład naprężeń wpływa wkład koronowo-korzeniowy, a w szczególności jego własności mechaniczne, zależne od rodzaju biomateriału, kształtu i wymiarów oraz sposobu implantacji. Bardzo ważnym czynnikiem jest również topografia powierzchni wszczepu, warunkująca jakość połączenia z cementem stomatologicznym. Ponadto własności fizyczne i chemiczne wszczepu, a w szczególności jego warstwy wierzchniej, determinują jego biokompatybilność oraz produktów jego degradacji.

W celu zapewnienia dobrych właściwości użytkowych wkładów koronowo-korzeniowych ich powierzchnię poddaje się różnym zabiegom modyfikowania warstwy wierzchniej. Wytworzona warstwa wierzchnia powinna zapewnić dobrą adhezję cementu stomatologicznego oraz biokompatybilność w środowisku tkanek i płynów fizjologicznych oraz jamy ustnej.

Analizując dane literaturowe można zaobserwować brak kompleksowych badań wpływu metod modyfikowania warstwy wierzchniej prefabrykowanych wkładów koronowo-korzeniowych z tytanu i jego stopów na ich własności fizyczne i chemiczne, w tym na odporność korozyjną oraz jakość połączenia z cementem stomatologicznym. Większość badań z zakresu retencji protez skupia się na jakości połączenia cementu stomatologicznego z zębina lub szkliwem. Dlatego uważam, że temat rozprawy jest aktualny i uzasadniony. Ponadto jest dobrze ukierunkowany zarówno w aspekcie poznawczym, jak i utylitarnym. Jest to zagadnienie interdyscyplinarne, wymagające prowadzenia badań z zakresu biomechaniki, inżynierii biomateriałów oraz inżynierii powierzchni. Praca dotyczy aspektów poznawczych dotyczących aplikacji biomateriałów metalowych w leczeniu protetycznym, aspektów technologicznych związanych z wytwarzaniem implantów, metodyki oceny ich własności użytkowych, jak i aspektów społecznych oraz ekonomicznych.

Tematyka pracy stanowi ponadto kontynuację problematyki badawczej rozwijanej od wielu lat przez prof. J. Marciniaka w Zakładzie Inżynierii Materiałów Biomedycznych Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, a obecnie w Katedrze Biomateriałów i Inżynierii Wyrobów Medycznych na Wydziale Inżynierii Biomedycznej Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

2. Ocena merytoryczna pracy i uwagi ogólne

Rozprawa doktorska ma tradycyjny układ i składa się z przeglądu piśmiennictwa, badań własnych, podsumowania wyników badań, wniosków, literatury oraz streszczenia rozprawy w języku polskim i angielskim. Obejmuje 155 stron, 99 rysunków, 33 tablice, 213 pozycje literaturowe.

Zaprezentowany przegląd piśmiennictwa jest obszerny i został opracowany na podstawie pozycji literaturowych polskich i zagranicznych, w większości obejmujących ostatnie dziesięciolecie. Pierwszy rozdział przeglądu piśmiennictwa zawiera charakterystykę układu stomatognatycznego. Doktorantka omówiła jego anatomię i funkcję, kładąc nacisk na uzębienie. Opisała również biomechaniczne aspekty narządu żucia, odnosząc się w szczególności do wielkości sił zwarciowych. Charakterystykę układu stomatognatycznego uzupełnia opis jego dysfunkcji oraz charakterystyka środowiska jamy ustnej. W rozdziale drugim opisała wkłady koronowo-korzeniowe jako składnik jednoczłonowych protez stałych. W szczególności przedstawiła wskazania do ich zastosowania, podział i własności wynikające z postaci konstrukcyjnej oraz materiału, z którego zostały wykonane. Rozdział trzeci przeglądu piśmiennictwa stanowi omówienie zagadnienia kształtowania właściwości użytkowych wkładów koronowo-korzeniowych i ich wpływu na jakość protez. Doktorantka przedstawiła wymagania stawiane biomateriałom metalowym stosowanym w protetyce stomatologicznej oraz wkładom koronowo-korzeniowym. Omówiła również metodykę i wyniki badań wytrzymałościowych protez, do wyznaczenia których wykorzystano metody numeryczne. Ponadto opisała metody modyfikowania warstw wierzchnich implantów metalowych stosowanych w protetyce stomatologicznej.

W przeglądzie piśmiennictwa zastrzeżenia budzi zbyt skrótowy opis biomateriałów metalowych stosowanych na wszczepy koronowo-korzeniowe oraz brak opisu cementów stomatologicznych. Natomiast w opisie badań wytrzymałościowych protez oraz metod modyfikowania warstwy wierzchniej Doktorantka ogranicza się głównie do omówienia metodyki badań, w sposób szczątkowy prezentując ich wyniki. Prezentacja tych informacji umożliwiłaby porównanie wyników badań uzyskanych w rozprawie z danymi literaturowymi.

Przegląd piśmiennictwa kończy synteza zaprezentowanych danych literaturowych, na podstawie których wskazano nie w pełni rozwiązane problemy. Zaliczono do nich brak opracowania warunków obróbki powierzchniowej wszczepów koronowo-korzeniowych zapewniających poprawę ich odporności korozyjnej i jednocześnie dobre połączenie z cementem kostnym. Rozwiązanie tego problemu przyczyni się do poprawy retencji jednoczłonowych protez stałych poddanych synergicznemu oddziaływaniu czynników mechanicznych i korozyjnego środowiska jamy ustnej oraz tkanek i płynów fizjologicznych ją otaczających.

Podsumowując, przegląd piśmiennictwa, pomimo kilku uwag, oceniam pozytywnie. Prawidłowy dobór literatury świadczy o dobrym rozeznaniu Autorki w problematyce badawczej realizowanej w różnych ośrodkach inżynierii biomedycznej i klinicznych.

Opracowane na podstawie analizy literatury cel i teza rozprawy doktorskiej wskazują, iż cechy użytkowe jednoczłonowych protez stałych stosowanych w protetyce stomatologicznej są efektem doboru struktury i własności mechanicznych biomateriału metalowego oraz własności fizycznych i chemicznych ich powierzchni, które można kształtować warunkami finalnej obróbki mechanicznej i elektrochemicznej.

Dla udowodnienia przyjętej tezy Doktorantka zaproponowała spójny merytorycznie program badawczy. W pierwszy etapie badań własnych przeprowadzono symulacje numeryczne obciążonego układu wkład koronowo-korzeniowy – ząb. Do symulacji wytypowano dwa prefabrykowane wkłady. Symulacji poddano model kła dolnego z całkowicie odbudowaną koroną protetyczną dla dwóch alternatywnych biomateriałów CP Ti Grade 4 i stopu Ti6Al4V ELI oraz dwóch wariantów obciążenia. Wariant I odzwierciedlał kontakt zębów górnych z kłem dolnym, wariant II przedstawił kontakt zębów górnych z powierzchnią wargową kła. Należy podkreślić, iż model układu wykonano z bardzo dużą starannością. Składał się on z wkładu, korzenia zęba, korony protetycznej, odbudowy kikuta, cementu, gutaperki, ożębnej oraz żuchwy dla której zamodelowano strefę kości gąbczastej i korowej. Wynikiem symulacji było wyznaczenie stanu przemieszczeń oraz naprężeń zredukowanych w modelu układu wkład koronowo-korzeniowy – ząb oraz wartości naprężeń stycznych we wkładzie i warstwie cementu. Wyznaczono ponadto wartość siły na granicy wkład - warstwa cementu. Uzyskane, bardzo interesujące wyniki wykazały, iż na wyznaczone wielkości wpływa kształt wkładu koronowo-korzeniowego oraz właściwości materiału, z którego jest wykonany. Natomiast największy wpływ miał sposób obciążenia. Uzyskane wyniki mogą stanowić podstawę do optymalizacji kształtu jak i właściwości mechanicznych biomateriału w celu uzyskania protez o optymalnej retencji. Jednakże patrząc na cel rozprawy wydaje się, iż zakres symulacji numerycznych jest zbyt obszerny. Natomiast dla tematu rozprawy najistotniejsze są wyniki wartości sił stycznych na granicy wkład-cement.

Drugi etap badań własnych stanowią badania materiałowe, których wyniki zaprezentowano w czterech podrozdziałach. W pierwszym określono strukturę materiału wykorzystanego do badań – CP Ti Grade 4, stopu Ti6Al4V ELI i wkładów koronowo-korzeniowych oraz właściwości stereologiczne ścierniw, piasku korundowego i kulek szklanych, używanych w dalszej części pracy do obróbki strumieniowo-ściernej.

W podrozdziale drugim dotyczącym wyników badań własności mechanicznych, przedstawiono profile twardości warstw wierzchnich próbek po obróbce strumieniowo-ściernej wykonanej przy zróżnicowanym ciśnieniu oraz rodzaju i gradacji ścierniwa, jak również pomiary adhezji cementu kostnego do biomateriałów o zmodyfikowanej warstwie wierzchniej. Analiza wyników umożliwiła określenie najkorzystniejszych warunków modyfikowania warstwy wierzchniej w celu zapewnienia dobrej adhezji cementu szklanojonomerowego wzmocnionego żywicą do powierzchni badanych biomateriałów.

Trzeci, bardzo obszerny podrozdział stanowią wyniki badań elektrochemicznych. Przeprowadzono badania odporności na korozję wżerową oraz szczelinową próbek oraz wkładów w środowisku sztucznej śliny. W badaniach wykorzystano próbki poddane kombinacji zabiegów: polerowania mechanicznego, obróbki strumieniowo-ściernej, utleniania anodowego oraz sterylizacji parowej. Dla wybranych wariantów próbek wykonano ponadto badania z wykorzystaniem elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej. Analizę wyników badań korozyjnych wykonano względem próbek poddanych polerowaniu mechanicznemu. Zaob-

serwowano, iż niezależnie od zastosowanych metod modyfikowania warstwy wierzchniej badanych biomateriałów jest ona odporna na korozję wżerową i szczelinową. Jednocześnie stwierdzono niekorzystny wpływ obróbki strumieniowo-ściernej na odporność korozyjną próbek oraz korzystny utleniania anodowego. Natomiast wkłady koronowo-korzeniowe nie były odporne na korozję wżerową, na ich powierzchni obserwowano występowanie uszkodzeń korozyjnych charakterystycznych dla tego typu korozji. Uważam, że dopełnienie wyników prezentowanych w tym podrozdziale powinny stanowić obserwacje mikroskopowe powierzchni próbek po badaniach potencjodynamicznych, w szczególności tych, dla których stwierdzono występowanie potencjału transpasywacji.

Ostatni podrozdział stanowią wyniki badań topografii powierzchni próbek poddanych obróbce strumieniowo-ściernej przedstawione za pomocą siedmiu parametrów chropowatości. Sądzę, że dla lepszej czytelności pracy oraz analizy uzyskanych wyników podrozdział ten powinien znajdować się za podrozdziałem „Wyniki badań metalograficznych mikroskopowych”.

Rozprawę kończą bardzo obszerne podsumowanie wyników oraz wnioski o charakterze poznawczym i aplikacyjnym.

Na podstawie analizy uzyskanych przez Doktorantkę wyników badań oraz wniosków z niej wypływających uważam, że cel pracy został osiągnięty, a teza wystarczająco udowodniona. Doktorantka wykazała się umiejętnością planowania badań, doboru i stosowania nowoczesnych metod badawczych oraz analizy wyników badań i wniosków z nich wynikających.

Do głównych osiągnięć Doktorantki zaliczam:

- opracowanie modeli numerycznych i symulację numeryczną obciążenia układu wkład koronowo-korzeniowy – ząb, a w szczególności wyznaczenia wartości sił stycznych na granicy wkład-cement stomatologiczny,
- opracowanie technologii modyfikowania powierzchni biomateriałów tytanowych zapewniających dobrą odporność korozyjną w środowisku sztucznej śliny oraz własności fizyczne i chemiczne powierzchni gwarantujące dobrą adhezję cementu stomatologicznego do podłoża.

Biorąc pod uwagę cel i zakres zrealizowanych przez Doktorantkę badań oraz zastosowane metody badawcze stwierdzam, że rozprawę można zakwalifikować do **dyscypliny Inżynieria Materiałowa**. Zawiera ona również element poznawcze i utylitarne z dziedziny inżynierii biomedycznej, w szczególności biomechaniki oraz inżynierii biomateriałów.

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską nasuwają się pewne pytania oraz uwidaczniają błędy:

- co zadecydowało o wyborze do symulacji numerycznej kła oraz wkładów koronowo-korzeniowych Flexi-Post oraz Flexi-Flange?
- jakie są własności wytrzymałościowe cementu szklanojonomerowego i jak odnoszą się one do naprężeń w warstwie cementu wyznaczonych w symulacjach numerycznych?

- jak proces utleniania anodowego wpływa na topografię powierzchni badanych biomateriałów?
- jak proces utleniania anodowego wpływa na profil twardości warstwy wierzchniej oraz adhezję cementu stomatologicznego do podłoża?
- opis pod rysunkami 8.27-8.39 powinien brzmieć „krzywe polaryzacji...” a nie „krzywe polaryzacji anodowej...”, a oś rzędnych powinna być opisana jako gęstość prądu a nie gęstość prądu anodowego,
- na rysunkach 8.42-8.44 na osi rzędnych zamiast opisu natężenie prądu powinna być gęstość prądu,
- na rysunku 8.35 brak jest krzywej polaryzacji próbki polerowanej mechanicznie.

Ponadto w pracy występują nieliczne błędy stylistyczne i edycyjne. Wymienione uwagi w większości są szczegółowe i nie wpływają na wartość naukową rozprawy.

3. Uwagi końcowe

Na podstawie analizy rozprawy doktorskiej mgr inż. Sonii Loski pt. „Badania struktury i własności fizykochemicznych Ti i stopu Ti6Al4V ELI stosowanych na implanty w protetyce stomatologicznej” stwierdzam, że zawiera ona wartościowe wyniki poznawcze wnoszące wkład do inżynierii materiałowej, a w szczególności inżynierii biomateriałów. Ocenianą pracę cechuje oryginalna tematyka, a udowodnienie postawionej tezy wymagało zastosowania nowoczesnych metod badawczych.

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Sonii Loski spełnia wymagania Ustawy o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz Stopniach i Tytule w zakresie sztuki z dnia 14.03.2003 r. (Dz. U. poz. 595 z późn. zm.) i **wniosuję do Rady Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej o dopuszczenie mgr inż. Sonii Loski do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.**






Opis bibliograficzny

Rodzaj pracy*	doktorska
Imię i nazwisko autora	Sonia Loska
Promotor (tytuł naukowy, imię i nazwisko, uczelnia, wydział, instytut)	Prof. dr hab. inż. Zbigniew Paszenda, Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Biomedycznej, Katedra Biomateriałów i Inżynierii Wyrobów Medycznych
Recenzenci (tytuł naukowy, imię i nazwisko, uczelnia, wydział, instytut)	Prof. dr hab. inż. Leszek Klimek, Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Instytut Inżynierii Materiałowej Dr hab. inż. Janusz Szewczenko, Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Biomedycznej, Katedra Biomechatroniki
Jednostka prowadząca przewód (uczelnia, wydział, instytut)	Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny
Miejsce pracy autora (uczelnia, wydział, instytut, instytucja)	
Data uzyskania stopnia naukowego	
Tytuł pracy	Badania struktury i własności fizykochemicznych Ti i stopu Ti6Al4V ELI stosowanych na implanty w protetyce stomatologicznej
Tytuł pracy w j. angielskim	Examination of structure and physicochemical properties of Ti and Ti6Al4V ELI alloy used for implants in dental prosthetics
Dziedzina naukowa**	NAUKI TECHNICZNE
Dyscyplina naukowa**	Inżynieria Materiałowa
Specjalność naukowa***	MODYFIKACJA POWIERZCHNI Ti I STOPÓW Ti
Słowa kluczowe (4 do 8)	tytan, Ti6Al4V ELI, wkład koronowo- korzeniowy, obróbka strumieniowo- ścierna, MES