

Poznań, dnia 29.02.2024

dr hab. inż. Tomasz Garbowski, prof. UPP
Katedra Inżynierii Biosystemów
Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

pt. „Badanie powierzchni i właściwości fizycznych stopu chromokobaltowego, tworzywa akrylanowego i materiałów wykorzystywanych w technologii druku 3D”

autorstwa lek. dent. Marcela Firleja

1. PODSTAWA FORMALNA OPRACOWANIA RECENZJI

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi Uchwała Kapituły Nauk Medycznych Uniwersytetu Medycznego im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu oraz pismo prof. dr hab. Marka Ruchały, Kanclerza Kolegium Nauk Medycznych z dnia 22 grudnia 2023, a także umowa o dzieło zawarta w dniu 09 stycznia 2023.

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY i KANDYDATA

Recenzowana praca doktorska autorstwa lek. dent. Marcela Firleja, pod kierunkiem Pani Promotor dr hab. n. med. Barbary Biedziak, afiliowanej przy Katedrze i Klinice Ortodontji i Wad Rozwojowych Twarzy Uniwersytetu Medycznego im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, obejmuje serię czterech publikacji poświęconych badaniom nad właściwościami mechanicznymi innowacyjnych materiałów stomatologicznych. Wśród nich znajdują się stopy kobaltu, materiały akrylanowe oraz te wykorzystywane w ramach technik druku 3D. Dokumentacja ta, obejmująca 121 stron, ma charakter eksperymentalny i zawiera elementy takie jak lista skrótów, indeks opublikowanych prac, które legły u podstaw wniosku o nadanie tytułu naukowego, przedstawienie aktywności naukowej autora, przegląd innych osiągnięć badawczych, komentarz twórcy, omówienie przedmiotu badań, bibliografię, streszczenia w języku polskim i angielskim, a także kopie artykułów wchodzących w skład cyklu publikacji.

Praca rozpoczyna się od spisu treści, który charakteryzuje się klarownym układem i zawiera odnośniki do stron rozpoczynających poszczególne rozdziały i sekcje. Dzięki temu czytelnik może łatwo nawigować po dokumentacji i szybko odnajdywać interesujące go informacje. Struktura pracy, zaplanowana w sposób logiczny i typowy dla dokumentów składających się z serii publikacji, ułatwia zrozumienie omawianych kwestii. Dokument jest zwięzły i miejscami może wydawać się zbyt ogólnikowy, dlatego wzbogacenie go o dodatkowe rozważania teoretyczne na kilkunastu stronach mogłoby wzmocnić przekonanie o głębokim zrozumieniu przez autora podstawowych zasad i narzędzi badawczych, które zostały zastosowane w pracy.



Dokument jest napisany poprawnym językiem polskim, zarówno pod względem redakcyjnym, jak i estetycznym oraz graficznym, co nie wywołuje zastrzeżeń. Mimo iż w tekście występują drobne błędy redakcyjne, szczegółowo omówione w sekcji 4.2 tej recenzji, nie umniejszają one ogólnej jakości pracy. Wybór literatury jest odpowiedni, choć nie wszystkie cytowane prace są bezpośrednio związane z tematem rozprawy, co świadczy o szerokich zainteresowaniach naukowych lek. dent. Marcela Firleja, wykraczających poza obszar badawczy jego dysertacji. Autor odwołuje się w sumie do 226 źródeł bibliograficznych w czterech publikacjach tworzących cykl oraz do 40 w autoreferacie, wśród których wymienia również pięć prac, w których jest współautorem.

Lek. dent. Marcel Firlej jest w sumie współautorem 12 prac naukowych o zróżnicowanej liczbie współautorów (od trzech do dziewięciu), w tym 8 z nich jest indeksowanych w bazie SCOPUS (H=5), oraz autorem jednego referatu konferencyjnego w formie rozszerzonego streszczenia. W pięciu artykułach pełni rolę pierwszego autora, a w dziesięciu współpracuje z Panią Promotorką, dr hab. Barbarą Biedziak. Istotne jest również to, że kilka z publikacji powstała we współpracy z naukowcami z innych uczelni krajowych, np. z Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, czy z Uniwersytetu Ekonomicznego z Lublina, a także z uczelni zagranicznych np. z Ukrainy co podkreśla interdyscyplinarny charakter badań.

Prezentowany zestaw publikacji ukazuje głębokie zrozumienie problematyki badanej w rozprawie doktorskiej, a także wskazuje na szerokie zainteresowania naukowe autora, które choć wykraczają poza bezpośredni zakres pracy, nadal mieszczą się w obszarze badań nad właściwościami mechanicznymi nowych materiałów stosowanych w stomatologii.

3. OCENA PRACY

Badania przeprowadzone przez lek. dent. Marcela Firleja koncentrują się na analizie właściwości mechanicznych stałych aparatów retencyjnych wykonanych za pomocą technologii druku 3D, będących nowoczesną alternatywą dla tradycyjnych retainerów metalowych w ortodoncji. Zainteresowanie kandydata tym tematem może wynikać z faktu, że celem leczenia ortodontycznego powinno być nie tylko uzyskanie poprawy funkcjonalnej i estetycznej ustawienia zębów, ale również utrzymanie tych rezultatów na stałe, co można osiągnąć za pomocą badanych w pracy retainerów. Autor zauważa ograniczenia metalowych stabilizatorów, takie jak ryzyko alergii i ograniczenia estetyczne, co skłoniło go do poszukiwania nowych materiałów. W badaniu wykorzystano próbki retainerów drukowanych 3D z żywicy Nextdent MFH Crown and Bridge N1, oceniając ich wytrzymałość, sprężystość, ugięcie i pełzanie pod wpływem obciążenia statycznego oraz kondycjonowania w sztucznej ślinie.

Wyniki jego prac wskazały, że grubość próbek miała znaczący wpływ na ich właściwości mechaniczne. Próbki o największej grubości (1,2 mm) charakteryzowały się najwyższym modulem sprężystości, ugięciem, pełzaniem i wytrzymałością. Zaskakująco, próbki o średniej grubości (1 mm) wykazały niższą wytrzymałość niż te o grubości 0,8 mm i 1,2 mm. Badania podkreśliły potencjalne zalety retainerów wykonanych metodą druku 3D, takie jak możliwość szybkiego i precyzyjnego wykonania, a także dopasowanie do indywidualnych potrzeb pacjenta pod względem grubości materiału, co może mieć wpływ na komfort użytkowania i efektywność retencji.

Ostatecznie, badanie sugeruje, że retainery drukowane 3D mają potencjał do zastąpienia tradycyjnych retainerów metalowych, oferując lepsze właściwości mechaniczne, estetykę oraz redukcję ryzyka alergii. Wyniki te otwierają drogę do dalszych badań nad optymalizacją materiałów i technik druku 3D w celu ich zastosowania w ortodoncji.

Celem pierwszej pracy było przedstawienie kompleksowej analizy wpływu środowiska wodnego, symulowanego przez sztuczną ślinę, na właściwości mechaniczne i tribologiczne materiałów stosowanych w technologii CAD/CAM w stomatologii. Badanie koncentruje się na żywicach używanych do produkcji tymczasowych uzupełnień protetycznych i ortodontycznych, takich jak szyny zgryzowe, tymczasowe korony, czy nakłady kompozytowe, które mają kluczowe znaczenie w wieloetapowym leczeniu stomatologicznym. Celem tych uzupełnień jest nie tylko zapewnienie stabilności zębów i kształtowania tkanek miękkich, ale również tolerancja przez pacjentów dzięki precyzyjnemu dopasowaniu możliwemu do osiągnięcia dzięki technologii CAD/CAM.

Autor skupia się na różnych rodzajach żywic, zarówno tradycyjne utwardzanych promieniami UV, jak i nowszych materiałach hybrydowych, aby zbadać, jak proces starzenia wpływa na ich twardość, elastyczność oraz odporność na zużycie. Wykorzystano do tego celu próbki w postaci cylindrycznych krążków i sześciątów, które zostały poddane procesowi starzenia poprzez kondycjonowanie w sztucznej ślinie przez okres sześciu miesięcy w warunkach symulujących naturalne środowisko jamy ustnej.

W badaniu zastosowano szereg metod pomiarowych, w tym pomiary twardości wgłębnej, testy tarcia oraz pomiary zużycia ślizgowego, aby dokładnie ocenić, jak materiały zachowują się pod wpływem sztucznego starzenia. Analiza wyników pokazała, że wszystkie badane materiały wykazują zmiany w właściwościach mechanicznych po procesie starzenia, co sugeruje, że wilgotne środowisko jamy ustnej może negatywnie wpływać na trwałość i funkcjonalność uzupełnień tymczasowych.

Dalsza analiza statystyczna pozwoliła na głębsze zrozumienie zależności między składem chemicznym, strukturą materiału a jego odpornością na procesy starzenia. Znaczące różnice między materiałami w kontekście twardości i odporności na zużycie podkreślają potrzebę dokładnego doboru materiałów w zależności od oczekiwanej długotrwałości uzupełnień stomatologicznych.

Publikacja ta wnosi istotny wkład w zrozumienie, jak proces starzenia wpływa na nowoczesne materiały stosowane w stomatologii, podkreślając konieczność bieżącej oceny i dostosowywania wyboru materiałów w praktyce klinicznej, aby zapewnić pacjentom uzupełnienia o optymalnej trwałości i estetyce.

Celem kolejnej pracy w cyklu była analiza właściwości mechanicznych stałych aparatów retencyjnych wykonanych przy użyciu technologii druku 3D, co stanowi nowatorskie podejście w dziedzinie ortodoncji. Praca ta wnika w zagadnienie retencji ortodontycznej, podkreślając jej znaczenie jako kluczowego etapu w leczeniu ortodontycznym, mającego na celu utrzymanie zębów w poprawionej, zarówno funkcjonalnej, jak i estetycznej pozycji. Autorzy zwracają uwagę na ewolucję materiałów używanych do produkcji retainerów, od tradycyjnych drutów po nowoczesne żywice wykorzystywane w druku 3D, podkreślając potencjalne korzyści związane z eliminacją metali z jamy ustnej.

Przedmiotem badań były próbki retainerów wydrukowane z żywicy Nextdent MFH Crown and Bridge N1 na drukarce Phrozen MINI4k, które poddano różnym testom w celu oceny ich wytrzymałości pod obciążeniem statycznym oraz kondycjonowaniu w sztucznej ślinie. Autorzy szczegółowo badali wpływ grubości retainerów na ich wytrzymałość na zginanie, sprężystość, ugięcie oraz pełzanie, dostarczając cenne informacje na temat zachowania materiału pod wpływem obciążenia oraz w warunkach symulujących środowisko jamy ustnej.

Rezultaty badań ujawniły znaczące różnice w właściwościach mechanicznych retainerów w zależności od ich grubości. Najwyższe wartości wytrzymałości i sprężystości osiągnęły próbki o największej grubości (1,2 mm), co sugeruje ich lepszą odporność na obciążenia. W przeciwieństwie do oczekiwań, próbki o średniej grubości (1 mm) wykazywały niższą wytrzymałość niż te o grubości 0,8 mm,

co stanowi zaskakujące odkrycie. Moim zdaniem, w tym miejscu brakuje głębszej analizy tych obserwacji.

Podsumowując, praca dostarcza przekonujących dowodów na to, że stałe aparaty retencyjne wykonane metodą druku 3D mogą stanowić skuteczną i estetycznie akceptowalną alternatywę dla tradycyjnych retainerów metalowych. Przede wszystkim, badanie to podkreśla możliwość dostosowania grubości retainerów do indywidualnych potrzeb pacjenta, zwiększając tym samym komfort noszenia oraz ułatwiając utrzymanie higieny jamy ustnej. Retainery wykonane tą metodą mogą w przyszłości zrewolucjonizować podejście do retencji ortodontycznej, szczególnie dla pacjentów z alergiami na metale lub wygórowanymi oczekiwaniami estetycznymi..

Praca nr 3 jest kontynuacją poprzednich prac w cyklu. Badanie przeprowadzone przez kandydata koncentruje się na analizie właściwości powierzchniowych polimerowych materiałów żywicznych stosowanych w technologii druku 3D DLP UV, która jest popularną metodą druku ze względu na wysoką precyzję i gładkość powierzchni wytworzonych modeli. W artykule zbadano trzy popularne rodzaje żywic: Phrozen ABS-like, Phrozen Standard Beige i Monocure 3D, pod kątem ich twardości indentacyjnej, odporności na zarysowania, modułu sprężystości oraz zużycia ślizgowego w kontakcie z twardymi elementami metalowymi.

Wyniki badań pokazują różnice między badanymi żywicami w zakresie ich odporności na zarysowania i zużycie ślizgowe, co jest kluczowe dla oceny ich przydatności w różnych zastosowaniach stomatologicznych, takich jak wytwarzanie modeli protetycznych. Monocure 3D wykazał najlepsze właściwości w teście odporności na zarysowania, co czyni go preferowanym materiałem do zastosowań wymagających wysokiej jakości powierzchni. Natomiast Phrozen ABS-like odznaczał się najlepszymi właściwościami w testach zużycia ślizgowego, sugerując jego potencjalne zastosowanie w produkcji elementów, które są narażone na tarcie powierzchniowe, jak korony protetyczne.

Autor podkreśla, że twardość indentacyjna, odporność na zarysowanie i zużycie ślizgowe są parametrami niezależnymi, co oznacza, że wysoka twardość materiału nie gwarantuje automatycznie jego odporności na zużycie czy zarysowania. To ważne spostrzeżenie wskazuje na potrzebę kompleksowej oceny właściwości materiałów przed ich wyborem do konkretnych zastosowań klinicznych.

Publikacja ta wnosi cenny wkład do wiedzy o materiałach wykorzystywanych w nowoczesnych technologiach druku 3D w stomatologii, podkreślając znaczenie dokładnej analizy ich właściwości mechanicznych i tribologicznych. Badanie to jest krokiem naprzód w zrozumieniu, jak właściwości materiałów żywicznych mogą wpływać na ich wydajność i trwałość w zastosowaniach klinicznych, co ma bezpośrednie implikacje dla praktyki stomatologicznej.

W ostatni w cyklu pracy porównano właściwości tribologiczne (dotyczące tarcia, zużycia i smarowania) materiałów stosowanych w technologii druku 3D DLP (Digital Light Processing), które charakteryzują się podobną twardością Shore'a. Celem badań była analiza wytrzymałości, trwałości oraz odporności na zużycie ściernie i zarysowanie materiałów w środowisku korozyjnym sztucznej śliny, co jest istotne dla oceny ich potencjalnego zastosowania klinicznego w stomatologii.

W badaniach wykorzystano żywice stomatologiczne: Gr-17.1 temporary lt, Gr-10 guide i G-17 temporary, które znajdują zastosowanie m.in. w produkcji szyn odciążających, koron oraz nakładów tymczasowych. Próbkę materiałów poddano testom twardości Shore'a, zużycia liniowego oraz odporności na zarysowanie po wcześniejszym kondycjonowaniu w sztucznej ślinie.

Wyniki badań wykazały, że materiał Gr-17.1 temporary It charakteryzował się najwyższą twardością Shore'a oraz najwyższą odpornością na zarysowanie, co czyni go odpowiednim do zastosowań wymagających wysokiej wytrzymałości powierzchniowej, jak korony tymczasowe. Z kolei materiał GR-10 guide, mimo niższej twardości i odporności na zarysowanie, wykazał najwyższą odporność na zużycie ślizgowe w sztucznej ślinie, co sugeruje jego przydatność do długotrwałych uzupełnień ruchomych, zwłaszcza u pacjentów zgrzytających zębami.

Badanie podkreśla, że pomiar twardości Shore'a nie jest jednoznacznym wskaźnikiem odporności materiałów na zużycie w środowisku korozyjnym, co oznacza, że konieczne jest przeprowadzenie bardziej szczegółowych analiz tribologicznych. Analiza wyników badań tarcia ślizgowego w sztucznej ślinie dostarcza cennych informacji o zachowaniu materiałów w warunkach zbliżonych do klinicznych, co ma bezpośrednie znaczenie dla wyboru odpowiednich materiałów w praktyce stomatologicznej.

Podsumowując, praca wnosi istotny wkład do badań nad materiałami stosowanymi w technologii druku 3D DLP w stomatologii, oferując kompleksową analizę ich właściwości tribologicznych. Wyniki badań mogą być przydatne dla klinicystów w doborze odpowiednich materiałów w zależności od indywidualnych potrzeb pacjentów oraz specyficznych wymagań klinicznych.

Po dokładnym zapoznaniu się z opisem badań oraz komentarzami autora, pojawia się wiele ogólnych pytań dotyczących zastosowania niektórych terminów technicznych, które są powszechnie używane w dziedzinie inżynierii mechanicznej i materiałowej. Zauważalne jest nietypowe lub nieprecyzyjne użycie określeń, co prowadzi do pytania o ich znaczenie i zastosowanie w kontekście badawczym. Zastanawiający jest również zakres badań, w którym, moim zdaniem, zabrakło pewnych fundamentalnych właściwości materiałów, takich jak ich sztywność czy zachowanie pod wpływem obciążeń długotrwałych. Te obserwacje skłaniają do refleksji nad stopniem zrozumienia przez autora kluczowych pojęć mechanicznych, podnosząc pytania o kompleksowość i dokładność przeprowadzonych analiz. Czy według Kandydata próbki o różnej geometrii, wykonane z tego samego materiału powinny mieć różne parametry materiałowe?

4. UWAGI KRYTYCZNE I DYSKUSYJNE

4.1. Strona merytoryczna

Podczas analizy omawianej dysertacji doktorskiej nie dostrzegłem istotnych błędów merytorycznych. Autor z sukcesem wykonał zadania naukowe, które sobie postawił, polegające na krytycznej analizie różnych materiałów często używanych w ortodoncji. Dzięki temu udało się ocenić praktyczność każdego z nich, uwypuklając zarówno ich pozytywne, jak i negatywne aspekty. Autor wykazał się również solidną wiedzą na temat aktualnych badań w dziedzinie, jak również zdolnościami do przeprowadzania eksperymentów i rozwiązywania problemów naukowych.

Prezentowane badanie oferuje ciekawe i ważne porównanie wybranych cech różnych materiałów wykorzystywanych w ortodoncji, skupiając się na ich właściwościach mechanicznych. Niemniej jednak, w mojej opinii, w opracowaniu brakuje głębszego zrozumienia stosowanych technik i analizowanych parametrów. Brak jest również bardziej praktycznego ujęcia metod badawczych, co jest o tyle istotne, że przekraczają one obszar wiedzy nabytej przez Kandydata podczas studiów na Uniwersytecie Medycznym w Poznaniu. Ponadto, odczuwalny jest brak podstawowych definicji pojęć używanych przez autora. Dodanie choćby krótkiego wprowadzenia teoretycznego w autoreferacie mogłoby lepiej przybliżyć temat czytelnikom i recenzentom niezaznajomionym z inżynierią i techniką, a także tym z dziedziny medycznej i nauk o zdrowiu, umożliwiając im zrozumienie, że Kandydat zdobył podstawową wiedzę w nowym dla siebie obszarze naukowym.

4.2. Strona redakcyjna

W trakcie lektury analizowanej rozprawy doktorskiej zauważyłem drobne usterki redakcyjne, które przedstawiam poniżej.

- a) Wykaz stosowanych skrótów – w literaturze branżowej stosuje się oznaczenia z indeksem dolnym dla większości prezentowanych wielkości fizycznych;
- b) Aktywność naukowa – Autor w chaotyczny sposób prezentuje chronologię swoich osiągnięć;
- c) Aktywność naukowa -> Wykładowca na konferencjach i kursach W Polsce i za granicą – moim zdaniem w tym zestawieniu brakuje informacji o nazwach tych konferencji oraz ich organizatorach;
- d) Strona 12 - Autor wskazuje sumaryczny IF oraz sumę punkty MNIÉ, a jak wyglądają te wskaźniki z uwzględnieniem procentowego udziału współautorów?
- e) Strona 13 – „...oraz dobrych właściwościach mechanicznych i sprężystych, przeciwdziałających się siłom zgryzowym” – Jak Autor skwantyfikuje dobre właściwości mechaniczne? Czy właściwości sprężyste materiału są czymś oderwanym od mechanicznych właściwości? Jak wg Autora właściwości mechaniczne materiału mogą się czemuś przeciwstawiać?
- f) Strona 14 – „Duży stopień porowatości wpływa negatywnie na właściwości mechaniczne, prowadząc do powstania odkształceń i pęknięć zmęczeniowych.” – czy tak faktycznie jest?
- g) Strona 16 – „Jednak wraz ze wzrostem oczekiwań pacjentów i lekarzy oczekuje, aby materiały...” – brakuję ‘się’;
- h) Strona 22 – „Próbki o grubości 1 mm całkowicie utraciły sztywność w etapie drugim i uległy zniszczeniu.” – czy wg Autora materiał może utracić sztywność?
- i) Strona 24 – „W teście twardości na zarysowanie...” – jest takie badanie?

Wymienione wyżej uwagi krytyczne i dyskusyjne nie mają większego znaczenia dla ogólnie pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy.

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Rozprawa doktorska lek. dent. Marcela Firleja z powodzeniem realizuje postawiony cel naukowy o znaczeniu praktycznym dla ortodoncji, polegający na ocenie efektywności zastosowania nowych materiałów produkowanych przy użyciu różnorodnych technologii. Autor pracy osiągnął zaplanowane cele, przedstawiając trafne wnioski, które świadczą o jego gruntownej wiedzy na temat badanego obszaru, zdolnościach do przeprowadzania skomplikowanych badań eksperymentalnych oraz umiejętnościach analitycznych. W pracy zaprezentowano oryginalne wyniki badań, które zostały dogłębnie przeanalizowane i krytycznie ocenione, ukazując zdolność Autora do samodzielnej pracy naukowej. W rozprawie odnotowano pewne drobne niedoskonałości, na które wskazano w formie uwag krytycznych w rozdziale 4.

Mimo drobnych zastrzeżeń, przedstawiona rozprawa doktorska wnosi nowatorskie rozwiązania do badanego problemu naukowego, wnosząc znaczący wkład w rozwój dziedziny nauk medycznych, szczególnie w obszarze modelowania cyfrowego i wytrzymałości materiałów wykorzystywanych w ortodoncji. Praca ta ma nie tylko wartość naukową, ale również praktyczne znaczenie dla dziedziny ortodoncji.

Biorąc pod uwagę wszystkie argumenty, oceniam, że rozprawa doktorska lek. dent. Marcela Firleja spełnia kryteria dla prac doktorskich określone w aktualnych przepisach prawa oraz w Rozporządzeniu Ministerstwa Edukacji i Nauki dotyczącym procedur doktorskich, habilitacyjnych oraz nadawania tytułu profesora. Z tego względu rekomenduję jej dopuszczenie do obrony publicznej.