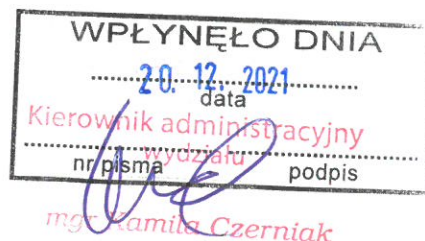


**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**
AGH UNIVERSITY OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY



Dr hab. inż. Janusz Krawczyk, prof. AGH
Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
Al. A. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

Kraków, dn. 6.12.2021

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgra inż. Tomasza Wiśniewskiego**

pt. „**Wpływ kątown osadzenia komponentów endoprotezy stawu biodrowego na procesy tribologiczne**”

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej, Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej, Pana dra hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. PP, w związku z uchwałą Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej z dnia 2 listopada 2021 roku (pismo z dnia 03.11.2021 o numerze DIM.075.220.2021).

1. **Ogólna charakterystyka pracy**

Praca doktorska mgr inż. Tomasza Wiśniewskiego, napisana pod opieką promotora dra hab. inż. Michała Libery, prof. PP oraz promotora pomocniczego dra inż. Jacka Borowskiego (Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Obróbki Plastycznej w Poznaniu), dotyczy badań nad wpływem usytuowania elementów trących endoprotezy na ich zużycie oraz jego produkty. Praca ma układ klasyczny i składa się z 2 zasadniczych części tj. przeglądu piśmiennictwa oraz części badawczej, choć nie zostały one formalnie wydzielone. Do przeglądu piśmiennictwa należy zaliczyć rozdziały 2 (alloplastyka stawu biodrowego) i 3 (analiza stanu wiedzy

dotyczącej endoprotezoplastyki stawu biodrowego). Natomiast do części badawczej należy zaliczyć rozdziały 4-7 tj.: „cel i zakres badań”, „metodyka badań”, „wyniki badań i dyskusja oraz podsumowanie i wnioski”. Te dwie zasadnicze części są poprzedzone wstępem odnoszącym się do zagadnienia społecznego zapotrzebowania na implantacje endoprotez. Treść pracy zawiera ponadto: „streszczenie”, „wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń”, „słownik użytych terminów medycznych” oraz „spis literatury”. Zdaniem Recenzenta poprawnie zbalansowano przegląd piśmiennictwa z częścią badawczą pracy. Praca została skomponowana przyjaźnie dla czytelnika a przynajmniej takie starania w pracy są widoczne. Doktorant jednak poprzez zastosowany układ pracy nie ustrzegł się licznych powtórzeń. Praca liczy 114 stron, zawiera 65 rysunków (niejednokrotnie złożonych z więcej niż jednego slajdu lub wykresu) i 26 tabel.

We wstępie Autor wykazał istotność zagadnienia udoskonalania konstrukcji endoprotez pod względem zapotrzebowania społecznego. W rozdziale drugim (alloplastyka stawu biodrowego) opisana jest budowa anatomiczna stawu biodrowego człowieka, w tym w sposób szczegółowy przedstawiono anatomię końca bliższego kości udowej. W dalszej części rozdziału 2 omówiono biomechanikę i obciążenia stawu biodrowego wyróżniając zagadnienie samej biomechaniki a następnie obciążeń stawu biodrowego. Następnie, nadal w rozdziale drugim, skupiono się na alloplastyce stawu biodrowego a w szczególności na wskazaniach do alloplastyki stawu biodrowego (zmianach zwyrodnieniowych, naturalnych uszkodzeniach) oraz celach i zadaniach alloplastyki stawu biodrowego. Na tym zakończono rozdział 2, który jest ciekawy i istotny dla podjętego zagadnienia badawczego zwłaszcza ze względu na jego interdyscyplinarność. Rozdział 3 zatytułowany „analiza stanu wiedzy dotyczącej endoprotezoplastyki stawu biodrowego” na początku zawiera szczegółowy przegląd stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych endoprotez stawu biodrowego, który skupia się na podziale endoprotez i ich charakterystyce (omówiono endoprotezy połowiczne, bipolarne, całkowite, cementowe, hybrydowe, bezcementowe) w tym poruszając zagadnienia kapoplastyki, trzpieni modularnych, rodzaju stosowanej artykulacji endoprotez. W ramach przeglądu stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych endoprotez stawu biodrowego omówiono w sposób szczegółowy teorię przebudowy tkanki kostnej, techniki mocowania endoprotez stawu biodrowego w łożysku kostnym (w alloplastyce cementowej i bezcementowej), powierzchnię Tytan Plasma Spray (TPS) oraz z hydroksyapatytem (HAp). Kolejną częścią przeglądu stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych endoprotez stawu

biodrowego było zagadnienie materiałów stosowanych na elementy trące endoprotez gdzie omówiono: biomateriały metalowe (Stop Protasul® -1, Stop Protasul-21WF), biomateriały ceramiczne (ceramika korundowa i cyrkonowa) oraz biomateriały polimerowe. Kolejną część analizy stanu wiedzy dotyczącej endoprotezoplastyki stawu biodrowego skupiała się na wynikach badań klinicznych wybranych rodzajów endoprotez stawu biodrowego o skojarzeniu materiałowym typu metal-metal z uwzględnieniem kąta osadzenia komponentów endoprotezy. W ramach tego tematu omówiono badania kliniczne z uwzględnieniem kąta osadzenia komponentów endoprotezy o skojarzeniu materiałowym typu metal-metal oraz trwałość i zużycie endoprotez o skojarzeniu materiałowym typu metal-metal. Analiza stanu wiedzy dotyczącej endoprotezoplastyki stawu biodrowego dotyczyła również stanowiskowych badań tarciovo-zużyciowych endoprotez typu „metal-metal” i kończyła się wnioskami. W części dotyczącej przeglądu literatury Doktorant przytoczył 88 pozycji literaturowych na 103 zamieszczone w pracy. Wybór omówionych zagadnień w powyższej części pracy oceniam pozytywnie. Jednakże jest to trudna praca do prześledzenia związków pomiędzy rozdziałami. Jest to na pewno najistotniejsza część (rozdz. 3) dotycząca przeglądu literatury pod względem interpretacji uzyskanych przez doktoranta wyników badań własnych. Część informacji zawartych w rozdziale 3 mogła być pominięta, jak np. parametry materiałowe w wysokich temperaturach.

Część pracy dotycząca badań własnych rozpoczyna się od przedstawienia celu i zakresu badań. Sformułowano tu wg doktoranta hipotezę: „Ustawienie osi komponentów endoprotezy stawu biodrowego względem siebie ma wpływ na jej trwałość, a odpowiedni dobór wartości kąta antewersji panewki i kąta antetorsji głowy zmniejsza zużycie masowe endoprotez i emisję jonów metali”. Jest to semantycznie raczej teza a nie hipoteza w odniesieniu do układu i treści tej pracy. Sformułowano również cele szczegółowe pracy oraz etapy pracy mające skutkować osiągnięciem tych celów. Celami szczegółowymi pracy są:

- ocena wpływu kąta osadzenia komponentów endoprotezy na opory tarcia,
- ocena wpływu kąta osadzenia komponentów endoprotezy na zużycie masowe i zmiany chropowatości powierzchni,
- ocena wpływu kąta osadzenia komponentów endoprotezy na ilość powstających produktów zużycia i ilość uwalnianych jonów metali.

Ułatwia to czytelnikowi śledzenie idei pracy i zakres jej realizacji. Podobnym ułatwieniem jest zaprezentowany schemat blokowy pracy zawarty w rozdziale opisującym metodykę badań.

W tym rozdziale opisano również: badania kliniczne (w tym: badania ustawienia komponentów endoprotezy w przypadkach klinicznych oraz analizę stężenia pierwiastków metali ciężkich w próbkach materiałów klinicznych), badania użytych komponentów endoprotez (w tym: pomiar chropowatości, analizę topografii powierzchni, badania mikrostruktury oraz tzw. badania mikrotwardości), badania tarciovo-zużyciowe (w tym: pomiar chropowatości przed testami, badania tribologiczne endoprotez dla 9 ustawień, pomiar chropowatości powierzchni trących, analizę topografii powierzchni trących, zużycie masowe komponentów endoprotez, badania produktów zużycia oraz oznaczenie stężenia jonów kobaltu i chromu w cieczy smarującej), przedmiot badań (w tym: chropowatość powierzchni, analizę topografii powierzchni, mikrostrukturę oraz mikrotwardość), charakterystykę symulatora do badań endoprotez stawu biodrowego, parametry badań i sposób obliczania współczynnika tarcia oraz wartości kątowne ustawienia komponentów endoprotez na symulatorze stawu biodrowego. Takie skomponowanie tej części pracy wprowadza jednak duże zamieszanie w jej układzie logicznym. Do rozdziału zatytułowanego metodyka badań wprowadzono treści, które nie przedstawiają metodyki badań ale wyniki badań (dotyczy to zwłaszcza podrozdziału zatytułowanego „przedmiot badań”). Ponadto w kontekście semantycznym twardości się nie bada lecz mierzy. Dopiero następna część pracy została nazwana: wyniki badań i ich dyskusja. Zawiera się ona tylko w niewiele ponad 20 stronach co na tle objętości pracy jest małym udziałem najważniejszego jej fragmentu. Ta część składa się z opisu wyników badań klinicznych (w tym: ustawienia komponentów endoprotezy w przypadkach klinicznych oraz stężenia pierwiastków metali ciężkich w próbkach materiałów klinicznych), właściwości tribologicznych (w tym: współczynnika tarcia, chropowatości powierzchni trących, topografii powierzchni trących, zużycia masowego endoprotez, produktów zużycia oraz stężenia jonów kobaltu i chromu w cieczy smarującej). Praca kończy się rozdziałem zatytułowanym „podsumowanie i wnioski”. Sformułowano 6 złożonych wniosków.

2. Ocena doboru tematyki i zakresu pracy

Pracę pod względem tematyki należy uznać za wyjątkowo interdyscyplinarną. Mieści się ona głównie w zakresie trzech dyscyplin naukowych: inżynierii mechanicznej, inżynierii materiałowej oraz inżynierii biomedycznej. Pod tym względem należy docenić trudność i złożoność tematyczną pracy. Jednocześnie udowodniono istotność tematyki pracy w zakresie

naukowym i praktycznym (wdrożeńowym). Spowodowało to, że zakres pracy należy uznać za bardzo szeroki, co istotnie utrudniło jej czytelne skomponowanie. Przedstawioną, raczej tezę niż hipotezę pracy oceniam pozytywnie. Podobnie oceniam pozytywnie postawione cele badawcze. Jednakże, zakres pracy spowodował, że niektóre cele zostały wykonane tylko w ograniczonym mocno zakresie. Dotyczy to głównie zakresu badań mechanizmów zużycia, badań mikrostrukturalnych, pomiarów mikrotwardości oraz analizy topografii powierzchni.

3. Opis metodyki badawczej

Zastosowana, złożona metodyka badań została dobrana właściwie pod względem ogólnym. Przyglądając się jej szczegółowo można jednak skierować pod jej względem szereg uwag:

1. Nie przedstawiono zakresu dopasowania geometrycznego głowy i panewki.
2. Nie uwzględniono zagadnień pasmowości (anizotropii, tekstury mikrostrukturalnej) materiału.
3. Nie uwzględniono pomiarów twardości po testach tribologicznych i odniesienia ich do wyników pomiarów na elementach wyjściowych; można było również wykonać badania określające anizotropowość umocnienia w warstwie wierzchniej trących powierzchni stosując pomiar metodą Knoop'a.
4. Nie wykonano pomiarów zmiany profilu powierzchni głowy i panewki w wyniku testów tribologicznych.
5. Nie uwzględniono roli modułu sprężystości trzpienia endoprotezy (względem modułu sprężystości kości korowej w kierunku poprzecznym) w odniesieniu do wpływu kątów osadzenia komponentów endoprotezy stawu biodrowego na procesy tribologiczne.
6. Sugerowane w tytule pracy procesy tribologiczne nie zostały w pełni scharakteryzowane – mechanizm zużycia tribologicznego w tekście pracy został bardzo lapidarnie opisany i do tego bez dowodów na poprawność tego opisu (w opinii recenzenta raczej błędnie opisany).
7. Nie wykonano mikroanalizy składu chemicznego produktów zużycia a tylko ich cechy geometryczne.

Natomiast jako wyróżniającym w metodyce jest:

1. Zastosowana metodyka badań klinicznych wraz ze zgromadzonym materiałem badawczym pozwalającym sformułować interesujące wnioski w zakresie ustawienia komponentów endoprotezy oraz stężenia kobaltu i chromu.

2. Zastosowane unikalne stanowisko do badań zużycia w odniesieniu do układu stawu biodrowego, które pozwala m.in. na odwzorowanie różnych układów osiowych dla stawu biodrowego. Doktorant był jednym z konstruktorów tego stanowiska.

3. Szerokowątkowa ścieżka badawcza pozwalająca na kompilowanie uzyskiwanych informacji z różnych dziedzin i zagadnień naukowych.

4. Ocena merytoryczna pracy

Oceniając pracę od strony merytorycznej, należy stwierdzić, że zastosowana metodologia badań pozwoliła na odniesienie się do postawionej tezy. Dobrane cele szczegółowe pracy zostały w istotnej części zrealizowane. Pozwoliło to potwierdzić sformułowaną tezę. Uzyskane wyniki pozwoliły na sformułowanie wniosków wprowadzających element nowości (element odkrywczy) w dziedzinach naukowych inżynieria mechaniczna i inżynieria biomedyczna. Zgromadzono i przetworzono w sposób poprawny bardzo duży zakres uzyskanych wyników badań. Udało się połączyć w logiczny ciąg myślowy wielowątkowe badania. Praca może być podstawą do zaprojektowania nowych koncepcji badawczych w poruszanej dziedzinie.

5. Polemiczne uwagi merytoryczne

1. Nie przeprowadzono analizy przypadków różnic w chropowatości ocenianych parametrem R_a i R_z dla różnych kątów α i β (tab. 6.5). W tym względzie nie przeprowadzono dyskusji odpowiadającej np. na pytanie: o czym świadczy stwierdzone raz większe a raz mniejsze R_a względem R_z , porównując pomiary dla głowy i panewki dla danego układu kątów α i β .
2. W rozdziale zatytułowanym „topografia powierzchni” przedstawiony raczej jest prezentowany jej obraz a nie topografia jej powierzchni. Jak zmienia się topografia powierzchni panewki i głowy (cechy geometryczne na całej powierzchni kontaktu) w zależności od kąta osadzenia?
3. Mechanizm zużycia opisany jako lokalnie adhezyjny nie jest widoczny w dokumentacji mikrofotograficznej. Czy to raczej nie jest zużycie przez wykruszanie się węglików wchodzących w skład mikrostruktury?
4. Zużycie masowe (tab. 6.6 i rys. 6.11) oraz objętościowe (tab. 6.7 i rys. 6.12) są zbyt skorelowane aby były mierzone niezależnymi metodami. Wskazywałoby to na brak

udziału płynięcia plastycznego warstwy wierzchniej (bruzdowania) czyli zużycia tylko przez mikroskrawanie. Są to więc wyniki przeliczeniowe z jednego pomiaru – prawdopodobnie pomiaru masy. Należy zwrócić uwagę, że w tym przypadku niewłaściwym jest określanie zużycia objętościowego.

5. Wnioski należy podać dla konkretnego przypadku układu sztywności tj. kształtu trzpienia endoprotezy, modułu Young'a materiału endoprotezy oraz modułu kości korowej w kierunku poprzecznym dla stanu układu kostnego określonego jako norma, osteopenia lub osteoporoza.
6. Podane powiększenia mikrofotografii mikrostruktury uzyskane w mikroskopie świetlnym odnoszą się nie do powiększenia obrazu mikrostruktury ale tylko do powiększenia obiektywu – są zresztą niepotrzebnie podawane skoro na obrazach jest podziałka – w tym przypadku właściwa.
7. Podawane parametry chropowatości nie odnoszono do miejsca na powierzchni głowy i panewki, co czyni je istotnie mniej wartościowymi.
8. Można było zestawić dane zawartości jonów kobaltu i chromu (tab. 6.3) do takich parametrów jak czas użytkowania endoprotezy, stan kostny pacjenta, aktywność czy wiek, co pozwoliłoby na szerszej zakrojonej dyskusję wyników.
9. Odnoszenie współczynnika tarcia do różnic zastosowanego układu geometrycznego endoprotezy jako uogólnionych wniosków dla skojarzenia M-M (metal-metal, MoM) jest nadużyciem, gdyż materiały metaliczne różnią się tak między sobą, że ich skojarzenia tribologiczne skutkują zupełnie różnymi efektami w reakcji tworzącego się mechanizmu zużycia na stan obciążenia. Należy podchodzić bardzo ostrożnie do takiego uogólniania wniosków z pracy, która dotyczyła tylko jednego rodzaju materiału.

6. Uwagi redakcyjne i szczegółowe

1. W pracy, w obszarze przeglądu piśmiennictwa czasami brakuje odnośników literaturowych.
2. Występują czasami wielokrotne powtórzenia informacji (np. że autor był współtwórcą symulatora SBT-01.1 lub o wynikach uzyskanych przez V. Saikko).
3. Zastosowano pewną swobodę w sposobie zapisu jednostki po liczbie.

4. Często zamiast o trących elementach endoprotezy stosowano określenia endoprotez co nie było właściwe w odniesieniu do kontekstu merytorycznego wypowiedzi i wprowadzało w błąd.
5. Zdarzało się pominięcie spacji (np. str. 53 – „...klinicznych (in vivo).Istnieje wiele publikacji...”, str. 50 - wszczepiano endoprotezyz panewką) lub zakończenia zdania kropką (np. koniec akapitu na str. 73).
6. Brak przecinków (np. str. 50 – „...stanów zapalnych w wyniku których może nastąpić...”).
7. Zdarzały się błędy stylistyczne: str. 32 – „...odpowiedniej długość nóg, prawidłowego...”; str. 33 – „...w celu zniesienia bólu oraz usprawnienie funkcji lokomocyjnych...”; str. 37 – „...względem właściwości mechanicznych...”; str. 39 – „...wykorzystywane są właściwości osteoindukcyjne...”; str. 57 - „Badana implantu przeprowadzone były...”. Str. 50 – „...które mają wpływ na reakcje zapalne...”; „...po pierwotnej endoprotezoplastyce stawu biodrowego,...”.
8. Zdarzały się większe fragmenty tekstu o złej (niejasnej) kompozycji, np. str. 52 - „W obszarach o mniejszym zużyciu warstwa ta ma grubość 250–400 nm i wielkość ziaren 25–50 nm, a w obszarach o intensywniejszym zużyciu grubość warstwy wynosi 100–150 nm i wielkość ziaren 15–35 nm, pod tą nanowarstwą stwierdzono strukturę martenzytyczną.”.
9. Zdarza się podawanie za literaturą merytorycznie wątpliwych stwierdzeń (np. str. 52 - a cząstki w kształcie igieł są generowane przez pęknięcie struktury martenzytycznej).

7. Podsumowanie odnośnie przedstawionych uwag

Przedstawione uwagi mają charakter dyskusyjny oraz uzupełniający i nie wpływają na moją pozytywną ocenę całości pracy. Praca mając charakter tak szerokowątkowy z samej swojej specyfiki narażona jest na szerszy zakres wątpliwości i uwag.

8. Wniosek końcowy

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa jest dobrze ułożona w obecnym stanie wiedzy, została wykonana i napisana prawidłowo oraz przy użyciu interdyscyplinarnie dobranych technik badawczych. Zamieszczone uwagi nie umniejszają w sposób istotny pozytywnej opinii o całości pracy.

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską mgra inż. Tomasza Wiśniewskiego pt.: „Wpływ kątów osadzenia komponentów endoprotezy stawu biodrowego na procesy tribologiczne” stwierdzam, że spełnia ona wymogi stawiane rozprawom doktorskim, przewidziane odpowiednimi ustawami oraz wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Dr hab. inż. Janusz Krawczyk, prof. AGH

