

Prof. dr hab. inż. Piotr LACKI  
Politechnika Częstochowska

WPLYNĘŁO DNIA	
.....	
data	
01	12. 2021
nr pisma	podpis
.....	

erownik ad... Częstochowa, 25.11.2021

RECENZJA

*mgr Kamila Czerniak*

Rozprawy doktorskiej **mgr inż. Tomasza Wiśniewskiego**  
nt. „**Wpływ kątów osadzenia komponentów endoprotezy stawu biodrowego**  
**na procesy tribologiczne**”  
przedstawionej na Wydziale Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej

### Formalna podstawa recenzji

Recenzję opracowano na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej z dnia 2 listopada 2021 w oparciu o umowę o dzieło nr 0600/2021/205 zawartej pomiędzy Politechniką Poznańską, reprezentowaną przez dr hab. inż. Olafa Ciszaka – Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej, a recenzentem prof. dr. hab. inż. Piotrem Lackim z Politechniki Częstochowskiej przesłanej wraz z pismem nr DIM.075.220.2021 Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej dr hab. inż. Olafa Ciszaka.

Recenzję sporządzono zgodnie z wymogami art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.)

Recenzowana praca została napisana pod kierunkiem dr hab. inż. Michała Libery oraz promotora pomocniczego dr inż. Jacka Borowskiego.

### Uwagi ogólne

Rozwój cywilizacji i związana z tym zmiana stylu życia zwiększająca udział trybu siedzącego, nieprawidłowej postawy oraz nadwagi prowadzi do zwiększenia ryzyka rozwoju choroby zwyrodnieniowej stawów biodrowych. Utrzymanie funkcjonalności chorego stawu jest możliwe między innymi poprzez zastosowanie endoprotez stawu biodrowego. Alloplastyka stawu biodrowego to aktualnie jedna z najnowocześniejszych metod leczenia uszkodzenia stawów. Polega ona na zastąpieniu zniszczonego stawu odpowiednią endoprotezą. Warunkiem optymalnego wyniku leczenia jest prawidłowe przeprowadzenie zabiegu oraz dobór właściwego implantu. Najważniejszą cechą implantu jest możliwość zachowania ruchu w szerokim zakresie, ruchomości przy jednoczesnym zachowaniu wysokiego stopnia stabilności.

Jednym z istotnych wyzwań inżynierii biomedycznej XXI wieku jest dążenie do wydłużania trwałości implantowanych endoprotez stawu biodrowego. Aktualnie okres trwałości wszczepianych endoprotez wynosi od 10 do 15 lat w zależności od warunków życia pacjenta, jakości implantu i zabiegu alloplastyki. Z roku na rok społeczne zapotrzebowanie na endoprotezoplastykę stawu biodrowego wzrasta z powodu starzenia się populacji i rosnących wskaźników otyłości.



Z informacji zamieszczonej w pracy wynika, że została ona zrealizowana w Zakładzie Zaawansowanych Technologii Kształtowania Instytutu Obróbki Plastycznej Sieć Badawcza Łukasiewicz w Poznaniu przy wsparciu finansowym projektu badawczego pt. „Badanie parametrów tarcia i zużycia przy różnym ustawieniu wzajemnym elementów endoprotez” nr 03-0081-10. Projekt rozwojowy finansowany przez NCBiR. Badania ustawienia komponentów endoprotezy stawu biodrowego w przypadkach klinicznych wykonane zostały w Ortopedyczno-Rehabilitacyjnym Szpitalu Klinicznym im. W. Degi UM w Poznaniu.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że praca została zrealizowana przy użyciu szerokiego spektrum nowoczesnych urządzeń badawczych i technologicznych. Niektóre z zastosowanych urządzeń badawczych mają charakter unikalny (np. symulator ruchu stawu biodrowego) i wymagały opanowania niestandardowej metodyki badawczej. Ze względu na przyjętą metodykę badań i liczbę próbek, szczególnie w przypadku badań tarciovo-zużyciowych, można ocenić, że praca została wykonana przy dużym nakładzie czasu i środków finansowych.

### **Aktualność podjętego tematu**

W pracy podjęto się oceny trwałości endoprotezy stawu biodrowego ze względu na kąty antetorsji, antewersji, inklinacji i kąt implantowo-trzonowy endoprotezy. Ze względu na połączenie aspektów technicznych i medycznych, można stwierdzić, że praca ma charakter interdyscyplinarny.

Problemy związane z projektowaniem i wytwarzaniem implantów są powszechnie znane, a ich rozwiązanie nie jest łatwym zadaniem i wymaga prowadzenia coraz bardziej zaawansowanych prac naukowych w tym zakresie. Wiadomo, że jednym z ograniczeń w stosowaniu implantów są alergie na metale, a oddziaływanie biomateriałów na organizm ludzki jest ciągle przedmiotem badań. Inną kwestią jest stabilizacja implantu związana z prawidłowym połączeniem kości i implantu.

Tarciovo-zużyciowe badania stanowiskowe endoprotez stawu biodrowego w ośrodkach laboratoryjnych w dużym stopniu przyczyniają się do zmniejszenia przypadków powikłań pooperacyjnych. Doniesienia literaturowe zwracają uwagę na wpływ osadzenia osi komponentów endoprotez na opory tarcia, a co za tym idzie na mechanizmy tarcia, co w efekcie przekłada się na trwałość endoprotez. Biorąc pod uwagę stan wiedzy w analizowanym zakresie uważam, że **tematyka opiniowanej pracy jest celowa i aktualna z naukowego i praktycznego punktu widzenia.**

W szczególności tytuł pracy jest na odpowiednim poziomie ogólności i ma właściwe odniesienie do treści rozprawy. Sformułowanie tytułu pozwala się zorientować w zawartości merytorycznej pracy. Mocną stroną pracy jest jej badawczy charakter oraz potencjał aplikacyjny. Wyniki przedstawione w pracy mogą znaleźć zastosowanie w praktyce klinicznej. Aktualność podejmowanej tematyki potwierdzają polskie i zagraniczne doniesienia literaturowe oraz programy badawcze realizowane w zakresie inżynierii biomedycznej.



2/9

## **Zakres opiniowanej pracy**

*Struktura pracy* jest typowa dla rozpraw doktorskich, składa się z siedmiu rozdziałów głównych, streszczeń w języku polskim i angielskim, wykazu ważniejszych oznaczeń, słownika użytych terminów oraz spisu literatury. Praca liczy 114 stron. Spis literatury zawiera 103 pozycje. Numeracja rysunków i tabel jest związana z numerem głównym rozdziału.

*Rozdział pierwszy* zawiera wstęp i genezę podjęcia tematu rozprawy. Wieloaspektowe odniesienia do literatury przedmiotu w tym rozdziale wskazują na aktualne problemy związane z leczeniem operacyjnym z zastosowaniem endoprotezy stawu biodrowego w Polsce i na świecie.

*Rozdział drugi* obejmuje przegląd literatury na temat biomechanicznych aspektów alloplastyki stawu biodrowego. W rozdziale tym, na bazie budowy anatomicznej stawu biodrowego i omówienia jego biomechaniki, wskazano na rodzaje występujących uszkodzeń. Przegląd literatury w tym rozdziale zwraca szczególną uwagę na to, w jaki sposób biomechanika i obciążenie stawu biodrowego wpływa na zmiany zwyrodnieniowe i naturalne uszkodzenia stawu biodrowego. W podsumowaniu pracy na podstawie doniesień literaturowych wskazano na procesy destrukcyjne, które skracają trwałość endoprotez w okresie eksploatacji.

*Rozdział trzeci* szerzej traktuje problemy implantacji stawu biodrowego w aspekcie konstrukcji endoprotez i ich wpływu na badania kliniczne. W rozdziale tym przedstawiono chronologiczny przegląd stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych endoprotez stawu biodrowego od pierwszych rozwiązań po współczesne konstrukcje. Głównie skupiono się na współczesnych rozwiązaniach konstrukcyjnych i materiałowych. Omówiono sposoby zamocowania endoprotez stawu biodrowego w łożysku kostnym, ze zwróceniem uwagi na techniki operacyjne stosowane dla endoprotez cementowych, jak i bezcementowych. W alloplastyce cementowej procedura przygotowania łoża kostnego pod panewkę wykonywana jest przy użyciu frezów sferycznych. Rozmiar zastosowanej panewki odpowiada rozmiarowi ostatniego sferycznego frezu, który uwzględnia odpowiednie warunki mocowania na cement kostny. Z kolei w alloplastyce bezcementowej, do mocowania panewki i trzpienia endoprotezy w kości, wykorzystywane są właściwości osteointegracyjne porowatych powierzchni wytworzonych na powierzchni implantu, w które wrasta tkanka kostna. Istotną kwestią analizowaną w rozdziale trzecim był przegląd wyników badań klinicznych wybranych rodzajów endoprotez stawu biodrowego o skojarzeniu materiałowym typu metal-metal z uwzględnieniem kąta osadzenia komponentów endoprotezy. Zwrócono uwagę, że mechanizmem powstawania produktów zużycia dla połączeń metal-metal jest odrywanie się nanocząstek z powierzchni trących. W tym kontekście scharakteryzowano stanowiskowe badania tarciowo-zużyciowe endoprotez o skojarzeniu metal-metal. Jednym z istotnych wniosków było stwierdzenie, że wraz ze wzrostem kąta nachylenia panewki pogarszają się warunki smarowania, co w połączeniu z nadmiernym obciążeniem skutkuje zwiększeniem zużycia implantów. Kolejnym ważnym stwierdzeniem jest informacja, że pacjenci z wszczepionymi implantami biodra typu metal-metal mają trwale podwyższony poziom jonów chromu i kobaltu we krwi, oraz że wpływ na zmniejszenie zużycia implantów ma rodzaj

zastosowanej techniki implantacji, uwzględniającej kąty osadzenia komponentów endoprotezy stawu biodrowego. Przedstawiona analiza była podstawą sformułowania hipotezy i celu pracy.

*Rozdział czwarty* definiuje cel i zakres pracy. Przedstawiono hipotezę zakładającą, że technika implantacji, w szczególności sposób ustawienia endoprotezy w kości, wpływa na trwałość i emisję jonów metali. Zarówno hipoteza, jak i cele pracy nie budzą moich zastrzeżeń. Przedstawione cele szczegółowe i etapy realizacji pracy dawały podstawy do właściwego udowodnienia przyjętych założeń.

*Rozdział piąty* opisuje zastosowaną w rozprawie metodykę badawczą, szczegółowo przedstawiono unikatowe stanowisko do badań tarciovo-zużyciowych, którego Autor rozprawy jest współtwórcą. Ponadto zaprezentowano użyte do badań komponenty endoprotez (nasadka stożkowa, głowa i panewka) wraz ze zdefiniowanymi parametrami badań tarciovo-zużyciowych. W planie badawczym uwzględniono badania kliniczne przy użyciu tomografii komputerowej TK na wybranej grupie pacjentów. Z uzyskanych danych określano kąty antetorsji, antewersji, inklinacji i kąt implantowo-trzonowy endoprotezy. Dla każdego z pacjentów przeprowadzono również analizę stężenia pierwiastków metali ciężkich. Dla badań użytych komponentów endoprotez przeprowadzono pomiar chropowatości, analizę topografii powierzchni, badania mikrostruktury oraz badania mikrotwardości. Cykl badań tarciovo-zużyciowych obejmował również monitorowanie zużycia masowego, produktów zużycia oraz oznaczanie stężenia jonów kobaltu i chromu w cieczy smarującej.

Ważną częścią tego rozdziału jest szczegółowy opis symulatora do badań endoprotez stawu biodrowego. Konstrukcja zapewniała mocowanie komponentów endoprotezy biodra zgodnie z anatomiczną budową stawu biodrowego człowieka. Symulator SBT-01.1 SP pozwala między innymi na przeprowadzenie testów tarciovo-zużyciowych w naturalnym położeniu, z panewką na górze i głową na dole, przy jednoczesnym zanurzeniu w cieczy smarującej i rejestracji takich parametrów jak: moment tarcia, obciążenie normalne, wychylenie katowe układów napędowych, liczba przepracowanych cykli i temperatura węzła tarcia. Rozdział kończy zestawienie wartości katowych ustawienia komponentów endoprotez na symulatorze stawu biodrowego. Na uwagę zasługuje graficzne przedstawienie ustawień „głowa-panewka”, co pozwala łatwiej się zorientować w parametrach badawczych.

*Rozdział szósty* szczegółowo prezentuje wyniki oraz dyskusję przeprowadzonych badań. Jako pierwsze Autor analizuje wyniki badań klinicznych ustawienia komponentów endoprotezy dla 36 przebadanych przypadków oraz stężenia pierwiastków metali ciężkich w próbkach pobranych od pacjentów. Stwierdzono między innymi, że nierozpuszczalne cząstki zużycia transportowane są przez system limfatyczny do regionalnych węzłów chłonnych, wątroby oraz śledziony, natomiast rozpuszczalne jony metali przedostają się z okolic endoprotezy do układu krążenia i mogą być odpowiedzialne za niepożądane działania systemowe. Właściwości tribologiczne Autor charakteryzuje, między innymi, poprzez średni współczynnik tarcia w zależności od doboru kąta wzajemnego ustawienia komponentów endoprotezy. Uzyskane w badaniach średnie wartości współczynnika tarcia. Autor zestawia z wielkościami znanymi z literatury. Zestawienie pokazuje, że wartości uzyskane w badaniach własnych nie odbiegają znacząco od doniesień literaturowych. Kolejną charakterystyką



tribologiczną jest porównanie chropowatości powierzchni przed i po badaniach tribologicznych. Najmniejszą chropowatość powierzchni stwierdzono dla komponentów endoprotezy, dla której kąt  $\alpha = -5^\circ$ , a kąt  $\beta = 20^\circ$ , natomiast największą chropowatość powierzchni otrzymano dla kąta  $\alpha = 25^\circ$  i kąta  $\beta = 30^\circ$ . W pracy słusznie stwierdzono, że parametr chropowatości ma duży wpływ na przejście od tarcia płynnego przez tarcie mieszane do tarcia granicznego. Grubość filmu smarującego powinna zapewnić brak kontaktu wystających elementów na powierzchni trących komponentów nawet podczas najwyższych obciążeń. Zastosowanie zmiennych warunków obciążenia w trakcie realizacji testu miało istotny wpływ na występujące warunki smarowania. Autor właściwie zinterpretował, że przy dużych obciążeniach i małych prędkościach, współpracujących ze sobą powierzchni trących, ciśnienie hydrodynamiczne może być niewystarczające, aby całkowicie rozdzielić współpracujące powierzchnie trące. Poprzez analizę topografii powierzchni trących Autor udowodnił, że w trudnych warunkach, w jakich pracuje endoproteza, dochodzi do przerwania filmu smarującego i zmiany warunków smarowania na smarowanie graniczne i mieszane. Analiza EDS wykazała, że powstające produkty zużycia ulegają procesom utleniania. Według przeprowadzonej analizy zawartość atomów tlenu na powierzchni trącej wynosiła ok. 3% wag. podczas gdy zawartość atomów tlenu w produktach zużycia wynosiła ok. 29%wag. Obserwacje powierzchni trących pod mikroskopem pokazały również, że istnieją ślady zużycia adhezyjnego. W wyniku szepiania się i rozrywania połączeń wierzchołków w mikroobszarach styku następowało wrywanie materiału z podłoża. Analiza produktów zużycia przeprowadzona przez Autora pokazała, że powierzchnie trące komponentów oddziaływały również na produkty zużycia, powodując ich rozdrobnienie i zmianę kształtu. Prawdopodobnie określone zużycie masowe endoprotez było podstawą określenia zużycia objętościowego. Przedstawione wyniki pokazały, że niezależnie od zastosowanego ustawienia komponentów endoprotezy względem siebie, zużycie masowe panewek było od 2,5 do 5 razy większe od współpracujących z nimi głów. Niestety Autor nie podaje wyjaśnienia przyczyny takiego stanu rzeczy. W dokonanym porównaniu zużycia objętościowego endoprotez z badaniami innych Autorów stwierdzono dużą różnicę w uzyskanych wynikach. Różnice wynikały głównie z innych warunków badawczych, jak również innych geometrii par trących. W czasie badań tarciovo-zużyciowych Autor analizował gromadzące się produkty zużycia. Jak stwierdzono w pracy powierzchnie trące endoprotezy oddziałują mechanicznie na produkty zużycia generowane w węźle tarcia, powodując ich rozdrobnienie i zmianę kształtu. Produkty te po osiągnięciu wielkości mierzonej w skali nanometrycznej wypłukiwane są ze strefy tarcia i gromadzą się na dnie pojemnika zalanego cieczą smarującą, w którym umocowany był implant. Produkty zużycia pozyskiwano przez odparowanie cieczy smarującej. Średnice produktów zużycia zawierały się w przedziale od 106 nm do 164 nm. Autor w pracy stosuje wodę demineralizowaną jako środek smarny w celu wyeliminowania wpływu innych czynników na wynik badania stężenia jonów metali ciężkich. Jednak zastosowanie takiego rozwiązania może mieć wpływ na inne parametry tarciovo-zużyciowe. Przedstawiona metodologia oznaczania stężenia jonów metali ciężkich pozwalała stwierdzić, że zmiana ustawień komponentów endoprotezy stawu biodrowego względem siebie ma wpływ na ilość uwalnianych jonów  $\text{Co}^{2+}$  i  $\text{Cr}^{3+}$  do otoczenia. Wyższe stężenie jonów metali w próbkach cieczy smarującej w porównaniu z próbkami krwi Autor słusznie tłumaczy zdolnością organizmu do wydalania pewnych ilości jonów metali.

*Rozdział siódmy* zawiera podsumowanie i wnioski z przeprowadzonych badań oraz syntezę dyskusji wyników badawczych. Autor w rozdziale tym podkreśla znaczenie badań w zakresie alloplastyki stawu biodrowego i społeczne zapotrzebowanie na implantację endoprotez. Na tym tle przedstawia korzyści płynące z badań tarciovo-żużyciowych prowadzonych z wykorzystaniem symulatora SBT-01.1 który, poza spełnieniem wymogów dotyczących odwzorowania pracy naturalnego stawu biodrowego w zakresie obciążeń i kinematyki ruchu umożliwia wyznaczenie zużycia masowego poszczególnych komponentów implantu. Symulator posiada możliwość ustawienia odpowiednich kątów pomiędzy współpracującymi elementami. Autor stwierdza, że badania tarciovo-żużyciowe potwierdziły występowanie korelacji pomiędzy zużyciem masowym, a ilością uwalnianych jonów metali do cieczy smarującej. W rozdziale tym występują odniesienia do literatury, które na tym etapie pracy niewiele wnoszą i można było je pominąć. Bez odniesień do literatury rozdział byłby bardziej spójny pod względem redakcyjnym.

W podsumowaniu Autor odnosi się do celu głównego pracy i celów szczegółowych. Przedstawia i komentuje wyniki badań eksperymentalnych stanowiących potwierdzenie postawionej hipotezy w której dowodzi, że odpowiedni dobór wartości kątowych komponentów endoprotez, kąta antewersji panewki, i kąta antetorsji głowy zmniejsza zużycie masowe endoprotez oraz emisję jonów metali. Podsumowując badania tarciovo-żużyciowe Autor słusznie zwraca uwagę na charakter pracy pary trącej. Podczas pracy symulatora stawu biodrowego występuje zjawisko zmiany kierunku ruchu oraz zmienne obciążenie w trakcie trwania jednego cyklu. Taki cykl pracy jest przyczyną powstawania tarcia suchego w początkowej fazie cyklu, które przechodzi w tarcie graniczne, a następnie w hydrodynamiczne. W każdym cyklu badań występuje zjawisko tarcia mieszanego. W podsumowaniu stwierdzono również, że dominującym rodzajem zużycia w węzłach tarcia o skojarzeniu materiałowym typu metal-metal było zużycie ścierno-adhezyjne.

Rozdział zawiera również sześć syntetycznych wniosków podsumowujących pracę. Wnioski zawierają informacje z przeprowadzonych badań i odnoszą się ilościowo do wybranych i opracowanych wyników badawczych. Z przedstawionych wniosków wynika, że najniższe wartości współczynnika tarcia zaobserwowano dla kąta antewersji panewki  $20^\circ$  niezależnie od ustawienia kąta antetorsji głowy. Uważam ten wniosek za najistotniejszy jaki wynika z przeprowadzonych badań. Pozostałe wnioski są ilościowym opisem badań będących pochodną wniosku pierwszego. Ostatni szósty wniosek dotyczy symulatora stawu biodrowego SBT-01.1 i nie wnosi żadnej informacji na poparcie hipotezy pracy ponad to, że symulator spełnił pokładane w nim oczekiwania, czego należało się spodziewać. Uważam, że w podsumowaniu brakuje jasno zdefiniowanych wytycznych i zaleceń odnośnie operacji klinicznych, które można byłoby sformułować na podstawie wykonanych badań. Rozdział kończy informacja o perspektywach prowadzenia dalszych badań przy użyciu symulatora stawu biodrowego. Autor podaje również propozycje badań ukierunkowanych na określenie zużycia masowego komponentów endoprotezy z uwzględnieniem jakości wykończenia powierzchni trących i określenia wpływu luzu promieniowego na zużycie masowe.



6/9

### **Uwagi redakcyjne**

- *Ogólna uwaga.* W pracy napotkano różne oznaczenia pary trącej np. „metal-metal”; MoM; M-M.
- *Str. 22* podrozdział 2.3 ma taki sam tytuł jak rozdział 2. Można było zamieścić tekst podrozdziału 2.3 pod tekstem rozdziału głównego. Szczególnie, że pod tytułem rozdziału 2 nie ma żadnego tekstu.
- *Str. 25* Tytuł rozdziału 3 nawiązuje do tytułu rozdziału 2. Jeśli przyjąć za Autorem (str. 22), że endoprotezoplastyka ma takie samo znaczenie jak alloplastyka, to sens tytułu rozdziału 2 i 3 jest bardzo podobny.

### **Uwagi krytyczne**

- Z jakiego powodu badania zużycia prowadzono w temperaturze 21-23°C a nie w temperaturze 36,6°C? Jaki był wzrost temperatury w węźle tarcia?
- W jaki sposób użycie środka smarnego w postaci wody destylowanej, a nie bardziej naturalnego środka jakim jest sól fizjologiczna, mogło wpłynąć na badania tarciovo-zużyciowe?

### **Uwagi dyskusyjne**

- W jaki sposób czas, od wszczepienia implantu do chwili pobrania próbki krwi, wpływa na wyniki badań stężenia pierwiastków metali ciężkich w próbkach materiałów klinicznych?
- Dlaczego zużycie masowe panewek było większe od zużycia współpracujących z nimi głów.
- Jakie wytyczne i zalecenia do operacji klinicznych można byłoby sformułować na podstawie przeprowadzonych badań?

## Ocena merytoryczna rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska prezentuje udane wieloaspektowe podejście do oceny wpływu kątów osadzenia komponentów endoprotezy stawu biodrowego na procesy tribologiczne.

Postawiony cel pracy – empiryczne ustalenie czy ustawienie osi komponentów endoprotezy stawu biodrowego względem siebie ma wpływ na jej trwałość, a następnie określenie najbardziej optymalnego rozwiązania, wychodzi naprzeciw społecznemu oczekiwaniu na postęp w dziedzinie alloplastyki.

Z tego względu wskazanie optymalnego ustawienia komponentów endoprotezy stawu biodrowego względem siebie stanowi dobre uzasadnienie badań podjętych przez Doktoranta. Postawione zadanie ma w pełni aplikacyjny charakter, a rezultaty pracy mogą stanowić podstawę do dalszych badań. **Zaprezentowane w pracy wyniki badań, w pełni uzasadniają przyjęty temat rozprawy doktorskiej: „Wpływ kątów osadzenia komponentów endoprotezy stawu biodrowego na procesy tribologiczne”**

Przedstawione przez Doktoranta dane literaturowe dotyczą bezpośrednio problematyki rozważanej w pracy, umożliwiają ocenę aspektów poznawczych i naukowych pracy. Cytowane prace są aktualne i dobrze dobrane, w dużej części są to publikacje z renomowanych czasopism. Gruntowna krytyczna analiza stanu zagadnienia wskazuje na niepowodzenia i zakłócenia występujące u pacjentów po implantacji endoprotezy stawu biodrowego. Doktorant właściwie analizuje poszczególne przypadki alloplastyki i wyciąga prawidłowe wnioski dotyczące potrzeby zmiany konstrukcji endoprotezy i rodzaju materiału użytego do ich wytworzenia.

Rzetelny przegląd literatury był podstawą zdefiniowania celu i zakresu pracy. Hipoteza pracy zakładała możliwość określenia optymalnego ustawienia osi komponentów endoprotezy ze względu na zmniejszenie oporów tarcia. Do wykazania słuszności sformułowanej tezy przyjęto odpowiedni program realizacji pracy doktorskiej zakładający osiągnięcie głównych celów pracy.

**Postawiony cel pracy uważam za osiągnięty, założony zakres pracy za zrealizowany a tezę pracy za udowodnioną i udokumentowaną.**

Procedury badawcze opisane w rozdziale dotyczącym metodyki badań są w większości standardowe lub znormalizowane i przyjęte w pracy zgodnie z ich przeznaczeniem. Niestandardowym i zarazem ciekawym urządzeniem badawczym jest symulator ruchu stawu biodrowego SBT-01.1 Wyniki badań nie budzą zastrzeżeń, a ich opis i dyskusja świadczy o znajomości poruszanego problemu.

Praca jest napisana starannie, czytelnie i wyczerpująco. Przedstawia zagadnienie badawcze zarówno od strony sformułowanych treści jak, i formy rozprawy. Struktura rozprawy jest prawidłowa. W rozprawie nie ustrzeżono się drobnych błędów edytorskich, nie wpływających na czytelność i przejrzystość pracy.



8/9



## Wniosek końcowy

Opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Wiśniewskiego pt. „**Wpływ kątów osadzenia komponentów endoprotezy stawu biodrowego na procesy tribologiczne**” stanowi istotny wkład w rozwój wiedzy w zakresie Inżynierii Mechanicznej.

Autor osiągnął założony cel wykazując się znajomością zagadnień z zakresu inżynierii mechanicznej, oraz nowoczesnej metodyki i technik badawczych. Zaprezentował oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. **Wnioski wynikające z rozprawy stanowią oryginalny wkład naukowy autora w rozwój dyscypliny naukowej Inżynieria Mechaniczna.**

Biorąc pod uwagę kompleksowe podejście do rozwiązania postawionego w pracy problemu, dużą oryginalność zastosowanej metodyki badań tarciovo-zużyciowych oraz własny wkład Autora w rozwiązanie konstrukcji symulatora stawu biodrowego stawiam wniosek o wyróżnienie pracy nagrodą.

**W mojej ocenie przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Wiśniewskiego w pełni spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez Ustawę z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.**



.....  
Prof. dr hab. inż. Piotr LACKI  
Politechnika Częstochowska  
Częstochowa, 25.11.2021

