

WPLYNEŁO DNIA	
6.03.2023	
data	Recenzja Rozprawy doktorskiej mgr inż. Martyny Białeckiej
Kierownik administracyjny	
nr pisma	podpis

Gdańsk, 31.03.2023

Dr hab. inż. Wiktoria Wojnicz, Profesor Uczelni
Dyrektor Instytutu Mechaniki i Konstrukcji Maszyn
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa
Politechnika Gdańska
ul. G. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

Recenzja Rozprawy doktorskiej mgr inż. Martyny Białeckiej p.t. **Biomechaniczna analiza obciążeń stawu kolanowego podczas wykonywania testu izokinetycznego**

Podstawa opracowania recenzji: pismo Pana Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej Pana Profesora PP dr hab. inż. Olafa CISZAKA z dn. 27.02.2023 r.

1. Ogólny opis recenzowanej Rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska mgr inż. Martyny Białeckiej "Biomechaniczna analiza obciążeń stawu kolanowego podczas wykonywania testu izokinetycznego" ma objętość 124 strony oraz dodatkowo zawiera streszczenie w języku polskim i angielskim oraz wykaz występujących w pracy skrótów. Rozprawa doktorska składa się z sześciu głównych rozdziałów: 1 – wprowadzenie (s.10-14); 2 – przegląd stanu wiedzy oraz opis motywacji podjęcia tematu badań (s.15-39); 3 – cele i teza pracy (s.40-41); 4 – analiza przebiegu momentu sił mięśniowych w stawie kolanowym podczas badania izokinetycznego (s.42-60); 5 – opracowanie i walidacji zindywidualizowanego osobniczo modelu biomechanicznego stawu kolanowego (TFITIMD) (s.61-93); 6 – analiza przebiegu siły piszczelowo-udowej u pacjentów po rekonstrukcji łąkotki w wybranych okresach pooperacyjnych (s.94-107); 7 – podsumowanie i kierunki dalszych badań (s.108-112). Rozprawa zawiera bibliografię (104 poz.), spis rysunków (34) i spis tabel (14) oraz 18 wzorów.

Praca obejmuje zagadnienia badania stawu kolanowego za pomocą testu izokinetycznego z zadaną prędkością kątową. Temat jest bardzo aktualny z bardzo dużym potencjałem aplikacyjnym w zakresie badań biomechanicznych i diagnozy klinicznej, szczególnie w rehabilitacji stawu kolanowego. Doktorantka podjęła się rozwiązania ambitnego zagadnienia, które polega na oszacowaniu obciążenia przenoszonego przez staw kolanowy podczas testu izokinetycznego z zadaną prędkością kątową.

Temat naukowy został rozwinięty pod kierunkiem Pana Profesora PP dr hab. inż. Jacka Buśkiewicza oraz przy pomocy promotora pomocniczego Pana dr Tomasza Walczaka w

Zakładzie Mechaniki Technicznej Instytutu Mechaniki Stosowanej Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej.

2. Zakres i ocena poszczególnych części recenzowanej Rozprawy doktorskiej

We **wprowadzeniu (rozdział 1)** Autorka opisała tematykę Rozprawy dotyczącą anatomicznej złożoności stawu kolanowego człowieka oraz aktualnego stanu wiedzy na temat podejść zaproponowanych do oszacowania przenoszenia obciążeń przez staw kolanowy. W sposób szczegółowy wyjaśniono, iż indywidualne cechy anatomiczne (w tym płeć osobnika) oraz aktywność fizyczna mają duży wpływ na rozkład obciążenia, które jest przenoszone przez badany staw kolanowy. Doktorantka podkreśliła, iż znajomość rozkładu obciążeń przenoszonych przez staw kolanowy jest bardzo ważna w przypadku rehabilitacji po urazie stawu kolanowego, gdyż pomaga zaplanować odpowiedni program rehabilitacji (zabiegi i ćwiczenia), który prowadzi do przywrócenia sprawności stawu kolanowego po urazie. Autorka uzasadniła, iż powodem wyboru testu izokinetycznego stawu kolanowego, jest stosowanie tego testu do badania obciążenia przenoszonych przez staw kolanowy w praktyce klinicznej w rehabilitacji stawu kolanowego po urazie. W tym rozdziale podano także skrócony opis zawartości Rozprawy i układu jej treści.

W **rozdziale 2** Doktorantka szczegółowo opisała podstawowe cechy anatomiczne oraz funkcjonowanie (kinematykę) stawu kolanowego z wyjaśnieniem wpływu poszczególnych składowych, w tym elementów kostnych (części dystalnej kości udowej, części proksymalnej kości piszczelowej oraz rzepki), więzadeł (wyjaśniono działanie ACL i PCL), mięśni oddziałujących na staw kolanowy (wyjaśniono działanie mięśnia czworogłowego i tylnej grupy mięśni) oraz łąkotek (bocznej i przyśrodkowej). Autorka wyjaśniła złożoność problemu analizy wymienionych składowych anatomicznych. W p.2.1 opisano test izokinetyczny, który można zrealizować za pomocą specjalistycznego dynamometru (np. Biodex), oraz jakie parametry można mierzyć podczas tego testu. Autorka podała sposoby realizacji testu izokinetycznego (ekscentryczny lub koncentryczny) oraz oceny parametrów rejestrowanych podczas testu, wskazując na ocenę ilościową i ocenę jakościową. Doktorantka podkreśliła, iż przebieg momentu rejestrowany podczas testu izokinetycznego stawu kolanowego można zastosować do zdiagnozowania zdrowotności stawu kolanowego (czy jest zdrowy czy chory) oraz działanie mięśni prostujących staw kolanowy ma większe znaczenie podczas diagnozowania. W p.2.3 Autorka opisała metody stosowane do oszacowania obciążenia przenoszonego przez staw kolanowy, w tym składowych siły piszczelowo-udowej. Wspomniano także o metodach normalizacji wyników z zastosowaniem BW oraz istotności problemu oszacowania obciążenia przenoszonego przez staw kolanowy u osobników zdrowych i po alloplastyce stawu kolanowego podczas różnych aktywności fizycznych. W p.2.4 Doktorantka opisała modele analityczne zaproponowane do oszacowania obciążenia stawu kolanowego podczas testu izokinetycznego,

w szczególności model Nisella, model Kaufmana, model Baltozopoulou. W ostatnim podrozdziale Autorka opisała motywację podjęcia tematu badań, z wyszczególnieniem braku w literaturze: 1) wzorcowego przebiegu momentu rejestrowanego podczas testu izokinetycznego stawu kolanowego u osób zdrowych; 2) przebiegu momentu rejestrowanego podczas testu izokinetycznego stawu kolanowego u osób z urazem łąkotki/łąkotec; 2) modeli analitycznych opracowanych do określenia obciążenia przenoszonego przez staw kolanowy podczas testu izokinetycznego, które uwzględniają zróżnicowanie parametrów anatomicznych ze względu na płeć i cechy anatomiczne uzyskane z danych MRI stawu kolanowego oraz pozwalają na oszacowanie siły piszczelowo-udowej u osób po operacji łąkotki stawu kolanowego podczas testu izokinetycznego.

W **rozdziale 3** Autorka opisała cel pracy, szczegółowe zadania badawcze (siedem zadań) oraz tezę Rozprawy.

W **rozdziale 4** Doktorantka zaprezentowała metodę badań oraz wyniki uzyskane na osobnikach zdrowych i pacjentach po operacji łąkotki przyśrodkowej. Wyniki uzyskano podczas testu izokinetycznego stawu kolanowego (prostowanie i zginanie) przy zadanej prędkości kątowej $60^\circ/s$. Wyjaśniono sposób doboru oraz kryteria wyłączenia i włączenia osobników oraz ich danych do analizy w nawiązaniu do: a) grupy referencyjnej (zdrowej), b) grupy pacjentów (po operacji łąkotki przyśrodkowej). Wyniki podano w postaci wykresów oraz Tabel opracowanych w sposób czytelny i zrozumiały. Na końcu podano podsumowanie uzyskanych wyników.

W **rozdziale 5** Autorka zaprezentowała zasady tworzenia autorskiego modelu biomechanicznego nazwanego TFITIMD (rys.5.1.1), w tym szczegółowo omówiła zasady opracowania modelu geometrycznego (na podstawie MRI stawu kolanowego, p.5.5) i płaskiego modelu mechanicznego (analitycznego) podanego w postaci równań (p.5.3), który to model można stosować do oszacowania siły piszczelowo-udowej przenoszonej w płaszczyźnie strzałkowej podczas prostowania w teście izokinetycznym. W p.5.2 wyjaśniono jakie parametry anatomiczne zostały oszacowane na podstawie literatury. Wynik analizy porównawczej (która została przez Autorkę „Walidacją”) między modelem TFITIMD a modelem Nisella podano w p.5.6 z wykorzystaniem danych pacjentów po operacji łąkotki. Analizę porównawczą wykonano za pomocą statycznych testów istotności (wyjaśniających czy występują różnice istotne statystycznie). W p.5.8 Autorka podała omówienie wyników oraz podsumowanie, zaś w p.5.9 – zakres zastosowania autorskiego modelu TFITIMD.

W **rozdziale 6** Doktorantka zaprezentowała wyniki siły piszczelowo-udowej u pacjentów po operacji łąkotki przyśrodkowej, które to wyniki uzyskano za pomocą autorskiego modelu TFITIMD. Wyniki podano w sposób czytelny w postaci Tabel i wykresów. W p.6.3. podano omówienie wyników, porównanie uzyskanych wyników do wyników podanych przez innych autorów dotyczących różnych aktywności fizycznych oraz podsumowanie.

W rozdziale 7 Autorka przedstawiła posumowanie Rozprawy i kierunki następnych badań.

3. Ocena Rozprawy doktorskiej

Ocena Rozprawy doktorskiej jest przedstawiona w postaci sześciu punktów: 1) Zagadnienie naukowe rozpatrywane w pracy; 2) Charakter oryginalnego rozwiązania problemu naukowego lub rozwiązania problemu w oparciu o opracowanie projektowe, konstrukcyjne lub technologiczne; 3) Uzasadnienie tematu badań; 4) Ocena rozwiązania podanego w Rozprawie; 5) Krytyczna analiza treści Rozprawy; 6) Ocena formalnej strony Rozprawy.

3.1 Zagadnienie naukowe rozpatrywane w pracy

Doktorantka podjęła się rozwiązania ambitnego zagadnienia naukowego polegającego na opracowaniu dwóch zadań. Zadanie pierwsze dotyczyło opracowania wzorcowego przebiegu dla osób zdrowych oraz wzorcowego przebiegu dla pacjentów po operacji łąkotki przyśrodkowej, które to przebiegi uzyskano w teście izokinetycznym w zakresie stałej prędkości kątowej (równiej $60^\circ/\text{s}$). Zadanie drugie polegało na opracowaniu analitycznego modelu biomechanicznego stawu kolanowego, który uwzględnia indywidualne cechy anatomiczne oraz może być stosowany do obliczenia składowej normalnej i składowej stycznej siły piszczelowo-udowej w płaszczyźnie strzałkowej ciała podczas prostowania stawu kolanowego w teście izokinetycznym w zakresie stałej prędkości kątowej (równiej $60^\circ/\text{s}$). Uważam, iż na podstawie przedstawionego przeglądu literatury Autorka w sposób klarowny sformułowała problem badawczy oraz szczegółowe cele badawcze, których rozwiązanie pozwoliło na opracowanie rozwiązania zadania pierwszego i zadania drugiego.

3.2 Charakter oryginalnego rozwiązania problemu naukowego lub rozwiązania problemu w oparciu o opracowanie projektowe, konstrukcyjne lub technologiczne

Analizując treść Rozprawy, stwierdzam, iż Doktorantka przedstawiła samodzielne rozwiązanie o charakterze projektowym (autorski model biomechaniczny stawu kolanowego), które zostało rozwinięte w oparciu o wiedzę z dziedziny inżynierii mechanicznej i inżynierii biomedycznej (w zakresie rehabilitacji).

3.3 Uzasadnienie tematu badań

Temat badań podanych w Rozprawie jest aktualny i istotny oraz ma duży potencjał zastosowania w praktyce klinicznej w zakresie rehabilitacji stawu kolanowego, szczególnie po urazie więzadła krzyżowego przedniego lub po urazie łąkotki przyśrodkowej.

W mojej opinii podany przegląd źródeł literaturowych podanych w Rozprawie jest opisany w sposób czytelny. Stwierdzam, iż Doktorantka posiada dostateczną wiedzę naukową aby samodzielnie realizować następne badania naukowe.

3.4 Ocena rozwiązania podanego w Rozprawie

Po wnikliwej analizie treści Rozprawy oraz wybranych pozycjach literaturowych podanych w tej Rozprawie, stwierdzam, iż Doktorantka zastosowała prawidłową metodę badawczą oraz w sposób czytelny przedstawiła uzasadnienie przyjętych założeń, wyniki badań oraz ich interpretację doświadczalną. W p.3.5 niniejszej recenzji podałam pytania, które powstały podczas analizy treści Rozprawy.

Uważam, iż Autorka Rozprawy zaproponowała oryginalne naukowe rozwiązanie, które wnosi znaczący wkład naukowy w rozwój dyscypliny Inżynieria Mechaniczna.

3.5 Krytyczna analiza treści Rozprawy

W zakresie analizy krytycznej treści Rozprawy przedstawiłam uwagi w dwóch postaciach: a) uwagi główne (są podane poniżej) oraz uwagi szczegółowe (podane w p.3.5.1).

1) Doktorantka powinna uzupełnić opisy dotyczące autorskiego biomechanicznego modelu zaproponowanego w Rozprawie o opisy zawierające zakres kątowy oraz rodzaj ruchu (wyprost) dla którego opracowano model biomechaniczny. Uwaga na dotyczy całej pracy, a w szczególności sformułowań podanych na s.12 (p.1.1, drugie zdanie ostatniego akapitu), s.14 (p.1.2, pierwsze zdanie pierwszego akapitu), s.40 (zadanie badawcze nr 7 oraz Teza Rozprawy), s.90 (p.5.8) oraz w Rozdziale 7 (Podsumowanie i kierunki dalszych badań).

2) W Rozdziale 3 (Cele i teza pracy) należy:

2a) w celu Rozprawy doprecyzować jakie parametry/dane należy traktować jako wejściowe (znane) i wyjściowe (obliczane);

2b) w zadaniu badawczym nr 1 doprecyzować dla jakich osób badanych i dla jakiego zakresu należy opracować przebieg wzorcowy;

2c) w zadaniu badawczym nr 2 podać model referencyjny, gdyż wskazano „modyfikację dwuwymiarowego modelu biomechanicznego”;

2d) w zadaniu badawczym nr 4 wyjaśnić jakie było (lub powinno być) ustawienie podczas wykonania MRI stawu kolanowego, tzn. czy była to pozycja leżąca czy pozycja stojąca w stosunku do kierunku grawitacji. Należy także doprecyzować czy to ustawienie podczas badania MRI ma wpływ na model biomechaniczny, który Doktorantka zaproponowała w pracy;

2e) doprecyzować zadanie badawcze nr 5;

2f) uzupełnić zadanie badawcze nr 6 i nr 7 o zakres zastosowania oraz wskazać, iż model autorski podany w Rozprawie może być jedynie stosowany do oszacowania obciążenia przenieszonego przez staw kolanowy podczas prostowania podczas testu izokinetycznego z zadaną prędkością kątową (60°/s).

3) Należy wyjaśnić w sposób czytelny z jakiego powodu nie podano rozróżnienia na kończynę prawą i lewą oraz rodzaju dominacji (p.4, szczególnie Tab.4.2.1, Tab.4.3.2, Tab.4.3.3, Tab. 4.3.4, p.5.4).

4) Autorka powinna uzasadnić z jakiego powodu niektóre rysunki i dane w tabeli podane w Rozprawie są podobne do rysunków i danych opublikowanych w publikacji [84] (*M. Michałowska, T. Walczak, J. K. Grabski, and M. Grygorowicz, "How to verify whether the soccer player's knee is functioning properly?," ISBS Proc. Arch., vol. 36, no. 1, Nov. 2018*):

4a) Na Rys 4.2.2. Rozprawy podany przedział SD jest podobny do przedziału SD, który podano na Fig.1 [87];

4b) Rys.4.2.3 Rozprawy jest identyczny do Fig.2 [87];

4c) Dane dot. M1, Mt1, M2, Mt2, t1, t2 podane w Tab.4.2.1 Rozprawy są takie same jak dane podane w Tab.1 [87].

Należy także wyjaśnić dlaczego w Rozprawie nie podano cytowania na tę pracę [84] przy wskazanych wynikach.

5) Doktorantka powinna uzasadnić powód zastosowania statystycznej analizy porównawczej (która została przez Autorkę „Walidacją”). Analiza ta jest oparta na wyznaczeniu statycznie istotnych różnic między wynikami modelu TFITIMD i modelu Nisella (5.6). Statystyczna analiza porównawcza jest często stosowana w Inżynierii Biomedycznej oraz w Naukach Medycznych i służy do analizy danych medycznych, dla których nie ma opracowanych modeli deterministycznych.

3.5.1 Uwagi szczegółowe do Krytycznej analizy treści Rozprawy

1) Doktorantka w Streszczeniu (oraz Abstract) zastosowała pojęcie „model referencyjny”. Należałoby wyjaśnić z jakiego powodu określenie „model referencyjny” zastosowano w Streszczeniu, zaś nie zastosowano w Rozprawie.

2) W drugim zdaniu Streszczenia podano określenie „...na analizie momentów sił mięśni prostujących i zginających staw pod obciążeniem kończyny zadanym przez dynamometr izokinetyczny”. Podane określenie budzi wątpliwość w stosunku do definicji Testu Izokinetycznego (zastosowanego w Rozprawie), który polega na realizacji ruchu ze stałą prędkością (warunek kinematyczny nie jest warunkiem obciążeniowym).

3) W Streszczeniu podano liczbę „340”, która oznacza całą populację referencyjną. Jednak przy oszacowaniu przebiegów referencyjnych zastosowano tylko 126 osobników, które spełniały określone kryteria włączenia.

- 4) W Streszczeniu i w Rozprawie zastosowano pojęcie „kinetostatyka”. Jest to określenie niewłaściwe, które należy skorygować. Pojęcie kinetostatyka dotyczy formułowania modelu mechanicznego z uwzględnieniem sił bezwładności, z kolei oryginalny model zaproponowany w Rozprawie opisuje jedynie stany równowagi statycznej.
- 5) W opisie „Występujące w pracy skróty” Autorka zastosowała dwa pojęcia „CKC” i „OKC”, które nie zostały użyte w Rozprawie. Pojawia się więc kwestia powodu podania tych skrótów. Dodatkowo definicja PL nie jest zgodna z definicją EN, tzn. „kinetic” nie jest równoznaczny z „kinematyczny”. Należałoby podkreślić, iż opis „Występujące w pracy skróty” powinien być uzupełniony o wszystkie symbole zastosowane we wszystkich rozdziałach Rozprawy (1 - 6).
- 6) s.10 - Autorka podała sformułowanie „*Jednak mimo tak szerokiej wiedzy, w dalszym ciągu nie opracowano jednego, skutecznego modelu, który w sposób dokładny i uniwersalny opisywałby profil obciążeń stawu kolanowego*”, które wymaga: a) doprecyzowania dot. rodzaju modelu (analityczny, fizyczny itp.); b) korekty ze względu na opis modelu i jego zastosowania, tzn. model może być uniwersalny, zaś „uniwersalne opisanie profilu obciążeń” jest pojęciem merytorycznie niewłaściwym. Ponadto określenie „profil” należałoby doprecyzować w zakresie tematyki Rozprawy, tzn. czy chodzi o przebieg, czy o dystrybucję, czy o coś innego, oraz jakie wartości są rozpatrywane (siły, momenty) (s.12, p.1.2., drugie zdanie pierwszego akapitu).
- 7) s. 10 – Zdanie „*...ruch odpowiada za prawidłowy stan mięśni (poprzez zwiększanie grubości włókien mięśniowych) i kości (poprzez poprawę budowy wewnętrznej kości, lepiej dostosowując ją do przenoszenia obciążeń)*” powinno być merytorycznie poprawione, a w szczególności sformułowania: a) „*prawidłowy stan mięśni*”; b) „*poprzez zwiększanie grubości włókien mięśniowych*”; c) „*poprawę budowy wewnętrznej kości, lepiej dostosowując ją do przenoszenia obciążeń*”.
- 8) s.11 - Zdanie „*Dodatkowo każdy z testów czy ćwiczeń może generować różnej wielkości siłę*” należy starannie doprecyzować, biorąc pod uwagę poprzednie opisy.
- 9) s.12 - Należy doprecyzować dwa sformułowania: a) „*prawidłowej mechaniki stawu*”; b) „*symetrii obciążeń powierzchni stawowych*”.
- 10) s.13 - Pierwsze zdanie ostatniego akapitu zawiera określenie „*moment sił mięśni*”, które powinno być uzupełnione o „zredukowany” lub należy to zdanie sformułować na inny sposób z uwzględnieniem zasad mechaniki.
- 11) s.14 -Trzecie zdanie drugiego akapitu zawiera określenie „*oceny jakościowej*”. Należy w tym miejscu podać krótką charakterystykę tego określenia lub wskazówkę do punktów Rozprawy, w których jest ta ocena wyjaśniona.
- 12) s.16 - W drugim akapicie Doktoranta opisuje rodzaje ruchów zachodzące w stawie kolanowym. Należy podany opis uzupełnić o zakresy ruchu ze wskazaniem jaki (jakie) ruchy

- zachodzą (rodzaj ruchu zależy od zakresu ruchu w stawie kolanowym!). Ponadto w tym akapicie w zdaniu drugim jest podane sformułowanie „*leżącej w płaszczyźnie kłykcia*”, które powinno być doprecyzowane.
- 13) s.18 - w drugim akapicie jest opisana budowa anatomiczna i funkcja łąkotek. Podano także sformułowanie „*czucia głębokiego (propriocepcji)*”, które sugeruje, iż łąkotki są unerwione. Należałoby starannie przeanalizować czy podane sformułowanie jest merytorycznie uzasadnione ze względu na fizjologię.
- 14) s.18 - s.19 - opisy opracowane na bazie źródeł [18],[19] i [23] wymagają starannej analizy i korekty, gdyż obciążenia przenoszone przez łąkotki powinny być rozpatrywane ze względu na naprężenia/odkształcenia obwodowe i promieniowe.
- 15) s.20 - Definicję testu izokinetycznego, która jest podana w p.2.2 („*test izokinetyczny to pomiar momentów sił mięśniowych podczas wykonywania ruchu w stawie ze stałą prędkością, przy zadanych warunkach kontrolnych*”), należy uzupełnić o: a) rodzaj ruchu; b) rodzaj prędkości; c) warunki kontrolne. Pierwsze i drugie pojęcie powinno być zgodne z zasadami mechaniki. Z kolei trzecie pojęcie (warunki kontrolne) powinno być starannie wyjaśnione w zdaniu kolejnym (na s. 20 w drugim akapicie w zdaniu czwartym podano wyjaśnienie warunków kontrolnych, jednak z opisu nie można wywnioskować czy to jest zbiór całkowity czy podano tylko wybrane elementy tego zbioru tworzącego warunki kontrolne).
- 16) s. 21 - opis „*stosunek szczytowego momentu sił mięśni zginających staw kolanowy do mięśni prostujących staw kolanowy*” oraz „*porównuje się momenty sił mięśni prostujących i zginających staw kolanowy*” należy doprecyzować o wskazanie czy druga część sformułowania „*mięśni prostujących staw kolanowy*” i „*zginających staw kolanowy*” dotyczy momentu czy siły.
- 17) s. 33 - sformułowanie „*Model zaproponowany przez Kaufmana i wsp. był modelem trójwymiarowym o jednym stopniu swobody*” wymaga korekty merytorycznej.
- 18) Doktorantka zastosowała określenie „*niedookreślony*” (s.34, s.93). Określenie to wymaga wyjaśnienia czy chodzi o model nadmiarowy, czy o jakiś inny model.
- 19) s.35 - Zdanie „*Uznano też, że wpływ sił działających na tkanki miękkie jest zaniedbywalnie mały w stosunku do sił mięśniowych*” wymaga doprecyzowania z uwzględnieniem treści poprzedniego zdania.
- 20) s.38 - sformułowanie „*...ponieważ obciążenie automatycznie dostosowuje się do możliwości pacjenta, kiedy ten naciska kończyną na dźwignię dynamometru*” wymaga wyjaśnienia w jaki sposób zachodzi proces sterowania w urządzeniu stosowanym do przeprowadzenia testu izokinetycznego.
- 21) s.39 - sformułowanie „*z pomiarów przeprowadzonych na preparatach utrwalonych SK*” powinno być poprawione w zakresie merytorycznym.

- 22) s.43 - przy opisie danych przyjętych do analizy należy podać jakie wygładzenie sygnałów zostało zastosowane (gdyż to może mieć znaczący wpływ na analizowane wyniki). Dodatkowo w p.4.2. należy podać specyfikacje techniczne nastaw Biodex'u oraz warunków kontrolnych stosowanych w badaniach, w tym przykładowy przebieg prędkości kątowej dźwigni Biodexu
- 23) Należy podać interpretacją fizjologiczną do parametrów (5 – 9) charakteryzujących przebieg referencyjny momentu sił mięśniowych w TISK (s.48) oraz Tab.50.
- 24) Należy wyjaśnić z jakiego powodu na rys. 5.1.1. nie podano kąta φ . Z opisu podanego w p.5.1 można wywnioskować, iż jest to kąt między osią długą kości piszczelowej i osią długą kości udowej. Dodatkowo należy w sposób czytelny podać jaki jest zakres tego kąta φ .
- 25) Należy wyjaśnić; a) w jakim zakresie zmienia się kąt α (p.5.1); b) w jakim zakresie można stosować równania (5.2.1), (5.2.2) i (5.2.3).
- 26) rys.4.2.1 - należy dodać zakres kątowy zrealizowany przez badanych, w tym należy czytelnie zaznaczyć jaki to był zakres i czy był ten sam dla wszystkich badanych (zakres prostowania i zakres zginania)
- 27) Doktorantka powinna wyjaśnić w jaki sposób należy traktować przedział podany czerwonym kolorem na rys. 4.2.2., tzn. czy to jest zakres $\text{mean} \pm \text{SD}$ czy coś innego. Należy także wyjaśnić; a) dla jakiej grupy uzyskano ten przedział; b) w jaki sposób tworzono te przedziały; c) w jaki sposób zostały te przedziały modyfikowane ze względu na σ po włączeniu kolejnych osobników do analizy.
- 28) W p.5.4 i p.5.7 Doktorantka podała powołania na Tab.4.2.1. Jest to błędne powołanie, gdyż dot. osób zdrowych.
- 29) s.72 - podane są wielkości geometryczne bez odniesienia do odpowiednich rysunków. Należałoby uzupełnić te opisy o podanie odniesień do odpowiednich rysunków.
- 30) W tab.6.2.1 są podane wyniki składowych siły piszczelowo-udowej w [N] w postaci średnia(SD). Wartości SD dość duże w stosunku do średniej. Należy więc wyjaśnić z jakiego powodu są tak duże odchylenia standardowe.
- 31) Na rys. 6.2.2 należy podać legendę do każdego wykresu aby można było prześledzić poszczególne wykresy.
- 32) s.88 - należy uściślić czy uzyskane istotne statystycznie różnice są także istotnymi różnicami doświadczalnymi.

3.6 Ocena formalnej strony Rozprawy

Na s.13 w pierwszym zdaniu jest omyłkowo podany „Trzeci rozdział”, gdyż motywacja jest opisana w p.2.4.

Na s.13 drugi akapit wymaga doprecyzowania o elementy nowości naukowej opisane w Rozprawie.

Na s.13 w drugim zdaniu trzeciego akapitu pojawia się określenie „oceny jakościowej TISK”. Należałoby to pojęcie w tym miejscu doprecyzować.

Na s.15 zdanie „Daje to w sumie 6 stopni swobody” wymaga korekty merytorycznej.

Na s.31 jest wymieniony Rys.2.3.2, który nie jest podany w pracy. Powstaje więc pytanie czy rysunek został pominięty czy nazwa rysunku jest błędna.

Podane wartości (średnia \pm SD) wymagają starannej korekty aby była zapewniona prawidłowość opisu ze względu na opis metrologiczny. Uwaga ta dot. danych podanych na s. 34, s. 35, Tab. 4.3.2, Tab. 4.3.3, Tab. 4.3.4, s.95, s.103, s.107.

W p.5.3 brakuje opisu symbolu „ a_c ”, ponadto równanie (5.3.5) zostało określone jako „równanie momentu pędu”. Pojawią się pytanie z jakiego powodu Doktorantka podała to określenie.

Rys.5.5.7 należy podać wszystkie kąty opisane na s.77 w punktach 14,15,16 oraz doprecyzować co należy rozumieć jako poziom i pion w p.16.

Na s.82 Doktorantka powinna podać uzasadnienie założeń przyjętych do zastosowania podanych zależności interpolowanych liniowymi funkcjami.

Niektóre pozycje literaturowe są niekompletne i powinny być uzupełnione: [8], [12], [32], [43], [45], [51]. Ponadto pozycja [13] nie jest dostępna.

Są spotykane pojedyncze błędy interpunkcyjne , np. s.19.

3.6.1 Uwagi szczegółowe do Oceny formalnej strony Rozprawy

- 1) -s.10, określenie „transferowana” należałoby uszczegółwić.
- 2) -s. 44, „przy prędkości testowej $60^\circ/s$ ” powinno być „przy prędkości kątowej $60^\circ/s$ ”.
- 3) -rys. 5.1.1 zawiera symbol F_{TF} , zaś rys. 5.3.1 – symbol F_{FT} , pojawia się więc pytanie, które określenie jest prawidłowe.
- 4) -równania (5.3.8) i (5.3.9) są trudne do weryfikacji. Dobrze by było aby Doktorantka podała poszczególne wyprowadzenie z bazowych równań (5.3.6) i (5.3.7).
- 5) -w równaniach (5.3.8) i (5.3.9) podano symbol „ λ ”, który nie jest opisany w pracy.
- 6) -s.74, s.76 i s.77 co oznacza „skopiować”?

- 7) -s.84 – kąt podany w p.10 powinien być uzupełniony o wskazanie czy to jest kąt stały czy zmienny.
- 8) -s.94, „Rozdział 4.3.... prezentował” powinno być zamienione na „W rozdziale 4.3. zaprezentowano...”.

4. Wniosek końcowy

Przedstawiona mi do recenzji Rozprawa doktorska **mgr inż. Martynty Białeckiej** p.t. „*Biomechaniczna analiza obciążeń stawu kolanowego podczas wykonywania testu izokinetycznego*” stanowi samodzielne opracowanie problemu naukowego, które potwierdza, iż Doktorantka posiada umiejętności niezbędne do realizacji badań naukowych oraz prezentacji wyników tych badań.

Pomimo uwag krytycznych i formalnych podanych w recenzji, stwierdzam, iż **mgr inż. Martyna Białecka** w przedstawionej Rozprawie doktorskiej przedstawiła istotne naukowo osiągnięcia będące wynikiem przeprowadzonych badań, które wnoszą wkład w rozwój dyscypliny Inżynieria Mechaniczna.

Biorąc pod uwagę całość pracy, stwierdzam, iż **Rozprawa doktorska mgr inż. Martynty Białeckiej** spełnia wymogi zawarte w *Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” z późn.zm.* oraz *ROZPORZĄDZENIE MINISTRA EDUKACJI I NAUKI z dnia 11 października 2022 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych, w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych i dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna*, oraz wnioskuję o przyjęcie tej Rozprawy i dopuszczenie jej Autorski do publicznej obrony.

