

Prof. dr hab. inż. Romuald Będziński
Wydział Mechaniczny
Instytut Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej
Katedra Inżynierii Biomedycznej
65-516 Zielona Góra
Tel-601612649
r.bedzinski@ibem.uz.zgora.pl,romuald.bedzinski@pwr.edu.pl

Wrocław, 20 sierpnia 2021

Opinia na temat rozprawy doktorskiej mgr inż. Dymitra Osińskiego
„BADANIE PARAMETRÓW RUCHU ZŁOŻONEGO KOŃCZYNY DOLNEJ W CELU
ROZBUDOWY ROBOTA ORTOTYCZNEGO O MODUŁ SKRĘTU”

Niniejszą opinię przygotowałem na zlecenie Rady Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej, która prowadzi przewód doktorski mgr inż. Dymitra Osińskiego.
Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Danuta Jasińska-Choromańska profesor Politechniki Warszawskiej

1. WPROWADZENIE

Koniec ubiegłego wieku i początek obecnego to czas, kiedy współczesne metody matematyczne coraz bardziej znacząco wkraczają do inżynierii biomedycznej, a ortopedii w szczególności.

Recenzowana rozprawa doktorska wpisuje się bardzo dobrze w ten dział współczesnej inżynierii mechanicznej, w tym także matematyki, a także we wspomaganie leczenia dysfunkcji narządu ruchu człowieka, a przede wszystkim konstruowaniu narzędzi ortotycznych.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska wydana w postaci zwięzłego opracowania, zawiera dorobek mgr inż. Dymitra Osińskiego w zakresie badań dotyczących wspomaganie orientacji i zapisu ruchu dysfunkcyjnego pacjenta pod kątem wspomaganie funkcji ruchowych.

Całość podjętej tematyki badań Autor zawarł na 171 stronach maszynopisu. Praca jest ujęta w postaci dziewięciu rozdziałów, w tym wniosków oraz wykazu literatury (150 pozycji), a także pięciu załączników.

Pracą swoją doktorant włączył się w bardzo istotny i trudny nurt współczesnej inżynierii biomedycznej, w szczególności wspomaganie narządu ruchu człowieka. Na uwagę zasługuje nowatorski charakter pracy doktoranta. Należy podkreślić, że literatura dotycząca opisu trajektorii ruchu narzędzia ortotycznego o wielu stopniach swobody dostosowanego do struktur anatomicznych człowieka jest raczej skromna. Na podstawie mojego rozeznania, jest to chyba jedna z pierwszych tego typu prac badawczych z tego zakresu w kraju, uwzględniająca specyfikę obiektu zastosowań. Myślę, że jest to kierunek przyszłościowy rozwoju narzędzi ortotycznych .

2. OCENA MERYTORYCZNA ROZPRAWY

Mgr inż. Dymitr Osiński w swojej rozprawie postanowił wykazać, że możliwe jest w miarę optymalne wspomaganie dysfunkcyjnej kończyny, w sposób wystarczający trajektorii ruchu redundantnego adekwatnie jak dla wielocłonowego narzędzia robota chirurgicznego. Przedstawiona do oceny rozprawa ma charakter analityczny. Do rozwiązania założonego zadania Autor zastosował opis kinematyki prostej z określeniem równań kinematyki ramienia robota. Równania kinematyki można sformułować wykorzystując metody stosowane w mechanice klasycznej.

Mgr inż. D.Osiński swoją dysertacją aktywnie włączył się do prac zespołu dra hab. Danuty Jańskiej-Choromanskiej Profesor PW, dotyczących opracowania wielocłonowego narzędzia wspomaganie czynności ruchowych człowieka z dysfunkcją kończyn dolnych.

Autor w swojej rozprawie przedstawia w analityczny sposób opis trajektorii ruchu narzędzia ortotycznego o wielu stopniach swobody w ciele pacjenta. Jedną z głównych założeń Autora było omijanie newralgicznych narządów wewnętrznych takich jak nerwy i naczynia krwionośne. Nie da się dla tylu członów narzędzia ortotycznego w klasyczny sposób przedstawić równania trajektorii ruchu efektora ortozy. Przy redundantnej liczbie stopni swobody występuje wiele rozwiązań. Autor skoncentrował się na zastosowaniu obrazowania medycznego z wykorzystaniem metod metodyki analizy ruchu. Umożliwiło to, wyznaczenie wolnych przestrzeni, w których narzędzie może się poruszać. Udowodnił, że możliwe jest znalezienie jednoznacznego rozwiązania ruchu narzędzia przy zadanym punkcie startowym i końcowym. Innym wariantem jest uzyskanie informacji, że takie przejście jest niemożliwe. Przedstawiony model matematyczny trajektorii ruchu narzędzia

ortotycznego może również znaleźć zastosowanie do dowolnego innego redundantnego narzędzia spełniającego założenia autora.

Autor w rozdziale 2 zawarł przegląd konstrukcji aktywnych egzoszkieleatów ze szczególnych podkreśleniem analizy ruchu kończyny dolnej człowieka. Szkoda, że Autor nie pokusił się, na zakończenie tego rozdziału, o przedstawienie perspektyw rozwoju, w tym z zastosowaniem redundantnych narzędzi diagnostycznych. Stanowiło by to wykazanie przydatności badań Autora w rozwoju polskiej linii ortez rehabilitacyjnych.

W rozdziale 3 została zdefiniowana metodyka badań. Zdaniem Autora podstawowym problem wymagającym rozwiązania jest bezpieczne prowadzenie redundantnego narzędzia laparoskopowego w ciele pacjenta. Jednocześnie zostały sformułowane wymagania oraz warunki realizacji takiego zadania. Założenia Autor podzielił na szczegółowe, dotyczące modelu kinematycznego, narzędzia oraz szczegółowe, dotyczące modelu ciała pacjenta. Istotnym elementem tego rozdziału są założenia upraszczające.

Rozdział czwarty poświęcono charakterystyce opisu modelu symulacyjnego ortozy oraz zastosowanego narzędzia matematycznego. I tu aż się prosi o podanie aplikacji fizycznej zastosowanego narzędzia.

Rozdział piąty, moim zdaniem jeden z ważniejszych rozprawy, Autor poświęcił opisowi modelu związanego z ciałem pacjenta. Istotnym elementem w tej części pracy jest pokazanie metodyki wyboru rozwiązań technicznych oraz elementy konstrukcji ortozy.

W rozdziale 6 zawarto istotny element, to jest opis tworzenia oraz procedury optymalizacji zbiorów możliwych rozwiązań jako warunek prowadzenia narzędzia ortotycznego w przestrzeni ruchu ciała.

W siódmym rozdziale Autor zawarł ocenę możliwości rozwoju egzoszkieleatów oraz robotów ortotycznych, w tym syntetyczny opis wkładu pracy w rozwój dyscypliny naukowej jaką jest w tym przypadku rehabilitacja.

W rozdziale ósmym doktorant, w sposób w miarę zwarty, przedstawił wykaz wykorzystanych źródeł. A wskazane było by pokazanie osiągnięcia Autora na tle doniesień literaturowych.

W rozdziale dziewiątym, Autor przedstawił wykaz wykorzystanych załączników.

3. OSIĄGNIĘCIA PRACY

Rozprawa doktorska mgr. Dymitra Osińskiego rozszerza możliwości badawcze w zakresie modelowania i symulacji komputerowej układów wspomagających dodatkowe funkcje ruchowe robotów ortotycznych, w tym ruchu skrętu o niewielkim promieniu z użyciem kul. Opracowany autorski, matematyczny opis ruchu ortezy pomiarowej stanowi bazę, na której oparta jest symulacja ruchu i uwzględnia zarówno kinematykę układu, zmierzone trajektorie czasowe ruchu, jak i niepewności pomiarowe. Zaletą wykorzystanej analitycznej metody jest otrzymanie jednoznacznych wyników bez konieczności przeprowadzania obliczeń iteracyjnych (które często są wymagane przy problemach kinematyki odwrotnej). Metodyka postępowania może być wykorzystywana przy analizie i rozważaniu różnych trajektorii ruchu, nie tylko skrętu o niewielkim promieniu.

Rozprawa przedstawia autorską metodę badania wykorzystującą, w przeciwieństwie do metod wizyjnych, inny sposób do badań/pomiarów używając specjalnie do tego celu opracowanej metodyki łączącej pomiar za pomocą mechatronicznej ortezy oraz symulacje dynamiczne w środowisku Adams (specjalnie do tego celu opracowany model parametryczny ciała człowieka w środowisku MSC Adams, umożliwiając przeprowadzenie komputerowych symulacji wybranego ruchu, w tym ruchu skrętu, pozwalający na uzyskanie wartości wybranych parametrów dynamicznych). Taki sposób można uznać za nowatorski, bowiem łączy właściwości stanowiska pomiarowego z proponowanym układem kinematycznym robota ortotycznego, umożliwiając jego wstępną walidację. Zastosowanie mechanicznego układu do akwizycji ruchu pozwoliło na ograniczenie lub całkowite zablokowanie stopni swobody stawów biodrowych, dzięki czemu możliwe było opracowanie schematu ruchów skrętu kompatybilnego z planowanym egzoszkieletem.

Dzięki temu ruch mógł być nie tylko zbliżony do antropomorficznego i bezpieczny, ale także wykorzystywać jedynie niezbędne stopnie swobody i zakresy, co może mieć przełożenie na energochłonność i skomplikowanie systemu aktywnego skrętu. Wykorzystanie symulacji w metodyce badawczej/pomiarowej umożliwiło wirtualne odwzorowanie ruchów i pozyskanie informacji o parametrach dynamicznych podczas skrętu wykonywanego przez osoby o odmiennej budowie ciała. Wynikiem takiego podejścia były nie tylko dane pomiarowe, ale i wytyczne związane z opracowywaniem

modułu skrętu dla robotów ortotycznych wskazujące, między innymi na potrzebne parametry w ich pracy. Stanowisko badawcze w postaci ortezy pomiarowej wraz z modelem symulacyjnym nie są ograniczone do badań skrętu i mogą być wykorzystane do rozwoju i dalszych prac badawczych w obszarze dodatkowych systemów ruchu robotów ortotycznych.

W stosunku do aktualnego stanu wiedzy i poziomu techniki w zakresie tematyki rozprawy, opracowana metoda badania parametrów ruchu skrętu robota ma cechy profesjonalnej metody badawczej. W kontekście tej pracy cecha systemu mechanicznego uznawana zwykle za wadę, to jest ograniczanie swobody ruchu, stała się w istocie zaletą, gdyż celem było właśnie zmierzenie ruchu złożonego przy ograniczeniach wprowadzanych przez zewnętrzny szkielet. Autor przedstawił też perspektywy badawcze dotyczące rozszerzenia możliwości tej metody.

Parametryczny model ciała człowieka, rozbudowany o model ortezy pomiarowej, umożliwia realizację następnych/kolejnych prac naukowo/badawczych w obszarze inżynierii mechanicznej ukierunkowanej na robotykę ortotyczną.

Istnieje duże zapotrzebowanie na prace, które mają charakter zarówno teoretyczny jak i doświadczalny, a jednocześnie zorientowane są na bezpośrednie zastosowania w urządzeniach rehabilitacyjnych. Recenzowana rozprawa doktorska odpowiada temu zapotrzebowaniu, a podjęta w niej tematyka ma dla współczesnej inżynierii mechanicznej - robotyki ortotycznej istotne znaczenie poznawcze i praktyczne.

4. UWAGI KRYTYCZNE

1. Ponieważ autor w tytule i założeniach formułuje użyteczny cel pracy, wskazane by było wyraźnie odniesienie osiągniętych celów pracy do aspektów praktycznych, chociaż w odniesieniu do polskich rozwiązań robotów chirurgicznych.
2. Rozdziały 3 i 4 powinny być zakończone elementami modelu fizycznego opracowanych zagadnień.
3. W rozprawie doktorskiej, jak w każdej pracy naukowej, po dogłębnej oraz krytycznej analizie literatury powinno się sformułować cele naukowe podjętych badań. Tego w ocenianej pracy zabrakło.
4. W podsumowaniu dysertacji powinien Autor pokazać uwarunkowania możliwości fizycznej aplikacji osiągniętego celu.

5. W pracy brakuje oceny wpływu przemieszczeń oraz odkształceń tkanek na trajektorię ruchu narzędzia chirurgicznego, a tym samym oszacowania możliwych błędów metody.

5. WNIOSEK KOŃCOWY

Przesłana do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. **Dymitra Osińskiego** p.t. „**BADANIE PARAMETRÓW RUCHU ZŁOŻONEGO KOŃCZYNY DOLNEJ W CELU ROZBUDOWY ROBOTA ORTOTYCZNEGO O MODUŁ SKRĘTU**”, promotorstwa dra hab. inż., **Danuty Jasińskiej Choromańskiej** spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim (Ustawa o stopniach naukowych i o tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku, Dziennik Ustaw Nr 65, poz. 595) dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie **Inżynieria Mechaniczna**.

Po zapoznaniu się z treścią recenzowanej rozprawy mogę stwierdzić, iż stanowi ona istotny przyczynek naukowy do badań planowania, w miarę jednoznaczny sposób, trajektorii dla wielocłonowego redundantnego narzędzia chirurgicznego, przy zastosowaniu metod analitycznych oraz teorii grafów.

Przedstawione w punkcie recenzji uwagi mają, moim zdaniem, znaczenie porządkujące lub też stanowią element wymiany poglądów z Autorem rozprawy. W związku z tym wnioskuję o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

