

prof. dr hab. inż. Jerzy Małachowski
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Wojskowa Akademia Techniczna
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2
00-908 Warszawa
Tel.: +48 261 839 140
E-mail: jerzy.malachowski@wat.edu.pl

Warszawa, 23.10.2023 r.

Aneks do recenzji z dn. 22.04.2023 r.

rozprawy doktorskiej

„Optymalizacja biomanipulatora typu ręka człowieka do zastosowania w celach protetycznych dla pacjentów z różnym stopniem amputacji”

autorstwa mgr. inż. WOJCIECHA JOPKA

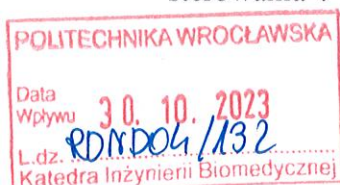
1. Podstawa opracowania

Podstawę opracowania stanowi pismo od Pani Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Biomedycznej Politechniki Wrocławskiej, Pani prof. dr hab. inż. MALGORZATY KOTULSKIEJ, i dołączona do niego poprawiona rozprawa doktorska mgr. inż. WOJCIECHA JOPKA pt. *„Optymalizacja biomanipulatora typu ręka człowieka do zastosowania w celach protetycznych dla pacjentów z różnym stopniem amputacji”*. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. MAGDALENA PRZYBYŁO.

2. Krótkie omówienie

Recenzowana poprawiona rozprawa doktorska została napisana w języku polskim, łącznie na 213 stronach maszynopisu formatu A4. Składa się ona z: deklaracji autora, streszczenia w j. polskim i j. angielskim, podziękowania, spisu rysunków, spisu tablic, listy używanych skrótów w pracy oraz następujących rozdziałów: (1) Cel pracy; (2) Wstęp; (3) Analiza stanu techniki; (4) Zasady konstrukcji i optymalizacji protezy; (5) Optymalizacja protezy ręki; (6) Badania numeryczne kluczowych elementów konstrukcji manipulatora; (7) Wyniki optymalizacji; (8) Badanie kluczowych elementów układu sterowania; (9) Zastosowanie kliniczne; (10) Podsumowanie; Dodatku A „Lista publikacji i osiągnięć”, bibliografii zawierającej wykaz pozycji książkowych i artykułów oraz odwołań do stron internetowych.

W niniejszym poprawionym tekście rozprawy Autor zaprezentował, oprócz wymienionych wcześniej rozdziałów poszerzonych o nowe treści dwa nowe rozdziały, tj. „Badania numeryczne kluczowych elementów konstrukcji manipulatora” oraz „Badanie kluczowych elementów układu sterowania”.



Autor dysertacji podtrzymał i ponownie zawarł deklarację, w której istotne są dwa następujące stwierdzenia, a mianowicie: „praca była realizowana na Politechnice Wrocławskiej we współpracy z firmą BioEngineering.pl Sp. z o.o.” oraz „praca była realizowana bezpośrednio przeze mnie z udziałem mojego zespołu w ramach mojej działalności gospodarczej przekształconej w BioEngineering.pl Sp. z o.o., której jestem nieustannie Prezesem Zarządu oraz większościowym udziałowcem.”

3. Pytania merytoryczne oraz uwagi dyskusyjne

Po zapoznaniu się z treścią poprawionej rozprawy, Recenzent przedstawia następujące kluczowe uwagi i wątpliwości.

W zakresie formalnym Recenzent pragnie zauważyć, iż:

- 1) Autor dysertacji zamieścił w swojej deklaracji autorskiej (strona oznaczona „iii”) stwierdzenia dotyczące autorstwa przedstawionych wyników zawartych w rozprawie: „praca była realizowana na Politechnice Wrocławskiej we współpracy z firmą BioEngineering.pl Sp. z o.o.”, „praca była realizowana bezpośrednio przeze mnie z udziałem mojego zespołu w ramach mojej działalności gospodarczej przekształconej w BioEngineering.pl Sp. z o.o., której jestem nieustannie Prezesem Zarządu oraz większościowym udziałowcem” oraz zapis, który w pewnym sensie kłóci się z zapisami przytoczonymi powyżej, a mianowicie „cała praca poza cytowanymi fragmentami jest moją własnością”. Recenzent pragnie zauważyć, iż w otrzymanym egzemplarzu rozprawy brak jest podpisu Autora dysertacji pod załączoną „deklaracją autora”, jak też nie są załączone inne możliwe deklaracje, które wynikają z zapisów wskazanych powyżej („praca była realizowana na Politechnice Wrocławskiej we współpracy z firmą BioEngineering.pl Sp. z o.o.” oraz „praca była realizowana bezpośrednio przeze mnie z udziałem mojego zespołu w ramach mojej działalności gospodarczej przekształconej w BioEngineering.pl Sp. z o.o., której jestem nieustannie Prezesem Zarządu oraz większościowym udziałowcem”). W opinii Recenzenta, wskazane wątpliwości wymagają załączenia odrębnych podpisanych deklaracji potwierdzających autorstwo/współautorstwo zaprezentowanych rozwiązań konstrukcyjnych, zaproponowanych metodyk badawczych i przeprowadzonych analiz.

Uwagi natury merytorycznej i edycyjnej:

- 2) Bardzo dyskusyjnie brzmi określenie celu rozprawy, a mianowicie „Niniejsza rozprawa miała na celu opracowanie modułowego mechatronicznego biomanipulatora dla osób z ubytkami w obszarze kończyny górnej, którego konstrukcja wywodzi się w wielowektorowej analizie optymalizacyjnej przestrzeni dostępnych rozwiązań

w oparciu o zestaw kryteriów akceptacji protez ręki deklarowanych przez finalnych użytkowników”. Trudno więc jest stwierdzić, w które z kryteriów wpisuje się niniejsza rozprawa, gdyż „przedmiotem rozprawy doktorskiej ma być oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne”. Recenzent zauważa także, iż Doktorant w wykazie cytowanej bibliografii ani nie zamieścił swoich publikacji, a ani też licznych osiągnięć patentowych powstałych z jego udziałem.

- 3) Doktorant nadal nagminnie używa sformułowania „optymalizacja”, które to słowo wynika z prowadzenia analiz matematycznych pozwalających wyznaczyć najlepsze (optymalne) rozwiązanie (poszukiwanie ekstremum funkcji) z punktu widzenia określonego kryterium i może ona mieć charakter jedno lub wielokryterialny. Autor dysertacji poza przedstawianiem założeń teoretycznych w rozdziale 4.1.1 jednej z metod służących procesowi optymalizacji (metody mnożników Lagrange’a), nie przedstawił jej praktycznej aplikacji bazującej na jej implementacji do rozwiązania poszczególnych licznych zagadnień przytoczonych w rozprawie (str. 59-61, „optymalizacja sterowania”, „optymalizacja zasilania”, „optymalizacja napędów”, „zagadnienie optymalizacji konstrukcji”). Celowym byłoby więc przedstawienie dokładnego algorytmu badawczego prowadzonych analiz z matematycznie zdefiniowaną funkcją celu, przyjętymi warunkami początkowo-brzegowymi, jasno zdefiniowanymi założeniami i zbiorem kryteriów, czy też dopuszczalnych rozwiązań dla każdego z poruszanych zagadnień. Ten fakt nadal nie zaistniał w poprawionej wersji dysertacji.
- 4) Autor wiele uwagi poświęca słowu „optymalizacja” (cały rozdział 5), które to wyrażenie występuje w nazwie podrozdziału: „5.2 Optymalizacja struktury mechanicznej biomanipulatora” i elementów wchodzących w skład analizowanej struktury (optymalizacja konwertera energii kinematycznej (napęd) – Recenzent pragnie zauważyć, iż nie ma tego typu energii; układ kinematyczny przeniesienia napędu; umiejscowienie napędów palców; źródło energii; konstrukcja struktury nośnej protezy; wysokości amputacji dla podstawowego zestawu protetycznego; materiał struktury nośnej). Każde tego typu zagadnienie i jego analiza ogranicza się jedynie do zestawień tabelarycznych w postaci opisu wagowego w podziale funkcjonalnym, w którym każdemu z analizowanych parametrów (kryteriów) została przypisana jedynie waga w skali od 1 do 10. Z nazwy podrozdziału, w opinii Recenzenta, można byłoby wnioskować, iż będą w nim zawarte pełne badania i analizy optymalizacyjne

- (tj. sprzężenia cech funkcjonalnych z geometrycznymi i materiałowymi). Recenzent zauważa, iż każde z diskutowanych zagadnień nosi znamiona dysertabilności i mogłoby stanowić samodzielne zadanie badawcze (problem naukowy), który charakteryzowałby się licznymi elementami oryginalnymi.
- 5) W rozdziale 6 Autor przedstawia wyniki badań numerycznych elementów konstrukcji manipulatora. Brak jest jednak powiązania analizowanych elementów biomanipulatora z wynikami rozważań przedstawionych w rozdziale 5, tj. optymalizacja protezy ręki. Autor jasno nie zdefiniował, skąd powstały przyjęte do rozważań układy konstrukcyjne, jak wyglądają schematy obliczeniowe i przyjęte do analiz warunki początkowo-brzegowe, a szczególnie warunki obciążenia oraz opis warunków interakcji pomiędzy elementami składowymi wchodzącymi w skład modułu palca i modułu nadgarstka. Przedstawione wyniki badań numerycznych są nieczytelne (rys. 6.2, 6.5-6.23), w tym szczególnie legendy prezentowanych wielkości (w tym brak jest jednostek) oraz brak jest dogłębnych opisów.
 - 6) Prezentując w punkcie 7.3 prototyp zaprojektowanego biomanipulatora, Autor przedstawia wybrane wyniki za analiz numerycznych. Niestety, trudno jest analizować te wyniki nie bez schematu kinematycznego i analiz z tym związanych np. z wykorzystaniem metody układów wieloczłonowych i przyjętymi warunkami początkowo-brzegowymi, czy też analiz wytrzymałościowych z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych. Dodatkowo prezentacja wyników w postaci map jest nieczytelna i brakuje opisów, o których była mowa w punkcie poprzednim recenzji.
 - 7) Autor opisując elementy prototypów otrzymanych z wykorzystaniem technologii FDM i SLA nie dyskutuje szeregu aspektów związanych z wykorzystaniem tego typu technologii wytwarzania, tj. np. jakości powierzchni, wystąpienia możliwych wad i nieciągłości w strukturze materii, czy też uzyskane dokładności i powtarzalności, a co za tym idzie problematyki związanej z pasowaniem poszczególnych części mechanizmów, a mianowicie wzajemnego skojarzenia powierzchni współpracujących części i możliwych rozkładów odchyłek tworzących charakterystyczne wartości luzów.
 - 8) W rozdziale 9 (Zastosowanie kliniczne) zaprezentowano kilka opracowanych rozwiązań biomanipulatorów i otrzymanych wyników z procesu treningowego z pacjentem zarejestrowanych z użyciem elektromiografii (EMG). Recenzent zauważa, iż nie omówiono szczegółowo procesu analizy sygnałów zarejestrowanych z wykorzystaniem systemu EMG oraz sposobu ich przetwarzania (np. przykładowo

stosując analizę widmową lub analizę rozkładów czasowo-częstotliwościowych lub analizę fraktalną czy też analizę falkową). Kluczowe pytanie, jakie rodzi się z prezentacji tych wyników, to na ile wpływ na ich jakość i powtarzalność ma proces zmęczenia mięśni, a co za tym idzie - odpowiednie przygotowanie mięśni od strony treningowej, ale także samego rehabilitanta przed badaniem.

Zamieszczone powyżej uwagi mają charakter inspirujący Doktoranta do jeszcze głębszych przemyśleń w kierunku kolejnych etapów rozwijania i udoskonalania zaprezentowanej metodologii projektowania biomanipulatorów typu ręka człowieka, do zastosowania w celach protetycznych dla pacjentów z różnym stopniem amputacji.

W tekście rozprawy od strony edycyjnej występuje szereg niedociągnięć w zakresie jakości załączonych grafik, szczególnie ich czytelności, które z pewnością przekładają się na ocenę merytoryczną i winny zostać poprawione. Inne uwagi natury interpunkcyjnej nie wpływają na końcową ocenę jakościową niniejszej dysertacji.

4. Ocena końcowa przedłożonej rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska charakteryzuje się przede wszystkim ważnym aspektem aplikacyjnym (wdrozeniowym), ale także poznawczym. W pracy zaprezentowano liczne zagadnienia badawcze, które jak pragnie podkreślić Recenzent, charakteryzują się także olbrzymim potencjałem naukowym. Recenzent w przedstawionej wersji pracy dostrzega szereg elementów oryginalnych, które są ustawowo wymagane na etapie realizacji dysertacji, a do których z pewnością można m.in. zaliczyć:

- wykonanie i optymalizacja techniczna prototypu protezy ręki,
- przeprowadzenie analizy rynkowej dla opracowanej protezy ręki,
- dobór rozmieszczenia elektrod EMG przy amputacji w obszarze stawu barkowego,
- badania alternatywnych materiałów na elektrody EMG,
- zaproponowanie nowego układu sterowania do sterowania protezą ręki w postaci wkładki do obuwia,
- oraz badania opracowanej konstrukcji protezy z udziałem pacjentów.

Doktorant wykazał się także umiejętnością stworzenia i realizacji szerokiego zakresu badań o charakterze interdyscyplinarnym na poziomie rozważań teoretycznych, numerycznych oraz eksperymentalnych, czym potwierdził, że zdobył nie tylko wiedzę na poziomie ogólnym, ale także szczegółowym. Zarówno osiągnięte wyniki zaprezentowane w niniejszej dysertacji, już opracowane i opublikowane artykuły, jak też i powiązane z nimi przeprowadzone badania analityczno-numeryczne oraz testy laboratoryjne i kliniczne potwierdziły, że Autor dysertacji posiadał umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

W podsumowaniu Recenzent stwierdza, że opracowany zakres prac i analiz pozwolił Doktorantowi osiągnąć postawiony cel badawczo-aplikacyjny dysertacji, czego najlepszym potwierdzeniem są zaprezentowane wyniki badawcze w wieloautorskich publikacjach (22 referaty konferencyjne oraz artykuły naukowe), uzyskane autorskie i wieloautorskie patenty (łącznie 21) oraz opracowana finalnie unikalna konstrukcja modułowego mechatronicznego biomanipulatora dla osób z ubytkami w obszarze kończyny górnej, przetestowana podczas badań z udziałem pacjentów.

5. Wniosek końcowy

Recenzent stwierdza, że przedstawiona dysertacja doktorska spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez stosowną Ustawę i stawia wniosek o warunkowe jej dopuszczenie do publicznej obrony rozprawy doktorskiej mgr. inż. WOJCIECHA JOPKA.

W opinii Recenzenta, Autor rozprawy winien do czasu obrony dysertacji przedstawić stosowne wyjaśnienia oraz podpisać deklaracje autorskie w zakresie opisanym w recenzji w punkcie 1 rozdziału „3. Pytania merytoryczne oraz uwagi dyskusyjne” na stronie 2, tj. uwagi i wątpliwości Recenzenta natury formalnej.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Wojciech Jopka', written in a cursive style. The signature is positioned in the lower right quadrant of the page.