

Zabrze, 06.09.2023 r.

Ponowna recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Wojciecha Jopka  
pod tytułem

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

Formalną podstawę opracowania stanowi pismo Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Biomedyczna prof. dr hab. inż. lek. Haliny Podbielskiej nr RDND04/93/2022 i uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Biomedyczna w Politechnice Wrocławskiej nr 125/21/RDND04/2021-2024 z dnia 30 listopada 2022 r. oraz uchwała nr 155/26/RDND04/2021-2024 z dnia 26 kwietnia na mocy, której rozprawa doktorska mgr. inż. Wojciecha Jopka napisana pod opieką naukową dr hab. inż. Magdaleny Przybyło została zwrócona do poprawy i ponownej recenzji.

Ponadto, podstawę opracowania ponownej recenzji stanowi pismo Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Biomedyczna prof. dr hab. inż. Małgorzaty Kotulskiej nr RDND04/52/2023 z dnia 03.07.2023 oraz 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*, które otrzymano dnia 13.07.2023 r.

## 1. Przedmiot rozprawy

Przedmiotem oceny jest rozprawa doktorska mgr. inż. Wojciecha Jopka pt.: *Optymalizacja biomanipulatora typu ręka człowieka do zastosowania w celach protetycznych dla pacjentów z różnym stopniem amputacji* napisana pod opieką naukową dr hab. inż. Magdaleny Przybyło oraz jej poprawiona wersja. Dlatego niniejsza recenzja poprawionej rozprawy doktorskiej powinna być odczytywana jako uzupełnienie recenzji z dnia 18.04.2023 r., która nie zawierała końcowej konkluzji dotyczącej dopuszczenia jej do publicznej obrony. Z tego powodu obie opinie z dnia 18.04.2023 r. oraz z dnia 06.09.2023 r. stanowią całościową/pełną ocenę rozprawy, a przede wszystkim należy obie traktować nierozłącznie.

Wobec powyższego, w niniejszej recenzji zawarto ocenę poprawionych i nowych treści rozprawy doktorskiej mgr. inż. Wojciecha Jopka w odniesieniu do pierwotnej wersji rozprawy.

## 2. Ocena struktury i układu rozprawy

Poprawiona praca obejmuje 200 stron maszynopisu (poprzednio 111 stron) nie licząc streszczeń w języku polskim i angielskim, spisu treści, spisów rysunków i tablic, literatury oraz załącznika-dodatku. Układ treści pracy został zmieniony i w obecnej formie składa się z 10 rozdziałów (pierwotnie 8 rozdziałów). Dodatkowe rozdziały stanowią: rozdział (6) Badania numeryczne kluczowych elementów konstrukcji biomanipulatora oraz rozdział (8) Badania kluczowych elementów układów sterowania. Pozostałe rozdziały zostały poddane nieznacznym modyfikacjom bez zmiany spisu bibliografii, który nadal zawiera 66 pozycji literaturowych oraz 18 stron internetowych.

W pierwszym rozdziale Autor doprecyzował cel pracy i za główny problem naukowy przyjął: *opracowanie modułowego mechatronicznego biomanipulatora dla osób z ubytkami w obszarze kończyny górnej, którego konstrukcja wywodzi się z wielowektorowej analizy optymalizacyjnej przestrzeni dostępnych rozwiązań w oparciu o zestaw kryteriów akceptacji protezy ręki deklarowanych przez finalnych użytkowników*. W pierwotnej wersji cel pracy brzmiał następująco: *opracowanie modułowego*

*biomanipulatora dla osób z dysfunkcjami kończyny górnej, opartego o układy biomechatroniczne z optymalizacją struktury kinematycznej oraz systemu sterowania.* Moim zdaniem obecny cel rozprawy lepiej oddaje przedmiot rozprawy i odnajduje potwierdzenie w jej treści. Przede wszystkim, przedstawiony w pracy projekt biomanipulatora typu ręka człowieka jest dedykowany dla osób po amputacji kończyny górnej, a nie dla osób z dysfunkcjami kończyny górnej, a także jest bioprotezą, a nie egzozskieletem (ortezą), co wynikało z poprzedniego celu pracy.

W dodanym rozdziale szóstym Doktorant zaprezentował wyniki analiz numerycznych MES dla konstrukcji biomanipulatora typu proteza ręki człowieka, a w szczególności modułu palca oraz konstrukcji śródreżca. Otrzymane wyniki umożliwiły dokonanie oceny wpływu różnych parametrów konstrukcyjnych na ich wytrzymałość i pozwoliły Doktorantowi dokonać wyboru najbardziej optymalnych rozwiązań. Ponadto, praca została uzupełniona o badania kluczowych elementów układu sterowania zawarte w dodatkowym rozdziale ósmym. Doktorant przedstawił w nim analizę porównawczą skuteczności i czasu odpowiedzi (reakcji) na różne systemy sterowania protezą. Wyniki przeprowadzonej analizy skuteczności systemów sterowania dostarczyły cennych informacji o parametrach, które decydują o wydajności i przydatności tych systemów w praktycznym zastosowaniu. Na uwagę zasługuje opracowany system wykorzystania ruchów stopy jako alternatywa sygnałów EMG do sterowania protezą ręki, który charakteryzuje się wysoką skutecznością i precyzją detekcji podczas użytkowania. W rozdziale dziesiątym (poprzednio ósmym) Doktorant podsumował badania zaprezentowane w pracy i przedstawił dodatkowe wnioski, które sformułował do nowych elementów rozprawy.

Do poprawionej rozprawy doktorskiej również mam uwagi dotyczące poziomu edytorskiego i poprawności redakcyjnej. Przede wszystkim, Doktorant wciąż używał programu do automatyzowanego składu tekstu, przez co nie wszystkie strony zostały poprawnie redagowane. Przykładem są rysunki i tablice umieszczone poza punktami, do których się odnoszą, czy występujące niezapisane w pełni strony. Nadal mankamentem pracy jest jej układ (podział na rozdziały), który osobiście zmienilibym umieszczając cel pracy po analizie stanu techniki. Moim zdaniem, także streszczenia w języku polskim i angielskim oraz spisy rysunków i tablic powinny być umieszczone na końcu pracy.

### **3. Ocena merytoryczna rozprawy**

Po zapoznaniu się z treścią poprawionej rozprawy można zauważyć, że główna jej część dotycząca prac projektowych oraz wdrożeniowych nie została zmieniona. Nowe treści stanowią badania numeryczne kluczowych elementów konstrukcji biomanipulatora typu ręka człowieka, które doprowadzają do opracowania optymalnej konstrukcji modułu palca i śródreżca protezy. Ponadto, dodane w rozprawie doktorskiej rozdziały przedstawiające badania kluczowych elementów układów sterowania biomanipulatora, a także badania kluczowych elementów układu sterowania znacząco poszerzają zakres pracy naukowej. Zarówno przeprowadzone analizy numeryczne elementów konstrukcyjnych protezy oraz badania skuteczności detekcji sygnałów różnych systemów sterowania stanowią rozwinięcie problemu naukowego, który Doktorant rozpatruje, a dotyczy identyfikacji i optymalizacji biomanipulatora typu proteza ręki w procesie projektowania. Moim zdaniem, uzyskane wyniki z tych analiz znacząco przyczyniły się do uzyskania optymalnych parametrów konstrukcyjnych protezy i systemu sterowania. Autor oprócz analizy wytrzymałościowej komponentów składowych projektu biomanipulatora oraz oceny skuteczności różnych systemów sterowania również zaproponował oryginalny układ sterowania wykorzystujący ruch stopy jako sygnał sterujący protezą ręki.

W porównaniu z pierwotną wersją rozprawy, Autor bardziej szczegółowo przedstawił zadania, które były realizowane samodzielnie. Do istotnych i oryginalnych elementów rozprawy oprócz wcześniej wymienionych: (i) wyznaczenie kryteriów protetycznych i opracowanie różnych wariantów projektów protezy ręki, (ii) ocenę kryterialną poszczególnych komponentów protezy ręki, (iii) wykonanie prototypu biomanipulatora typu proteza ręki oraz systemu treningowego, (iv) przeprowadzenie testów walidacyjnych/klinicznych z udziałem pacjentów, należy dodatkowo zaliczyć:

- analizę wytrzymałościową elementów konstrukcyjnych biomanipulatora,
- ocenę skuteczności różnych systemów sterowania, w tym autorskiego rozwiązania.

Przedstawione w rozprawie prace projektowe i wdrożeniowe umożliwiły opracowanie rozwiązania, które poparte uzyskanymi wynikami z badań doświadczalnych stanowią potwierdzenie realizacji głównego tematu pracy. Aplikacja rezultatów rozprawy w praktyce klinicznej do zastosowania (w celach protetycznych) dla pacjentów z różnym stopniem amputacji dowodzi uzyskanie konkurencyjnej protezy ręki (na wszystkich polach eksploatacji) do komercyjnych rozwiązań, przy takim samym poziomie funkcjonalności. Doktorant również zauważa potrzebę prowadzenia dalszych badań dla uzyskania odpowiedniego mocowania protezy dla pacjentów z wysoką amputacją obu kończyn górnych.

#### 4. Uwagi szczegółowe i krytyczne

Nie wszystkie przedstawione w pierwszej recenzji szczegółowe i krytyczne uwagi zostały uwzględnione w wersji poprawionej rozprawy doktorskiej. Dotyczy to m.in. uwag do jej formy i sposobu zredagowania. Nadal występują przykłady złego formatowania, na co wskazują rysunki i tablice umieszczone poza punktami, do których się odnoszą.

Nadal dyskusyjną jest ocena kryterialna, którą Doktorant przeprowadził w procesie optymalizacyjnym. W mojej opinii założone kryteria oceny, same w sobie, są słuszne i trafne, gdyż zostały przyjęte na podstawie przeprowadzonej przez Doktoranta analizy literatury odnoszącej się do aspektów inżynierskich oraz medycznych. Jednakże, brakuje oszacowania wag poszczególnych kryteriów, które uwzględniałyby istotność/ważność kryteriów względem siebie. Ich brak powoduje, że dokonana ocena kryterialna nie jest sprawiedliwa i obiektywna. Według przyjętej zasady wszystkie kryteria są równe, jak np. funkcjonalność vs. estetyka czy prostota budowy, z czym się nie zgadzam. Dlatego, dokonaną ocenę należy traktować za raczej subiektywną niż obiektywną. Wśród kryteriów brakuje również kryterium bezpieczeństwa, które powinno być nadrzędnym względem pozostałych. Ponadto, zestaw możliwych rozwiązań nie zawiera hipotetycznego rozwiązania idealnego. Ujęcie wyidealizowanego wariantu przy porównywaniu ujawniłoby na ile istniejące protezy i wyznaczone rozwiązania odbiegają od ideału.

Praca nadal zawiera pewne fragmenty wymagające dyskusji i wyjaśnienia ze względu na ujęte skróty myślowe lub zawarte ograniczenia, które nie zostały szczegółowo opisane. Przykładem są prezentowane w rozdziale 6.1.1 warunki brzegowe analiz numerycznych elementów konstrukcji protezy. Brakuje wyjaśnienia jakiej sytuacji (jakiemu rodzajowi chwytu) odpowiadają dobrane obciążenia do analizy wytrzymałościowej, a także jak zadano warunki brzegowe. Prezentacja modeli na rys. 6.1 jest mało czytelna, gdyż nie zostały one poprawnie i odpowiednio opisane. Brakuje szczegółowych komentarzy do przyjętych obciążeń dla obu wersji konstrukcji nośnej nadgarstka. Doktorant powinien wyjaśnić, czy zadane obciążenie odnosi się do wszystkich modułów palców włącznie z modułem kciuka, czy nie. Taka różnica w warunkach brzegowych znacząco wpływa na interpretację wyznaczonych wartości parametrów analizy MES.

Pomimo dodaniu badań czasów reakcji i skuteczności różnych systemów układu sterowania, których wyniki zostały zaprezentowane w rozdziale 8, Doktorant nie przedstawił charakterystyki zoptymalizowanego układu sterowania (np. optymalnej ilości elektrod).

W poprawionej pracy zauważalne są nadal błędy natury redakcyjnej (edytorskiej), do których zaliczam m. in.:

- liczne „wdowy” i „sieroty” tj. pozostawienie na końcu akapitu krótkiego jednowyrazowego wiersza czy pojedynczych liter, najczęściej spójników na ostatnim miejscu w wersie, albo rozpoczynanie zdania od małej litery;
- równoczesne stosowanie w nagłówkach numerów stron oraz tytułów rozdziałów i podrozdziałów, które często nachodzą na siebie, co powoduje, że są nieczytelne;
- brak jednostek przy niektórych przedstawionych wartościach i wykresach np.: rys. 3.15 (str. 38), czy rys. 9.6 (str. 181);
- większość rysunków przedstawionych w pracy jest słabej jakości, która może wynikać z ich pomniejszenia, dlatego utrudniony jest odczyt opisów i ich interpretacja;
- większość tablic również jest słabej jakości i ich zawartości są nieczytelne;
- spis literatury zawiera strony internetowe, które są w niezrozumiały sposób oznaczone.

Pomimo, że te drobne uwagi i błędy redakcyjne zostały przekazane Autorowi, to nie zostały uwzględnione w poprawionej wersji rozprawy.

## 5. Ocena końcowa

Po wnikliwym zapoznaniu się z poprawioną pracą doktorską mgr. inż. Wojciecha Jopka i mając na uwadze opinię/recenzję odnoszącą się do pierwotnej wersji rozprawy, moje wątpliwości w większej części zostały rozwiane. Chciałbym zaznaczyć, że mimo omówionych zastrzeżeń, z których co najmniej niektóre zostały wyjaśnione w poprawionej rozprawie, to zapewne pozostałe zostaną rozwiane przez Autora w trakcie publicznej obrony. Ponadto, opinia recenzenta, niezależne od rodzaju postępowania i trybu, stanowi jedynie jeden z elementów w szeroko zakrojonym postępowaniu nadania stopnia naukowego lub tytułu naukowego i tytułu w zakresie sztuki.

Mając powyższe na uwadze, uważam rozprawę doktorską mgr. inż. Wojciecha Jopka za dzieło wartościowe, które wskazuje na umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz rozwiązania problemu naukowego. Podsumowując, uważam, że praca stanowi oryginalne rozwiązanie celu naukowego, polegającego na opracowaniu biomanipulatora typu ręka człowieka do zastosowania w celach protetycznych dla pacjentów z różnym stopniem amputacji oraz zastosowaniu wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej.

W związku powyższym stwierdzam, że rozprawa doktorska spełnia wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2003 r. Nr 65, poz. 595) z późniejszymi zmianami (Ustawa z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce) wnioskując do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Biomedyczna Politechniki Wrocławskiej o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

*Wojciech Koblenski*