

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Jakuba KOPOWSKIEGO
*pt. Budowa i badania właściwości spersonalizowanego prototypu egzoszkieletu wspomagania
ruchu ręki*

Promotor: dr hab. inż. Izabela ROJEK, prof. uczelni

Promotor pomocniczy: dr inż. Dariusz MIKOŁAJEWSKI, prof. uczelni

Recenzja została opracowana na podstawie pisma dr hab. inż. Mieczysława Cieszko, prof. uczelni, przewodniczącego Rady Dziedziny Nauk Inżynieryjno-Technicznych Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy z dnia 05.07.2023 r.

1. Ocena merytoryczna pracy

1.1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska przedstawiona do oceny stanowi tekst jednolity liczący 196 stron w formacie A4. Rozprawę podzielono na 7 głównych rozdziałów numerowanych (poza bibliografią i streszczeniami w dwóch językach, umieszczonymi na początku pracy). Część teoretyczna (literaturowa) stanowi ok. 1/5 objętości pracy (~40 stron), pozostałą objętość zajmują opisy metodyki, prac konstrukcyjnych oraz eksperymentalnych zrealizowanych bezpośrednio przez doktoranta w ramach części praktycznej pracy. Nie jest to układ całkowicie typowy dla rozpraw doktorskich o charakterze badawczym przedstawianych do obrony w naukach inżynieryjno-technicznych, ale też i charakter pracy nieco odbiega od typowo badawczego – należy tutaj mówić raczej o badaniach stosowanych i pracach rozwojowych. Podział pracy na rozdziały także odbiega od typowego podziału literatura – metodyka – wyniki. Szczegółowe uwagi krytyczne dotyczące układu rozprawy zostały przedstawione w dalszej części recenzji.

Można mieć drobne uwagi co do pełnej adekwatności tytułu rozprawy – generalnie dobrze oddaje on konstrukcyjno-eksperymentalny charakter pracy, aczkolwiek sugeruje badania jednego prototypu, tymczasem autor wytworzył i przebadął prototypy dla całej grupy badanej (wytwarzając 10 różniących się od siebie egzoszkieleatów). Dodatkowo można byłoby dyskutować z doбором słów, ale nie ma to wielkiego wpływu na ocenę samej rozprawy.

1.2. Trafność i oryginalność podjętej tematyki badawczej

Podjęta w rozprawie tematyka badawcza obejmuje konstrukcję, opracowanie metodyki projektowania i badania użytkowe prototypowego projektu egzoszkieletu kończyny górnej. Doktorant, po przeanalizowaniu dostępnej literatury oraz stanu techniki, zidentyfikował określone luki poznawcze i trendy w badaniach, a następnie sformułował problemy, tezę, cele i zakres pracy. Ogółem podjętą tematykę oceniam jako aktualną i ważną. Prace naukowe mające na celu usprawnienie procesów budowy zindywidualizowanych urządzeń medycznych, wspomagających codzienne życie osób z deficytami układu ruchowego, jest niezwykle istotna w świetle wciąż dużej liczby osób niepełnosprawnych ruchowo w społeczeństwie. Rozprawa jest formalnie umiejscowiona w dyscyplinie inżynieria mechaniczna, należy jednak podkreślić interdyscyplinarność podejmowanych problemów – leżą one na styku inżynierii mechanicznej, elektroniki, inżynierii biomedycznej i medycyny. W zasadzie właściwe byłoby określenie, że praca leży w dość młodej dziedzinie nazywanej biomechatroniką – autor nie dokonuje jednak takiego autoprzypisania (pojęcie *biomechatronics* nie znalazło się w rozprawie, a szkoda – warto byłoby wspomnieć o tym w przeglądzie literatury).

Oryginalność podjętej tematyki oceniam jako wysoką, co potwierdza zrealizowany przez doktoranta przegląd literatury. Choć egzoszkielety ręki nie są urządzeniami nowymi, to jednak wciąż brak tym rozwiązaniom powszechności – m.in. ze względu na problemy z ich efektywnym projektowaniem i wytwarzaniem, na co wskazuje doktorant. Aspekt indywidualizacji anatomicznej (nazywanej przez autora personalizacją) oraz zastosowania niskokosztowych technik szybkiego wytwarzania (druku 3D) stanowi natomiast o innowacyjności pracy.

Uważam, że zarówno podjęta szczegółowa tematyka, jak i zdefiniowane przez doktoranta problemy i cele pracy spełniają znamiona pracy naukowej na poziomie pozwalającym mówić o badaniach na potrzeby rozprawy doktorskiej.

1.3. Uzyskane rezultaty i ich znaczenie dla nauki i praktyki

Oceniając rozprawę, zaplanowane badania oraz ich rezultaty należy stwierdzić, że przeprowadzone i opisane w rozprawie badania oraz uzyskane wyniki przyczyniły się do ogólnego zwiększenia poziomu wiedzy naukowej w podjętej tematyce. Doktorant zrealizował prace, które są zarówno istotne, innowacyjne jak i praktyczne. W części praktycznej pracy opisano zarówno badania podstawowe (pomiarzy ręki, badania ruchomości, badania kinematyczne itp.), badania stosowane (opracowanie metodyki projektowania i wytwarzania egzoszkieletu) oraz prace rozwojowe (budowa i testowanie prototypów w warunkach laboratoryjnych, testy z grupą docelową pacjentów z konkretnymi schorzeniami). Poziom tych prac należy ocenić jako wysoki, w mojej ocenie zostały one zrealizowane z należytą starannością, z użyciem generalnie odpowiednich technik i zachowaniem właściwego podejścia.

Wyniki rozprawy z pewnością będą interesujące dla specjalistów zajmujących się tematyką zindywidualizowanych anatomicznie urządzeń służących do rehabilitacji kończyn, a także dla osób generalnie zajmujących się biomechaniką, ortopedią czy medycznym drukiem 3D. Multidyscyplinarny charakter pracy powoduje że jej wyniki mogą przyczynić się do dalszego rozwoju technologii w kilku dyscyplinach, czy nawet dziedzinach nauki.

W ocenie wyników rozprawy trzeba jednak wziąć pod uwagę kilka istotnych kwestii. Opracowana przez autora metodyka ma charakter mocno eksperymentalny i prototypowy, jest także bardzo złożona. Należy tutaj bardzo pozytywnie ocenić doktoranta za zaplanowanie i zrealizowanie z sukcesem tak dużej ilości prac badawczych i rozwojowych. Jednocześnie, w mojej opinii, w obecnej postaci metodyka nie jest jeszcze gotowym do wdrożenia w przemyśle „przepisem” na produkcję egzoszkieleatów. Autorowi udało się odpowiedzieć na wiele problemów które wynikają z analizy literatury – natomiast uzyskane przez niego wyniki wymagają jeszcze dalszego rozwoju, bardziej dokładnych badań (w tym klinicznych), zanim uzyskany prototyp będzie mógł doczekać się komercyjnego i klinicznego wdrożenia. Doktorant jest jednak świadomy ograniczeń wynikających z przeprowadzonych przez niego badań – w obszerny sposób podsumowuje je na końcu rozprawy, wyznaczając także bardzo dużą liczbę potencjalnych dalszych kierunków badań, co także należy pochwalić. Uniknięto jednak deklaracji choćby w zakresie możliwości wdrożenia komercyjnego czy poziomu TRL na którym znajduje się obecnie rozwiązanie prezentowane w pracy.

Należy tutaj jednak podkreślić, że celem badań realizowanych w ramach prac doktorskich nie jest zwykle uzyskanie produktu gotowego do wdrożenia, a samodzielne zaplanowanie i przeprowadzenie eksperymentów badawczych, a następnie interpretacja ich wyników. Po przeanalizowaniu całej rozprawy można uznać, że ta zwyczajowa przesłanka warunkująca przyznanie stopnia doktora nauk technicznych została spełniona. Dodatkowo, wyniki pracy zostały częściowo przedstawione w licznych publikacjach – w czasopiśmie posiadających współczynnik wpływu oraz wydawnictwach konferencyjnych. W części tych publikacji doktorant jest pierwszym autorem. Fakt wcześniejszego opublikowania wyników przedstawionych w rozprawie w recenzowanych wydawnictwach potwierdza ich znaczenie naukowe oraz rzetelność.

1.4. Poprawność formalno-językowa, stylistyczna i interpunkcyjna

Pod względem poprawności formalno-językowej, stylistycznej i interpunkcyjnej, praca stoi na poziomie nieco powyżej przeciętnego dla rozpraw doktorskich w naukach inżyniersko-technicznych. Doktorant nie ustrzegł się drobnych błędów i nieścisłości, które można odnaleźć w pracy dość często. Błędy te zwykle nie mają związku z merytoryką rozprawy – bardziej ze stroną językową i formatowaniem – ale rozprasza ją i utrudniają jej odbiór, a także zaciemniają przejrzystość przekazu. Biorąc jednak pod uwagę znaczną objętość rozprawy oraz skupienie autora na stronie praktycznej – jest

to częściowo zrozumiałe. Niemniej jednak, rozprawie przydałyby się jeszcze z 1-2 cykle wprowadzania poprawek edytorskich, językowych i formalnych.

Poniżej wypisano reprezentatywne przykłady pojawiających się w rozprawie błędów dotyczących strony językowej, ze wskazaniem stron na których zauważono dany błąd.

1. Błąd językowy: „Główną kierunkiem ...” (powinno być: „Głównym kierunkiem”) – str. 12.
2. Powtórzenie: „... należało opracować metodykę i ... według opracowanej metodyki” – str. 12.
3. Błędy w doborze słów „Egzoszkielety mają szeroki zakres wykorzystania” (powinno być: „zastosowania”), „możliwości stale rosną” (powinno być: „zwiększają się”) – str. 15, „najbardziej optymalną”, powinno być po prostu „optymalną” lub „najlepszą” – str. 73.
4. Użycie pierwszej osoby liczby mnogiej (choćby „dzielimy” – str. 16) zamiast pisania bezosobowego, zwyczajowo przyjętego w rozprawach doktorskich pisanych w języku polskim. Występuje w rozprawie dość licznie, w połączeniu z innymi błędami sprawiając wrażenie „potoczności” stosowanego w opisach języka.
5. Błędy w formułowaniu szyku zdania: „Również zakończyła się realizacja projektu ...”, powinno być np. „Zakończyła się także realizacja projektu ...” lub jeszcze inaczej – str. 21.
6. Żargonowe stosowanie określeń z języka angielskiego: „... transmitować dane do np.: Unity Unreal” – powinno być: „... transmitować dane np. do silników gier, takich jak Unity czy Unreal Engine” – str. 24.
7. Nieprawidłowe stosowanie wielkich/małych liter, np. „WI-FI” (powinno być „Wi-Fi” lub „wi-fi”) – str. 26.
8. Błędy językowe z nadmiarowymi czasownikami: „Czas... wyniósł: ... skanowanie oraz obróbka zajęła 27 godzin; wydruk trwał 40 godzin” – powinno być: „skanowanie oraz obróbka – 27 godzin, wydruk 3D – 40 godzin” – str. 39.
9. Brak odstępów między wyrazami (np. „*cerebralpalsy*” – str. 83).
10. Mała litera w listach numerowanych („1. mechanicznych:”) – str. 114.
11. Żargonowy, potoczny styl wielu zdań np. „Czyli wiadomo, że należy wysunąć wysuwę o 10 mm” – str. 117, powinno być np. „Z uzyskanych obliczeń wynika, że wysunięcie powinno być równe 10 mm”.
12. Literówki, powtarzane kilkakrotnie, np. „przyspiesznie” – str. 125.
13. Użycie liczebników w formie cyfr, gdy wypadałoby użyć zapisu słownego – „zastosowano 1 silnik”, powinno być „zastosowano jeden silnik” – str. 125 czy „poruszać się w 3 wymiarach” gdzie powinno być „w trzech wymiarach” – str. 53.

Osobną kategorią są błędy formalne, stylistyczne i związane z przejrzystością opisu (nie stricte językowe), których przykłady przedstawiono poniżej.

1. Jednoczesne cytowanie kilkudziesięciu pozycji literaturowych (np. „[1-39]” – str. 11) – takie cytowanie jest pozbawione sensu, jeśli nie jest umieszczone we właściwym kontekście.
2. Niekonsekwencja w „głębokości” poziomu podrozdziałów. Rozdział 2 ma tylko jeden poziom podrozdziałów, a w rozdziale 4 – pojawiają się nagłówki 4. poziomu.
3. „Wiszące” akapity – pojedyncze akapity lub całe strony tekstu nieprzypisane do żadnego podrozdziału, np. między nagłówkiem rozdziału 2 a 2.1 (str. 14) czy cały początek rozdziału 4 (który nie ma nagłówka – powinien być to podrozdział 4.1).
4. Rysunki – różne skalowanie i bardzo zróżnicowana jakość, często zbyt mała (nieczytelne). Przykłady – rys. 3, rys. 22, rys. 44 i wiele innych.
5. Numeracja rysunków – jest ich dużo, powinny być numerowane w konwencji zawierającej także nr rozdziału głównego, np. Rys. 2.1, 2.2 itd., dotyczy także tabel.
6. Wielkość czcionki na rysunkach – ich wielkość jest bardzo zróżnicowana, od bardzo dużych (rys. 14) do małych (rys. 51) czy nieczytelnych (rys. 33, rys. 46 i wiele innych). Występuje to nawet w obrębie jednego rysunku (np. rys. 72). Niektóre rysunki mają nieproporcjonalnie ściśnięte napisy (rys. 25, rys. 73 i wiele innych, zwłaszcza wykresy).
7. Niektóre rysunki zawierające wiele elementów są rozmieszczone na więcej niż jednej stronie (rys. 33, rys. 47, rys. 72 i inne).
8. Błędy z nadmiarowymi odstępami między liniami (str. 12) czy różną interlinią (str. 67).
9. Tabele 1-3 powinny zawierać kolumny zawierające rok powstania rozwiązania oraz jego status (np. eksperymentalne/komercyjnie dostępne/zaniechane).
10. W tab. 4 obie kolumny zawierają identyczne dane (pomijając błąd – brak znaku „-”, w ostatniej linii dla palca serdecznego), tabela w tej formie ma niewielki sens.
11. W trzecim wierszu tabeli 7 są identyczne kąty maksymalne i minimalne (-30).
12. Ostatnie wiersze tabeli 8 przechodzą na kolejną stronę.
13. Nie wszystkie wzory zapisane są we właściwej konwencji równania (np. wz. 4).
14. Kod programu zwyczajowo przedstawia się w formie załącznika umieszczonego na końcu rozprawy, a nie bezpośrednio w tekście (str. 110). Dodatkowo, kod ten powinien być odpowiednio sformatowany (wcięcia, wyróżnienie słów kluczowych itp.).
15. Różne style graficzne wykresów – rys. 74 a rys. 75 i inne. Nieodpowiednie opisy osi („czas w sekundach” – powinno być „Czas [s]”), brak lub nieczytelne linie siatki.

Powyższy wykaz nie jest kompletny i nie zawiera także błędów opisanych szerzej w dalszej części recenzji (np. zbyt długie tytuły podrozdziałów). Rekomenduję pochylić się nad tymi błędami w przypadku gdyby tekst rozprawy miał przyjąć postać artykułu wysyłanego do wysoko punktowanych czasopism.

2. Ocena metodologiczna pracy

2.1. Dobór literatury, umiejętność wykorzystania źródeł

Analiza dostępnej literatury i stanu techniki została w przedstawionej do oceny rozprawie przeprowadzona w sposób akceptowalny, w mojej opinii na poziomie właściwym dla rozpraw doktorskich w podobnej tematyce. Wybrana i zacytowana literatura jest w dużej mierze aktualna i właściwie dobrana do zagadnienia. Autor podjął się trudu analizy stanu techniki w zakresie egzoszkieleatów ręki zarówno w kraju, jak i za granicą i przedstawił porównanie łącznie kilkudziesięciu rozwiązań, w różnych stadiach rozwoju i o różnej charakterystyce. Należy tutaj docenić duży wkład pracy autora zarówno w poszukiwaniu źródeł, jak i opracowaniu tabelarycznych zestawień dostępnych w literaturze i na rynku konstrukcji, wraz z ich (częściowo) krytyczną oceną.

Mam jednak kilka uwag co do tej części rozprawy – jak niżej:

1. Przegląd literaturowy jest generalnie nieco zbyt krótki (cała część teoretyczna to ok. 1/5 objętości pracy – powinno być jednak stosunkowo nieco więcej), choć nie można odmówić mu szczegółowości. Warto byłoby jednak poddać szczególnej ocenie konstrukcje wybranych egzoszkieleatów (zwłaszcza tych, które odniosły relatywny sukces rynkowy), a w części omawiającej metodyki badań egzoszkieleatów ręki – podać konkretne wyniki uzyskane przez cytowanych autorów, z którymi później można byłoby porównać wyniki uzyskane przez autora.
2. Część publikacji i opracowań, na które powołuje się autor (włączając je do porównania rozwiązań) nie przedstawia aktualnego, a miniony stan techniki. Najbardziej jaskrawym jest przykład egzoszkieleatu Yagna, który opatentowano w 1890r. i który nie wszedł do użytku, tymczasem doktorant umieszcza go na jednej liście (Tab. 1) wraz z rozwiązaniami z XXI. wieku. Ale można byłoby wyróżnić tutaj także cytowaną publikację przedstawiającą prace zespołu Politechniki Poznańskiej w zakresie konstrukcji protez – publikacja jest z roku 2017, przedstawia wyniki wstępnych badań, od tego czasu zespół wykonał olbrzymi postęp, a opisane tam rozwiązania nie są już stosowane (dodajmy – orientuję się „z pierwszej ręki” gdyż jestem współautorem tej publikacji). Generalnie w przypadku prac dotyczących tak innowacyjnej tematyki zalecałbym trzymać się zasady maksimum 5 lat wstecz jeśli chodzi o cytowany stan techniki i badań.
3. Przegląd literaturowy nie jest odpowiednio uporządkowany. Rozdziały 2.1 i 2.2. należałoby podzielić na odpowiednie podrozdziały, rozszerzyć i uporządkować, gdyż jest dość trudno zorientować się w przebiegu analizy (jest to możliwe w przypadku przeczytania jej w całości, ale późniejszy powrót do tej części rozprawy w poszukiwaniu konkretnych jest trudny właśnie ze względu na brak uporządkowania). Dodatkowo, nazwane przez autora „metodyki projektowe” są bardziej metodykami badań egzoszkieleatów, a właściwych metodyk projektowych jest bardzo mało – wprowadzenie podziału na podrozdziały ułatwiłoby odfiltrowanie jednych od drugich i właściwą ocenę stanu techniki i literatury.

4. Wnioski z przeglądu stanu techniki w zakresie konstrukcji (str. 23) nie są umotywowane konkretnymi cytowaniami (autor przedstawia zalety i wady egzoszkieleatów, nie powołując się na żadną literaturę).

Przedstawione powyżej uwagi krytyczne mają jednak niewielki wpływ na ocenę tej części rozprawy. Z racji bardzo rozbudowanej części praktycznej oraz mocno implementacyjnego charakteru całej pracy, akceptuję pewne ograniczenia dokonane przez autora w części literaturowej. Przeprowadzony przegląd literatury oceniam zatem jako w wystarczającym stopniu spełniający wymogi stawiane rozprawom doktorskim w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych. Udowadnia on posiadanie przez doktoranta odpowiednich umiejętności, właściwych dla naukowców ze stopniem naukowym doktora, o który się ubiega.

2.2. Poprawność formułowania problemów i hipotez

Właściwe sformułowanie problemów w pracy ma miejsce w rozdziale wstępnym, a także po przeglądzie literatury, tj. w rozdziale 2.4 oraz 3. Autor uzasadnił celowość podjęcia tematu pracy, zdefiniował problem badaczy, postawił tezę oraz sformułował cel główny i cele szczegółowe.

W kwestii uzasadnienia celowości podjęcia tematu pracy – autor zidentyfikował luki i problemy badawcze oraz uzasadnił podjęcie tematyki pracy. Trudno jednak oprzeć się wrażeniu że to uzasadnienie mogłoby być bardziej przekonujące dla osób niezaznajomionych z tematem. Być może wynika to z lekko niekompletnego przeglądu literatury, gdzie nie dość wyraźnie wskazano znaczące ograniczenia konstrukcyjne, użytkowe i rynkowe dostępnych rozwiązań. Te fragmenty rozprawy (tj. rozdziały 2.3 i 2.4) należy jednak sumarycznie ocenić jako akceptowalne i właściwie umiejscowione.

Autor zdecydował się na przyjęcie pewnej tezy, którą sformułował w sposób dość ogólny (używając dość oczywistego sformułowania „...dostępne narzędzia umożliwiają opracowanie metodyki ...”). W mojej opinii tak postawiona teza nie jest w ogóle potrzebna – mogłoby jej nie być, a kształt rozprawy i jej treść w ogóle by się nie zmieniły. Wydaje mi się, że warto by jednak raczej postawić tutaj hipotezę, zawierając w niej konkretne wartości liczbowe (np. „możliwe jest opracowanie metodyki, w której koszt produkcji funkcjonalnego egzoszkieleatu będzie mniejszy o X niż dostępne rozwiązania”, lub „produkcja egzoszkieleatów z użyciem druku 3D pozwoli na uzyskanie pozytywnych wyników u co najmniej $Y\%$ pacjentów” itp.), następnie próbując ją obronić z użyciem odpowiednio opracowanych statystycznie wyników eksperymentów – podniosłoby to znacznie wartość pracy.

Cel główny i cele szczegółowe, jak też i problem badawczy są sformułowane w sposób poprawny. Po przeczytaniu rozprawy dość klarownie można wywnioskować jakie problemy zostały w niej podjęte (i rozwiązane) oraz jakie cele miał doktorant podczas realizacji badań. Zatem należy tutaj – podobnie jak w innych aspektach pracy – przyjąć spełnienie wymagań stawianych w tym zakresie rozprawom doktorskim.

2.3. Trafność doboru metod i narzędzi badawczych, umiejętność ich stosowania

Oceniając rozprawę jako całość, należy stwierdzić że doktorant dysponuje solidnym warształem w postaci umiejętności planowania i prowadzenia badań, jak również dużymi umiejętnościami praktycznymi (projektowanie 3D, programowanie układów elektronicznych, druk 3D itp.). Zastosowane metody badawcze są adekwatne, użyta aparatura – właściwa, a planowanie eksperymentów – sensowne i rzetelne. Można by wchodzić w szczegóły i polemizować z doбором wykonanych testów, jak również poziomów badanych parametrów czy zastosowanych narzędzi. Nie będzie to miało jednak wpływu na ogólną ocenę tego aspektu rozprawy. Doktorant miał swój konkretny zamiysł eksperymentów i zrealizował go – w sposób rzetelny i metodyczny. Z pewnością należy docenić ilość przeprowadzonych prób i testów oraz zawarcie wszystkich ich wyników w rozprawie – dzięki temu może być ona użyteczna dla kolejnych badaczy podejmujących tę tematykę w przyszłości.

W aspekcie zastosowanych metod i narzędzi badawczych mam jednak pewne uwagi do autora, które przedstawiłem poniżej.

1. Procesy tworzenia i testowania urządzeń ortopedycznych i protetycznych (w tym biomechatronicznych i robotycznych) są znormalizowane. Istnieje np. norma ISO 22523 (zewewnętrzne protezy i orczyzy kończyn – wymagania i metody badań), ISO 13482 (wymogi bezpieczeństwa dla robotów opieki osobistej), jak też i normy branżowe dotyczące bezpośrednio egzoszkieleatów (ASTM Committee F48 on Exoskeletons and Exosuits). Autor nie podejmuje tego tematu, nie cytując i nie uwzględniając w swoich rozważaniach żadnej ze związanych z tematem norm – choć istnieją one już od jakiegoś czasu.
2. Rekrutacja i udział pacjentów w testach także powinny podlegać znormalizowanym procedurom. Powinno się uzyskać zezwolenie odpowiedniej komisji bioetycznej, a testy z pacjentami powinny być przeprowadzane w zgodzie choćby z deklaracją helsińską z roku 1964. Doktorant opisuje dość szczegółowo grupę badaną, nie wspominając jednak o aspektach bioetycznych, co należałoby jednak uwzględnić w pracy (mając na celu dobro pacjentów – uczestników testów).
3. Badania z pacjentami podsumowano wyłącznie w formie obiektywnych wskaźników (wymiały, zakresy ruchów) oraz obserwacji badacza. W mojej opinii zabrakło tutaj badania ankietowego, w którym pacjenci mogliby ocenić różne aspekty zaprezentowanego im egzoszkieleatu.
4. W zakresie wytwarzania egzoszkieleatów informacje są niepełne. Autor podaje że użyto materiału PLA, szeroko rozpisując się na temat różnych materiałów – ale finalnie brakuje informacji o tym jakiego dokładnie materiału użyto oraz danych pochodzących ze specyfikacji od producenta. Nie podano także parametrów wytwarzania (orientacje, grubości warstw, stopień wypełnienia, prędkość wytłaczania, retrakcja itp.). Z kolei w obliczeniach kosztów (tab. 63) nie uwzględniono choćby czasu pracy pracownika realizującego druk 3D, obróbkę wykańczającą i montaż.

2.4. Prawdliwość układu pracy i struktury podziału treści

Układ pracy spełnia podstawowe kryteria tworzenia rozpraw naukowych w stopniu akceptowalnym. Jak wspomniano na początku recenzji, rozprawę podzielono na 7 głównych rozdziałów (poza bibliografią). Są nimi:

1. Wprowadzenie i układ pracy
2. Stan badań w zakresie egzoszkieleatów oraz metodyk ich projektowania
3. Problem, teza, cele i zadania badawcze
4. Metodyka tworzenia spersonalizowanego prototypu egzoszkieleatu wspomagania ruchu ręki
5. Badania parametrów kinematycznych i właściwości funkcjonalnych wytworzonych spersonalizowanych prototypów egzoszkieleatu wspomagania ruchu ręki
6. Dyskusja
7. Podsumowanie

Problemem – w mojej opinii – jest brak trzymania się przez doktoranta ustandaryzowanej struktury rozpraw naukowych, z czterema głównymi rozdziałami merytorycznymi (tj.: 1) przegląd literatury; 2) cele, hipotezy i zakres pracy; 3) metodyka badań własnych; 4) wyniki i ich dyskusja). Największy zarzut w tym zakresie (niestety, w mojej praktyce błąd spotykany dość często w pracach młodych naukowców) dotyczy zmieszania ze sobą treści reprezentujących metodykę oraz wyniki – są one podane równocześnie. Od autorów rozpraw naukowych na poziomie doktoratu powinno wymagać się umiejętności rozdzielenia opisu metodycznego prowadzonych prac rozwojowych i eksperymentów (co zaplanowano, z użyciem jakich materiałów, urządzeń, procesów, z jakimi parametrami, jakie rodzaje wartości i/lub wyników miał wygenerować dany eksperyment) od opisu ich wyników (tabele, wykresy, statystyki, obserwacje, fakty, oceny już po realizacji eksperymentu) oraz ich dyskusji (poszukiwanie i próba opisu przyczyn zaobserwowanych zjawisk). Doktorant zapewne dysponuje taką umiejętnością, ale w tekście rozprawy nie zostało to uwidocznione – niestety nie da się jednoznacznie oddzielić metodyki od uzyskanych wyników, gdyż doktorant część wyników i obserwacji (oraz krytycznych ocen) podaje natychmiast po zarysowaniu problemu.

Jaskrawym przykładem nieprawidłowości opisu jest fragment zawarty na str. 51 – jest to pierwszy podrozdział opisujący w sposób ogólny metodykę badań. Tymczasem na wzmiankowanej stronie autor przedstawia od razu wyniki zrealizowanych eksperymentów (w zakresie porównania metod pomiaru ręki – skan 3D i suwmiarka) oraz wnioski ich dotyczące, co powinno się znaleźć dużo dalej, w rozdziale poświęconym wynikom. Inne uwagi dotyczące układu to np. umieszczenie przez autora skróconego opisu metodyki badawczej i jej schematu w rozdziale 3 poświęconym w zasadzie sformułowaniu problemów i celów rozprawy – gdy tymczasem powinno być to w rozdziale 4; czy umieszczenie szacowania kosztów wykonania egzoszkieleatu w rozdziale przedstawiającym wnioski z badań – gdy powinna to być część wyników badań, dwa rozdziały wcześniej. Dodatkowo, należy zwrócić uwagę na tytuły rozdziałów – są one często zbyt długie. Pojawia się także problem formalny z podziałem na

podrozdziały – w rozdziale 4.7 mamy do czynienia z czwartym poziomem nagłówków (4.7.1.1. itd.), co nie jest raczej akceptowalne i zwyczajowo stosowane, zwłaszcza że np. w części literaturowej autor schodzi maksymalnie na drugi poziom nagłówków.

Podsumowując – praca zyskałaby na wartości, przejrzystości i miała większy potencjał publikacyjny gdyby w prawidłowy sposób rozdzielić opis części metodycznej od wyników, a także ich dyskusji, zachowując dbałość w przygotowanych opisach poszczególnych części i właściwą strukturę całości z odpowiednim podziałem na podrozdziały. Rekomenduję autorowi zachowanie staranności w tym zakresie w przyszłych pracach naukowych, aby zwiększyć współczynnik sukcesu podczas publikowania wyników swoich prac w prestiżowych czasopismach naukowych, gdzie przejrzystość i zachowanie odpowiedniej formy jest dość często czynnikiem decydującym o odrzuceniu danej publikacji, w dużej części niezależnie od wartości merytorycznej prezentowanych w niej badań.

2.5. Uwagi i pytania

Najważniejsze uwagi i pytania do pracy (również takie, które nie zostały wspomniane wcześniej) przedstawiono poniżej. Nie wymagam uzupełnienia ani poprawy samego tekstu rozprawy – prosiłbym jednak doktoranta o odniesienie się do uwag w trybie pisemnym.

1. Jaka była faktyczna liczebność grupy badanej? W pracy występuje nieścisłość w tym zakresie. W streszczeniu, opisach koncepcji i metodyki pojawia się liczba 10 spersonalizowanych egzoszkieleatów. Z kolei w rozdziale 5.2.1. pojawia się informacja o rekrutacji 9 testerów (7 kobiet, 2 mężczyzn), a tabela nr 17 zawiera informacje o 10 osobach. Skąd wynika ta rozbieżność? Ilu było faktycznie testerów egzoszkieleatu?
2. Czy badania z pacjentami były prowadzone w ramach istniejącego projektu badawczego, zatwierdzonego przez odpowiednią komisję bioetyczną? Jeśli nie, to w jaki sposób komunikowano się z pacjentami i zapewniano ich bezpieczny udział w badaniach? Czy eksperymenty były nadzorowane w jakikolwiek sposób przez osoby z wykształceniem medycznym (lekarze, fizjoterapeuci)?
3. Czy wytworzone dla grupy badanej egzoszkieleaty ręki zostały wdrożone w terapii / codziennym życiu? Czy uczestnicy otrzymali je i są nadal monitorowani w zakresie użyteczności i skuteczności egzoszkieleatów? Takie badania i ich wyniki byłyby bardzo ciekawe i istotne w dalszej perspektywie rozwoju tych rozwiązań.
4. Na którym poziomie TRL należałoby zaklasyfikować, wg doktoranta, obecny stan przedstawionego w pracy egzoszkieleatu ręki?
5. Czy podczas projektowania egzoszkieleatu odnoszono się do istniejących norm w zakresie wyrobów ortopedycznych i protetycznych, np. ISO 22523? Jeśli tak, to w jaki sposób?

3. Wniosek końcowy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska niewątpliwie zawiera nową wiedzę uzyskaną w wyniku zaplanowanych i przeprowadzonych przez doktoranta eksperymentów badawczych, poprzedzonych analizą literaturową oraz bardzo rozbudowaną częścią metodyczną, przedstawiającą kompletny proces projektowo-wytwórczy innowacyjnego wyrobu, jakim jest zindywidualizowany egzoszkieleł wspomagający ruchy ręki. Badania oraz prace opisane w rozprawie i sposób prowadzenia wywodu stanowią dobrą podstawę aby uznać, iż doktorant potrafi skutecznie prowadzić badania naukowe (zarówno podstawowe, jak i stosowane) w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych i w dyscyplinie inżynieria mechaniczna, w której aplikuje on o stopień naukowy doktora.

Zatem w świetle dokonanej analizy i sformułowanych ocen stwierdzam, że rozprawa Pana mgr inż. Jakuba Kopowskiego pt. „Budowa i badania właściwości spersonalizowanego prototypu egzoszkieletu wspomagania ruchu ręki” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 65 poz. 595 z późn. zm.) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki, w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie **inżynieria mechaniczna**. W związku z tym **wniosuję o przyjęcie rozprawy doktorskiej** Pana mgr Jakuba Kopowskiego i **dopuszczenie jej do publicznej obrony**.

Filip Gonski

Filip Gonski