

Gliwice 13.06.2016r



dr hab. inż. Sławomir Kciuk

Instytut Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej

Wydział Mechaniczny Technologiczny

Politechnika Śląska w Gliwicach

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Michała Bachorza

pod tytułem:

„Projektowanie mechatroniczne urządzeń do rehabilitacji narządu ruchu człowieka”

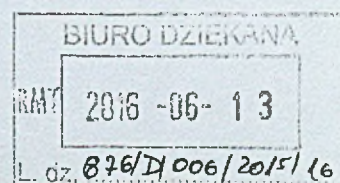
podstawa opracowania: pismo Dziekana Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej prof. dr hab. inż. Arkadiusza Mężyka nr RMT0-712/D/006/15/16 z dnia 20.04.2016, do którego dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej.

1. Ocena aktualności wybranego tematu

W recenzowanej rozprawie doktorskiej przedstawiono interesujący poznawczo i ważny ze względu na zastosowania praktyczne problem dotyczący projektowania, modelowania i weryfikacji doświadczalnej wybranej klasy magnetoreologicznych urządzeń do rehabilitacji narządu ruchu człowieka.

W związku z rozważanymi zagadnieniami szeroko opisano zagadnienia związane z problematyką projektowania złożonych obiektów jakimi są urządzenia do rehabilitacji kończyn dolnych.

Jednym z wyzwań dla zespołów projektowych wiążącym się z faktem, że prawie wszystkie narzędzia symulacyjne, które w ciągu ostatnich 20 lat zostały wdrożone w celu wsparcia inżynierii projektowania produktu (w tym metoda elementów skończonych, modelowanie w konwencji układów wielocłonowych), odnoszą się głównie do doboru cech geometrycznych konstrukcji. Dalsza integracja układów hydraulicznych, elektronicznych, elektromechanicznych i innych, każdy o złożonej funkcjonalności i naturze fizycznej, jest realizowana przez niezależne grupy projektantów z wykorzystaniem innego, specjalistycznego oprogramowania. Kolejnym wyzwaniem dla projektantów, konstruktorów jest integracja systemów fizycznych i układów sterowania. Nieoptymalne połączenie różnych podsystemów: mechanicznego, elektronicznego, informatycznego oraz sterowania, generuje problemy w procesie integracji oraz powoduje niewykorzystanie efektu synergii. Rozwiązanie tego problemu wymaga połączenia oraz dostrojenia systemów i optymalnego sterowania na wszystkich etapach procesu projektowania. Takie podejście do zintegrowanego, inteligentnego projektowania systemu jest więc nieodzowne. Kolejnym ważnym aspektem w projektowaniu jest dynamicznie rosnący udział nowych technologii w rozwoju produktów mechatronicznych, który zmienia podejście do sposobu projektowania, wytwarzania oraz



eksploatacji urządzeń, pojazdów. Wykorzystanie gotowych, opracowanych do zastosowań podzespołów skraca cykl badawczo-rozwojowy nowego sprzętu, umożliwia redukcję kosztów opracowania i wdrożenia gotowego produktu, a także obniża koszty wytworzenia i eksploatacji dzięki użyciu znacznie tańszych podzespołów i komponentów produkowanych seryjnie. Wzrost świadomości praw konsumenta stawia przed konstruktorami zupełnie nowe zadania, zarówno w zakresie stosowania nowoczesnych rozwiązań, jak również nowego systemowego podejścia do zagadnień projektowania i wytwarzania, ze znacznym udziałem technik komputerowych. Złożoność układu, którym urządzenie do rehabilitacji narządu ruchu człowieka, występowanie wielu systemów mechatronicznych, a także wysokie koszty prowadzenia prac badawczo-rozwojowych i wdrożeniowych wymagają użycia najnowocześniejszych metod projektowania mechatronicznego i systemów zarządzania projektami.

Rozpatrywane w rozprawie problemy mają charakter interdyscyplinarny. Biorąc powyższe pod uwagę, wybrany temat rozprawy doktorskiej uważam za aktualny zarówno pod względem naukowym, jak również pod względem użytecznym.

Tematyka pracy mieści się w zakresie dyscypliny naukowej „Budowa i eksploatacja maszyn”.

2. Przegląd treści pracy

Sformułowany przez Autora cel pracy jest zasadny i prawidłowy w swej konstrukcji. Badania w omawianym zakresie dają nowe możliwości w zakresie wspomagania procesu projektowo – konstrukcyjnego oraz modyfikacji i modernizacji obiektów już istniejących.

Autor szeroko opisał zastosowanie w procesie projektowania mechatronicznego podejścia opartego o wiedzę medyczną, biomechaniczną i inżynierską poszerzoną o badania eksperymentalne, analizę norm zharmonizowanych z dyrektywą medyczną, analizę ryzyka oraz zastosowanie metod wirtualnego prototypowania.

Rozprawę doktorską podzielono na trzy zasadnicze rozdziały, uzupełnione spisem literatury, wykazem rysunków, spisem tabel i jednym dodatkiem do pracy.

W rozdziale pierwszym zatytułowanym „Przegląd piśmiennictwa”, zamieszczono opis dotychczasowego stanu zagadnienia. W tej części pracy szczegółowo opisano narząd ruchu i źródła jego niesprawności, analizowano proces rehabilitacji narządu ruchu, opisano metody stosowane w rehabilitacji kręgosłupa, metody neurofizjologiczne stosowane w rehabilitacji obręczy i kończyn. Dokonano wyboru metody terapeutycznej i określono typ niesprawności narządu ruchu, dla której możliwe jest opracowanie urządzenia wspomagającego proces rehabilitacyjny. Autor dokonał analizy zmienności cech antropometrycznych i zakresów ruchu w anatomicznych stawach kończyny dolnej. Na koniec dokonano przeglądu urządzeń rehabilitacyjnych stosowanych w kinezyterapii kończyny dolnej.

W drugim rozdziale sformułowano cel pracy o następującej treści: „Celem rozprawy jest opracowanie metodyki mechatronicznego projektowania nowoczesnych wyrobów medycznych na przykładzie urządzenia przeznaczonego do rehabilitacji kończyn dolnych. Określona metoda i algorytm postępowania dzieli projekt na etapy, będące tzw. kamieniami milowymi projektu, kumulując w konkretnym zadaniu wiedzę z danego obszaru nauki, bazując na wiedzy z pozostałych obszarów”.

Autor sformułował również tezę, iż:

„Zastosowanie mechatronicznego podejścia do projektowania urządzeń rehabilitacyjnych w porównaniu do tradycyjnej metody, zapewnia szybszą i bardziej efektywną ekonomicznie, realizację projektu na wszystkich jego etapach, przy jednoczesnym zapewnieniu, że wytworzony wyrób będzie poprawnie realizował zaplanowane działanie terapeutyczne”. Ponadto w rozdziale tym autor przedstawił zakres pracy.

W kolejnej, trzeciej części rozprawy Autor zawarł opis „Badań własnych”. Rozdział ten jest najobszerniejszy.

W rozdziale trzecim zawarto typy wzorców ruchów terapeutycznych metody PNF, które warunkują funkcjonalność projektowanego urządzenia, dokonano wyboru metody badawczej, do prowadzenia analizy wzorców ruchów terapeutycznych metody PNF na podstawie zmian kątów stawowych uzyskanych w trakcie ruchu podnoszenia i opuszczania kończyn dolnych, wykonywanych w pozycji leżącej na plecach. Autor pokusił się o zdefiniowanie, w jego mniemaniu, optymalnej metody badań kinematyki wybranych wzorców ruchowych metody PNF. W kolejnym kroku przedstawiono i opisano badania doświadczalne obejmujące swym zakresem wyznaczenie trajektorii i zakresu ruchów w stawach anatomicznych kończyny dla wybranych wzorców ruchów terapeutycznych stosowanych w terapii metodą PNF, w tym celu przyjęto metodykę badań a następnie przeprowadzono analizę kinematyki wzorców ruchów prostych i złożonych, na koniec zamieszczono wyniki badań w postaci przebiegów czasowych przemieszczeń liniowy i kątowych oraz prędkości kątowych wybranych segmentów kończyny dolnej.

W następnej części rozprawy na drodze syntezy określono trzy koncepcje struktury kinematycznej urządzenia rehabilitacyjnego a następnie dokonano wyboru optymalnych rozwiązań na drodze analizy morfologicznej. Przeprowadzona ocena poszczególnych koncepcji struktur kinematycznych, umożliwiła wybór rozwiązania optymalnego a w efekcie zdefiniowanie postaci konstrukcyjnej prototypu urządzenia rehabilitacyjnego .

Przeanalizowano również zbiór przepisów prawa i norm przedmiotowych w zakresie projektowanego urządzenia rehabilitacyjnego i dokonano analizy ryzyka. W kolejnym kroku, Autor dokonał, na podstawie przeprowadzonych analiz, doboru jednostek napędowych projektowanego urządzenia i określił system sterowania urządzeniem rehabilitacyjnym. W punkcie 14. pracy Autor zawarł opis badań numerycznych, które dotyczyły analizy wytrzymałości konstrukcji urządzenia do rehabilitacji. Na podstawie wyników analiz wytrzymałościowych, Autor przeprowadził i opisał korektę konstrukcji prototypu urządzenia rehabilitacyjnego. W kolejnym punkcie, scharakteryzowano prototyp urządzenia do rehabilitacji kończyny dolnej a następnie opisano proces weryfikacji doświadczalnej prototypu urządzenia. Na końcu rozprawy zamieszczono wnioski i kierunki przyszłych badań.

3. Ocena merytoryczna, wyniki pracy i ich ocena

Recenzowana praca doktorska reprezentuje wysoki poziom naukowy. Przedstawiona kompozycja pracy jest właściwa, poszczególne rozdziały tworzą logiczną i wspólną całość. Zaletą rozprawy jest przejrzysty układ treści. Doktorant stopniowo wprowadza czytelnika w problematykę, od podstawowych, prostych zagadnień do złożonych. Taki układ treści powoduje, że zagadnienia prezentowane w pracy przedstawione są w sposób przejrzysty i konsekwentny.

Rozprawa napisana jest jasnym, poprawnym językiem.

Na wyróżnienie zasługuje cytowana i omawiana bibliografia. Jej dobór przekonuje mnie, iż autor znakomicie porusza się w prezentowanym w rozprawie zagadnieniu. Dobór rysunków i wykresów uważam za właściwy.

W pracy przedstawiono zastosowanie metody fotogrametrycznej do wyznaczenia wielkości kinematycznych wybranych punktów urządzenia rehabilitacyjnego. Zastosowana metoda do wyznaczania wielkości kinematycznych polega na rejestracji badanego ruchu za pomocą szybkich kamer, a następnie na poklatkowej analizie zarejestrowanych obrazów. W celu dokładnej identyfikacji położenia charakterystycznych punktów mechanizmu umieszczono znaczniki w postaci markerów. Współrzędne określające położenie markerów na zarejestrowanych obrazach przeliczano na współrzędne przestrzenne z zastosowaniem dedykowanego oprogramowania. Znając współrzędne punktów, możliwe jest wyznaczenie względnych i bezwzględnych przemieszczeń kątowych segmentów łańcucha kinematycznego kończyny dolnej, a na tej podstawie prędkości oraz przyspieszenia kątowe wybranych elementów. Uzyskane w ten sposób trajektorie i wartości zmian kątów stawowych były jednym z kluczowych parametrów wejściowych przeprowadzonej optymalizacji morfologicznej - heurystycznej metody twórczego poszukiwania możliwych postaci łańcucha kinematycznego projektowanego urządzenia. W pracy analizowano trzy koncepcje urządzenia, które zamodelowano w programie Inventor i poddano analizie funkcjonalnej oraz ocenie kryterialnej, dokonano wyboru postaci konstrukcyjnej urządzenia do rehabilitacji kończyn dolnych człowieka. Autor w kolejnych rozdziałach dokonał weryfikacji bezpieczeństwa urządzeń medycznych przeprowadzając analizę ryzyka.

Dysertacja zawiera opis opracowanego wirtualnego modelu urządzenia rehabilitacyjnego, który poddano analizie stereomechanicznej z zastosowaniem metody elementów skończonych. Naturalną konsekwencją przeprowadzonych procesów projektowania było wytworzenie prototypu co zostało opisane w recenzowanej pracy. Przeprowadzona walidacja, potwierdziła poprawność przyjętych założeń, a zastosowana metodyka projektowania z sukcesem doprowadziła do zrealizowania założonego celu.

Przedstawiony w pracy problem badawczy jest interesujący poznawczo i ważny ze względu na zastosowanie praktyczne, a jego zakres stanowi o dużej wartości merytorycznej recenzowanej pracy.

Lektura dysertacji nasuwa jednak pewne komentarze i uwagi krytyczne, częściowo dyskusyjne:

- Autor na str. 44 zdefiniował cel, który brzmi: „Celem rozprawy jest opracowanie metodyki mechatronicznego projektowania nowoczesnych wyrobów medycznych na przykładzie urządzenia przeznaczonego do rehabilitacji kończyn dolnych. Określona metoda i algorytm postępowania dzieli projekt na etapy, będące tzw. kamieniami milowymi projektu, kumulując w konkretnym zadaniu wiedzę z danego obszaru nauki, bazując na wiedzy z pozostałych obszarów“, a konsekwencją tak sformułowanego celu jest zamieszczony na stronie 51. „Schemat procesu projektowania mechatronicznego urządzenia rehabilitacyjnego“ będący opisem przyjętej -opracowanej przez Autora metodologii projektowania. Moje wątpliwości budzi ów schemat, gdyż Autor nieczytelnie opisał sprzężenia pomiędzy etapami procesu projektowego. Jeżeli takowe nie występują bądź są źle zdefiniowane to mamy do czynienia z klasycznym – liniowym modelem procesu projektowego. Wiadomym bowiem jest, że metodologia mechatronicznego projektowania to

złożone zagadnienie, którego rozwiązaniem jest odpowiednie (optymalne) „połączenie” oraz dostrojenie wszystkich rodzajów systemów oraz sterowania na wszystkich etapach procesu projektowego. Takie podejście do zintegrowanego, inteligentnego projektowania prowadzi w efekcie do konieczności zastosowania nowych metod badawczych, przykładem których mogą być: Hardware In the Loop, Software In the Loop i Model In the Loop;

- na str. 151. W rozdziale 17. Podsumowanie, napisano: „Przeprowadzona w ostatnim etapie weryfikacja doświadczalna prototypu, potwierdziła zgodność jego działania z postulowanymi założeniami funkcjonalnymi, a uzyskane cechy użytkowe dają realną możliwość komercjalizacji wyników podjętych prac badawczych i rozwojowych, zarówno w zakresie opracowanej dokumentacji technicznej, jak i uzyskanych praw wyłącznych zgodnie z uzyskaną ochroną patentową”. Biorąc powyższe pod uwagę uważam, że w pracy zabrakło bardzo istotnej części, tj.: zagadnień związanych z analizą cyklu życia produktu a w szczególności oszacowania kosztów cyklu życia urządzenia (dla trzech koncepcyjnych rozwiązań). W powszechnie uznanym „cyklu życia” obiektów technicznych wyróżnia się cztery główne fazy (etapy): potrzebę, projektowanie i konstruowanie, wytwarzanie oraz eksploatację, jeśli więc zamysłem Autora było osiągnięcie celu – komercjalizacja, to pominięcie wspomnianych zagadnień jest w pewnym sensie uchybieniem opracowanej metodyki projektowania.

W pracy zauważono kilka błędów redakcyjnych, które zostały przekazane do wiadomości autora.

Przedstawione uwagi i komentarze zostaną zapewne wyjaśnione, bądź skomentowane w trakcie publicznej obrony.

Mimo przedstawionych uwag krytycznych, realizację postawionego zadania należy ocenić wysoko ze względu na:

- prawidłowe zdefiniowanie przedmiotu badań,
- rzeczowy sposób prezentacji wyników,
- sumienność wykonania poszczególnych etapów pracy zwłaszcza pod kątem formalnym i matematycznym,
- wykazane przez autora dobre rozeznanie w wielu dziedzinach wiedzy, w tym umiejętności praktyczne przedstawione,
- wymierne osiągnięcia teoretyczno-aplikacyjne, pozwalające na szereg spostrzeżeń i wyciągnięcie interesujących wniosków.

4. Ocena końcowa

Oceniając przedstawioną rozprawę doktorską należy podkreślić aktualność jej tematyki z punktu widzenia potrzeb konstrukcji i eksploatacji mechatronicznych urządzeń do rehabilitacji narządu ruchu człowieka. Zawiera ona elementy, które można uznać za oryginalny wkład w rozwój dyscypliny Budowa i eksploatacja maszyn.

Uważam, że opiniowaną pracę Pana mgr inż. Michała Bachorza cechuje interdyscyplinarne podejście do zagadnień projektowania, modelowania układów o złożonej naturze fizycznej, co stanowi stosowny wkład w zakresie analizy i kształtowania cech

dynamicznych konstrukcji wybranej klasy układów mechatronicznych. Opracowane algorytmy i modele do badań symulacyjnych oraz sposób realizacji tych badań świadczą o odpowiednim przygotowaniu doktoranta do prowadzenia samodzielnej działalności naukowo-badawczej.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest wartościowym pod względem merytorycznym opracowaniem naukowym wykazującym znaczący wkład Autora w rozwiązanie rozważanych w niej zagadnień. Wymienione w niniejszej recenzji uwagi oraz zauważone usterki nie zmieniają w sposób znaczący mojej ogólnie pozytywnej opinii o pracy.

Recenzowana praca spełnia wymogi odnośnie przewodu doktorskiego, określone w **Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.**

Biorąc powyższe pod uwagę, wnioskuję o dopuszczenie doktoranta do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Kańul S.

