

dr hab. inż. Mariusz Giergiel  
Akademia Górniczo - Hutnicza  
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki  
Katedra Robotyki i Mechatroniki  
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Kraków, 10-06-2016.

## Recenzja

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Bachorza

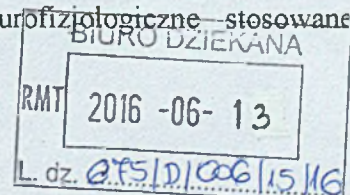
pt. „Projektowanie mechatroniczne urządzeń do rehabilitacji narządu ruchu człowieka”

Promotor rozprawy: prof. dr hab. inż. Arkadiusz Mężyk

### 1. Wybór tematu, cel i zakres pracy

W pracy podjęto zagadnienie leżące w zakresie dynamicznie rozwijającej się obecnie robotyki medycznej, rozumianej jako złożony proces przywracania sprawności na drodze prowadzonej fizjoterapii realizowany z wykorzystaniem zaawansowanych urządzeń rehabilitacyjnych. Zachodząca we współczesnym świecie zmiana trybu życia wynikająca ze zmian cywilizacyjnych, jak i starzenie się społeczeństwa powodują wzrost liczby osób z ograniczeniami sprawności układu narządu ruchu. Dla zapewnienia wysokiej jakości i użyteczności urządzeń rehabilitacyjnych jaką dyktują zarówno rosnące wymagania użytkowników jak i wymogi prawne konieczne wydaje się zastosowanie podejścia mechatronicznego. Dlatego uważam, że pomimo istniejących opracowań i badań w tym zakresie są to wysoce aktualne problemy, a podjęcie tej tematyki przez doktoranta jest uzasadnione i na czasie.

Recenzowana praca doktorska liczy 183 strony i składa się ze wstępu, trzech części głównych, na które składa się 18 rozdziałów oraz bibliografii, spisu ilustracji i spisu tabel oraz załącznika. W pierwszej części pracy przedstawiono przegląd piśmiennictwa, omówiono funkcjonowanie narządu ruchu i źródła jego niesprawności, rolę rehabilitacji narządu ruchu, metody stosowane w rehabilitacji kręgosłupa, metody neurofizjologiczne stosowane



w rehabilitacji obręczy i kończyn. Dokonano wyboru metody terapeutycznej i typu niesprawności narządu ruchu, dla której możliwe jest opracowanie urządzenia wspomagającego proces rehabilitacyjny, przeprowadzono analizę zmienności cech antropometrycznych i zakresów ruchu w anatomicznych stawach kończyny dolnej, przedstawiono przegląd urządzeń rehabilitacyjnych stosowanych w kinezyterapii kończyny dolnej oraz pokazano rolę mechatroniki w procesie projektowania urządzeń przeznaczonych do rehabilitacji narządu ruchu.

W części drugiej zaprezentowano cel, zakres, metodologię oraz tezę pracy.

Trzecia, zasadnicza część prezentuje badania i dokonania Autora. Obejmuje ona wytypowanie wzorców ruchów terapeutycznych metody PNF, które powinny być wykonywane przez projektowane urządzenie, badania porównawcze dostępnych systemów pomiarowych, celem wyboru metody badawczej, optymalnej do przeprowadzenia analiz ruchów wykonywanych kończyną dolną w pozycji leżącej, rejestrację ruchów terapeutycznych wykonywanych przez certyfikowanego terapeutę metody PNF, analizę w układzie przestrzenno-czasowym zarejestrowanych wzorców ruchu, wyznaczanie rzeczywistych trajektorii i parametrów kinematycznych ruchów, syntezę struktury kinematycznej urządzenia, analizę wymagań prawnych i normatywnych w odniesieniu do projektowanego urządzenia oraz elementy analizy ryzyka, wirtualne prototypowanie: opracowanie i optymalizację postaci konstrukcyjnej urządzenia oraz rozwiązań układów napędowych, realizujących założone tory w układzie przestrzenno-czasowym, co w końcowym efekcie pozwoliło na praktyczną realizację urządzenia wraz z weryfikacją doświadczalną wytworzonego prototypu urządzenia rehabilitacyjno-diagnostycznego. Tę część pracy kończy podsumowanie oraz wnioski i wskazanie kierunków przyszłych badań.

Bibliografia liczy 179 pozycji, w znacznej części pochodzących z ostatnich lat.

**Cel pracy** stanowiło 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 tak zwanymi kamieniami milowymi projektu, kumulując w konkretnym zadaniu wiedzę z danego obszaru nauki, bazując na wiedzy z pozostałych obszarów.

**Teza pracy** została sformułowana jako: *„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.”*

Warto zaznaczyć potencjal aplikacyjny wynikający z uzyskanych efektów rozprawy, szczególnie jeżeli chodzi o zaproponowany system aktywnej redukcji drgań obrabiarek, który jest potencjalnie użyteczny na etapie projektowania nowych konstrukcji robotów rehabilitacyjnych, a także przy ewentualnym udoskonalaniu i modernizacji już istniejących i obecnie eksploatowanych.

**Nowatorstwa i oryginalności** pracy można upatrywać w:

- Przedstawionej w pracy metodologii badawczej, bazującej na mechatronicznym podejściu, co zapewniło synergię działań interdyscyplinarnego zespołu realizującego projekt medycznego urządzenia wspomagającego rehabilitację kończyn dolnych, wykonywaną zgodnie z zasadami metody PNF. Metoda ta została zweryfikowana w trakcie realizacji projektów innych urządzeń rehabilitacyjnych, dedykowanych usprawnianiu kończyn górnych i dolnych człowieka, prowadzonych w Instytucie Techniki i Aparatury Medycznej ITAM, przez co wydaje się być metodą uniwersalną.
- Zastosowaniu metody pomiarowej bazującej na pomiarach systemem fotogrametrycznym, która zagwarantowała uzyskanie poprawnych danych wejściowych dla wyznaczenia kinematyki ruchów terapeutycznych kończyny dolnej.
- Wykorzystanie inwencyjnej metody twórczego rozwiązywania problemów, to jest analizy morfologicznej, co umożliwiło uzyskanie optymalnej postaci konstrukcyjnej prototypu urządzenia.
- Zaproponowany system sterowania napędami urządzenia, którego człony ruchome wyposażone zostały w czujniki siły i przetworniki kątów, z których sygnały wyjściowe, wraz z oprogramowaniem sterującym, umożliwiają nadzorowanie ćwiczenia, zabezpieczenie pacjenta przed przeciążeniami, zapis przebiegu ćwiczenia i jego archiwizację, a to z kolei wydaje się być optymalnym rozwiązaniem.

## **2. Poprawność metodyki badań i analiza wyników**

Przedstawiono wyniki zarówno badań analitycznych symulacyjnych jak i eksperymentalnych. Udowodniono słuszność zaproponowanego podejścia oraz co ważne

jego praktyczną użyteczność. Udowodniono tezę naukową. Zastosowana metodyka badań jest prawidłowa, analiza wyników badań przeprowadzona w sposób właściwy świadcząc o dużym zasobie wiedzy, inwencji, pracowitości i rzetelności naukowej autora.

Należy szczególnie podkreślić widoczny duży nakład pracy autora przy wykonywaniu rozprawy i dobre ujęcie problematyki zawierającej badania teoretyczne, symulacyjne oraz badania doświadczalne. Takie kompleksowe rozwiązanie jest niewątpliwie dużym osiągnięciem i zasługuje na uznanie.

### 3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Uwagi jakie nasuwają się po lekturze pracy są dwojakiego rodzaju. Po pierwsze są to **uwagi ogólne i redakcyjne**. Zauważyć należy, że rozprawa jest bardzo starannie przygotowana zawiera jednak nieco różnorodnych usterek redakcyjnych, edytorskich, których wymienienie w tym miejscu wszystkich nie wydaje się celowe, zwłaszcza że nie utrudniają one lektury i nie prowadzą do wątpliwości i nie umniejszają merytorycznej wartości pracy. Szkoda jedynie że autor nie zdecydował się na zamieszczenie w pracy spisu przyjętych oznaczeń.

W sensie merytorycznym natomiast pojawiają się natomiast raczej **uwagi dyskusyjne** niż krytyczne:

1. Przedstawione w pierwszej części pracy omówienie przepisów i norm odnośnie urządzeń rehabilitacyjnych jest nieco lakoniczne. W tej formie właściwie jest tylko wspomniane że takie wymagania istnieją, natomiast brakuje informacji jaki miały one wpływ na proces projektowania oraz które parametry konstrukcji z nich wynikają.
2. Na czym w istocie polegała i czym skutkuje bazująca na mechatronicznym podejściu synergia działań w czasie projektowania urządzenia?
3. Czy opracowane urządzenie ma charakter modułowy?
4. Czy i w jaki sposób uwzględniono na etapie projektowania kwestie związane z serwisowaniem docelowego urządzenia?
5. Dlaczego w pracy nie podjęto kwestii związanych z zakończeniem eksploatacji i utylizacją urządzenia? Problem ten nabiera we współczesnym świecie coraz większego znaczenia i powinien być brany pod uwagę przy mechatronicznym projektowaniu.

#### 4. Podsumowanie

Omawiana rozprawa zawiera wartościowe wyniki badań i świadczy ona o tym, że Autor umie postawić zagadnienie i rozwiązać je na drodze teoretycznej oraz zweryfikować doświadczalnie, a wyniki badań zanalizować i wyciągnąć poprawne wnioski. Jego wywody są jasne a wyniki rozprawy mogą być użyteczne z naukowego jak i technicznego punktu widzenia.

Biorąc pod uwagę całość pracy należy stwierdzić, że autor rozwiązał istotny problem nowoczesnej tematyki naukowej leżący w szeroko pojętej dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Michała Bachorza spełnia warunki określone w aktualnie obowiązującej ustawie w sprawie warunków i trybu przeprowadzania przewodów doktorskich i może być przedmiotem publicznej obrony.

