

KONCEPCJA MECHATRONICZNEGO URZĄDZENIA REHABILITACYJNEGO DLA KOŃCZYN DOLNYCH ZADAJĄCEGO WIELOPŁASZCZYZNOWY RUCH ZGODNY Z METODAMI NEUROFIZJOLOGICZNYMI

ROBERT MICHNIK¹, JACEK JURKOJC¹, ZDZISŁAW RAK¹, GRZEGORZ GOŁDA²,
WŁADYSŁAW KALIŃSKI², ZBIGNIEW PASZENDA³, MICHAŁ BACHORZ⁴,
JACEK BRANDT⁴, ŁUKASZ JUSZYŃSKI⁴, GRZEGORZ NOWAK⁴,
WIESŁAW RYCERSKI⁵, JAN JANOTA⁵

¹Katedra Mechaniki Stosowanej, Politechnika Śląska,

²Instytut Automatyzacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania, Politechnika Śląska

³Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Politechnika Śląska

⁴Instytut Techniki i Aparatury Medycznej, Zabrze,

⁵Górnośląskie Centrum Rehabilitacji w Reptach

e-mail: Robert.Michnik@polsl.pl, Jacek.Jurkojc@polsl.pl, Zdzislaw.Rak@polsl.pl

Streszczenie. W artykule przedstawiono koncepcje mechatronicznego urządzenia rehabilitacyjnego dla kończyn dolnych zadającego wielopłaszczyznowy ruch zgodnie z metodami neurofizjologicznymi. Prace projektowe zostały poprzedzone badaniami doświadczalnymi kinematyki ruchów kończyny dolnej podczas wykonywania ruchów zgodnych z metodą PNF (Proprioceptive Neuromuscular Facilitation). Dla wybranego wariantu urządzenia rehabilitacyjnego na podstawie przyjętej struktury kinematycznej oraz wyników pomiarów doświadczalnych ruchu kończyny dolnej wyznaczone zostały przebiegi momentów napędowych oraz mocy w wybranych parach kinematycznych.

1. WSTĘP

Od wielu już lat można zaobserwować ciągły rozwój nauk medycznych, w którym udział biorą nie tylko lekarze, ale coraz częściej interdyscyplinarne zespoły złożone z naukowców związanych z takimi dziedzinami wiedzy jak biomechanika, inżynieria materiałowa czy projektowanie i konstrukcja urządzeń mechanicznych i elektronicznych. Prowadzone badania pozwalają na coraz lepsze poznanie funkcjonowania człowieka, a co za tym idzie, opracowanie coraz bardziej skutecznych metod leczenia i rehabilitacji osób chorych. Jedną z takich dziedzin, gdzie ten rozwój jest bardzo widoczny, jest rehabilitacja narządu ruchu człowieka. Rozwój ten wiąże się nie tylko z nowymi metodami rehabilitacji, ale również z rozwojem urządzeń rehabilitacyjnych [2, 3, 4, 5].

Obecnie w rehabilitacji narządu ruchu stosowane są różne metody kinezyterapeutyczne dedykowane dla poszczególnych rodzajów schorzeń. W przypadku schorzeń o podłożu neurologicznym jedną z metod jest metoda PNF (Proprioceptive Neuromuscular Facilitation). W metodzie tej rezygnuje się z izolowanych ruchów w pojedynczych stawach i w typowych

płaszczyznach. Opierając się na budowie anatomicznej człowieka, PNF proponuje ruchy naturalne przebiegające trójpłaszczyznowo, prowadzone wzdłuż skośnych osi ruchu, które ze względu na swój przebieg stwarzają możliwość zaktywizowania największej liczby mięśni należących do tej samej grupy mięśniowej [1, 7].

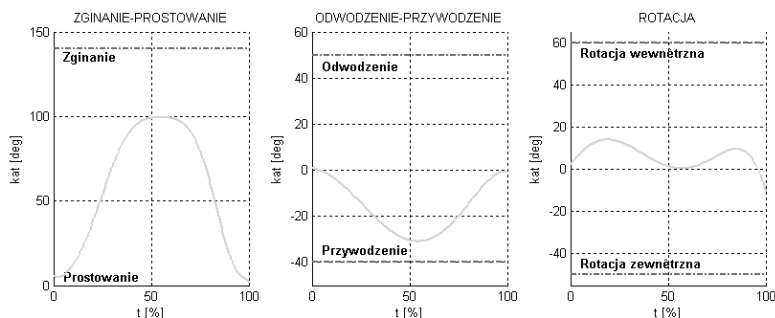
Mimo bogatej oferty dostępnych urządzeń do rehabilitacji kończyny dolnej, po dokonaniu przeglądu urządzeń dostępnych na rynku medycznym, można stwierdzić, że obecnie nie istnieją urządzenia, które umożliwiałyby wykonanie pełnego zakresu ruchów w stawach kończyny dolnej, wymaganego w przypadku rehabilitacji przy wykorzystaniu metod neurofizjologicznych, a szczególności metodą PNF. Wzięto to pod uwagę i tak zrodził się pomysł opracowania mechatronicznego urządzenia rehabilitacyjnego, które zastępowałoby pracę fizjoterapeuty poprzez zadawanie wzorców ruchowych. W realizację projektu zaangażowany jest interdyscyplinarny zespół, w skład którego wchodzi pracownicy Politechniki Śląskiej, Instytutu Techniki i Aparatury Medycznej oraz Górnośląskiego Centrum Rehabilitacji w Reptach.

2. KONCEPCJA URZĄDZENIA DO REHABILITACJI KOŃCZYN DOLNYCH

Celem pracy było opracowanie koncepcji mechatronicznego urządzenia rehabilitacyjnego dla kończyn dolnych. Prace projektowe zostały poprzedzone badaniami doświadczalnymi kinematyki ruchów kończyny dolnej podczas wykonywania ruchów zgodnych z metodą PNF. Badania kinematyki przeprowadzono w Górnośląskim Centrum Rehabilitacji w Reptach. Specjalista z dziedziny rehabilitacji metodą PNF wykonywał wzorce ruchowe stosowane w tej metodzie, które były rejestrowane za pomocą czterech kamer cyfrowych firmy Basler o częstotliwości próbkowania wynoszącej 100 Hz. Zgodnie z metodyką opisaną przez Davisa [6], w charakterystycznych punktach antropometrycznych kończyny dolnej i miednicy badanej osoby, rozmieszczone zostały markery. W trakcie badań kinematyki wyznaczono przemieszczenia poszczególnych stawów kończyny dolnej, co pozwoliło na wyznaczenie przebiegów kątów w stawach kończyny dolnej. Na rys. 1 przedstawiono sekwencję ruchów wykonywanych według jednego z analizowanych wzorców metody PNF, a na rys. 2 odpowiadające tej sekwencji przebiegi kątów w stawach kończyny dolnej. Na podstawie przeprowadzonych badań kinematyki ruchów kończyny dolnej, realizowanych z zgodnie z metodą PNF, sformułowano wytyczne, dotyczące konstrukcji projektowanego urządzenia do rehabilitacji kończyn dolnych.



Rys. 1. Sekwencja ruchów wykonanych według jednego z wzorców metody PNF



Rys. 2. Przemieszczenia kątowe uda dla ruchu wykonanego według jednego z wzorców metody PNF

Przy opracowywaniu konstrukcji urządzenia przyjęto, że powinno ono zapewniać: możliwość wykonywania ruchów w pozycji leżącej, możliwość ułożenia ciała pacjenta we wszystkich pozycjach wyjściowych poszczególnych sekwencji ruchowych metody PNF, możliwość bezkolizyjnego realizowania ruchów w zakresach wynikających z wzorców metody PNF. Układ napędowy oraz układ sterowania urządzenia powinien zapewnić możliwość wykonywania ruchów czynnych, wspomagania wykonywania ruchów czynnych, wykonywania ruchów biernych oraz wykonywania ruchów z oporem.



Rys. 3. Wybrane koncepcje urządzenia do rehabilitacji kończyn dolnych opracowane w ramach projektu

Na podstawie przyjętych założeń opracowano 9 koncepcji urządzenia (rys. 3). Następnie dokonano oceny przedstawionych koncepcji urządzenia rehabilitacyjnego, biorąc pod uwagę: możliwość realizacji ruchów w poszczególnych stawach kończyny dolnej, stopień komplikacji algorytmu sterowania, możliwość kontrolowania ruchów poszczególnych segmentów kończyny dolnej przez rehabilitanta. Dla przyjętego wariantu urządzenia rehabilitacyjnego, na podstawie przyjętej struktury kinematycznej oraz wyników pomiarów doświadczalnych ruchu kończyny dolnej, wyznaczono przebiegi momentów napędowych oraz mocy w wybranych parach kinematycznych. Pozwoliło to na wyznaczenie maksymalnych momentów napędowych koniecznych do realizacji poszczególnych ruchów rehabilitacyjnych.

3. DOBÓR PARAMETRÓW SILNIKÓW NAPĘDOWYCH URZĄDZENIA

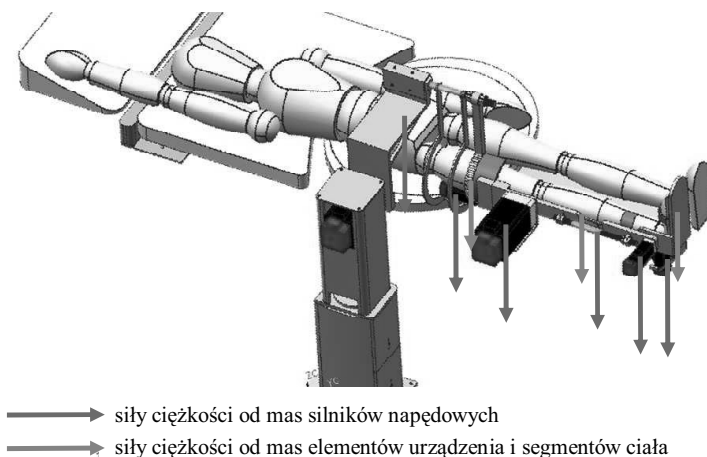
W celu doboru odpowiednich parametrów silników napędowych opracowano algorytm obliczeń numerycznych pozwalający na wyznaczenie momentów napędowych silników na

podstawie opracowanego modelu matematycznego. W procesie modelowania przyjęto następujące założenia upraszczające:

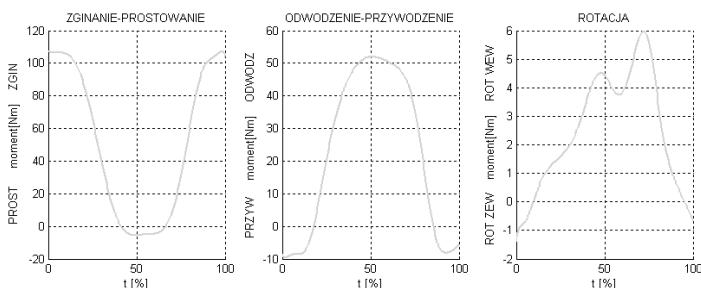
- obliczenia przeprowadzono dla warunków quasi-statycznych, pomijając oddziaływanie sił bezwładności,
- w modelu uwzględniono oddziaływanie sił ciężkości pochodzących od mas poszczególnych: segmentów kończyny dolnej, mas poszczególnych elementów urządzenia oraz mas silników napędowych
- siły ciężkości od segmentów kończyny dolnej oraz poszczególnych elementów urządzenia przyłożono w środkach mas odpowiednich segmentów kończyny dolnej,
- obliczenia przeprowadzono, przyjmując masy segmentów kończyny dolnej wyznaczone na podstawie współczynników podanych przez Zaciorskiego, odpowiadające mężczyźnie o masie całkowitej równej 130 kg.

Przyjęty w modelu rozkład działających sił przedstawiono na rys. 4. Wartości momentów napędowych poszczególnych silników dobrano, wyznaczając wypadkowe momenty względem osi obrotu silników pochodzące od sił ciężkości elementów urządzenia i segmentów ciała.

Wyznaczone na podstawie opracowanego algorytmu obliczeń przebiegi momentów napędowych silników urządzenia rehabilitacyjnego, wyznaczone dla jednego z wzorców metody PNF, przedstawiono na rys. 5-7, przebiegi mocy w silnikach napędowych odpowiedzialnych za ruchy w stawie biodrowym przedstawiono na rys. 8.

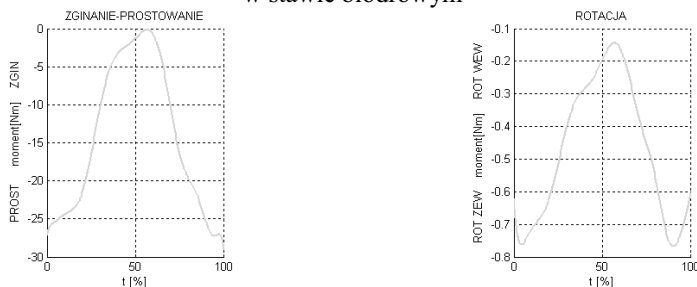


Rys. 4. Przyjęty w obliczeniach rozkład sił działających na urządzenie rehabilitacyjne.

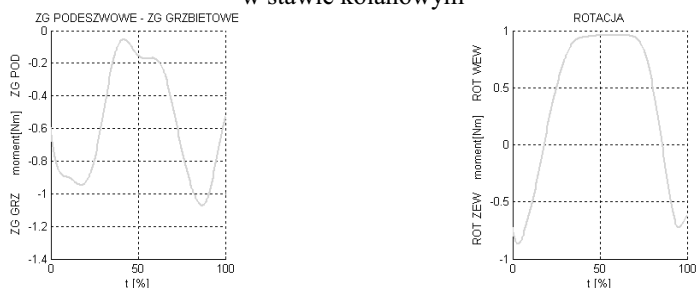


Rys. 5. Przebiegi momentów napędowych silników odpowiedzialnych za ruchy

w stawie biodrowym

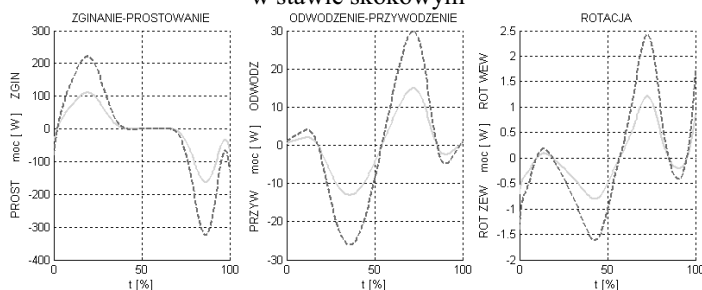


Rys. 6. Przebiegi momentów napędowych silników odpowiedzialnych za ruchy w stawie biodrowym



Rys. 7. Przebiegi momentów napędowych silników odpowiedzialnych za ruchy w stawie kolanowym

w stawie skokowym



Rys. 8. Przebiegi mocy w silnikach napędowych odpowiedzialnych za ruchy w stawie biodrowym (linia zielona – z normalną prędkością, linia czerwona – ruch z podwojoną prędkością)

4. PODSUMOWANIE

Wyznaczanie wartości momentów napędowych urządzenia jest jednym z istotniejszych elementów projektowania. Proces ten jest szczególnie utrudniony w mechanizmach, mających współpracować bezpośrednio z organizmem człowieka, których zadaniem jest wspomaganie lub zastąpienie utraconych funkcji ruchowych. Problemy te związane są z wielopłaszczyznowym, złożonym ruchem poszczególnych elementów ciała. W pracy zaprezentowano metodologię i przykłady zastosowania wyznaczania momentów napędowych przy wykorzystaniu systemów optoelektronicznych oraz modelowania matematycznego. Przedstawione wyniki obliczeń numerycznych mogą zostać wykorzystane do doboru silników napędowych urządzenia rehabilitacyjnego. Należy jednak pamiętać o tym, że otrzymane rezultaty są wartościami przybliżonymi. Wszystkie obliczenia przeprowadzono dla przyjętych założeń upraszczających, w których pominięto oddziaływanie sił bezwładności. Ponadto

obliczenia przeprowadzono dla szacunkowo przyjętych mas poszczególnych elementów urządzenia oraz silników napędowych. Przy doborze silników napędowych należy również uwzględnić oddziaływanie dodatkowych momentów oporujących będących wynikiem przykurczów mięśniowych w kończynie dolnej.

LITERATURA

- [1] Kwołka A.: Rehabilitacja medyczna pod redakcją Andrzeja Kwołka. T. 2: Rehabilitacja kliniczna. Wrocław: Wyd. Med. Urban&Partner, 2003
- [2] Mavroidis C., Nikitczuk J., Weinberg B. i in. Smart portable rehabilitation devices. „Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation”, 2005, Vol. 2
- [3] Michnik R., Jurkojc J., Paszenda Z., Michnik A., Bachorz M., Rycerski W., Janota J.: Application of motion analysis systems in the designing of rehabilitation device. In: Information Technologies in Biomedicine, Advances in Soft Computing Vol. 69, p. 417-422. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag 2010.
- [4] Michnik A., Brandt J., Szczurek Z., Bachorz M., Paszenda Z., Michnik R., Jurkojc J.: Control system for a limb rehabilitation robot. In: Information Technologies in Biomedicine, Advances in Soft Computing Vol. 69, p. 423-430. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag 2010.
- [5] Mrozowski J., Awrejcewicz J.: Podstawy biomechaniki. Łódź: Wyd. Pol. Łódź., 2004.
- [6] Vaughan Ch. L., Davis B.L., O'Connor J.C.: Dynamics of human gait. Cape Town: KibohoPublisher, 1999.
- [7] <http://www.rehabilitacja-mw.pl/metody-rehabilitacji/rehabilitacja-dla-doroslych/pnf.html>

THE CONCEPTION OF THE MECHATRONIC DEVICE FOR THE LOWER LIMB REHABILITATION BASED ON MULTIPLANAR MOTION PERFORMED IN ACCORDANCE WITH NEUROPHYSIOLOGICAL METHODS

Summary. The conception of the mechatronic device for lower limb rehabilitation based on multiplanar motion performed in accordance with neurophysiological rehabilitation methods (PNF) is presented in the paper. The design process was preceded by the experimental research into kinematics of lower limb motion performed according to PNF method. For the accepted device solution the courses of driving moments in kinematic pairs were determined on the basis of kinematics parameters and results of measurements of lower limb motion.