

**Robert MICHNIK<sup>1</sup>, Jacek JURKOJC<sup>1</sup>, Zdzisław RAK<sup>2</sup>, Zbigniew PASZENDA<sup>3</sup>,  
Wiesław RYCERSKI<sup>4</sup>, Michał BACHORZ<sup>5</sup>, Andrzej MICHNIK<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Katedra Biomechaniki, Politechnika Śląska,

<sup>2</sup>Katedra Mechaniki Stosowanej, Politechnika Śląska,

<sup>3</sup>Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Politechnika Śląska

<sup>4</sup>Górnośląskie Centrum Rehabilitacji Repty,

<sup>5</sup>Instytut Aparatury i Techniki Medycznej, Zabrze

## **ANALIZA KINEMATYCZNA WZORCÓW RUCHOWYCH STOSOWANYCH W REHABILITACJI KOŃCZYNY DOLNEJ**

Streszczenie W ramach pracy przeprowadzono badania kinematyki ruchów terapeutycznych kończyny dolnej wykonywanych zgodnie z metodą PNF. W trakcie badań rejestrowano sekwencje ruchów wykonywanych przez specjalistę z dziedziny rehabilitacji metodą PNF. Analizę kinematyczną przeprowadzono z wykorzystaniem optoelektronicznego systemu do analizy ruchu APAS.

### **1. WSTĘP**

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). Główną ideą PNF jest odbudowa czynności ruchowych prowadzona w oparciu o ruchy zbliżone do tych, które wykonuje się w życiu codziennym. 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. Zgodnie ze skośnym przebiegiem większości mięśni szkieletowych za najważniejszy element ruchu uważana jest rotacja, która warunkuje siłę i koordynację wykonywanego ruchu [1, 6].

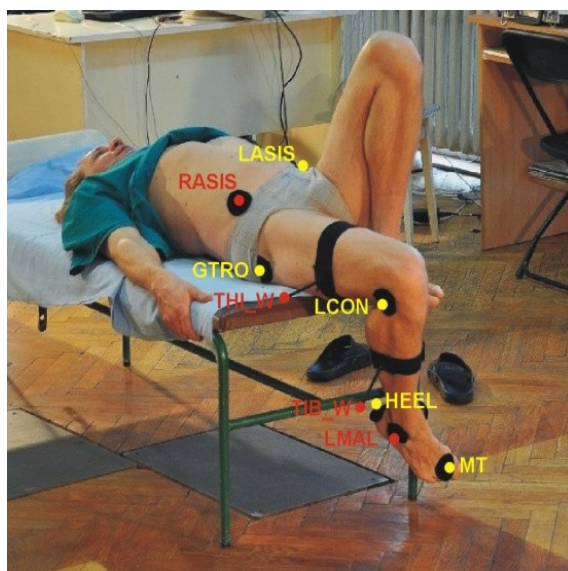
Mimo swych niewątpliwych zalet, metoda PNF posiada również swoje wady. W metodzie tej fizjoterapeuta musi być maksymalnie zaangażowany. Ćwiczenia wykonywane przez pacjenta są w znacznym stopniu wspomagane przez rehabilitanta, który trzymając kończynę rehabilitowanej osoby prowadzi ją zgodnie z tzw. wzorcami ruchowymi metody PNF. Mając to na uwadze zrodził się pomysł opracowania mechatronicznego urządzenia rehabilitacyjnego, które zastępowałoby pracę fizjoterapeuty poprzez zadawanie wzorców ruchowych. W jego realizację zaangażowany jest interdyscyplinarny zespół w skład, którego wchodzi pracownicy Politechniki Śląskiej, Instytutu Techniki i Aparatury Medycznej oraz Górnośląskiego Centrum Rehabilitacji w Reptach.

Niniejsza praca jest pierwszym etapem projektu, którego celem było przeprowadzenie analizy kinematycznej ruchów wykonywanych w metodzie PNF, dzięki czemu możliwe było poznanie struktury analizowanych ruchów oraz opracowanie wytycznych do projektowanego urządzenia.

## 2. METODYKA BADAŃ

W celu wyznaczenia kinematyki ruchów terapeutycznych zdecydowano się na wykorzystanie jednej z najbardziej rozpowszechnionych metod w biomechanice, metody fotogrametrycznej [2, 3, 4, 5]. Badania przeprowadzone zostały w Górnośląskim Centrum Rehabilitacji w Reptach. Specjalista z dziedziny rehabilitacji metodą PNF wykonywał wzorce ruchowe stosowane w tej metodzie, które były rejestrowane za pomocą 4 czterech kamer cyfrowych firmy Basler o częstotliwości próbkowania wynoszącej 100 Hz.

W charakterystycznych punktach antropometrycznych kończyny dolnej oraz miednicy rozmieszczone zostały odbłaskowe markery zgodnie z metodyką opisaną przez Davisa [5]. W przeprowadzonych badaniach markery rozmieszczono w następujących punktach ciała (rys. 1): MT – głowa kości śródstopia drugiego palca stopy, HEEL – pięta, LMAL – środek kostki bocznej, TIB\_W – marker umieszczony na dziesięciocentymetrowej różdżce na podudziu, LCON – nadkłykieć boczny kości udowej, THI\_W - marker umieszczony na dziesięciocentymetrowej różdżce na udzie, GTRO – krętarz większy kości udowej, RASIS – prawy kolec biodrowy przedni górny, LASIS – lewy kolec biodrowy przedni górny. Zarejestrowany przez kamery obraz przesyłany był do komputera, gdzie za pomocą modułów optoelektronicznego systemu do analizy ruchu APAS dokonano obróbki filmów i wyznaczono położenia markerów rozmieszczonych na ciele badanej osoby.



Rys.1. Rozmieszczenie markerów na ciele badanej osoby



Rys. 2. Schemat zastosowanego algorytmu obliczeń do analizy kinematyki ruchów kończyny dolnej

Ze względu na dużą obszerność wykonywanych ruchów, kamery zostały rozstawione w taki sposób, aby możliwe było dokładne wyznaczenie kinematyki kończyny dolnej. Uzyskane w systemie APAS przemieszczenia poszczególnych markerów były podstawą do wyznaczenia położenia środków stawów, a następnie położenia kątowych poszczególnych segmentów kończyny dolnej. Do wyznaczenia tych wielkości zastosowano metodykę opracowaną przez Davis'a. Na podstawie opracowanego algorytmu obliczeń (rys. 2) został przygotowany autorski program napisany w środowisku Matlab, pozwalający na analizę ruchów kończyny dolnej.

### 3. WYNIKI BADAŃ

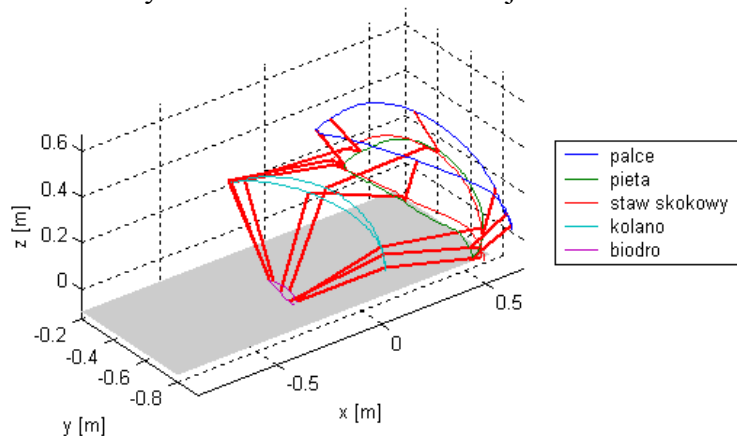
W trakcie badań zarejestrowano 9 schematów ruchowych, wykonywanych przez rehabilitanta-specjalistę z zakresu metod neurofizjologicznych. Wszystkie sekwencje zarejestrowano w pozycji leżącej i odpowiadały one wzorcom ruchowym zgodnym z metodą PNF. Na podstawie przyjętej metodyki badań dla zarejestrowanych ruchów wyznaczono:

- przemieszczenia liniowe (trajektorie) poszczególnych punktów antropometrycznych kończyny dolnej, na których rozmieszczono markery,
- przemieszczenia liniowe poszczególnych stawów kończyny dolnej,
- przemieszczenia kątowe miednicy oraz segmentów kończyny dolnej: uda, podudzia i stopy,
- prędkości kątowe segmentów kończyny dolnej.

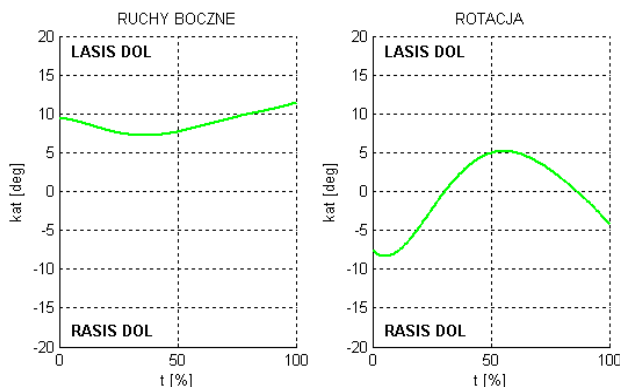
Na rys. 3 przedstawiono jedną z analizowanych sekwencji ruchów. Na kolejnych wykresach przedstawiono uzyskane wyniki obliczeń, czerwoną przerywaną linią oznaczono maksymalne zakresy ruchu w stawach.



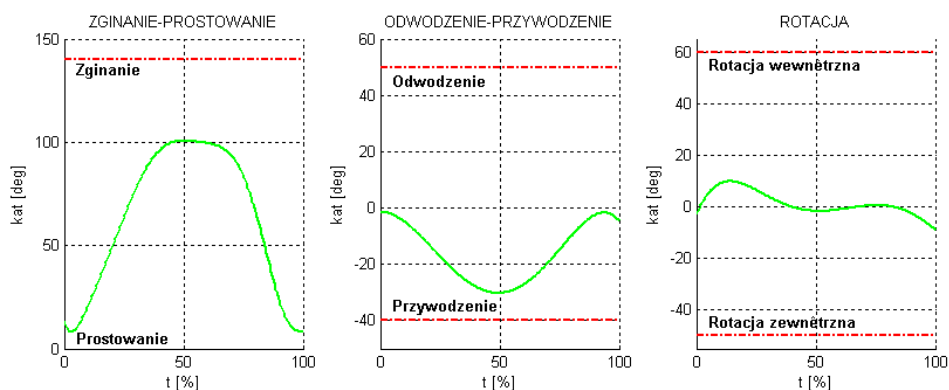
Rys. 3. Analizowana sekwencja ruchów



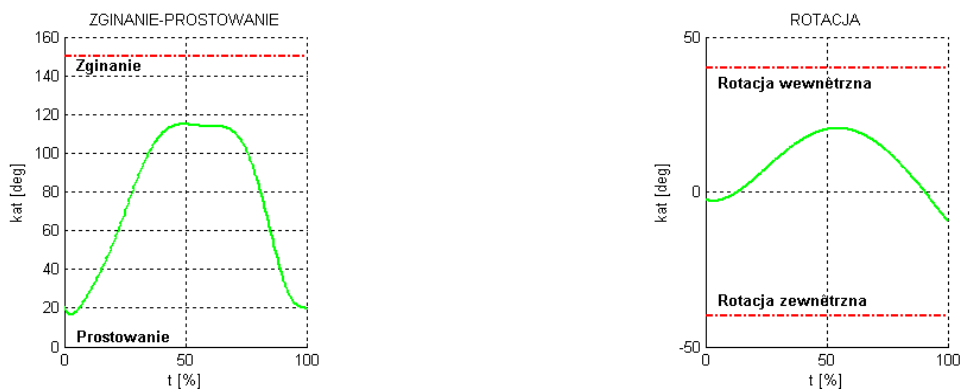
Rys. 4. Położenia kończyny dolnej oraz trajektorie charakterystycznych punktów antropometrycznych dla analizowanej sekwencji ruchu



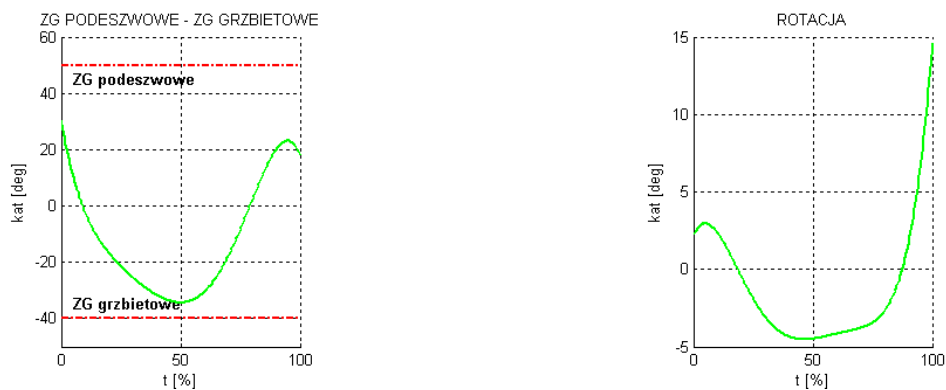
Rys. 5. Przemieszczenia kątowe miednicy dla analizowanej sekwencji ruchu



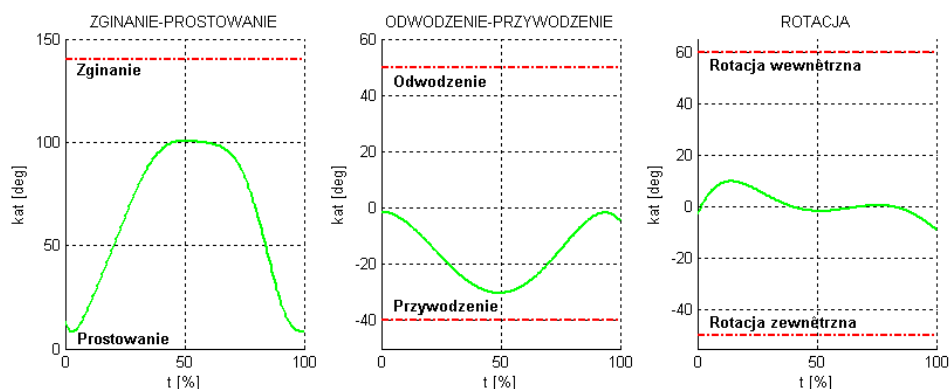
Rys. 6. Przemieszczenia kątowe uda dla analizowanej sekwencji ruchu



Rys. 7. Przemieszczenia kątowe podudzia dla analizowanej sekwencji ruchu

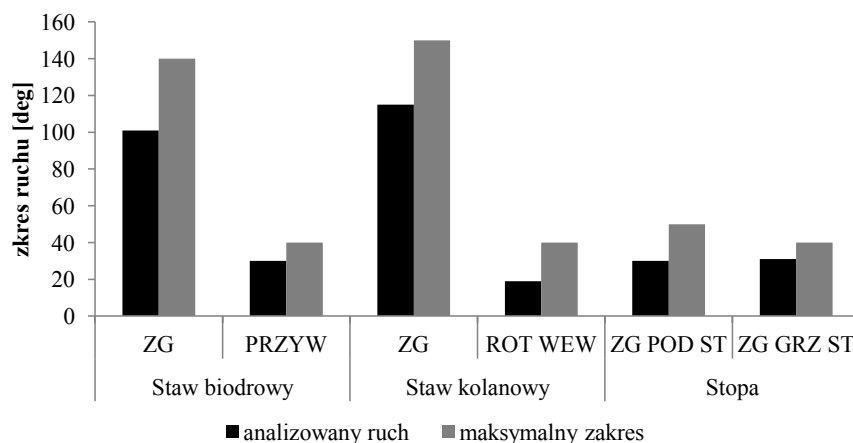


Rys. 8. Przemieszczenia kątowe stopy dla analizowanej sekwencji ruchu



Rys. 9. Przemieszczenia kątowe uda dla analizowanej sekwencji ruchu

W analizowanej sekwencji ruchów dominują ruchy zginania i prostowania w stawie kolanowym oraz biodrowym oraz ruchy zginania podeszwowego i grzbietowego stopy. Ruchom tym dodatkowo towarzyszą rotacje uda, podudzia i stopy oraz ruch przywodzenia i odwodzenia uda. W pozycji początkowej kończyna jest w kilkunastostopniowym zgięciu w stawie biodrowym oraz stawie kolanowym, stopa znajduje się w 30° zgięciu podeszwowym. Cała sekwencja ruchów rozpoczyna się od ruchu w stawie skokowym – przejście z ze zgięcia podeszwowego do zgięcia grzbietowego. W dalszej kolejności wykonywane są ruchy zgięcia w stawie kolanowym połączoną z rotacją wewnętrzną podudzia oraz zgięcia w stawie biodrowym połączonym z niewielką rotacją uda i przywodzeniem uda. Taka struktura ruchu jest cechą charakterystyczną metody PNF, w której ruch rozpoczyna się od stawów położonych dystalnie oraz akcentowane są ruchy rotacyjne. Ruchom kończyny dolnej towarzyszy również ruch rotacji miednicy, co świadczy o zaangażowaniu w wykonywany ruch zarówno mięśni kończyny dolnej jak i mięśni obwódki miednicy oraz tułowia.



Rys. 10. Porównanie wartości maksymalnych kątów w analizowanym ruchu do zakresu ruchu w poszczególnych stawach.

#### 4. PODSUMOWANIE

Zastosowana w pracy metoda pozwoliła na wyznaczenie wzorcowych trajektorii złożonych, wielopłaszczyznowych ruchów terapeutycznych kończyny górnej oraz wyznaczenie ich parametrów kinematycznych. Na podstawie przeprowadzonych badań

104 R. Michnik, J. Jurkojć, Z. Rak, Z. Paszenda, W. Rycerski, M. Bachorz, A. Michnik  
kinematyki ruchów kończyny dolnej realizowanych z zgodnie z metodą PNF, sformułowano  
wytyczne, dotyczące konstrukcji projektowanego urządzenia do rehabilitacji kończyn  
dolnych.

Praca została zrealizowana w ramach projektu badawczego **Nr R13 0007 06**  
sfinansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

## LITERATURA

- [1] Kwołka A.: Rehabilitacja medyczna pod redakcją Andrzeja Kwołka, Tom II -  
Rehabilitacja Kliniczna, Wydawnictwo Medyczne Urban&Partner, Wrocław 2003
- [2] Michnik R., Jurkojć J., Rak Z., Mężyk A., Paszenda Z., Rycerski W., Janota J., Brandt J.:  
Kinematic Analysis of Complex Therapeutic Movements of the Upper Limbs, Information  
Technologies in Biomedicine, Advances in Soft Computing vol. 47, pp. 551-558, Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg 2008
- [3] Tejszerska D., Świtoński E., Gzik M.: Biomechanika narządu ruchu człowieka, Wydawnictwo  
Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, Radom, 2011
- [4] Tejszerska D., Świtoński E.: Biomechanika inżynierska. Zagadnienia wybrane. Laboratorium,  
Skrypty Uczelniane nr 2343, Gliwice 2004
- [5] Vaughan Ch. L., Davis B.L., O'Connor J.C.: Dynamics of human gait, KibohoPublisher,  
Cape Town, 1999
- [6] <http://www.rehabilitacja-mw.pl/metody-rehabilitacji/rehabilitacja-dla-doroslych/pnf.html>

## **KINEMATIC ANALYSIS OF MOVEMENT PATTERNS USING IN LOWER LIMB REHABILITATION**

Summary: Research into kinematics of therapeutic movements of lower limb  
performed according to the PNF method are presented in the paper. The  
sequences of movements, carried out by a skilled PNF physiotherapist, were  
recorded and next the kinematic analyses were conducted by means of the  
optoelectronic motion analysis system APAS.