

Piotr Baran  
Marek Wyleźoł

Institut Podstaw Konstrukcji Maszyn  
Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Politechnika Śląska

# Projekt manipulatora do wspomagania rehabilitacji stawu kolanowego po endoprotezoplastyce

## Streszczenie

Artykuł opisuje proces konstrukcyjny manipulatora rehabilitacyjnego do wspomagania rehabilitacji stawu kolanowego po endoprotezoplastyce. Przedstawiono tu założenia konstrukcyjne oraz zestaw wymagań przewidzianych dla urządzenia. Zaprezentowano również wynik pracy oraz możliwości i praktyczne zastosowanie manipulatora w rehabilitacji. W artykule starano się odpowiedzieć na pytanie: *Czy możliwe jest pełne lub częściowe zastąpienie pracy fizjoterapeuty i w jaki sposób?*

**Słowa kluczowe:** rehabilitacja stawu kolanowego, modelowanie bryłowe, manipulator rehabilitacyjny, ergonomia urządzenia rehabilitacyjnego

## Design of manipulator for supporting knee rehabilitation process after endoprosthesis implantation

### Abstract

The article describes the designing process of a device support of rehabilitation applications after endoprosthesis implantation. Design intent and requirements for the device were shown. The article shows the results of work, capabilities and practical applications of the rehabilitation device. In the article authors tried to answer the question: *Is it possible to partly or even fully replace the work of physiotherapist and how?*

**Keywords:** knee rehabilitation, solid modeling, manipulator rehabilitation, rehabilitation device ergonomomy

## 1. Wprowadzenie

Układ ruchu człowieka może ulec zniszczeniu lub zwyrodnieniom w wyniku kontuzji, wypadków, starości czy chorób. Powoduje to liczne niedogodności w wykonywaniu codziennych czynności: pójście na spacer czy zwykłe wejście po schodach staje się wyzwaniem. Dzięki osiągnięciom techniczno-medycznym XXI w. istnieją możliwości powrotu do zdrowia: od rehabilitacji przeprowadzanej przez wykwalifikowanych rehabilitantów i fizjoterapeutów, po zabiegi implantacji protezy. Endoprotezoplastyka jest zabiegiem stosowanym w przypadku konieczności wymiany zniszczonych powierzchni stawu kolanowego, pozwalającym

przywrócić mu naturalne czynności. Zabieg wymaga ćwiczeń przygotowawczych, ale przede wszystkim, po jego wykonaniu, precyzyjnego i długiego procesu rehabilitacyjnego. Rehabilitacje muszą się odbywać pod okiem specjalisty, a w początkowych etapach niezbędna jest jego pomoc w wykonywaniu wszelkich ruchów. Z uwagi na charakter pracy fizjoterapeuty (lub rehabilitanta), w trakcie zajęć pomocne są wszelkie przyrządy odciążające: od układów linek podwieszających kończynę, po szyny CPM. Możliwe jest dogodniejsze przeprowadzanie tego procesu za pomocą zautomatyzowanego manipulatora rehabilitacyjnego.

Manipulator został zaprojektowany pod kątem wspomagania procesu rehabilitacyjnego po takim zabiegu. Po jego wykonaniu wymagane jest prowadzenie rehabilitacji z pomocą specjalistycznych urządzeń i fizjoterapeuty. Zestaw ćwiczeń, ograniczenia ruchowe oraz zmienny zakres ćwiczenia potrzebne do przywrócenia sprawności muszą być precyzyjnie dobrane do indywidualnych przypadków<sup>1</sup>.

## **2. Opis osiągnięcia**

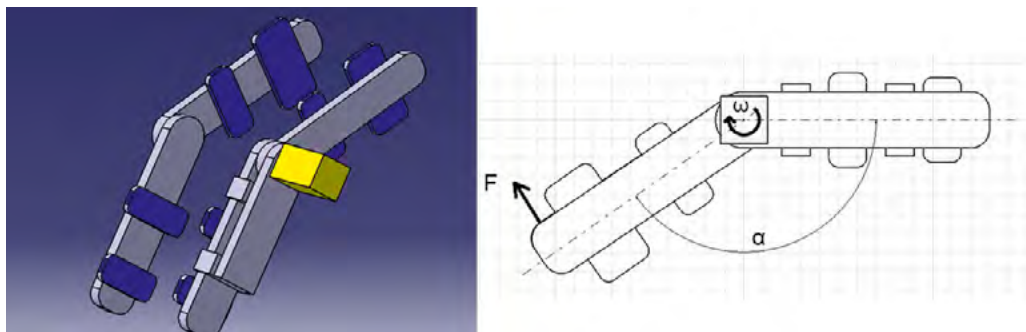
Dzięki wykorzystaniu współczesnych metod projektowania – modelowaniu CAX z użyciem systemów klasy CAX<sup>2</sup>, otrzymano model 3D urządzenia do rehabilitacji stawu kolanowego. Ma ono możliwość dopasowania do indywidualnych cech budowy kończyny pacjenta oraz w łatwy i wygodny sposób pozwala się zamontować oraz regulować na rehabilitowanej kończynie. Manipulator daje szansę zmiany zakresu ruchu i prędkości wykonywania ćwiczeń. Możliwe jest wykorzystanie urządzenia do ćwiczeń w różnych pozycjach, np. leżącej we wczesnym stadium rehabilitacji pozabiegowej czy pozycji stojącej w etapie pionizacji pacjenta<sup>3</sup>.

## **3. Opis uzyskanych wyników**

W koncepcji manipulatora (Rys. 1) założono, że zastosuje się obręcz na udo i łydkę pacjenta z użyciem pasów spinających. Pasy te pozwalają na regulację pod względem szerokości uda i łydki rehabilitowanego. Z uwagi na przyjęcie założenia co do ograniczania docelowej grupy osób podlegającej rehabilitacji urządzenie nie zostało wyposażone w elementy stabilizujące stopę podczas ćwiczeń (dlatego ramię manipulatora w zakresie podudzia kończy się jeszcze przed stawem skokowym).

Zgięcie w stawie kolanowym, regulacja siły oraz kąta zgięcia realizowane są za pomocą silnika krokowego z redukcijną przekładnią kątową.

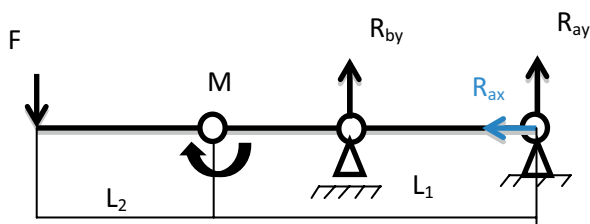
Najistotniejszym faktem związanym z poprawnym wykonywaniem ćwiczeń stawu kolanowego z pomocą przyrządów jest zgodność osi obrotu ramienia manipulatora z osią obrotu stawu kolanowego. Daje to możliwość wykonywania ćwiczeń w pozycji siedzącej, leżącej, a przy niskiej masie własnej urządzenia – również w pozycji stojącej<sup>4</sup>.



**Rys. 1. Koncepcja manipulatora do rehabilitacji stawu kolanowego**

Źródło: P. Baran, *Projekt koncepcyjny manipulatora rehabilitacyjnego dla osób po endoprotezoplastyce stawu kolanowego*, praca przejściowa, Gliwice, 2015

Dobór napędu wykonano w taki sposób, aby przy wymaganym momencie obrotowym uzyskać jak najmniejszą masę układu napędowego. Na Rys. 2. przedstawiono uproszczony model fenomenologiczny manipulatora.



**Rys. 2. Model fenomenologiczny manipulatora**

Źródło: P. Baran, *Konstrukcja manipulatora rehabilitacyjnego dla osób po endoprotezoplastyce stawu kolanowego*, praca magisterska, Gliwice, 2015

gdzie w stanie równowagi:

$$F \cdot l_2 = M$$

$F$  – siła pochodząca od dźwiganej masy [N]

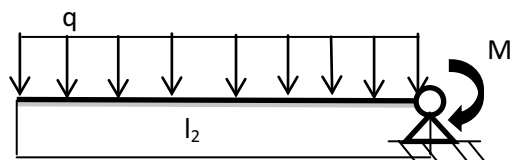
$M$  – moment generowany przez układ napędzający manipulatora [N\*m]

$R_{ax}$ ,  $R_{ay}$ ,  $R_{by}$  – siły reakcji w miejscach mocowań manipulatora [N]

$L_1$  – długość ramienia części udowej manipulatora [m]

$L_2$  – długość ramienia części podudzia manipulatora [m]

W celu doboru momentu napędu dla manipulatora przyjęto masę oraz długość podudzia dla modelu 50c mężczyzny<sup>5</sup>. Uproszczony schemat obciążenia ramienia (część podudzia) manipulatora przedstawiono na Rys. 3.



**Rys. 3. Schemat obciążenia ramienia części podudzia manipulatora**

Źródło: P. Baran, *Konstrukcja manipulatora rehabilitacyjnego dla osób po endoprotezoplastyce stawu kolanowego*, praca magisterska, Gliwice, 2015

gdzie:

$q$  – obciążenie ciągle wynikające z ciężaru podudzia pacjenta oraz masy ramienia urządzenia

$$q = \frac{(m_1 + m_2) * g}{l_2}$$

$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$  – przyspieszenie ziemskie

$m_2 = 0,6 \text{ [kg]}$  – masa ramienia podudzia manipulatora

Dla modelu mężczyzny odpowiadającemu 50c populacji:

$m_1 = 7 \text{ [kg]}$

$l_2 = 0,236 \text{ [m]}$  – długość ramienia podudzia manipulatora

$l_3 = 0,49 \text{ [m]}$  – długość podudzia

$M_w$  – minimalny moment potrzebny do wykonywania ruchu przez manipulator

$$M_w = \frac{(m_1 + m_2) * g}{l_3} * \frac{l_3}{2} * \frac{l_3}{2} = 9,144 \text{ [N * m]}$$

W celu spełnienia wymagań dla napędu wykorzystano układ złożony z silnika krokowego (Rys. 4) oraz redukcyjnej przekładni kątovej (Rys. 5). Układ przedstawiono na Rys. 6.

Parametry silnika:

- krok  $0,9^\circ$ ,
- generowany moment  $1,6 \text{ [Nm]}$ ,
- waga  $0,7 \text{ [kg]}$ ,
- napięcie  $2,5 \text{ [V]}$ ,
- natężenie  $2,8 \text{ [A]}$ ,
- rezystancja fazy  $0,9 \text{ [\Omega]}$ ,
- indukcyjność  $3,3 \text{ [mH]}$ ,
- bezwładność rotora  $260 \text{ [gcm}^2\text{]}$ .



**Rys. 4. Silnik krokowy serii 57GYGHM**

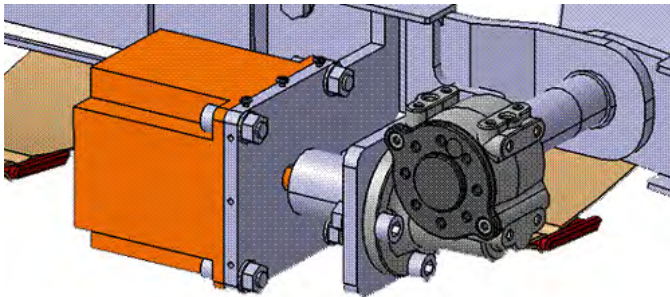
Źródło: [http://www.silniki.pl/download/57byghm\\_032011.pdf](http://www.silniki.pl/download/57byghm_032011.pdf), [dostęp z dnia: 11.11.2015]



**Rys. 5. Przekładnia kątowna**

Źródło: <http://www.wobit.com.pl/produkt/6872/sg45/sg45-i-10-1>, [dostęp z dnia: 11.11.2015]

Zastosowano przekładnię kątowną SG45 o przełożeniu 10:1 i masie 0,2 kg. Wykonano modele wirtualne napędu (Rys. 6).



**Rys. 6. Układ napędowy urządzenia**

Źródło: P. Baran, *Konstrukcja manipulatora rehabilitacyjnego dla osób po endoprotezoplastyce stawu kolanowego*, praca magisterska, Gliwice, 2015

Moment wyjściowy układu napędowego:

$$M = M_s * p * s = 11,04 \text{ Nm}$$

gdzie:

$M_s = 1,6$  [Nm] – moment generowany przez silnik

$p = 10$  – przełożenie przekładni

$s = 0,69$  – sprawność przekładni

Masa układu napędowego wynosi:

$$m = m_s + m_p + m_{sp} = 1,1 \text{ [kg]}$$

gdzie:

$m_s$  – masa silnika

$m_p$  – masa przekładni

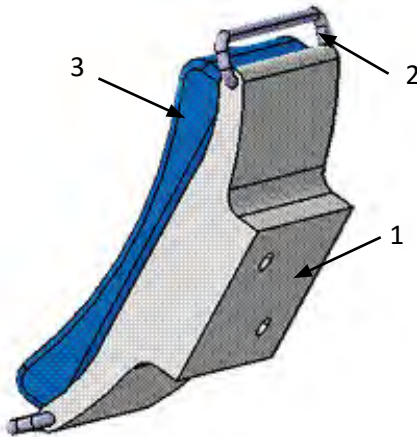
$m_{sp}$  – masa sprzęgła

Najważniejszymi zadaniami układu nośnego manipulatora są:

- utrzymanie urządzenia na nodze pacjenta tak, aby w trakcie ćwiczenia stawu kolanowego oś zgięcia kolana i oś zgięcia ramion manipulatora pokrywały się,
- utrzymanie odpowiedniej pozycji, tzn. aby podczas ćwiczeń urządzenie nie obracało się i nie skręcało na nodze pacjenta,
- utrzymanie elementów składowych manipulatora.

Dodatkowo układ nośny powinien mieć jak najmniejszą masę własną przy spełnieniu powyższych założeń. Powinien też mieć możliwość regulacji i dostosowywania do indywidualnej fizjonomii osoby rehabilitowanej. Budowa szkieletu manipulatora została oparta na stalowych kształtownikach o przekroju ceowym z uwagi na odpowiednią wytrzymałość na skręcanie i zginanie przy stosunkowo niskiej masie<sup>6</sup>.

Mocowanie urządzenia na nodze pacjenta wykonuje się przy pomocy obejm wraz z pasami, jak na Rys. 7.



**Rys. 7. Mocowanie manipulatora. 1 – podstawa, 2 – haczyk, 3 – gąbka**

Źródło: P. Baran, *Konstrukcja manipulatora rehabilitacyjnego dla osób po endoprotezoplastyce stawu kolanowego*, praca magisterska, Gliwice, 2015

Zadaniem wykonanej z polimeru podstawy jest przymocowanie gąbki oraz pasów do szkieletu urządzenia. Kształt oraz własności materiału mają na celu zmienianie się pod wpływem napięcia pasów w celu lepszego dopasowania i utrzymania nogi pacjenta<sup>7</sup>.

Haczyki przytwierdzają pasy do szkieletu manipulatora, a zadaniem gąbki jest dopasowanie się do kształtu nogi oraz wygodne dla pacjenta umocowanie kończyny w urządzeniu. Opaska, złożona z dwóch pasków o szerokości 50 mm i klamry, ma sztywno umocować urządzenie na nodze pacjenta<sup>8</sup>.

W celu minimalizacji uciążliwości „wzynania” się pasów w nogę pacjenta należy zastosować szerokie pasy z odpowiedniego materiału. Dzięki temu mocowanie będzie stosunkowo wygodne dla pacjenta i szybkie w montażu dla fizjoterapeuty. Za pomocą pasów reguluje się również szerokość urządzenia, aby jak najlepiej odpowiadała indywidualnej budowie pacjenta<sup>9</sup>.



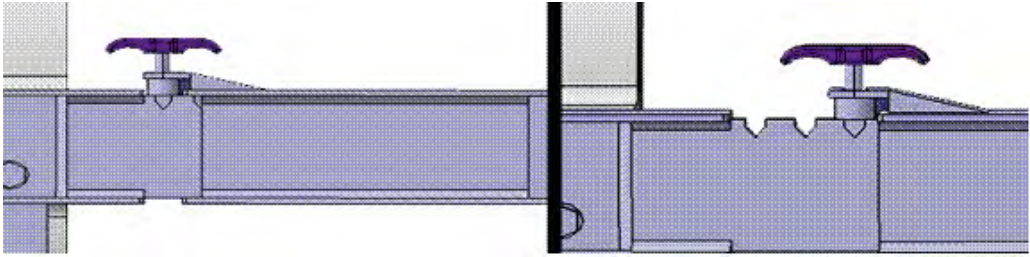
### **Rys. 8. Pas mocujący manipulatora**

Źródło: P. Baran, *Konstrukcja manipulatora rehabilitacyjnego dla osób po endoprotezoplastyce stawu kolanowego*, praca magisterska, Gliwice, 2015

Aby umożliwić dopasowanie do różnych długości kończyn, zastosowano regulację (Rys. 9, Rys. 10). Regulacja długości ramion jest konieczna, ponieważ urządzenie docelowo powinno być uniwersalne, a długości kończyn: czy to części udowej nogi, czy podudzia u każdego człowieka są różne<sup>10</sup>.

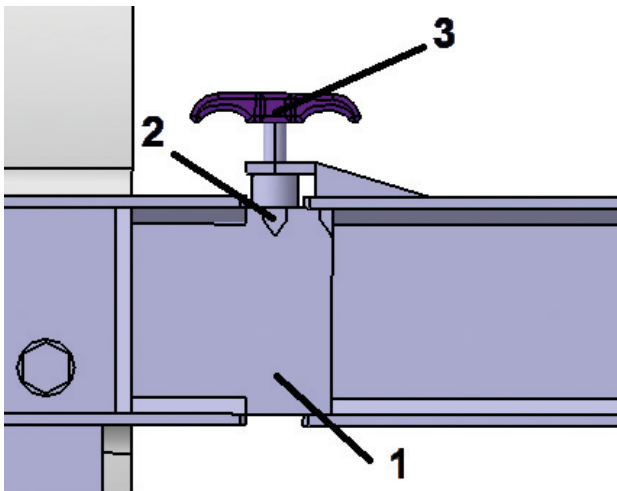
Regulacja realizowana jest za pomocą prostego układu (Rys. 10) umożliwiającego szybkie dopasowanie długości ramion do długości nogi pacjenta. W ramionach znajduje się ruchoma listwa (1), która jest blokowana kształtowo przez klin (2) dociskany przez sprężynę. W celu zmiany długości wysunięcia listwy odciąga się klin za pomocą dźwigni (3).





**Rys. 9. Regulacja długości ramion manipulatora**

Źródło: P. Baran, *Konstrukcja manipulatora rehabilitacyjnego dla osób po endoprotezoplastyce stawu kolanowego*, praca magisterska, Gliwice, 2015



**Rys. 10. Układ regulacji długości ramion**

Źródło: P. Baran, *Konstrukcja manipulatora rehabilitacyjnego dla osób po endoprotezoplastyce stawu kolanowego*, praca magisterska, Gliwice, 2015

W przypadku osób nie mogących wykonywać ćwiczeń rehabilitacyjnych na siedząco lub stojąco, istnieje możliwość ćwiczenia w pozycji leżącej z pomocą podstawki montowanej do manipulatora (Rys. 11)<sup>11</sup>.

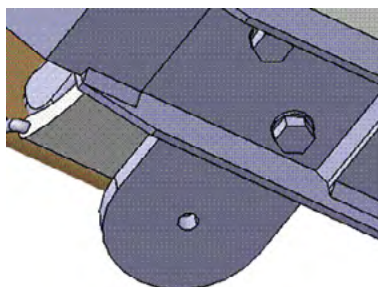
Kąt ułożenia podstawki można regulować za pomocą dokręcanych pokręteł znajdujących się na połączeniu ramion podstawki z podstawą. Ramiona do manipulatora mocuje się za pomocą dokręcanych pokrętła i ucha (Rys. 12), znajdującego się w ramieniu części udowej urządzenia<sup>12</sup>.





**Rys. 11. Podstawka manipulatora do ćwiczeń w pozycji leżącej**

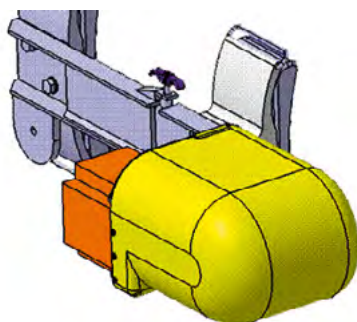
Źródło: P. Baran, *Konstrukcja manipulatora rehabilitacyjnego dla osób po endoprotezoplastyce stawu kolanowego*, praca magisterska, Gliwice, 2015



**Rys. 12. Ucho mocujące urządzenie do podstawki**

Źródło: P. Baran, *Konstrukcja manipulatora rehabilitacyjnego dla osób po endoprotezoplastyce stawu kolanowego*, praca magisterska, Gliwice, 2015

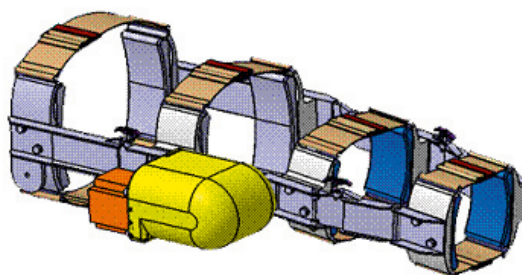
W celu bezpiecznego użytkowania manipulatora i ograniczenia dostępu do napędu osób korzystających z urządzenia, zastosowano dwuelementową polimerową obudowę (Rys. 13).



**Rys. 13. Obudowa układu napędowego**

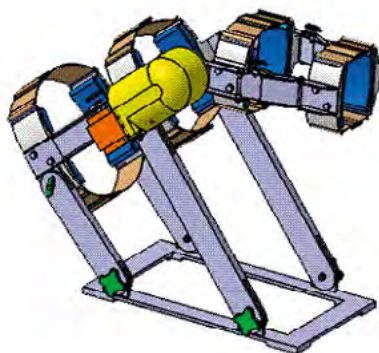
Źródło: P. Baran, *Konstrukcja manipulatora rehabilitacyjnego dla osób po endoprotezoplastyce stawu kolanowego*, praca magisterska, Gliwice, 2015

Model urządzenia do rehabilitacji stawu kolanowego (Rys. 14, Rys. 15) wykonano za pomocą oprogramowania CATIA v5.



**Rys. 14. Model manipulatora do rehabilitacji stawu kolanowego**

Źródło: P. Baran, *Konstrukcja manipulatora rehabilitacyjnego dla osób po endoprotezoplastyce stawu kolanowego*, praca magisterska, Gliwice, 2015



**Rys. 15. Manipulator wraz z podstawką do ćwiczeń w pozycji leżącej**

Źródło: P. Baran, *Konstrukcja manipulatora rehabilitacyjnego dla osób po endoprotezoplastyce stawu kolanowego*, praca magisterska, Gliwice, 2015

### 3.1. Zastosowanie urządzenia w rehabilitacji

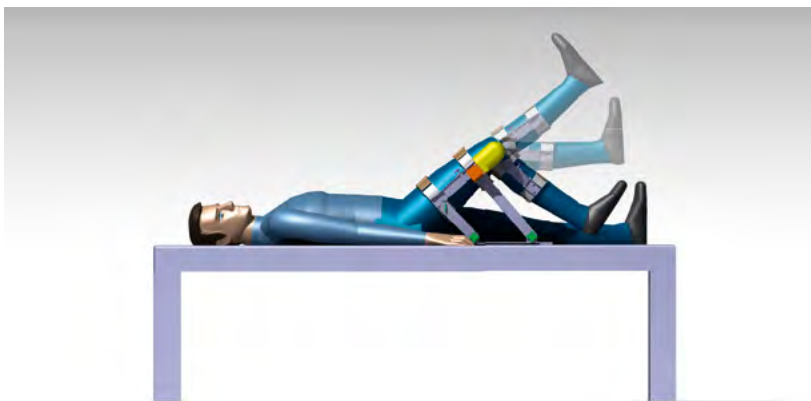
Urządzenie daje możliwość wykonywania ćwiczeń rehabilitacyjnych w zakresie kątowym ustalonym w przedziale  $0^{\circ}$ – $110^{\circ}$ , z regulacją prędkości cyklu zginania w trzech pozycjach – leżącej, siedzącej oraz stojącej. Manipulator, dzięki zastosowanym regulacjom oraz sposobowi montażu, ma umożliwić szybkie i sprawne dostosowywanie do budowy ciała pacjenta.

W przypadku, gdy ćwiczenia w pozycji siedzącej lub stojącej są uciążliwe dla pacjenta, możliwe jest wykonywanie ćwiczeń na leżąco, np. na kozetce, wykorzystując manipulator z przyłączoną podstawką (Rys. 16, Rys. 17). Podstawka ma za zadanie odpowiednio podparć ramię manipulatora tak, aby odciążyc nogę pacjenta oraz zachować poprawną pozycję kończyny w trakcie ćwiczeń<sup>13</sup>.



**Rys. 16. Ćwiczenie w pozycji leżącej**

Źródło: P. Baran, *Konstrukcja manipulatora rehabilitacyjnego dla osób po endoprotezoplastyce stawu kolanowego*, praca magisterska, Gliwice, 2015



**Rys. 17. Ćwiczenie w pozycji leżącej**

Źródło: P. Baran, *Konstrukcja manipulatora rehabilitacyjnego dla osób po endoprotezoplastyce stawu kolanowego*, praca magisterska, Gliwice, 2015

Gdy pacjent ma możliwość wykonywać ćwiczenia w pozycji siedzącej (Rys. 18), np. na krześle, kozetce – masa urządzenia spoczywa na jego udzie, ale nie stanowi to znaczącej niedogodności<sup>14</sup>.



**Rys. 18. Ćwiczenie w pozycji siedzącej**

Źródło: P. Baran, *Konstrukcja manipulatora rehabilitacyjnego dla osób po endoprotezoplastyce stawu kolanowego*, praca magisterska, Gliwice, 2015



**Rys. 19. Ćwiczenie w pozycji stojącej wspomagane balkonikiem**

Źródło: P. Baran, *Konstrukcja manipulatora rehabilitacyjnego dla osób po endoprotezoplastyce stawu kolanowego*, praca magisterska, Gliwice, 2015

W ćwiczeniach z pionizacją pacjenta (Rys. 19), osoba rehabilitowana może wykorzystywać balkonik, łokciowe kule inwalidzkie, pomoc fizjoterapeuty. Manipulator, podobnie jak w przypadku ćwiczeń w pozycji siedzącej, spoczywa na nodze pacjenta, a poprawne zamocowanie urządzenia przez fizjoterapeutę jest istotne ze względu na konieczność zachowania osi zgięcia (mocowanie nie może być luźne, musi być dobrze dopasowane, aby manipulator nie zsuwał się z nogi osoby rehabilitowanej w trakcie ćwiczeń<sup>15</sup>).

#### 4. Podsumowanie

Choroby, kontuzje lub wiek są powodami ograniczeń i dysfunkcji układu ruchu człowieka, w tym bardzo często stawu kolanowego. Związane z tym uciążliwości mogą ograniczać życie codzienne, utrudniać podstawowe czynności. XXI w., przy obecnym zaawansowaniu i dostępności opieki medycznej, daje możliwość poprawy stanu zniszczonego stawu kolanowego oraz bardzo często całkowitego powrotu do zdrowia. Wielu ludzi może powrócić do sprawności, pomimo zaawansowanych zniszczeń i zwyrodnień stawu kolanowego, dzięki szerokiej gamie zabiegów: od rehabilitacji przez rekonstrukcję stawu, np. przez zabiegi endoprotezoplastyki,

które są powszechnie wykonywane. Rehabilitacja jest nieodłącznym elementem procesu przywracania możliwości ruchowych i jej właściwy przebieg znacząco wpływa na szybki powrót do zdrowia oraz swego rodzaju jakość odzyskiwania stanu potrzebnego do wykonywania codziennych czynności, takich jak chodzenie po powierzchniach poziomych czy po schodach<sup>16</sup>.

Rehabilitację wykonuje się często, a urządzenia takie jak np. szyna CPM<sup>17</sup> pomagają w pracy fizjoterapeutów na całym świecie. Z pomocą konsultacji fizjoterapeuty i chirurga ortopedy, którzy na co dzień mają doświadczenie z procesem rehabilitacji i zabiegami, powstała przedstawiona w niniejszej pracy konstrukcja urządzenia do rehabilitacji stawu kolanowego, częściowo oparta na sposobie działania nowoczesnych ortez stawu kolanowego, których celem jest dokładne i sztywne utrzymanie osi zgięcia stawu kolanowego oraz utrzymanie stawu w odpowiedniej pozycji przy wykonywaniu ruchu<sup>18</sup>.

Kluczowymi punktami zaprezentowanego projektu były: minimalizacja masy urządzenia (ważna podczas np. ćwiczeń w pozycji stojącej), stosowna regulacja działania manipulatora (zakres kąta, prędkość zmiany, długości obu ramion) przy bezwzględnym zachowaniu osi zgięcia manipulatora i osi zgięcia stawu. Przy zaproponowanym układzie napędowym osiągnięto względnie niską masę (masa napędu to zaledwie 1,1 kg) oraz dobry stopień regulacji (krok regulacji kątowej poniżej 1°). Dodatkowo, z racji zastosowania powszechnie dostępnych elementów i technologii wykonania, koszt wykonania urządzenia powinien być stosunkowo niski. Ostatecznie masa urządzenia wraz z podstawką to 2,5 kg, co jest znaczącym udogodnieniem w pracy fizjoterapeuty oraz wykonywaniu ćwiczeń w pozycji siedzącej czy stojącej<sup>19</sup>.

Na wstępie artykułu autorzy postawili pytanie: *Czy możliwe jest pełne lub częściowe zastąpienie pracy fizjoterapeuty i w jaki sposób?* Całkowita odpowiedź na to pytanie możliwa jest dopiero po wykonaniu serii badań klinicznych z użyciem fizycznego prototypu. W artykule zamieszczone wyniki działań w świecie wirtualnym, łącząc modele urządzenia oraz człowieka. Wyniki wykonanych badań wskazują na techniczną możliwość zbudowania takiego urządzenia oraz jego użycia do wykonywania ćwiczeń rehabilitacyjnych.

Natomiast sposób i zakres wykonywania określonych ćwiczeń z użyciem manipulatora powinien zostać ściśle określony przez fizjoterapeutę. Zatem urządzenie to raczej nie zastąpi roli człowieka w pełni, ale powinno go odciążyć w pewnym zakresie procesu rehabilitacyjnego, szczególnie podczas realizacji ściśle ustalonych ćwiczeń fizycznych.

## Literatura

Baran P., *Konstrukcja manipulatora rehabilitacyjnego dla osób po endoprotezoplastyce stawu kolanowego*, praca magisterska, Gliwice, 2015

Baran P., *Projekt koncepcyjny manipulatora rehabilitacyjnego dla osób po endoprotezoplastyce stawu kolanowego*, praca przejściowa, Gliwice, 2015

Gedliczka A., *Atlas miar człowieka – dane do projektowania i oceny ergonomicznej*, Warszawa, Centralny Instytut Ochrony Pracy, 2001

Wyleżoł M., *Modelowanie bryłowe w systemie CATIA: przykłady i ćwiczenia*, Gliwice, Helion, 2002

[http://www.fizjoklinika.com/rehabilitacja\\_po\\_endoprotezoplastyce\\_stawu\\_kolanowego.html](http://www.fizjoklinika.com/rehabilitacja_po_endoprotezoplastyce_stawu_kolanowego.html), [dostęp z dnia: 11.11.2015]

<http://www.klinika.net.pl>, [dostęp z dnia: 11.11.2015]

[http://www.silniki.pl/download/57byghm\\_032011.pdf](http://www.silniki.pl/download/57byghm_032011.pdf), [dostęp z dnia: 11.11.2015]

<http://www.wobit.com.pl/produkt/6872/sg45/sg45-i-10-1>, [dostęp z dnia: 11.11.2015]

### Przypisy

- 1 [http://www.fizjoklinika.com/rehabilitacja\\_po\\_endoprotezoplastyce\\_stawu\\_kolanowego.html](http://www.fizjoklinika.com/rehabilitacja_po_endoprotezoplastyce_stawu_kolanowego.html), [dostęp z dnia: 11.11.2015]
- 2 M. Wyleżoł, *Modelowanie bryłowe w systemie CATIA: przykłady i ćwiczenia*, Gliwice, Helion, 2002
- 3 P. Baran, *Konstrukcja manipulatora rehabilitacyjnego dla osób po endoprotezoplastyce stawu kolanowego*, praca magisterska, Gliwice, 2015
- 4 Tamże
- 5 A. Gedliczka, *Atlas miar człowieka – dane do projektowania i oceny ergonomicznej*, Warszawa, Centralny Instytut Ochrony Pracy, 2001, s. 11–21
- 6 P. Baran, *Konstrukcja manipulatora rehabilitacyjnego...*, dz. cyt.
- 7 Tamże
- 8 Tamże
- 9 Tamże
- 10 A. Gedliczka, *Atlas miar człowieka...*, dz. cyt., s. 11–21
- 11 P. Baran, *Konstrukcja manipulatora rehabilitacyjnego...*, dz. cyt.
- 12 Tamże
- 13 Tamże
- 14 Tamże
- 15 Tamże
- 16 [http://www.fizjoklinika.com/rehabilitacja\\_po\\_endoprotezoplastyce\\_stawu\\_kolanowego.html](http://www.fizjoklinika.com/rehabilitacja_po_endoprotezoplastyce_stawu_kolanowego.html), [dostęp z dnia: 11.11.2015]
- 17 <http://www.klinika.net.pl>, [dostęp z dnia: 11.11.2015]
- 18 P. Baran, *Konstrukcja manipulatora rehabilitacyjnego...*, dz. cyt.
- 19 Tamże