

# Bioorteza robotyczna jako skuteczne urządzenie diagnostyczne i wspomagające rehabilitację

Artykuł recenzowany

PRACA ZGŁOSZONA DO KONKURSU

MACIEJ WYSOCKI<sup>1,2</sup>,  
ROBERT  
STACHURSKI<sup>1</sup>,  
SZYMON  
DZWOŃCZYK<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> ExoLimbs – Mechatronic  
Solutions for Movement,  
<sup>2</sup> Politechnika Wroclawska,  
<sup>3</sup> Kell Ideas

*Słowa kluczowe:*  
orteza, urządzenia do rehabilitacji,  
rehabilitacja stawu kolanowego

*Key words:*  
orthosis, medical devices  
for rehabilitation,  
knee rehabilitation system

## Streszczenie

*ExoLimbs umożliwia optymalizację i zintensyfikowanie procesu usprawniania, skrócenie rekonwalescencji i zmniejszenie niepełnosprawności oraz zmniejszenie kosztów leczenia. Bioorteza kończyny dolnej wykorzystuje aktualne możliwości monitorowania i mechanicznego wspomagania pracy stawów z jednoczesną elektrodiagnostyką i stymulacją pracy mięśni. Jest to urządzenie o bardzo szerokim zastosowaniu w traumatologii, neurologii a przede wszystkim w fizjoterapii i rehabilitacji. Zapewnia pełne bezpieczeństwo terapii przy stałym kontakcie online z fizjoterapeutą. Jest urządzeniem stabilizującym, diagnostycznym oraz mobilnym robotem rehabilitacyjnym, szeroko dostępnym umożliwiającym dostęp do nowoczesnej rehabilitacji kolan. Dodatkowo umożliwia zdalne śledzenie parametrów terapii na ekranie komputera lub urządzenia mobilnego.*

## Abstract

*ExoLimbs makes it possible to optimize and intensify the recovery process, shorten convalescence and reduce disability, as well as the cost of treatment. Bioorthosis of the lower limb utilizes the current monitoring capabilities and mechanical support of joint operation with simultaneous electrodiagnostics and stimulation of muscle work. It is a device with a very broad application in traumatology, neurology and above all in physiotherapy and rehabilitation. It provides complete safety of the therapy with regular online contact with a physiotherapist. It is a stabilizing, diagnostic and mobile rehabilitation robot widely accessible for modern knee rehabilitation. Additionally, it enables remote tracking of therapy parameters on the computer screen or mobile device.*

## ■ BIOORTEZA EXOLIMBS

Powikłania neurologiczne uszkodzeń zarówno obwodowego jak i ośrodkowego układu nerwowego niosą ze sobą dysfunkcje ruchowe i szeroko rozumiane zaburzenia troficzno-sensoryczne. Leczenie i neurorehabilitacja tych osób jest prowadzona w okresie hospitalizacji, a następnie kontynuowana ambulatoryjnie lub/i w warunkach domowych. Podobnie urazy i przeciążenia ortopedyczne wymagają wczesnego rozpoczęcia usprawniania i pełnej kontroli procesu wdrażanych zaleceń. Proces rehabilitacji wymaga, zatem zaangażowania wielu specjalistów, którzy zapewnią bezpieczeństwo i kompleksowość leczenia.

ExoLimbs umożliwia optymalizację i zintensyfikowanie procesu usprawniania, co przekłada się na skrócenie rekonwalescencji i zmniejszenie niepełnosprawności, a efektywne wykorzystanie pracy terapeuty prowadzącego znacznie ogranicza koszty leczenia.

Bioorteza kończyny dolnej wykorzystuje aktualne możliwości monitorowania i mechanicznego wspomaganie pracy stawów z jednoczesną elektrodiagnostyką i stymulacją pracy mięśni. Jest to urządzenie o bardzo szerokim zastosowaniu w traumatologii, neurologii, a przede wszystkim w fizjoterapii i rehabilitacji.

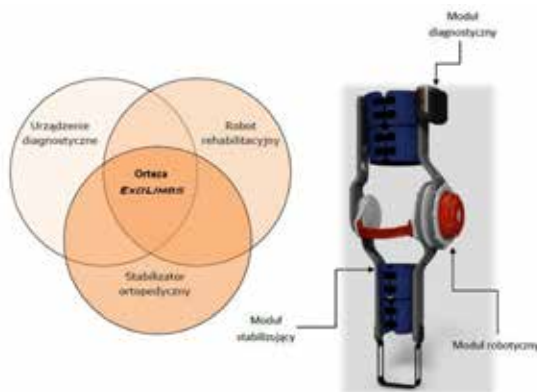
Wyposażenie i oprogramowanie zapewnia pełne bezpieczeństwo terapii przy stałym kontakcie online z fizjoterapeutą.

Rehabilitacja stawu kolanowego wśród pacjentów po urazach, zwyrodnieniach bądź z ubytkami neurologicznymi jest procesem trwającym od 4 do 12 miesięcy. Plan rehabilitacji jest układany indywidualnie oraz modyfikowany na podstawie postępów terapii.

Podczas rehabilitacji wykorzystywany jest szereg urządzeń medycznych. Pacjent wykorzystuje ortezę mechaniczną do stabilizacji kończyny podczas chodu. Postęp terapii jest subiektywnie oceniany przez terapeutę lub wykorzystywane są stacje pomiarowe EMG. W czasie sesji rehabilitacyjnych wykorzystywane są szyny CPM lub nowocześniejsze roboty. Tworzona przez nas orteza to kompletne rozwiązanie, które zastępuje najważniejsze funkcje głównych urządzeń wykorzystywanych w rehabilitacji kolan. Jest urządzeniem stabilizującym, diagnostycznym oraz mobilnym robotem rehabilitacyjnym, szeroko dostępnym umożliwiającym dostęp do nowoczesnej rehabilitacji każdemu. Dodatkowo umożliwia zdalne śledzenie parametrów terapii na ekranie komputera lub urządzenia mobilnego.

## ■ BIOORTEZA – FUNKcjONALNOŚĆ

Orteza ExoLimbs jest produktem dedykowanym dla stawu kolanowego. Zawiera funkcjonalność trzech rodzajów sprzętów medycznych:



1. Stabilizatora ortopedycznego;
2. Urządzenia diagnostycznego;
3. Robota rehabilitacyjnego.

### Aktywna orteza stawu kolanowego składa się z:

- podstawy mechanicznej – szyn jednoosiowych o ergonomicznym kształcie z tworzywa sztucznego z rdzeniem z włókna węglowego,
- komponentów materiałowych – tkaniny okładowej z zaciskami samoczepnymi mocującymi ortezę do kończyny,
- układu napędowego – silnika bezszczotkowego prądu stałego wraz z przekładnią paroplanetarną,
- układu sensorów – czujnika tensometrycznego, akcelerometru, enkodera oraz czujnika zbliżeniowego (zlokalizowane w przegubie ortozy),
- elektrod – odczytujących sygnały EMG (elektromiografia) mięśnia prostego oraz trójgłowego uda, umożliwiających odczyt intencji ruchu,
- mikroprocesorowego układu sterowania – analizującego sygnały, posiadającego aparat matematyczny wykorzystujący pętlę sprzężenia zwrotnego do generowania sygnału wymuszającego ruch napędu,
- modułu bezpieczeństwa – umożliwiającego kontrolę nad aktywnymi funkcjami ortozy i reakcję w przypadku wystąpienia błędów,
- układu zasilania – akumulatora Li-Ion,
- interface'u użytkownika – pozwalającego na komunikację z komputerem, umożliwiającego akwizycję danych biomedycznych, interpretację oraz ustawienie planu wspomaganie ruchu.

### Bioorteza – główna funkcjonalność:

- usztywnienie stawu kolanowego,
- odciążenie stawu kolanowego,
- akwizycja biosygnalów,
- zdalne ustalanie przebiegu terapii,
- wspomaganie ruchu.

Dzięki synergii trzech gałęzi inżynierii rehabilitacyjnej możliwe jest przeprowadzenie kompleksowych działań i zwiększenie efektywności terapii przy zachowaniu niższej ceny w stosunku do wykorzystania osobnych urządzeń.



**Funkcje ortyzy ExoLimbs jako:**

1. Stabilizatora ortopedycznego:
  - stabilizacja i pionizacja pacjenta,
  - zapobieganie dyslokacji stawu kolanowego,
  - kontrola zakresu ruchu stawu kolanowego,
  - odciążenie stawu kolanowego,
  - zwiększenie sztywności kończyny podczas ruchu.
2. Urządzenia diagnostycznego:
  - odczyt parametrów ruchu za pomocą czujników,
  - odczyt sygnałów neurologicznych w zakresie kończyny,
  - przetworzenie sygnałów,
  - możliwość wizualizacji i interpretacji danych poprzez urządzenie elektroniczne.
3. Robota rehabilitacyjnego:
  - wymuszenie ruchu biernego,
  - wspomaganie ruchu czynnego,
  - edukacja wzorca chodu,
  - zwiększenie mobilności pacjenta,
  - zdalne ustawienie parametrów terapii.

**Przynosi to korzyści dla:**

1. Pacjenta:
  - zabezpieczenie niepełnosprawnej kończyny przed uszkodzeniem,
  - dokładna ocena parametrów lokomocji umożliwiająca spersonalizowanie terapii,
  - poprawa mobilności,
  - stałe wspomaganie ćwiczeń przez jednostkę sterującą, uniemożliwiające niewłaściwe wykonywanie zaleconych ćwiczeń.
2. Rehabilitanta:
  - zdalne śledzenie postępów terapii na ekranie monitora,
  - zdalna zmiana parametrów rehabilitacyjnych (zakres ruchu, siła wspomaganie ruchu, siła pobudzenia mięśni),
  - monitorowanie przebiegu terapii poprzez komunikację bezprzewodową, co pozwala na jednoczesne prowadzenie rehabilitacji wielu pacjentów.

**GRUPA DOCELOWA**

Produkt jest adresowany do centrów rehabilitacyjnych oraz osób po urazach lub zwyrodnieniach

**Dolegliwości stawów kolanowych**

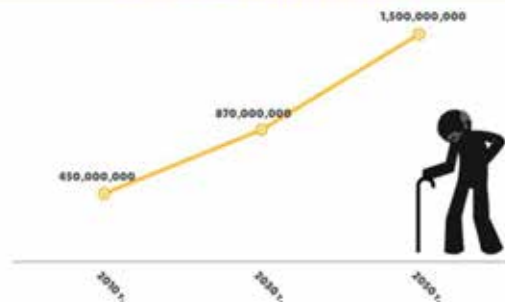


**Osoby z niedowładem kończyn**



10,000,000

**Starzenie społeczeństwa**



stawu, w rehabilitacji pooperacyjnej oraz dla ludzi z niedowładem kończyn (w wyniku udaru, polio lub innych chorób). To doskonale rozwiązanie także dla sportowców różnych dyscyplin.

**Pacjenci podlegający rehabilitacji z powodu:**

- zwyrodnień i urazów stawu kolanowego,
- rekonwalescencji pooperacyjnej,
- niedowładów kończyn,
- starczego upośledzenia ruchu.

Rynek związany z rehabilitacją kończyn dolnych jest przesycony tradycyjnymi sprzętami rehabilitacyjnymi. Z uwagi na specyfikę produktu, łączącego w sobie funkcjonalność wielu sprzętów medycznych, jako konkurencję pośrednią rozpatrzono urządzenia, których funkcjonalność pokrywa się częściowo z funkcjonalnością ortyzy ExoLimbs.

**PRZEWAGA KONKURENCYJNA**

- Wspomaganie procesu rehabilitacji;
- Indywidualny program terapii;
- Śledzenie postępu terapii;

- Rehabilitacja 24 godziny, 7 dni w tygodniu;
- Wspomaganie opieki domowej.

Przewagą konkurencyjną ExoLimbs, jest wielofunkcyjność produktu w porównaniu z jego ceną. Celem projektu jest stworzenie kompletnego produktu. Wykorzystując jedynie ortezę ExoLimbs będzie możliwa skuteczna rehabilitacja stawu kolanego, przebiegająca efektywniej niż w istniejących obecnie, niedofinansowanych placówkach.

## ■ WSKAZANIA MEDYCZNE

### WSKAZANIA – TRAUMATOLOGIA, REUMATOLOGIA I REHABILITACJA:

- zerwania i naderwania ścięgien, mięśni i więzadeł kończyny dolnej,
- stany po urazach i usunięciu łokotek,
- skręcenia i urazy powodujące zaburzenia zwarłości stawów,
- endoprotezoplastyka stawów kończyny dolnej wymagająca kontrolowanego zwiększania zakresu ruchu oraz ilości powtórzeń ruchu w stawie jak i stopnia obciążania kończyny,
- uruchamianie kończyny w stanach zapalnych stawów na tle zwyrodnieniowym i przeciążeniowym,
- zaburzenia koordynacji mięśniowej i między-mięśniowej.

### NEUROLOGIA I NEUROREHABILITACJA:

- niedowład kończyn dolnych na tle uszkodzeń obwodowego i ośrodkowego układu nerwowego (udary mózgu, urazy rdzenia kręgowego, uszkodzenia nerwów obwodowych),
- mózgowie porażenie dziecięce – pionizacja i reedukacja chodu (elektrostymulacja, biofeedback, nauka wzorców ruchu),
- systemowe atrofie mięśniowe, osłabienie siły mięśni, zaburzenia organizacji i kontroli ruchu,
- inne wybrane jednostki chorobowe z zaburzeniami motoryczności.

### Rynek docelowy całkowity:

Globalnie co czwarta osoba boryka się z urazami lub zwyrodnieniami stawu kolanowego. Operacje wszczępienia endoprotez stawu kolanowego przechodzi 4 miliony pacjentów rocznie. 10 milionów pacjentów cierpi na częściowy niedowład kończyn wynikający z udaru mózgu lub polio. Prognozy wskazują na zwiększenie tych grup o połowę do roku 2030.

### Rynek docelowy dostępny:

W Unii Europejskiej niepełnosprawność biologiczna trwająca ponad 6 miesięcy była przynajmniej raz w życiu rozpoznana wśród 12-35% społeczeństwa krajów członkowskich (25% w Polsce) – dane Eurostatu z 2010 r. Jest to 100 mln pacjentów leczących się w 4 mln niepublicznych placówek rehabilitacyjnych.

## ■ OPIS KONSTRUKCYJNY

Orteza podzielona jest konstrukcyjnie na trzy zespoły:

1. Szkielet usztywniający;
2. Zespół napędowy;
3. Układ montażowy.

**Szkielet usztywniający** składa się z elementów mających zapewnić odpowiednią sztywność poprzeczną kończynie rehabilitowanego. Składa się z części górnej (udowej) i dolnej, dalej – wewnętrznej i zewnętrznej (względem kończyny). Wszystkie części łączą się ze sobą w osi głównej mającej za zadanie ułożyskowanie oraz przeniesienie napędu między stronami szkieletu. Elementy usztywniające wykonane mają być z anodowanego aluminium w postaci profilowanej blachy o geometrii zapewniającej sztywność poprzeczną odpowiadającą sztywności kończyny osoby zdrowej (lub większą). Konstrukcja osi kolana, w celu jak najbliższego odwzorowania naturalnego ruchu kończyny, będzie wymuszała acentryczny ruch elementów poprzez zastosowanie mimośrodowo pracujących łożysk kulowych.

**Zespół napędowy** będzie składał się z silnika elektrycznego bezszczotkowego oraz przekładni planetarnej wielostopniowej wraz z tensometrycznymi czujnikami momentu oraz enkoderem. Parametry układu napędowego pozwolą na osiągnięcie mocy maksymalnej 100 W, momentu chwilowego do 20 Nm w najbardziej obciążającej fazie ruchu, a potem odpowiedniej szybkości chwilowej, w celu powrotu kończyny do pozycji wyprostowanej. Zastosowanie silnika bezszczotkowego pozwoli na dużą elastyczność układu napędowego, która jest wymagana przy przechodzeniu między fazami ruchu. W miarę możliwości przeprowadzona będzie optymalizacja związana z doбором parametrów dynamicznych układu oraz optymalizacja wytrzymałościowa mająca na celu zmniejszenie masy oraz rozmiarów produktu. W skład zespołu napędowego wchodzi także układ regulacji maksymalnego i minimalnego zgięcia kolana (mechaniczny oraz elektroniczny) oraz zabezpieczenie w postaci solidnego hard-stopu – nie pozwalające na przegięcie kolana w razie jakiegokolwiek awarii lub przeciążenia układu.

**Układ montażowy** tworzy bezpośrednie połączenie między kończyną rehabilitowanego a ortezą. Składa się z czterech standardowych miękkich poduszek montażowych zamocowanych do stelaża za pomocą materiałowych pasków z rzepami. Całość zaprojektowana jest tak, aby bezwzględnie nie pozwolić na przesunięcie się środka obrotu ortezy względem środka obrotu kolana. Dodatkowo moduły sterowania i zasilania ortezy będą zamontowane na pasie użytkownika, w miejscu nie wpływającym na dynamikę ruchu kończyny. Ostatnim elementem

układu montażowego będzie elastyczna wkładka montowana pod stopą pozwalająca na stabilizację ortozy oraz przeniesienie masy ortozy bezpośrednio na podszewę buta w czasie spoczynku.

#### ■ PROBLEMY BADAWCZE

Głównym problemem technologicznym związanym z budową ortozy będzie optymalizacja konstrukcji i układu sterowania tak, aby zachowując założoną funkcjonalność zmieścić się w ograniczeniach energetycznych i masowych projektu. Przewagą względem konstrukcji konkurencyjnych ma być kwestia prostoty użytkowania ortozy jako osobistego elementu rehabilitacyjnego, tzn. w odróżnieniu od urządzeń stacjonarnych ExoLimb ma pozwolić na rehabilitację w środowisku codziennym użytkownika.

Po analizie literatury związanej z tematem ergonomii i biomechaniki stawu kolanowego określiliśmy moc napędów pozwalającą na całkowite pokrycie wydatku energetycznego potrzebnego do utrzymania naturalnego chodu rehabilitowanego. Moc minimalna to 150 W przy bardzo szerokim zakresie proporcji momentu siły do prędkości wynikających z poszczególnych faz ruchu – od ok. 20 Nm przy fazie podporu masy ciała do ok. 100 obr./min. w fazie powrotu kończyny do stanu wyjściowe-

go. Taki zakres parametrów ma zostać pokryty przy użyciu najwyższej jakości silników BLDC firmy Maxon oraz odpowiednio dobranych przekładni harmonicznym. W pierwszych wersjach prototypowych układ napędowy będzie pozwalał na zakres mniejszy niż wymagany. Późniejsza faza rozwojowa produktu będzie polegała na pomiarach i symulacjach termicznych układu napędowego, które mają pozwolić na uzyskania ponadnominalnych wartości prędkości i momentu siły generowanych przez układ kosztem jego żywotności. Wszystkie te podpunkty mają zostać zabezpieczone poprzez odpowiednie rozlokowanie kluczowych funkcjonalności w każdej z wersji ortozy. Pierwsza ma powstać wersja całkowicie pasywna, pozwalająca na odczyt wartości związanych z ruchem zdrowej osoby. Te wartości mają pozwolić na jak najdokładniejsze dobranie kluczowego pod względem masowo-energetycznym elementu – układu napędowego. Druga wersja nadal zasilana przewodowo ma pozwolić na wspomaganie ruchu przy odczycie tylko z czujników przy osi kończyny. Trzecia wersja zakłada użycie układu akumulatorowego oraz odczyt także sygnałów mięśniowych, które będą przetworzone na parametry korekcyjne regulatora ruchu. Konstrukcja mechaniczna ortozy jest ograniczona parametrami masowymi związanymi bezpośrednio ze wskaźnikiem wygody użytkowania. Celem ograniczenia wpływu samej ortozy na proces chodu rehabilitowanego, jej masa powinna nie przekraczać 2 kg – ten limit wynika z konsultacji z osobami odpowiedzialnymi za rehabilitację chorych oraz z literatury specjalistycznej. Przewidywana masa układu napędowego ma wynosić 1000-1200 g, a reszta konstrukcji wsporczej ortozy ok. 1000 g. Wykonanie konstrukcji wsporczej w dużej mierze z materiałów kompozytowych oraz elementów układu przeniesienia napędu ze stopów aluminium nie powinno skutkować pogorszeniem wskaźnika wygody użytkowania. W ostatecznej wersji produktu zasilanej z akumulatorów wewnętrznych zakładamy rozmieszczenie jednego lub dwóch akumulatorów 5000 mAh 22.2V LiFePO4 w okolicach pasa rehabilitowanego, co ma skutkować przesunięciem nadmiaru masy urządzenia w miejsca nie wpływające na wygodę ruchu kończyn. Największe ryzyko związane z konstrukcją ortozy przewidujemy na etapie dopracowywania trzeciej wersji – z zasilaniem wewnętrznym, akumulatorowym. W tym czasie będziemy w stanie określić ostateczną masę całego układu, a co za tym idzie wskaźnik wygody użytkowania. Ryzyko będzie wynikać z możliwości podjęcia wszelkich decyzji konstrukcyjnych mających później znaczenie w charakterystyce produktu – cenie, długości pracy na baterii, ergonomii itp.

REKLAMA



[www.wobit.com.pl](http://www.wobit.com.pl)

**R4R**  
Reach for Robotics

[www.reach4robotics.com](http://www.reach4robotics.com)