

URZĄDZENIE WSPOMAGAJĄCE FUNKCJE CHODU TRANSFORME

EXOSKELETON ASSISTED GAIT TRAINING TRANSFORME

Jacek S. Tutak*, Przemysław Chmielewski

Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Mechaniki
Stosowanej i Robotyki, 35-959 Rzeszów, Al. Powstańców Warszawy 8

* e-mail: tutak.j@prz.edu.pl

STRESZCZENIE

Niesprawności ruchowe dotyczą coraz większej liczby osób. Do celów rehabilitacji opracowano wiele urządzeń wspomagających procesy leczenia. Sprzęt do wspomagania chodu może być podzielony na dwie grupy: manipulatory i egzoszkielety. W artykule opisano projekt urządzenia oraz wykonanego prototypu do wspomagania chodu TransforME sterowanego za pomocą sygnałów elektromiograficznych EMG.

Słowa kluczowe: mechatronika, roboty wspomagające chód, egzoszkielety

ABSTRACT

More and more people suffer from the locomotor system disabilities. Robot-assisted gait training and exoskeletons aid rehabilitation process. The project of the exoskeleton device TransforME and the prototype controlled by electromyography's signals are described.

Keywords: mechatronics, robot-assisted gait training, exoskeletons control

1. Wstęp

Niesprawności ruchowe dotyczą coraz większej liczby osób. Są one spowodowane chorobami, wypadkami lub wadami wrodzonymi. Do wspomagania procesu rehabilitacji stosuje się różne metody i urządzenia. Sprzęt do wspomagania chodu może być podzielony na dwie grupy: manipulatory i egzoszkielety.

Pierwsza grupa urządzeń, czyli manipulatory, działa w oparciu o ortezy kończyn dolnych i elektryczne bieżnie. Rozwiązania te są stacjonarne, korzystają z góry ustalonych schematów ruchu, często wykorzystują wirtualną rzeczywistość. Przykładem tego typu rozwiązania może być chociażby Lokomat [1, 2] lub asystent chodu opracowany pod kierownictwem prof. Hesse [3, 4]. Rozwiązania te umożliwiają pacjentom po udarze mózgu ćwiczenia chodu po płaskim podłożu.

Drugą grupę stanowią zewnętrzne szkielety, zwane egzoszkielekami. Przykładem tego typu rozwiązania może być Hal5 [5] lub ReWalk [6].

2. Opis projektu egzoszkieletu

Celem projektu było opracowanie urządzenia pod nazwą TransforMe, które pozwoli użytkownikom na swobodne stanie oraz chodzenie. Opracowany egzoszkielec powstał z myślą o osobach z dysfunkcjami ruchowymi kończyn dolnych, które nie utraciły możliwości sterowania urządzeniem za pomocą sygnałów EMG. Założenia projektowe, jakie powinien spełniać opracowywany egzoszkielec uwzględniały: lekką konstrukcję, zasilanie bateryjne, możliwość regulacji długości urządzenia, wykorzystanie czujników EMG do sterowania urządzeniem, mobilność, zastosowanie metod szybkiego prototypowania do wykonania wybranych elementów urządzenia i niski koszt wykonania prototypu.

Opracowane urządzenie składa się z dwóch części. Każda z nich zakłada jedną kończynę dolną i posiada jeden stopień swobody (staw kolanowy). Przegub stawu kolanowego składa się z dwóch współpracujących ze sobą elementów. Pierwszy element tego przegubu połączony jest wieloklinem z głównym kołem napędowym przekładni zębatej. Drugi element jest zarówno przegubem, jak i mocowaniem przekładni silnika. Dzięki niemu zapewniona jest stabilność osiowa przekładni. Zastosowano przekładnię łożyskowa, składającą się z 3 kół zębatach dużych i 3 kół zębatach małych. Przekładnia zębata posiada 3 stopnie redukcji o przełożeniach 1:4, następnie 1:5 i 1:5. Zastosowane zostały również bezgłośnie łożyska ślizgowe, które zapewniają cichą pracę o niskim współczynniku tarcia. Na przegubie zostały także zamontowane wyłączniki krańcowe, które ograniczają kąt wychylenia urządzenia.

Wybrane elementy TransforME wykonane zostały z plastiku technicznego PLA (polilaktyd) metodą szybkiego prototypowania na drukarce 3D. W tej metodzie wykonano m.in. przegub kolanowy, mocowanie egzoszkieletu do kończyny czy fragmenty konstrukcji szkieletu. Rama szkieletu została wykonana z pary kątowników aluminiowych o grubości 2 mm. W celu zamocowania egzoszkieletu do ciała użytkownika zastosowano zestaw szcęk o regulowanej długości oraz uprzęż na wysokości pasa miednicy. Szczyki zamocowane zostały na aluminiowych prętach konstrukcji urządzenia. Zostały one zaprojektowane zarówno dla uda, jak i podudzia wspomaganego kończyny. Do zamocowania szcęk do ciała użytkownika zastosowano parcie pasy, zapewniające komfort podczas użytkowania.

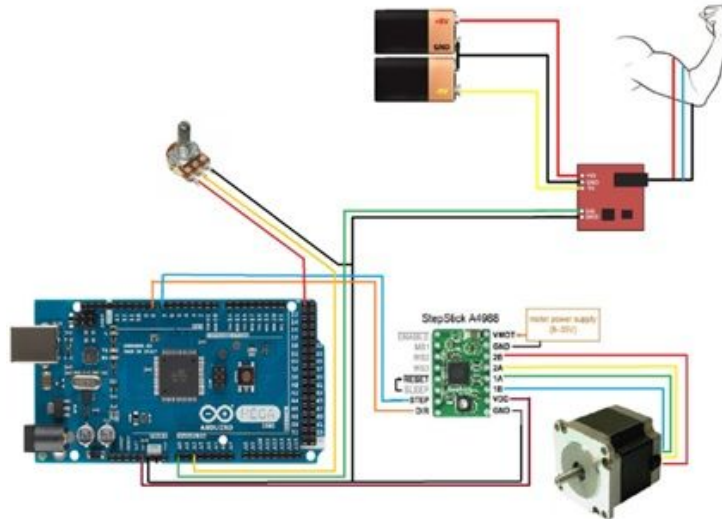
Elektronika wraz z układem zasilania została umieszczona w objętości pasa lędźwiowego, co widoczne jest na rysunku 1. Konstrukcję urządzenia do wspomaganego procesu chodzenia wykonano w oprogramowaniu SolidWorks 2014. Na rysunku 1 przedstawiono zaprojektowane urządzenie. Projektowane urządzenie do wspomaganego funkcji chodu waży około 12 kg, po 6 kg na każdą nogę.



Rys. 1. Projekt egzoszkieletu TransforME

3. Budowa egzoszkieletu

Do najważniejszych elementów układu elektrycznego urządzenia do wspomagania procesu chodzenia należą: Arduino Mega, potencjometr, akumulator, silnik krokowy, stepstick, czujnik EMG Advanced Technologies, wyłączniki krańcowe. Na rysunku 2 przedstawiono schemat elektryczny urządzenia.



Rys. 2. Schemat elektryczny urządzenia (opis w tekście)

W projekcie zastosowano płytkę Arduino Mega 2560 z mikrokontrolerem ATmega2560. Arduino Mega 2560 posiada 54 cyfrowe wejścia-wyjścia, z których 14 może pracować w trybie PWM (ang. *Pulse Width Modulation*). Posiada również 16 wejść analogowych, 4 porty UART (szeregowe), magistrale I2C oraz interfejs SPI. Dostępna pamięć to 256 kB Flash, 8 kB RAM i 4 kB EEPROM. Prędkość pracy procesora to 16 MHz. Arduino Mega oraz czujnik EMG zasilane są bateriami 9 V, natomiast reszta komponentów wymaga zasilania 12 V, które uzyskano z akumulatora.

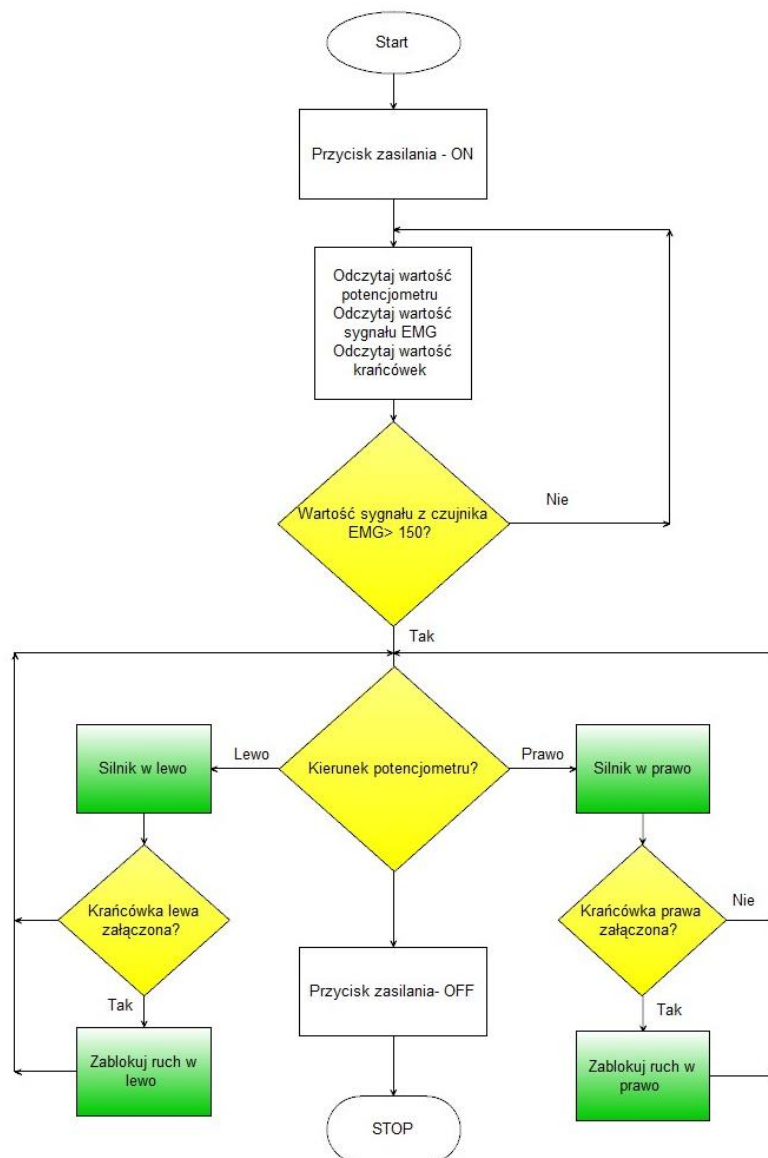
Wspomniane silniki zastosowane w urządzeniu to hybrydowe silniki krokowe o średnich rozmiarach serii 57BYGH. Podwyższony moment uzyskano przez zwiększenie średnicy rotora. Silnik ten został zastosowany w prototypie urządzenia. Obecnie trwają prace nad zastosowaniem silników bezszczotkowych BLDC EC 90 Flat motor, zasilanych przez prąd stały, w których zastosowano sterowany komutator zamiast szczotek [7].

W opracowywanym egzoszkielecie zdecydowano się na akumulatory kwasowo-ołowiowe Panasonic LC-R123R4PG o pojemności 3.4 Ah i napięciu 12 V. Dzięki temu urządzenie może być używane nieprzerwanie przez około 2 godziny. Konieczne jest zastosowanie minimum jednego akumulatora na jeden czynny silnik.

Aby zapewnić odpowiednie wspomaganie kończyny dolnej, system musi rozpoznać intencje użytkownika co do wykonania zamierzonego ruchu. Intencja ta będzie rozpoznawana na podstawie odczytanych sygnałów EMG. Odczytanie intencji, a następnie aktywacja urządzenia powinna zostać uruchomiona dzięki siłownikowi, z możliwie najkrótszym opóźnieniem, tak aby ruch egzoszkieletu był stabilny i wykonany w odpowiednim momencie. W przeciwnym razie ruch wspomaganego nogi zostanie wykonany za późno, co z kolei prowadzi do niesymetrycznych ruchów kończyny dolnej. Czujnik EMG wraz z układem sterowania umożliwia nadzorowanie urządzeń elektronicznych przy pomocy sygnałów bioelektrycznych wytwarzanych podczas skurczów mięśni ludzkich. Na wyjściu uzyskuje się sygnał analogowy, który można przechwycić przez dowolny mikrokontroler z przetwornikiem analogowo-cyfrowym, np. Arduino. Sensor wymaga zastosowania elektrod biomedycznych. Urządzenie, poprzez elektrody z przewodami, mierzy generowany przez mięśnie potencjał elektryczny. Kolejno następuje wzmocnienie sygnału i przesłanie do urządzenia głównego w postaci analogowej. Czujniki EMG powinny zostać umieszczone na górnej części uda na powierzchni skóry [8].

W pracy zaproponowano autorski algorytm działania urządzenia, który wykonano w oprogramo-

waniu Diagram Designer. Działając w oparciu o uprzednio stworzony schemat blokowy, utworzono program sterujący w języku C mikrokontrolerem Arduino (p. rys. 3).



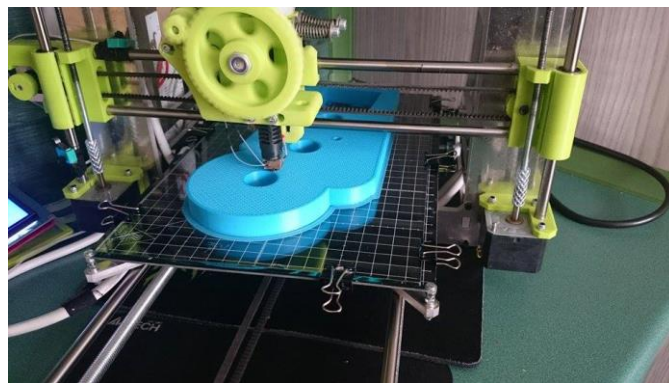
Rys. 3. Diagram blokowy działania programu

4. Wykonanie prototypu urządzenia

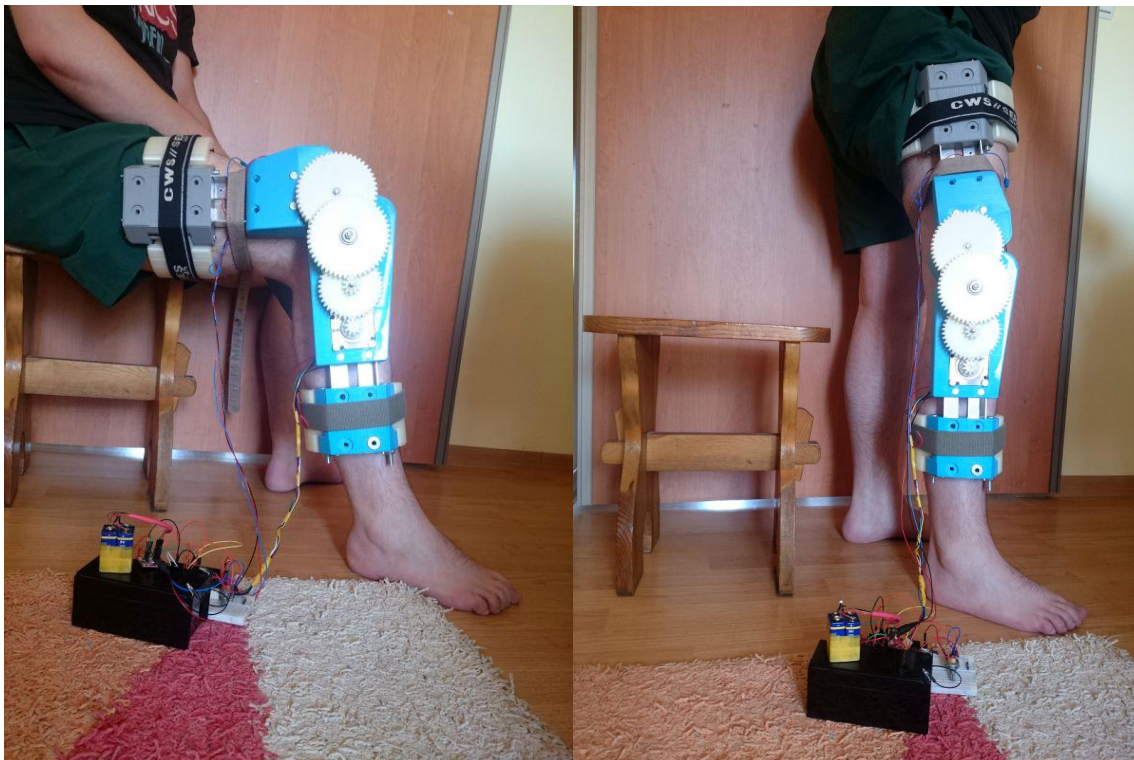
Części modelu zostały wyprodukowane w technologii druku przestrzennego 3D. Technologia ta pozwala wykonać szybko rzeczywisty model, który można następnie ocenić pod względem jakości i realnych gabarytów w stosunku do założeń projektowanego urządzenia, a co ważniejsze w tym przypadku, w stosunku do założeń względem rehabilitowanej osoby. Projektowanie i modelowanie rozpoczyna się np. w SolidWorks, a kończy się na wykonaniu części w programach Cura i Yarrh. Po zaprojektowaniu modelu 3D w programie SolidWorks, należy zapisać plik w formacie STL. Następnie plik STL odczytany zostaje we wspomnianym wcześniej programie Cura, gdzie dobrane zostały parametry wydruku takich jak m.in.: procent wypełnienia, grubość ścianek i warstw wierzchnich, parametry dyszy drukującej, przepływ filamentu, prędkość w poszczególnych osiach. Program Cura

pozwala na wygenerowanie i zapis ścieżek w języku programowania G-CODE zrozumiałego dla maszyny. Zapisany plik G-CODE wczytany został za pomocą kolejnego programu do obsługi drukarki, jakim jest Yarrh, w którym definiujemy parametry druku takie jak: temperatura, procentowa zmiana prędkości, zerowanie osi maszyny, moc nadmuchu chłodzenia wydruku. Program komunikuje się drukarką przez interfejs USB. Istnieje możliwość manualnego sterowania wszystkimi osiami drukarki oraz weryfikacja warstw na bieżąco podczas wydruku. Na rysunku 4 zilustrowano drukowanie korpusu urządzenia TransforME.

Jedną z najważniejszych zalet tych nowoczesnych urządzeń, jakimi są drukarki 3D, jest bez wątpienia możliwość drukowania przedmiotu bez konieczności posiadania specjalistycznej linii fabrycznej, a co za tym idzie, wielu drogich urządzeń oraz wielkich przestrzeni. Urządzenia te pozwalają na drukowanie z bardzo wysoką precyzją każdego zaprojektowanego kształtu. Takiej możliwości nie dają żadne maszyny wtryskowe. Kolejną zaletą jest oszczędność materiałów, ponieważ drukarki 3D wykorzystują wyłącznie tyle filamentu, ile jest wymagane. Druk w formacie 3D to z pewnością przyszłościowe rozwiązanie.



Rys. 4. Korpus w trakcie drukowania



Rys. 5. Testowanie urządzenia wspomagającego funkcje chodu TransforME

Następnie złożono oraz uruchomiono urządzenie wraz z częścią elektroniczną i zasilaniem. W dalszej kolejności przeprowadzono pierwsze testy urządzenia wspomagającego proces rehabilitacji (p. rys. 5). Do pierwszych testów wykonano jedynie egzozkielet dla jednej kończyny. Urządzenie zostało przetestowane na grupie 5 ochotników w wieku 10–25 lat. Testowano wstawanie oraz siadanie, chodzenie, jak również wchodzenie i schodzenie ze schodów. Wyniki pierwszych testów są bardzo obiecujące i zostaną opisane w kolejnych pracach. Analizowany temat jest bardzo złożony i wymaga dalszego opracowania, chociażby dotyczącego sterowania EMG. Podczas wykonywanych testów odczytywania i analizy sygnałów EMG uwzględniano różne czynniki wpływające na uzyskiwane sygnały (m.in. zamocowanie egzozkieletu, zastosowane rozwiązania mechaniczne lub chociażby spocenie się użytkownika). Czynniki te są zmienne, dlatego włączenie dodatkowych właściwości i potencjalnych ulepszeń powinno być uwzględnione w dalszych badaniach.

5. Wnioski

Opracowany egzozkielet TransforME jest mobilnym rozwiązaniem wspomagającym proces chodzenia w celach rehabilitacyjnych. TransforME umożliwia realizację podstawowych funkcji chodzenia, takich jak: siadanie, wstawanie, wchodzenie i schodzenie ze schodów.

Konstrukcja mechaniczna urządzenia składa się głównie z elementów wykonanych metodą szybkiego prototypowania na drukarce 3D oraz z 4 aluminiowych prętów, co zapewnia jej lekkość i wytrzymałość. Urządzenie jest sterowane za pomocą sygnałów EMG szczytywanych z kończyn dolnych pacjenta.

Zastosowane zasilanie bateryjne zapewnia mobilność opisywanego rozwiązania, co przekłada się pośrednio na możliwość wykonywania przez pacjentów większej liczby ćwiczeń ruchowych, jak również stanowi to ułatwienie dla rehabilitantów, rozszerzając zakres usług poza obszarem ośrodków zdrowia.

Warto podkreślić również niski koszt wykonania urządzenia, który wpływa na większe zainteresowanie ze strony potencjalnych odbiorców. Niski koszt elementów elektroniki sterującej oraz jej wysoka dostępność, w razie awarii, skutkuje szybką i taną wymianą podzespołów. TransforME to innowacyjne i przyszłościowe rozwiązanie. Jego modułowość zapewnia indywidualne dostosowanie do oczekiwań przyszłych użytkowników.

LITERATURA

- [1] T. Huścio, R. Trochimczuk: *Mechatroniczne urządzenie rehabilitacyjne zbudowane na bazie pozycjonera planarnego*, Mechanik, vol. 10, 2015, s. 808–811.
- [2] M. Pawłowski, J. Gąsior, P. Mrozek: *Ocena treningu z wykorzystaniem zautomatyzowanej ortozy Lokomat (Hocoma) w usprawnianiu dzieci i młodzieży z mózgowym porażeniem dziecięcym – doniesienie wstępne*, Neurologia, vol. 47, 2014, s. 35–40.
- [3] P. Sale, M. Franceschini, A. Waldner, S. Hesse: *Use of the robot assisted gait therapy in rehabilitation of patients with stroke and spinal cord injury*, European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine, vol. 48, 2012, s. 111–121.
- [4] D. Uhlenbrock, S. Hesse: *A mechanized gait trainer for restoration of gait*, Journal of Rehabilitation Research and Development, vol. 37, 2000, s. 701–709.
- [5] H. Herr: *Exoskeletons and orthoses: classification, design challenges and future directions*, Journal of Neuro-Engineering and Rehabilitation, vol. 6, 2009, s. 1–9.
- [6] K. Raab, K. Krakow, F. Tripp, M. Jung: *Effects of training with the ReWalk Exoskeleton on quality of life in incomplete spinal cord injury: a single case study*, Spinal Cord Series and Cases, vol. 3, 2016, s.1–3.
- [7] Botland, www.botland.com.pl
- [8] T. Grujic Supuk, A. Kuzmanic Skelin, M. Cic: *Design, development and testing of a low-cost s EMG system and its use in recording muscle activity in human gait*, Sensors (Basel), vol. 14, 2014, s. 8235–8258

otrzymano / submitted: 12.03.2016
zaakceptowano / accepted: 30.03.2016