Zastosowania automatyki i robotyki w wózkach dla niepełnosprawnych i egzoszkieletach medycznych

Emilia Mikołajewska*, Dariusz Mikołajewski**

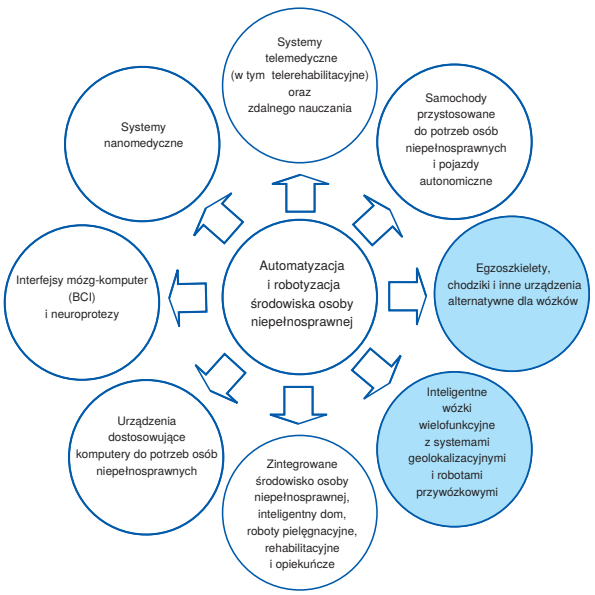
*10 Wojskowy Szpital Kliniczny z Poliklinika SP ZOZ w Bydgoszczy

**Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet M. Kopernika w Toruniu

Streszczenie: Ciągły wzrost liczby osób niepełnosprawnych, w podeszłym wieku oraz ciężko chorych powoduje zwiększenie zapotrzebowania na różne rodzaje urządzeń wspomagających. Sprzyja to automatyzacji i robotyzacji oraz integracji ze środowiskiem wspomagającym osoby niepełnosprawne. Rozwiązania prezentowane w artykule służą wsparciu pacjenta i zapewnieniu mu samodzielności. Szeroki wachlarz dostępnych możliwości powoduje, że kluczowy jest ich fachowy dobór i regulacja. Nawet najlepsze rozwiązanie, lecz źle dobrane lub wyregulowane, może zniechęcić użytkownika, i zamiast pomagać – będzie stanowiło kolejne ograniczenie.

Słowa kluczowe: automatyka, robotyka, rehabilitacja, osoby niepełnosprawne

Wzrost oczekiwanej długości życia, postęp medycyny, a w konsekwencji, wzrost liczby osób przeżywających ciężkie schorzenia lub wypadki wciąż zwiększają liczbę osób korzystających z różnych urządzeń wspomagających, np. wózków dla niepełnosprawnych. Dzięki nim pacjenci są bardziej samodzielni, a opieka nad nimi – łatwiejsza. Zgodnie z szacunkami Światowej Organizacji Zdrowia (*World Health Organization*, WHO) na świecie żyje ok. 650 mln osób niepełnosprawnych, a liczba osób w podeszłym wieku, często wymagających podobnej opieki, wg prognoz WHO zwiększy się do 2 mld już w 2050 r. Przed największym wyzwaniem staną kraje UE, USA, Kanada, Australia i Japonia. Przy ograniczonych środkach finansowych oraz powoli rosnącej liczbie personelu medycznego jednym z możliwych rozwiązań są urządzenia wspomagające osoby niepełnosprawne, wykorzystujące najnowsze zdobycze automatyki i robotyki.



Rys. 1. Zasadnicze kierunki automatyzacji i robotyzacji rozwiązań dla osób niepełnosprawnych [1, 2]

Fig. 1. Basic directions of automation and robotization of accessive devices for disabled people [1, 2]

Rozwój wózków dla niepełnosprawnych

Pierwsze elementy automatyki zastosowano w wózkach dla niepełnosprawnych w drugiej połowie XX w. wraz z opracowaniem wózków z napędem (ang. *power wheelchairs*). Po ponad 50 latach rozwoju zaobserwowano liczne osiągnięcia:

1. rozwój napędu (elektrycznego, spalinowego) oraz układu przeniesienia napędu, zmniejszających wysiłek użytkownika,
2. rozwój układu jezdnego (różne rodzaje kół, zestawów rolek, gąsienic) zwiększający możliwości trakcyjne i manewrowe wózków,
3. poprawa funkcji podtrzymywania pozycji ciała użytkownika, przeciwdziałania zmianom wtórnym (w tym odleżynom), zwiększenie komfortu, m.in. przez ułatwienie wsiadania i wysiadania oraz umożliwienie składania wózka bez względu na rodzaj i formę napędu,
4. rozwój systemów sterowania:
   – tradycyjnego manipulatora typu dżojstik, z opcjonalnym drugim kompletem urządzeń sterujących dla opiekuna,
   – rozwiązań alternatywnych, umożliwiających sterowanie wózkiem osobom z poważnymi deficytami funkcjonalnymi przez ruchy głowy, twarzy, ust lub języka, wciąganie i wydychanie powietrza, przyciski nożne, głos (proste komendy) oraz sygnały mózgowe (interfejs mózg-komputer oparty na analizie sygnału EEG, neuroprotezy),
5. zastosowanie wózków transformowalnych, umożliwiających zmianę kształtu i ustawień wózka stosownie do potrzeb użytkownika, m.in. wózek iBot 4000 z funkcją pionizacji oraz wchodzenia i schodzenia po schodach oraz zrobotyzowane łóżko transformowalne w wózek firmy Panasonic,
6. badania nad wyposażaniem wózków w roboty przywózkowe, tj. manipulatory dostosowane do potrzeb użytkownika,
7. badania nad autonomicznymi wózkami inteligentnymi, wyposażonymi w funkcje rozpoznawania otoczenia oraz nawigacji do nakazanego punktu z omijaniem przeszkód, często z towarzyszącymi komunikatami głosowymi i sterowaniem głosem,

8. badania nad integracją systemów sterowania wózka z innymi rozwiązaniami wykorzystywanymi przez osoby niepełnosprawne: systemami telemedycznymi, geolokalizacyjnymi, inteligentnym domem i inteligentnym ubraniem oraz *Ambient Intelligence*, *Virtual Reality* i *Augmented Reality* [3–7].

W omawianym zakresie zaznaczył się wyraźny podział: w krajach rozwiniętych dominuje silna indywidualizacja rozwiązań w zależności od potrzeb i preferencji użytkownika, natomiast w krajach rozwijających się potrzebne są rozwiązania skuteczne, ale tańsze, dostępne dla większej grupy użytkowników. Nawet w społeczeństwach biedniejszych przedstawiony postęp techniczny przekłada się na rozszerzenie liczby użytkowników wózków o osoby, które do tej pory nie mogły go używać ze względu na ograniczenia w możliwościach sterowania (brak precyzji ruchów itp.), zmniejszenie potrzeby posiadania opiekuna, wzrost szybkości wózka, większe możliwości trakcyjne wózka (jazda terenowa, pokonywanie przeszkód urbanistycznych itp.) i związane z tym rozszerzenie form wypoczynku, nauki i pracy, wzrost komfortu oraz przedłużenie czasu użytkowania wózka bez szkodliwych zmian wtórnych, możliwość integracji wózka z szerszym środowiskiem osoby niepełnosprawnej (do *Ambient Intelligence* włącznie) i zwiększenie jego funkcjonalności jako np. miejsca do nauki i pracy [5, 7, 9–14].

Postęp ten niesie ze sobą również wymagania w postaci:
- konieczności zapewnienia niezawodności i bezpieczeństwa poszczególnych rozwiązań oraz prowadzenia analizy potencjalnych zagrożeń,
- konieczności standaryzacji w celu zapewnienia kompatybilności z innymi systemami,
- dłuższego czasu niezbędnego na dobór, regulację oraz przysposobienie użytkowników i ich opiekunów do wózka,
- przeszkolenia personelu medycznego, opieki społecznej oraz inżynierów biomedyków (w tym inżynierów rehabilitantów) projektujących i serwisujących ww. rozwiązania.

Kierunki rozwoju napędu i układu jezdnego wózków

Rywalizacja w obszarze napędu i układu jezdnego wózków odbywa się na dwóch polach: autonomiczności i zasięgu. Do czasu opracowania lepszych akumulatorów wykorzystanie wózków będzie dwojakie:
- wózki elektryczne – do użytku wewnątrz pomieszczeń oraz do przemieszczania się na małe odległości, za wyjątkiem wykorzystania kombinowanego: wózek elektryczny + samochód,
- wózki spalinowe i skutery – do przemieszczania się na większe odległości (spacery) oraz w terenie.

Rozwiązania te zależą od stanu automatyki i robotyki oraz rozwoju inżynierii materiałowej (nowe, lżejsze i bardziej wytrzymałe materiały).

Kierunki rozwoju układów sterowania wózków

Większość wykorzystywanych urządzeń do sterowania wózkami dla niepełnosprawnych wymaga częściowego zachowania precyzyjnych, powtarzalnych ruchów. Ich spowolnienie lub ograniczenie może utrudnić kontrolę ruchu wózka i zagrozić bezpieczeństwu użytkownika. Znaczący postęp mogą przynieść badania nad alternatywnymi formami sterowania.

Sterowanie wózkiem za pomocą komend głosowych

Sterowanie głosem umożliwiają efektywne, działające w czasie rzeczywistym systemy rozpoznawania mowy (ang. *speech recognition*). Badania w tym zakresie prowadzone są od lat 50. XX w., a dynamiki nabrały w latach 90. Systemy komercyjne (Sphinks, VUST) nie nadają się do wszystkich zastosowań – na ich działanie wpływa zbyt wiele czynników: język, zasób słów, wymowa, akcent, szybkość mówienia, łączenie słów, zaznaczane pauzy i znaki interpunkcyjne, popełniane błędy językowe, szum tła oraz wydawane przez użytkownika dźwięki nie związane z mową (kaszel, sapanie). Istotny jest też sposób aktywacji oraz czas uczenia systemu [15, 16]. Rozpoznana informacja musi zapewnić zrozumienie mówiącego, z uwzględnieniem kontekstu. Sterowanie głosem spełnia wymagania, jeśli użytkownik ma doświadczenie w korzystaniu z tego typu systemów oraz używa prostych komend i funkcji, a osiągana dokładność rozpoznawania mowy wynosi 95 % [15, 17].

Przykładem sprawdzonego w praktyce rozwiązania jest sterowanie wózkiem inwalidzkim za pomocą sześciu prostych komend [15]. Choć systemy sterowania głosem znajdują się w początkowym okresie rozwoju, to oczekiwania związane z ich wykorzystaniem są ogromne. Sukces w tej dziedzinie przyniósłby rozwój całych rodzin rozwiązań wkomponowanych w otoczenie i postrzeganych przez osoby niepełnosprawne oraz w podeszłym wieku jako coś naturalnego, pomocnego i nienatrętnego [18, 19].

Sterowanie wózkiem za pomocą sygnałów elektrofizjologicznych

Sterowanie wózkiem za pomocą sygnałów elektrofizjologicznych, pobieranych z ośrodkowego układu nerwowego, często stanowi jedyną szansę dla osób z najpoważniejszymi deficytami. Prace badawcze, trwające od lat 50. XX w., mają na celu umożliwienie pozamięśniowej obsługi prostego oprogramowania (np. komunikacyjnego), sterowania neuroprotezami (ang. *neuroprostheses*) – protezami układu nerwowego, zastępującymi utracone możliwości rdzenia kręgowego lub efektory kończyn.

Kluczowym elementem są interfejsy mózg-komputer (ang. *Brain-Computer Interface,* BCI) – systemy komunikacji, w których wiadomości wysyłane są przez człowieka do komputera (lub odpowiadającego mu sterownika wózka czy protezy ruchowej) bez udziału nerwów obwodowych lub mięśni. Zasadnicze wymagania, jakim muszą sprostać obejmują efektywność i stabilność w czasie, łatwość dopasowania i nauczenia użytkownika oraz codziennego regularnego użytkowania. Wyzwaniem może być opracowanie powtarzalnej procedury neurochirurgicznej dla wszczepienia, wymiany i usunięcia interfejsu, niepowodującej komplikacji medycznych oraz blizn lub obszarów o zmniejszonej wrażliwości, mogących zakłócić działanie interfejsu [20–27]. Zasadnicze sygnały możliwe do wykorzystania przez interfejsy mózg-komputer obejmują:

1. pozyskiwane nieinwazyjnie przez skórę głowy: potencjał endogenny P300, rytm alfa lub rytm beta, elektryczne odpowiedzi wywołane SSVEP (ang. *steady-state visual evoked potentials*) oraz desynchronizacja i synchronizacja EEG związana z bodźcem ERD/ERS (ang. *event-related desynchronization/synchronization*),
2. otrzymywane z elektrod inwazyjnie implantowanych do mózgu [20–27].

Na uniwersytecie w Saragossie od 2009 r. testowany jest wózek dla niepełnosprawnych sterowany sygnałem EEG użytkownika. Praktyczna implementacja wymaga jeszcze wielu badań, m.in. ze względu na złożoność przetwarzania oraz konieczność opracowania procedur doboru interfejsu dla konkretnego użytkownika, treningu użytkowania, szkoleń dla personelu medycznego, rodzin i opiekunów osób niepełnosprawnych je wykorzystujących [20, 27].

Autonomiczne wózki inteligentne

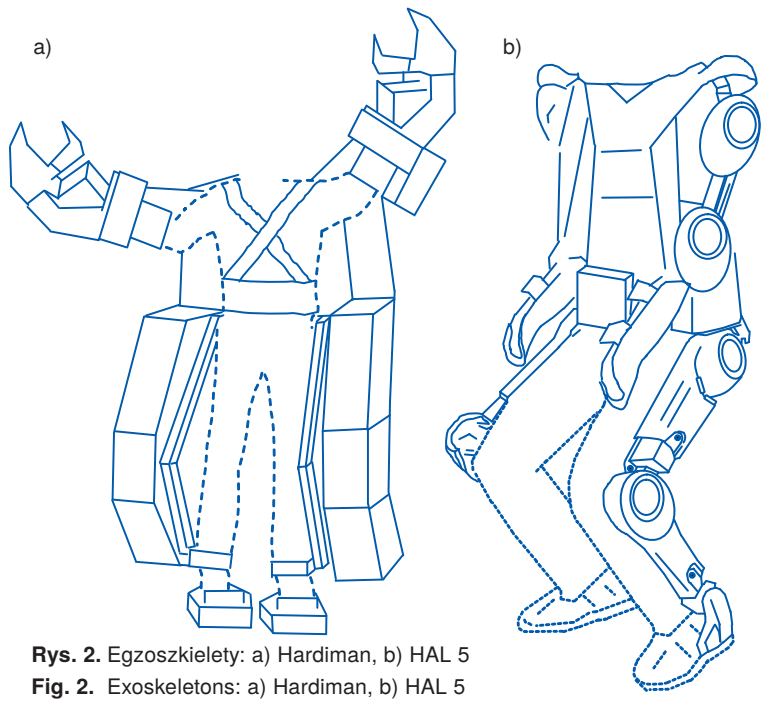
Wózek samodzielnie poruszający się po zadanej trasie oraz wykrywający i omijający przeszkody stanowiłby istotny postęp w dziedzinie mobilności osób niepełnosprawnych. Opracowane rozwiązania, jak NEC Wheelchair czy wózek inteligentny firmy Toyota ciągle nie są w pełni samodzielne i muszą mieć łatwy w stosowaniu wyłącznik bezpieczeństwa (uruchamiany np. mięśniami policzka). Niesie to ze sobą konieczność ciągłej koncentracji użytkownika i jego opiekuna, co nie zawsze jest możliwe.

Egzoszkielety medyczne

Wózki dla niepełnosprawnych mają poważnych konkurentów: egzoszkielety – szkielety zewnętrzne, sterowane konstrukcje mechaniczno-elektryczne nakładane przez użytkownika na podobieństwo kombinezonu i mocowane do ciała. Odczytują one zamiar wykonania ruchu przez użytkownika i wzmacniają jego siłę, zwiększając możliwości lokomocyjne. W przypadku osób niepełnosprawnych lub w podeszłym wieku zastępowanie niesprawnych i wspomaganie osłabionych mięśni użytkownika umożliwia mu samodzielne poruszanie się [28–33]. Oznacza to:

1. znaczne zwiększenie motoryki dwunożnej: egzoszkielety pozwalają zrezygnować z transportowania wózka, korzystania z wind i podjazdów itp.,
2. zastąpienie części urządzeń rehabilitacyjnych: dzięki odciążeniu i wzmacnianiu siły oraz wykorzystaniu naturalnych (lub zbliżonych) wzorców ruchowych, mogą one uzupełniać pracę terapeutów i innych urządzeń (np. robotów rehabilitacyjnych), m.in. w reedukacji chodu i (przy egzoszkieletach czterokończynowych) funkcji kończyn górnych, szczególnie w schorzeniach neurologicznych,
3. możliwość wykorzystania czasowego (jako element rehabilitacji) lub, w cięższych przypadkach, na stałe (jako proteza funkcji chodu),
4. możliwość wykorzystania zarówno w rehabilitacji szpitalnej, jak i domowej, a nawet w telerehabilitacji,
5. możliwość wykorzystania, podobnie jak w przypadku wózka, jako mobilnej platformy w ramach szerszych zintegrowanych środowisk osoby niepełnosprawnej,
6. egzoszkielety jako ważny element wyposażenia personelu w szpitalach i domach opieki, zmniejszający ich obciążenie fizyczne (zmiany pozycji, kąpiel itp.) i zwiększający bezpieczeństwo (przenoszenie pacjenta itp.) [3, 30].

Unikalne walory użytkowe powodują, że egzoszkielety stanowią pierwszą realną konkurencję dla wózków inwalidzkich – najpopularniejszego zaopatrzenia (ang. *assitive technology*) dla osób z deficytami narządów ruchu. Oprócz zastosowań medycznych egzoszkielety mogą być wykorzystywane w ratownictwie, budownictwie, metalurgii, wojsku i innych dziedzinach – jako wielofunkcyjne narzędzia i urządzenia wspomagające przenoszenie specjalistycznego sprzętu oraz ciężarów w warunkach, w których klasyczny ciężki sprzęt się nie sprawdza [28–33].



Rys. 2. Egzoszkielety: a) Hardiman, b) HAL 5
Fig. 2. Exoskeletons: a) Hardiman, b) HAL 5

Badania nad egzoszkieletami sięgają projektu *Hardiman* firmy General Electric (lata 60. XX w.), wstrzymanego ze względu na napotkane problemy techniczne na etapie gotowego ramienia egzoszkieletu. Temat został podjęty na nowo w 2000 r., gdy DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency* – Agencja Zaawansowanych Obronnych Projektów Badawczych Departamentu Obrony Stanów Zjednoczonych) ogłosiła konkurs na egzoszkielet wojskowy zwiększający możliwości żołnierza na polu walki, wygrany przez firmę Sarco.

Zasadnicze parametry egzoszkieletu obejmują: rodzaj sterowania, masę, autonomiczność (czas między dwoma kolejnymi ładowaniami źródeł zasilania), sposób doboru egzoszkieletu oraz sposób i czas uczenia użytkownika. Dodatkowo egzoszkielety mogą występować w wersji na kończyny dolne, oraz czterokończynowych (na kończyny dolne i górne).

Dobór i dopasowanie (uzbrajanie) egzoszkieletu

Dobór i dopasowanie egzoszkieletu jest sprawą indywidualną i zależy od wielu czynników, jak: wymiary użytkownika, wymiary egzoszkieletu i możliwości ich regulacji, możliwość sterowania egzoszkieletem przez użytkownika, zdiagnozowanych deficytów, preferowanych form aktywności, charakterystyki chodu i wzorców poszczególnych pozycji, sposobu i miejsc rozmieszczenia czujników itp. Należy pamiętać, że długotrwałe stosowanie egzoszkieletu musi być dla użytkownika wygodne i pozwalać na utrzymanie naturalnych dla niego pozycji.

System sterowania egzoszkieletem

System sterowania egzoszkieletem obejmuje komputer sterujący (najczęściej zdublowany) z bezprzewodowym systemem komunikacyjnym i podsystemy kontrolne odbierające sygnały przekazywane z mózgu do mięśni oraz sygnalizujące status (położenie, kąty zgięcia, siła wspomagania) poszczególnych elementów egzoszkieletu. Komputer sterujący kieruje wspomaganiem czynności użytkownika (siedzenie, stanie, wstawanie, chód), zapewniając właściwe dla danego użytkownika wzorce pozycji (siedzącej, stojącej itd.) i chodu (w tym po schodach i pochyłościach), korekcję (w przypadku np. osłabienia jednej strony) oraz regulację siły ich wspomagania. Wzorce te, charakterystyka użytych sił, rodzaj wspomagania oraz sposób ich kalibracji są dobierane indywidualnie dla każdego użytkownika. Jeśli to konieczne, np. w neurorehabilitacji – uwzględniają one dynamiczne zmiany ww. parametrów przy wykorzystaniu egzoszkieletu. W przypadku braku sygnałów z czujników (uszkodzenie, zanik sygnału) układ sterujący może przejąć kontrolę nad egzoszkieletem i kontynuować jego działanie w oparciu o dane z pozostałych czujników oraz poprzednie położenia egzoszkieletu, aż do awaryjnego zatrzymania egzoszkieletu przez użytkownika za pomocą wyłącznika bezpieczeństwa. Właściwy odczyt zamiaru ruchów i ich interpretację zapewniają zwykle redundantne czujniki:

- czujniki nacisku na podłoże,
- żyroskopowe czujniki położenia,
- czujniki kąta zgięcia stawów kończyn: biodra, kolana, kostki w każdej z nóg oraz barku, łokcia, nadgarstka i poszczególnych stawów palców w każdej z rąk,
- czujniki bioelektryczne monitorujące impulsy nerwowe z mózgu do mięśni (mocowane do skóry lub, w rozwiązaniach stałych, częściowo implantowane) – obecnie głównie elektromiograficzne, np. *proportional myoelectric control*, umożliwiająca szybką adaptację użytkowników [34–36],
- czujniki monitorujące stan zdrowia użytkownika,
- czujniki monitorujące stan techniczny egzoszkieletu.

Efektory egzoszkieletu, w zależności od potrzeb i przeznaczenia modelu, są realizowane za pomocą siłowników elektrycznych, pneumatycznych, hydraulicznych lub mechanicznych. Egzoszkielet jest zwykle zasilany z wbudowanych akumulatorów, choć spotyka się rozwiązania z silnikami spalinowymi.

Aby zapewnić właściwe działanie egzoszkieletu w każdych warunkach, cykl sterowania zawiera kolejne, realizowane w czasie rzeczywistym, etapy:

- w danym (wyjściowym) położeniu egzoszkieletu: odczytanie danych z czujników i ich interpretacja jako konkretnego zamiaru ruchu użytkownika (pozycja wyjściowa, utrzymanie stabilnego stania lub kierunek i prędkość ruchu, wchodzenie/schodzenie po schodach lub pochyłości itp.),
- wypracowanie przez układ sterujący decyzji (wybór wzorca ruchu) oraz wyliczenie dla poszczególnych elementów egzoszkieletu danych niezbędnych do zapewnienia odpowiedniej siły i sposobu wsparcia zamiaru użytkownika,
- współdziałanie egzoszkieletu z zamiarem ruchu użytkownika,
- określenie położenia po zakończeniu ruchu i przejście do gotowości odczytania zamiaru kolejnego ruchu.

Obecnie najdynamiczniej rozwijające się egzoszkielety medyczne to:

1. japoński egzoszkielet HAL 5 (ang. *Hybryd Assistive Limb*) opracowany na Uniwersytecie w Tsukubie, produkowany przez firmę CYBERDYNE Inc. zarówno w wersji wspomagającej wyłącznie funkcje kończyn dolnych, jak i w wersji wspomagającej pracę wszystkich kończyn (czterokończynowej), o znacznym zwielokrotnieniu siły udźwigu, stosunkowo dużej autonomiczności (2 h 40 min.), niskiej wadze (19 kg) oraz przystępnej cenie (do 19 tys. USD w zależności od wersji),
2. egzoszkielet ReWalk w wersjach B1 i B2 izraelskiej firmy Argo Medical Technologies, wspomagający jedynie funkcje kończyn dolnych, nieco mniej wygodny w użyciu ze względu na wymóg używania kul – w wybranych przypadkach pozwala osobie niepełnosprawnej ubranej w egzoszkielet na kierowanie samochodem,
3. egzoszkielet WPAS (ang. *Wearable Power Assist Suit*) – projekt japońskiego Instytutu Technologii w Kanagawa.
4. RoboKnee – projekt Yobotics Corp. (USA).

Pozostałe egzoszkielety, bez względu na przeznaczenie, pozwalają na opracowanie technologii możliwych do wykorzystania w zastosowaniach medycznych. Są to przede wszystkim:

- wojskowy XOS opracowany przez firmę Sarcos,
- wojskowy HULC (ang. *Human Universal Load Carrier*) oraz cywilne ExoHiker i ExoClimber firmy Berkeley Bionics,
- projekty BLEEX i BLEEX 2 (ang. *Berkeley Lower Extremity Exoskeleton*) realizowany na Uniwersytecie w Berkeley,
- zrobotyzowane nogi – projekt japońskiego Uniwersytetu Waseda.

W zakresie egzoszkieletów prowadzonych jest również wiele innych projektów, szczególnie w obszarze rehabilitacji neurologicznej [33, 37–39].

Odmienne rozwiązania z tej branży to tzw. chodziki (niekiedy zaliczane do egzoszkieletów), czyli urządzenia wspomagające funkcje chodu również u osób zdrowych, ale spędzających długi czas na stojąco lub w ruchu, jak np. *Walking Assist Device with Bodyweight Suport System* oraz *Walking Assist Device with Stride Management System* firmy Honda. Rozwiązania te nie są jednak w pełni dostosowane do potrzeb wszystkich osób niepełnosprawnych.

Kierunki rozwoju egzoszkieletów medycznych

Pełne wykorzystanie możliwości egzoszkieletów medycznych wymaga wielu badań oraz standaryzacji rozwiązań, choć część z nich jest już produkowana na skalę przemysłową. Trwają europejskie badania kliniczne egzoszkieletu HAL5 w szpitalu uniwersyteckim w Odense (Dania) oraz Danderyds Hospital (Szwecja), i egzoszkieletu ReWalk – w klinikach Izraela i USA. Warto kontynuować badania nad rozszerzeniem możliwości egzoszkieletów poprzez ich integrację z systemami telemedycznymi (w tym telerehabilitacyjnymi), inteligentnego domu (ang. *smart home*) czy inteligentnego ubrania (ang. *i-wear*), jak również opracowywanego przez autorów artykułu zintegrowanego środowiska teleinformatycznego osoby niepełnosprawnej [1, 2]. Wyzwanie na przyszłość stanowią systemy sterowania, oparte obecnie głównie na elektromiografii (EMG). Ich rozwój w stronę rozwiązań wykorzystujących interfejs mózg-komputer stwarza możliwość odzyskania dwunożnej mobilności osobom po uszkodzeniach rdzenia kręgowego, co obecnie w większości przypadków nie jest możliwe. Badania z wykorzystaniem egzoszkieletów będą miały też duże znaczenie dla neurofizjologii dzięki ukierunkowaniu ich na:

- poprawę zrozumienia biomechaniki ruchu człowieka (ze szczególnym uwzględnieniem chodu) oraz biomechaniki ruchu człowieka w egzoszkielecie (układu biomechanicznego człowiek-maszyna),
- nacisk na zmniejszenie kosztu energetycznego posługiwania się egzoszkieletem przez użytkownika, aż po zaawansowane systemy odciążenia dynamicznego, powodujące odczuwanie przez użytkownika ważącego kilkadziesiąt kilogramów egzoszkieletu jako co najwyżej kolejnego elementu ubrania,
- zmniejszenie zużycia energii przez egzoszkielety skutkujące ich dłuższą autonomicznością [35].

Szersze wprowadzenie egzoszkieletów medycznych do praktyki klinicznej będzie wyzwaniem dla specjalistów medycznych oraz dla inżynierów biomedyków. Może to doprowadzić do wypracowania nowego modelu rehabilitacji, szczególnie w schorzeniach neurologicznych [40]. Nieuchronnie wiążą się z tym zagadnienia z obszaru bezpieczeństwa użycia egzoszkieletów, które dotyczą stosowania prostych i efektywnych wyłączników awaryjnych, odporności systemów sterowania na zakłócenia oraz redundantnych algorytmów sterowania w czasie rzeczywistym [41].

Podsumowanie

Rosnącej liczbie osób niepełnosprawnych, ciężko chorych oraz w podeszłym wieku towarzyszy wzrost zapotrzebowania na dedykowane im nowoczesne urządzenia. Wykorzystanie ich zwiększy samodzielność i niezależność osób niepełnosprawnych, jak również dostarczy im narzędzi do nauki i pracy, niwelując znaczenie ich niepełnosprawności i czyniąc ich atrakcyjniejszymi na rynku pracy. Szeroki wachlarz dostępnych możliwości oraz znaczne zaawansowanie technologiczne powodują, że kluczowy staje się fachowy dobór i regulacja prezentowanych rozwiązań. Należy pamiętać, że nawet najlepsze rozwiązanie, ale źle dobrane lub wyregulowane, może spowodować niechęć użytkownika, i zamiast pomagać będzie stanowić dla niego kolejne ograniczenie. W najbliższym czasie można spodziewać się udoskonalenia stosowanych technologii oraz przedstawienia wyników badań klinicznych potwierdzających przydatność egzoszkieletów w zastosowaniach medycznych.

Bibliografia

1. Mikołajewska E., Mikołajewski D.: *Wheelchair development from the perspective of physical therapists and biomedical engineers*. Adv Clin Exp Med. 2010; 19, 6: 771–776.
2. Mikołajewska E., Mikołajewski D.: *E-learning in the education of people with disabilities*. Adv Clin Exp Med. 2011; 20, 1: 103–109.
3. Mikołajewska E.: *Osoba ciężko chora lub niepełnosprawna w domu*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2008, s. 29–35, 74–76, 83–89.
4. Mikołajewska E.: *Neurorehabilitacja. Zaopatrzenie ortopedyczne*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2009, s. 74–76, 83–89.
5. Mikołajewska E., Mikołajewski D.: *Automatyzacja wózków dla niepełnosprawnych*. Acta Bio-Optica et Informatica Medica Inżynieria Biomedyczna, 2010, 1: 13–14.
6. Mikołajewska E., Mikołajewski D.: *Roboty rehabilitacyjne i pielęgnacyjne*. Mag. Piel. Położ., 2009, 12: 42.
7. Dindorf R.: *Rozwój i zastosowanie manipulatorów i robotów rehabilitacyjnych*. Pomiary Automatyka Robotyka, 2004, 4: 5–9.
8. Cortes U., Annicchiarico R., Vasquez-Salceda J. i in.: *Assistive technologies for the disabled and for the new generation of senior citizens: the e-Tools architecture*. AI Communications, 2003, 16: 193–207.
9. Edge M., Taylor B., Dewsbury G. i in.: *The potential of „smart Home" systems in meeting the care needs of older persons and pe ople with disabilities*. Senior's Housing Update, 2000, 8: 6–7.
10. Panek P., Zagler W. L., Beck C. i in.: *Smart home applications for disabled persons – experiences and perepectives*. EIB Event 2001 – Proceedings, 2001, 71–80.
11. Kim Y., Kwang-Yun P., Kap-Ho S.: *A report on questionnaire for developing Intelligent Sweet Home for the disabled and the elderly in Korean living conditions*. Proceedings of the ICORR, 2003, 171–174.
12. Mikołajewska E., Mikołajewski D.: *Telemedycyna*. Magazyn Pielęgniarki i Położnej, 2007, 7–8: 32.
13. Węgrzyn-Bąk M., Mataczyński K., Marczewski K.: *Telemedycyna i jej perspektywy w rehabilitacji społeczności wiejskich*. Fizjoterapia Polska, 2005, 3.
14. Mikołajewska E., Mikołajewski D.: *Telerehabilitacja*. Rehabilitacja w Praktyce, 2011, 1: 64–67.
15. Fezari M., Mokhtar B., Bousbia-Salah M. i in.: *Design of a voice control for a disabled person wheelchair*. Animal Journal of Information Technology, 2005, 4(10): 940–944.
16. Jones D., Wolf F., Gibson E. i in.: *Measuring the readability of automatic speech-to-text transcripts*. Proc. Eurospeech, 2003, 1585–1588.
17. Singh R.: The Sphinx Speech Recognition Systems. W: Bainbridge W. (red.) *Encyclopedia of human computer interaction*. Berkshire Publishing Group, 2004.

18. Kouroupetroglou G., Mitsopoulos E.: *Speech-enabled e-Commerce for disabled and elderly persons*. The Proceedings of COST 219 Seminar „Speech and hearing technology", 2000, 72–92.
19. Begel A.: Programming By Voice: *A domain-specific application of speech recognition*. Conference on human factors in computing systems. CHI '06 extended abstracts on Human factors in computing systems. 2006, 239–242.
20. Birbaumer N., Cohen L. G.: *Brain-computer interfaces: communication and restoration of movement in paralysis*. J Physiol., 2007, 579 (3): 621–36.
21. Brown-Triolo D. L., Roach M. J., Nelson K. i wsp.: *Consumer perspectives on mobility: implications for neuroprosthesis design*. J. Rehabil. Res. Dev., 2002, 39(6): 659–69.
22. Wolpaw J. R.: *Brain-computer interfaces as new brain output pathways*. J. Physiol. 2007, 579 (3): 613–.
23. Wolpaw J. R., Birbaumer N., McFarland D. J.: *Brain-computer interfaces for communication and control*. Clin. Neurophysiol., 2002,113 (6):767–91.
24. Fabiani G. E., McFarland D. J., Wolpaw J. R. i wsp.: *Conversion of EEG activity into cursor movement by a brain-computer interface (BCI)*. IEEE Trans Neural Syst. Rehabil. Eng., 2004, 12(3): 331–8.
25. Kübler A., Neumann N.: *Brain-computer interfaces - the key for the conscious brain locked into a paralyzed body*. Prog. Brain. Res., 2005, 150: 513–25.
26. Donoghue J. P., Hochberg L. R., Nurmikko A. V.: *Neuromotor prosthesis development*. Med Health R. I., 2007. 90(1):12–5.
27. Birbaumer N.: *Breaking the silence: brain-computer interfaces (BCI) for communication and motor control*. Psychophysiology, 2006, 43(6): 517–32.
28. Mikołajewski D. Mikołajewska E.: *Roboty rehabilitacyjne*. Rehabilitacja w Praktyce, 2010, 4: 49–53.
29. Mikołajewska E.: *Egzoszkielet HAL 5*. Mag. Piel. Położ., 2007, 5: 42.
30. Ferris D. P.: *The exoskeletons are here*. J Neuroeng Rehabil., 2009, 6: 17.
31. Herr H.: *Exoskeletons and orthoses: classification, design challenges and future directions*. J Neuroeng Rehabil., 2009, 6:21.
32. Ball S. J., Brown I. E., Scott S. H.: *A planar 3DOF robotic exoskeleton for rehabilitation and assessment*. Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc., 2007, 4024–7.
33. Rocon E., Belda-Lois J. M., Ruiz A. F. i wsp.: *Design and validation of a rehabilitation robotic exoskeleton for tremor assessment and suppression*. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng., 2007, 15(3): 367–78.
34. Ferris D. P., Lewis C. L.: *Robotic lower limb exoskeletons using proportional myoelectric control*. Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc., 2009, 2119–24.
35. Sawicki G. S., Ferris D. P.: *Mechanics and energetics of level walking with powered ankle exoskeletons*. J Exp Biol., 2008, 211:1402–13.
36. Ferris D. P., Sawicki G. S., Daley M. A.: *A physiologist's perspective on robotic exoskeletons for human locomotion*. Int J HR., 2007, 4(3): 507–528.
37. Carrozza M. C., Pak N. N., Cattin E. i in.: *On the design of an exoskeleton for neurorehabilitation: design rules and preliminary prototype*. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc., 2004, 7: 4807–10.
38. Andreasen D. S., Aviles A. A., Allen S. K. i in.: *Exoskeleton for forearm pronation and supination rehabilitation*. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc., 2004, 4: 2714–7.
39. Fleischer C., Wege A., Kondak K. i in.: *Application of EMG signals for controlling exoskeleton robots*. Biomed Tech (Berl)., 2006, 51(5-6): 314–9.
40. Gordon K. E., Ferris D. P.: *Learning to walk with a robotic ankle exoskeleton*. J Biomech., 2007, 40(12): 2636–44.
41. Schmidt H., Hesse S., Bernhardt R.: *Safety concept for robotic gait trainers*. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc., 2004, 4: 2703–6.

Applications of automatics and robotics in wheelchairs and medical exoskeletons

Abstract: Continuous increase of amount of disabled, severe ill and older people causes growth of demands for various kinds of assistive devices. It is conducive to their automation and robotization and, what more, integration into wider environments designed to support disabled people. Presented solutions serve as supporting and increasing independency of disabled people. Broad offer of possibilities makes necessary providing their professional selection and adjustment. Even the best solution, but unsuitable or improperly adjusted can cause dislike of the users and be their another limitation.

Keywords: automatics, robotics, rehabilitation, disabled people

dr Emilia Mikołajewska

Specjalista fizjoterapii, starszy asystent w Klinice Rehabilitacji 10 Wojskowego Szpitala Klinicznego z Polikliniką SP ZOZ w Bydgoszczy, autorka pięciu książek oraz ponad 70 prac z dziedziny rehabilitacji, inżynierii biomedycznej i rehabilitacyjnej, jak również wzoru użytkowego w obszarze wózków dla niepełnosprawnych. Główne zainteresowania naukowe obejmują rehabilitację neurologiczną oraz wykorzystanie informatyki, automatyki i robotyki w terapii i podwyższaniu jakości życia pacjentów z deficytami neurologicznymi.

e-mail: e.mikolajewska@wp.pl
strona www: http://e.mikolajewska.prv.pl

mgr inż. Dariusz Mikołajewski

Doktorant w Katedrze Informatyki Stosowanej na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, autor ponad 30 prac z informatyki, telekomunikacji, biocybernetyki i inżynierii biomedycznej. Główne zainteresowania naukowe obejmują biocybernetyczne i neurocybernetyczne modelowanie funkcji mózgu i procesów kognitywnych oraz integrację osiągnięć informatyki, automatyki i robotyki w formie systemów wspierających osoby niepełnosprawne, ciężko chore i w podeszłym wieku.

e-mail: darek.mikolajewski@wp.pl