

Dwutomowa monografia „Ekomobilność” stanowi podsumowanie projektu „ECO-Mobilność”, realizowanego w Politechnice Warszawskiej. Autorzy monografii reprezentują różne specjalności naukowe. Projekt „ECO-Mobilność” zrealizowano w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka dofinansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

„Ekomobilność” to systemy i środki związane z przemieszczaniem się osób, zwłaszcza w aglomeracjach miejskich, przyjazne środowisku i w sposób oszczędny zużywające energię. Uwzględniają w swojej konstrukcji potrzeby osób o ograniczonej mobilności związanej z wiekiem oraz będących ofiarami chorób cywilizacyjnych czy wypadków drogowych. Drugi tom poświęcono przede wszystkim osobom niepełnosprawnym, a prezentowane systemy i środki służą poprawie lub wspomoczeniu ich mobilności. Przedstawiono w nim System Pionizacji i Wspomagania Ruchu oraz proces projektowania i konstruowania pierwszego polskiego egzozkieletu. Zaprezentowano również innowacyjne wózki inwalidzkie o napędzie elektrycznym i ręcznym. Opisano ponadto symulator do nauki jazdy wózkiem, który jednocześnie pełni funkcję stanowiska badawczego do analiz wysiłku mięśniowego z wykorzystaniem sygnałów EMG. Omówiono także zewnętrzne stabilizatory ortopedyczne do leczenia czynnościowego złamań okołostawowych, prezentując ich nowe konstrukcje jako podsumowanie ponaddwudziestoletniej współpracy z naukowcami z Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego. Opisano wreszcie koncepcję polskiej endoprotezy stawu biodrowego z krótkim trzpieniem, stanowiącej rozwiązanie pośrednie między protezą bezcementową a cementową z wykorzystaniem cementów osteoindukcyjnych.

Książka ani w całości, ani w fragmentach nie może być skanowana, kserowana, powielana bądź rozpowszechniana za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych, kopiujących, nagrywających i innych, w tym również nie może być umieszczana ani rozpowszechniana w postaci cyfrowej zarówno w Internecie, jak i w sieciach lokalnych bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich.

Wykaz ważniejszych oznaczeń 11

Wstęp 13

Część I SPiWR - robot ortotyczny 17

1. Wprowadzenie 19

2. Robot ortotyczny jako system mechatroniczny 21

2.1. Wprowadzenie 21

2.2. Sterowany proces 22

2.3. Układy wykonawcze 22

2.4. Układy pomiarowe 27

2.5. Interfejsy użytkownika 28

2.5.1. Urządzenia do wprowadzania informacji 28

2.5.2. Urządzenia informujące 29

2.6. Podsumowanie 29

3. Funkcje robota ortotycznego 30

3.1. Wprowadzenie 30

3.2. Podstawowe funkcje ruchowe 31

3.2.1. Chód 31

3.2.2. Wchodzenie i schodzenie po schodach 40

3.2.3. Wstawanie i siadanie 44

3.2.4. Analiza przebiegów ruchu 47

3.3. Funkcje dodatkowe 48

3.3.1. Wprowadzenie	48
3.3.2. Skręcanie w miejscu (obrót w miejscu)	48
3.3.3. Chodzenie bokiem	48
3.3.4. Kucanie i schylanie się	49
3.3.5. Blokowanie ustalonej pozycji	50
3.3.6. Dostosowanie długości kroku	51
3.4. Funkcje pomocnicze	51
3.4.1. Wprowadzenie	51
3.4.2. Możliwość zamocowania kul	51
3.4.3. Zamontowanie układu GPS w panelu sterującym	52
3.4.4. Umieszczenie w SPiWR kieszeni i schowków	52
3.4.5. Komunikacja urządzenia z personelem nadzorującym	53
3.5. Funkcje bezpieczeństwa	54
3.5.1. Wprowadzenie	54
3.5.2. Identyfikacja zagrożeń	55
3.5.3. Analiza ryzyka	56
3.5.4. Planowanie reakcji na sytuacje niebezpieczne	61
3.5.5. Techniczna realizacja podstawowych funkcji systemu bezpieczeństwa	62
4. Medyczne, ekonomiczne i społeczne warunki stosowania systemów wspomagających ruch	64
4.1. Wprowadzenie	64
4.2. Uwarunkowania medyczne	64
4.2.1. Przyczyny niedowładu kończyn dolnych	64
4.2.2. Choroby kończyn dolnych prowadzące do dysfunkcji układu ruchu	65
4.2.3. Społeczna skala problemu	66
4.2.4. Wskazania i przeciwwskazania do zastosowania systemu	67
4.2.5. Wymagania użytkowe dla systemu pionizacji i wspomagania ruchu	68
4.3. Uwarunkowania ekonomiczno-społeczne	72
4.3.1. Badania preferencji potencjalnych użytkowników	72
4.3.2. Analiza rynku potencjalnych producentów	74
4.3.3. Postrzeganie systemu przez społeczność osób zdrowych	75
4.3.4. Forma wzornicza urządzenia wspomagającego ruch	76
4.3.5. Koncepcja interfejsu użytkownika projektowanego urządzenia	80
5. Techniczne środowisko pracy robota ortotycznego	83
5.1. Wprowadzenie	83
5.2. Schody jako element infrastruktury życiowej	83
5.2.1. Wiadomości wstępne	83
5.2.2. Schody klasyczne	84
5.2.3. Akceptowalność profilu schodów	85
5.2.4. Podsumowanie	85
5.3. Współpraca robota ortotycznego z innymi urządzeniami transportowymi	86
5.3.1. Wiadomości wstępne	86
5.3.2. Współpraca urządzenia z wózkami inwalidzkimi	86
5.3.3. Współpraca urządzenia z ekosamochodem	87
5.3.4. Współpraca urządzenia z Personal Rapid Transit (PRT)	88
5.4. Wykorzystanie urządzenia w miejscach publicznych	93
5.4.1. Stacje ładowania akumulatorów	93
5.4.2. Wypożyczalnie urządzeń	95
6. Projektowanie podsystemów robota ortotycznego	96
6.1. Wprowadzenie	96

6.2. Podsystem mechaniczny	98
6.2.1. Funkcje podsystemu mechanicznego	98
6.2.2. Określenie typu kinematyki	99
6.2.3. Określenie kinematyki elementów struktury nośnej	100
6.2.4. Układ kinematyczny struktury nośnej wzdłuż nóg użytkownika	102
6.2.5. Modele przestrzenne sylwetki ludzkiej	106
6.3. System sterowania	107
6.3.1. Założenia do systemu sterowania	107
6.3.2. Analiza stopnia centralizacji układu sterowania	109
6.3.3. Analiza topologii systemu komunikacyjnego	115
6.3.4. Dobór sieci komunikacyjnej	116
6.3.5. Podsumowanie	116
6.4. Źródło energii pomocniczej	117
6.4.1. Wprowadzenie	117
6.4.2. Szacunkowe zapotrzebowanie na energię	117
6.4.3. Przegląd rodzajów ogniw elektrochemicznych (Linden and Reddy 2002, Buchmann 2001)	119
6.4.4. Charakterystyki akumulatorów litowo-jonowych	121
7. System pionizacji i wspomagania ruchu	124
7.1. Budowa mechanicznego podsystemu robota	124
7.1.1. Pas piersiowo-biodrowy	125
7.1.2. Układy ruchu stawów biodrowych i kolanowych	126
7.1.3. Układ ruchu stopy	132
7.2. Układy sterujące	133
7.2.1. Architektura systemu	133
7.2.2. Rozmieszczenie układów elektronicznych w systemie	137
7.3. Interfejs użytkownika	139
7.3.1. Stany logiczne pilota	139
7.3.2. Struktura pilota	140
7.3.3. Menu pilota	141
8. Modelowanie systemu pionizacji i wspomagania ruchu	143
8.1. Wprowadzenie	143
8.2. Struktura modelu	143
8.2.1. Założenia	143
8.2.2. Struktura modelu	144
8.3. Model struktury mechanicznej	144
8.3.1. Modelowanie części ciała	145
8.3.2. Modelowanie mechanicznej struktury robota	147
8.3.3. Połączenie elementów robota i człowieka	148
8.4. Model układów napędowych	150
8.4.1. Model napędu	150
8.4.2. Model przekładni	151
8.4.3. Modele obciążeń	151
8.4.4. Sygnały odniesienia	152
8.5. Modelowanie kinematyki chodu	153
8.6. Modelowanie kontaktu robota z podłożem	155
8.7. Modelowanie dynamiki chodu	156
8.8. Uruchomienie modelu	158
9. Badania robota ortotycznego	159
9.1. Wprowadzenie	159

9.2. Badania prototypu	160
9.2.1. Uruchomienie funkcji chodu	160
9.2.2. Ocena współpracy systemu z użytkownikiem (manekinem)	161
9.3. Stanowiska badawcze	164
9.3.1. Wprowadzenie	164
9.3.2. Wymagania	165
9.3.3. Stanowisko stacjonarne	167
9.3.4. Stanowisko demonstracyjne	171
9.4. Symulacyjne badania układów wykonawczych robota	173
9.4.1. Wprowadzenie	173
9.4.2. Eksperymenty symulacyjne	173
9.4.3. Podsumowanie	175
10. Uwagi końcowe	176
10.1. Podsumowanie projektu	176
10.1.1. Struktura mechaniczna	176
10.1.2. Układy elektroniczne	179
10.1.3. Oprogramowanie	179
10.1.4. Alternatywne rozwiązania techniczne	179
10.2. Dalsze prace	180
10.2.1. Modyfikacje konstrukcji	181
10.2.2. Dobór technologii mechanicznych	182
10.2.3. Rozwój oprogramowania	182
10.2.4. Rozwój interfejsu użytkownika	182
Bibliografia do cz.1 t. II	183
Część II Wózki inwalidzkie	187
11. Wprowadzenie do problematyki wózków inwalidzkich	189
12. Dźwigniowy wózek inwalidzki	191
12.1. Rodzaje aktywnych wózków inwalidzkich	191
12.1.1. Ręczne wózki inwalidzkie napędzane poprzez ciągi	192
12.1.2. Ręczne wózki inwalidzkie napędzane poprzez korby	193
12.1.3. Ręczne wózki inwalidzkie napędzane poprzez dźwignie	194
12.1.4. Porównanie cech użytkowych ręcznych wózków inwalidzkich	196
12.1.5. Wózki dźwigniowe – zalety, wady i przeznaczenie	199
12.2. Wózek dźwigniowy w projekcie „ECO-Mobilność”	199
12.2.1. Wprowadzenie	199
12.2.2. Stanowisko badawcze wózka dźwigniowego	200
12.2.3. Synteza toru pomiarowego stanowiska badawczego	201
12.3. Empiryczna metoda optymalizacyjna układu dźwigni wózka inwalidzkiego	203
12.3.1. Wprowadzenie	203
12.3.2. Elektromiografia powierzchniowa	204
12.3.3. Analiza ilości tlenu pochłanianego przez człowieka podczas pracy z dźwigniami napędowymi oraz analiza tętna	206
12.3.4. Plan eksperymentu	206
12.3.5. Przygotowanie stanowiska badawczego przed wykonaniem doświadczeń	211
12.3.6. Ocena aktywności mięśni ludzkich podczas jazdy wózkiem	212
12.3.7. Analiza ilości tlenu pochłanianego przez człowieka podczas jazdy wózkiem oraz analiza zmian tętna	218
12.4. Analityczna metoda optymalizacyjna wybranych parametrów wózka dźwigniowego	220
12.4.1. Zarys metody	220
12.4.2. Plan eksperymentu w analitycznej metodzie optymalizacyjnej	223

12.4.3. Wyznaczanie maksymalnej energii wydatkowanej przez człowieka poprzez dźwignie napędowe	223
12.4.4. Poszukiwanie rozwiązania zadania optymalizacyjnego	224
12.5. Porównanie metod optymalizacyjnych	224
12.5.1. Przyczyny rozbieżności wyników	224
12.5.2. Próba modyfikacji analitycznej metody obliczeniowej	227
12.5.3. Końcowa ocena działania zaproponowanej metody analitycznej	227
12.6. Przedprototyp wózka dźwigniowego	229
13. Wózek elektryczny	232
13.1. Wprowadzenie	232
13.2. Możliwości współczesnych konstrukcji wózków inwalidzkich	233
13.3. Koncepcja własna wózka o specjalnych możliwościach	240
13.4. Analiza problemu pokonywania przeszkód przez wózek inwalidzki	241
13.4.1. Model statyczny – wiadomości wstępne	241
13.4.2. Analiza wpływu doboru parametrów elementów modelu na realizację zadania pokonania przeszkody	246
13.4.3. Wpływ parametrów geometrycznych przeszkody (schodów)	249
13.4.4. Optymalizacja wybranych parametrów konstrukcji	251
13.5. Model dynamiki	252
13.5.1. Wiadomości wstępne – charakterystyka modeli	252
13.5.2. Analiza sił występujących w obszarach kontaktu z podłożem	258
13.5.3. Wyznaczenie zakresu wartości parametrów tarcia, przy których wózek poprawnie wjeżdża na różne schody	259
13.5.4. Analiza momentów napędzających człony modelu	260
13.5.5. Wyznaczenie przyspieszeń drgań elementów modelu	261
13.5.6. Symulacyjna analiza komfortu jazdy	261
13.6. Budowa prototypu wózka inwalidzkiego	264
13.6.1. Laboratoryjne badania doświadczalne własności jezdnych prototypowej konstrukcji wózka	264
13.6.2. Analiza oddziaływań dynamicznych na osobę poruszającą się na wózku inwalidzkim	265
13.7. Podsumowanie i wnioski	267
Część III Nowoczesne stabilizatory i endoprotezy	269
14. Nowoczesne stabilizatory w osteosyntezie zewnętrznej	271
14.1. Wprowadzenie	271
14.2. Rys historyczny	271
14.3. Polskie rozwiązania konstrukcyjne	275
14.4. Doświadczenia kliniczne	278
14.5. Problematyka własności kinematycznych stawów	281
14.5.1. Badania eksperymentalne kinematyki stawu kolanowego	281
14.5.2. Modelowanie i badania symulacyjne	285
14.5.3. Koncepcja sterowania	286
14.5.4. Wybrane rozwiązania konstrukcyjne	288
14.5.5. Badania eksperymentalne stabilizatora wraz z tłumikiem z cieczą magnetoreologiczną	290
15. Proteza stawu biodrowego. Trzpień protezy	300
15.1. Wprowadzenie	300
15.2. Innowacyjne rozwiązanie protezy z krótkim trzpieniem	302
15.3. Badania wytrzymałościowe konstrukcji	307

15.3.1. Badania symulacyjne endoprotezy szkieletowej w zakresie wypełniania substancją osteoindukcyjną 307

15.3.2. Analizy wytrzymałościowe trzpienia endoprotezy 311

15.4. Szybkie prototypowanie. Demonstracja metody instalacji protezy 315

15.4.1. Opracowanie prototypów technikami Rapid Prototyping 315

15.4.2. Badania i ocena możliwości osadzenia przedprototypów endoprotez „krótki trzpień” z zastosowaniem biologicznych spoiw kostnych w jamie szpikowej bliższej nasady kości udowych (soft bone) w warunkach laboratoryjnych 316

15.5. Podsumowanie 319

Bibliografia do cz.2 t. II 320