

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. Pierwszy tom poświęcono nowym systemom i środkom transportu, a w szczególności systemowi PRT (Personal Rapid Transit), określanemu coraz częściej jako ATN (Automated Transit Network) oraz nowej koncepcji miejskiego samochodu elektrycznego. Propozycje te wpisują się w nurt ogólnych tendencji zmian w transporcie miejskim, polegających na dążeniu do syntezy publicznego transportu zrównoważonego - ekonomicznego, ekologicznego, przyjaznego człowiekowi i uwzględniającego potrzeby osób niepełnosprawnych.

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.

Zespół autorski 11

Część I Wprowadzenie 15

1. Podstawowe problemy transportu miejskiego. Transport zrównoważony 17

1.1. Uwagi wstępne 17

1.2. Analiza przydatności zastosowań rozwiązań technicznych projektu „ECO-Mobilność” w świetle najczęściej występujących chorób, struktury społecznej społeczeństwa i korzyści ekonomicznych 21

1.2.1. Definicja zdrowia i choroby 21

1.2.2. Charakterystyka chorób społecznych i cywilizacyjnych 21

1.2.3. Struktura wiekowa społeczeństwa 22

1.2.4. Ocena stanu zdrowia i jakości życia 24

1.2.5. Ekonomia zdrowia 26

1.2.6. Samochód elektryczny 29

1.2.7. Indywidualny transport miejski PRT 34

1.2.8. Wózek inwalidzki 35

1.2.9. Egzoskielet 36

1.2.10. Proteza stawu biodrowego 37

1.2.11. Ortopedyczne stabilizatory zewnętrzne 38

1.2.12. Podsumowanie 38

2. Zasady projektowania i syntezy nowych systemów mobilności 40

2.1. Wprowadzenie 40

2.2. Projektowanie systemów samoopptymalizujących 42

2.2.1. Definicja systemu samoopptymalizującego 42

2.2.2. Metodyka projektowania systemów samoopptymalizujących 43

2.2.3. Projekt robota ortotycznego 44

2.3. Zasady projektowania ergonomicznego 49

2.3.1. Istota projektowania ergonomicznego	50
2.3.2. Ergonomiczne kryteria projektowe	51
3. Ogniwa elektrochemiczne i superkondensatory jako magazyny energii dla pojazdów elektrycznych	55
Bibliografia do części I	61
Część II System PRT	65
4. PRT – podstawowe pojęcia	67
4.1. Informacje wstępne. Przegląd współczesnych systemów PRT	67
4.2. Struktury systemu PRT analizowane w monografii	70
5. Układy mechaniczne i mechatroniczne oraz ergonomia kabiny pojazdu PRT	72
5.1. Opis rozwiązania struktury układu jezdnego pojazdu PRT	72
5.1.1. Układ jezdny pojazdu podwieszony pod torem	72
5.1.2. Układ napędowo-jezdny pojazdu poruszającego się po torze	75
5.1.3. Porównanie rozwiązań	77
5.2. Kabina pojazdu PRT	79
5.2.1. Wiadomości wstępne	79
5.2.2. Wymagania i założenia ergonomiczne	80
5.2.3. Propozycje kształtu pojazdu PRT	81
5.2.4. Rozmieszczenie elementów wyposażenia w kabinie pojazdu PRT	82
5.2.5. Interfejs pasażera	84
5.2.6. Nazwa własna pojazdu PRT	90
5.3. Oszacowanie wymaganej mocy	90
5.3.1. Określenie warunków ruchu	90
5.3.2. Określenie oporów ruchu	91
5.3.3. Analiza sił oporu ruchu i mocy	92
5.4. Badania eksperymentalne pojazdu PRT	93
5.4.1. Wprowadzenie	93
5.4.2. Przygotowanie teoretyczne eksperymentu	94
5.4.3. Określenie warunków ruchu pojazdów w skali	98
5.4.4. Stanowisko laboratoryjne	99
5.5. Badania symulacyjne pojazdu PRT	101
5.5.1. Cel badań symulacyjnych	101
5.5.2. Zadania badawcze i zakres prac	102
5.5.3. Model nominalny pojazdu	102
5.5.4. Model krzywizny toru	104
5.5.5. Model symulacyjny	105
5.5.6. Identyfikacja parametryczna	107
5.5.7. Wyniki symulacji	108
5.5.8. Stateczność techniczna	114
5.5.9. Weryfikacja i walidacja	116
5.5.10. Podsumowanie	117
6. Silniki elektryczne liniowe w napędach PRT	118
6.1. Wprowadzenie	118
6.2. Wybór konstrukcji silnika napędowego pojazdu PRT	120
6.2.1. Silniki liniowe asynchroniczne	120
6.2.2. Silniki liniowe synchroniczne	122
6.2.3. Podstawowe założenia kinetyczne, dynamiczne i konstrukcyjne silnika naturalnej wielkości oraz modelu	123
6.2.4. Wybór konstrukcji silnika wielkości naturalnej oraz modelu laboratoryjnego	125
6.3. Obwodowo-polowe metody projektowania silników indukcyjnych liniowych (SIL)	127

6.3.1. Klasyfikacja i cechy charakterystyczne	127
6.3.2. Obwodowa metoda projektowania SIL	132
6.3.3. Polowa metoda projektowania SIL	133
6.4. Wyniki obliczeń projektowych konstrukcji i charakterystyk SIL	134
6.4.1. Wstępny etap projektu	134
6.4.2. Finalne wyniki obliczeń projektowych	137
6.4.3. Przykładowe wyniki obliczeń charakterystyk ruchowych i parametrycznych	138
6.5. Konstrukcja i technologia modelu laboratoryjnego silnika liniowego asynchronicznego	142
6.5.1. Konstrukcja i technologia wzbudnika silnika	142
6.5.2. Konstrukcja i technologia bieżni silników	144
6.6. Metody badań i układy pomiarowe	145
6.6.1. Metodyka badań i plan eksperymentów	146
6.6.2. Elementy, przetworniki i układy pomiarowe	147
6.6.3. System przyrządów wirtualnych i struktura układu wirtualnego	150
6.7. Wybrane wyniki badań eksperymentalnych modelu laboratoryjnego SIL	152
6.7.1. Pomiary podstawowych parametrów silnika	152
6.7.2. Badania cieplne	153
6.7.3. Pomiary sił	154
6.7.4. Pomiary indukcji	156
6.7.5. Badania dynamiki modelu laboratoryjnego silnika	157
6.8. Struktura układu napędu i zasilania pojazdów PRT	159
6.9. Zagadnienie regulacji siły ciągu i prędkości silnika indukcyjnego liniowego	160
6.9.1. Wprowadzenie	160
6.9.2. Model dynamiczny silnika	161
6.9.3. Synteza układu regulacji siły ciągu i prędkości silnika	166
6.10. Konstrukcja modelu laboratoryjnego układu napędowego w skali	180
6.11. Układ bezstykowego zasilania pojazdów PRT	182
7. Symulacja w badaniach efektywności systemu PRT	193
7.1. Cele symulacji	193
7.2. Zasady symulacji sieci PRT	193
7.2.1. Symulacja sieci PRT	193
7.2.2. Środowisko symulacyjne	196
7.2.3. Model symulacyjny sieci PRT	196
7.3. Symulator zdarzeniowy	210
7.3.1. Struktura symulatora Feniks	210
7.3.2. Istota symulacji zdarzeniowej	212
7.3.3. Automatyzacja prowadzenia eksperymentów	220
7.4. Symulator oparty na automatach komórkowych	220
7.4.1. Wprowadzenie	220
7.4.2. Opis modelu	221
7.4.3. Algorytmy sterowania i zarządzania	222
7.4.4. Realizacja modelu	224
7.4.5. Ewolucja automatu komórkowego	224
7.5. Przykłady badań symulacyjnych	226
7.5.1. Wprowadzenie	226
7.5.2. Modele symulacyjne	227
7.5.3. Badanie algorytmów zarządzania pustymi pojazdami	229
7.5.4. Badanie nasycenia sieci	238
7.5.5. Badanie „imprezy masowej”	238

7.5.6. Badanie dynamicznego wyboru trasy	240
7.5.7. Badanie zasad pierwszeństwa	242
7.6. Wnioski	243
8. System informatyczny sterowania i zarządzania ruchem PRT	246
8.1. Struktura systemu	246
8.2. Centralny system sterujący	248
8.2.1. Stanowisko dyspozytora ruchowego	248
8.2.2. Stanowisko dyspozytora automatyki	249
8.2.3. System planowania ruchu i optymalizacji	249
8.3. Komputer koncentratora danych	251
8.4. Komputer obszarowy	252
8.5. System przystankowy	256
8.6. System transmisji bezprzewodowej	257
8.6.1. Wiadomości wstępne	257
8.6.2. Kanał transmisyjny systemu sterującego	259
8.6.3. Kanał transmisyjny systemu zarządzania ruchem	260
8.6.4. Kanał transmisyjny systemu kontrolno-diagnostycznego	260
8.6.5. Kanał transmisji głosu	261
8.6.6. Kanał transmisji obrazu	261
8.6.7. Analiza możliwości zastosowania różnych systemów transmisji	261
8.7. System pojazdowy	264
8.7.1. System komunikacyjny	264
8.7.2. Pojazdowy system sterujący	265
8.7.3. System komunikacji z pasażerem	266
8.7.4. Systemy kontrolno-diagnostyczne	268
8.8. Systemy dodatkowe	268
Bibliografia do części II	269
Część III Ekosamochód	279
9. Koncepcja pojazdu, jego zespoły mechaniczne i ergonomiczność	281
9.1. Koncepcja miejskiego samochodu elektrycznego	281
9.2. Zespoły mechaniczne ekosamochodu	282
9.2.1. Układy podwozia	282
9.2.2. Nadwozie i wnętrze	287
9.3. Ergonomiczność pojazdu	292
9.3.1. Wiadomości wstępne	292
9.3.2. Wybrane aspekty innowacyjności i funkcjonalności projektowanego pojazdu	293
9.3.3. Inteligentny interfejs kierowcy	298
9.3.4. Kształt nadwozia	300
10. Mechatroniczne i elektroniczne układy ekosamochodu	302
10.1. Układy sterowania nadrzędnego	302
10.2. Układ kierowniczy SBW (steer-by-wire)	304
10.2.1. Wymagania dotyczące układu kierowniczego SBW	305
10.2.2. Opis opracowanego układu kierowniczego SBW	305
10.3. Układ hamulcowy BBW (brake-by-wire)	307
10.3.1. Wymagania dotyczące układu hamulcowego BBW	308
10.3.2. Opis opracowanego układu hamulcowego BBW	308
10.4. Instalacja pneumatyczna pojazdu	310
10.5. Sterowanie mechanizmem dokowania wózka	313
10.6. Sterowanie mechanizmem fotela kierowcy	315
11. Parametry i warunki ruchu samochodu	317

- 11.1. Metodyka wyznaczania podstawowych parametrów technicznych napędu na podstawie analizy funkcji strat energii i kosztów budowy układu 317
 - 11.1.1. Model pojazdu 319
 - 11.1.2. Miarodajne warunki ruchu 320
- 11.2. Graniczna charakterystyka trakcyjna 320
 - 11.2.1. Wymagana siła maksymalna 320
 - 11.2.2. Przejazdy teoretyczne 321
- 11.3. Mapy strat energii elementów układu zasilania i napędu 322
 - 11.3.1. Funkcja strat energii silnika 322
 - 11.3.2. Funkcje strat energii falownika i akumulatora 325
- 11.4. Parametry znamionowe urządzeń 326
- 11.5. Maszyny elektryczne w układach napędowych samochodów 329
- 11.6. Konstrukcja maszyny elektrycznej do bezpośredniego napędu samochodu 331
- 11.7. Projektowanie maszyny elektrycznej 333
- 11.8. Budowa prototypu 339
- 11.9. Badania maszyny elektrycznej 344
 - 11.9.1. Wprowadzenie 344
 - 11.9.2. Stanowisko pomiarowe 345
 - 11.9.3. Przetworniki pomiarowe 346
 - 11.9.4. Wirtualny przyrząd pomiarowy 346
 - 11.9.5. Pomiar drgań i napięć indukowanych w stanie jałowym 347
 - 11.9.6. Pomiar momentu obrotowego w zależności od położenia kąтового zahamowanego wirnika 348
 - 11.9.7. Próba obciążenia w zakresie pracy prądnicowej 349
 - 11.9.8. Próba nagrzewania maszyny 351
 - 11.9.9. Pomiar rozkładu indukcji w szczelinie 353
 - 11.9.10. Pomiar indukcyjności 354
- 11.10. Przekształtnikowy układ napędowy dla dwusilnikowego pojazdu elektrycznego 356
 - 11.10.1. Wprowadzenie 356
 - 11.10.2. Przekształtnik napędowy 356
 - 11.10.3. Modulator szerokości impulsów dla przekształtnika napędowego 359
 - 11.10.4. Sterowanie silnikiem napędowym 363
 - 11.10.5. Elektroniczny układ różnicowy 367
 - 11.10.6. Model fizyczny przekształtnikowego układu napędowego 371
- 12. Hybrydowy magazyn energii miejskiego samochodu elektrycznego 375
 - 12.1. Wiadomości wstępne 375
 - 12.2. Elektrochemiczny magazyn energii 376
 - 12.3. Superkondensatorowy magazyn energii 378
 - 12.4. Topologia hybrydowego magazynu energii 379
 - 12.5. Układ sterowania hybrydowego źródła energii 382
 - 12.5.1. Wiadomości wstępne 382
 - 12.5.2. Regulator rozmyty 383
 - 12.5.3. Algorytm zarządzania mocą w hybrydowym źródle energii 384
 - 12.6. Testy komputerowe i laboratoryjne rozmytego regulatora dla magazynu bateryjno-superkondensatorowego 388
- 13. Badania symulacyjne własności jezdnych 395
 - 13.1. Wprowadzenie 395
 - 13.2. Zadania badawcze i zakres prac 396
 - 13.3. Struktura modelu człowiek-samochód-otoczenie 397
 - 13.4. Wzorzec manewru, model kierowcy i funkcja oceny 397

- 13.5. Elektroniczna regulacja różnicowa i układ kierowniczy steer-by-wire 400
- 13.6. Model pojazdu 401
- 13.7. Identyfikacja parametryczna 402
 - 13.7.1. Identyfikacja parametrów modelu samochodu 402
 - 13.7.2. Identyfikacja parametrów układu sterującego 404
- 13.8. Wyniki badań symulacyjnych 405
 - 13.8.1. Analiza porównawcza wpływu zmian konstrukcyjnych mechanizmu kierowniczego na przebieg ruchu modelu 405
 - 13.8.2. Wybór struktury i parametrów układu elektronicznej regulacji różnicowej 406
 - 13.8.3. Analiza własności jezdnych modelu podczas manewru zmiany pasa ruchu 407
 - 13.8.4. Test łosia 409
- Bibliografia do części III 411