

Spis treści

<b>Przedmowa</b>	<b>XXI</b>
<b>I. Modelowanie matematyczne</b>	
<b>Rozdział 1. Identyfikacja parametryczna dla sterowania odpornego</b> <i>Piotr Kulczycki</i>	<b>3</b>
1.1. Wstęp	3
1.2. Motywacja i sformułowanie zagadnienia	5
1.3. Preliminaria matematyczne: estymatory jądrowe	9
1.3.1. Przypadek jednowymiarowy	9
1.3.2. Przypadek wielowymiarowy	12
1.4. Procedura identyfikacji parametrycznej	13
1.4.1. Przypadek liniowy	13
1.4.2. Przypadek kwadratowy	15
1.5. Ujęcie warunkowe	17
1.6. Uogólnienia	19
1.7. Końcowe komentarze	21
Podziękowania	23
Literatura do rozdziału 1	23
Dodatek (rozwiązania równań różniczkowych z nieciągłą prawą stroną)	26
<b>Rozdział 2. Modele rurociągowych procesów przepływowych</b> <i>Zdzisław Kowalczyk, Marek Tatara</i>	<b>31</b>
2.1. Wstęp	31
2.2. Model bazowy procesu przepływu	32
2.3. Model aproksymacji diagonalnej	34
2.4. Analityczny model Thomasa	37
2.5. Model w stanie ustalonym	40
2.5.1. Zerowy kąt inklinacji, $\alpha = 0$	41
2.5.2. Niezerowy kąt inklinacji, $\alpha \neq 0$	41
2.5.3. Przykładowe zastosowania modelu	42
2.6. Analiza stabilności numerycznej	44
2.6.1. Model liniowy w stanie ustalonym	45
2.6.2. Maksymalny zapas stabilności	46
2.7. Porównanie modeli	52
2.7.1. Zgodność modeli	53
2.7.2. Czas obliczeń	54
2.8. Podsumowanie	55
Literatura do rozdziału 2	56

<b>Rozdział 3. Obserwatory w liniowych, nieskończone wymiarowych układach sterowania</b> <i>Zbigniew Emirsajłow</i>	<b>61</b>
3.1. Wprowadzenie	61
3.1.1. Oznaczenia i założenia	63
3.1.2. Podstawowe zależności wyjściowe	66
3.2. Algebraiczne równanie Sylwestera	68
3.3. Obiekt bez sterowania i zakłóceń	71
3.4. Obiekt ze sterowaniem, ale bez zakłóceń	73
3.5. Przypadek ogólny	75
3.5.1. Obserwator typu Luenbergera	79
3.6. Wnioski końcowe	80
Literatura do rozdziału 3	80

<b>Rozdział 4. Metody usuwania niegaussowskich szumów z sygnałów pomiarowych</b> <i>Jerzy Świątek, Krzysztof Brzostowski i Jarosław Drapała</i>	<b>83</b>
4.1. Wprowadzenie	83
4.2. Pomiary i szумы	84
4.2.1. Pomiary	84
4.2.2. Szумы	86
4.3. Charakterystyka szumów w czujnikach pomiarowych	88
4.3.1. Wariancja Allana	89
4.3.2. Typy szumów	89
4.3.3. Analiza wariancji Allana	93
4.4. Charakterystyka szumów w pomiarach przyspieszenia	94
4.5. Metody usuwania szumów	95
4.5.1. Filtr Kalmana	96
4.5.2. Rozszerzony filtr Kalmana	97
4.5.3. Bezśladowy filtr Kalmana	97
4.5.4. Filtr cząsteczkowy	98
4.5.5. Zagregowany filtr Kalmana	99
4.6. Uwagi końcowe	100
Literatura do rozdziału 4	100

<b>Rozdział 5. Modele niecałkowitego rzędu układów dynamicznych</b> <i>Andrzej Dzieliński, Grzegorz Sarwas, Dominik Sierociuk</i>	<b>103</b>
5.1. Wstęp	103
5.2. Ultrakondensatory	104
5.3. Wyprowadzenie modelu ultrakondensatora	106
5.4. Inne metody modelowania ultrakondensatorów	110
5.5. Właściwości modeli teoretycznych	113
5.5.1. Pełny model ultrakondensatora	113
5.5.2. Właściwości modelu Davidsona-Cole'a	114
5.6. Identyfikacja parametrów modeli ultrakondensatora	118
5.6.1. Modelowanie ultrakondensatorów przy użyciu modelu Davidsona-Cole'a	118
5.6.2. Modelowanie ultrakondensatorów przy użyciu pełnego modelu	122
5.6.3. Modelowanie ultrakondensatorów przy użyciu modelu	

połówkowego rzędu	124
5.7. Modelowanie ultrakondensatorów za pomocą sieci neuronowej niecałkowitego rzędu	127
5.7.1. Dyskretna sieć neuronowa niecałkowitego rzędu	128
5.7.2. Modelowanie ultrakondensatora przy użyciu DFONN	131
5.8. Podsumowanie	135
Literatura do rozdziału 5	136

## **Rozdział 6. Modele przełączane niecałkowitego rzędu**

<i>Stefan Domek</i>	<b>139</b>
6.1. Wprowadzenie	139
6.2. Idea modeli przełączanych	140
6.3. Modele dynamiczne niecałkowitego rzędu	144
6.3.1. Rachunek różniczkowy i różnicowy niecałkowitego rzędu	144
6.3.2. Dyskretny model dynamiczny niecałkowitego rzędu	145
6.3.3. Dyskretny model ułamkowy niecałkowitego rzędu ze skończoną pamięcią	146
6.4. Dyskretny model przełączany niecałkowitego rzędu w przestrzeni stanu	147
6.4.1. Wybór aktywnego modelu lokalnego	148
6.4.2. Strategie przełączania rzędu modeli	152
6.4.3. Przełączenie wywołane upośledzeniem pamięci	155
6.4.4. Podstawowe właściwości modeli przełączanych	156
6.5. Wykorzystanie dyskretnych modeli przełączanych niecałkowitego rzędu w regulacji predykcyjnej	158
6.6. Podsumowanie	164
Literatura do rozdziału 6	164

## **II. Sterowanie**

### **Rozdział 7. Nieliniowa regulacja predykcyjna** *Piotr Tatjewski,*

<i>Maciej Ławryńczuk</i>	<b>171</b>
7.1. Wprowadzenie	171
7.2. Zasada regulacji predykcyjnej MPC	172
7.3. Algorytmy regulacji predykcyjnej z optymalizacją nieliniową (MPC-NO)	174
7.4. Efektywne obliczeniowo nieliniowe algorytmy MPC z cykliczną linearyzacją	178
7.4.1. Algorytmy oparte na modelach typu wejście-wyjście	180
Przykład 7.1	189
7.4.2. Algorytmy oparte na modelach w przestrzeni stanu	191
Przykład 7.2	194
7.5. Współpraca algorytmów regulacji predykcyjnej i optymalizacji punktu pracy	197
7.6. Podsumowanie	201
Literatura do rozdziału 7	202

### **Rozdział 8. Dodatnie liniowe układy sterowania** *Tadeusz Kaczorek*

8.1. Wstęp	205
------------	-----

8.2. Dodatnie układy liniowe	206
8.2.1. Dodatnie, ciągłe układy liniowe	206
8.2.2. Dodatnie, dyskretne układy liniowe	207
8.2.3. Deskryptowe dodatnie układy ciągłe	208
8.2.4. Macierze transmitancji dodatnich deskryptowych układów liniowych	212
8.3. Uogólnienia twierdzenia Charitonowa na przedziałowe układy dyskretne	215
8.3.1. Twierdzenie Charitonowa oraz kombinacja wypukła wielomianów Hurwitza	215
8.3.2. Uogólnienie twierdzenia Charitonowa na dodatnie, liniowe ciągłe układy przedziałowe	216
8.3.3. Uogólnienie twierdzenia Charitonowa na dodatnie, liniowe, dyskretne układy przedziałowe	218
8.3.4. Wypukła kombinacja liniowa wielomianów Schura oraz stabilność dodatnich, liniowych układów przedziałowych	219
8.4. Deskryptowe układy liniowe	222
8.4.1. Dodatniość deskryptowych ciągłych układów liniowych	222
8.4.2. Wypukła kombinacja liniowa wielomianów Hurwitza oraz uogólnienie twierdzenia Charitonowa	224
8.4.3. Stabilność deskryptowych dodatnich układów liniowych z przedziałowymi macierzami stanu	225
8.4.4. Dodatnie, liniowe, dyskretne układy deskryptowe	228
8.4.5. Stabilność dodatnich, dyskretnych, liniowych układów deskryptowych	230
8.4.6. Stabilność dodatnich dyskretnych układów liniowych z przedziałowymi macierzami stanu	232
8.5. Podsumowanie	234
Podziękowanie	235
Literatura do rozdziału 8	235

<b>Rozdział 9. Sterowalność i stabilność układów semiliniowych ułamkowego rzędu</b> <i>Jerzy Klamka, Artur Babiarz, Adam Czornik, Michał Niezabitowski</i>	<b>239</b>
9.1. Wprowadzenie	239
9.2. Podstawowa notacja	242
9.3. Układy ułamkowe z rozłożonym opóźnieniem w sterowaniu	243
9.3.1. Układy ułamkowe z wielokrotnymi opóźnieniami w sterowaniu	244
9.3.2. Sterowalność semiliniowych układów ułamkowych z opóźnieniem	245
9.3.3. Sterowalność semiliniowych uwikłanych układów ułamkowego rzędu z opóźnieniem	246
9.4. Sterowalność semiliniowych układów ułamkowego rzędu w przestrzeniach nieskończone wymiarowych	247
9.4.1. Sterowalność aproksymacyjna semiliniowych układów ułamkowego rzędu	247
9.5. Stabilność układów ułamkowych	250
9.5.1. Istnienie rozwiązań	250
9.5.2. Równanie liniowe	251

9.5.3. Nieliniowe równanie	253
9.6. Podsumowanie	255
Podziękowania	255
Literatura do rozdziału 9	256

## **Rozdział 10. Symulacja komputerowa w analizie i projektowaniu systemów sterowania** *Ewa Niewiadomska-Szynkiewicz,*

<i>Krzysztof Malinowski</i>	<b>261</b>
10.1. Wprowadzenie	261
10.2. Złożone systemy i sterowanie	262
10.2.1. Złożone systemy	262
10.2.2. Struktury sterowania	264
10.3. Symulacja	266
10.3.1. Model symulacyjny	266
10.3.2. Techniki symulacyjne	268
10.3.3. Planowanie eksperymentu	271
10.4. Symulacja w projektowaniu systemów sterowania	271
10.5. Symulacja w analizie i wyznaczaniu sterowań	275
10.5.1. Układ symulator-optymalizator	275
10.5.2. Metody obliczeniowe	277
10.6. Przykłady zastosowania symulacji w projektowaniu układów sterowania i sterowaniu operacyjnym	284
10.6.1. Układ sterowania systemem zaopatrzenia w wodę	284
10.6.2. Układ sterowania zbiornikami w czasie powodzi	285
10.7. Zakończenie	289
Literatura do rozdziału 10	289

### **III. Optymalizacja**

## **Rozdział 11. Optymalizacja obserwacji w identyfikacji układów o parametrach rozłożonych** *Dariusz Uciński, Maciej Patan*

<i>Dariusz Uciński, Maciej Patan</i>	<b>295</b>
11.1. Wprowadzenie	295
11.1.1. Przykład motywujący	296
11.1.2. Przegląd literatury	299
11.1.3. Poszukiwanie optymalnych strategii aktywacji czujników	300
11.2. Problem rozmieszczania czujników pomiarowych	301
11.2.1. Kwantyfikacja dokładności estymacji	301
11.2.2. Konwersja problemu do poszukiwania optymalnych gęstości położeń czujników	303
11.3. Konwersja do problemu optymalizacji wag	304
11.4. Warunki optymalności a liniowa separowalność składowych gradientu	305
11.5. Algorytm numerycznej optymalizacji wag	305
11.5.1. Dekompozycja sympleksyjna dla problemu 11.2	305
11.5.2. Zakończenie algorytmu 11.1	307
11.5.3. Rozwiązanie problemu generowania kolumny	307
11.5.4. Rozwiązanie ograniczonego problemu głównego	308
11.6. Przetwarzanie końcowe promujące rzadką postać rozwiązania	309

11.7. Przykład obliczeniowy	311
11.8. Komentarze i uwagi końcowe	315
Literatura do rozdziału 11	317

<b>Rozdział 12. Optymalizacja dyskretna w informatyce przemysłowej</b> <i>Czesław Smutnicki</i>	<b>323</b>
12.1. Wstęp	323
12.2. Modelowanie	325
12.2.1. Badania operacyjne	325
12.2.2. Modele deterministyczne	326
12.2.3. Modele z danymi niepewnymi	328
12.2.4. Sieci Petriego	328
12.2.5. Systemy obsługi i sieci kolejkowe	329
12.2.6. Systemy zdarzeniowe	330
12.2.7. Systemy multimodalne	330
12.2.8. Symulacje	330
12.3. Metody	331
12.3.1. Reguły priorytetowe	333
12.3.2. Metody dokładne	334
12.3.3. Algorytmy aproksymacyjne	334
12.3.4. Systemy wspomaganie decyzji	335
12.3.5. Algorytmy z pamięcią adaptacyjną	337
12.3.6. Algorytmy równoległe	338
12.3.7. Problemy wielokryterialne	338
12.3.8. Wytwarzanie wsadowe a cykliczne	339
12.3.9. Problemy kolekcjonowania	341
12.4. Krajobraz przestrzeni	342
12.5. Wnioski i uwagi	344
Literatura do rozdziału 12	344

<b>Rozdział 13. Programowanie dynamiczne w warunkach nieprecyzyjnej i niepewnej informacji</b> <i>Janusz Kacprzyk</i>	<b>349</b>
13.1. Wprowadzenie	349
13.2. Zbiory rozmyte oraz deterministyczne, stochastyczne i rozmyte układy dynamiczne	351
13.2.1. Podstawowe elementy teorii zbiorów rozmytych	351
13.2.2. Deterministyczne, stochastyczne i rozmyte układy dynamiczne	357
13.3. Wieloetapowe podejmowanie decyzji i sterowanie w warunkach rozmytości	358
13.3.1. Podejmowanie decyzji w rozmytym otoczeniu - klasyczne podejście Bellmana i Zadeha	358
13.3.2. Wieloetapowe podejmowanie decyzji (sterowanie) w rozmytym otoczeniu	361
13.4. Wieloetapowe sterowanie rozmyte z ustalonym z góry czasem zakończenia	363
13.4.1. Sterowanie układem deterministycznym	364
13.4.2. Sterowanie układem stochastycznym	366
13.5. Wieloetapowe sterowanie rozmyte z nieskończonym czasem	

zakończenia	370
13.5.1. Sterowanie układem deterministycznym	371
13.5.2. Sterowanie układem stochastycznym	373
13.6. Przykłady zastosowań rozmytego programowania dynamicznego	375
13.7. Uwagi końcowe	376
Literatura do rozdziału 13	376

## **IV. Robotyka**

<b>Rozdział 14. Metoda endogenicznej przestrzeni konfiguracyjnej w robotyce</b> <i>Krzysztof Tchoń</i>	<b>383</b>
14.1. Wprowadzenie	383
14.2. Podstawowe pojęcia	385
14.2.1. Więzy w postaci Pfaffa	385
14.2.2. Proweniencja reprezentacji afinicznej	386
14.2.3. Odwzorowanie wejście-wyjście	389
14.2.4. Konfiguracje regularne i osobliwe	390
14.2.5. Sterowania osobliwe	391
14.2.6. Równoważność i postacie normalne	392
14.2.7. Zadanie planowania ruchu	392
14.3. Jakobianowe algorytmy planowania	393
14.3.1. Algorytm jakobianu odwrotnego	393
14.3.2. Algorytm dynamicznie zgodnej odwrotności jakobianu	395
14.3.3. Algorytm jakobianu transponowanego	396
14.3.4. Algorytm jakobianu rozszerzonego	397
14.3.5. Algorytm planowania z priorytetami	398
14.4. Wskaźniki jakości zachowania	399
14.4.1. Powtarzalność	401
14.5. Metody obliczeniowe	402
14.5.1. Podejście parametryczne	402
14.5.2. Podejście nieparametryczne	403
14.6. Zakończenie	404
Podziękowania	404
Bibliografia wybranych prac poświęconych metodzie endogenicznej przestrzeni konfiguracyjnej w porządku chronologicznym	404
Literatura	406

<b>Rozdział 15. Sterowanie formacją robotów mobilnych z wykorzystaniem funkcji sztucznych potencjałów</b> <i>Krzysztof Kozłowski, Wojciech Kowalczyk</i>	<b>409</b>
15.1. Wprowadzenie	409
15.2. Model robota	412
15.3. Funkcja sztucznego potencjału	412
15.4. Sterowanie z wykorzystaniem linearyzacji	412
15.4.1. Algorytm sterowania	413
15.4.2. Analiza stabilności	415
15.4.3. Symulacje numeryczne	417
15.5. Model systemu N robotów	419

15.6. Funkcja sztucznego potencjału dla robotów wchodzących w interakcje	419
15.7. Sterowanie z wykorzystaniem linearyzacji dla N robotów	419
15.7.1. Analiza stabilności dla systemu N robotów	421
15.7.2. Symulacje numeryczne	422
15.8. Algorytm sterowania z ustawicznym pobudzeniem	423
15.8.1. Algorytm sterowania	424
15.8.2. Analiza stabilności	424
15.8.3. Symulacje numeryczne	426
15.9. Algorytm sterowania z ustawicznym pobudzeniem dla N robotów	428
15.9.1. Analiza stabilności	428
15.9.2. Symulacje numeryczne	430
15.10. Algorytm orientowania pól wektorowych	431
15.10.1 Analiza stabilności	434
15.10.2 Symulacje numeryczne	438
15.11. Algorytm orientowania pól wektorowych dla N robotów	438
15.11.1 Analiza stabilności dla N robotów	440
15.11.2 Symulacje numeryczne	442
15.12. Podsumowanie	444
Literatura do rozdziału 15	444

**Rozdział 16. Metody syntezy chodu maszyn kroczących i robotów humanoidalnych** *Teresa Zielińska* **447**

16.1. Wstęp	447
16.2. Metody syntezy chodu robotów humanoidalnych	453
16.3. Wspomaganie dynamicznej stabilności chodu	455
16.4. Analiza sił działających na stopę	459
16.5. Wykorzystanie podatności do stabilizacji postury	461
16.5.1. Rozkłady sił na przykładzie chodu człowieka	461
16.5.2. Wpływ podatności na dynamiczną stabilność chodu	463
16.6. Podsumowanie i wnioski	465
Literatura do rozdziału 16	466

**Rozdział 17. Zastosowanie agentów upostaciowionych do projektowania systemów robotycznych** *Cezary Zieliński* **469**

17.1. Motywacja	469
17.2. Rys historyczny	470
17.2.1. Metody programowania robotów przemysłowych	471
17.2.2. Języki programowania robotów	472
17.2.3. Biblioteki wspomagające programowanie robotów	472
17.2.4. Programowe struktury ramowe dla robotów	472
17.2.5. Języki zorientowane dziedzinowo	473
17.2.6. Automatyczna generacja kodu	473
17.2.7. Architektury systemów robotycznych	474
17.3. Specyfikacja	474
17.4. Agent upostaciowiony	475
17.4.1. Struktura wewnętrzna agenta upostaciowionego	475
17.4.2. Sposób działania agenta upostaciowionego	477



17.5. Typy agentów	480
17.6. Procedura projektowa	481
17.7. Struktura systemów robotycznych	482
17.8. Systemy o strukturze niezmiennej	483
17.8.1. Systemy jednoagentowe jednorobotowe	483
17.8.2. Systemy wieloagentowe jednorobotowe	484
17.8.3. Systemy wieloagentowe wielorobotowe	486
17.9. Systemy o zmiennej strukturze	490
17.10. Podsumowanie	492
Literatura do rozdziału 17	492

## **V. Inteligencja obliczeniowa i wspomaganie decyzji**

<b>Rozdział 18. Sterowanie tolerujące uszkodzenia: rozwiązania analityczne i sztucznej inteligencji</b> <i>Józef Korbicz, Krzysztof Patan, Marcin Witczak</i>	<b>503</b>
18.1. Sterowanie tolerujące uszkodzenia	503
18.2. Przegląd rozwiązań FTC	505
18.2.1. Pasywne FTC	505
18.2.2. Aktywne FTC: restrukturyzowalne i rekonfigurowalne	506
18.2.3. Wirtualne czujniki i urządzenia wykonawcze	507
18.3. Estymacja uszkodzeń	508
18.4. Kompensacja uszkodzeń	510
18.5. Przykład - układ dwóch zbiorników	512
18.6. Neuronowe sterowanie predykcyjne	514
18.6.1. Moduł diagnostyczny	517
18.6.2. Estymacja uszkodzenia czujnika pomiarowego	518
18.7. Przykład - układ zbiornika przepływowego	519
18.7.1. Modelowanie	520
18.7.2. Sterowanie	520
18.7.3. Tolerowanie uszkodzeń	520
18.8. Podsumowanie	522
Literatura do rozdziału 18	523

<b>Rozdział 19. Podejście systemowe w złożonych zagadnieniach podejmowania i wspomaganie decyzji</b> <i>Jerzy Józefczyk, Maciej Hojda</i>	<b>527</b>
19.1. Wprowadzenie	527
19.2. Pojęcia wstępne	529
19.3. Łączne szeregowanie zadań oraz sterowanie jazdą realizatorów	530
19.3.1. Dwupoziomowy algorytm podejmowania decyzji	531
19.3.2. Reaktywne podejmowanie decyzji	535
19.3.3. Podejmowanie decyzji dla systemów wielorobotowych	536
19.3.4. Problemy pokrewne	538
19.4. Łączna alokacja surowców oraz transport surowców i produktów w łańcuchu dostaw	539
19.5. Przyjmowanie zgłoszeń i wyznaczanie szybkości transmisji w sieciach komputerowych	543

19.6. Inne problemy i podsumowanie	547
Literatura do rozdziału 19	549
<b>Rozdział 20. Wybrane metody sterowania statkiem</b>	
<i>Roman Śmierzchalski, Anna Witkowska</i>	<b>553</b>
20.1. Wstęp	553
20.2. Wybrane problemy sterowania statkiem dynamicznie pozycjonowanym	554
20.2.1. Model statku DP	556
20.2.2. Struktura systemu DP	558
20.2.3. Przegląd wybranych metod dynamicznego pozycjonowania statku	560
20.3. Wspomaganie decyzji w sytuacji kolizyjnej na morzu	563
20.3.1. Unikanie kolizji na morzu	563
20.3.2. Wspomaganie decyzji nawigatora w sytuacji kolizyjnej	564
20.3.3. Inteligentne metody sterowania statkiem i wspomaganie decyzji	567
20.3.4. Planowanie ścieżek przejść unikania kolizji w ujęciu ewolucyjnym	568
20.3.5. Ewolucyjna metoda unikania kolizji na morzu	569
20.4. Podsumowanie	573
Literatura do rozdziału 20	574
<b>Rozdział 21. Diagnostyka on-line procesów przemysłowych dużej skali</b> <i>Jan Maciej Kościelny</i>	<b>581</b>
21.1. Wprowadzenie: stan wiedzy a praktyka diagnostyki on-line złożonych procesów przemysłowych	581
21.2. Podstawowe problemy diagnostyki on-line procesów złożonych	584
21.2.1. Rozróżnialność uszkodzeń	585
21.2.2. Uszkodzenia wielokrotne	588
21.2.3. Niepewności diagnozowania	589
21.2.4. Dekompozycja obiektu i diagnozowanie w strukturach zdecentralizowanych	593
21.2.5. Zastosowanie grafowych modeli w projektowaniu systemów diagnostyki procesów przemysłowych	596
21.3. Metody i systemy diagnozowania procesów dużej skali	598
21.4. Podsumowanie - znaczenie diagnostyki on-line w zapewnieniu bezpieczeństwa procesów	599
Literatura do rozdziału 21	601
<b>Rozdział 22. Zastosowania metod inteligencji obliczeniowej do sterowania i diagnostyki</b> <i>Jacek Kluska, Tomasz Żabiński, Tomasz Mączka</i>	<b>607</b>
22.1. Wstęp	607
22.2. Charakterystyka badań w zakresie adaptacyjnej regulacji rozmytej	608
22.3. Układ regulacji zawierający regulator PID-FC lub jego odmiany	609
22.4. Warunki stabilności absolutnej	610
22.5. Regulator rozmyty jako system regułowy typu P1-TS	612

22.6. Idea adaptacji	616
22.7. Procedura projektowania adaptacyjnego regulatora PID-FC	618
22.8. Wnioski dotyczące procedury projektowania adaptacyjnego regulatora PID-FC	619
22.9. System inteligentnej diagnostyki maszyn i procesów technologicznych w czasie rzeczywistym	620
22.9.1. Przewidywanie uszkodzeń w procesie technologicznym kucia na zimno	622
22.9.2. Diagnostowanie mechanicznego niewyważenia głowicy frezarskiej maszyny CNC	623
22.10. Wnioski dotyczące diagnostyki maszyn i procesów technologicznych w czasie rzeczywistym	625
Literatura do rozdziału 22	625

## **VI. Zastosowania**

### **Rozdział 23. Konsekwencje emisji zanieczyszczeń do atmosfery i związane z tym wyzwania modelowe** *Zbigniew Nahorski,*

<i>Piotr Holnicki</i>	<b>631</b>
23.1. Wprowadzenie	631
23.2. Skala przestrzenno-czasowa w procesach propagacji zanieczyszczeń powietrza	632
23.3. Zintegrowane modelowanie atmosferyczne	635
23.4. Szacowanie emisji	636
23.5. Opis procesu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w średniej skali	643
23.6. Przykłady zastosowań średnioskalowych modeli transportu zanieczyszczeń	645
23.6.1. Rozkłady stężenia zanieczyszczeń w mieście	646
23.6.2. Ocena jakości modeli dyspersji zanieczyszczeń	648
23.7. Wskaźniki oddziaływania zanieczyszczeń na zdrowie	649
23.8. Ograniczanie emisji	653
23.8.1. Polityki ograniczania emisji	653
23.8.2. Programy i projekty ograniczania emisji	655
23.8.3. Wpływ ograniczania emisji na rozwój gospodarczy	657
23.9. Zakończenie	659
Podziękowania	660
Literatura do rozdziału 23	660
Pozycje literatury, w których występują autorzy z afiliacją IBS PAN, z Zakładu Modelowania Komputerowego	660
Inne pozycje literatury cytowane w tekście	665

### **Rozdział 24. Układy sterowania z przełączeniami jako modele modułów regulacyjnych w sieciach genowo-komórkowych**

<i>Andrzej Świerniak, Magdalena Ochab, Krzysztof Puszyński</i>	<b>667</b>
24.1. Wstęp	667
24.2. Układy z przełączeniami	669
24.2.1. Układy z przełączeniami zależnymi od stanu układu	669

24.2.2. Układy z przełącznikami zależnymi od czasu	669
24.3. Sieci genowo-białkowe	670
24.3.1. Sprzężenia zwrotne	670
24.3.2. Regulacja procesów komórkowych i jej modelowanie	670
24.3.3. Białko p53	671
24.4. Analiza układów z przełącznikami	672
24.4.1. Stabilność układów z przełącznikami	672
24.4.2. Rozwiązanie analityczne	673
24.4.3. Analiza układów kawałkami liniowych	676
24.5. Podsumowanie	688
Literatura do rozdziału 24	689

**Rozdział 25. Modelowanie procesów przewodnictwa ciepła i sterowanie nimi** *Wojciech Mitkowski, Krzysztof Oprzędkiewicz* **693**

25.1. Wstęp	693
25.2. Nagrzewanie pręta	694
25.3. Grzanie przewodu prądem elektrycznym	697
25.4. Sterowanie frontem przemiany fazowej	700
25.5. Nagrzewanie cienkich słabów w piecu grzewczym	703
25.6. Modele cząstkowe niecałkowitego rzędu	707
25.7. Uwagi końcowe	709
Literatura do rozdziału 25	709

**Rozdział 26. Aktywne tłumienie niestacjonarnych wąskopasmowych zakłóceń akustycznych** *Maciej Niedźwiecki, Michał Meller* **713**

26.1. Wstęp	713
26.2. Sformułowanie problemu	717
26.3. Tłumienie z wykorzystaniem sprzężenia zwrotnego	718
26.3.1. Sterowanie w warunkach pełnej wiedzy o obiekcie i zakłóceniu	718
26.3.2. Sterowanie w warunkach pełnej wiedzy o obiekcie i cząstkowej wiedzy o zakłóceniu (znana pulsacja)	718
26.3.3. Sterowanie w warunkach niepełnej wiedzy o obiekcie i cząstkowej wiedzy o zakłóceniu (znana pulsacja)	719
26.3.4. Sterowanie w warunkach niepełnej wiedzy o obiekcie i niepełnej wiedzy o zakłóceniu	723
26.4. Tłumienie z wykorzystaniem sprzężenia zwrotnego i sprzężenia wyprzedzającego	727
26.5. Rozszerzenia	730
26.5.1. Zalecane zabezpieczenia	730
26.5.2. Dostosowanie regulatora SONIC do pracy z sygnałami rzeczywistymi	730
26.5.3. Zastosowanie udoskonalonych metod estymacji częstotliwości chwilowej	732
26.5.4. Rozszerzenie na przypadek zakłóceń wieloczęstotliwościowych	733
26.5.5. Rozszerzenie na przypadek wielowymiarowy	733
26.5.6. Uodpornienie regulatora na działanie zakłóceń impulsowych	735
Literatura do rozdziału 26	736

<b>Rozdział 27. Metody redukcji hałasu urządzeń</b> <i>Marek Pawelczyk, Stanisław Wrona, Krzysztof Mazur</i>	<b>741</b>
27.1. Wstęp	741
27.2. Obiekt i jego model matematyczny	745
27.2.1. Modelowanie matematyczne	746
27.3. Optymalizacja rozmieszczenia elementów wykonawczych	749
27.4. Redukcja pasywna	751
27.5. Sterowanie półaktywne	752
27.6. Sterowanie aktywne	753
27.6.1. Badania eksperymentalne	756
27.7. Podsumowanie	757
Podziękowania	760
Literatura do rozdziału 27	760
<b>Indeks</b>	<b>763</b>

oprac. BPK