

# Spis treści

<b>1. Wprowadzenie</b> — <i>J. M. Kościelny</i> .....	1
1.1. Struktury systemów sterowania .....	1
1.2. Kierunki rozwoju współczesnych systemów automatyki .....	5
1.3. Nowe funkcje zaawansowanych systemów automatyki .....	7
Bibliografia .....	11
<b>2. Wprowadzenie do systemu <i>DiaSter</i></b> — <i>J. M. Kościelny, M. Syfert,</i> <i>P. Wnuk</i> .....	15
2.1. Zadania i struktura systemu .....	15
2.1.1. Przeznaczenie systemu .....	15
2.1.2. Funkcje systemu .....	17
2.1.2.1. Przetwarzanie zmiennych procesowych .....	17
2.1.2.2. Symulacja i modelowanie .....	17
2.1.2.3. Symulatory procesów .....	18
2.1.2.4. Wirtualne sensory i analizatory .....	20
2.1.2.5. Detekcja uszkodzeń .....	21
2.1.2.6. Diagnostyka uszkodzeń .....	21
2.1.2.7. Monitorowanie stopnia degradacji aparatów technologicznych .....	23
2.1.2.8. Wspomaganie decyzji operatorów .....	24
2.1.2.9. Odkrywanie wiedzy w bazach danych .....	24
2.1.2.10. Sterowanie nadrzędne i optymalizacja procesów .....	25
2.1.2.11. Nadrzędne strojenie i adaptacja pętli regulacyjnych .....	25
2.1.2.12. Struktura systemu .....	25
2.2. Platforma programowa .....	27
2.2.1. Model informacyjny oraz konfiguracja systemu .....	29

2.2.2. Centralna baza danych archiwalnych oraz bazy danych użytkowników .....	33
2.2.3. Wymiana danych .....	37
2.2.3.1. Komunikacja modułów systemu .....	37
2.2.3.2. Sprzęgnięcie z systemami zewnętrznymi .....	40
2.2.4. Moduł modelowania .....	41
2.2.4.1. Struktura pakietu .....	41
2.2.4.2. Moduł wstępnego przetwarzania danych .....	42
2.2.4.3. Moduł identyfikacji modeli .....	43
2.2.4.4. Mechanizm wtyczek .....	44
2.2.4.5. Rozproszone środowisko obliczeniowe .....	45
2.2.5. Moduł obliczeniowy .....	47
2.2.5.1. Bloki funkcyjne .....	48
2.2.5.2. Ścieżki przetwarzania .....	49
2.2.5.3. Zmienne wewnętrzne .....	50
2.2.5.4. Tryby pracy modułu i metody synchronizacji danych .....	51
2.2.6. Moduł wizualizacji .....	52
<b>3. Modele procesów</b> — <i>K. Janiszowski, J. Korbicz, K. Patan, M. Witczak</i> .....	59
3.1. Wprowadzenie .....	59
3.2. Modele analityczne i modelowanie .....	61
3.2.1. Siłownik pneumatyczny sterowany serwozaworem – model działania zespołu .....	62
3.2.2. Siłownik pneumatyczny sterowany serwozaworem – model blokowy zespołu .....	67
3.2.3. Model przeciwprądowego wymiennika ciepła .....	69
3.2.4. Metody całkowania i zagadnienia numeryczne związane z symulacją modeli analitycznych .....	75
3.2.5. Dobór kroku całkowania .....	76
3.3. Modele liniowe – lokalne przybliżenie właściwości dynamicznych .....	76
3.3.1. Wyznaczanie współczynników modeli analitycznych – <i>PEXSim</i> Optimizer .....	84
3.3.2. Obserwatory stanu procesu .....	87
3.4. Modele neuronowe .....	90
3.4.1. Perceptron wielowarstwowy .....	90

3.4.2. Sieci neuronowe z liniami opóźniającymi .....	91
3.4.3. Sieci rekurencyjne .....	93
3.4.4. Sieci neuronowe przestrzeni stanów .....	95
3.4.5. Sieci lokalnie rekurencyjne .....	97
3.4.5.1. Sieć z jedną warstwą ukrytą .....	98
3.4.5.2. Sieć z dwiema warstwami ukrytymi .....	99
3.4.5.3. Kaskadowa sieć lokalnie rekurencyjna .....	100
3.4.5.4. Uczenie sieci lokalnie rekurencyjnych .....	102
3.4.5.5. Neuronowy model silnika elektrycznego .....	102
3.4.6. Sieci neuronowe typu GMDH .....	103
3.4.6.1. Synteza modeli GMDH .....	105
3.4.6.2. Kryteria oceny modeli cząstkowych .....	109
3.4.6.3. Metody selekcji modeli cząstkowych w sieci GMDH ....	111
3.4.7. Implementacja modeli neuronowych w platformie <i>DiaSter</i> .....	113
3.5. Modele parametryczne .....	114
3.5.1. Liniowe modele parametryczne i metody identyfikacji współczynników .....	115
3.5.2. Przykładowy przebieg identyfikacji .....	122
3.6. Rozmyte modele dynamiki procesu .....	126
3.6.1. Model rozmyty TSK dla napędu pneumatycznego .....	130
Bibliografia .....	134
<b>4. Odkrywanie wiedzy w bazach danych — W. Moczulski, R. Szulim, P. Tomasik, D. Wachla .....</b>	<b>139</b>
4.1. Wprowadzenie .....	139
4.2. Selekcja zmiennych wejściowych modeli .....	141
4.2.1. Algorytm <i>Correlation-based Feature Selection</i> .....	142
4.2.2. Miary korelacyjne .....	144
4.2.3. Przeszukiwanie przestrzeni cech .....	145
4.3. Odkrywanie zależności o charakterze jakościowym .....	147
4.4. Odkrywanie zależności o charakterze ilościowym .....	149
4.4.1. Metoda wektorów wspomagających .....	149
4.4.1.1. Model liniowy .....	150
4.4.1.2. Model nieliniowy .....	153
4.4.1.3. Model regresyjny .....	154
4.4.1.4. Przykłady zastosowania .....	157

4.4.2. Metody wnioskowania bazującego na przykładach	157
4.4.2.1. Modele aproksymacyjne procesów cyklicznych	162
4.4.2.2. Modele bazujące na opisie rozmytym procesów cyklicznych	171
4.5. Podsumowanie	182
Bibliografia	183
<b>5. Symulatory procesów — K. Janiszowski</b>	187
5.1. Symulacja procesów dynamicznych	187
5.2. Możliwości prowadzenia symulacji w pakiecie <i>PExSim</i>	188
5.2.1. Wtyczka i jej modelowanie ( <i>Options &amp; Execution control</i> )	188
5.2.2. Ścieżka i podścieżka ( <i>Ports &amp; Subsystems, Signal routing</i> )	190
5.2.3. Operatory algebraiczne sygnałów ( <i>Mathematic operator,         Non-linear elements</i> )	191
5.2.4. Operatory statystyczne ( <i>Statistic operators, Filtering,         Heuristic tests</i> )	191
5.2.5. Operatory logiczne i dyskretne ( <i>Crisp logic, Fuzzy logic,         Discrete operations</i> )	192
5.2.6. Operatory sterowań i rozgałęzień ( <i>Execution control,         Signal routing</i> )	192
5.2.7. Źródła sygnałów ( <i>Sources, Controllers</i> )	192
5.2.8. Wyjścia sygnałów ( <i>Sinks</i> )	192
5.2.9. Modele bloków dynamicznych liniowych ( <i>Linear dynamic,         Discrete operations</i> )	193
5.2.10. Modele bloków dynamicznych nieliniowych ( <i>Non-linear dynamic</i> )	193
5.2.11. Dynamiczne modele parametryczne ( <i>MITforD models</i> )	194
5.2.12. Dynamiczne modele szablonowe ( <i>Controllers, Electric         Components, Heat Exchange Components, Hydraulic         Elements, Pneumatic Elements, Robotic Elements,         WWT Elements, WDS Elements</i> )	194
5.3. Zastosowanie symulatorów do rozwiązywania problemów technicznych ( <i>modelowanie konstrukcji napędu głównego     nowoczesnej wtryskarki HSIMM</i> )	197

Bibliografia .....	210
<b>6. Metody diagnostyki</b> — <i>W. Cholewa, J. Korbicz, J. M. Kościelny</i> <i>P. Chrzanowski, K. Patan, T. Rogala, M. Syfert, M. Witczak</i> .....	211
6.1. Specyfika diagnostyki procesów przemysłowych .....	211
6.2. Metody detekcji uszkodzeń .....	213
6.3. Odporna detekcja uszkodzeń .....	217
6.3.1. Odporny model neuronowy – podejście pasywne .....	219
6.3.2. Odporny dynamiczny model neuronowy – podejście aktywne ...	222
6.3.3. Rozmyte progowanie adaptacyjne – podejście pasywne .....	225
6.3.4. Przykłady konstruowania modeli odpornych .....	228
6.3.4.1. Realizacja neuronowa modelowania niepewności modelu .....	228
6.3.4.2. Realizacja rozmytego progu adaptacyjnego .....	230
6.3.4.3. Realizacja odpornego modelu GMDH .....	232
6.3.5. Implementacja modeli neuronowych w platformie <i>DiaSter</i> .....	234
6.3.5.1. Wtyczka LRGFnet .....	235
6.3.5.2. Wtyczka GMDHnet .....	237
6.4. Lokalizacja uszkodzeń procesów z zastosowaniem logiki rozmytej .....	238
6.4.1. Formy zapisu relacji diagnostycznej .....	238
6.4.2. Algorytmy wnioskowania dla uszkodzeń pojedynczych i wielokrotnych .....	244
6.4.2.1. Wnioskowanie przy założeniu uszkodzeń pojedynczych .	246
6.4.2.2. Wnioskowanie przy założeniu uszkodzeń wielokrotnych .	252
6.4.2.3. Sposoby uwzględnienia opóźnień powstawania symptomów .....	253
6.4.3. Algorytmy diagnozowania w strukturze hierarchicznej .....	255
6.4.3.1. Dekompozycja algorytmów diagnostycznych .....	257
6.4.3.2. Wnioskowanie realizowane na poziomie podsystemów ...	260
6.4.3.3. Uzgadnianie diagnoz na poziomie nadrzędnym .....	261
6.4.3.4. Problem uszkodzeń krotnych .....	264
6.4.3.5. Uproszczone wnioskowanie w strukturze hierarchicznej .	269
6.4.4. Metody śledzenia uszkodzeń narastających .....	273
6.4.4.1. Algorytm detekcji .....	274
6.4.4.2. Algorytm śledzenia stopnia degradacji .....	275
6.4.4.3. Biblioteka <i>incipient-FDP</i> .....	276

6.4.4.4. Przykład zastosowania .....	277
6.5. Diagnostyka z zastosowaniem sieci przekonań .....	279
6.5.1. Wprowadzenie .....	279
6.5.1.1. Diagnostyka wsparta modelami .....	280
6.5.1.2. Diagnostyka symptomowa .....	280
6.5.1.3. Model diagnostyczny .....	281
6.5.1.4. Istota działania modelu diagnostycznego .....	281
6.5.2. Model diagnostyczny bazujący na sieci przekonań .....	283
6.5.2.1. Struktura modelu .....	283
6.5.2.2. Elementy kolejnych stopni modelu .....	285
6.5.3. Obrazy danych wejściowych .....	286
6.5.3.1. Transformacja danych za pomocą klasyfikatorów .....	287
6.5.3.2. Wybrane przykłady klasyfikatorów .....	289
6.5.3.3. Uczenie i definiowanie klasyfikatorów .....	292
6.5.4. Zmienne dodatkowe i możliwości ich uzgadniania .....	293
6.5.4.1. Bloki uzgadniające .....	294
6.5.4.2. Zastosowanie metod rachunku wyrównawczego .....	295
6.5.5. Sieci przekonań .....	297
6.5.5.1. Modele stosujące grafy .....	297
6.5.5.2. Dekompozycja rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej losowej .....	297
6.5.5.3. Przykłady prostej sieci przekonań .....	299
6.5.5.4. Stosowanie sieci przekonań .....	299
6.5.6. Sieci stwierdzeń .....	300
6.5.6.1. Fakty, stwierdzenia i ich interpretacja .....	301
6.5.6.2. Stwierdzenia o stanie obiektu .....	302
6.5.6.3. Prezentacja danych wyjściowych .....	303
6.5.7. Identyfikacja i strojenie modelu .....	304
6.5.7.1. Identyfikacja wyjściowej wersji modelu .....	305
6.5.7.2. Strojenie modelu .....	305
6.5.8. Podsumowanie .....	307
Bibliografia .....	308
<b>7. Metody sterowania nadrzędnego</b> — <i>P. Tatjewski, L. Trybus,</i> <i>M. Ławryńczuk, P. Marusak, Z. Świder, A. Stec,</i> .....	317
7.1. Regulacja predykcyjna i optymalizacja punktów pracy procesów .....	318

7.1.1. Zasada regulacji predykcyjnej .....	318
7.1.2. Algorytm DMC .....	323
7.1.2.1. Algorytm DMC w wersji analitycznej .....	326
7.1.2.2. Algorytm DMC w wersji numerycznej .....	329
7.1.3. Algorytm GPC .....	330
7.1.4. Regulacja predykcyjna nieliniowa .....	333
7.1.4.1. Algorytmy MPC z optymalizacją na modelu nieliniowym .....	333
7.1.4.2. Algorytmy MPC z linearyzacją modelu nieliniowego ....	333
7.1.5. Modele rozmyte i neuronowe w nieliniowych algorytmach MPC .....	336
7.1.6. Optymalizacja punktów pracy .....	338
7.1.6.1. Warstwa optymalizacji punktu pracy .....	338
7.1.6.2. Optymalizacja punktu pracy pomocnicza dla MPC ....	340
7.1.7. Przykłady zastosowań .....	343
7.1.7.1. Reaktor z reakcją van de Vusse'a .....	343
7.1.7.2. Dwuwymiarowy reaktor chemiczny .....	346
7.2. Nadrzędne strojenie i adaptacja pętli regulacyjnych .....	349
7.2.1. Metoda odpowiedzi skokowej .....	350
7.2.1.1. Identyfikacja modelu .....	351
7.2.1.2. Nastawy regulatorów PI, PID .....	354
7.2.1.3. Wyniki wstępnego strojenia .....	356
7.2.1.4. Dostrajanie przez korygowanie wzmocnienia .....	357
7.2.2. Strojenie przekąźnikowe .....	358
7.2.2.1. Zasady ogólne .....	359
7.2.2.2. Nastawy Åströma-Hägglunda .....	360
7.2.2.3. Wyniki dla wzorcowych obiektów .....	362
7.2.2.4. Problem oszacowania opóźnienia .....	363
7.2.3. Dostrajanie i adaptacja .....	365
7.2.3.1. Przeregulowanie, tłumienie i częstotliwość a nastawy ...	366
7.2.3.2. Dostrajanie dla znanego $\tau//T$ .....	368
7.2.3.3. Adaptacja przy nieznanym $\tau//T$ .....	370
7.2.3.4. Uzupełnienia dla implementacji .....	372
7.3. Sterowanie nadrzędne .....	374
7.3.1. Zasada sterowania SPC .....	374

7.3.2. Przykład realizacji układu SPC .....	375
7.3.3. Samostrojzenie przekąźnikowe w systemie <i>DiaSter</i> .....	377
Bibliografia .....	379
<b>8. Zastosowanie systemu <i>DiaSter</i> — M. Syfert, P. Chrzanowski, B. Fajdek, M. Ławryńczuk, P. Marusak, K. Patan, T. Rogala, A. Stec, M. Witczak .....</b>	<b>383</b>
8.1. Wprowadzenie .....	383
8.2. Zespół trzech zbiorników – obiekt sterowania i diagnostyki .....	384
8.3. Aplikacja modułów i pakietów systemu <i>DiaSter</i> .....	385
8.3.1. Symulatory obiektów – symulator TZ .....	385
8.3.2. Symulacja i identyfikacja modeli TSK – odtwarzanie zmiennych procesowych .....	393
8.3.3. Śledzenie uszkodzeń powoli narastających .....	397
8.3.4. Bieżąca diagnostyka procesu .....	401
8.3.4.1. Etapy realizacji systemu diagnostycznego .....	402
8.3.4.2. Przykładowe testy systemu .....	409
8.3.5. Samostrojzenie – dobór nastaw regulatora PID .....	414
8.3.5.1. Schemat pętli regulacyjnej .....	414
8.3.5.2. Odpowiedź skokowa obiektu .....	418
8.3.5.3. Strojzenie przekąźnikowe .....	420
8.3.6. Regulacja predykcyjna w warunkach ograniczeń i awarii .....	422
8.3.6.1. Regulacja DMC w warunkach ograniczeń .....	422
8.3.6.2. Regulacja DMC w sytuacjach awaryjnych .....	423
8.3.7. Modele neuronowe i ich zastosowanie .....	425
8.3.7.1. Sieci lokalnie rekurencyjne .....	425
8.3.7.2. Dynamiczne sieci GMDH .....	431
8.3.8. Sieci przekonanych w układzie diagnostyki .....	434
8.3.8.1. Identyfikacja modelu BNBM .....	435
8.3.8.2. Testowanie modelu BNBM .....	440
Bibliografia .....	443
Podziękowania .....	443