

## SPIS TREŚCI

|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Przedmowa .....</b>                                            | <b>9</b>  |
| <b>1. Wstęp .....</b>                                             | <b>11</b> |
| 1.1. Układy i modele .....                                        | 11        |
| 1.2. Cele i etapy modelowania .....                               | 13        |
| 1.3. Tematyka opracowania .....                                   | 14        |
| <b>2. Modele układów ciągłych .....</b>                           | <b>16</b> |
| 2.1. Metody opisu układów ciągłych .....                          | 16        |
| 2.1.1. Równania stanu .....                                       | 17        |
| 2.1.2. Równania różniczkowe .....                                 | 17        |
| 2.1.3. Funkcje przejścia .....                                    | 17        |
| 2.1.4. Opis całościowy lub strukturalny .....                     | 18        |
| 2.1.5. Macierzowe funkcje przejścia .....                         | 18        |
| 2.2. Metody określania równań stanu układu jednowymiarowego ..... | 19        |
| 2.2.1. Metoda ogólna .....                                        | 19        |
| 2.2.2. Metoda kolejnych całkowań .....                            | 20        |
| 2.2.3. Metoda mieszana .....                                      | 21        |
| 2.2.4. Metoda zmiennej pomocniczej .....                          | 22        |
| 2.2.5. Metoda szeregową .....                                     | 22        |
| 2.2.6. Metoda równoległa .....                                    | 23        |
| 2.2.7. Przykłady określania równań stanu .....                    | 24        |
| 2.3. Metody określania równań stanu układu wielowymiarowego ..... | 25        |
| 2.3.1. Układ o jednym wejściu i $q$ wyjściach .....               | 26        |
| 2.3.2. Układ o $r$ wejściach i jednym wyjściu .....               | 26        |
| 2.3.3. Układ o $r$ wejściach i $q$ wyjściach .....                | 27        |
| 2.4. Określanie wartości początkowych zmiennych stanu .....       | 30        |
| 2.5. Określanie wartości zmiennych wyjściowych .....              | 32        |
| <b>3. Modele układów dyskretnych .....</b>                        | <b>33</b> |
| 3.1. Metody opisu układów dyskretnych .....                       | 34        |
| 3.1.1. Opis sygnału dyskretnego .....                             | 34        |
| 3.1.2. Opis dyskretny części ciągłej .....                        | 35        |
| 3.2. Określanie równań stanu .....                                | 36        |
| 3.2.1. Metoda ogólna .....                                        | 36        |
| 3.2.2. Metoda kanoniczna .....                                    | 37        |

|           |                                                                      |           |
|-----------|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.3.    | Metoda zmiennej pomocniczej .....                                    | 37        |
| 3.2.4.    | Przykład wyznaczania równań stanu .....                              | 38        |
| <b>4.</b> | <b>Schematy różnicowe modeli układów ciągłych .....</b>              | <b>40</b> |
| 4.1.      | Numeryczne metody rozwiązywania równań różniczkowych .....           | 41        |
| 4.1.1.    | Metody Rungego-Kutty .....                                           | 42        |
| 4.1.2.    | Metody wielokrokowe .....                                            | 46        |
| 4.1.3.    | Zbieżność i stabilność schematów różnicowych .....                   | 50        |
| 4.1.4.    | Realizacja schematów niejawnych .....                                | 53        |
| 4.2.      | Metody przybliżonego opisu dyskretnego .....                         | 55        |
| 4.3.      | Metoda dyskretyzacji odpowiedzi czasowej .....                       | 57        |
| <b>5.</b> | <b>Modele układów zdarzeń dyskretnych .....</b>                      | <b>60</b> |
| 5.1.      | Zdarzenie, działanie, proces .....                                   | 60        |
| 5.2.      | Modelowanie upływu czasu .....                                       | 62        |
| 5.3.      | Koncepcja planowania zdarzeń .....                                   | 62        |
| 5.4.      | Koncepcja wyboru działania .....                                     | 64        |
| 5.5.      | Koncepcja interakcji procesów .....                                  | 66        |
| 5.6.      | Listy i zbiory .....                                                 | 67        |
| 5.7.      | Gromadzenie danych .....                                             | 67        |
| 5.8.      | Generatory liczb losowych .....                                      | 69        |
| 5.8.1.    | Generatory liczb losowych o rozkładzie równomiernym .....            | 70        |
| 5.8.2.    | Generacja liczb losowych o dowolnych rozkładach .....                | 71        |
| 5.9.      | Weryfikacja wyników badań .....                                      | 73        |
| 5.9.1.    | Test chi-kwadrat zgodności rozkładu .....                            | 74        |
| 5.9.2.    | Test chi-kwadrat zgodności rozkładu par .....                        | 75        |
| <b>6.</b> | <b>Zadania optymalizacji parametrycznej .....</b>                    | <b>79</b> |
| 6.1.      | Przykłady zadań optymalizacji parametrycznej .....                   | 80        |
| 6.1.1.    | Dobór parametrów układu regulacji .....                              | 80        |
| 6.1.2.    | Strojenie modelu (identyfikacja) .....                               | 80        |
| 6.1.3.    | Zadanie dwugraniczne .....                                           | 81        |
| 6.1.4.    | Zadanie wartości własnych .....                                      | 82        |
| 6.2.      | Wskaźnik jakości jako funkcja końcowych wartości wektora stanu ..... | 82        |
| 6.3.      | Sformułowanie problemu optymalizacji i klasyfikacja algorytmów ..... | 83        |
| 6.4.      | Wyznaczanie składowych gradientu .....                               | 84        |
| 6.4.1.    | Przykład wyznaczania równań wrażliwości .....                        | 85        |
| 6.5.      | Metody poszukiwania minimum w kierunku .....                         | 86        |
| 6.5.1.    | Metoda interpolacji kwadratowej .....                                | 87        |

|           |                                                              |            |
|-----------|--------------------------------------------------------------|------------|
| 6.5.2.    | Metoda Kiefera i metoda złotego podziału .....               | 88         |
| 6.5.3.    | Metoda Brenta .....                                          | 89         |
| 6.6.      | Metody poszukiwań prostych .....                             | 90         |
| 6.6.1.    | Metoda gradientowa .....                                     | 90         |
| 6.6.2.    | Metoda Hooka-Jeevesa .....                                   | 91         |
| 6.6.3.    | Metoda simpleksu Nelder-Meada .....                          | 92         |
| 6.7.      | Metody kierunków poprawy .....                               | 94         |
| 6.7.1.    | Metoda najszybszego spadku .....                             | 94         |
| 6.7.2.    | Metoda Gaussa-Seidela .....                                  | 95         |
| 6.7.3.    | Metoda kierunków sprzężonych Powella .....                   | 96         |
| 6.7.4.    | Metoda gradientu sprzężonego Fletchera-Reevesa .....         | 98         |
| 6.7.5.    | Metoda Newtona-Raphsona .....                                | 98         |
| 6.7.6.    | Metoda zmiennej metryki Fletchera-Powella-Davidona .....     | 99         |
| 6.8.      | Metoda funkcji kary .....                                    | 100        |
| 6.9.      | Uwagi o metodach optymalizacji parametrycznej .....          | 101        |
| <b>7.</b> | <b>Program symulacji maszyny analogowej PSMA .....</b>       | <b>103</b> |
| 7.1.      | Wprowadzenie .....                                           | 103        |
| 7.2.      | Opis modelu .....                                            | 104        |
| 7.2.1.    | Uwagi ogólne .....                                           | 104        |
| 7.2.2.    | Bloki operacyjne i schemat operacyjny .....                  | 104        |
| 7.2.3.    | Dyrektywy opisu modelu .....                                 | 109        |
| 7.2.4.    | Ograniczenia i uwagi .....                                   | 111        |
| 7.3.      | Zapis badań modelowych .....                                 | 111        |
| 7.3.1.    | Dyrektywy ustawiania dokładności rozwiązania .....           | 111        |
| 7.3.2.    | Dyrektywa określania przedziału całkowania .....             | 112        |
| 7.3.3.    | Dyrektywa komentarza .....                                   | 112        |
| 7.3.4.    | Dyrektywy zapamiętywania wyników .....                       | 112        |
| 7.3.5.    | Dyrektywy końca opisu badań .....                            | 112        |
| 7.3.6.    | Symulacja wielokrotna ze zmiennymi wartościami stałych ..... | 113        |
| 7.3.7.    | Przykład opisu modelu i badań modelowych .....               | 115        |
| 7.3.8.    | Automatyzacja badań modelowych .....                         | 116        |
| 7.4.      | Komunikacja z programem .....                                | 118        |
| 7.4.1.    | Edytor schematów operacyjnych .....                          | 119        |
| 7.4.2.    | Obsługa badań modelowych .....                               | 121        |
| 7.4.3.    | Generator wykresów .....                                     | 123        |
| 7.5.      | Struktura plików typu .REX .....                             | 125        |
| <b>8.</b> | <b>Pakiet symulacyjny DarP .....</b>                         | <b>126</b> |
| 8.1.      | Charakterystyka pakietu .....                                | 126        |

|                                                                                  |            |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 8.2. Elementy pakietu DarP.....                                                  | 128        |
| 8.2.1. Zmienne systemowe.....                                                    | 128        |
| 8.2.2. Procedury podstawowe.....                                                 | 131        |
| 8.2.3. Procedury pomocnicze.....                                                 | 132        |
| 8.2.4. Elementy służące do rozwiązywania zadań optymalizacji parametrycznej..... | 134        |
| 8.2.5. Struktura programu.....                                                   | 135        |
| 8.2.6. Dane i wyniki.....                                                        | 137        |
| 8.3. Opis modelu.....                                                            | 139        |
| 8.4. Zapis badań modelowych.....                                                 | 143        |
| 8.5. Zapis zadań optymalizacji parametrycznej.....                               | 149        |
| 8.6. Procedura komunikacji <i>Interact</i> .....                                 | 158        |
| 8.7. Procedura sterowania eksperymentem i procedury całkowania.....              | 163        |
| 8.7.1. Weryfikacja wartości parametrów eksperymentu.....                         | 163        |
| 8.7.2. Realizacja algorytmu całkowania, zapamiętanie wyników.....                | 164        |
| 8.8. Procedura rozwiązywania zadań optymalizacji parametrycznej.....             | 164        |
| 8.9. Uruchamianie programu.....                                                  | 166        |
| <b>9. Program Simnon .....</b>                                                   | <b>167</b> |
| 9.1. Charakterystyka programu.....                                               | 167        |
| 9.2. Opis modelu.....                                                            | 169        |
| 9.2.1. Zasady opisu modelu.....                                                  | 169        |
| 9.2.2. Przykłady opisu modelu.....                                               | 171        |
| 9.3. Zapis badań modelowych.....                                                 | 173        |
| 9.3.1. Makroinstrukcje.....                                                      | 173        |
| 9.3.2. Polecenia podstawowe.....                                                 | 174        |
| 9.3.3. Polecenia prezentacji i zapisu wyników.....                               | 176        |
| 9.3.4. Powtarzanie eksperymentów i zmienne poziomu opisu badań.....              | 178        |
| 9.3.5. Przykłady makrodefinicji.....                                             | 179        |
| 9.4. Wykaz poleceń języka opisu badań.....                                       | 184        |
| 9.5. Wykaz funkcji standardowych.....                                            | 186        |
| 9.6. Komunikacja z programem SimnonWin.....                                      | 187        |
| 9.6.1. Okno Konsola.....                                                         | 188        |
| 9.6.2. Okno Przebieg badań modelowych.....                                       | 189        |
| 9.6.3. Okno Wykresy.....                                                         | 189        |
| <b>10. Środowisko obliczeń naukowo-technicznych Matlab-Simulink.....</b>         | <b>190</b> |
| 10.1. Charakterystyka środowiska.....                                            | 190        |
| 10.2. Matlab.....                                                                | 190        |

|                                                                      |            |
|----------------------------------------------------------------------|------------|
| 10.2.1. Zasady pracy z Matlabem.....                                 | 190        |
| 10.2.2. Wprowadzanie wartości zmiennych do przestrzeni roboczej..... | 191        |
| 10.2.3. Operacje na macierzach.....                                  | 194        |
| 10.2.4. Generowanie wykresów .....                                   | 198        |
| 10.2.5. Instrukcje sterujące.....                                    | 201        |
| 10.2.6. M-pliki .....                                                | 202        |
| 10.2.7. Modelowanie układów ciągłych w Matlabie.....                 | 205        |
| 10.3. Simulink.....                                                  | 207        |
| 10.3.1. Bloki operacyjne.....                                        | 208        |
| 10.3.2. Budowa schematu operacyjnego.....                            | 211        |
| 10.3.3. Grupowanie i maskowanie .....                                | 214        |
| 10.3.4. S-funkcje .....                                              | 215        |
| 10.3.5. Funkcje rozwiązywania zagadnień początkowych.....            | 216        |
| 10.3.6. Realizacja eksperymentów .....                               | 218        |
| <b>11. Pakiet symulacyjny Gasp IV-P .....</b>                        | <b>225</b> |
| 11.1. Charakterystyka pakietu .....                                  | 225        |
| 11.2. Elementy pakietu Gasp IV-P .....                               | 226        |
| 11.2.1. Zmienne globalne pakietu.....                                | 226        |
| 11.2.2. Procedury biblioteczne .....                                 | 230        |
| 11.2.3. Program Prepare .....                                        | 232        |
| 11.2.4. Struktura programu.....                                      | 232        |
| 11.2.5. System zbiorów .....                                         | 233        |
| 11.3. Opis modelu .....                                              | 236        |
| 11.3.1. Procedura inicjalizacji eksperymentu (Intlc).....            | 237        |
| 11.3.2. Procedura wyboru zdarzenia do obsługi (Evnts).....           | 237        |
| 11.3.3. Obsługa zdarzeń .....                                        | 238        |
| 11.3.4. Procedura uzupełniającego raportu końcowego (Otput) .....    | 238        |
| 11.3.5. Procedura dodatkowej informacji o błędzie (Uerr) .....       | 238        |
| 11.3.6. Procedura gromadzenia wyników w pliku (Ssave) .....          | 238        |
| 11.3.7. Procedura zapisu równań stanu (State) .....                  | 239        |
| 11.3.8. Procedura definiowania zdarzeń stanowych (Scond) .....       | 240        |
| 11.3.9. Przykłady opisu modeli .....                                 | 241        |
| 11.4. Zapis badań modelowych .....                                   | 247        |
| 11.5. Opis procedur .....                                            | 247        |
| 11.5.1. Procedura Gasp .....                                         | 247        |
| 11.5.2. Procedura Clear .....                                        | 250        |
| 11.5.3. Procedura Fset.....                                          | 250        |
| 11.5.4. Procedura Filem .....                                        | 251        |
| 11.5.5. Procedura Rmove .....                                        | 251        |

|                                                                              |            |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 11.5.6. Procedura Cancell .....                                              | 251        |
| 11.5.7. Procedura Fcopy .....                                                | 252        |
| 11.5.8. Funkcja Nfind .....                                                  | 252        |
| 11.5.9. Procedura Kross .....                                                | 252        |
| 11.5.10. Procedura Colct .....                                               | 253        |
| 11.5.11. Procedura Timst .....                                               | 254        |
| 11.5.12. Procedura Timsa .....                                               | 255        |
| 11.5.13. Procedura Histo .....                                               | 255        |
| 11.5.14. Procedura Gplot .....                                               | 256        |
| 11.5.15. Procedura Prntq .....                                               | 256        |
| 11.5.16. Procedura Prnts .....                                               | 256        |
| 11.5.17. Procedura Sumry .....                                               | 257        |
| 11.5.18. Procedura Montr .....                                               | 257        |
| 11.5.19. Procedura Error .....                                               | 258        |
| 11.5.20. Procedury funkcyjne generacji liczb losowych .....                  | 258        |
| 11.6. Dane wejściowe i wywołanie programu .....                              | 260        |
| 11.6.1. Przygotowanie danych – program Prepare .....                         | 260        |
| 11.6.2. Wczytanie i weryfikacja danych – procedura Datin .....               | 261        |
| 11.6.3. Wywołanie programu i pliki we/wy .....                               | 264        |
| 11.6.4. Wykaz wykrywanych błędów .....                                       | 265        |
| <b>12. Biblioteka CSL++ – implementacja koncepcji wyboru działania .....</b> | <b>266</b> |
| 12.1. Charakterystyka języka CSL .....                                       | 266        |
| 12.2. Charakterystyka biblioteki CSL++ .....                                 | 267        |
| 12.3. Plik nagłówkowy biblioteki CSL++ .....                                 | 268        |
| 12.4. Opis klas .....                                                        | 271        |
| 12.4.1. Klasa Timer .....                                                    | 271        |
| 12.4.2. Klasy Set i Queue .....                                              | 271        |
| 12.4.3. Metody reprezentujące operacje na grupach .....                      | 272        |
| 12.4.4. Klasy generatorów .....                                              | 277        |
| 12.4.5. Klasy histogramów .....                                              | 278        |
| 12.4.6. Klasy statystyk .....                                                | 279        |
| 12.5. Przykłady budowy modeli .....                                          | 279        |
| 12.5.1. Model systemu M/M/1 .....                                            | 279        |
| 12.5.2. Model sieci stanowisk obsługi .....                                  | 283        |
| <b>Literatura .....</b>                                                      | <b>291</b> |