

# SPIS TREŚCI

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| WAŻNIEJSZE SYMBOLE, OZNACZENIA I SKRÓTY .....                                                                | 7  |
| <b>Rozdział 1. WPROWADZENIE</b> .....                                                                        | 13 |
| <b>Rozdział 2. MODELE ROZMYTYCH SYSTEMÓW WNIOSKUJĄCYCH</b> .....                                             | 17 |
| 2.1. Wybrane elementy teorii zbiorów rozmytych .....                                                         | 17 |
| 2.1.1. Definicja i własności zbiorów rozmytych .....                                                         | 18 |
| 2.1.2. Funkcje przynależności i ich możliwe interpretacje.....                                               | 19 |
| 2.1.3. Podstawowe pojęcia używane w modelowaniu rozmytym.....                                                | 22 |
| 2.1.4. Operacje mnogościowe na zbiorach rozmytych .....                                                      | 25 |
| 2.1.5. Podsumowanie .....                                                                                    | 30 |
| 2.2. Wybrane elementy teorii prawdopodobieństwa w ujęciu klasycznym<br>i rozmytym .....                      | 31 |
| 2.2.1. Przestrzeń zdarzeń elementarnych, zdarzenia .....                                                     | 31 |
| 2.2.2. Prawdopodobieństwo i przestrzeń probabilistyczna w ujęciu<br>klasycznym .....                         | 32 |
| 2.2.3. Zmienne losowe i ich rozkłady prawdopodobieństwa.....                                                 | 33 |
| 2.2.4. Prawdopodobieństwo zdarzeń rozmytych .....                                                            | 35 |
| 2.2.5. Rozkład prawdopodobieństwa lingwistycznej zmiennej losowej ..                                         | 36 |
| 2.2.6. Podsumowanie .....                                                                                    | 37 |
| 2.3. Podstawy teorii rozmytych systemów wnioskujących .....                                                  | 37 |
| 2.3.1. Inteligentne systemy wnioskowania rozmytego.....                                                      | 37 |
| 2.3.2. Struktura rozmytych systemów wnioskujących.....                                                       | 39 |
| 2.3.3. Użytkownicy rozmytych systemów wnioskujących .....                                                    | 41 |
| 2.3.4. Rozmyte modele wiedzy w postaci reguł JEŻELI-TO .....                                                 | 42 |
| 2.3.4.1. Rozmyte modele lingwistyczne .....                                                                  | 43 |
| 2.3.4.2. Rozmyte modele Takagi–Sugeno–Kanga .....                                                            | 47 |
| 2.3.4.3. Modele probabilistyczno-rozmyte .....                                                               | 48 |
| 2.3.4.4. Rozmyte modele relacyjne.....                                                                       | 50 |
| 2.3.5. Identyfikacja systemu opartego o rozmyty model wiedzy .....                                           | 51 |
| 2.3.6. Właściwości rozmytego modelu wiedzy .....                                                             | 54 |
| 2.3.7. Procedury wnioskowania rozmytego dla modelu<br>lingwistycznego .....                                  | 56 |
| 2.3.7.1. Rozmywanie rozmyte.....                                                                             | 56 |
| 2.3.7.2. Uogólniona reguła wnioskowania .....                                                                | 57 |
| 2.3.7.3. Procedury wnioskowania rozmytego zgodnie<br>z uogólnioną regułą <i>modus ponendo ponens</i> .....   | 57 |
| 2.3.7.4. Procedury wnioskowania rozmytego zgodnie<br>z uogólnioną regułą <i>modus tollendo tollens</i> ..... | 60 |
| 2.3.7.5. Wyostrzanie .....                                                                                   | 61 |
| 2.3.8. Podsumowanie .....                                                                                    | 63 |

|                                                                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.4. Metody automatycznego pozyskiwania parametrów rozmytych modeli wiedzy .....                                         | 63        |
| 2.4.1. Metody pozyskiwania baz wiedzy dla rozmytych modeli lingwistycznych .....                                         | 64        |
| 2.4.1.1. Metoda Wanga–Mendela .....                                                                                      | 64        |
| 2.4.1.2. Metoda Nozaki–Ishibuchi–Tanaki .....                                                                            | 66        |
| 2.4.1.3. Metoda Sugeno–Yasukawy .....                                                                                    | 67        |
| 2.4.1.4. Metoda szablonowego modelowania systemów rozmytych .....                                                        | 68        |
| 2.4.2. Metody maszynowego uczenia i eksploracji danych .....                                                             | 69        |
| 2.4.2.1. Metody oparte na klasteryzacji .....                                                                            | 70        |
| 2.4.2.2. Metody rozmytych drzew decyzyjnych .....                                                                        | 72        |
| 2.4.2.3. Rozmyte metody hybrydowe .....                                                                                  | 73        |
| 2.4.3. Podsumowanie .....                                                                                                | 75        |
| <b>Rozdział 3. SYSTEM WNIOSKUJĄCY Z PROBABILISTYCZNO-ROZMYTĄ BAZĄ WIEDZY .....</b>                                       | <b>77</b> |
| 3.1. Koncepcja systemu wnioskującego z probabilistyczno-rozmytą bazą wiedzy .....                                        | 77        |
| 3.1.1. Zasada działania i struktura systemu .....                                                                        | 78        |
| 3.1.2. Użytkownicy systemu i ich rola .....                                                                              | 81        |
| 3.1.3. Wnioskowanie w oparciu o probabilistyczno-rozmytą bazę wiedzy z wykorzystaniem nieelastycznych operatorów .....   | 82        |
| 3.1.3.1. Wnioskowanie z wykorzystaniem interpretacji reguł wg Mamdaniego i Larsena .....                                 | 83        |
| 3.1.3.2. Wnioskowanie logiczne .....                                                                                     | 86        |
| 3.1.3.3. Wyostrażanie zbioru rozmytego metodą COG .....                                                                  | 88        |
| 3.1.4. Wnioskowanie w oparciu o probabilistyczno-rozmytą bazę wiedzy z wykorzystaniem parametryzowanych operatorów ..... | 90        |
| 3.1.5. Określenie prawdopodobieństw otrzymania wartości lingwistycznych wyjścia przy faktach wyrażonych numerycznie ...  | 92        |
| 3.1.6. Podsumowanie .....                                                                                                | 93        |
| 3.2. Identyfikacja systemu z probabilistyczno-rozmytą bazą wiedzy .....                                                  | 94        |
| 3.2.1. Metody pozyskiwania reguł probabilistyczno-rozmytej bazy wiedzy .....                                             | 95        |
| 3.2.1.1. Algorytm generujący pełny rozkład prawdopodobieństwa zdarzeń rozmytych .....                                    | 95        |
| 3.2.1.2. Algorytmy oparte na rozmytych regułach asocjacji .....                                                          | 96        |
| 3.2.1.3. Porównanie algorytmów .....                                                                                     | 110       |
| 3.2.2. Metoda identyfikacji systemu z nieelastycznymi operatorami .....                                                  | 112       |
| 3.2.3. Metoda identyfikacji systemu z parametryzowanymi operatorami .....                                                | 115       |
| 3.2.4. Podsumowanie .....                                                                                                | 117       |

|                                                                                                                |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Rozdział 4. PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ SYSTEMU WNIOSKUJĄCEGO<br/>Z PROBABILISTYCZNO-ROZMYTĄ BAZĄ WIEDZY .....</b> | <b>119</b> |
| 4.1. Implementacja systemu wnioskującego z probabilistyczno-rozmytą<br>bazą wiedzy w środowisku Matlab .....   | 119        |
| 4.2. System wnioskujący jako uniwersalny aproksymator funkcji.....                                             | 123        |
| 4.3. Modelowanie własności węgla .....                                                                         | 127        |
| 4.3.1. Probabilistyczno-rozmyta baza wiedzy dwóch zmiennych<br>charakteryzujących węgiel .....                 | 128        |
| 4.3.2. System wnioskujący z probabilistyczno-rozmytą bazą wiedzy<br>dla charakterystyki węgla .....            | 130        |
| 4.4. Predykcja prędkości wiatru.....                                                                           | 133        |
| 4.5. System decydujący o wyborze algorytmu do budowy<br>probabilistyczno-rozmytej bazy wiedzy .....            | 137        |
| 4.6. Podsumowanie .....                                                                                        | 141        |
| <b>Rozdział 5. ZAKOŃCZENIE .....</b>                                                                           | <b>145</b> |
| LITERATURA .....                                                                                               | 147        |
| SPIS RYSUNKÓW .....                                                                                            | 159        |
| SPIS TABEL.....                                                                                                | 163        |
| STRESZCZENIE .....                                                                                             | 165        |
| SUMMARY.....                                                                                                   | 166        |