

# Spis treści

Wykaz ważniejszych oznaczeń i jednostek 13

Przedmowa 17

Wstęp 19

## 1

Charakterystyka obecnego stanu środowiska 21

- 1.1. Wprowadzenie 21
  - 1.2. Energetyka konwencjonalna 23
    - 1.2.1. Paliwa naturalne, zasoby i prognozy zużycia 24
  - 1.3. Skażenie powietrza spalinami 28
    - 1.3.1. Składniki spalin i ich oddziaływanie na środowisko 28
    - 1.3.2. Skutki skażenia środowiska 32
    - 1.3.3. Wielkość emisji zanieczyszczeń 37
    - 1.3.4. Koszty środowiskowe 40
  - 1.4. Nowe trendy w energetyce konwencjonalnej 41
    - 1.4.1. Rodzaje siłowni 41
    - 1.4.2. Kierunki rozwoju energetyki konwencjonalnej 44
    - 1.4.3. Oczyszczanie spalin 52
  - 1.5. Energetyka jądrowa 54
    - 1.5.1. Wprowadzenie 54
    - 1.5.2. Promieniotwórczość 57
    - 1.5.3. Reakcje jądrowe 60
    - 1.5.4. Reaktory jądrowe 63
    - 1.5.5. Paliwo w reaktorach jądrowych 65
    - 1.5.6. Elektrownie jądrowe 65
    - 1.5.7. Kierunki rozwoju energetyki jądrowej 66
  - 1.6. Zalety i wady energetyki konwencjonalnej 68
  - 1.7. Charakterystyka działań zmierzających do zahamowania dalszej degradacji środowiska 68
- Bibliografia 69

## 2

Odnawialne źródła energii 72

- 2.1. Wprowadzenie 72
- 2.2. Rys historyczny 73

|        |                                                                            |    |
|--------|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.   | Podział źródeł energii                                                     | 74 |
| 2.4.   | Charakterystyka pierwotnych odnawialnych źródeł energii                    | 75 |
| 2.4.1. | Energia słoneczna i jej zasoby                                             | 75 |
| 2.4.2. | Energia geotermalna i jej zasoby                                           | 80 |
| 2.4.3. | Energia oddziaływań grawitacyjnych i jej zasoby                            | 80 |
| 2.5.   | Techniczne możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii            | 81 |
| 2.6.   | Plan działań Unii Europejskiej w dziedzinie energii ze źródeł odnawialnych | 82 |
| 2.7.   | Prognozy rozwoju energii ze źródeł odnawialnych w Polsce                   | 84 |
| 2.8.   | Polskie regulacje prawne w zakresie OZE                                    | 86 |
| 2.9.   | Podsumowanie                                                               | 88 |
|        | Bibliografia                                                               | 88 |

### 3

## Energia wody 91

|        |                                                       |     |
|--------|-------------------------------------------------------|-----|
| 3.1.   | Wprowadzenie                                          | 91  |
| 3.1.1. | Światowe zasoby wody                                  | 91  |
| 3.2.   | Hydroenergetyka                                       | 93  |
| 3.2.1. | Historia wykorzystania energii mechanicznej wody      | 93  |
| 3.2.2. | Potencjał hydroenergetyczny świata                    | 93  |
| 3.2.3. | Zasoby wodne Polski i ich hydroenergetyczny potencjał | 96  |
| 3.2.4. | Sposoby wykorzystania potencjału energetycznego wody  | 97  |
| 3.3.   | Podstawy teoretyczne                                  | 97  |
| 3.4.   | Duże elektrownie wodne                                | 100 |
| 3.4.1. | Typy dużych elektrowni wodnych                        | 100 |
| 3.4.2. | Elektrownie szczytowo-pompowe w Polsce                | 102 |
| 3.4.3. | Zalety i wady dużej energetyki wodnej                 | 103 |
| 3.5.   | Mała energetyka wodna (MEW)                           | 104 |
| 3.5.1. | Podział małej energetyki wodnej                       | 104 |
| 3.5.2. | Turbiny w MEW                                         | 105 |
| 3.5.3. | Mała energetyka wodna w Polsce                        | 107 |
| 3.5.4. | Oplacalność budowy małych elektrowni wodnych          | 110 |
| 3.5.5. | Regulacje prawne dotyczące MEW                        | 112 |
| 3.5.6. | Zalety MEW                                            | 112 |
| 3.6.   | Energia pływów                                        | 112 |
| 3.7.   | Energia fal                                           | 115 |
| 3.8.   | Energia prądów morskich                               | 119 |
| 3.9.   | Energia dyfuzji                                       | 120 |
| 3.9.1. | Metoda PRO                                            | 121 |
| 3.9.2. | Metoda RED                                            | 121 |
|        | Bibliografia                                          | 123 |

### 4

## Energia wiatru i jej wykorzystanie 126

|      |                                                                                |     |
|------|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1. | Rys historyczny                                                                | 126 |
| 4.2. | Charakterystyka energii wiatru                                                 | 127 |
| 4.3. | Zależności opisujące energię wiatru                                            | 129 |
| 4.4. | Przegląd konstrukcji turbin wiatrowych                                         | 133 |
| 4.5. | Światowy rozwój energetyki wiatrowej                                           | 134 |
| 4.6. | Doświadczenia polskie                                                          | 137 |
| 4.7. | Efekt ekologiczny, prognozy i perspektywy aeroenergetyki w Polsce do 2030 roku | 140 |
| 4.8. | Koncepcje przyszłościowe energetyki wiatrowej                                  | 141 |

|         |                                               |     |
|---------|-----------------------------------------------|-----|
| 4.9.    | Morskie farmy wiatrowe (MFW)                  | 142 |
| 4.9.1.  | Historia MFW                                  | 142 |
| 4.9.2.  | Europejskie MFW                               | 143 |
| 4.9.3.  | Perspektywy MFW w Polsce                      | 145 |
| 4.10.   | Małe turbiny wiatrowe (MTW)                   | 146 |
| 4.10.1. | Charakterystyka MTW                           | 146 |
| 4.10.2. | Przegląd rozwiązań MTW                        | 148 |
| 4.10.3. | Polskie rozwiązania MTW                       | 152 |
| 4.10.4. | Przybliżona metoda obliczania wydajności MTW  | 153 |
| 4.10.5. | Wiatrowo-słoneczny system hybrydowy           | 154 |
| 4.10.6. | Inne koncepcje zagospodarowania energii z MTW | 155 |
| 4.11.   | Wady i zalety siłowni wiatrowych              | 157 |
|         | Bibliografia                                  | 157 |

## 5

### Energia promieniowania słonecznego 161

|       |                                                                            |     |
|-------|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1.  | Wprowadzenie                                                               | 161 |
| 5.2.  | Istota promieniowania słonecznego                                          | 163 |
| 5.3.  | Budowa atomu i struktura materii                                           | 165 |
| 5.4.  | Podstawy teoretyczne promieniowania słonecznego                            | 167 |
| 5.5.  | Wymiana ciepła przez promieniowanie                                        | 173 |
| 5.6.  | Charakterystyka promieniowania słonecznego                                 | 175 |
| 5.7.  | Perspektywy wykorzystania energii promieniowania słonecznego do ogrzewania | 180 |
| 5.8.  | Podział metod konwersji i wykorzystania energii promieniowania słonecznego | 181 |
| 5.9.  | Historia rozwoju energetyki słonecznej                                     | 183 |
| 5.10. | Zalety i wady energii promieniowania słonecznego                           | 184 |
|       | Bibliografia                                                               | 184 |

## 6

### Pasywne systemy wykorzystania energii słonecznej z elementami teorii wymiany ciepła 186

|        |                                                  |     |
|--------|--------------------------------------------------|-----|
| 6.1.   | Definicja systemów pasywnych                     | 186 |
| 6.2.   | Podstawy teoretyczne wymiany ciepła              | 186 |
| 6.3.   | Przewodzenie ciepła                              | 188 |
| 6.4.   | Konwekcja                                        | 190 |
| 6.5.   | Promieniowanie i konwekcja swobodna              | 192 |
| 6.6.   | Przenikanie ciepła                               | 193 |
| 6.7.   | Pasywne ogrzewanie budynków                      | 196 |
| 6.7.1. | Rodzaje pasywnych rozwiązań w budownictwie       | 196 |
| 6.7.2. | Energooszczędne okna                             | 198 |
| 6.7.3. | Transparentne materiały izolacyjne               | 199 |
| 6.8.   | Pasywne chłodzenie                               | 201 |
| 6.9.   | Pasywne systemy magazynowania ciepła w budynkach | 202 |
|        | Bibliografia                                     | 204 |

## 7

### Aktywne systemy wykorzystania energii słonecznej – kolektory słoneczne 207

|      |                                                           |     |
|------|-----------------------------------------------------------|-----|
| 7.1. | Przegląd aktywnych metod wykorzystania energii słonecznej | 207 |
| 7.2. | Podstawy teoretyczne kolektorów słonecznych               | 207 |

- 7.3. Zasoby energii słonecznej w Polsce 212
- 7.4. Wartość użyteczna promieniowania słonecznego 214
- 7.5. Budowa kolektorów słonecznych 214
- 7.6. Obliczanie słonecznego systemu podgrzewania wody użytkowej 217
- 7.6.1. Przykład uproszczonych obliczeń i doboru kolektora 217
- 7.6.2. Aspekt ekonomiczny instalacji kolektorów słonecznych 219
- 7.6.3. Aspekt ekologiczny stosowania kolektorów słonecznych 220
- 7.6.4. Charakterystyka dostępnych na rynku kolektorów słonecznych 222
- 7.7. Nowe typy kolektorów słonecznych 224
- 7.8. Badanie kolektorów słonecznych 226
- 7.8.1. Normy badawcze kolektorów słonecznych 227
- Bibliografia 228

## 8

### Aktywne systemy konwersji energii słonecznej – stawy i komin-y słoneczne 230

- 8.1. Wprowadzenie 230
- 8.2. Stawy słoneczne 230
- 8.2.1. Budowa i zasada działania 231
- 8.2.2. Przegląd pracujących instalacji 232
- 8.2.3. Podsumowanie – wady i zalety stawów słonecznych 233
- 8.3. Komin-y słoneczne 234
- 8.3.1. Wprowadzenie 234
- 8.3.2. Zasada działania komin-a słonecznego 235
- 8.3.3. Potencjał energetyki opartej na kominach słonecznych 236
- 8.3.4. Stan zaawansowania budowy kominów słonecznych 237
- Bibliografia 237

## 9

### Podstawy termodynamiki i metody przetwarzania energii słonecznej na pracę 240

- 9.1. Wprowadzenie 240
- 9.2. Podstawy teoretyczne termodynamiki 240
- 9.2.1. Pojęcia podstawowe 241
- 9.2.2. Zasady termodynamiki 244
- 9.2.3. *Perpetuum mobile* i sprawność obiegu 247
- 9.2.4. Rzeczywiste silniki termodynamiczne 251
- 9.2.5. Silnik Stirlinga 252
- 9.2.6. Silnik Ericssona 255
- 9.3. Wysokotemperaturowy system zdecentralizowany 256
- 9.4. Wysokotemperaturowy system scentralizowany 259
- Bibliografia 262

## 10

### Niskotemperaturowa energia termiczna mórz i oceanów 264

- 10.1. Wprowadzenie 264
- 10.2. Rys historyczny 265

- 10.3. Konwersja energii termicznej oceanu w energię mechaniczną 266
- 10.4. Zalety i wady systemu OTEC 269
- 10.5. Obecny stan zaawansowania systemu OTEC 269
- 10.6. Konwersja energii termicznej oceanu w energię elektryczną 270
- Bibliografia 270

## 11

### Energia geotermalna 272

- 11.1. Wprowadzenie 272
- 11.2. Rys historyczny i współczesne metody wykorzystania energii geotermalnej 273
- 11.3. Natura źródeł geotermalnych 275
- 11.4. Sposoby wykorzystania źródeł geotermalnych 277
- 11.5. Zasoby geotermalne w Polsce i ich wykorzystanie 279
  - 11.5.1. Historia polskiej geotermii 280
  - 11.5.2. Zasoby wód geotermalnych 280
  - 11.5.3. Geotermalne zasoby energetyczne 283
  - 11.5.4. Obecny stan polskiej energetyki geotermalnej 287
  - 11.5.5. Głęboka geotermia – szansą dla Polski 292
  - 11.5.6. Płytką geotermia 296
- 11.6. Wnioski końcowe 296
  - 11.6.1. Porównanie energetyki geotermalnej z konwencjonalną 296
  - 11.6.2. Wpływ energetyki geotermalnej na środowisko 296
  - 11.6.3. Zagadnienia techniczno-ekonomiczne energetyki geotermalnej 297
- Bibliografia 298

## 12

### Systemy wspomagające wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych 302

- 12.1. Wprowadzenie 302
- 12.2. Różne formy magazynowania energii 304
- 12.3. Magazynowanie energii cieplnej 304
- 12.4. Magazynowanie energii chemicznej 308
- 12.5. Przetwarzanie niskotemperaturowej energii cieplnej 309
- 12.6. Przetwarzanie i magazynowanie wysokotemperaturowej energii cieplnej 309
- Bibliografia 310

## 13

### Pompy ciepła 312

- 13.1. Wprowadzenie 312
- 13.2. Rys historyczny 312
- 13.3. Zasada działania pompy ciepła 313
- 13.4. Przegląd typów pomp ciepła 314
- 13.5. Sprężarkowe pompy ciepła 315
- 13.6. Czynniki robocze sprężarkowych pomp ciepła a dziura ozonowa 316
- 13.7. Absorpcyjne pompy ciepła 319
- 13.8. Pompy ciepła pozostałych typów 321
- 13.9. Dolne źródła pomp ciepła 324
- 13.10. Pompy ciepła w Polsce 325

- 13.10.1. Polskie Stowarzyszenie Pomp Ciepła 325
- 13.10.2. Charakterystyka domowych pomp ciepła stosowanych w Polsce 326
- 13.10.3. Efekty ekonomiczne stosowania pomp ciepła 329
- 13.10.4. Pompy ciepła pracujące w kogeneracji z innymi OZE 329
- 13.10.5. Przykłady zastosowania pomp ciepła w Polsce 330
- 13.11. Podsumowanie 331
- Bibliografia 332

## 14

### Ogniwa i moduły fotowoltaiczne 334

- 14.1. Historia ogniw fotowoltaicznych 334
- 14.2. Technologie fotowoltaiczne 337
- 14.2.1. Technologie fotowoltaiczne pierwszej generacji – ogniwa krzemowe z krystalicznego krzemu 337
- 14.2.2. Technologie fotowoltaiczne drugiej generacji – ogniwa cienkowarstwowe 338
- 14.2.3. Technologie fotowoltaiczne trzeciej generacji 340
- 14.3. Efekt fotowoltaiczny 342
- 14.3.1. Typy półprzewodników 342
- 14.3.2. Generowanie swobodnych nośników ładunku w obszarze złącza  $p-n$  344
- 14.4. Budowa ogniw słonecznych krzemowych 346
- 14.4.1. Ogniwo fotowoltaiczne 346
- 14.4.2. Moduł fotowoltaiczny 347
- 14.5. Charakterystyka prądowo-napięciowa i parametry elektryczne ogniw i modułów PV 348
- 14.6. Łączenie szeregowo i równoległe ogniw i modułów PV 351
- 14.7. Instalacje fotowoltaiczne 353
- 14.8. Koncentratory promieniowania 354
- 14.9. Współpraca modułów fotowoltaicznych z innymi urządzeniami do konwersji energii 356
- 14.9.1. Systemy fotowoltaiczne hybrydowe – połączenie kilku źródeł energii elektrycznej 356
- 14.9.2. Układ moduł fotowoltaiczny–kolektor słoneczny 357
- 14.10. Recykling modułów fotowoltaicznych 359
- 14.11. Perspektywy i strategia rozwoju ogniw fotowoltaicznych 361
- 14.11.1. Światowa sytuacja na rynku systemów fotowoltaicznych 361
- 14.11.2. Kierunki rozwoju systemów fotowoltaicznych 363
- 14.11.3. Polskie doświadczenia energetyki fotowoltaicznej 364
- 14.11.4. Perspektywy rozwoju fotowoltaiki w Polsce 366
- 14.12. Znaczenie ogniw fotowoltaicznych w kosmonautyce 366
- 14.13. Zalety systemów fotowoltaicznych 368
- Bibliografia 369

## 15

### Biomasa 372

- 15.1. Wprowadzenie 372
- 15.2. Cechy charakterystyczne biomasy 373
- 15.3. Biomasa jako odnawialne źródło energii 374
- 15.3.1. Energetyczny potencjał biomasy 374
- 15.3.2. Charakterystyka biomasy jako nośnika energii 376
- 15.4. Metody energetycznego wykorzystania biomasy 378

|         |                                                                |     |
|---------|----------------------------------------------------------------|-----|
| 15.4.1. | Spalanie biomasy                                               | 379 |
| 15.4.2. | Termiczne przetwarzanie biomasy na potrzeby energetyczne       | 379 |
| 15.4.3. | Inne możliwości energetycznego wykorzystania biomasy           | 381 |
| 15.4.4. | Plantacje energetyczne                                         | 381 |
| 15.4.5. | Wady i zalety energetycznego wykorzystania biomasy             | 382 |
| 15.5.   | Drewno jako proekologiczne odnawialne źródło energii           | 383 |
| 15.5.1. | Pelety                                                         | 384 |
| 15.5.2. | Plantacje drewna energetycznego                                | 385 |
| 15.5.3. | Bilans drewna w Polsce                                         | 385 |
| 15.5.4. | Wykorzystanie drewna do produkcji ciepła w Polsce              | 386 |
| 15.5.5. | Przykłady kotłowni opalanych drewnem                           | 386 |
| 15.5.6. | Budowa i zasada działania kotłowni opalanej drewnem            | 387 |
| 15.6.   | Słoma jako proekologiczny surowiec energetyczny                | 389 |
| 15.6.1. | Charakterystyka słomy jako nośnika energii                     | 389 |
| 15.6.2. | Sposoby spalania słomy                                         | 390 |
| 15.6.3. | Polskie ciepłownie opalane słomą                               | 390 |
| 15.7.   | Biopaliwa                                                      | 393 |
| 15.7.1. | Historia, stan obecny i prognozy produkcji biopaliw na świecie | 393 |
| 15.7.2. | Surowce do produkcji biopaliw                                  | 394 |
| 15.7.3. | Biopaliwa w Polsce                                             | 395 |
| 15.8.   | Podsumowanie                                                   | 397 |
|         | Bibliografia                                                   | 398 |

## 16

### Biogaz 401

|         |                                                                      |     |
|---------|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 16.1.   | Biogaz jako odnawialne źródło energii                                | 401 |
| 16.2.   | Mechanizm powstawania biogazu                                        | 402 |
| 16.3.   | Źródła oraz technologie pozyskiwania i zagospodarowania biogazu      | 403 |
| 16.4.   | Zagospodarowanie biogazu w oczyszczalni ścieków                      | 404 |
| 16.5.   | Wykorzystanie biogazu z wysypisk śmieci                              | 406 |
| 16.5.1. | Charakterystyka gazu wysypiskowego                                   | 406 |
| 16.5.2. | Technologie energetycznego wykorzystania odpadów                     | 408 |
| 16.5.3. | Eksploatacja gazu wysypiskowego w Polsce                             | 409 |
| 16.6.   | Pozyskiwanie biogazu w gospodarstwach rolnych                        | 409 |
| 16.6.1. | Rolnicze źródła biogazu                                              | 410 |
| 16.6.2. | Technologie pozyskiwania biogazu w rolnictwie                        | 411 |
| 16.6.3. | Pozyskiwanie biogazu na polskiej wsi                                 | 411 |
| 16.6.4. | Koncepcja wiejskiej spółdzielczej elektrociepłowni opalanej biogazem | 412 |
| 16.7.   | Konwersja biogazu                                                    | 414 |
| 16.7.1. | Wprowadzenie                                                         | 414 |
| 16.7.2. | Metody wzbogacania i oczyszczania biogazu                            | 415 |
| 16.7.3. | Konwersja biogazu w energię ciepłą                                   | 417 |
| 16.7.4. | Konwersja biogazu w energię elektryczną                              | 417 |
| 16.7.5. | Koncepcje zagospodarowania ciepła odpadowego z konwersji biogazu     | 418 |
| 16.7.6. | Konwersja biogazu w energię mechaniczną                              | 420 |
| 16.8.   | Zalety i wady produkcji energii z biogazu                            | 420 |
|         | Bibliografia                                                         | 421 |

**17****Ogniwa paliwowe 425**

- 17.1. Rys historyczny 425
- 17.2. Zasada działania ogniwa paliwowego 426
- 17.3. Klasyfikacja ogniw paliwowych 427
- 17.4. Ogniwa z polimerową membraną (PEMFC) 427
- 17.5. Ogniwa alkaliczne (AFC) 428
- 17.6. Ogniwa fosforanowe (PAFC) 429
- 17.7. Ogniwa węglanowe (MCFC) 431
- 17.8. Ogniwa tlenkowe (SOFC) 433
- 17.9. Ogniwa zasilane metanolem (DMFC) lub kwasem mrówkowym (DFAFC) 434
- 17.10. Rozwiązania konstrukcyjne ogniw paliwowych 435
- 17.11. Zastosowanie ogniw paliwowych 436
- 17.12. Podsumowanie 439
- Bibliografia 440

**18****Wodór 442**

- 18.1. Wprowadzenie 442
- 18.2. Właściwości wodoru 442
- 18.3. Przemysłowe metody otrzymywania wodoru 443
- 18.4. Metody otrzymywania wodoru w przyszłości 447
- 18.5. Magazynowanie wodoru 449
- 18.6. Najnowsze zastosowania wodoru 450
- 18.7. Wodór jako paliwo XXI wieku 452
- 18.7.1. Analiza dotychczasowego wykorzystania wodoru 452
- 18.7.2. Zalety i wady energetycznego wykorzystania wodoru 453
- 18.7.3. Światowe kierunki rozwoju energetyki wodorowej 453
- 18.7.4. Możliwości wykorzystania wodoru w Polsce 454
- Bibliografia 454

**19****Oszczędzanie energii 456**

- 19.1. Ochrona środowiska przez oszczędzanie energii 456
- 19.2. Modyfikacja tradycyjnych systemów energetycznych 457
- 19.3. Ergooszczędne technologie 458
- 19.4. Śmieci jako potencjalne odnawialne źródło energii 459
- 19.5. Kierunki oszczędzania energii 465
- 19.6. Indywidualne kierunki oszczędzania energii 466
- 19.6.1. Oszczędzanie energii cieplnej 466
- 19.6.2. Oszczędzanie energii elektrycznej 474
- 19.6.3. Oszczędzanie oświetlenia 475
- 19.6.4. Oszczędzanie wody 476
- 19.6.5. Oszczędzanie dóbr konsumpcyjnych 477
- 19.7. Podsumowanie 478
- Bibliografia 478

**Skorowidz 481**