

# Spis treści

Wstęp / 9

## **1. Struktura i zasada działania ogniwa słonecznego / 11**

- 1.1. Energia słoneczna jako źródło odnawialne / 11
- 1.2. Efekt fotowoltaiczny w złączu półprzewodnikowym / 18
- 1.3. Konstrukcja bazowa i podstawowe parametry elektryczne modelowego jednozłączowego ogniwa PV na bazie homozłącza p-n / 24
  - 1.3.1. Budowa modelowego ogniwa słonecznego / 24
  - 1.3.2. Charakterystyka prądowo-napięciowa / 28
  - 1.3.3. Rezystancja szeregową i rezystancja równoległą / 38
  - 1.3.4. Charakterystyka pojemnościowa / 40
  - 1.3.5. Charakterystyka wydajności kwantowej / 43
  - 1.3.6. Modele elektryczne rzeczywistych ogniw słonecznych / 46
- 1.4. Limity teoretyczne i metody poprawy sprawności fotokonwersji w ogniwach słonecznych / 50
- 1.5. Literatura / 54

## **2. Przekrój rozwiązań konstrukcyjnych współczesnych ogniw fotowoltaicznych / 58**

- 2.1. Podstawowe struktury fotowoltaiczne oparte na półprzewodnikach mono- i polikrystalicznych / 60
- 2.2. Ogniwa PV wykorzystujące heterozłącze półprzewodnikowe / 66
- 2.3. Fotowoltaiczne struktury cienkowarstwowe na bazie związków nieorganicznych / 71
  - 2.3.1. Ogniwa słoneczne na bazie heterozłącza CdS/CdTe / 77
  - 2.3.2. Struktury fotowoltaiczne wykorzystujące związki CIS, CIGS i CIGSS / 82
  - 2.3.3. Przyrządy z krzemu amorficznego i materiałów pochodnych / 86
  - 2.3.4. Wykorzystanie CuO i Cu<sub>2</sub>O oraz innych związków alternatywnych / 91
- 2.4. Ogniwa organiczne, hybrydowe oraz bazujące na materiałach perowskitowych / 93

- 2.5. Alternatywne konstrukcje struktur fotowoltaicznych / 98
- 2.6. Systemy PVT jako rozwiązanie problematyki wymiany ciepła w instalacjach fotowoltaicznych / 105
- 2.7. Literatura / 109

### **3. Rozwój zastosowań systemów fotowoltaicznych / 117**

- 3.1. Rys historyczny zastosowań kosmicznych i aplikacji naziemnych / 117
- 3.2. Elektrownie fotowoltaiczne i systemy rozproszone (off-grid ) / 120
- 3.3. Fotowoltaika zintegrowana z budownictwem (BIPV) / 125
- 3.4. Fotowoltaika elastyczna w zastosowaniach mobilnych / 133
- 3.5. Fotowoltaika w instalacjach na wodzie 137
- 3.6. Literatura / 139

### **4. Projektowanie instalacji słonecznych / 142**

- 4.1. Instalacje sieciowe i wyspowe / 142
- 4.2. Współpraca z innymi źródłami energii w systemach wydzielonych / 165
- 4.3. Budowa instalacji fotowoltaicznej – etapy praktycznej realizacji / 173
  - 4.3.1. Wymagania prawne / 174
  - 4.3.2. Projekt instalacji PV / 176
  - 4.3.3. Wykonanie instalacji PV / 178
- 4.4. Literatura / 186

### **5. Projektowanie instalacji fotowoltaicznych w praktyce / 188**

- 5.1. Zawartość projektu instalacji słonecznej / 190
- 5.2. Mikroinstalacje i system prosumencki / 194
- 5.3. Wymagane kwalifikacje wykonawców i obowiązki inwestora / 196
- 5.4. Metody i zasady projektowania instalacji fotowoltaicznych / 198
- 5.5. Narzędzia CAD wspierające wymiarowanie instalacji fotowoltaicznej / 202
  - 5.5.1. Aplikacja PV\*SOL online / 203
  - 5.5.2. Program SolarGIS pvPlanner / 208
  - 5.5.3. Interaktywna baza meteorologiczna PVGIS / 217
  - 5.5.4. Oprogramowanie Archelios Pro Free / 222
  - 5.5.5. Program sieciowy PV Watts / 225
  - 5.5.6. Profesjonalne oprogramowanie PV\*SOL premium / 229
- 5.6. Analiza przykładowego projektu PV / 232
  - 5.6.1. Specyfikacja projektowanej instalacji / 233
  - 5.6.2. Symulacja komputerowa / 237
  - 5.6.3. Analiza finansowa / 244
- 5.7. Literatura / 251

### **6. Przykładowe zagadnienia i pomiary laboratoryjne z zakresu praktycznego zastosowania ogniw i systemów PV / 253**

|                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.1. Pomiary podstawowych parametrów i charakterystyk elektrycznych ogniw słonecznych /                     | 253 |
| 6.1.1. Pomiar charakterystyk prądowo-napięciowych /                                                         | 254 |
| 6.1.2. Charakterystyki pojemności złączowej /                                                               | 260 |
| 6.1.3. Pomiar i znaczenie charakterystyk wydajności kwantowej /                                             | 264 |
| 6.2. Wpływ warunków oświetlenia, temperatury i obciążenia na pracę ogniw słonecznych /                      | 266 |
| 6.2.1. Pomiary transmitancji optycznej w ogniwach fotowoltaicznych /                                        | 267 |
| 6.2.2. Zależność parametrów ogniw PV dla różnych warunków oświetlenia /                                     | 271 |
| 6.2.3. Wpływ kąta padania światła na pracę ogniw słonecznych /                                              | 280 |
| 6.2.4. Wpływ temperatury na pracę ogniw i modułów fotowoltaicznych /                                        | 282 |
| 6.3. Konfiguracja robocza modułów fotowoltaicznych i efekty niedopasowania /                                | 287 |
| 6.3.1. Rezystancja szeregową i równoległą w ogniwach słonecznych /                                          | 287 |
| 6.3.2. Konfiguracja ogniw i modułów fotowoltaicznych oraz wpływ zacienienia na parametry pracy instalacji / | 290 |
| 6.3.3. Niedopasowanie prądowe i napięciowe w instalacjach PV /                                              | 294 |
| 6.4. Systemy hybrydowe ogniwo – kolektor słoneczny /                                                        | 298 |
| 6.5. Literatura /                                                                                           | 301 |