

# Spis treści

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Od Autora .....                                                                  | 17 |
| 1. Wykaz wybranych oznaczeń, wielkości i ich jednostek .....                     | 19 |
| 2. Recenzja .....                                                                | 22 |
| 3. Wprowadzenie .....                                                            | 24 |
| 4. Sposób wytwarzania, podział i rodzaj energii otrzymywanej z OZE .....         | 27 |
| 5. Moc zainstalowana w poszczególnych źródłach energii w Polsce .....            | 30 |
| 6. Rodzaj, ilość i moc instalacji wytwarzających energię elektryczną z OZE ..... | 33 |
| 7. Energetyka jądrowa .....                                                      | 35 |
| 8. Polski sektor energetyczny do roku 2050 .....                                 | 39 |

## ROZDZIAŁ I ENERGETYKA SŁONECZNA

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Energia słoneczna .....                                                               | 45 |
| 2. Atmosfera Ziemi .....                                                                 | 46 |
| 3. Oddziaływanie atmosfery z promieniowaniem .....                                       | 46 |
| 4. Wielkość energii słonecznej na Ziemi .....                                            | 47 |
| 5. Nasłonecznienie w Polsce .....                                                        | 48 |
| 6. Zalety promieniowania słonecznego jako źródła energii .....                           | 48 |
| 7. Wady promieniowania słonecznego jako źródła energii .....                             | 48 |
| 8. Sposoby produkcji energii elektrycznej z wykorzystaniem energii słonecznej .....      | 49 |
| 8.1. Metoda heliologiczna .....                                                          | 49 |
| 8.2. Metoda helioelektryczna .....                                                       | 50 |
| 9. Wiadomości wstępne z optoelektroniki .....                                            | 52 |
| 10. Budowa i zasada działania ogniw krzemowych .....                                     | 54 |
| 10.1. Podział ogniw PV .....                                                             | 55 |
| 11. Ognia z krzemu monolitycznego I generacji .....                                      | 56 |
| 11.1. Budowa fotoogniwa .....                                                            | 56 |
| 11.2. Technologia wytwarzania fotoogniwa I generacji .....                               | 57 |
| 12. Rozwiązania techniczne w budowie ogniw fotowoltaicznych II generacji .....           | 59 |
| 12.1. Budowa fotoogniwa .....                                                            | 59 |
| 12.2. Ognia P – TYPE (PERC) .....                                                        | 59 |
| 12.3. Technologia N – TYPE .....                                                         | 61 |
| 12.4. Łączenie ogniw PERC i PERT w moduły .....                                          | 64 |
| 12.5. Technologia wykonania busbarów (połączeń ogniw) .....                              | 64 |
| 12.6. Moduł half cut cells – ognia połówkowe .....                                       | 66 |
| 13. Budowa i zasada działania ogniw fotowoltaicznych III generacji .....                 | 67 |
| 13.1. Ognia CIS .....                                                                    | 68 |
| 13.2. Ognia CIGS .....                                                                   | 68 |
| 13.3. Ognia z tellurku kadmu (CdTe) .....                                                | 69 |
| 13.4. Ognia cienkowarstwowe jedno- i wielozłączowe z arsenku galu (GaAs) .....           | 71 |
| 14. Ognia PV III generacji z krzemu amorficznego (a-Si) budowane w technologii HJT ..... | 72 |
| 14.1. Budowa urządzenia .....                                                            | 73 |
| 14.2. Technologia produkcji ogniw HJT .....                                              | 74 |
| 14.3. Polskie rozwiązania techniczne .....                                               | 75 |

|                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 15. Budowa ogniwa PV III generacji z krzemu amorficznego (a-Si) w technologii TOPCon .....             | 76  |
| 15.1. Budowa urządzenia .....                                                                          | 76  |
| 15.2. Technologia produkcji wafla krzemowych c-Si N-TYPE .....                                         | 78  |
| 15.3. Warstwa selektywna (ITO) w ogniwie TOPCon .....                                                  | 78  |
| 15.4. Urządzenia do nakładania warstwy selektywnej .....                                               | 78  |
| 15.5. Połączenia za pomocą busbasów w ogniwach TOPCon .....                                            | 79  |
| 15.6. Ocena parametrów ogniw TOPCon .....                                                              | 79  |
| 15.7. Parametry elektryczne modułu TOPCon firmy Jolywood w standardowych warunkach testowych STC ..... | 80  |
| 15.8. Parametry mechaniczne modułu TOPCon firmy Jolywood .....                                         | 80  |
| 16. Budowa ogniwa PV III generacji w technologii TOPCon i HJT .....                                    | 81  |
| 17. Ogniwa fotowoltaiczne z materiałów organicznych .....                                              | 82  |
| 17.1. Budowa i technologia wytwarzania .....                                                           | 82  |
| 17.2. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne ogniw PV na podłożu polimerowym .....                      | 83  |
| 17.3. Sposoby produkcji .....                                                                          | 85  |
| 17.4. Sposoby montażu fotoogniw polimerowych elastycznych na dachu płaskim .....                       | 85  |
| 18. Organiczne ogniwa fotowoltaiczne (OPV), ogniwa IV generacji .....                                  | 87  |
| 19. Ogniwa fotowoltaiczne uczulane barwnikiem (DSSC) IV generacji .....                                | 88  |
| 19.1. Zasada działania .....                                                                           | 88  |
| 19.2. Budowa, parametry ogniwa .....                                                                   | 90  |
| 20. Hybrydowe panele słoneczne .....                                                                   | 90  |
| 20.1. Zasada działania .....                                                                           | 90  |
| 20.2. Budowa urządzenia .....                                                                          | 92  |
| 21. Dwustronne baterie słoneczne (Double sided bifacial solar panels) .....                            | 94  |
| 21.1. Dachy pokryte dachówką w formie paneli fotowoltaicznych .....                                    | 94  |
| 21.2. Angielskie dachówki fotowoltaiczne .....                                                         | 96  |
| 22. Najnowsze technologie wytwarzania ogniw fotowoltaicznych .....                                     | 97  |
| 22.1. Ogniwa perowskitowe .....                                                                        | 97  |
| 22.2. Moduły fotowoltaiczne z warstwą grafenową .....                                                  | 98  |
| 22.3. Projekt „Quantum Glass” spółki ML System .....                                                   | 99  |
| 22.4. Technologia skoncentrowanej fotowoltaiki (Concentrated Photovoltaics, CPV) .....                 | 101 |
| 22.5. Moduły PV z powłoką grafenową .....                                                              | 102 |
| 22.6. Ogniwa budowane w technologii C3 (Configurable Current Cells) .....                              | 102 |
| 22.7. Ogniwa fotowoltaiczne łączące perowskit i krzem .....                                            | 103 |
| 22.8. Elewacja z folii fotowoltaicznej .....                                                           | 104 |
| 22.9. Ogniwa PV klejone klejem ECA technologii Shingled (układane w formie gontów) .....               | 104 |
| 23. Utrata mocy fotoogniw funkcji czasu pracy .....                                                    | 105 |
| 23.1. Dioda bocznikująca fotoogniwo (bypass) .....                                                     | 105 |
| 23.2. Optymalizatory firmy Maxim Integrated .....                                                      | 107 |
| 23.3. Optymalizatory firmy Tigo Energy (Tigo TS4-R-O) .....                                            | 108 |
| 23.4. Moduł fotowoltaiczny firmy AE Solar – odporny na zacinienie .....                                | 108 |
| 24. Gorący punkt (hot spot) .....                                                                      | 109 |
| 24.1. Napięcie indukowane w module PID (Potential Induced Degradation) .....                           | 110 |
| 24.2. Prąd upływu .....                                                                                | 110 |
| 24.3. Prąd doziemny .....                                                                              | 110 |

|                                                                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 24.4. Pętla indukcyjna .....                                                                                                                                                 | 110 |
| 24.5. Zwarcie doziemne po stronie DC instalacji PV .....                                                                                                                     | 110 |
| 24.6. Badanie modułów fotowoltaicznych .....                                                                                                                                 | 111 |
| 24.7. Laboratorium do testowania systemów PV .....                                                                                                                           | 113 |
| 25. Analiza pracy fotoogniwa .....                                                                                                                                           | 114 |
| 25.1. Podstawowe zależności .....                                                                                                                                            | 114 |
| 25.2. Wpływ temperatury na parametry fotoogniwa .....                                                                                                                        | 118 |
| 25.3. Sposoby połączeń modułów PV .....                                                                                                                                      | 119 |
| 25.4. Wpływ promieniowania słonecznego na parametry<br>modułu fotowoltaicznego .....                                                                                         | 120 |
| 25.4.1. Współczynnik wypełnienia FF .....                                                                                                                                    | 121 |
| 26. Parametry osprzętu instalacji PV .....                                                                                                                                   | 122 |
| 26.1. Regulatory ładowania .....                                                                                                                                             | 122 |
| 26.2. Przetwornice napięcia .....                                                                                                                                            | 124 |
| 26.2.1. Falowniki 3-fazowe .....                                                                                                                                             | 126 |
| 26.2.2. Inwerter w instalacji fotowoltaicznej .....                                                                                                                          | 127 |
| 26.2.3. Przykładowe rozwiązanie .....                                                                                                                                        | 135 |
| 26.2.4. Parametry elektryczne pracy falownika 1-fazowego .....                                                                                                               | 135 |
| 26.2.5. Wybrane parametry falowników trójfazowych .....                                                                                                                      | 136 |
| 26.2.6. Falowniki średniej mocy .....                                                                                                                                        | 138 |
| 26.2.7. Falowniki hybrydowe .....                                                                                                                                            | 138 |
| 26.2.8. Panel fotowoltaiczny ze zintegrowanym mikrofalownikiem .....                                                                                                         | 139 |
| 26.2.9. Falowniki fotowoltaiczne z systemem kompensacji mocy biernej. ....                                                                                                   | 140 |
| 26.2.10. Zagadnienia eksploatacyjne dotyczące załączenia do sieci falowników .                                                                                               | 142 |
| 26.3. MPP tracker .....                                                                                                                                                      | 144 |
| 26.4. Monitorowanie na poziomie paneli .....                                                                                                                                 | 145 |
| 26.4.1. Moduły fotowoltaiczne SolarEdge zintegrowane<br>z optymalizatorami mocy .....                                                                                        | 147 |
| 26.5. Modem komunikacyjny .....                                                                                                                                              | 147 |
| 26.5.1. Zasada działania .....                                                                                                                                               | 147 |
| 26.5.2. Charakterystyka urządzeń .....                                                                                                                                       | 148 |
| 26.6. Sposób łączenia przewodów po stronie DC .....                                                                                                                          | 149 |
| 26.7. Dobór przewodów w instalacji fotowoltaicznej .....                                                                                                                     | 149 |
| 26.7.1. Warunki doboru przekroju przewodów ze względu<br>na obciążalność prądową długotrwałą .....                                                                           | 150 |
| 26.7.2. Wyznaczanie przekroju przewodów ze względu<br>na obciążalność długotrwałą po stronie DC .....                                                                        | 151 |
| 26.7.3. Wyznaczanie przekroju przewodów po stronie DC<br>ze względu na dopuszczalne spadki napięcia .....                                                                    | 152 |
| 26.7.4. Sprawdzenie wielkości strat mocy na przewodach łączących<br>łańcuch (string) modułów fotowoltaicznych z falownikiem .....                                            | 153 |
| 26.7.5. Wyznaczanie przekroju przewodów i kabli ze względu na obciążalność<br>długotrwałą i przeciążalność po stronie prądu zmiennego AC instalacji<br>fotowoltaicznej ..... | 153 |
| 26.7.6. Wyznaczanie przekroju przewodów po stronie AC<br>ze względu na dopuszczalne spadki napięcia .....                                                                    | 154 |
| 26.7.7. Dobór zabezpieczeń w instalacjach fotowoltaicznych .....                                                                                                             | 154 |
| 26.8. Mierniki instalacji fotowoltaicznych .....                                                                                                                             | 155 |
| 26.9. Pomiary natężenia promieniowania słonecznego i temperatury<br>modułu fotowoltaicznego .....                                                                            | 157 |
| 27. Dobór parametrów instalacji fotowoltaicznych .....                                                                                                                       | 158 |
| 27.1. Rodzaje instalacji PV .....                                                                                                                                            | 158 |
| 27.2. Mała instalacja fotowoltaiczna .....                                                                                                                                   | 158 |

|          |                                                                                                                    |     |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 27.3.    | Wybrane układy połączeń fotoogniw . . . . .                                                                        | 163 |
| 27.3.1.  | Sieć autonomiczna off-grid (wydzielona) . . . . .                                                                  | 163 |
| 27.3.2.  | Praca mikroelektrowni PV na sieć „sztywną” (on-grid) . . . . .                                                     | 168 |
| 28.      | Wytyczne montażowe . . . . .                                                                                       | 170 |
| 28.1.    | Etapy realizacji inwestycji . . . . .                                                                              | 170 |
| 28.2.    | Projekt techniczny . . . . .                                                                                       | 170 |
| 28.3.    | Etapy budowy . . . . .                                                                                             | 171 |
| 28.4.    | Zagadnienia techniczne montażu instalacji . . . . .                                                                | 171 |
| 28.5.    | Sposób montażu ogniw PV w rzędach . . . . .                                                                        | 171 |
| 28.6.    | Systemy zabezpieczeń w instalacjach fotowoltaicznych . . . . .                                                     | 173 |
| 28.6.1.  | Rodzaje zabezpieczeń instalacji fotowoltaicznej . . . . .                                                          | 174 |
| 28.7.    | Ochrona odgromowa instalacji fotowoltaicznych . . . . .                                                            | 174 |
| 28.7.1.  | Ochrona odgromowa – rodzaje ochrony . . . . .                                                                      | 175 |
| 28.7.2.  | Ochrona odgromowa – ochrona zewnętrzna . . . . .                                                                   | 176 |
| 28.7.3.  | Ochrona odgromowa farm fotowoltaicznych – ochrona zewnętrzna . . . . .                                             | 179 |
| 28.7.4.  | System ochronny instalacji PV bez zewnętrznej ochrony odgromowej (zwodów pionowych) – ochrona wewnętrzna . . . . . | 180 |
| 28.7.5.  | Ogólne zasady doboru ograniczników po stronie DC . . . . .                                                         | 182 |
| 28.7.6.  | Ochrona przetężeniowa i zwarciowa . . . . .                                                                        | 185 |
| 28.7.7.  | Ochrona przeciwporażeniowa w systemach fotowoltaicznych . . . . .                                                  | 186 |
| 28.8.    | Odbiór instalacji . . . . .                                                                                        | 187 |
| 29.      | BHP przy montażu instalacji fotowoltaicznej . . . . .                                                              | 188 |
| 29.1.    | Zasady BHP przy montażu instalacji fotowoltaicznych . . . . .                                                      | 188 |
| 29.2.    | Kompletność dostawy materiałów i urządzeń . . . . .                                                                | 190 |
| 29.3.    | Transport i składowanie . . . . .                                                                                  | 190 |
| 29.4.    | Dokumentacja techniczna . . . . .                                                                                  | 190 |
| 29.5.    | Narzędzia i sprzęt dodatkowy . . . . .                                                                             | 190 |
| 29.6.    | Informacje ogólne . . . . .                                                                                        | 190 |
| 29.7.    | Przepisy bezpieczeństwa . . . . .                                                                                  | 191 |
| 29.8.    | Ochrona przeciwporażeniowa . . . . .                                                                               | 191 |
| 29.8.1.  | Ochrona przeciwpożarowa . . . . .                                                                                  | 191 |
| 29.8.2.  | Postępowanie w razie pożaru budynku z instalacją PV . . . . .                                                      | 193 |
| 29.8.3.  | Analiza skutków pożarów instalacji fotowoltaicznych . . . . .                                                      | 194 |
| 29.8.4.  | Gaszenie pożaru nocą z instalacją PV na dachu . . . . .                                                            | 195 |
| 29.8.5.  | Łuk elektryczny . . . . .                                                                                          | 195 |
| 29.8.6.  | Zasady wyposażenia obiektów w gaśnice . . . . .                                                                    | 196 |
| 29.8.7.  | Gaszenie urządzeń elektrycznych . . . . .                                                                          | 196 |
| 29.8.8.  | Optyimizery . . . . .                                                                                              | 196 |
| 29.8.9.  | Dokumentacja instalacji PV . . . . .                                                                               | 197 |
| 29.8.10. | Ubezpieczenie instalacji PV na wypadek pożaru . . . . .                                                            | 197 |
| 29.9.    | Bezpieczeństwo wykonywania prac przy urządzeniach elektrycznych . . . . .                                          | 198 |
| 29.10.   | Oznaczenia i symbole . . . . .                                                                                     | 199 |
| 30.      | Montaż instalacji fotowoltaicznej . . . . .                                                                        | 200 |
| 30.1.    | Systemy montażowe dla modułów skrzynkowych . . . . .                                                               | 201 |
| 30.1.1.  | Montaż na dachu spadzistym . . . . .                                                                               | 201 |
| 30.1.2.  | Montaż ogniw PV na dachu płaskim lub płaszczyźnie poziomej . . . . .                                               | 203 |
| 30.1.3.  | Sposób montażu modułów . . . . .                                                                                   | 205 |
| 30.1.4.  | Zintegrowane z dachem moduły fotowoltaiczne . . . . .                                                              | 205 |
| 30.1.5.  | Montaż fotoogniw „podążających za słońcem” . . . . .                                                               | 206 |
| 30.1.6.  | Konstrukcja do mocowania na stropie . . . . .                                                                      | 207 |
| 30.1.7.  | Konstrukcja wsporcza mocowana do betonowych bloków . . . . .                                                       | 208 |
| 30.1.8.  | System samonośny . . . . .                                                                                         | 209 |
| 30.2.    | Montaż systemów PV na gruncie . . . . .                                                                            | 209 |

|                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 30.3. Montaż instalacji fotowoltaicznej na konstrukcji aluminiowej na dachu płaskim .....                         | 210 |
| 30.4. Montaż instalacji fotowoltaicznej na dachu spadzistym pokrytym dachówką betonową .....                      | 212 |
| 30.5. Montaż instalacji fotowoltaicznej na konstrukcji aluminiowej na dachu płaskim pokrytym blachą falistą ..... | 216 |
| 30.6. Montaż instalacji fotowoltaicznej na dachu spadzistym pokrytym blachodachówką .....                         | 216 |
| 30.7. Najnowsze rozwiązania techniczne w zakresie mocowania modułów PV ..                                         | 217 |
| 30.8. Fotowoltaika zintegrowana z budynkiem – Instalacje BIPV (Building Integrated Photovoltaics BIPV) .....      | 218 |
| 30.9. Agrofotowoltaika (APV) .....                                                                                | 224 |
| 30.10. Łuki fotowoltaiczne .....                                                                                  | 225 |
| 30.11. Szklarnie pokryte modułami PV Bifacial .....                                                               | 226 |
| 30.12. Pasieki na farmach PV .....                                                                                | 226 |
| 30.13. Instalacje fotowoltaiczne posadowione na wodzie (floating-PV) .....                                        | 227 |
| 30.14. Naziemna pionowa farma PV z dwustronnymi modułami .....                                                    | 228 |
| 30.15. Fotowoltaika na polskich autostradach .....                                                                | 229 |
| 31. Eksploatacja instalacji fotowoltaicznych .....                                                                | 230 |
| 31.1. Wymiana uszkodzonego modułu .....                                                                           | 230 |
| 31.2. Mycie instalacji fotowoltaicznej .....                                                                      | 230 |
| 31.3. Sprawdzenie mocowania paneli .....                                                                          | 231 |
| 31.4. Usuwanie śniegu .....                                                                                       | 231 |
| 31.5. Stan przewodów zasilających w instalacji prądu stałego (DC) .....                                           | 232 |
| 31.6. Sprawdzenie stanu technicznego falownika .....                                                              | 232 |
| 31.7. Czynniki wpływające ujemnie na produkcję energii z elektrowni fotowoltaicznej .....                         | 232 |
| 31.8. Uruchamianie systemu fotowoltaicznego .....                                                                 | 232 |
| 31.9. Projektowanie systemów PV za pomocą symulacji komputerowych .....                                           | 236 |
| 32. Magazynowanie energii z OZE .....                                                                             | 237 |
| 32.1. Magazyn energii z instalacji PV u prosumentów .....                                                         | 239 |
| 32.2. Akumulatory litowo-jonowe .....                                                                             | 240 |
| 32.3. Akumulator sodowo-jonowy .....                                                                              | 243 |
| 32.4. Dobór wielkości mocy akumulatorów do instalacji fotowoltaicznej off-grid .....                              | 244 |
| 32.5. Dobór wielkości mocy akumulatorów do instalacji fotowoltaicznej on-grid .....                               | 245 |
| 32.6. Duże magazyny energii w Polsce – „Podstacja przyszłości w Garbcach” ..                                      | 246 |
| 32.7. Baterie przepływowe (redox flow cell) .....                                                                 | 247 |
| 32.7.1. Budowa akumulatora przepływowego .....                                                                    | 247 |
| 32.7.2. Wanadowe akumulatory przepływowe (all vanadium) .....                                                     | 249 |
| 32.7.3. Przykładowe rozwiązania techniczne .....                                                                  | 249 |
| 32.7.4. Dalsze badania naukowe nad ogniwami przepływowymi .....                                                   | 252 |
| 32.8. Wirtualna elektrownia złożona z tysięcy domowych baterii .....                                              | 252 |
| 32.9. Magazynowanie energii dzięki grawitacji .....                                                               | 253 |
| 32.10. Recykling modułów fotowoltaicznych .....                                                                   | 255 |
| 32.11. Wykorzystywanie energii elektrycznej z fotoogniw do elektrolizy wody ..                                    | 256 |
| 32.12. Ogniwa paliwowe (fuel cells) .....                                                                         | 257 |
| 32.13. Współpraca mikroinstalacji fotowoltaicznych z siecią dystrybucyjną niskiego napięcia .....                 | 260 |

|                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 33. Kolektory słoneczne .....                                                                 | 262 |
| 33.1. Dane statystyczne .....                                                                 | 262 |
| 33.2. Rodzaje i budowa kolektorów słonecznych .....                                           | 264 |
| 33.2.1. Podział kolektorów .....                                                              | 264 |
| 33.3. Kolektory płaskie cieczowe .....                                                        | 264 |
| 33.4. Budowa kolektorów płaskich, bilans energii .....                                        | 265 |
| 33.5. Przykładowe dane techniczne i charakterystyka identyfikacyjna kolektorów płaskich ..... | 268 |
| 33.5.1. Kolektory płaskie w wykonaniu standardowym .....                                      | 268 |
| 33.6. Budowa próżniowych rurowych kolektorów słonecznych .....                                | 269 |
| 33.6.1. Kolektory próżniowe heat-pipe (gorąca rurka – ciepłowod) .....                        | 269 |
| 33.6.2. Kolektory próżniowe heat-pipe z pojedynczą rurą próżniową .....                       | 272 |
| 33.6.3. Kolektory próżniowe z U-rurą .....                                                    | 273 |
| 33.7. Zwierciadło CPC .....                                                                   | 274 |
| 33.8. Ogólna charakterystyka kolektorów próżniowych .....                                     | 274 |
| 33.9. Kolektory słoneczne skupiające .....                                                    | 275 |
| 33.9.1. Energia elektryczna i ciepła z systemów słonecznych .....                             | 276 |
| 33.10. Kolektor cieczowy wykonany w formie maty z propylenu .....                             | 277 |
| 33.11. Świadczenia poprawności wykonania kolektorów .....                                     | 277 |
| 34. Słoneczne instalacje grzewcze .....                                                       | 278 |
| 34.1. Bezpośrednie i pośrednie .....                                                          | 278 |
| 34.1.1. Układ do podgrzewania wody bez zasobnika .....                                        | 278 |
| 34.1.2. Układ do podgrzewania wody z zasobnikiem .....                                        | 278 |
| 34.1.3. Pośrednie .....                                                                       | 279 |
| 34.1.4. Układ pompowy .....                                                                   | 279 |
| 35. Parametry techniczne instalacji solarnej do ogrzewania c.w.u., c.o., schematy ..          | 281 |
| 35.1. Instalacja solarna dla ciepłej wody użytkowej i wspomagania ogrzewania budynku .....    | 281 |
| 35.2. Przykładowe schematy systemów grzewczych wspomaganych kolektorami słonecznymi .....     | 282 |
| 36. Typowe elementy słonecznej instalacji grzewczej .....                                     | 288 |
| 36.1. Zbiorniki na wodę – charakterystyka ogólna .....                                        | 288 |
| 36.2. Zasobniki w instalacji solarnej .....                                                   | 290 |
| 36.3. Przeciwdziałanie bakteriom Legionella Pneumophila w instalacji c.w.u. ..                | 290 |
| 36.4. Wymiennik ciepła .....                                                                  | 291 |
| 36.5. Zasobnik z jedną węzownicą .....                                                        | 291 |
| 36.6. Zasobniki z dwiema węzownicami .....                                                    | 291 |
| 36.7. Zasobnik płaszczowy .....                                                               | 293 |
| 36.8. Zasobniki kombinowane (multiwalentne) – typu zbiornik w zbiorniku ...                   | 293 |
| 37. Pompowe stacje solarne .....                                                              | 294 |
| 37.1. Stacja solarna dwudrogowa .....                                                         | 294 |
| 37.2. Jednodrogowa stacja solarna .....                                                       | 295 |
| 38. Pompa solarna .....                                                                       | 295 |
| 39. Regulatory .....                                                                          | 296 |
| 40. Zasilacz bezprzewodowy, awaryjny, UPS .....                                               | 297 |
| 41. Czujniki temperatury .....                                                                | 298 |
| 42. Elektroniczny termostat przyłgowy .....                                                   | 298 |
| 43. Wymiennik płytowy .....                                                                   | 298 |
| 44. Grzałka elektryczna .....                                                                 | 299 |
| 45. Odpowietrznik instalacji solarnej .....                                                   | 300 |

|                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 46. Złączka kompensacyjna .....                                                               | 300 |
| 47. Rotametr .....                                                                            | 300 |
| 48. Manometr .....                                                                            | 301 |
| 49. Separator powietrza .....                                                                 | 301 |
| 50. Licznik ciepła (ciepłomierz) .....                                                        | 301 |
| 51. Uchwyty dachowe kolektora i konstrukcje wolnostojące .....                                | 302 |
| 52. Oblachowanie kolektorów .....                                                             | 303 |
| 53. Naczynie wzbiornicze .....                                                                | 303 |
| 54. Zawór bezpieczeństwa .....                                                                | 306 |
| 55. Wykonanie instalacji rurowej .....                                                        | 306 |
| 56. Izolacja cieplna instalacji solarnej .....                                                | 307 |
| 57. Wężę solarne .....                                                                        | 308 |
| 58. Układ hydrauliczny instalacji solarnej .....                                              | 308 |
| 59. Montaż i instalacja kolektorów .....                                                      | 308 |
| 59.1. Możliwości usytuowania kolektorów .....                                                 | 308 |
| 59.2. Odległość między rzędami kolektorów .....                                               | 309 |
| 60. Wpływ ustawienia kolektora na jego parametry energetyczne .....                           | 310 |
| 61. Instalacje do ciepłej wody użytkowej w budynkach indywidualnych .....                     | 312 |
| 61.1. Dobór urządzeń do instalacji solarnej .....                                             | 312 |
| 61.1.1. Warunki konieczne do określenia powierzchni kolektorów słonecznych .....              | 312 |
| 61.1.2. Wyznaczenie całkowitych oporów przepływu w typowej instalacji .....                   | 312 |
| 61.1.3. Pojemność instalacji .....                                                            | 313 |
| 61.1.4. Zużycie energii w gospodarstwie domowym .....                                         | 313 |
| 62. Instalacja do podgrzewania wody basenowej .....                                           | 314 |
| 63. Łączenie kolektorów w instalacje o dużej powierzchni czynnej .....                        | 316 |
| 64. Zalecenia eksploatacyjne .....                                                            | 318 |
| 65. Przykłady montażu kolektorów słonecznych .....                                            | 319 |
| 66. Dobór wielkości instalacji .....                                                          | 319 |
| 67. Dobór wielkości kolektora i zasobnika .....                                               | 320 |
| 68. Lokalizacja zasobników wody użytkowej i zbiorników akumulacyjnych .....                   | 321 |
| 69. Instalacje do przygotowania c.w.u. oraz wspomagania c.o. w budynkach indywidualnych ..... | 321 |
| 69.1. Efektywność pracy kolektorów słonecznych .....                                          | 324 |
| 70. Napełnienie i odpowietrzenie instalacji solarnej .....                                    | 328 |
| 71. Instalacje wielkogabarytowe .....                                                         | 330 |
| 71.1. Największa instalacja solarna w Polsce .....                                            | 330 |
| 71.2. Instalacja wielkogabarytowa z magazynem ciepła .....                                    | 331 |
| 72. Płaskie kolektory powietrzne .....                                                        | 335 |
| 72.1. Zasada działania .....                                                                  | 335 |
| 72.2. Budowa .....                                                                            | 335 |
| 72.3. Konstrukcje kolektorów .....                                                            | 337 |
| 72.4. Zalety i wady stosowania kolektorów słonecznych i powietrznych .....                    | 337 |
| 72.5. Rozwiązania konstrukcyjne instalacji .....                                              | 338 |
| 72.6. Sposoby rozdziału powietrza .....                                                       | 340 |
| 72.7. Przykłady instalacji .....                                                              | 340 |
| 72.7.1. Małe budynki .....                                                                    | 340 |
| 72.7.2. Mieszkania, pomieszczenia biurowe, szkoły, obiekty handlowe, itp. ....                | 342 |
| 72.7.3. Systemy przemysłowe .....                                                             | 342 |
| 72.7.4. Suszenie produktów rolnych .....                                                      | 345 |
| 72.7.5. Przechowywanie produktów rolnych .....                                                | 345 |
| 72.7.6. Ogrzewanie pomieszczeń inwentarskich .....                                            | 345 |

|                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 72.7.7. Podgrzewanie szklarni i tuneli foliowych . . . . .                                                         | 345 |
| 72.7.8. Ciepło technologiczne . . . . .                                                                            | 346 |
| 72.8. Koszty i oszczędności wynikające ze stosowania dużych systemów solarnych do podgrzewania powietrza . . . . . | 346 |
| 72.9. Podsumowanie . . . . .                                                                                       | 347 |
| 73. Badania nad wykorzystaniem energii słonecznej w instalacjach solarnych w laboratorium OZE w ZSE nr 1 . . . . . | 347 |
| 74. Symulacyjne programy komputerowe . . . . .                                                                     | 348 |
| 75. Bilans energetyczny wydajności instalacji solarnej na podstawie symulacji . . . . .                            | 348 |
| 76. Informacje techniczne oraz zasady BHP obowiązujące przy montażu kolektorów płaskich . . . . .                  | 352 |
| 76.1. BHP podczas montażu . . . . .                                                                                | 352 |
| 76.2. Kompletność dostawy . . . . .                                                                                | 352 |
| 76.3. Transport i składowanie . . . . .                                                                            | 353 |
| 76.4. Dokumentacja techniczna . . . . .                                                                            | 353 |
| 76.5. Narzędzia i sprzęt dodatkowy . . . . .                                                                       | 353 |
| 76.6. Informacje ogólne . . . . .                                                                                  | 353 |
| 76.7. Odpowietrzanie solarnego obwodu pierwotnego . . . . .                                                        | 354 |
| 76.8. Prowadzenie rur solarnego obwodu pierwotnego . . . . .                                                       | 354 |
| 76.9. Podłączenie przewodów zbiorczych . . . . .                                                                   | 354 |
| 76.10. Montaż kolektora . . . . .                                                                                  | 355 |
| 76.11. Połączenie kolektorów w baterię solarną . . . . .                                                           | 356 |
| 76.12. Napełnianie solarnego obwodu pierwotnego płynem solarnym . . . . .                                          | 356 |
| 76.13. Odpowietrzenie instalacji . . . . .                                                                         | 356 |
| 76.14. Prace izolacyjne . . . . .                                                                                  | 357 |
| 76.15. Przepisy bezpieczeństwa . . . . .                                                                           | 357 |
| 76.16. Ochrona przeciwporażeniowa . . . . .                                                                        | 357 |
| 76.17. Ochrona przeciwpożarowa . . . . .                                                                           | 357 |
| 76.18. Bezpieczeństwo wykonywania prac przy urządzeniach elektrycznych. . . . .                                    | 357 |
| 76.19. Elektryczne okablowanie urządzenia . . . . .                                                                | 358 |
| 76.20. Zabezpieczenie przed uderzeniem pioruna (piorunochron) i wyrównywanie potencjałów . . . . .                 | 358 |
| 76.21. Uruchomienie . . . . .                                                                                      | 358 |
| 76.22. Wyłączanie/zatrzymanie . . . . .                                                                            | 359 |
| 76.23. Kontrola instalacji . . . . .                                                                               | 359 |
| 76.24. Eksploatacja instalacji solarnej do celów wspomagania ogrzewania budynku . . . . .                          | 359 |
| 76.25. Przegląd instalacji . . . . .                                                                               | 360 |
| 76.26. Ważne informacje dla użytkownika instalacji . . . . .                                                       | 360 |
| 76.27. Warunki gwarancji . . . . .                                                                                 | 361 |
| 76.28. Najczęściej występujące usterki . . . . .                                                                   | 361 |
| 77. Uwagi do montażu kolektorów rurowych próżniowych na dachu spadzistym i na powierzchni płaskiej . . . . .       | 361 |
| 78. Instalacje o większych powierzchniach . . . . .                                                                | 362 |

## ROZDZIAŁ II

### ENERGIA CIEPLNA ZIEMI I POWIETRZA

|                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Wstęp .....                                                                                                                       | 363 |
| 1.1. Zasoby geotermalne .....                                                                                                        | 364 |
| 1.2. Źródła energii geotermalnej .....                                                                                               | 364 |
| 1.3. Gejzery jako źródła energii geotermalnej .....                                                                                  | 365 |
| 1.4. Gorące suche skały – źródło energii geotermalnej .....                                                                          | 365 |
| 1.5. Parametry termodynamiczne wód geotermalnych .....                                                                               | 365 |
| 1.6. Sposoby wykorzystania energii geotermalnej .....                                                                                | 368 |
| 1.7. Dobrodrojeństwa płynące z wykorzystania energii geotermalnej .....                                                              | 369 |
| 1.8. Zagrożenia wynikające z wykorzystania energii geotermalnej .....                                                                | 369 |
| 2. Przykłady wykorzystania energii geotermalnej .....                                                                                | 369 |
| 2.1. Bezpośrednie zastosowania energii geotermalnej .....                                                                            | 371 |
| 2.2. Bezpośrednie sposoby wykorzystania energii geotermalnej w Polsce .....                                                          | 373 |
| 3. Elektrociepłownie geotermalne .....                                                                                               | 374 |
| 3.1. Wykorzystanie energii geotermalnej w elektrociepłowniach .....                                                                  | 374 |
| 4. Wielkość i rozmieszczenie w Polsce zasobów wód geotermalnych .....                                                                | 377 |
| 4.1. Prowincje i okręgi posiadające wody geotermalne .....                                                                           | 377 |
| 4.2. Charakterystyka złóż geotermalnych w Polsce .....                                                                               | 378 |
| 5. Przykładowe instalacje geotermalne w Polsce .....                                                                                 | 380 |
| 5.1. Funkcjonujące ciepłownie geotermalne .....                                                                                      | 380 |
| 5.2. Zakład w Mszczonowie .....                                                                                                      | 380 |
| 5.3. Ciepłownia w Pyrzycach .....                                                                                                    | 381 |
| 5.4. Geotermia na Podhalu .....                                                                                                      | 384 |
| 5.5. Pierwszy zakład geotermalny w Polsce .....                                                                                      | 384 |
| 5.6. Schemat zagospodarowania wód geotermalnych w Bańskiej Niżnej .....                                                              | 386 |
| 5.7. Kaskadowy system wykorzystania energii geotermalnej .....                                                                       | 387 |
| 5.8. Geotermia Uniejów .....                                                                                                         | 387 |
| 5.9. System wykorzystania niskotemperaturowej wody geotermalnej do celów<br>ciepłowniczych i konsumpcyjnych w mieście Słomniki ..... | 388 |
| 5.10. Ciepłownia geotermalna w Stargardzie Szczecińskim .....                                                                        | 390 |
| 5.11. Geotermia w Toruniu .....                                                                                                      | 390 |
| 5.12. Plan wykorzystania energii geotermalnej w Polsce do roku 2030 .....                                                            | 393 |
| 6. Wnioski .....                                                                                                                     | 393 |
| 7. Energia ciepła płytkich złóż geotermalnych .....                                                                                  | 397 |
| 7.1. Właściwości gruntu .....                                                                                                        | 397 |
| 8. Pompy ciepła .....                                                                                                                | 401 |
| 8.1. Informacje ogólne dotyczące pomp ciepła .....                                                                                   | 403 |
| 8.2. Budowa oraz zasada działania pompy ciepła .....                                                                                 | 403 |
| 8.3. Ogólne warunki instalacji .....                                                                                                 | 405 |
| 8.4. System grzewczy z pompą ciepła .....                                                                                            | 406 |
| 9. Instalacje dolnego źródła ciepła WQA .....                                                                                        | 407 |
| 9.1. Systemy powietrzne (powietrze/woda) .....                                                                                       | 407 |
| 9.1.1. Rodzaje powietrznych pomp ciepła .....                                                                                        | 409 |
| 9.2. Systemy gruntowe poziome (solanka/woda) .....                                                                                   | 416 |
| 9.3. Wymienniki gruntowe pionowe .....                                                                                               | 424 |
| 9.4. Wody gruntowe .....                                                                                                             | 426 |
| 9.5. Wody geotermalne .....                                                                                                          | 427 |

|                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 10. Górne źródło ciepła WNA . . . . .                                                                        | 427 |
| 11. Wybrane przykłady urządzeń do instalacji pomp ciepła . . . . .                                           | 428 |
| 11.1. Dolne źródło ciepła – grunt, instalacja solanka – woda . . . . .                                       | 428 |
| 11.2. Gruntowe pompy ciepła, instalacja woda – woda . . . . .                                                | 430 |
| 11.3. Pompa ciepła z bezpośrednim odparowaniem czynnika . . . . .                                            | 431 |
| 11.4. Pompy ciepła na powietrze wentylacyjne . . . . .                                                       | 434 |
| 12. Aspekty ekonomiczne zastosowania pomp ciepła i porównanie ich z innymi instalacjami grzewczymi . . . . . | 438 |
| 13. Sezonowy współczynnik efektywności SPF . . . . .                                                         | 439 |
| 14. Wizualizacja pracy instalacji z pompą ciepła . . . . .                                                   | 440 |
| 15. Absorpcyjne pompy ciepła . . . . .                                                                       | 441 |
| 15.1. Zasada działania . . . . .                                                                             | 441 |
| 15.2. Współpraca pompy ciepła z instalacją solarną, chłodzenie przez grzanie . . . . .                       | 443 |
| 16. Wady i zalety pomp ciepła . . . . .                                                                      | 443 |
| 17. Instalacje nawiewno-wywiewne z rekuperatorem w budynkach mieszkalnych . . . . .                          | 445 |
| 17.1. Instalacje nawiewno-wywiewne, informacje ogólne . . . . .                                              | 445 |
| 17.2. Budowa oraz zasada działania instalacji nawiewno-wywiewnej . . . . .                                   | 445 |
| 17.3. Koncepcja samowystarczalnego budynku niskoenergetycznego zasilanego z OZE . . . . .                    | 450 |
| 17.3.1. Przepisy unijne i krajowe w tym zakresie . . . . .                                                   | 450 |
| 17.3.2. Standard WT 2021 . . . . .                                                                           | 451 |
| 17.3.4. Ogrzewanie w standardzie WT 2021 . . . . .                                                           | 453 |

## ROZDZIAŁ III

### ENERGIA WIATRU

|                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Wstęp . . . . .                                                               | 459 |
| 2. Wiatr i jego zasoby energetyczne . . . . .                                    | 460 |
| 2.1. Wpływ czynników środowiskowych . . . . .                                    | 461 |
| 2.2. Róża wiatrów . . . . .                                                      | 462 |
| 2.3. Zasoby na lądzie . . . . .                                                  | 463 |
| 2.4. Szorstkość terenu . . . . .                                                 | 465 |
| 3. Podstawa działania elektrowni wiatrowej . . . . .                             | 467 |
| 3.1. Podstawowe informacje o krzywej mocy . . . . .                              | 467 |
| 3.2. Parametry pracy siłowni wiatrowych . . . . .                                | 468 |
| 3.3. Silniki wiatrowe . . . . .                                                  | 469 |
| 3.4. Lokalne oddziaływanie energetyki wiatrowej . . . . .                        | 472 |
| 4. Budowa elektrowni wiatrowej . . . . .                                         | 473 |
| 4.1. Metody regulacji mocy oddawanej przez elektrownie wiatrowe . . . . .        | 475 |
| 4.1.1. Koncepcje pracy siłowni wiatrowej . . . . .                               | 475 |
| 4.1.2. Regulacja ustawienia elektrowni w kierunku wiatru (Yaw Control) . . . . . | 476 |
| 4.1.3. Regulacja kąta ustawienia łopat (Active Pitch Regulation) . . . . .       | 476 |
| 4.1.4. Regulacja przez zmianę prędkości obrotowej generatora . . . . .           | 476 |
| 4.1.5. Regulacja przez zmianę obciążenia (Load Control) . . . . .                | 477 |
| 4.1.6. Regulacja przez „przeciągnięcie” (Stall Regulation) . . . . .             | 477 |
| 4.1.7. Regulacja lotkami łopat wirnika (Aileron Control) . . . . .               | 477 |
| 4.2. Generatory . . . . .                                                        | 477 |
| 4.3. Krótka charakterystyka nowych konstrukcji elektrowni wiatrowych . . . . .   | 479 |
| 5. Zainstalowana moc i sposób montażu elektrowni wiatrowych . . . . .            | 481 |

|                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1. Wielkość mocy i energii, zainstalowanej w elektrowniach wiatrowych w UE. ....                       | 482 |
| 5.2. Sposób montażu konstrukcji elektrowni wiatrowych .....                                              | 484 |
| 6. Struktura kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych w przypadku energetyki wiatrowej 200-500 kW ..... | 486 |
| 7. Rozmieszczenie elektrowni pracujących w Polsce. ....                                                  | 487 |
| 7.1. Przeznaczenie pojedynczej elektrowni wiatrowej .....                                                | 488 |
| 7.1.1. Elektrownia wiatrowa V80 .....                                                                    | 488 |
| 8. Optymalizacja warunków pracy silnika wiatrowego .....                                                 | 489 |
| 9. Systemy sterowania w elektrowni wiatrowej .....                                                       | 490 |
| 9.1. Sterowniki .....                                                                                    | 490 |
| 9.2. Zdalne sterowanie .....                                                                             | 493 |
| 9.3. Sterowanie w małych elektrowniach wiatrowych .....                                                  | 494 |
| 10. Małe elektrownie wiatrowe – charakterystyka .....                                                    | 494 |
| 10.1. Elektrownia wiatrowa „Zefir-6” 5 kW .....                                                          | 495 |
| 10.2. Turbina wiatrowa o mocy 1,5 kW .....                                                               | 496 |
| 11. Wybrane wyniki badań, elektrowni wiatrowej ECO-H-1,5 kW .....                                        | 497 |
| 12. Mikroelektrownie wiatrowe z pionową osią obrotu .....                                                | 500 |
| 13. Wybrane wyniki badań, małej elektrowni wiatrowej .....                                               | 504 |
| 14. Programy do symulacji pracy elektrowni wiatrowych .....                                              | 506 |
| 15. Perspektywy rozwoju energetyki wiatrowej na morzu bałtyckim .....                                    | 506 |
| 16. Podsumowanie .....                                                                                   | 510 |

## ROZDZIAŁ IV ENERGIA WODY

|                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Wstęp .....                                                                          | 511 |
| 2. Parametry elektrowni wodnych .....                                                   | 512 |
| 3. Rozwiązania konstrukcyjne elektrowni wodnych .....                                   | 513 |
| 3.1. Budowle hydrotechniczne, elementy elektrowni wodnych, urządzenia mechaniczne ..... | 513 |
| 3.2. Elektrownie zbiornikowe i przepływowe. ....                                        | 515 |
| 3.2.1. Elektrownie zbiornikowe – szczytowo-pompowe .....                                | 516 |
| 3.2.2. Elektrownie wodne przepływowe. ....                                              | 519 |
| 3.3. Wybrane przykłady. ....                                                            | 519 |
| 3.3.1. Elektrownia Małomice .....                                                       | 519 |
| 3.3.2. Elektrownia Solina .....                                                         | 520 |
| 4. Mała energetyka wodna .....                                                          | 520 |
| 5. Zasada działania i budowa turbin wodnych .....                                       | 522 |
| 5.1. Rozwiązania współczesne z turbinami Francisza .....                                | 523 |
| 5.2. Współczesne rozwiązania z turbinami Kaplana. ....                                  | 524 |
| 5.3. Rozwiązania z turbinami Peltona .....                                              | 525 |
| 6. Mikro elektrownie wodne. ....                                                        | 526 |
| 7. Prądnice elektryczne. ....                                                           | 529 |
| 7.1. Budowa i zasada działania prądnic asynchronicznych (indukcyjnych). ....            | 530 |
| 7.2. Prądnice synchroniczne (hydrogeneratory), budowa zasada działania ....             | 534 |
| 8. Regulatory turbin wodnych. ....                                                      | 538 |
| 8.1. Elektrohydrauliczny regulator prędkości obrotowej turbiny lub jej mocy ..          | 538 |
| 8.2. Rodzaje automatyzacji procesów ruchowych w MEW .....                               | 539 |

|                                                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 9. Procesy ruchowe w MEW. ....                                                                                                          | 540 |
| 9.1. Zakres i stopień automatyzacji procesów rozruchowych. ....                                                                         | 541 |
| 10. Sposoby automatyzacji procesów ruchowych MEW ....                                                                                   | 542 |
| 10.1. Układ sterowania łopatek turbiny (USW) ....                                                                                       | 542 |
| 10.2. Automatyczny regulator prędkości kątowej turbiny (ART). ....                                                                      | 542 |
| 10.3. Układ sterowania aparatu kierowniczego turbiny (USK) ....                                                                         | 542 |
| 10.4. Układ automatycznej regulacji napięcia prądnicy synchronicznej (ARN) .                                                            | 543 |
| 10.5. Automatyczny synchronizator prądnicy synchronicznej (ASG) ....                                                                    | 543 |
| 10.6. Układ automatycznego sterowania procesami rozruchowymi turbozespołu<br>(USR) ....                                                 | 543 |
| 10.7. Układ automatycznego sterowania procesami odstawiania turbozespołu<br>(USO) ....                                                  | 543 |
| 10.8. Układ automatycznej regulacji poziomu wody (ARP) ....                                                                             | 543 |
| 10.9. Auto operator (AOP) ....                                                                                                          | 544 |
| 10.10. Układ sterowania zamknięć wlotowych wody do turbiny (USZ) ....                                                                   | 544 |
| 10.11. Układ programujący pracę szczytową MEW (UPP) ....                                                                                | 545 |
| 10.12. Sterowanie prądnicami asynchronicznymi. ....                                                                                     | 545 |
| 11. Sposoby przekazywania napędu z turbiny na prądnice ....                                                                             | 545 |
| 11.1. Bezpośrednie sprzęgnięcie wału z prądnicą. ....                                                                                   | 545 |
| 11.2. Przekazywanie napędu przez przekładnie ....                                                                                       | 545 |
| 11.3. Przekładnie pasowe ....                                                                                                           | 545 |
| 11.4. Przekładnie zębate ....                                                                                                           | 546 |
| 12. Pomocnicze wyposażenie mechaniczne ....                                                                                             | 547 |
| 12.1. Kraty na ujęciach wody i ich czyszczenie ....                                                                                     | 547 |
| 12.2. Zamknięcie dopływu wody do turbin. ....                                                                                           | 548 |
| 12.3. Wyposażanie budynków elektrowni w dźwignice ....                                                                                  | 549 |
| 13. Systemy pracy, zabezpieczeń, pomiary w MEW ....                                                                                     | 549 |
| 13.1. Zabezpieczenia bloków z prądnicami synchronicznymi<br>i transformatorowymi o mocy do 5000 kVA ....                                | 550 |
| 13.2. Zabezpieczenia prądnic asynchronicznych o mocy do 250 kVA i napięciu<br>do 1000 V, zasilających bezpośrednio szyny zbiorcze. .... | 551 |
| 13.3. Zabezpieczenia bloków, prądnica asynchroniczna – transformator o mocy<br>do 250 kVA. ....                                         | 552 |
| 13.4. Zabezpieczenia turbozespołów ....                                                                                                 | 552 |
| 13.5. Ochrona przeciwporażeniowa ....                                                                                                   | 553 |
| 13.6. Ochrona od przepięć oraz instalacje piorunochronne ....                                                                           | 555 |
| 13.7. Ochrona przeciwpożarowa. ....                                                                                                     | 555 |
| 13.8. Bezpieczeństwo wykonywania prac przy urządzeniach elektrycznych. ...                                                              | 555 |
| 13.9. Udzielanie pierwszej pomocy osobom porażonym prądem elektrycznym .                                                                | 556 |
| 13.10. Sygnalizacja zakłóceń pracy ....                                                                                                 | 556 |
| 13.11. Pomiary ....                                                                                                                     | 556 |
| 13.12. Potrzeby własne elektrowni ....                                                                                                  | 558 |
| 13.13. Uziomy ....                                                                                                                      | 558 |
| 14. Wybrane elementy dokumentacji małej elektrowni wodnej Zakopane – Olcza. .                                                           | 559 |
| 14.1. Opis techniczny, charakterystyka elektrowni. ....                                                                                 | 559 |
| 15. Podsumowanie ....                                                                                                                   | 562 |

## ROZDZIAŁ V

### ENERGIA BIOMASY

|                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Pojęcie biomasy .....                                                                                                       | 563 |
| 2. Drewno jako biopaliwo .....                                                                                                 | 566 |
| 2.1. Wierzba energetyczna .....                                                                                                | 567 |
| 2.2. Gazyfikacja biomasy .....                                                                                                 | 569 |
| 2.3. Kotły do spalania drewna .....                                                                                            | 573 |
| 2.4. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne kotłów do spalania drewna<br>V generacji .....                                      | 576 |
| 2.5. Kotły małej mocy .....                                                                                                    | 578 |
| 2.6. Piec MS .....                                                                                                             | 578 |
| 2.7. Kotły dużej mocy .....                                                                                                    | 579 |
| 2.8. Budowa małych kotłów V generacji zgazowujących drewno .....                                                               | 580 |
| 2.9. Kotły do spalania peletu .....                                                                                            | 581 |
| 3. Piece kominkowe V generacji .....                                                                                           | 582 |
| 3.1. Kominiek z płaszczem wodnym .....                                                                                         | 582 |
| 3.2. Kominiek pracujący w systemie zintegrowanym .....                                                                         | 584 |
| 3.3. Ciepła woda z kominka .....                                                                                               | 586 |
| 4. Słoma jako biopaliwo .....                                                                                                  | 587 |
| 4.1. Kotły do spalania słomy .....                                                                                             | 588 |
| 4.2. Kotły małej mocy na słomę .....                                                                                           | 590 |
| 4.3. Kotłownie średniej mocy .....                                                                                             | 592 |
| 4.4. Kotłownie dużej mocy .....                                                                                                | 592 |
| 4.5. Peletowanie słomy .....                                                                                                   | 592 |
| 4.6. Maszyny do produkcji brykietów ze słomy .....                                                                             | 593 |
| 4.7. Wnioski .....                                                                                                             | 595 |
| 5. Osady ściekowe (analog torfu) i kotły na osady ściekowe .....                                                               | 596 |
| 6. Biogaz .....                                                                                                                | 596 |
| 6.1. Biogazownie rolnicze .....                                                                                                | 600 |
| 6.2. Biogazownie rolnicze oparte na procesie fermentacji metanowej .....                                                       | 601 |
| 6.3. Wybrane zagadnienia z analizy porównawczej opłacalności<br>ekonomicznej, biogazowni rolniczej .....                       | 606 |
| 6.4. Charakterystyka pierwszej biogazowni rolniczej działającej w Polsce .....                                                 | 609 |
| 6.5. Mikroinstalacje kontenerowe .....                                                                                         | 611 |
| 6.6. Małe biogazownie rolnicze .....                                                                                           | 612 |
| 6.7. Wnioski dotyczące perspektyw rozwoju biogazowni rolniczych .....                                                          | 615 |
| 7. Biogaz z oczyszczalni ścieków .....                                                                                         | 617 |
| 7.1. Gospodarka energią elektryczną i ciepłem na przykładzie oczyszczalni<br>ścieków „Kujawy” w Krakowie .....                 | 618 |
| 7.2. Opis działania oczyszczalni .....                                                                                         | 618 |
| 7.3. Wytwarzanie biogazu .....                                                                                                 | 619 |
| 7.4. Generatory zasilane biogazem .....                                                                                        | 619 |
| 8. Biogaz wysypiskowy z odpadów .....                                                                                          | 621 |
| 8.1. Elektrociepłownia biogazowa – wysypisko Barycz .....                                                                      | 623 |
| 9. Skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej, ciepła i chłodu w oparciu o paliwa<br>biogazowe – agregaty kogeneracyjne ..... | 626 |
| 9.1. Geneza .....                                                                                                              | 626 |
| 9.2. Zasada działania .....                                                                                                    | 626 |

|                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 9.3. Dobór agregatu. ....                                                           | 627 |
| 9.4. Wytwarzanie i sprzedaż chłodu w oparciu o ciepło z kogeneracji. ....           | 627 |
| 10. Wzbogacanie i oczyszczanie biogazu. ....                                        | 629 |
| 11. Główne zalety wykorzystania biogazu. ....                                       | 631 |
| 12. Problemy wynikające z produkcji biogazu. ....                                   | 631 |
| 13. Biopaliwa płynne I generacji. ....                                              | 632 |
| 13.1. Bioetanol. ....                                                               | 632 |
| 13.2. Biodiesel. ....                                                               | 633 |
| 14. Biopaliwa II generacji. ....                                                    | 638 |
| 15. Biopaliwa III generacji. ....                                                   | 641 |
| 16. Współspalanie biomasy i paliw kopalnych. ....                                   | 643 |
| 17. Elektrociepłownie wykorzystujące do spalania biomasę. ....                      | 646 |
| 18. Wnioski. ....                                                                   | 650 |
| 19. Wymienniki do odzysku ciepła ze spalin (rekuperatory). ....                     | 651 |
| 20. Wychwytywanie, transport, składowanie, dwutlenku węgla (CO <sub>2</sub> ). .... | 653 |
| Literatura. ....                                                                    | 655 |