

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. Rodzaje i zakres wykorzystania OZE w Polsce	28
5.1. Biomasa	30
5.1.1. Drewno	30
5.1.2. Słoma	31
5.1.3. Gaz z czynnych składowisk odpadów	31
5.1.4. Gaz z fermentacji osadów i ścieków	32
5.1.5. Biogaz z biogazowni rolniczych	32
5.1.6. Biopaliwa	33
5.2. Energetyka wodna	33
5.3. Energetyka geotermalna	34
5.4. Energetyka wiatrowa	35
5.5. Energetyka słoneczna	35
6. Rodzaj, ilość i moc instalacji wytwarzających energię elektryczną z OZE z podziałem na województwa	38
7. Wybrane zapisy ustaw dotyczących OZE	43
8. Świadectwa pochodzenia	47
9. Polski sektor energetyczny do roku 2050	49

ROZDZIAŁ I ENERGETYKA SŁONECZNA

1. Energia słoneczna	53
2. Atmosfera Ziemi	54
3. Oddziaływanie atmosfery z promieniowaniem	54
4. Wielkość energii słonecznej na Ziemi	55
5. Nasłonecznienie w Polsce	56
6. Zalety promieniowania słonecznego jako źródła energii	56
7. Wady promieniowania słonecznego jako źródła energii	56
8. Sposoby produkcji energii elektrycznej z wykorzystaniem energii słonecznej	57
8.1. Metoda heliotermiczna	57
8.2. Metoda helioelektryczna	59
9. Rozwój montażu instalacji PV w UE	59
10. Wiadomości wstępne z optoelektroniki	61
11. Budowa i zasada działania ogniw krzemowych	63
11.1. Podział ogniw PV	65
12. Ogniwa z krzemu monolitycznego	65
12.1. Budowa fotoogniwa	65
12.2. Technologia wytwarzania fotoogniwa	68
13. Ogniwa polikrystaliczne	72
13.1. Budowa fotoogniwa	72
14. Ogniwa polikrystaliczne cienkowarstwowe	75
14.1. Budowa fotoogniwa	75
14.2. Technologia wytwarzania ogniwa PV	75

15. Ogniwa z krzemu amorficznego	76
15.1. Budowa i technologia wytwarzania fotoogniwa	76
16. Ogniwa cienkowarstwowe jedno- i wielozłączowe z arsenku galu	78
16.1. Budowa i technologia wytwarzania	78
16.2. Przykład rozwiązania konstrukcyjnego	79
17. Ogniwa fotowoltaiczne z materiałów organicznych	80
17.1. Budowa i technologia wytwarzania	80
17.2. Budowa, parametry ogniwa	80
18. Hybrydowe panele słoneczne	83
18.1. Zasada działania	83
18.2. Budowa urządzenia	84
19. Dwustronne baterie słoneczne	86
20. Utrata mocy fotoogniw funkcji czasu pracy	87
20.1. Dioda bocznikująca fotoogniwo (by-pass)	87
20.2. Moduł fotowoltaiczny firmy AE Solar – odporny na zacinienie	89
20.3. Optymalizatory firmy Maxim Integrated	90
20.4. Optymalizatory firmy Tigo Energy (Tigo TS4-R-O)	90
20.5. Moduły fotowoltaiczne SolarEdge zintegrowane z optymalizatorami mocy	91
21. Gorący punkt (hot spot)	91
21.1. Napięcie indukowane w module PID (Potential Induced Degradation)	92
21.2. Prąd upływu	92
21.3. Prąd doziemny	92
21.4. Pętla indukcyjna	92
21.5. Zwarcie doziemne po stronie DC instalacji PV	93
22. Najnowsze technologie wytwarzania ogniw fotowoltaicznych	93
22.1. Ogniwa perowskitowe	93
22.2. Moduły fotowoltaiczne z warstwą grafenową	95
22.3. Projekt „Quantum Glass” spółki ML System	96
22.4. Technologia skoncentrowanej fotowoltaiki (Concentrated Photovoltaics, CPV)	97
22.5. Moduły fotowoltaiczne w technologii PERT	98
22.6. Badanie modułów fotowoltaicznych	99
23. Analiza pracy fotoogniwa	101
23.1. Podstawowe zależności	101
23.2. Wpływ temperatury na parametry fotoogniwa	104
23.3. Sposoby połączeń modułów PV	106
23.4. Wpływ promieniowania słonecznego na parametry modułu fotowoltaicznego	107
23.4.1. Współczynnik wypełnienia FF	108
23.5. Wybrane wyniki badań modułów fotowoltaicznych	108
23.6. Wybrane wyniki badań instalacji fotowoltaicznej „podążającej za słońcem” ..	116
24. Parametry osprzętu instalacji PV	119
24.1. Regulatory ładowania	119
24.2. Przetwornice napięcia	121
24.2.1. Inwerter w instalacji fotowoltaicznej	123
24.2.2. Przykładowe rozwiązanie	126
24.2.3. Parametry elektryczne pracy falownika 1-fazowego	126
24.2.4. Falowniki 3-fazowe	127
24.2.5. falowniki hybrydowe	129

24.2.6. Zagadnienia eksploatacyjne dotyczące załączenia do sieci falowników	130
24.3. MPP tracker	132
24.4. Monitorowanie na poziomej paneli	133
24.5. Modem komunikacyjny	136
24.5.1. Zasada działania	136
24.5.2. Charakterystyka urządzeń	136
24.6. Sposób łączenia przewodów po stronie DC	137
24.7. Dobór przewodów w instalacji fotowoltaicznej	138
24.7.1. Warunki doboru przekroju przewodów ze względu na obciążalność prądową długotrwałą	139
24.7.2. Wyznaczanie przekroju przewodów ze względu na obciążalność długotrwałą po stronie DC	139
24.7.3. Wyznaczanie przekroju przewodów po stronie DC ze względu na dopuszczalne spadki napięcia	140
24.7.4. Sprawdzenie wielkości strat mocy na przewodach łączących łańcuch (string) modułów fotowoltaicznych z falownikiem	141
24.7.5. Wyznaczanie przekroju przewodów i kabli ze względu na obciążalność długotrwałą i przeciążalność po stronie prądu zmiennego AC instalacji fotowoltaicznej	141
24.7.6. Wyznaczanie przekroju przewodów po stronie AC ze względu na dopuszczalne spadki napięcia	142
24.7.7. Dobór zabezpieczeń w instalacjach fotowoltaicznych	142
24.8. Mierniki instalacji fotowoltaicznych	143
24.9. Pomiary natężenia promieniowania słonecznego i temperatury modułu fotowoltaicznego	145
25. Dobór parametrów instalacji fotowoltaicznych	146
25.1. Rodzaje instalacji PV	146
25.2. Mała instalacja fotowoltaiczna	147
25.3. Wybrane układy połączeń fotoogniw	151
25.3.1. Sieć autonomiczna off-grid (wydzielona)	151
25.3.2. Praca elektrowni PV na sieć „sztywną” (on-grid)	156
26. Wytyczne montażowe	158
26.1. Etapy realizacji inwestycji	158
26.2. Projekt techniczny	159
26.3. Etapy budowy	159
26.4. Zagadnienia techniczne montażu instalacji	159
26.5. Sposób montażu ogniw PV w rzędach	161
26.6. Systemy zabezpieczeń w instalacjach fotowoltaicznych	163
26.6.1. Rodzaje zabezpieczeń instalacji fotowoltaicznej	164
26.7. Ochrona odgromowa instalacji fotowoltaicznych	164
26.7.1. Ochrona odgromowa – rodzaje ochrony	165
26.7.2. Ochrona odgromowa – ochrona zewnętrzna	165
26.7.3. Ochrona odgromowa farm fotowoltaicznych – ochrona zewnętrzna	169
26.7.4. System ochronny instalacji PV bez zewnętrznej ochrony odgromowej (zwodów pionowych) – ochrona wewnętrzna	169
26.7.5. Ogólne zasady doboru ograniczników po stronie DC	171
26.7.6. Ochrona przetężeniowa i zwarciowa	174
26.7.7. Ochrona przeciwporażeniowa w systemach fotowoltaicznych	175
26.8. Odbiór instalacji	176
27. BHP przy montażu instalacji fotowoltaicznej	177
27.1. Zasady BHP przy montażu instalacji fotowoltaicznych	177
27.2. Kompletność dostawy materiałów i urządzeń	179

27.3. Transport i składowanie	179
27.4. Dokumentacja techniczna	179
27.5. Narzędzia i sprzęt dodatkowy	179
27.6. Informacje ogólne	179
27.7. Przepisy bezpieczeństwa	180
27.8. Ochrona przeciwporażeniowa	180
27.8.1. Ochrona przeciwpożarowa	180
27.8.2. Warunki środowiskowe	182
27.8.3. Postępowanie w razie pożaru budynku z instalacją PV	182
27.8.4. Analiza skutków pożarów instalacji fotowoltaicznych	183
27.8.5. Gaszenie pożaru nocą z instalacją PV na dachu	184
27.8.6. Łuk elektryczny	184
27.8.7. Zasady wyposażenia obiektów w gaśnice	184
27.8.8. Gaszenie urządzeń elektrycznych	185
27.8.9. Optyimizery	185
27.8.10. Dokumentacja instalacji PV	185
27.8.11. Ubezpieczenie instalacji PV na wypadek pożaru	185
27.9. Bezpieczeństwo wykonywania prac przy urządzeniach elektrycznych	186
27.10. Przepisy przeciwpożarowe w instalacjach PV	186
28. Montaż instalacji fotowoltaicznej	188
28.1. Systemy montażowe dla modułów skrzynkowych	188
28.1.1. Montaż na dachu spadzistym	188
28.1.2. Montaż ogniw PV na dachu płaskim lub płaszczyźnie poziomej	190
28.1.3. Sposób montażu modułów	191
28.1.4. Zintegrowane z dachem moduły fotowoltaiczne	192
28.1.5. Montaż fotoogniw „podążających za słońcem”	192
28.1.6. Konstrukcja do mocowania na stropie	193
28.1.7. Konstrukcja wsporcza mocowana do betonowych bloków	194
28.1.8. System samonośny	194
28.2. Montaż systemów PV na gruncie	195
28.3. Montaż instalacji fotowoltaicznej na konstrukcji aluminiowej na dachu płaskim	195
28.4. Montaż instalacji fotowoltaicznej na dachu spadzistym pokrytym dachówką betonową	198
28.5. Montaż instalacji fotowoltaicznej na konstrukcji aluminiowej na dachu płaskim pokrytym blachą falistą	199
28.6. Montaż instalacji fotowoltaicznej na dachu spadzistym pokrytym blachodachówką	199
29. Eksploatacja instalacji fotowoltaicznych	202
29.1. Wymiana uszkodzonego modułu	202
29.2. Mycie instalacji fotowoltaicznej	202
29.3. Sprawdzenie mocowania paneli	203
29.4. Usuwanie śniegu	203
29.5. Stan przewodów zasilających w instalacji prądu stałego (DC)	203
29.6. Sprawdzenie stanu technicznego falownika	203
29.7. Czynniki wpływające ujemnie na produkcję energii z elektrowni fotowoltaicznej	204
29.8. Uruchamianie systemu fotowoltaicznego	204
29.9. Projektowanie systemów PV za pomocą symulacji komputerowych	207
30. Magazynowanie energii z OZE	209
30.1. Akumulatory litowo-jonowe	209

30.2. Dobór wielkości mocy akumulatorów do instalacji fotowoltaicznej off-grid	212
30.3. Dobór wielkości mocy akumulatorów do instalacji fotowoltaicznej on-grid	213
30.4. Duże magazyny energii	214
30.5. Recykling modułów fotowoltaicznych	215
31. Kolektory słoneczne	215
31.1. Dane statystyczne	215
31.2. Rodzaje i budowa kolektorów słonecznych	216
31.2.1. Podział kolektorów	216
31.3. Kolektory płaskie cieczowe	217
31.4. Budowa kolektorów płaskich, bilans energii	218
31.5. Przykładowe dane techniczne i charakterystyka identyfikacyjna kolektorów płaskich	221
31.5.1. Kolektory płaskie w wykonaniu standardowym	221
31.6. Budowa próżniowych rurowych kolektorów słonecznych	222
31.6.1. Kolektory próżniowe heat-pipe (gorąca rurka – ciepłowód)	222
31.6.2. Kolektory próżniowe heat-pipe z pojedynczą rurą próżniową	225
31.6.3. Kolektory próżniowe z U-rurą	226
31.7. Zwierciadło CPC	227
31.8. Ogólna charakterystyka kolektorów próżniowych	227
31.9. Kolektory słoneczne skupiające	228
31.9.1. Refleksowo-próżniowy kolektor słoneczny „podążający za słońcem”	229
31.10. Kolektor cieczowy wykonany w formie maty z propylenu	230
31.11. Świadczenia poprawności wykonania kolektorów	230
32. Słoneczne instalacje grzewcze	231
32.1. Bezpośrednie i pośrednie	231
32.1.1. Układ do podgrzewania wody bez zasobnika	231
32.1.2. Układ do podgrzewania wody z zasobnikiem	231
32.1.3. Pośrednie	232
32.1.4. Układ pompowy	232
33. Parametry techniczne instalacji solarnej do ogrzewania c.w.u., c.o., schematy	234
33.1. Instalacja solarna dla ciepłej wody użytkowej i wspomagania ogrzewania budynku	234
33.2. Przykładowe schematy systemów grzewczych wspomaganych kolektorami słonecznymi	235
34. Typowe elementy słonecznej instalacji grzewczej	241
34.1. Zbiorniki na wodę – charakterystyka ogólna	241
34.2. Zasobniki w instalacji solarnej	243
34.3. Przeciwdziałanie bakteriom Legionella Pneumophila w instalacji c.w.u.	243
34.4. Wymiennik ciepła	244
34.5. Zasobnik z jedną węzownicą	244
34.6. Zasobniki z dwiema węzownicami	244
34.7. Zasobnik płaszczowy	246
34.8. Zasobniki kombinowane (multiwalentne) – typu zbiornik w zbiorniku	246
34.9. Zasobnik termosyfonowy Logalux SL 300/S dla przygotowania c.w.u.	247
35. Pompowe stacje solarne	249
35.1. Stacja solarna dwudrogowa	249
35.2. Jednodrogowa stacja solarna	249
36. Pompa solarna	250
37. Regulator	250
38. Zasilacz bezprzerwowy, awaryjny, UPS	252

39. Czujniki temperatury	252
40. Elektroniczny termostat przylgowy	253
41. Wymiennik płytowy	253
42. Grzałka elektryczna	254
43. Odpowietrznik instalacji solarnej	254
44. Złączka kompensacyjna	254
45. Rotametr	255
46. Manometr	255
47. Separator powietrza	256
48. Licznik ciepła (ciepłomierz)	256
49. Uchwyty dachowe kolektora i konstrukcje wolnostojące	257
50. Oblachowanie kolektorów	257
51. Naczynie wzbiorcze	258
52. Zawór bezpieczeństwa	261
53. Wykonanie instalacji rurowej	261
54. Izolacja cieplna instalacji solarnej	262
55. Węże solarne	262
56. Układ hydrauliczny instalacji solarnej	263
57. Montaż i instalacja kolektorów	263
57.1. Możliwości usytuowania kolektorów	263
57.2. Odległość między rzędami kolektorów	264
58. Wpływ ustawienia kolektora na jego parametry energetyczne	265
59. Instalacje do ciepłej wody użytkowej w budynkach indywidualnych	267
59.1. Dobór urządzeń do instalacji solarnej	267
59.1.1. Warunki konieczne do określenia powierzchni kolektorów słonecznych	267
59.1.2. Wyznaczenie całkowitych oporów przepływu w typowej instalacji	267
59.1.3. Pojemność instalacji	268
59.1.4. Zużycie energii w gospodarstwie domowym	268
60. Instalacja do podgrzewania wody basenowej	269
61. Łączenie kolektorów w instalacje o dużej powierzchni czynnej	271
62. Zalecenia eksploatacyjne	273
63. Przykłady montażu kolektorów słonecznych	274
64. Dobór wielkości instalacji	274
65. Dobór wielkości kolektora i zasobnika	275
66. Lokalizacja zasobników wody użytkowej i zbiorników akumulacyjnych	276
67. Instalacje do przygotowania c.w.u. oraz wspomagania c.o. w budynkach indywidualnych	276
67.1. Efektywność pracy kolektorów słonecznych	279
68. Napełnienie i odpowietrzenie instalacji solarnej	283
69. Instalacje wielkogabarytowe	285
69.1. Największa instalacja solarna w Polsce	285
69.2. Instalacja wielkogabarytowa z magazynem ciepła	286
70. Płaskie kolektory powietrzne	290
70.1. Zasada działania	290
70.2. Budowa	290
70.3. Konstrukcje kolektorów	292
70.4. Zalety i wady stosowania kolektorów słonecznych i powietrznych	292
70.5. Rozwiązania konstrukcyjne instalacji	293
70.6. Sposoby rozdziału powietrza	295

70.7. Przykłady instalacji	295
70.7.1. Małe budynki	295
70.7.2. Mieszkania, pomieszczenia biurowe, szkoły, obiekty handlowe, itp....	297
70.7.3. Systemy przemysłowe	297
70.7.4. Suszenie płodów rolnych	300
70.7.5. Przechowalnie płodów rolnych	300
70.7.6. Ogrzewanie pomieszczeń inwentarskich	300
70.7.7. Podgrzewanie szklarni i tuneli foliowych	300
70.7.8. Ciepło technologiczne	301
70.8. Koszty i oszczędności wynikające ze stosowania dużych systemów solarnych do podgrzewania powietrza	301
70.9. Podsumowanie	302
71. Badania nad wykorzystaniem energii słonecznej w instalacjach solarnych w laboratorium OZE w ZSE nr 1	302
71.1. Analiza wybranych wyników badań instalacji solarnych w laboratorium OZE w Zespole Szkół Elektrycznych nr 1 w Krakowie	303
72. Symulacyjne programy komputerowe	309
73. Bilans energetyczny wydajności instalacji solarnej na podstawie symulacji	309
74. Informacje techniczne oraz zasady BHP obowiązujące przy montażu kolektorów płaskich	316
74.1. BHP podczas montażu	316
74.2. Kompletność dostawy	316
74.3. Transport i składowanie	316
74.4. Dokumentacja techniczna	317
74.5. Narzędzia i sprzęt dodatkowy	317
74.6. Informacje ogólne	317
74.7. Odpowietrzanie solarnego obwodu pierwotnego	318
74.8. Prowadzenie rur solarnego obwodu pierwotnego	318
74.9. Podłączenie przewodów zbiorczych	318
74.10. Montaż kolektora	318
74.11. Połączenie kolektorów w baterię solarną	320
74.12. Napełnianie solarnego obwodu pierwotnego płynem solarnym	320
74.13. Odpowietrzenie instalacji	320
74.14. Prace izolacyjne	321
74.15. Przepisy bezpieczeństwa	321
74.16. Ochrona przeciwporażeniowa	321
74.17. Ochrona przeciwpożarowa	321
74.18. Bezpieczeństwo wykonywania prac przy urządzeniach elektrycznych ..	321
74.19. Elektryczne okablowanie urządzenia	322
74.20. Zabezpieczenie przed uderzeniem pioruna (piorunochron) i wyrównywanie potencjałów	322
74.21. Uruchomienie	322
74.22. Wyłączanie/zatrzymanie	323
74.23. Kontrola instalacji	323
74.24. Eksploatacja instalacji solarnej do celów wspomagania ogrzewania budynku	323
74.25. Przegląd instalacji	323
74.26. Ważne informacje dla użytkownika instalacji	324
74.27. Warunki gwarancji	324
74.28. Najczęściej występujące usterki	325

75. Uwagi do montażu kolektorów rurowych próżniowych na dachu spadzistym i na powierzchni płaskiej	325
76. Instalacje o większych powierzchniach	326
77. Podsumowanie	327

ROZDZIAŁ II

ENERGIA CIEPLNA ZIEMI I POWIETRZA

1. Wstęp	329
1.1. Zasoby geotermalne	330
1.2. Źródła energii geotermalnej	330
1.3. Gejzery jako źródła energii geotermalnej	331
1.4. Gorące suche skały – źródło energii geotermalnej	331
1.5. Parametry termodynamiczne wód geotermalnych	331
1.6. Sposoby wykorzystania energii geotermalnej	334
1.7. Dobrodziejstwa płynące z wykorzystania energii geotermalnej	335
1.8. Zagrożenia wynikające z wykorzystania energii geotermalnej	335
2. Przykłady wykorzystania energii geotermalnej	335
2.1. Bezpośrednie zastosowania energii geotermalnej	337
2.2. Bezpośrednie sposoby wykorzystania energii geotermalnej w Polsce	339
3. Elektrociepłownie geotermalne	340
3.1. Wykorzystanie energii geotermalnej w elektrociepłowniach	340
4. Wielkość i rozmieszczenie w Polsce zasobów wód geotermalnych	343
4.1. Prowincje i okręgi posiadające wody geotermalne	343
4.2. Charakterystyka złóż geotermalnych w Polsce	344
5. Przykładowe instalacje geotermalne w Polsce	346
5.1. Funkcjonujące ciepłownie geotermalne	346
5.2. Zakład w Mszczonowie	346
5.3. Ciepłownia w Pyrzycach	347
5.4. Geotermia na Podhalu	349
5.5. Pierwszy zakład geotermalny w Polsce	350
5.6. Schemat zagospodarowania wód geotermalnych w Bańskiej Niżnej	352
5.7. Kaskadowy system wykorzystania energii geotermalnej	353
5.8. Geotermia Uniejów	353
5.9. System wykorzystania niskotemperaturowej wody geotermalnej do celów ciepłowniczych i konsumpcyjnych w mieście Słomniki	354
5.10. Ciepłownia geotermalna w Stargardzie Szczecińskim	356
5.11. Geotermia w Toruniu	356
5.12. Plan wykorzystania energii geotermalnej w Polsce do roku 2030.	359
6. Wnioski	359
7. Energia cieplna płytkich złóż geotermalnych	363
7.1. Właściwości gruntu	363
7.2. Metody badania gruntu	367
8. Pompy ciepła	368
8.1. Informacje ogólne dotyczące pomp ciepła	369
8.2. Budowa oraz zasada działania pompy ciepła	370
8.3. Ogólne warunki instalacji	371
9. Dobór pompy ciepła (WP) dla c.o. (systemu grzewczego)	374
9.1. Określenie OZC – dokładne	374

9.2. Określenie OZC – w przybliżeniu	376
9.3. Przybliżony OZC wg wskaźników.	376
9.4. Określenie systemu pracy układu grzewczego.	376
9.5. System monowalentny.	377
9.6. System biwalentny – alternatywny	377
9.7. System biwalentny – równoległy monoenergetyczny	378
9.8. System biwalentny – częściowo-równoległy	378
9.9. System grzewczy z pompą ciepła.	379
10. Instalacje dolnego źródła ciepła WQA	379
10.1. Systemy powietrzne (powietrze/woda, powietrze/powietrze)	380
10.2. Systemy gruntowe poziome (solanka/woda)	382
10.3. Wymienniki gruntowe pionowe	390
10.4. Wody gruntowe	392
10.5. Wody geotermalne	393
10.6. Przykłady wykorzystania pomp ciepła w rolnictwie i przemyśle rolno-spożywczym	393
10.6.1. Przemysł przetwórstwa mięsnego	394
10.6.2. Przemysł i przetwórstwo rolno-spożywcze	395
10.6.3. Ogrodnictwo i warzywnictwo	395
10.6.4. Zootechnika – odzysk ciepła	395
10.6.5. Rolnictwo	395
10.6.6. Wykorzystanie pomp ciepła w przemyśle	396
10.7. Charakterystyki pracy pomp ciepła	400
11. Górne źródło ciepła WNA.	401
12. Wybrane przykłady urządzeń do instalacji pomp ciepła.	402
12.1. Dolne źródło ciepła – grunt, instalacja solanka – woda	402
12.2. Gruntowe pompy ciepła, instalacja woda – woda	405
12.3. Pompa ciepła z bezpośrednim odparowaniem czynnika	406
12.4. Dolne źródło ciepła – powietrze zewnętrzne	410
12.5. Wybrane wyniki badań pompy ciepła powietrze – woda.	412
12.6. Pompy ciepła na powietrze wentylacyjne	415
13. Aspekty ekonomiczne zastosowania pomp ciepła i porównanie ich z innymi instalacjami grzewczymi	419
14. Sezonowy współczynnik efektywności SPF.	421
15. Wizualizacja pracy instalacji z pompą ciepła	422
16. Absorpcyjne pompy ciepła	423
16.1. Zasada działania.	423
16.2. Współpraca pompy ciepła z instalacją solarną, chłodzenie przez grzanie.	425
17. Wady i zalety pomp ciepła	425
18. Podsumowanie zagadnień związanych z pompami ciepła	427
19. Instalacje nawiewno-wywiewne z rekuperatorem w budynkach mieszkalnych.	428
19.1. Instalacje nawiewno-wywiewne, informacje ogólne	428
19.2. Budowa oraz zasada działania instalacji nawiewno-wywiewnej.	428
19.3. Koncepcja samowystarczalnego budynku nisko-energetycznego zasilanego z OZE, dla domu z Programu „Mieszkanie Plus”	434
19.3.1. Założenia dotyczące energochłonności budynku niskoenergetycznego, w całości zasilanego energią z instalacji fotowoltaicznej (zeroenergetyczny)	435
19.3.2. Analiza opłacalności budowy domu o niskim zapotrzebowaniu na energię ($Q_c < 50 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$) zeroenergetycznego	437

ROZDZIAŁ III

ENERGIA WIATRU

1. Wstęp	439
2. Wiatr i jego zasoby energetyczne	440
2.1. Wpływ czynników środowiskowych	441
2.2. Róża wiatrów	442
2.3. Zasoby na lądzie	443
2.4. Szorstkość terenu	445
3. Podstawa działania elektrowni wiatrowej	447
3.1. Podstawowe informacje o krzywej mocy	447
3.2. Parametry pracy siłowni wiatrowych	448
3.3. Silniki wiatrowe	449
3.4. Lokalne oddziaływanie energetyki wiatrowej	452
4. Budowa elektrowni wiatrowej	453
4.1. Metody regulacji mocy oddawanej przez elektrownie wiatrowe	455
4.1.1. Koncepcje pracy siłowni wiatrowej	455
4.1.2. Regulacja ustawienia elektrowni w kierunku wiatru (Yaw Control)	456
4.1.3. Regulacja kąta ustawienia łopat (Active Pitch Regulation)	456
4.1.4. Regulacja przez zmianę prędkości obrotowej generatora	456
4.1.5. Regulacja przez zmianę obciążenia (Load Control)	457
4.1.6. Regulacja przez „przeciągnięcie” (Stall Regulation)	457
4.1.7. Regulacja lotkami łopat wirnika (Aileron Control)	457
4.2. Generatory	457
4.3. Krótka charakterystyka nowych konstrukcji elektrowni wiatrowych	459
5. Zainstalowana moc i sposób montażu elektrowni wiatrowych	461
5.1. Wielkość mocy i energii, zainstalowanej w elektrowniach wiatrowych w UE	462
5.2. Sposób montażu konstrukcji elektrowni wiatrowych	464
6. Struktura kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych w przypadku energetyki wiatrowej 200-500 kW	465
7. Rozmieszczenie elektrowni pracujących w Polsce	467
7.1. Przeznaczenie pojedynczej elektrowni wiatrowej	468
7.1.1. Elektrownia wiatrowa V80	468
8. Optymalizacja warunków pracy silnika wiatrowego	469
9. Systemy sterowania w elektrowni wiatrowej	470
9.1. Sterowniki	470
9.2. Zdalne sterowanie	473
9.3. Sterowanie w małych elektrowniach wiatrowych	474
10. Małe elektrownie wiatrowe – charakterystyka	474
10.1. Elektrownia wiatrowa „Zefir-6” 5 kW	475
10.2. Turbina wiatrowa o mocy 1,5 kW	476
11. Wybrane wyniki badań, elektrowni wiatrowej ECO-H-1,5 kW	477
12. Mikroelektrownie wiatrowe z pionową osią obrotu	480
13. Wybrane wyniki badań, małej elektrowni wiatrowej	484
14. Programy do symulacji pracy elektrowni wiatrowych	486
15. Perspektywy rozwoju energetyki wiatrowej na morzu bałtyckim	486
16. Podsumowanie	490

ROZDZIAŁ IV ENERGIA WODY

1. Wstęp	491
2. Parametry elektrowni wodnych	492
3. Rozwiązania konstrukcyjne elektrowni wodnych	493
3.1. Budowle hydrotechniczne, elementy elektrowni wodnych, urządzenia mechaniczne	493
3.2. Elektrownie zbiornikowe i przepływowe	495
3.2.1. Elektrownie zbiornikowe – szczytowo-pompowe	496
3.2.2. Elektrownie wodne przepływowe	499
3.3. Wybrane przykłady	499
3.3.1. Elektrownia Małomice	499
3.3.2. Elektrownia Solina	500
4. Mała energetyka wodna	500
5. Zasada działania i budowa turbin wodnych	502
5.1. Rozwiązania współczesne z turbinami Francisza	503
5.2. Współczesne rozwiązania z turbinami Kaplana	504
5.3. Rozwiązania z turbinami Peltona	505
6. Prądnice elektryczne	506
6.1. Budowa i zasada działania prądnicy asynchronicznych (indukcyjnych)	506
6.2. Prądnice synchroniczne (hydrogeneratory), budowa zasada działania	510
7. Regulatory turbin wodnych	514
7.1. Elektrohydrauliczny regulator prędkości obrotowej turbiny lub jej mocy ..	514
7.2. Rodzaje automatyzacji procesów ruchowych w MEW	515
8. Procesy ruchowe w MEW	516
8.1. Zakres i stopień automatyzacji procesów rozruchowych	517
9. Sposoby automatyzacji procesów ruchowych MEW	518
9.1. Układ sterowania łopatek turbiny (USW)	518
9.2. Automatyczny regulator prędkości kątowej turbiny (ART)	518
9.3. Układ sterowania aparatu kierowniczego turbiny (USK)	518
9.4. Układ automatycznej regulacji napięcia prądnicy synchronicznej (ARN) ..	519
9.5. Automatyczny synchronizator prądnicy synchronicznej (ASG)	519
9.6. Układ automatycznego sterowania procesami rozruchowymi turbozespołu (USR)	519
9.7. Układ automatycznego sterowania procesami odstawiania turbozespołu (USO)	519
9.8. Układ automatycznej regulacji poziomu wody (ARP)	519
9.9. Auto operator (AOP)	520
9.10. Układ sterowania zamknięć wlotowych wody do turbiny (USZ)	520
9.11. Układ programujący pracę szczytową MEW (UPP)	521
9.12. Sterowanie prądnicami asynchronicznymi	521
10. Sposoby przekazywania napędu z turbiny na prądnice	521
10.1. Bezpośrednie sprzęgnięcie wału z prądnicą	521
10.2. Przekazywanie napędu przez przekładnie	521
10.3. Przekładnie pasowe	521
10.4. Przekładnie zębate	522
11. Pomocnicze wyposażenie mechaniczne	523
11.1. Kraty na ujęciach wody i ich czyszczenie	523

11.2. Zamknięcie dopływu wody do turbin.	524
11.3. Wyposażanie budynków elektrowni w dźwignice	525
12. Systemy pracy, zabezpieczeń, pomiary w MEW	525
12.1. Zabezpieczenia bloków z prądnicami synchronicznymi i transformatorowymi o mocy do 5000 kVA	527
12.2. Zabezpieczenia prądnic asynchronicznych o mocy do 250 kVA i napięciu do 1000 V, zasilających bezpośrednio szyny zbiorcze	527
12.3. Zabezpieczenia bloków, prądnica asynchroniczna – transformator o mocy do 250 kVA	528
12.4. Zabezpieczenia turbozespołów	528
12.5. Ochrona przeciwporażeniowa	529
12.6. Ochrona od przepięć oraz instalacje piorunochronne	531
12.7. Ochrona przeciwpożarowa.	531
12.8. Bezpieczeństwo wykonywania prac przy urządzeniach elektrycznych. ...	532
12.9. Udzielanie pierwszej pomocy osobom porażonym prądem elektrycznym .	532
12.10. Sygnalizacja zakłóceń pracy	532
12.11. Pomiary	533
12.12. Potrzeby własne elektrowni	534
12.13. Uziomy.	535
13. Wybrane elementy dokumentacji małej elektrowni wodnej Zakopane – Olcza .	535
13.1. Opis techniczny, charakterystyka elektrowni.	535
14. Mikro elektrownie wodne.	538
15. Podsumowanie	544

ROZDZIAŁ V

ENERGIA BIOMASY

1. Pojęcie biomasy.	545
2. Drewno jako biopaliwo	548
2.1. Wierzba energetyczna.	549
2.2. Gazyfikacja biomasy	551
2.3. Kotły do spalania drewna.	555
2.4. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne kotłów do spalania drewna V generacji	558
2.5. Kotły małej mocy.	560
2.6. Piec MS	560
2.7. Kotły dużej mocy.	561
2.8. Budowa małych kotłów V generacji zgazowujących drewno	562
2.9. Kotły do spalania peletu.	563
3. Piece kominkowe V generacji	564
3.1. Kominek z płaszczem wodnym	564
3.2. Kominek pracujący w systemie zintegrowanym	566
3.3. Ciepła woda z kominka	568
3.4. Montaż pieców kominkowych.	570
3.5. Awaryjne zasilanie pompy	571
3.6. Wytyczne montażowe turbokominka	572
4. Słoma jako biopaliwo	572
4.1. Kotły do spalania słomy.	573
4.2. Kotły małej mocy na słomę	575

4.3. Kotłownie średniej mocy	577
4.4. Kotłownie dużej mocy	577
4.5. Peletowanie słomy	577
4.6. Maszyny do produkcji brykietów ze słomy	578
4.7. Wnioski	580
5. Osady ściekowe (analog torfu) i kotły na osady ściekowe	582
6. Biogaz	583
6.1. Biogazownie rolnicze	586
6.2. Biogazownie rolnicze oparte na procesie fermentacji metanowej	587
6.3. Wybrane zagadnienia z analizy porównawczej opłacalności ekonomicznej, biogazowni rolniczej	592
6.4. Charakterystyka pierwszej biogazowni rolniczej działającej w Polsce	595
6.5. Mikroinstalacje kontenerowe	597
6.6. Małe biogazownie rolnicze	598
6.7. Wnioski dotyczące perspektyw rozwoju biogazowni rolniczych	601
7. Biogaz z oczyszczalni ścieków	603
7.1. Gospodarka energią elektryczną i ciepłem na przykładzie oczyszczalni ścieków „Kujawy” w Krakowie	604
7.2. Opis działania oczyszczalni	604
7.3. Wytwarzanie biogazu	604
7.4. Generatory zasilane biogazem	605
8. Biogaz wysypiskowy z odpadów	607
8.1. Elektrociepłownia biogazowa – wysypisko Barycz	609
9. Skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej, ciepła i chłodu w oparciu o paliwa biogazowe – agregaty kogeneracyjne	612
9.1. Geneza	612
9.2. Zasada działania	612
9.3. Dobór agregatu	613
9.4. Wytwarzanie i sprzedaż chłodu w oparciu o ciepło z kogeneracji	613
10. Wzbogacanie i oczyszczanie biogazu	615
11. Główne zalety wykorzystania biogazu	617
12. Problemy wynikające z produkcji biogazu	617
13. Biopaliwa płynne I generacji	618
13.1. Bioetanol	618
13.2. Biodiesel	619
14. Biopaliwa II generacji	624
15. Biopaliwa III generacji	627
15.1. Hodowla alg w zbiornikach otwartych	630
15.2. Hodowla alg w instalacjach zamkniętych	631
16. Współspalanie biomasy i paliw kopalnych	632
17. Elektrociepłownie wykorzystujące do spalania biomasę	635
18. Efekty ekonomiczne stosowania biomasy w energetyce	638
19. Możliwości produkcji energii z biomasy	639
20. Podsumowanie	640
21. Wymienniki do odzysku ciepła ze spalin (rekuperatory)	641
21.1. Przykłady zastosowań	643
21.2. Zasada działania rekuperatora z rurką cieplną	643

ROZDZIAŁ VI

ENERGIA WODORU

1. Parametry energetyczne wodoru.....	645
2. Magazynowanie wodoru.....	648
2.1. Sprężony w postaci gazowej	648
2.2. W postaci ciekłej	649
3. Wykorzystywanie energii elektrycznej z fotoogniw, farm wiatrowych do elektrolizy wody	650
4. Ogniw paliwowe (fuel cells).....	650
5. Wnioski.....	654
Literatura.....	655