

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. Ogniw 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. Ogniw 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 – ogniw połówkowe	66
13. Budowa i zasada działania ogniw fotowoltaicznych III generacji	67
13.1. Ogniw CIS	68
13.2. Ogniw CIGS	68
13.3. Ogniw z tellurku kadmu (CdTe)	69
13.4. Ogniw cienkowarstwowe jedno- i wielozłączowe z arsenku galu (GaAs)	71
14. Ogniw 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 wafli 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 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 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 na obciążalność prądową długotrwałą.	150
26.7.2. Wyznaczanie przekroju przewodów ze względu na obciążalność długotrwałą po stronie DC	151
26.7.3. Wyznaczanie przekroju przewodów po stronie DC ze względu na dopuszczalne spadki napięcia	152
26.7.4. Sprawdzenie wielkości strat mocy na przewodach łączących łańcuch (string) modułów fotowoltaicznych z falownikiem.	153
26.7.5. Wyznaczanie przekroju przewodów i kabli ze względu na obciążalność długotrwałą i przeciążalność po stronie prądu zmiennego AC instalacji fotowoltaicznej	153
26.7.6. Wyznaczanie przekroju przewodów po stronie AC ze względu na dopuszczalne spadki napięcia	154
26.7.7. Dobór zabezpieczeń w instalacjach fotowoltaicznych	154
26.8. Mierniki instalacji fotowoltaicznych	155
26.9. Pomiar natężenia promieniowania słonecznego i temperatury 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 (zwołów pionowych) – ochrona wewnętrzna	180
28.7.5.	Ogólne zasady doboru ograniczników po stronie DC	182
28.7.6.	Ochrona przetężeniowa i zwarciova	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 Bifacjal.	226
30.12. Pasiaki 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 wspomaganie 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 bezprzerwowy, 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. Rotometr	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 wzbiorcze	303
54. Zawór bezpieczeństwa	306
55. Wykonanie instalacji rurowej	306
56. Izolacja cieplna instalacji solarnej	307
57. Węże 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 wspomaganie 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 płodów rolnych	345
72.7.5. Przechowywanie płodów 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. Wyłączenie/zatrzymanie	359
76.23. Kontrola instalacji	359
76.24. Eksploatacja instalacji solarnej do celów wspomaganego 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. Dobrodziejstwa 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 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 cieplna 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 łopatek (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 łopatek 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 Kapłana.	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 kątovej 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 (USR)	543
10.7. Układ automatycznego sterowania procesami odstawiania turbozespołu (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 ujściach 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 i transformatorowymi o mocy do 5000 kVA	550
13.2. Zabezpieczenia prądnic asynchronicznych o mocy do 250 kVA i napięciu do 1000 V, zasilających bezpośrednio szyny zbiorcze.	551
13.3. Zabezpieczenia bloków, prądnica asynchroniczna – transformator o mocy 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 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 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 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 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 ₂)	653
Literatura.	655