

Ryszard Tytko

Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej

wydanie trzynaste
uzupełnione

Książka przeznaczona jest dla uczniów szkół ponadgimnazjalnych,
studentów kierunków związanych z ochroną środowiska
oraz osób zainteresowanych tematyką odnawialnych źródeł energii.

Kraków 2020

© Copyright by: prof. dr inż. Ryszard Tytko
Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej

Kraków 2020

Recenzenci:

prof. dr hab. inż. Ryszard Ciach – Prywatna Wyższa Szkoła Ochrony Środowiska w Radomiu
mgr inż. Izabela Góralczyk – Zespół Szkół Elektrycznych nr 1 w Krakowie

Opracowanie techniczne:

mgr inż. Tadeusz Rybak – Zespół Szkół Elektrycznych nr 1 w Krakowie

Korekta: mgr Kinga Pędracka

Projekt okładki i przygotowanie do druku: Ewa Kozioł

W związku z wejściem w życie Rozporządzenia Ministra Edukacji Narodowej z dnia 16 maja 2019 r. w sprawie podstaw programowych kształcenia w zawodach szkolnictwa branżowego oraz dodatkowych umiejętności zawodowych w zakresie wybranych zawodów szkolnictwa branżowego, zaistniała konieczność przygotowania podręcznika, w którym zostaną zawarte treści zgodne z wymogami ww. podstaw programowych m.in.: dla zawodu technik urządzeń i systemów energetyki odnawialnej (311930). Treść podstaw programowych dla tego zawodu zamieściłem w podręczniku „Zbiór zadań z odnawialnych źródeł energii”. Zawarte w podręczniku „Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej” treści, obejmują podstawę teoretyczną omawianych zagadnień, projekty rozwiązań technicznych, ich praktyczną realizację, dotyczącą urządzeń zasilanych z OZE.

Zgodnie z rozporządzeniem MEN z dnia 8 czerwca 2009 roku w sprawie dopuszczenia do użytku w szkole podręczników w paragrafie 27 stwierdza się, że w szkole mogą być stosowane podręczniki niewpisane do wykazu podręczników przeznaczonych do kształcenia w zawodach, albo wykazu podręczników przeznaczonych do kształcenia w profilach kształcenia ogólnozawodowego, jeżeli w wykazie brak jest podręcznika do nauczania danego zawodu lub profilu kształcenia ogólnozawodowego.

W opracowaniu tym skoncentrowano się na praktycznym wykorzystaniu energii: słonecznej, geotermalnej, biomasy, wody i wiatru w urządzeniach do produkcji energii elektrycznej i ciepłej. Informacje zamieszczone w książce, służą jedynie do celów edukacyjnych i nie mogą być podstawą do wykorzystania w konkretnych instalacjach OZE.

Wykorzystanie tych informacji do celów komercyjnych, wiąże się z uzyskaniem pisemnej zgody od autorów cytowanych w tekście.

Wszelkie znaki i schematy cytowane w tekście są zastrzeżonymi znakami firmowymi ich właścicieli.

ISBN: 978-83-8111-183-6

Wydawnictwo i Drukarnia

Towarzystwa Słowaków w Polsce

ul. św. Filipa 7, 31-150 Kraków

tel. 12 634-11-27, 12 632-66-04, 12 633-09-41, fax 12 632-20-80

e-mail: zg@tsp.org.pl www.tsp.org.pl

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. Stan obecny i perspektywy rozwoju odnawialnych źródeł energii na świecie i w UE ..	28
6. Perspektywy inwestycyjne w OZE na świecie	30
7. Rodzaje i zakres wykorzystania OZE w Polsce	30
7.1. Biomasa	32
7.1.1. Drewno	33
7.1.2. Słoma	33
7.1.3. Gaz z czynnych składowisk odpadów	34
7.1.4. Gaz z fermentacji osadów i ścieków	34
7.1.5. Biogaz z biogazowni rolniczych	35
7.1.6. Biopaliwa	35
7.2. Energetyka wodna	36
7.3. Energetyka geotermalna	36
7.4. Energetyka wiatrowa	37
7.5. Energetyka słoneczna	38
8. Rodzaj, ilość i moc instalacji wytwarzających energię elektryczną z OZE z podziałem na województwa	40
9. Wybrane zapisy ustaw dotyczących OZE	45
10. Świadectwa pochodzenia	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 heliologiczna	57
8.2. Metoda helioelektryczna	58
9. Najnowsze technologie wytwarzania ogniw fotowoltaicznych	59
9.1. Ogniwa perowskitowe	59
9.2. Moduły fotowoltaiczne z warstwą grafenową	61
9.3. Projekt „Quantum Glass” spółki ML System	62
9.4. Technologia skoncentrowanej fotowoltaiki (Concentrated Photovoltaics, CPV)	63
9.5. Moduły fotowoltaiczne w technologii PERT	64
10. Światowy rozwój fotoogniw	65

11. Wiadomości wstępne z optoelektroniki	68
12. Budowa i zasada działania ogniw krzemowych	70
12.1. Podział ogniw PV	71
13. Ogniw z krzemu monolitycznego	72
13.1. Budowa fotoogniwa	72
13.2. Technologia wytwarzania fotoogniwa	73
14. Ogniw polikrystaliczne	77
14.1. Budowa fotoogniwa	77
15. Ogniw polikrystaliczne cienkowarstwowe	80
15.1. Budowa fotoogniwa	80
15.2. Technologia wytwarzania ogniwa PV	80
16. Ogniw z krzemu amorficznego	81
16.1. Budowa i technologia wytwarzania fotoogniwa	81
17. Ogniw cienkowarstwowe jedno- i wielozłączowe z arsenku galu	83
17.1. Budowa i technologia wytwarzania	83
17.2. Przykład rozwiązania konstrukcyjnego	84
18. Ogniw fotowoltaiczne z materiałów organicznych	85
18.1. Budowa i technologia wytwarzania	85
18.2. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne ogniw PV, na podłożu polimerowym	85
18.3. Sposoby produkcji	88
19. Ogniw fotowoltaiczne uczulane barwnikiem	88
19.1. Zasada działania	88
19.2. Budowa, parametry ogniwa	88
20. Hybrydowe panele słoneczne	90
20.1. Zasada działania	90
20.2. Budowa urządzenia	91
21. Dwustronne baterie słoneczne	94
22. Utrata mocy fotoogniw funkcji czasu pracy	94
22.1. Dioda bocznikująca fotoogniwo (by-pass).	94
22.2. Moduł fotowoltaiczny firmy AE Solar – odporny na zacinienie.	96
22.3. Optymalizatory firmy Maxim Integrated	97
22.4. Optymalizatory firmy Tigo Energy (Tigo TS4-R-O)	98
22.5. Moduły fotowoltaiczne SolarEdge zintegrowane z optymalizatorami mocy	98
23. Gorący punkt (hot spot)	99
23.1. Napięcie indukowane w module PID (Potential Induced Degradation)	99
23.2. Prąd upływu	100
23.3. Prąd doziemny	100
23.4. Pętla indukcyjna	100
23.5. Zwarcie doziemne po stronie DC instalacji PV	100
23.6. Badanie modułów fotowoltaicznych	101
24. Analiza pracy fotoogniwa	102
24.1. Podstawowe zależności	102
24.2. Wpływ temperatury na parametry fotoogniwa	105
24.3. Sposoby połączeń modułów PV	107
24.4. Wpływ promieniowania słonecznego na parametry modułu fotowoltaicznego.	108
24.4.1. Współczynnik wypełnienia FF	109

24.5. Wybrane wyniki badań modułów fotowoltaicznych	109
24.6. Wybrane wyniki badań instalacji fotowoltaicznej „podążającej za słońcem”	118
25. Parametry osprzętu instalacji PV	121
25.1. Regulatory ładowania.	121
25.2. Przetwornice napięcia	123
25.2.1. Inwerter w instalacji fotowoltaicznej	125
25.2.2. Przykładowe rozwiązanie	128
25.2.3. Parametry elektryczne pracy falownika 1-fazowego	128
25.2.4. Falowniki 3-fazowe.	129
25.2.5. falowniki hybrydowe.	131
25.2.6. Zagadnienia eksploatacyjne dotyczące załączenia do sieci falowników	132
25.3. MPP tracker	134
25.4. Monitorowanie na poziomie paneli	135
25.5. Modem komunikacyjny	138
25.5.1. Zasada działania	138
25.5.2. Charakterystyka urządzeń	138
25.6. Sposób łączenia przewodów po stronie DC.	139
25.7. Dobór przewodów w instalacji fotowoltaicznej.	140
25.7.1. Warunki doboru przekroju przewodów ze względu na obciążalność prądową długotrwałą.	141
25.7.2. Wyznaczanie przekroju przewodów ze względu na obciążalność długotrwałą po stronie DC	141
25.7.3. Wyznaczanie przekroju przewodów po stronie DC ze względu na dopuszczalne spadki napięcia	142
25.7.4. Sprawdzenie wielkości strat mocy na przewodach łączących łańcuch (string) modułów fotowoltaicznych z falownikiem.	143
25.7.5. Wyznaczanie przekroju przewodów i kabli ze względu na obciążalność długotrwałą i przeciążalność po stronie prądu zmiennego AC instalacji fotowoltaicznej	143
25.7.6. Wyznaczanie przekroju przewodów po stronie AC ze względu na dopuszczalne spadki napięcia	144
25.7.7. Dobór zabezpieczeń w instalacjach fotowoltaicznych	144
25.8. Mierniki instalacji fotowoltaicznych	145
25.9. Pomiary natężenia promieniowania słonecznego i temperatury modułu fotowoltaicznego	147
26. Dobór parametrów instalacji fotowoltaicznych	148
26.1. Rodzaje instalacji PV	148
26.2. Mała instalacja fotowoltaiczna	149
26.3. Wybrane układy połączeń fotoogniw.	153
26.3.1. Sieć autonomiczna off-grid (wydzielona)	153
26.3.2. Praca elektrowni PV na sieć „sztywną” (on-grid).	158
27. Wytyczne montażowe	160
27.1. Etapy realizacji inwestycji	160
27.2. Projekt techniczny	161
27.3. Etapy budowy.	161
27.4. Zagadnienia techniczne montażu instalacji	161
27.5. Sposób montażu ogniw PV w rzędach.	163
27.6. Systemy zabezpieczeń w instalacjach fotowoltaicznych	165
27.6.1. Rodzaje zabezpieczeń instalacji fotowoltaicznej	166
27.7. Ochrona odgromowa instalacji fotowoltaicznych	166

27.7.1.	Ochrona odgromowa – rodzaje ochrony	167
27.7.2.	Ochrona odgromowa – ochrona zewnętrzna	167
27.7.3.	Ochrona odgromowa farm fotowoltaicznych – ochrona zewnętrzna	171
27.7.4.	System ochronny instalacji PV bez zewnętrznej ochrony odgromowej (zwodów pionowych) – ochrona wewnętrzna	171
27.7.5.	Ogólne zasady doboru ograniczników po stronie DC	173
27.7.6.	Ochrona przetężeniowa i zwarciowa	176
27.7.7.	Ochrona przeciwporażeniowa w systemach fotowoltaicznych	177
27.8.	Odbiór instalacji	178
28.	BHP przy montażu instalacji fotowoltaicznej	179
28.1.	Zasady BHP przy montażu instalacji fotowoltaicznych	179
28.2.	Kompletność dostawy materiałów i urządzeń	181
28.3.	Transport i składowanie	181
28.4.	Dokumentacja techniczna	181
28.5.	Narzędzia i sprzęt dodatkowy	181
28.6.	Informacje ogólne	181
28.7.	Przepisy bezpieczeństwa	182
28.8.	Ochrona przeciwporażeniowa	182
28.8.1.	Ochrona przeciwpożarowa	182
28.8.2.	Warunki środowiskowe	184
28.8.3.	Postępowanie w razie pożaru budynku z instalacją PV	184
28.8.4.	Analiza skutków pożarów instalacji fotowoltaicznych	185
28.8.5.	Gaszenie pożaru nocą z instalacją PV na dachu	186
28.8.6.	Łuk elektryczny	186
28.8.7.	Zasady wyposażenia obiektów w gaśnice	186
28.8.8.	Gaszenie urządzeń elektrycznych	187
28.8.9.	Rozłączniki pożarowe	187
28.8.10.	Optyimizery	188
28.8.11.	Dokumentacja instalacji PV	188
28.8.12.	Ubezpieczenie instalacji PV na wypadek pożaru	188
28.9.	Bezpieczeństwo wykonywania prac przy urządzeniach elektrycznych	188
28.10.	Oznaczenia i symbole	189
29.	Montaż instalacji fotowoltaicznej	191
29.1.	Systemy montażowe dla modułów skrzynkowych	191
29.1.1.	Montaż na dachu spadzistym	191
29.1.2.	Montaż ogniw PV na dachu płaskim lub płaszczyźnie poziomej	193
29.1.3.	Sposób montażu modułów	194
29.1.4.	Zintegrowane z dachem moduły fotowoltaiczne	195
29.1.5.	Montaż fotoogniw „podążających za słońcem”	195
29.1.6.	Konstrukcja do mocowania na stropie	196
29.1.7.	Konstrukcja wsporcza mocowana do betonowych bloków	197
29.1.8.	System samonośny	197
29.2.	Montaż systemów PV na gruncie	198
29.3.	Montaż instalacji fotowoltaicznej na konstrukcji aluminiowej na dachu płaskim	198
29.4.	Montaż instalacji fotowoltaicznej na dachu spadzistym pokrytym dachówką betonową	201
29.5.	Montaż instalacji fotowoltaicznej na konstrukcji aluminiowej na dachu płaskim pokrytym blachą falistą	202
29.6.	Montaż instalacji fotowoltaicznej na dachu spadzistym pokrytym blachodachówką	202

30. Eksploatacja instalacji fotowoltaicznych	203
30.1. Wymiana uszkodzonego modułu	203
30.2. Mycie instalacji fotowoltaicznej	203
30.3. Sprawdzenie mocowania paneli	204
30.4. Usuwanie śniegu	204
30.5. Stan przewodów zasilających w instalacji prądu stałego (DC)	204
30.6. Sprawdzenie stanu technicznego falownika.	204
30.7. Czynniki wpływające ujemnie na produkcję energii z elektrowni fotowoltaicznej	205
30.8. Uruchamianie systemu fotowoltaicznego	205
30.9. Projektowanie systemów PV za pomocą symulacji komputerowych	208
31. Magazynowanie energii z OZE.	210
31.1. Akumulatory litowo-jonowe	210
31.2. Dobór wielkości mocy akumulatorów do instalacji fotowoltaicznej off-grid	213
31.3. Dobór wielkości mocy akumulatorów do instalacji fotowoltaicznej on-grid	214
31.4. Duże magazyny energii	215
31.5. Recykling modułów fotowoltaicznych.	216
32. Kolektory słoneczne	216
32.1. Dane statystyczne.	216
32.2. Rodzaje i budowa kolektorów słonecznych	217
32.2.1. Podział kolektorów	217
32.3. Kolektory płaskie cieczowe	218
32.4. Budowa kolektorów płaskich, bilans energii	219
32.5. Przykładowe dane techniczne i charakterystyka identyfikacyjna kolektorów płaskich	222
32.5.1. Kolektory płaskie w wykonaniu standardowym	222
32.6. Budowa próżniowych rurowych kolektorów słonecznych	223
32.6.1. Kolektory próżniowe heat-pipe (gorąca rurka – ciepłowod).	223
32.6.2. Kolektory próżniowe heat-pipe z pojedynczą rurą próżniową	226
32.6.3. Kolektory próżniowe z U-rurą.	227
32.7. Zwierciadło CPC	228
32.8. Ogólna charakterystyka kolektorów próżniowych.	228
32.9. Kolektory słoneczne skupiające	229
32.9.1. Refleksowo-próżniowy kolektor słoneczny „podążający za słońcem”	230
32.10. Kolektor cieczowy wykonany w formie maty z propylenu	231
32.11. Świadcstwa poprawności wykonania kolektorów	231
33. Słoneczne instalacje grzewcze	232
33.1. Bezpośrednie i pośrednie	232
33.1.1. Układ do podgrzewania wody bez zasobnika	232
33.1.2. Układ do podgrzewania wody z zasobnikiem.	232
33.1.3. Pośrednie	233
33.1.4. Układ pompowy	233
34. Parametry techniczne instalacji solarnej do ogrzewania c.w.u., c.o., schematy	235
34.1. Instalacja solarna dla ciepłej wody użytkowej i wspomagania ogrzewania budynku	235
34.2. Przykładowe schematy systemów grzewczych wspomaganych kolektorami słonecznymi	236

35. Typowe elementy słonecznej instalacji grzewczej	242
35.1. Zbiorniki na wodę – charakterystyka ogólna	242
35.2. Zasobniki w instalacji solarnej.	244
35.3. Przeciwdziałanie bakteriom Legionella Pneumophila w instalacji c.w.u.	244
35.4. Wymiennik ciepła.	245
35.5. Zasobnik z jedną węzownicą	245
35.6. Zasobniki z dwiema węzownicami	245
35.7. Zasobnik płaszczowy	247
35.8. Zasobniki kombinowane (multiwalentne) – typu zbiornik w zbiorniku	247
35.9. Zasobnik termosyfonowy Logalux SL 300/S dla przygotowania c.w.u.	248
36. Pompowe stacje solarne	250
36.1. Stacja solarna dwudrogowa	250
36.2. Jednodrogowa stacja solarna	250
37. Pompa solarna.	251
38. Regulatory.	251
39. Zasilacz bezprzerwow, awaryjny, UPS.	253
40. Czujniki temperatury	253
41. Elektroniczny termostat przyłgowy	254
42. Wymiennik płytowy	254
43. Grzałka elektryczna	255
44. Odpowietrznik instalacji solarnej	255
45. Złączka kompensacyjna	255
46. Rotametr	256
47. Manometr	256
48. Separator powietrza	257
49. Licznik ciepła (ciepłomierz).	257
50. Uchwyty dachowe kolektora i konstrukcje wolnostojące.	258
51. Oblachowanie kolektorów	258
52. Naczynie wzbiornicze	259
53. Zawór bezpieczeństwa	262
54. Wykonanie instalacji rurowej	262
55. Izolacja cieplna instalacji solarnej	263
56. Węże solarne.	263
57. Układ hydrauliczny instalacji solarnej	264
58. Montaż i instalacja kolektorów.	264
58.1. Możliwości usytuowania kolektorów	264
58.2. Odległość między rzędami kolektorów	265
59. Wpływ ustawienia kolektora na jego parametry energetyczne.	266
60. Instalacje do ciepłej wody użytkowej w budynkach indywidualnych	268
60.1. Dobór urządzeń do instalacji solarnej	268
60.1.1. Warunki konieczne do określenia powierzchni kolektorów słonecznych	268
60.1.2. Wyznaczenie całkowitych oporów przepływu w typowej instalacji.	268
60.1.3. Pojemność instalacji	269
60.1.4. Zużycie energii w gospodarstwie domowym	269
61. Instalacja do podgrzewania wody basenowej.	270
62. Łączenie kolektorów w instalacje o dużej powierzchni czynnej	272
63. Zalecenia eksploatacyjne	274
64. Przykłady montażu kolektorów słonecznych	275
65. Dobór wielkości instalacji.	275

66. Dobór wielkości kolektora i zasobnika	276
67. Lokalizacja zasobników wody użytkowej i zbiorników akumulacyjnych.	277
68. Instalacje do przygotowania c.w.u., oraz wspomaganie c.o. w budynkach indywidualnych	277
68.1. Efektywność pracy kolektorów słonecznych.	280
69. Napełnienie i odpowietrzenie instalacji solarnej	284
70. Instalacje wielkogabarytowe.	286
70.1. Największa instalacja solarna w Polsce	286
70.2. Instalacja wielkogabarytowa z magazynem ciepła	287
71. Płaskie kolektory powietrzne	291
71.1. Zasada działania.	291
71.2. Budowa.	291
71.3. Konstrukcje kolektorów	293
71.4. Zalety i wady stosowania kolektorów słonecznych i powietrznych	293
71.5. Rozwiązania konstrukcyjne instalacji	294
71.6. Sposoby rozdziału powietrza	296
71.7. Przykłady instalacji	296
71.7.1. Małe budynki.	296
71.7.2. Mieszkania, pomieszczenia biurowe, szkoły, obiekty handlowe, itp.	298
71.7.3. Systemy przemysłowe	298
71.7.4. Suszenie płodów rolnych.	301
71.7.5. Przechowywanie płodów rolnych	301
71.7.6. Ogrzewanie pomieszczeń inwentarskich.	301
71.7.7. Podgrzewanie szklarni i tuneli foliowych	301
71.7.8. Ciepło technologiczne	302
71.8. Koszty i oszczędności wynikające ze stosowania dużych systemów solarnych do podgrzewania powietrza	302
71.9. Podsumowanie	303
72. Badania nad wykorzystaniem energii słonecznej w instalacjach solarnych w laboratorium OZE w ZSE nr 1	303
72.1. Analiza wybranych wyników badań instalacji solarnych w laboratorium OZE w Zespole Szkół Elektrycznych nr 1 w Krakowie.	304
73. Symulacyjne programy komputerowe	310
74. Bilans energetyczny wydajności instalacji solarnej na podstawie symulacji	310
75. Informacje techniczne oraz zasady BHP obowiązujące przy montażu kolektorów płaskich.	317
75.1. BHP podczas montażu	317
75.2. Kompletność dostawy	318
75.3. Transport i składowanie	318
75.4. Dokumentacja techniczna.	318
75.5. Narzędzia i sprzęt dodatkowy	318
75.6. Informacje ogólne.	318
75.7. Odpowietrzanie solarnego obwodu pierwotnego.	319
75.8. Prowadzenie rur solarnego obwodu pierwotnego	319
75.9. Podłączenie przewodów zbiorczych.	320
75.10. Montaż kolektora	320
75.11. Połączenie kolektorów w baterię solarną	321
75.12. Napełnianie solarnego obwodu pierwotnego płynem solarnym	321
75.13. Odpowietrzenie instalacji.	322
75.14. Prace izolacyjne.	322

75.15. Przepisy bezpieczeństwa	322
75.16. Ochrona przeciwporażeniowa	322
75.17. Ochrona przeciwpożarowa.	322
75.18. Bezpieczeństwo wykonywania prac przy urządzeniach elektrycznych . .	323
75.19. Elektryczne okablowanie urządzenia.	323
75.20. Zabezpieczenie przed uderzeniem pioruna (piorunochron) i wyrównywanie potencjałów	323
75.21. Uruchomienie	324
75.22. Wyłączanie/zatrzymanie.	324
75.23. Kontrola instalacji	324
75.24. Eksploatacja instalacji solarnej do celów wspomaganie ogrzewania budyńku	324
75.25. Przegląd instalacji	325
75.26. Ważne informacje dla użytkownika instalacji	325
75.27. Warunki gwarancji	326
75.28. Najczęściej występujące usterki.	326
76. Uwagi do montażu kolektorów rurowych próżniowych na dachu spadzistym i na powierzchni płaskiej	327
77. Instalacje o większych powierzchniach	327
78. Podsumowanie	328

ROZDZIAŁ II

ENERGIA CIEPLNA ZIEMI I POWIETRZA

1. Wstęp	331
1.1. Zasoby geotermalne	332
1.2. Źródła energii geotermalnej	332
1.3. Gejzery jako źródła energii geotermalnej	333
1.4. Gorące suche skały – źródło energii geotermalnej.	333
1.5. Parametry termodynamiczne wód geotermalnych	333
1.6. Sposoby wykorzystania energii geotermalnej	336
1.7. Dobrodziejstwa płynące z wykorzystania energii geotermalnej	337
1.8. Zagrożenia wynikające z wykorzystania energii geotermalnej	337
2. Przykłady wykorzystania energii geotermalnej	337
2.1. Bezpośrednie zastosowania energii geotermalnej	339
2.2. Bezpośrednie sposoby wykorzystania energii geotermalnej w Polsce	341
3. Elektrociepłownie geotermalne	342
3.1. Wykorzystanie energii geotermalnej w elektrociepłowniach.	342
4. Wielkość i rozmieszczenie w Polsce zasobów wód geotermalnych.	345
4.1. Prowincje i okręgi posiadające wody geotermalne	345
4.2. Charakterystyka złóż geotermalnych w Polsce	346
5. Przykładowe instalacje geotermalne w Polsce	348
5.1. Funkcjonujące ciepłownie geotermalne.	348
5.2. Zakład w Mszczonowie	348
5.3. Ciepłownia w Pырzycach	349
5.4. Geotermia na Podhalu	351
5.5. Pierwszy zakład geotermalny w Polsce	352
5.6. Schemat zagospodarowania wód geotermalnych w Bańskieй Niżnej	354

5.7. Kaskadowy system wykorzystania energii geotermalnej.	355
5.8. Geotermia Uniejów	355
5.9. System wykorzystania niskotemperaturowej wody geotermalnej do celów ciepłowniczych i konsumpcyjnych w mieście Słomniki.	356
5.10. Ciepłownia geotermalna w Stargardzie Szczecińskim	358
5.11. Geotermia w Toruniu	358
5.12. Plan wykorzystania energii geotermalnej w Polsce do roku 2030.	361
6. Wnioski	361
7. Energia cieplna płytkich złóż geotermalnych.	365
7.1. Właściwości gruntu	365
7.2. Metody badania gruntu.	369
8. Pompy ciepła.	370
8.1. Informacje ogólne dotyczące pomp ciepła.	371
8.2. Budowa oraz zasada działania pompy ciepła.	371
8.3. Ogólne warunki instalacji.	373
9. Dobór pompy ciepła (WP) dla c.o. (systemu grzewczego)	376
9.1. Określenie OZC – dokładne.	376
9.2. Określenie OZC – w przybliżeniu	377
9.3. Przybliżony OZC wg wskaźników.	377
9.4. Określenie systemu pracy układu grzewczego.	378
9.5. System monowalentny.	378
9.6. System biwalentny – alternatywny	379
9.7. System biwalentny – równoległy monoenergetyczny	379
9.8. System biwalentny – częściowo-równoległy	380
9.9. System grzewczy z pompą ciepła.	380
10. Instalacje dolnego źródła ciepła WQA	381
10.1. Systemy powietrzne (powietrze/woda, powietrze/powietrze)	381
10.2. Systemy gruntowe poziome (solanka/woda)	384
10.3. Wymienniki gruntowe pionowe	391
10.4. Wody gruntowe	393
10.5. Wody geotermalne	394
10.6. Przykłady wykorzystania pomp ciepła w rolnictwie i przemyśle rolno-spożywczym	394
10.6.1. Przemysł przetwórstwa mięsnego	395
10.6.2. Przemysł i przetwórstwo rolno-spożywcze.	396
10.6.3. Ogrodnictwo i warzywnictwo	396
10.6.4. Zootechnika – odzysk ciepła	396
10.6.5. Rolnictwo	396
10.6.6. Wykorzystanie pomp ciepła w przemyśle	397
10.7. Charakterystyki pracy pomp ciepła	402
11. Górne źródło ciepła WNA.	403
12. Wybrane przykłady urządzeń do instalacji pomp ciepła.	404
12.1. Dolne źródło ciepła – grunt, instalacja solanka – woda	404
12.2. Gruntowe pompy ciepła, instalacja woda – woda	407
12.3. Pompa ciepła z bezpośrednim odparowaniem czynnika	408
12.4. Dolne źródło ciepła – powietrze zewnętrzne	412
12.5. Wybrane wyniki badań pompy ciepła powietrze – woda.	414
12.6. Pompy ciepła na powietrze wentylacyjne	417

13. Aspekty ekonomiczne zastosowania pomp ciepła i porównanie ich z innymi instalacjami grzewczymi	421
14. Analiza porównawcza kosztów uzyskania ciepłej wody użytkowej, centralnego ogrzewania przez pompę ciepła spirytus – woda, piec gazowy.	423
15. Sezonowy współczynnik efektywności SPF.	425
16. Wizualizacja pracy instalacji z pompą ciepła	426
17. Absorpcyjne pompy ciepła	427
17.1. Zasada działania.	427
17.2. Współpraca pompy ciepła z instalacją solarną, chłodzenie przez grzanie.	428
18. Wady i zalety pomp ciepła	429
19. Podsumowanie zagadnień związanych z pompami ciepła	430
20. Instalacje nawiewno-wywiewne z rekuperatorem w budynkach mieszkalnych.	431
20.1. Instalacje nawiewno-wywiewne, informacje ogólne	431
20.2. Budowa oraz zasada działania instalacji nawiewno-wywiewnej.	432
20.3. Koncepcja samowystarczalnego budynku nisko-energetycznego zasilanego z OZE, dla domu z Programu „Mieszkanie Plus”	438
20.3.1. Założenia dotyczące energochłonności budynku niskoenergetycznego, w całości zasilanego energią z instalacji fotowoltaicznej (zeroenergetyczny)	439
20.3.2. Analiza opłacalności budowy domu o niskim zapotrzebowaniu na energię ($Q_c < 50 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$) zeroenergetycznego	441

ROZDZIAŁ III

ENERGIA WIATRU

1. Wstęp	443
2. Wiatr i jego zasoby energetyczne	444
2.1. Wpływ czynników środowiskowych	445
2.2. Róża wiatrów	446
2.3. Zasoby na lądzie.	447
2.4. Szorstkość terenu	449
3. Podstawa działania elektrowni wiatrowej.	451
3.1. Podstawowe informacje o krzywej mocy.	451
3.2. Parametry pracy siłowni wiatrowych.	452
3.3. Silniki wiatrowe	453
3.4. Lokalne oddziaływanie energetyki wiatrowej	456
4. Budowa elektrowni wiatrowej	457
4.1. Metody regulacji mocy oddawanej przez elektrownie wiatrowe.	459
4.1.1. Koncepcje pracy siłowni wiatrowej.	459
4.1.2. Regulacja ustawienia elektrowni w kierunku wiatru (Yaw Control).	460
4.1.3. Regulacja kąta ustawienia łopatek (Active Pitch Regulation).	460
4.1.4. Regulacja przez zmianę prędkości obrotowej generatora	460
4.1.5. Regulacja przez zmianę obciążenia (Load Control)	461
4.1.6. Regulacja przez „przeciążenie” (Stall Regulation).	461
4.1.7. Regulacja lotkami łopatek wirnika (Aileron Control).	461
4.2. Generatory	461
4.3. Krótka charakterystyka nowych konstrukcji elektrowni wiatrowych	463
5. Zainstalowana moc i sposób montażu elektrowni wiatrowych	465
5.1. Wielkość mocy i energii, zainstalowanej w elektrowniach wiatrowych w UE.	466

5.2. Sposób montażu konstrukcji elektrowni wiatrowych	468
6. Struktura kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych w przypadku energetyki wiatrowej 200-500 kW	469
7. Rozmieszczenie elektrowni pracujących w Polsce.	471
7.1. Przeznaczenie pojedynczej elektrowni wiatrowej	472
7.1.1. Elektrownia wiatrowa V80	472
8. Optymalizacja warunków pracy silnika wiatrowego	473
9. Systemy sterowania w elektrowni wiatrowej	474
9.1. Sterowniki	474
9.2. Zdalne sterowanie	477
9.3. Sterowanie w małych elektrowniach wiatrowych	478
10. Małe elektrownie wiatrowe – charakterystyka	478
10.1. Elektrownia wiatrowa „Zefir-6” 5 kW	479
10.2. Turbina wiatrowa o mocy 1,5 kW	480
11. Wybrane wyniki badań, elektrowni wiatrowej ECO-H-1,5 kW	481
12. Mikroelektrownie wiatrowe z pionową osią obrotu	484
13. Wybrane wyniki badań, małej elektrowni wiatrowej	488
14. Programy do symulacji pracy elektrowni wiatrowych	490
15. Perspektywy rozwoju energetyki wiatrowej na morzu bałtyckim	490
16. Podsumowanie	494

ROZDZIAŁ IV

ENERGIA WODY

1. Wstęp	495
2. Parametry elektrowni wodnych	496
3. Rozwiązania konstrukcyjne elektrowni wodnych	497
3.1. Budowle hydrotechniczne, elementy elektrowni wodnych, urządzenia mechaniczne	497
3.2. Elektrownie zbiornikowe i przepływowe.	499
3.2.1. Elektrownie zbiornikowe – szczytowo-pompowe	500
3.2.2. Elektrownie wodne przepływowe.	503
3.3. Wybrane przykłady.	503
3.3.1. Elektrownia Małomice	503
3.3.2. Elektrownia Solina	504
4. Mała energetyka wodna	504
5. Zasada działania i budowa turbin wodnych	506
5.1. Rozwiązania współczesne z turbinami Francisca	507
5.2. Współczesne rozwiązania z turbinami Kaplana	508
5.3. Rozwiązania z turbinami Peltona.	509
6. Prądnice elektryczne.	510
6.1. Budowa i zasada działania prądnic asynchronicznych (indukcyjnych)	510
6.2. Prądnice synchroniczne (hydrogeneratory), budowa zasada działania.	514
7. Regulatory turbin wodnych.	518
7.1. Elektrohydrauliczny regulator prędkości obrotowej turbiny lub jej mocy	518
7.2. Rodzaje automatyzacji procesów ruchowych w MEW.	519
8. Procesy ruchowe w MEW.	520
8.1. Zakres i stopień automatyzacji procesów rozruchowych	521

9. Sposoby automatyzacji procesów ruchowych MEW	522
9.1. Układ sterowania łopatek turbiny (USW)	522
9.2. Automatyczny regulator prędkości kątowej turbiny (ART).	522
9.3. Układ sterowania aparatu kierowniczego turbiny (USK)	522
9.4. Układ automatycznej regulacji napięcia prądnicy synchronicznej (ARN) . .	523
9.5. Automatyczny synchronizator prądnicy synchronicznej (ASG)	523
9.6. Układ automatycznego sterowania procesami rozruchowymi turbozespołu (USR).	523
9.7. Układ automatycznego sterowania procesami odstawiania turbozespołu (USO).	523
9.8. Układ automatycznej regulacji poziomu wody (ARP)	523
9.9. Auto operator (AOP)	524
9.10. Układ sterowania zamknięć wlotowych wody do turbiny (USZ)	524
9.11. Układ programujący pracę szczytową MEW (UPP)	525
9.12. Sterowanie prądnicami asynchronicznymi.	525
10. Sposoby przekazywania napędu z turbiny na prądnice	525
10.1. Bezpośrednie sprzęgnięcie wału z prądnicą.	525
10.2. Przekazywanie napędu przez przekładnie	525
10.3. Przekładnie pasowe	525
10.4. Przekładnie zębate	526
11. Pomocnicze wyposażenie mechaniczne	527
11.1. Kraty na ujęciach wody i ich czyszczenie	527
11.2. Zamknięcie dopływu wody do turbin.	528
11.3. Wyposażanie budynków elektrowni w dźwignice	529
12. Systemy pracy, zabezpieczeń, pomiary w MEW	529
12.1. Zabezpieczenia bloków z prądnicami synchronicznymi i transformatorowymi o mocy do 5000 kVA	531
12.2. Zabezpieczenia prądnic asynchronicznych o mocy do 250 kVA i napięciu do 1000 V, zasilających bezpośrednio szyny zbiorcze	531
12.3. Zabezpieczenia bloków, prądnica asynchroniczna – transformator o mocy do 250 kVA	532
12.4. Zabezpieczenia turbozespołów	532
12.5. Ochrona przeciwporażeniowa	533
12.6. Ochrona od przepięć oraz instalacje piorunochronne	535
12.7. Ochrona przeciwpożarowa.	535
12.8. Bezpieczeństwo wykonywania prac przy urządzeniach elektrycznych. . .	536
12.9. Udzielanie pierwszej pomocy osobom porażonym prądem elektrycznym .	536
12.10. Sygnalizacja zakłóceń pracy	536
12.11. Pomiary	537
12.12. Potrzeby własne elektrowni	538
12.13. Uziomy	539
13. Wybrane elementy dokumentacji małej elektrowni wodnej Zakopane – Olcza. .	539
13.1. Opis techniczny, charakterystyka elektrowni.	539
14. Mikro elektrownie wodne.	542
15. Podsumowanie	548

ROZDZIAŁ V ENERGIA BIOMASY

1. Pojęcie biomasy	549
2. Drewno jako biopaliwo	552
2.1. Wierzba energetyczna	553
2.2. Gazyfikacja biomasy	555
2.3. Kotły do spalania drewna	559
2.4. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne kotłów do spalania drewna V generacji	562
2.5. Kotły małej mocy	564
2.6. Piec MS	564
2.7. Kotły dużej mocy	565
2.8. Budowa małych kotłów V generacji zgazowujących drewno	566
2.9. Kotły do spalania peletu	567
3. Piece kominkowe V generacji	568
3.1. Kominiek z płaszczem wodnym	568
3.2. Kominiek pracujący w systemie zintegrowanym	570
3.3. Ciepła woda z kominka	572
3.4. Montaż pieców kominkowych	574
3.5. Awaryjne zasilanie pompy	575
3.6. Wytyczne montażowe turbokominka	576
4. Słoma jako biopaliwo	576
4.1. Kotły do spalania słomy	577
4.2. Kotły małej mocy na słomę	579
4.3. Kotłownie średniej mocy	581
4.4. Kotłownie dużej mocy	581
4.5. Peletowanie słomy	581
4.6. Maszyny do produkcji brykietów ze słomy	582
4.7. Wnioski	584
5. Osady ściekowe (analog torfu) i kotły na osady ściekowe	586
6. Biogaz	587
6.1. Biogazownie rolnicze	589
6.2. Biogazownie rolnicze oparte na procesie fermentacji metanowej	590
6.3. Wybrane zagadnienia z analizy porównawczej opłacalności ekonomicznej, biogazowni rolniczej	595
6.4. Charakterystyka pierwszej biogazowni rolniczej działającej w Polsce	599
6.5. Mikroinstalacje kontenerowe	601
6.6. Wnioski dotyczące perspektyw rozwoju biogazowni rolniczych	602
7. Biogaz z oczyszczalni ścieków	605
7.1. Gospodarka energią elektryczną i ciepłem na przykładzie oczyszczalni ścieków „Kujawy” w Krakowie	605
7.2. Opis działania oczyszczalni	605
7.3. Wytwarzanie biogazu	606
7.4. Generatory zasilane biogazem	606
8. Biogaz wysypiskowy z odpadów	608
8.1. Elektrociepłownia biogazowa – wysypisko Barycz	610
9. Skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej, ciepła i chłodu w oparciu o paliwa biogazowe – agregaty kogeneracyjne	614

9.1. Geneza	614
9.2. Zasada działania	614
9.3. Dobór agregatu	614
9.4. Wytwarzanie i sprzedaż chłodu w oparciu o ciepło z kogeneracji	615
9.5. Turbiny gazowe Capstone	616
10. Wzbogacanie i oczyszczanie biogazu	619
10.1. Odsiarczanie biogazu – technologia	619
11. Główne zalety wykorzystania biogazu	620
12. Problemy wynikające z produkcji biogazu	620
13. Biopaliwa płynne	620
13.1. Bioetanol	621
13.2. Biodiesel	622
14. Współspalanie biomasy i paliw kopalnych	630
15. Elektrociepłownie wykorzystujące do spalania biomase	633
16. Efekty ekonomiczne stosowania biomasy w energetyce	637
17. Możliwości produkcji energii z biomasy	638
18. Podsumowanie	639
19. Wymienniki do odzysku ciepła ze spalin (rekuperatory)	640
19.1. Przykłady zastosowań	642
19.2. Zasada działania rekuperatora z rurką cieplną	642

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. Ogniwa paliwowe (fuel cells)	650
5. Wnioski	654
Literatura	655