

Ryszard Tytko

Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej

wydanie dwunaste
uzupełnione

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

*Książkę dedykuję
kochanemu wnuczkowi
Maksymilianowi Kraus*

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 zatwierdzeniem przez MEN i skierowaniem do realizacji podstaw programowych kształcenia w zawodach szkolnictwa branżowego oraz dodatkowych umiejętności zawodowych w zakresie wybranych zawodów szkolnictwa branżowego, na podstawie rozporządzenia Ministra Edukacji Narodowej z dnia 16 maja 2019 r., w sprawie klasyfikacji zawodów szkolnictwa zawodowego, m.in.: dla zawodu technik urządzeń i systemów energetyki odnawialnej (311930), zaistniała konieczność przygotowania podręcznika, w którym zostaną zawarte treści zgodne z wymogami ww. podstaw programowych. Zawarte w podręczniku 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: 978-83-8111-095-2

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	32
7.1.2. Słoma	33
7.1.3. Gaz z czynnych składowisk odpadów	33
7.1.4. Gaz z fermentacji osadów i ścieków	34
7.1.5. Biogaz z biogazowni rolniczych	34
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	39
9. Wybrane zapisy ustawy o OZE	45
10. Świadectwa pochodzenia	48

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
9. Rozwiązania przyszłościowe wykorzystania energii słonecznej	59
10. Światowy rozwój fotoogniw	60
11. Wiadomości wstępne z optoelektroniki	63
12. Budowa i zasada działania ogniw krzemowych	65
13. Ogniwa z krzemu monolitycznego	66
14. Ogniwa polikrystaliczne	71
15. Ogniwa polikrystaliczne cienkowarstwowe	74
16. Ogniwa z krzemu amorficznego	75
17. Ogniwa cienkowarstwowe jedno- i wielozłączowe z arsenku galu	77
18. Ogniwa fotowoltaiczne z materiałów organicznych	79

19. Ogniwa fotowoltaiczne uczulane barwnikiem	82
20. Hybrydowe panele słoneczne	83
21. Dwustronne baterie słoneczne	87
22. Utrata mocy fotoogniw funkcji czasu pracy	87
23. Gorący punkt (hot spot)	89
23.1. Napięcie indukowane w module PID (Potential Induced Degradation)	90
23.2. Prąd upływu	90
24. Analiza pracy fotoogniwa	93
24.1. Podstawowe zależności	93
24.2. Wpływ temperatury na parametry fotoogniwa	96
24.3. Sposoby połączeń modułów PV	98
24.4. Wpływ promieniowania słonecznego na parametry modułu fotowoltaicznego.	99
24.4.1. Współczynnik wypełnienia FF	100
24.5. Wybrane wyniki badań modułów fotowoltaicznych	100
24.6. Wybrane wyniki badań instalacji fotowoltaicznej „podążającej za słońcem”.	109
25. Parametry osprzętu instalacji PV	112
25.1. Regulatory ładowania.	112
25.2. Przetwornice napięcia	114
25.2.1. Inwerter w instalacji fotowoltaicznej	116
25.2.2. Przykładowe rozwiązanie	119
25.2.3. Parametry elektryczne pracy falownika 1-fazowego	119
25.2.4. Falowniki 3-fazowe.	120
25.2.5. falowniki hybrydowe.	122
25.2.6. Zagadnienia eksploatacyjne dotyczące załączenia do sieci falowników	123
25.3. MPP tracker	125
25.4. Monitorowanie na poziomie paneli	126
25.5. Modem komunikacyjny	128
25.5.1. Zasada działania	128
25.5.2. Charakterystyka urządzeń	128
25.6. Sposób łączenia przewodów po stronie DC.	129
25.7. Dobór przewodów w instalacji fotowoltaicznej	130
25.7.1. Warunki doboru przekroju przewodów ze względu na obciążalność prądową długotrwałą	131
25.7.2. Wyznaczanie przekroju przewodów ze względu na obciążalność długotrwałą po stronie DC.	132
25.7.3. Wyznaczanie przekroju przewodów po stronie DC ze względu na dopuszczalne spadki napięcia.	133
25.7.4. Sprawdzenie wielkości strat mocy na przewodach łączących łańcuch (string) modułów fotowoltaicznych z falownikiem.	133
25.7.5. Wyznaczanie przekroju przewodów i kabli ze względu na obciążalność długotrwałą i przeciążalność po stronie prądu zmiennego AC instalacji fotowoltaicznej	134
25.7.6. Wyznaczanie przekroju przewodów po stronie AC ze względu na dopuszczalne spadki napięcia.	134
25.7.7. Dobór zabezpieczeń w instalacjach fotowoltaicznych	135
25.8. Mierniki instalacji fotowoltaicznych	136
25.9. Pomiar natężenia promieniowania słonecznego i temperatury modułu fotowoltaicznego	137
26. Dobór parametrów instalacji fotowoltaicznych	138
26.1. Rodzaje instalacji PV	138
26.2. Mała instalacja fotowoltaiczna	139
26.3. Wybrane układy połączeń fotoogniw	143

26.3.1.	Sieć autonomiczna off-grid (wydzielona)	143
26.3.2.	Praca elektrowni PV na sieć „sztywną” (on-grid)	148
27.	Wytyczne montażowe	150
27.1.	Etapy realizacji inwestycji	150
27.2.	Projekt techniczny	150
27.3.	Etapy budowy.	151
27.4.	Zagadnienia techniczne montażu instalacji	151
27.5.	Sposób montażu ogniw PV w rzędach.	153
27.6.	Systemy zabezpieczeń w instalacjach fotowoltaicznych	155
27.6.1.	Rodzaje zabezpieczeń instalacji fotowoltaicznej	155
27.7.	Ochrona odgromowa instalacji fotowoltaicznych	155
27.7.1.	Ochrona odgromowa – rodzaje ochrony	157
27.7.2.	Ochrona odgromowa – ochrona zewnętrzna.	157
27.7.3.	Ochrona odgromowa farm fotowoltaicznych – ochrona zewnętrzna	161
27.7.4.	System ochronny instalacji PV bez zewnętrznej ochrony odgromowej (zwołów pionowych) – ochrona wewnętrzna	161
27.7.5.	Ogólne zasady doboru ograniczników po stronie DC.	163
27.7.6.	Ochrona przetężeniowa i zwarciowa.	166
27.7.7.	Ochrona przeciwporażeniowa w systemach fotowoltaicznych.	167
28.	BHP przy montażu instalacji fotowoltaicznej.	169
28.1.	Zasady BHP przy montażu instalacji fotowoltaicznych.	169
28.2.	Kompletność dostawy materiałów i urządzeń	171
28.3.	Transport i składowanie	171
28.4.	Dokumentacja techniczna	171
28.5.	Narzędzia i sprzęt dodatkowy	171
28.6.	Informacje ogólne	171
28.7.	Przepisy bezpieczeństwa	172
28.8.	Ochrona przeciwporażeniowa	172
28.8.1.	Ochrona przeciwpożarowa	172
28.8.2.	Warunki środowiskowe	174
28.8.3.	Postępowanie w razie pożaru budynku z instalacją PV	174
28.8.4.	Analiza skutków pożarów instalacji fotowoltaicznych	175
28.8.5.	Gaszenie pożaru nocą z instalacją PV na dachu	176
28.8.6.	Łuk elektryczny	176
28.8.7.	Zasady wyposażenia obiektów w gaśnice.	176
28.8.8.	Gaszenie urządzeń elektrycznych	177
28.8.9.	Rozłączniki pożarowe	177
28.8.10.	Optyimizery	178
28.8.11.	Dokumentacja instalacji PV	178
28.8.12.	Ubezpieczenie instalacji PV na wypadek pożaru	178
28.9.	Bezpieczeństwo wykonywania prac przy urządzeniach elektrycznych.	178
28.10.	Oznaczenia i symbole.	179
29.	Montaż instalacji fotowoltaicznej.	181
29.1.	Systemy montażowe dla modułów skrzynkowych	181
29.1.1.	Montaż na dachu spadzistym	181
29.1.2.	Montaż ogniw PV na dachu płaskim lub płaszczyźnie poziomej	183
29.1.3.	Sposób montażu modułów	184
29.1.4.	Zintegrowane z dachem moduły fotowoltaiczne	185
29.1.5.	Montaż fotoogniw „podążających za słońcem”	185
29.1.6.	Konstrukcja do mocowania na stropie	186
29.1.7.	Konstrukcja wsporcza mocowana do betonowych bloków	187
29.1.8.	System samonośny	187
29.2.	Montaż systemów PV na gruncie.	188

30.	Eksplotacja instalacji fotowoltaicznych	196
30.1.	Wymiana uszkodzonego modułu	196
30.2.	Mycie instalacji fotowoltaicznej	196
30.3.	Sprawdzenie mocowania paneli	196
30.4.	Usuwanie śniegu	197
30.5.	Stan przewodów zasilających w instalacji prądu stałego (DC)	197
30.6.	Sprawdzenie stanu technicznego falownika.	197
30.7.	Czynniki wpływające ujemnie na produkcję energii z elektrowni fotowoltaicznej	198
30.8.	Uruchamianie systemu fotowoltaicznego	198
30.9.	Projektowanie systemów PV za pomocą symulacji komputerowych	201
31.	Magazynowanie energii z OZE.	203
31.1.	Akumulatory litowo-jonowe	203
31.2.	Dobór wielkości mocy akumulatorów do instalacji fotowoltaicznej off-grid .	206
31.3.	Dobór wielkości mocy akumulatorów do instalacji fotowoltaicznej on-grid .	207
31.4.	Duże magazyny energii	208
32.	Kolektory słoneczne	209
32.1.	Dane statystyczne.	209
32.2.	Rodzaje i budowa kolektorów słonecznych	210
32.2.1.	Podział kolektorów	210
32.3.	Kolektory płaskie cieczowe	211
32.4.	Budowa kolektorów płaskich, bilans energii	212
32.5.	Przykładowe dane techniczne i charakterystyka identyfikacyjna kolektorów płaskich	214
32.5.1.	Kolektory płaskie w wykonaniu standardowym	214
32.5.2.	Kolektor płaski próżniowy	215
32.6.	Budowa próżniowych rurowych kolektorów słonecznych	217
32.6.1.	Kolektory próżniowe heat-pipe (gorąca rurka – ciepłowod).	217
32.6.2.	Kolektory próżniowe heat-pipe z pojedynczą rurą próżniową	220
32.6.3.	Kolektory próżniowe z U-rurą.	221
32.6.4.	Kolektory rurowo-próżniowe „direct flow”	222
32.7.	Zwierciadło CPC	223
32.8.	Ogólna charakterystyka kolektorów próżniowych.	224
32.9.	Kolektory słoneczne skupiające	224
32.9.1.	Refleksowo-próżniowy kolektor słoneczny „podążający za słońcem” .	225
32.10.	Kolektor cieczowy wykonany w formie maty z propylenu	226
32.11.	Kolektor współpracujący z fotoogniwem.	227
32.12.	Świadectwa poprawności wykonania kolektorów	227
33.	Słoneczne instalacje grzewcze	227
33.1.	Bezpośrednie i pośrednie	228
33.1.1.	Układ do podgrzewania wody bez zasobnika	228
33.1.2.	Układ do podgrzewania wody z zasobnikiem.	228
33.1.3.	Pośrednie	228
33.1.4.	Układ pompowy	229
34.	Parametry techniczne instalacji solarnej do ogrzewania c.w.u., c.o., schematy . .	230
34.1.	Instalacja solarna dla ciepłej wody użytkowej i wspomaganie ogrzewania budynku	231
34.2.	Przykładowe schematy systemów grzewczych wspomaganymi kolektorami słonecznymi	232
35.	Typowe elementy słonecznej instalacji grzewczej	240

35.1. Zbiorniki na wodę – charakterystyka ogólna	240
35.2. Zbiorniki instalacji solarnej	241
35.3. Przeciwdziałanie bakteriom Legionella Pneumophila w instalacji c.w.u.	242
35.4. Wymiennik ciepła	242
35.5. Zasobnik z jedną węzownicą	243
35.6. Zasobniki z dwiema węzownicami	243
35.7. Zasobnik płaszczowy	244
35.8. Zasobniki kombinowane (multiwalentne) – typu zbiornik w zbiorniku	245
35.9. Zasobnik termosyfonowy Logalux SL 300/S dla przygotowania c.w.u.	245
36. Pompowe stacje solarne	247
36.1. Stacja solarna dwudrogowa	247
36.2. Jednodrogowa stacja solarna	247
37. Pompa solarna	248
38. Regulatory	248
39. Zasilacz bezprzerwowy, awaryjny, UPS	250
40. Czujniki temperatury	250
41. Wymiennik płytowy	251
42. Grzałka elektryczna	252
43. Odpowietrznik instalacji solarnej	252
44. Złączka kompensacyjna	252
45. Rotometr	253
46. Manometr	253
47. Separator powietrza	254
48. Licznik ciepła (ciepłomierz)	254
49. Uchwyty dachowe kolektora i konstrukcje wolnostojące	255
50. Oblachowanie kolektorów	255
51. Naczynie zbiorcze	256
52. Zawór bezpieczeństwa	259
53. Wykonanie instalacji rurowej	259
54. Izolacja cieplna instalacji solarnej	260
55. Węże solarne	260
56. Układ hydrauliczny instalacji solarnej	261
57. Montaż i instalacja kolektorów	261
57.1. Możliwości usytuowania kolektorów	261
57.2. Odległość między rzędami kolektorów	262
58. Wpływ ustawienia kolektora na jego parametry energetyczne	263
59. Instalacje do ciepłej wody użytkowej w budynkach indywidualnych	265
59.1. Dobór urządzeń do instalacji solarnej	265
59.1.1. Warunki konieczne do określenia powierzchni kolektorów słonecznych	265
59.1.2. Wyznaczenie całkowitych oporów przepływu w typowej instalacji	265
59.1.3. Pojemność instalacji	266
59.1.4. Zużycie energii w gospodarstwie domowym	266
60. Instalacja do podgrzewania wody basenowej	267
61. Łączenie kolektorów w instalacje o dużej powierzchni czynnej	269
62. Zalecenia eksploatacyjne	272
63. Przykłady montażu kolektorów słonecznych	272
64. Dobór wielkości instalacji	273
65. Dobór wielkości kolektora i zasobnika	273
66. Lokalizacja zasobników wody użytkowej i zbiorników akumulacyjnych	274
67. Instalacje do przygotowania c.w.u. oraz wspomaganie c.o. w budynkach indywidualnych	275

67.1. Efektywność pracy kolektorów słonecznych	277
68. Napełnienie i odpowietrzenie instalacji solarnej	282
69. Instalacje wielkogabarytowe.	283
69.1. Największa instalacja solarna w Polsce	283
69.2. Instalacja wielkogabarytowa z magazynem ciepła	284
70. Płaskie kolektory powietrzne	288
70.1. Zasada działania.	288
70.2. Budowa.	288
70.3. Konstrukcje kolektorów	290
70.4. Zalety i wady stosowania kolektorów słonecznych i powietrznych	290
70.5. Rozwiązania konstrukcyjne instalacji	292
70.6. Sposoby rozdziału powietrza	294
70.7. Przykłady instalacji	294
70.7.1. Małe budynki.	294
70.7.2. Mieszkania, pomieszczenia biurowe, szkoły, obiekty handlowe, itp.	295
70.7.3. Systemy przemysłowe	296
70.7.4. Suszenie płodów rolnych	298
70.7.5. Przechowywanie płodów rolnych	298
70.7.6. Ogrzewanie pomieszczeń inwentarskich	298
70.7.7. Podgrzewanie szklarni i tuneli foliowych	298
70.7.8. Ciepło technologiczne.	299
70.8. Koszty i oszczędności wynikające ze stosowania dużych systemów solarnych do podgrzewania powietrza.	299
70.9. Podsumowanie	300
71. Badania nad wykorzystaniem energii słonecznej w instalacjach solarnych w laboratorium OZE w ZSE nr 1	301
71.1. Analiza wybranych wyników badań instalacji solarnych w laboratorium OZE w Zespole Szkół Elektrycznych nr 1 w Krakowie.	301
72. Symulacyjne programy komputerowe	307
73. Bilans energetyczny wydajności instalacji solarnej na podstawie symulacji	308
74. Informacje techniczne oraz zasady BHP obowiązujące przy montażu kolektorów płaskich	314
74.1. BHP podczas montażu	314
74.2. Kompletność dostawy	315
74.3. Transport i składowanie	315
74.4. Dokumentacja techniczna.	315
74.5. Narzędzia i sprzęt dodatkowy	315
74.6. Informacje ogólne.	316
74.7. Odpowietrzanie solarnego obwodu pierwotnego.	316
74.8. Prowadzenie rur solarnego obwodu pierwotnego	317
74.9. Podłączenie przewodów zbiorczych.	317
74.10. Montaż kolektora	317
74.11. Połączenie kolektorów w baterię solarną.	320
74.12. Napełnianie solarnego obwodu pierwotnego płynem solarnym	321
74.13. Odpowietrzenie instalacji.	321
74.14. Prace izolacyjne	321
74.15. Przepisy bezpieczeństwa	322
74.16. Ochrona przeciwporażeniowa	322
74.17. Ochrona przeciwpożarowa.	322
74.18. Bezpieczeństwo wykonywania prac przy urządzeniach elektrycznych	322

74.19. Elektryczne okablowanie urządzenia.	323
74.20. Zabezpieczenie przed uderzeniem pioruna (piorunochron) i wyrównywanie potencjałów	323
74.21. Uruchomienie.	323
74.22. Wyłączanie/zatrzymanie.	324
74.23. Kontrola instalacji	324
74.24. Eksploatacja instalacji solarnej do celów wspomagania ogrzewania budynku	324
74.25. Przegląd instalacji	324
74.26. Ważne informacje dla użytkownika instalacji	325
74.27. Warunki gwarancji	325
74.28. Najczęściej występujące usterki.	326
75. Instrukcja montażu kolektorów rurowych próżniowych na dachu spadzistym i na powierzchni płaskiej	326
75.1. Instrukcja	326
75.2. Ogólne przepisy bezpieczeństwa	327
75.3. Wysokie temperatury	327
75.4. Elementy metalowe.	327
75.5. Szklane rurki próżniowe.	327
75.6. Wyłączenia odpowiedzialności	328
75.7. Umieszczenie kolektora – informacje ogólne.	328
75.7.1. Ukierunkowanie kolektora	328
75.7.2. Zapewnienie nasłonecznienia	329
75.7.3. Dostosowanie kąta nachylenia kolektora w celu zmniejszenia przegrzania	329
75.7.4. Ustawienie głowicy kolektora.	329
75.7.5. Lokalizacja w stosunku do zasobnika c.w.u.	329
75.8. Montaż kolektorów	329
75.8.1. Przepisy bezpieczeństwa.	329
75.9. Montaż kolektorów na dachu spadzistym	330
75.10. Montaż kolektorów na powierzchni płaskiej	332
75.10.1. Informacje ogólne	332
75.10.2. Sposób montażu stojaków	332
75.10.3. Mocowanie kolektora na belkach poziomych (operacja wspólna dla montażu na dachu i montażu na stojaku)	334
75.10.4. Kolejność postępowania	334
75.11. Hydraulika	335
75.11.1. Połączenia hydrauliczne	335
75.11.2. Dobór rur przyłączeniowych	336
75.11.3. Płyn solarny	336
75.11.4. Ciśnienia	336
75.11.5. Montaż czujnika temperatury	336
75.11.6. Odpowietrzanie instalacji	337
75.12. Ochrona odgromowa	337
76. Instalacje o większych powierzchniach	337
77. Podsumowanie	338

ROZDZIAŁ II

ENERGIA CIEPLNA ZIEMI I POWIETRZA

1. Wstęp	341
1.1. Zasoby geotermalne	342
1.2. Źródła energii geotermalnej	342
1.3. Gejzery jako źródła energii geotermalnej	343
1.4. Gorące suche skały – źródło energii geotermalnej	343
1.5. Parametry termodynamiczne wód geotermalnych	343
1.6. Sposoby wykorzystania energii geotermalnej	346
1.7. Dobrodziejstwa płynące z wykorzystania energii geotermalnej	347
1.8. Zagrożenia wynikające z wykorzystania energii geotermalnej	347
2. Przykłady wykorzystania energii geotermalnej	347
2.1. Bezpośrednie zastosowania energii geotermalnej	349
2.2. Bezpośrednie sposoby wykorzystania energii geotermalnej w Polsce	351
3. Elektrociepłownie geotermalne	352
3.1. Wykorzystanie energii geotermalnej w elektrociepłowniach	352
4. Wielkość i rozmieszczenie w Polsce zasobów wód geotermalnych	355
4.1. Prowincje i okręgi posiadające wody geotermalne	355
4.2. Charakterystyka złóż geotermalnych w Polsce	356
5. Przykładowe instalacje geotermalne w Polsce	358
5.1. Funkcjonujące ciepłownie geotermalne	358
5.2. Zakład w Mszczonowie	358
5.3. Ciepłownia w Pyrzycach	359
5.4. Geotermia na Podhalu	361
5.5. Pierwszy zakład geotermalny w Polsce	362
5.6. Schemat zagospodarowania wód geotermalnych w Bańskiej Niznej	364
5.7. Kaskadowy system wykorzystania energii geotermalnej	365
5.8. Geotermia Uniejów	365
5.9. System wykorzystania niskotemperaturowej wody geotermalnej do celów ciepłowniczych i konsumpcyjnych w mieście Słomniki	366
5.10. Ciepłownia geotermalna w Stargardzie Szczecińskim	368
5.11. Geotermia w Toruniu	368
5.12. Plan wykorzystania energii geotermalnej w Polsce do roku 2030	371
6. Wnioski	371
7. Energia cieplna płytkich złóż geotermalnych	375
7.1. Właściwości gruntu	375
7.2. Metody badania gruntu	379
8. Pompy ciepła	380
8.1. Informacje ogólne dotyczące pomp ciepła	381
8.2. Budowa oraz zasada działania pompy ciepła	381
8.3. Ogólne warunki instalacji	383
9. Dobór pompy ciepła (WP) dla c.o. (systemu grzewczego)	386
9.1. Określenie OZC – dokładne	386
9.2. Określenie OZC – w przybliżeniu	387
9.3. Przybliżony OZC wg wskaźników	387
9.4. Określenie systemu pracy układu grzewczego	388
9.5. System monowalentny	388
9.6. System biwalentny – alternatywny	389

9.7. System biwalentny – równoległy monoenergetyczny	389
9.8. System biwalentny – częściowo-równoległy	390
9.9. System grzewczy z pompą ciepła	390
10. Instalacje dolnego źródła ciepła WQA	391
10.1. Systemy powietrzne (powietrze/woda, powietrze/powietrze)	391
10.2. Systemy gruntowe poziome (solanka/woda)	394
10.3. Wymienniki gruntowe pionowe	401
10.4. Wody gruntowe	403
10.5. Wody geotermalne	404
10.6. Przykłady wykorzystania pomp ciepła w rolnictwie i przemyśle rolno- spożywczym	404
10.6.1. Przemysł przetwórstwa mięsnego	405
10.6.2. Przemysł i przetwórstwo rolno-spożywcze	406
10.6.3. Ogrodnictwo i warzywnictwo	406
10.6.4. Zootechnika – odzysk ciepła	406
10.6.5. Rolnictwo	406
10.6.6. Wykorzystanie pomp ciepła w przemyśle	407
10.7. Charakterystyki pracy pomp ciepła	412
11. Górne źródło ciepła WNA	413
12. Wybrane przykłady urządzeń do instalacji pomp ciepła	414
12.1. Dolne źródło ciepła – grunt, instalacja solanka – woda	414
12.2. Gruntowe pompy ciepła, instalacja woda – woda	417
12.3. Pompa ciepła z bezpośrednim odparowaniem czynnika	418
12.4. Dolne źródło ciepła – powietrze zewnętrzne	422
12.5. Wybrane wyniki badań pompy ciepła powietrze – woda	424
12.6. Pompy ciepła na powietrze wentylacyjne	427
13. Aspekty ekonomiczne zastosowania pomp ciepła i porównanie ich z innymi instalacjami grzewczymi	431
14. Analiza porównawcza kosztów uzyskania ciepłej wody użytkowej, centralnego ogrzewania przez pompę ciepła spirytus – woda, piec gazowy	433
15. Sezonowy współczynnik efektywności SPF	435
16. Wizualizacja pracy instalacji z pompą ciepła	436
17. Absorpcyjne pompy ciepła	437
17.1. Zasada działania	437
17.2. Współpraca pompy ciepła z instalacją solarną, chłodzenie przez grzanie	438
18. Wady i zalety pomp ciepła	439
19. Podsumowanie zagadnień związanych z pompami ciepła	440
20. Instalacje nawiewno-wywiewne z rekuperatorem w budynkach mieszkalnych	441
20.1. Instalacje nawiewno-wywiewne, informacje ogólne	441
20.2. Budowa oraz zasada działania instalacji nawiewno-wywiewnej	442
20.3. Koncepcja samowystarczalnego budynku nisko-energetycznego zasilanego z OZE, dla domu z Programu „Mieszkanie Plus”	451
20.3.1. Założenia dotyczące energochłonności budynku niskoenergetycznego, w całości zasilanego energią z instalacji fotowoltaicznej (zeroenergetyczny)	453
20.3.2. Analiza opłacalności budowy domu o niskim zapotrzebowaniu na energię ($Q_c < 50 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$) zeroenergetycznego	454

ROZDZIAŁ III

ENERGIA WIATRU

1. Wstęp	457
2. Wiatr i jego zasoby energetyczne	458
2.1. Wpływ czynników środowiskowych	459
2.2. Róża wiatrów	460
2.3. Zasoby	462
2.4. Szorstkość terenu	463
3. Podstawa działania elektrowni wiatrowej	465
3.1. Podstawowe informacje o krzywej mocy	465
3.2. Parametry pracy siłowni wiatrowych	466
3.3. Silniki wiatrowe	467
3.4. Lokalne oddziaływanie energetyki wiatrowej	470
4. Budowa elektrowni wiatrowej	471
4.1. Metody regulacji mocy oddawanej przez elektrownie wiatrowe	473
4.1.1. Koncepcje pracy siłowni wiatrowej	473
4.1.2. Regulacja ustawienia elektrowni w kierunku wiatru (Yaw Control)	473
4.1.3. Regulacja kąta ustawienia łopatek (Active Pitch Regulation)	474
4.1.4. Regulacja przez zmianę prędkości obrotowej generatora	474
4.1.5. Regulacja przez zmianę obciążenia (Load Control)	475
4.1.6. Regulacja przez „przeciążenie” (Stall Regulation)	475
4.1.7. Regulacja lotkami łopatek wirnika (Aileron Control)	475
4.2. Generatory	475
4.3. Krótka charakterystyka nowych konstrukcji elektrowni wiatrowych	477
5. Zainstalowana moc i sposób montażu elektrowni wiatrowych	479
5.1. Wielkość mocy i energii, zainstalowanej w elektrowniach wiatrowych w UE	479
5.2. Sposób montażu konstrukcji elektrowni wiatrowych	481
6. Struktura kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych w przypadku energetyki wiatrowej 200-500 kW	483
7. Rozmieszczenie elektrowni pracujących w Polsce	484
7.1. Przeznaczenie pojedynczej elektrowni wiatrowej	485
7.1.1. Elektrownia wiatrowa V80	485
8. Optymalizacja warunków pracy silnika wiatrowego	486
9. Systemy sterowania w elektrowni wiatrowej	487
9.1. Sterowniki	487
9.2. Zdalne sterowanie	490
9.3. Sterowanie w małych elektrowniach wiatrowych	491
10. Małe elektrownie wiatrowe – charakterystyka	491
10.1. Elektrownia wiatrowa „Zefir-6” 5 kW	492
10.2. Turbina wiatrowa o mocy 1,5 kW	493
11. Wybrane wyniki badań, elektrowni wiatrowej ECO-H-1,5kW	494
12. Mikroelektrownie wiatrowe z pionową osią obrotu	497
13. Wybrane wyniki badań, małej elektrowni wiatrowej	501
14. Programy do symulacji pracy elektrowni wiatrowych	503
15. Podsumowanie	503

ROZDZIAŁ IV ENERGIA WODY

1. Wstęp	505
2. Parametry elektrowni wodnych	506
3. Rozwiązania konstrukcyjne elektrowni wodnych	507
3.1. Budowle hydrotechniczne, elementy elektrowni wodnych, urządzenia mechaniczne	507
3.2. Elektrownie zbiornikowe i przepływowe	509
3.2.1. Elektrownie zbiornikowe – szczytowo-pompowe	510
3.2.2. Elektrownie wodne przepływowe	512
3.3. Wybrane przykłady	513
3.3.1. Elektrownia Małomice	513
3.3.2. Elektrownia Solina	513
4. Mała energetyka wodna	514
5. Zasada działania i budowa turbin wodnych	516
5.1. Rozwiązania współczesne z turbinami Francisa	517
5.2. Współczesne rozwiązania z turbinami Kaplana	518
5.3. Rozwiązania z turbinami Peltona	519
6. Prądnice elektryczne	519
6.1. Budowa i zasada działania prądnic asynchronicznych (indukcyjnych)	520
6.2. Prądnice synchroniczne (hydrogeneratory), budowa zasada działania	523
7. Regulatory turbin wodnych	525
7.1. Elektrohydrauliczny regulator prędkości obrotowej turbiny lub jej mocy	526
7.2. Rodzaje automatyzacji procesów ruchowych w MEW	526
8. Procesy ruchowe w MEW	527
8.1. Zakres i stopień automatyzacji procesów rozruchowych	528
9. Sposoby automatyzacji procesów ruchowych MEW	530
9.1. Układ sterowania łopatek turbiny (USW)	530
9.2. Automatyczny regulator prędkości kątowej turbiny (ART)	530
9.3. Układ sterowania aparatu kierowniczego turbiny (USK)	530
9.4. Układ automatycznej regulacji napięcia prądnicy synchronicznej (ARN)	530
9.5. Automatyczny synchronizator prądnicy synchronicznej (ASG)	530
9.6. Układ automatycznego sterowania procesami rozruchowymi turbozespołu (USR)	531
9.7. Układ automatycznego sterowania procesami odstawiania turbozespołu (USO)	531
9.8. Układ automatycznej regulacji poziomu wody (ARP)	531
9.9. Auto operator (AOP)	532
9.10. Układ sterowania zamknięć wlotowych wody do turbiny (USZ)	532
9.11. Układ programujący pracę szczytową MEW (UPP)	532
9.12. Sterowanie prądnicami asynchronicznymi	532
10. Sposoby przekazywania napędu z turbiny na prądnice	532
10.1. Bezpośrednie sprzęgnięcie wału z prądnicą	532
10.2. Przekazywanie napędu przez przekładnie	533
10.3. Przekładnie pasowe	533
10.4. Przekładnie zębate	534
11. Pomocnicze wyposażenie mechaniczne	535
11.1. Kraty na ujściach wody i ich czyszczenie	535

11.2. Zamknięcie dopływu wody do turbin.	535
11.3. Wyposażanie budynków elektrowni w dźwignice	536
12. Systemy pracy, zabezpieczeń, pomiary w MEW	537
12.1. Zabezpieczenia bloków z prądnicami synchronicznymi i transformatorowymi o mocy do 5000 kVA	538
12.2. Zabezpieczenia prądnic asynchronicznych o mocy do 250 kVA i napięciu do 1000 V, zasilających bezpośrednio szyny zbiorcze.	539
12.3. Zabezpieczenia bloków, prądnic asynchroniczna –transformator o mocy do 250 kVA	539
12.4. Zabezpieczenia turbozespołów	539
12.5. Ochrona przeciwporażeniowa	540
12.6. Ochrona od przepięć oraz instalacje piorunochronne	542
12.7. Ochrona przeciwpożarowa.	543
12.8. Bezpieczeństwo wykonywania prac przy urządzeniach elektrycznych.	543
12.9. Udzielanie pierwszej pomocy osobom porażonym prądem elektrycznym	543
12.10. Sygnalizacja zakłóceń pracy	543
12.11. Pomiary	544
12.12. Potrzeby własne elektrowni	545
12.13. Uziomy.	546
13. Wybrane elementy dokumentacji małej elektrowni wodnej Zakopane – Olcza.	546
13.1. Opis techniczny, charakterystyka elektrowni.	546
14. Mikro elektrownie wodne.	550
15. Podsumowanie	556

ROZDZIAŁ V

ENERGIA BIOMASY

1. Pojęcie biomasy.	557
2. Drewno jako biopaliwo	560
2.1. Wierzba energetyczna.	561
2.2. Gazyfikacja biomasy	563
2.3. Kotły do spalania drewna.	569
2.4. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne kotłów do spalania drewna	572
2.5. Kotły małej mocy.	574
2.6. Piec MS	574
2.7. Kotły dużej mocy	575
2.8. Budowa małych kotłów zgazowujących drewno.	576
2.9. Kotły do spalania peletu.	577
3. Piece kominkowe.	577
3.1. Kominek z płaszczem wodnym	577
3.2. Kominek pracujący w systemie zintegrowanym	579
3.3. Ciepła woda z kominka	581
3.4. Montaż pieców kominkowych	582
3.5. Awaryjne zasilanie pompy	584
3.6. Wytyczne przed montażem turbokominka.	585
3.6.1. Wytyczne hydrauliczne	585
3.6.2. Podczas instalowania urządzenia należy zwrócić uwagę na:	585
3.6.3. Wytyczne przeciwpożarowe	586
3.6.4. Wskazówki eksploatacyjne	586
3.6.5. Dobór turbokominka	586

3.6.6. Paliwo	586
3.6.7. Zadania centralki sterującej	587
3.6.8. Montaż przełącznika źródeł zasilania	587
3.6.9. Montaż zabezpieczenia termicznego	587
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	597
6. Biogaz	598
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	610
6.5. Mikroinstalacje kontenerowe	612
6.6. Wnioski dotyczące perspektyw rozwoju biogazowni rolniczych	613
7. Biogaz z oczyszczalni ścieków	616
7.1. Gospodarka energią elektryczną i ciepłem na przykładzie oczyszczalni ścieków „Kujawy” w Krakowie	616
7.2. Opis działania oczyszczalni	616
7.3. Wytwarzanie biogazu	617
7.4. Generatory zasilane biogazem	617
8. Biogaz wysypiskowy z odpadów	619
8.1. Elektrociepłownia biogazowa – wysypisko Barycz	621
9. Skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej, ciepła i chłodu w oparciu o paliwa biogazowe – agregaty kogeneracyjne	625
9.1. Geneza	625
9.2. Zasada działania	625
9.3. Dobór agregatu	625
9.4. Wytwarzanie i sprzedaż chłodu w oparciu o ciepło z kogeneracji	626
9.5. Wynik ekonomiczny	627
9.6. Świadectwa pochodzenia dla CHP	628
9.7. Finansowanie	629
9.8. Turbiny gazowe Capstone	629
10. Wzbogacanie i oczyszczanie biogazu	632
10.1. Odsiarczanie biogazu – technologia	632
11. Główne zalety wykorzystania biogazu	633
12. Problemy wynikające z produkcji biogazu	633
13. Biopaliwa płynne	633
13.1. Bioetanol	634
13.2. Biodiesel	635
13.3. Biopłyny do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła	643
14. Współspalanie biomasy i paliw kopalnych	644
15. Elektrociepłownie wykorzystujące do spalania biomasę	648

16. Efekty ekonomiczne stosowania biomasy w energetyce	650
17. Możliwości produkcji energii z biomasy	651
18. Podsumowanie	652
19. Wymienniki do odzysku ciepła ze spalin (rekuperatory)	653
19.1. Przykłady zastosowań	655
19.2. Zasada działania rekuperatora z rurką cieplną	655

ROZDZIAŁ VI

ENERGIA WODORU

1. Parametry energetyczne wodoru	659
2. Przykłady procesów, w których stosowany jest wodór	660
3. Magazynowanie wodoru odbywa się w postaci	660
4. Paliwo to cechuje wiele zalet.	662
5. Głównymi wadami są	662
6. Magazynowanie wodoru	662
6.1. Sprężony w postaci gazowej	662
6.2. W postaci ciekłej	663
7. Wykorzystywanie energii elektrycznej z fotoogniw, do elektrolizy wody	664
8. Ogniw paliwowe (fuel cells)	664
9. Wnioski	666
Literatura.	667