

Spis treści

Od Autora	13
Recenzja	15
Wykaz wybranych oznaczeń, wielkości i ich jednostek	17

MODUŁ I. ENERGETYKA SŁONECZNA

1. Energia słoneczna	21
2. Atmosfera Ziemi	22
3. Oddziaływanie atmosfery z promieniowaniem	22
4. Wielkość energii słonecznej na Ziemi	23
5. Nasłonecznienie w Polsce	24
6. Zalety promieniowania słonecznego jako źródła energii	24
7. Wady promieniowania słonecznego jako źródła energii	24
8. Sposoby produkcji energii elektrycznej z wykorzystaniem energii słonecznej ...	25
8.1. Metoda heliotermiczna	25
8.2. Metoda helioelektryczna	26
9. Wiadomości wstępne z optoelektroniki	28
10. Budowa i zasada działania ogniw krzemowych	30
10.1. Podział ogniw PV	31
11. Ogniwa z krzemu monolitycznego I generacji	32
11.1. Budowa fotoogniwa	32
11.2. Technologia wytwarzania fotoogniwa I generacji	33
12. Rozwiązania techniczne w budowie ogniw fotowoltaicznych II generacji	35
12.1. Budowa fotoogniwa	35
12.2. Ogniwa P – TYPE (PERC)	35
12.3. Technologia N – TYPE	37
12.4. Łączenie ogniw PERC i PERT w moduły	40
12.5. Technologia wykonania busbarów (połączeń ogniw)	40
12.6. Moduł half cut cells – ogniwa połówkowe	42
12.7. Ogniwa cięte na ćwiartki	43
13. Budowa i zasada działania ogniw fotowoltaicznych III generacji	44
13.1. Ogniwa CIS	44
13.2. Ogniwa CIGS	45
13.3. Ogniwa z tellurku kadmu (CdTe)	46
13.4. Ogniwa cienkowarstwowe jedno- i wielozłazowe z arsenku galu (GaAs) ...	48
14. Ogniwa PV III generacji z krzemu amorficznego (a-Si) budowane w technologii HJT	50
14.1. Budowa urządzenia	50

14.2. Technologia produkcji ogniw HJT	51
14.3. Polskie rozwiązania techniczne	53
15. Budowa ogniwa PV III generacji z krzemu amorficznego (a-Si) w technologii TOPCon	53
15.1. Budowa urządzenia	53
15.2. Technologia produkcji wafli krzemowych c-Si N-TYPE	55
15.3. Warstwa selektywna (ITO) w ogniwie TOPCon	55
15.4. Urządzenia do nakładania warstwy selektywnej	55
15.5. Połączenia za pomocą busbasów w ogniwach TOPCon	56
15.6. Ocena parametrów ogniw TOPCon	56
15.7. Parametry elektryczne modułu TOPCon firmy Jolywood w standardowych warunkach testowych STC	57
15.8. Parametry mechaniczne modułu TOPCon firmy Jolywood	57
16. Budowa ogniwa PV III generacji w technologii TOPCon i HJT	58
17. Ogniwa fotowoltaiczne z materiałów organicznych	59
17.1. Budowa i technologia wytwarzania	59
17.2. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne ogniw PV na podłożu polimerowym	61
17.3. Sposoby produkcji	62
17.4. Sposoby montażu fotoogniw polimerowych elastycznych na dachu płaskim	62
18. Moduły fotowoltaiczne VIPV – Vehicle-Integrated Photovoltaics	64
19. Organiczne ogniwa fotowoltaiczne (OPV), ogniwa IV generacji	65
20. Ogniwa fotowoltaiczne uczulane barwnikiem (DSSC) IV generacji	66
20.1. Zasada działania	66
20.2. Budowa, parametry ogniwa	67
21. Hybrydowe panele słoneczne	68
21.1. Zasada działania	68
21.2. Budowa urządzenia	69
22. Dwustronne baterie słoneczne (Double sided bifacial solar panels)	71
22.1. Dachy pokryte dachówką w formie paneli fotowoltaicznych	72
22.2. Angielskie dachówki fotowoltaiczne	74
23. Najnowsze technologie wytwarzania ogniw fotowoltaicznych	75
23.1. Ogniwa perowskitowe	75
23.2. Moduły fotowoltaiczne z warstwą grafenową	76
23.3. Projekt „Quantum Glass” spółki ML System	77
23.4. Technologia skoncentrowanej fotowoltaiki (Concentrated Photovoltaics, CPV)	79
23.5. Moduły PV z powłoką grafenową	80
23.6. Ogniwa budowane w technologii C3 (Configurable Current Cells)	80
23.7. Ogniwa fotowoltaiczne łączące perowskit i krzem	81
23.8. Lekkie ogniwa fotowoltaiczne na bazie perowskitu i chłopirytu	82
23.9. Elewacja z folii fotowoltaicznej	83
23.10. Ogniwa PV klejone klejem ECA technologii Shingled (układane w formie gontów)	83
23.11. Trójwymiarowe wieże fotowoltaiczne – technologia 3D Solar Tower	84
24. Utrata mocy fotoogniw funkcji czasu pracy	85
24.1. Dioda bocznikująca fotoogniwo (bypass)	85

24.2. Optymalizatory firmy Maxim Integrated	87
24.3. Optymalizatory firmy Tigo Energy (Tigo TS4-R-O)	88
24.4. Moduł fotowoltaiczny firmy AE Solar – odporny na zacinienie	88
25. Gorący punkt (hot spot)	89
25.1. Napięcie indukowane w module PID (Potential Induced Degradation)	90
25.2. Prąd upływu	90
25.3. Prąd doziemny	90
25.4. Pętla indukcyjna	90
25.5. Zwarcie doziemne po stronie DC instalacji PV	90
25.6. Badanie modułów fotowoltaicznych	91
25.7. Laboratorium do testowania systemów PV	93
26. Analiza pracy fotoogniwa	94
26.1. Podstawowe zależności	94
26.2. Wpływ temperatury na parametry fotoogniwa	98
26.3. Sposoby połączeń modułów PV	99
26.4. Wpływ promieniowania słonecznego na parametry modułu fotowoltaicznego.	100
26.5. Współczynnik wypełnienia FF.	101
27. Parametry osprzętu instalacji PV	102
27.1. Regulatory ładowania.	102
27.2. Przetwornice napięcia	104
27.2.1. Falowniki 3-fazowe.	106
27.2.2. Inwerter w instalacji fotowoltaicznej	107
27.2.3. Przykładowe rozwiązanie	115
27.2.4. Parametry elektryczne pracy falownika 1-fazowego	115
27.2.5. Wybrane parametry falowników trójfazowych	116
27.2.6. Falowniki średniej mocy	118
27.2.7. Falowniki hybrydowe	118
27.2.8. Panel fotowoltaiczny ze zintegrowanym mikrofalownikiem	119
27.2.9. Falowniki fotowoltaiczne z systemem kompensacji mocy biernej.	120
27.2.10. Zagadnienia eksploatacyjne dotyczące załączenia do sieci falowników	122
27.3. MPP tracker	124
27.4. Monitorowanie na poziomie paneli	125
27.4.1. Moduły fotowoltaiczne SolarEdge zintegrowane z optymalizatorami mocy	127
27.5. Modem komunikacyjny	127
27.5.1. Zasada działania	127
27.5.2. Charakterystyka urządzeń	128
27.6. Sposób łączenia przewodów po stronie DC.	129
27.7. Dobór przewodów w instalacji fotowoltaicznej.	129
27.7.1. Warunki doboru przekroju przewodów ze względu na obciążalność prądową długotrwałą	130
27.7.2. Wyznaczanie przekroju przewodów ze względu na obciążalność długotrwałą po stronie DC	131
27.7.3. Wyznaczanie przekroju przewodów po stronie DC ze względu na dopuszczalne spadki napięcia	132
27.7.4. Sprawdzenie wielkości strat mocy na przewodach łączących łańcuch (string) modułów fotowoltaicznych z falownikiem.	133

27.7.5. Wyznaczanie przekroju przewodów i kabli ze względu na obciążalność długotrwałą i przeciążalność po stronie prądu zmiennego AC instalacji fotowoltaicznej	133
27.7.6. Wyznaczanie przekroju przewodów po stronie AC ze względu na dopuszczalne spadki napięcia	134
27.7.7. Dobór zabezpieczeń w instalacjach fotowoltaicznych	134
27.8. Mierniki instalacji fotowoltaicznych	135
27.9. Pomiary natężenia promieniowania słonecznego i temperatury modułu fotowoltaicznego	137
28. Dobór parametrów instalacji fotowoltaicznych	138
28.1. Rodzaje instalacji PV	138
28.2. Mała instalacja fotowoltaiczna	138
28.3. Wybrane układy połączeń fotoogniw	143
28.3.1. Sieć autonomiczna off-grid (wydzielona)	143
28.3.2. Praca mikroelektrowni PV na sieć „sztywną” (on-grid)	148
29. Wytyczne montażowe	150
29.1. Etapy realizacji inwestycji	150
29.2. Projekt techniczny	150
29.3. Etapy budowy	151
29.4. Zagadnienia techniczne montażu instalacji	151
29.5. Sposób montażu ogniw PV w rzędach	151
29.6. Systemy zabezpieczeń w instalacjach fotowoltaicznych	153
29.6.1. Rodzaje zabezpieczeń instalacji fotowoltaicznej	154
29.7. Ochrona odgromowa instalacji fotowoltaicznych	154
29.7.1. Ochrona odgromowa – rodzaje ochrony	155
29.7.2. Ochrona odgromowa – ochrona zewnętrzna	156
29.7.3. Ochrona odgromowa farm fotowoltaicznych – ochrona zewnętrzna	159
29.7.4. System ochronny instalacji PV bez zewnętrznej ochrony odgromowej (zwodów pionowych) – ochrona wewnętrzna	160
29.7.5. Ogólne zasady doboru ograniczników po stronie DC	162
29.7.6. Ochrona przetężeniowa i zwarciowa	165
29.7.7. Ochrona przeciwporażeniowa w systemach fotowoltaicznych	166
29.8. Odbiór instalacji	167
30. BHP przy montażu instalacji fotowoltaicznej	168
30.1. Zasady BHP przy montażu instalacji fotowoltaicznych	168
30.2. Kompletność dostawy materiałów i urządzeń	170
30.3. Transport i składowanie	170
30.4. Dokumentacja techniczna	170
30.5. Narzędzia i sprzęt dodatkowy	170
30.6. Informacje ogólne	170
30.7. Przepisy bezpieczeństwa	171
30.8. Ochrona przeciwporażeniowa	171
30.8.1. Ochrona przeciwpożarowa	171
30.8.2. Postępowanie w razie pożaru budynku z instalacją PV	173
30.8.3. Analiza skutków pożarów instalacji fotowoltaicznych	174
30.8.4. Gaszenie pożaru nocą z instalacją PV na dachu	175
30.8.5. Łuk elektryczny	175
30.8.6. Zasady wyposażenia obiektów w gaśnice	176
30.8.7. Gaszenie urządzeń elektrycznych	176
30.8.8. Optyimizery	176

30.8.9. Dokumentacja instalacji PV	177
30.8.10. Ubezpieczenie instalacji PV na wypadek pożaru	177
30.9. Bezpieczeństwo wykonywania prac przy urządzeniach elektrycznych	178
30.10. Oznaczenia i symbole	179
31. Montaż instalacji fotowoltaicznej	180
31.1. Systemy montażowe dla modułów skrzynkowych	181
31.1.1. Montaż na dachu spadzistym	181
31.1.2. Montaż ogniw PV na dachu płaskim lub płaszczyźnie poziomej	183
31.1.3. Sposób montażu modułów	185
31.1.4. Zintegrowane z dachem moduły fotowoltaiczne	185
31.1.5. Montaż fotoogniw „podążających za słońcem”	186
31.1.6. Konstrukcja do mocowania na stropie	187
31.1.7. Konstrukcja wsporcza mocowana do betonowych bloków	188
31.1.8. System samonośny	189
31.2. Montaż systemów PV na gruncie	189
31.3. Montaż instalacji fotowoltaicznej na konstrukcji aluminiowej na dachu płaskim	190
31.4. Montaż instalacji fotowoltaicznej na dachu spadzistym pokrytym dachówką betonową	192
31.5. Montaż instalacji fotowoltaicznej na konstrukcji aluminiowej na dachu płaskim pokrytym blachą falistą	196
31.6. Montaż instalacji fotowoltaicznej na dachu spadzistym pokrytym blachodachówką	196
31.7. Najnowsze rozwiązania techniczne w zakresie mocowania modułów PV	197
31.8. Fotowoltaika zintegrowana z budynkiem – Instalacje BIPV (Building Integrated Photovoltaics BIPV)	198
31.9. Agrofotowoltaika (APV)	204
31.10. Łuki fotowoltaiczne	205
31.11. Szklarnie pokryte modułami PV Bifacjal.	206
31.12. Pasieki na farmach PV	206
31.13. Instalacje fotowoltaiczne posadowione na wodzie (floating-PV)	207
31.14. Naziemna pionowa farma PV z dwustronnymi modułami	208
31.15. Fotowoltaika na polskich autostradach	210
32. Eksploatacja instalacji fotowoltaicznych	210
32.1. Wymiana uszkodzonego modułu	210
32.2. Mycie instalacji fotowoltaicznej	211
32.3. Sprawdzenie mocowania paneli	211
32.4. Usuwanie śniegu	212
32.5. Stan przewodów zasilających w instalacji prądu stałego (DC)	212
32.6. Sprawdzenie stanu technicznego falownika	212
32.7. Czynniki wpływające ujemnie na produkcję energii z elektrowni fotowoltaicznej	213
32.8. Uruchamianie systemu fotowoltaicznego	213
32.9. Projektowanie systemów PV za pomocą symulacji komputerowych	216
33. Magazynowanie energii z OZE	217
34. Wybrane wyniki badań modułów PV	218
34.1. Wybrane wyniki badań modułów fotowoltaicznych w ZSE nr 1 w Krakowie	218

34.2. Wybrane wyniki badań instalacji fotowoltaicznej „podążającej za słońcem”.	227
34.3. Recykling modułów fotowoltaicznych	229
35. Dobór wielkości mocy akumulatorów do instalacji fotowoltaicznej off-grid	230
36. Dobór wielkości mocy akumulatorów do instalacji fotowoltaicznej on-grid.	231
37. Kompaktowe stacje ładowania samochodów elektrycznych energią z fotowoltaiki u prosumentów.	232

MODUŁ II. KOLEKTORY SŁONECZNE

1. Rodzaje i budowa kolektorów słonecznych	235
1.1. Podział kolektorów.	235
1.2. Kolektory płaskie cieczowe	235
1.3. Budowa kolektorów płaskich, bilans energii	237
1.4. Przykładowe dane techniczne i charakterystyka identyfikacyjna kolektorów płaskich.	239
1.4.1. Kolektory płaskie w wykonaniu standardowym	239
1.5. Budowa próżniowych rurowych kolektorów słonecznych	240
1.5.1. Kolektory próżniowe heat-pipe (gorąca rurka – ciepłowod).	240
1.5.2. Kolektory próżniowe heat-pipe z pojedynczą rurą próżniową	242
1.5.3. Kolektory próżniowe z U-rurą.	245
1.6. Zwierciadło CPC	246
1.7. Ogólna charakterystyka kolektorów próżniowych.	246
1.8. Kolektory słoneczne skupiające.	247
1.8.1. Energia elektryczna i ciepła z systemów słonecznych	247
1.9. Kolektor cieczowy wykonany w formie maty z propylenu	248
1.10. Świadectwa poprawności wykonania kolektorów	249
2. Słoneczne instalacje grzewcze	249
2.1. Bezpośrednie i pośrednie	250
2.1.1. Układ do podgrzewania wody bez zasobnika	250
2.1.2. Układ do podgrzewania wody z zasobnikiem.	250
2.1.3. Pośrednie.	251
2.1.4. Układ pompowy	251
3. Parametry techniczne instalacji solarnej do ogrzewania c.w.u., c.o., schematy	252
3.1. Instalacja solarna dla ciepłej wody użytkowej i wspomagania ogrzewania budynku	253
3.2. Przykładowe schematy systemów grzewczych wspomaganych kolektorami słonecznymi.	254
4. Typowe elementy słonecznej instalacji grzewczej	260
4.1. Zbiorniki na wodę – charakterystyka ogólna.	260
4.2. Zasobniki w instalacji solarnej.	262
4.3. Przeciwdziałanie bakteriom Legionella Pneumophila w instalacji c.w.u.	262
4.4. Wymiennik ciepła.	263
4.5. Zasobnik z jedną wężownicą.	263
4.6. Zasobniki z dwiema wężownicami	263
4.7. Zasobnik płaszczowy	265
4.8. Zasobniki kombinowane (multiwalentne) – typu zbiornik w zbiorniku	265
5. Pompowe stacje solarne	266

5.1. Stacja solarna dwudrogowa	266
5.2. Jednodrogowa stacja solarna	267
6. Pompa solarna.	267
7. Regulatory.	268
8. Zasilacz bezprzerwowy, awaryjny, UPS.	269
9. Czujniki temperatury	270
10. Elektroniczny termostat przylgowy	270
11. Wymiennik płytowy	270
12. Grzałka elektryczna	271
13. Odpowietrznik instalacji solarnej	272
14. Złączka kompensacyjna	272
15. Rotametr	272
16. Manometr	273
17. Separator powietrza	273
18. Licznik ciepła (ciepłomierz).	273
19. Uchwyty dachowe kolektora i konstrukcje wolnostojące.	274
20. Oblachowanie kolektorów	275
21. Naczynie wzbiorcze	275
22. Zawór bezpieczeństwa	278
23. Wykonanie instalacji rurowej	278
24. Izolacja cieplna instalacji solarnej	279
25. Wężę solarne.	280
26. Układ hydrauliczny instalacji solarnej	280
27. Montaż i instalacja kolektorów.	280
27.1. Możliwości usytuowania kolektorów	280
27.2. Odległość między rzędami kolektorów	281
28. Wpływ ustawienia kolektora na jego parametry energetyczne.	282
29. Instalacje do ciepłej wody użytkowej w budynkach indywidualnych	284
29.1. Dobór urządzeń do instalacji solarnej	284
29.1.1. Warunki konieczne do określenia powierzchni kolektorów słonecznych.	284
29.1.2. Wyznaczenie całkowitych oporów przepływu w typowej instalacji.	284
29.1.3. Pojemność instalacji	285
29.1.4. Zużycie energii w gospodarstwie domowym	285
30. Instalacja do podgrzewania wody basenowej	286
31. Łączenie kolektorów w instalacje o dużej powierzchni czynnej	288
32. Zalecenia eksploatacyjne	290
33. Przykłady montażu kolektorów słonecznych	291
34. Dobór wielkości instalacji.	291
35. Dobór wielkości kolektora i zasobnika.	292
36. Lokalizacja zasobników wody użytkowej i zbiorników akumulacyjnych.	293
37. Instalacje do przygotowania c.w.u. oraz wspomagania c.o. w budynkach indywidualnych	293
37.1. Efektywność pracy kolektorów słonecznych	296
38. Napełnienie i odpowietrzenie instalacji solarnej	300
39. Instalacje wielkogabarytowe.	302

39.1. Największa instalacja solarna w Polsce	302
39.2. Instalacja wielkogabarytowa z magazynem ciepła	303
40. Płaskie kolektory powietrzne	307
40.1. Zasada działania.	307
40.2. Budowa.	307
40.3. Konstrukcje kolektorów	309
40.4. Zalety i wady stosowania kolektorów słonecznych i powietrznych	309
40.5. Rozwiązania konstrukcyjne instalacji	310
40.6. Sposoby rozdziału powietrza	312
40.7. Przykłady instalacji	312
40.7.1. Małe budynki.	312
40.7.2. Mieszkania, pomieszczenia biurowe, szkoły, obiekty handlowe, itp.	314
40.7.3. Systemy przemysłowe	314
40.7.4. Suszenie płodów rolnych.	317
40.7.5. Przechowywanie płodów rolnych	317
40.7.6. Ogrzewanie pomieszczeń inwentarskich.	317
40.7.7. Podgrzewanie szklarni i tuneli foliowych	317
40.7.8. Ciepło technologiczne	318
40.8. Koszty i oszczędności wynikające ze stosowania dużych systemów solarnych do podgrzewania powietrza.	318
40.9. Podsumowanie	319
41. Badania nad wykorzystaniem energii słonecznej w instalacjach solarnych w laboratorium OZE w ZSE nr 1 w Krakowie	319
42. Symulacyjne programy komputerowe	320
43. Bilans energetyczny wydajności instalacji solarnej na podstawie symulacji	320
44. Informacje techniczne oraz zasady BHP obowiązujące przy montażu kolektorów płaskich	324
44.1. BHP podczas montażu	324
44.2. Kompletność dostawy	324
44.3. Transport i składowanie	325
44.4. Dokumentacja techniczna	325
44.5. Narzędzia i sprzęt dodatkowy.	325
44.6. Informacje ogólne	325
44.7. Odpowietrzanie solarnego obwodu pierwotnego	326
44.8. Prowadzenie rur solarnego obwodu pierwotnego	326
44.9. Podłączenie przewodów zbiorczych	326
44.10. Montaż kolektora	327
44.11. Połączenie kolektorów w baterię solarną.	328
44.12. Napełnianie solarnego obwodu pierwotnego płynem solarnym	328
44.13. Odpowietrzenie instalacji.	328
44.14. Prace izolacyjne	329
44.15. Przepisy bezpieczeństwa	329
44.16. Ochrona przeciwporażeniowa	329
44.17. Ochrona przeciwpożarowa.	329
44.18. Bezpieczeństwo wykonywania prac przy urządzeniach elektrycznych	329
44.19. Elektryczne okablowanie urządzenia.	330
44.20. Zabezpieczenie przed uderzeniem pioruna (piorunochron) i wyrównywanie potencjałów	330

44.21. Uruchomienie	330
44.22. Wyłączanie/zatrzymanie.	331
44.23. Kontrola instalacji	331
44.24. Eksploatacja instalacji solarnej do celów wspomagania ogrzewania budynku	331
44.25. Przegląd instalacji	332
44.26. Ważne informacje dla użytkownika instalacji	332
44.27. Warunki gwarancji	333
44.28. Najczęściej występujące usterki.	333
45. Uwagi do montażu kolektorów rurowych próżniowych na dachu spadzistym i na powierzchni płaskiej	333
46. Instalacje o większych powierzchniach	334
47. Kolektory słoneczne – koszt urządzeń i montażu.	335
48. Dofinansowania do instalacji systemu solarnego	336
49. Zalety i wady kolektorów słonecznych.	336
Literatura – Fotowoltaika	339
Literatura – kolektory słoneczne.	344