

Spis treści

Od autora	15
Perspektywy rozwoju fotowoltaiki w Polsce.....	17
Struktura nakładów inwestycyjnych kosztów eksploatacyjnych dla elektrowni fotowoltaicznych.....	29
Wybrane zagadnienia z ustawy Prawo energetyczne dotyczące fotowoltaiki	31
Wykaz wybranych oznaczeń, wielkości i ich jednostek	43
Symbole graficzne wg PN-EN 60617 stosowane w schematach elektrycznych.....	47

MODUŁ I

Bezpieczeństwo i higiena pracy. Ochrona przeciwpożarowa . 59

1. Bezpieczeństwo i higiena pracy (BHP)	59
2. Instrukcje BHP.....	59
3. BHP a ergonomia.....	59
4. Stanowisko pracy.....	60
5. Elementy stanowiska pracy	60
6. Zadania służb BHP.....	61
7. Pierwsza pomoc	61
8. Bezpieczeństwo wykonywania prac przy urządzeniach elektrycznych.....	62
9. Sprzęt ochronny	63
10. Sposoby ratowania porażonych prądem elektrycznym	64
11. Ochrona przeciwpożarowa.....	66
12. Prewencja pożarowa	66
13. Zapobieganie pożarom.....	67
14. Sposoby ratowania osoby poszkodowanej w pożarze.....	67
15. Czynności ratujące.....	68

MODUŁ II

Podstawy elektrotechniki 69

1. Prąd stały	69
1.1. Prąd elektryczny	69
1.2. Napięcie elektryczne	70
1.3. Obwody elektryczne	70
1.4. Prawo Ohma	71
1.5. Obliczanie rezystancji	71
1.6. Łączenie rezystorów	71
1.7. Zależność rezystancji od temperatury	72
1.8. Źródła prądu stałego	72
1.9. Prawa obwodu elektrycznego	73
1.9.1. Pierwsze prawo Kirchhoffa	73
1.9.2. Drugie prawo Kirchhoffa	74
1.10. Stany pracy źródeł energii elektrycznej	74
1.11. Moc prądu stałego	74
1.12. Energia prądu stałego	75
1.13. Prawo Joule'a – Lenza	76
2. Prąd przemienny jednofazowy	76
2.1. Analiza obwodów zawierających elementy R, L, C	77
2.1.1. Obwód elektryczny z rezystancją	77
2.1.2. Obwód elektryczny z cewką o indukcyjności L (reaktancją indukcyjną)	78
2.1.3. Obwód elektryczny z kondensatorem o pojemności C (reaktancją pojemnościową)	79
2.1.4. Obwód elektryczny szeregowy z elementami R, L, C	80
2.1.5. Obwód elektryczny równoległy z elementami R, L, C	81
3. Kondensatory	83
3.1. Pojemność kondensatora	83
3.2. Łączenie kondensatorów	84
4. Moc prądu przemiennego jednofazowego	84
4.1. Moc czynna	84
4.2. Moc bierna	85
4.3. Moc pozorna	86
5. Układy trójfazowe	86
5.1. Układ połączeń odbiorników w gwiazdę	86
5.2. Układ odbiorników połączonych w trójkąt	87
6. Pomiar mocy w układach 3 fazowych	88
7. Pomiar energii w obwodach trójfazowych	89

MODUŁ III

Urządzenia i instalacje elektryczne 91

1. Oznaczenia przewodów i zacisków	91
1.1. Wybrane oznaczenia kabli i przewodów według normy PN: 60446.	93
1.2. Przekroje przewodów	94
1.3. Wybrane przykłady oznaczeń przewodów	94
1.4. Podział przewodów ze względu na pełnioną funkcję	95
1.5. Oznaczenia przewodów i zacisków odbiorników	95
2. Łączenie przewodów	96
3. Wybrane zagadnienia ochrony przeciwporażeniowej w instalacjach elektrycznych do 1 kV	97
3.1. Oddziaływanie prądu elektrycznego na organizm ludzki	97
3.2. Warunki środowiskowe	98
3.3. Stopnie ochrony obudów urządzeń elektrycznych	99
3.4. Klasy ochronności urządzeń elektrycznych i elektronicznych	100
3.5. Napięcia i układy sieciowe	100
3.6. Układy sieci	101
3.7. Charakterystyka układów sieciowych	102
4. Środki ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym przy eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych	104
4.1. Rodzaje ochron przeciwporażeniowych	104
4.1.1. Równoczesna ochrona przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim. . .	104
4.1.2. Ochrona przed dotykiem pośrednim (ochrona podstawowa)	106
4.2. Ochrona przed dotykiem pośrednim (ochrona dodatkowa)	107
4.2.1. Ochrona przez zastosowanie samoczynnego wyłączenia zasilania . . .	107
4.2.2. Wyłączniki nadmiarowo-prądowe	108
4.3. Urządzenia ochronne różnicowoprądowe	111
4.4. Ochrona przed dotykiem pośrednim przez samoczynne wyłączenie zasilania w układzie sieciowym TN	118
4.5. Ochrona przez zastosowanie urządzenia II klasy ochronności	120
4.6. Ochrona przez zastosowanie izolowania stanowiska	121
4.7. Ochrona przez zastosowanie separacji elektrycznej	121
4.8. Ochrona przez zastosowanie nieuziemionych połączeń wyrównawczych miejscowych	123
4.9. Połączenia wyrównawcze	124
5. Przewody ochronne, ochronno-neutralne i wyrównawcze	126
6. Uziomy i przewody uziemiające	127
6.1. Uziomy naturalne	128
6.2. Uziomy sztuczne	128
7. Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi lub łączeniowymi	131
8. Przyłączanie urządzeń elektrycznych	134
9. Zasilanie budynku	135
10. Instalacje elektryczne w mieszkaniach i budynkach mieszkalnych	135

11. Wybrane zasady wykonania instalacji elektrycznej w budynku	139
12. Eksploatacja instalacji elektrycznych	141
13. Pomiar ciągłości przewodów	142
14. Pomiar rezystancji izolacji instalacji elektrycznej	143
15. Pomiar rezystancji izolacji podłóg i ścian	145
16. Pomiar rezystancji uziomu	145
17. Sprawdzenie skuteczności ochrony przed dotykiem pośrednim przez samoczynne wyłączenie zasilania	146
18. Sprawdzanie działania urządzeń ochronnych różnicowoprądowych ...	149
19. Protokół odbiorczy	149
20. Ogólne zasady eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych	149
21. Dokumentacja techniczna	150
22. Przyjmowanie urządzeń do eksploatacji	151
23. Prowadzenie eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych	152
24. Kontrola eksploatacji	152

MODUŁ IV

Technologia wykonania i logistyka robót instalacyjnych .. 153

1. Kosztorysy – rodzaje i sposoby obliczeń	153
1.1. Kosztorys inwestorski	154
1.2. Kosztorys ofertowy	154
1.3. Kosztorys zamienny	156
1.4. Kosztorys powykonawczy	156
1.5. Rodzaje kalkulacji kosztorysowej	157
1.5.1. Kalkulacja uproszczona	157
1.5.2. Kalkulacja szczegółowa	158
2. Oferty w postępowaniu o udzielenie zamówienia publicznego	159
2.1. Treść projektu oferty	159
3. Specyfikacja Istotnych Warunków Zamówienia (SIWZ)	160
4. Przekazywanie SIWZ dla wykonawców	161
5. Przykładowa specyfikacja wykonania i odbioru robót i materiałów instalacyjnych	161
5.1. Przedmiot zamówienia	162
5.2. Przedmiot i zakres robót instalacyjnych	162
5.3. Prace towarzyszące i roboty tymczasowe	162
5.4. Teren budowy	162
5.4.1. Organizacja robót	162
5.4.2. Harmonogram robót	162
5.4.3. Wprowadzenie na budowę	163
5.4.4. Koordynacja robót	163

5.4.5. Zabezpieczenie interesów osób trzecich	164
5.4.6. Ochrona środowiska i zdrowia ludzi	164
5.4.7. Bezpieczeństwo i higiena pracy	165
5.4.8. Zaplecze budowy	165
5.4.9. Organizacja ruchu	166
5.4.10. Ogrodzenie	166
5.4.11. Zabezpieczenie chodników i jezdni	166
6. Wymagania dotyczące wyrobów instalacyjnych	166
7. Wymagania dotyczące sprzętu i maszyn	167
8. Wymagania dotyczące środków transportu	167
9. Sposób wykonania robót instalacyjnych	168
10. Kontrola oraz odbiór robót instalacyjnych	168
11. Wymagania dotyczące przedmiaru i obmiaru robót	170
12. Odbiór robót i przekazanie do użytku	172
13. Sposób rozliczenia robót tymczasowych i prac towarzyszących	173
14. Dokumenty, normy i przepisy	173

MODUŁ V

Energia słoneczna 175

1. Atmosfera Ziemi	176
2. Oddziaływanie atmosfery z promieniowaniem	176
3. Wielkość energii słonecznej na Ziemi	177
4. Nasłonecznienie w Polsce	178
5. Zalety promieniowania słonecznego jako źródła energii.	178
6. Wady promieniowania słonecznego jako źródła energii	178
7. Sposoby produkcji energii elektrycznej z wykorzystaniem energii słonecznej	179
7.1. Metoda heli termiczna	179
7.2. Metoda helioelektryczna	180
8. Wiadomości wstępne z optoelektroniki	182
9. Budowa i zasada działania ogniw krzemowych	184
9.1. Podział ogniw PV	185
10. Ogniw z krzemu monolitycznego	185
10.1. Budowa fotoogniwa	185
10.2. Technologia wytwarzania fotoogniwa	187
10.3. Moduł half cut cells – ogniw połówkowe	188
11. Ogniw polikrystaliczne	191
11.1. Budowa fotoogniwa	191
12. Ogniw polikrystaliczne cienkowarstwowe	194

12.1. Budowa fotoogniwa	194
12.2. Technologia wytwarzania ogniwa PV	195
13. Ogniwa z krzemu amorficznego	196
13.1. Budowa i technologia wytwarzania fotoogniwa	196
14. Ogniwa cienkowarstwowe jedno- i wielozłączowe z arsenku galu	198
14.1. Budowa i technologia wytwarzania	198
14.2. Przykład rozwiązania konstrukcyjnego	199
15. Ogniwa fotowoltaiczne z materiałów organicznych	199
15.1. Budowa i technologia wytwarzania	199
15.2. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne ogniw PV, na podłożu polimerowym	200
15.3. Sposoby produkcji	203
15.4. Sposoby montażu fotoogniw polimerowych elastycznych na dachu płaskim	203
16. Ogniwa fotowoltaiczne uczulane barwnikiem	205
16.1. Zasada działania	205
16.2. Budowa, parametry ogniwa	206
17. Hybrydowe panele słoneczne	207
17.1. Zasada działania	207
17.2. Budowa urządzenia	208
18. Dwustronne baterie słoneczne	211
18.1. Dachy pokryte dachówką w formie paneli fotowoltaicznych	211
18.2. Angielskie dachówki fotowoltaiczne	213
19. Najnowsze technologie wytwarzania ogniw fotowoltaicznych	214
19.1. Ogniwa perowskitowe	214
19.2. Moduły fotowoltaiczne z warstwą grafenową	216
19.3. Projekt „Quantum Glass” spółki ML System	216
19.4. Technologia skoncentrowanej fotowoltaiki (Concentrated Photovoltaics, CPV)	218
19.5. Moduły PV z powłoką grafenową	219
19.6. Moduły fotowoltaiczne w technologii PERT	219
19.7. Elewacja z folii fotowoltaicznej	221
19.8. Ogniwa PV klejone klejem ECA technologii Shingled (układane w formie gontów)	222
20. Utrata mocy fotoogniw funkcji czasu pracy	223
20.1. Dioda bocznikująca fotoogniwo (by-pass)	223
20.2. Optymalizatory firmy Maxim Integrated	225
20.3. Optymalizatory firmy Tigo Energy (Tigo TS4-R-O)	225
20.4. Moduł fotowoltaiczny firmy AE Solar – odporny na zacinienie	226
21. Gorący punkt (hot spot)	227
21.1. Napięcie indukowane w module PID (Potential Induced Degradation)	227
21.2. Prąd upływu	228
21.3. Prąd doziemny	228
21.4. Pętla indukcyjna	228
21.5. Zwarcie doziemne po stronie DC instalacji PV	228

21.6. Badanie modułów fotowoltaicznych	229
21.7. Laboratorium do testowania systemów PV	230
22. Analiza pracy fotoogniwa	232
22.1. Podstawowe zależności	232
22.2. Wpływ temperatury na parametry fotoogniwa	235
22.3. Sposoby połączeń modułów PV	237
22.4. Wpływ promieniowania słonecznego na parametry modułu fotowoltaicznego	238
22.4.1. Współczynnik wypełnienia FF	239
22.5. Wybrane wyniki badań modułów fotowoltaicznych	239
22.6. Wybrane wyniki badań instalacji fotowoltaicznej „podążającej za słońcem”	248
23. Parametry osprzętu instalacji PV	251
23.1. Regulatory ładowania	251
23.2. Przetwornice napięcia	253
23.2.1. Falowniki 3-fazowe	255
23.2.2. Inwerter w instalacji fotowoltaicznej	256
23.2.3. Przykładowe rozwiązanie	264
23.2.4. Parametry elektryczne pracy falownika 1-fazowego	264
23.2.5. Wybrane parametry falowników trójfazowych	265
23.2.6. Falowniki średniej mocy	267
23.2.7. Falowniki hybrydowe	268
23.2.8. Panel fotowoltaiczny ze zintegrowanym mikrofalownikiem	269
23.2.9. Falowniki fotowoltaiczne z systemem kompensacji mocy biernej	269
23.2.10. Zagadnienia eksploatacyjne dotyczące załączenia do sieci falowników	271
23.3. MPP tracker	273
23.4. Monitorowanie na poziomie paneli	274
23.4.1. Moduły fotowoltaiczne SolarEdge zintegrowane z optymalizatorami mocy	276
23.5. Modem komunikacyjny	277
23.5.1. Zasada działania	277
23.5.2. Charakterystyka urządzeń	277
23.6. Sposób łączenia przewodów po stronie DC	278
23.7. Dobór przewodów w instalacji fotowoltaicznej	279
23.7.1. Warunki doboru przekroju przewodów ze względu na obciążalność prądową długotrwałą	280
23.7.2. Wyznaczanie przekroju przewodów ze względu na obciążalność długotrwałą po stronie DC	281
23.7.3. Wyznaczanie przekroju przewodów po stronie DC ze względu na dopuszczalne spadki napięcia	282
23.7.4. Sprawdzenie wielkości strat mocy na przewodach łączących łańcuch (string) modułów fotowoltaicznych z falownikiem	282
23.7.5. Wyznaczanie przekroju przewodów i kabli ze względu na obciążalność długotrwałą i przeciążalność po stronie prądu zmiennego AC instalacji fotowoltaicznej	283
23.7.6. Wyznaczanie przekroju przewodów po stronie AC ze względu na dopuszczalne spadki napięcia	283
23.7.7. Dobór zabezpieczeń w instalacjach fotowoltaicznych	284

23.8. Mierniki instalacji fotowoltaicznych	285
23.9. Pomiary natężenia promieniowania słonecznego i temperatury modułu fotowoltaicznego	286
24. Dobór parametrów instalacji fotowoltaicznych	287
24.1. Rodzaje instalacji PV	287
24.2. Mała instalacja fotowoltaiczna	288
24.3. Wybrane układy połączeń fotoogniw	292
24.3.1. Sieć autonomiczna off-grid (wydzielona)	292
24.3.2. Praca elektrowni PV na sieć „sztywną” (on-grid)	297
25. Wytyczne montażowe	299
25.1. Etapy realizacji inwestycji	299
25.2. Projekt techniczny	299
25.3. Etapy budowy	300
25.4. Zagadnienia techniczne montażu instalacji	300
25.5. Sposób montażu ogniw PV w rzędach	302
25.6. Systemy zabezpieczeń w instalacjach fotowoltaicznych	304
25.6.1. Rodzaje zabezpieczeń instalacji fotowoltaicznej	304
25.7. Ochrona odgromowa instalacji fotowoltaicznych	304
25.7.1. Ochrona odgromowa – rodzaje ochrony	306
25.7.2. Ochrona odgromowa – ochrona zewnętrzna	306
25.7.3. Ochrona odgromowa farm fotowoltaicznych – ochrona zewnętrzna	310
25.7.4. System ochronny instalacji PV bez zewnętrznej ochrony odgromowej (zwodów pionowych) – ochrona wewnętrzna	310
25.7.5. Ogólne zasady doboru ograniczników po stronie DC	312
25.7.6. Ochrona przetężeniowa i zwarciowa	315
25.7.7. Ochrona przeciwporażeniowa w systemach fotowoltaicznych	316
25.8. Odbiór instalacji	317
26. BHP przy montażu instalacji fotowoltaicznej	318
26.1. Zasady BHP przy montażu instalacji fotowoltaicznych	318
26.2. Kompletność dostawy materiałów i urządzeń	320
26.3. Transport i składowanie	320
26.4. Dokumentacja techniczna	320
26.5. Narzędzia i sprzęt dodatkowy	320
26.6. Informacje ogólne	320
26.7. Przepisy bezpieczeństwa	321
26.8. Ochrona przeciwporażeniowa	321
26.8.1. Ochrona przeciwpożarowa	321
26.8.2. Warunki środowiskowe	323
26.8.3. Postępowanie w razie pożaru budynku z instalacją PV	323
26.8.4. Analiza skutków pożarów instalacji fotowoltaicznych	324
26.8.5. Gaszenie pożaru nocą z instalacją PV na dachu	325
26.8.6. Łuk elektryczny	325
26.8.7. Zasady wyposażenia obiektów w gaśnice	326
26.8.8. Gaszenie urządzeń elektrycznych	326
26.8.9. Optymizery	326
26.8.10. Dokumentacja instalacji PV	327
26.8.11. Ubezpieczenie instalacji PV na wypadek pożaru	327
26.9. Bezpieczeństwo wykonywania prac przy urządzeniach elektrycznych	328

26.10. Oznaczenia i symbole	329
27. Montaż instalacji fotowoltaicznej	330
27.1. Systemy montażowe dla modułów skrzynkowych	331
27.1.1. Montaż na dachu spadzistym	331
27.1.2. Montaż ogniw PV na dachu płaskim lub płaszczyźnie poziomej ..	333
27.1.3. Sposób montażu modułów	335
27.1.4. Zintegrowane z dachem moduły fotowoltaiczne	335
27.1.5. Montaż fotoogniw „podążających za słońcem”	336
27.1.6. Konstrukcja do mocowania na stropie	337
27.1.7. Konstrukcja wsporcza mocowana do betonowych bloków	338
27.1.8. System samonośny	339
27.2. Montaż systemów PV na gruncie	339
27.3. Montaż instalacji fotowoltaicznej na konstrukcji aluminiowej na dachu płaskim	340
27.4. Montaż instalacji fotowoltaicznej na dachu spadzistym	
pokrytym dachówką betonową	342
27.5. Montaż instalacji fotowoltaicznej na konstrukcji	
aluminiowej na dachu płaskim pokrytym blachą falistą	346
27.6. Montaż instalacji fotowoltaicznej na dachu spadzistym pokrytym blachodachówką	346
27.7. Najnowsze rozwiązania techniczne w zakresie mocowania modułów PV ..	347
27.8. Fotowoltaika zintegrowana z budynkiem – Instalacje BIPV (Building Integrated Photovoltaics BIPV)	348
27.9. Agrofotowoltaika (APV)	354
27.10. Pasieki na farmach PV	355
27.11. Instalacje fotowoltaiczne posadowione na wodzie	356
27.12. Naziemna pionowa farma PV z dwustronnymi modułami	357
28. Eksploatacja instalacji fotowoltaicznych	359
28.1. Wymiana uszkodzonego modułu	359
28.2. Mycie instalacji fotowoltaicznej	359
28.3. Sprawdzenie mocowania paneli	360
28.4. Usuwanie śniegu	360
28.5. Stan przewodów zasilających w instalacji prądu stałego (DC)	361
28.6. Sprawdzenie stanu technicznego falownika	361
28.7. Czynniki wpływające ujemnie na produkcję energii z elektrowni fotowoltaicznej	361
28.8. Uruchamianie systemu fotowoltaicznego	361
28.9. Projektowanie systemów PV za pomocą symulacji komputerowych	365
29. Magazynowanie energii z OZE	366
29.1. Akumulatory litowo-jonowe	368
29.2. Dobór wielkości mocy akumulatorów do instalacji fotowoltaicznej off-grid ..	371
29.3. Dobór wielkości mocy akumulatorów do instalacji fotowoltaicznej on-grid ..	373
29.4. Duże magazyny energii	374
29.5. Baterie przepływowe (redox flow cell)	375
29.5.1. Budowa akumulatora przepływowego	375
29.5.2. Wanadowe akumulatory przepływowe (all vanadium)	376
29.5.3. Przykładowe rozwiązania techniczne	377
29.5.4. Dalsze badania naukowe nad ogniwami przepływowymi	378

29.6. Wirtualna elektrownia złożona z tysięcy domowych baterii	379
29.7. Enea Operator zbuduje sieć inteligentną na terenie Szczecina, powiatu gryfińskiego i Świnoujścia	380
29.8. Recykling modułów fotowoltaicznych.	380
29.9. Wykorzystywanie energii elektrycznej z fotoogniw, do elektrolizy wody. . .	381
29.10. Ogniwa paliwowe (fuel cells)	381
29.11. Metanizacja wodoru z dwutlenkiem węgla ($H_2 + CO_2 = SNG + O_2$)	383

MODUŁ VI

Koncepcja samowystarczального budynku niskoenerge- tycznego zasilanego z OZE, dla domu z Programu „Mieszkanie Plus”	385
---	-----

MODUŁ VII

Przykładowy projekt budowlano-wykonawczy	391
1. Procedury formalno-prawne związane z budową mikroinstalacji fotowoltaicznej	391
2. Warunki przyłączenia mikroinstalacji fotowoltaicznej do sieci elektroenergetycznej przez osobę fizyczną	392

MODUŁ VIII

Przykładowe zestawy zadań.	429
Odpowiedzi do zestawów zadań.	463

MODUŁ IX

Przykładowe tematy zadań obliczeniowych i opisowych: Systemy fotowoltaiczne	465
--	-----

MODUŁ X

Przykładowe tematy zadań praktycznych: Systemy fotowoltaiczne	489
Literatura	493