

Spis treści

Od autorów	11
Perspektywy rozwoju fotowoltaiki w Polsce	15
Struktura nakładów inwestycyjnych kosztów eksploatacyjnych dla elektrowni fotowoltaicznych	19
Wybrane zagadnienia z ustawy Prawo energetyczne dotyczące fotowoltaiki ..	21
Wykaz wybranych oznaczeń, wielkości i ich jednostek	33
Symbole graficzne wg PN-EN 60617 stosowane w schematach elektrycznych ..	37

MODUŁ I

Bezpieczeństwo i higiena pracy. Ochrona przeciwpożarowa	49
1. Bezpieczeństwo i higiena pracy (BHP)	49
2. Instrukcje BHP	49
3. BHP a ergonomia	49
4. Stanowisko pracy	50
5. Elementy stanowiska pracy	50
6. Zadania służb BHP	51
7. Pierwsza pomoc	51
8. Bezpieczeństwo wykonywania prac przy urządzeniach elektrycznych	52
9. Sprzęt ochronny	53
10. Sposoby ratowania porażonych prądem elektrycznym	54
11. Ochrona przeciwpożarowa	56
12. Prewencja pożarowa	56
14. Sposoby ratowania osoby poszkodowanej w pożarze	57
15. Czynności ratujące	58

MODUŁ II

Rysunek techniczny	59
1. Znaczenie rysunku w przekazywaniu informacji	59
2. Rodzaje rysunków technicznych	60
3. Wymiary i kształt arkuszy rysunkowych	60
4. Obramowanie	61
5. Tabliczka rysunkowa	61
6. Podziałki rysunków	62
7. Rodzaje linii rysunkowych	62
8. Rodzaje rzutów aksonometrycznych i ich zastosowanie	63
9. Rzutowanie prostokątne	63
10. Układ trzech rzutni	64
11. Wymiarowanie	66
12. Podstawowe zasady wymiarowania	68
13. Wymiarowanie wg układu współrzędnych	69
14. Przekroje	70
15. Oznaczanie przekrojów	71
16. Pismo techniczne	71
17. Rysunki schematyczne	71
18. Wykresy i odczytywanie wykresów	72

MODUŁ III

Podstawy elektrotechniki	73
1. Prąd stały	73
1.1. Prąd elektryczny	73
1.2. Napięcie elektryczne	74
1.3. Obwody elektryczne	74
1.4. Prawo Ohma	75
1.5. Obliczanie rezystancji	75
1.6. Łączenie rezystorów	75
1.7. Zależność rezystancji od temperatury	76
1.8. Źródła prądu stałego	76
1.9. Prawa obwodu elektrycznego	77
1.9.1. Pierwsze prawo Kirchhoffa	77
1.9.2. Drugie prawo Kirchhoffa	78
1.10. Stany pracy źródeł energii elektrycznej	78
1.11. Moc prądu stałego	78
1.12. Energia prądu stałego	79
1.13. Prawo Joule'a – Lenza	80
2. Prąd przemienny jednofazowy	80
2.1. Analiza obwodów zawierających elementy R, L, C	81
2.1.1. Obwód elektryczny z rezystancją	81
2.1.2. Obwód elektryczny z cewką o indukcyjności L (reakcją indukcyjną)	82
2.1.3. Obwód elektryczny z kondensatorem o pojemności C (reakcją pojemnościową)	83
2.1.4. Obwód elektryczny szeregowy z elementami R, L, C	84
2.1.5. Obwód elektryczny równoległy z elementami R, L, C	85
3. Kondensatory	87
3.1. Pojemność kondensatora	87
3.2. Łączenie kondensatorów	88
4. Moc prądu przemiennego jednofazowego	88
4.1. Moc czynna	88
4.2. Moc bierna	89
4.3. Moc pozorna	90
5. Układy trójfazowe	90
5.1. Układ połączeń odbiorników w gwiazdę	90
5.2. Układ odbiorników połączonych w trójkąt	91
6. Pomiar mocy w układach 3 fazowych	92
7. Pomiar energii w obwodach trójfazowych	93
8. Zdjęcia przedstawiające autorów podręcznika w czasie zajęć laboratoryjnych z podstaw elektrotechniki z uczniami, studentami, słuchaczami w pracowni elektrycznej	95

MODUŁ IV

Urządzenia i instalacje elektryczne	97
1. Oznaczenia przewodów i zacisków	97
1.1. Wybrane oznaczenia kabli i przewodów według normy PN: 60446	99
1.2. Przekroje przewodów	100
1.3. Wybrane przykłady oznaczeń przewodów	100
1.4. Podział przewodów ze względu na pełnioną funkcję	101
1.5. Oznaczenia przewodów i zacisków odbiorników	101
2. Łączenie przewodów	102

3. Wybrane zagadnienia ochrony przeciwporażeniowej w instalacjach elektrycznych do 1 kV	103
3.1. Oddziaływanie prądu elektrycznego na organizm ludzki	103
3.2. Warunki środowiskowe	104
3.3. Stopnie ochrony obudów urządzeń elektrycznych	105
3.4. Klasy ochronności urządzeń elektrycznych i elektronicznych	106
3.5. Napięcia i układy sieciowe	106
3.6. Układy sieci	107
3.7. Charakterystyka układów sieciowych	108
4. Środki ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym przy eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych	110
4.1. Rodzaje ochron przeciwporażeniowych	110
4.1.1. Równoczesna ochrona przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim	110
4.1.2. Ochrona przed dotykiem bezpośrednim (ochrona podstawowa)	112
4.2. Ochrona przed dotykiem pośrednim (ochrona dodatkowa)	113
4.2.1. Ochrona przez zastosowanie samoczynnego wyłączenia zasilania	113
4.2.2. Wyłączniki nadmiarowo-prądowe	114
4.3. Urządzenia ochronne różnicowoprądowe	117
4.4. Ochrona przed dotykiem pośrednim przez samoczynne wyłączenie zasilania w układzie sieciowym TN	124
4.5. Ochrona przez zastosowanie urządzenia II klasy ochronności	126
4.6. Ochrona przez zastosowanie izolowania stanowiska	127
4.7. Ochrona przez zastosowanie separacji elektrycznej	127
4.8. Ochrona przez zastosowanie nieuziemionych połączeń wyrównawczych miejscowych	129
4.9. Połączenia wyrównawcze	130
5. Przewody ochronne, ochronno-neutralne i wyrównawcze	132
6. Uziomy i przewody uziemiające	133
6.1. Uziomy naturalne	134
6.2. Uziomy sztuczne	134
7. Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi lub łączeniowymi	137
8. Przyłączanie urządzeń elektrycznych	140
9. Zasilanie budynku	141
10. Instalacje elektryczne w mieszkaniach i budynkach mieszkalnych	141
11. Wybrane zasady wykonania instalacji elektrycznej w budynku	146
12. Eksploatacja instalacji elektrycznych	147
13. Pomiar ciągłości przewodów	149
14. Pomiar rezystancji izolacji instalacji elektrycznej	149
15. Pomiar rezystancji izolacji podłóg i ścian	151
16. Pomiar rezystancji uziomu	152
17. Sprawdzenie skuteczności ochrony przed dotykiem pośrednim przez samoczynne wyłączenie zasilania	152
18. Sprawdzanie działania urządzeń ochronnych różnicowoprądowych	155
19. Protokół odbiorczy	155
20. Ogólne zasady eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych	156
21. Dokumentacja techniczna	157
22. Przyjmowanie urządzeń do eksploatacji	158
23. Prowadzenie eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych	158
24. Kontrola eksploatacji	159
25. Zdjęcia przedstawiające autorów podręcznika w czasie zajęć laboratoryjnych z urządzeń elektrycznych z uczniami, studentami, słuchaczami w pracowni urządzeń	159

MODUŁ V

Technologia wykonania i logistyka robot instalacyjnych161

1. Kosztorysy – rodzaje i sposoby obliczeń.	161
1.1. Kosztorys inwestorski	162
1.2. Kosztorys ofertowy	162
1.3. Kosztorys zamienny	164
1.4. Kosztorys powykonawczy	164
1.5. Rodzaje kalkulacji kosztorysowej	165
1.5.1. Kalkulacja uproszczona	165
1.5.2. Kalkulacja szczegółowa	166
2. Oferty w postępowaniu o udzielenie zamówienia publicznego.	167
2.1. Treść projektu oferty	167
3. Specyfikacja Istotnych Warunków Zamówienia (SIWZ)	168
4. Przekazywanie SIWZ dla wykonawców	169
5. Przykładowa specyfikacja wykonania i odbioru robót i materiałów instalacyjnych	169
5.1. Przedmiot zamówienia	170
5.2. Przedmiot i zakres robót instalacyjnych.	170
5.3. Prace towarzyszące i roboty tymczasowe	170
5.4. Teren budowy	170
5.4.1. Organizacja robót	170
5.4.2. Harmonogram robót	170
5.4.3. Wprowadzenie na budowę	171
5.4.4. Koordynacja robót	171
5.4.5. Zabezpieczenie interesów osób trzecich	172
5.4.6. Ochrona środowiska i zdrowia ludzi	172
5.4.7. Bezpieczeństwo i higiena pracy	173
5.4.8. Zaplecze budowy	173
5.4.9. Organizacja ruchu	174
5.4.10. Ogrodzenie	174
5.4.11. Zabezpieczenie chodników i jezdni	174
6. Wymagania dotyczące wyrobów instalacyjnych	174
7. Wymagania dotyczące sprzętu i maszyn	175
8. Wymagania dotyczące środków transportu	175
9. Sposób wykonania robót instalacyjnych	176
10. Kontrola oraz odbiór robót instalacyjnych	176
11. Wymagania dotyczące przedmiaru i obmiaru robót	178
12. Odbiór robót i przekazanie do użytku	180
13. Sposób rozliczenia robót tymczasowych i prac towarzyszących	181
14. Dokumenty, normy i przepisy	181

MODUŁ VI

Energetyka słoneczna183

1. Energia słoneczna	183
2. Atmosfera Ziemi	184
3. Oddziaływanie atmosfery z promieniowaniem	184
4. Wielkość energii słonecznej na Ziemi	185
5. Nasłonecznienie w Polsce	186
6. Zalety promieniowania słonecznego jako źródła energii.	186
7. Wady promieniowania słonecznego jako źródła energii	186
8. Sposoby produkcji energii elektrycznej z wykorzystaniem energii słonecznej.	187

8.1. Metoda heliotermiczna	187
8.2. Metoda helioelektryczna	188
9. Wiadomości wstępne z optoelektroniki	189

MODUŁ VII

Budowa, zasada działania fotoogniw (PV)	191
1. Budowa i zasada działania ogniw krzemowych	191
2. Podział ogniw PV	192
3. Ogniw z krzemu monolitycznego	192
3.1. Budowa fotoogniwa	192
3.2. Technologia wytwarzania fotoogniwa	193
3.3. Przykłady krzemowych modułów fotowoltaicznych	194
4. Ogniw polikrystaliczne	201
4.1. Budowa fotoogniwa	201
4.2. Rozwiązania konstrukcyjne fotomodułów płaskich polikrystalicznych	202
5. Ogniw polikrystaliczne cienkowarstwowe	206
5.1. Budowa fotoogniwa	206
5.2. Technologia wytwarzania ogniwa PV	206
6. Ogniw z krzemu amorficznego	207
6.1. Budowa i technologia wytwarzania fotoogniwa	207
7. Ogniw cienkowarstwowe jedno- i wielozłączowe z arsenku galu	208
7.1. Budowa i technologia wytwarzania	208
7.2. Przykład rozwiązania konstrukcyjnego	209
8. Ogniw fotowoltaiczne z materiałów organicznych	210
8.1. Budowa i technologia wytwarzania	210
8.2. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne ogniw PV, na podłożu polimerowym	211
8.3. Sposoby produkcji	212
8.4. Parametry polimerowych ogniw PV	213
9. Ogniw fotowoltaiczne uczulane barwnikiem	214
9.1. Zasada działania	214
9.2. Budowa, parametry ogniwa	214
10. Hybrydowe panele słoneczne	214
10.1. Zasada działania	214
10.2. Budowa urządzenia	216
11. Dwustronne baterie słoneczne	218
12. Utrata mocy fotoogniw funkcji czasu pracy	218
12.1. Dioda bocznikująca fotoogniwo (by-pass)	218
13. Gorący punkt (hot spot)	220
13.1. Napięcie indukowane w module PID (Potential Induced Degradation)	221
13.2. Badanie modułów fotowoltaicznych	221

MODUŁ VIII

Analiza pracy fotoogniwa	223
1. Podstawowe zależności	223
2. Wpływ temperatury na parametry fotoogniwa	226
3. Sposoby połączeń modułów PV	228
4. Wpływ promieniowania słonecznego na parametry modułu fotowoltaicznego	229
4.1. Współczynnik wypełnienia FF	230
5. Wybrane wyniki badań modułów fotowoltaicznych	230
6. Wybrane wyniki badań instalacji fotowoltaicznej „podążającej za słońcem”	240
7. Zdjęcia przedstawiające autorów podręcznika w czasie zajęć laboratoryjnych z uczniami, studentami, słuchaczami	242

MODUŁ IX

Parametry osprzętu instalacji PV	249
1. Regulatory ładowania	249
2. Przetwornice napięcia	250
2.1. Inwerter w instalacji fotowoltaicznej	253
2.2. Przykładowe rozwiązanie	256
2.3. Parametry elektryczne pracy falownika 1-fazowego	256
2.4. Falowniki 3-fazowe	257
2.5. Zagadnienia eksploatacyjne dotyczące załączenia do sieci falowników	259
3. MPP tracker	261
4. Monitorowanie na poziomie paneli	262
5. Modem komunikacyjny	263
5.1. Zasada działania	263
5.2. Charakterystyka urządzeń	263
6. Sposób łączenia przewodów po stronie DC	264
7. Dobór przewodów w instalacji fotowoltaicznej	265
7.1. Warunki doboru przekroju przewodów ze względu na obciążalność prądową długotrwałą	266
7.2. Wyznaczanie przekroju przewodów ze względu na obciążalność długotrwałą po stronie DC	267
7.3. Wyznaczanie przekroju przewodów po stronie DC ze względu na dopuszczalne spadki napięcia	268
7.4. Sprawdzenie wielkości strat mocy na przewodach łączących łańcuch (string) modułów fotowoltaicznych z falownikiem	268
7.5. Wyznaczanie przekroju przewodów i kabli ze względu na obciążalność długotrwałą i przeciążalność po stronie prądu zmiennego AC instalacji fotowoltaicznej	269
7.6. Wyznaczanie przekroju przewodów po stronie AC ze względu na dopuszczalne spadki napięcia	269
7.7. Dobór zabezpieczeń w instalacjach fotowoltaicznych	270
8. Dobór akumulatorów do instalacji off-grid	271
9. Mierniki instalacji fotowoltaicznych	271
10. Pomiary natężenia promieniowania słonecznego i temperatury modułu fotowoltaicznego	273

MODUŁ X

Dobór parametrów instalacji fotowoltaicznych	275
1. Rodzaje instalacji PV	275
2. Mała instalacja fotowoltaiczna	275
3. Wybrane układy połączeń fotoogniw	278
3.1. Sieć autonomiczna off-grid (wydzielona)	278
3.2. Praca elektrowni PV na sieć „sztywną” (on-grid)	283

MODUŁ XI

Wytyczne montażowe	285
1. Etapy realizacji inwestycji	285
2. Projekt techniczny	285
3. Etapy budowy	285
4. Zagadnienia techniczne montażu instalacji	286
5. Sposób montażu ogniw PV w rzędach	288

6. Systemy zabezpieczeń w instalacjach fotowoltaicznych.....	290
6.1. Rodzaje zabezpieczeń instalacji fotowoltaicznej.....	290
7. Ochrona odgromowa instalacji fotowoltaicznych.....	290
7.1. Ochrona odgromowa – rodzaje ochrony.....	292
7.2. Ochrona odgromowa – ochrona zewnętrzna.....	292
7.3. Ochrona odgromowa farm fotowoltaicznych – ochrona zewnętrzna.....	296
7.4. System ochronny instalacji PV bez zewnętrznej ochrony odgromowej (zwodów pionowych) – ochrona wewnętrzna.....	296
7.5. Ogólne zasady doboru ograniczników po stronie DC.....	298
7.6. Ochrona przetężeniowa i zwarciowa.....	301
7.7. Ochrona przeciwporażeniowa w systemach fotowoltaicznych.....	302
8. Odbiór instalacji.....	303
9. Złącza napowietrzne i kablowe.....	304

MODUŁ XII

BHP przy montażu instalacji fotowoltaicznej.....305

1. Zasady BHP przy montażu instalacji fotowoltaicznych.....	305
2. Kompletność dostawy materiałów i urządzeń.....	306
3. Transport i składowanie.....	306
4. Dokumentacja techniczna.....	307
5. Narzędzia i sprzęt dodatkowy.....	307
6. Informacje ogólne.....	307
7. Przepisy bezpieczeństwa.....	307
8. Ochrona przeciwporażeniowa.....	308
9. Ochrona przeciwpożarowa.....	308
10. Bezpieczeństwo wykonywania prac przy urządzeniach elektrycznych.....	308
11. Oznaczenia i symbole.....	309

MODUŁ XIII

Montaż instalacji fotowoltaicznej.....311

1. Systemy montażowe dla modułów skrzynkowych.....	311
1.1. Montaż na dachu spadzistym.....	311
1.2. Montaż ogniw PV na dachu płaskim lub płaszczyźnie poziomej.....	313
1.3. Sposób montażu modułów.....	314
1.4. Eliminacja prądów upływu i szczątkowego.....	315
1.5. Sposoby montażu fotoogniw polimerowych elastycznych na dachu płaskim.....	315
1.6. Dachy pokryte dachówką w formie paneli fotowoltaicznych.....	317
1.7. Montaż fotoogniw „podążających za słońcem”.....	319
1.8. Inne rozwiązania techniczne montażu instalacji fotowoltaicznych.....	320
2. Przykłady nieprawidłowego montażu modułów fotowoltaicznych.....	321
3. Zdjęcia przedstawiające montaż modułów fotowoltaicznych na płaszczyźnie poziomej.....	321
4. Przykład montażu modułu fotowoltaicznego na konstrukcji drewnianej w warunkach laboratoryjnych.....	323
5. Zdjęcia przedstawiające autorów podręcznika z uczniami ZSE nr 1 w czasie wykonywania pomiarów parametrów energetycznych modułów fotowoltaicznych.....	324
6. Montaż instalacji fotowoltaicznej na konstrukcji aluminiowej na dachu płaskim.....	325
7. Montaż instalacji fotowoltaicznej na dachu spadzistym pokrytym dachówką betonową.....	328

8. Montaż instalacji fotowoltaicznej na konstrukcji aluminiowej na dachu płaskim pokrytym blachą falistą	331
9. Montaż instalacji fotowoltaicznej na dachu spadzistym pokrytym blachodachówką	332

MODUŁ XIV

Eksploatacja instalacji fotowoltaicznych.....	333
1. Wymiana uszkodzonego modułu	333
2. Mycie instalacji fotowoltaicznej	333
3. Sprawdzenie mocowania paneli.....	333
4. Usuwanie śniegu	334
5. Stan przewodów zasilających w instalacji prądu stałego (DC)	334
6. Sprawdzenie stanu technicznego falownika	335
7. Czynniki wpływające ujemnie na produkcję energii z elektrowni fotowoltaicznej	335
8. Uruchamianie systemu fotowoltaicznego	335

MODUŁ XV

Przykładowy projekt budowlano-wykonawczy	339
---	------------

MODUŁ XVI

Przykładowy scenariusz zajęć praktycznych	391
--	------------

MODUŁ XVII

Egzamin teoretyczny dla instalatorów instalacji fotowoltaicznych.....	397
1. Instrukcja testowania dla nauczyciela	397
2. Instrukcja testowania dla ucznia	398
3. Przykładowa karta odpowiedzi poprawnych	399
4. Przykładowa karta odpowiedzi ucznia	399
5. Przykładowa tabela zbiorcza	400
6. Przykładowe zestawy zadań	400
7. Odpowiedzi do zestawów zadań	422

MODUŁ XVIII

Przykładowe zadania obliczeniowe	425
---	------------

MODUŁ XIX

Zadanie kontrolne	439
--------------------------------	------------

MODUŁ XX

Egzamin praktyczny dla instalatorów instalacji fotowoltaicznych.....	445
1. Przebieg testowania	445
2. Przykładowe tematy zadań praktycznych dotyczących montażu i eksploatacji instalacji fotowoltaicznych	446
3. Przykładowa karta odpowiedzi	449

MODUŁ XXI

Projekt wstępny budynku jednorodzinnego o niskim zapotrzebowaniu na energię	451
Literatura	457