

Spis treści

O autorze 15

Podziękowania 17

Wprowadzenie 19

- O książce 19
- Konwencje zastosowane w książce 20
- Czego nie czytać 21
- Naiwne założenia 21
- Jak podzielona jest ta książka 21
 - Część I: Niech stanie się światłość, czyli wstępne rozjaśnienie tematu systemów PV 21
 - Część II: Szczegóły kompletnego systemu fotowoltaicznego 22
 - Część III: Dobór wielkości systemu PV 22
 - Część IV: Instalowanie systemu PV 22
 - Część V: Dekalogi 22
 - Ikony wykorzystane w książce 23
 - Co dalej? 23

CZĘŚĆ I: NIECH STANIE SIĘ ŚWIATŁOŚĆ, CZYLI WSTĘPNE WYJAŚNIENIE TEMATU SYSTEMÓW PV 25

Rozdział 1: Fotowoltaiczna rewolucja 27

- Krótka o przeszłości, teraźniejszości i przyszłości instalacji PV 27
 - Typowe zastosowania fotowoltaiki 28
 - Zalety i wady fotowoltaiki 28
 - Przyszłość fotowoltaiki 29
- Komponenty systemów PV 29
- Elektryczne ABC 30
- ABC zasobów energii słonecznej 31
- Analiza miejsca montażu modułów 31
- Bardziej szczegółowo o komponentach systemów PV 32
 - Moduły PV 32
 - Akumulatory 32
 - Regulatory ładowania 33
 - Inwertery (falowniki) 33
 - Przewody i urządzenia zabezpieczające 33
- Dobór wielkości systemu PV 34
 - Systemy on-grid 34
 - Systemy akumulatorowe 34
 - Przewody i zabezpieczenia 35
- Uruchomienie systemu PV 35
 - Pozwolenia 35
 - Bezpieczeństwo 35
 - Montaż elementów mechanicznych 36
 - Montaż elementów elektrycznych 36
 - Pierwsze uruchomienie, przegląd systemu i jego konserwacja 37
- Wstępne wskazówki dotyczące wymogów elektrycznych 38

Rozdział 2: Przegląd komponentów systemu PV oraz rodzajów systemów 39

- Komponenty systemów PV 40
 - Moduły PV i konstrukcje nośne 40
 - Zespół akumulatorów 41
 - Regulator ładowania 42
 - Inwerter (falownik) 42
 - Odbiorniki 43
 - Rozdzielnice napięcia 44
 - Rozłączniki i zabezpieczenia nadprądowe 45
 - Podłączenie do sieci elektrycznej 45
- Rodzaje systemów PV 47
 - Systemy zależne od sieci 47
 - Systemy akumulatorowe 49
- Dobór właściwego systemu w zależności od sytuacji 51
 - Klient jest podłączony do sieci 51
 - Klient nie jest podłączony do sieci 52

Rozdział 3: Podstawy elektryczności 55

- O tym, co płynie, czyli o prądzie 56
 - Ampery 56
 - Różnica między prądem stałym a prądem zmiennym 56
 - Pomiar prądu miernikiem 57
- Niech siła elektromotoryczna będzie z Tobą: napięcie 60
 - O koncepcji napięcia 61
 - Napięcie znamionowe a napięcie robocze 61
 - Pomiar napięcia 62
- Wszelki opór jest daremny, czyli o rezystancji 64
 - Omy 64
 - Pomiar rezystancji 65
- Zależność między prądem, napięciem i rezystancją, czyli prawo Ohma 67
- Moc kontra energia 67
 - Na czym polega różnica między mocą a energią 67
 - Zależność między mocą, prądem, napięciem i rezystancją, czyli wzór na moc 68
 - Obliczanie energii w watogodzinach 70
 - Amperogodziny, bliskie koleżanki watogodzin 71
- Zależność między prądem, napięciem, rezystancją, mocą i energią 71
- Elektryczność od innej strony: konfiguracje obwodów 72
 - Połączenie szeregowe 73
 - Połączenie równoległe 74
 - Połączenie szeregowo-równoległe 75

Rozdział 4: Zasoby energii słonecznej 77

- Wysoka (lub niska) energia: promieniowanie słoneczne 78
 - Różnica między promieniowaniem bezpośrednim a rozproszonym 78
 - Determinowanie intensywności promieniowania słonecznego: irradiancja 79
 - Obliczanie energii promieniowania: napromieniowanie 82
 - Chwytaj dzień: godziny szczytowego nasłonecznienia 84

- Prześledzenie wpływu ścieżki słońca na nasłonecznienie 87
 - Wpływ pór roku 88
 - Wyjaśnienie wpływu położenia Słońca względem Twojej lokalizacji: wysokość i azymut 90
 - Odmierzanie czasu słonecznego 91
 - Interpretacja wykresów solarnych 92
 - Otwieramy się na okno słoneczne 93
- Pozycjonowanie modułów fotowoltaicznych w celu maksymalizacji produkcji energii 94
 - Kąt nachylenia 94
 - Zorientowanie modułów względem północy właściwej 97

Rozdział 5: Wybór właściwego miejsca montażu 99

- Przygotowanie do oględzin miejsca montażu 100
 - Zarezerwowanie odpowiedniej ilości czasu 100
 - Stworzenie standardowego formularza oględzin 101
 - Torba z ekwipunkiem na oględziny 102
- Obraz jest wart tysiąca słów: dokumentacja oględzin za pomocą fotografii 103
- Zbieranie podstawowych informacji podczas oględzin miejsca montażu 104
 - Ogólne informacje o miejscu montażu 104
 - Informacje strukturalne i mechaniczne 105
 - Informacje elektryczne 107
- Informacje w stopniach 109
 - Deklinacja magnetyczna 109
 - Ustalanie kąta nachylenia i kąta azymutalnego modułów 111
- Przegląd narzędzi do analizy zacienienia 113
- Interpretacja danych i zebranie wszystkiego w całość 116
 - Analiza raportów z narzędzia do analizy zacienienia 116
 - Uwzględnienie mnożnika całkowitych zasobów energii słonecznej 117
 - Wykorzystywanie innych zebranych informacji w planowaniu systemu i jego instalacji 118

CZĘŚĆ II: SZCZEGÓŁY KOMPLETNEGO SYSTEMU FOTOWOLTAICZNEGO 121

Rozdział 6: Moduły fotowoltaiczne: od piasku do elektryczności 123

- Tworzenie elektryczności solarnej: wszystko zaczyna się od ogniwa 124
 - Ogniwo: budowa i proces produkcji 124
 - Budowa ogniwa a efekt fotowoltaiczny 125
- Przegląd popularnych rodzajów modułów PV 126
 - Moduły z krystalicznego krzemu 127
 - Moduły cienkowarstwowe 129
- Parametry elektryczne modułów fotowoltaicznych 131
 - Parametry prądowe 131
 - Parametry napięciowe 133
 - Punkt mocy maksymalnej 134
 - Współczynnik napięcia i temperatury 135
 - Tolerancja mocy 135
 - Bezpiecznik połączenia szeregowego 136
- Przyglądamy się warunkom testowania modułów 136

- Standardowe warunki testowania 136
- Wpływ otoczenia na uzyskiwane parametry 137
- Relacja prądu i napięcia na wykresie IV 139
 - Wykres IV dla różnych temperatur 140
 - Wykres IV dla różnych irradiancji 141

Rozdział 7: Akumulatory od podstaw 143

- Budowa i zasada działania akumulatora 144
 - Jak zbudować baterię: od ogniwa do zespołu akumulatorów 144
 - W jaki sposób akumulator się ładuje i rozładowywuje 146
- Porównanie różnych rodzajów akumulatorów 148
 - Akumulatory kwasowo-ołowiowe 149
 - Akumulatory wapniowo-ołowiowe 151
 - Akumulatory niklowo-kadmowe (NiCd) 152
- Pojemność akumulatora 152
 - Współczynnik C jako miara pojemności 153
 - Czynniki wpływające na pojemność 154
- Wybór akumulatorów 156
 - Ustalanie rodzaju potrzebnych akumulatorów 156
 - Ustalanie wielkości zespołu akumulatorów 157

Rozdział 8: Okiełznać napięcie i prąd: regulatory ładowania 161

- Podstawowe informacje o regulatorach 162
 - Fazy pracy regulatora ładowania 162
 - Przegląd dodatkowych funkcji oferowanych przez niektóre regulatory 165
- Technologia śledzenia punktu mocy maksymalnej (MPPT) 166
 - Zasada działania 167
 - Zalety i wady regulatorów MPPT 168
- Technologia modulowania szerokości impulsu 168
 - Zasada działania 169
 - Zalety i wady regulatorów PWM 169
- Wybór regulatora ładowania 170

Rozdział 9: Inwertery: AC (z) DC 171

- Inwertery zależne od sieci 172
 - Zasada działania 172
 - Standardowe funkcje 173
 - Moc 175
 - Istotność transformatorów 176
- Przegląd inwerterów akumulatorowych 177
 - Zasada działania inwertera współpracującego z siecią 178
 - Działanie inwertera wyspowego 179
 - Standardowe funkcje wszystkich inwerterów współpracujących z akumulatorami 180
 - Moc 181
 - Technologia niskiej częstotliwości transformatora 181
- Wybór inwertera 181
 - Inwertery zależne od sieci 181

- Inwertery współpracujące z akumulatorami 183

Rozdział 10: Bezpieczeństwo: okablowanie i komponenty zabezpieczające 185

- Rodzaje obwodów w systemie PV 186
- Przegląd rodzajów przewodów 187
 - Przewody między modułami 188
 - Przewód (kabel) solarny 189
 - Przewody do stosowania w budynkach 189
 - Okablowanie akumulatorów 190
 - Uziemienie 190
- Rodzaje rur na okablowanie 191
 - Rury metaliczne 192
 - Rury niemetaliczne 192
- Rozłączniki 193
- Zabezpieczenia nadprądowe 194
 - Wyłączniki nadprądowe 194
 - Bezpieczniki 195
- Zabezpieczenie przed zwarcie doziemnym 196
- Podstawowe oznaczenia fotowoltaiki 197

CZĘŚĆ III: DOBÓR WIELKOŚCI SYSTEMU PV 199

Rozdział 11: Dobór wielkości systemu zależnego od sieci 201

- Kwestie zasadnicze: budżet i dostępne miejsce na moduły 202
- Szacowanie rocznej produkcji energii 203
- Dobór mocy modułów do zapotrzebowania klienta na energię elektryczną 204
 - Ustalenie rocznego zużycia energii 205
 - Przegląd dostępnych umów z dostawcą 205
 - Ustalenie potrzebnej mocy modułów na podstawie zużycia energii i dostępnych opcji umowy z siecią 206
- Przygotowania do dopasowania inwertera do modułów 207
- Dobieranie mocy inwertera do modułów 208
- Ustalenie poziomów napięć zespołu modułów i inwertera 210
 - Ustalenie napięcia AC 211
 - Ustalenie okna napięć DC inwertera 211
 - Obliczanie maksymalnego napięcia DC na modułach 212
 - Obliczanie minimalnego napięcia DC na modułach 218
- Zbieramy wszystko w całość: podsumowanie informacji mocowych i napięciowych 223
- Ostatnia kwestia: maksymalny prąd wejściowy inwertera 224

Rozdział 12: Dobór wielkości systemu akumulatorowego 225

- Zużycie: przegląd odbiorników w systemie akumulatorowym 226
 - Szacowanie zapotrzebowania odbiorników, które muszą być obsługane przez akumulatory 227
 - Obliczanie zapotrzebowania na energię podczas zaniku napięcia w sieci w systemach z nią współpracujących 229
 - Obliczanie średniego dziennego zużycia energii w systemach wyspowych 229

- Dobór pojemności zespołu akumulatorów 231
 - Sprawność inwertera 232
 - Dni autonomii 232
 - Temperatura robocza akumulatorów 233
 - Głębokość rozładowania 233
 - Napięcia nominalne 234
 - Ustalenie wymaganej pojemności akumulatorów 235
 - Łączenie akumulatorów w zespole 236
- Dobieranie mocy zespołu modułów 238
 - Dobieranie mocy modułów w systemie współpracującym z siecią 238
 - Dobór mocy modułów w systemie wyspowym 238
- Dobór regulatora ładowania 241
 - Parametry napięciowe 242
 - Parametry mocowe lub prądowe 243
 - Zanim podążymy dalej: porównanie mocy zespołu modułów z pojemnością akumulatorów 244
- Dobieranie inwertera 245
 - Napięcie wyjściowe 245
 - Obliczanie poboru mocy 246
 - Tylko mi się nie rozładuj 246
 - Rzut oka na skokowy pobór prądu 247
 - Ocena mocy wyjściowej inwertera i modułów 247
- Agregat prądotwórczy 248
 - Parametry agregatów 248
 - Moc agregatu 249

Rozdział 13: Dobór przewodów, rur i komponentów zabezpieczających 251

- ABC doboru grubości przewodów 252
 - Ustalanie prądu maksymalnego i ciągłego w obwodach systemu PV 253
 - Obliczanie maksymalnego prądu w obwodach nefotowoltaicznych 254
 - Uwzględnienie warunków użytkowania za pomocą kilku poręcznych tabel 255
 - Zbieramy wszystkie informacje i ustalamy grubość przewodów 258
 - Uwzględnianie spadków napięcia po dobraniu grubości przewodów 260
- Dobór rur 265
- Dobór zabezpieczeń nadprądowych i rozłączników 266
 - Zaczynamy od podstaw 266
 - Umiejscowienie zabezpieczeń w obwodach PV 267
 - Zabezpieczenia obwodów inwertera 268

CZĘŚĆ IV: INSTALOWANIE SYSTEMU PV 269

Rozdział 14: Bezpieczeństwo w pracy z systemem PV 271

- Ogólne bezpieczeństwo na placach budowy 272
 - Identyfikowanie przeszkód w miejscu pracy i niezwłoczne zakładanie sprzętu ochronnego 272
 - Bezpieczna praca w pojedynkę i z innymi 273
 - Wskazówki dotyczące bezpieczeństwa z narzędziami 274

- Ograniczenie ekspozycji na skrajne warunki 274
- Apteczka w miejscu pracy 275
- Bezpieczeństwo na drabinie 275
 - Wybór drabin do swojego zestawu 275
 - Właściwe ustawienie drabiny 277
- Kwestia bezpieczeństwa na dachu 278
 - Zabezpieczenie przed upadkiem z wysokości 279
 - Przechowywanie narzędzi 280
 - Zachowanie bezpiecznych przejść 280
- O bezpieczeństwie elektrycznym 281
 - Ogólne ryzyko porażeń 281
 - Praca z obwodami 282
- Bezpieczeństwo w pracy z akumulatorami 285

Rozdział 15: Montaż elementów mechanicznych 287

- Przegląd metod montażu modułów PV 288
 - Montaż na dachu 289
 - Montaż naziemny 293
 - Montaż na słupku 295
 - Montaż zintegrowany z budynkiem 297
- Rozważenie obciążenia w przypadku montażu na dachu 298
 - Wymogi budowlane 298
 - Uwzględnienie dodatkowych obciążeń stałych 299
 - Obciążenia zmienne 301
- Właściwe przytwierdzenie zespołu modułów do dachu 302
 - Przytwierdzanie wkrętami z łbem sześciokątnym 302
 - Uszczelnianie otworów w dachu 304
- Fundamenty w montażu na ziemi i na słupku 306

Rozdział 16: Integracja elementów elektrycznych 309

- Umiejscowienie poszczególnych komponentów 310
 - Wymogi producentów odnośnie do rozlokowania komponentów 310
 - Lokalizacja urządzeń rozłączających 311
 - Skrzynki przyłączeniowe i przewody 313
- Praca z przewodami 313
 - Zielono mi (i czerwono, i biał): kod kolorystyczny 313
 - Układanie przewodów wychodzących z modułów 315
 - Zabezpieczenie przewodów rurami 316
- Nawiązujemy łączność z ziemią: uziemienie 317
 - Uziemienie sprzętu 317
 - Uziemienie systemu 320
- Podłączenie do sieci 323
 - Ustalenie wymagań dostawcy prądu 323

Rozdział 17: Pierwsze uruchomienie, przegląd i konserwacja systemu PV 329

- Lista rzeczy do dwukrotnego sprawdzenia: przygotowanie do pierwszego uruchomienia 330
 - Elementy mechaniczne? Sprawdzone! 330
 - Elementy elektryczne? Sprawdzone! 331

- Ceremonię czas zacząć: proces pierwszego uruchomienia 335
 - Przede wszystkim bezpieczeństwo 335
 - Zbieranie potrzebnego sprzętu 336
 - Pierwsze uruchomienie w zależności od rodzaju systemu 337
 - Sprawdzenie działania systemu 341
- Konserwacja systemu 342
 - Konserwacja elementów mechanicznych 343
 - Konserwacja elementów elektrycznych 343
 - Wyższy poziom konserwacji: dbanie o akumulatory 344

CZĘŚĆ V: DEKALOGI 347

Rozdział 18: Dziesięć sposobów na uniknięcie problemów z przepisami 349

- Zapewnienie odpowiedniego dostępu roboczego 350
- Zapewnienie odpowiedniej konstrukcji wsporczej 350
- Ochrona budynku przed przenikaniem wody 351
- Dbłość o odpowiednie parametry wszystkich przewodów 351
- Zabezpieczenie przewodów przy modułach 352
- Wybór właściwej rury 353
- Lokalizacja rozłączników 353
- Uziemienie sprzętów 353
- Uziemienie systemu 354
- Odpowiednie oznakowanie systemu 354

Rozdział 19: Dziesięć sposobów na maksymalizację produkcji energii przez systemy Twoich klientów 355

- Wybierz właściwe miejsce 356
- Dobrze zorientuj moduły 356
- Dobrze skonfiguruj moduły 356
- Zmieść się w oknie napięcia AC 357
- Wybierz właściwy inwerter 357
- Dobierz odpowiednią grubość przewodów 358
- Dbaj o niską temperaturę komponentów 358
- Doradź klientowi, by monitorował swój system 359
- Regularnie oczyszczaj moduły 359
- Dokonuj corocznej inspekcji modułów 360