

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

Krótko 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 obsłużone 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

Zacznijmy od podstaw 266

Umieszczenie 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 porażen 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

Umieszczenie 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 białe): 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