



SPIS TREŚCI

1. Moduły fotowoltaiczne	11
1.1. Moduł fotowoltaiczny – definicja i budowa	11
1.2. Podział ogniw i modułów fotowoltaicznych ze względu na materiał półprzewodnikowy	12
1.2.1. Moduły zbudowane z ogniw z krzemu krystalicznego	13
1.2.2. Rozmiar ogniw z krzemu krystalicznego	15
1.2.3. Moduły cienkowarstwowe	16
1.3. Podział modułów PV ze względu na budowę ogniw PV lub modułu PV	17
1.3.1. Cienkowarstwowe hybrydowe moduły fotowoltaiczne	17
1.3.2. Moduły monokrystaliczne z obiema elektrodami z tyłu (all back contact)	19
1.3.3. Moduły monokrystaliczne typu HIT	21
1.3.4. Moduły oparte o ogniwa typu PERC	23
1.3.5. Moduły PV szyba-szyba	24
1.3.6. Moduły PV w technologii SmartWire	25
1.3.7. Moduły PV w technologii ułożenia ogniw na zakładkę	27
1.3.8. Moduły z ogniwami ciętymi na pół	28
1.3.9. Moduły oparte o ogniwa MWT	29
1.3.10. Dwustronne moduły PV	31
1.4. Udział w rynku poszczególnych typów modułów PV	38
1.5. Zestawienie typów i podstawowych parametrów modułów PV	40
1.6. Praktyczne znaczenie liczby busbarów	41
1.7. STC, NOCT – warunki w jakich badane są moduły PV	43
1.8. Charakterystyka prądowo-napięciowa i najważniejsze parametry elektryczne	44
1.9. Zmiana mocy, napięcia oraz prądu wraz ze zmianą warunków słonecznych	48
1.10. Zmiana mocy, napięcia oraz prądu wraz ze zmianą temperatury	49
1.11. Jak poznać moduły wykonane z wysokiej i niskiej jakości ogniw?	54
1.11.1. W oparciu o parametry elektryczne	54
1.11.2. W oparciu o wygląd	56
1.12. Sprawność modułów PV	58
1.13. Znaczenie praktyczne sprawności	62
1.14. Dodatnia tolerancja i jej znaczenie przy wyborze modułu PV	64
1.15. LID i roczna utrata mocy	65
1.15.1. Moduły z dodatkiem galu	66
1.15.2. Początkowy wzrost mocy modułów CIGS	66
1.16. Degradacja folii EVA	67
1.17. Sprawność przy niskim natężeniu promieniowania słonecznego	69
1.18. Certyfikaty i normy	71
1.19. PVT – połączenie modułu PV z kolektorem słonecznym	73

2. Falowniki i optymalizatory mocy	78
2.1. Budowa i podział falowników	78
2.1.1. Podział falowników ze względu na izolację	78
2.1.2. Podział falowników ze względu na typ instalacji	82
2.1.3. Podział falowników ze względu na wielkość	83
2.2. Mikro-, szeregowy czy centralny – jaki falownik wybrać?	86
2.3. MPP tracker – czym jest i jakie spełnia zadania	90
2.4. Zależność sprawności falownika od napięcia i obciążenia	94
2.5. Napięciowy zakres pracy falownika	96
2.6. Sprawność falowników	98
2.7. Mikrofalowniki w instalacji	99
2.7.1. Zalety mikrofalowników	100
2.7.2. Ograniczenia mikrofalowników	102
2.7.3. Mikrofalowniki – kiedy pomyśleć o wyborze	102
2.8. Optymalizatory mocy (power optimizer)	103
2.8.1. Zasada działania	104
2.8.2. Stałe napięcie na module PV i na łąncuchu modułów PV	106
2.8.3. Optymalizacja mocy na poziomie ogniw PV	108
2.8.4. Monitorowanie pracy na poziomie modułu i funkcje bezpieczeństwa	110
2.8.5. Porównanie funkcjonalności optymalizatorów mocy	111
2.9. Porównanie mikrofalowników i optymalizatorów mocy	112
2.10. Monitoring pracy falowników	114
2.11. Wymagania OSD względem konfiguracji falowników	117
2.12. Analiza karty katalogowej	121
3. Dobór i optymalizacja instalacji PV	122
3.1. Pochylenie i azymut instalacji fotowoltaicznej	122
3.2. System nadążny	128
3.3. Odstępy między rzędami	129
3.4. Wskaźnik wykorzystania przestrzeni montażowej	132
3.5. Sposoby łączenia modułów w instalacji	136
3.5.1. Połączenie szeregowe i równoległe modułów PV	136
3.5.2. Niedopasowanie prądowe i napięciowe	138
3.6. Przewody i kable w instalacji PV	139
3.6.1. Wybór rodzaju kabli oraz ich prowadzenie i łączenie	139
3.6.2. Dobór przekroju poprzecznego żył przewodów i kabli w instalacji PV	143
3.6.3. Tabele doboru przekroju poprzecznego kabli i przewodów do instalacji PV	148
3.7. Zabezpieczenia w instalacjach PV	151
3.7.1. Zabezpieczenia nadprądowe strony DC	151

3.7.2. Wyłączniki nadprądowe	155
3.7.3. Wyłącznik różnicowo-prądowy w instalacji PV	156
3.7.4. Ochrona odgromowa i odstęp separacyjny	157
3.7.5. Ochrona przepięciowa	160
3.7.6. Uziemienie i połączenie wyrównawcze	166
3.8. Dopasowanie typu modułów do falownika	168
3.9. Dopasowanie mocy modułów PV do mocy falownika	170
3.10. Obliczenie minimalnego i maksymalnego napięcia łańcucha modułów PV	173
3.11. Wyznaczenie maksymalnego prądu zwarcia łańcucha modułów PV	176
3.12. Obliczenie minimalnej i maksymalnej liczby modułów PV w łańcuchu	176
3.13. Wybór typu instalacji	178
3.14. Licznik w instalacji sieciowej on grid i bilansowanie międzyfazowe	182
3.15. Dobór mocy instalacji sieciowej – on grid	184
3.16. Przykład doboru instalacji sieciowej	187
3.16.1. Dobór mocy w oparciu o zużycie energii	187
3.16.2. Weryfikacja mocy po analizie dostępnej przestrzeni montażowej	188
3.16.3. Dobór mocy falownika do modułów PV	188
3.16.4. Dobór łańcuchów modułów PV do falownika	189
3.16.5. Przewody i zabezpieczenia	193
3.16.6. Schemat instalacji PV oraz plan obwodów	196
3.17. Plan obwodów – string plan	198
3.18. Uruchomienie falownika w instalacji sieciowej	200
3.19. Instalacje wyspowe	201
3.19.1. Bezpośrednie zasilanie urządzeń prądu stałego	201
3.19.2. Zasilanie urządzeń z wykorzystaniem regulatora ładowania	203
3.19.3. Zasilanie urządzeń z wykorzystaniem przetwornicy DC/AC oraz regulatora ładowania	207
3.20. Dobór instalacji wyspowej i hybrydowej do zasilania budynków	211
3.21. Dokumentacja i testy po wykonaniu instalacji	216
3.21.1. Kontrola i podstawowe pomiary i testy	216
3.21.2. Pomiary i analiza charakterystyki prądowo-napięciowej	218
3.21.3. Badanie kamerą termowizyjną modułów fotowoltaicznych	222
3.21.4. Dokumentacja	223
3.21.5. Mierniki do pomiarów instalacji PV	230
3.22. Co należy przewidzieć na etapie budowy domu pod kątem montażu instalacji PV	230
4. Akumulatory energii w systemach PV	232
4.1. Technologie akumulatorów stosowane we współpracy z systemami PV	232
4.2. DOD, SOC i liczba cykli ładowania	232
4.3. Wpływ temperatury na pracę akumulatorów	234
4.4. Współpraca falownika z akumulatorami	235
4.5. Współpraca instalacji PV z pompą ciepła	238
4.6. Zarządzanie energią z instalacji PV i rola inteligentnego licznika	241

5. Konstrukcje wsporcze oraz montaż modułów i falowników	244
5.1. Systemy mocowań na dachach skośnych	244
5.2. Systemy mocowań na dachach płaskich	250
5.3. Rozplanowanie modułów PV i odstępów brzegowe na dachach	252
5.4. Systemy mocowań na gruncie	254
5.5. Montaż modułów do konstrukcji wsporczej	256
5.6. Certyfikaty i normy konstrukcji wsporczych	260
5.7. Montaż falownika	261
6. Problemy projektowe, wykonawcze i eksploatacyjne	262
6.1. Zacienienie na instalacjach PV	262
6.1.1. Rola i znaczenie diod obejściowych	262
6.1.2. Wpływ zacienienia na pracę modułu PV	264
6.1.3. Energetyczne skutki zacieniania	269
6.1.4. Uwzględnianie zacienienia w rozplanowaniu modułów	272
6.1.5. Unikanie przy montażu stref zacienienia	278
6.2. Gorący punkt (hot spot)	282
6.3. Korozja warstwy TCO	284
6.4. Degradacja indukowanym napięciem PID	286
6.5. Prąd upływu	288
6.6. Unikanie pętli indukcyjnej	290
6.7. Zwarcie doziemne generatora PV	292
6.8. Moc czynna, bierna, pozorna – $\cos(\varphi)$, $\tg(\varphi)$ falownika	293
6.9. Wzrost napięcia w miejscu przyłączenia falownika	296
6.10. Możliwości przyłączenia instalacji do sieci	298
6.11. Mycie instalacji PV	299
6.12. Błędy wykonawcze	302
7. Zagadnienia ochrony przeciwpożarowej instalacji PV	310
7.1. Projektowanie instalacji PV w kontekście ochrony przeciwpożarowej	310
7.2. Wykonanie instalacji fotowoltaicznej	313
8. Ekonomia, otoczenie prawne i uzysk energii z instalacji PV	318
8.1. Produkcja energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznej	318
8.1.1. Źródła danych o nasłonecznieniu	318
8.1.2. Uzysk energii z instalacji PV	319
8.2. Jak obliczyć produkcję energii z instalacji?	322
8.3. Składowe kosztów instalacji fotowoltaicznej	326
8.4. Koszty eksploatacyjne	328
8.5. System rozliczenia energii wyprodukowanej przez instalację PV	328
8.6. Wymóg umowy kompleksowej dla prosumenta	330
8.7. Bilansowanie międzyfazowe a ekonomika falowników jednofazowych	331
8.8. Prosty okres zwrotu mikroinstalacji	332
8. Wydarzenia branżowe	334