

7. Przykład

W rozdziale pokazano przykłady doboru instalacji współpracującej z siecią (on-grid) oraz instalacji wyspowej (off-grid). Oprócz doboru samych komponentów, należy przeprowadzić wizję lokalną na miejscu montażu w celu zweryfikowania możliwości zamontowania zamierzonej liczby modułów.

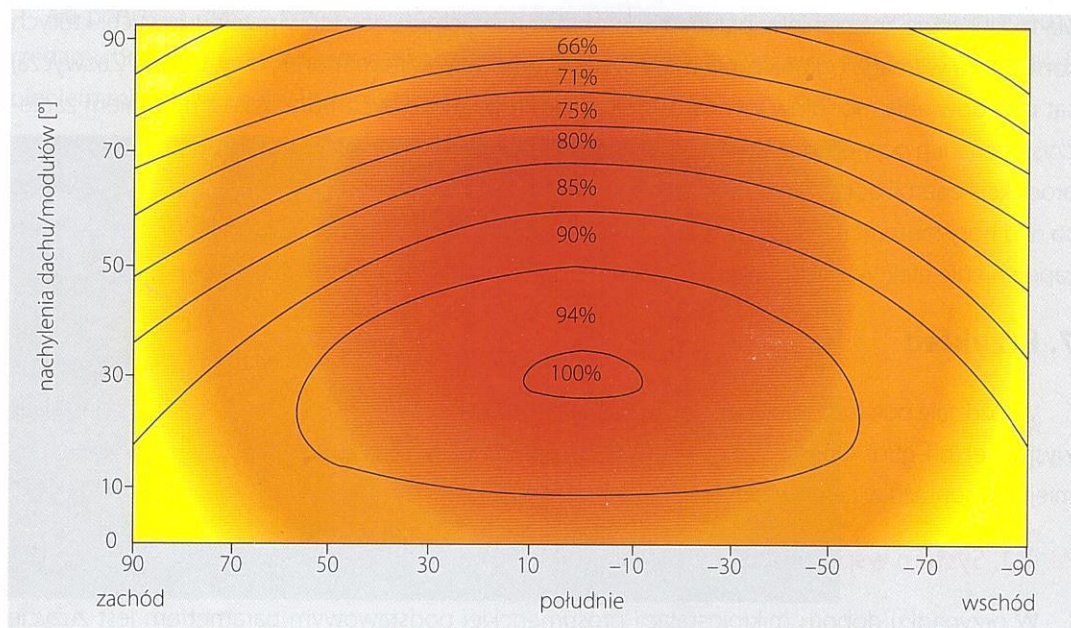
7.1. System współpracujący z siecią (on-grid).

W przypadku doboru mikroinstalacji prosumenckiej podstawowym parametrem jest zużycie energii przez dany budynek. Zgodnie z obowiązującym prawem takie instalacje mogą produkować energię tylko na potrzeby własne. Dlatego podczas projektowania systemu należy dobrać ją tak, aby w skali roku wytworzona przez nią energia była w całości skonsumowana przez użytkowników domu. Przy projektowaniu należy też wziąć pod uwagę współczynniki net-meteringu, czyli możliwości oddawania energii do sieci (80% dla instalacji do 10 kW, 70% dla instalacji powyżej 10 kW, ale nie większych niż 50 kW).

Dane dotyczące energii konsumowanej przez inwestora można uzyskać z rachunku. Taką możliwość dają również portale internetowe zakładów energetycznych, gdzie Inwestor po zalogowaniu na swoje konto ma wgląd do najważniejszych odczytów. Warto wziąć pod uwagę ostatnie 2–3 lata i przeanalizować, czy zużycie energii będzie podobne. Jeśli nie, to należy jak najdokładniej oszacować planowane zużycie energii i uwzględnić je w projekcie. Trzeba także przemyśleć, czy w najbliższym czasie liczba mieszkańców będzie taka sama, czy planujemy zakup dodatkowych urządzeń elektrycznych lub zmianę systemu grzewczego na pompę ciepła albo rozbudowę firmy.

W przypadku nowo powstałych domów lub braku danych dotyczących zużycia energii, można skorzystać z analiz lub kalkulatorów, które oszacują zużycie w danym obiekcie.

Po określeniu wartości zużycia można przejść do wyliczenia mocy instalacji fotowoltaicznej. W tym przykładzie przyjęto zużycie energii na poziomie 4000 kWh/rok. Uwzględniono, że w Polsce z 1 kWp można uzyskać około 1000 kWh/rok. Należy ułożyć proporcję i wyliczyć moc instalacji fotowoltaicznej. Trzeba pamiętać, że jeśli dach budynku nie jest skierowany na południe oraz ma kąt nachylenia inny niż 30°, należy odpowiednio zwiększyć liczbę modułów fotowoltaicznych. W tym celu można posłużyć się poniższym schematem lub wykorzystać jedną z aplikacji internetowych (na przykład wspomnianą *Global Solar Atlas*).



Rys. 84. Wpływ kąta nachylenia dachu i azymutu na wydajność systemu fotowoltaicznego (na podstawie materiałów Viessmann)

W omawianym przykładzie przyjęto dach nachylony pod kątem 30°, ale odchylony od południa o 30° na zachód. Skutkuje to zmniejszeniem uzysków do 94% uzysków maksymalnych, czyli z 1 kWp zostanie uzyskanych 940 kWh/rok i taka wartość będzie uwzględniona w obliczeniach.

Następnie należy założyć, ile energii z systemu fotowoltaicznego będzie zużywane bezpośrednio – najczęściej jest to około 30%. Oznacza to, że 70% energii wyprodukowanej z fotowoltaiki zostanie oddane do sieci, a zgodnie z obowiązującą ustawą o OZE, z tych 70% energii będzie można odebrać 80% (instalacja do 10 kW). Wynika z tego, że będzie konieczność zwiększenia instalacji o straty, jakie wiążą się z net-meteringiem. W omawianym przypadku wynoszą one 20% z 70% oddanej energii, co w skali całej instalacji daje 14%. Dlatego moc instalacji musi zostać zwiększona o 14%, czyli dzielimy przez współczynnik 0,86.

Dla omawianego przypadku zapotrzebowanie na moc instalacji wyniesie:

$$P = 4000 / (940 \cdot 0,86) = 4,948 \text{ kWp}$$

Dzięki tym obliczeniom otrzymuje się moc instalacji fotowoltaicznej, jaka jest w stanie pokryć całkowite zapotrzebowanie na energię elektryczną danego budynku.

Kolejnym krokiem jest obliczenie liczby modułów fotowoltaicznych, które wyprodukują tę moc. Tutaj potrzebna jest karta katalogowa danego produktu.

Przykładowa karta została przedstawiona na stronie obok.

Nominalna moc P_{mpp}	330 W
Napięcie robocze U_{mop}	33,98 V
Natężenie robocze I_{mpp}	9,71 A
Napięcie jałowe U_{oc}	40,66 V
Prąd zwarcia I_{sc}	10,20 A
Sprawność	>19,6 %
Wymiary	1685 mm x 1000 mm x 32 mm
Waga	18,7 kg
współczynniki temperaturowe:	wydajność γ – 0,37 %/K napięcie β – 0,163 V/K prąd zwarcia α + 0,04 %/K

Znając moc pojedynczego modułu, można obliczyć, ile sztuk modułów będzie potrzebne. W omawianym przypadku wyniesie to:

$n = 4948 \text{ Wp} / 330 \text{ Wp} = 14,99$, czyli po zaokrągleniu przyjmujemy 15 modułów fotowoltaicznych o mocy 330 Wp.

Moc instalacji wynika ze wzoru:

$$P_{PV} = P_{mpp} \cdot n = 330 \text{ Wp} \cdot 15 = 4950 \text{ Wp} = 4,95 \text{ kWp}, \text{ gdzie:}$$

P_{PV} – maksymalna moc instalacji (w warunkach STC),

P_{mpp} – maksymalna moc pojedynczego modułu (w warunkach STC),

n – liczba wszystkich modułów w instalacji.

Kolejnym krokiem jest dobranie falownika. Zwraca się przy tym uwagę na moc znamionową oraz moc maksymalną. Ze względu na to, że moc modułów fotowoltaicznych podawana jest w warunkach STC, które praktycznie nigdy nie są uzyskiwane w rzeczywistości, dobierając moc falownika do mocy generatora, można ją zmniejszyć. Najczęściej przyjmuje się moc falownika w zakresie 85–100% mocy modułów fotowoltaicznych. Wartość tę należy zweryfikować z kartą katalogową falownika.

Zatem w omawianym przypadku szukamy falownika o parametrach:

$$P_{INV} \Rightarrow \text{od } 85\% \cdot P_{PV} \text{ do } 100\% \cdot P_{PV} \Rightarrow \text{od } 85\% \cdot 4950 \text{ W do } 100\% \cdot 4950 \text{ W} \Rightarrow \text{od } 4207 \text{ W do } 4950 \text{ W},$$

gdzie:

P_{INV} – zakres mocy falownika,

P_{PV} – moc instalacji.

Należy wybrać falownik o następujących parametrach:

Parametry techniczne	
	Dane wejściowe po stronie DC
Maksymalny prąd wejściowy [A]	16,0
Minimalne napięcie wejściowe [V]	150
Maksymalne napięcie wejściowe [V]	1000
Zakres napięcia MPPT [V]	150–800
Liczba trackerów	2
Liczba przyłączy prądu stałego DC	2+2
	Dane wyjściowe po stronie AC
Moc znamionowa AC [W]	4500
Prąd wyjściowy AC [A]	6,5
Częstotliwość [Hz]	50/60
Współczynnik zniekształceń [%]	<3
	Dane ogólne
Wymiary: wysokość x szerokość x głębokość [mm]	645 x 431 x 204
Masa [kg]	19,90
Maksymalna sprawność [%]	98

Kolejnym krokiem jest sprawdzenie, czy moduły fotowoltaiczne połączone w szereg będą współdziałały z dobranym falownikiem pod względem parametrów prądowo-napięciowych.

W tym celu należy sprawdzić, czy parametry podłączonych modułów fotowoltaicznych odpowiadają parametrom falownika, opisanym jako MPPT (*Maximum Power Point Tracker*). Jeśli zostaną prawidłowo dobrane, instalacja będzie produkowała maksymalną ilość energii. W omawianym przypadku ten zakres, odczytany z karty katalogowej, wynosi 150–800V. W związku z tym, że napięcie i prąd modułu zmieniają się wraz z temperaturą, należy zweryfikować, jak zachowa się instalacja w skrajnych warunkach pogodowych, czyli zimą przy temperaturze ogniwa -25°C oraz latem przy 75°C . Zimą napięcie wzrasta, dlatego należy tutaj uwzględnić zarówno napięcie układu otwartego – czy nie przekroczy 1000 V podczas uruchamiania się systemu, a także napięcie MPP – ze względu

na pracę systemu. Natomiast dla okresu letniego należy sprawdzić, czy napięcie MPP szeregu modułów nie spadnie poniżej napięcia MPPT falownika.

Uwaga! Ze względu na to, że w obliczeniach występuje różnica temperatur, nie ma znaczenia czy wartości będą podane w stopniach Celsjusza czy w Kelwinach.

Zima (-25°C na ogniwie PV)

$$U_{OC-25^{\circ}\text{C}} = n \cdot (U_{OC} + \Delta T \cdot b) = 15 \cdot (40,66 + (-50^{\circ}\text{C}) \cdot (-0,163 \frac{\text{V}}{\text{K}})) = 732,15 \text{ V, gdzie:}$$

$U_{OC-25^{\circ}\text{C}}$ – napięcie obwodu otwartego łańcucha modułów dla -25°C ,

n – liczba wszystkich modułów w instalacji,

U_{OC} – napięcie obwodu otwartego dla STC,

ΔT – różnica temperatury względem STC (25°C), czyli $-25^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C} = -50^{\circ}\text{C}$,

β – współczynnik temperaturowy dla napięcia.

$$U_{MPP-25^{\circ}\text{C}} = n \cdot (U_{MPP} + \Delta T \cdot b) = 15 \cdot (33,98 + (-50^{\circ}\text{C}) \cdot (-0,163 \frac{\text{V}}{\text{K}})) = 631,95 \text{ V, gdzie:}$$

$U_{MPP-25^{\circ}\text{C}}$ – napięcie MPP łańcucha modułów dla -25°C ,

U_{MPP} – napięcie MPP modułu dla STC,

ΔT – różnica temperatury względem STC (25°C), czyli $-25^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C} = -50^{\circ}\text{C}$,

TU – współczynnik temperaturowy napięcia.

Lato (75°C na ogniwie PV)

$$U_{MPP+75^{\circ}\text{C}} = n \cdot (U_{MPP} + \Delta T \cdot b) = 15 \cdot (33,98 + (45^{\circ}\text{C}) \cdot (-0,163 \frac{\text{V}}{\text{K}})) = 387,45 \text{ V, gdzie:}$$

$U_{MPP+75^{\circ}\text{C}}$ – napięcie MPP łańcucha modułów dla 75°C ,

U_{MPP} – napięcie MPP modułu dla STC,

ΔT – różnica temperatury względem STC (25°C), czyli $75^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C} = 50^{\circ}\text{C}$,

β – współczynnik temperaturowy dla napięcia.

W omawianym przykładzie:

$$U_{OC-25^{\circ}\text{C}} = 732,15 \text{ V} < 1000 \text{ V,}$$

$$U_{MPP-25^{\circ}\text{C}} = 631,95 \text{ V mieści się w zakresie MPPT } 150\text{--}800 \text{ V,}$$

$$U_{MPP+75^{\circ}\text{C}} = 387,45 \text{ mieści się w zakresie MPPT } 150\text{--}800 \text{ V.}$$

Uwaga! Jeśli okaże się, że napięcia są za wysokie, należy wówczas rozdzielić instalowane moduły na dwa łańcuchy. Natomiast jeśli napięcia są za małe, należy dodać kolejny moduł fotowoltaiczny do łańcucha.

Trzeba również skontrolować, czy natężenie prądu modułów fotowoltaicznych nie przekracza możliwości falownika. W tym celu wystarczy porównać prąd zwarcia tylko jednego modułu – są one łączone szeregowo.

$$I_{DCmax} > I_{sc}$$

$$16 \text{ A} > 10,20 \text{ A}$$

Aby projekt był najwyższej jakości, należy także pamiętać o wybraniu przewodów o właściwych przekrojach (rozdział 2.3.5. *Przewody i złącza elektryczne*), zapewnieniu odpowiedniej ochrony odgromowej (rozdział 2.4. *Ochrona odgromowa*) oraz dobraniu zabezpieczeń (rozdział 2.3.3. *Zabezpieczenia*).

Dobierając elementy instalacji w ten sposób mamy pewność, że instalacja będzie pracowała prawidłowo w skrajnych warunkach pogodowych przez cały rok.