

SYSTEMY ENERGETYKI ODNAWIALNEJ

W3: FOTOWOLTAIKA - FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

Prowadzący:

dr inż. Marcin Michalski

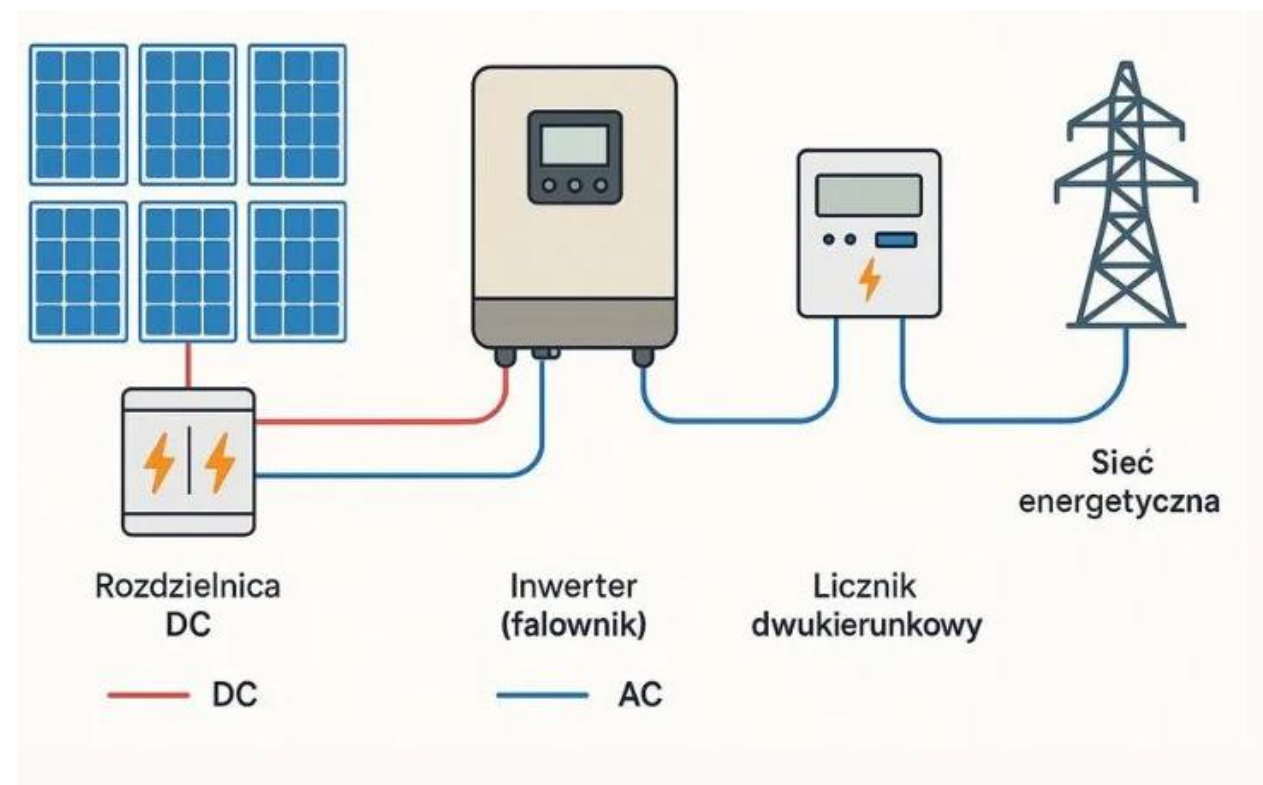
mgr inż. Sebastian Majerski

FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

Falownik fotowoltaiczny to elektroniczny przetwornik mocy, który **przekształca prąd stały (DC)** wytwarzany przez moduły fotowoltaiczne na **prąd zmienny (AC)** o parametrach zgodnych z siecią energetyczną OSD (230 V / 400 V, 50 Hz w Polsce) lub instalacją elektryczną odbiorczą.

Dlaczego jest niezbędny?

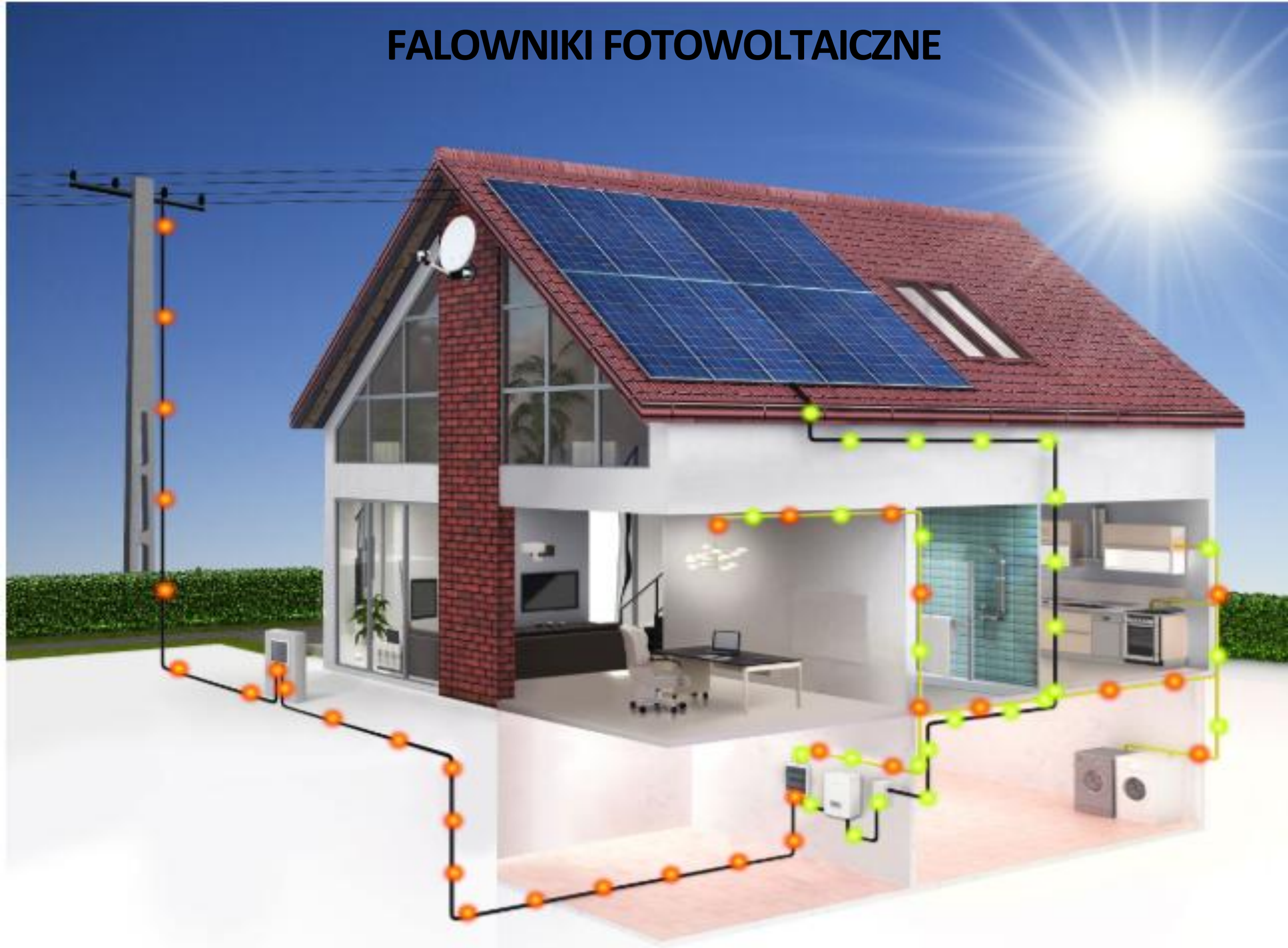
Moduły fotowoltaiczne generują wyłącznie prąd stały (DC). Sieć energetyczna oraz większość urządzeń wymagają prądu przemiennego (AC). Bez urządzenia sterującego lub falownika energia z modułów fotowoltaicznych nie może być wykorzystywana optymalnie modułów PV.



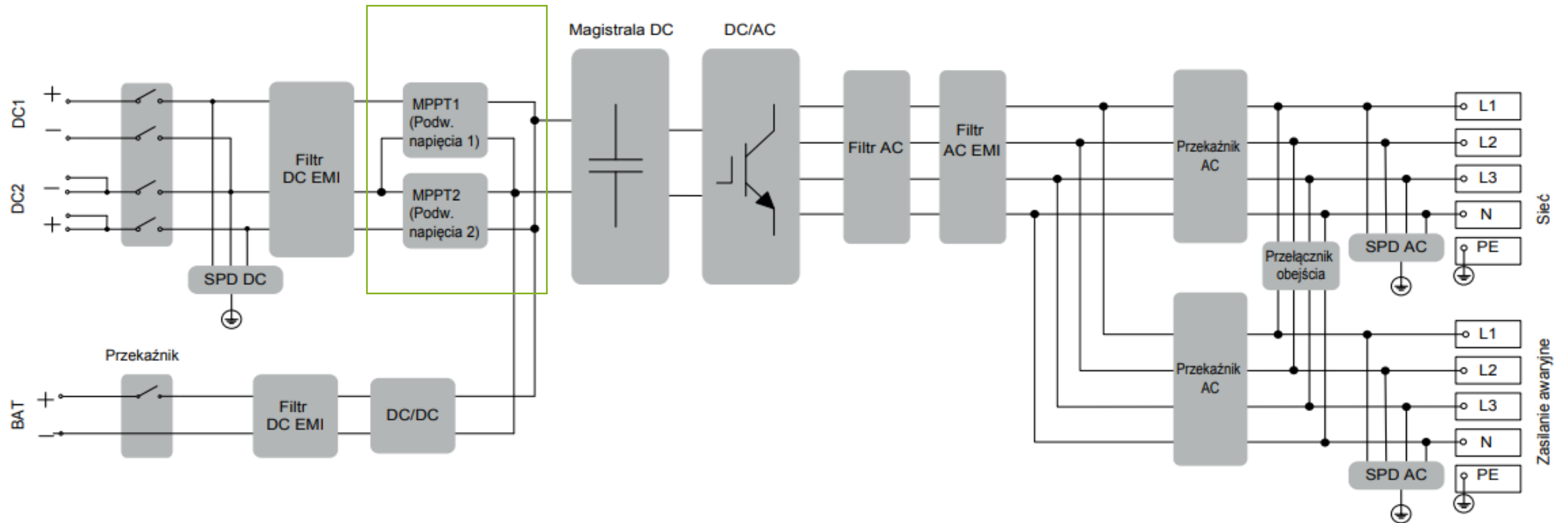
Jakie dodatkowe funkcje realizuje falownik?

- Optymalizuje pracę modułów PV dzięki układom **MPPT** (Maximum Power Point Tracking) – wyszukuje najlepszy punkt mocy w zmiennych warunkach oświetleniowych.
- Monitoruje i zabezpiecza instalację (automatycznie odłącza się przy awarii sieci – zabezpieczenie wyspowe – obowiązkowe w Polsce).
- Umożliwia monitorowanie produkcji energii (przez aplikację, Wi-Fi, portal producenta).
- W instalacjach hybrydowych z magazynami energii zarządza ładowaniem / rozładowywaniem akumulatorów.

FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

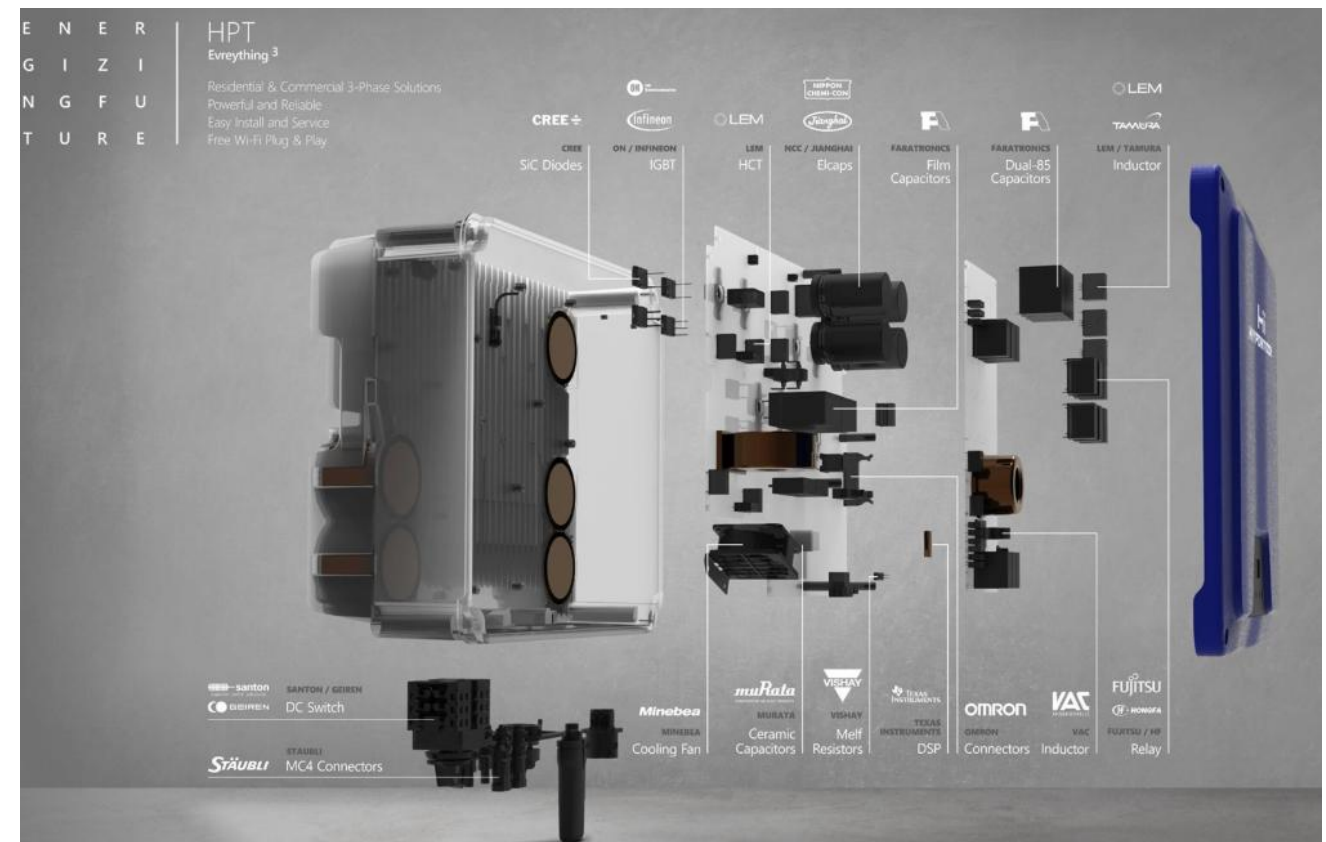


FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE



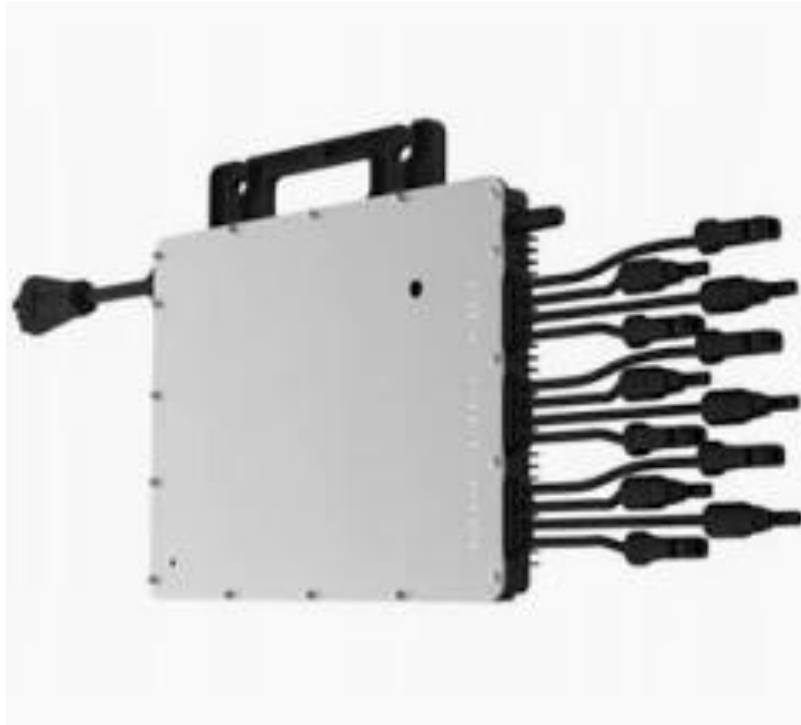
FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

- **Kontroler** - algorytmy zaimplementowane w kontrolerze są odpowiedzialne za **przełączenia tranzystorów**, zapewniają **śledzenie maksymalnego punktu mocy (MPPT)**, mierzą wartości wyjściowe i wejściowe oraz są odpowiedzialne za komunikację z użytkownikiem.
- **Mostek mocy** - umieszczony przeważnie na bipolarnych tranzystorach MOSFET (BJT) albo bipolarnych tranzystorach z izolowaną bramką (IGBT), które pracują w trybie przewodzenia lub w trybie zaporowym. Stany przełączane są przy dużych częstotliwościach, **aby uzyskać na wyjściu przebieg zbliżony do sinusoidy**.
- **Filtr** – usuwa/wygładza przebiegi związane z przełączaniem stanów.



FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

Rodzaje falowników fotowoltaicznych – kryterium wielkości



Mikrofalownik

- Obsługują od 1 do kilku modułów
 - Zazwyczaj są 1-fazowe
- Montaż do ramy modułu lub profilu montażowego



Falownik szeregowy

- Najpopularniejsze rozwiązanie
- Obsługuje od kilku do nawet kilkuset modułów
 - Łatwy dostęp do urządzenia
 - 1-fazowe i 3-fazowe



Falownik centralny

- Stosowany na dużych instalacjach fotowoltaicznych

FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

Rodzaje falowników – kryterium budowy wewnętrznej



Transformatorowe

- Ciężkie i masywne (transformator)
- Mogą mieć uziemioną tablicę inwertera (moduły cienkowarstwowe – uziemienie bieguna „-”)
- Stosowane zazwyczaj do modułów cienkowarstwowych
- Mniejsza sprawność



Beztransformatorowe

- Małe i lekkie
- Wyższa sprawność w szerokim zakresie pracy
- Nie mogą mieć uziemionej tablicy inwertera (bieguna ujemnego)
- Najpowszechniejszy typ inwertera

FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

Rodzaje falowników – kryterium zastosowania w instalacjach



Sieciowe

- synchronizują się z siecią i mogą oddawać energię do sieci
- nie ładują akumulatorów
- wyłączają się w przypadku braku zasilania z sieci (zabezpieczenie przed pracą wyspową)



Wyspowe

- nie synchronizują się z siecią przez co nie mogą oddawać energii do sieci
- mogą ładować akumulatory i kontrolują ich pracę



Hybrydowe

- łączą w sobie zalety falowników sieciowych i wyspowych
- domyślnie praca w trybie on-grid
- w razie konieczności przejście w tryb pracy wyspowej

Typy systemów i instalacji fotowoltaicznych

Typy instalacji



Instalacja wyspowa (off grid)

energia elektryczna z paneli fotowoltaicznych w postaci prądu stałego jest zamieniana przez inwerter na prąd zmienny o odpowiednich parametrach i następnie wykorzystywana na potrzeby pracy urządzeń domowych. Nadwyżki energii poprzez regulator wykorzystywane są do ładowania akumulatorów w celu późniejszego wykorzystania zgromadzonej energii.

Dobór wielkości instalacji zależy od

- Zapotrzebowania na energię
- Rozkładu zapotrzebowania na energię
- Zazwyczaj potrzebny jest alternatywny system zasilania

Typy systemów i instalacji fotowoltaicznych

Typy instalacji



Instalacja podłączona do sieci (on grid)

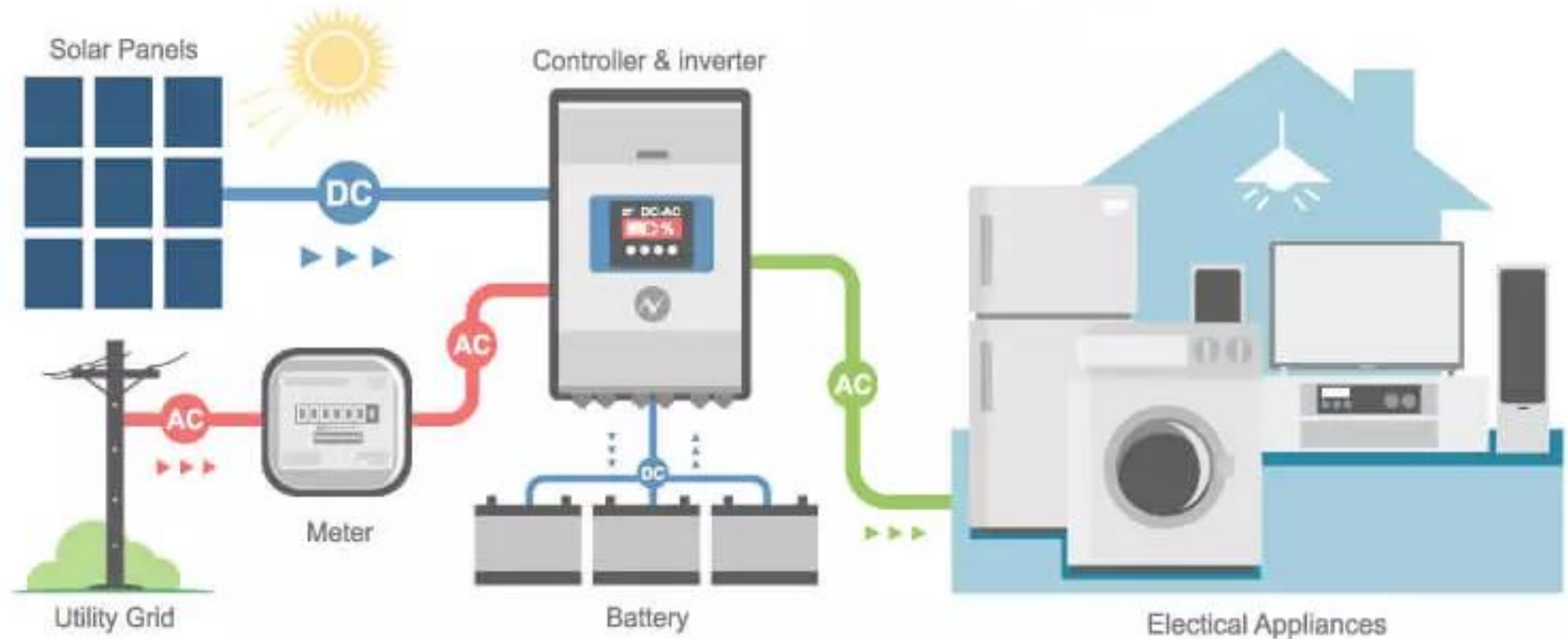
energia elektryczna z paneli fotowoltaicznych w postaci prądu stałego jest zamieniana przez inwerter na prąd zmienny o odpowiednich parametrach i następnie wykorzystywana na potrzeby pracy urządzeń domowych. Nadwyżki energii sprzedawane są do sieci energetycznej.

Dobór wielkości instalacji zależy od

- Powierzchni pod instalację
- Wybranej technologii baterii słonecznych
- Możliwości finansowych inwestora

Typy systemów i instalacji fotowoltaicznych

Typy instalacji



Dobór wielkości instalacji zależy od

- Dostępnej powierzchni pod moduły
- Zapotrzebowania na energię elektryczną budynku
- Rodzaju urządzeń odbiorczych
- Możliwości finansowych inwestora

Instalacja fotowoltaiczna hybrydowa

energia elektryczna z modułów fotowoltaicznych przetwarzana jest przez falownik hybrydowy i kierowana jest na zasilanie odbiorników budynku, nadwyżka trafia do magazynu energii, nadmiar energii trafia do sieci, przy braku zasilania falownik hybrydowy przechodzi w tryb zasilania awaryjnego na wybrane odbiory w budynku

FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

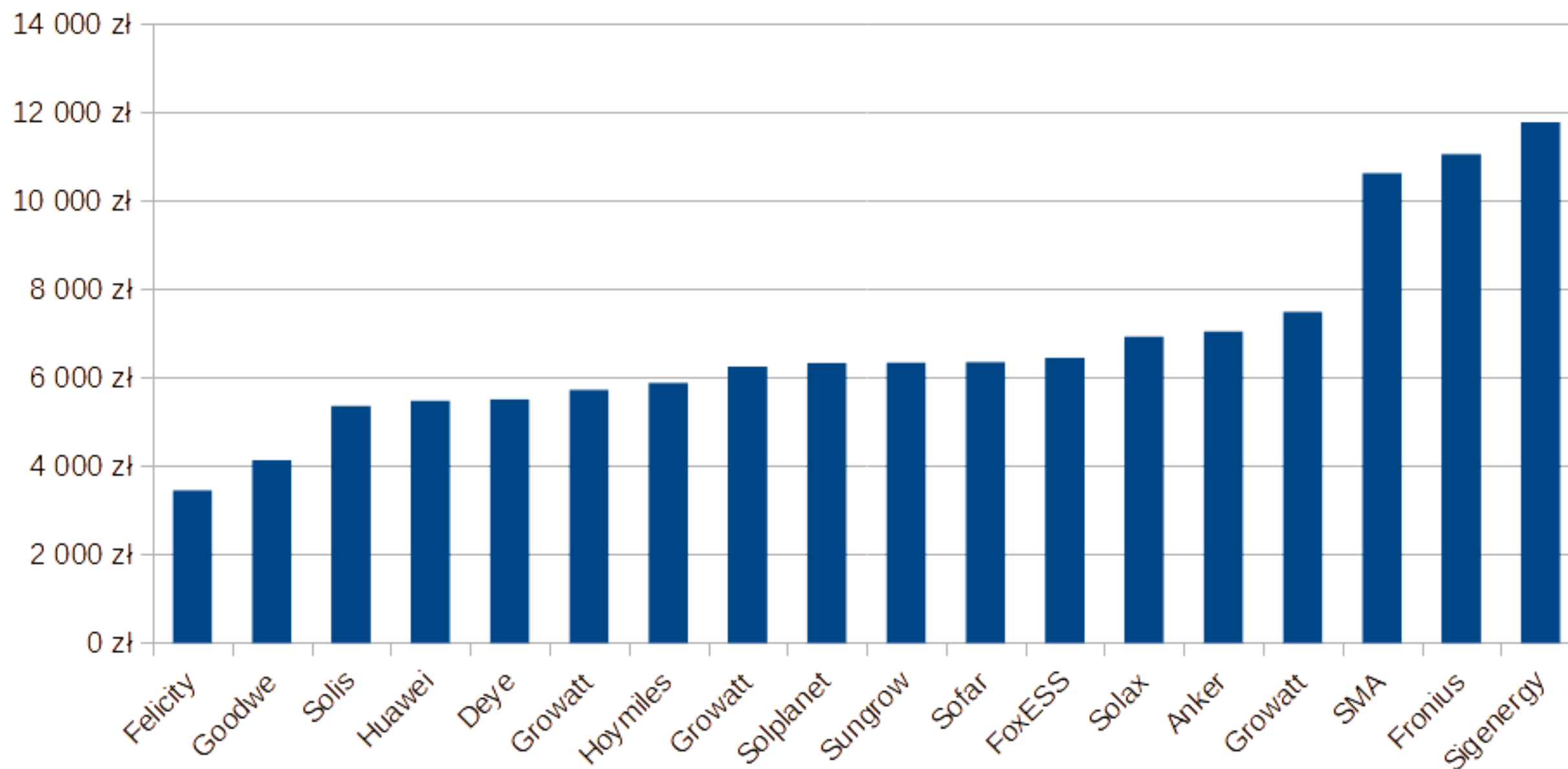
Porównanie kosztów falowników

PODUCENT	MODEL	SPRAWNOŚĆ EUROPEJSKA	GWARANCJA	ZASILANIE AWARYJNE	CENA
<u>Deye</u>	SUN-10K-SG01HP3-EU	97,0%	5 lat	tak	5.950 zł
Felicity	T-REX-10KHP3G01	97,0%	5 lat		3.450 zł
FoxESS	H3-10.0-E	97,3%	10 lat		6.500 zł
<u>Fronius</u>	SYMO GEN24 10.0 PLUS	97,9%	10 lat	tak	10.400 zł
<u>GoodWe</u>	GW10KN-ET	97,5%	5 lat	tak, zintegrowany SZR	4.150 zł
Growatt	SPH 10000TL3 BH-UP	97,5%	10 lat	tak	6.250 zł
Growatt	MOD 10KTL3-XH				6.950 zł
Growatt	WIT 10 kW-X-HU				7.000 zł
<u>Huawei</u>	SUN2000-10KTL-M1	98,1%	10 lat	na osobnym obwodzie, brak ładowania baterii	5.450 zł
<u>Sigenergy</u>	Sigenstor	98,0%	10 lat	tak	9.150 zł
<u>SMA</u>	Sunny Tripower 10.0 Smart Energy	97,5%	10 lat	tak	10.550 zł
<u>Sofar Solar</u>	HYD 10KTL	97,7%	5 lat	tak	6.400 zł
SolaX	X3-Hybrid-10.0-D	97,7%	10 lat		7.350 zł
<u>Solis</u>	S6-EH3P10K-H-EU	97,5%	10 lat	tak	5.200 zł
Solplanet	ASW10kH-T2-3p	97,9%			6.300 zł
<u>Sungrow</u>	SH10RT	97,9%	10 lat	tak, <20 ms	6.250 zł

FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

Porównanie kosztów falowników

Ceny falowników hybrydowych 10 kW w maju 2026 r.



Źródło: <https://akademia-fotowoltaiki.pl/falowniki/>

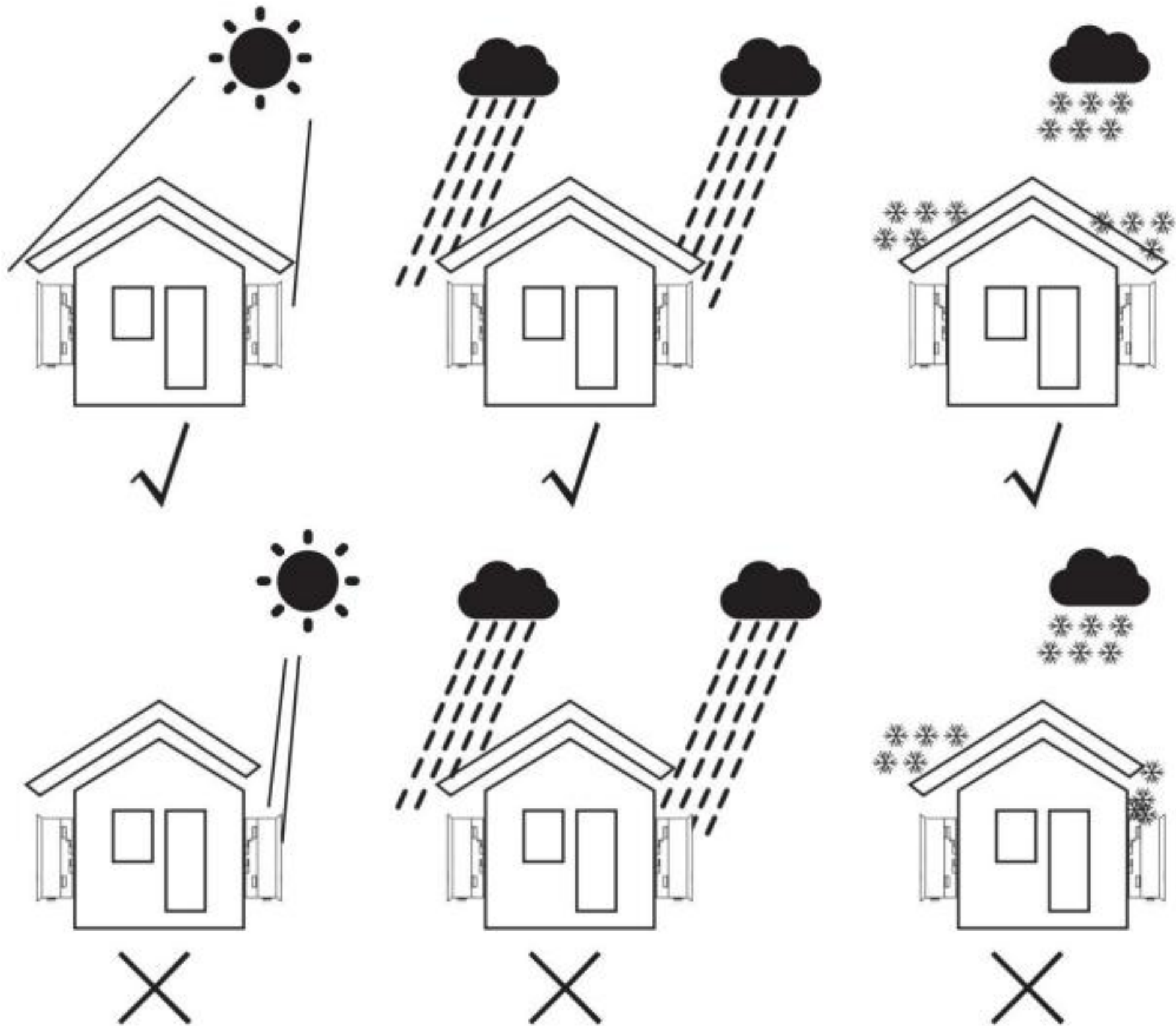
FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

Lokalizacja falownika

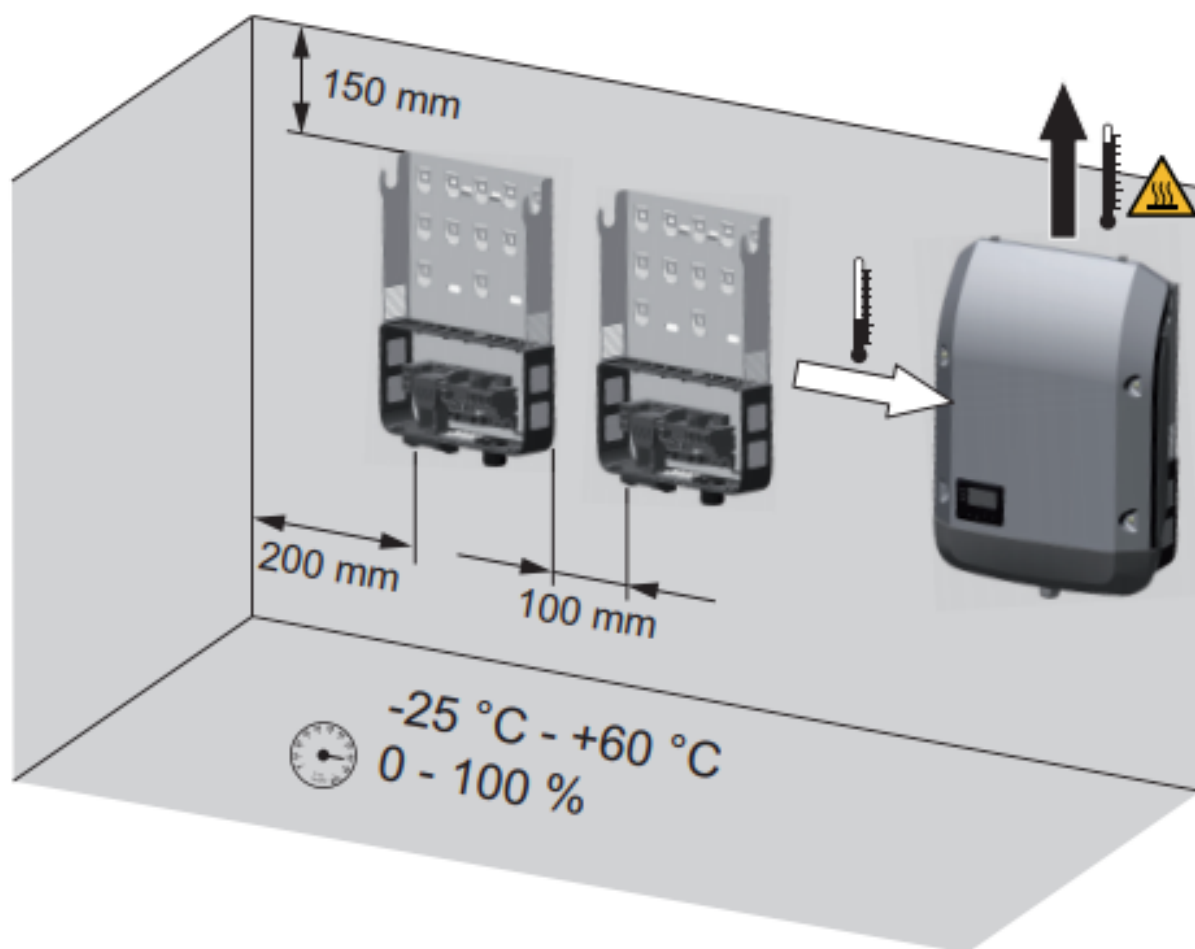
Falownik powinien być umieszczony:

- W miejscu osłoniętym od słońca (brak bezpośredniego padania promieni słonecznych)
- W odpowiedniej odległości od ścian, sufitu i podłogi
- W miejscu, które posiada stabilną temperaturę i odpowiednią cyrkulację powietrza
- W miejscu, w którym nie występują substancje niebezpieczne (np. gazy żrące)
- W miejscu łatwo dostępnym (przegląd, serwis)

FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE



Instalacja wyłącznie na stałym podłożu.



Maks. temperatury otoczenia:
-25°C / +60°C

Wilgotność względna powietrza:
0–100%

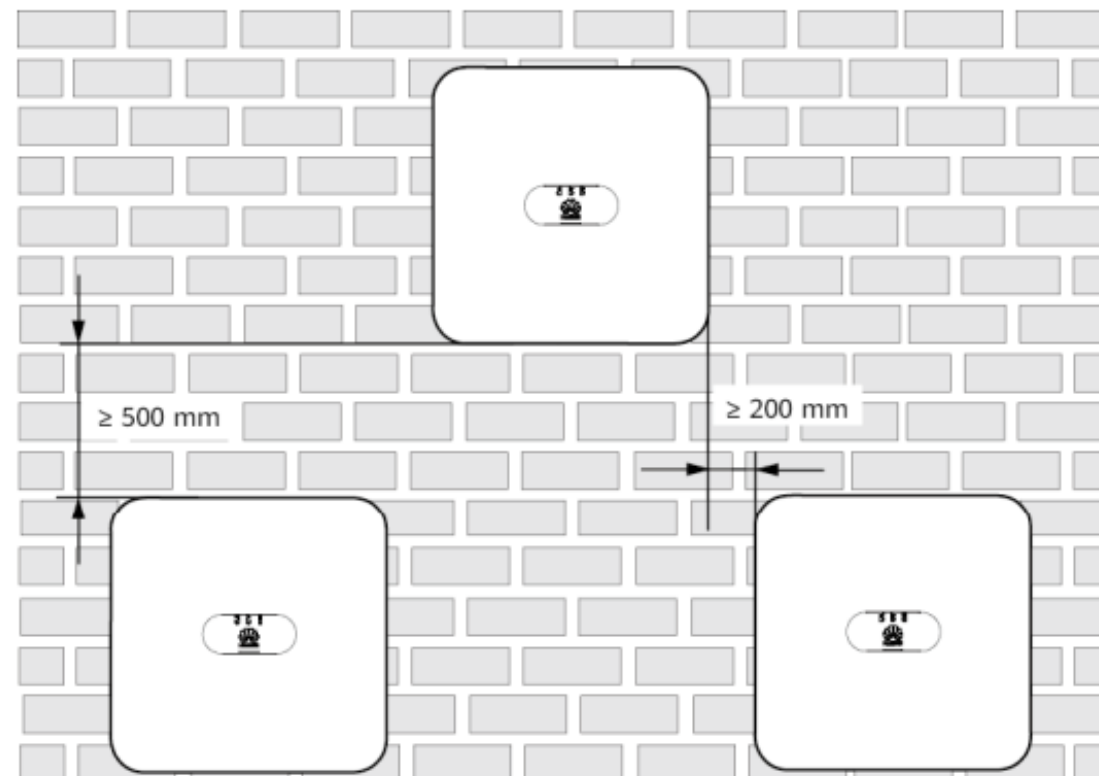
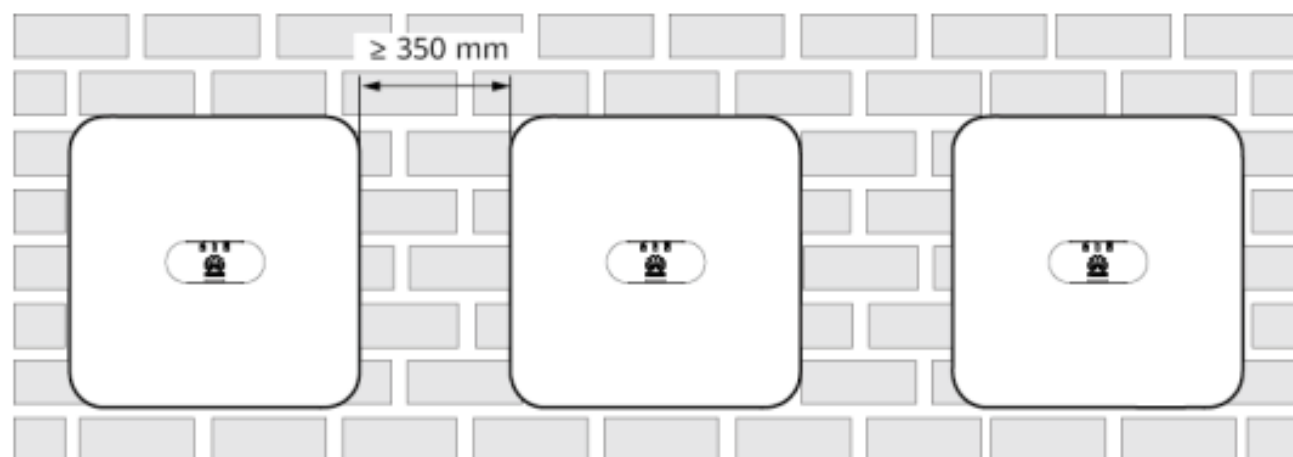
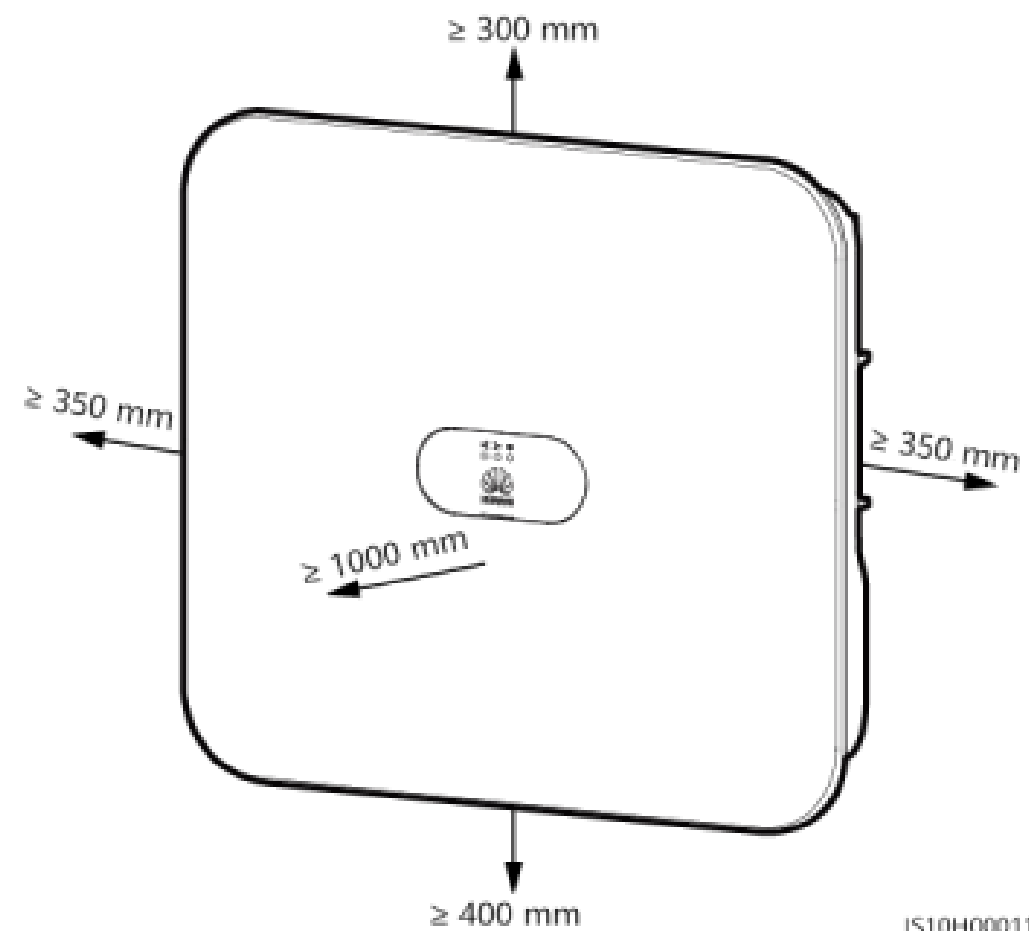
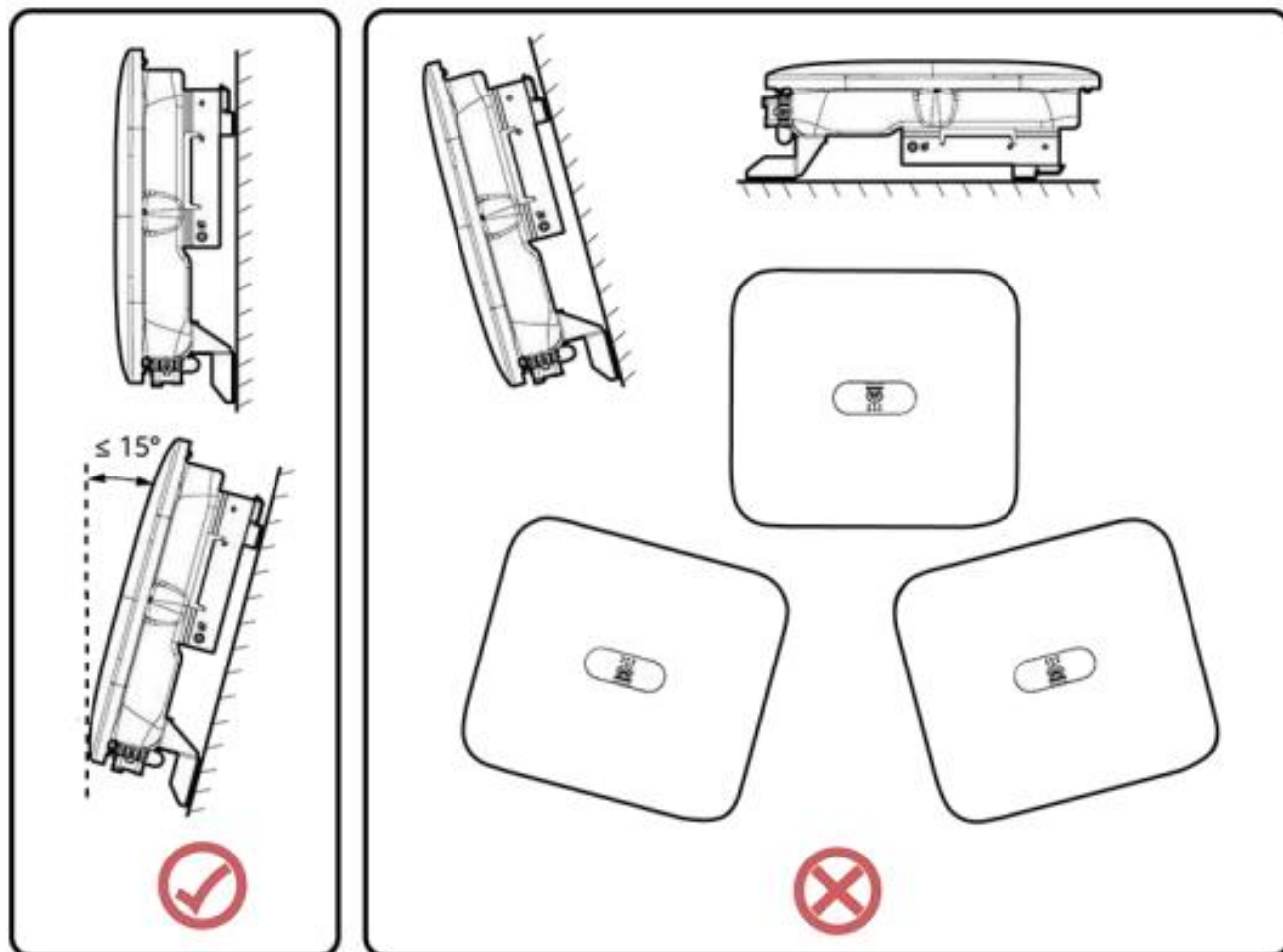
Powietrze chłodzące falownik przepływa od lewej strony do góry (dopływ chłodnego powietrza z lewej strony, odprowadzanie ciepłego powietrza do góry). Powietrze odlotowe może osiągać temperaturę 70°C.

W przypadku montażu falownika w szafie sterowniczej lub podobnych przestrzeniach zamkniętych, należy zadbać o odpowiednie odprowadzanie ciepła przez wentylację wymuszoną.

Jeżeli falownik ma być zamontowany na ścianie zewnętrznej obory, należy zachować odstęp między falownikiem a otworami wentylacyjnymi i konstrukcyjnymi budynku, wynoszący co najmniej 2 m we wszystkich kierunkach.

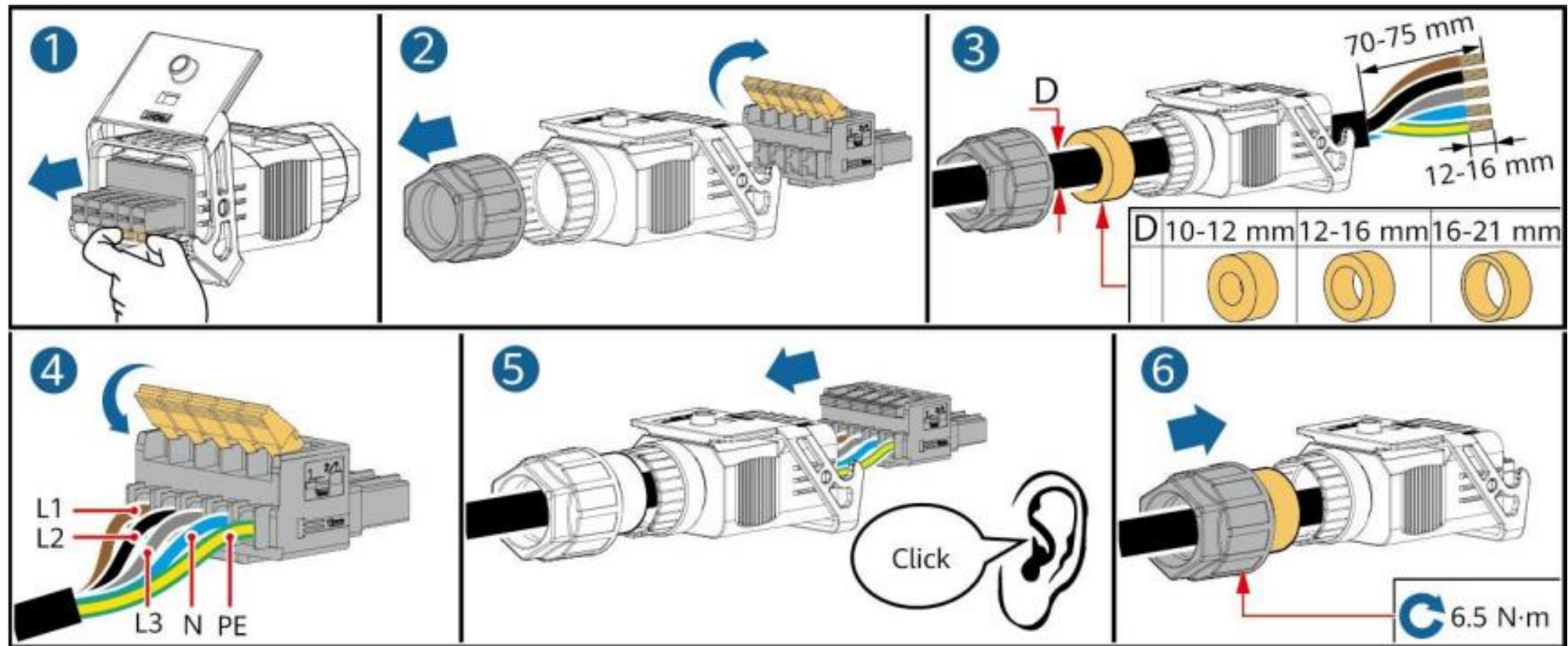
W miejscu montażu nie mogą występować dodatkowe obciążenia wywołane przez amoniak, żrące pary, sole lub kwasy.

FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

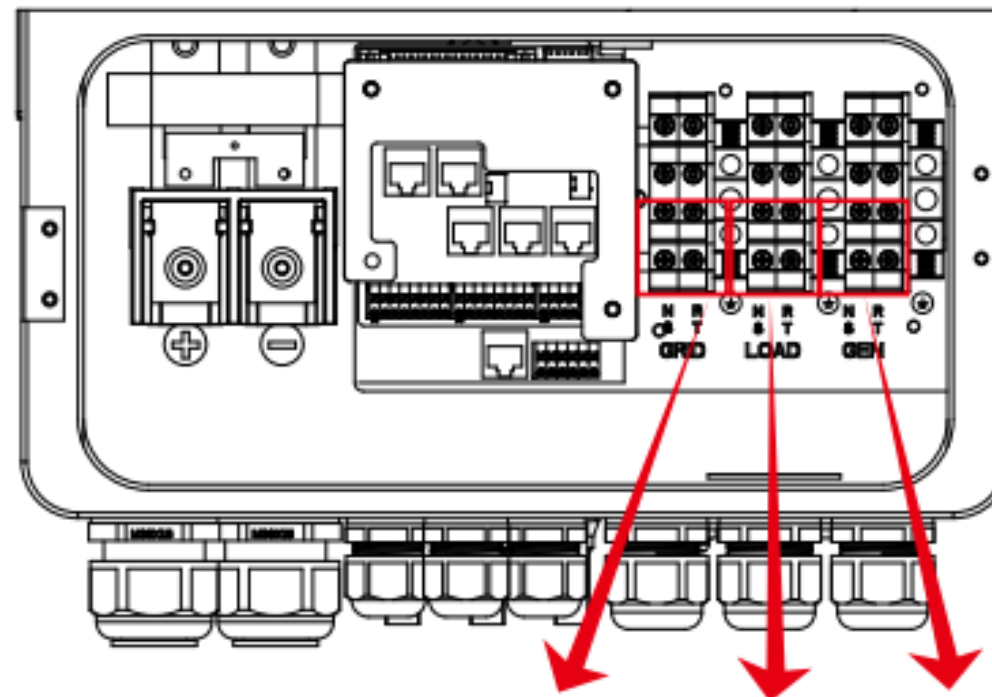


FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

WTYCZKI

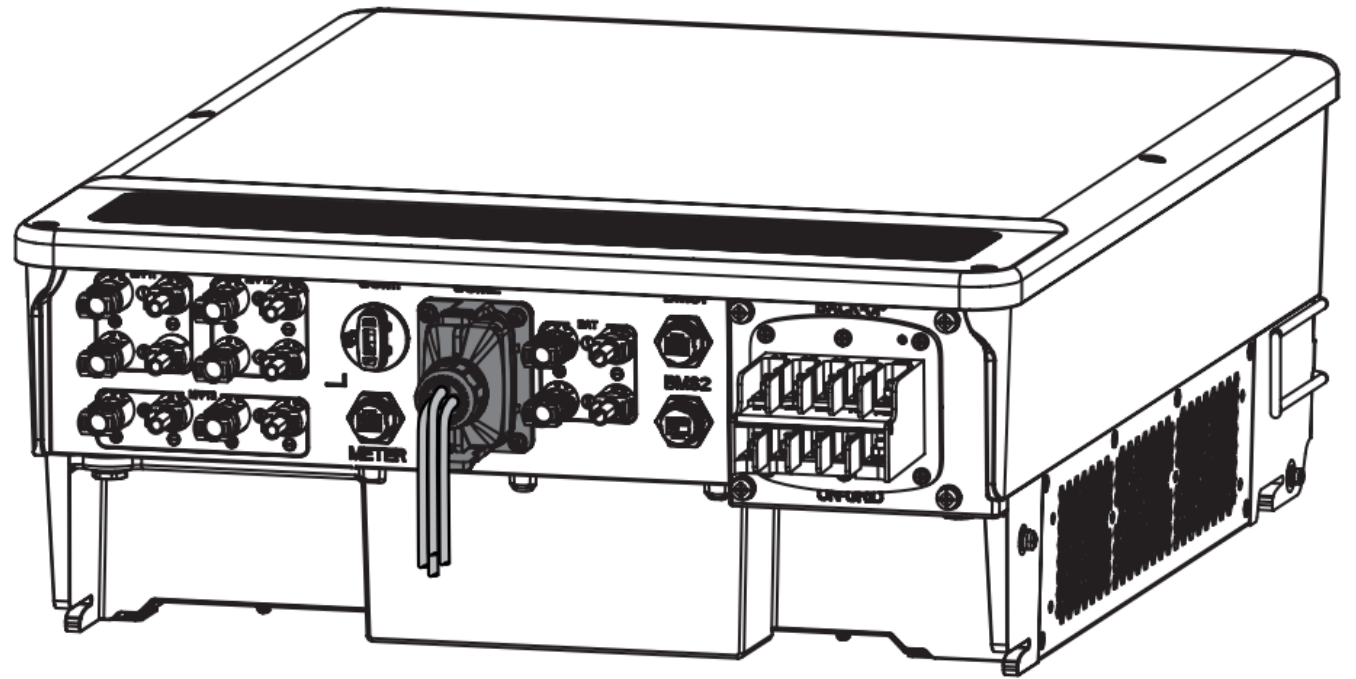
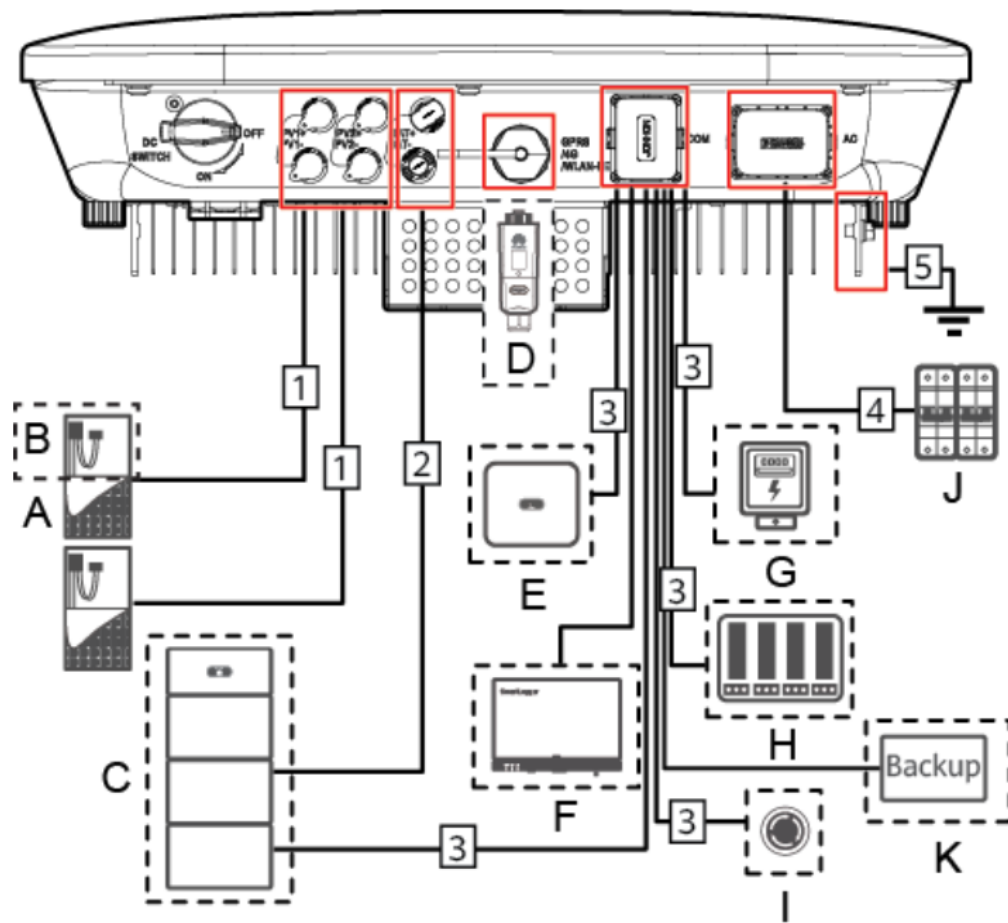
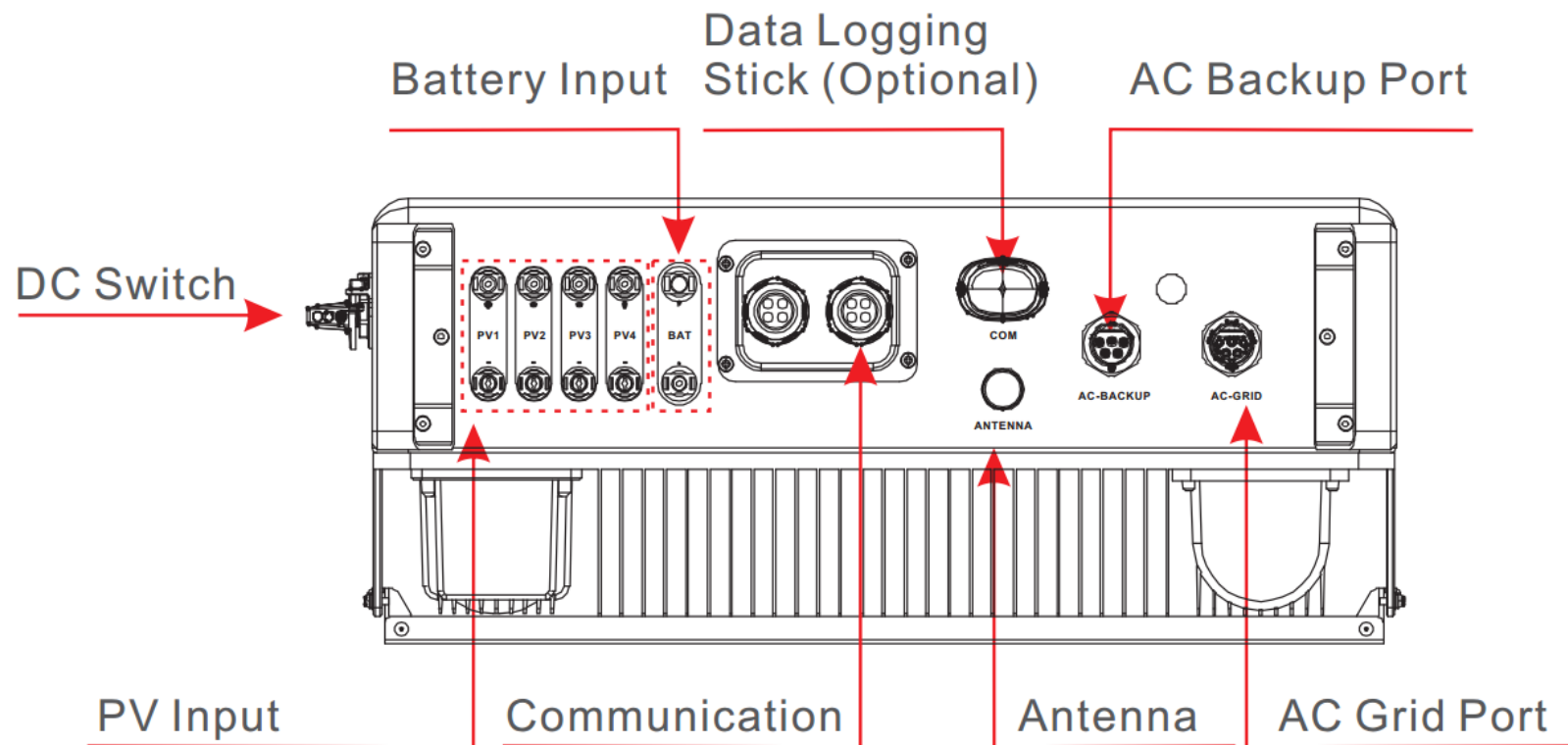


ZACISKI WEWNĄTRZ
FALOWNIKA



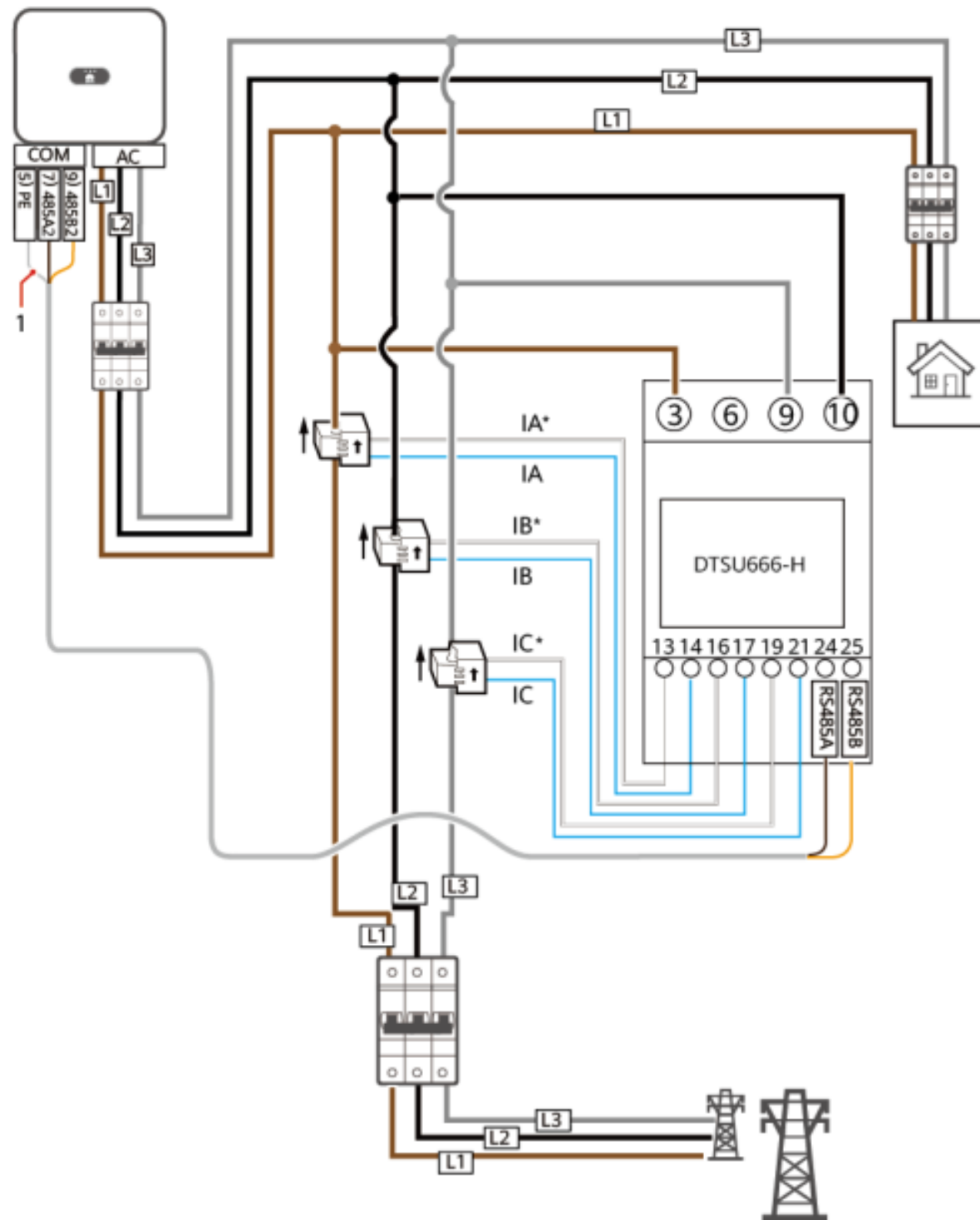
SIEĆ Obciążenia GEN

FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE



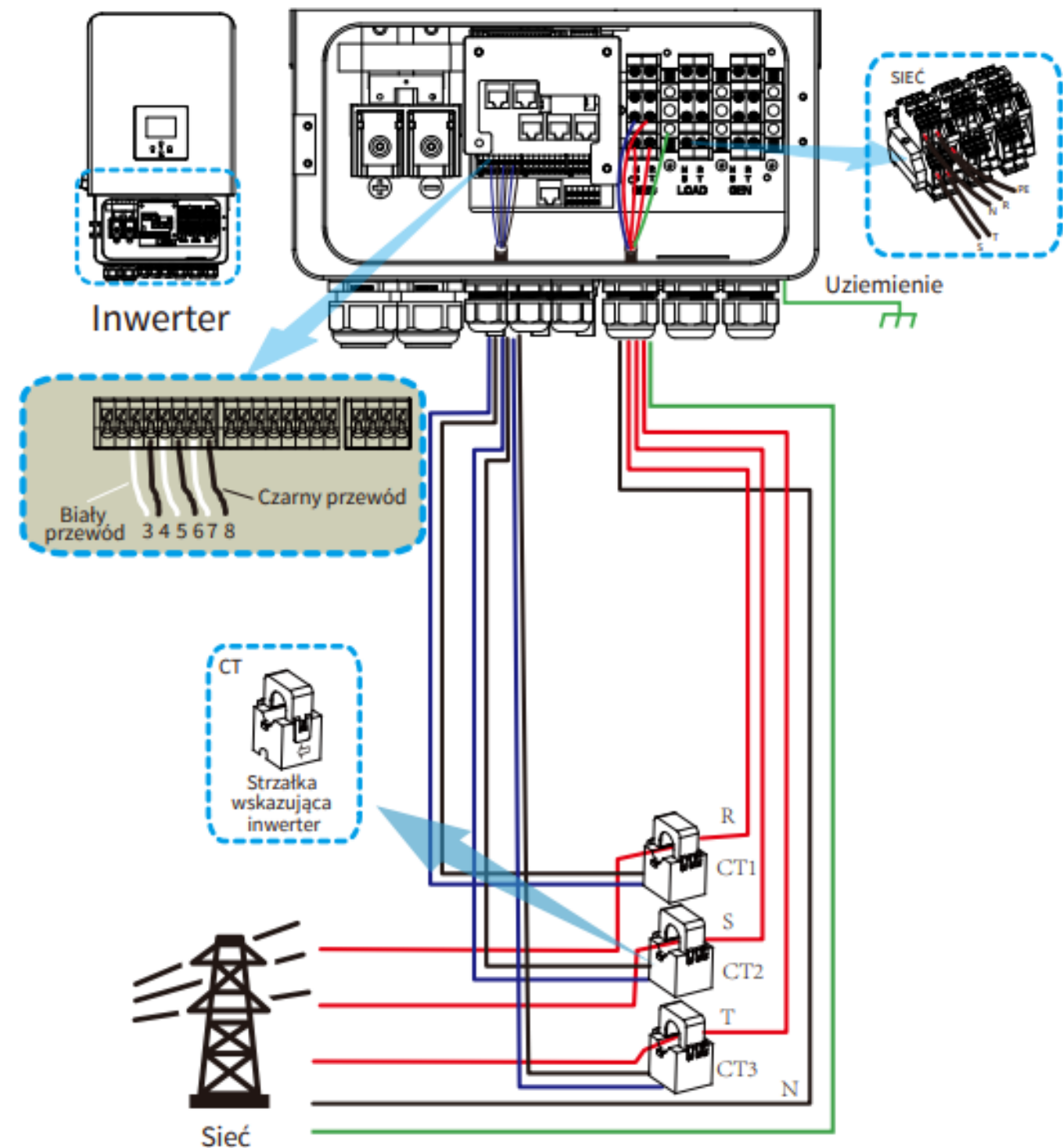
FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

LICZNIK



IH05N00005

PRZEKŁADNIKI

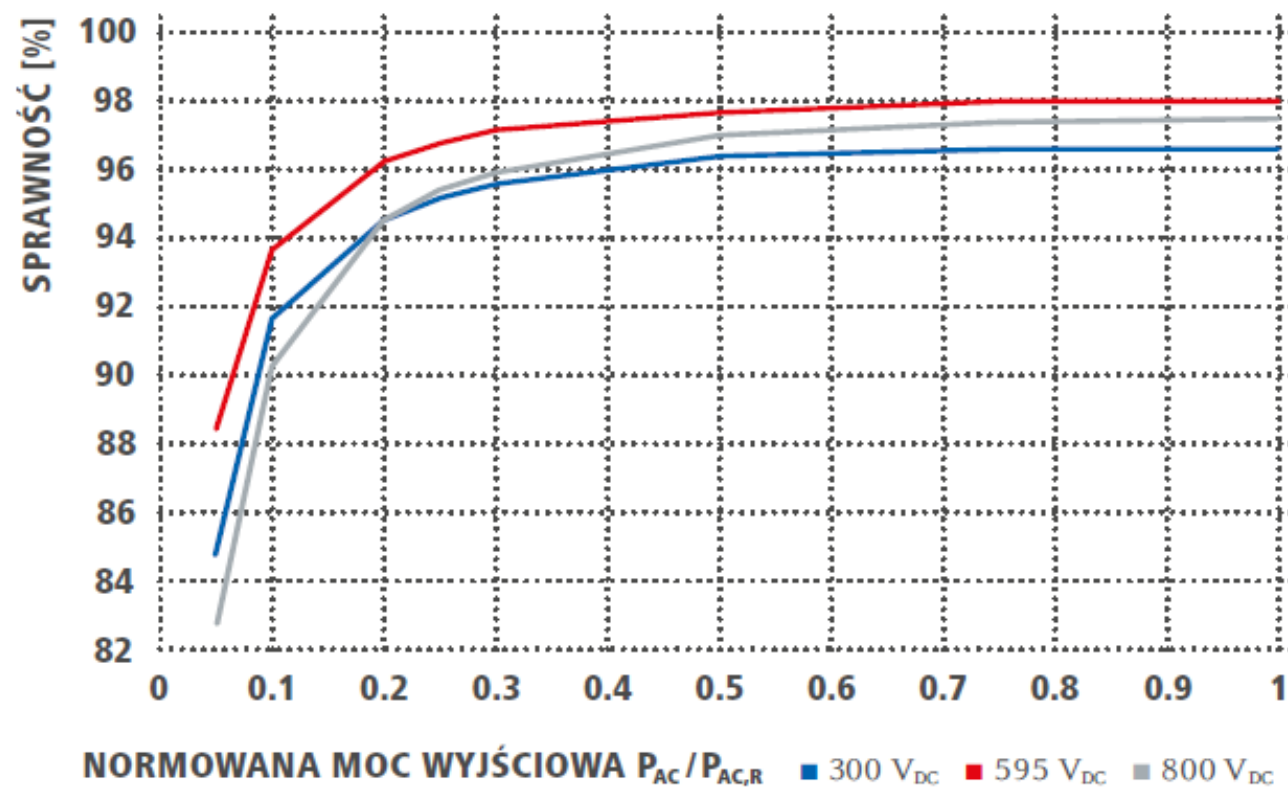


FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

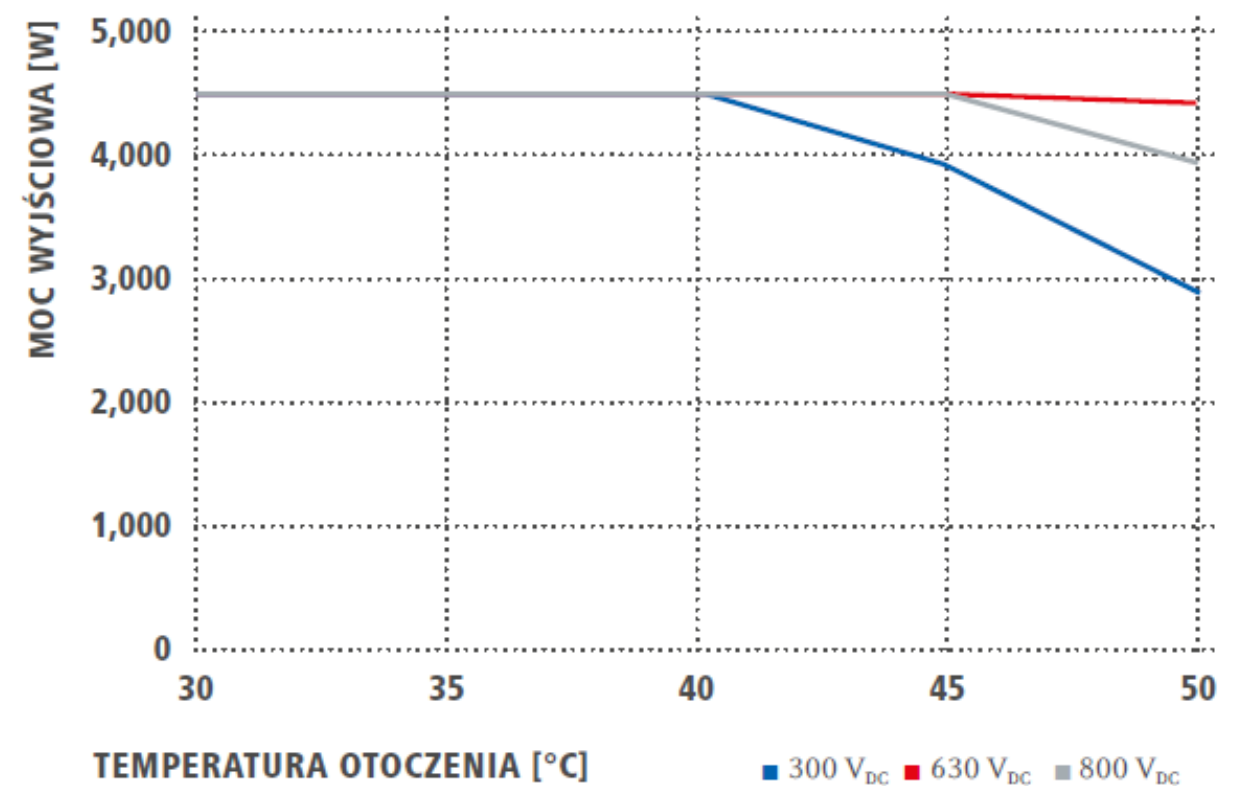
Charakterystyka pracy falownika

Wpływ mocy wejściowej i temperatury

WSPÓŁCZYNNIK SPRAWNOŚCI FRONIUS SYMO 4.5-3-S



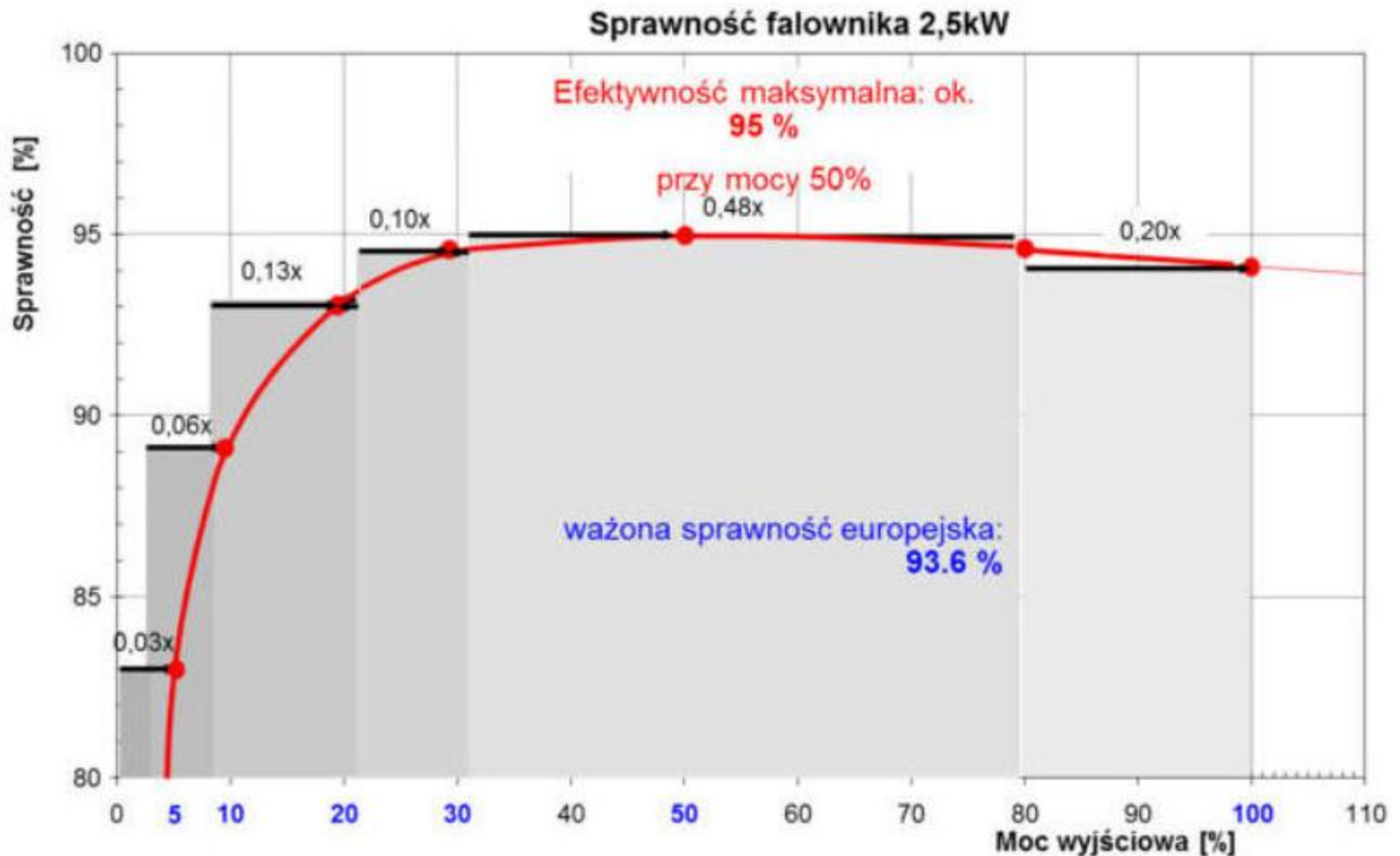
REDUKCJA MOCY WYJŚCIOWEJ W FUNKCJI TEMP. FRONIUS SYMO 4.5-3-S



FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

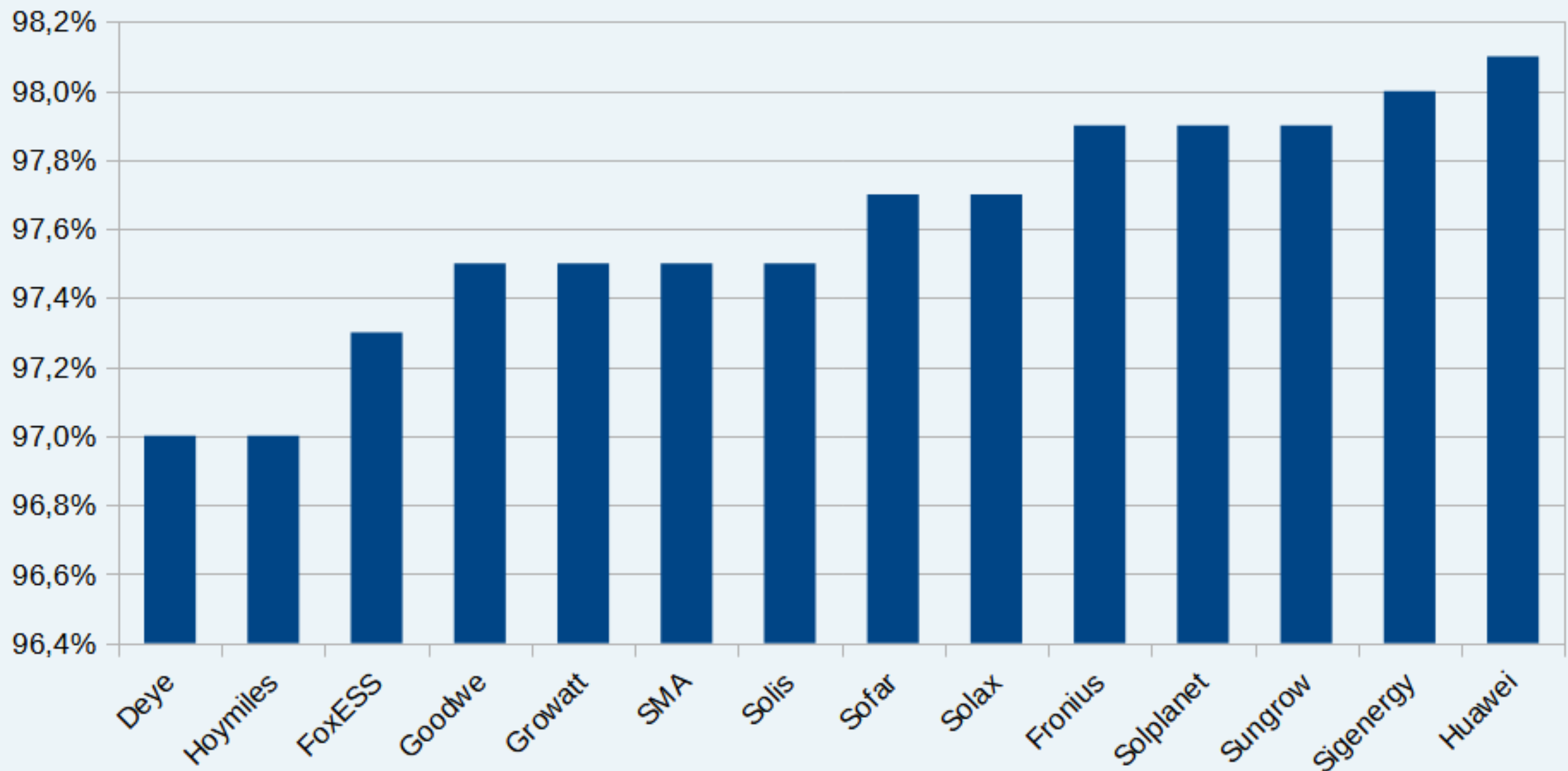
Sprawność falownika

- ważona (Europejska)
- sprawność maksymalna



FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

Falowniki hybrydowe i ich sprawność europejska



Źródło: <https://akademia-fotowoltaiki.pl/falowniki/>

FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

Dobór mocy falownika (przewymiarowanie)

Podczas doboru mocy falownika należy:

- uwzględnić moc zainstalowaną (sumaryczną moc modułów PV)
- dobrać moc falownika w taki sposób, aby moc zainstalowana była o kilka do kilkunastu procent wyższa od mocy falownika
- w przypadku instalacji wschód-zachód przewymiarowanie może być większe (w zależności od kąta montażu)

Przykład:

Moc zainstalowana: 5,1 kWp (17 modułów 300Wp)

Moc falownika: 4,5 kW

$$SM = 5,1 \text{ kWp} / 4,5 \text{ kW}$$

$$SM = 11,33\%$$

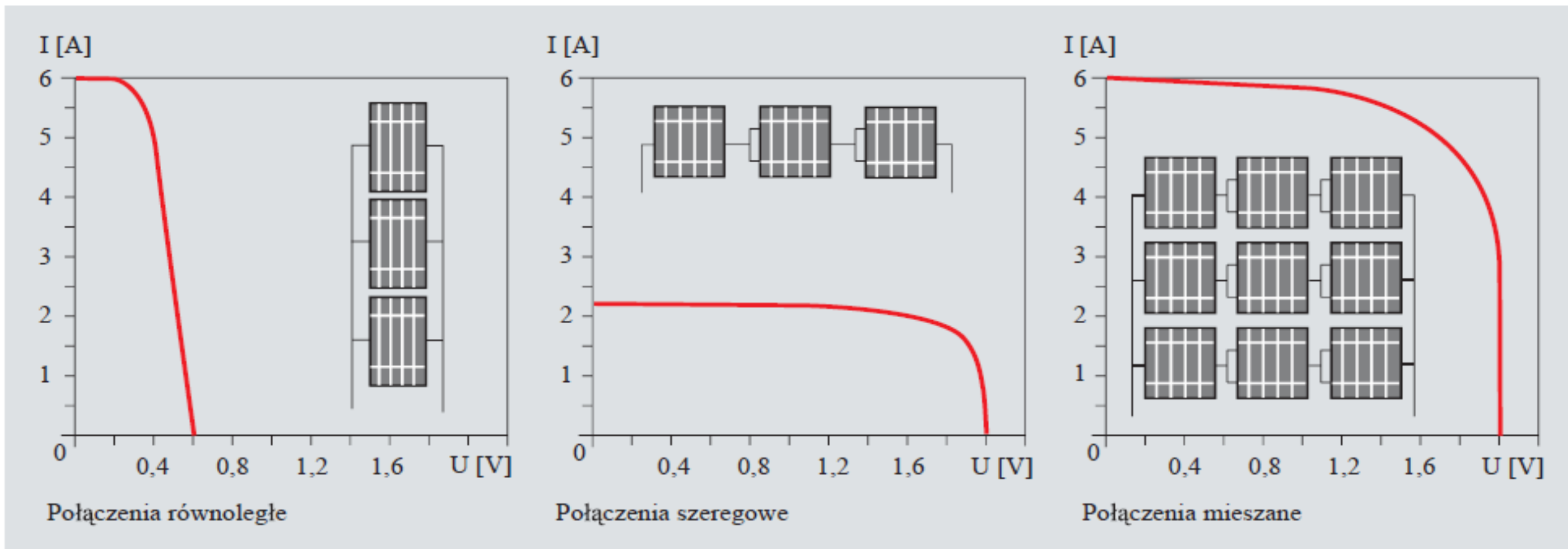
FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

Podłączenie łańcuchów do falownika

- Konfiguracja podłączenia zależy od ilości MPPT w falowniku oraz od ilości łańcuchów.
- Na jeden MPPT przypada od jednego (w mikroinstalacjach) do kilku łańcuchów (zależy od modelu).
- Należy zwracać uwagę na maksymalny prąd wejściowy na MPPT (szczególnie w przypadku najmniejszych falowników)
- W przypadku podłączenia >1 łańcucha na jedno wejście MPPT wszystkie łańcuchy muszą składać się z jednakowej ilości modułów

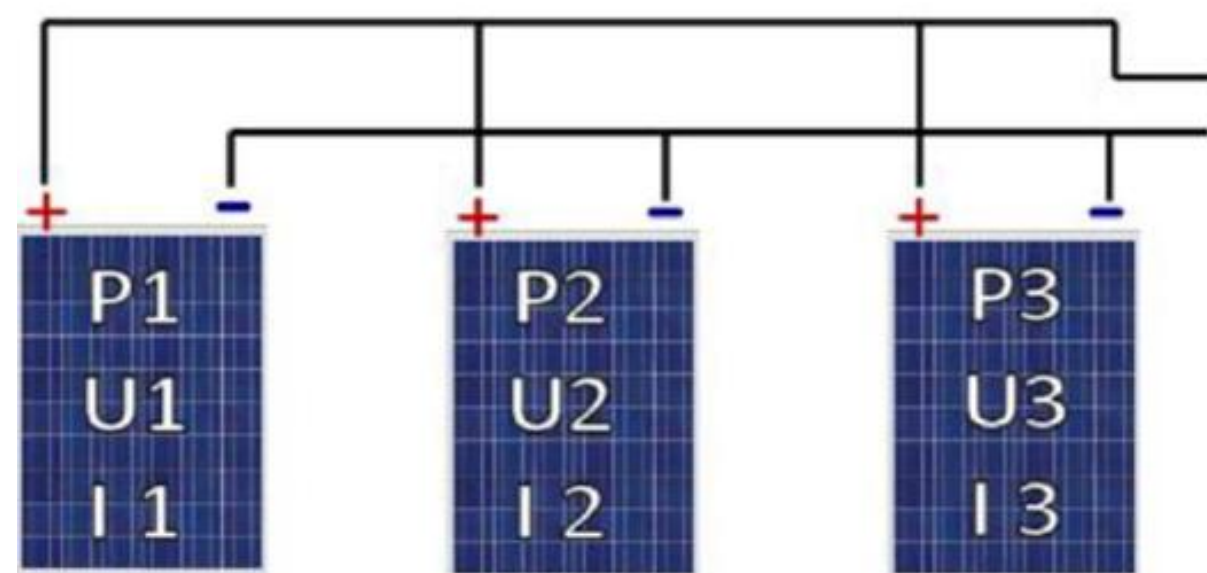
Połączenie równoległe realizowane jest przez:

- Złącze równoległe DC w najmniejszych instalacjach (tylko do 2 łańcuchów na MPPT)
- Skrzynkę połączeniową lub bezpośrednie doprowadzenie łańcuchów do falownika



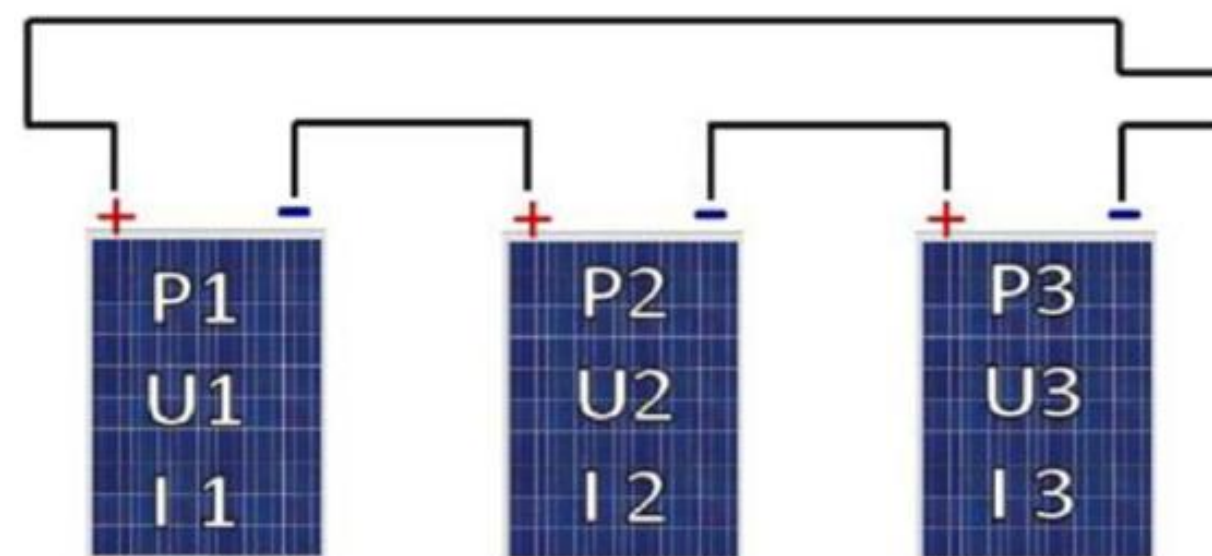
Sposoby łączenia ogniw PV

RÓWNOLEGŁE



Moc instalacji $P = P_1 + P_2 + P_3$
 Natężenie prądu instalacji $I = I_1 + I_2 + I_3$
 Napięcie instalacji $U = U_1 = U_2 = U_3$

SZEREGOWE



Moc instalacji $P = P_1 + P_2 + P_3$
 Napięcie instalacji $U = U_1 + U_2 + U_3$
 Natężenie prądu instalacji $I = I_1 = I_2 = I_3$

FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

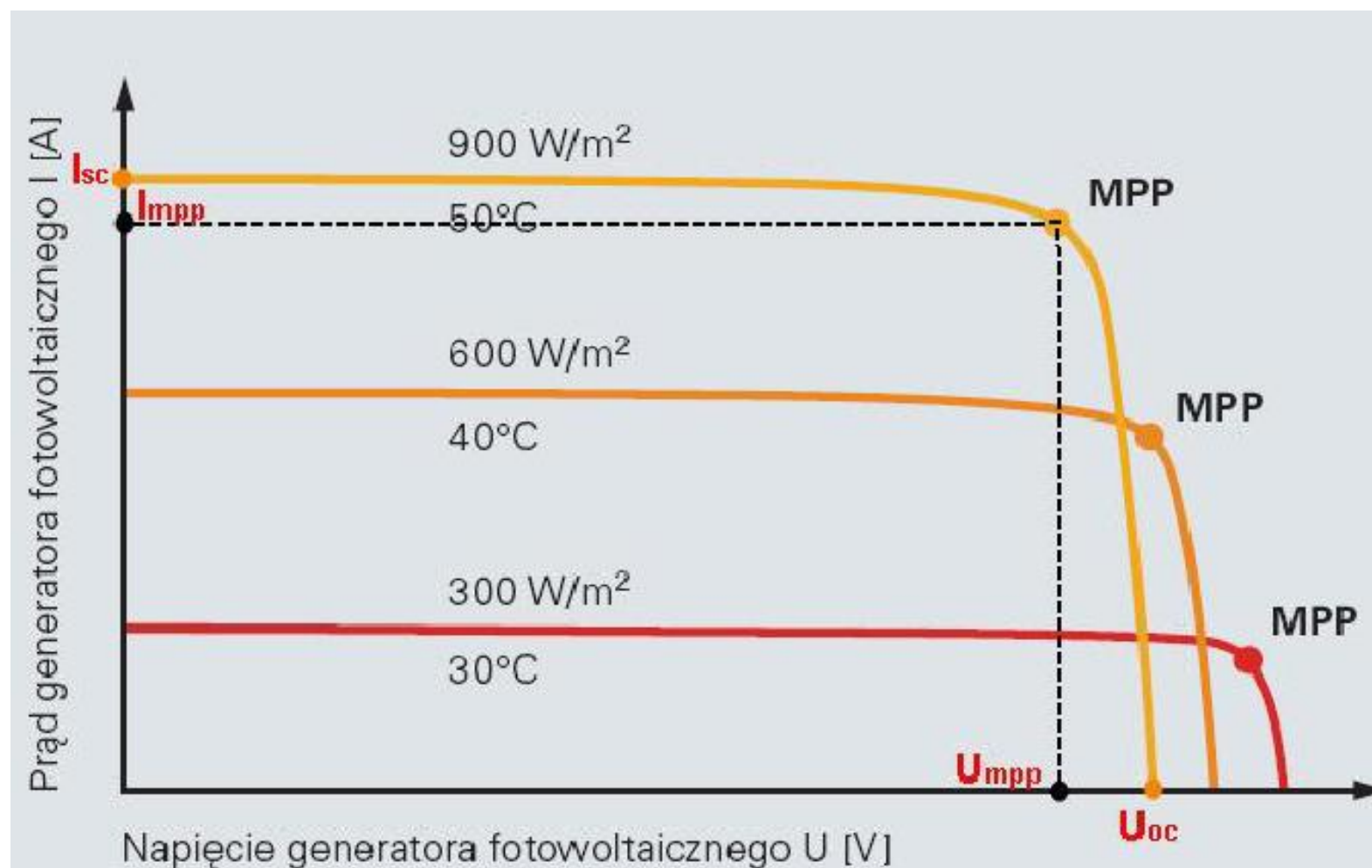
Charakterystyka prądowo-napięciowa

Falownik – sterowanie MPP

MPP (Maximum Power Point) – falownik steruje punktem mocy maksymalnej. Czyli zapewnia pracę generatora solarnego zawsze z maksymalnie możliwą mocą.

Moc generatora fotowoltaicznego zależy od:

- Natężenie promieniowania słonecznego (W/m^2)
- Temperatury ogniw



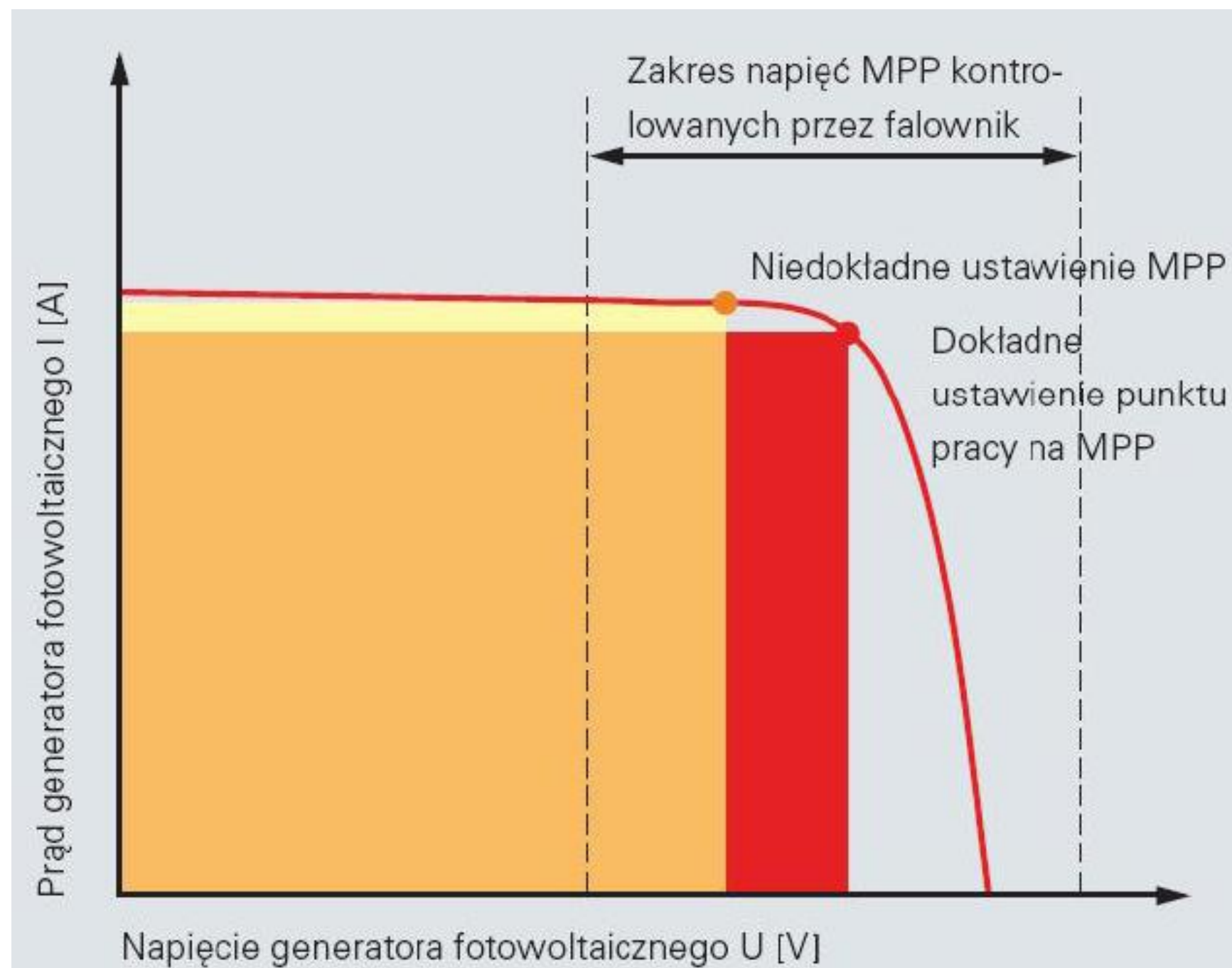
Rys. Charakterystyki dla różnych parametrów

FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

Charakterystyka prądowo-napięciowa

Falownik – sterowanie MPP

Jeśli zmieni się intensywność promieniowania lub temperatura ogniw, to falownik szuka nowego MPP, aby generator pracował zawsze z maksymalnie możliwą mocą (pole na wykresie).



Rys. Zasada szukania MPP

FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

Komunikacja

- Falowniki wyposażone są w szereg portów, dzięki czemu możliwe jest stałe połączenie z siecią i udostępnianie parametrów pracy instalacji
- Zazwyczaj połączenie odbywa się bezprzewodowo, za pomocą modułu Wi-Fi skonfigurowanego z lokalną siecią WLAN.
- W przypadku braku sieci połączenie realizowane jest np. poprzez Ethernet.
- Producenci falowników pozwalają na śledzenie parametrów w dedykowanych aplikacjach

WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)
6 wejść i 4 cyfrowe wejścia/wyjścia	Podłączenie do odbiornika sterowania zdalnego
USB (gniazdo typu A) ¹⁾	Dla nośników USB: zbieranie danych, aktualizacja oprogramowania falownika
2x RS422 (gniazdo RJ45) ¹⁾	Fronius Solar Net
Wyjście przekaźnikowe ¹⁾	Zarządzanie energią (bezpotencjałowe wyjście przekaźnika)
Rejestrator danych i webserver	Zintegrowany
Wejście sygnałowe ¹⁾	Przylącze licznika S0 / Monitorowanie stanu ochronników przeciwprzepięciowych
RS485	Modbus RTU SunSpec lub podłączenie inteligentnego licznika energii

FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

Bezpieczna eksploatacja

- Odpowiednie przeszkolenie użytkowników instalacji jest ważną kwestią, mającą wpływ na bezpieczeństwo eksploatacji systemu
- Użytkownik powinien pilnować stałego połączenia falownika z siecią i na bieżąco sprawdzać wszelkie komunikaty systemowe, które mogą informować o nieprawidłowej pracy instalacji.
- Użytkownik powinien zapewnić bezpieczną pracę falownika poprzez zachowanie czystości pomieszczenia, odpowiedniej temperatury, odległości bezpiecznych.

FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

Przykładowa karta katalogowa

Parametry techniczne	GW6000-ET-20	GW8000-ET-20	GW10K-ET-20	GW12K-ET-20	GW15K-ET-20
Parametry wejściowe akumulatora					
Typ akumulatora	Li-Ion				
Nominalne napięcie akumulatora (V)	500				
Zakres napięcia akumulatora (V)	150 ~ 720				
Napięcie rozruchowe (V)	150				
Liczba wejść akumulatorowych	1				
Maks. stały prąd ładowania (A)	30	30	40	40	40
Maks. stały prąd rozładowania (A)	30	30	40	40	40
Maks. moc ładowania (W)	9000	12000	15000	18000	24000
Maks. moc rozładowania (W)	6600	8800	11000	13200	16500
Parametry wejściowe łańcucha PV					
Maks. moc wejściowa (W) ¹	9600	12800	16000	19200	24000
Maks. napięcie wejściowe (V) ²	1000				
Zakres napięcia roboczego MPPT (V)	120 ~ 850				
Napięcie rozruchowe (V)	150				
Znamionowe napięcie wejściowe (V)	620				
Maks. prąd wejściowy na MPPT (A)	16				
Maks. prąd zwarciový na MPPT (A)	24				
Liczba MPPT	2	2	3	3	3
Liczba ciągów modułów fotowoltaicznych na MPPT	1				
Parametry wyjściowe AC (w sieci)					
Znamionowa moc wyjściowa (W)	6000	8000	10000	12000	15000
Znamionowa wyjściowa moc pozorna do sieci elektroenergetycznej (VA)	6000	8000	10000	12000	15000
Maks. wyjściowa moc pozorna do sieci elektroenergetycznej (VA) ³	6000	8000	10000	12000	15000
Maks. moc pozorna z sieci elektroenergetycznej (VA)	12000	16000	20000	20000	20000
Znamionowe napięcie wyjściowe (V)	400 / 380, 3L / N / PE				
Zakres napięcia wyjściowego (V) ⁴	170 ~ 290				
Znamionowa częstotliwość sieci AC (Hz)	50 / 60				
Zakres częstotliwości sieci AC (Hz)	45 ~ 65				
Maks. prąd wyjściowy AC do sieci elektroenergetycznej (A) ⁵	8.7	11.6	14.5	17.4	21.7
Maks. prąd AC z sieci elektroenergetycznej (A)	15.7	21.0	26.1	26.1	26.1
Zakres regulacji współczynnika mocy	od 0.8 z wyprzedzeniem do 0.8 z opóźnieniem				
Współczynnik zawartości harmonicznych THD	<3%				
Parametry wyjściowe AC (obwód rezerwowy)					
Rezerwowa znamionowa moc pozorna (VA)	6000	8000	10000	12000	15000
Maks. Wyjściowa moc pozorna bez sieci (VA)	6000 (12000 @60sek.) ⁶	8000 (16000 @60sek.)	10000 (18000 @60sek.)	12000 (18000 @60sek.)	15000 (18000 @60sek.)
Maks. Wyjściowa moc pozorna z siecią (VA)	6000	8000	10000	12000	15000
Maks. prąd wyjściowy (A)	13.0 (17.4 @60sek.)	17.4 (23.3 @60sek.)	21.7 (26.1 @60sek.)	21.7 (26.1 @60sek.)	21.7 (26.1 @60sek.)
Znamionowe napięcie wyjściowe (V)	400 / 380				
Znamionowa częstotliwość wyjściowa (Hz)	50 / 60				
Zniekształcenia THDv na wyjściu (przy obciążeniu liniowym)	<3%				

FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

Sprawność					
Maks. sprawność	98.0%	98.0%	98.2%	98.2%	98.2%
Sprawność europejska	97.2%	97.2%	97.5%	97.5%	97.5%
Maks. sprawność akumulatora przy obciążeniu	97.2%	97.5%	97.5%	97.5%	97.5%
Sprawność MPPT			99.5%		
Zabezpieczenia					
Wykrywanie rezystancji izolacji PV			Zintegrow.		
PV AFCI3.0			Opcjonalnie		
Monitorowanie prądu resztkowego			Zintegrow.		
Zabezpieczenie przed odwrotną polaryzacją w obwodzie DC			Zintegrow.		
Zabezpieczenie przed odwrotną polaryzacją w obwodzie zasilania magazynu energii			Zintegrow.		
Zabezpieczenie przed pracą wyspową			Zintegrow.		
Zabezpieczenie nadprądowe obwodu AC			Zintegrow.		
Zabezpieczenie przed zwarciami w obwodzie AC			Zintegrow.		
Zabezpieczenie przeciwprzepięciowe obwodu AC			Zintegrow.		
Rozłącznik izolacyjny DC			Zintegrow.		
Ogranicznik przepięć w obwodzie DC			Typ II		
Ogranicznik przepięć w obwodzie AC			Typ II		
Zdalne wyłączanie			Zintegrow.		
Dane ogólne					
Zakres temperatury pracy (°C)			-35 ~ +60		
Wilgotność względna			0 ~ 100%		
Maks. wysokość pracy n.p.m. (m)			4000		
Metoda chłodzenia			Konwekcja naturalna		
Wyświetlacz			LED, WLAN + APP		
Komunikacja z BMS			RS485, CAN		
Komunikacja z licznikiem			RS485		
Komunikacja z portalem			WiFi + LAN + Bluetooth		
Masa (kg)	23	23	25	25	25
Wymiary (szer. x wys. x gł. mm)			496 x 460 x 221		
Emisja hałasu (dB)	<30	<30	<30	<45	<45
Topologia			Nieizolowany		
Pobór mocy w nocy (W) ⁷			<15		
Stopień ochrony IP			IP66		
Metoda montażu			Montaż ścienny		

*1: Maks. moc wejściowa, nieciągła, do 1.6 razy normalnej mocy.

*2: Dla systemu 1000V, maksymalne napięcie robocze wynosi 950V.

*3: Zgodnie z lokalnymi przepisami dotyczącymi sieci.

*4: Zakres napięcia wyjściowego: napięcie fazowe.

*5: Maksymalny prąd przemienny na wyjściu do obciążenia sieciowego wynosi odpowiednio 13A, 17.4A, 21.7A, 21.7A, 21.7A.

*6: Możliwe tylko przy dostatecznej mocy paneli fotowoltaicznych i baterii.

*7: Brak wyjścia awaryjnego.

*: Najnowsze certyfikaty są dostępne na stronie internetowej GoodWe.

FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

Funkcja AFCI falowników

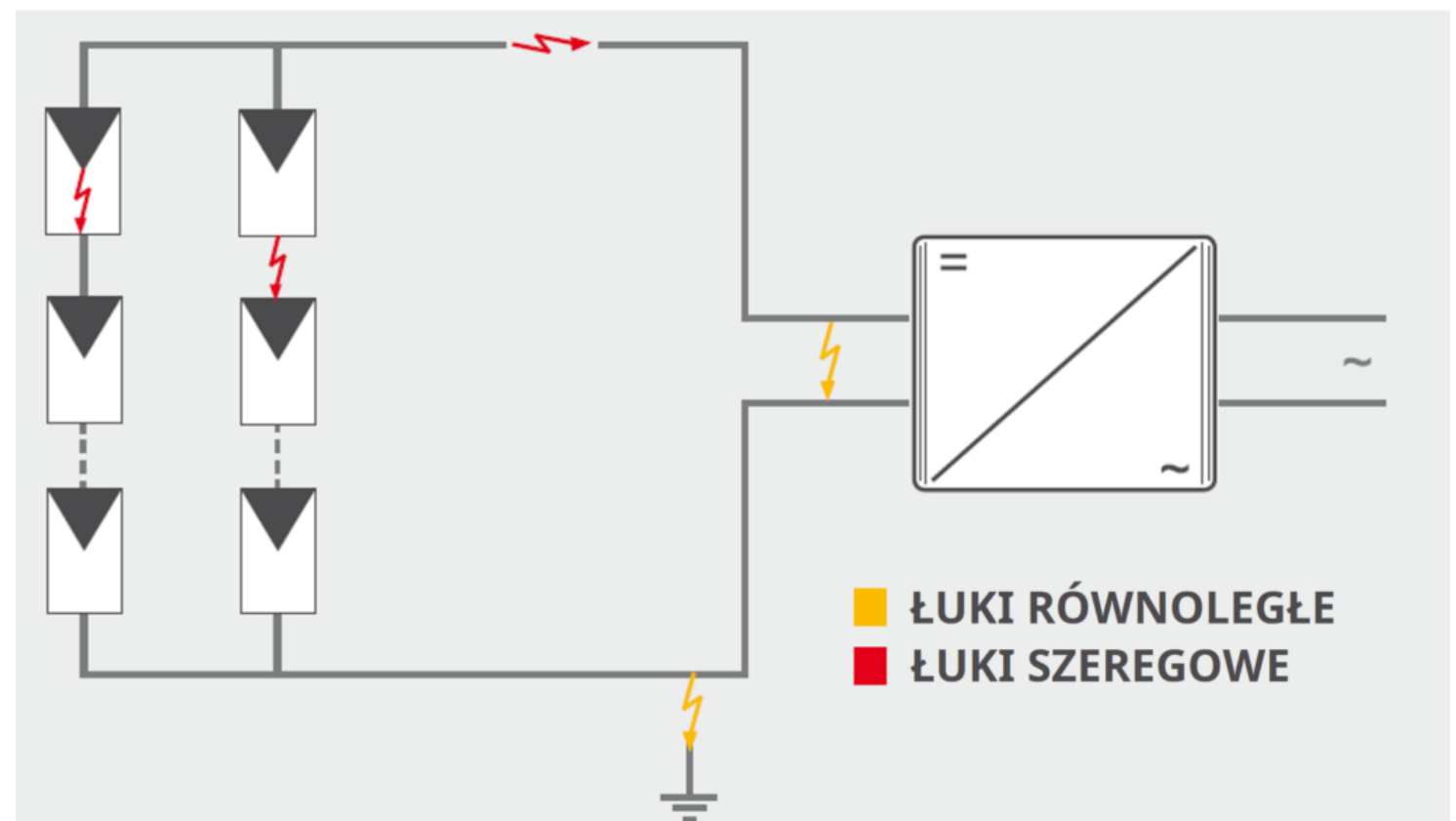
Funkcja **AFCI** (ang. *Arc Fault Circuit Interrupter*), to inaczej przerywacz obwodu łuku zwarciovowego. Jest to zaawansowane zabezpieczenie przeciwpożarowe, które wykrywa i przerywa niebezpieczne łuki elektryczne po stronie prądu stałego (DC) w instalacji PV. Jednocześnie moduł AFCI informuje użytkownika o wystąpieniu niebezpiecznej sytuacji

Rodzaje łuków elektrycznych po stronie DC:

- **łuki elektryczne szeregowo**
- **łuki elektryczne równoległe**

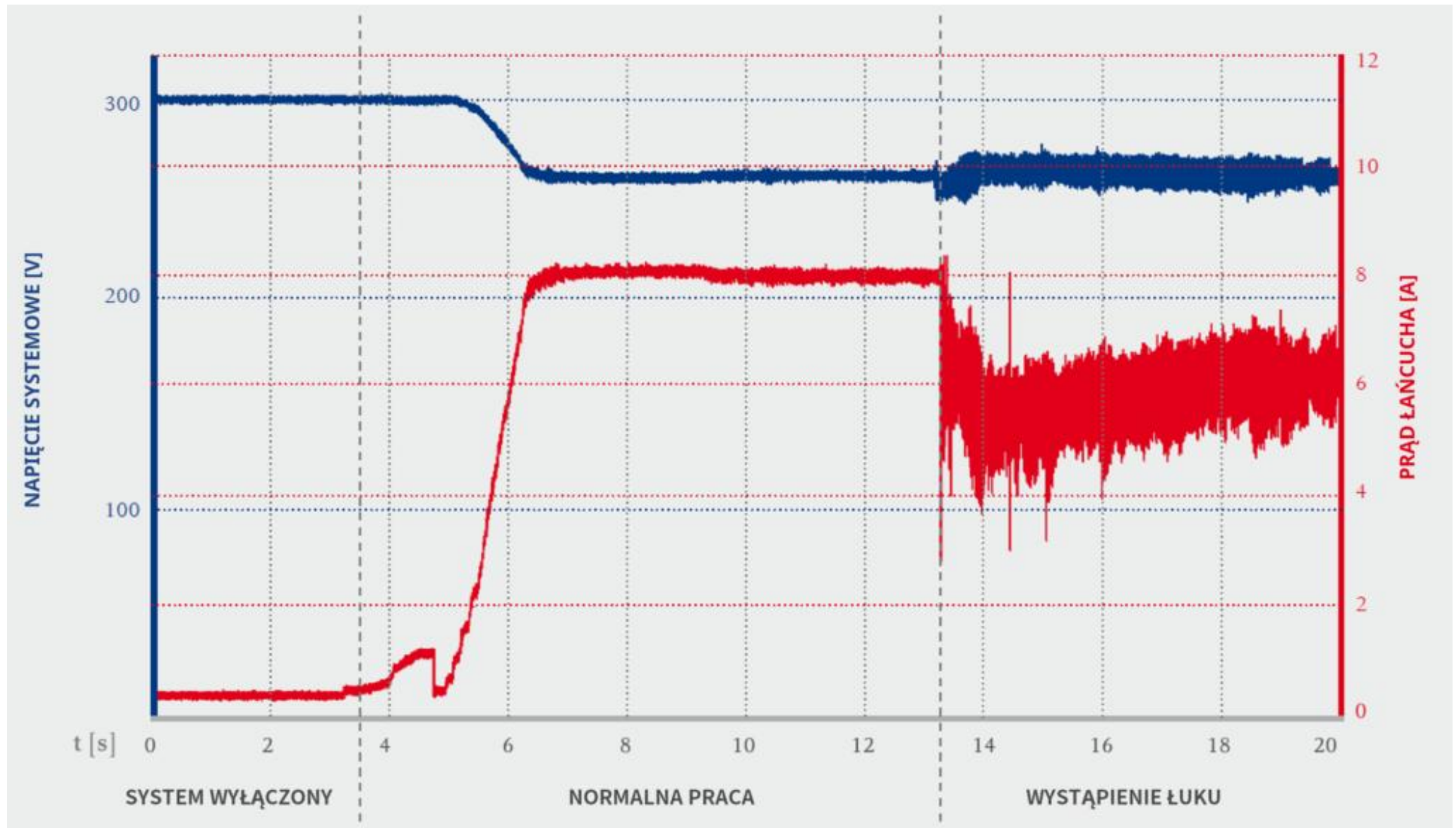
Zasada działania AFCI:

- Ciągłe monitorowanie
- Analiza sygnału
- Natychmiastowe wyłączenie
- Sygnalizacja i reset



FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

Funkcja AFCI falowników



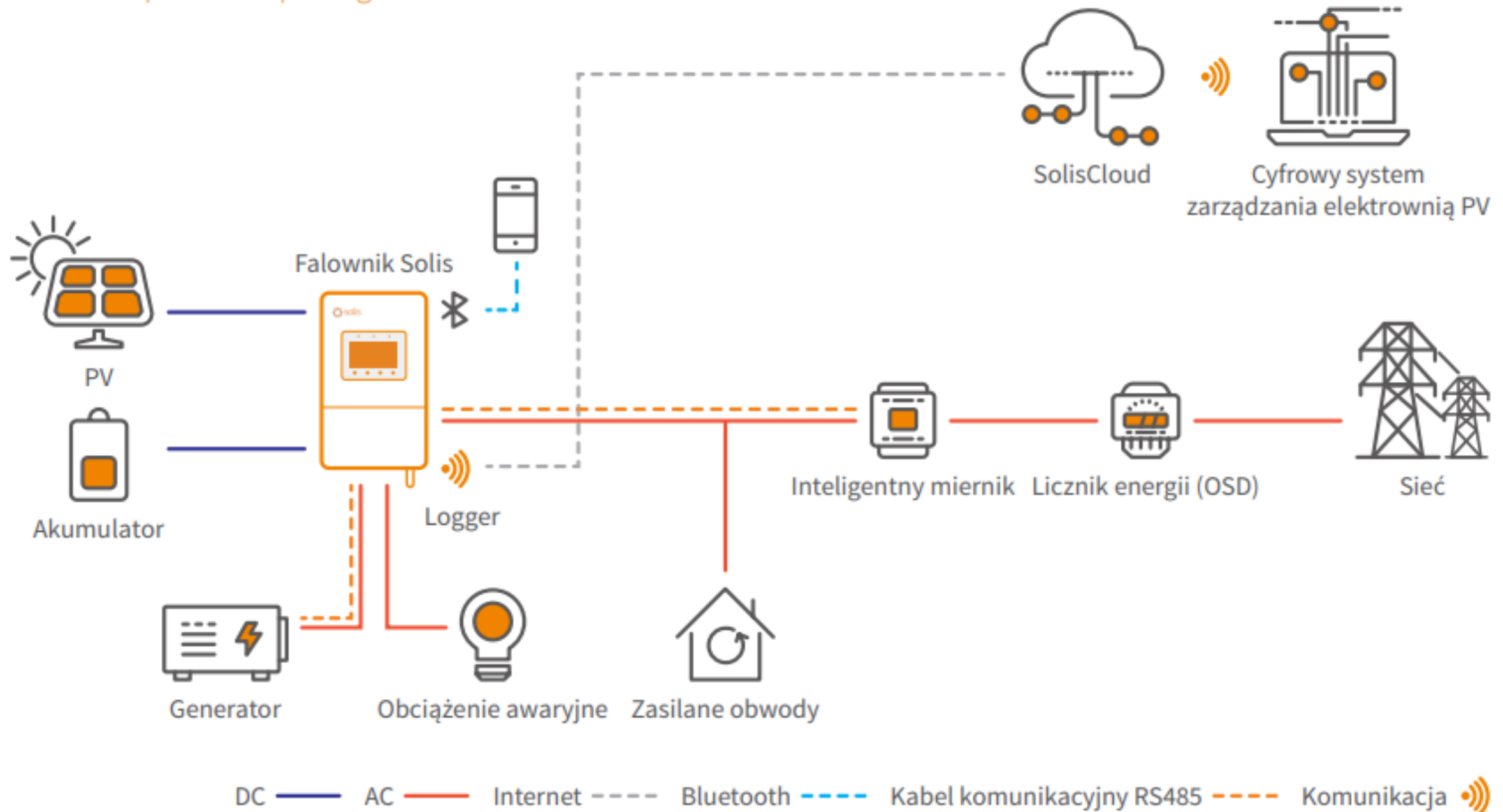
Źródło: <https://www.forum-fronius.pl/>

FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

Falowniki hybrydowe – schemat połączenia

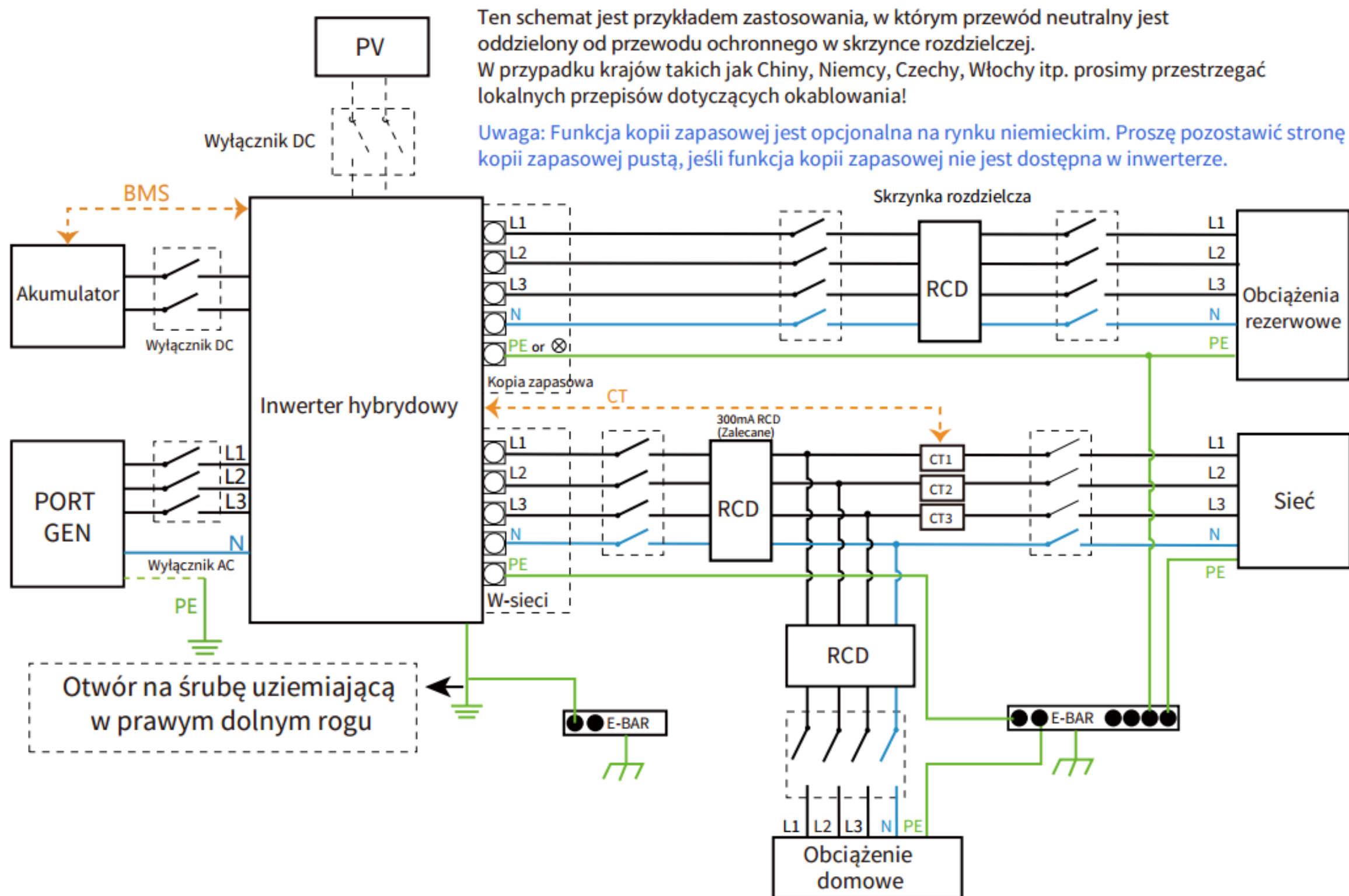
Rozwiązanie do magazynowania energii w budynkach mieszkalnych

Generator po stronie portu generatora



FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

Falowniki hybrydowe – schemat podłączenia



FALOWNIKI FOTOWOLTAICZNE

Wymagania operatora sieci wobec falownika

Zanim lokalny wytwórca energii (w tym instalacja fotowoltaiczna) zostanie podłączona do lokalnej sieci EE, musi spełnić wymagania lokalnego OSD, czyli Operatora Systemu Dystrybucyjnego energii elektrycznej.

- Rozporządzenia Komisji (UE) 2016/631 (NC RfG – Requirements for Generators)
- Rozporządzenia Ministra Klimatu i Środowiska z 31 maja 2023 r. (Dz.U. 2023 poz. 1098) – szczególnie dla mikroinstalacji ≤ 50 kW
- Dokumentu PTPiREE „Warunki i Procedury Wykorzystania Certyfikatów” (WiPWC v1.3)
- Normy PN-EN 50549-1 (wymagania dla urządzeń wytwórczych podłączanych do sieci nN)

Parametr	Wymaganie szczegółowe
Zakres pracy ciągłej	Częstotliwość: 49–51 Hz (pełna moc) 47,5–49 Hz i 51–51,5 Hz (min. 30 min)
Napięcie	0,85–1,1 U_n ($\approx 195,5$ –253 V)
Regulacja mocy czynnej $P(f)$	Redukcja mocy poniżej 49,5 Hz (10 % na 1 Hz), poniżej 49 Hz (2 % na 1 Hz) Powyżej 50,2 Hz – do 40 % redukcji
Regulacja mocy biernej	$\cos \phi$ od 0,9 ind. do 0,9 poj. przy mocy czynnej ≥ 20 % P_n Regulacja $Q(U)$ wg krzywej OSD
Zabezpieczenia	Nadnapięciowe (2-stopniowe), podnapięciowe, nad/podczęstotliwościowe, anti-islanding (LoM)
Odłączanie i ponowne załączenie	Automatyczne odłączenie przy wyspie, ponowne załączenie po min. 60 s stabilnych parametrów + gradient mocy ≤ 10 %/min
Komunikacja ze siecią	Obowiązkowy port RS485 + protokół SUNSPEC (umożliwia zdalny odczyt i sterowanie przez OSD)
Jakość energii	Ograniczanie harmoniczných zgodnie z PN-EN 50549-1 i Prawem energetycznym
Inne	Automatyczna synchronizacja blokada zmian nastaw przez nieuprawnione osoby, tabliczka znamionowa po polsku

OPTIMALIZACJA MOCY

Funkcje optymalizatorów:

- zwiększenie **uzysków energii**
- niwelacja wpływu **nieliniowej degradacji** modułów PV
- **podniesienie bezpieczeństwa** wyłączonej instalacji poprzez obniżenie lub odcięcie napięcia DC
- **monitoring instalacji** - podgląd pracy każdego modułu osobno (analiza podłączonego modułu)



OPTYMALIZACJA MOCY

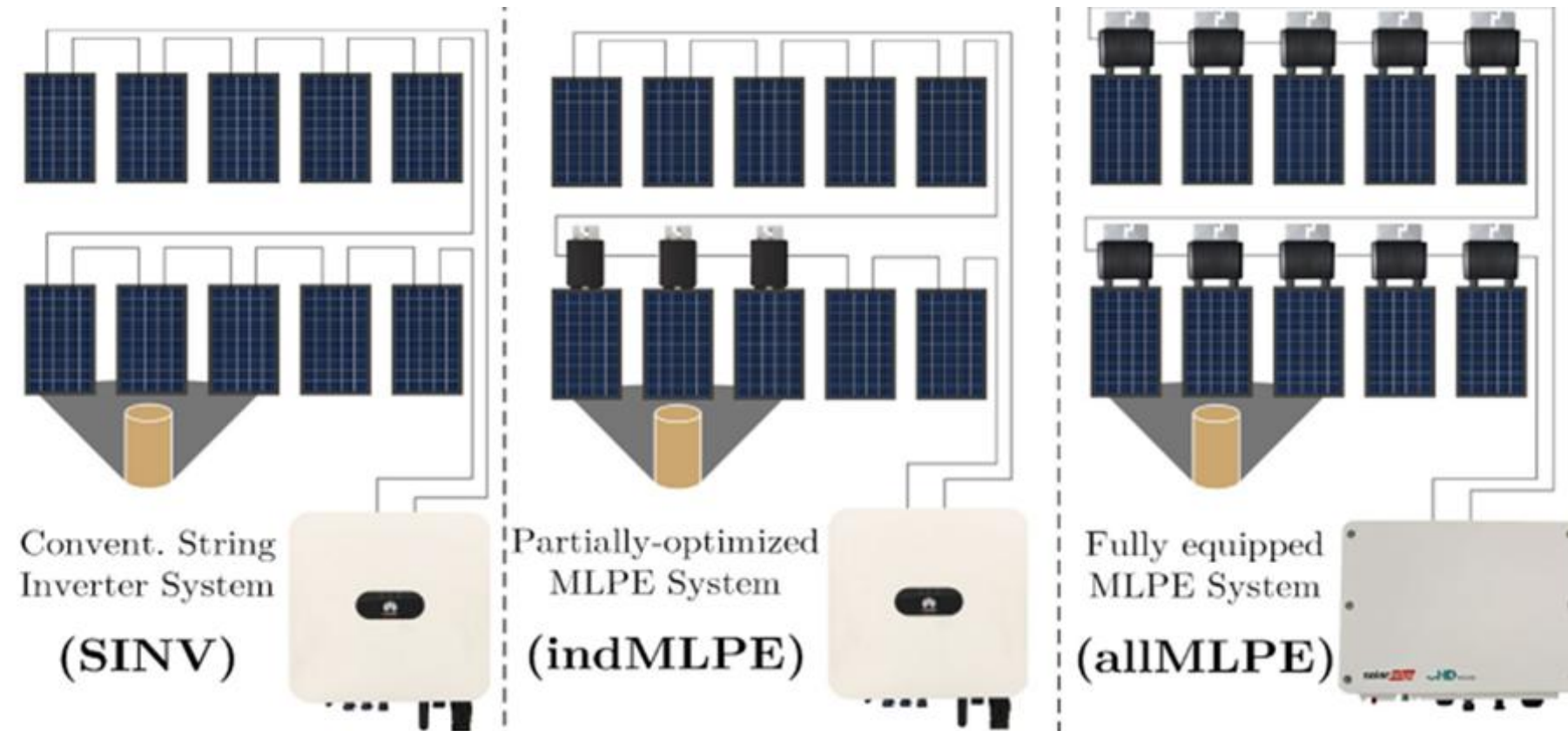


Figure 6 – PV System configurations: conventional String inverter system (SINV) | partially-optimized MLPE System (indMLPE) | fully equipped MLPE System (allMLPE)

Table 2 – ZHAW MLPE system recommendations

Cases	SINV	indMLPE	allMLPE
No shading	Recommended	•	• •
Weak shading	Recommended	✓	•
Medium shading	•	Recommended	✓
Heavy shading	•	✓	Recommended
Long strings + few orientations	✓✓ (multi MPPT)	•	✓
Short strings + multiple orientations	• • (may change in future)	✓	✓✓

OPTYMALIZACJA MOCY

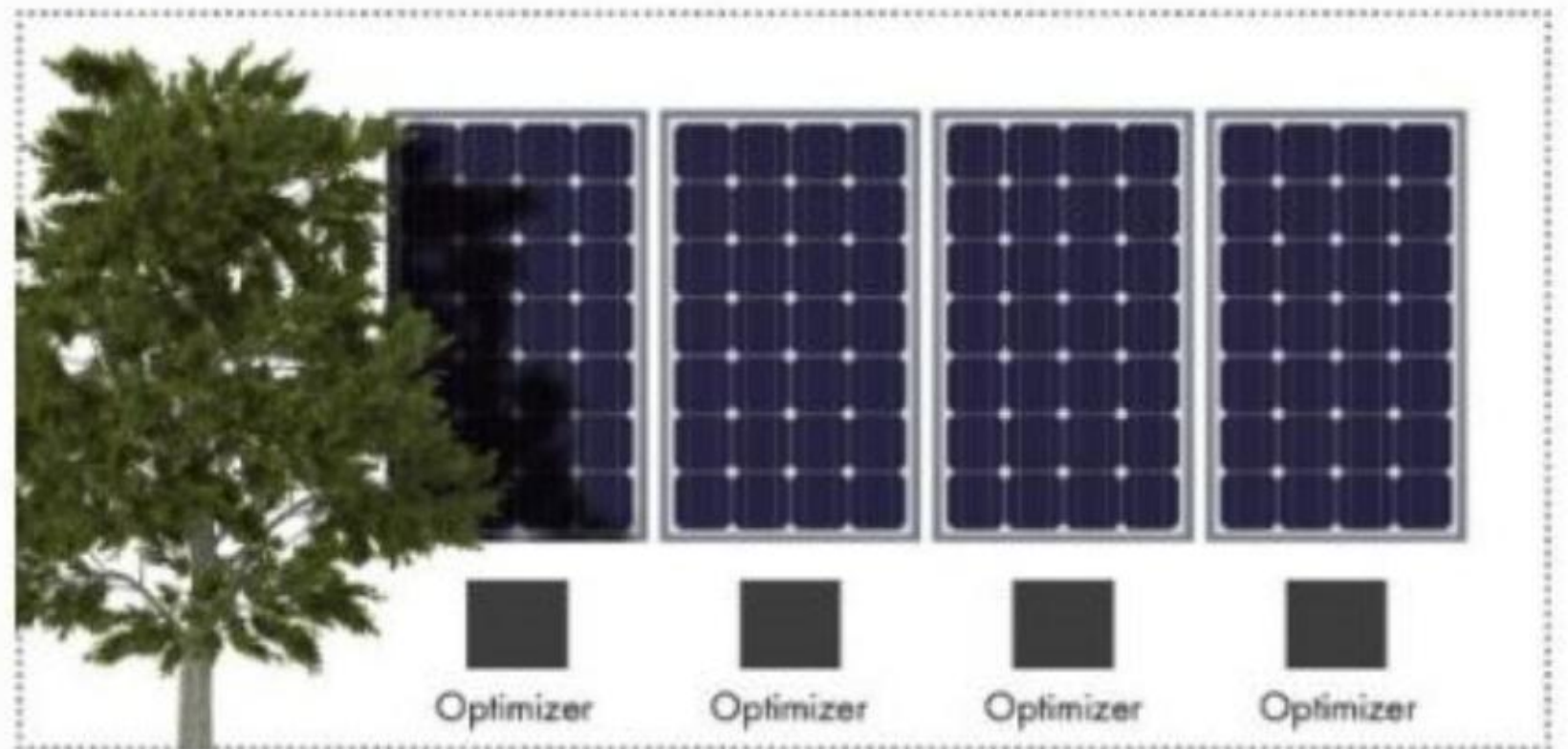
OPTYMALIZACJA SELEKTYWNA

Np. TIGO, SMA, HUAWEI



OPTYMALIZACJA PEŁNA

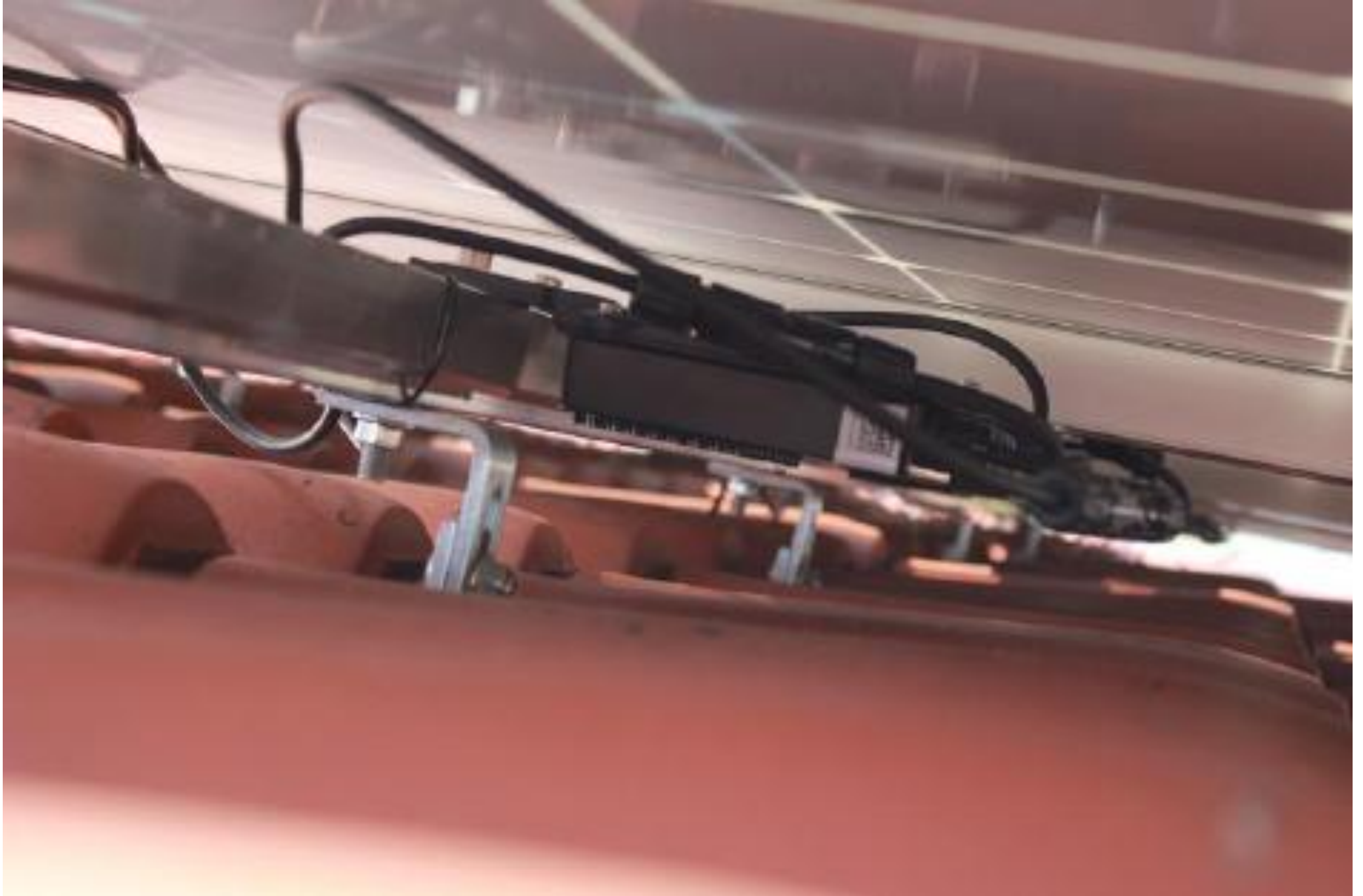
SOLAREEDGE, HUAWEI



OPTYMALIZACJA MOCY



OPTYMALIZACJA MOCY



OPTYMALIZACJA MOCY

Cechy optymalizatorów mocy

- Szukanie MPP na poziomie modułu (w przypadku pełnej optymalizacji moduły nie wpływają wzajemnie na swoją pracę)
- Dostosowanie parametrów optymalizowanego modułu zacienionego do parametrów pracy modułów niezacienionych (przy optymalizacji selektywnej)
- Ograniczenie do 1V lub całkowite zrzućenie napięcia w przypadku awarii lub wyłączenia (napięcie bezpieczne)
- Możliwość śledzenia pracy poszczególnych modułów (zaawansowany monitoring)

OPTYMALIZACJA MOCY

Parametry optymalizatora TIGO

DANE TECHNICZNE DODATKU

TS4-A-O

Środowiskowe

Zakres temperatur pracy	-40°C do +85°C (-40°F do +185°F)
Klasa ochrony w zakresie pracy na zewnątrz pomieszczeń	IP68
Maksymalna wysokość pracy	2000 m n.p.m

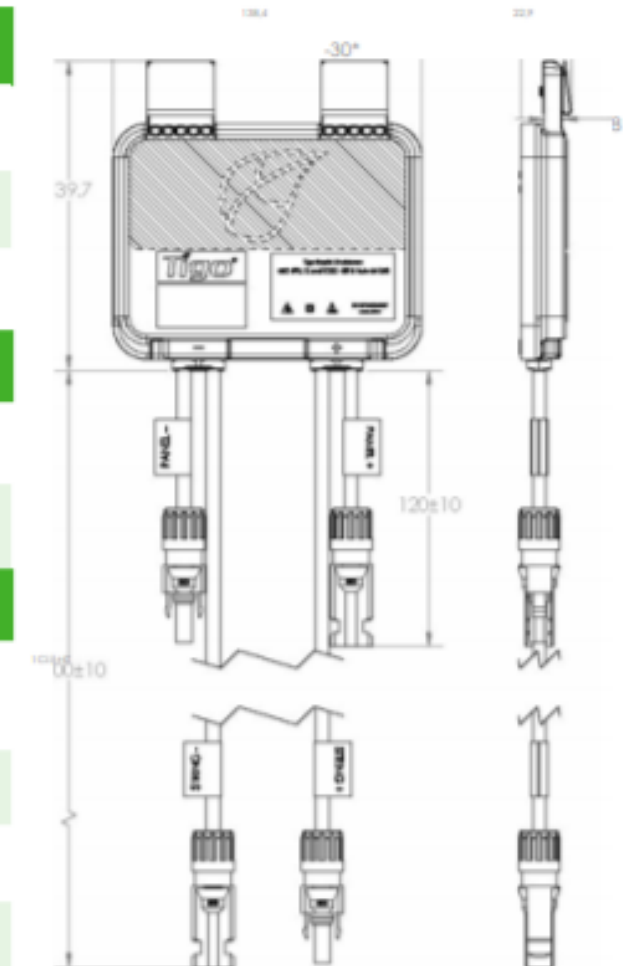
Mechaniczne

Wymiary	138,4 mm x 139,7 mm x 22,9 mm
Waga	520 g

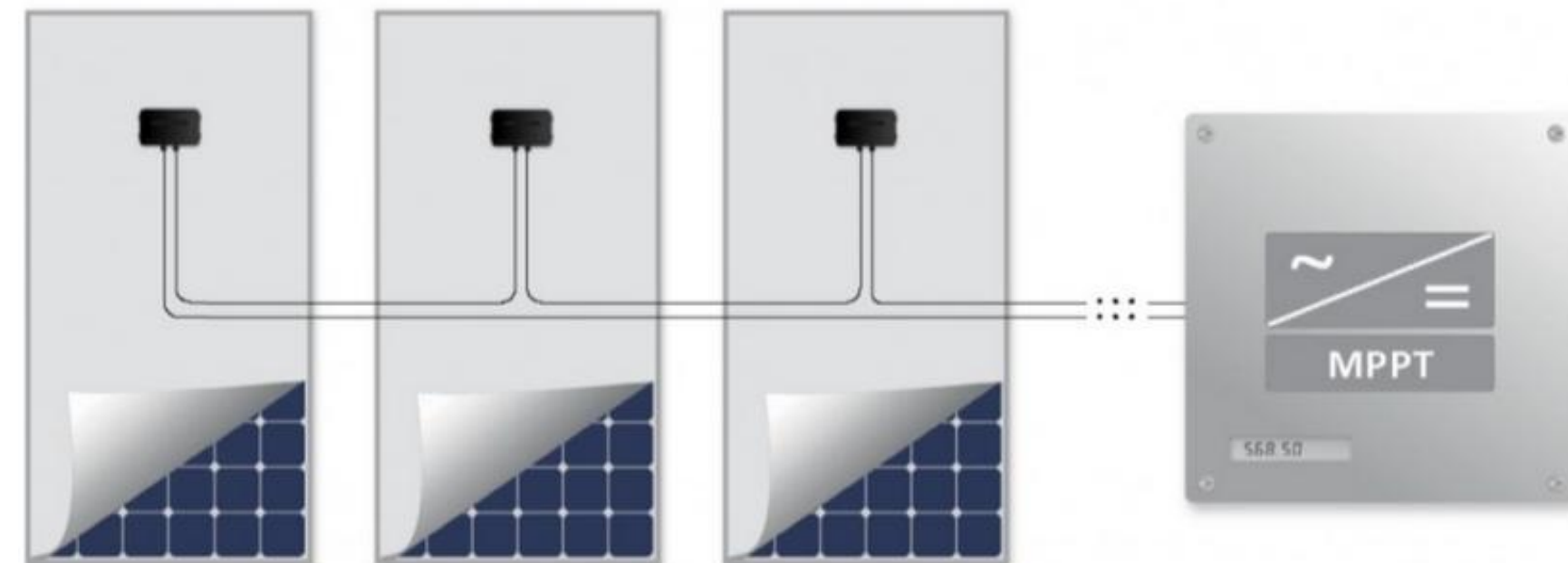
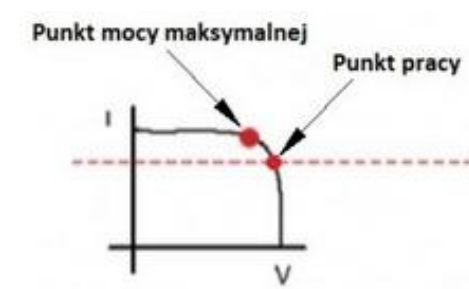
Elektryczne

Całkowite maksymalne napięcie wejściowe (V _{oc} przy najniższej temperaturze)	90 V
Zakres napięcia	16 - 90 V
Prąd maksymalny	12 A
Moc maksymalna	500 W
Długość przewodu wyjściowego	1,2 m (standard)
Złącza	MC4 (standard)
Rodzaj komunikacji	Bezprzewodowa
Zalecany prąd znamionowy bezpiecznika	15 A
Sprawność maksymalna	99,77 %

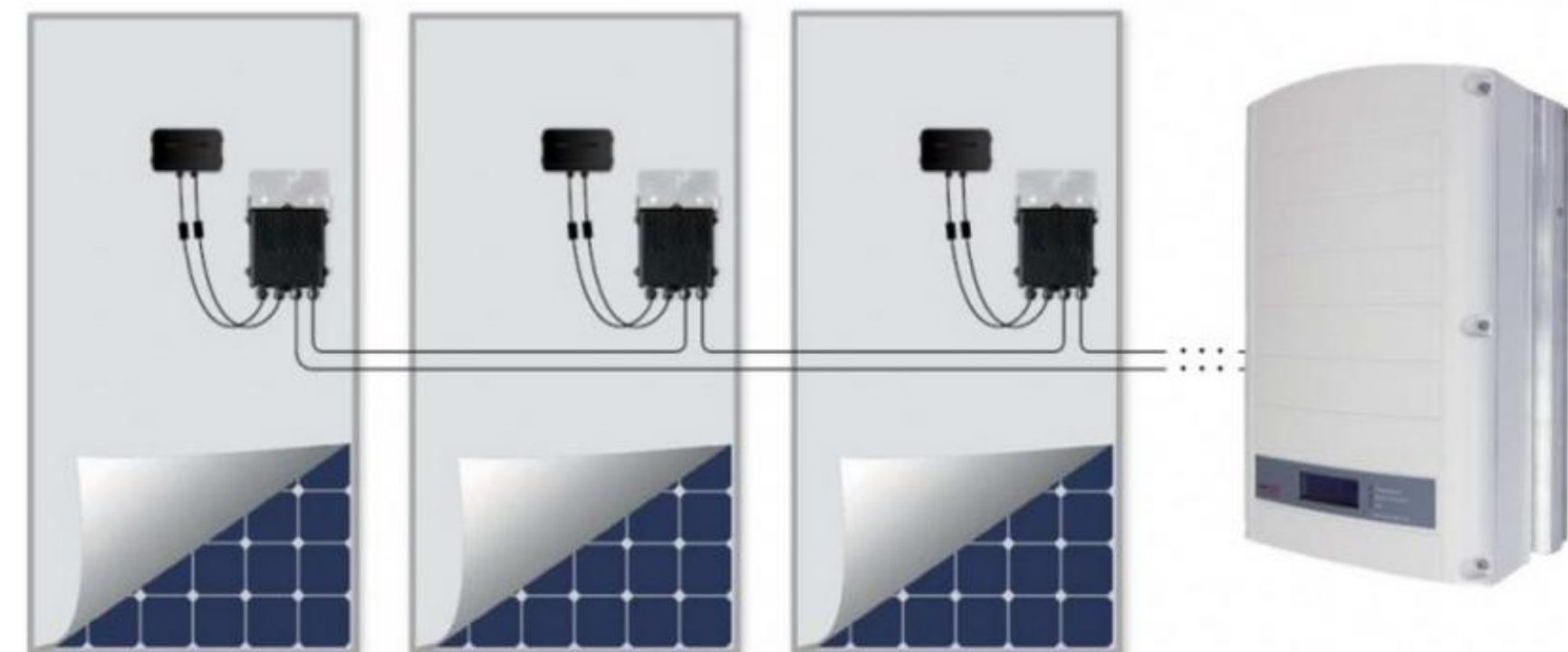
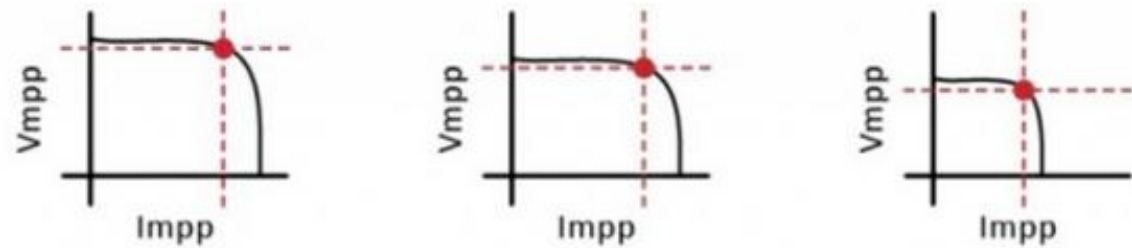
Funkcja wyłączenia na poziomie modułu wymaga urządzenia TAP, zaś monitorowanie z użyciem dodatku TS4-A-O wymaga urządzenia CCA.



OPTYMALIZACJA MOCY

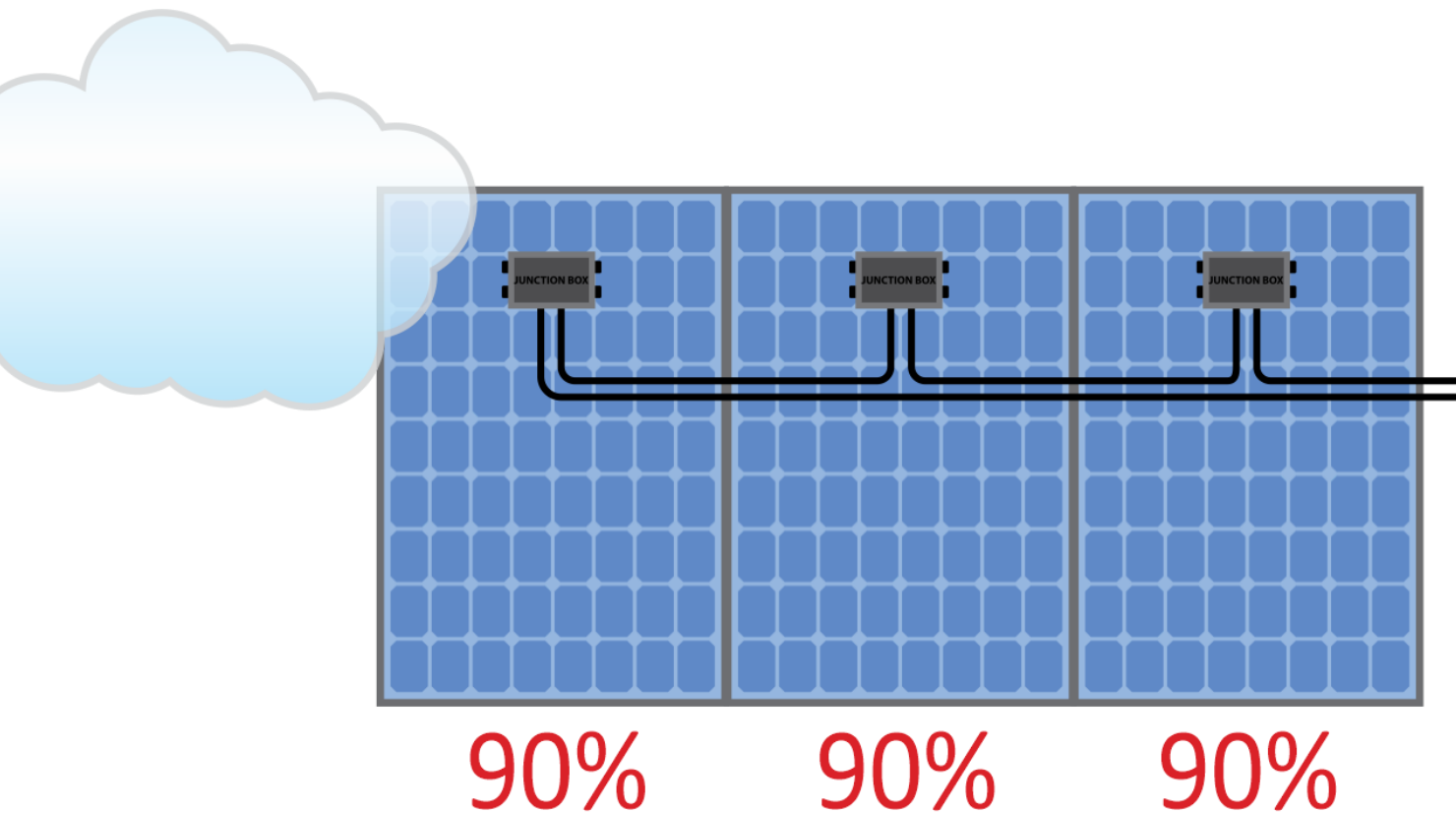


Układ „klasyczny”



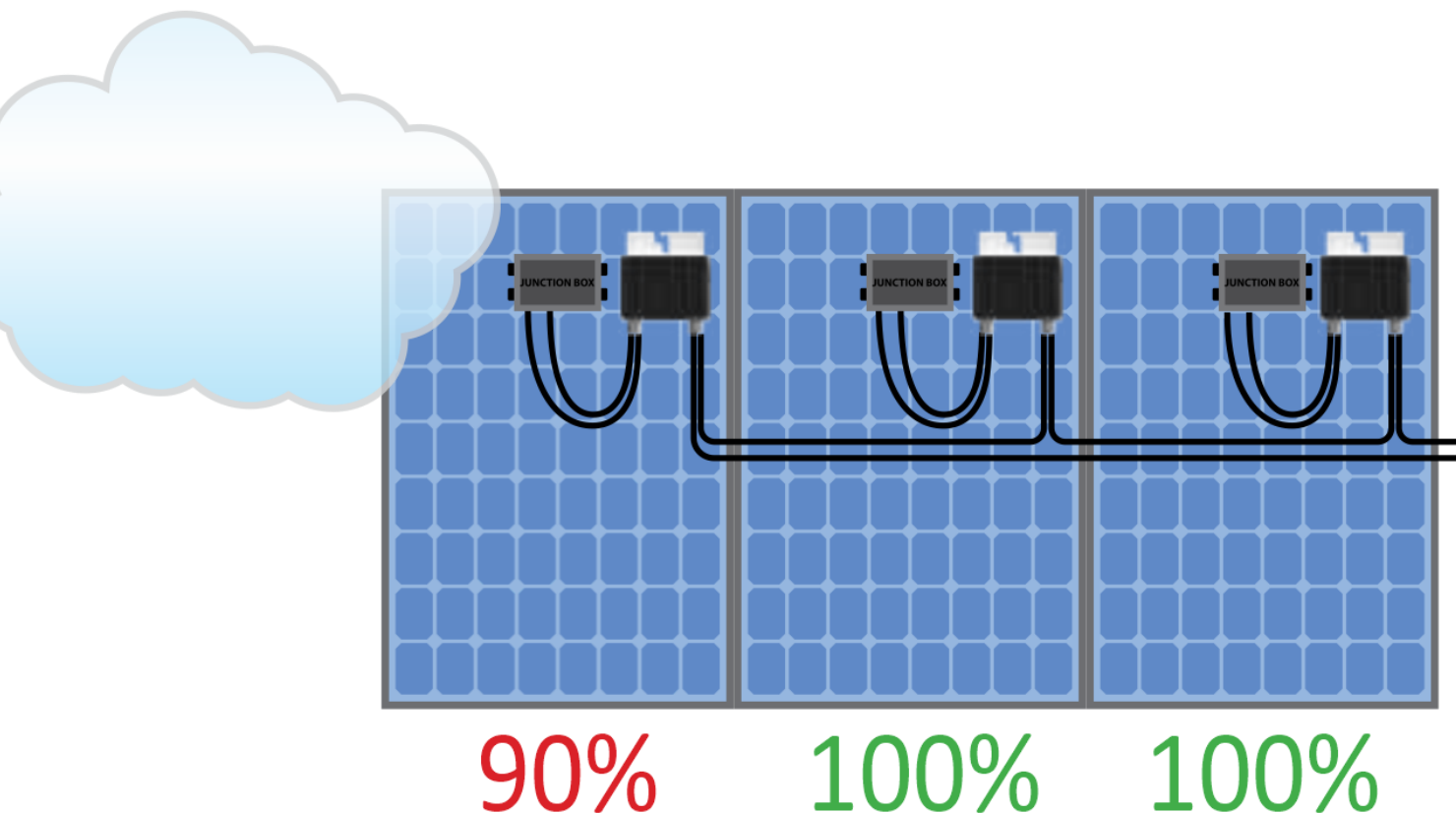
SolarEdge

OPTYMALIZACJA MOCY



Tradycyjny falownik

- > wydajność wszystkich modułów w łańcuchu lub jest pomijany
- > Straty mocy na skutek niedopasowania modułu



System SolarEdge

- > energia elektryczna wyszukiwana osobno dla każdego modułu
- > do 25% więcej energii z instalacji fotowoltaicznej

OPTYMALIZACJA MOCY

Przegląd zalet

Zaleta: Bezpieczeństwo.

Optymalizatory mocy umożliwiają automatyczne obniżenie napięcia DC modułów za każdym razem, gdy odłączone jest zasilanie AC, odłączony jest falownik lub gdy nastąpi awaria instalacji zapewniając bezpieczeństwo podczas konserwacji lub w przypadku pożaru.



Bezpieczeństwo &
Serwisowanie



Zwiększona wydajność
instalacji

Optymalizatory mocy zapewniają śledzenie MPP oddzielnie dla każdego panela PV. Pozwala to na pracę przy optymalnym prądzie i napięciu.

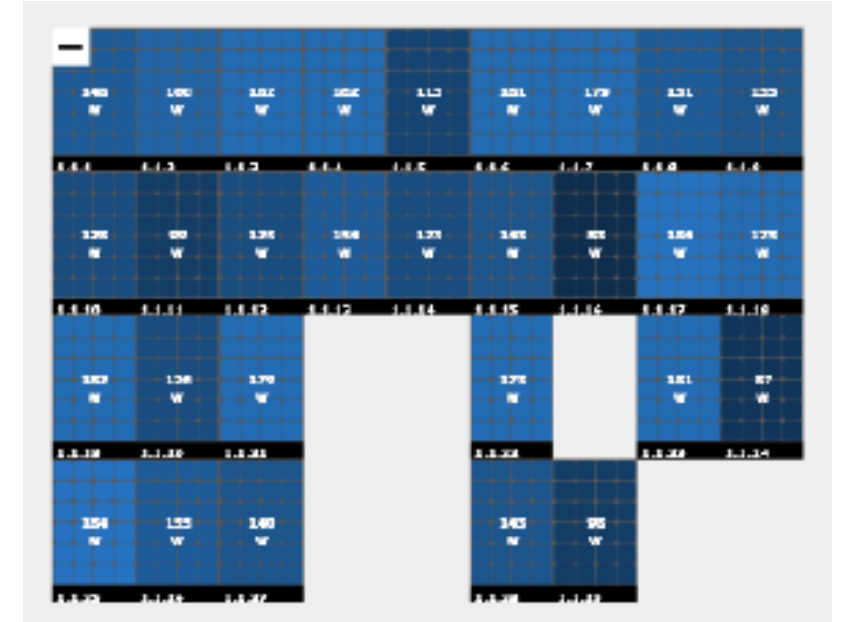
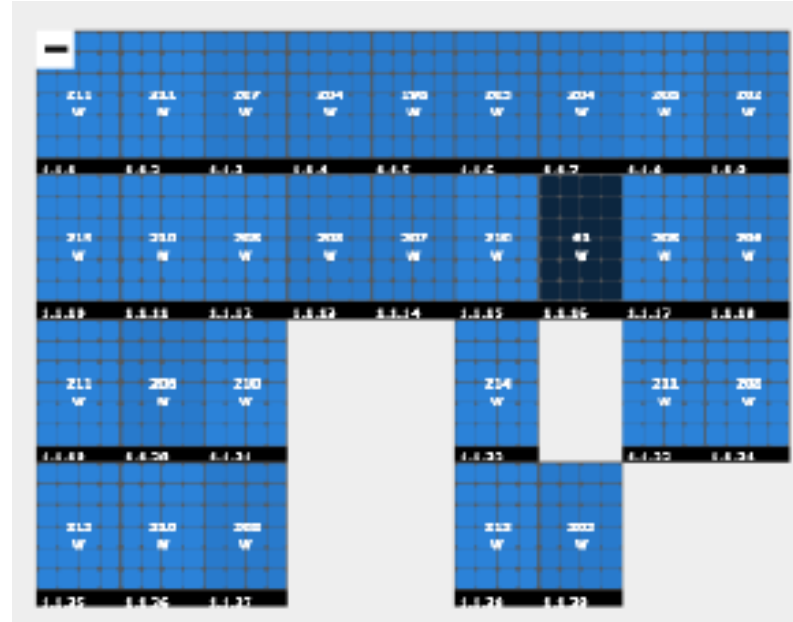
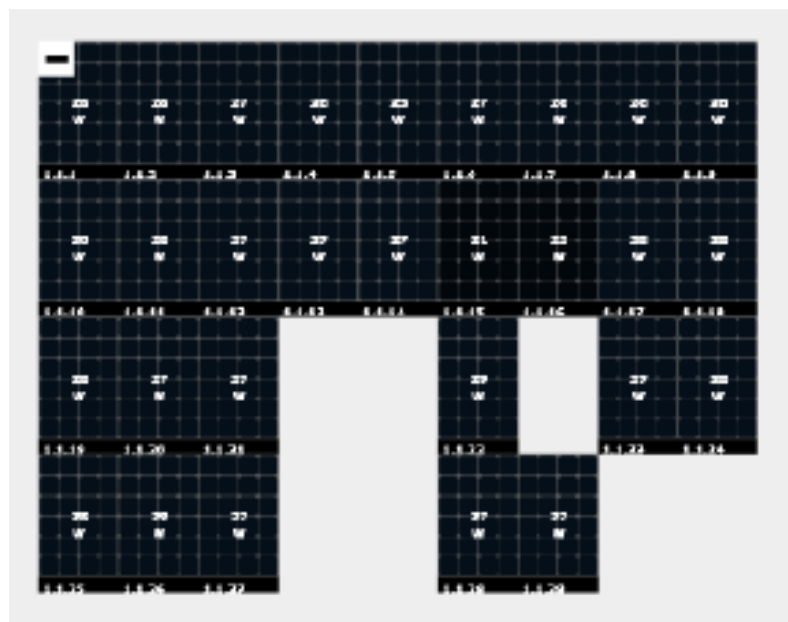
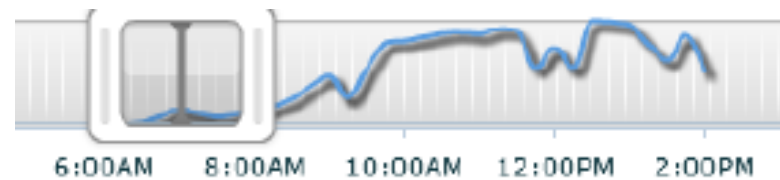
Zużycie mniejszej ilości kabli DC, dzięki dłuższym łańcuchom

OPTIMALIZACJA MOCY

Monitoring

Dokładne monitorowanie zysku instalacji

- Dzięki wizualizacji każdego modułu osobno można szybko i dokładnie rozpoznać zacinienie lub niesprawnie działający moduł PV



Rano: system startuje

Godzina 11:00: dokładnie
widać cień (komin)

Godzina 14:00: zacinienie
przez chmury

0% 100%

OPTYMALIZACJA MOCY

Wykorzystanie powierzchni dachu

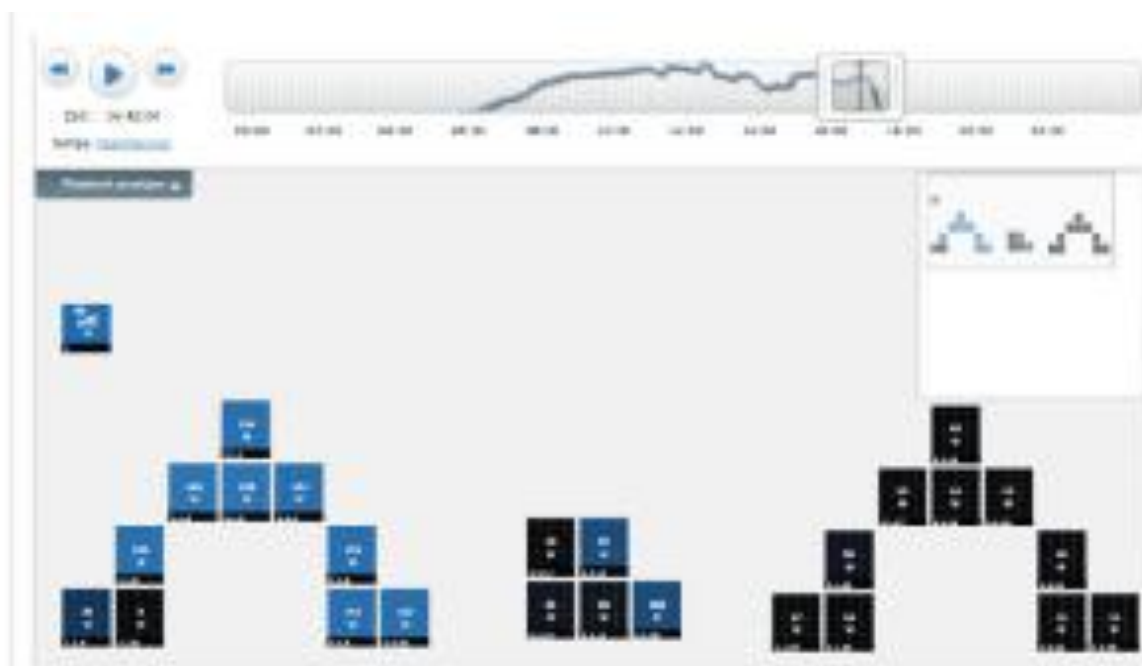
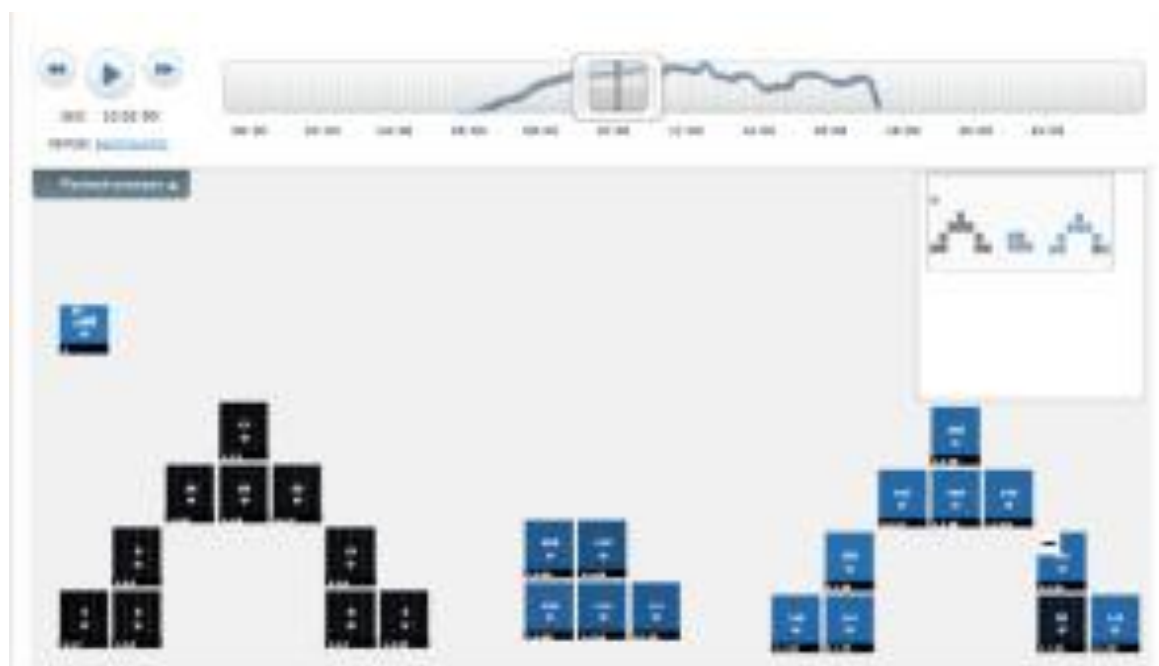
Realizacja skomplikowanego dachu (zacienienie)

- łatwy design instalacji nawet przez trudne warunki (zacienienie)
- 3 dodatkowe moduły na garażu są podłączone do 1 łańcucha
- Mniejsze zapotrzebowanie na kabel ze względu na tworzenie tylko jednego łańcucha
- Możliwość dodania modułów PV w trakcie użytkowania instalacji, nawet jeśli pochodzą od innego producenta.



OPTYMALIZACJA MOCY

Większy uzysk



OPTYMALIZACJA MOCY

Konfiguracja łańcuchów w SolarEdge

Optymalizator na 1 moduł

Projekt systemu fotowoltaicznego z zastosowaniem falownika SolarEdge ⁽⁵⁾		Falownik 1-faz SolarEdge Home Wave	Falownik 3-faz SolarEdge RWB	Trójfazowy dla sieci 230 / 400 V	Trójfazowy dla sieci 277 / 480 V	
Minimalna długość łańcucha (optymalizatory mocy)	S440, S500	8	9	16	18	
	S500B	6	8	14		
Maksymalna długość łańcucha (optymalizatory mocy)		25	20	50		
Maksymalna moc ciągła na łańcuch		5700	5625	11 250	12 750	W
Maksymalna dozwolona podłączona moc na łańcuch ⁽⁶⁾ (W projektach z wieloma łańcuchami maksymalna wartość jest dozwolona tylko wtedy, gdy różnica w podłączonej mocy między łańcuchami wynosi 2000 W lub mniej)		6800 ⁽⁷⁾	Zob. ⁽⁶⁾	13 500	15000	W
Równoległe łańcuchy o różnej długości lub orientacji		Tak				

(5) Niedozwolone jest mieszanie optymalizatorów mocy serii S i P w nowych instalacjach w tym samym łańcuchu.

(6) Jeśli znamionowa moc AC falownika ≤ maksymalna moc ciągła na łańcuch, wówczas maksymalna podłączona moc na łańcuch będzie mogła osiągnąć maksymalną wejściową moc DC falownika. Patrz nota aplikacyjna „Projektowanie jednego łańcucha”.

(7) W przypadku falowników o mocy znamionowej AC ≥ 8000 W, które są podłączone do co najmniej dwóch łańcuchów.

Optymalizator na 2 moduły

Projektowanie systemu PV z wykorzystaniem falownika SolarEdge (1)(2)(3)		Sieć 230/400V SE15K(4)	Sieć 230/400V SE25K*	Sieć 230/400V SE27.6K*	Sieć 230/400V SE30K*	Sieć 230/400V SE33.3K*	Sieć 277/480V SE40K*	Jedno stki
Kompatybilne optymalizatory mocy		S1000						
Minimalna długość łańcucha	Optymalizatory mocy	14	14	14	15	14	15	
	Moduły PV	27	27	27	29	27	29	
Maksymalna długość łańcucha	Optymalizatory mocy ⁵	30	30	30	30	30	30	
	Moduły PV	60	60	60	60	60	60	
Maksymalna ciągła moc na łańcuch [W]		13 950	13 500	13 950	15 300	13 500	15 300	W
Maksymalna dozwolona moc podłączona na łańcuch ⁶		1 łańcuch: 16 200 2 łańcuchy lub więcej: 18 950	1 łańcuch: 15 750 2 łańcuchy lub więcej: 18 500	1 łańcuch: 16 200 2 łańcuchy lub więcej: 18 950	1 łańcuch: 17 550 2 łańcuchy lub więcej: 20 300	2 łańcuchy: 15 750 3 łańcuchy lub więcej: 18 500	1 – 2 łańcuchy: 17 550 3 łańcuchy lub więcej: 20 300	
Równoległe łańcuchy o różnych długościach lub orientacjach		Tak						
Maksymalna dozwolona różnica w liczbie optymalizatorów mocy między najkrótszym a najdłuższym łańcuchem podłączonym do tej samej jednostki falownika		5 optymalizatorów mocy						

OPTYMALIZACJA MOCY

/ Optymalizator mocy instalacje mieszkaniowe

S440 / S500 / S500B / S650B

	S440	S500	S500B	S650B	JEDNOSTKA
WEJŚCIE					
Znamionowa moc wejściowa DC ⁽¹⁾	440	500		650	W
Absolutnie maksymalne napięcie wejściowe (Voc)	60		125	85	Vdc
Zakres roboczy MPPT	8 – 60		12,5 – 105	12,5 - 85	Vdc
Maksymalny prąd zwarcia (Isc)	14,5	15			Adc
Maksymalna wydajność	99,5				%
Ważona wydajność	98,6				%
Kategoria przepięciowa	II				
WYJŚCIE PODCZAS PRACY					
Maksymalny prąd wyjściowy	15				Adc
Maksymalne napięcie wyjściowe	60		80		Vdc
WYJŚCIE W TRYBIE GOTOWOŚCI (OPTYMALIZATOR MOCY JEST ODŁĄCZONY OD FALOWNIKA SOLAREEDGE LUB FALOWNIK JEST WYŁĄCZONY)					
Bezpieczne napięcie optymalizatora	1 ± 0,1				Vdc
ZGODNOŚĆ Z NORMAMI ⁽²⁾					
Kompatybilność elektromagnetyczna	FCC Część 15 klasa B, IEC61000-6-2, IEC61000-6-3, CISPR11, EN-55011				
Bezpieczeństwo	IEC62109-1 (bezpieczeństwo klasy II), UL1741				
Tworzywo	UL94 V-0, odporny na działanie promieniowania UV				
RoHS	Tak				
Bezpieczeństwo przeciwpożarowe	VDE-AR-E 2100-712:2018-12				
SPECYFIKACJA MECHANICZNA					
Maksymalne dopuszczalne napięcie systemu	1000				Vdc
Wymiary (szer. x dł. x wys.)	129 x 155 x 30		129 x 165 x 45		mm
Waga	720		790		g
Złącze wejściowe	MC4 ⁽³⁾				
Długość przewodu wejściowego	0,1				m
Złącze wyjściowe	MC4				
Długość przewodu wyjściowego	(+) 2.3, (-) 0.10				m
Zakres temperatur pracy ⁽⁴⁾	Od -40 do +85				°C
Stopień ochrony	IP68				
Wilgotność względna	0 – 100				%

OPTYMALIZACJA MOCY

Parametry falownika SolarEdge

	SE3K ⁽³⁾	SE4K ⁽³⁾	SE5K	SE6K ⁽³⁾	SE7K	SE8K	SE9K	SE10K	UNITS
WYJŚCIE									
Moc znamionowa prądu zmiennego	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	VA
Moc maksymalna AC	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	VA
Napięcie wyjściowe AC - faza do fazy / faza do przewodu zerowego (napięcie znamionowe)	380 / 220 ; 400 / 230								Vac
AC - zakres napięcia wyjściowego - faza do przewodu zerowego	184 - 264,5								Vac
Częstotliwość AC	50/60 ± 5								Hz
Maksymalny ciągły prąd wyjściowy (na fazę)	5	6,5	8	10	11,5	13	14,5	16	A
Obsługiwane sieci – trójfazowa	3 / N / PE (uziemiona punktem zerowym sieć gwiazdowa z przewodem zerowym)								
Monitoring sieci, ochrona przed tworzeniem wysp, konfigurowany współczynnik mocy, konfigurowane w zależności od kraju wartości progowe	Tak								
WEJŚCIE									
Moc maksymalna DC (moduł STC)	4050	5400	6750	8100	9450	10800	12150	13500	W
Bez transformatora, nieuziemione	Tak								
Maksymalne napięcie wyjściowe	900								Vdc
Znamionowe napięcie wejściowe DC	750								Vdc
Maksymalny prąd wejściowy	5	7	8,5	10	12	13,5	15	16,5	Adc
Zabezpieczenie przed odwrotną polaryzacją	Tak								
Detekcja zwarcí doziemnych	Czułość 700kΩ								
Maksymalna sprawność falownika	98								%
Sprawność europejska (ważona)	96,7	97,3	97,3	97,3	97,4	97,6	97,5	97,6	%
Zużycie energii nocą	< 2,5								W

OPTYMALIZACJA MOCY

Parametry falownika SolarEdge

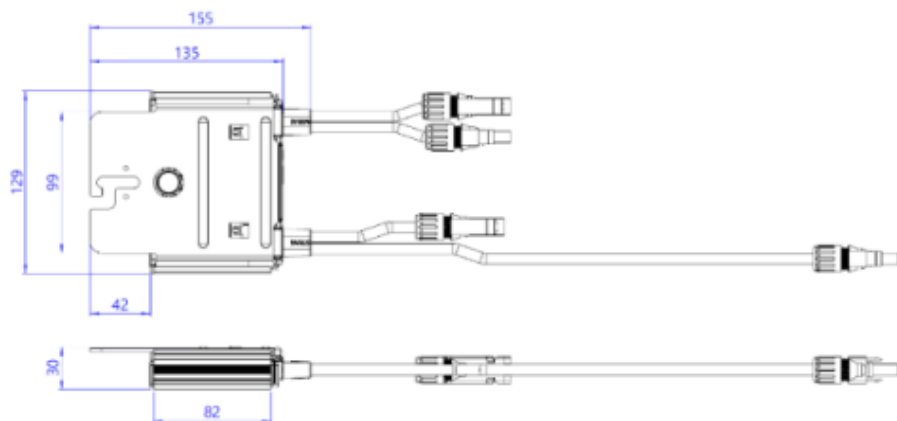
Projekt systemu fotowoltaicznego z zastosowaniem falownika SolarEdge ⁽⁵⁾		Falownik 1-faz SolarEdge Home Wave	Falownik 3-faz SolarEdge RWB	Trójfazowy dla sieci 230 / 400 V	Trójfazowy dla sieci 277 / 480 V	
Minimalna długość łańcucha (optymalizatory mocy)	S440, S500	8	9	16	18	
	S500B	6	8	14		
Maksymalna długość łańcucha (optymalizatory mocy)		25	20	50		
Maksymalna moc ciągła na łańcuch		5700	5625	11 250	12 750	W
Maksymalna dozwolona podłączona moc na łańcuch ⁽⁶⁾ (W projektach z wieloma łańcuchami maksymalna wartość jest dozwolona tylko wtedy, gdy różnica w podłączonej mocy między łańcuchami wynosi 2000 W lub mniej)		6800 ⁽⁷⁾	Zob. ⁽⁶⁾	13 500	15000	W
Równoległe łańcuchy o różnej długości lub orientacji		Tak				

(5) Niedozwolone jest mieszanie optymalizatorów mocy serii S i P w nowych instalacjach w tym samym łańcuchu.

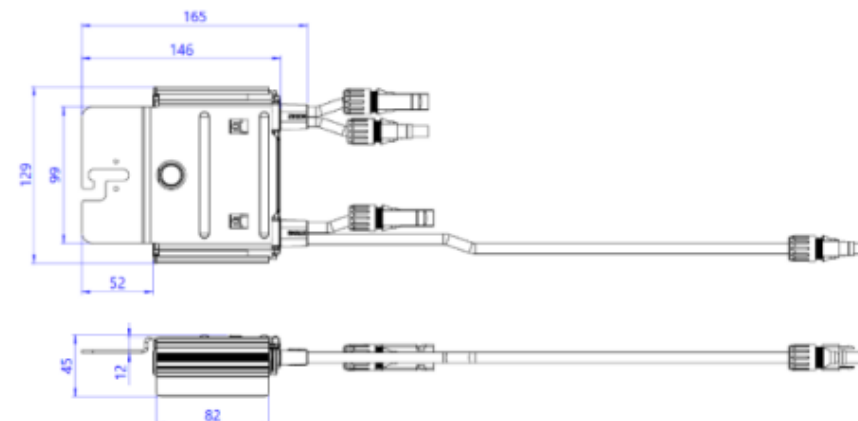
(6) Jeśli znamionowa moc AC falownika $\leq$ maksymalna moc ciągła na łańcuch, wówczas maksymalna podłączona moc na łańcuch będzie mogła osiągnąć maksymalną wejściową moc DC falownika. Patrz nota aplikacyjna „Projektowanie jednego łańcucha”.

(7) W przypadku falowników o mocy znamionowej AC $\geq$ 8000 W, które są podłączone do co najmniej dwóch łańcuchów.

S440, S500 (płaski uchwyt)



S500B, S650B (wygięty uchwyt)



OPTYMALIZACJA MOCY

Optymalizacja HUAWEI

Inteligentny optymalizator PV



Jeden uniwersalny
optymalizator, łatwiejsza praca



Parowanie z
falownikiem < 1,5 min



Automatyczne
mapowanie modułu < 5 s



Usterka łuku precyzyjnego
pozycjonowania

OPTYMALIZACJA MOCY

Optymalizacja HUAWEI

Specyfikacja techniczna	SUN2000-450W-P2		SUN2000-600W-P	
	Wejście			
Znamionowa moc wejściowa DC ¹	450 W		600 W	
Maksymalne napięcie wejściowe	80 V			
Zakres napięcia roboczego MPPT	10 - 80 V			
Maksymalny prąd zwarcia (Isc)	14,5 A			
Maksymalna sprawność	99,5%			
Sprawność ważona	99,0%			
Kategoria przeciwprzepięciowa	II			
	Wyjście			
Maksymalne napięcie wyjściowe	80 V			
Maksymalny prąd wyjściowy	15 A			
Bocznikowanie wyjścia ²	Tak			
Napięcie wyjściowe przy wyłączonym falowniku ³	0 V			
Rezystancja wyjściowa przy wyłączonym falowniku	1k ohm ± 10%			
	Komunikacja			
Metoda komunikacji	MBUS			
	Zgodność z normą			
Bezpieczeństwo	IEC62109-1 (II klasa bezpieczeństwa)			
RoHS	Tak			
	Dane ogólne			
Wymiary (Szer. x Wys. x Gł.)	75 x 140 x 28 mm (3,0 x 5,5 x 1,1 cala)			
Waga (z okablowaniem)	0,6 kg (1,3 lb.)			
Części montażowe (opcjonalnie)	Uchwyt montażowy do ramy/śruba w kształcie litery T ⁴			
Złącze wejścia	MC4			
Długość przewodu wejściowego	0,15 m			
Złącze wyjścia	MC4			
Długość przewodu wyjściowego	1,3 m (4,3 ft.) ⁵			
Temperatura robocza/zakres wilgotności	-40 °C - 85 °C ⁵ /0% RH - 100 % RH			
Stopień ochrony	IP68			
Produkt kompatybilny	SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1, SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1, SUN2000-12/15/17/20KTL-M2, SUN2000-30/36/40KTL-M3			
Dłuższe łańcuchy (pełna optymalizacja)	SUN2000-2-6KTL-L1	SUN2000-3-10KTL-M1	SUN2000-12-20KTL-M2	SUN2000-30-40KTL-M3
Minimalna liczba optymalizatorów na łańcuch ⁶	4	6	6	6
Maksymalna liczba optymalizatorów na łańcuch	25	35	35	25
Maksymalna moc DC na łańcuch	6 000 W	10 000 W	12 000 W	12 000 W

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

Prezentacja powstała na podstawie:

„Praktyczny Poradnik Instalatora” Atum Sp z o.o.

Tytko R., Góralczyk I. „Fotowoltaika. Urządzenia, instalacje fotowoltaiczne i elektryczne.” Kraków 2015

Szymański B. „Instalacje fotowoltaiczne” Wydanie III, Kraków 2014

Materiały NCN - <https://ncn.gov.pl>

<https://web.facebook.com/januszpv/>

Solaris18.blogspot.pl

Karty katalogowe producentów systemów fotowoltaicznych