

Systemy fotowoltaiczne, nowoczesne i oszczędne rozwiązania dla domu. Wybrane przykłady z kraju i Unii Europejskiej

Autorzy prezentacji:

Krzysztof Górecki

Krzysztof Rogowski

Program szkolenia:

1. Wprowadzenie do systemów fotowoltaicznych.
 - a. Ogniwa fotowoltaiczne
 - b. Moduły fotowoltaiczne
 - c. Falowniki
 - d. Systemy montażowe
2. Projektowanie systemów fotowoltaicznych
 - a. Systemy fotowoltaiczne typu on-grid
 - b. Systemy fotowoltaiczne wyspowe
 - c. Systemy fotowoltaiczne hybrydowe
 - d. Zabezpieczenia w systemach fotowoltaicznych
 - e. Ochrona odgromowa i przepięciowa
3. Regulacje prawne związane z systemami fotowoltaicznymi
 - a. Prawo budowlane oraz energetyczne
4. Bezpieczeństwo użytkowania instalacji fotowoltaicznych oraz problemy eksploatacyjne
 - a. Ochrona przeciwpożarowa
 - b. Błędy wykonawcze
 - c. Wzrost napięcia w miejscu przyłączenia falownika
5. Przykłady instalacji fotowoltaicznych
6. Wskazówki i dobre praktyki projektowe
7. Jaka jest przyszłość systemów fotowoltaicznych w Polsce i w UE.



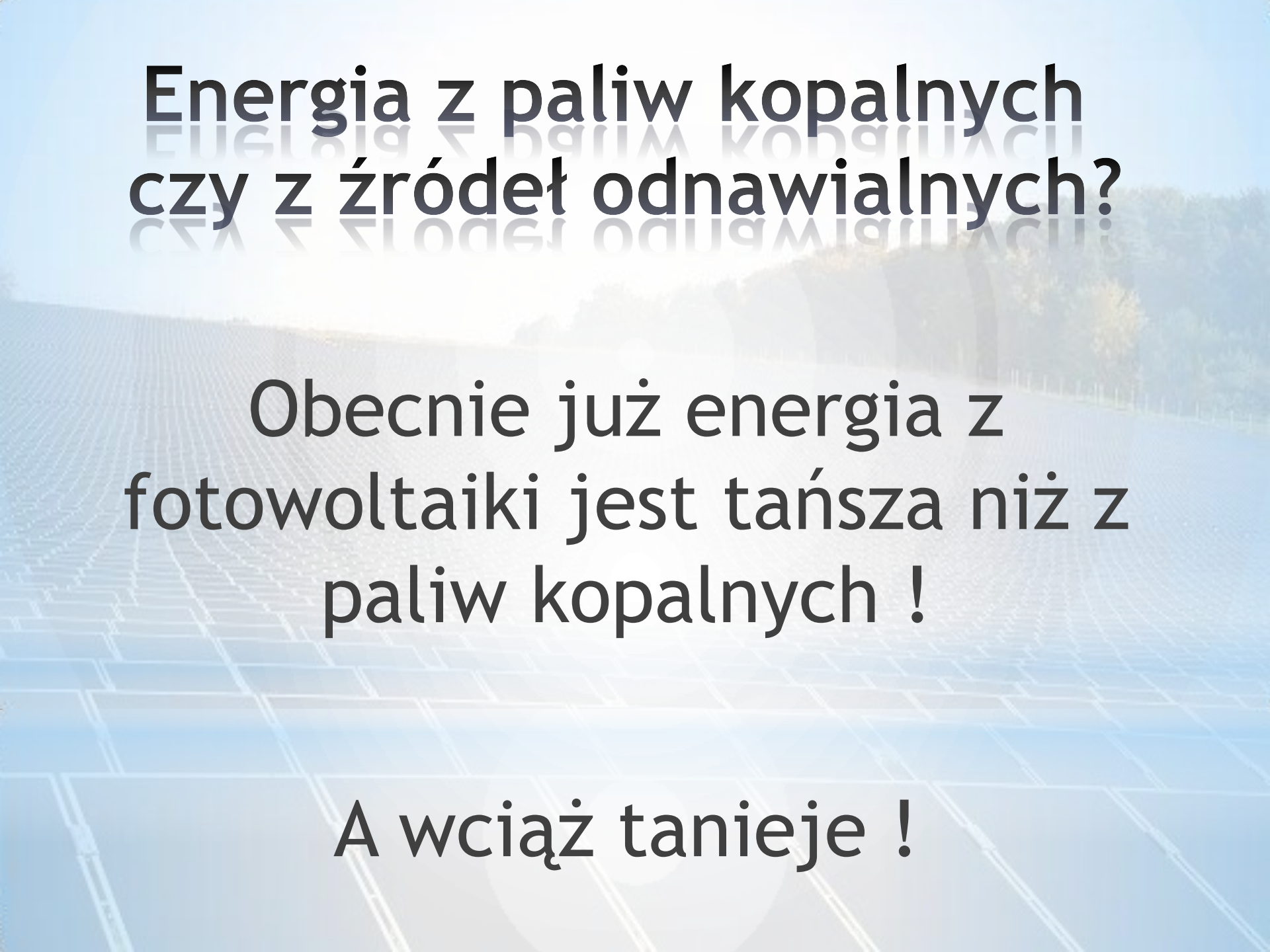
Europejski Zielony Ład

Przekształcenie Unii Europejskiej w nowoczesną, zasobooszczędną i konkurencyjną gospodarkę:

- która do roku 2050 mamy osiągnąć zerowy poziom emisji gazów cieplarnianych
- w której nastąpi oddzielenie wzrostu gospodarczego od zużywania zasobów
- w której żadna osoba ani żaden region nie pozostaną w tyle.

Działania

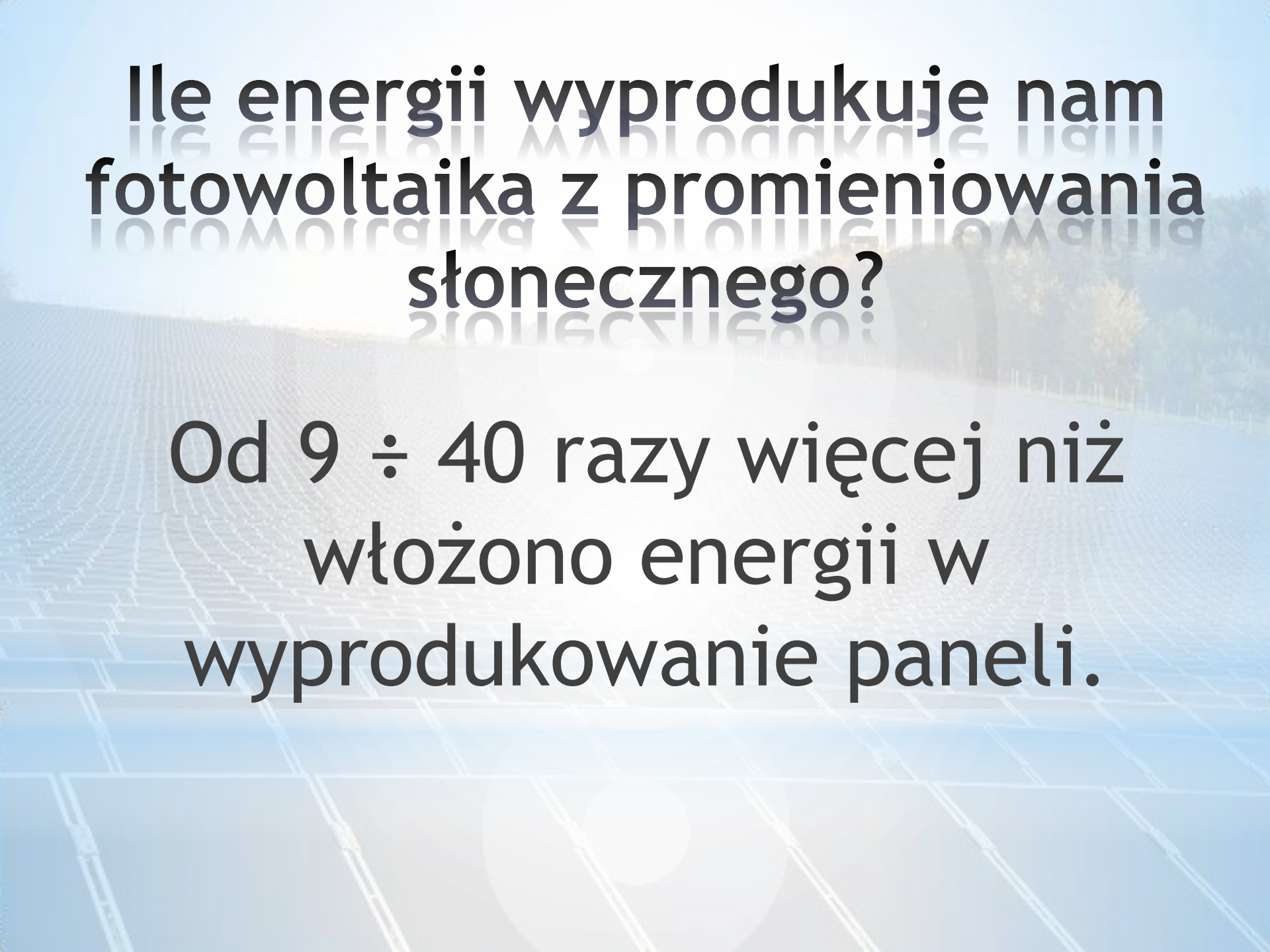
- inwestycje w technologie przyjazne dla środowiska
- wprowadzenie czystszych, tańszych i zdrowszych form transportu prywatnego i publicznego
- obniżenie emisyjności sektora energii



Energia z paliw kopalnych czy z źródeł odnawialnych?

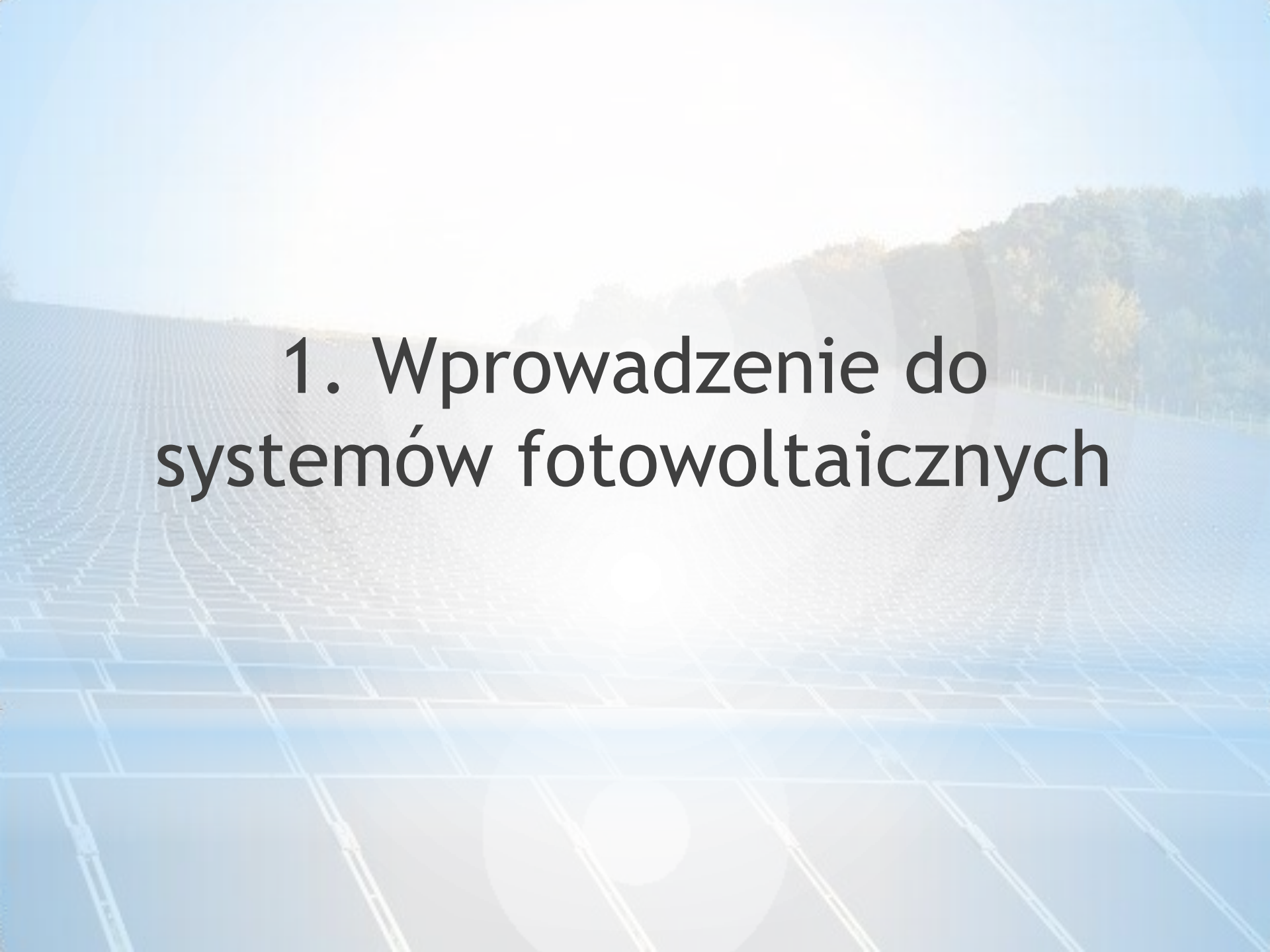
Obecnie już energia z
fotowoltaiki jest tańsza niż z
paliw kopalnych !

A wciąż tanieje !



Ile energii wyprodukuje nam
fotowoltaika z promieniowania
słonecznego?

Od $9 \div 40$ razy więcej niż
włożono energii w
wyprodukowanie paneli.

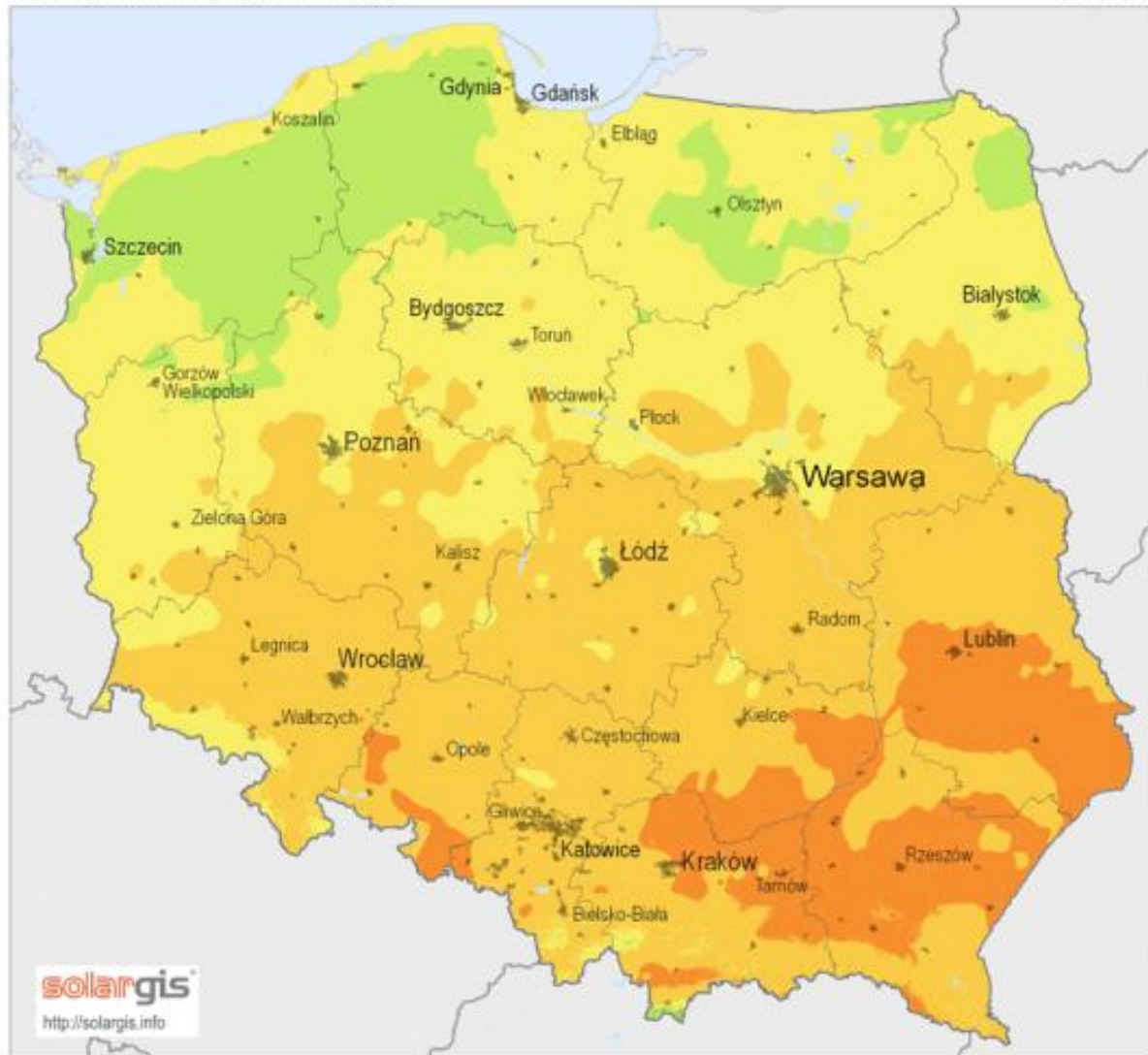


1. Wprowadzenie do systemów fotowoltaicznych

Warunki nasłonecznienia w Polsce

Global horizontal irradiation

Poland



solarGIS
<http://solargis.info>

Average annual sum (4/2004 - 3/2010)

< 1000 1080 1160 kWh/m²

0 50 100 km

© 2011 GeoModel Solar s.r.o.

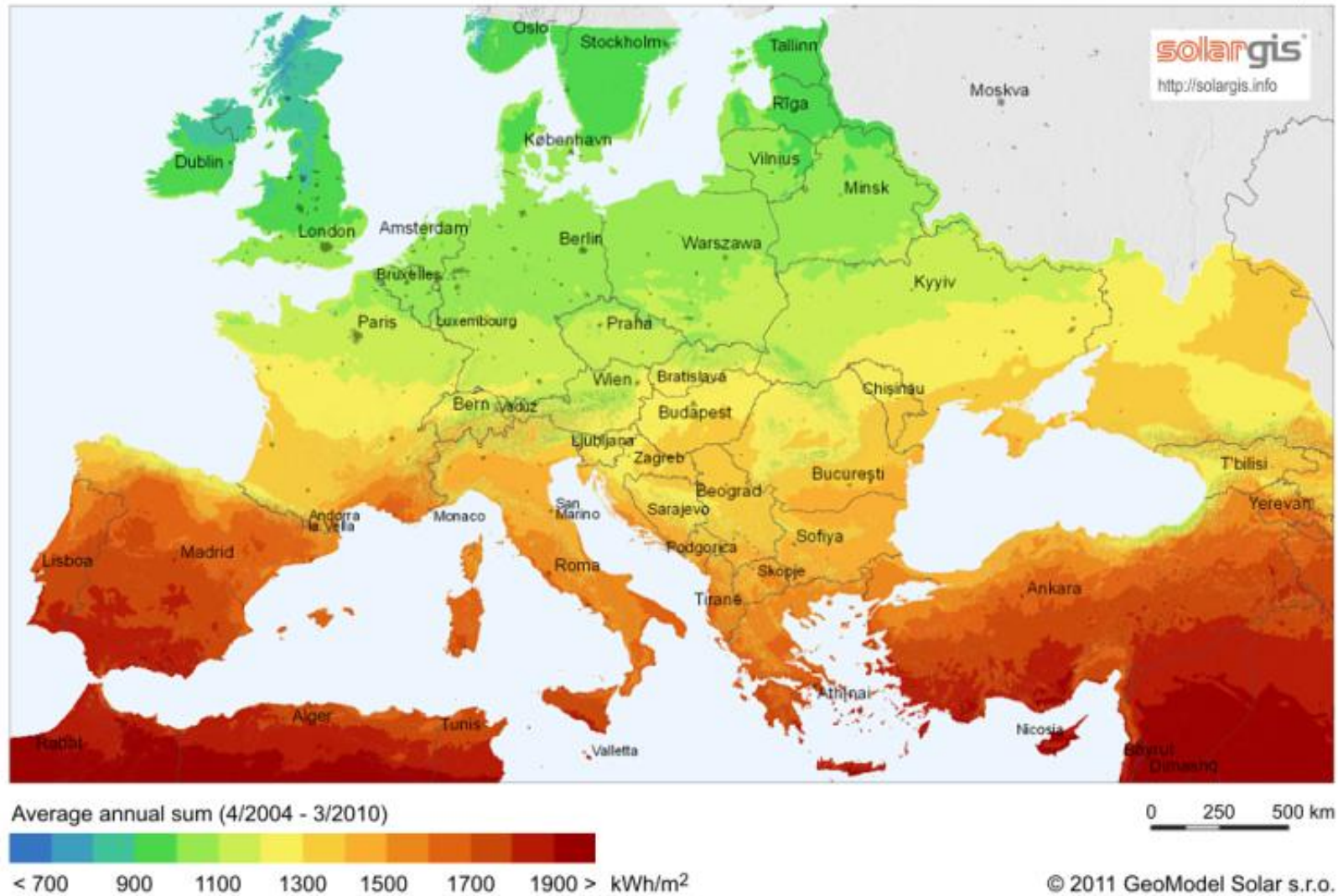
Średnie roczne
nasłonecznienie
w Polsce

U nas na południu
Polski około 1MWh z
zainstalowanej mocy
1kWp

Warunki nasłonecznienia w Europie

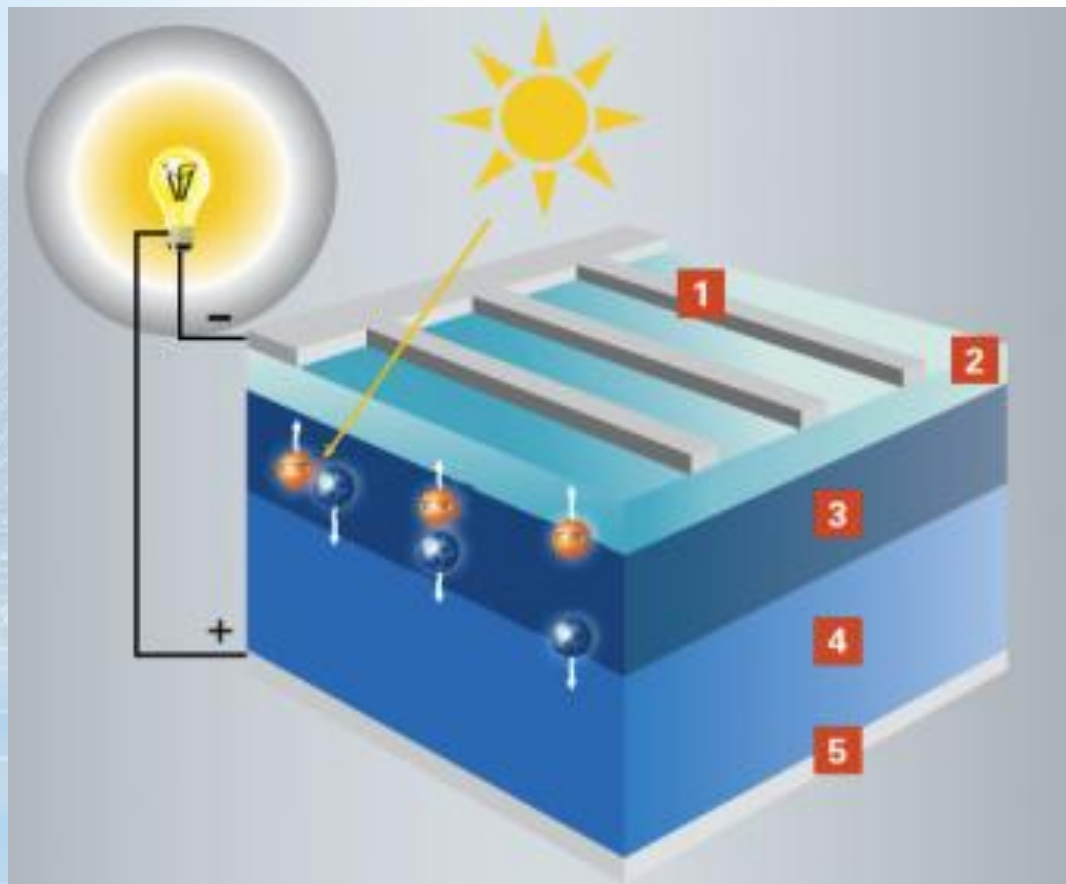
Global horizontal irradiation

Europe



Średnie roczne nasłonecznienie w Europie

Jak działa ogniwo fotowoltaiczne?



1. Elektroda ujemna
2. Półprzewodnik typu N
3. Warstwa zaporowa
4. Półprzewodnik typu P
5. Elektroda dodatnia

Ogniwo fotowoltaiczne krzemowe

Rodzaje ogniw fotowoltaicznych

Ogniwa monokrystaliczne:

- Sprawność: **18-23%**
- Żywotność (80% mocy): **20-25 lat**

Ogniwa polikrystaliczne:

- Sprawność: **14-20%**
- Żywotność (80% mocy): **25 lat**

Ogniwa cienkowarstwowe (amorficzne):

- Sprawność: **7-16%**
- Żywotność (80% mocy): **15-25 lat**

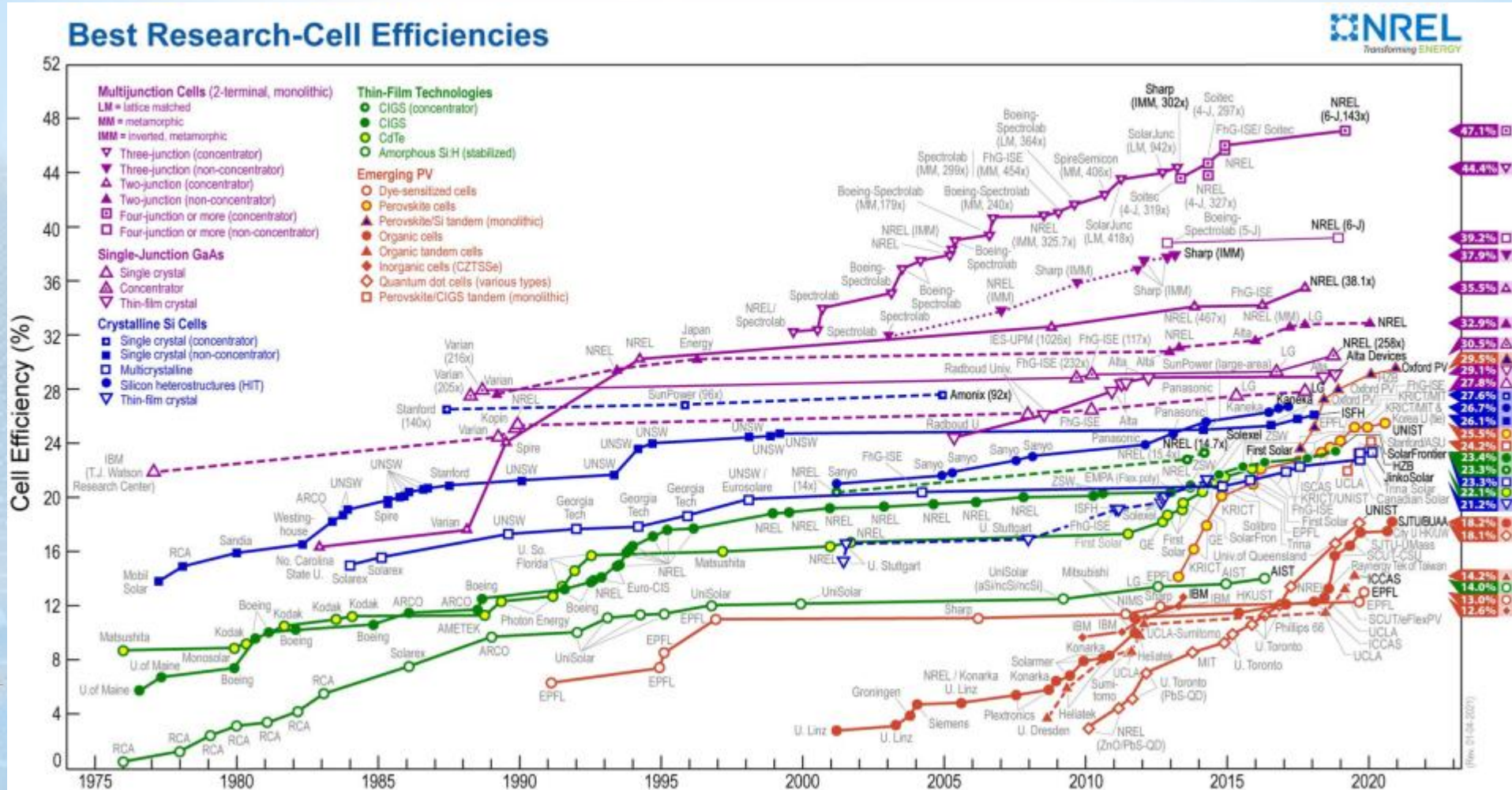
Ogniwa III generacji:

- Sprawność: **0.5-15%**
- Ogniwa organiczne
- Ogniwa polimerowe
- Ogniwa mineralne (perowskity CaTiO_3 , kesteryt)

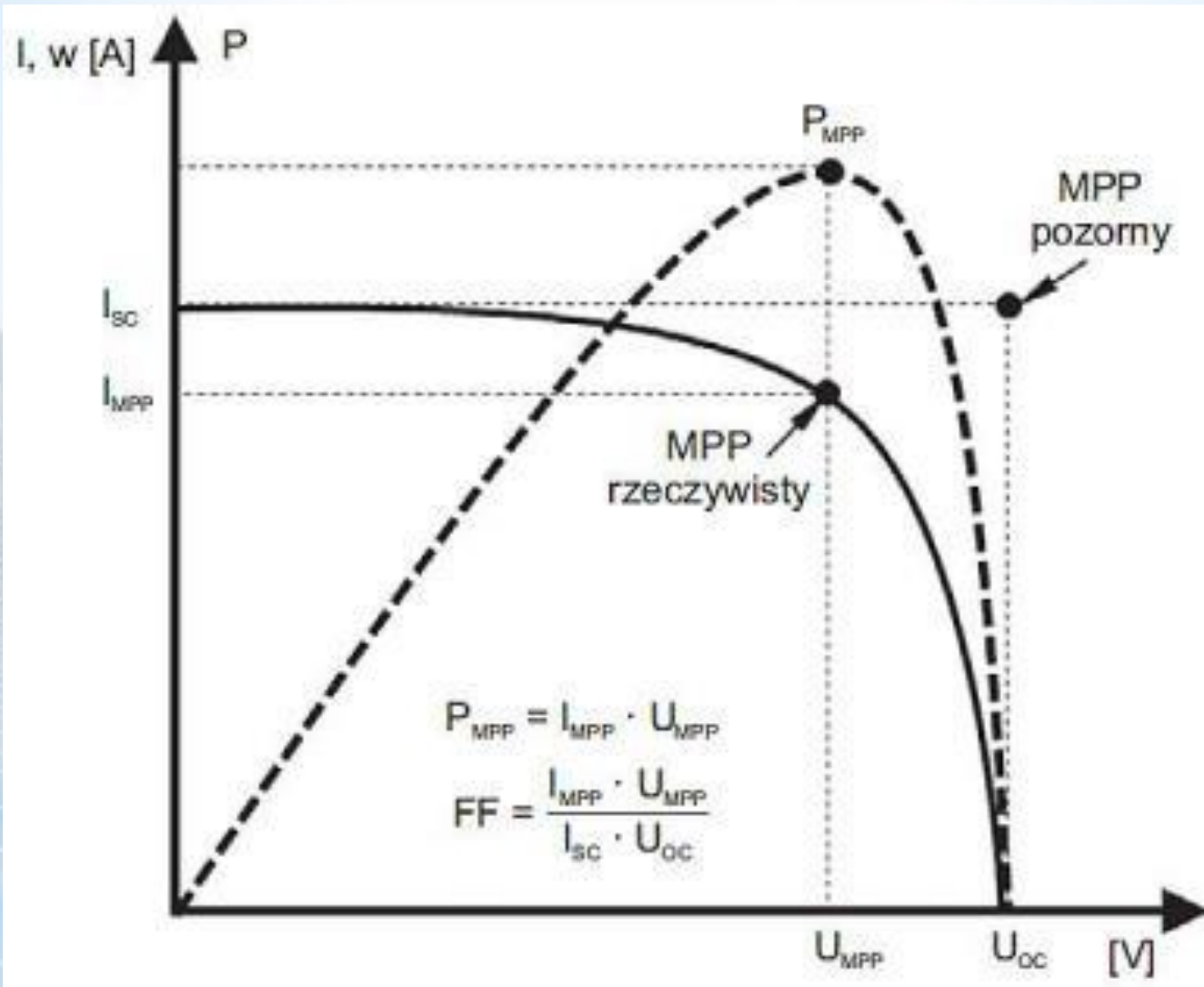
Rozwój ogniw i paneli fotowoltaicznych

- Zwiększenie sprawności bez zwiększenia ceny
- Obniżenie kosztów produkcji bez zwiększenia sprawności
- Produkcja ogniw o innym kolorze niż niebiesko-grafitowy i czarny o zbliżonej sprawności
- Znaczne obniżenie ceny kosztem sprawności
- Rozwój specjalnych konstrukcji paneli fotowoltaicznych

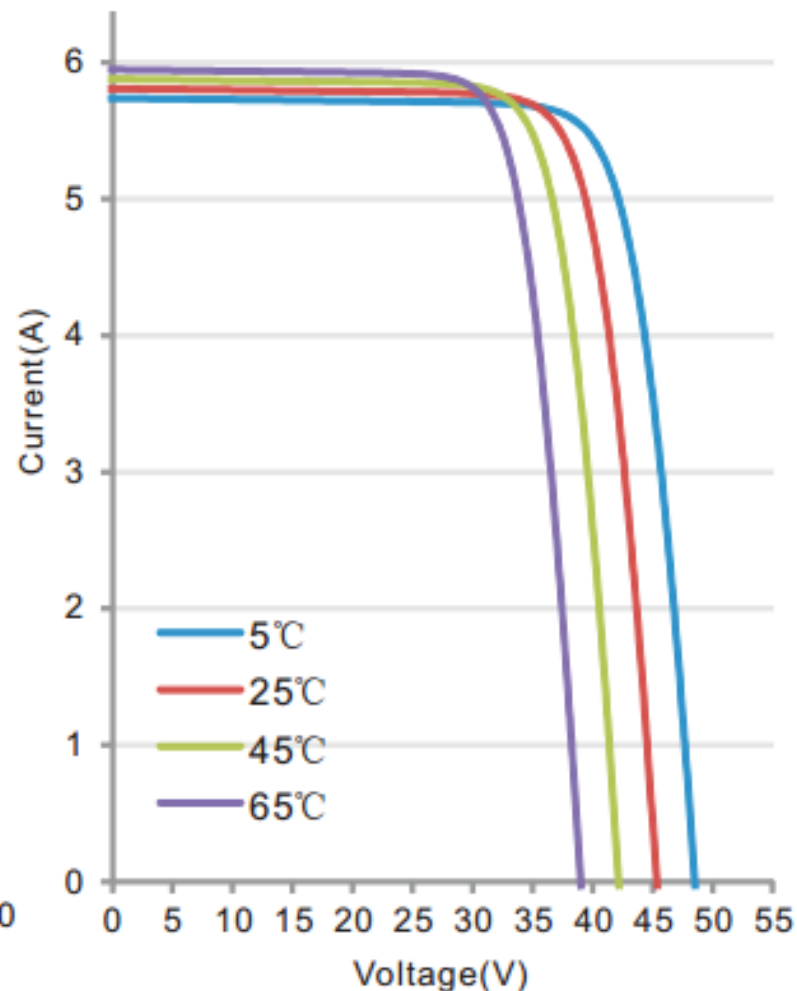
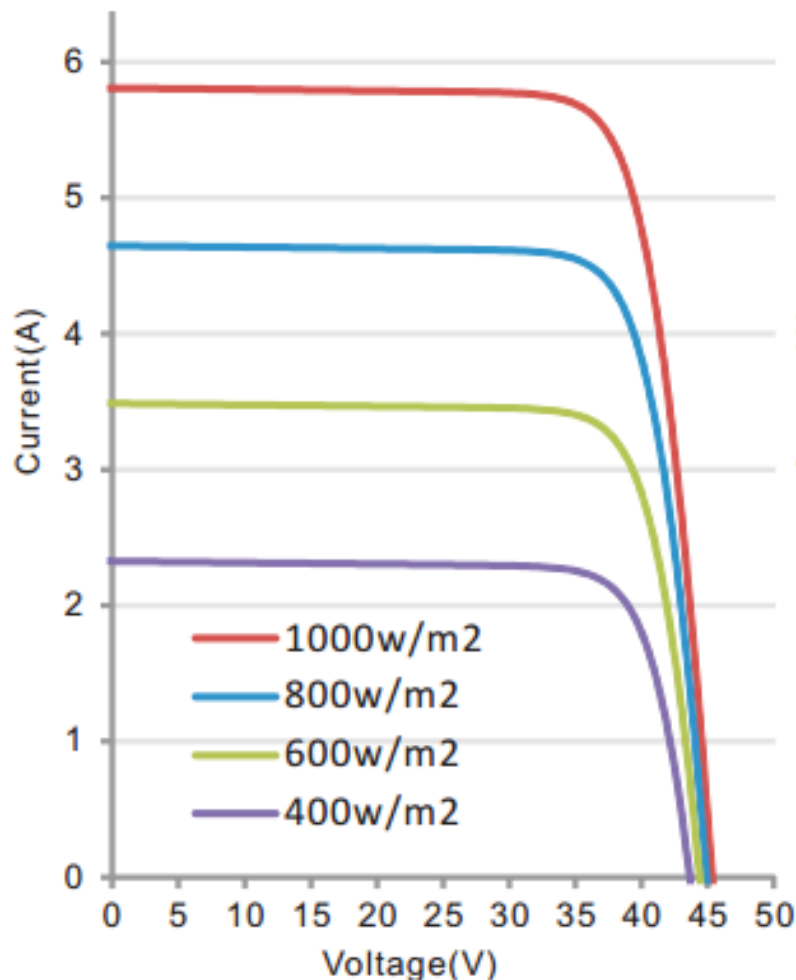
Rozwój ogniw fotowoltaicznych



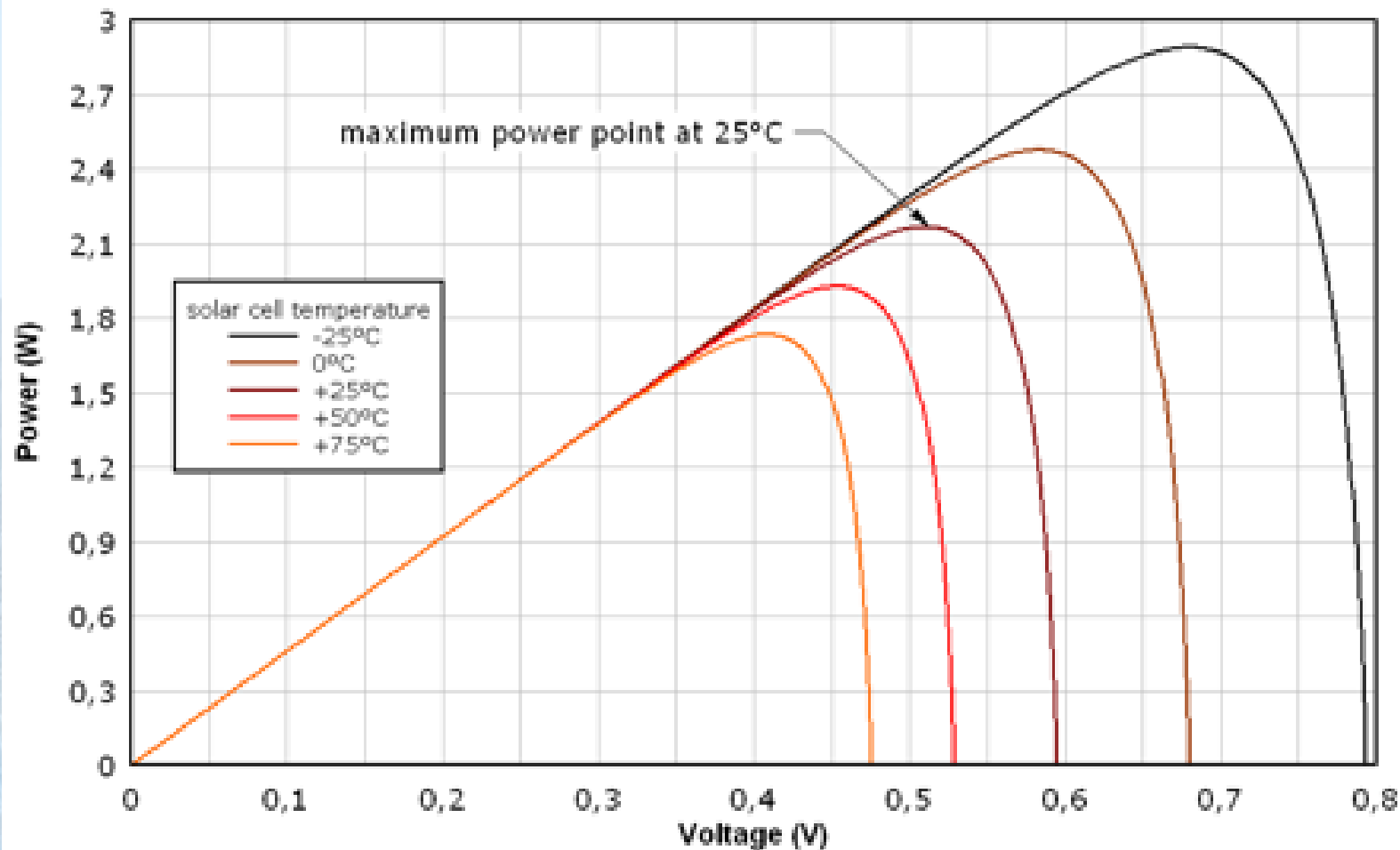
pl.wikipedia.org



Charakterystyka prądowo-napięciowa ogniwa fotowoltaicznego

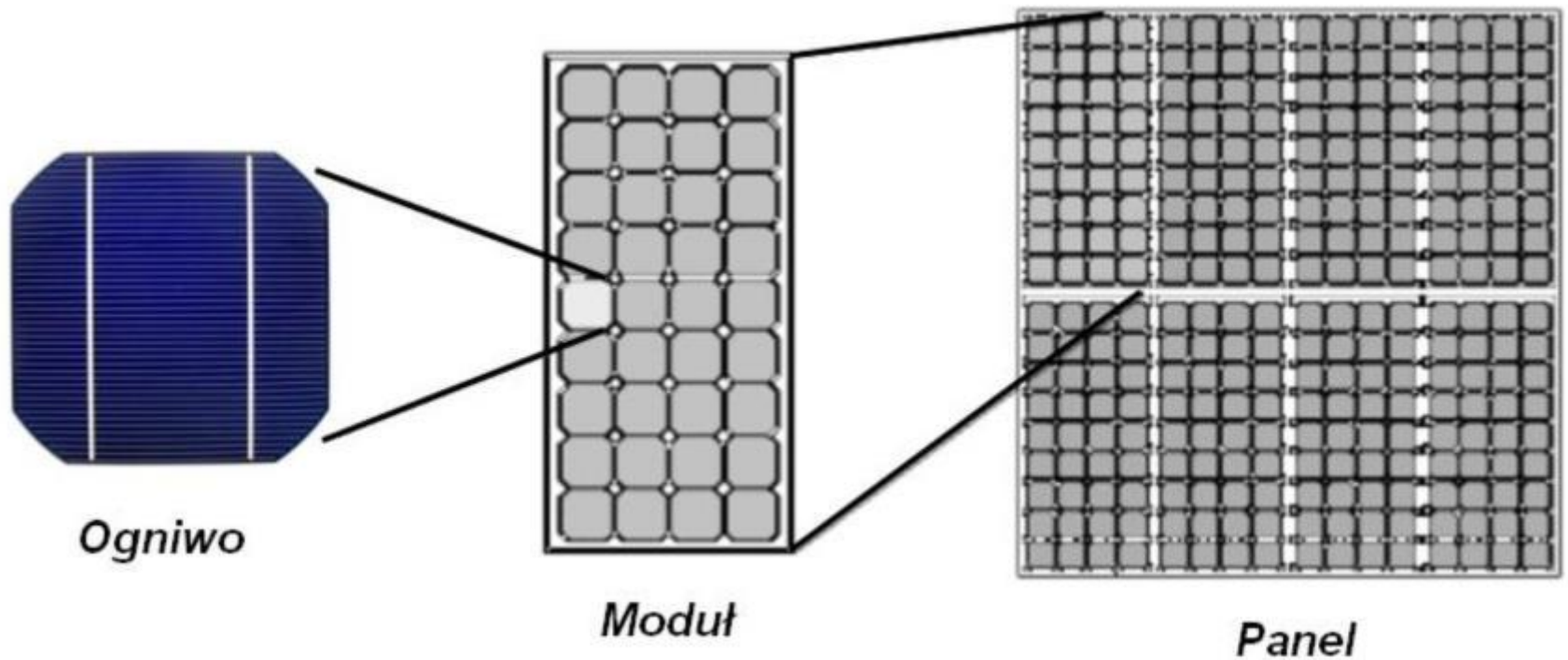


Wpływ nasłonecznienia i temperatury na charakterystykę prądowo-napięciową ogniwa fotowoltaicznego



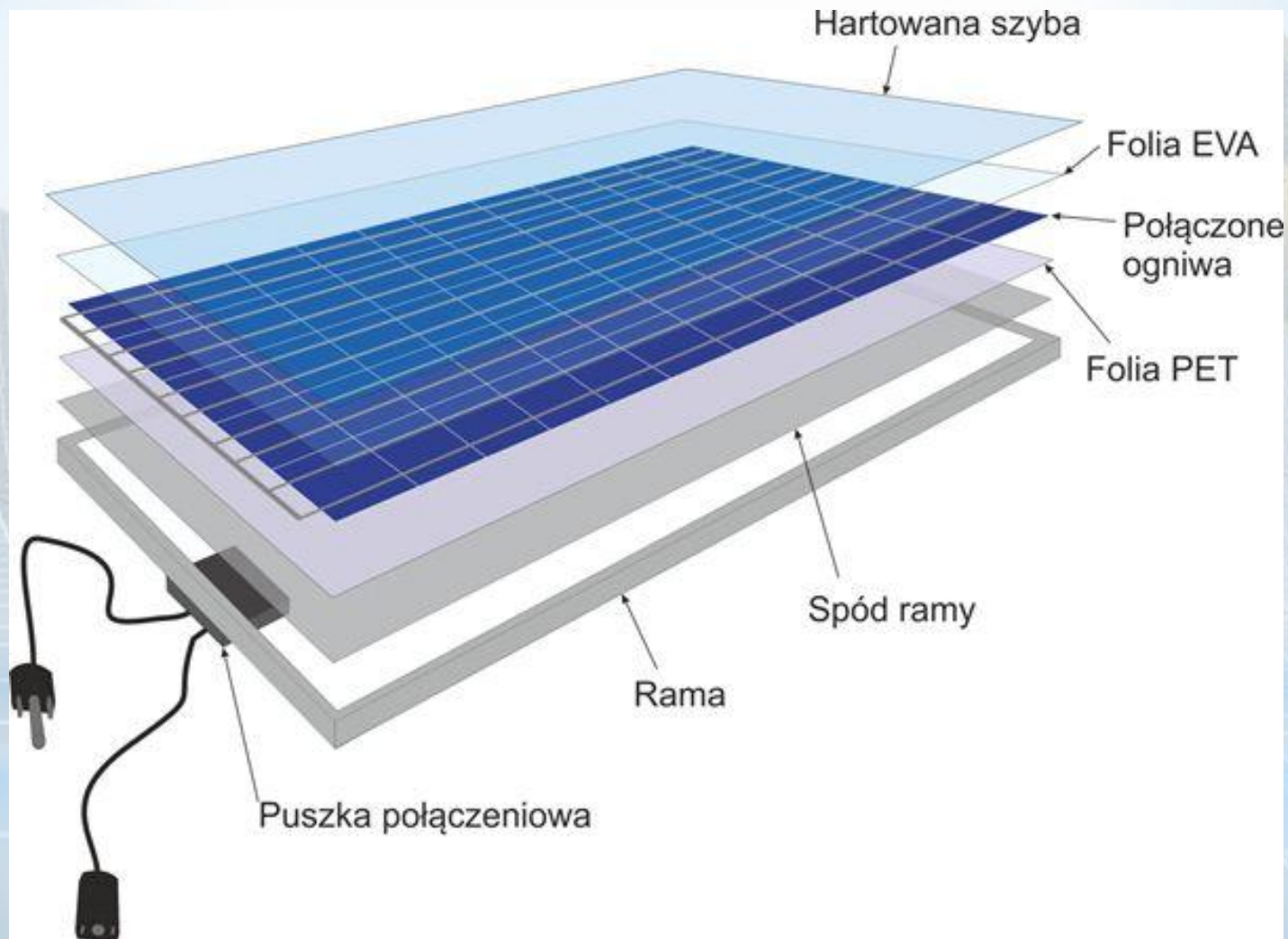
Wpływ temperatury na charakterystykę mocy ogniwa fotowoltaicznego

Panel fotowoltaiczny



<http://www.sep.krakow.pl/nbiuletyn/nr66ar2.pdf>

Moduł fotowoltaiczny



Bogdan Szymański, „Instalacje fotowoltaiczne”, Globenergia, Kraków 2019.



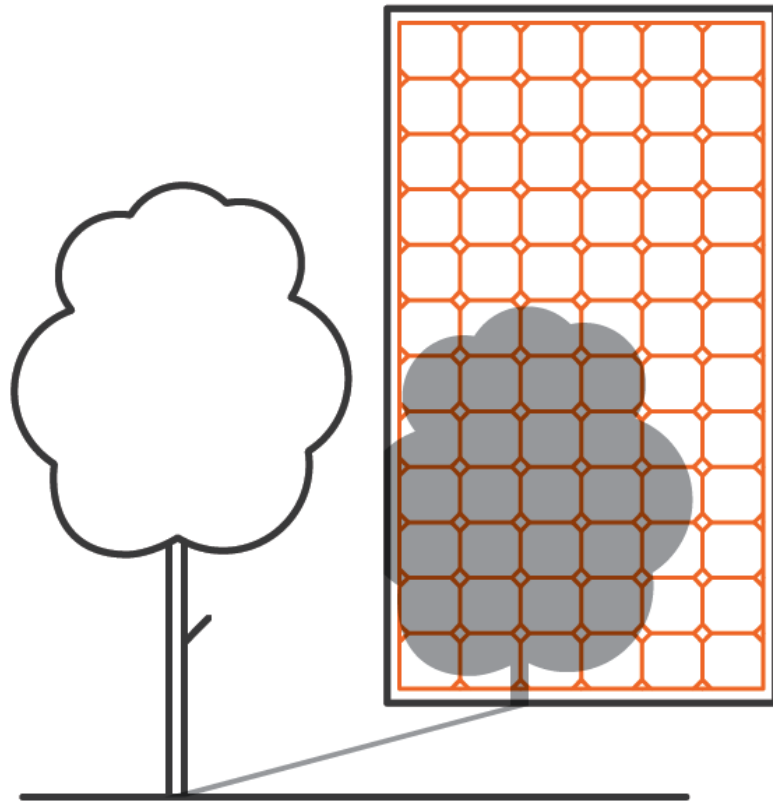
STC

Standard Test Conditions

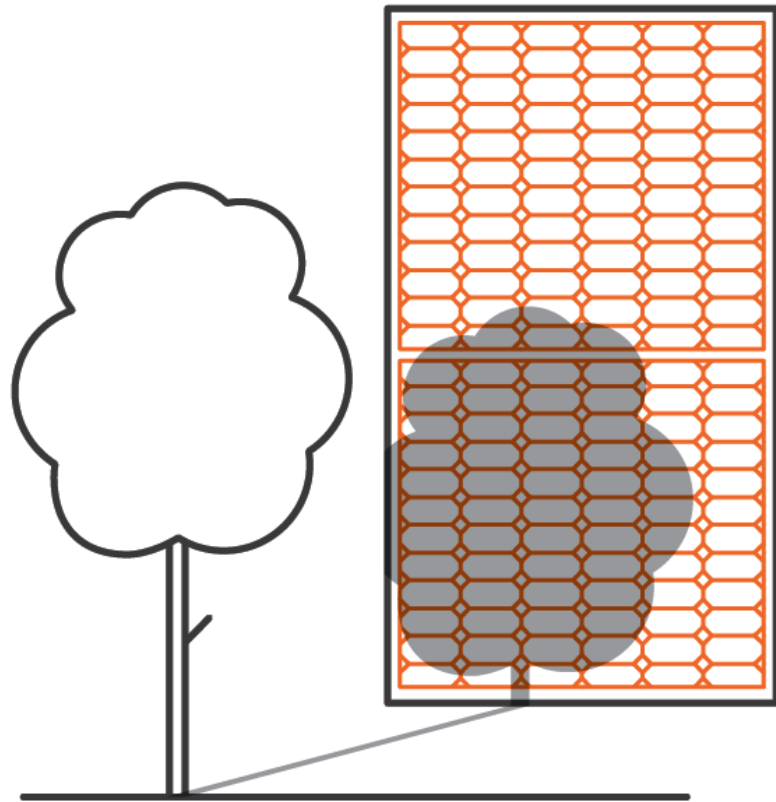
- Moc promieniowania słonecznego: 1000 W/m^2
- Współczynnik masy powietrza: **AM 1.5**
- Temperatura cel (ogniw): **25 °C**
- Temperatura powietrza: nie uwzględniana
- Prędkość wiatru: nie uwzględniana

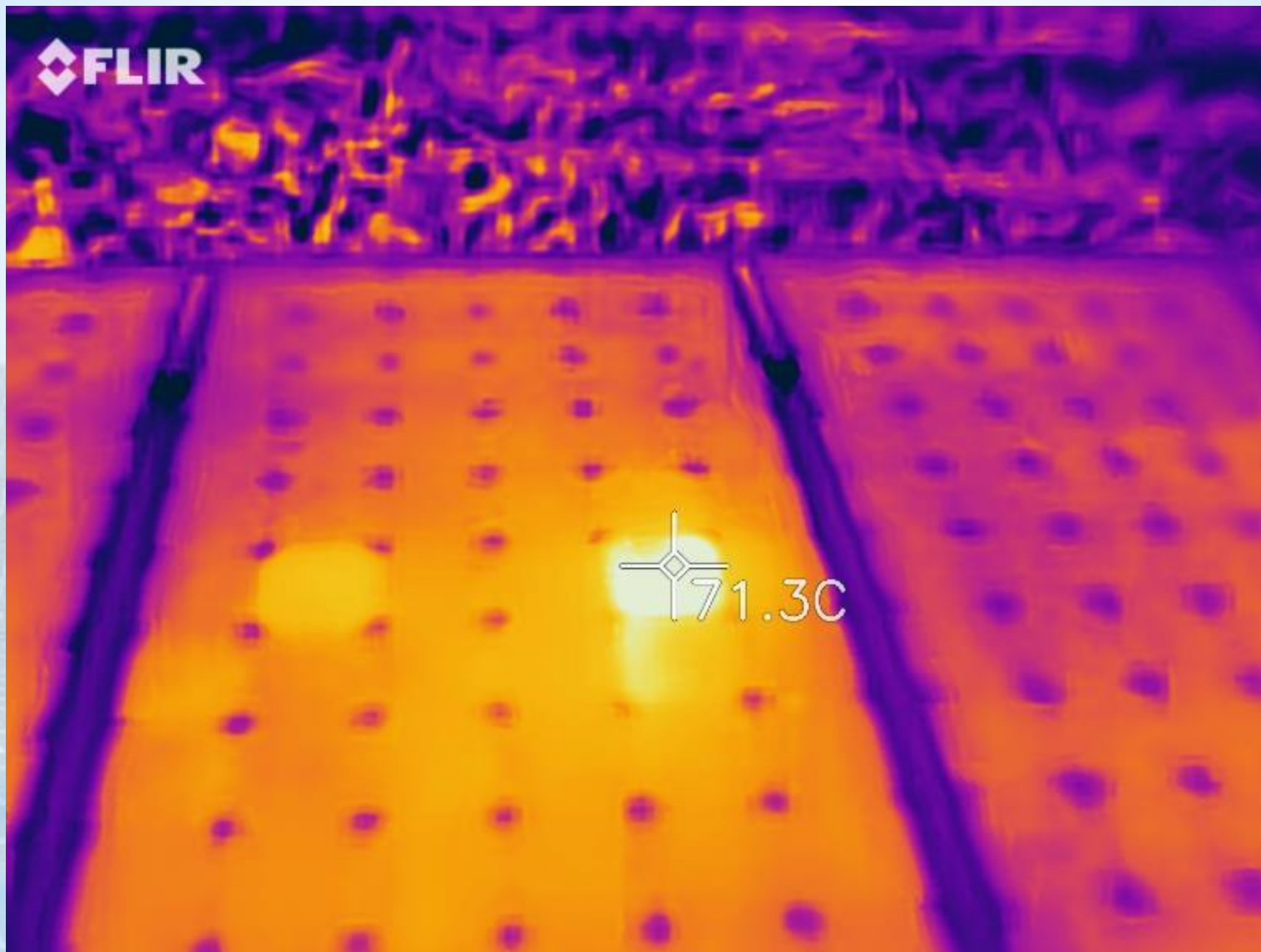
NOCT (Normal Operating Cell Temperature) - temperatura ogniwa w nominalnych warunkach pracy : 800 W/m^2 , 20°C , AM 1.5, prędkość wiatru 1 m/s

**Moduły
standardowe**



**Moduły cięte na pół HCC
Half Cut Cells**





Wpływ temperatury na panele
fotowoltaiczne

Falowniki

Falownik (ang. inverter) to urządzenie, które przekształca energię elektryczną w postaci napięcia i prądu stałego na energię elektryczną napięcia i prądu przemiennego o parametrach zgodnych energią elektryczną w sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia (230/400V, 50 Hz).

Falowniki

Podział falowników ze względu na typ instalacji

- ☐ Falowniki do pracy wyspowej
- ☐ Falowniki do pracy w sieci elektroenergetycznej
 - ☐ Falowniki transformatorowe
 - ☐ Falowniki beztransformatorowe

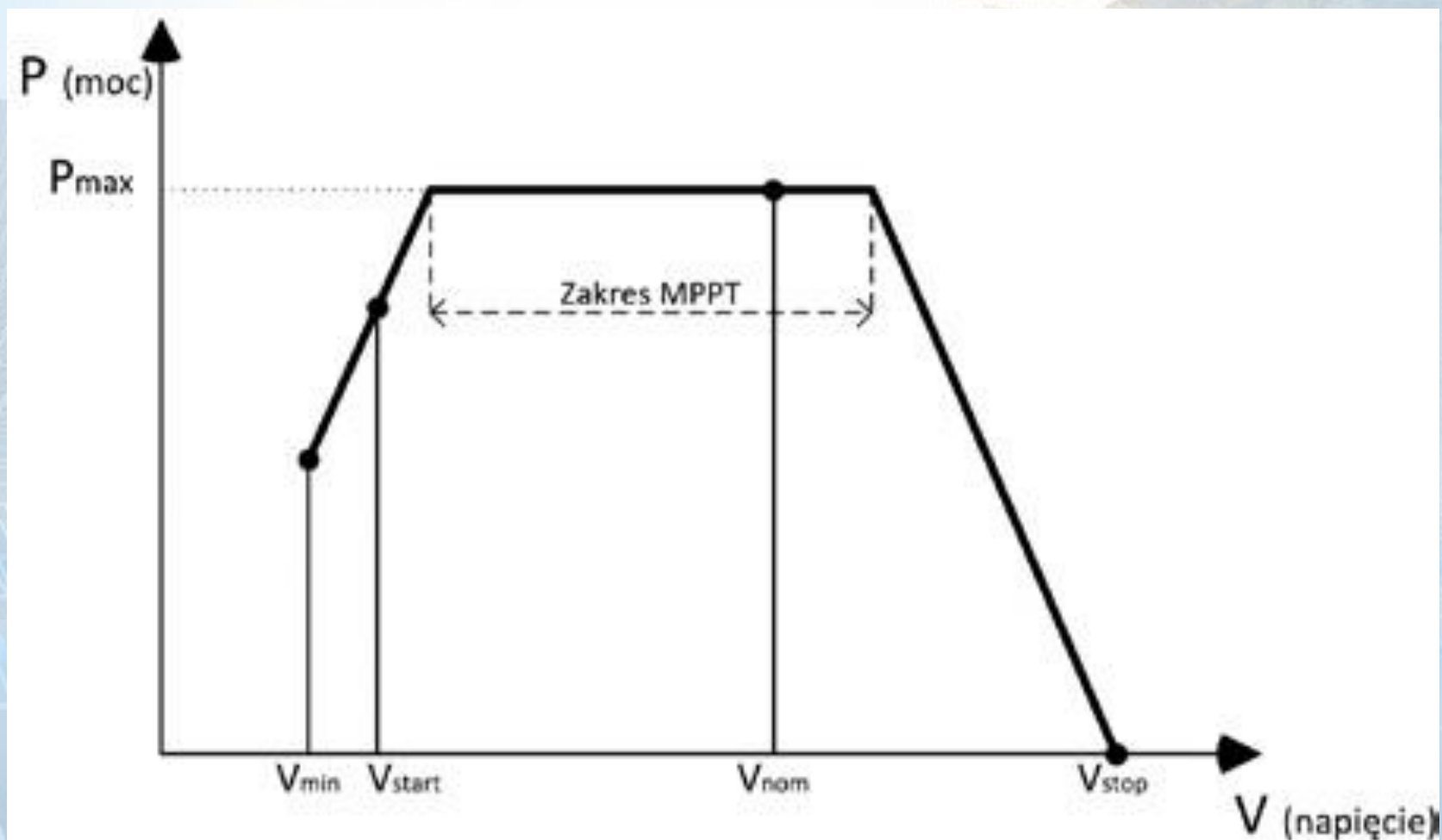
Podział falowników ze względu na wielkość

- ☐ Mikrofalowniki (do 350W)
- ☐ Falowniki szeregowo (do 50kW)
- ☐ Falowniki centralne (500 ÷ 1000kW)

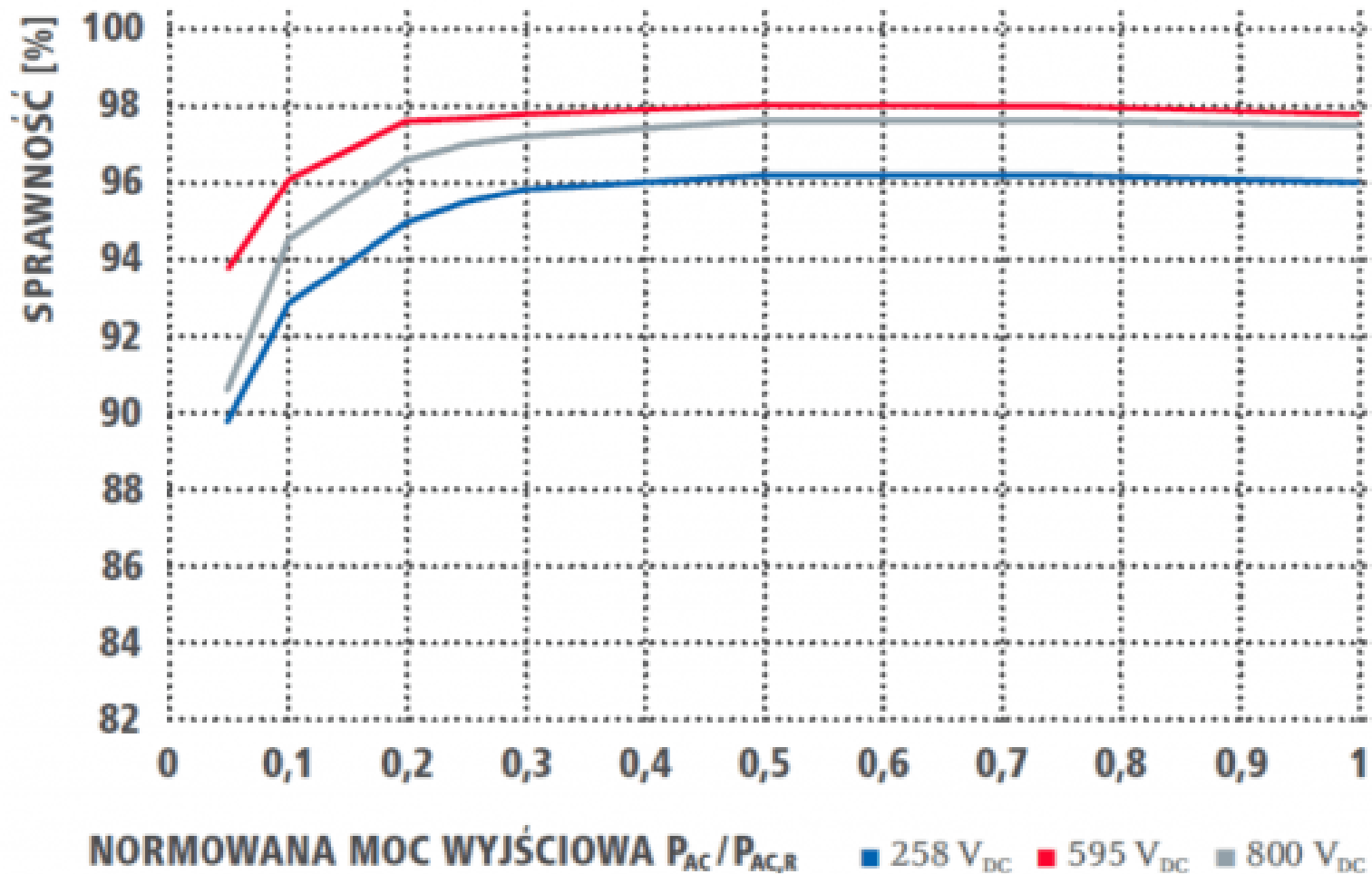
Podłączenie falownika sieciowego



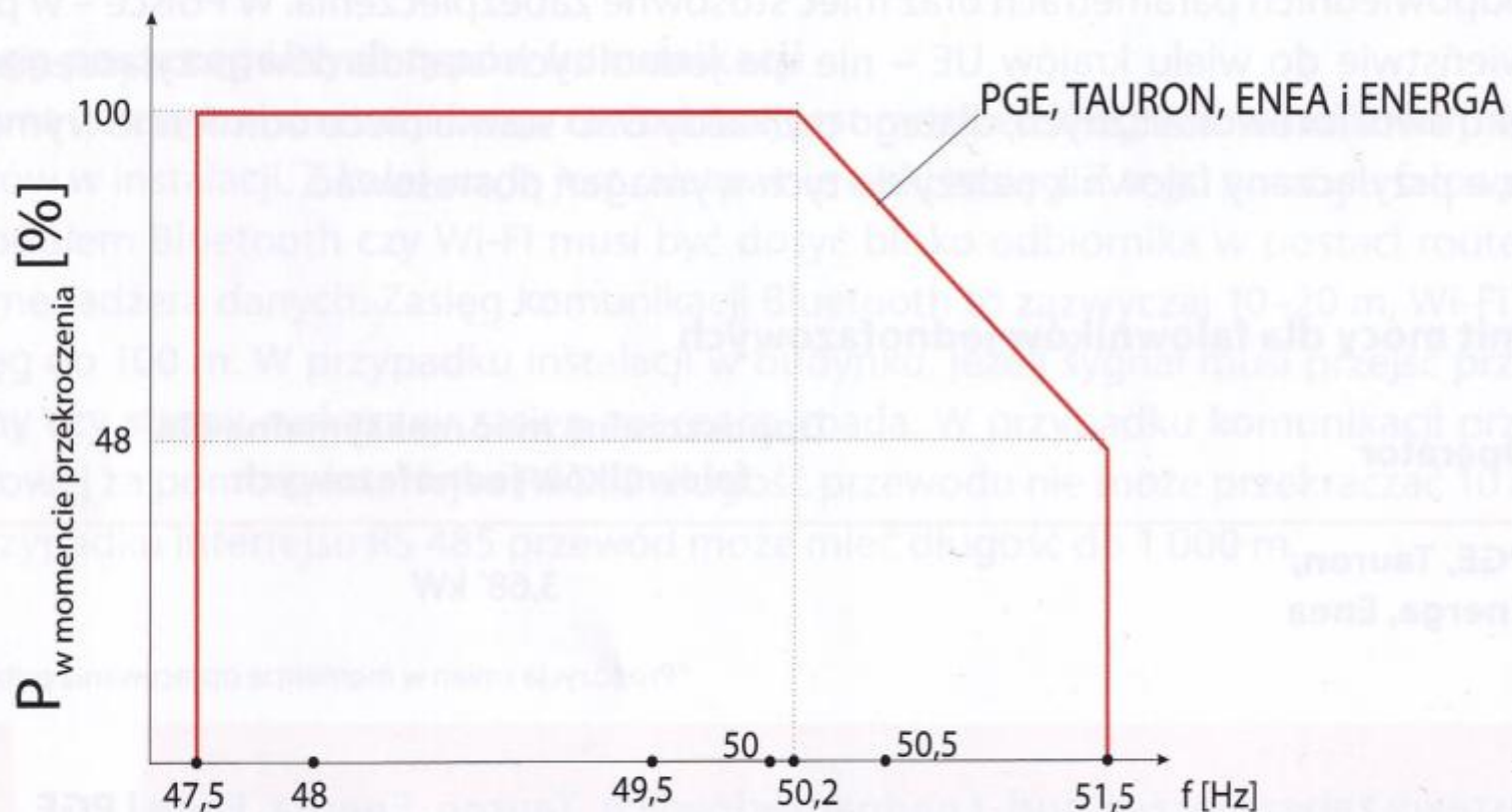
Napięciowy zakres pracy falownika



Sprawność falowników



Zabezpieczenia nad- i podczęstotliwościowe



Konfiguracja falownika

Wymagania operatora systemu dystrybucyjnego
względem konfiguracji falowników:

TAURON, PGE, ENERGA, ENEA:

Dopuszczalna moc dla falowników jednofaz: 3,68 kW

Nastawy zabezpieczeń pod- i nadnapięciowych,
TAURON, PGE, ENERGA, ENEA :

$U < 0,8 U_n$ 184 V / 320 V - Wyłączenie < 100 ms

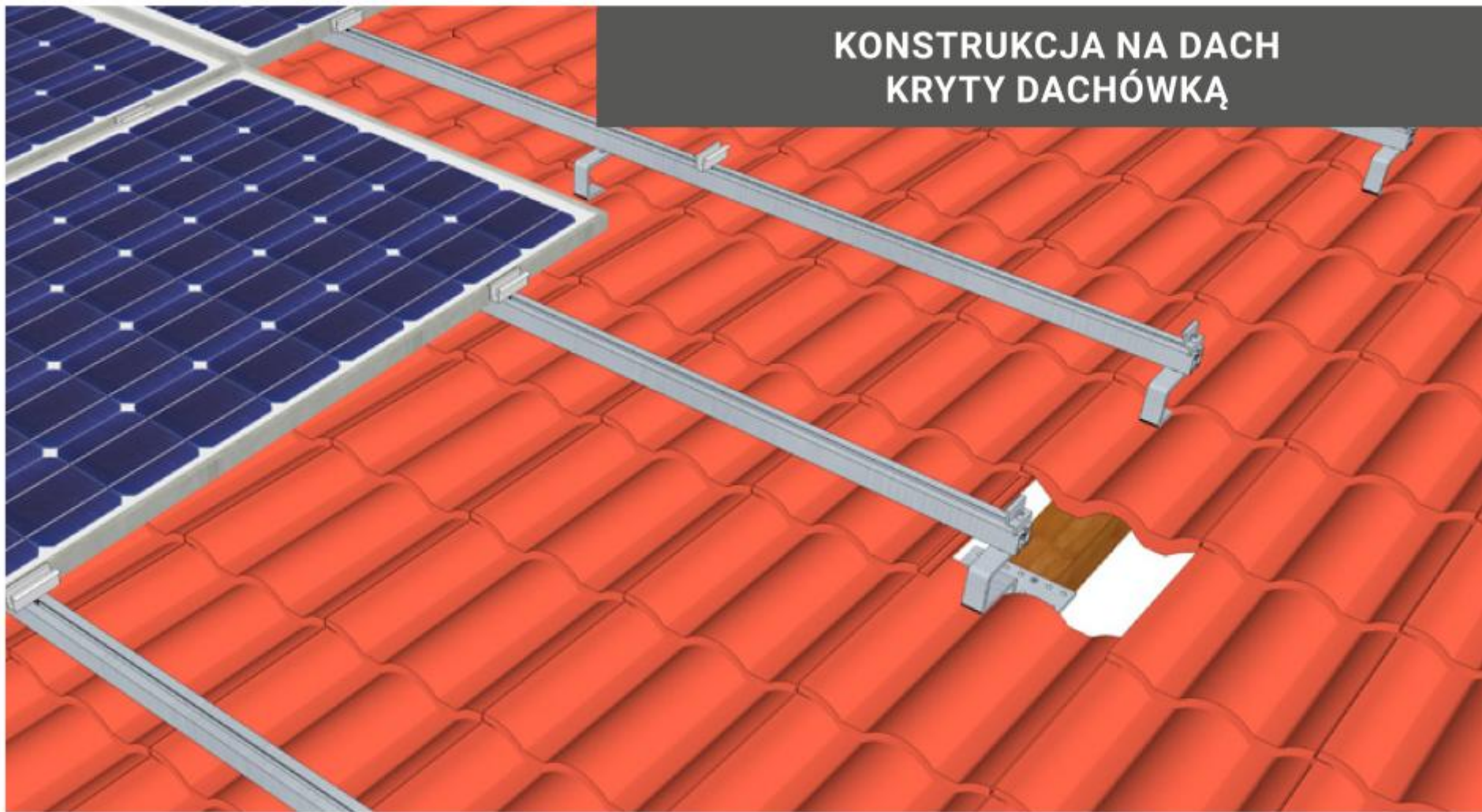
$U > 1,1 U_n$ 253 V / 440 V - Wyłączenie < 100 ms ($U_{avg10min}$)

$U > 1,15 U_n$ 264 V / 460 V - Wyłączenie < 100 ms

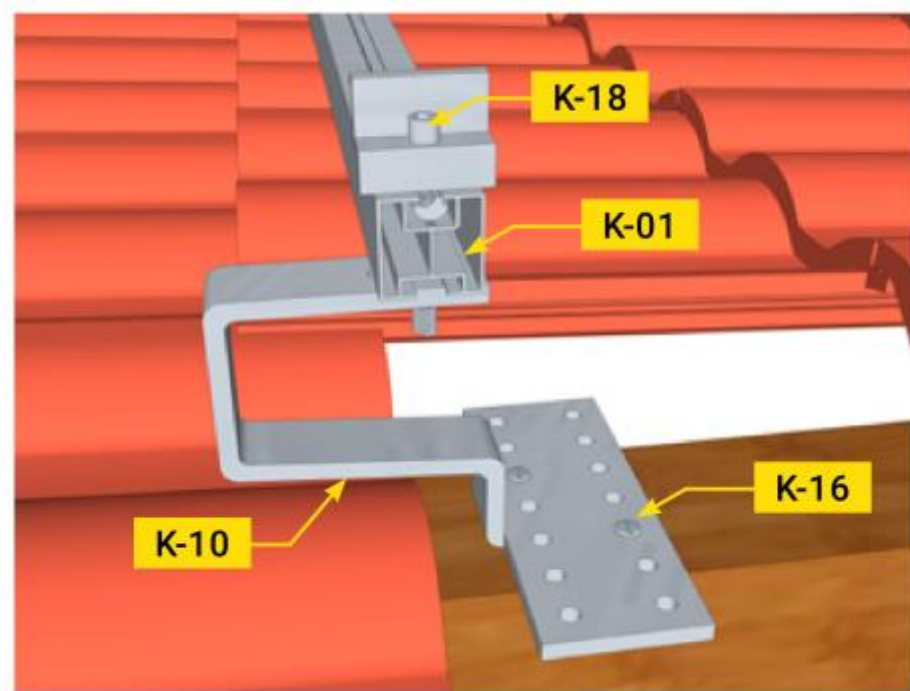
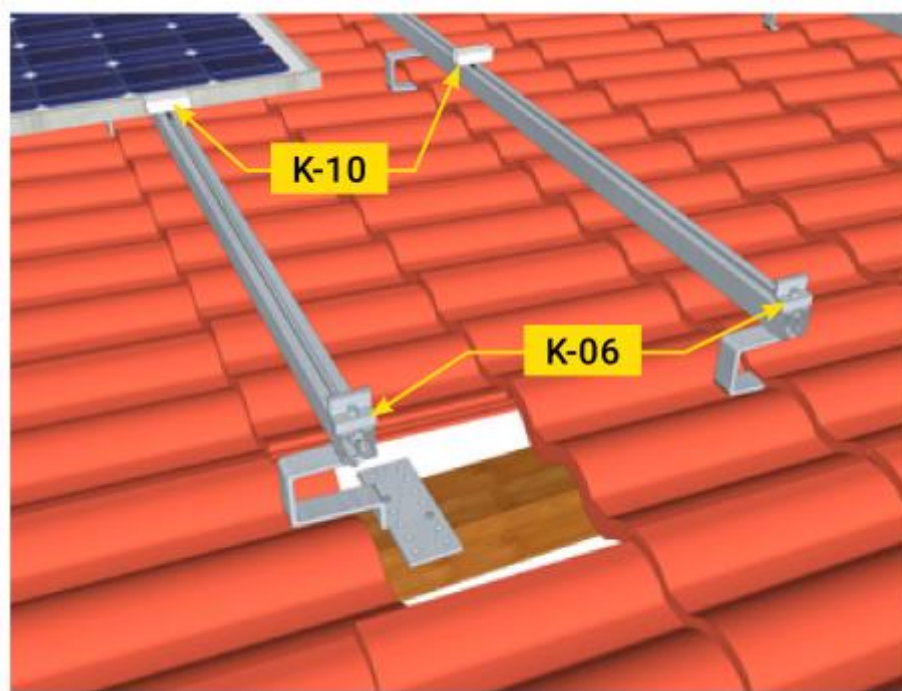
Systemy montażowe

□ NA DACHY SKOŚNE

KONSTRUKCJA NA DACH
KRYTY DACHÓWKĄ



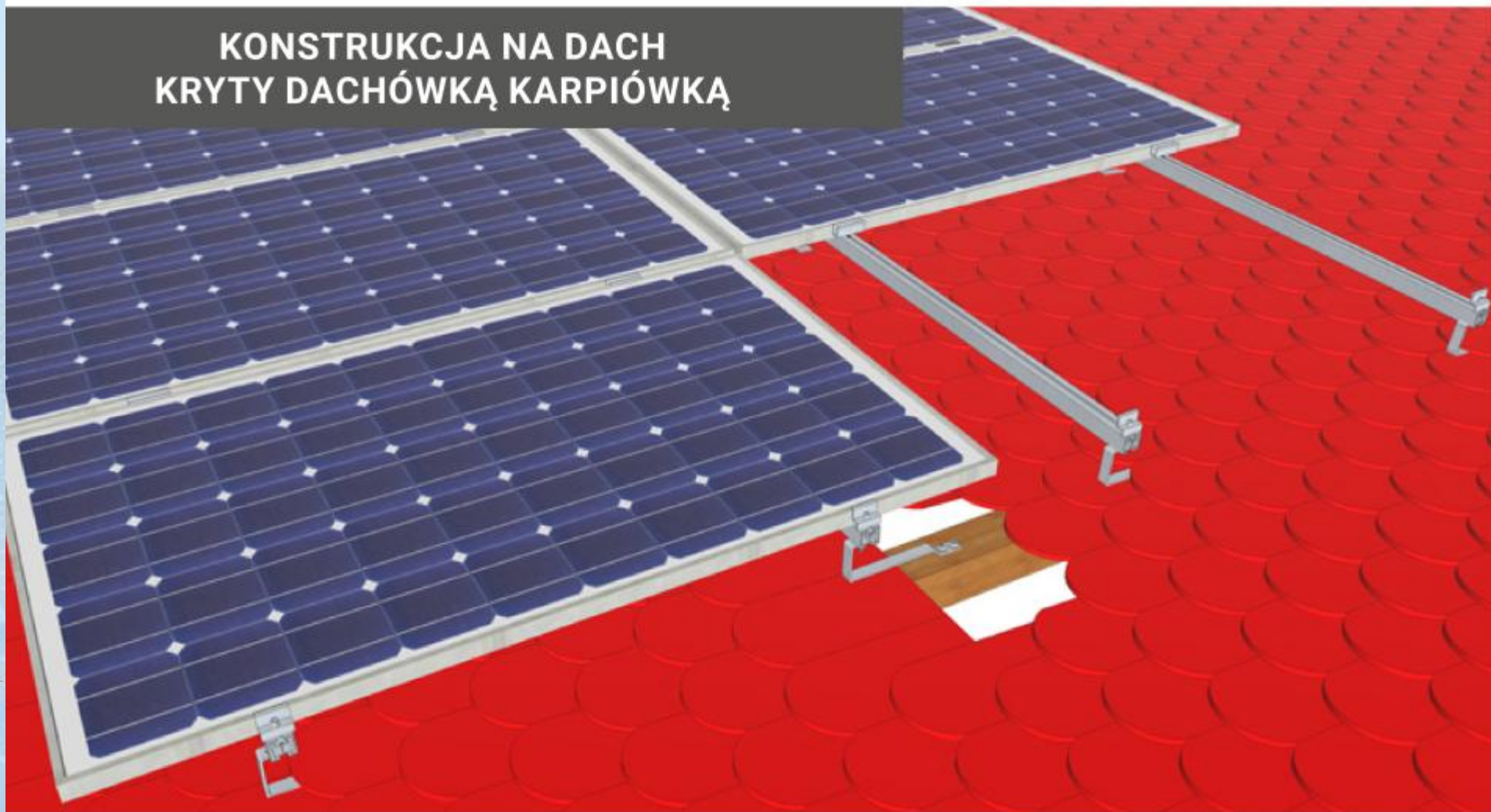
www.keno-energy.com



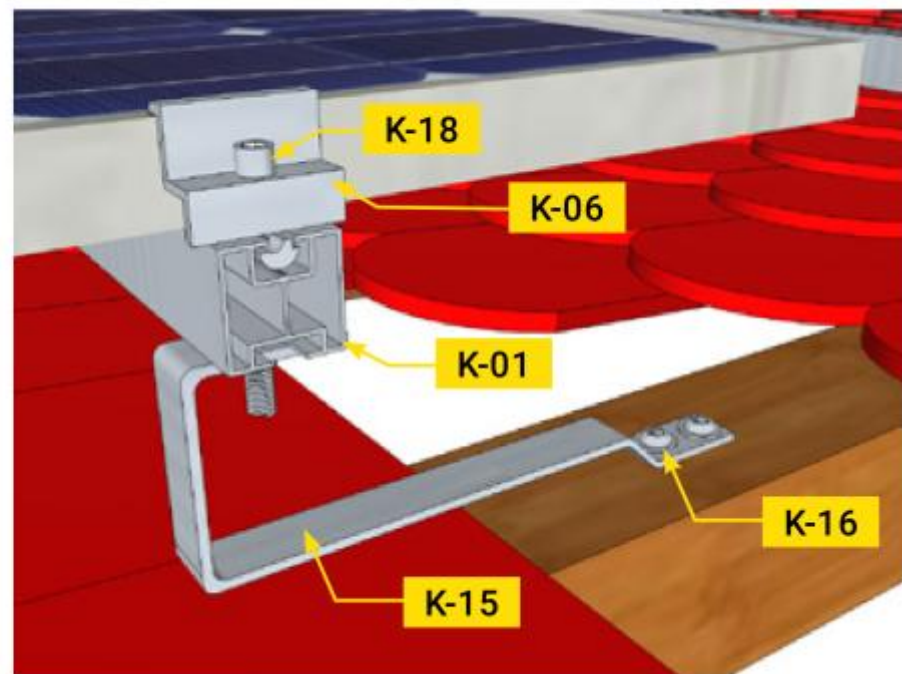
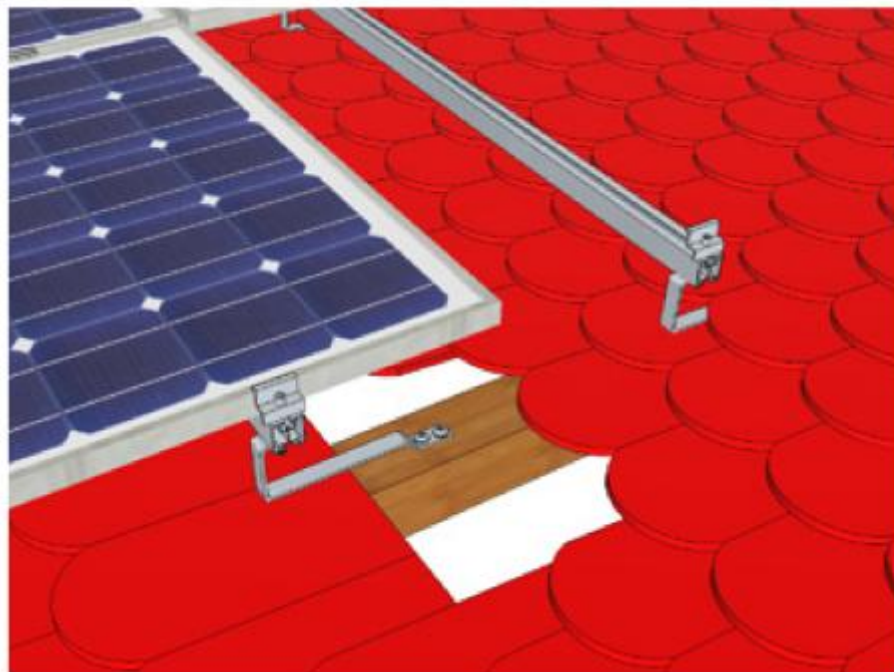
Dach pokryty dachówką

NA DACHY SKOŚNE 

**KONSTRUKCJA NA DACH
KRYTY DACHÓWKĄ KARPIÓWKĄ**



www.keno-energy.com



**Dach pokryty dachówką
karpiówką**

□ NA DACHY SKOŚNE

KONSTRUKCJA NA DACH
KRYTY BLACHĄ / PAPĄ

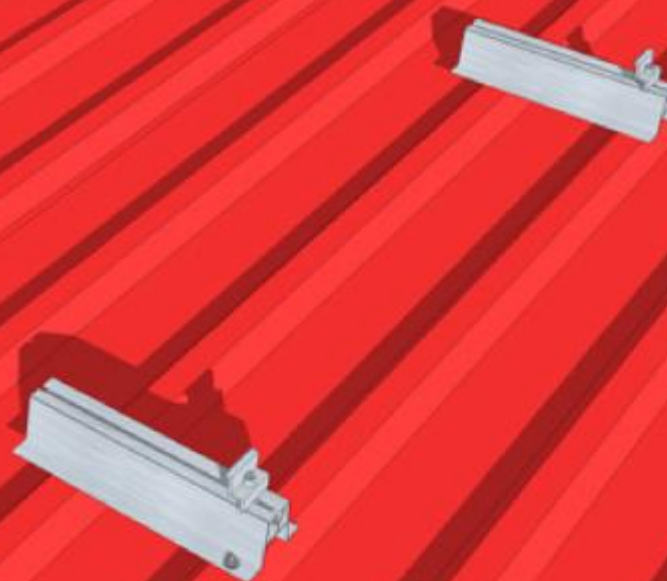
MONTAŻ Z UŻYCIEM ŚRUB DWUGWINTOWYCH



www.keno-energy.com

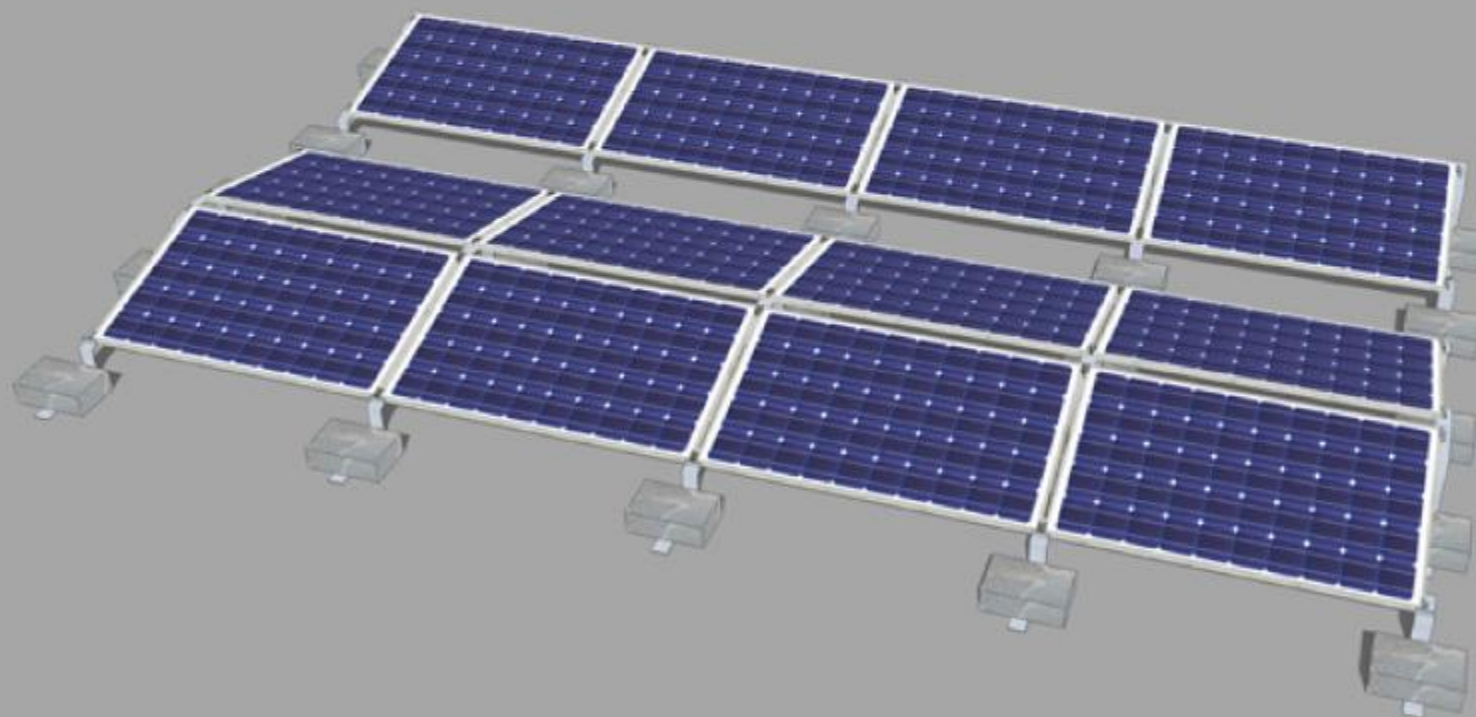
KONSTRUKCJA NA DACH KRYTY BLACHĄ TRAPEZOWĄ

MONTAŻ Z UŻYCIEM MOSTKU TRAPEZOWEGO



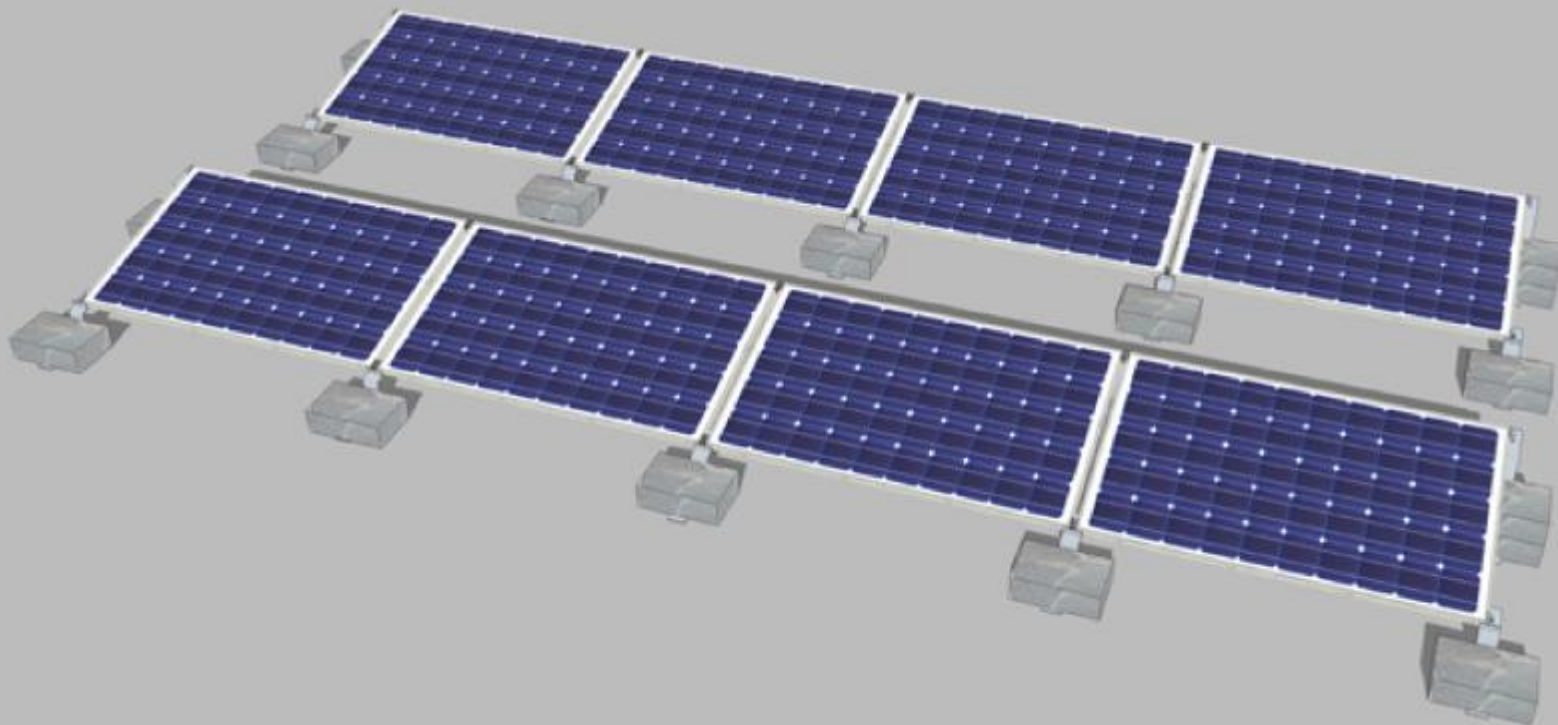
KONSTRUKCJA BALASTOWA

WSCHÓD / ZACHÓD



KONSTRUKCJA BALASTOWA

POŁUDNIE



2. Projektowanie systemów fotowoltaicznych

http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP



PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM

European Commission > EU Science Hub > PVGIS > Interactive tools

Home Tools Downloads Documentation Contact us

Legal notice | Cookies | Contact | English (en)



Address:

Lat/Lon:

Cursor:
Selected: **Select location!**
Elevation (m):

Use terrain shadows:
☐ Calculated horizon
☐ Upload horizon file

Wybierz plik Nie wybrano pliku

GRID CONNECTED

TRACKING PV
OFF-GRID
MONTHLY DATA
DAILY DATA
HOURLY DATA
TMY

PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV

Solar radiation database*

PV technology*

Installed peak PV power [kWp]*

System loss [%]*

Fixed mounting options

Mounting position*

☐ Optimize slope

☐ Optimize slope and azimuth

PV electricity price

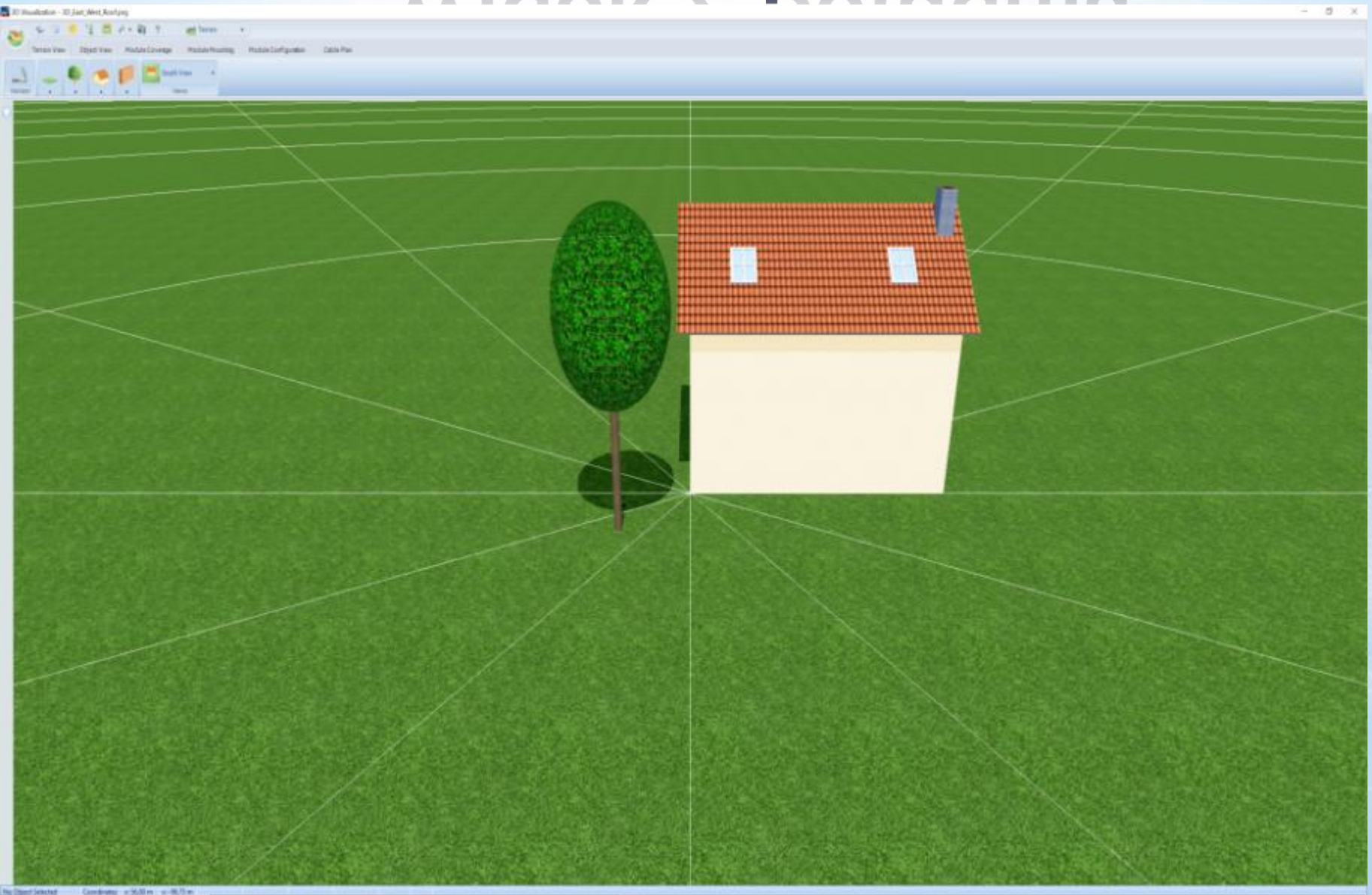
PV system cost (your currency)

Interest [%/year]

Lifetime [years]

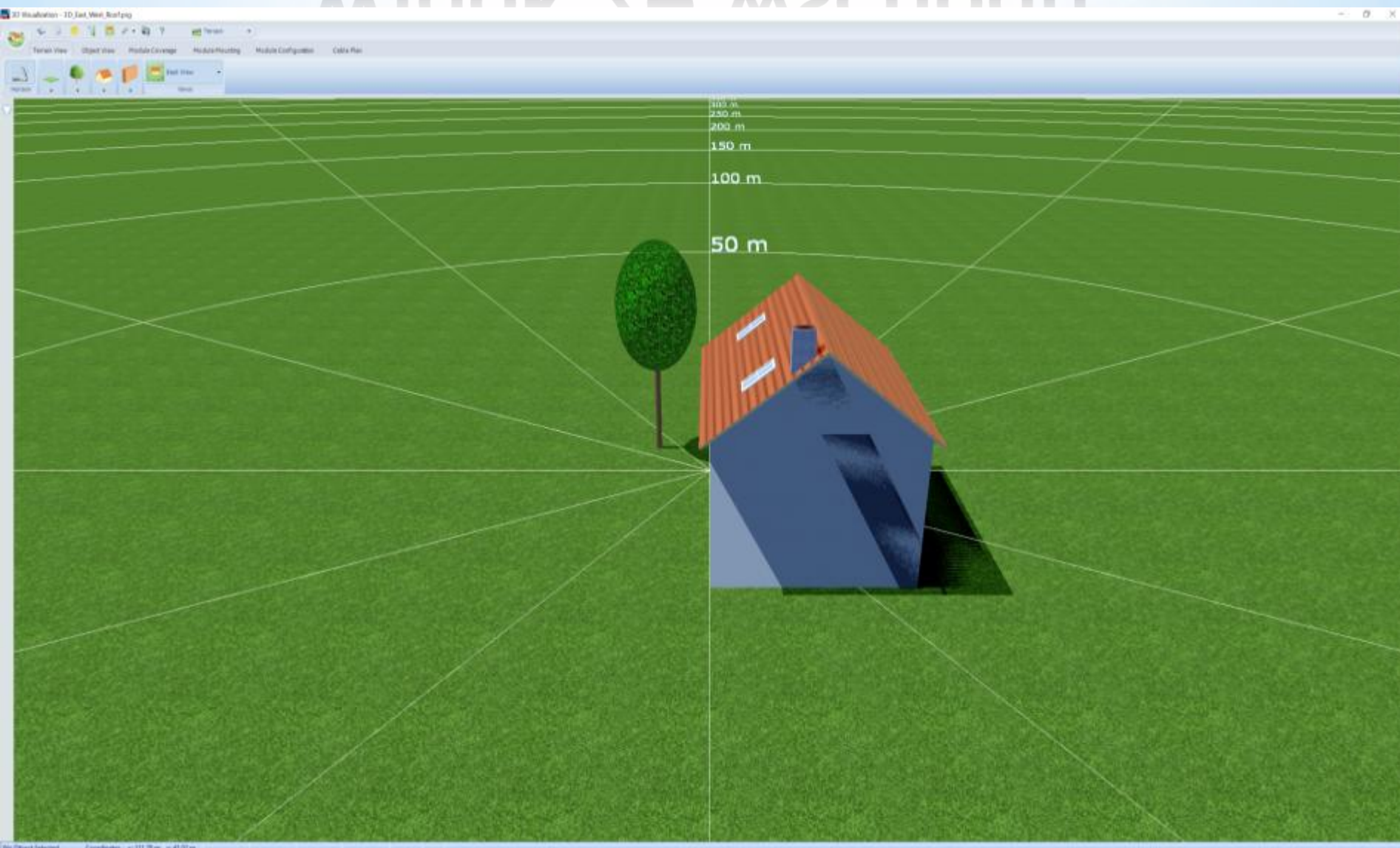
Last update: 15/10/2019 [Top](#)

Widok z południa



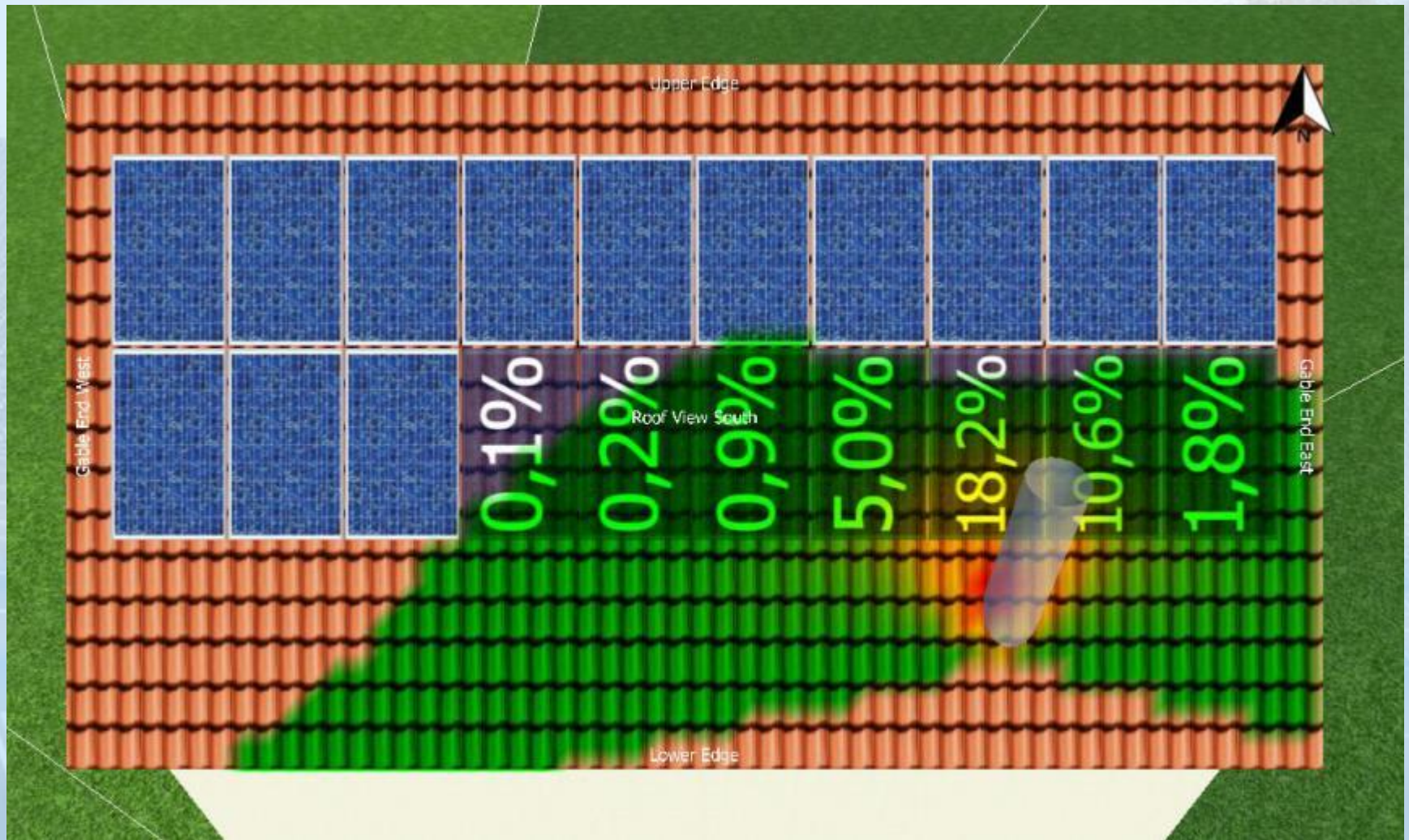
<https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/>

Widok ze wschodu



<https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/>

Analiza zacielenia



Odchylenie od południa

Bogdan Szymański, „Instalacje fotowoltaiczne”, Globenergia, Kraków 2019.

Kąt	-90	-85	-80	-75	-70	-65	-60	-55	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04
10	0,99	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	1,05	1,06	1,06	1,06	1,06	1,07	1,07	1,07
15	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,05	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,09	1,09	1,10
20	0,97	0,98	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,11	1,11
25	0,96	0,97	0,99	1,00	1,02	1,03	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10	1,10	1,11	1,12	1,12	1,12	1,12	1,13
30	0,94	0,96	0,98	1,00	1,01	1,03	1,04	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,13	1,14
35	0,93	0,95	0,97	0,99	1,00	1,02	1,04	1,05	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,14	1,15
40	0,91	0,93	0,95	0,97	0,99	1,01	1,03	1,04	1,06	1,07	1,09	1,10	1,10	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,14
45	0,88	0,91	0,93	0,96	0,98	1,00	1,01	1,03	1,05	1,06	1,07	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,12	1,12
50	0,87	0,89	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00	1,01	1,03	1,04	1,06	1,07	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,10	1,11
55	0,85	0,87	0,89	0,92	0,94	0,96	0,97	0,99	1,01	1,02	1,04	1,05	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,08	1,08

Jak obliczyć moc instalacji fotowoltaicznej ?

$$P_{inst}[kWp] = \frac{E_k \cdot Kw + \frac{E_k \cdot E_{odd}}{opust}}{N_{as\l} \cdot WW \cdot WKN}$$

Gdzie:

Opust - procentowa ilość energii wprowadzana do sieci, którą może prosument odebrać

E_k - ilość zużywanej rocznie energii [kWh]

Kw - procentowy udział konsumpcji własnej

E_{odd} - procentowy udział energii oddanej do sieci

$N_{as\l}$ - nasłonecznienie na powierzchnię horyzontalną [kWh/m²/rok]

WW - współczynnik wydajności (od 80-85%)

WKN - Współczynnik korekcji nasłonecznienia (zależy od nachylenia paneli i azymutu)

Jak obliczyć moc instalacji fotowoltaicznej ?

$$P_{inst} [kWp] = \frac{4000 \cdot 0,2 + \frac{4000 \cdot 0,8}{0,8}}{1050 \cdot 0,82 \cdot 1,13} \cong 4,94 [kWp]$$

Gdzie:

Opust - procentowa ilość energii wprowadzana do sieci, którą może prosument odebrać

E_k - ilość zużywanej rocznie energii [kWh] - 4000 kWh

K_w - procentowy udział konsumpcji własnej - 0,2

E_{odd} - procentowy udział energii oddanej do sieci - 0,8

Nasł - nasłonecznienie na powierzchnię horyzontalną - 1050 [kWh/m²/rok]

WW - współczynnik wydajności (od 80-85%) - 0,82

WKN - Współczynnik korekcji nasłonecznienia (zależy od nachylenia paneli i azymutu) kąt nachylenia 40°, 10° - 1,13

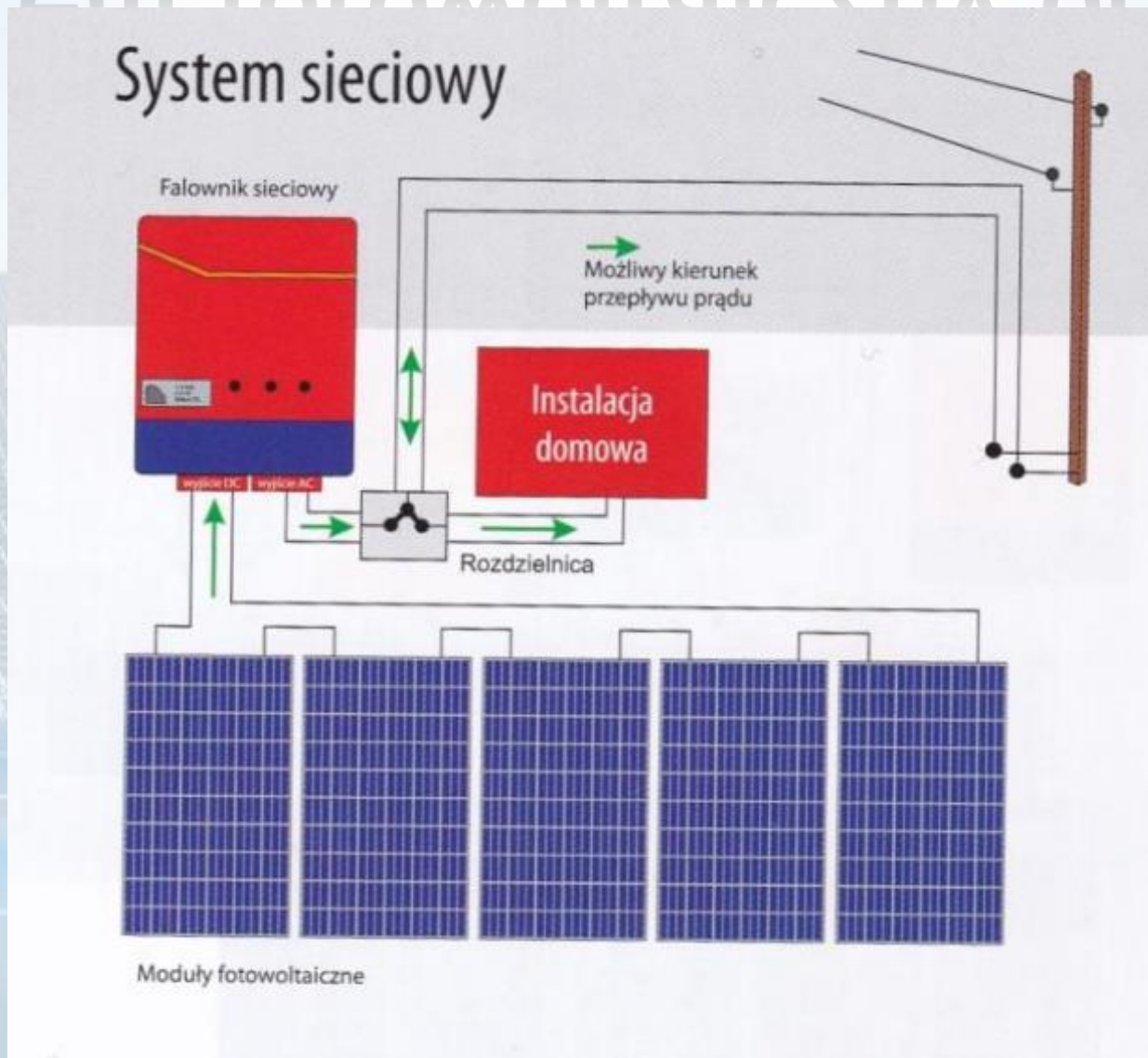
Moc instalacji fotowoltaicznych
podłączonych do sieci
zainstalowanych w Polsce na
koniec lutego 2021 to 4,243 GWp
- co dwunasty budynek ma system
fotowoltaiczny

W 2020 roku zainstalowano 2,2
GWp - dwa razy więcej niż w 2019
roku

Jaki system fotowoltaiczny?

- Połączony z siecią (on-grid)
- Wyspowy
- Hybrydowy
 - działanie w systemie sieciowym
 - działanie w systemie wyspowym

System fotowoltaiczny on-grid

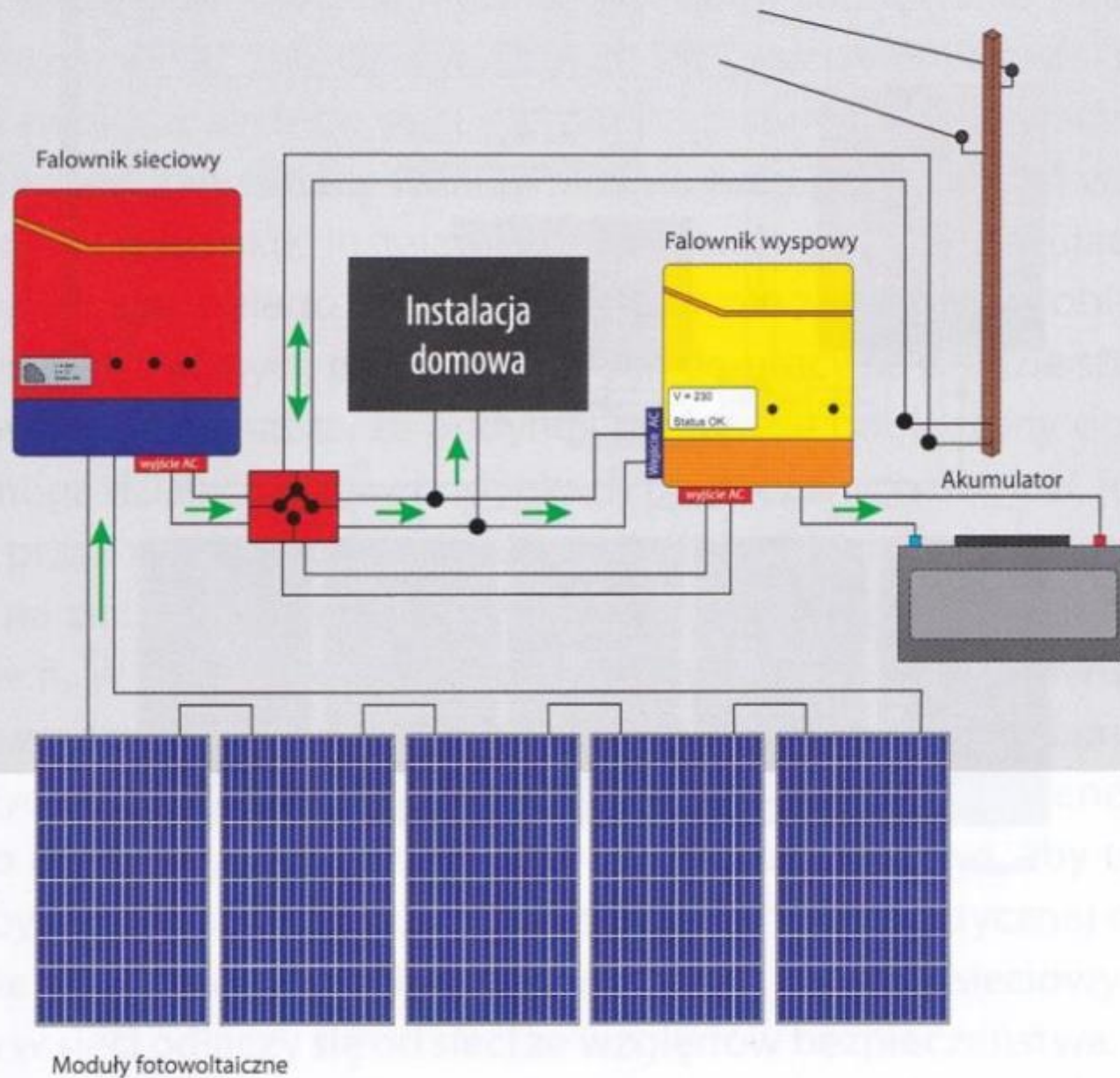


System wyspowy

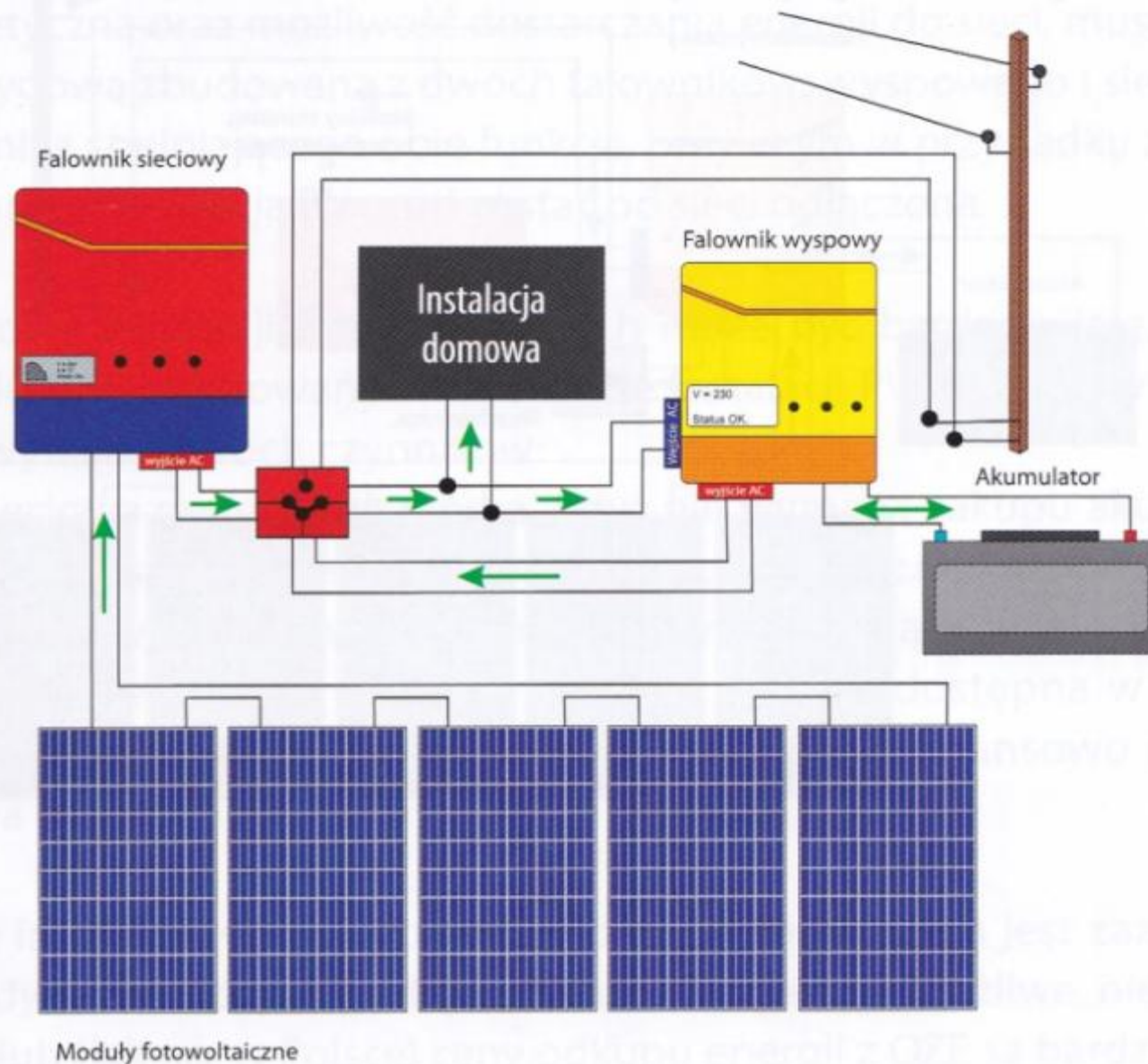


Bogdan Szymański, „Instalacje fotowoltaiczne”, Globenergia, Kraków 2019.

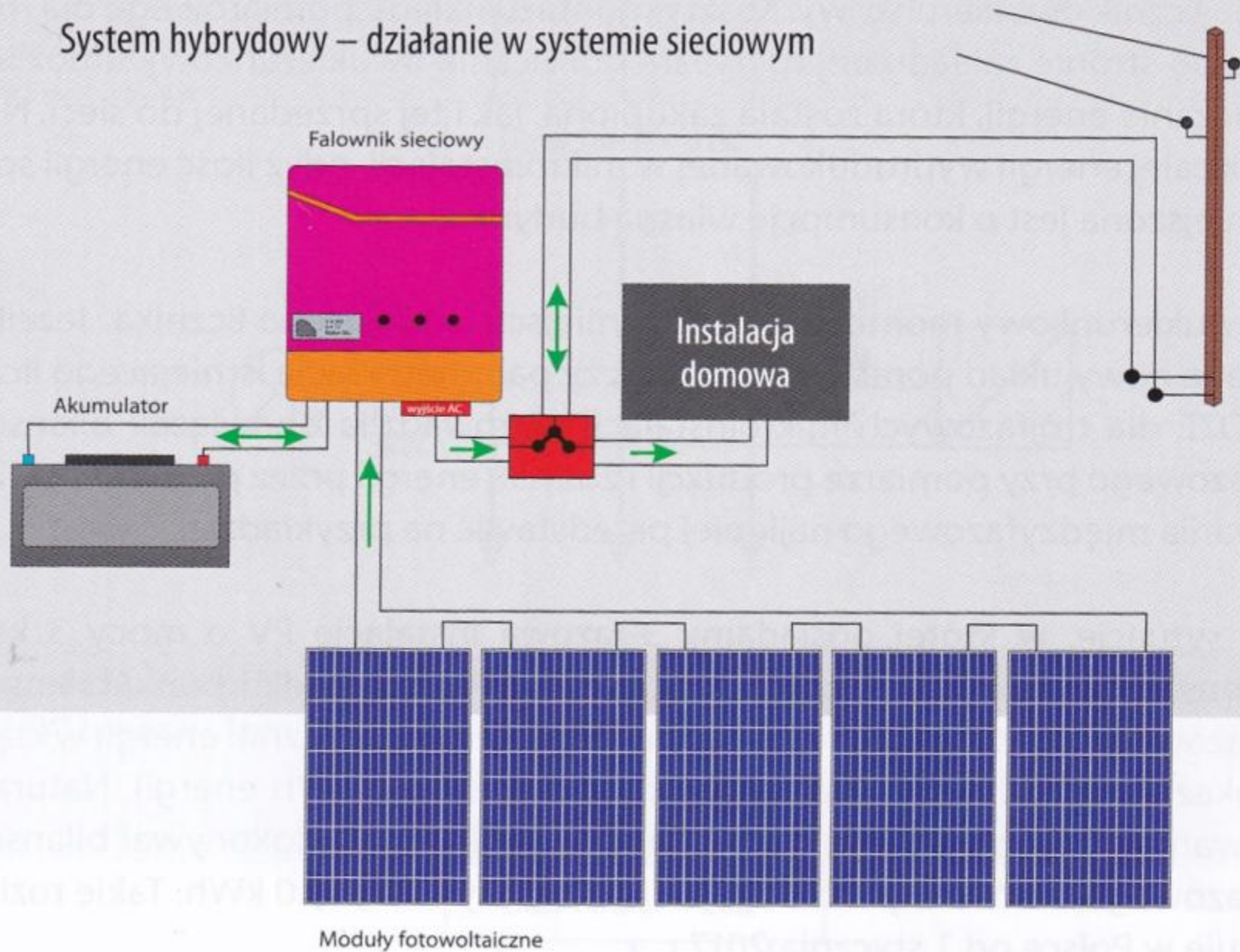
System hybrydowy – działanie w systemie sieciowym



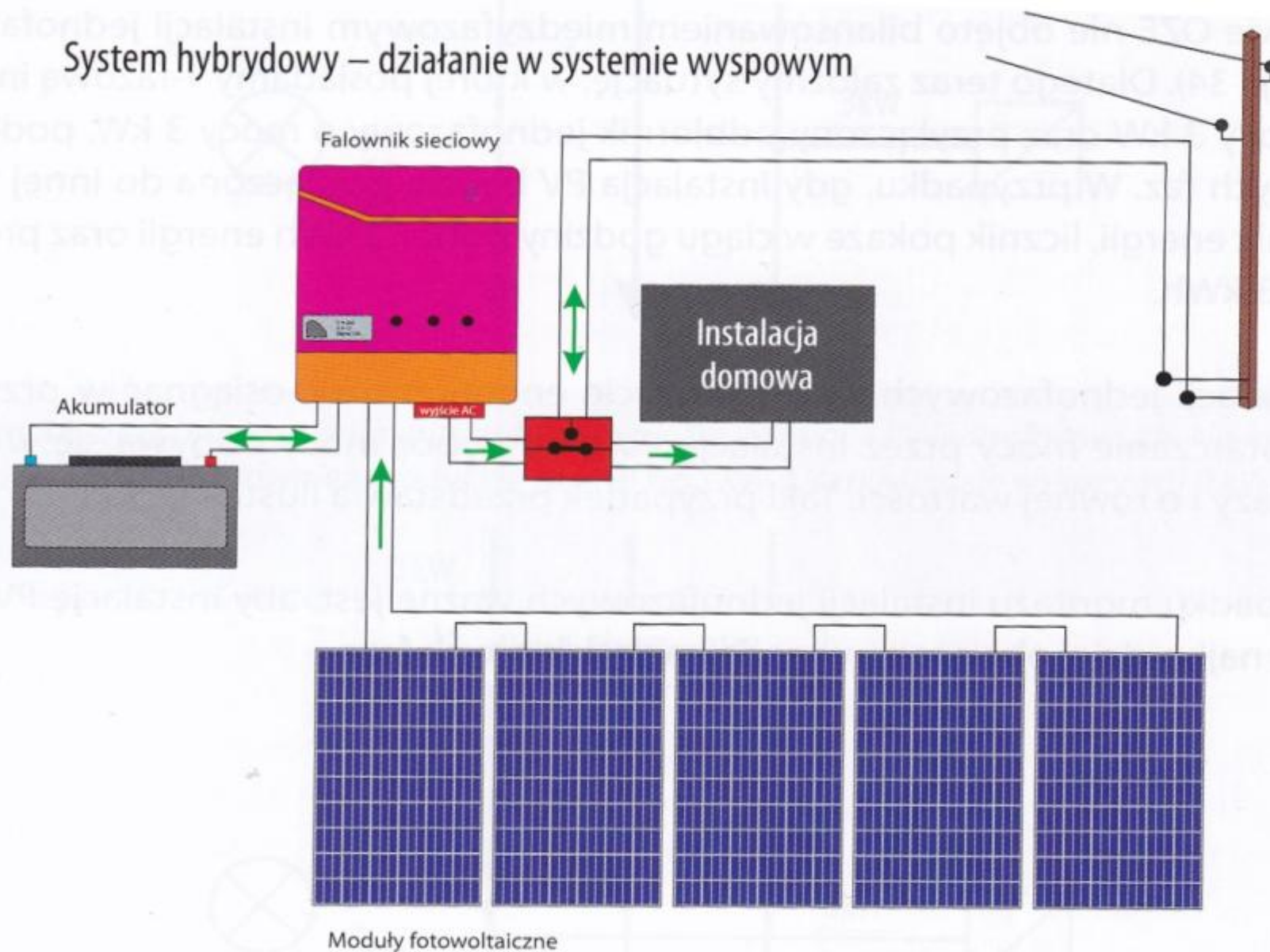
System hybrydowy – działanie w systemie wyspowym



System hybrydowy – działanie w systemie sieciowym



System hybrydowy – działanie w systemie wyspowym



Falownik hybrydowy



Falownik hybrydowy Solis – tryby pracy

- ☐ hybrydowy – inwerter podłączony jest do sieci energetycznej oraz do magazynu energii.
- ☐ on-grid – falownik podłączony jest jedynie do sieci energetycznej, ale nie jest podłączony do akumulatorów.
- ☐ off-grid – w tym trybie falownik zasila urządzenia w domu oraz ładuje akumulatory, nie jest podłączony do sieci zewnętrznej.

Parametry falowników

Napięcie DC min. [V]

Napięcie DC max. [V]

Napięcie MPPT min. [V]

Napięcie MPPT max. [V]

Prąd maks. DC [A]

Znamionowa moc pozorna [kVA]

Prąd maks. AC [A]

Parametry paneli fotowoltaicznych

Moc nominalna [Wp]

Nominalne napięcie V_{mpp} [V]

Nominalny prąd I_{mpp} [A]

Napięcie jałowe V_{oc} [V]

Prąd zwarcia I_{sc} [A]

Spadek napięcia [%/ °C]

Spadek prądu [%/ °C]

Współczynnik mocy [%/ °C]

Jaka ma być moc paneli fotowoltaicznych ?

P_{INV} - moc falownika

P_{PV} - moc paneli fotowoltaicznych

$$0,9 \cdot P_{INV} < P_{PV} < 1,18 \cdot P_{INV}$$

Dla kąta nachylenia od $15 \div 60^\circ$

Jaka ma być moc paneli fotowoltaicznych ?

P_{INV} - moc falownika

P_{PV} - moc paneli fotowoltaicznych

Odchylenia od południa [°] Dla kąta nachylenia 30÷45 °	P_{PV}
60	(0,97÷1,22) P_{INV}
70	(1÷1,25) P_{INV}
80	(1,03÷1,28) P_{INV}
90 (ustawienie wschód-zachód)	(1,07÷1,33) P_{INV}

Przykład dopasowania paneli do falownika

	Panele fotowoltaiczne
Typ	DAH Solar 400W
Moc nominalna [Wp]	400
Nominalne napięcie Vmpp [V]	42,3
Nominalny prąd Impp [A]	9,7
Napięcie jałowe Voc [V]	50
Prąd zwarcia Isc [A]	10,25
Spadek napięcia [%/ °C]	-0,29
Spadek prądu [%/ °C]	0,05
Współczynnik mocy [%/ °C]	-0,37

	Inwerter
Typ	Fronius Symo 3.0-3-S
Napięcie DC min. [V]	150,00
Napięcie DC max. [V]	1000,00
Napięcie MPPT min. [V]	200,00
Napięcie MPPT max. [V]	800,00
Prąd maks. DC [A]	16,00
Znamionowa moc pozorna [kVA]	3,00
Prąd maks. AC [A]	12,90

Dopasowanie paneli do falownika!

Przykład 1: Inwerter Fronius Symo 3.0-3-S

$$0,9 \cdot 3 \text{ kW} < P_{pV} < 1,18 \cdot 3 \text{ kW}$$

Dla kąta nachylenia paneli 15-60°

$$2,7 \text{ kW} < P_{pV} < 3,54 \text{ kW}$$

Dla kąta nachylenia paneli 15-60°

Dopasowanie paneli do falownika!

Dla paneli Dah Solar 400W

$$\Delta U_{1^{\circ}C} = V_{OC} \beta = 50 \text{ V} \times (-0,0029) = -0,145 \text{ [V]}$$

Dla minimalnej temperatury z rana w Polsce

$$V_{OC(-20^{\circ}C)} = V_{OC} - (\Delta U_{1^{\circ}C} \times (20 + 25)^{\circ}C) = 50 \text{ V} + 6,525 = 56,525 \text{ [V]}$$

Dla minimalnej temperatury w południe zimą w Polsce

$$V_{MPP(-15^{\circ}C)} = V_{MPP} - (\Delta U_{1^{\circ}C} \times (15 + 25)^{\circ}C) = 42,3 + 5,8 = 48,1 \text{ [V]}$$

Dla maksymalnej temperatury panelu latem w południe w Polsce

$$V_{MPP(+70^{\circ}C)} = V_{MPP} + (\Delta U_{1^{\circ}C} \times (70 - 25)^{\circ}C) = 42,3 - 6,525 = 35,78 \text{ [V]}$$

$$\text{Maksymalny prąd przy zwarcu paneli } I_{SCmax} = I_{SC} \cdot 1,15 = 10,25 \cdot 1,15 = 11,79 \text{ [A]}$$

Dopasowanie paneli do falownika!

Wnioski:

1. Jeśli temperatura paneli maleje napięcie na wyjściu panelu rośnie i vice versa
1. Musimy dopasować napięciowy zakres pracy falownika do napięcia na wyjściu paneli.

Dopasowanie paneli do falownika !

Dla paneli Dah Solar 400W oraz inwertera Fronius Symo 3.0-3-S

Maksymalna liczba paneli w łańcuchu = $U_{max}/V_{OC(-20^{\circ}C)} = 1000/56,525 \approx 17,7$

lub

Maksymalna liczba paneli w łańcuchu = $U_{MPPmax}/V_{MPP(-15^{\circ}C)} = 800/48,1 \approx 16,7$

Wybieramy mniejszą wartość -> 16 paneli

Minimalna liczba paneli w łańcuchu = $U_{MPPmin}/V_{MPP(+70^{\circ}C)} = 200/35,775 \approx 5,6$

Zaokrąglamy w górę -> 6 panels

Dopasowanie paneli do falownika !

Dla paneli Dah Solar 400W oraz inwertera Fronius Symo 3.0-3-S

Maksymalna liczba łańcuchów połączona równolegle = $I_{\max} / I_{SC\max} = 16 / 11,79 \approx 1,36$

Zaokrąglając w dół -> 1 łańcuch

$$2,7 \text{ kW} < P_{pV} < 3,54 \text{ kW}$$

Dla kąta nachylenia 15-60°

$$2,7/0,4 < P_{pV} < 3,54/0,4$$

$$7 \text{ paneli} \leq P_{pV} \leq 8 \text{ paneli}$$

Dopasowanie paneli do falownika !

Dla paneli Dah Solar 400W oraz inwertera Fronius Symo 3.0-3-S

Wynik: 7 lub 8 paneli w jednym łańcuchu

Dobór okablowania po stronie DC

$$P_{strat}\% = \frac{P \cdot l}{U^2 \cdot k \cdot A} \cdot 100\%$$

$$A[mm^2] = \frac{P \cdot l}{U^2 \cdot k \cdot 0,01} = \frac{I \cdot l}{U \cdot k \cdot 0,01}$$

A - przekrój poprzeczny przewodu [mm²]

P - moc systemu fotowoltaicznego [W]

I - prąd I_{MPP} [A]

l - długość przewodu

U - napięcie U_{MPP} [V]

k - przewodność, dla miedzi 48÷54, dla aluminium 9-32 [m/Ω·mm²]

0,01 - maksymalna strata (=1%)

Dobór okablowania po stronie AC

Falownik jednofazowy:

$$A[mm^2] = \frac{P \cdot 2 \cdot l}{U_n^2 \cdot k \cdot 0,01} = \frac{I_p \cdot 2 \cdot l}{U_n \cdot k \cdot 0,01}$$

Falownik trójfazowy:

$$A[mm^2] = \frac{P \cdot l}{U_n^2 \cdot k \cdot 0,01} = \frac{I_p \cdot l}{U_n \cdot k \cdot 0,01}$$

A - przekrój poprzeczny przewodu [mm²]

P - moc systemu fotowoltaicznego [W]

I_p - prąd fazowy [A]

l - długość przewodu

U_p - napięcie fazowe [V]

k - przewodność, dla miedzi 48÷54, dla aluminium 9-32 [m/Ω·mm²]

0,01 - maksymalna strata (=1%)

Długość trasy kablowej [m]		Do 1 m	Do 5 m	Do 10 m	Do 20 m	Do 30 m	Do 50 m
Moc falownika [kW]		Przekrój żyły [mm ²]					
Falownik 1-fazowy	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	2,5
	1,5	1,0	1,0	1,0	1,5	2,5	4,0
	2	1,0	1,0	1,0	1,5	2,5	4,0
	2,5	1,0	1,0	1,0	2,5	4,0	6,0
	3	1,0	1,0	1,0	2,5	4,0	6,0
	3	1,5	1,5	1,5	2,5	4,0	6,0
	3,68	2,5	2,5	2,5	4,0	6,0	10,0
	4	2,5	2,5	2,5	4,0	6,0	10,0
	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	6,0	10,0
Falownik 3-fazowy	3	1,0	1,0	1,0	1,5	2,5	4,0
	4	1,0	1,0	1,0	1,5	2,5	4,0
	5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5	4,0
	6	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5	4,0
	7	1,5	1,5	1,5	2,5	4,0	6,0
	8	1,5	1,5	1,5	2,5	4,0	6,0
	9	1,5	1,5	1,5	2,5	4,0	6,0
	10	2,5	2,5	2,5	2,5	4,0	10,0
	12	4,0	4,0	4,0	4,0	6,0	10,0

Przykład 1

Dane: 12 paneli w łańcuchu 250 W - każdy panel - 2 m przewodu 4 [mm²], wszystkie przewody z panelu do falownika - 39 m, dla Cu k= 54, I=8,3 A, U=30 V

A=?

$$A = \frac{P \cdot l}{U^2 \cdot k \cdot 0,01} = \frac{12 \cdot 250 \cdot (12 \cdot 2 + 39)}{((30 \cdot 12)^2 \cdot 54 \cdot 0,01)} = \frac{3000 \cdot 63}{6998499,01} \approx 2,7 [\text{mm}^2]$$

Wybieramy z przekrojów: 2.5, 4, 6, 10 mm²

Wynik: A=4 mm²

Bezpieczniki - strona DC

$$I_n \geq \frac{I_{scSTC}}{K} \cdot 1,375$$

I_n – prąd nominalny

I_{scSTC} – prąd zwarcia

K – współczynnik korekcji (for 20°C $K=1$)

$$U_n \geq U_{OC} \cdot 1,2$$

U_n – nominalne napięcie dla bezpiecznika

U_{OC} – napięcie obwodu otwartego

Bezpieczniki - strona AC

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

I_n – prąd nominalny bezpiecznika

I_b – maksymalny prąd AC falownika

I_z – maksymalny prąd obciążenia przewodu

Photo Plan - przykład domu jednorodzinnego



<https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/>

Photo Plan - obrys paneli



<https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/>

Photo Plan - efekt końcowy



<https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/>

Photo Plan - efekt końcowy



<https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/>

3. Regulacje prawne

PRAWO BUDOWLANE

Najważniejsze przepisy z zakresu prawa budowlanego dotyczące fotowoltaiki:

- Jeżeli decydujemy się na mikroinstalację, która nie przekracza 50 kW (szacuje się, że na dom jednorodzinny wystarczy moc ok. 10-20 kW), a całość konstrukcji, którą umieszczamy na budynku nie przekracza 3m, nie musimy zgłaszać instalacji i ubiegać się o pozwolenie.
- Jeśli chcemy stworzyć wolnostojącą instalację fotowoltaiczną, nie musimy ubiegać się o pozwolenie.
- W przypadku chęci zbudowania farmy fotowoltaicznej, czyli większej konstrukcji przekraczającej 50 kW, mamy obowiązek zgłoszenia zamiaru i otrzymania pisemnej zgody na budowę.

USTAWA O OZE

Najbardziej istotne zapisy ustawy o OZE, które dotyczą paneli fotowoltaicznych:

- W ustawie o OZE znajdziemy zapisy dotyczące opustów dla instalacji prosumenckich.
- Ustawa określa również, kto może być prosumentem. W czerwcu 2020 roku postanowiono rozszerzyć definicję prosumenta o osoby prowadzące działalność gospodarczą oraz o spółdzielnie energetyczne gmin wiejskich i wiejsko-miejskich.
- Wspomniany akt prawny mówi również o braku opłaty przyłączeniowej.

Czy po 27 kwietnia nie będzie można podłączyć instalacji PV do sieci?

<https://globenergia.pl/czy-po-27-kwietnia-nie-bedzie-mozna-podlaczyc-instalacji-pv-do-sieci/>

„Certyfikaty NC RfG”, a dokładnie certyfikat wydany wg. normy PN-EN 50549-1/-2: 2019 wystawiony przez niezależną jednostkę certyfikującą.



4. Bezpieczeństwo użytkowania instalacji fotowoltaicznych

Bezpieczeństwo w fotowoltaice

- Charakterystyka zagrożenia pożarowego
- Ograniczenie ryzyka pożaru
- Ograniczenie rozprzestrzeniania się pożaru



Photo by Science in HD on Unsplash

Charakterystyka zagrożenia pożarowego

W projekcie instalacji fotowoltaicznej należy uwzględnić:

- klasę reakcji na ogień przewodów AC i DC instalacji PV,
- klasę reakcji na ogień pokrycia dachowego,
- przebieg tras kablowych, np. okablowanie przebiega przez:
 - przedsionki ppoż. zgodnie z warunkami technicznymi,
 - przez poziome drogi ewakuacyjne zgodnie z normą PN-HD 60364-4-42.

Charakterystyka zagrożenia pożarowego

„Projekt instalacji fotowoltaicznej”

- art. 29 ust. 4. pkt 3. prawa budowlanego

Projekt urządzeń fotowoltaicznych o
zainstalowanej mocy elektrycznej większej niż
6,5kW i mniejszej niż 50kW

§

Pasywne rozwiązania techniczne

- Przewody i okablowanie,
- prowadzenie okablowania strony AC i DC,
- sposoby ochrony przewodów i kabli,
- sposób montażu paneli PV i falowników.

Kable i przewody DC

- Zgodny z normą EN 50618,
- w podwójnej izolacji,
- wielodrutowy,
- izolacja DC U_0/U 900/1500V,
- odporność UV (np. HD 605/A1),
- nie rozprzestrzeniający płomienia,
- low smoke, halogen free,
- testowane zgodnie z EN 60216.
- dodatkowo – odporność na ozon, np. BS EN 50396

Maks. temp. przewodu
90°C

- Maks. temp. przewodu 120°C przez 20000h w temp. otoczenia 90°C
- Przewidywana żywotność przewodu w standardowych warunkach, zgodnie z przeznaczeniem to co najmniej 25 lat (EN 50618)

Kable i przewody DC

Standardowy przewód
DC wykorzystywany do
instalacji
fotowoltaicznych nosi
oznaczenie (wg.
CENELEC)

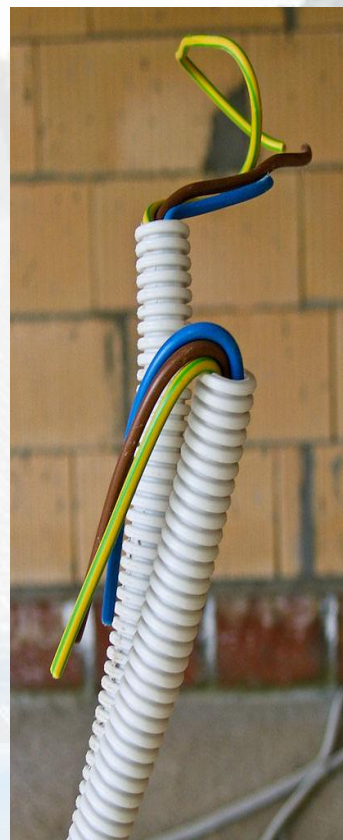
H1Z2Z2-K

- H – przewód zharmonizowany
- 1 – napięcie izolacji AC U_0/U 600/1000V
- Z2 – materiał izolacji low smoke, zero halogen (LSZH)
- K – przewód giętki, klasy 5, do układania na stałe

Napięcie izolacji z oznaczeniem 1, jest najwyższym wg oznaczeń CENELEC. Producent przewodu dodatkowo oznacza napięcie izolacji dla zastosowań DC, np. U_0/U AC: 600/1000V DC: 900/1800V

Kable i przewody AC

- Zgodny z normą PN-EN 50575:2015-03,
- Wykonanie okablowania zgodnie z PN-HD 60364-5-52:2011,
- wielodrutowy lub jednodrutowy.



Kable i przewody AC i DC

Przewody strony AC i DC mogą być prowadzone w jednym korycie kablowym lub kanale elektroinstalacyjnym, jeżeli:

- dla każdego przewodu napięcie izolacji zgodne z najwyższym stosowanym napięciem w oprzewodowaniu, lub
- izolacja każdej żyły przewodu wielożyłowego przewidziana dla najwyższego napięcia zastosowanego w tym przewodzie, lub
- izolacja przewidziana dla napięcia pracy, a przewody są ułożone w osobnych przegrodach kanałów i listew, lub
- kable ułożone w korytkach instalacyjnych, fizycznie odseparowane przegrodą, lub
- zastosowano osobne systemy prowadzenia przewodów.

Mocowanie przewodów - zalecenia

- Prowadzenie bez dodatkowych osłon,
- mocowanie do ramki panelu lub konstrukcji wsporczej za pomocą:
 - opasek ze stali nierdzewnej, lub
 - opasek z tworzywa sztucznego (odpornego na UV, dwie opaski na jedno mocowanie)
- Przewody odciążone w pionie i poziomie, zgodnie z zaleceniami producenta, lub
- w przypadku braku zaleceń np. zgodnie z niemiecką normą VDE 0100-520,
- bez naprężeń, z zapasem 1-2%

Mocowanie przewodów - zalecenia

średnica przewodu ϕ [mm]	odległość poziomo [mm]	odległość pionowo [mm]
< 9	250	400
$9 < \phi < 15$	300	400
$15 < \phi < 20$	350	450
$20 < \phi < 40$	400	500

VDE 0100-520

Mocowanie przewodów - zalecenia

- Unikać gięcia przewodów o małym promieniu,
- w projekcie należy podać minimalny promień gięcia kabla lub przewodu zgodnie z zaleceniami producenta, lub zgodnie z VDE 0100-520

średnica przewodu ϕ [mm]	przewód elastyczny r [mm]	przewód sztywny r [mm]
< 9	3ϕ	4ϕ
$9 < \phi < 12$	3ϕ	5ϕ
$\phi > 12$	3ϕ	6ϕ

VDE 0100-520

Obciążenia złączy

Należy wziąć pod uwagę obciążenia złączy i wyjść z puszek przyłączeniowych zgodnie z wymaganiami producenta.

Złącze PV, dla kabli ϕ 4-9mm posiada zabezpieczenie przed wyrwaniem co najmniej 80N, (IEC / EN 62852).

Dodatkowe obciążenie należy odciążyć odpowiednio mocując.

Prowadzenie tras kablowych na zewnątrz

- Uwzględnić oddziaływaniu wiatru i śniegu,
- na skośnych dachach unikać prowadzenia w poprzek,
- jeżeli wymagane to zabezpieczyć przed uszkodzeniem,
- połączenie między budynkami – j/w.

Prowadzenie przewodów w obiektach – ppoż.

W budynkach nie wymagających GWP, przewody pozostające pod napięciem po odłączeniu od sieci:

- prowadzić podtynkowo lub
- w osłonach ogniotrwałych (klasie min. E30, min. 2,5m wysokości),
- dopuszcza się nie chronioną część 1m od falownika.

Prowadzenie przewodów – ochrona przewodów.

Trasy kablowe na dachach płaskich:

- w metalowych korytach, zamocowanych do dachu lub konstrukcji wsporczej,
- zabezpieczyć – ostre krawędzie, miejsca wejść i wyjść koryt,
- w miejscach przejść, np. rura karbowana,
- nie zaleca się używania rury karbowanej bezpośrednio pod modułami.

Prowadzenie przewodów – ochrona przewodów.

Trasy kablowe na dachach skośnych dodatkowo zabezpieczyć kable:

- osłony odporne na UV – np. rury karbowane,
- przymocować do konstrukcji lub poszycia dachu.

Prowadzenie przewodów – ochrona przewodów.

Trasy kablowe wokół falownika:

- prowadzić w kanałach lub rurkach elektroinstalacyjnych,
- z wyłączeniem obszaru do 40cm od falownika.

Miejsce montowania falownika

Wewnątrz:

- pomieszczenie musi mieć zdolność oddawania energii cieplnej – założyć 5% mocy falownika,
- temperatura do 35°C, chyba że producent zezwala inaczej,
- odpowiednia przestrzeń wentylacyjna – wg producenta,
- nie zabudowywać, bez odpowiedniej wentylacji,
- podłoże niepalne (min. klasa A2).

Miejsce montowania paneli

- nie w pobliżu materiałów palnych,
- jeżeli nie możliwe, to zastosować dodatkowe środki ochrony.

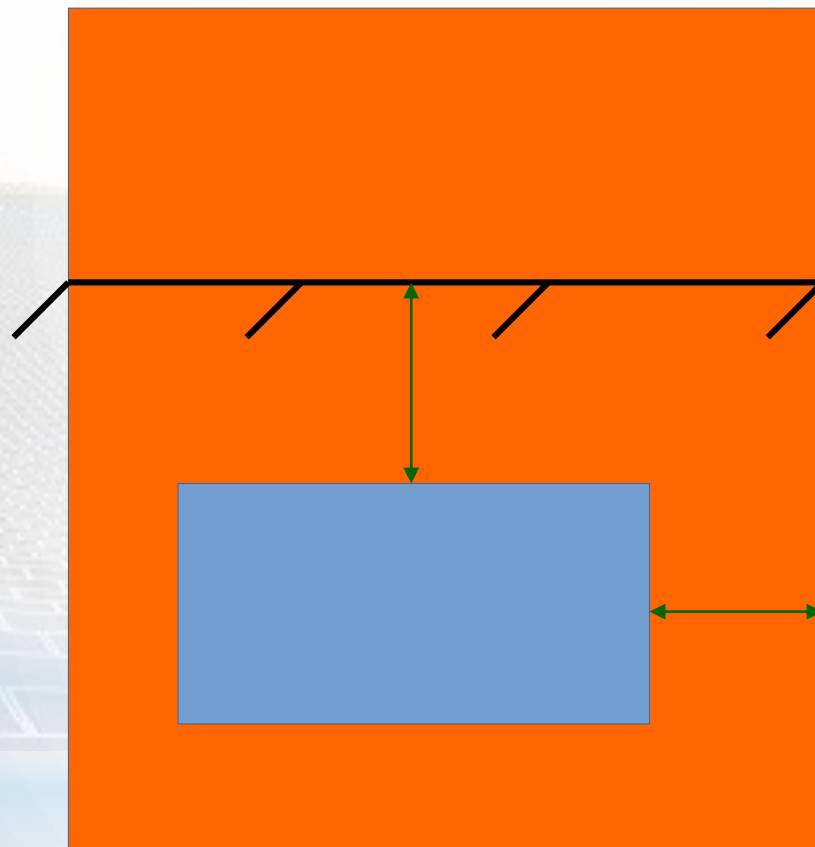
Wykonanie połączeń DC

- Powinno się stosować złącza jednego producenta,
- ograniczać ilość połączeń,
- połączenia przewodów w rozdzielnicach za pomocą listew,
- projekt powinien zawierać momenty dokręcenia połączeń śrubowych aparatów,
- złącza DC zakładać na przewód za pomocą dedykowanych narzędzi zaciskających.

Instalacja odgromowa

- Gdy budynek posiada instalację odgromową – dostosować do projektowanej instalacji fotowoltaicznej,
- jeżeli to możliwe, dążyć do ostępów separacyjnych pola paneli PV wg PN-EN 62305-3:2011,
- przy braku odstępu zastosować połączenia wyrównawcze metalowych elementów konstrukcji wsporczej z instalacją odgromową,
- połączenia wyrównawcze min. 16mm^2 Cu (lub równoważne),
- wyrównawcze funkcjonalne min. 6mm^2 Cu (lub równoważne),
- jeżeli są połączenia wyrównawcze powinna być ochrona przepięciowa typu 1, $I_{\text{imp}} \geq 12,5\text{kA}$

Instalacja odgromowa



Rozwiązania ograniczające ryzyko pożaru

Wyłączniki różnicoprądowe – w przypadku prowadzenia tras AC przez lub w przegrodach palnych:

- prąd upływu 100-300mA,
- jeżeli falownik wyłącza się przy upływie DC > 6mA – typu A, jeżeli nie – typu B,
- montaż w pobliżu falownika,
- nie chronią przed powstaniem zwarć łukowych.

Monitorowanie stanu izolacji strony DC

- Falownik wykrywa nieprawidłowości zanim się włączy,
- można co jakiś czas przeprowadzać test izolacji.

Stosowanie zabezpieczeń przed iskrzeniem

Stosować zabezpieczenia AFDD, AFCI, gdy trasy kablowe są prowadzone w pobliżu materiałów łatwopalnych

Zaleca się aby były zgodne z normą IEC 62606.

AFDD – Arc Fault Detection Device

AFCI – Arc Fault Circuit Interrupter

Wykonanie i odbiór instalacji

- Dokumentacja!
- Przed sprawdzeniem strony DC, należy skontrolować stronę AC zgodnie z PN-HD 60364-6.
- PN-EN 62446-1 zawiera listę punktów, które należy sprawdzić po stronie DC przed uruchomieniem systemu PV.

Dokumentacja

- czyli m.in. moc znamionową instalacji, informacje o panelach oraz inwerterach, datę zainstalowania, datę sprawdzenia i oddania do eksploatacji,
- dane kontaktowe firmy projektującej instalację oraz osoby odpowiedzialnej za stworzenie danego projektu,
- schemat jednokreskowy instalacji fotowoltaicznej.

Schemat

- Przedstawia stronę AC, wraz z zabezpieczeniami i elementami łączeniowymi,
- Schemat powinien jednoznacznie odzwierciedlać rzeczywistą matrycę modułów fotowoltaicznych.

Opis systemów bezpieczeństwa oraz instrukcja zachowania się w razie awarii

- procedury weryfikacji poprawności pracy instalacji,
- lista kontrolna zawierająca zakres czynności, w przypadku wystąpienia awarii,
- procedura awaryjnego wyłączenia instalacji i jej odizolowania,
- zalecenia konserwacyjne, zalecenia dotyczące prac w otoczeniu instalacji.

Opis systemów bezpieczeństwa oraz instrukcja zachowania się w razie awarii

Znajomość podstawowych informacji o systemie jest ważna, ze względu na wpływ na prawidłowy przebieg akcji gaśniczej, w razie wystąpienia pożaru.

Strażacy muszą rozpoznać zagrożenie i zminimalizować ryzyko porażenia lub oślepienia łukiem elektrycznym.

Dokumentacja końcowa, obejmująca protokoły sprawdzenia, jest zaświadczeniem o prawidłowej i zgodnej z normami instalacji – ważne w kontekście szkód i ubezpieczeń.

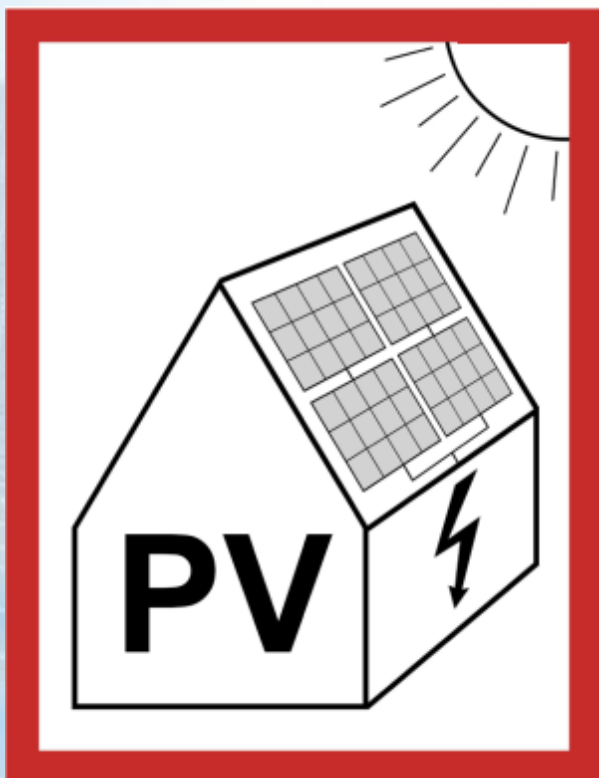
Sprawdzenie instalacji

- Oględziny, sprawdzenie elementów składowych (dopuszczenie do stosowania),
- Sprawdzenie strony DC (PN-EN 62446-1):
 - Kategoria 1 (bezpieczeństwo),
 - Kategoria 2 (efektywność instalacji).

Zalecenia

- okresowe badanie instalacji,
- posiadanie systemu monitorującego pracę instalacji – zmniejszenie mocy, niezależnie od warunków pogodowych, może być oznaką usterki.

Oznaczenia instalacji fotowoltaicznej



- w punkcie przyłączenia instalacji PV,
- przy liczniku, w złączu kablowym,
- jeżeli budynek posiada główny wyłącznik prądu - to także w tym miejscu.

Oznaczenia instalacji fotowoltaicznej

GŁÓWNY WYŁĄCZNIK AC

GŁÓWNY
WYŁĄCZNIK AC
INSTALACJI
FOTOWOLTAICZNEJ

- wewnątrz rozdzielnic AC,
- pod wyłącznikiem nadprądowym.

Oznaczenia instalacji fotowoltaicznej

**GŁÓWNY
WYŁĄCZNIK DC
INSTALACJI
FOTOWOLTAICZNEJ**

- pod głównym wyłącznikiem izolacyjnym DC, lub
- na obudowie falownika w widocznym miejscu obok wyłącznika izolacyjnego DC wbudowanego w falownik.

Oznaczenia instalacji fotowoltaicznej



UWAGA!

**URZĄDZENIE ELEKTRYCZNE
POD NAPIĘCIEM!**

- na bocznej lub frontowej części obudowy falownika



UWAGA!

**URZĄDZENIE MOŻE BYĆ
POD NAPIĘCIEM NAWET
PO ROZŁĄCZENIU!**

- na rozdzielniczy DC

Oznaczenia instalacji fotowoltaicznej

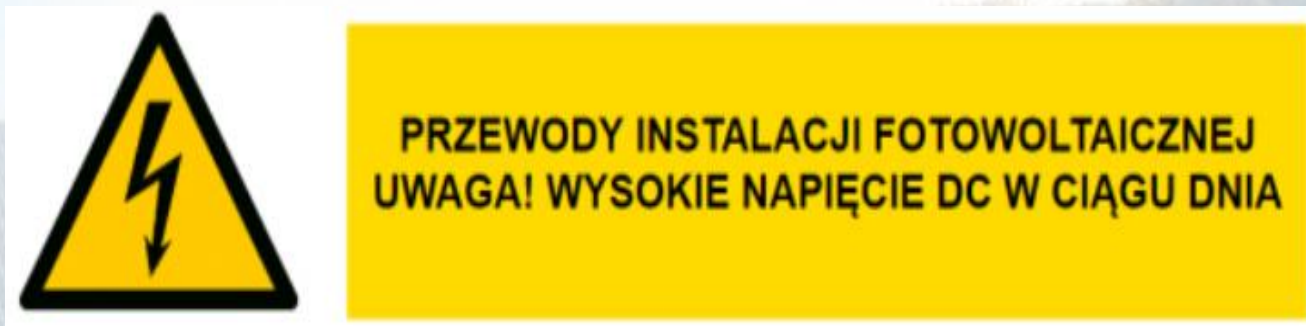
Rozdzielnica PV - AC

- na rozdzielniczy AC

Rozdzielnica PV - DC

- na rozdzielniczy DC

Oznaczenia instalacji fotowoltaicznej

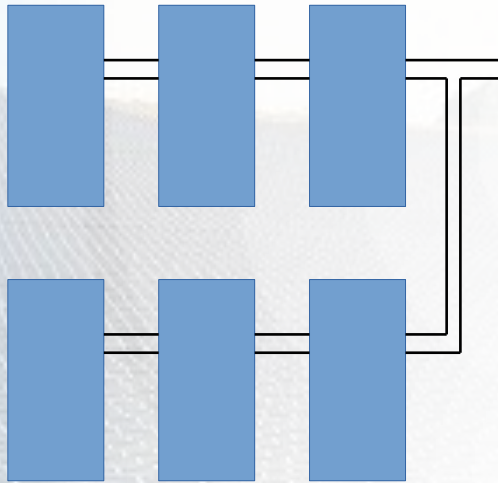


- wzdłuż tras
kablowych DC

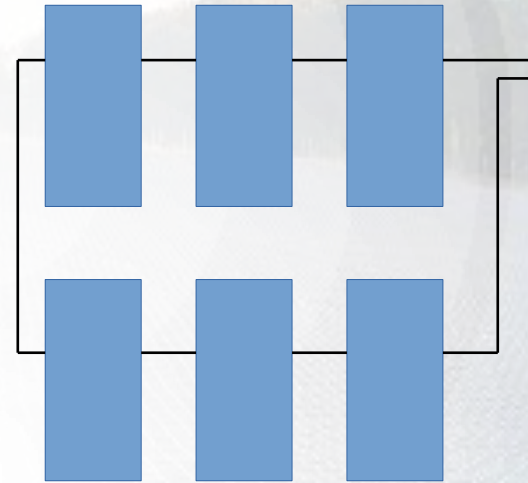
Przejście przez ścianę oddzielenia ppoż.

- Przepusty przez ściany i stropy o odporności ogniowej $\geq EI60$, REI60, powyżej średnicy 4cm – analogicznie jak dla innych przewodów elektrycznych,
- przepusty przez ścianę oddzielenie ppoż. - zastosować uszczelnienia dobrane do klasy odporności materiału oddzielenia.

Połączenia łańcucha DC



TAK



NIE

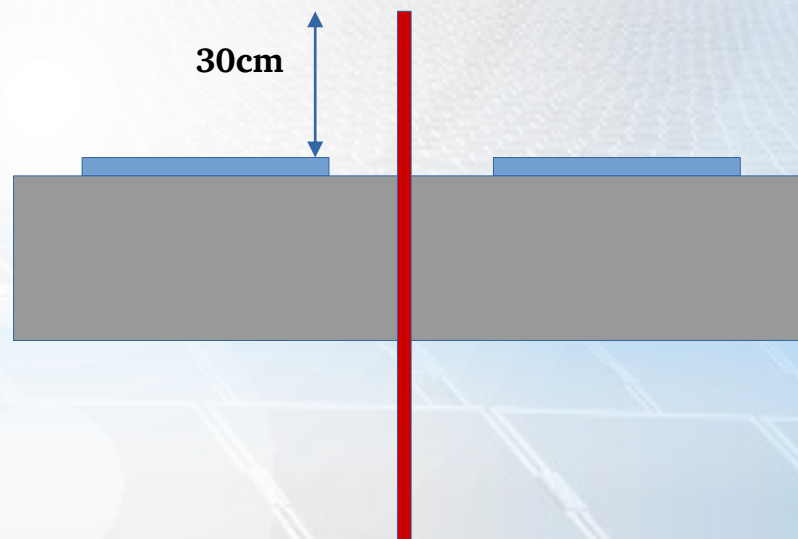
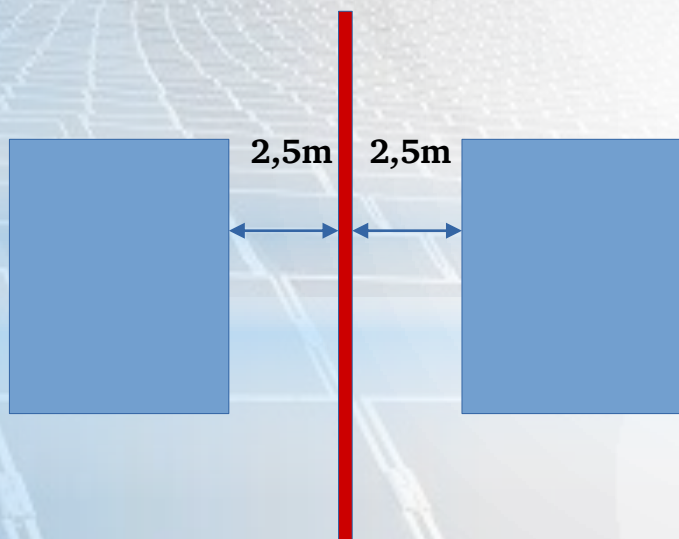
powierzchnia sprzężenia
magnetycznego

Przejście nad ścianą oddzielenia ppoż.

- Zabezpieczyć w sposób uniemożliwiający przedostanie się ognia na drugą stronę,
- materiały nie rozprzestrzeniające ognia, do stosowania na zewnątrz, odporne na UV,
- koryta kablowe z niepalnego materiału, w miejscu przejścia wypełnione masą ogniodporną.

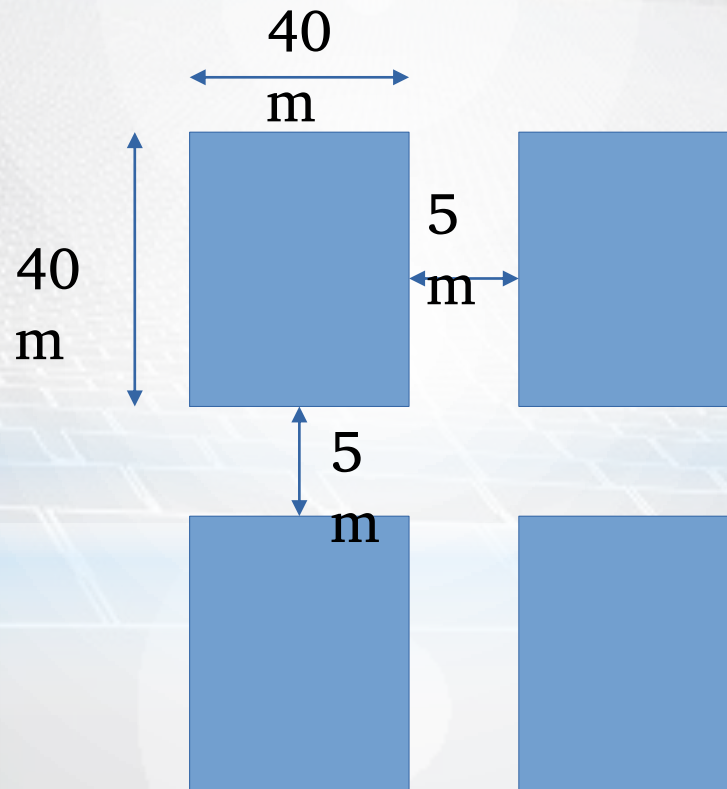
Panele w sąsiedztwie ściany oddzielenia ppoż.

- Zachować odległość pomiędzy panelami a ścianą ppoż 2,5m, lub
- górna granica modułu min. 30cm poniżej ściany ppoż. (VdS 2234)



Bezpieczne odległości – duże pola PV

Zachować 5m odstępu pomiędzy polami modułów o najdłuższym boku 40m.



Rozłączanie części DC a PWP

Jeżeli trasy kablowe DC przechodzą przez pomieszczenie, powyżej 1000m³, objęte PWP, strona DC również powinna być rozłączana.

Rozłączenie lub sprowadzenie części DC do bezpiecznego poziomu:

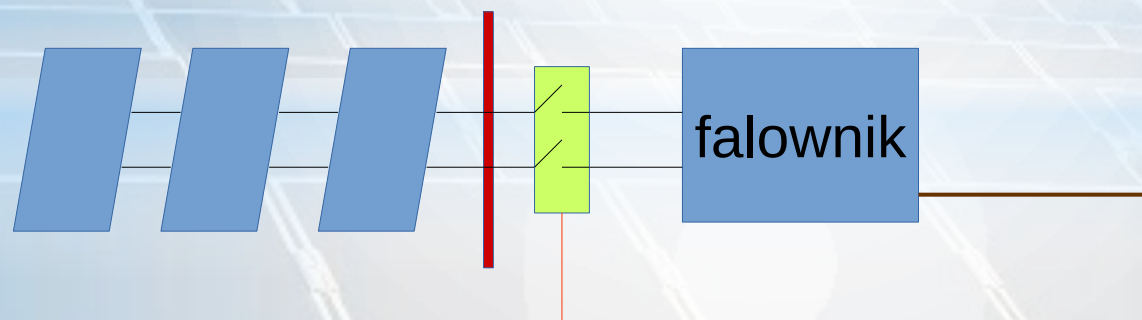
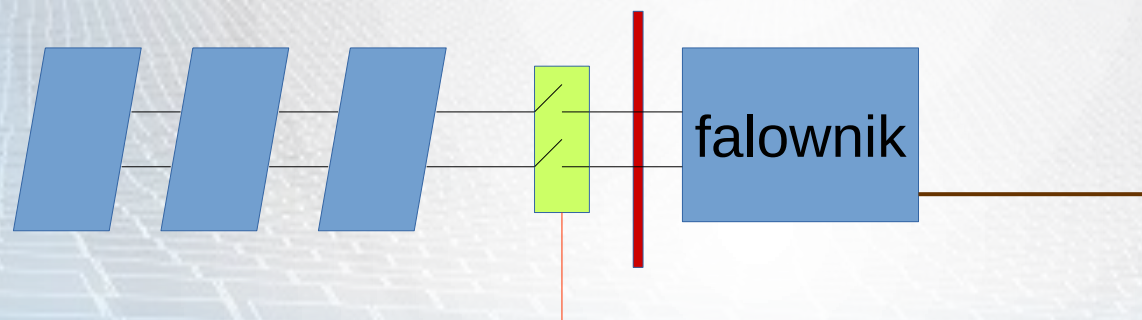
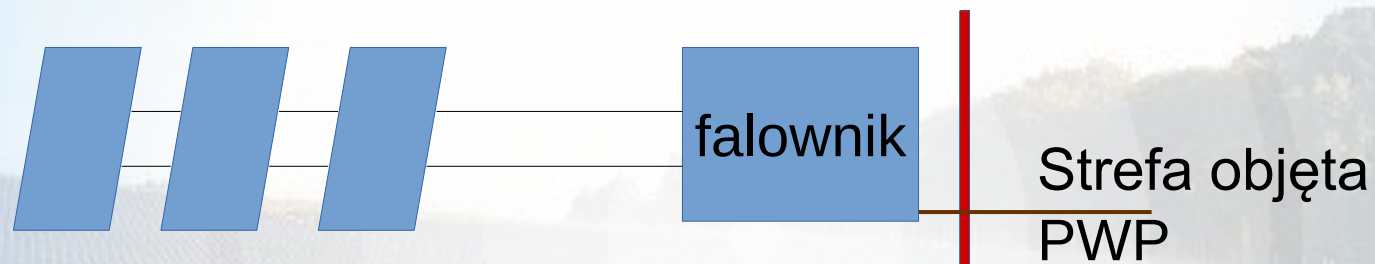
- DC $U_0/U \leq 120V$, lub
- suma prądów zwarciovych DC $\leq 12mA$, lub
- energia DC $\leq 350mJ$.

Rozłączanie części DC a PWP

Sposoby rozłączenia lub obniżenia napięcia to np.:

- na poziomie modułu – opcja w MLPS,
- kontrolowane zwarcie łańcucha DC,
- rozłączanie DC poza strefą pożarową, lub
- gdy brak możliwości poprawnego montażu wyłącznika DC poza strefą – maksymalnie 1m przewodów pod napięciem w strefie.

Rozłączenie części DC a PWP



Akumulatory

Rodzaje:

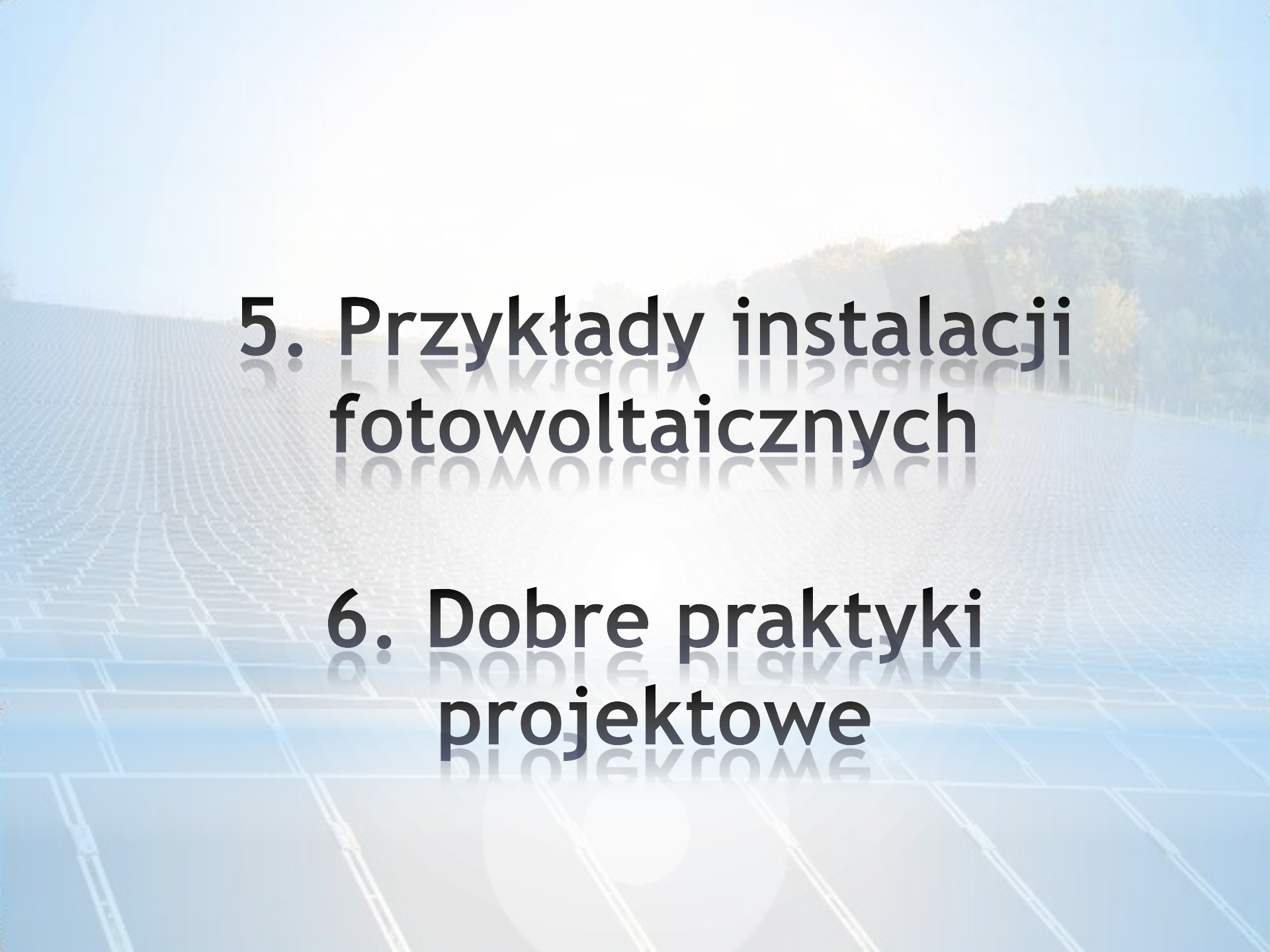
- Do głębokich rozładowań,
- ołowiowe – 500 do 4000 cykli,
- litowe – około 3000 cykli.

Eksploatacja:

ładowanie, przeładowanie,
niedoładowanie.

Bezpieczeństwo:

- wentylacja,
- przeciążanie,
- temperatura,
- symetryzacja napięć.



5. Przykłady instalacji fotowoltaicznych

6. Dobre praktyki projektowe







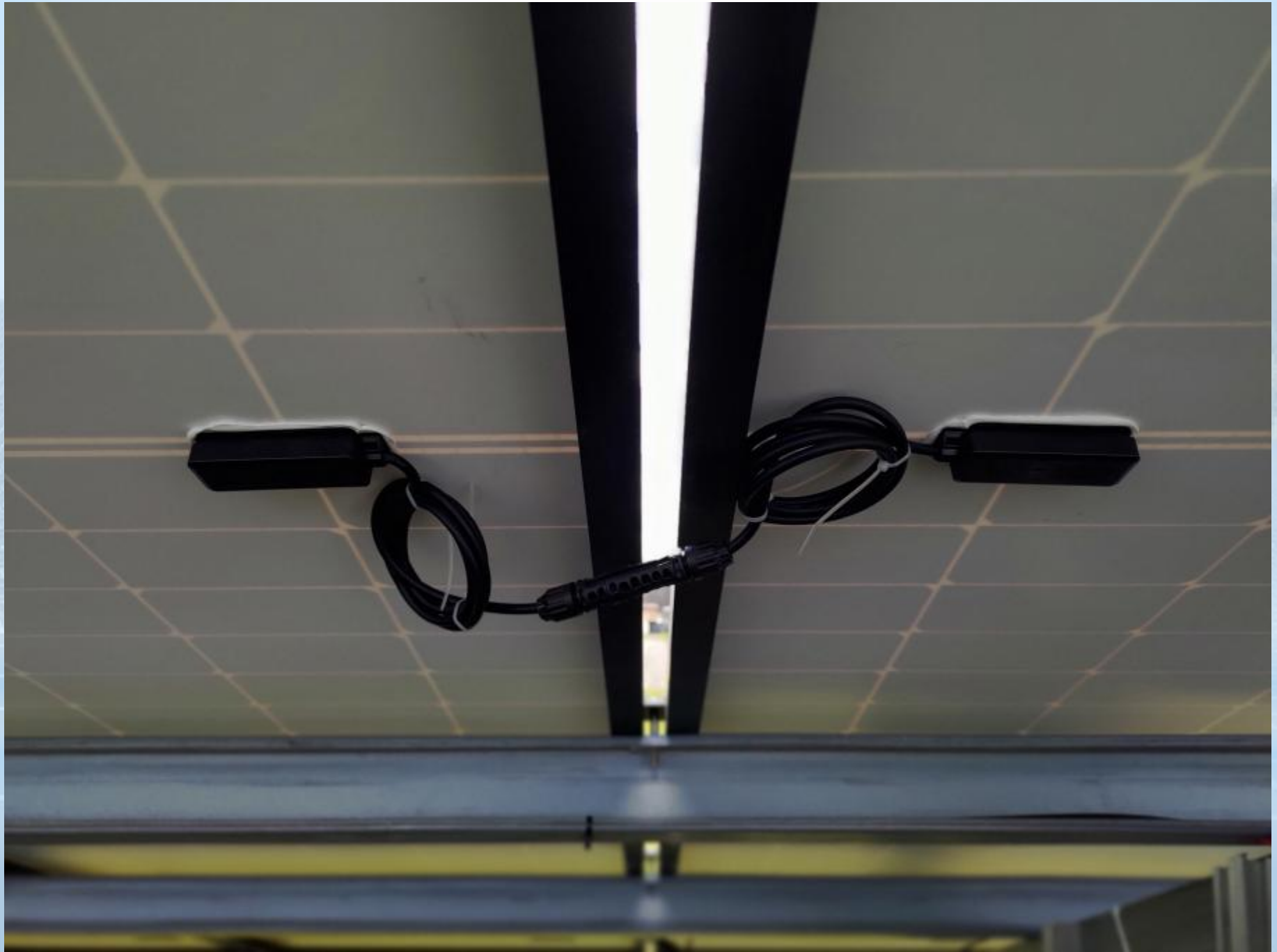














Dach firmy Sunroof - 2 w 1 - dach oraz fotowoltaika

Dach pokryty dachówkami solarnymi



https://www.tesla.com/pl_PL/solarroof



YOUR BEST PV SUPPLIER





**Sposób ułożenia paneli
na dachu budynku**

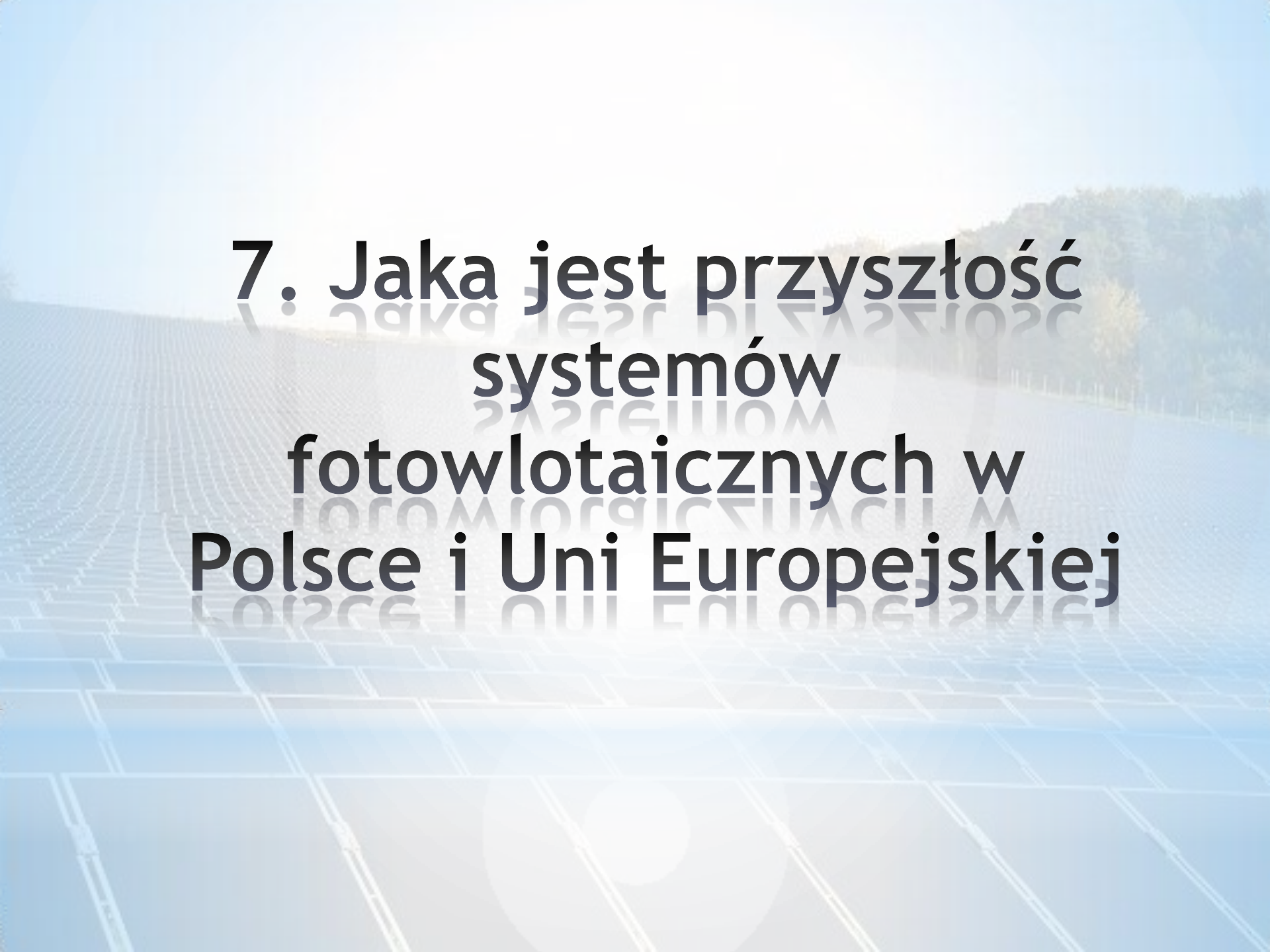
Systemy wsparcia dla prosumentów

Polska - dla klientów indywidualnych zasada rocznego bilansowania net-metering (system opustu) do 10kWp - 80%

Czechy - obecnie jest możliwe podpięcie się do sieci pod warunkiem wykorzystywania 70 % energii na własne potrzeby

Niemcy - taryfy gwarantowane, są dopłaty ale wymagana większa autokonsumpcja. Obecnie rząd chce opodatkować energię wykorzystywaną na własny użytek.

Łączna moc elektrowni PV w Niemczech wynosi już około 54GW



7. Jaka jest przyszłość systemów fotowoltaicznych w Polsce i Uni Europejskiej

Mój prąd 3,0 ?

- ☐ Zwiększenie konsumpcji własnej
 - ☐ Magazyny energii
 - ☐ Magazyny ciepła i zimna
 - ☐ Ładowarka dla posiadaczy samochodu elektrycznego

Futurystyczna przyszłość ?

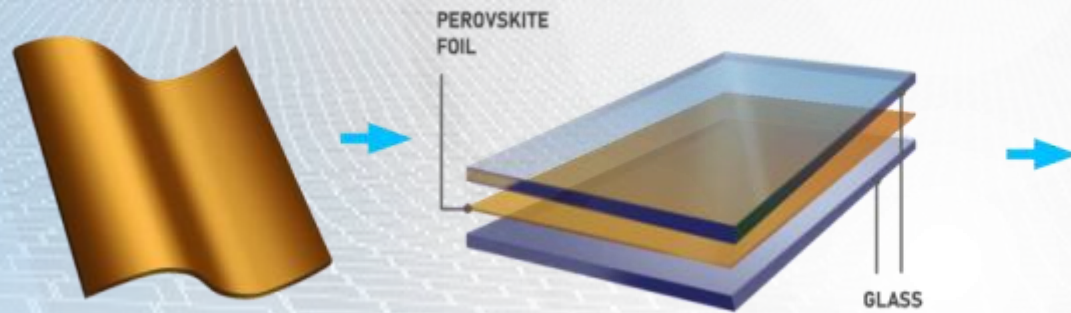
- Perowskity jako materiał przyszłości - rekord laboratoryjny sprawności to 28 % (Oxford PV)
- Polski rekord to 17,6 %
- Zaletą perowskitów jest to, że ogniwa można drukować jak na drukarce atramentowej na tkaninach, dachówkach - są cienkie i lekkie oraz wykorzystują światło sztuczne
 - Okna fotowoltaiczne
 - Rolety przeciwsłoneczne
 - Energy harvesting
 - Stacje ładowania samochodów
- Mają dobrą sprawność przy niskim promieniowaniu

Stacja ładowania dla rowerów i hulajnog



<https://sauletech.com/>

BIPV - Building Integrated Photovoltaics



<https://sauletech.com/>

Elektroniczne etykiety bez baterii



2.9"
D290-P07

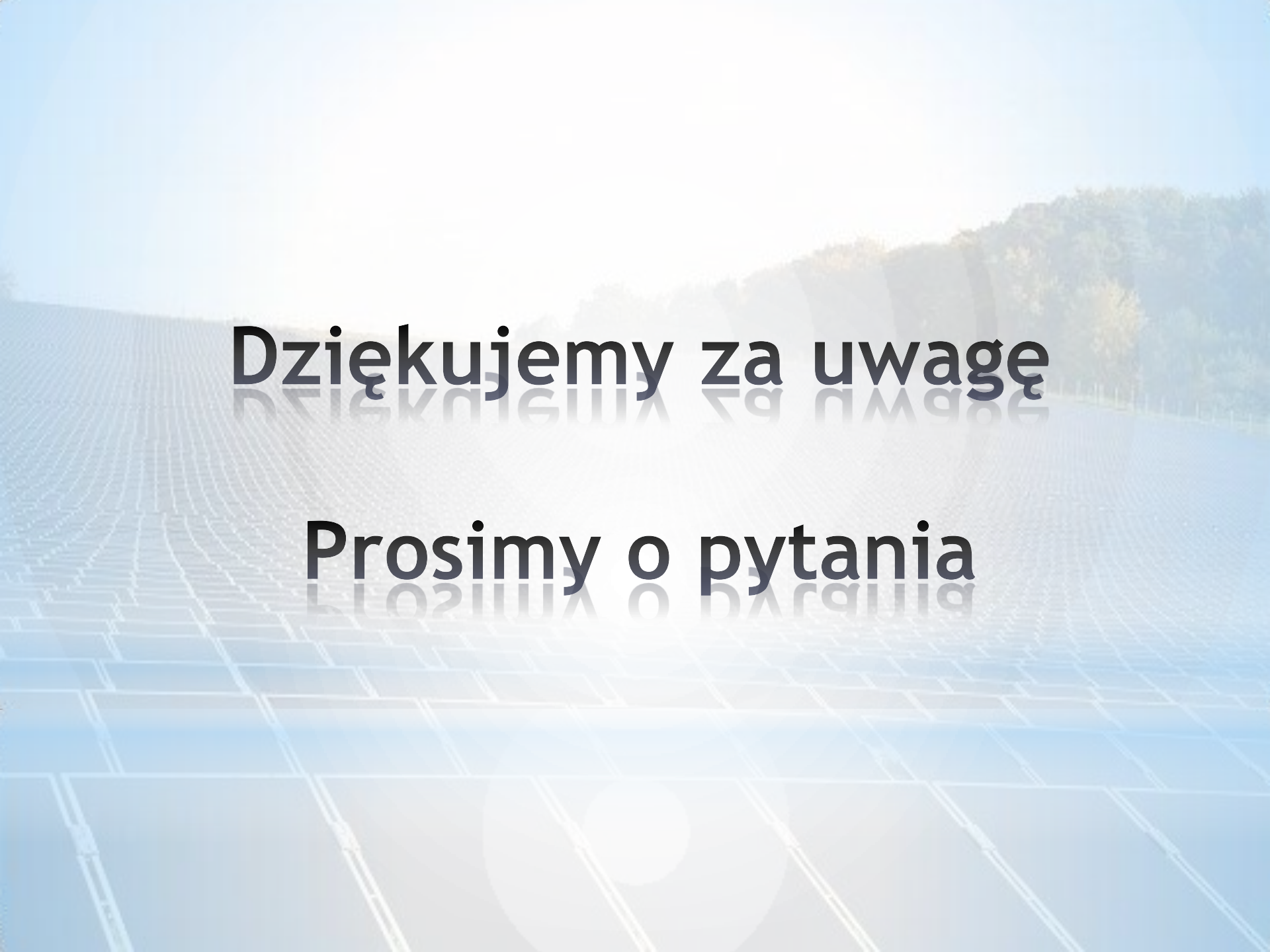


4.2"
D420-P19

<https://sauletech.com/>

W prezentacji wykorzystano materiały i rysunki z następujących źródeł:

1. Bogdan Szymański, „Instalacje fotowoltaiczne”, Globenergia, Kraków 2019.
2. www.globenergia.pl
3. <https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/>
4. www.inzynierbudownictwa.pl
5. <https://venster.pl/>
6. <https://sauletech.com/>
7. www.keno-energy.com
8. <https://stiloenergy.pl/>
9. <https://columbusenergy.pl/>
10. <https://gramwzielone.pl/>
11. <https://pl.wikipedia.org/>
12. <http://www.sep.krakow.pl/nbiuletyn/nr66ar2.pdf>
13. www.renerga.cz
14. https://www.tesla.com/pl_PL/solarroof



Dziękujemy za uwagę

Prosimy o pytania