

SYSTEMY ENERGETYKI ODNAWIALNEJ

**ENERGETYKA SŁONECZNA I
INSTALACJE FOTOWOLTAICZNE -
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE**

Generacje ogniw fotowoltaicznych:

I generacja

Są to klasyczne ogniwa złożone niemal ze 100% krzemu (poli lub monokrystalicznego), posiadające tradycyjne złącze p-n. Charakteryzują się sprawnością ok. 18-24%.



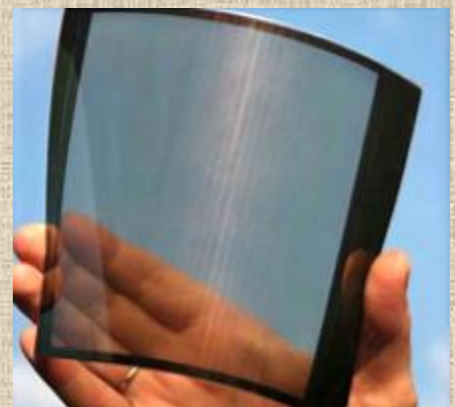
II generacja

Ogniwa oparte na złączu p-n, lecz złożone z innych pierwiastków niż krzem, tj. tellurku kadmu (CdTe), mieszaniny miedzi, galu, indu, seleniu (CIGS) lub krzemu amorficznego. Charakteryzują się niższymi kosztami produkcji oraz niższą sprawnością (7-15%) od ogniw I generacji.



III generacja

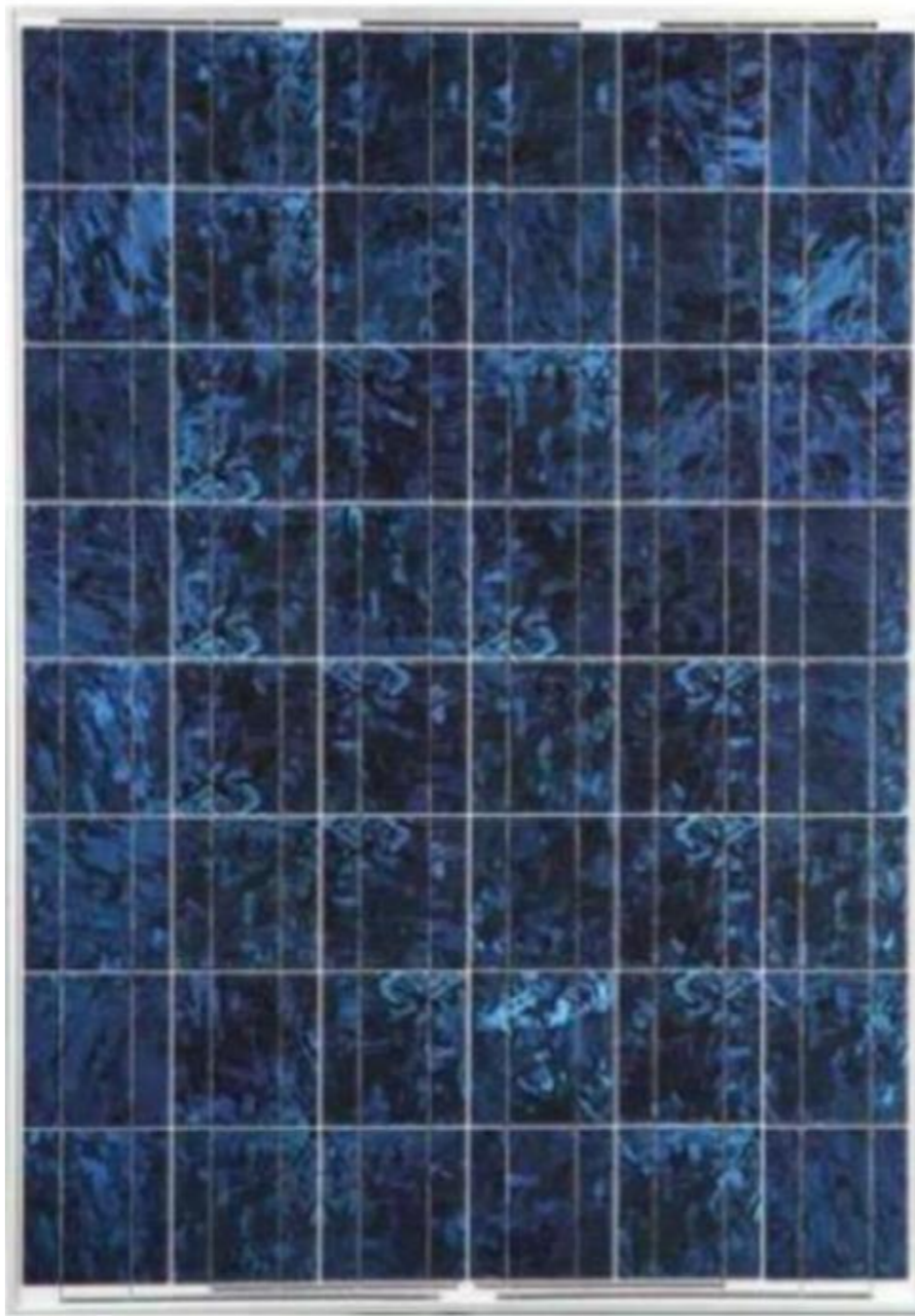
Ogniwa bazujące na różnorodnej technologii nie zawsze opartej na złączu p-n. Wyróżnić można m.in. ogniwa barwnikowe (DSSC), polimerowe czy perowskitowe. Szeroki zakres sprawności i żywotności, w zależności od zastosowanej technologii.



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Ogniwa fotowoltaiczne I generacji

MODUŁ POLIKRYSTALICZNY
SPRAWNOŚĆ: 15% - 18%

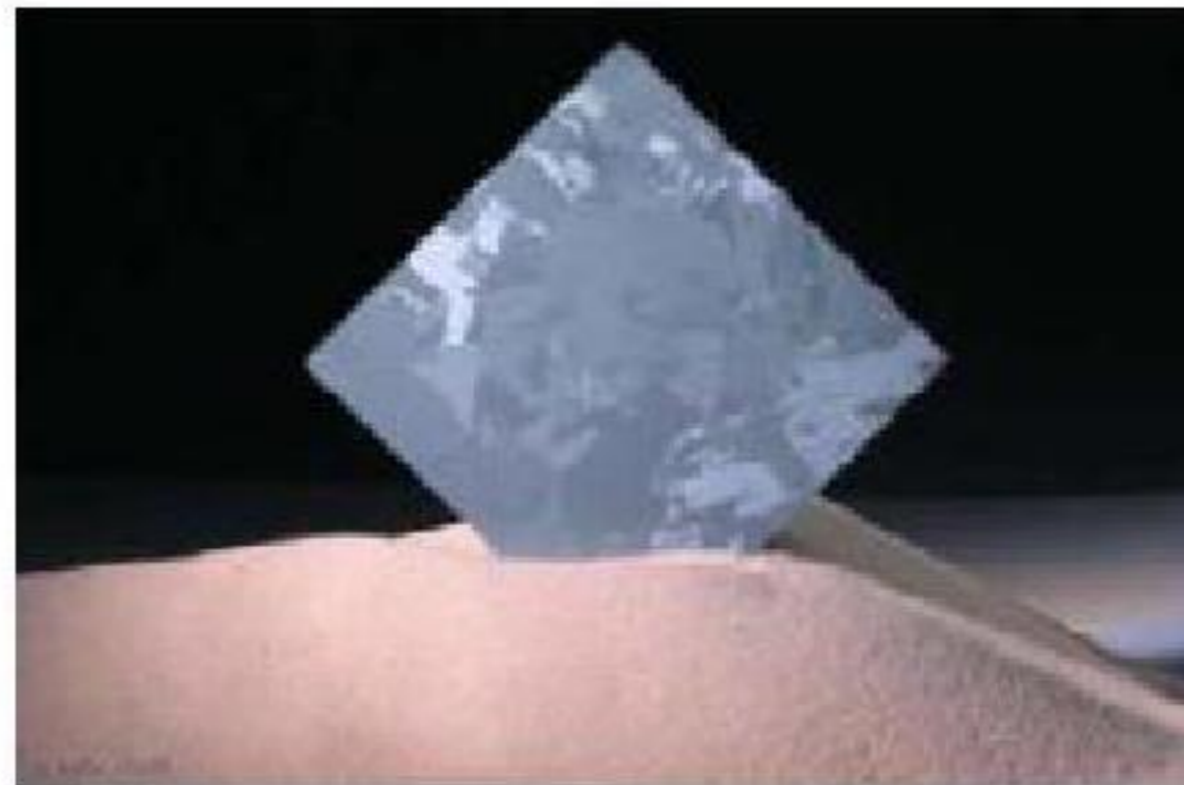


MODUŁ MONOKRYSTALICZNY
SPRAWNOŚĆ: 20% - 23%

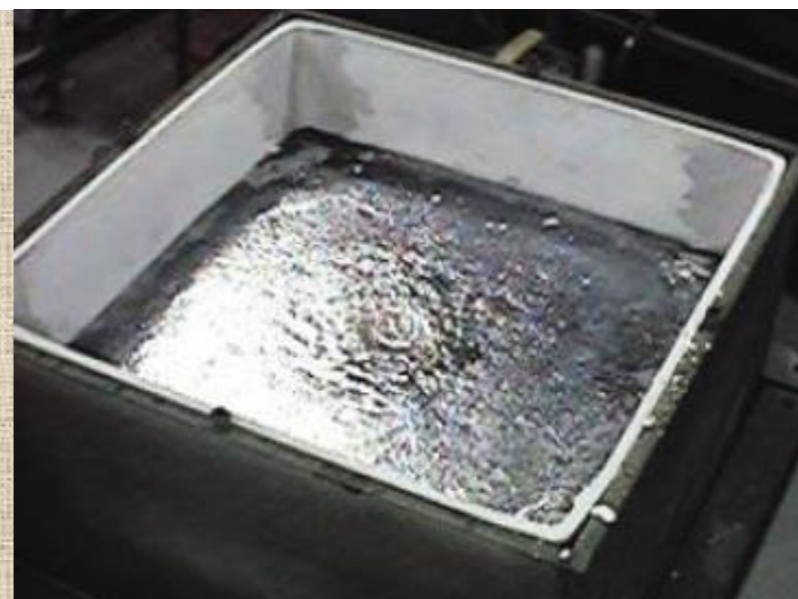


MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Technologia wytwarzania ogniw I generacji

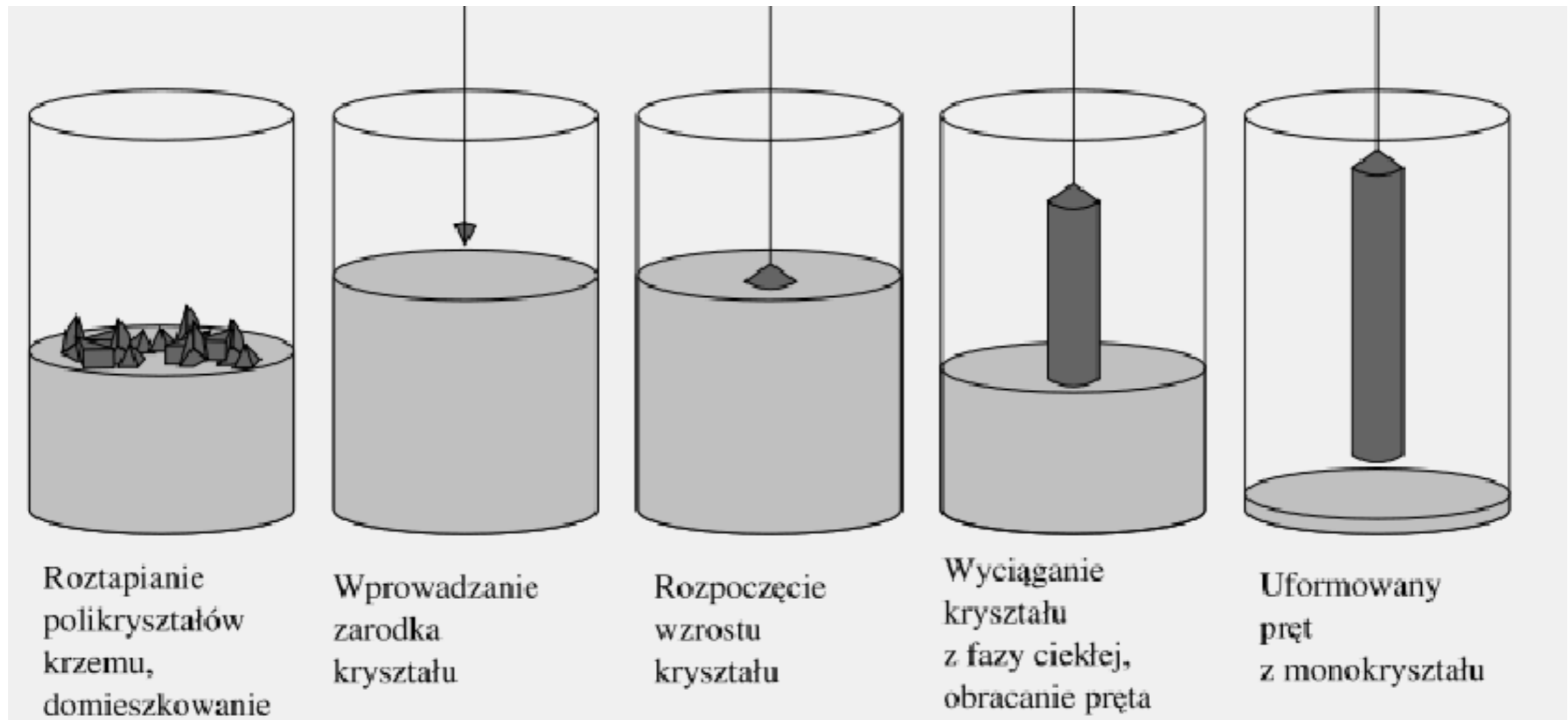


Krzem jako surowiec oraz płytka krzemowa



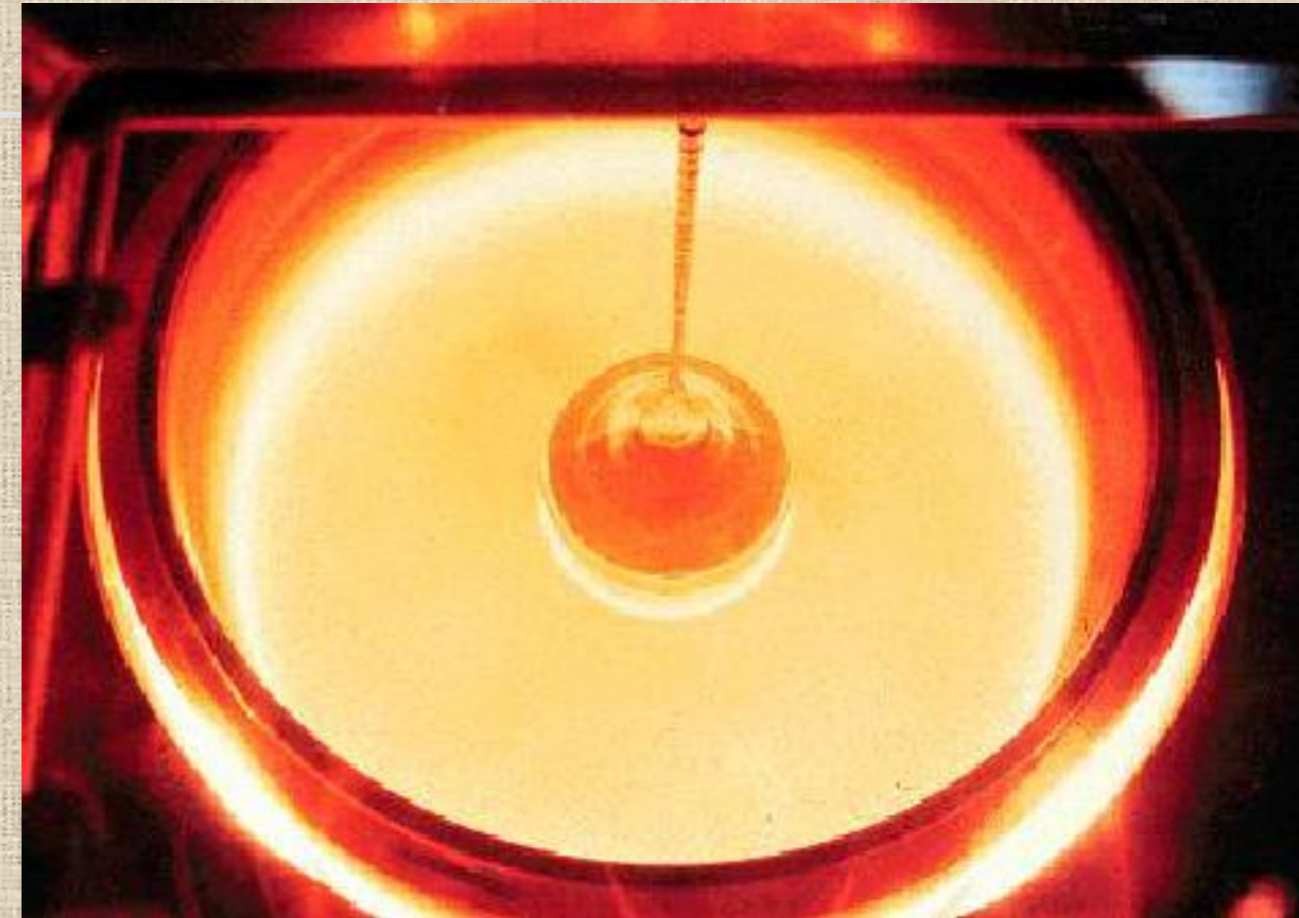
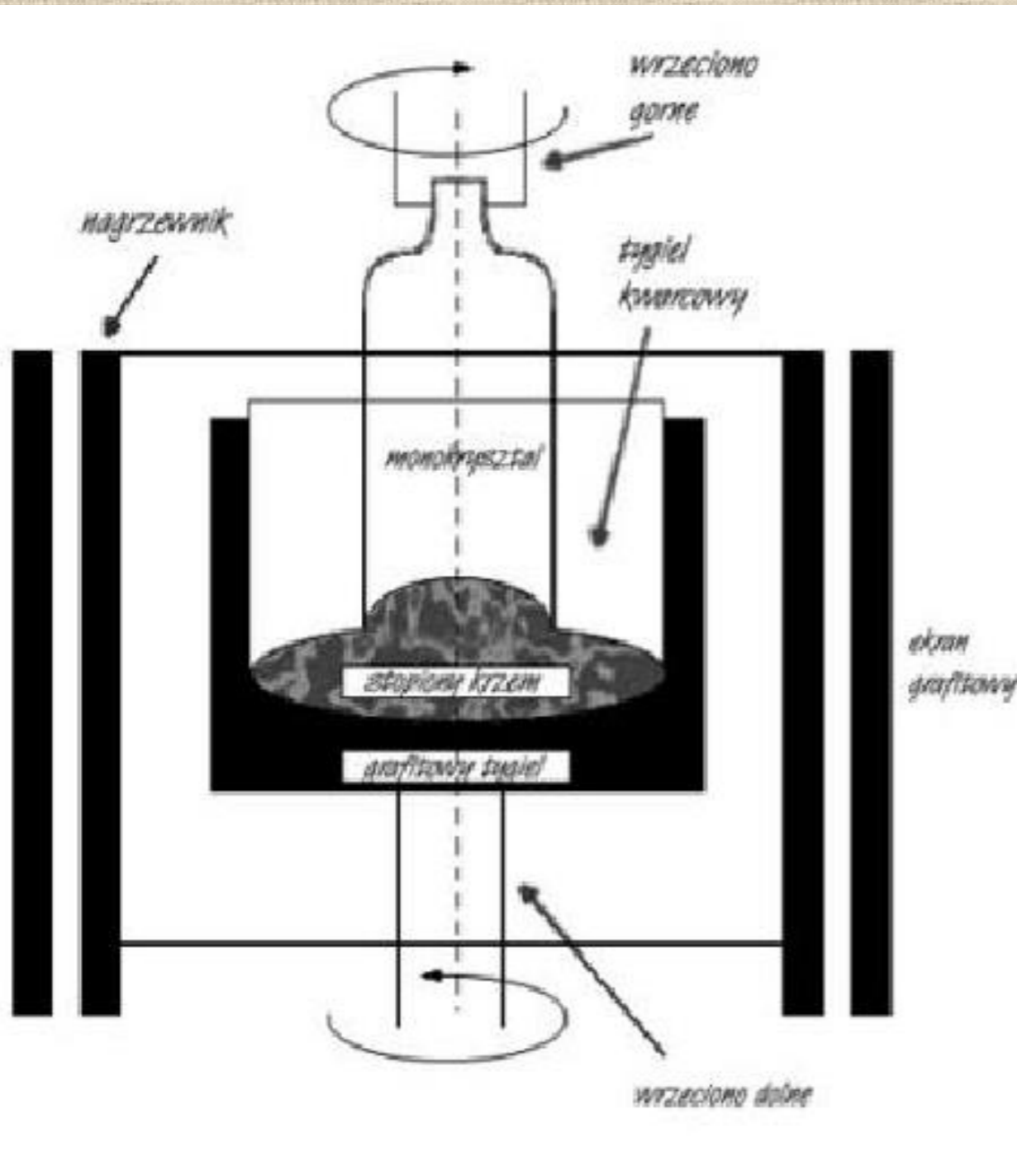
Metoda Jana Czochralskiego - technika otrzymywania monokryształów, która polega na powolnym, stopniowym wyciąganiu z roztopionego materiału zarodka krystalicznego w sposób zapewniający kontrolowaną i stabilną krystalizację na jego powierzchni. Dodatkowo, jeśli wymagają tego warunki procesu krystalizacji zarodek oraz tygiel mogą zostać wprowadzone w ruch obrotowy celem polepszenia warunków transportu masy i ciepła.

W rezultacie otrzymuje się cylindryczny monokryształ o orientacji krystalograficznej zarodka. Wymiary i kształt hodowanego kryształu (średnica oraz długość) kontrolowane są poprzez prędkość przesuwu i prędkość obrotową zarodka, ograniczone są jednak poprzez parametry układu zastosowanego do hodowli.



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Technologia wytwarzania ogniw I generacji



Proces wzrostu kryształów krzemu zachodzi w temperaturze 1400°C

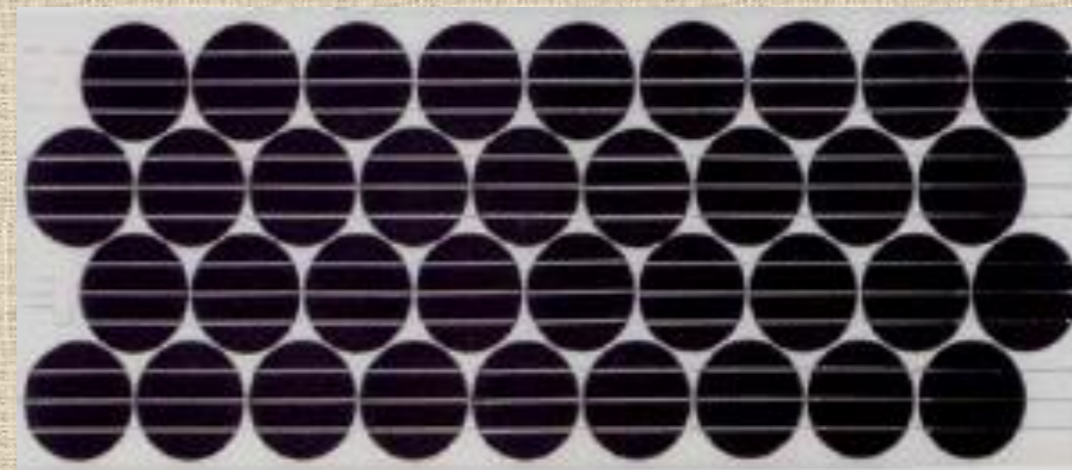
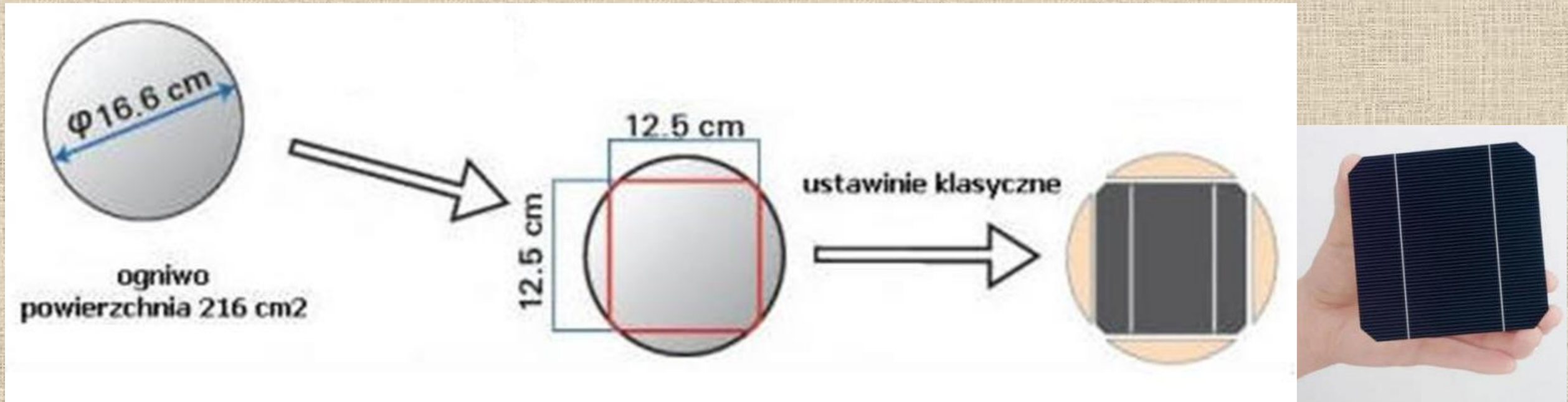
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Technologia wytwarzania ogniw I generacji



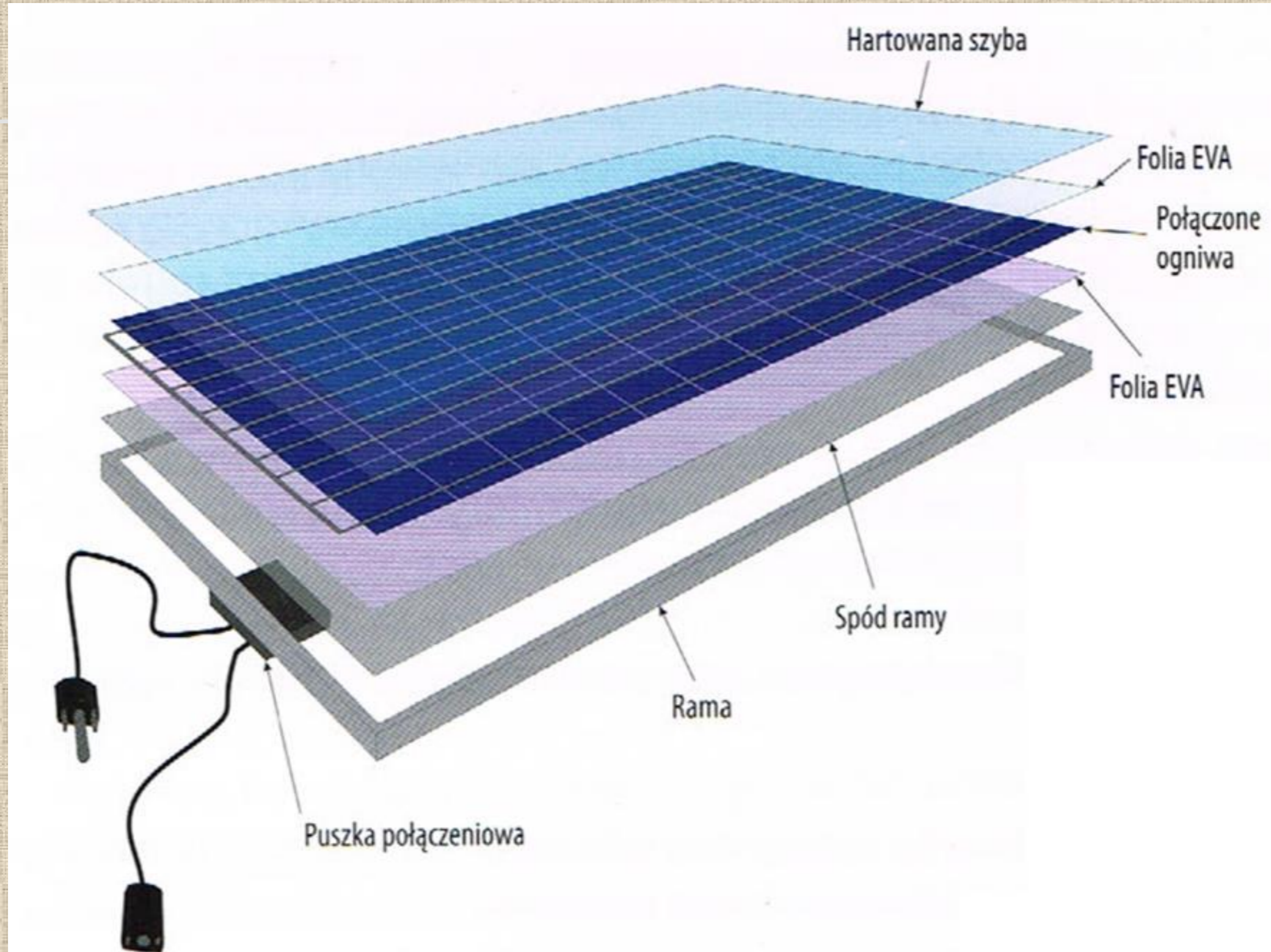
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Technologia wytwarzania ogniw I generacji



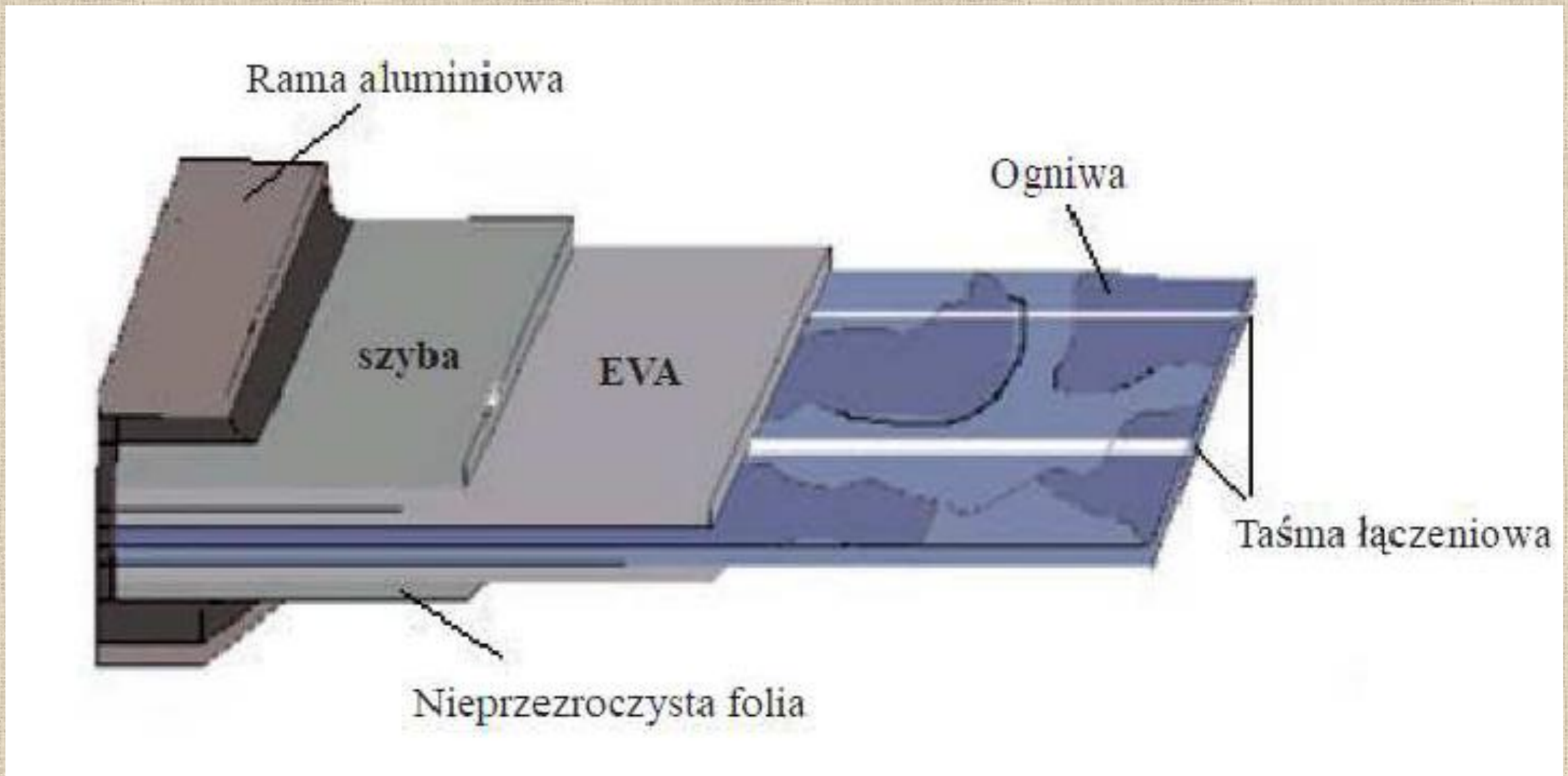
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Budowa modułu PV I generacji



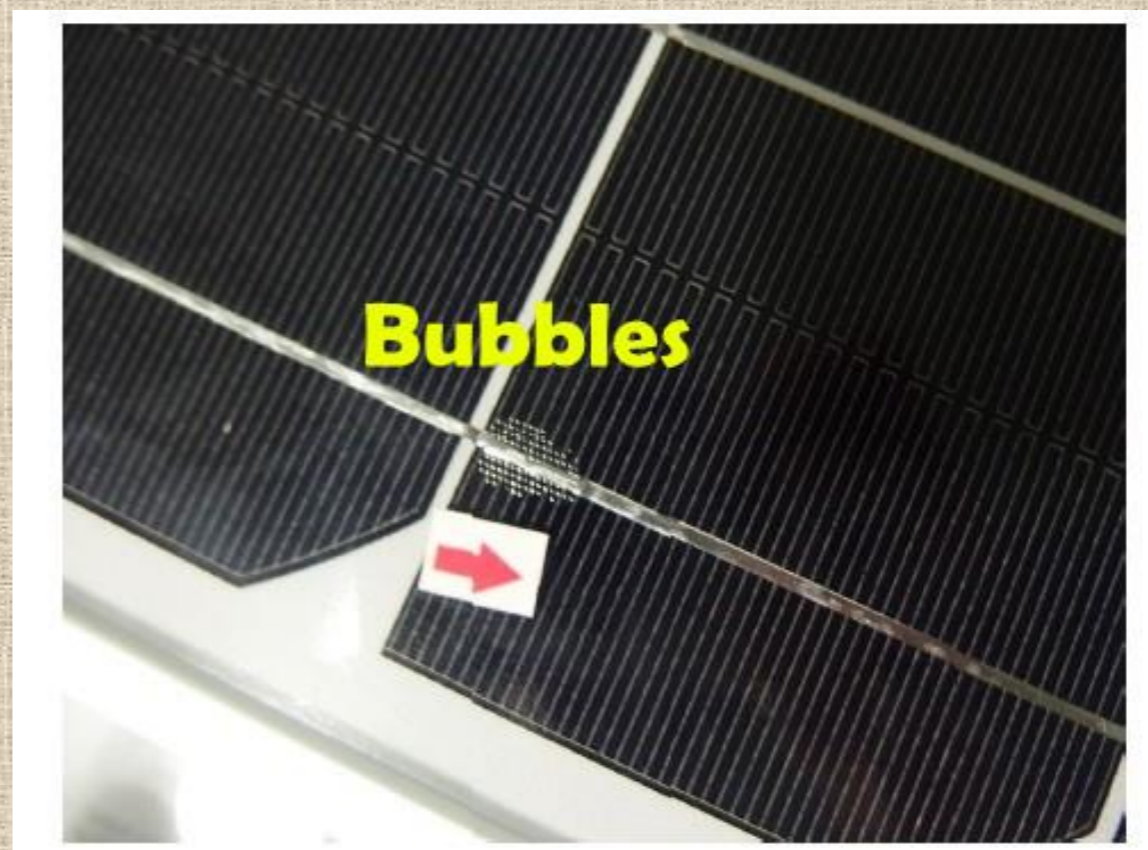
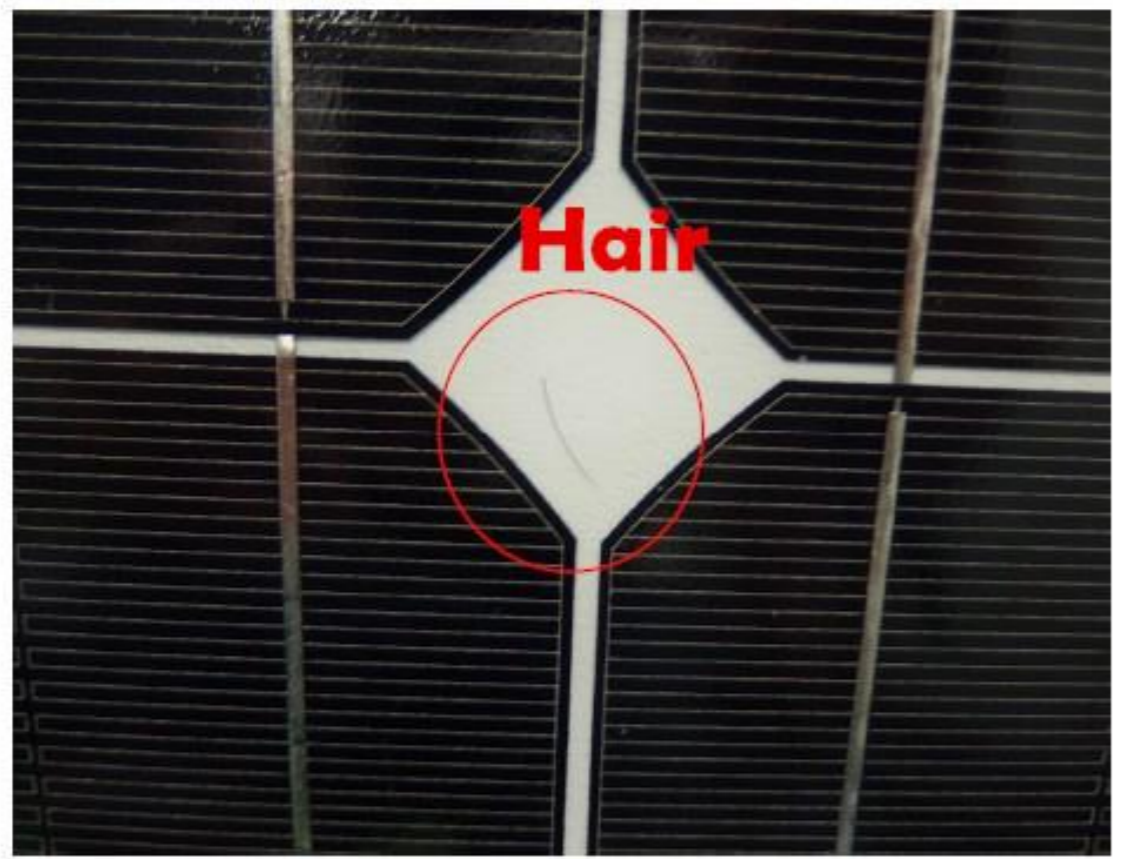
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Budowa modułu PV I generacji



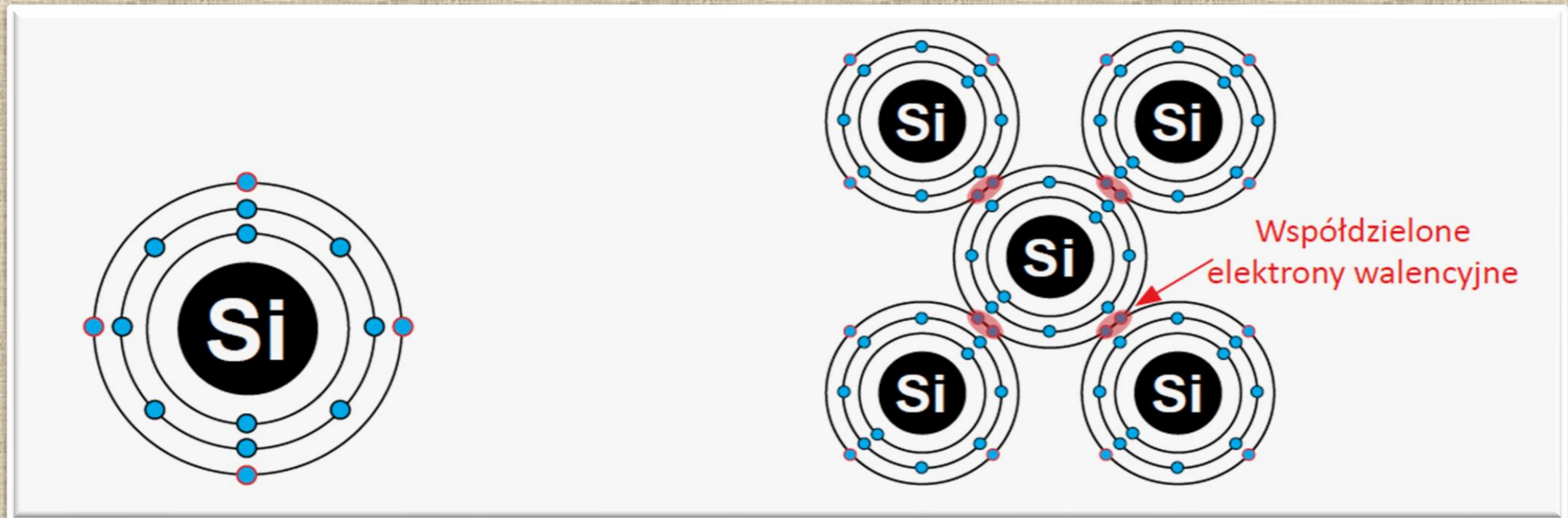
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Przykłady wad modułów PV

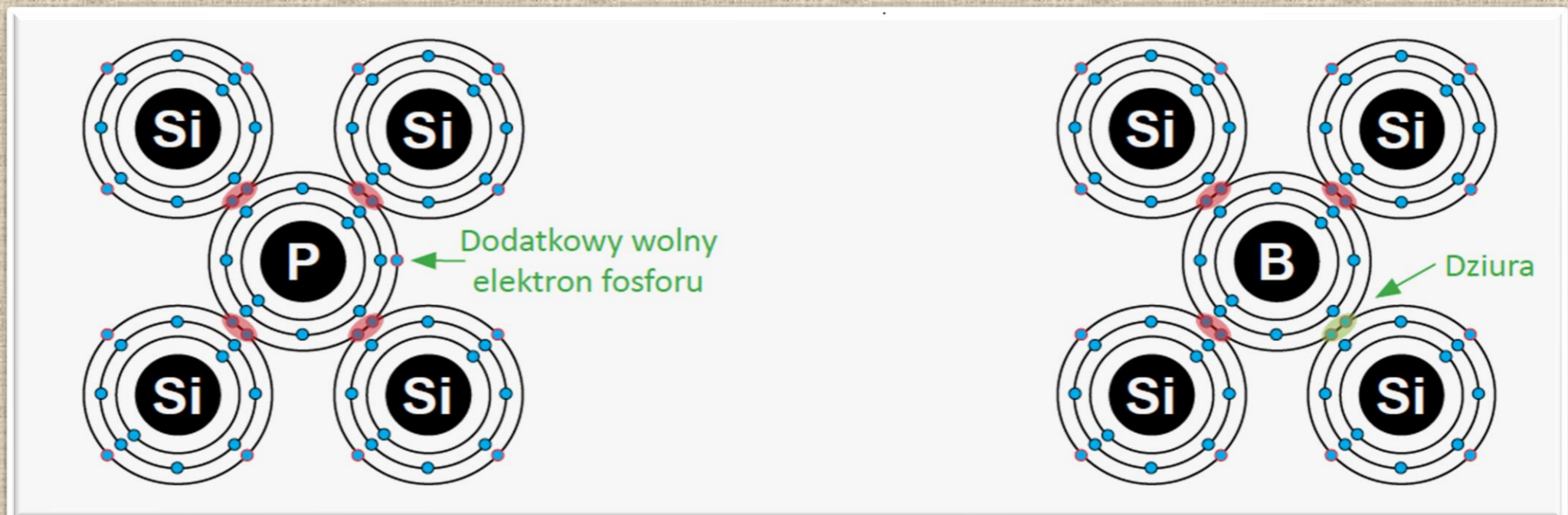


Proces konwersji promieniowania słonecznego w ogniwie krzemowym

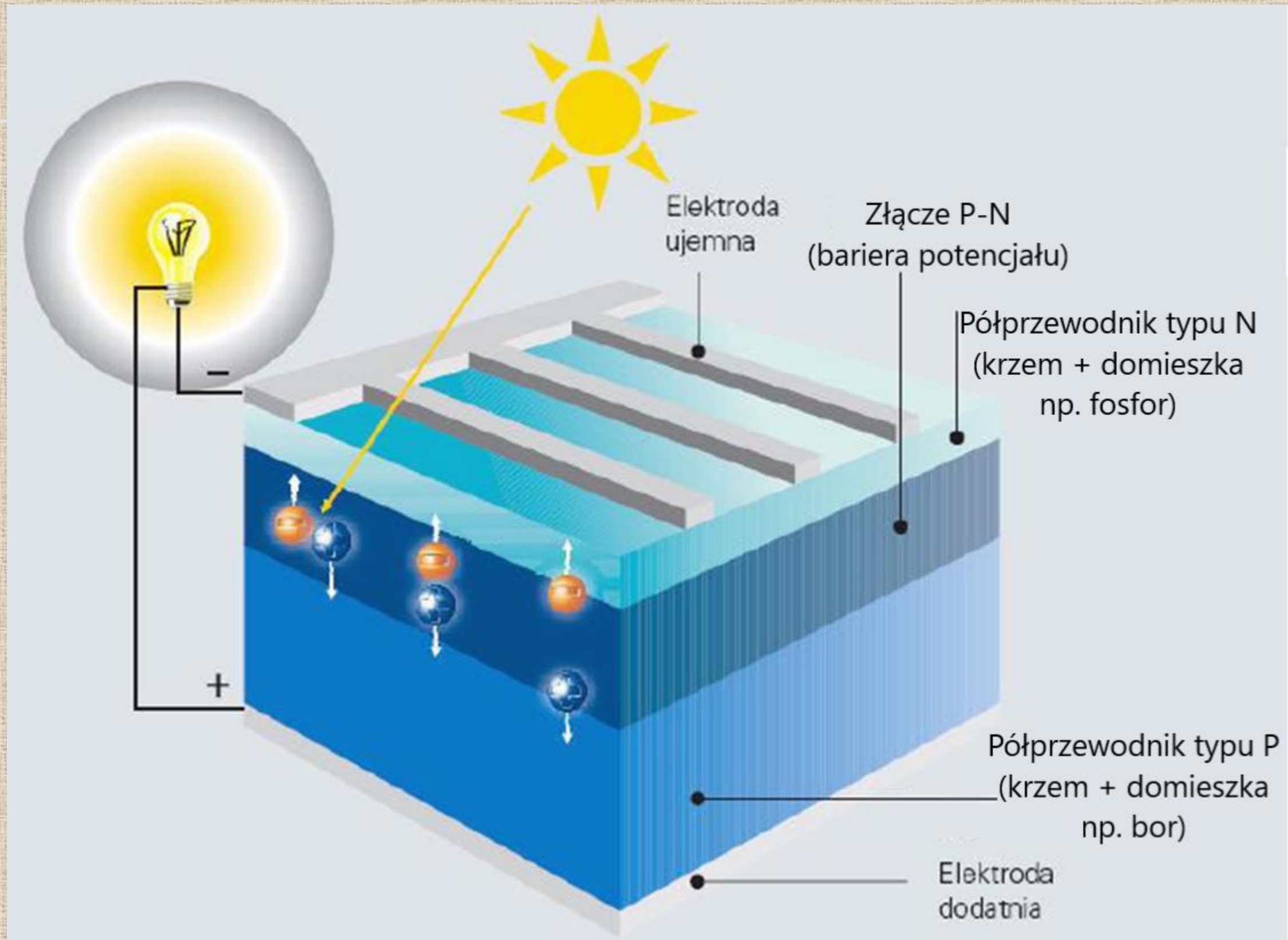
PRZED
PROCESEM
DOMIESZKOWANIA



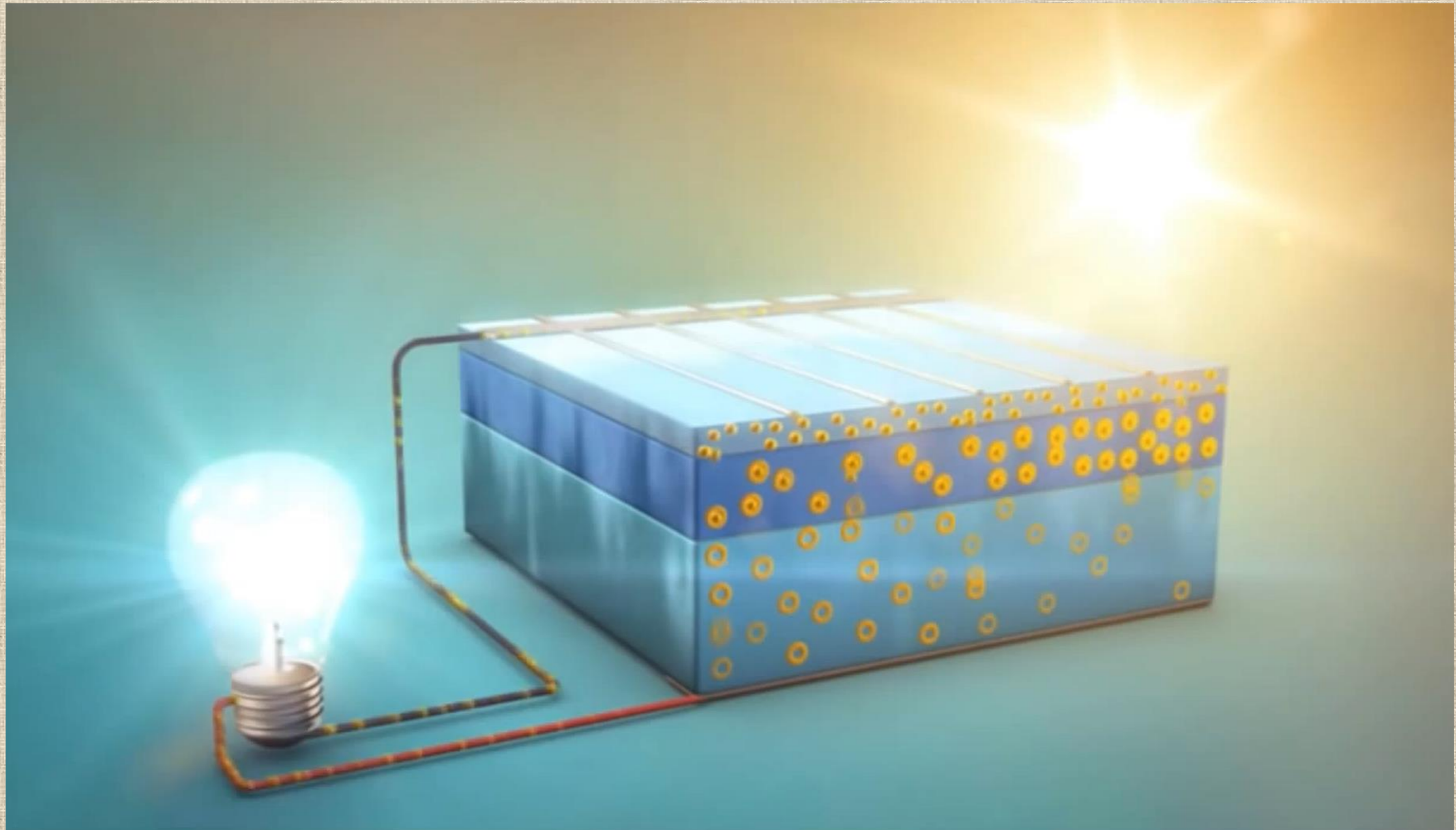
PO
PROCESIE
DOMIESZKOWANIA



Proces konwersji promieniowania słonecznego w ogniwie krzemowym



Proces konwersji promieniowania słonecznego w ogniwie krzemowym



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Ogniwa PV I generacji

Monokrystaliczne moduły **VITOVOLT 300**

- **Rama srebrna**
- Moc znamionowa 300 do 310 W_p
- Moduł z 60 monokrystalicznymi ogniwami krzemowymi
- Rama z anodowanego stopu aluminium (srebrna)
- Technologia ogniw 5-szynowych
- Sprawność modułu do 19 %



Monokrystaliczne moduły **VITOVOLT 300**

- **All Black**
- Moc znamionowa 310 W_p
- Moduł z 120 monokrystalicznymi ogniwami krzemowymi half-cut
- Czarna folia Tedlar
- Rama z eloksalowanego stopu aluminium (czarna)
- Technologia ogniw 5-szynowych
- Sprawność modułu do 19 %



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Ogniwa PV I generacji

Polikrystaliczne moduły **VITOVOLT 300**

- **Półwkowe half-cut-cells, srebrne**
- Moc znamionowa 295 W_p
- Moduł ze 120 półwkowymi polikrystalicznymi ogniwami krzemowymi (half-cut)
- Rama z anodowanego stopu aluminium (srebrna)
- Technologia ogniw 5-szynowych półwkowych
- Podzielone okablowanie modułów dla większej tolerancji na zacinienie
- Sprawność modułu do 17,8 %



Monokrystaliczne moduły **VITOVOLT 300**

- **Półwkowe half-cut-cells, rama srebrna / czarna**
- Moc znamionowa 310 W_p
- Moduł ze 120 półwkowymi monokrystalicznymi ogniwami krzemowymi (half-cut)
- Rama z anodowanego stopu aluminium (srebrna/czarna)
- Technologia ogniw 5-szynowych półwkowych
- Podzielone okablowanie modułów dla większej tolerancji na zacinienie
- Sprawność modułu do 19,6 %



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Ogniwa PV II generacji



MODUŁ CdTe
SPRAWNOŚĆ: 12% - 14%



MODUŁ CIGS
SPRAWNOŚĆ: 13% - 16%



MODUŁ A-Si (KRZEM AMORFICZNY)
SPRAWNOŚĆ: 6% - 8%

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Ogniwa PV II generacji



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Ogniwa PV III generacji

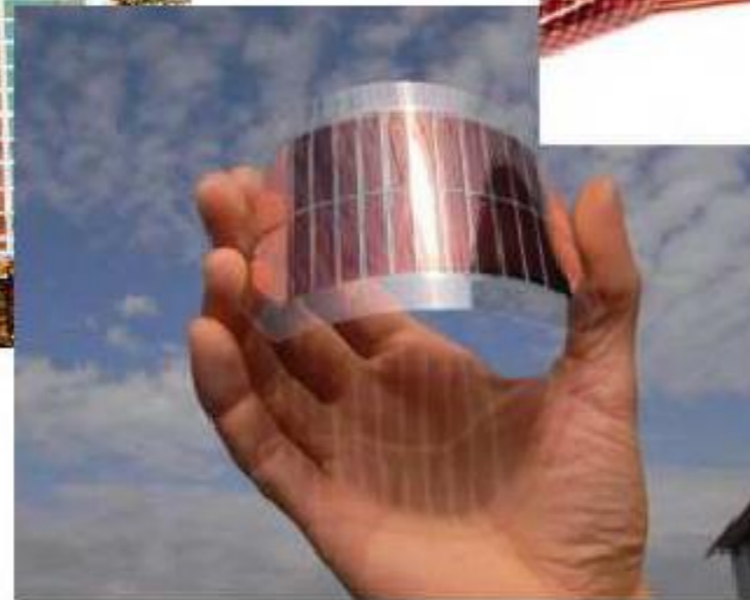
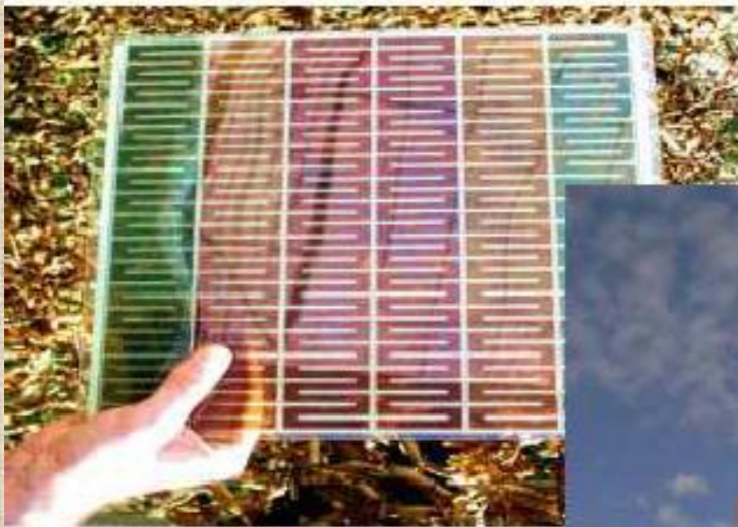
Ogniwa fotowoltaiczne trzeciej generacji

Barwnikowe

Organiczne

Polimerowe

Termoelektryczne



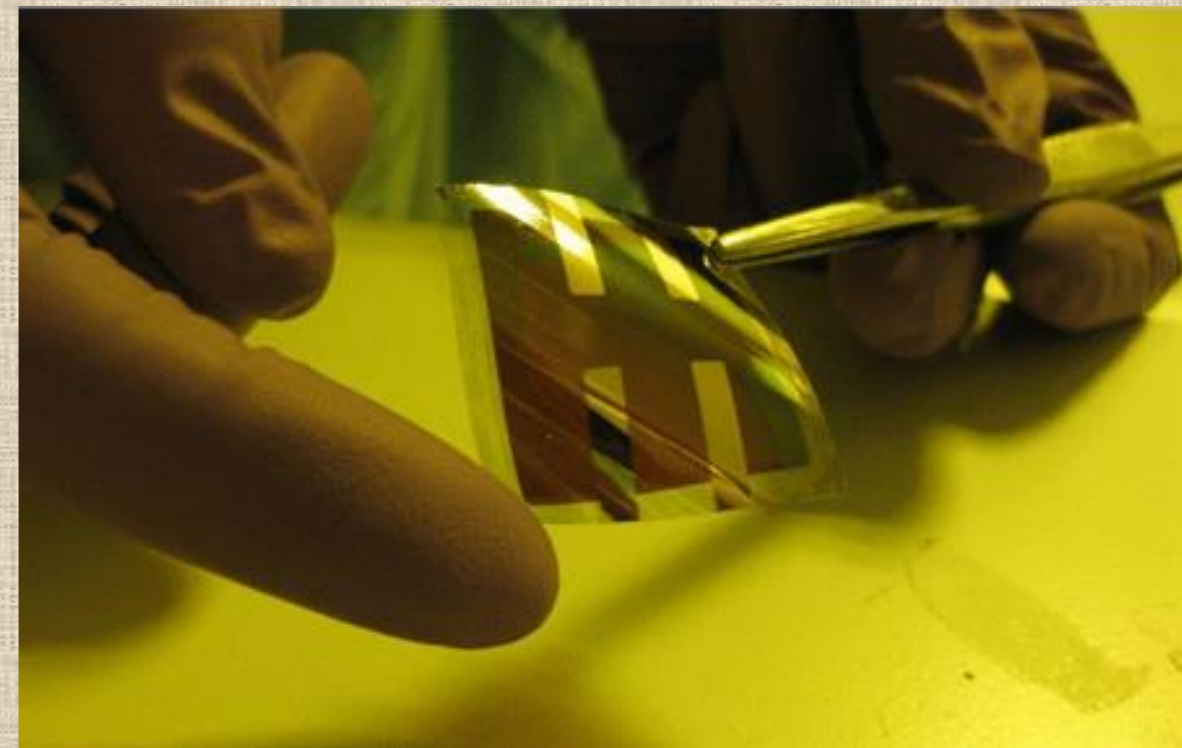
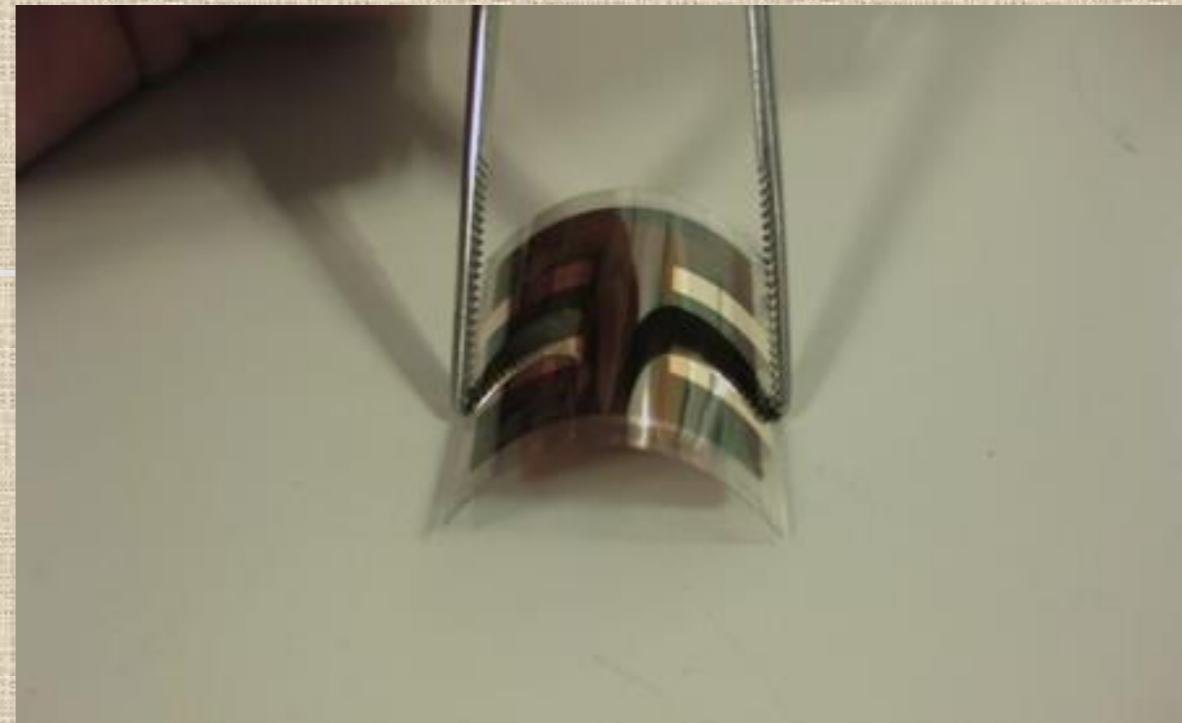
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Ogniwa PV III generacji

Perowskity

Perowskity to grupa nieorganicznych związków chemicznych (pierwszym był tytanian wapnia). Charakteryzuje się szybkim czasem produkcji oraz nie wymaga zastosowania skomplikowanych urządzeń.

Przeprowadzana jest w warunkach próżniowych, niskotemperaturowych. Polega na naniesieniu cienkiej warstwy perowskitów na dowolny materiał np. folię. Aktualnie sprawność może przekraczać 20%, zaś w przyszłości może osiągnąć nawet 30%.



Ogniwo perowskitowe
Foto: Olga Malinkiewicz

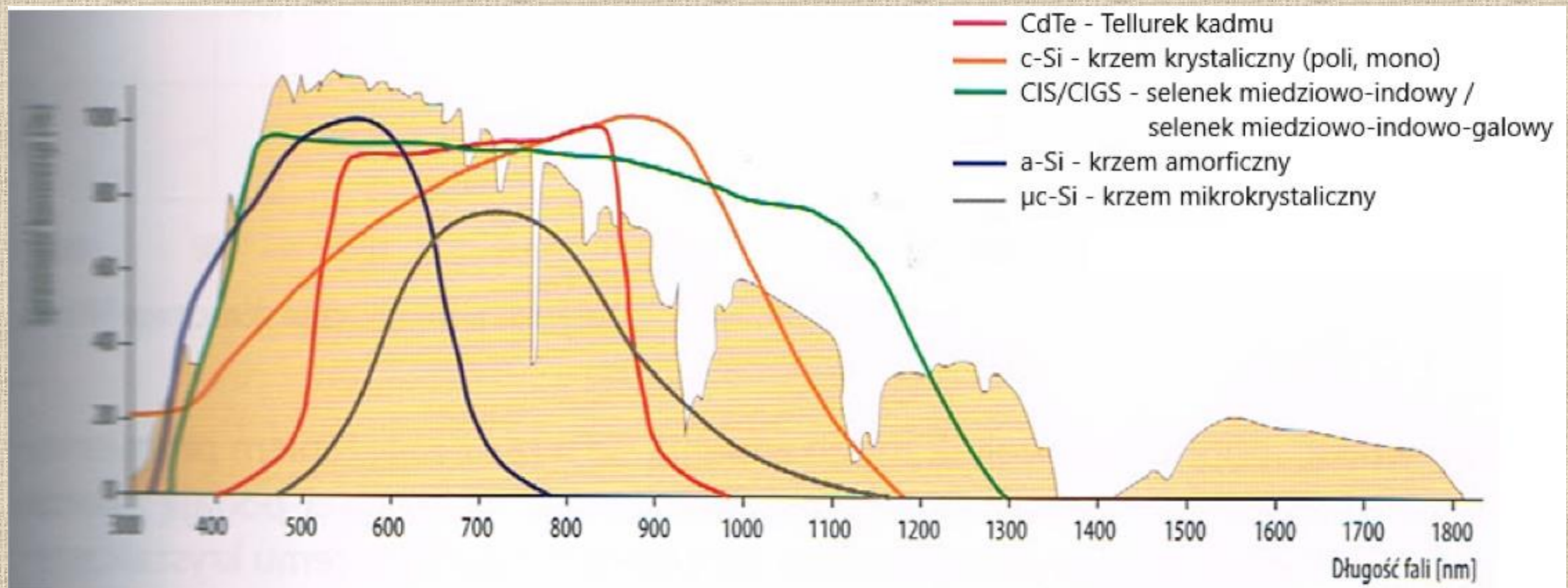
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Dachówka fotowoltaiczna



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Rodzaj ogniwa PV a długość absorbowanych fal

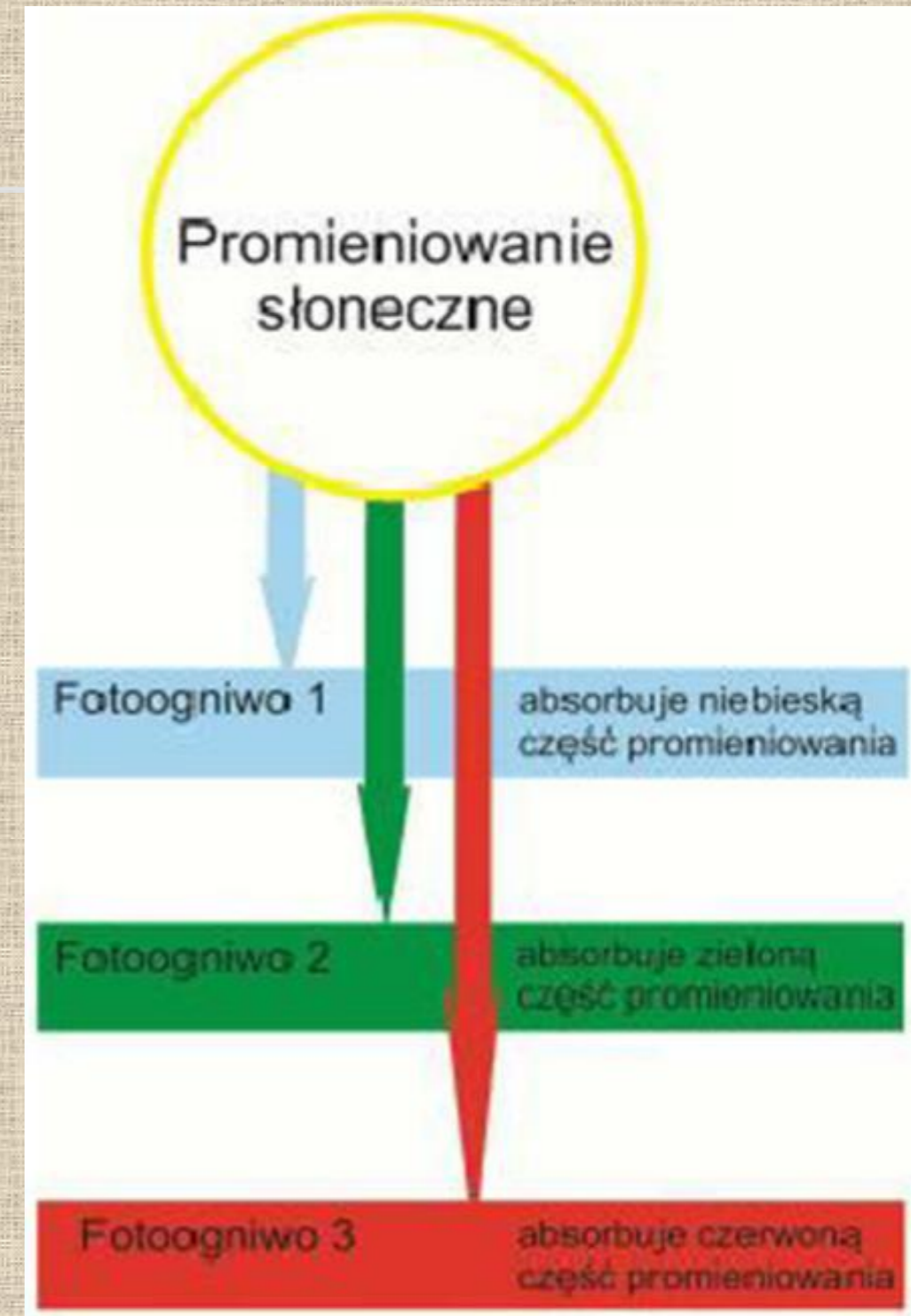


MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Ogniwa wielozłączone

Wykonane z wielu cienkich warstw dopasowanych do konkretnego zakresu promieniowania słonecznego.

Do produkcji używa się np. indu, germanu, galu, arsenu.



Rys. Schemat działania ogniw wielowarstwowych

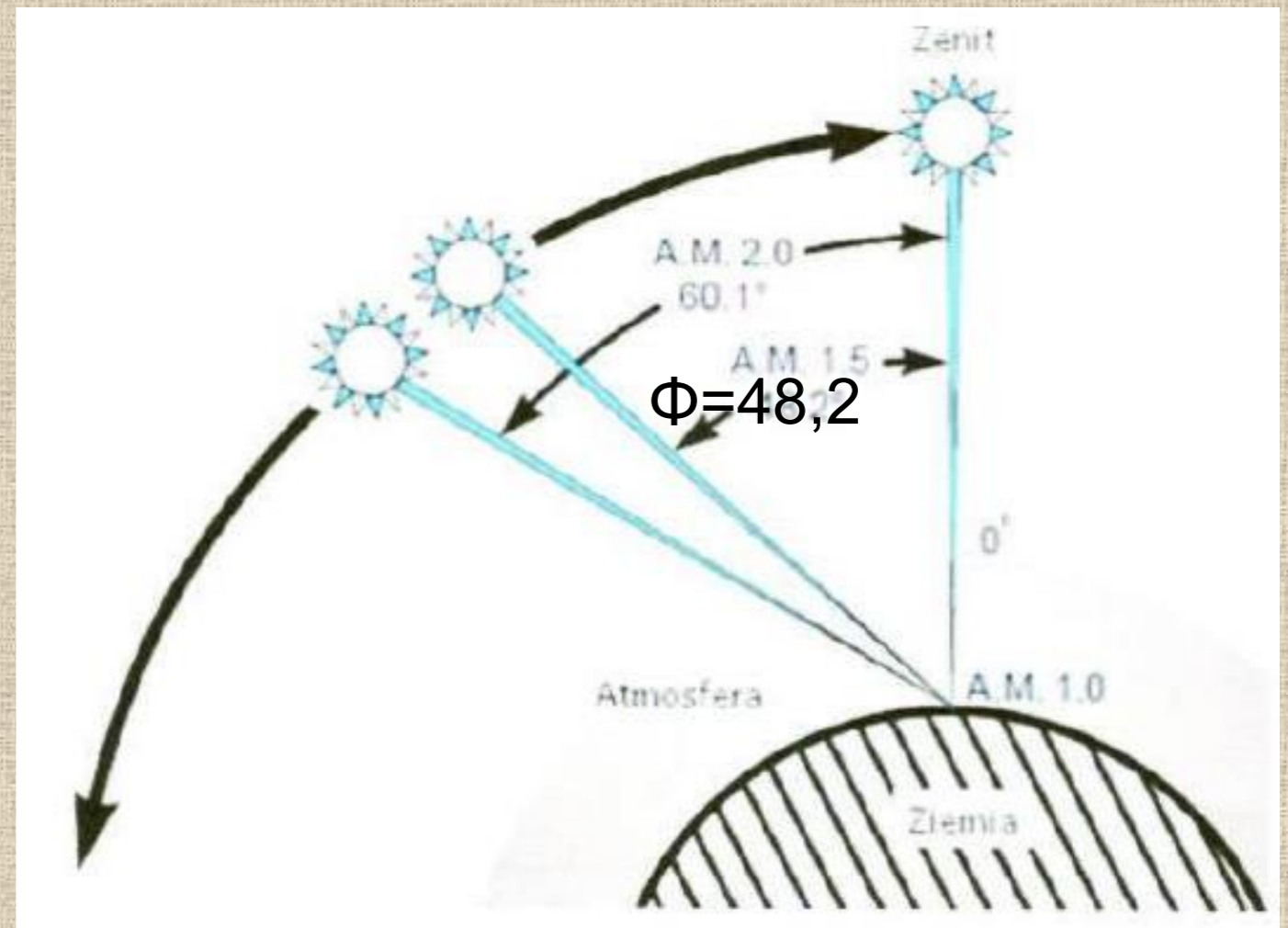
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Dane techniczne modułów

STC = Standard Test Conditions (standardowe warunki testowania):

- *Natężenie promieniowania 1000 W/m²*
- *Temperatura ogniwa 25°C*
- *Współczynnik AM 1,5 (masa optyczna atmosfery)*

AM - masa powietrza, która oznacza kąt padania i drogę promieniowania słonecznego ($AM = 1/\cos \varphi$)



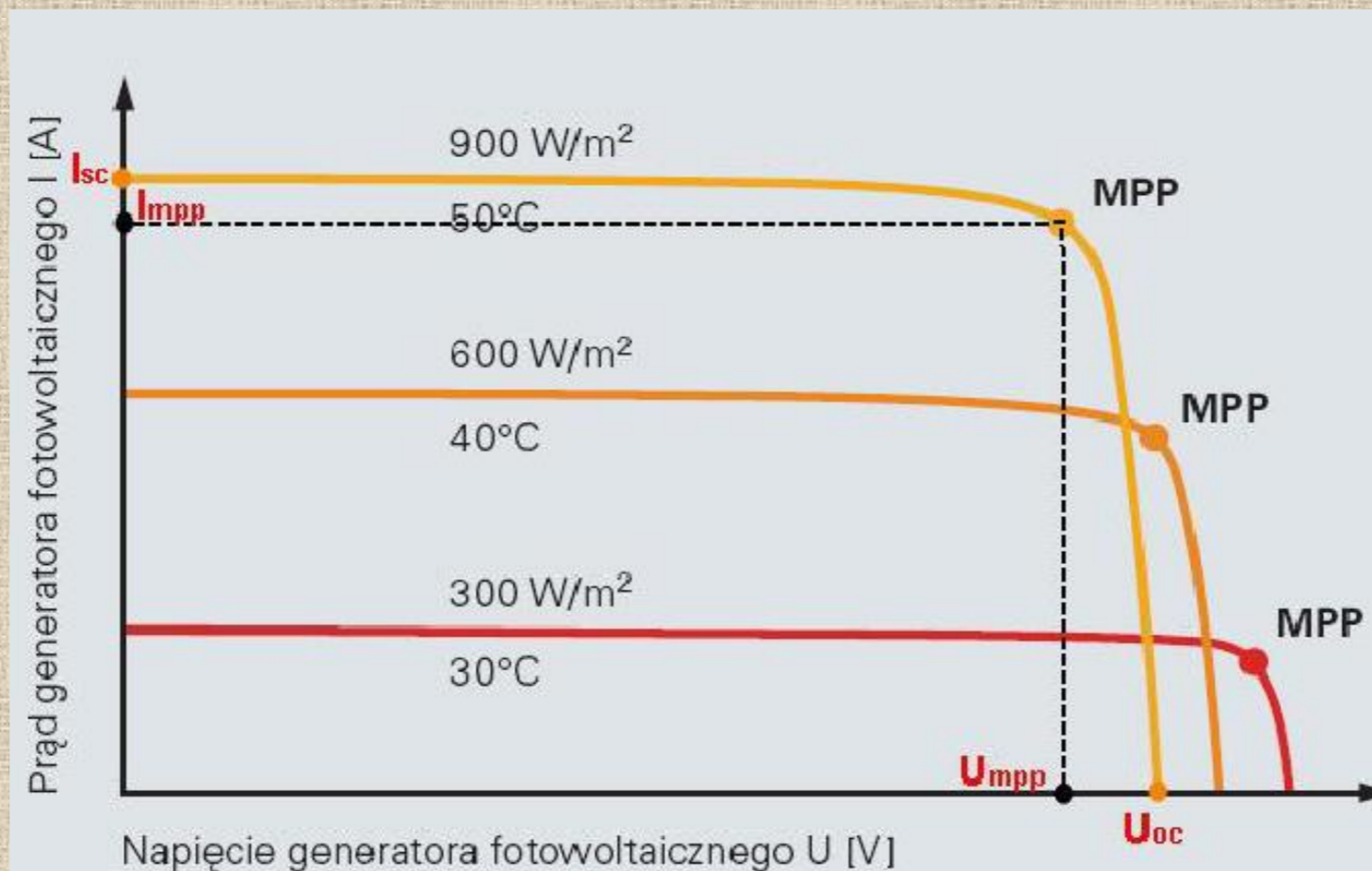
Rys. Masa optyczna atmosfery AM

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Dane techniczne modułów

NMOT/NOCT = Nominal Module/Cell Operating Temperature (nominalna temperatura pracy ogniwa/modułu):

- natężenie promieniowania 800 W/m^2
- AM 1,5
- prędkość wiatru 1 m/s
- temperatura otoczenia 20°C
- temperatura ogniwa $\pm 45^\circ\text{C}$



MPP = Maximum Power Point (punkt mocy maksymalnej)

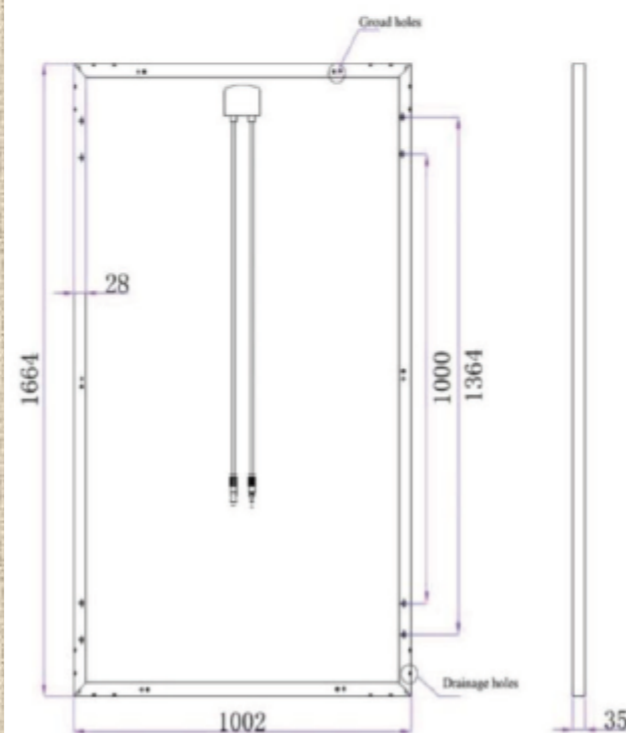
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Dane techniczne modułów

Dane techniczne

Moduł PV VSE 330		STC	NMOT
Moc szczytowa P_{max}	W_p	330	246
Napięcie w pkt. mocy maksymalnej V_{mp}	V	33,81	31,82
Prąd maksymalny I_{mp}	A	9,76	7,73
Napięcie jałowe V_{oc}	V	41,36	38,35
Prąd zwarciový I_{sc}	A	10,23	8,58
Wydajność modułu, STC	%	19,83	-
Temperatura pracy	°C	-40 ~ +85	
Maksymalne napięcie systemowe	V	1000	
Max. prąd nominalny bezpiecznika dla połączenia szeregowego	A	15	
Tolerancja mocy	%	0 ~ +3	
Współczynnik temperatury P_{max}	%	-0,36	
Współczynnik temperatury V_{mp}	%	-0,295	
Współczynnik temperatury I_{mp}	%	0,039	
NMOT	°C	44 ± 2	

STC Standardowe warunki testowe: napromieniowanie 1000 W/m², temperatura modułu 25°C, AM 1.5
* w warunkach nominalnej temperatury pracy modułu (NMOT), napromieniowaniu 800 W/m², modulacji AM 1.5, temperatury otoczenia 20°C, prędkości wiatru 1 m/s

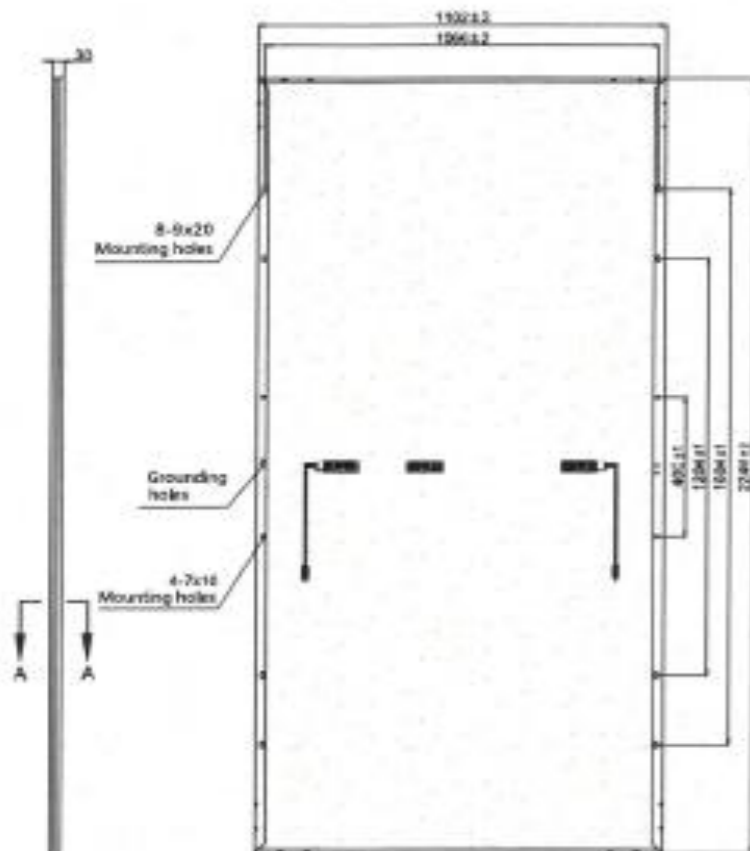


Typ ogniw:	Monokrystaliczne, 158,75×158,75 mm
Ilość Busbar:	5
Rozmieszczenie ogniw:	60 sztuk. (6×10)
Wymiary:	1664×1002×35 mm
Waga:	18,9 kg
Przednia pokrywa:	3,2 mm – szkło hartowane
Rama:	Anodowany stop aluminium
Skrzynka przyłącz.	IP67, 3 diody bocznikujące
Typ przewodu:	4,0 mm ²
Długość przewodu:	1000 mm
Złącze:	MC4
Klasa zastosowań:	A
Wymogi statyczne:	konstrukcja dachu, dostatecznie odporna na działające siły od wiatru
Sposób pakowania – ilość sztuk na palecie	30

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Dane techniczne modułów

Dimensions of PV Module Unit: mm



ELECTRICAL DATA (STC)

Model Number	RSM150-8-485BMDG	RSM150-8-490BMDG	RSM150-8-495BMDG	RSM150-8-500BMDG	RSM150-8-505BMDG	RSM150-8-510BMDG
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	485	490	495	500	505	510
Open Circuit Voltage-Voc(V)	50.35	50.57	50.79	51.01	51.23	51.45
Short Circuit Current-Isc(A)	12.25	12.32	12.39	12.46	12.53	12.60
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	42.22	42.44	42.66	42.88	43.10	43.32
Maximum Power Current-Impp(A)	11.50	11.56	11.62	11.68	11.74	11.80
Module Efficiency (%) *	19.6	19.9	20.1	20.3	20.5	20.7

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.
Bifacial factor: 70%±5 * Module Efficiency (%): Round-off to the nearest number

Electrical characteristics with 10% rear side power gain

	RSM150-8-485BMDG	RSM150-8-490BMDG	RSM150-8-495BMDG	RSM150-8-500BMDG	RSM150-8-505BMDG	RSM150-8-510BMDG
Total Equivalent power -Pmax (Wp)	534	539	545	550	556	561
Open Circuit Voltage-Voc(V)	50.35	50.57	50.79	51.01	51.23	51.45
Short Circuit Current-Isc(A)	13.48	13.55	13.63	13.71	13.78	13.86
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	42.22	42.44	42.66	42.88	43.10	43.32
Maximum Power Current-Impp(A)	12.65	12.72	12.78	12.85	12.91	12.98

Rear side power gain: The additional gain from the rear side compared to the power of the front side at the standard test condition. It depends on mounting (structure, height, tilt angle etc.) and albedo of the ground.

ELECTRICAL DATA (NMOT)

Model Number	RSM150-8-485BMDG	RSM150-8-490BMDG	RSM150-8-495BMDG	RSM150-8-500BMDG	RSM150-8-505BMDG	RSM150-8-510BMDG
Maximum Power-Pmax (Wp)	367.7	371.5	375.4	379.3	383.2	387.1
Open Circuit Voltage-Voc (V)	46.83	47.03	47.23	47.44	47.64	47.85
Short Circuit Current-Isc (A)	10.05	10.10	10.16	10.22	10.27	10.33
Maximum Power Voltage-Vmpp (V)	39.18	39.38	39.59	39.79	40.00	40.20
Maximum Power Current-Impp (A)	9.38	9.43	9.48	9.53	9.58	9.63

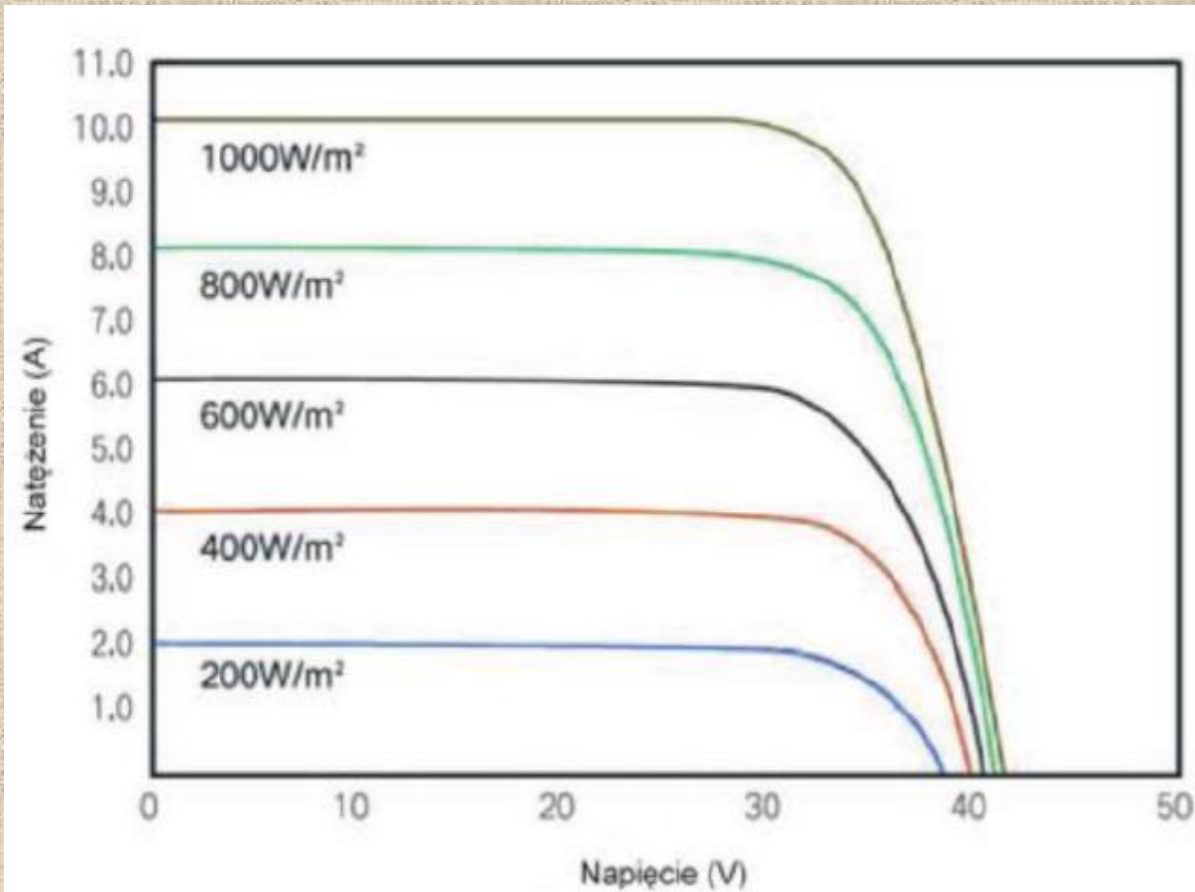
NMOT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

RSM150-8-495BMDG

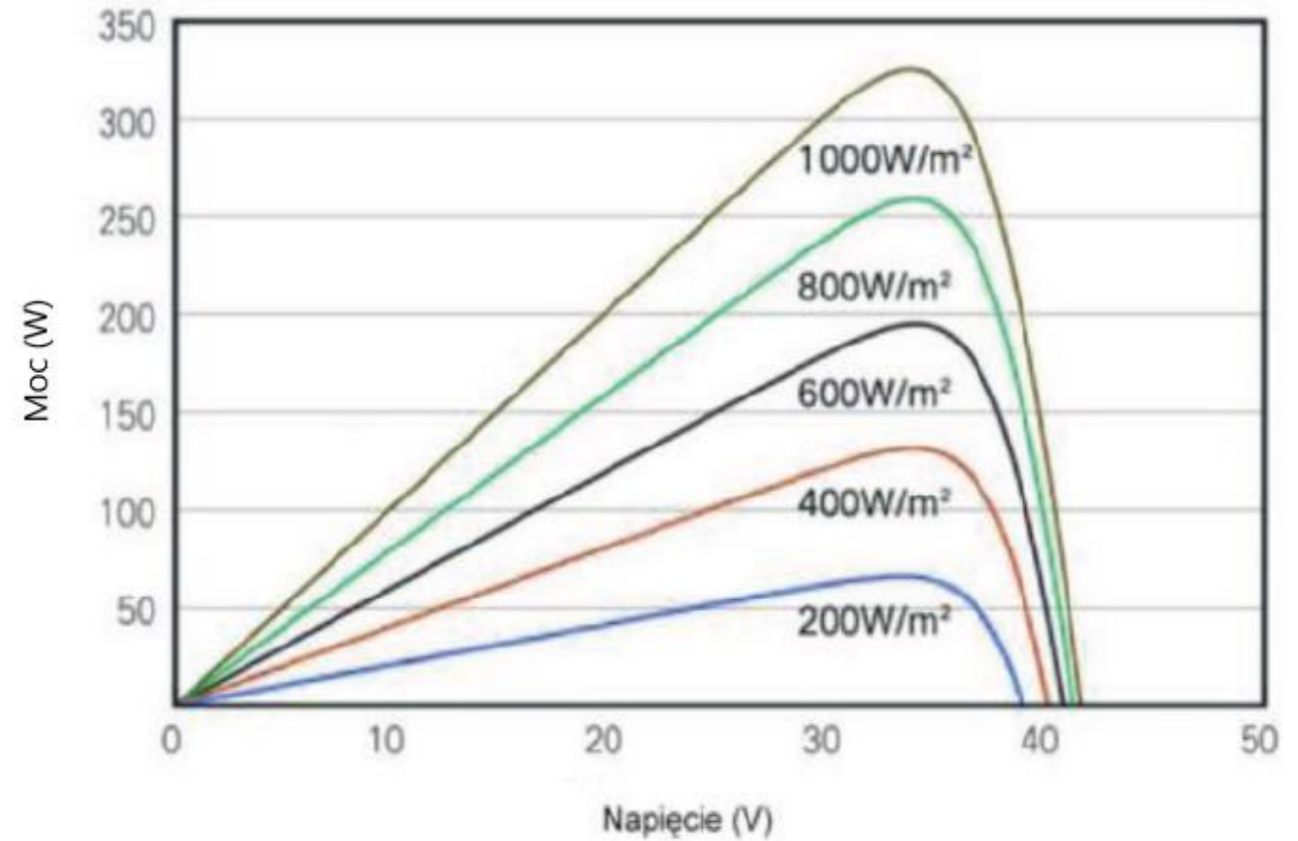
I-V characteristics at different irradiances

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Dane techniczne modułów



Charakterystyka
prądowo-napięciowa



Krzywa mocy

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Dane techniczne modułów

$$\eta = \frac{\text{Energia elektryczna wy.}}{\text{Energia świetlna we.}} = \frac{\text{Moc wyjściowa}}{\text{Natężenie światła * pole powierzchni}}$$

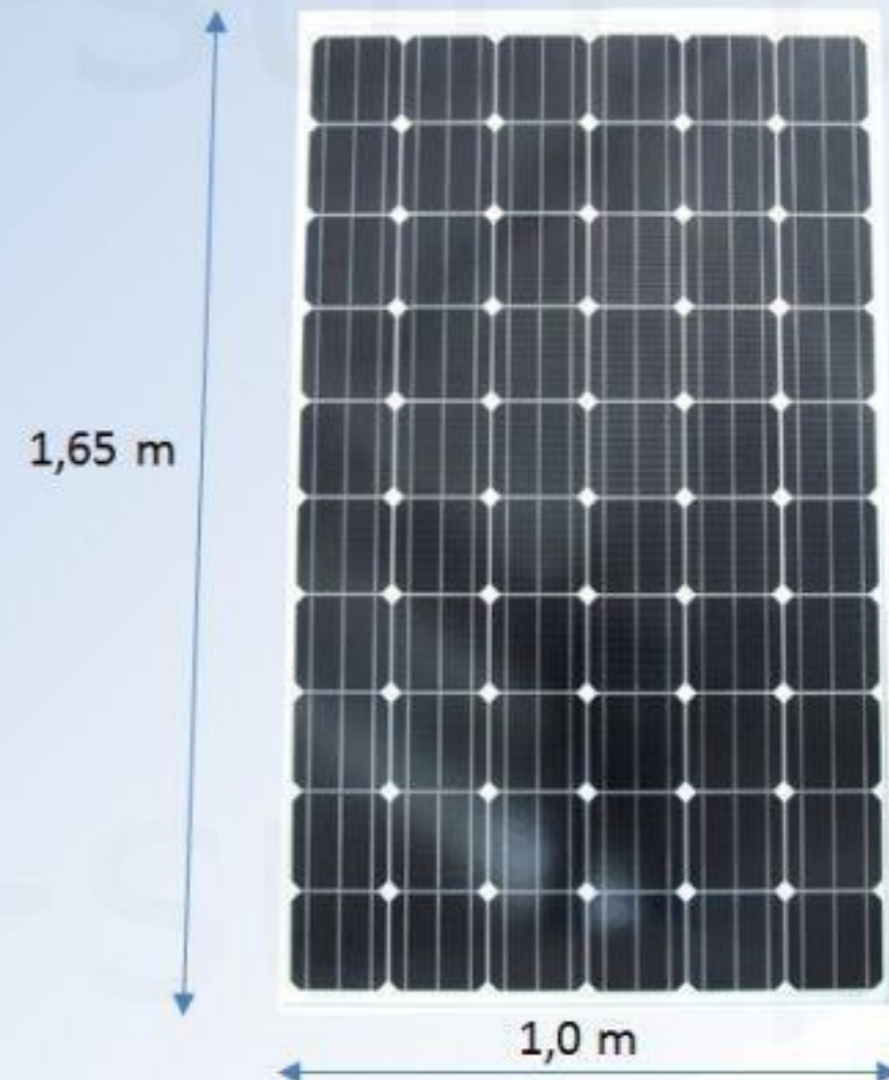
Przykład:

Natężenie = 1000 W/m²

Pole powierzchni modułu = 1,65 m²

Moc modułu = 250 Wp

$$\eta = \frac{250 \text{ Wp}}{1000 \text{ W/m}^2 * 1,65} * 100 \% = 15,15 \%$$



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Moc nominalna **250 Wp** (przy STC) - sprawność = 15,15 %

Pole powierzchni modułu: 1,6m²

Natężenie = 950 W/m²

Natężenie = 200 W/m²



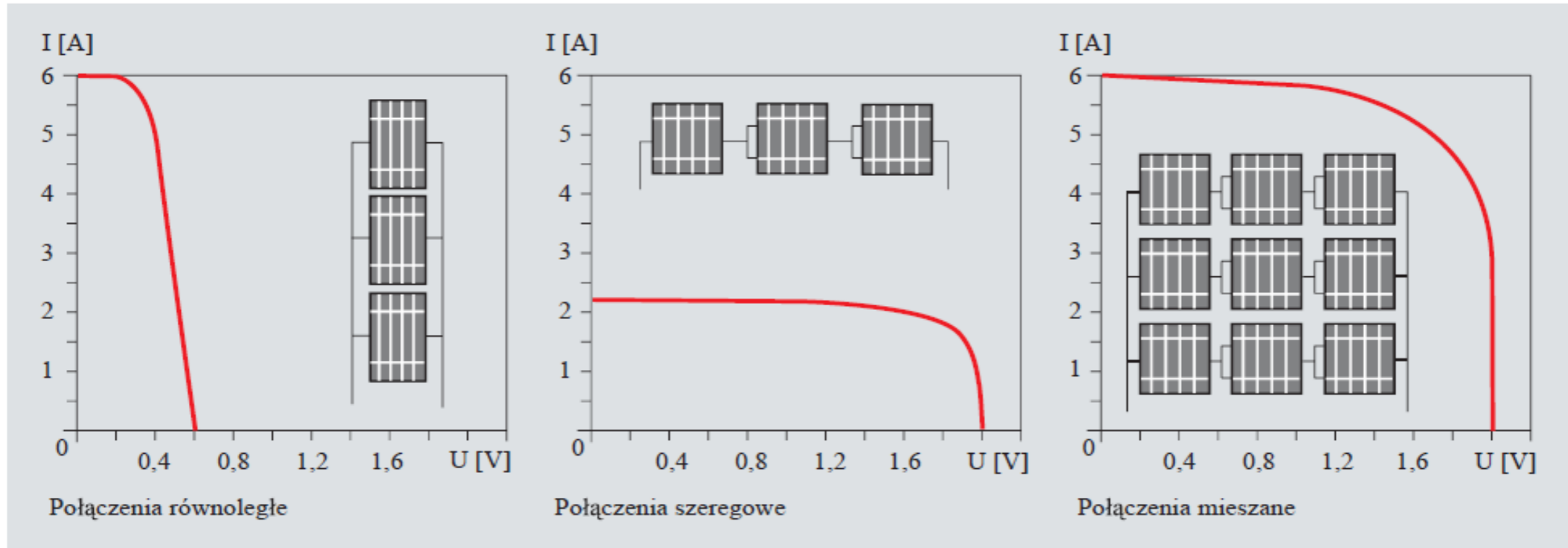
Moc chwilowa = 230,28 W



Moc chwilowa = 48,48 W

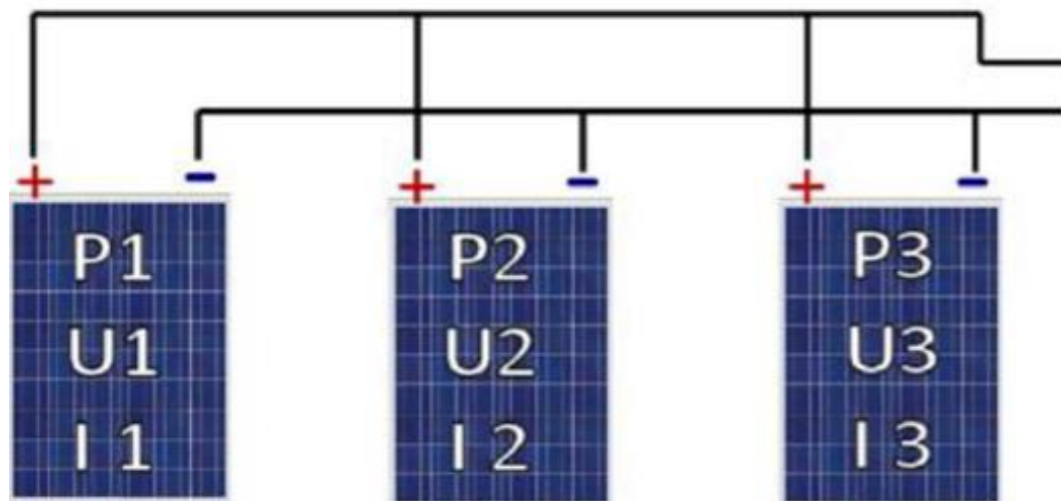
Temperatura zewnętrzna 25 C

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE



Sposoby łączenia ogniw PV

RÓWNOLEGŁE

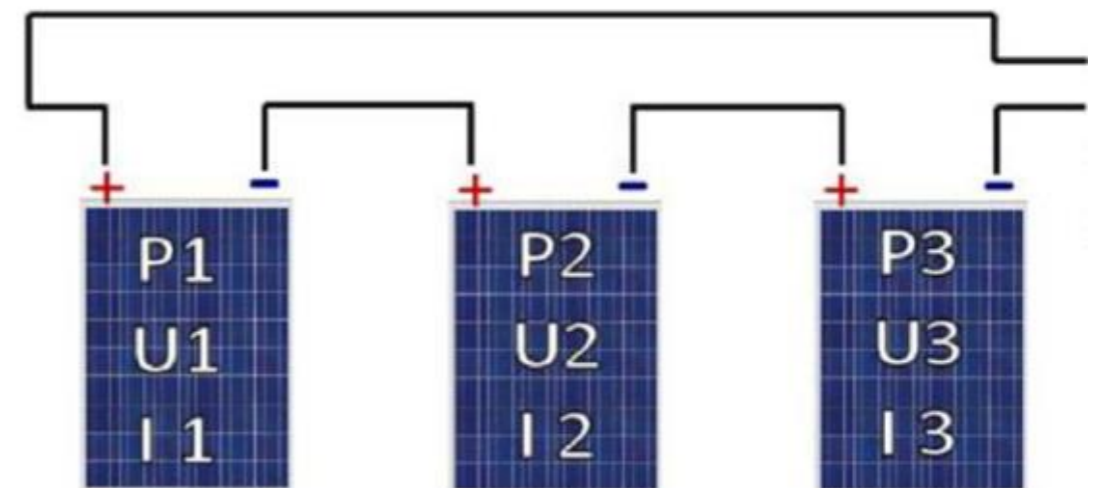


Moc instalacji $P = P1 + P2 + P3$

Natężenie prądu instalacji $I = I1 + I2 + I3$

Napięcie instalacji $U = U1 = U2 = U3$

SZEREGOWE



Moc instalacji $P = P1 + P2 + P3$

Napięcie instalacji $U = U1 + U2 + U3$

Natężenie prądu instalacji $I = I1 = I2 = I3$



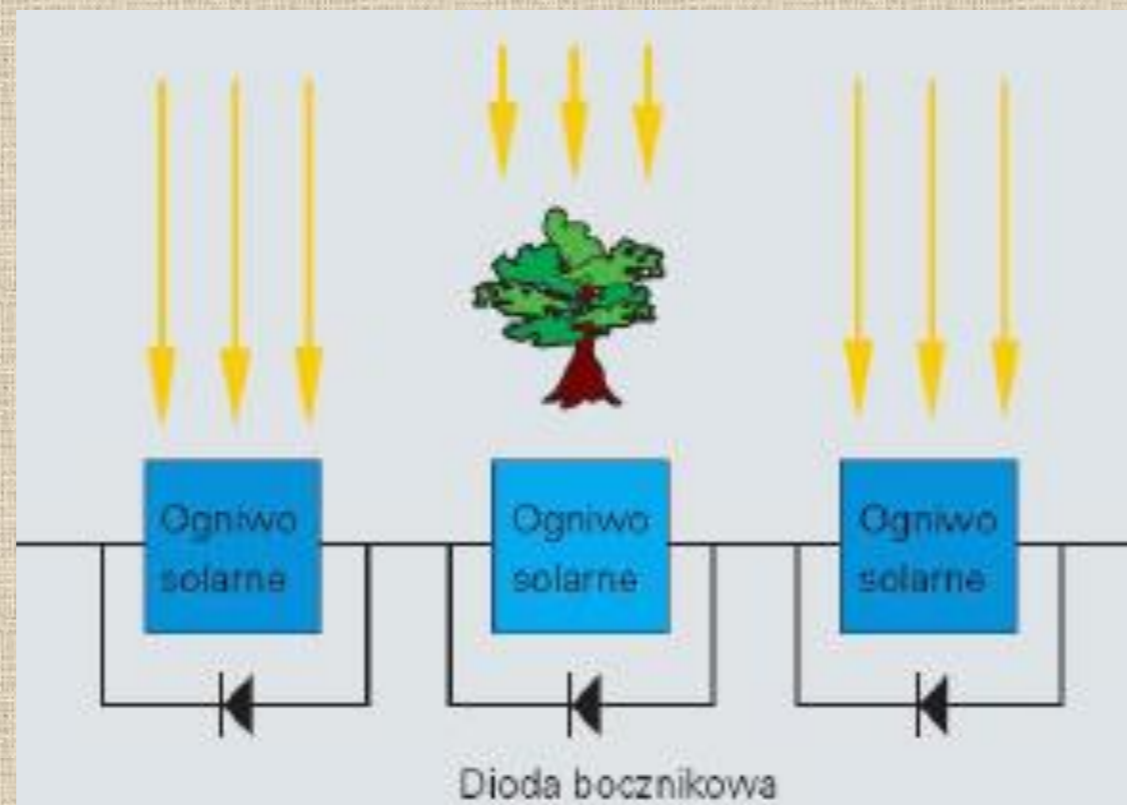
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Zacienienie

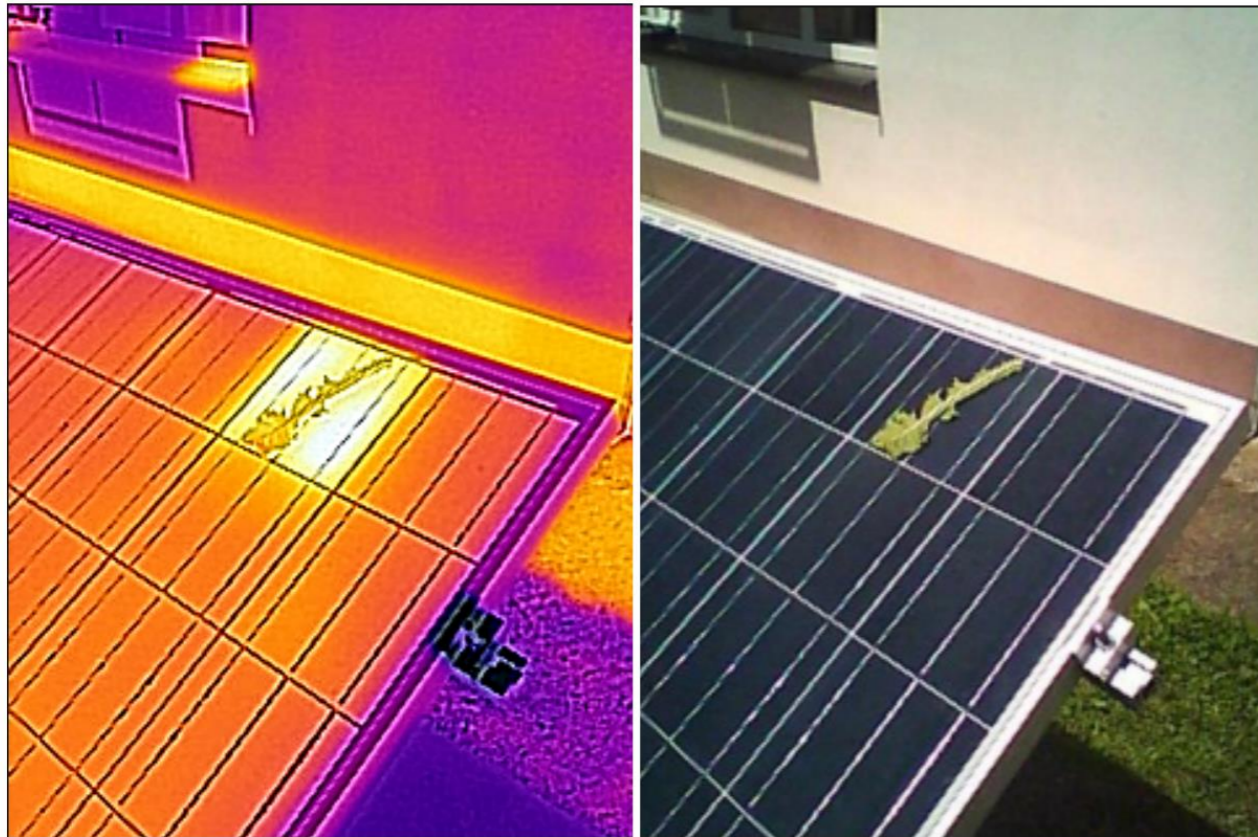
Wewnątrz modułu PV ogniwa połączone są szeregowo – jeśli nastąpi zacienienie jednego z ogniw, to zachowuje się ono jak rezystor (tzn. jak odbiornik prądu). Całe pole może wtedy dostarczać tylko tyle prądu, ile może go przepłynąć przez zacienione ogniwo. W wyniku tego, ogniwo nagrzewa się i może ulec uszkodzeniu.

Częściowe rozwiązanie problemu – diody bocznikujące.

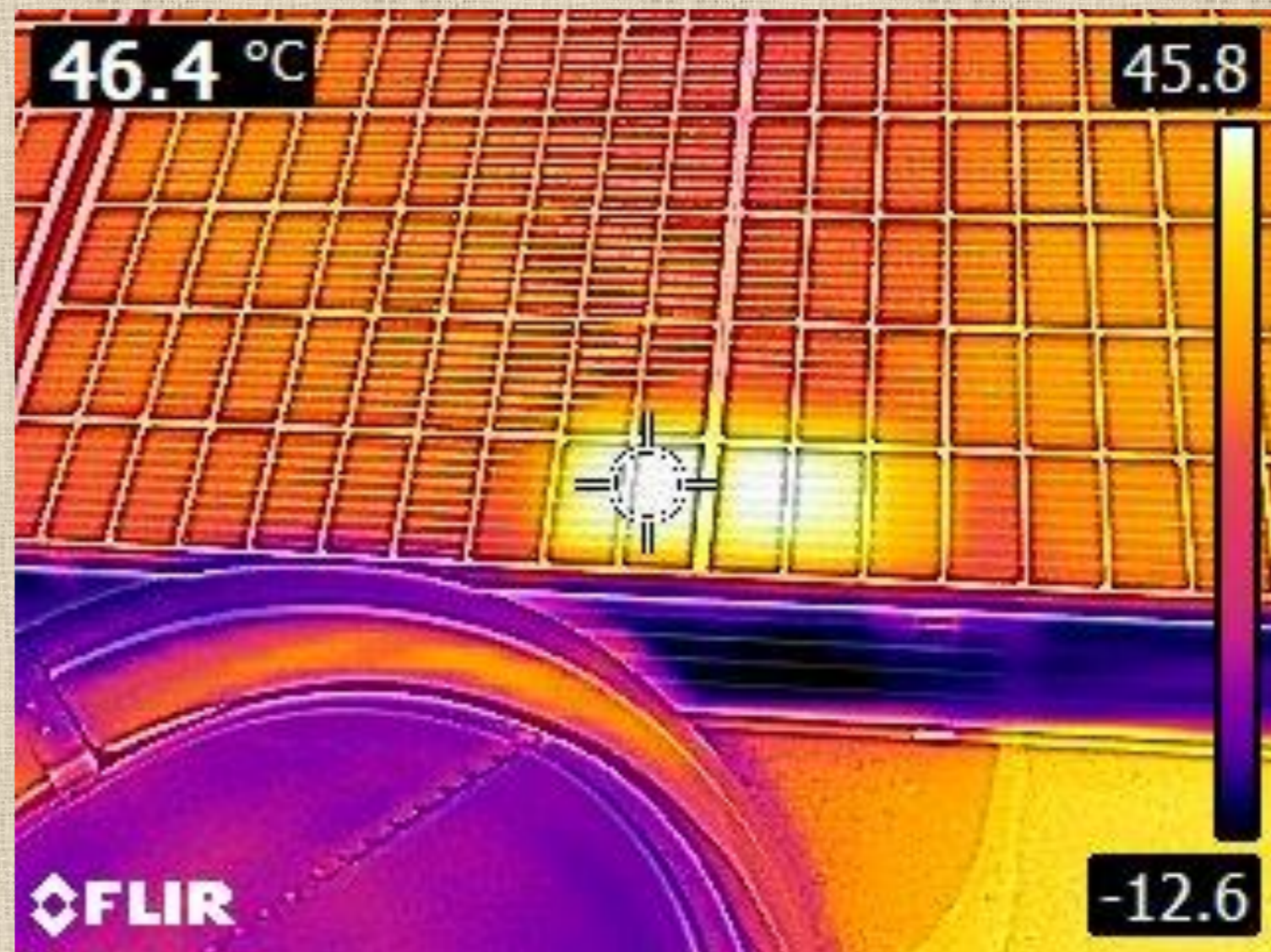
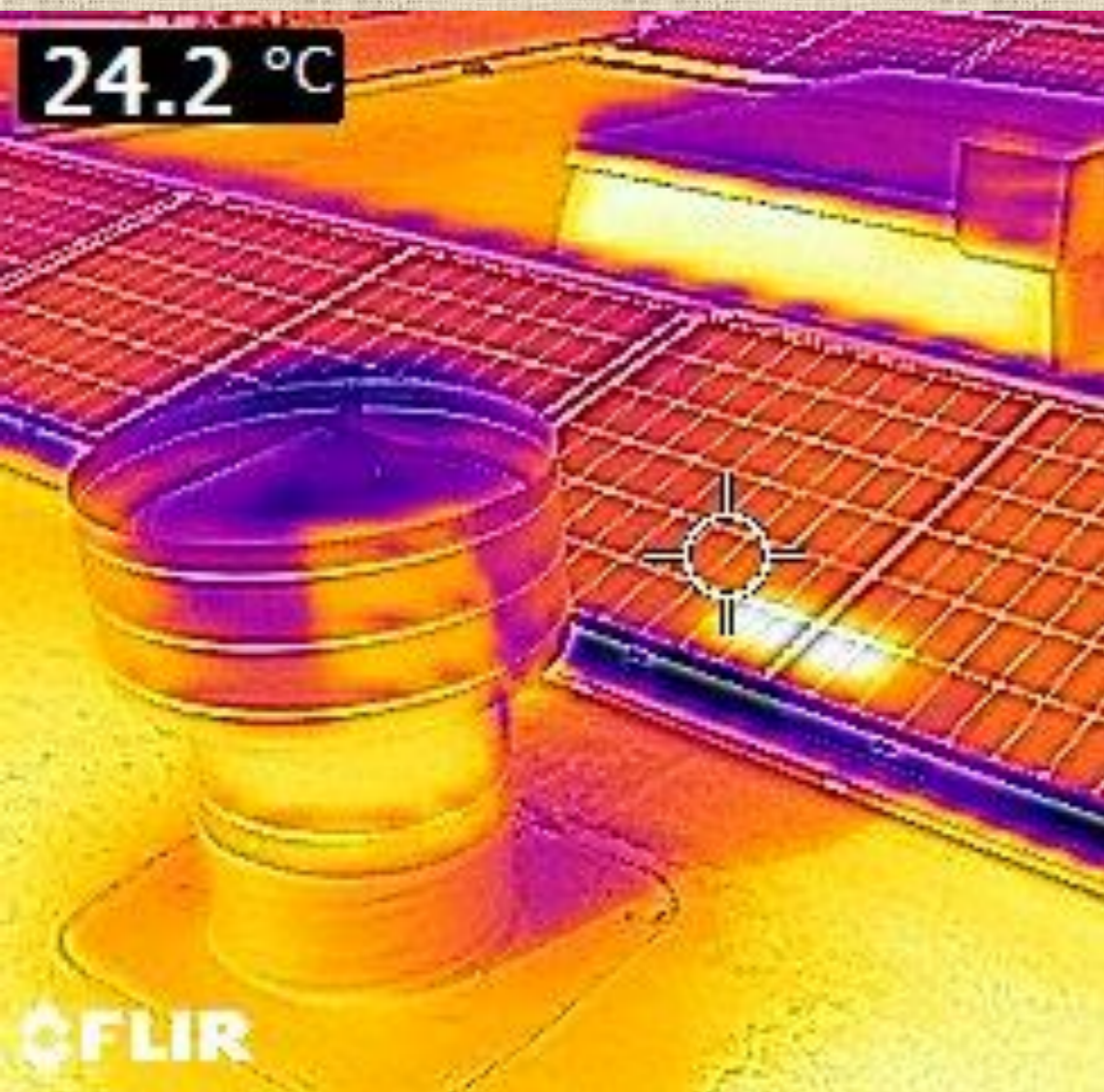
Przy zacienieniu jednego szeregu ogniw dioda bocznikowa zaczyna przewodzić i prąd płynie z ominięciem tych ogniw.



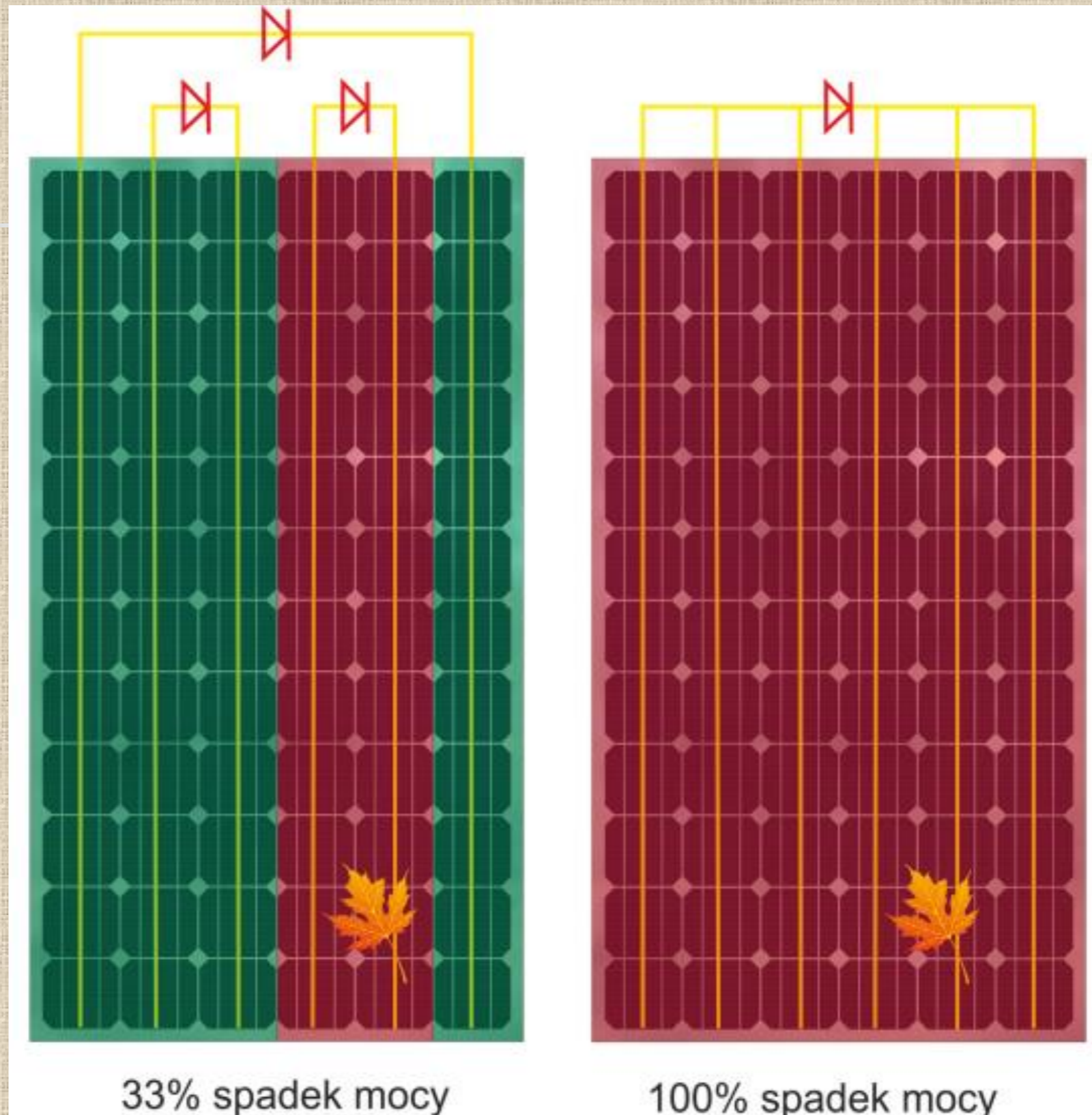
Zacienienie



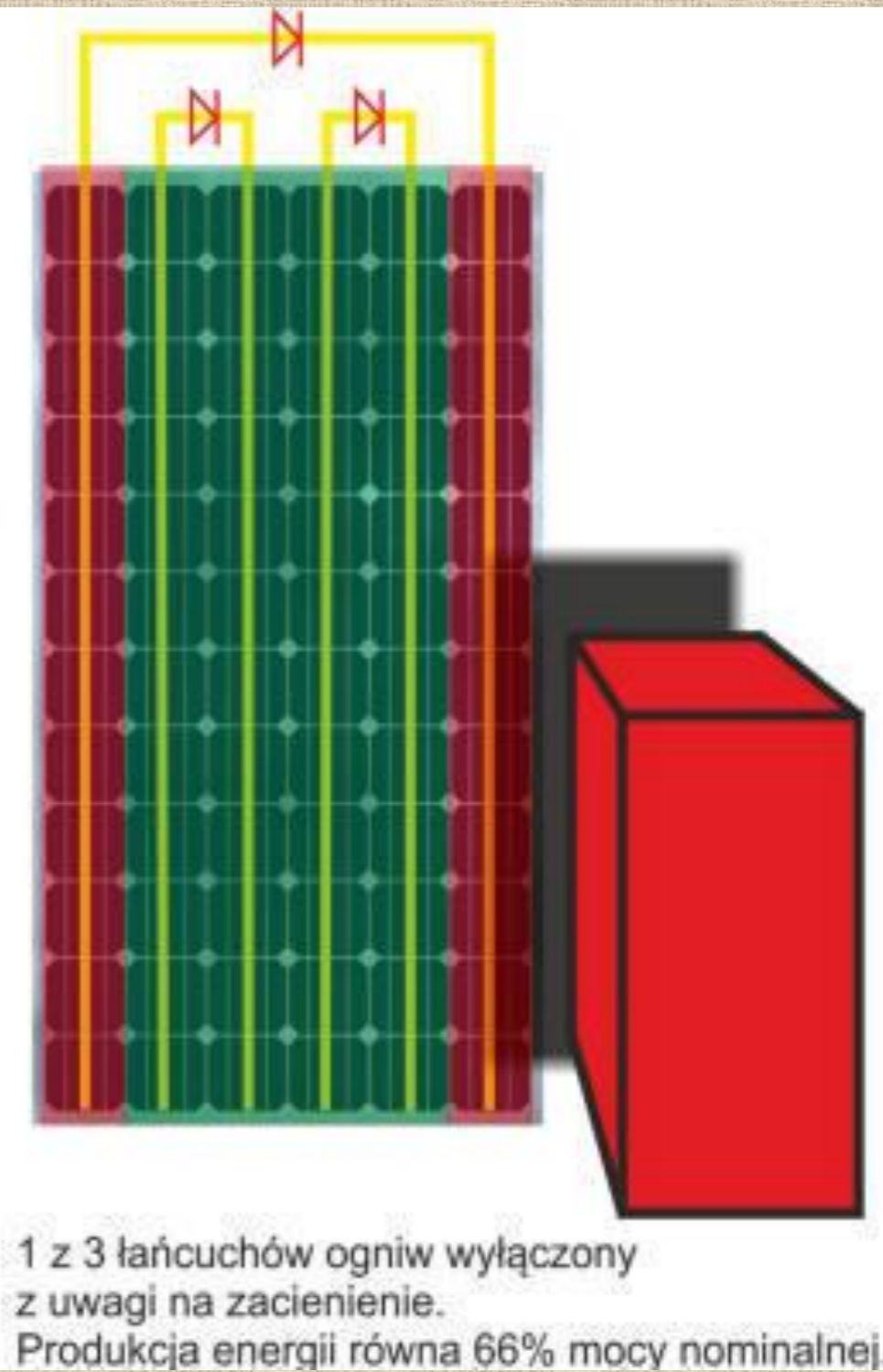
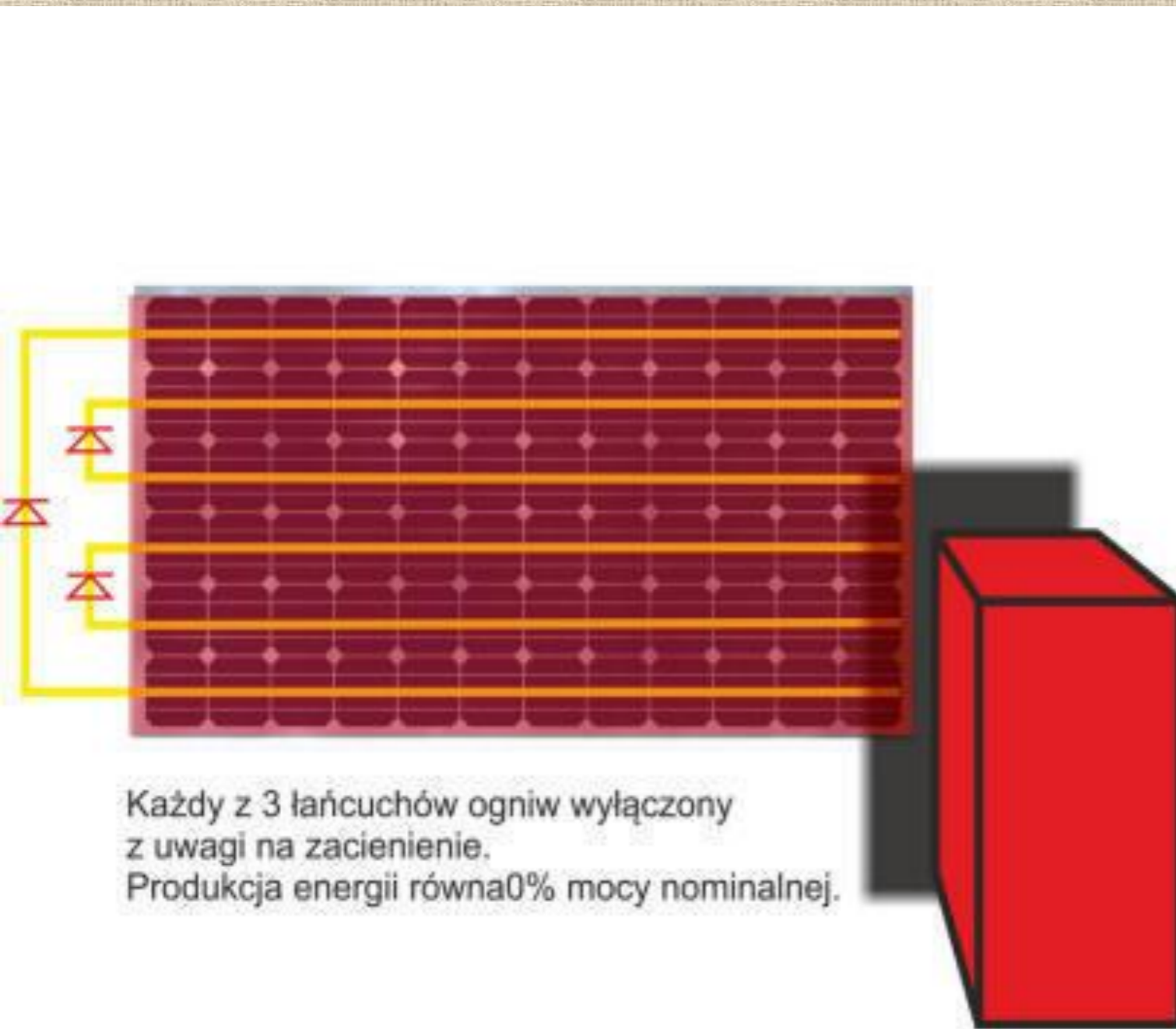
Zacienienie - efekt Hot-Spot



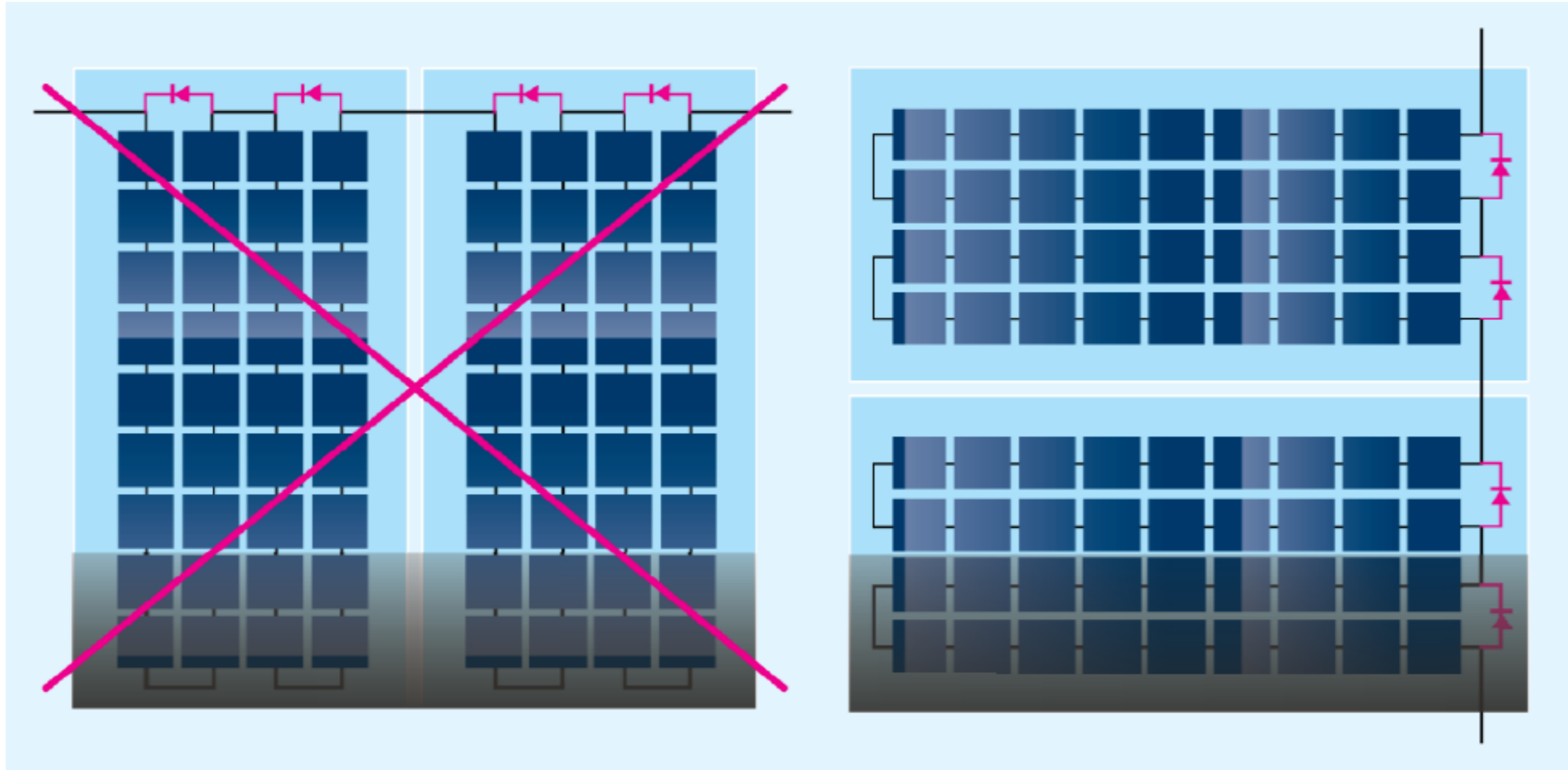
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

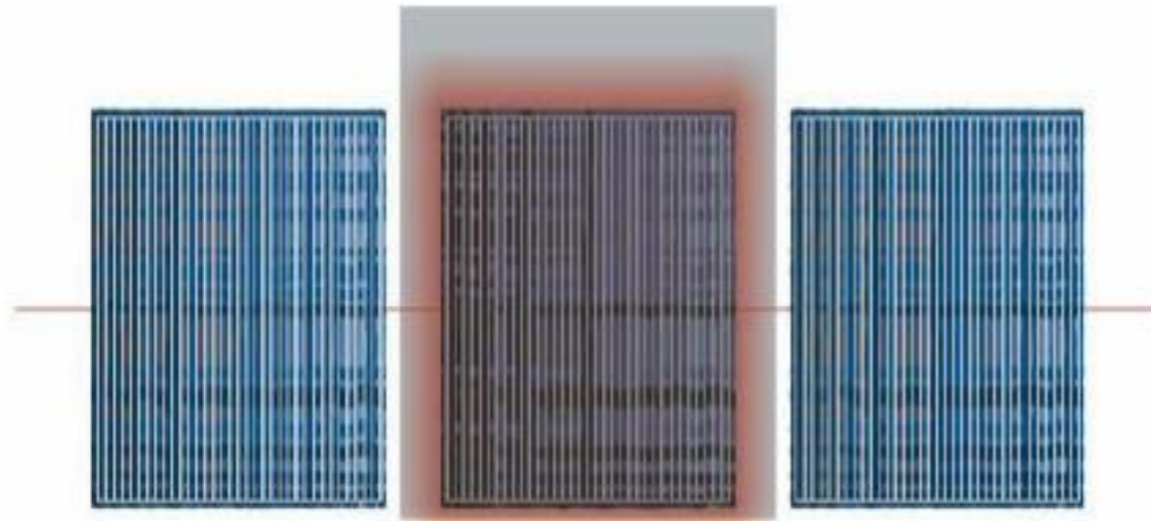


Jeżeli nie można uniknąć cienia to należy zwracać uwagę na ułożenie modułów



Moduł zawierający diody obejściowe

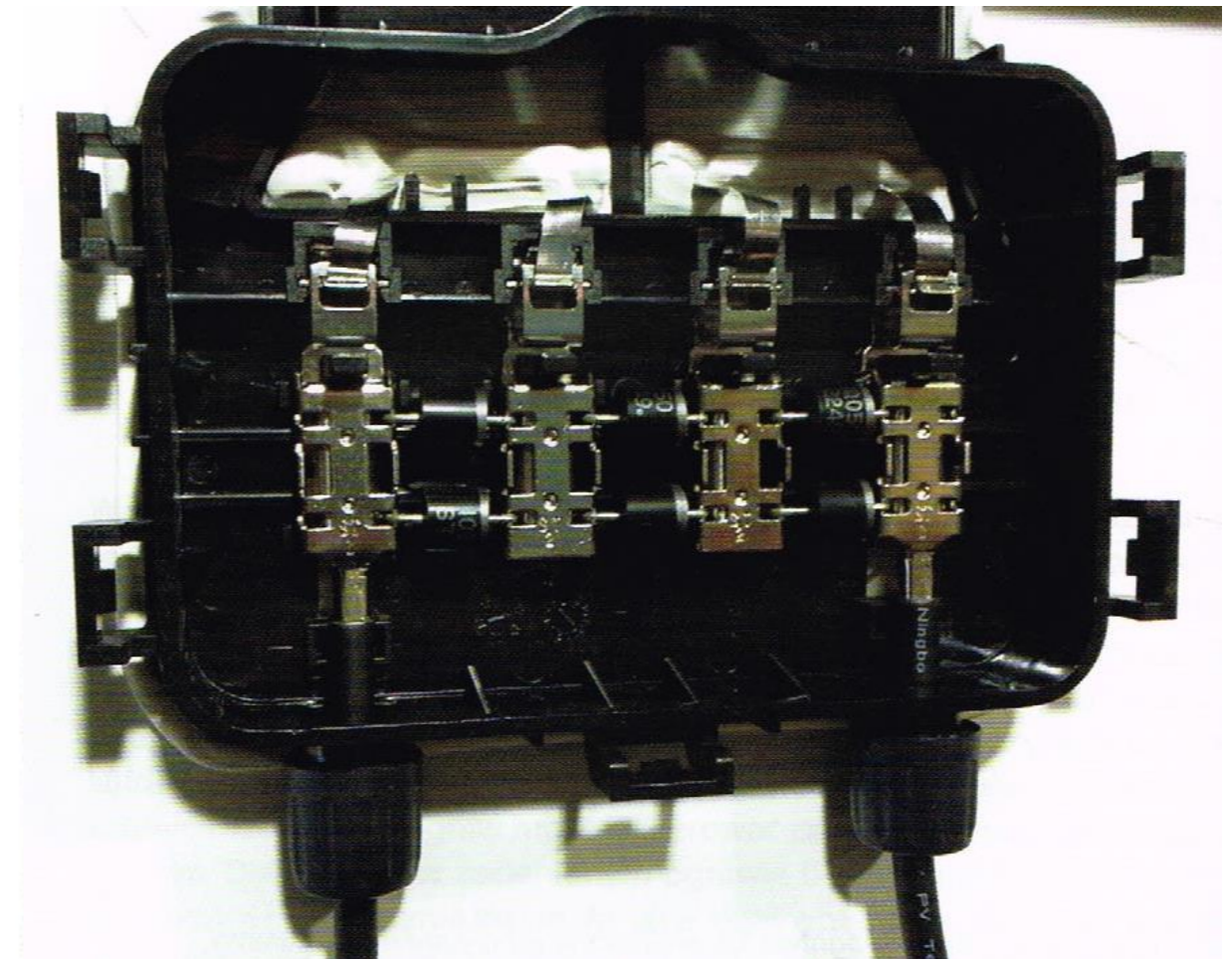
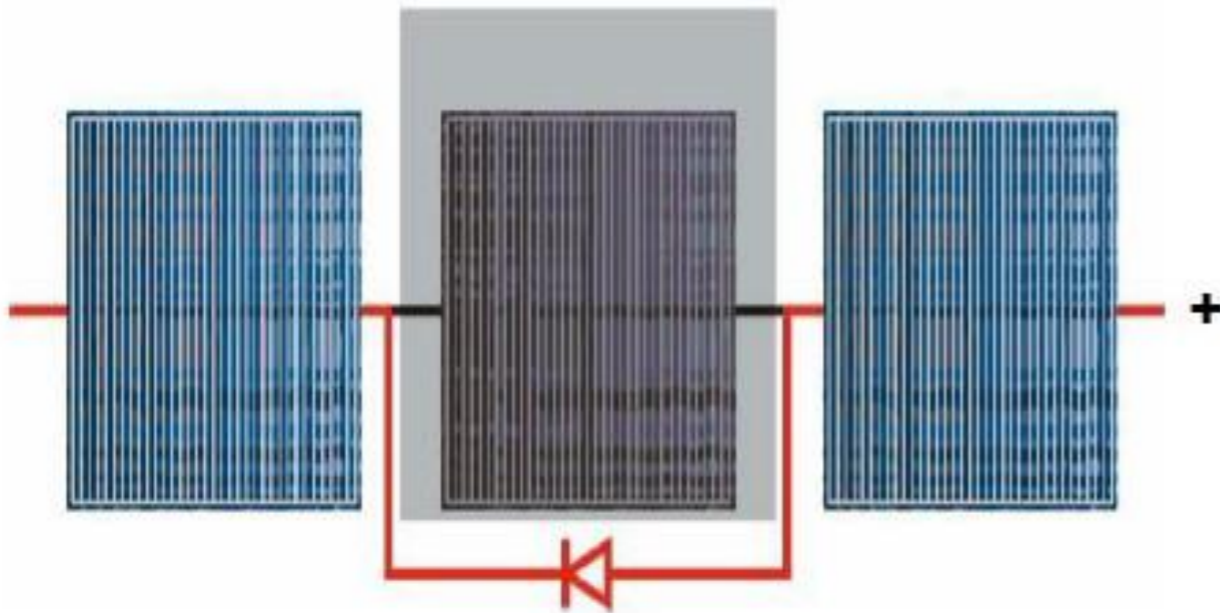
Zacienienie



Jedno ogniwo zasłonięte w szeregu sprawia że:
Prąd całego szeregu spada do poziomu 25%.

Pozostałe 75% nośników z niezacienionych ogniw rekombinuje w zacienionym obszarze jednego ogniwa i oddaje swoją energię w postaci ciepła.

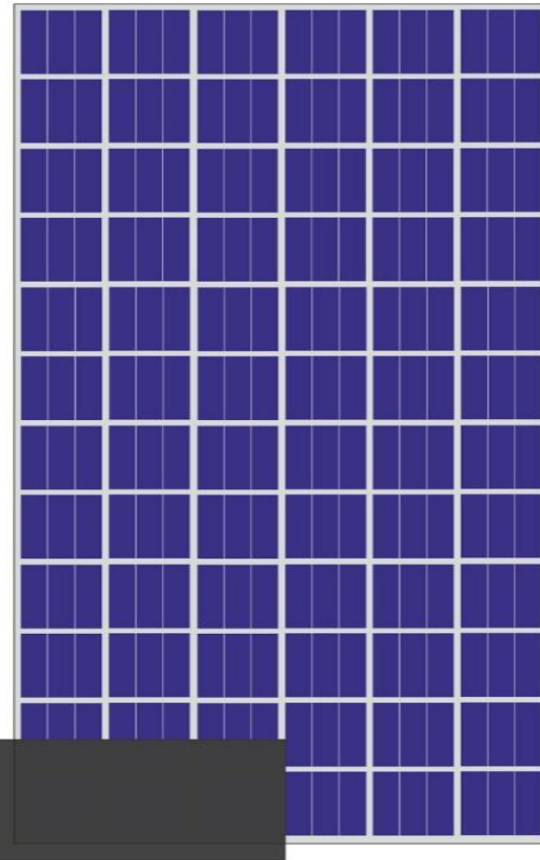
Cele ogrzewając się działają jak opornik



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

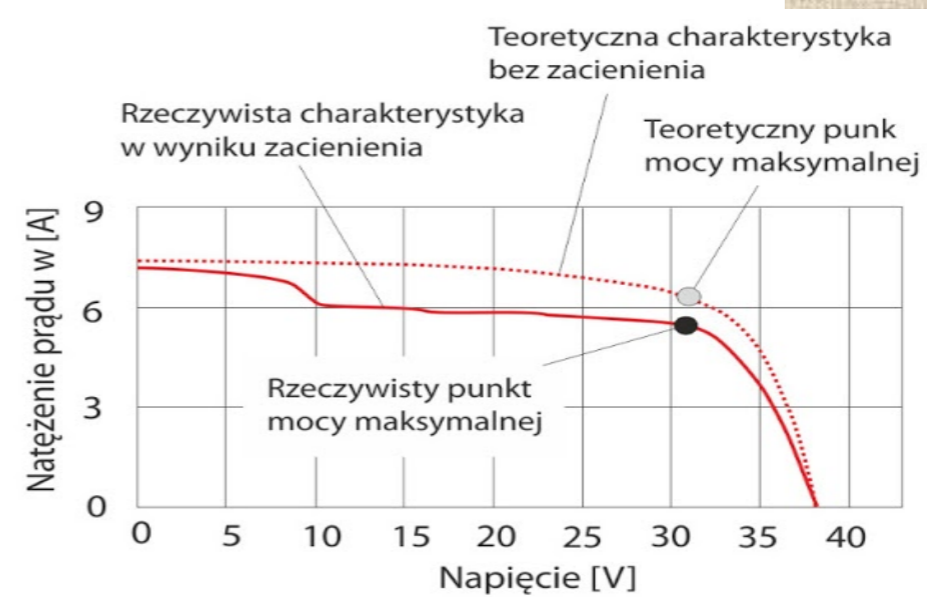
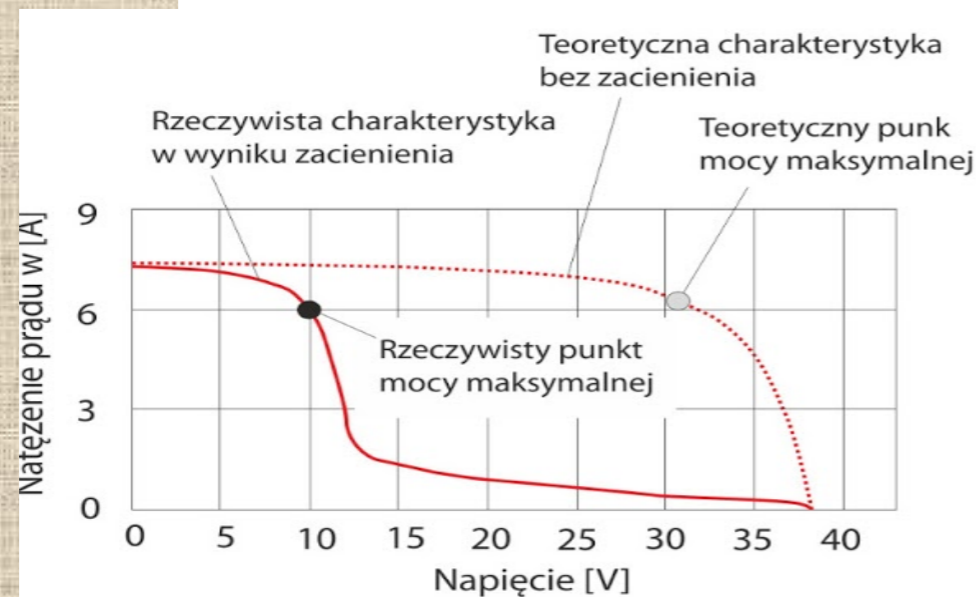
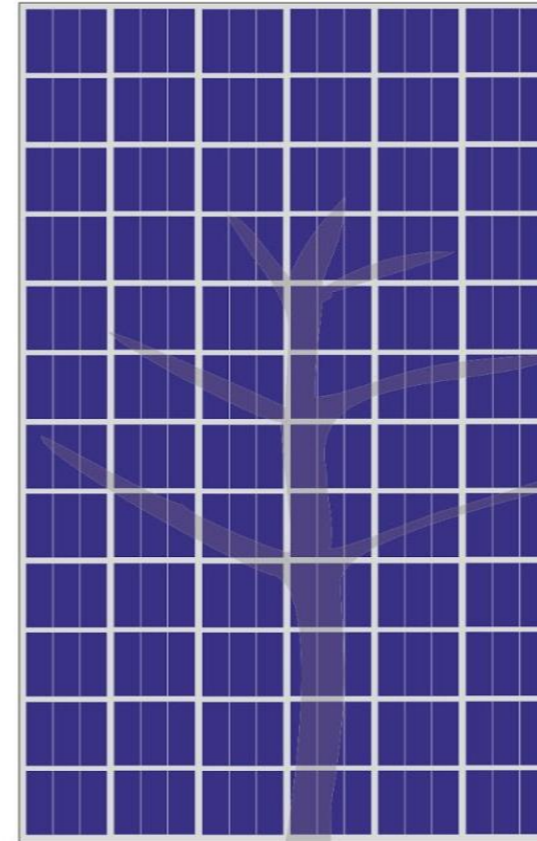
Silne zacinienie

Moduł zbudowany z 72 ogniw z 3 diodami bocznikującymi



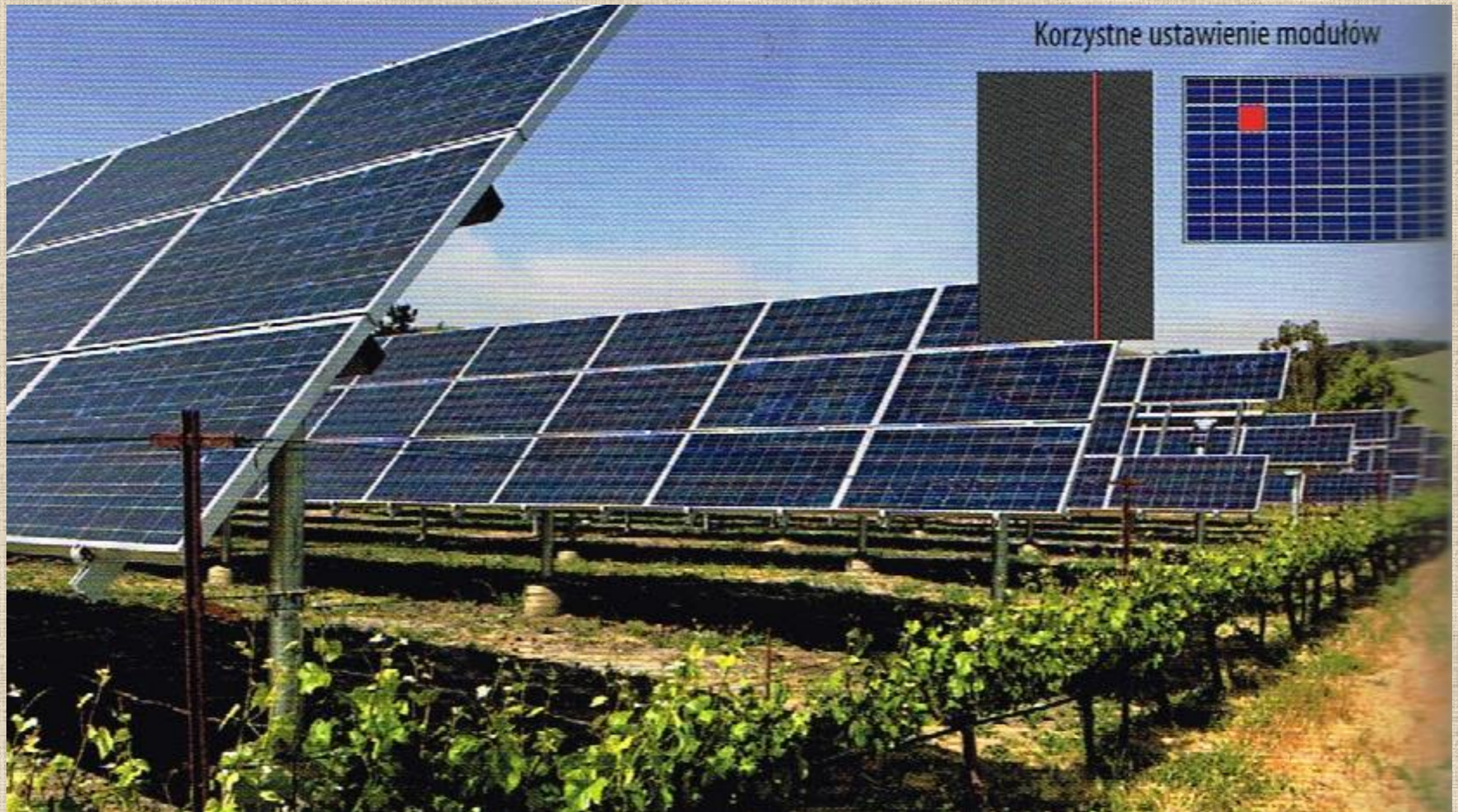
Lekkie zacinienie

Moduł zbudowany z 72 ogniw z 3 diodami bocznikującymi

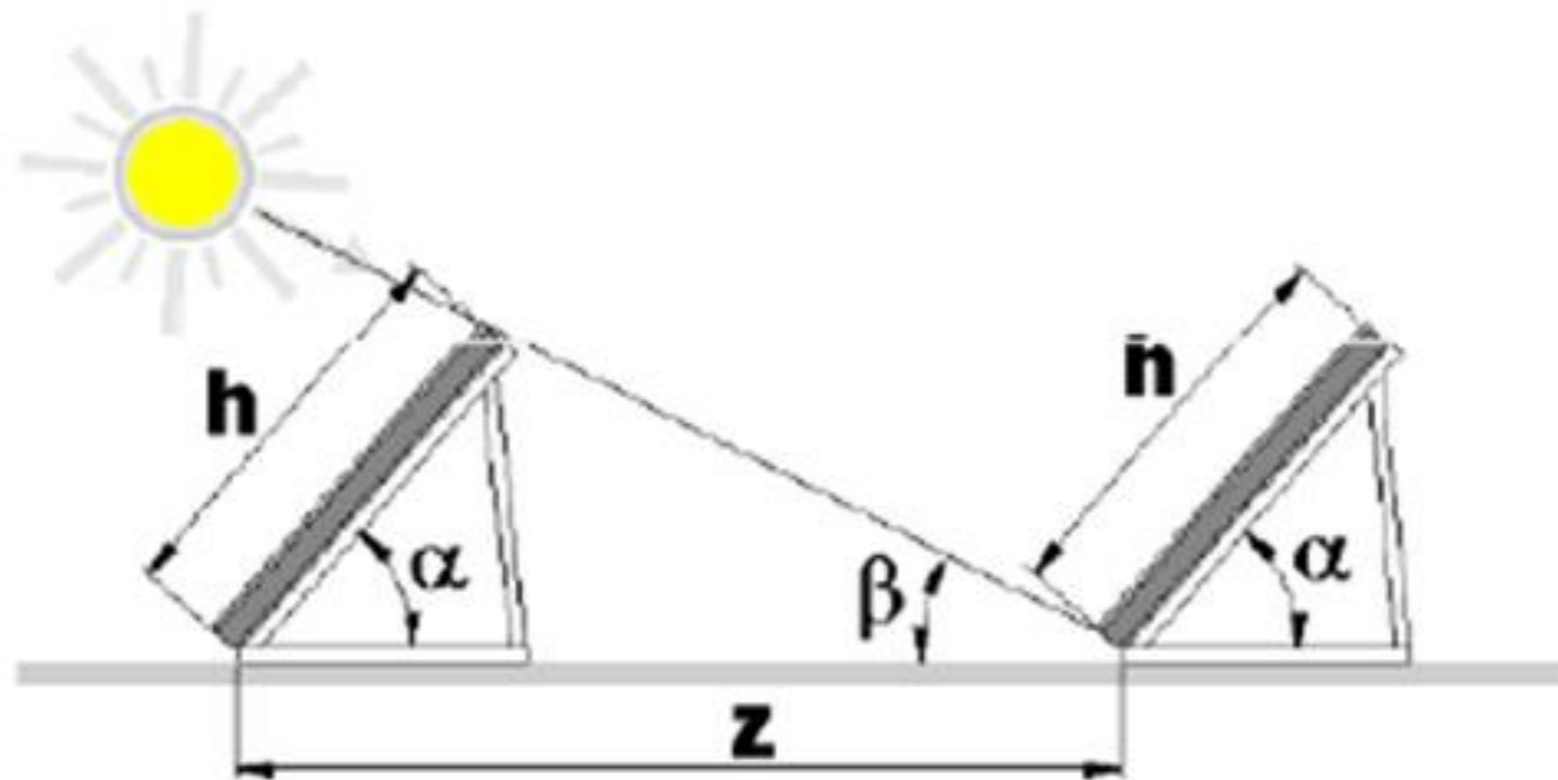


Źródło: <http://solaris18.blogspot.com/>

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE



Rozstaw rzędów modułów (dach płaski, grunt)

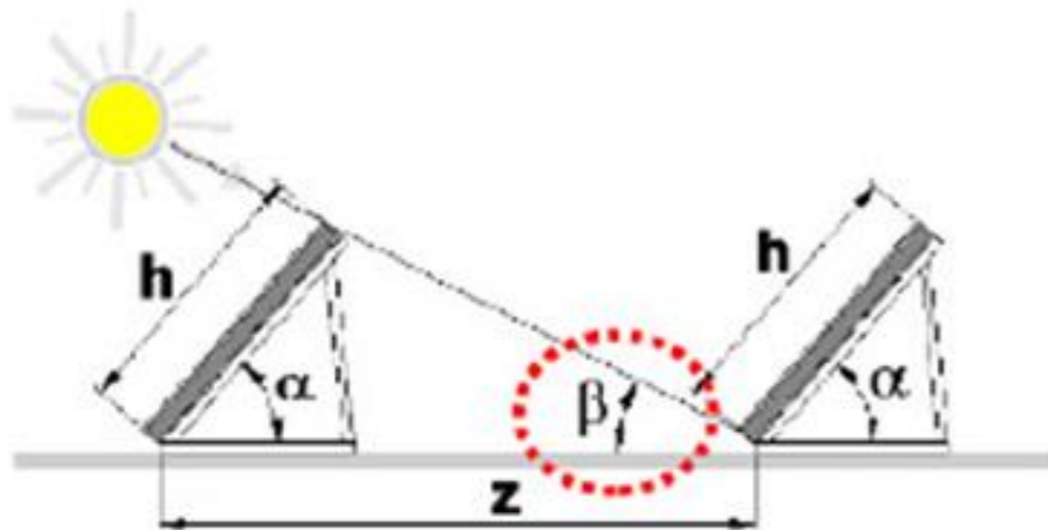


$$z = \frac{h \cdot \sin(180^\circ - (\alpha + \beta))}{\sin \beta}$$

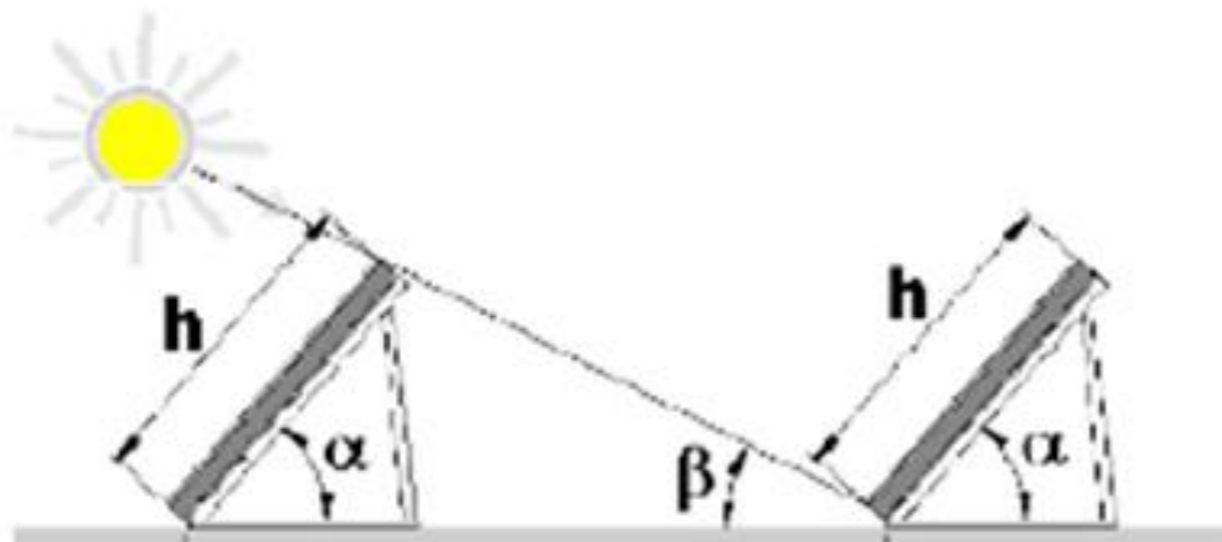
Odstęp między rzędami modułów (dach płaski, grunt)

Kąt β

- w Polsce minimalny kąt padania promieni słonecznych (21 grudnia), wynosi:
od 13 do 16°



Odstęp między rzędami modułów (dach płaski, grunt)



- Viessmann
 $h = 1,056 \text{ m}$
- Lokalizacja instalacji:
Bydgoszcz, $\beta = 14^\circ$
- Nachylenie
 $\alpha = 45^\circ$

$$z = \frac{h \cdot \sin(180^\circ - (\alpha + \beta))}{\sin \beta}$$

- **Odstęp minimalny:**
 $z = 3,74 \text{ m}$

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

Kart katalogowych producentów systemów fotowoltaicznych