SYSTEMY ENERGETYKI ODNAWIALNEJ

ENERGETYKA SŁONECZNA I

INSTALACJE FOTOWOLTAICZNE - MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Generacje ogniw fotowoltaicznych:

ogniwa fotowoltaiczne I generacji - są to klasyczne ogniwa złożone niemal 100% krzemu, posiadające tradycyjne złącze p-n. Stanową ok 82% rynku ogniw. Charakteryzują się sprawnością ok 18-22% oraz relatywnie niską automatyzacją procesu produkcyjnego

ogniwa fotowoltaiczne II generacji - ogniwa oparte na złączu p-n, lecz złożone z innych pierwiastków niż krzem, tj. tellurku kadmu (CdTe), mieszaniny miedzi, galu, indu, selenu (CIGS) lub krzemu amorficznego. Charakteryzują się większą automatyzacją produkcji niż ogniwa I generacji i w związku z tym są znacznie tańsze w produkcji. Jednak ich główną wadą jest niższa sprawność sięgająca ok 7-15%. Udział w tynku tego typu ogniw to ok 18%.

ogniwa fotowoltaiczne III generacji - ogniwa bazujące na różnorodnej technologii nie opartej na półprzewodnikach, a w związku z tym nie posiadają złącza p-n. Najpopularniejsze w tej chwili technologie to DSSC oraz ogniwa polimerowe. Charakteryzują się niską sprawnością ok 5%, ich największą zaletą są bardzo niskie koszty produkcji. Udział w rynku nie przekracza 0,5%.

System fotowoltaiczny korzysta z energii słońca. Jego wielką zaletą jest to, że działa niezależnie od sieci energetycznej i gwarantuje stałe dostawy nawet w przypadku awarii. Co ciekawe produkuje energię nawet w pochmurne dni.

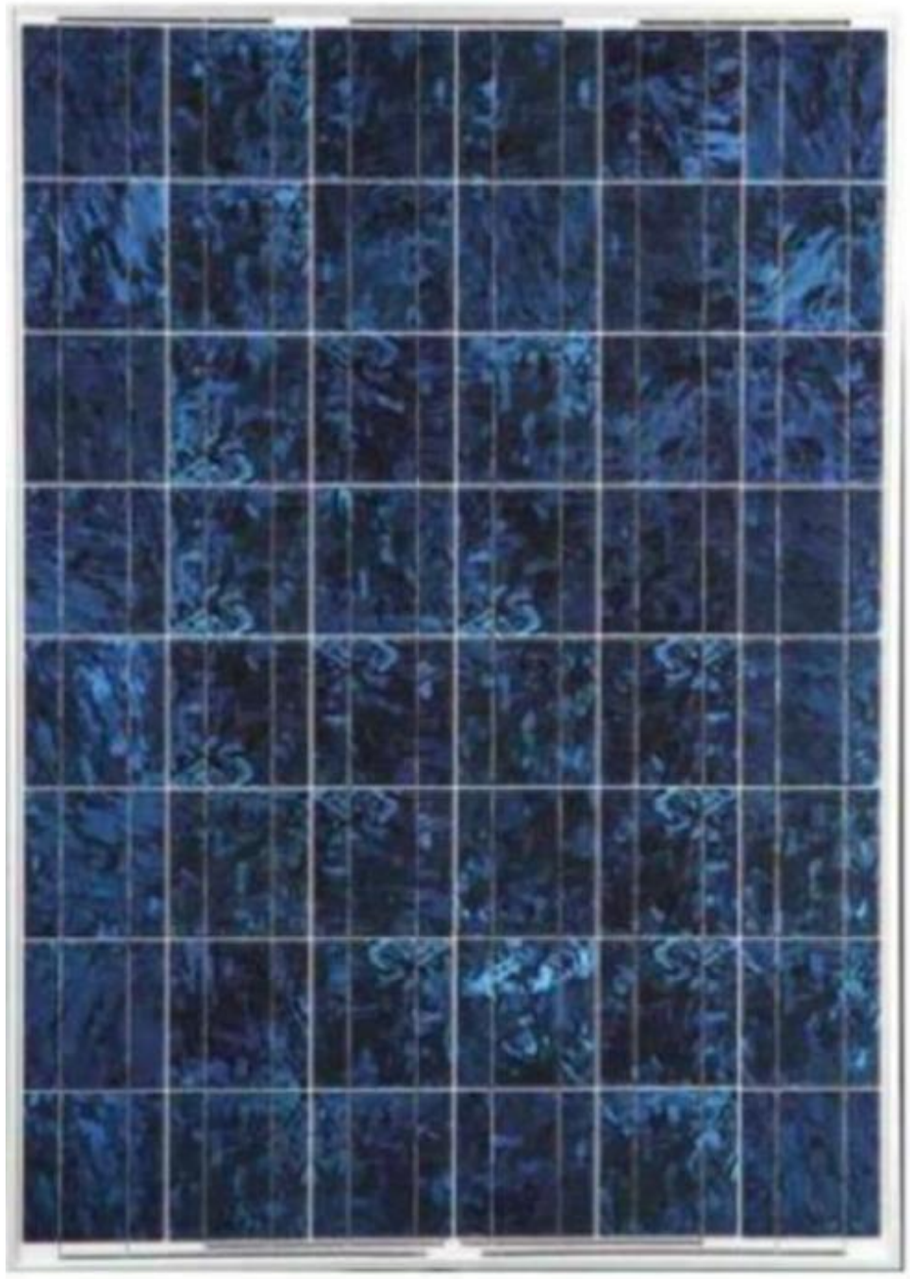
http://www.instsani.pl/folowolt.htm

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Ogniwa fotowoltaiczne I generacji

MODUŁ POLIKRYSTALICZNY

SPRAWNOŚĆ: 15% - 18%

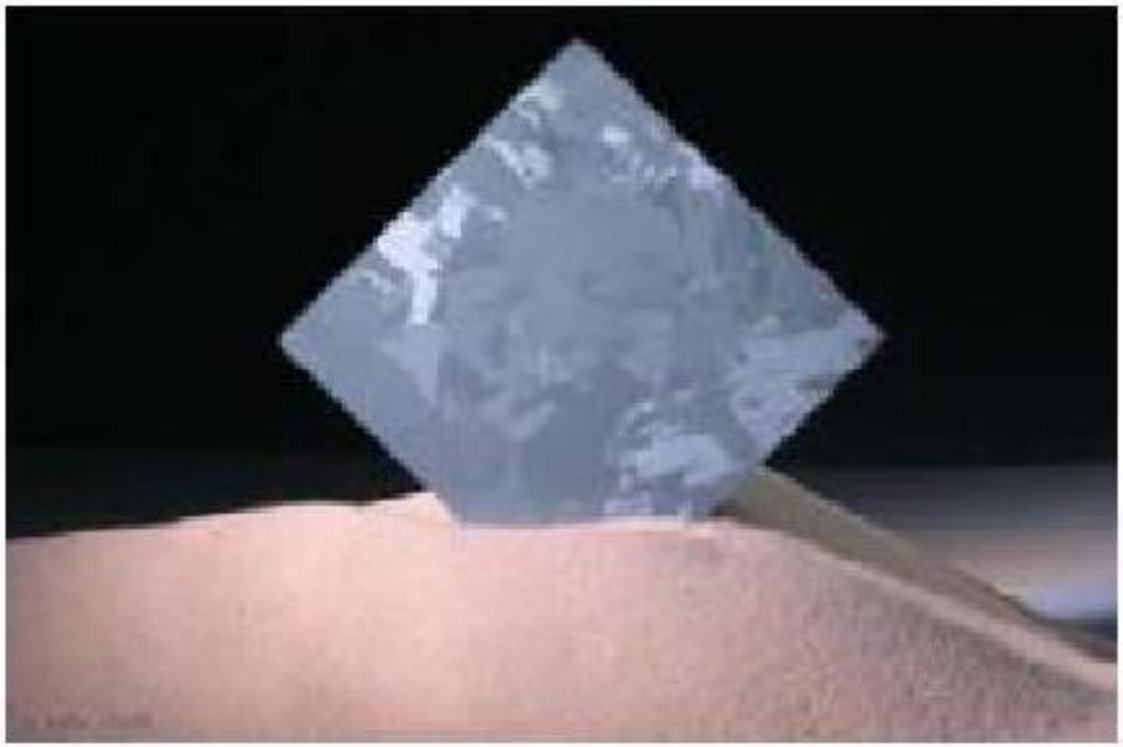


MODUŁ MONOKRYSTALICZNY

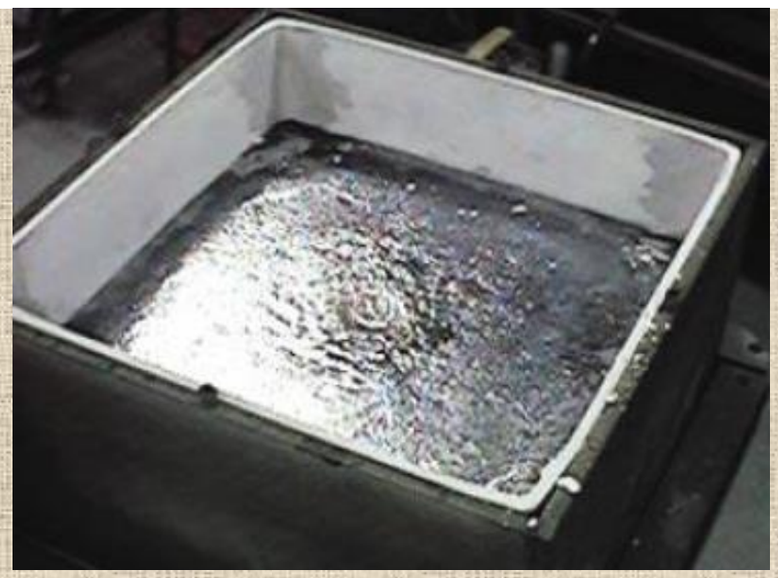
SPRAWNOŚĆ: 20% - 23%

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Technologia wytwarzania ogniw I generacji

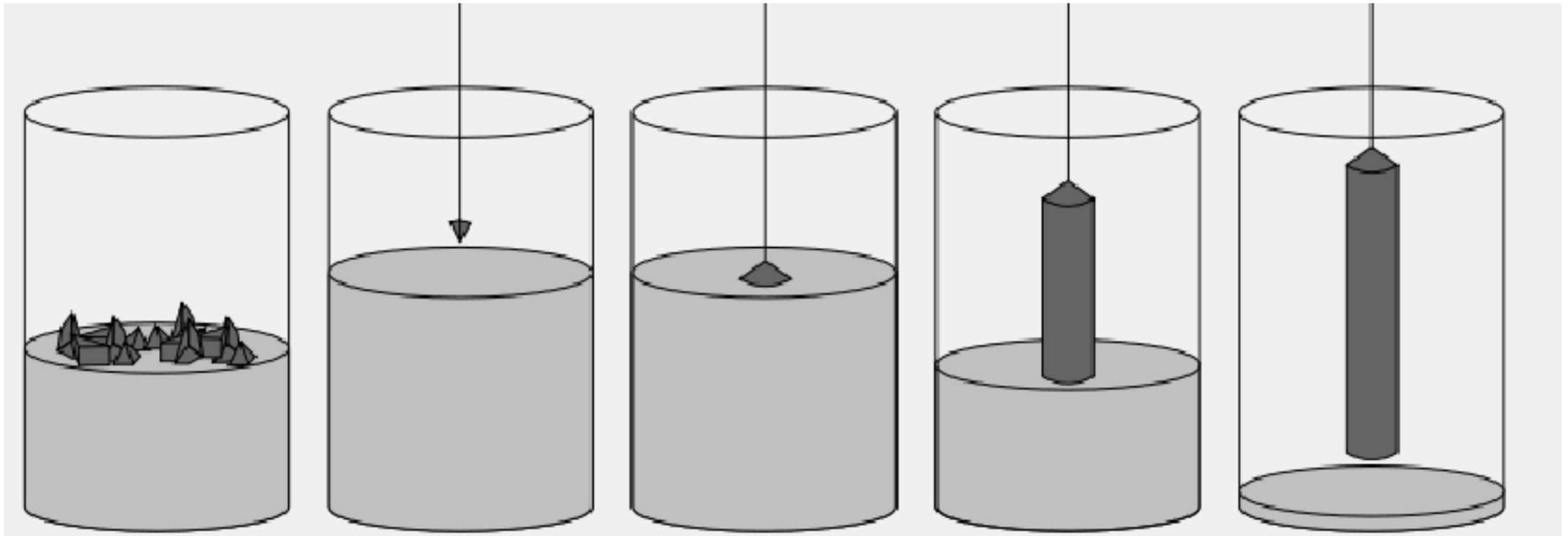


Krzem jako surowiec oraz płytka krzemowa



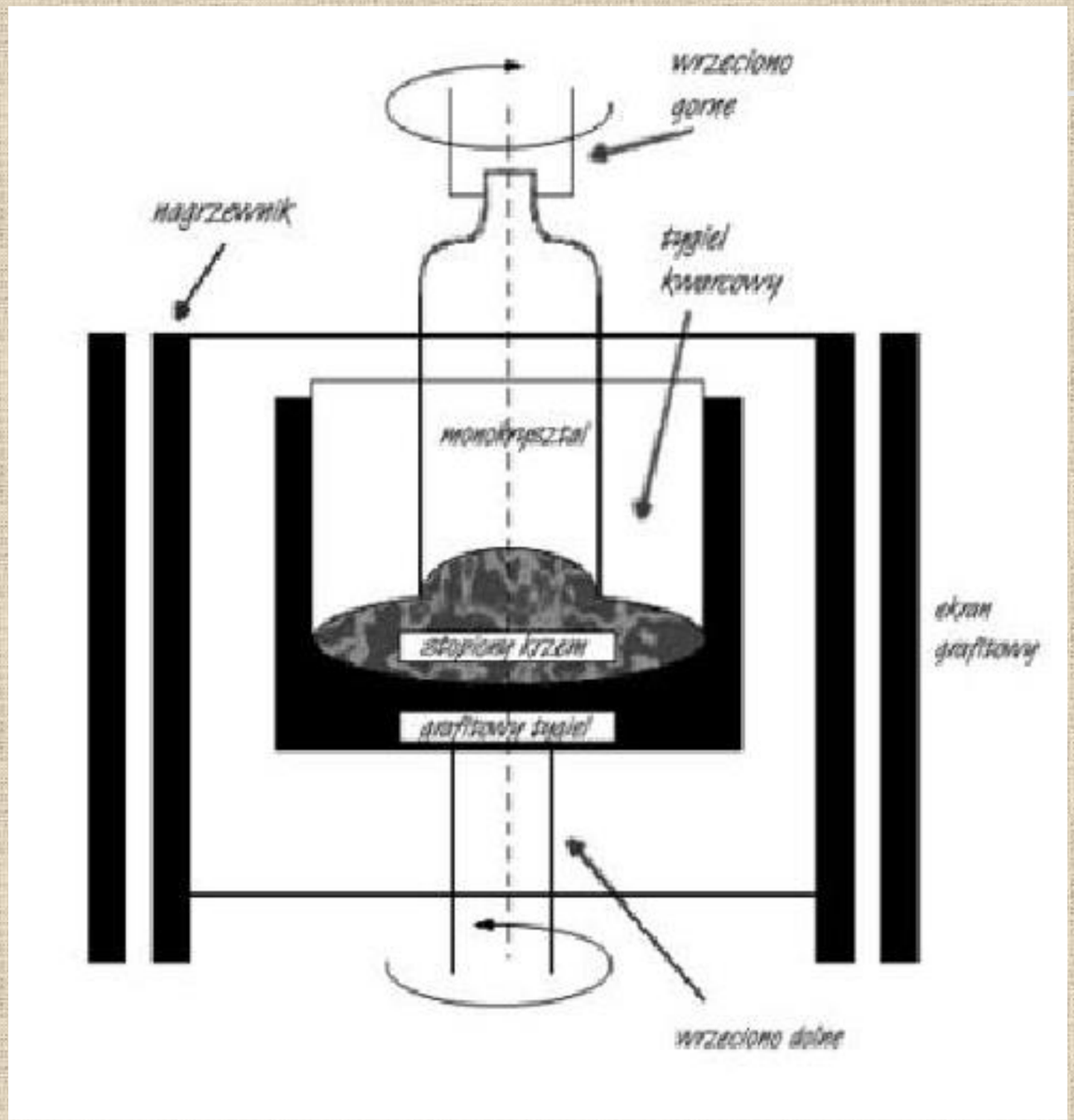
Metoda Jana Czochralskiego - technika otrzymywania monokryształów, która polega na powolnym, stopniowym wyciąganiu z roztopionego materiału zarodka krystalicznego w sposób zapewniający kontrolowaną i stabilną krystalizację na jego powierzchni. Dodatkowo, jeśli wymagają tego warunki procesu krystalizacji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

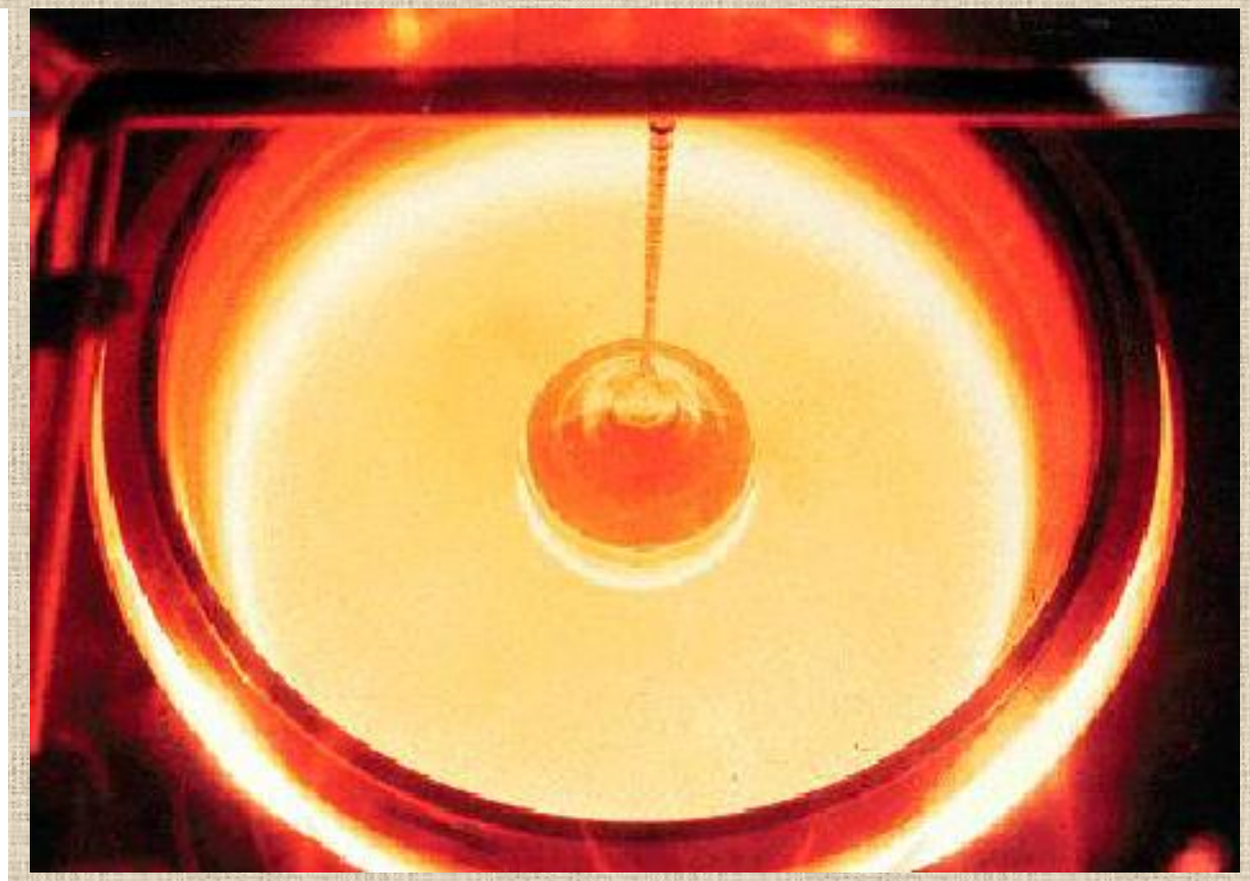
W rezultacie otrzymuje się cylindryczny monokryształ o orientacji krystalograficznej zarodka. Wymiary i kształt hodowanego kryształu (średnica oraz długość) kontrolowane są poprzez prędkość przesuwu i prędkość obrotową zarodka, ograniczone są jednak poprzez parametry układu zastosowanego do hodowli.



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Technologia wytwarzania ogniw I generacji





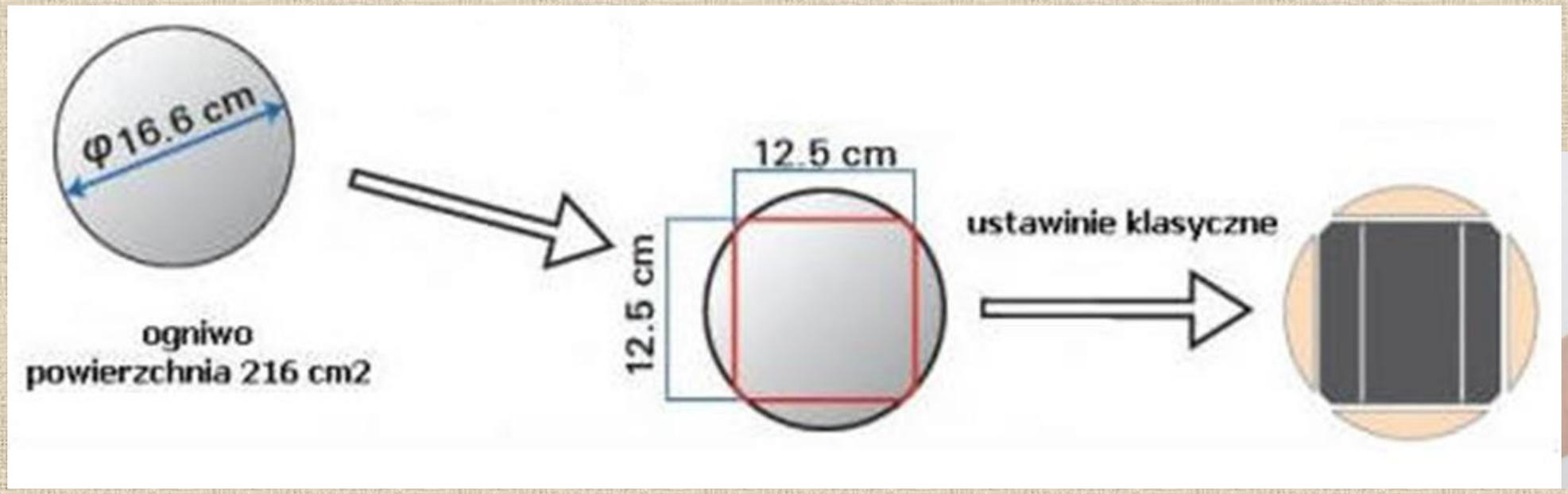
Proces wzrostu kryształów krzemu zachodzi w temperaturze 1400°C

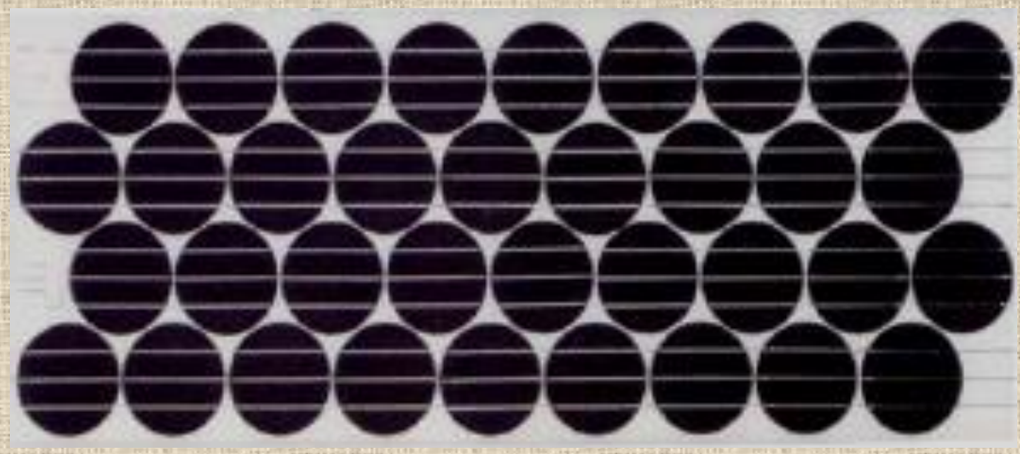
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Technologia wytwarzania ogniw I generacji

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

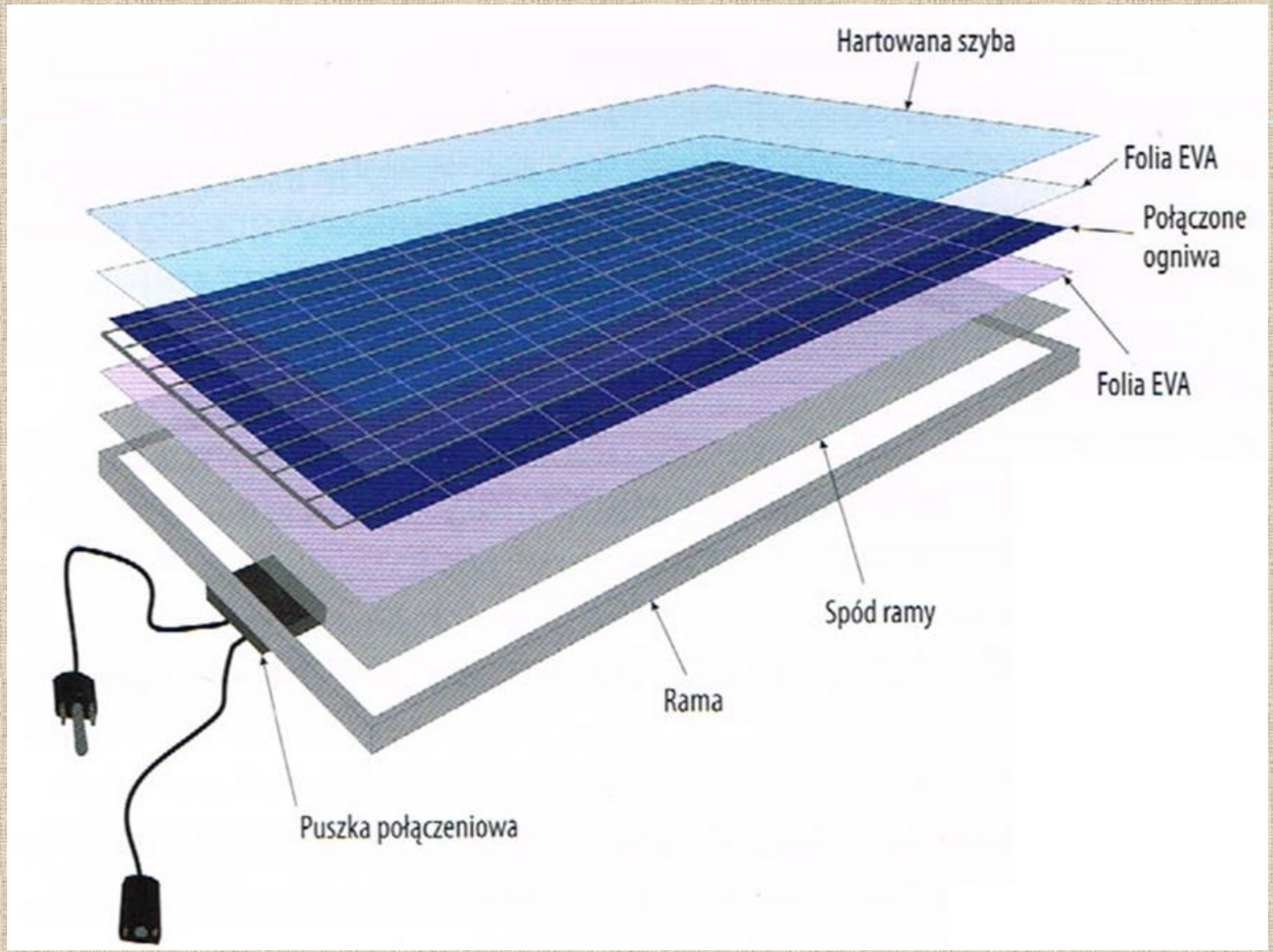
Technologia wytwarzania ogniw I generacji





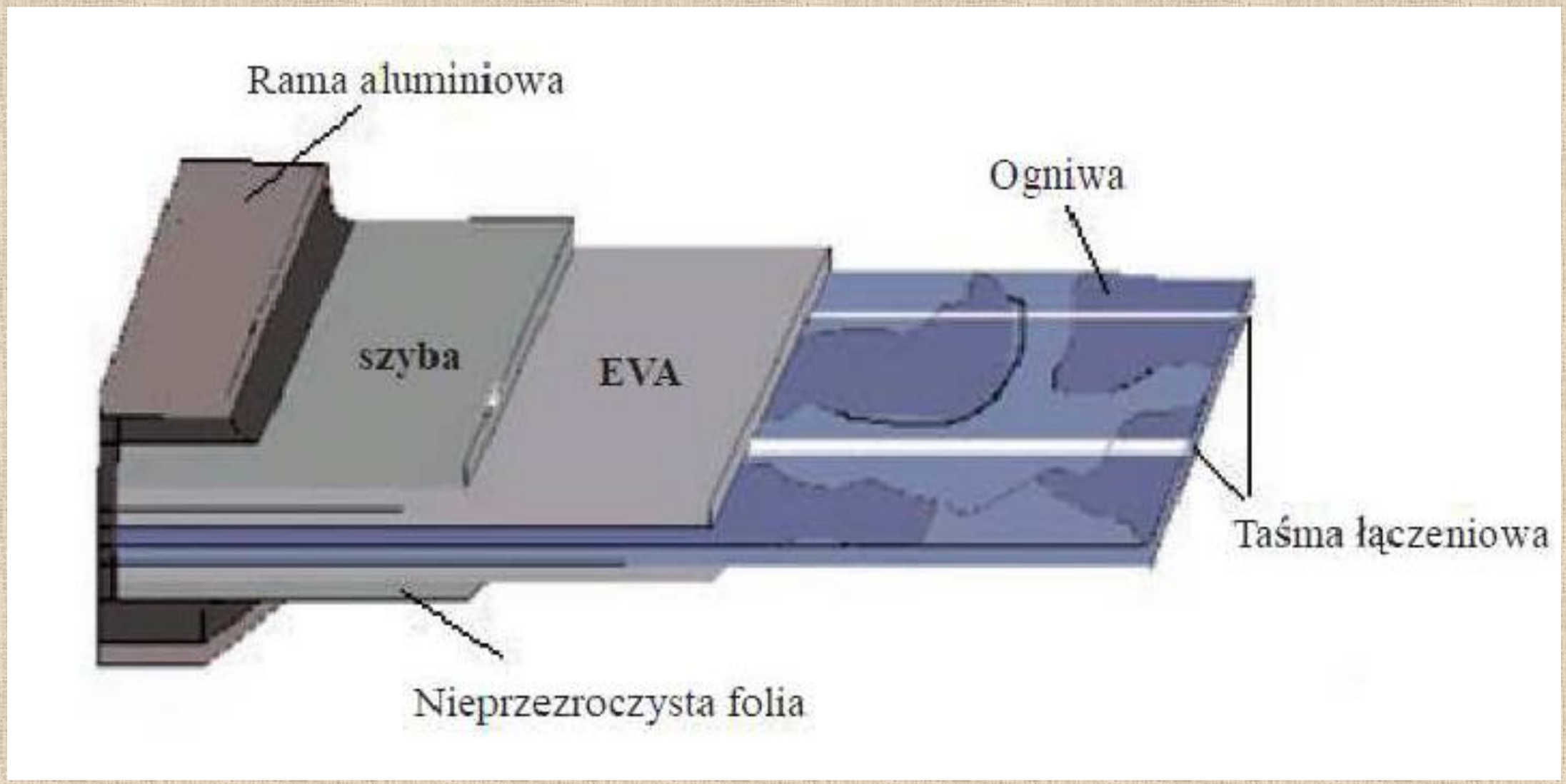
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Budowa modułu PV I generacji



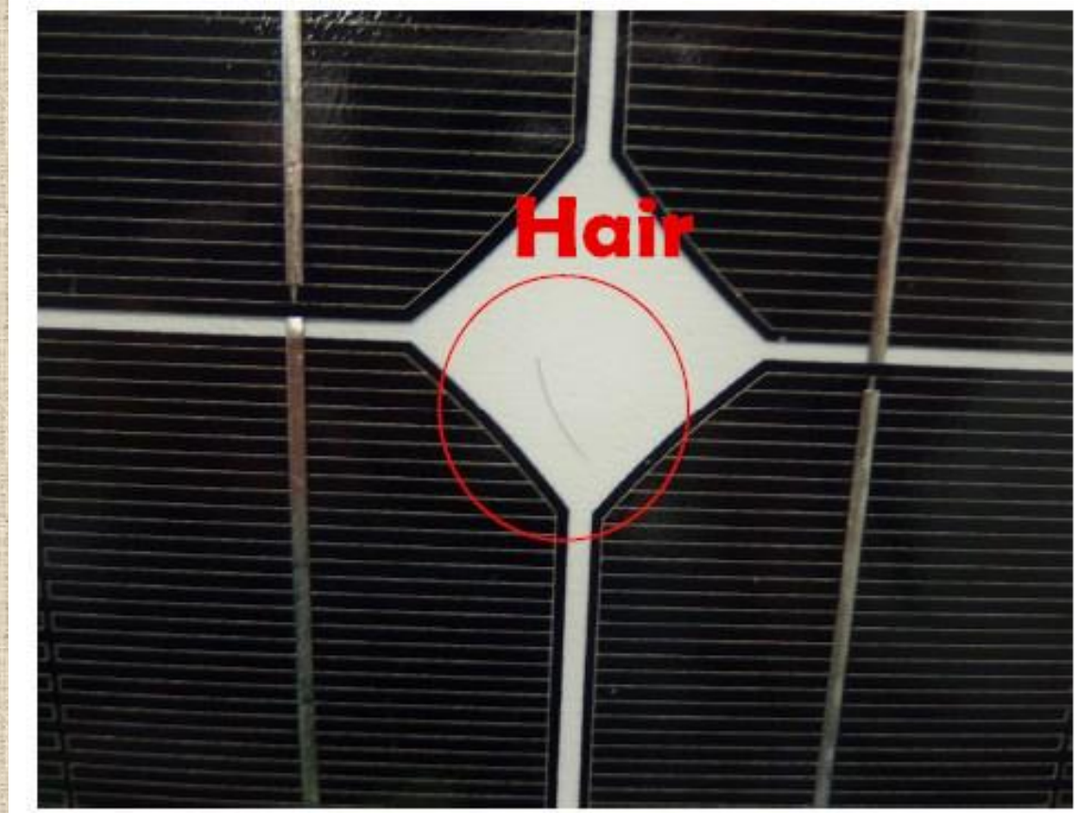
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

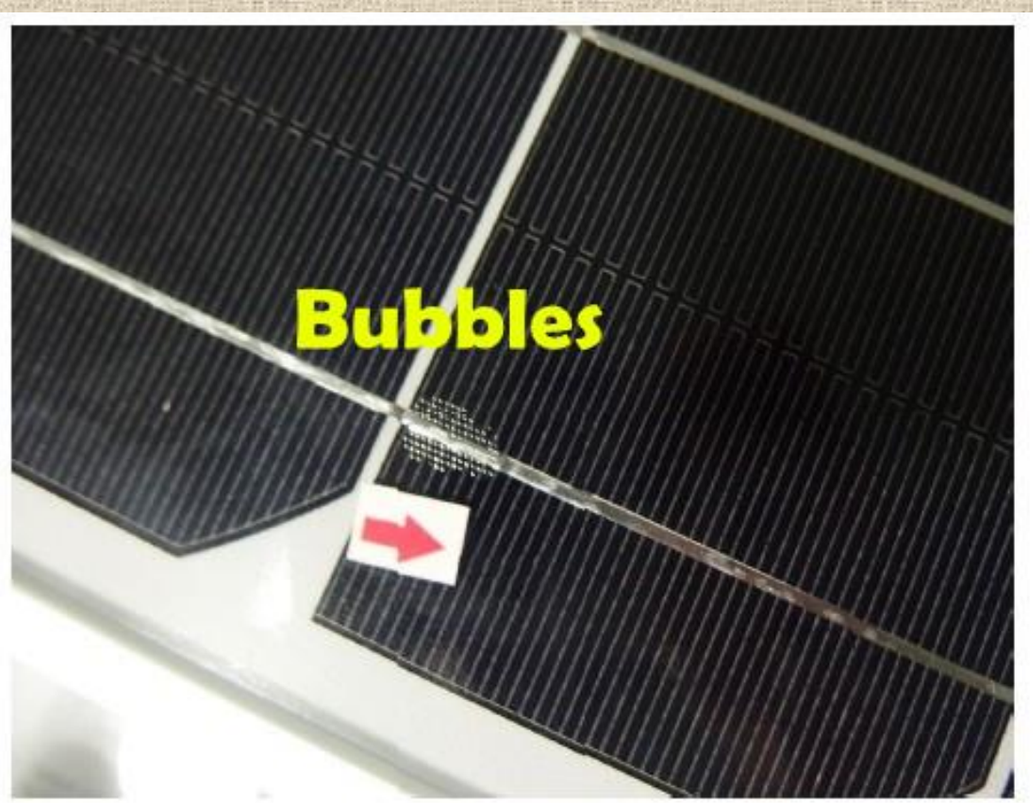
Budowa modułu PV I generacji



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Przykłady wad modułów PV

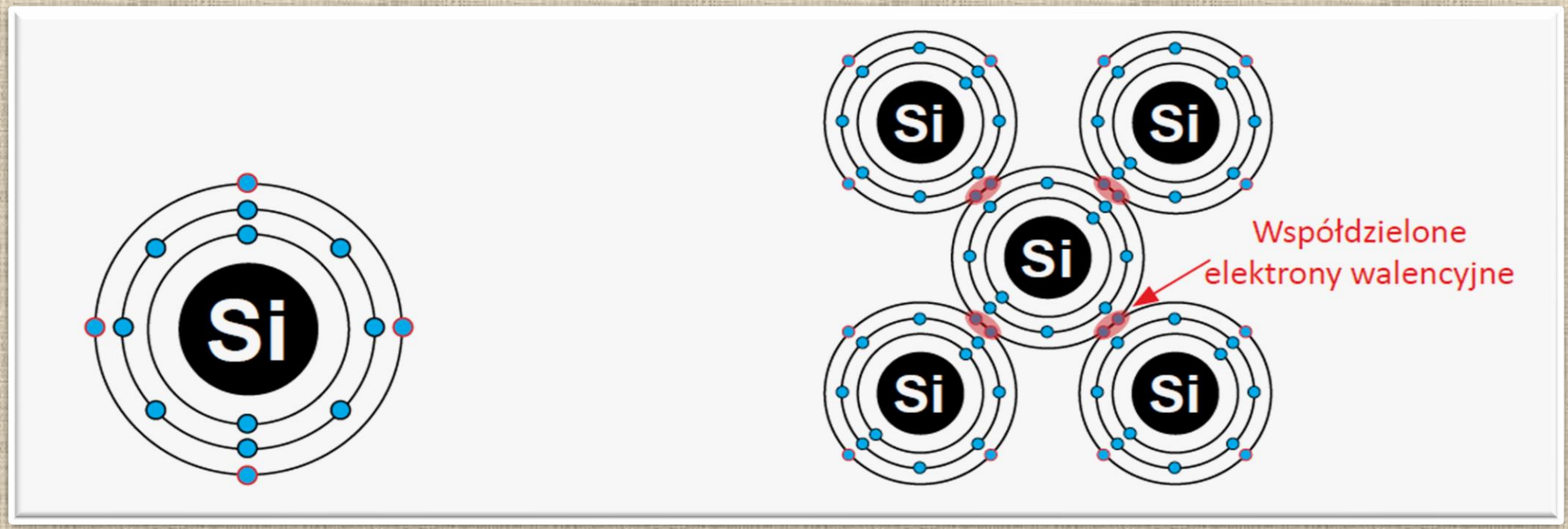




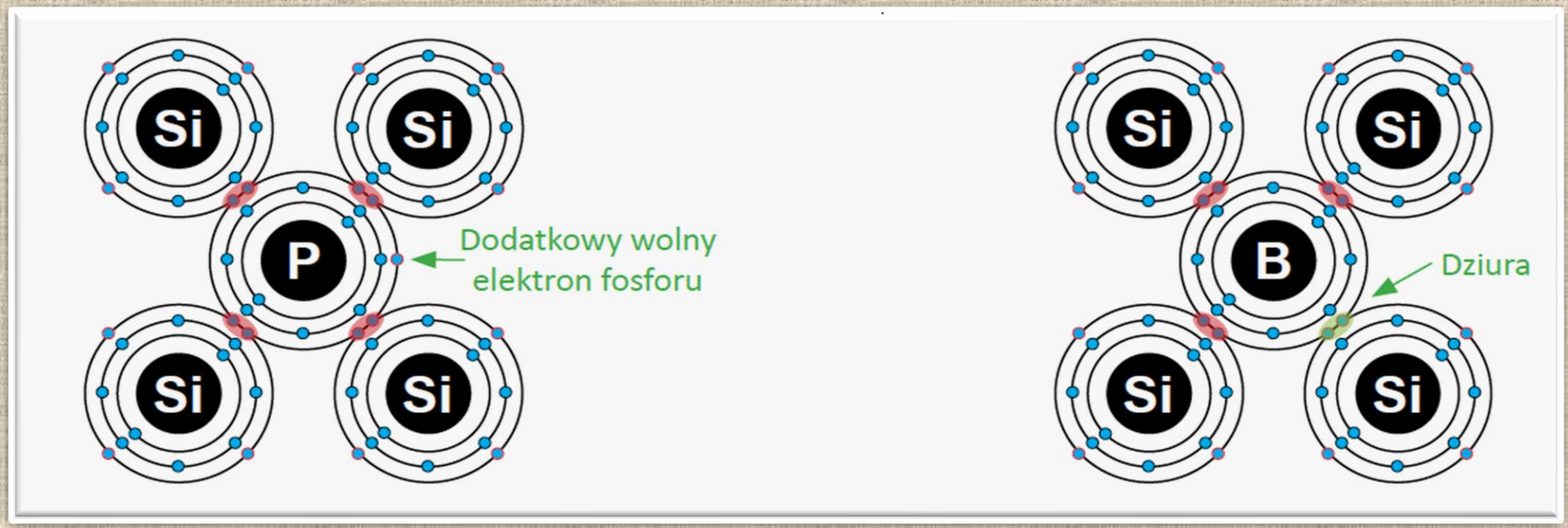
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Proces konwersji promieniowania słonecznego w ogniwie krzemowym

PRZED PROCESEM DOMIESZKOWANIA

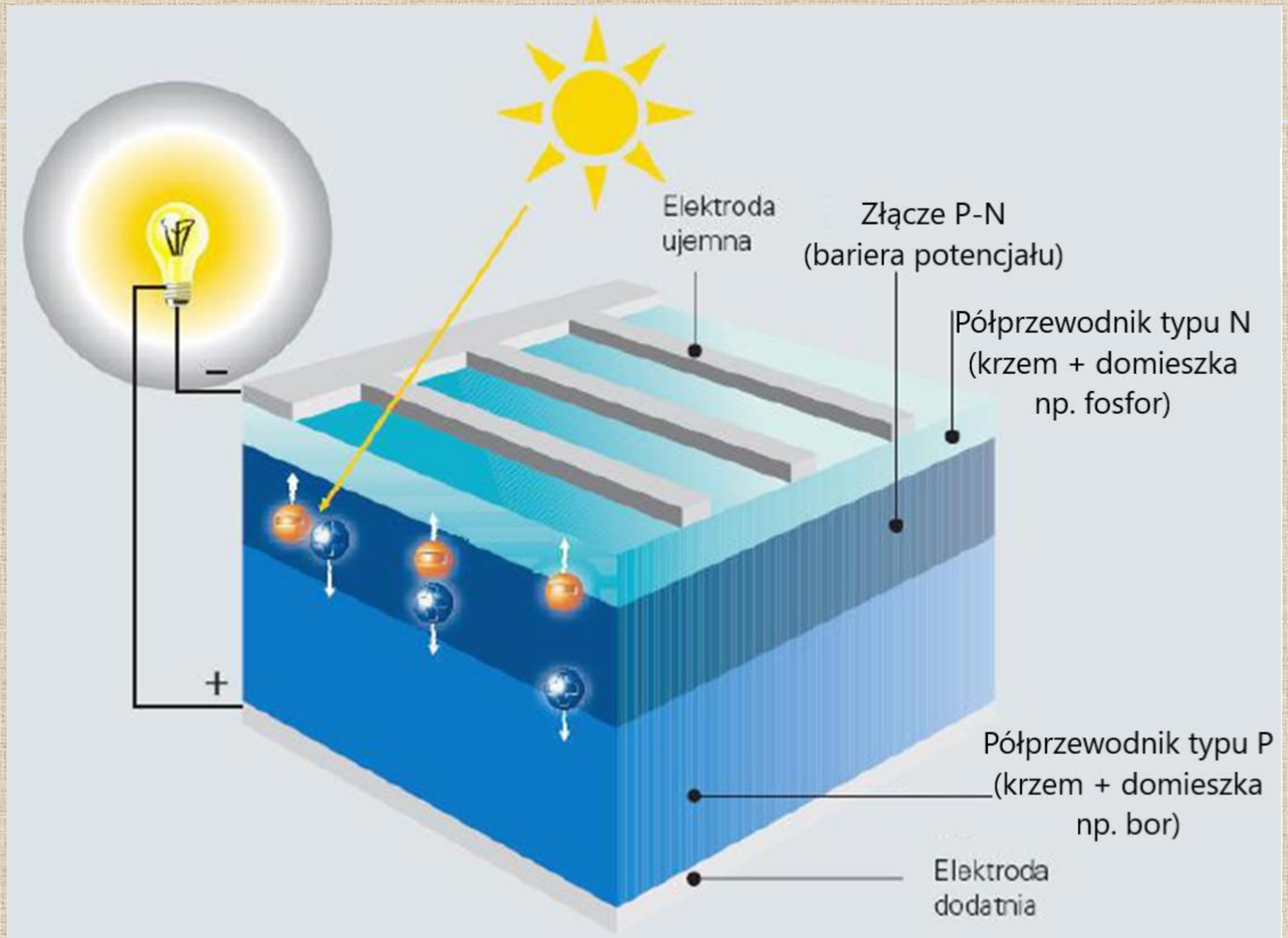


PO PROCESIE DOMIESZKOWANIA



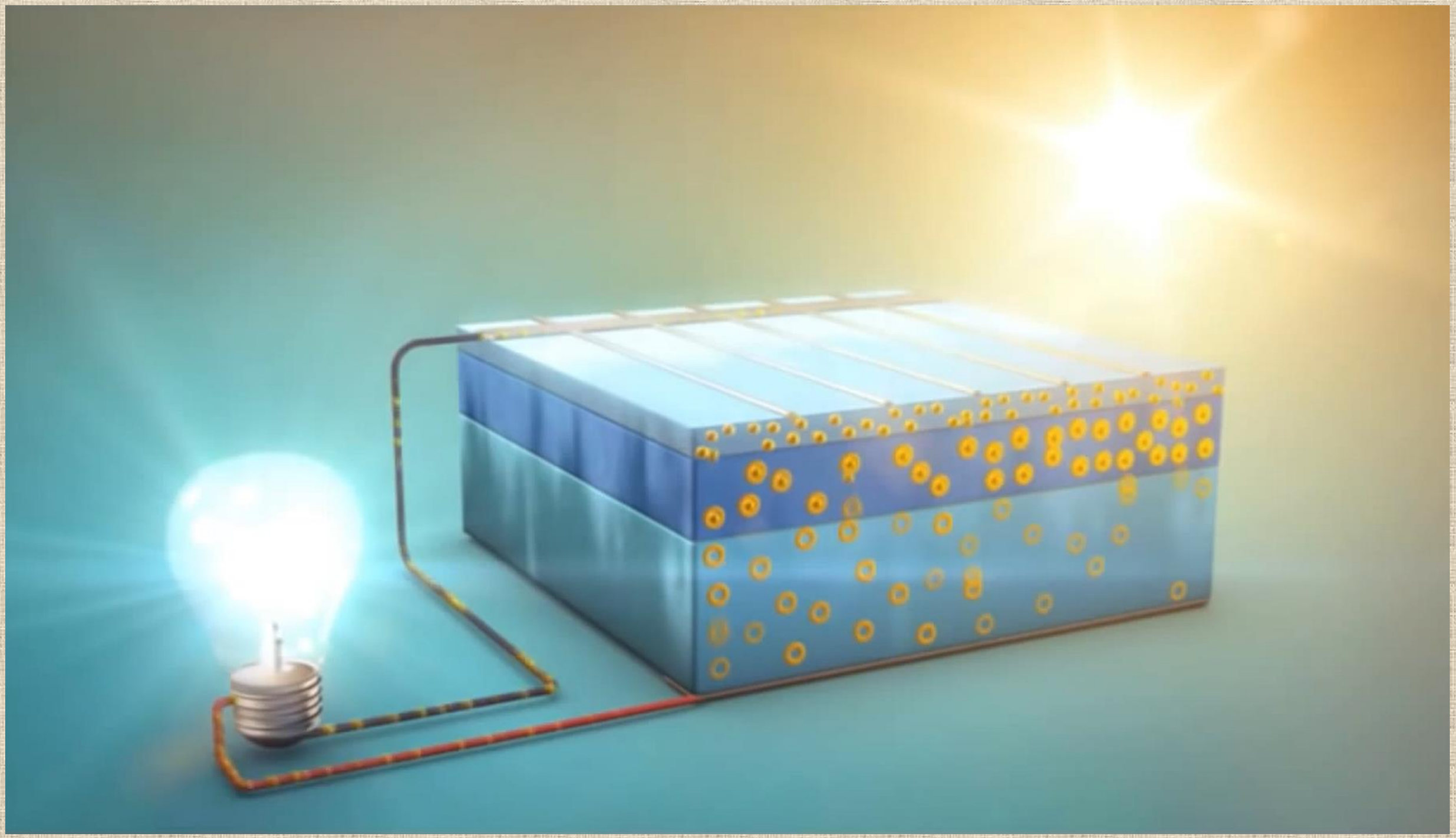
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Proces konwersji promieniowania słonecznego w ogniwie krzemowym



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

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**

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

Monokrystaliczne moduły **VITOVOLT 300**

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

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Ogniwa PV II generacji

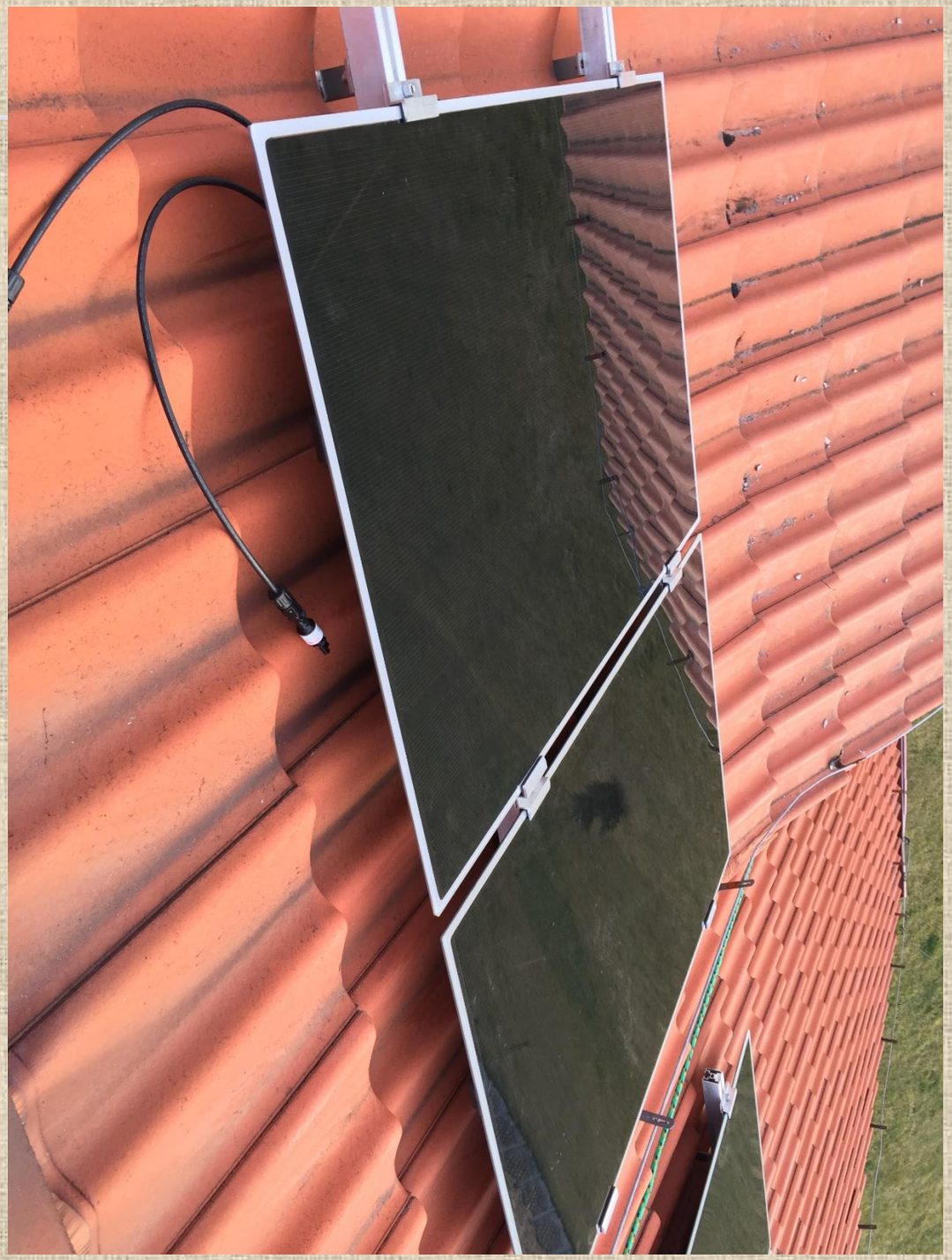
MODUŁ CDTE
SPRAWNOŚĆ: 12% - 14%

MODUŁ CIGS
SPRAWNOŚĆ: 13% - 16%

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

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Ogniwa PV II generacji



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

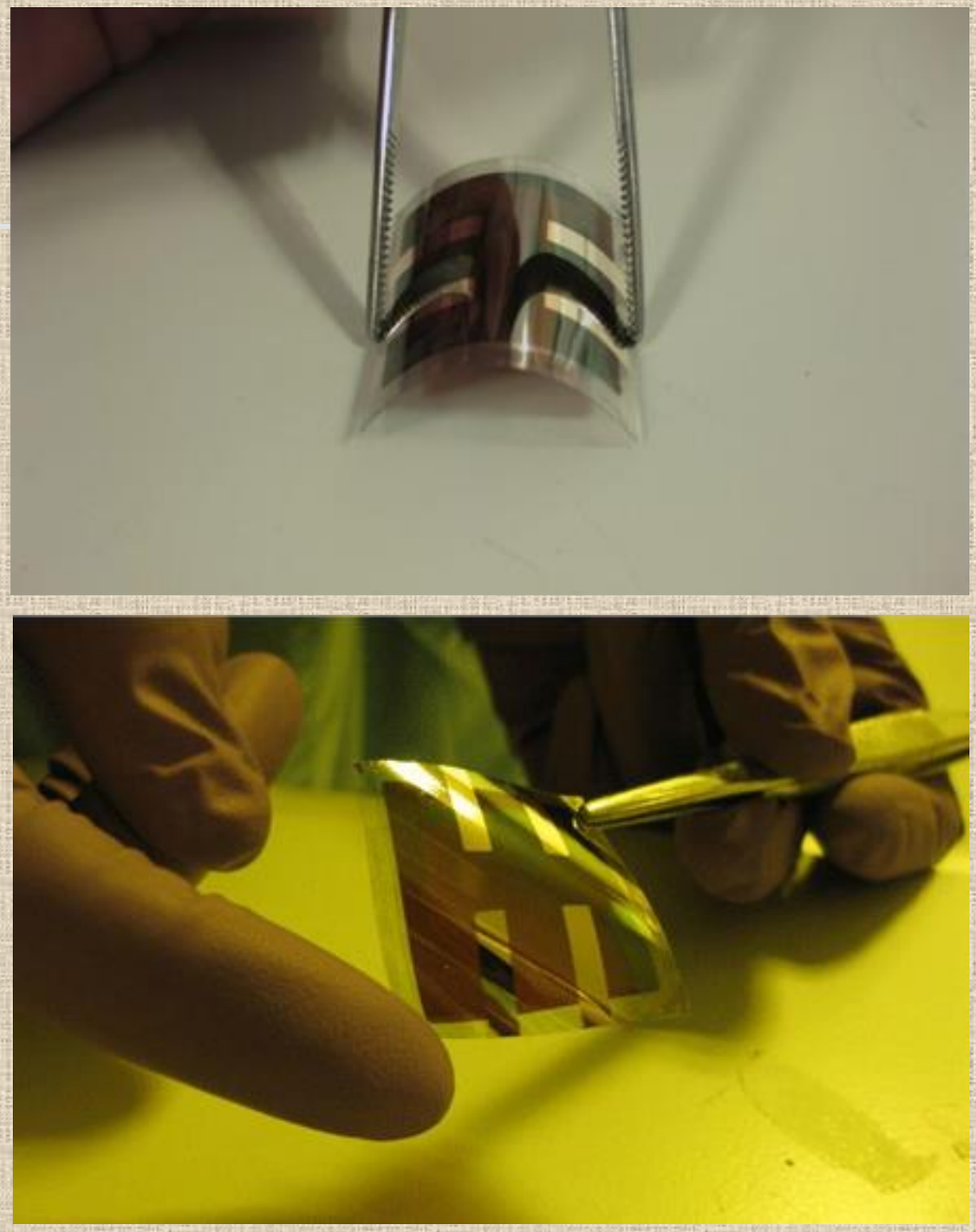
Ogniwa PV III generacji

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Ogniwa PV III generacji

Perowskity

Perowskity to grupa nieorganicznych związków chemicznych. Nowa technologia zaproponowana przez Olgę Malinkiewicz charakteryzuje się szybkim czasem produkcji oraz nie wymaga zastosowania skomplikowanych urządzeń. Przeprowadzana jest w warunkach próżniowych, niskotemperaturowych. Polega na naniesieniu sprayem cienkiej warstwy perowskitów na dowolny materiał np. folię. Aktualnie sprawność dochodzi do 20%, zaś w przyszłości może osiągnąć nawet 30%.



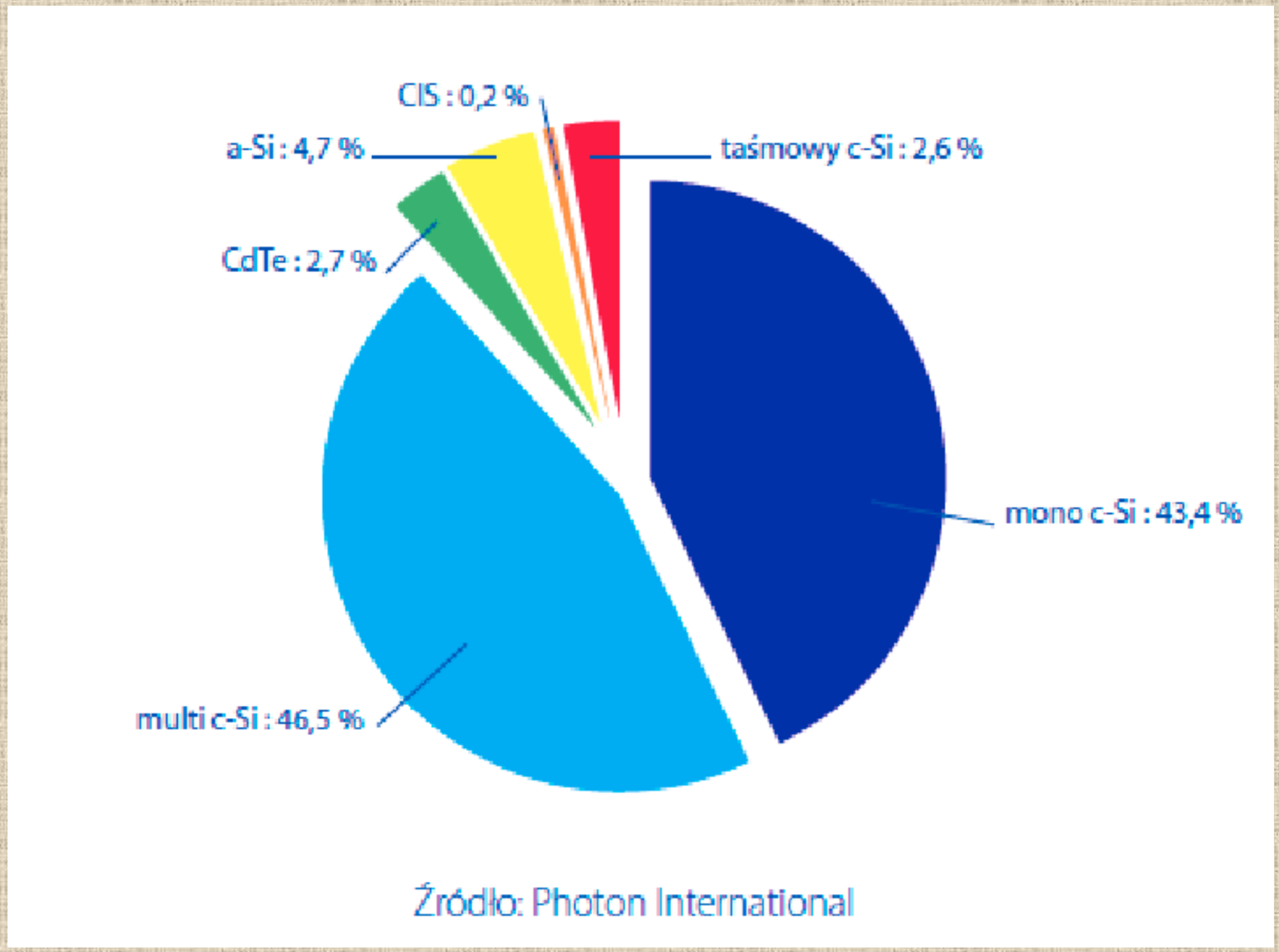
Ogniwo perowskitowe
Foto: Olga Malinkiewicz

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Dachówka fotowoltaiczna

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

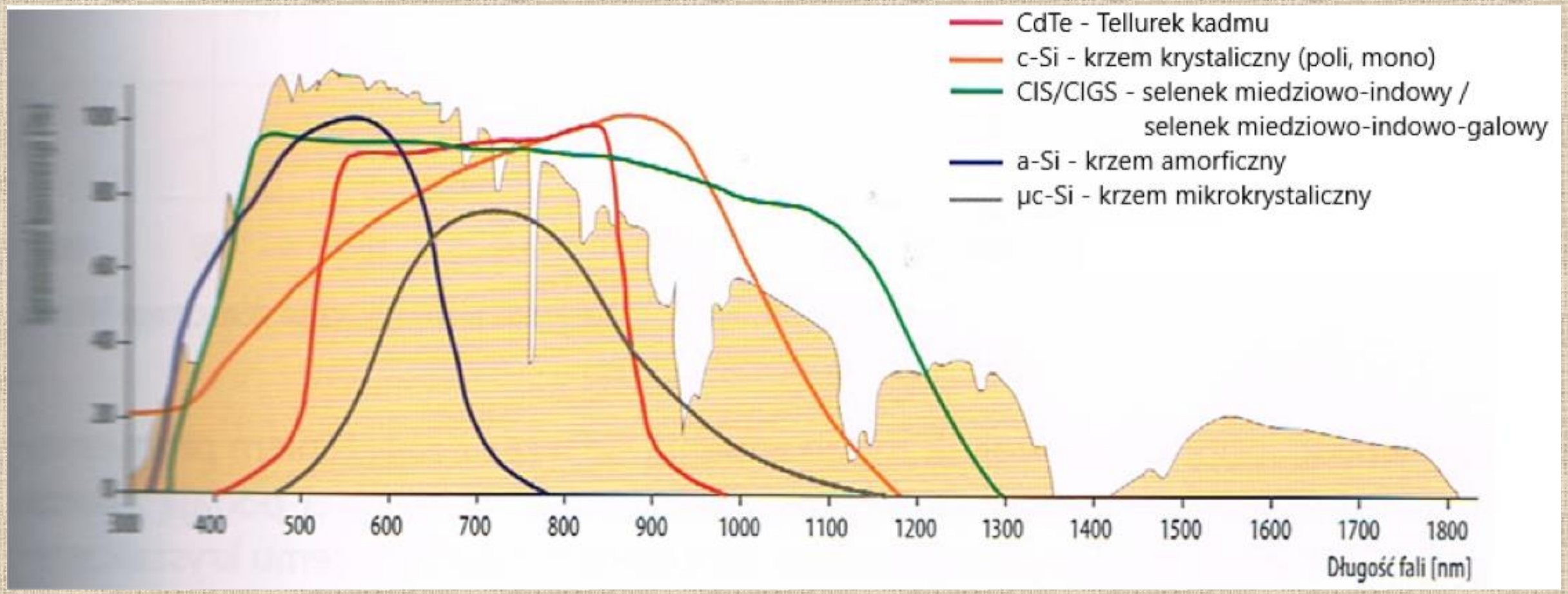
Obecnie udział w rynku krystalicznych ogniw krzemowych (c-Si) w różnych odmianach przekracza 90%. Pozostała część przypada na technologie cienkowarstwowe (TF) (a-Si, CI(G)S, CdTe).



Źródło: Photon International

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

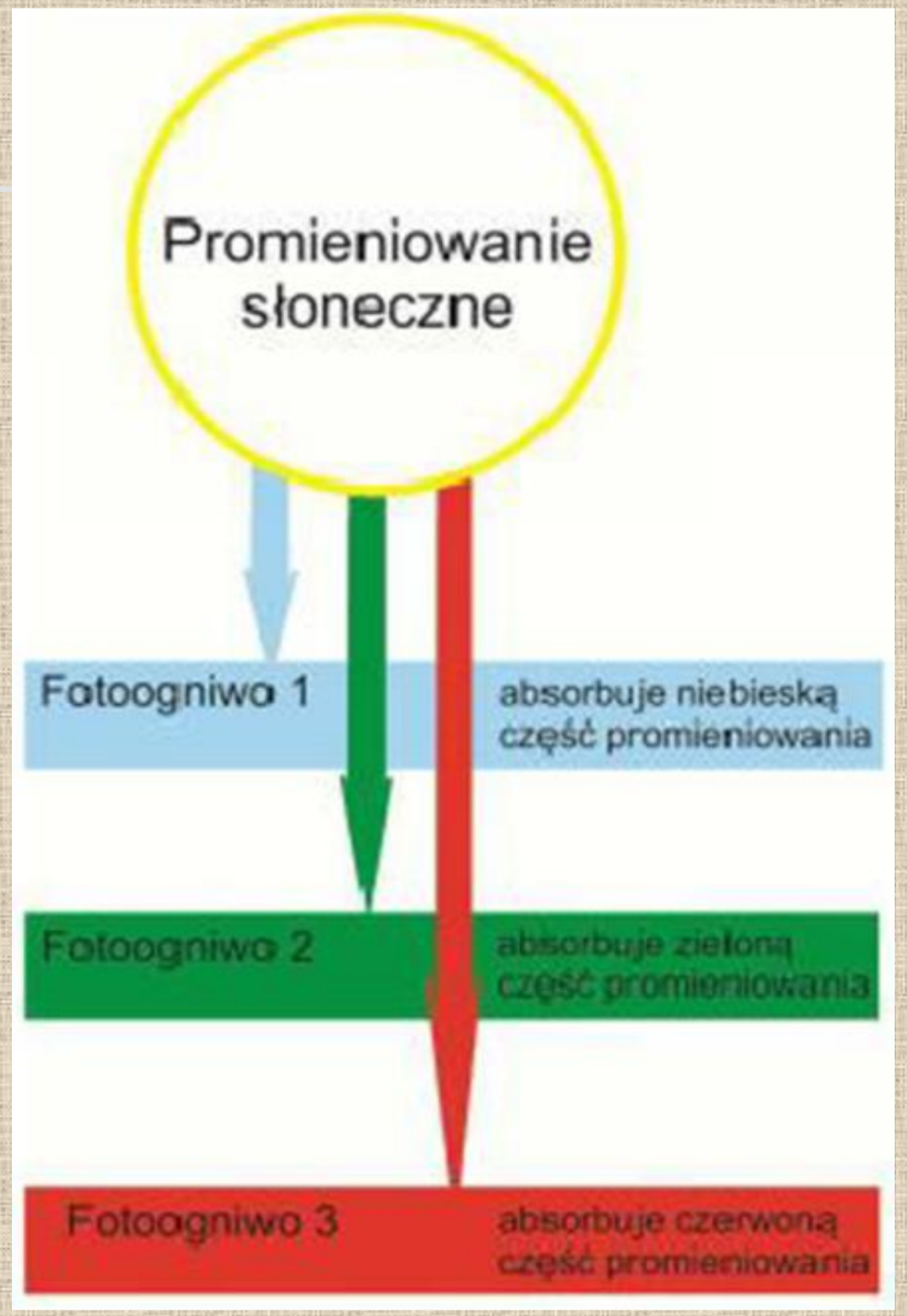
Rodzaj ogniwa PV, a długość absorbowanych fal



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Ogniwa wielozłączowe

Wykonane z wielu cienkich warstw dopasowanych do konkretnego zakresu promieniowania słonecznego.
Do produkcji używa się np. indu, germanu, galu, arsenu.



Rys. Schemat działania ogniwa wielowarstwowego

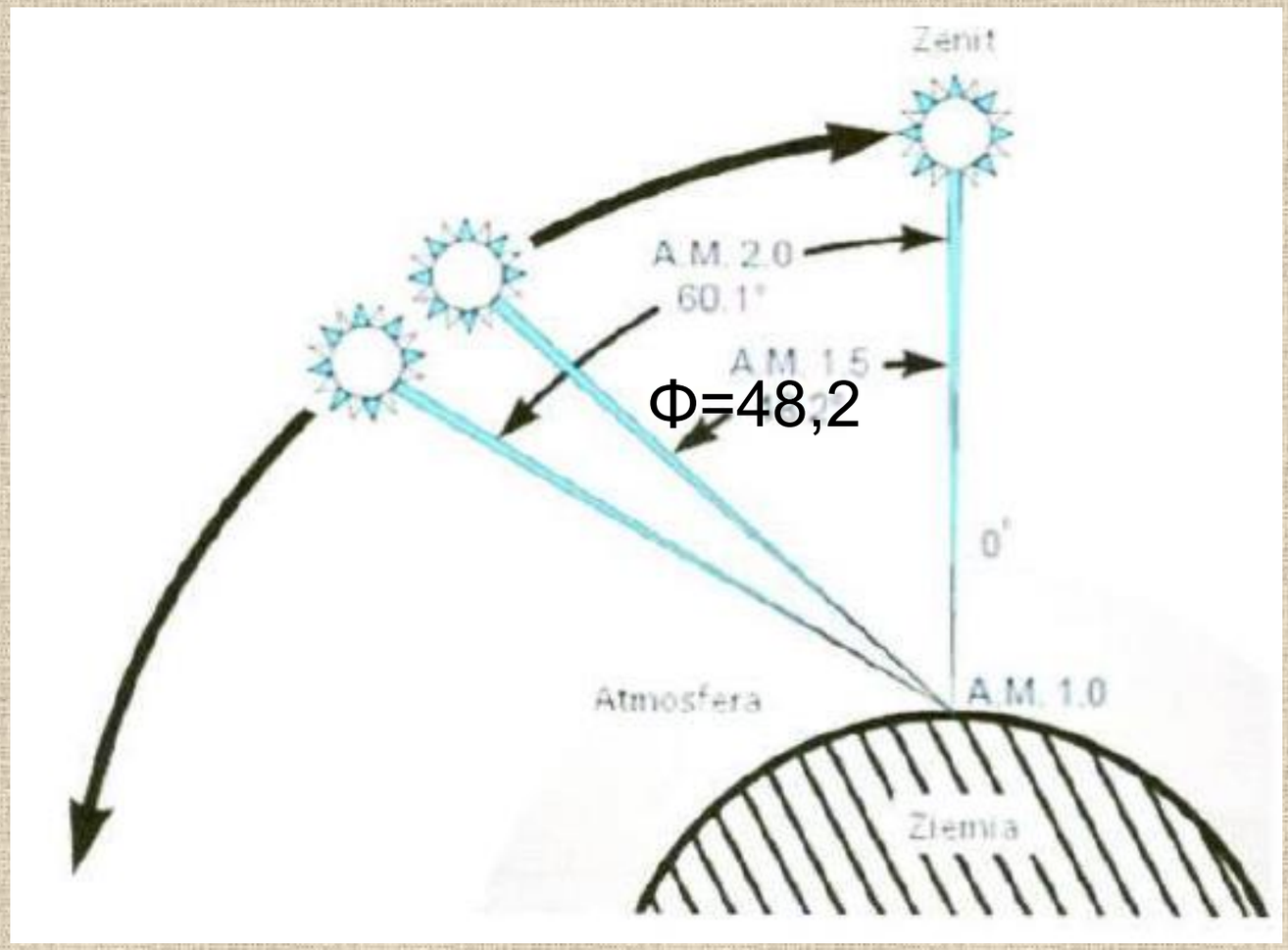
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

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 φ)



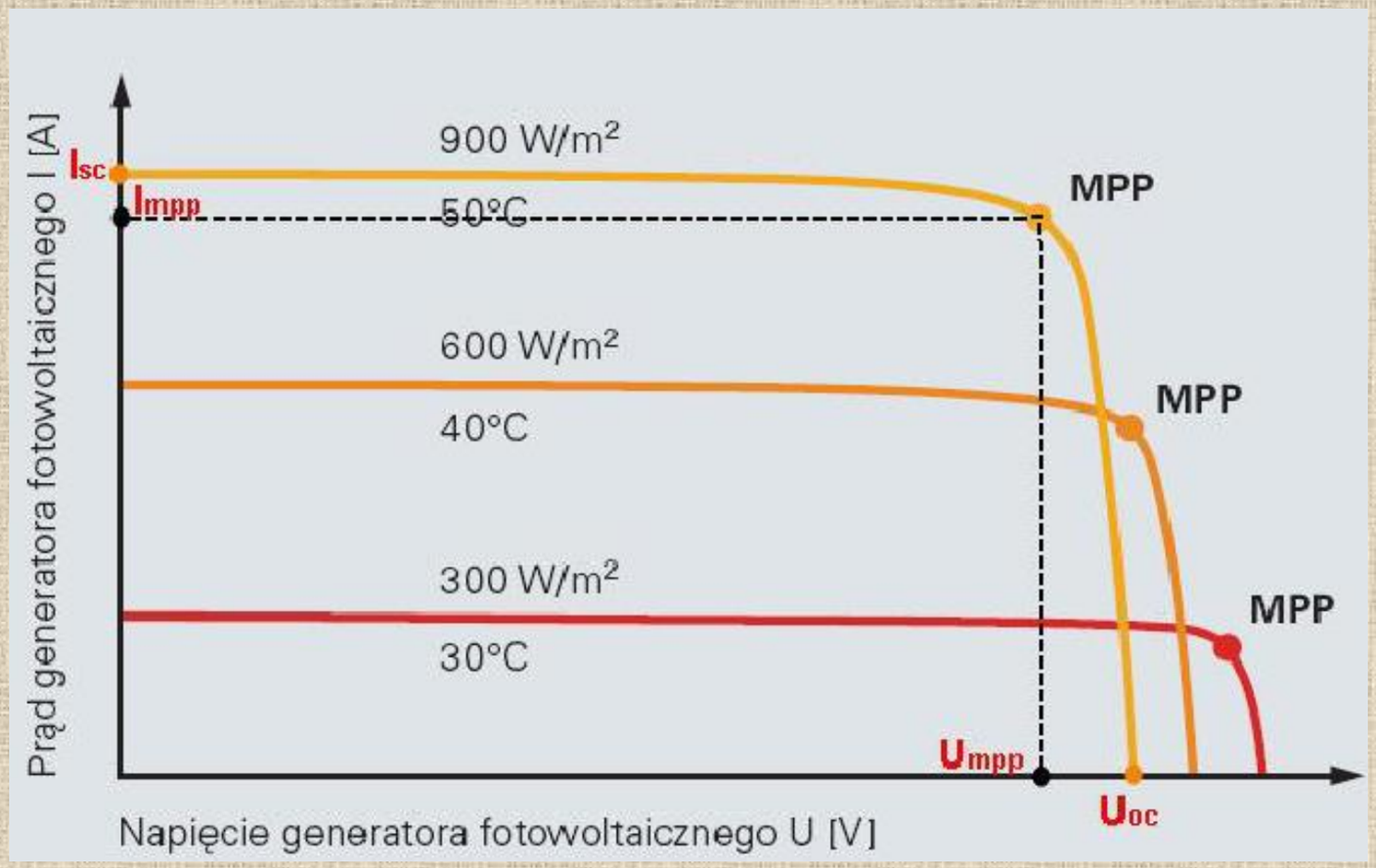
Rys. Masa optyczna atmosfery AM

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Dane techniczne modułów

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

- natężenie promieniowania 800 W/m2
- AM 1,5
- prędkość wiatru 1 m/s
- temperatura otoczenia 20°C
- temperatura ogniwa +/- 45°C



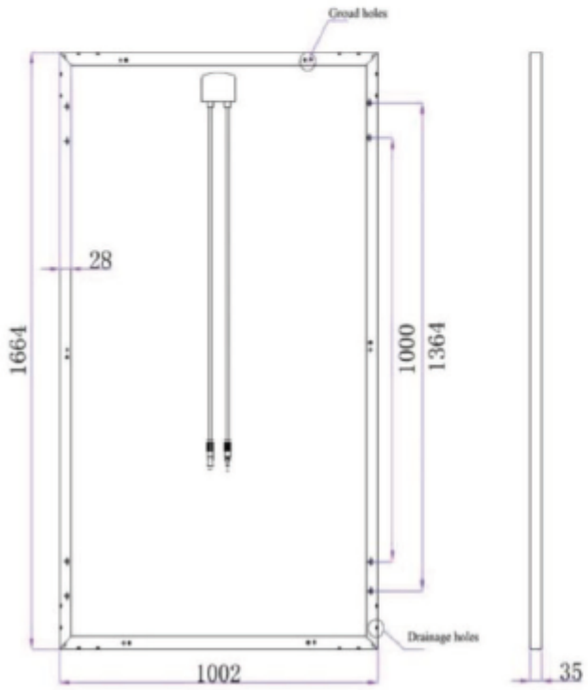
MPP = Maximum Power Point (punkt mocy maksymalnej)

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 zwarciowy 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*

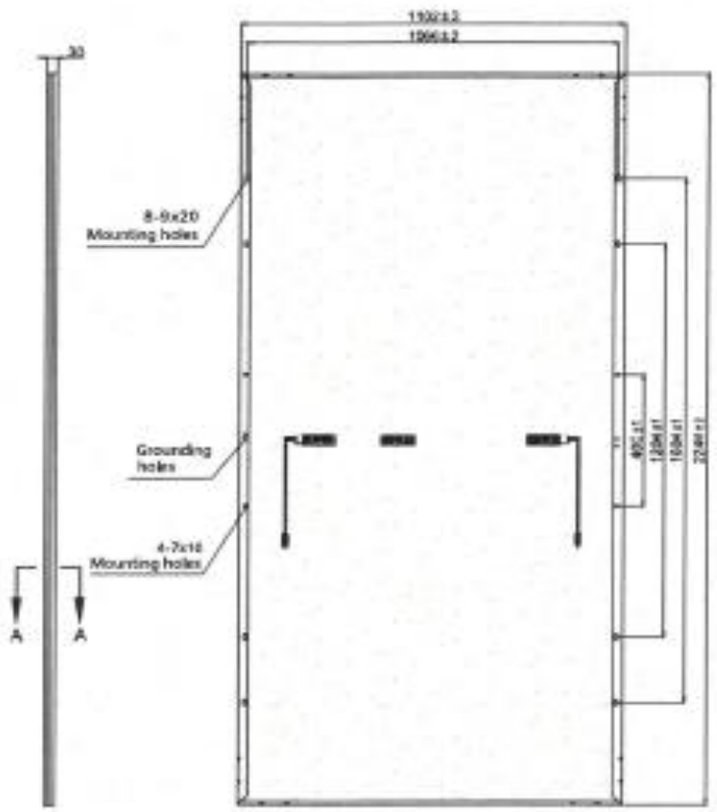


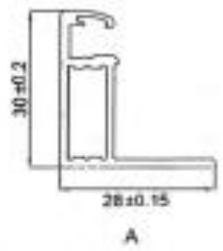
Typ ogniw:	Monokrystaliczne, 158,75 × 158,75 mm
Ilość Busbar:	5
Rozmieszczenie ogniw:	60 sztuk. (6 × 10)
Wymiary:	1664 × 1002 × 35 mm
Waga:	18,9 kg
Przednia pokrywa:	3,2 mm – szkło hartowane
Rama:	Anodowany stop aluminium
Skrzynka przyłącz.	IP67, 3 diody bocznikujące
Typ przewodu:	4,0 mm²
Długość przewodu:	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





RSM150-8-495BMDG
I-V characteristics at different irradiations

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

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

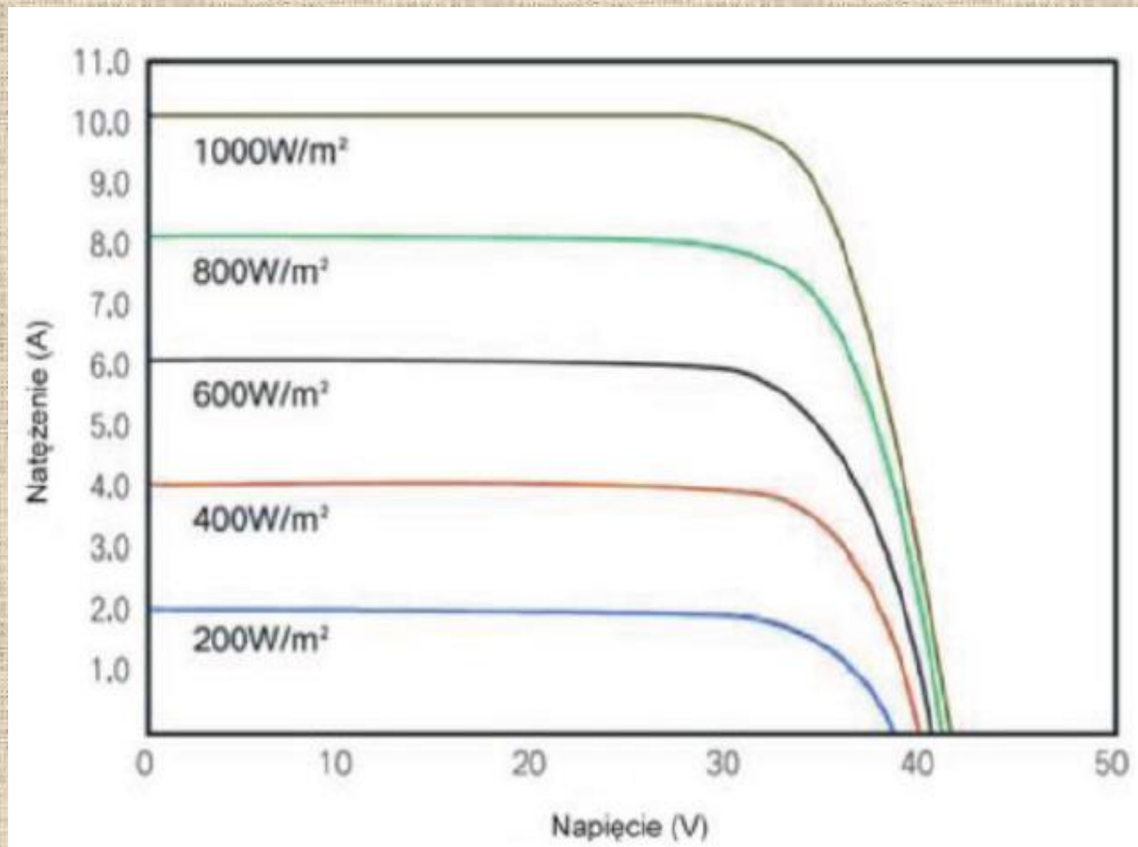
Rear side power gain: The additional gain from the rear side compared to the power of the front side at the standard test condition. It depends on mounting (structure, height, tilt angle etc.) and albedo of the ground.

ELECTRICAL DATA (NMOT)

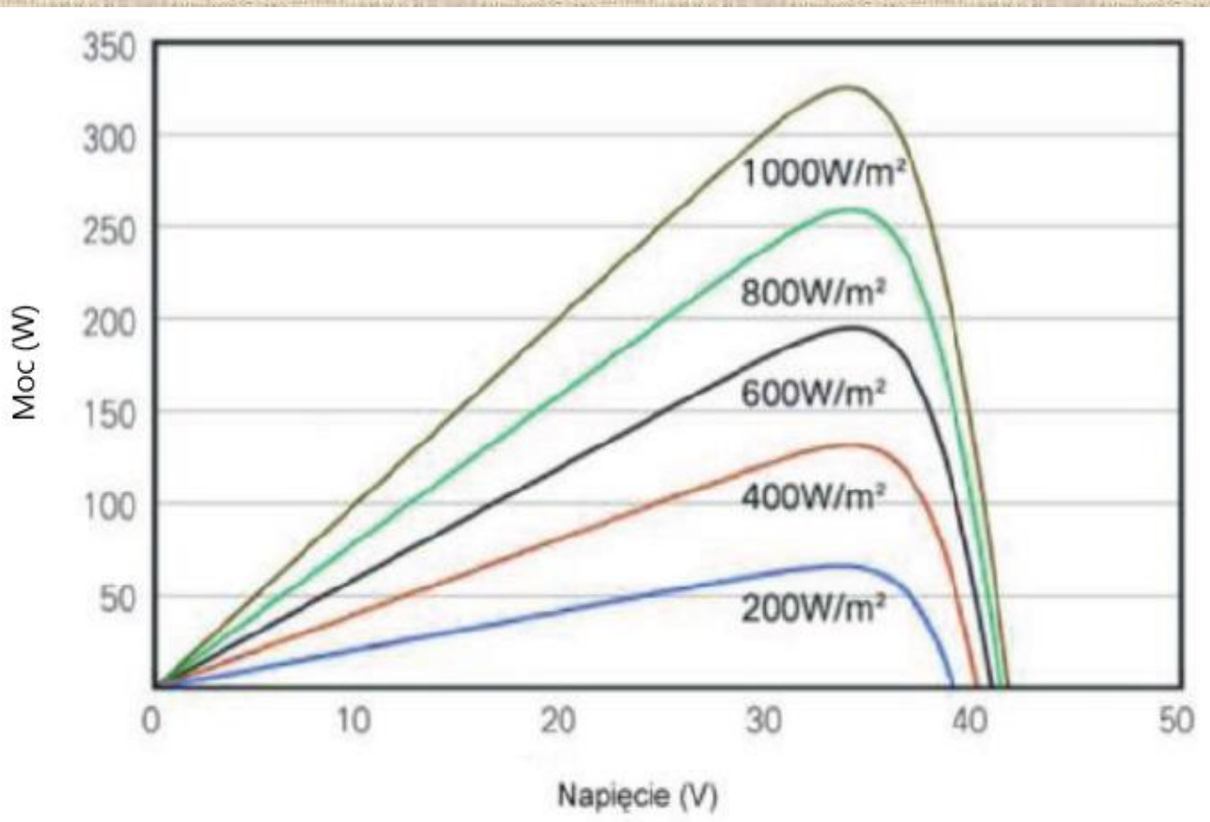
Model Number	RSM150-8-485BMDG	RSM150-8-490BMDG	RSM150-8-495BMDG	RSM150-8-500BMDG	RSM150-8-505BMDG	RSM150-8-510BMDG
Maximum Power-Pmax (Wp)	367.7	371.5	375.4	379.3	383.2	387.1
Open Circuit Voltage-Voc (V)	46.83	47.03	47.23	47.44	47.64	47.85
Short Circuit Current-Isc (A)	10.05	10.10	10.16	10.22	10.27	10.33
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.

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

$$\eta = \frac{250\ \text{Wp}}{1000\ \text{W/m2} * 1,65} * 100\ \% = 15,15\ \%$$

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

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

Natężenie = 950 W/m2

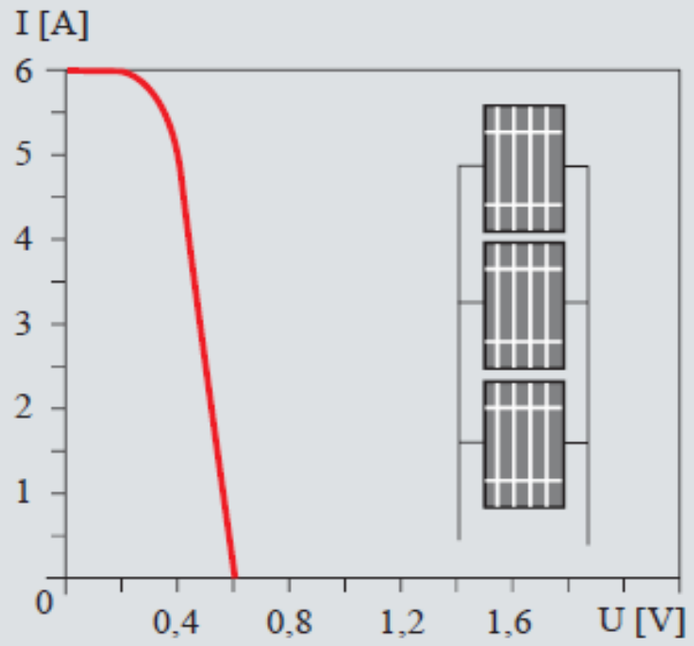
Moc chwilowa = 230,28 W

Natężenie = 200 W/m2

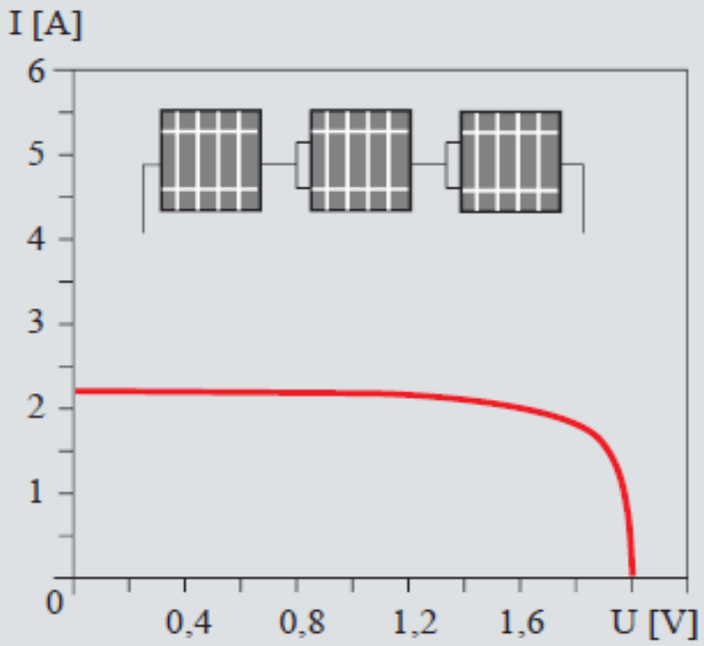
Moc chwilowa = 48,48 W

Temperatura zewnętrzna 25 C

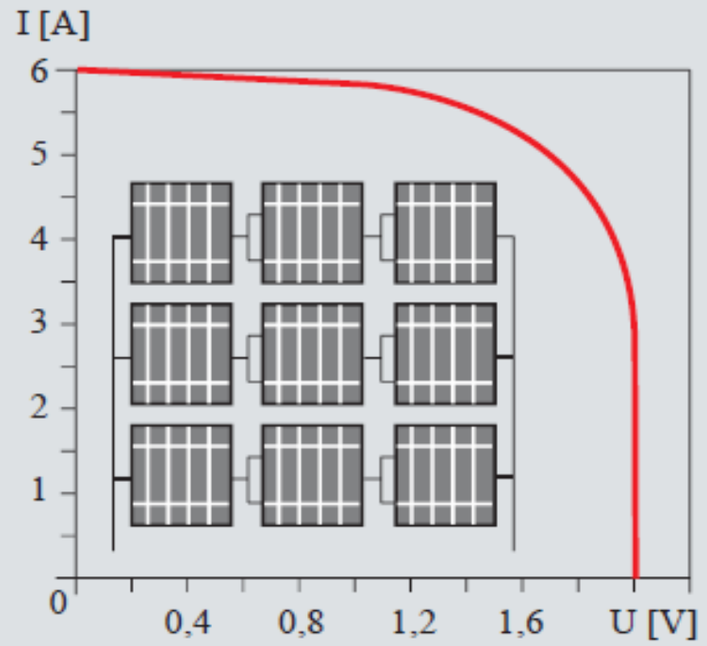
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE



Połączenia równoległe



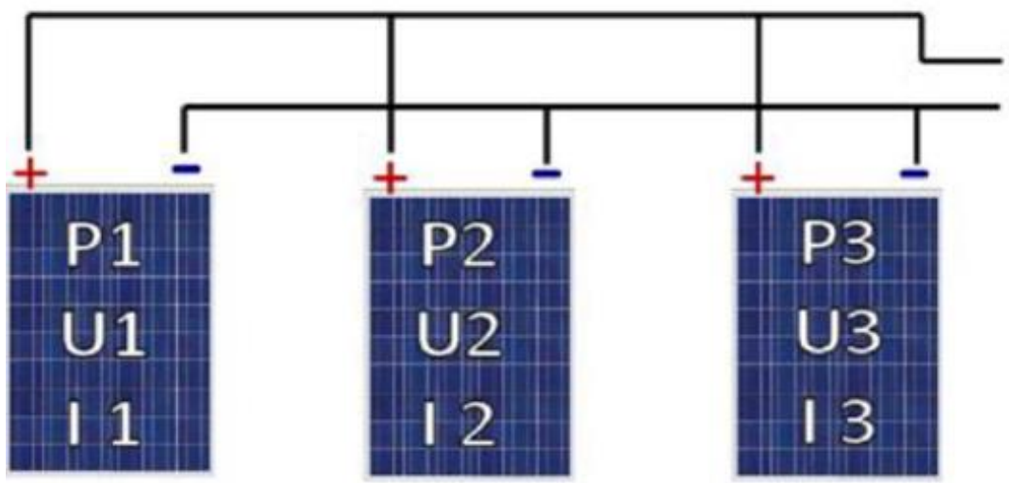
Połączenia szeregowe



Połączenia mieszane

Sposoby łączenia ogniw PV

RÓWNOLEGŁE

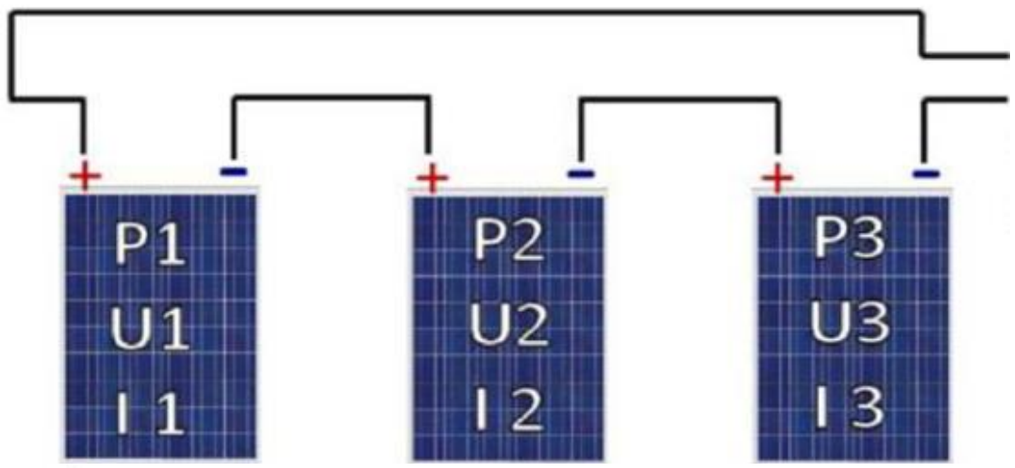


Moc instalacji P = P1 + P2 + P3

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

Zacienienie

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

AKADEMIA VIESMANN

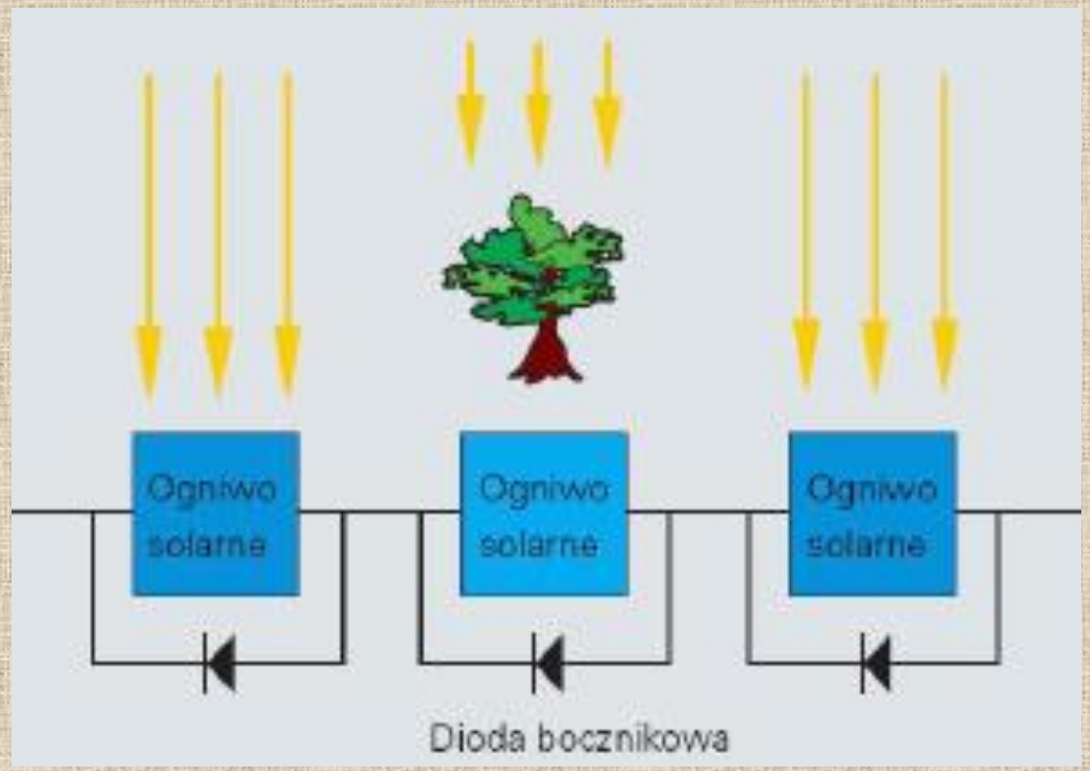
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Zacienienie - efekt Hot-Spot

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 (hot spot).

Częściowe rozwiązanie problemu Hot-Spot – diody bocznikowe.

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

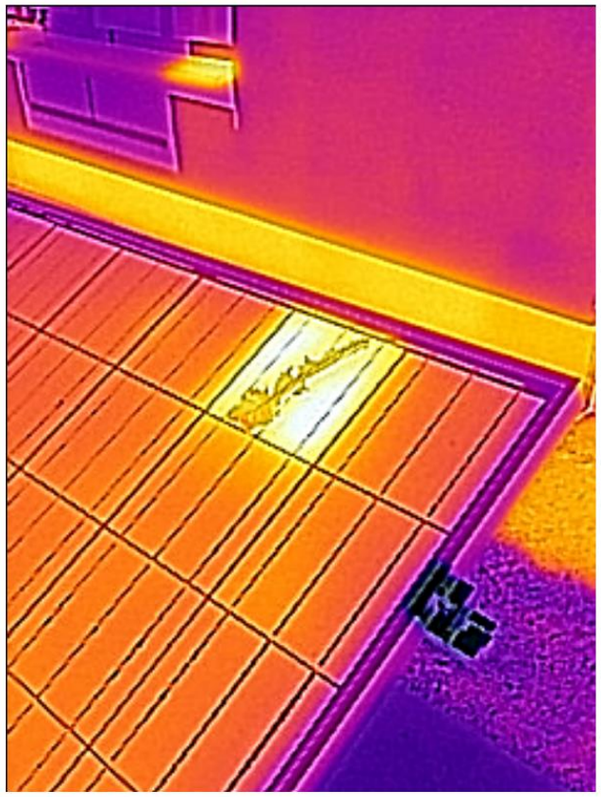


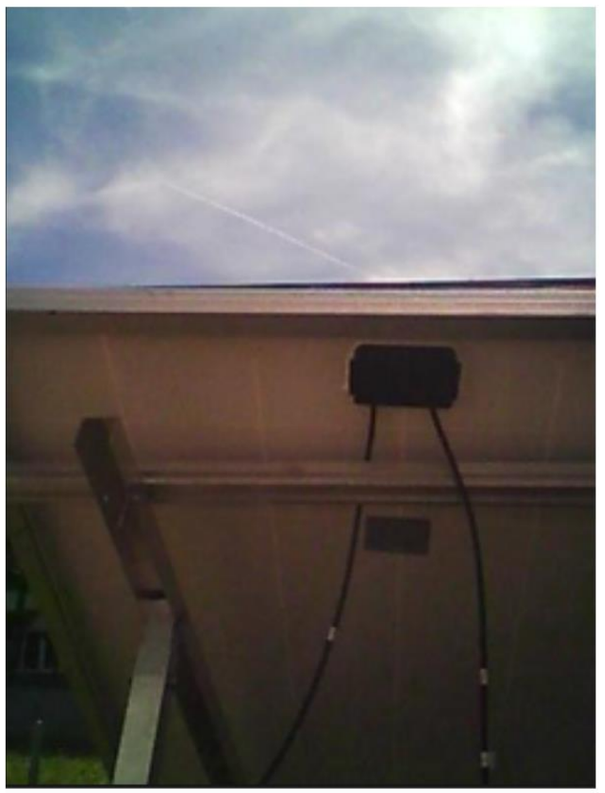
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Zacienienie - efekt Hot-Spot

Hot-spot wywołany liściem na module fotowoltaicznym. Zdjęcie wykonane z dwóch stron modułu. Temperatura na module ok 50^{O}C, po 10 minutach w miejscu liścia wzrost temperatury do 70^{O}C.

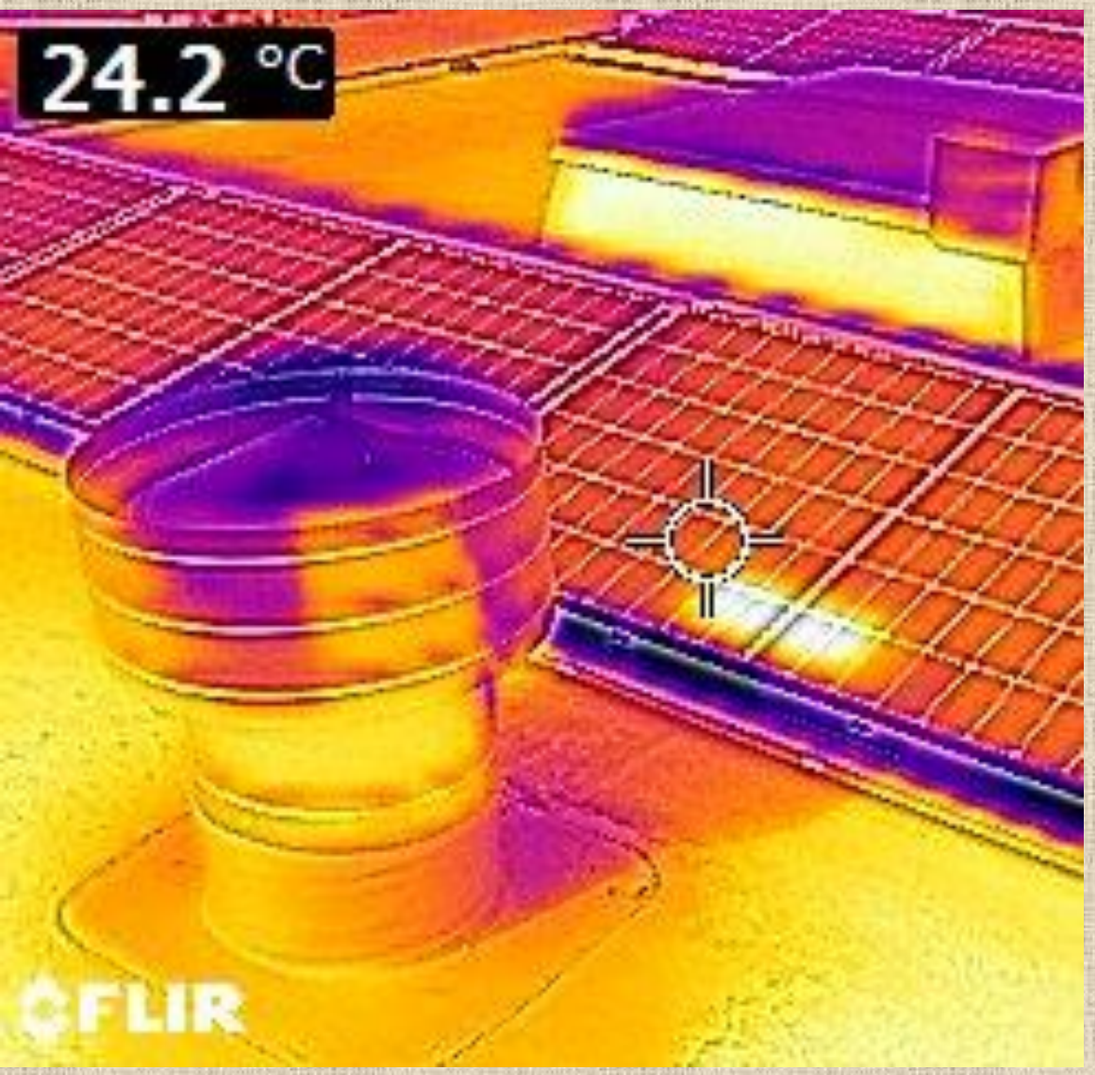
OPRACOWAŁ:
dr inż. Marcin Michalski

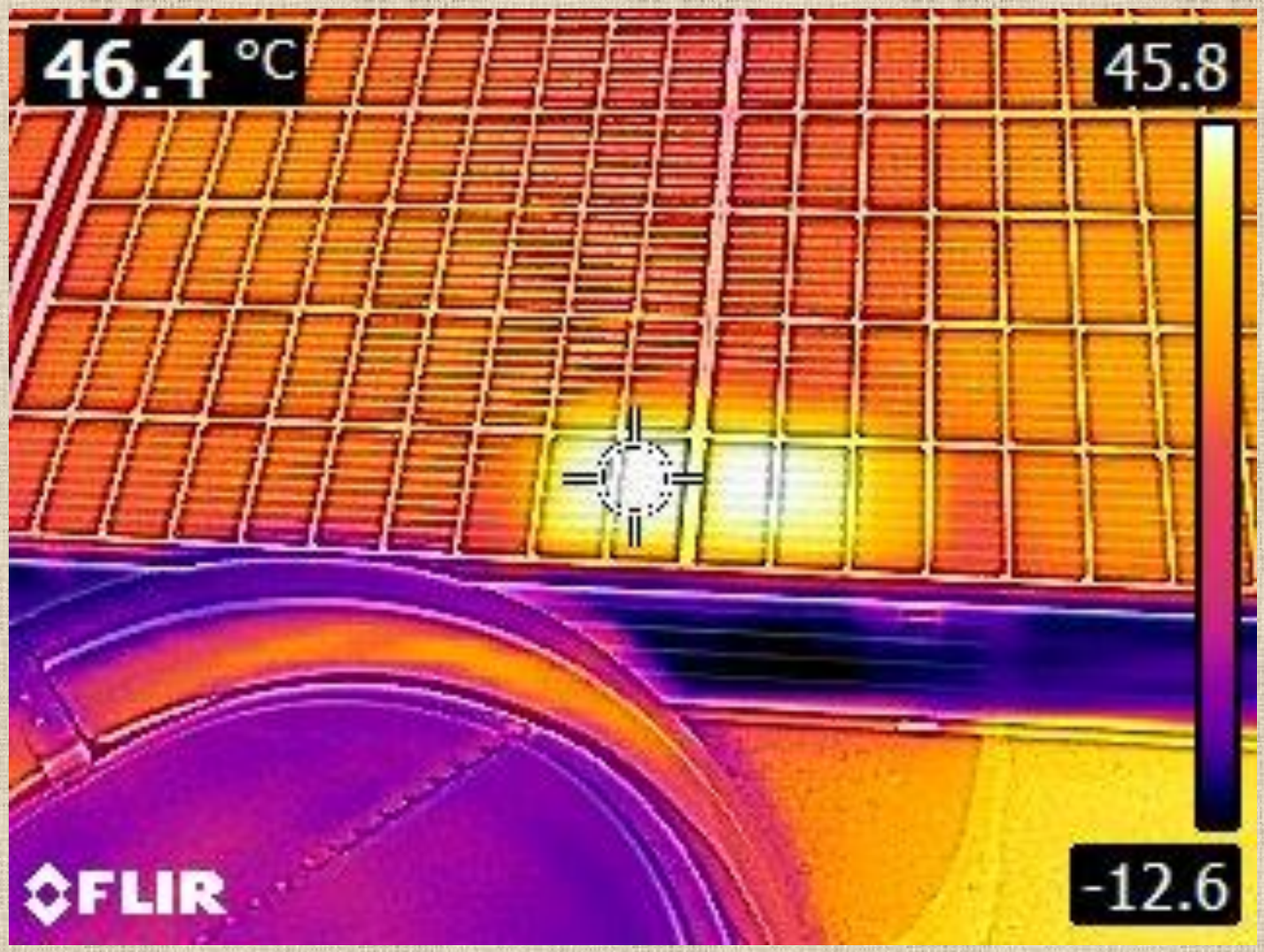




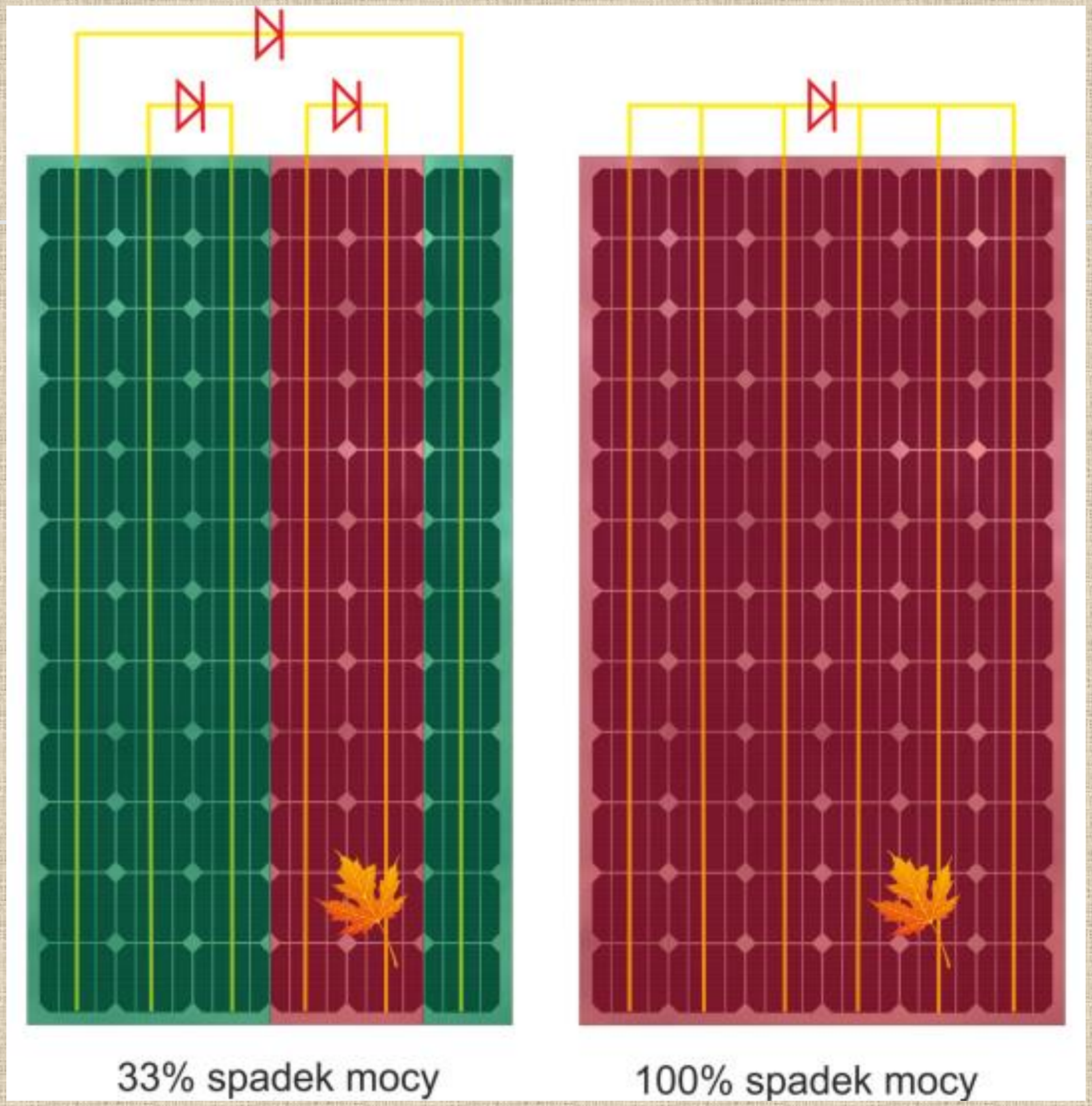
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Zacienienie - efekt Hot-Spot



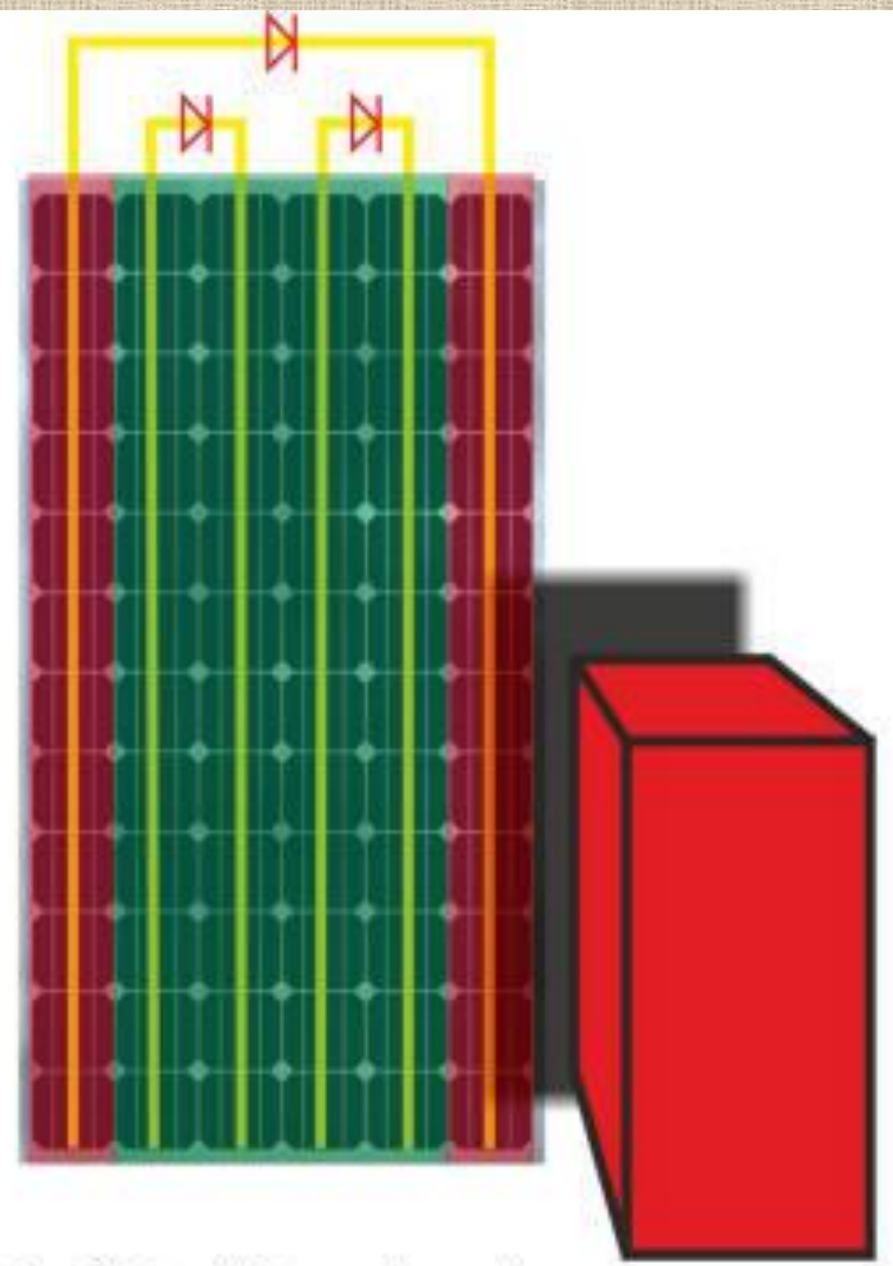


MODUŁY FOTOWOLTAICZNE



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

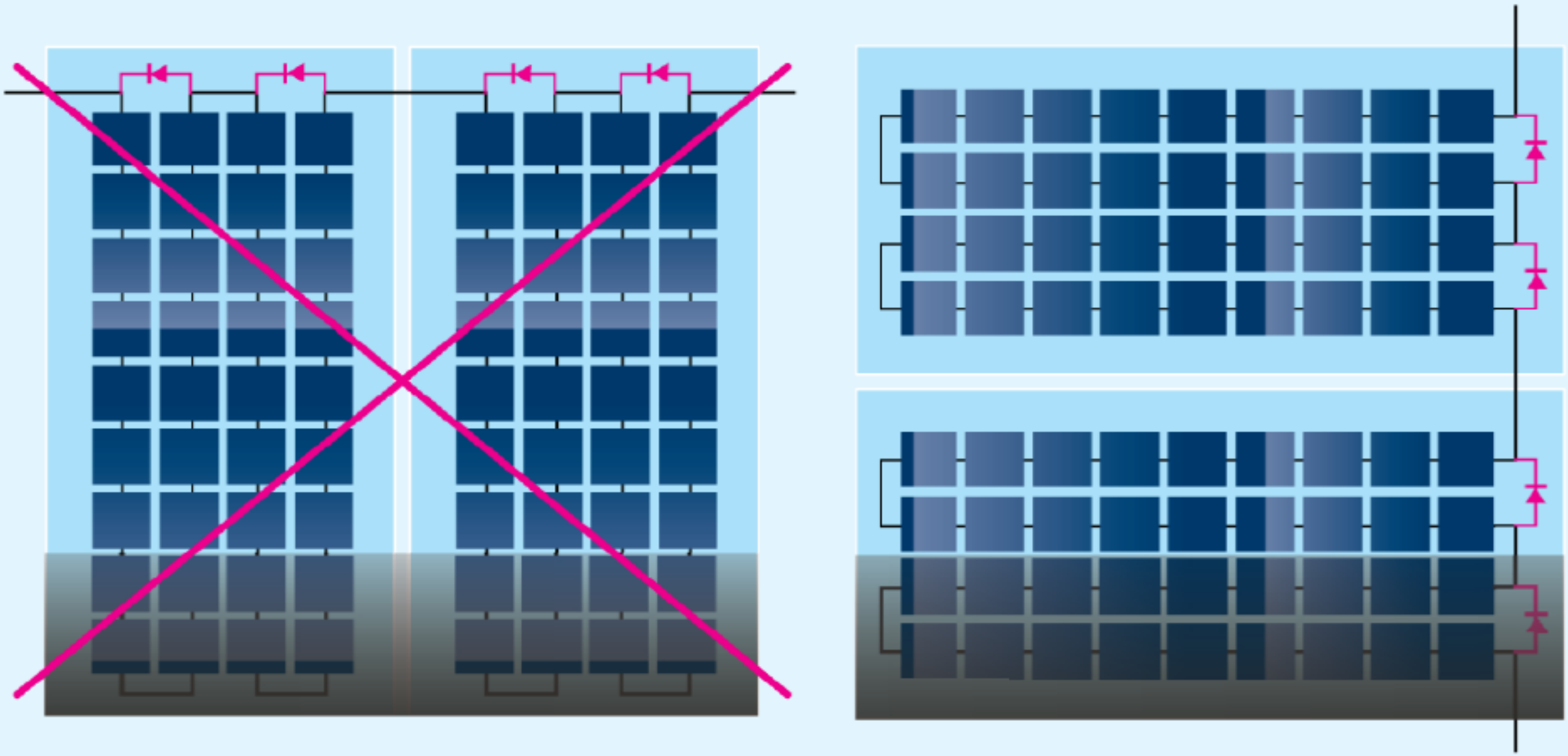
Każdy z 3 łańcuchów ogniw wyłączony
z uwagi na zacienienie.
Produkcja energii równa0% mocy nominalnej.



1 z 3 łańcuchów ogniw wyłączony
z uwagi na zacienienie.
Produkcja energii równa 66% mocy nominalnej

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

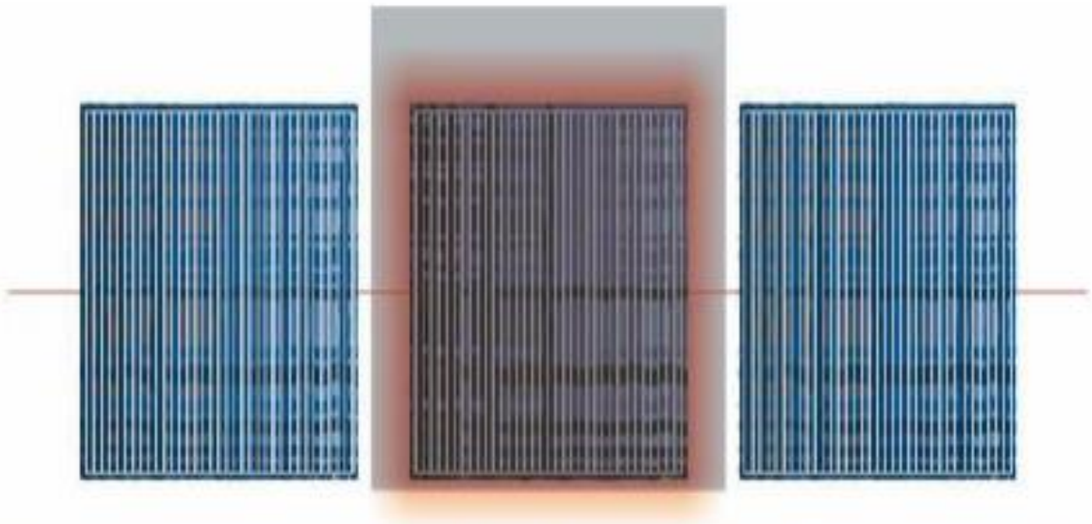
Jeżeli nie można uniknąć cienia to należy zwracać uwagę na ułożenie modułów



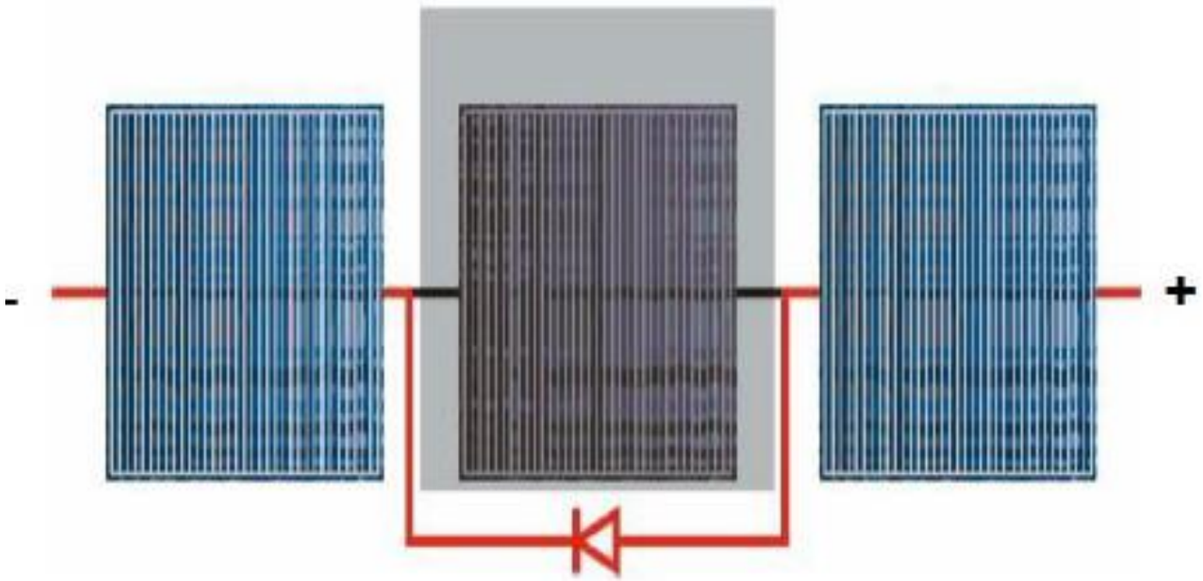
AKADEMIA VIESMANN

Moduł zawierający diody obejściowe

Zacienienie

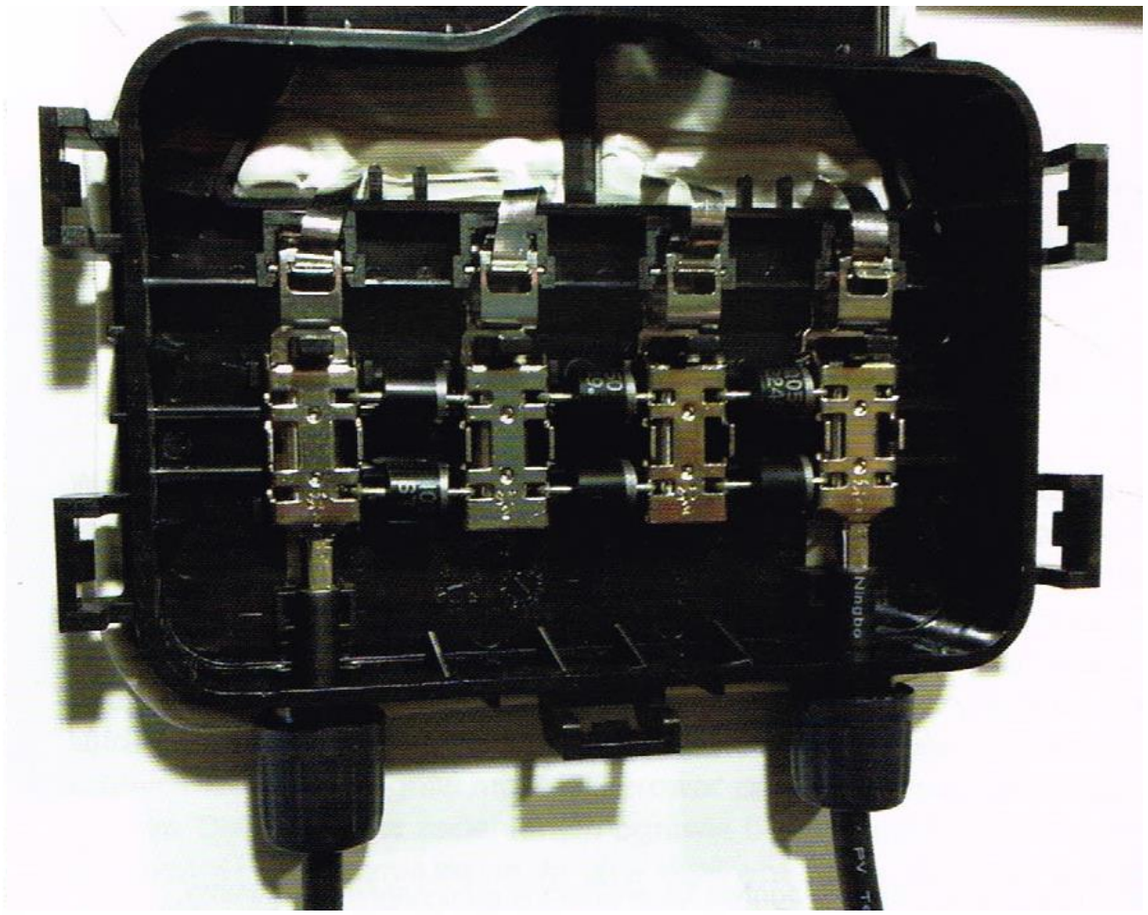


Cele ogrzewając się działają jak opornik



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

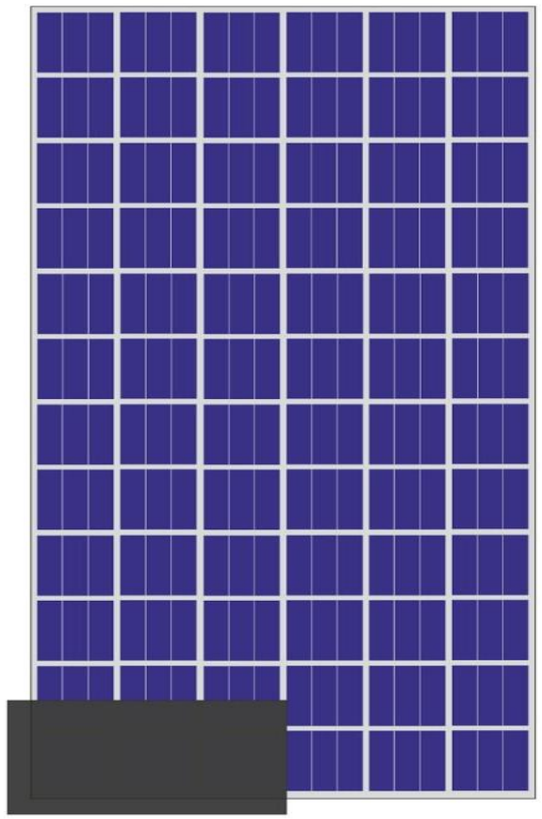
Pozostałe 75% nośników z niezacienionych ogniw rekombinuje w zacienionym obszarze jednego ogniwa i oddaje swoją energię w postaci ciepła.



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

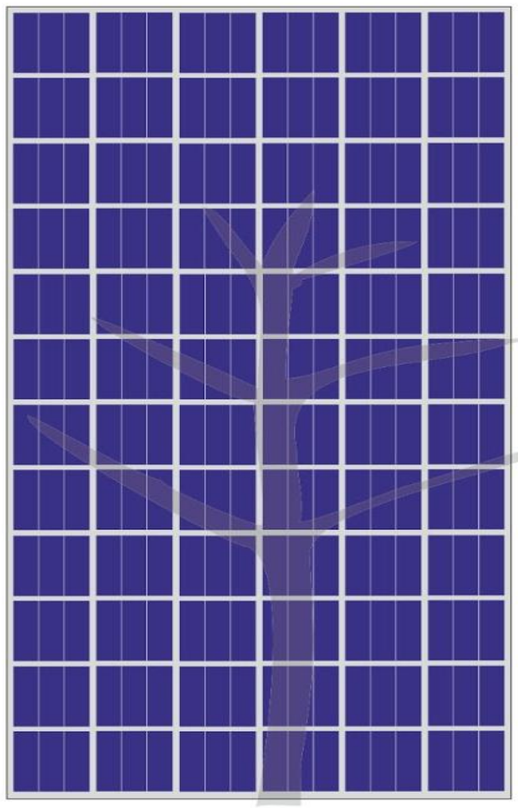
Silne zacienienie

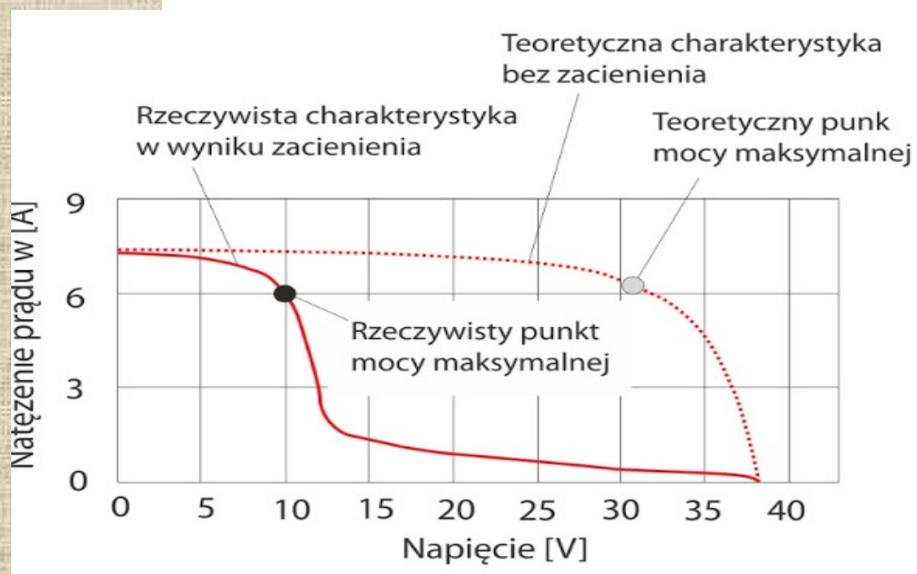
Moduł zbudowany z 72 ogniw z 3 diodami bocznikującymi

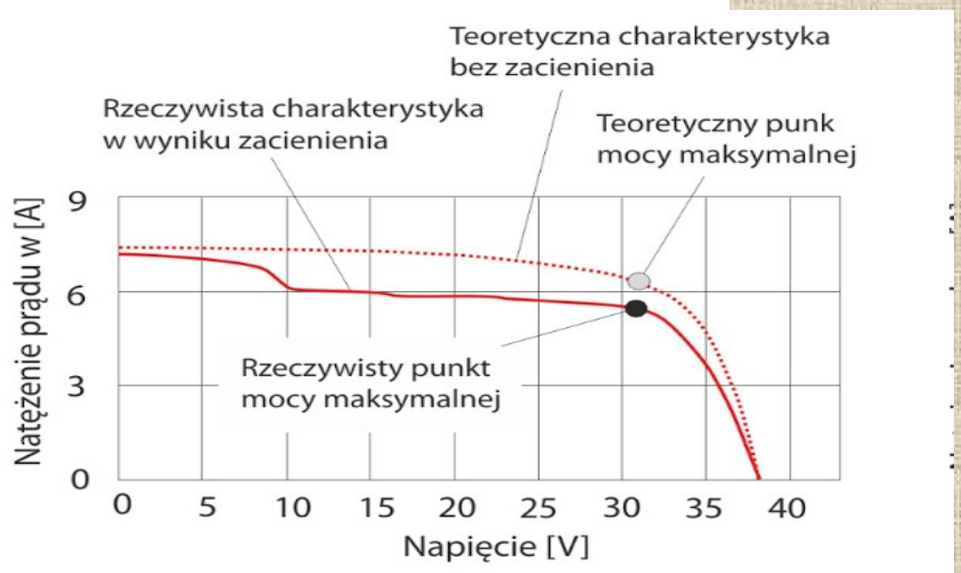


Lekkie zacienienie

Moduł zbudowany z 72 ogniw z 3 diodami bocznikującymi

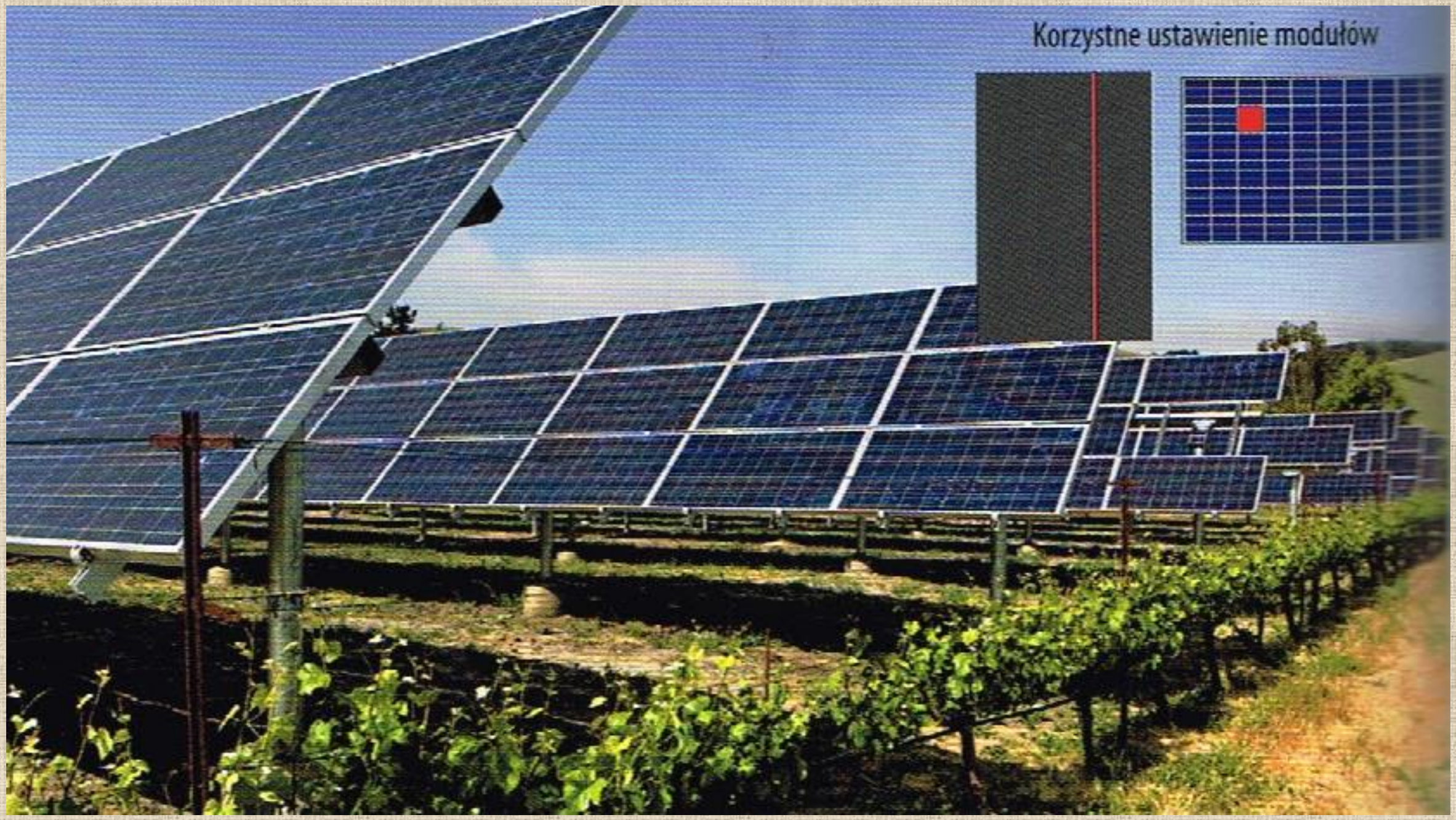






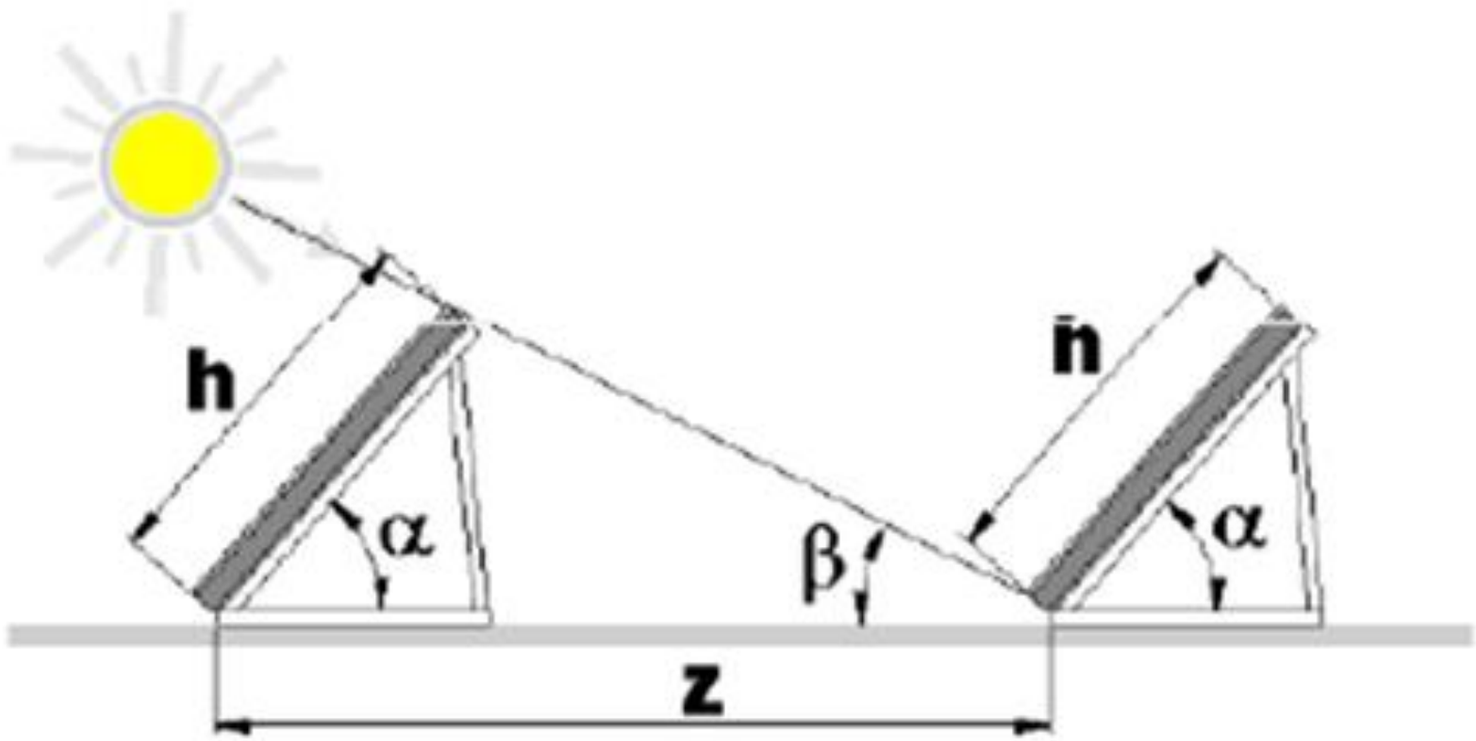
Źródło: http://solaris18.blogspot.com/

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Rozstaw rzędów modułów (dach płaski, grunt)



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

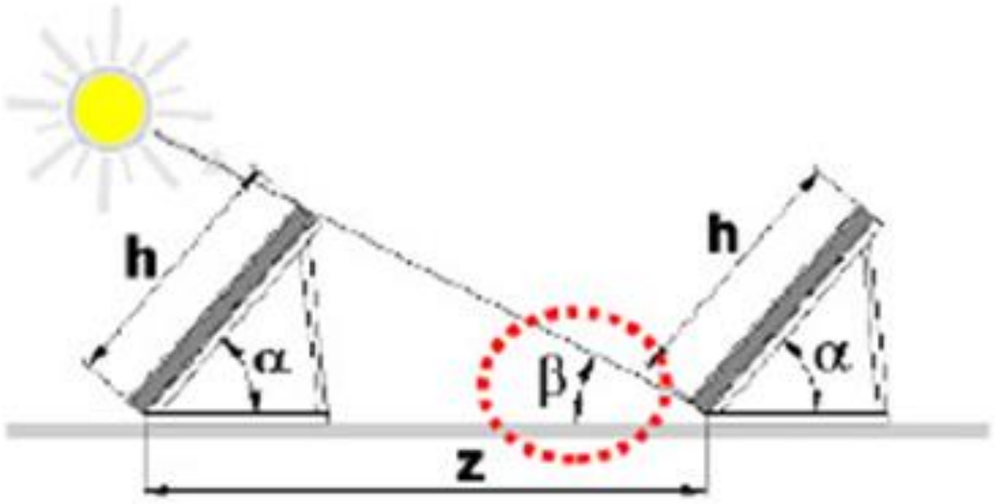
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Odstęp między rzędami modułów (dach płaski, grunt)

Kąt β

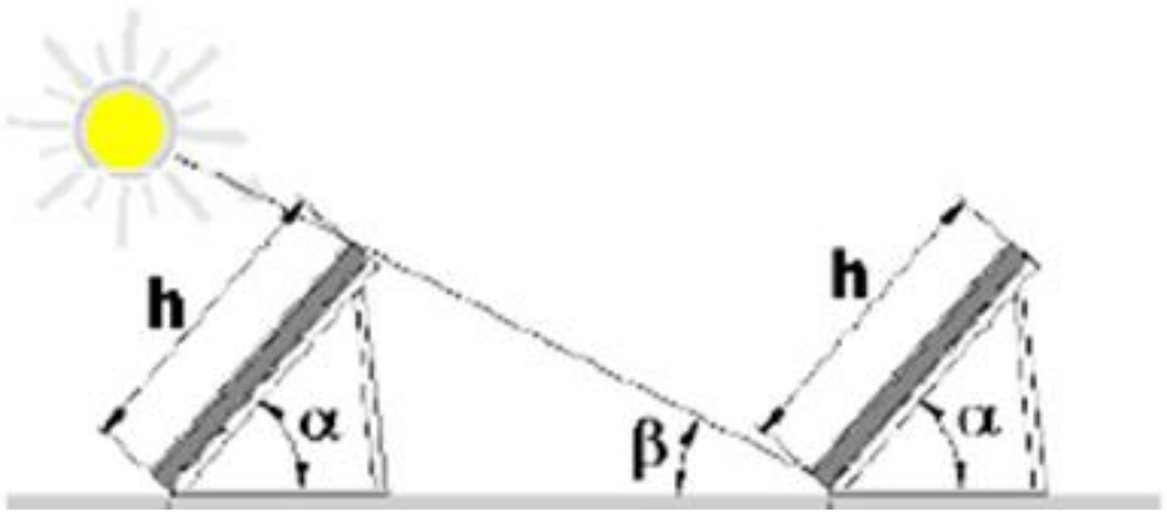
- w Polsce minimalny kąt padania promieni słonecznych (21 grudnia), wynosi:

od 13 do 16°



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Odstęp między rzędami modułów (dach płaski, grunt)



- Viessmann
  h = 1,056 m
- Lokalizacja instalacji:
  Bydgoszcz, β = 14°
- Nachylenie
  α = 45°

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

- **Odstęp minimalny:**
  z = 3,74 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