
SYSTEMY ENERGETYKI ODNAWIALNEJ

W2:

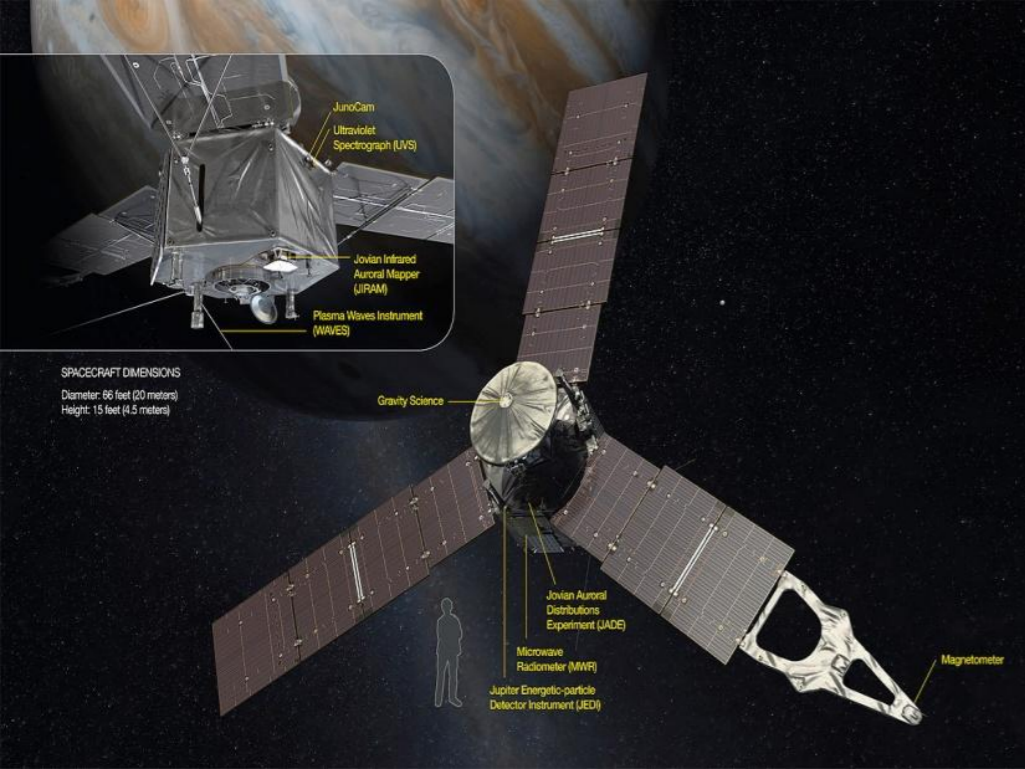
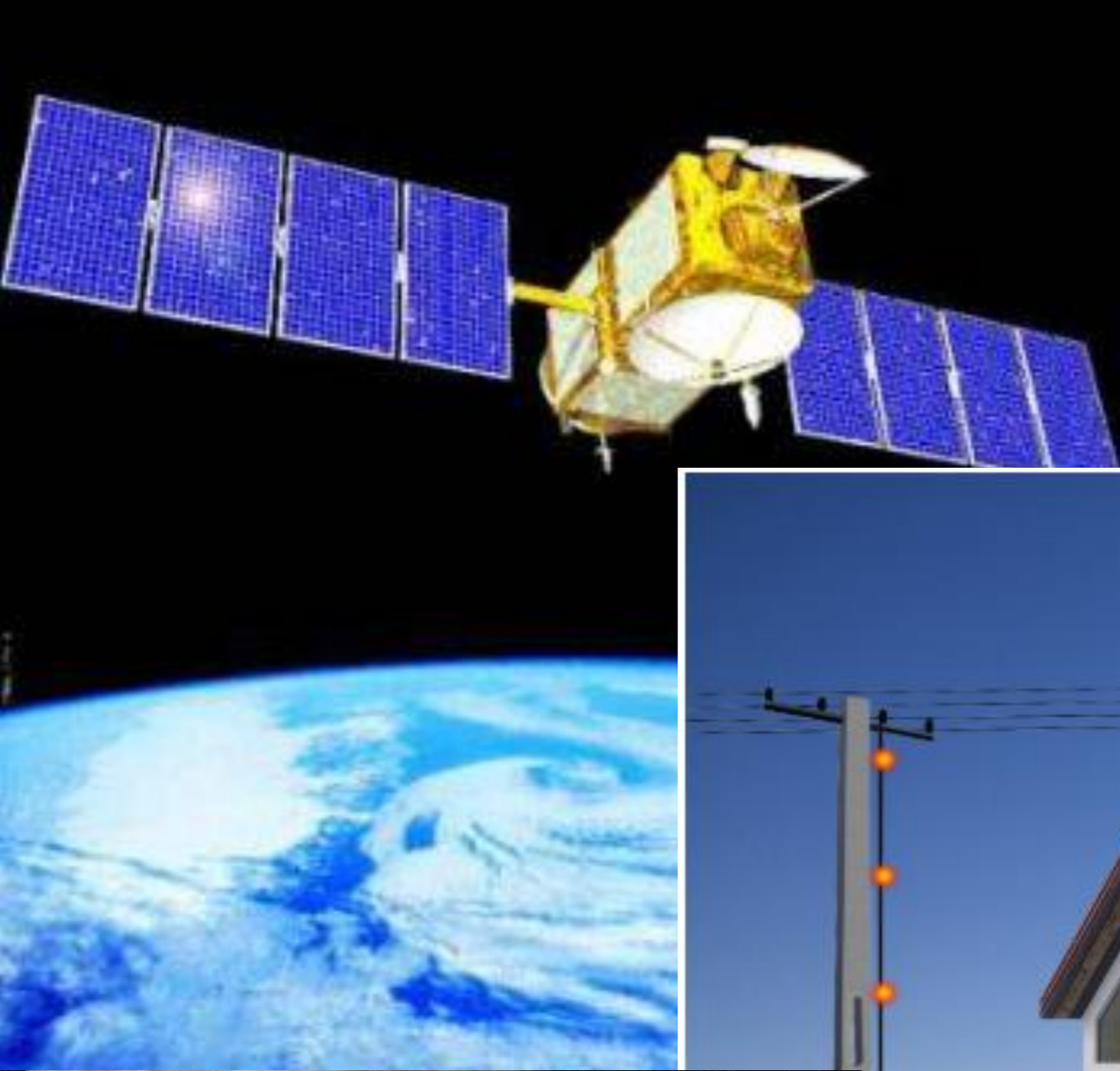
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Prowadzący:

dr inż. Marcin Michalski

mgr inż. Sebastian Majerski

Technologia kosmiczna w domu?



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE



1839 r.

Powstaje idea zbudowania materiału, który potrafi zamieniać promieniowanie słoneczne w prąd elektryczny. Francuski fizyk Antoine-Cesar Becquerel publikuje swoje badania.



1902 r.

Philipp von Lenard odkrywa zależność między energią emitowaną elektronów, a intensywnością światła padającego na daną powierzchnię.



1904 r.

Wilhelm Hallwachs odkrywa że złącze miedzi i tlenku miedzi jest światłoczułe.



1905 r.

Albert Einstein wyjaśnia efekt fotoelektryczny za co w 1921 roku otrzymuje Nagrodę Nobla. Udowadnia, że promieniowanie słoneczne (fotony) oddziałując z elektronami znajdującym się na powierzchni np. metalowej płytki, przekazują im całą swą energię, powodując ich „odrywanie”.



1918 r.

Jan Czochralski opracowuje metodę produkcji monokryształów krzemu. Metoda stosowana jest do dziś z powodu możliwości wytwarzania bardzo czystego krzemu.

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE



1941 r.

Russell Ohl konstruuje pierwsze krzemowe ogniwo słoneczne, które jest w pełni sprawne, ale posiada minimalną wydajność.



1954 r.

Trzech Amerykanów: G.L. Pearson, Daryl Chapin i Calvin Fuller zademonstrowało ulepszone ogniwo słoneczne, które przetwarzało padające promienie słoneczne w energię elektryczną. Sprawność: 6%.

KOLEJNE LATA

Do końca lat 60. krzemowe ogniwa osiągają sprawność 14%. Krzem zostaje podstawowym materiałem do produkcji ogniw fotowoltaicznych ze względu na dużą dostępność i opracowane metody przetwarzania. Jedynie w przemyśle kosmicznym stosuje się ogniwa wytworzone z arsenku galu, ponieważ posiadają one nieporównywalnie większą wydajność, jednak cena ich produkcji również jest kosmiczna.

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

CENY MODUŁÓW PV

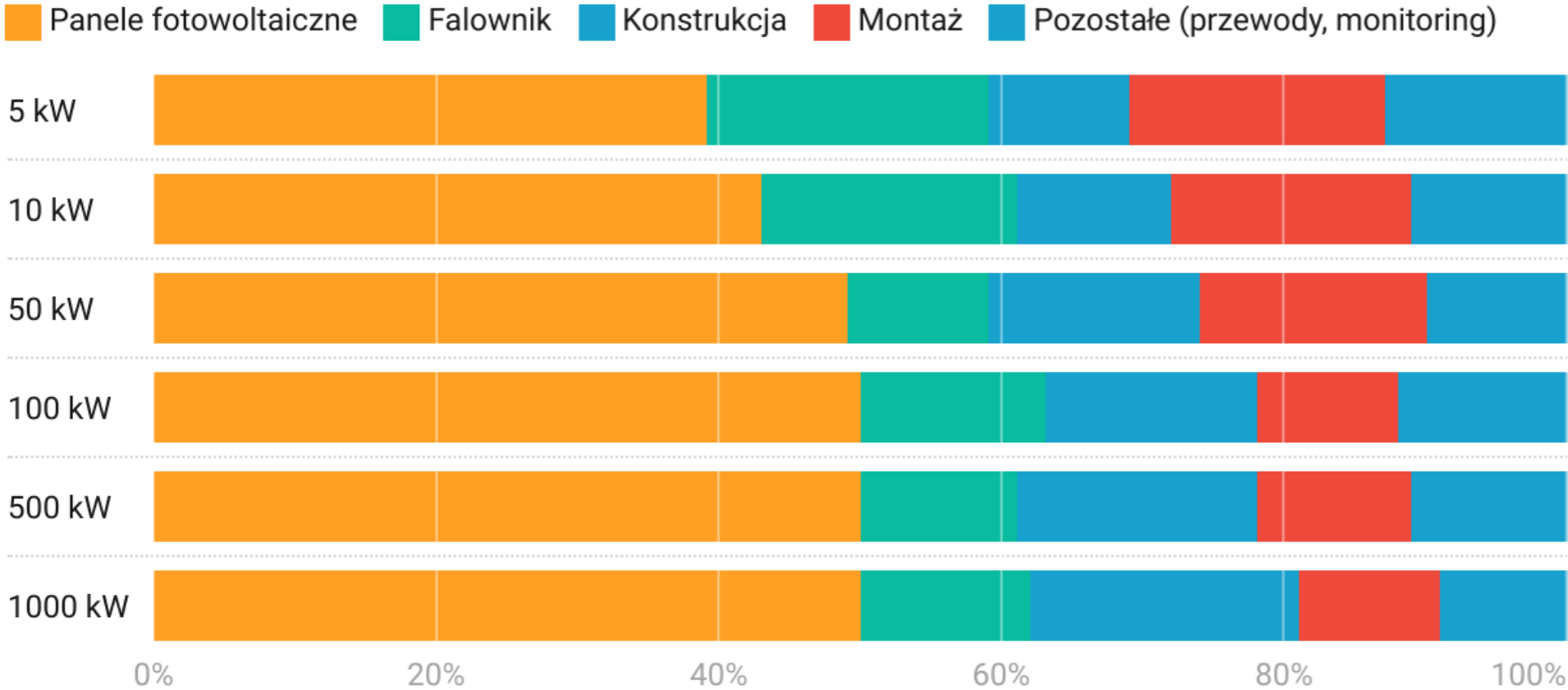
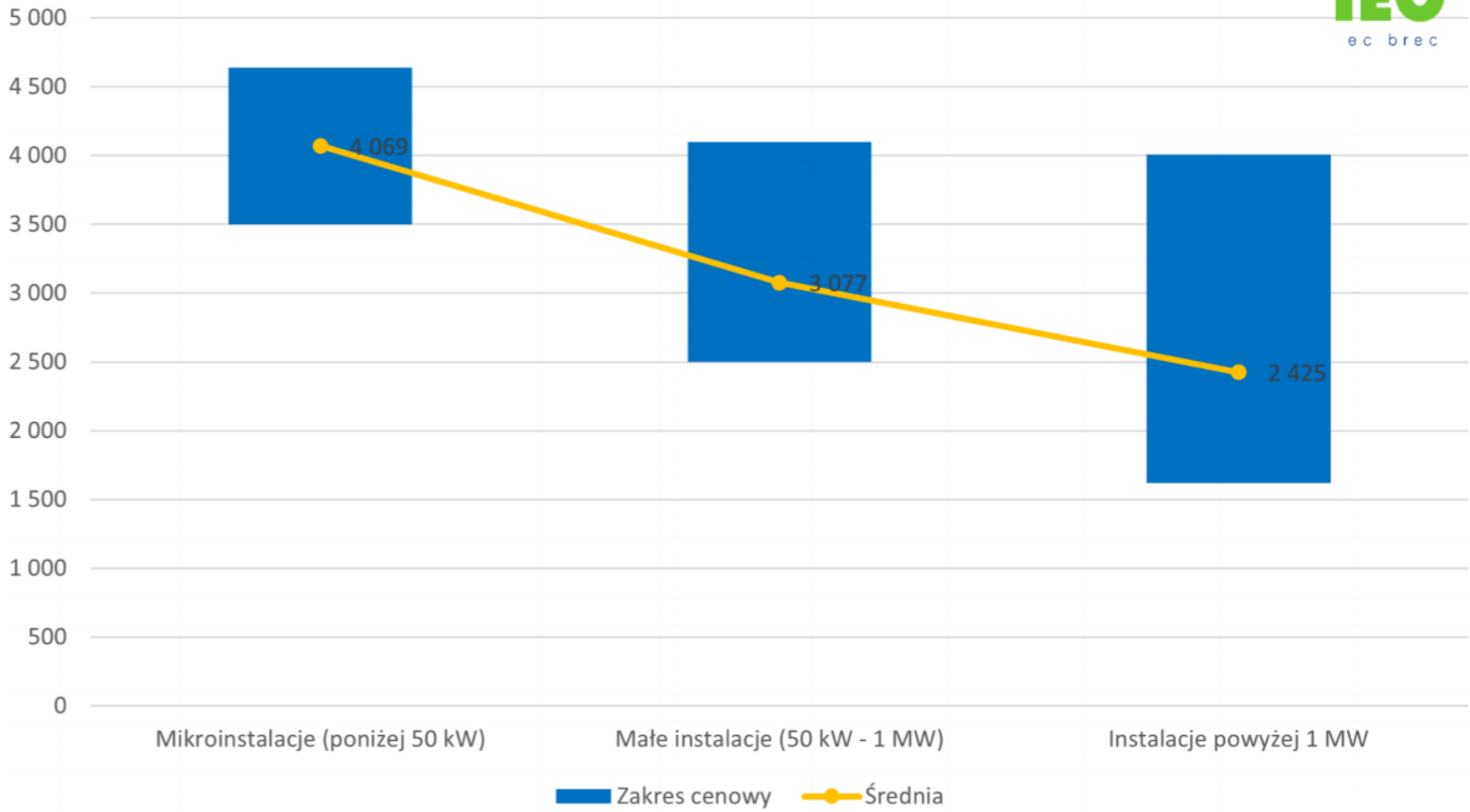
Średnia cena modułów fotowoltaicznych (PLN/Wp)



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE CENY INSTALACJI PV

Jednostkowe ceny netto instalacji PV w zależności od mocy. Oprac. IEO

Jednostkowy koszt netto instalacji PV w zależności od mocy instalacji w 2024 roku [PLN/kW]



Procentowy udział kosztów urządzeń w instalacji PV w zależności o mocy

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Generacje ogniw fotowoltaicznych:

ogniwa fotowoltaiczne I generacji - są to klasyczne ogniwa złożone niemal 100% krzemu, posiadające tradycyjne złącze p-n. Stanowią 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 rynku 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%.

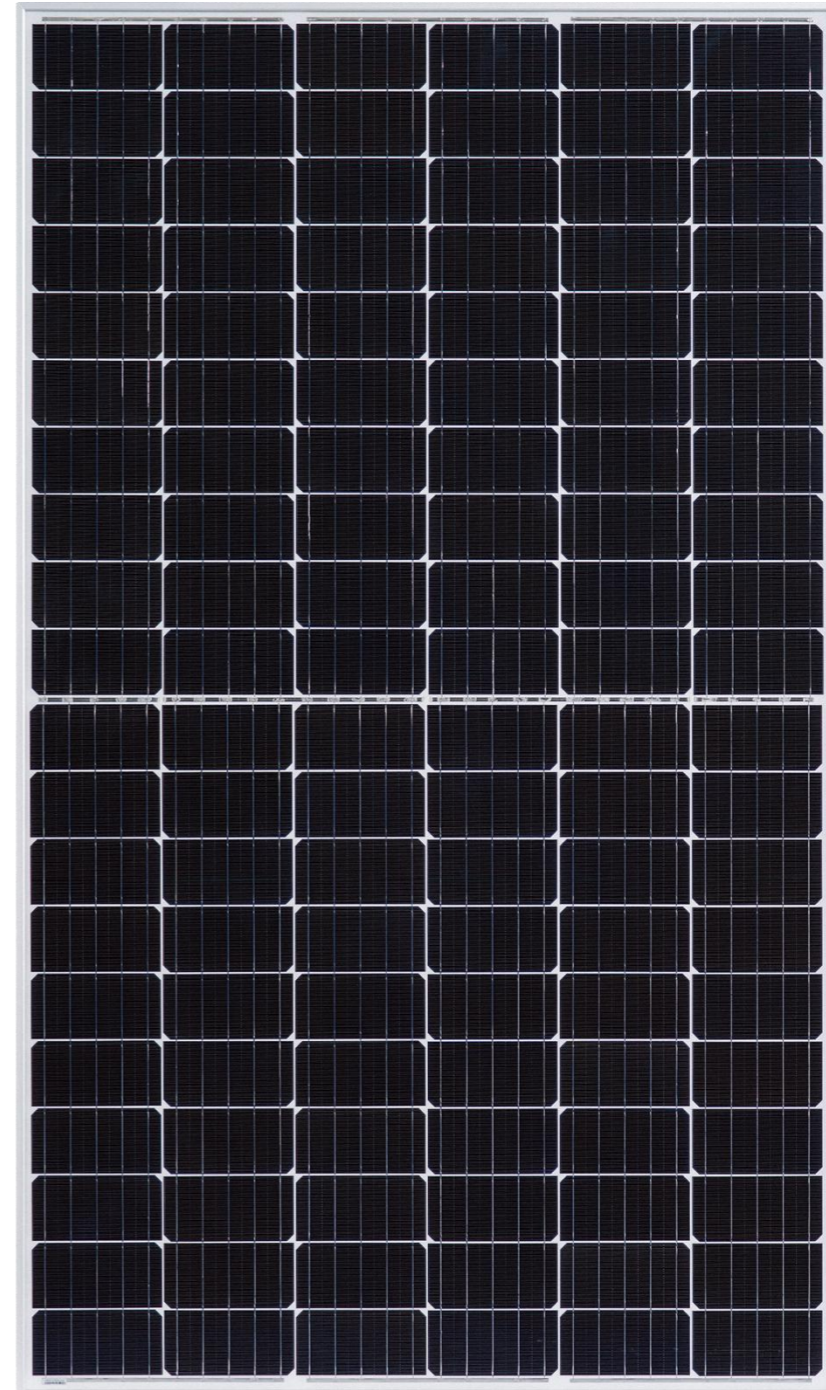
System fotowoltaiczny korzysta z energii słońca. Jego wielką zaletą jest to, że działa niezależnie od sieci energetycznej i gwarantuje stałe dostawy nawet w przypadku awarii. Co ciekawe produkuje energię nawet w pochmurne dni.

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Ogniwa fotowoltaiczne I generacji

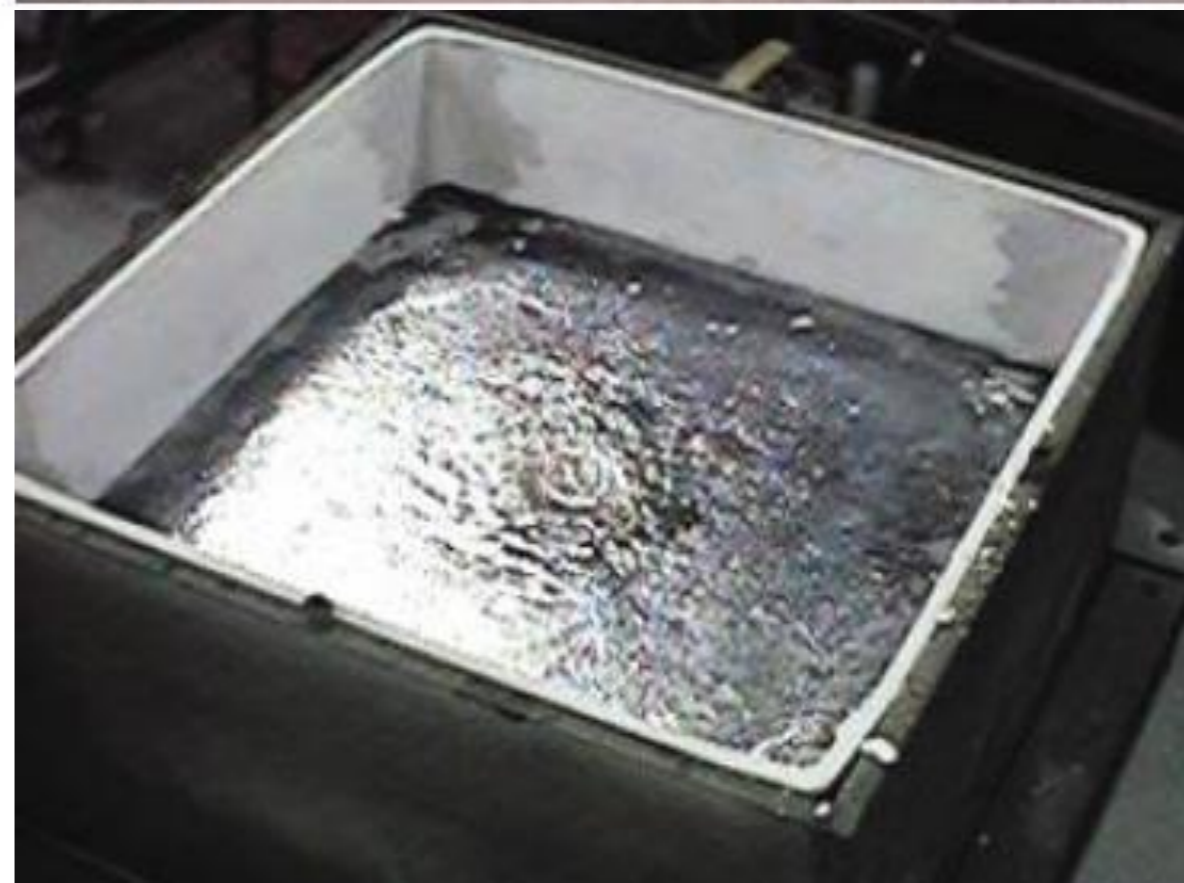
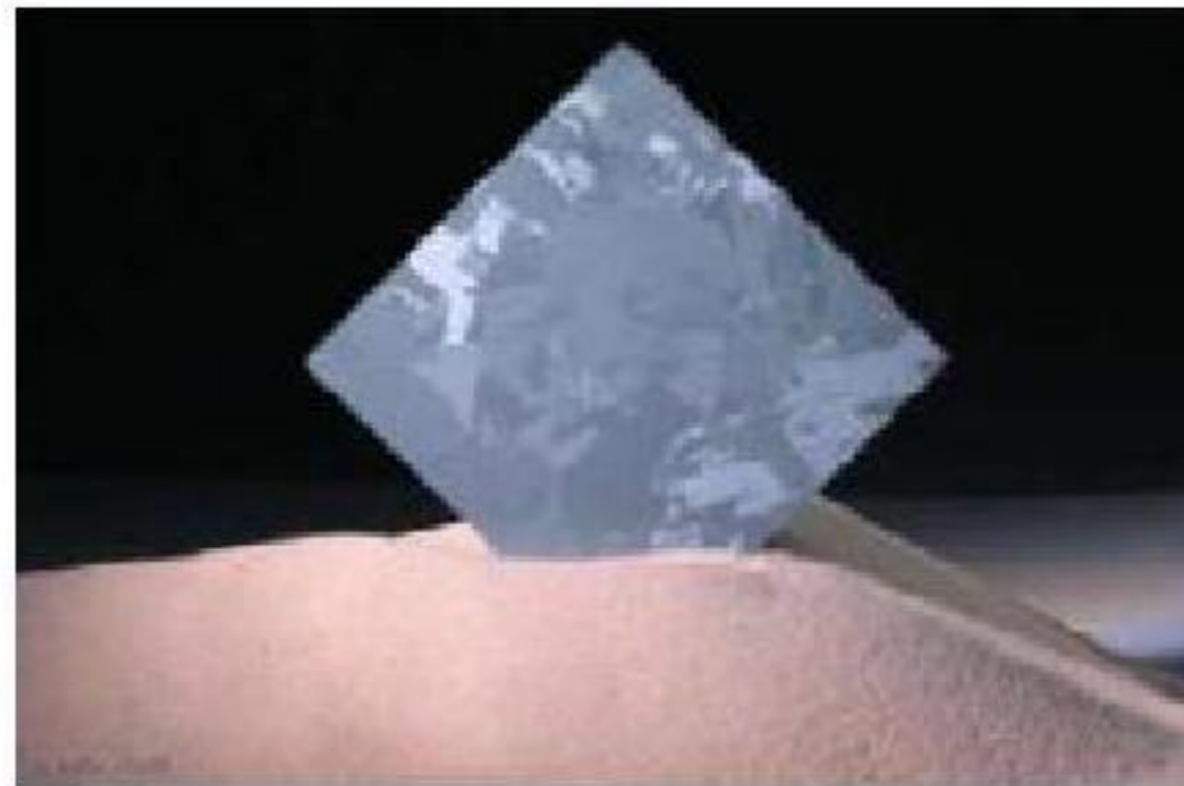
MODUŁ POLIKRYSTALICZNY
SPRAWNOŚĆ: 15% - 18%

MODUŁ MONOKRYSTALICZNY
SPRAWNOŚĆ: 20% - 23%



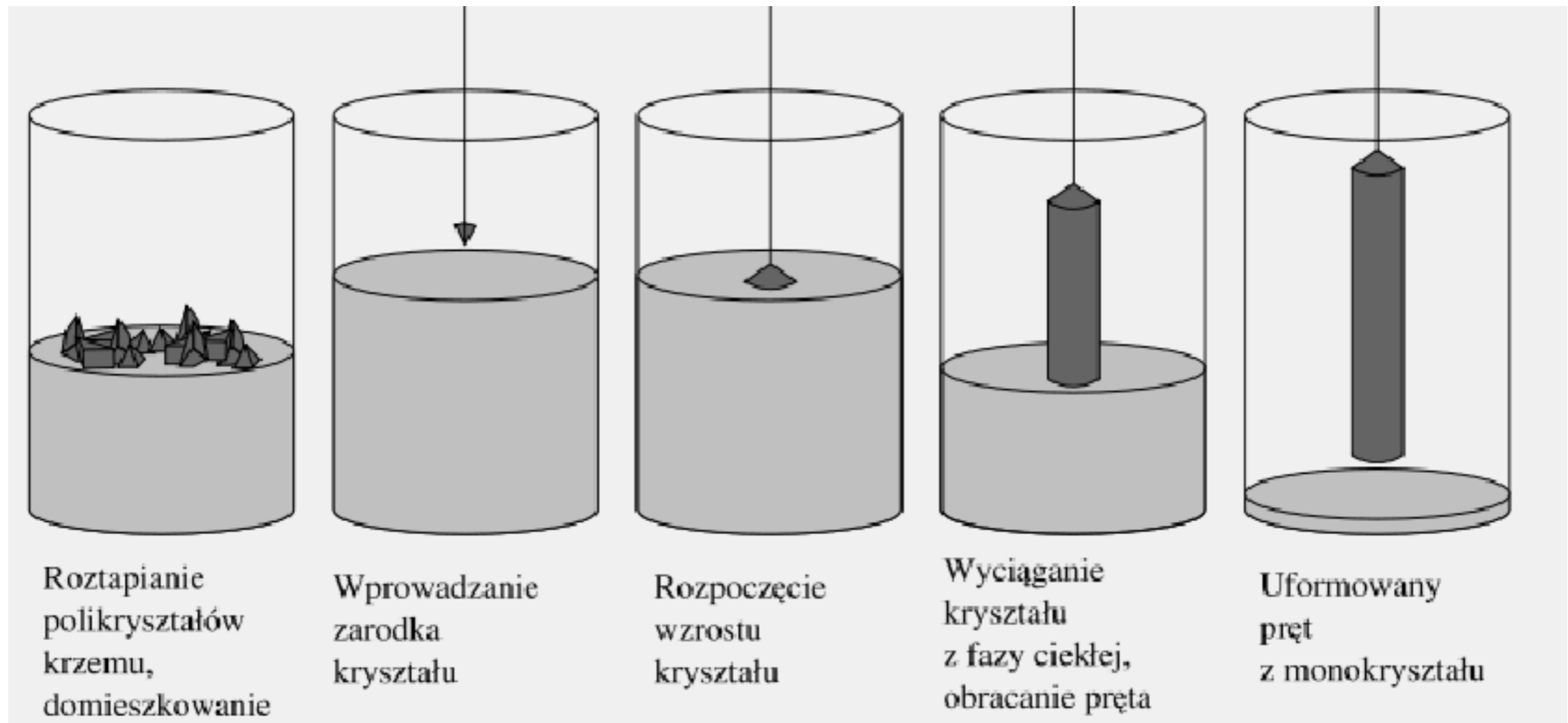
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Technologia wytwarzania ogniw I generacji



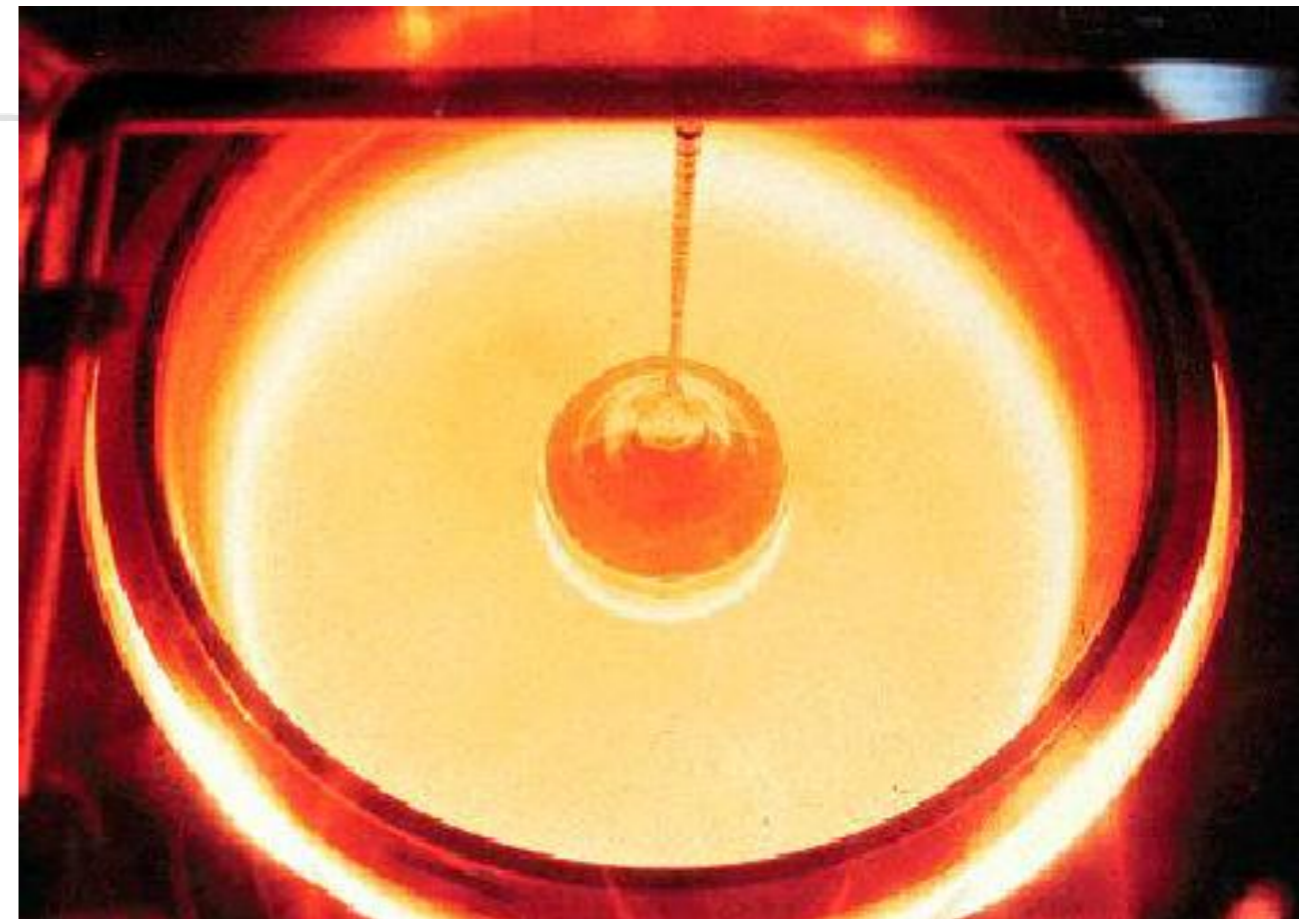
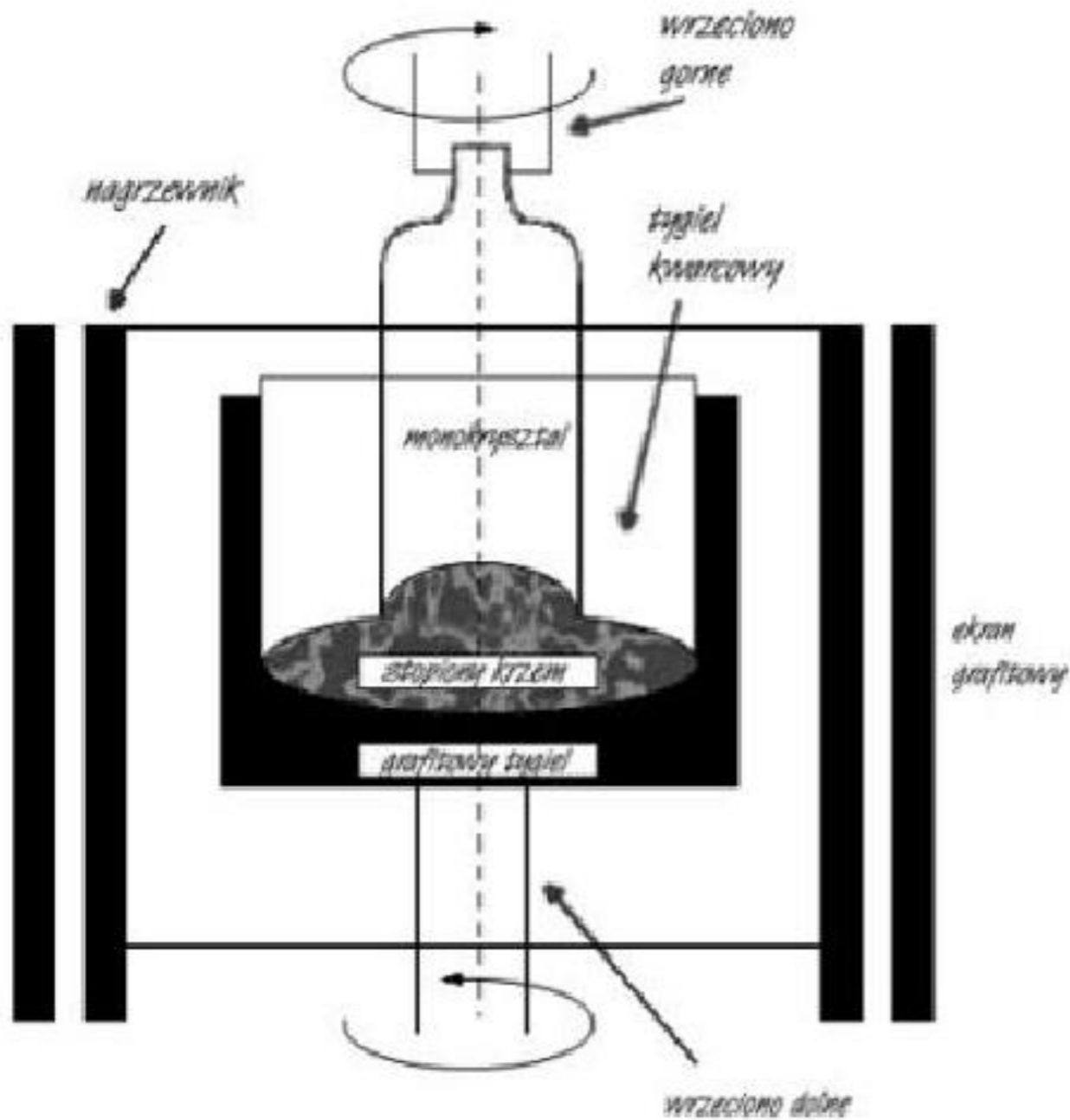
Metoda Jana Czochralskiego - technika otrzymywania monokryształów, która polega na powolnym, stopniowym wyciąganiu z roztopionego materiału zarodka krystalicznego w sposób zapewniający kontrolowaną i stabilną krystalizację na jego powierzchni. Dodatkowo, jeśli wymagają tego warunki procesu krystalizacji 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

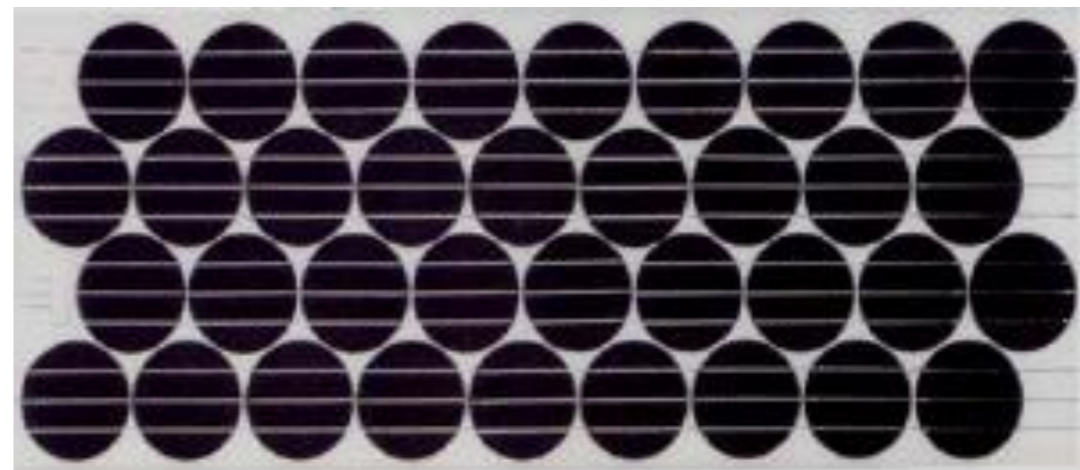
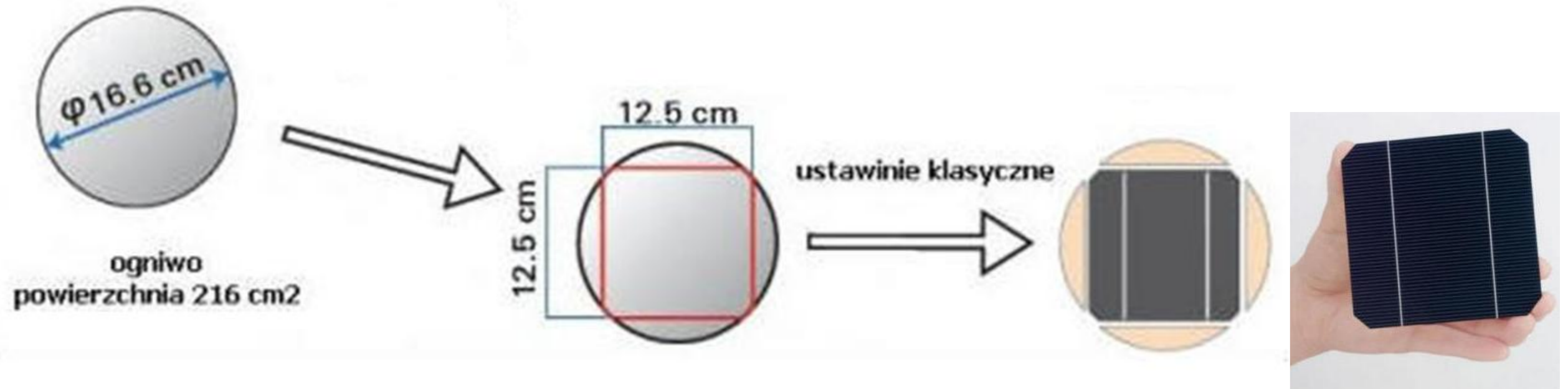
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Technologia wytwarzania ogniw I generacji



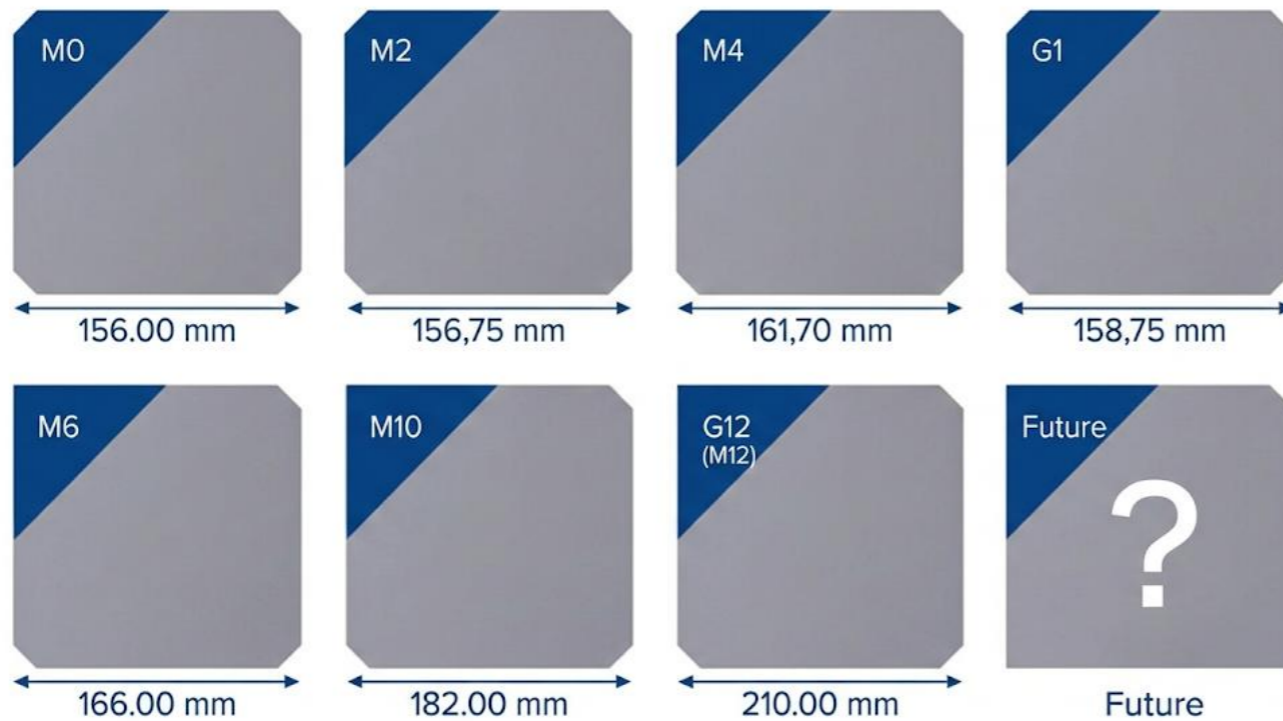
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Technologia wytwarzania ogniw I generacji



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Rodzaje wafli krzemowych ogniw I generacji



Nazwa formatu	Wymiary boku (mm)	Powierzchnia (cm ²)	Status rynkowy
M0	156.00 x 156.00	243.36	Wycofany / Serwisowy
M2	156.75 x 156.75	245.71	Schytkowy
M4	161.70 x 161.70	261.47	Rzadko spotykany
G1	158.75 x 158.75	252.02	Starsze instalacje
M6	166.00 x 166.00	275.56	Popularny (standard 2020/21)
M10	182.00 x 182.00	331.24	Obecny standard rynkowy
G12 (M12)	210.00 x 210.00	441.00	Standard dla modułów dużej mocy

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Klasy wykonania:

- A – ogniwa pozbawione skaz
 - B – ogniwa z nielicznymi skazami
 - C – ogniwa z licznymi skazami
-

NORMY:

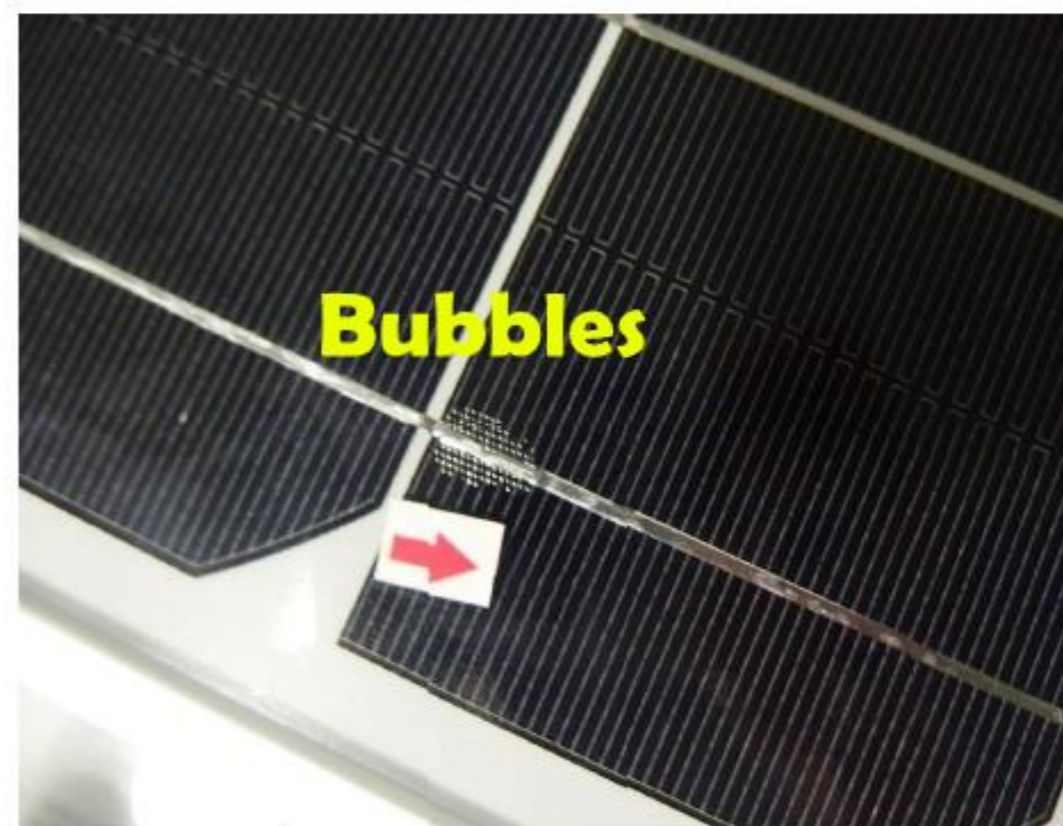
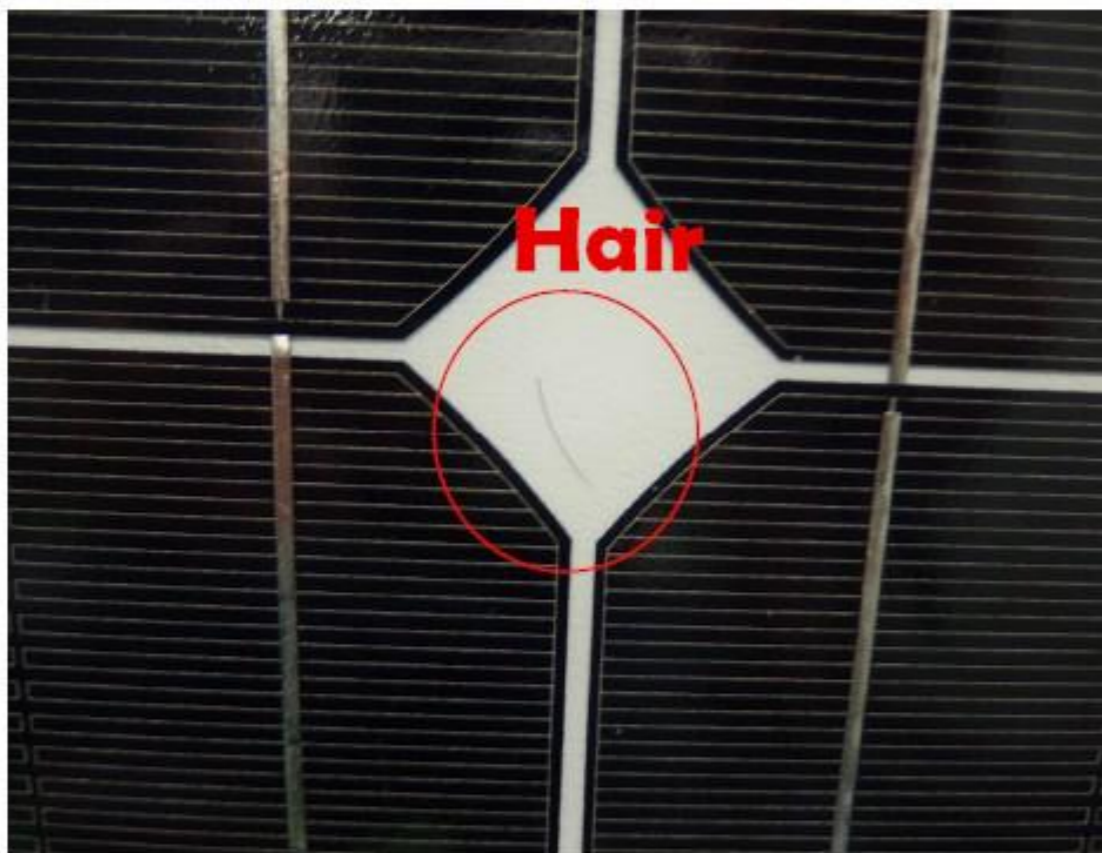
- Ogniwa krzemowe – certyfikat IEC 61215:2005 (spełnia normę PN-EN 61215)
- Ogniwa cienkowarstwowe - certyfikat IEC 61646:2008 (spełnia normę PN-EN 61646)
- WSZYSTKIE - PN-EN 61730-1:2007 – wymagana do uzyskania przyłączenia do sieci

Odporność na warunki atmosferyczne:

- Panele PV mimo lekkiej budowy mają znaczną wytrzymałość na uderzenia i wiatr. Typowe parametry wytrzymałościowe paneli to:
- 5400 Pa dla odporności mechanicznej na obciążenie (540kg/m²)
 - 2400 Pa ciśnienia wiatru (wytrzymałość na wiatr o prędkości 130 km/h)
 - wytrzymałość na temperaturę od -40 do +85°C
 - wytrzymałość na grad do 25 mm poruszający się z prędkością 23 m/s

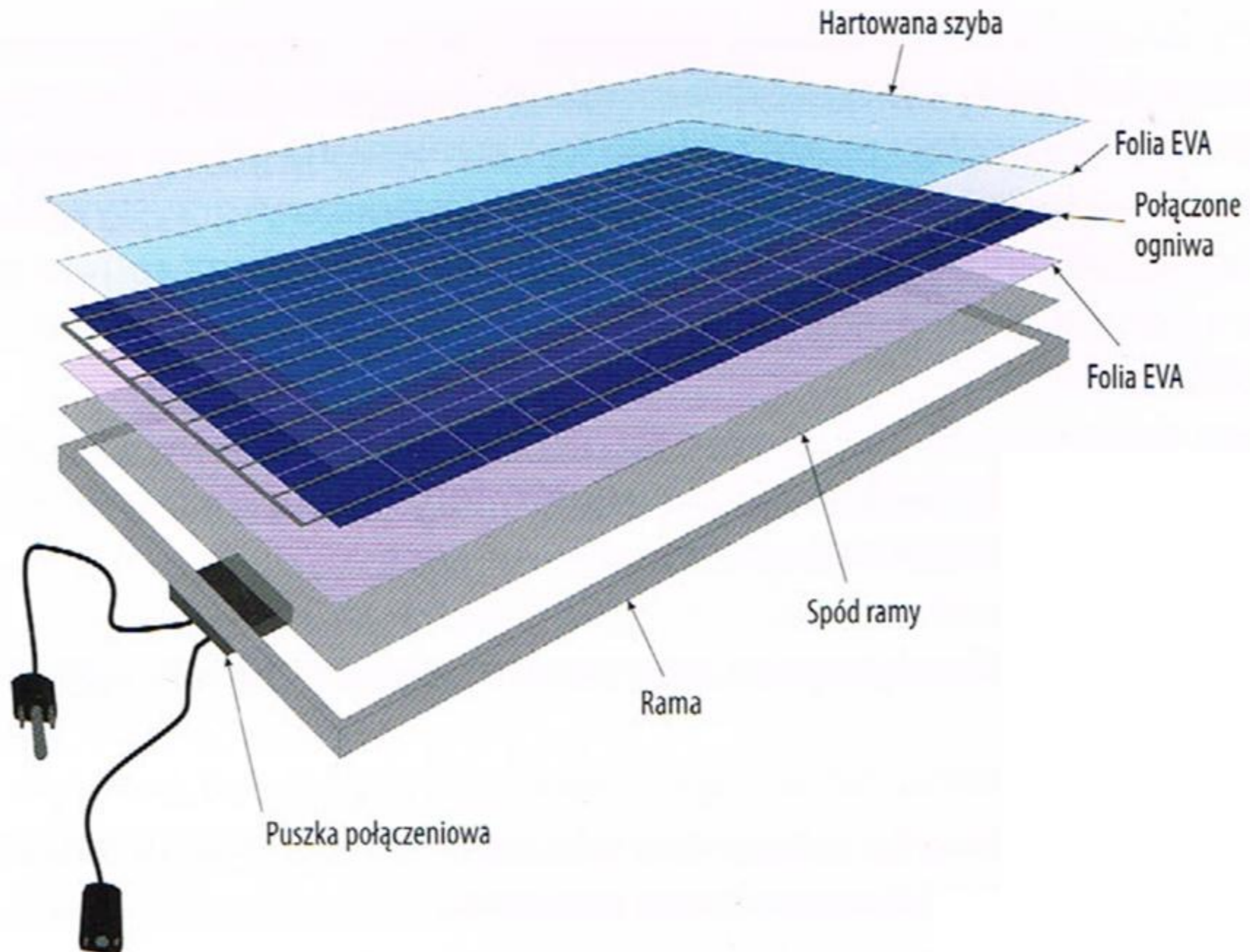
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Przykłady wad modułów PV typu B i C



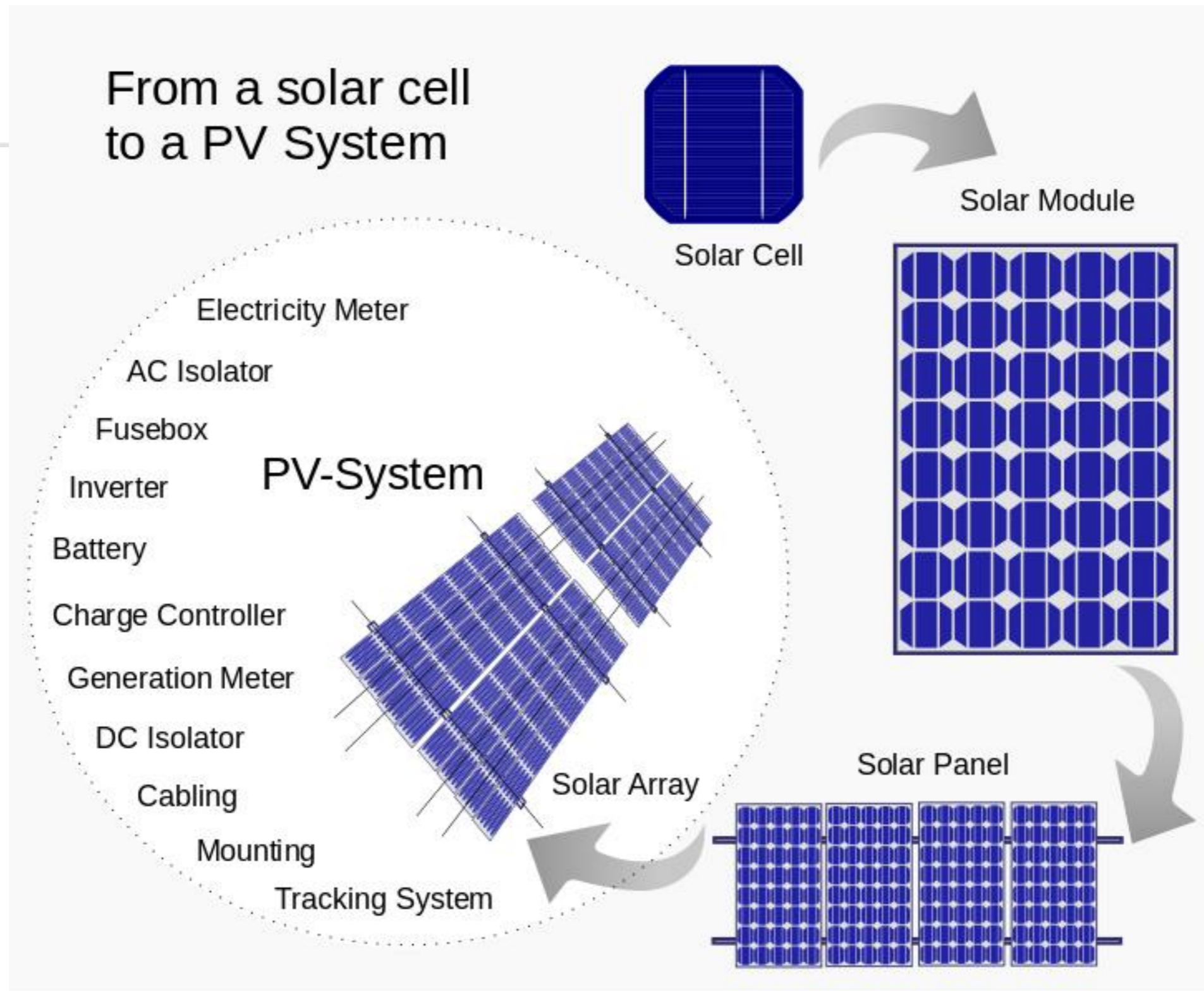
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Budowa modułu PV I generacji



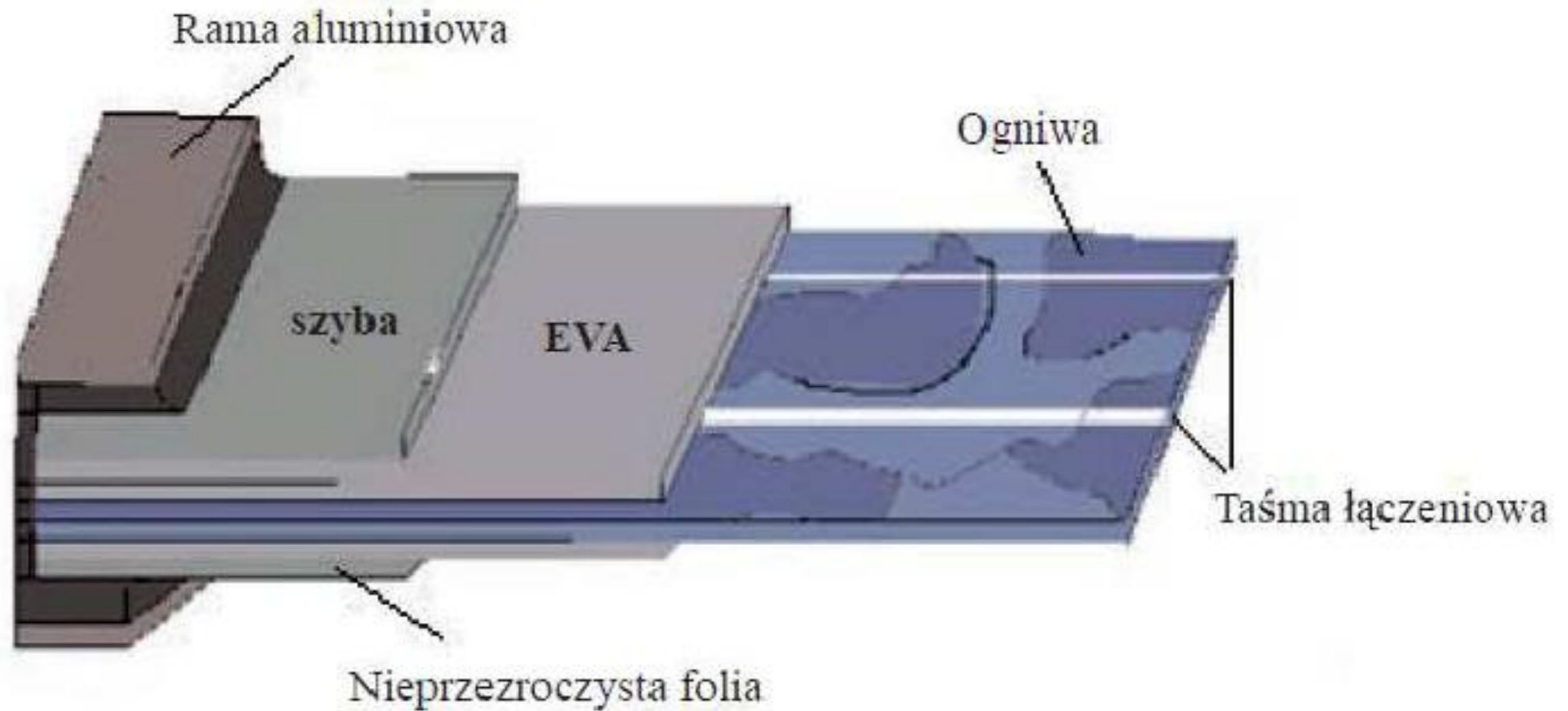
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Nazewnictwo modułów



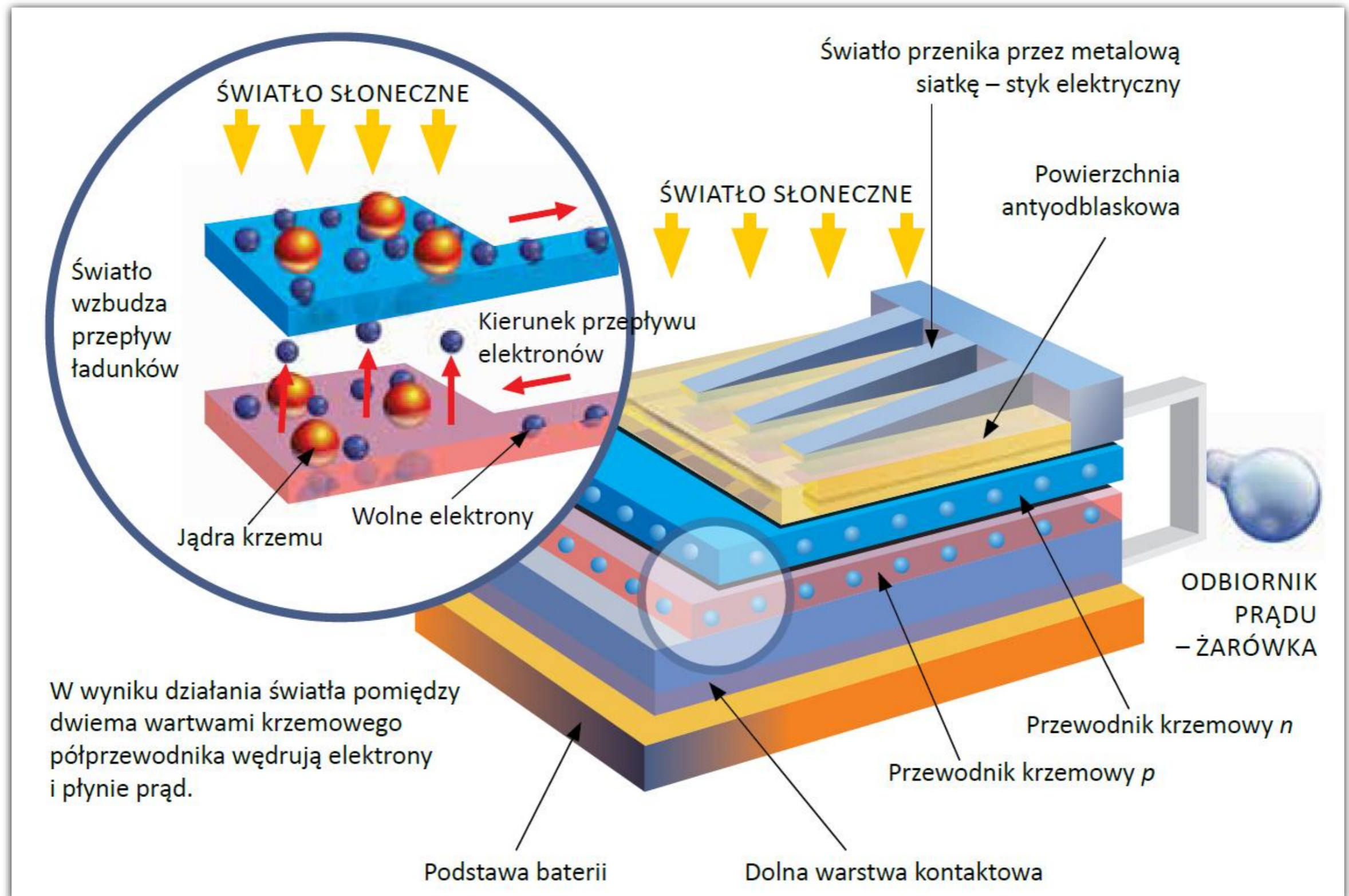
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Budowa modułu PV I generacji



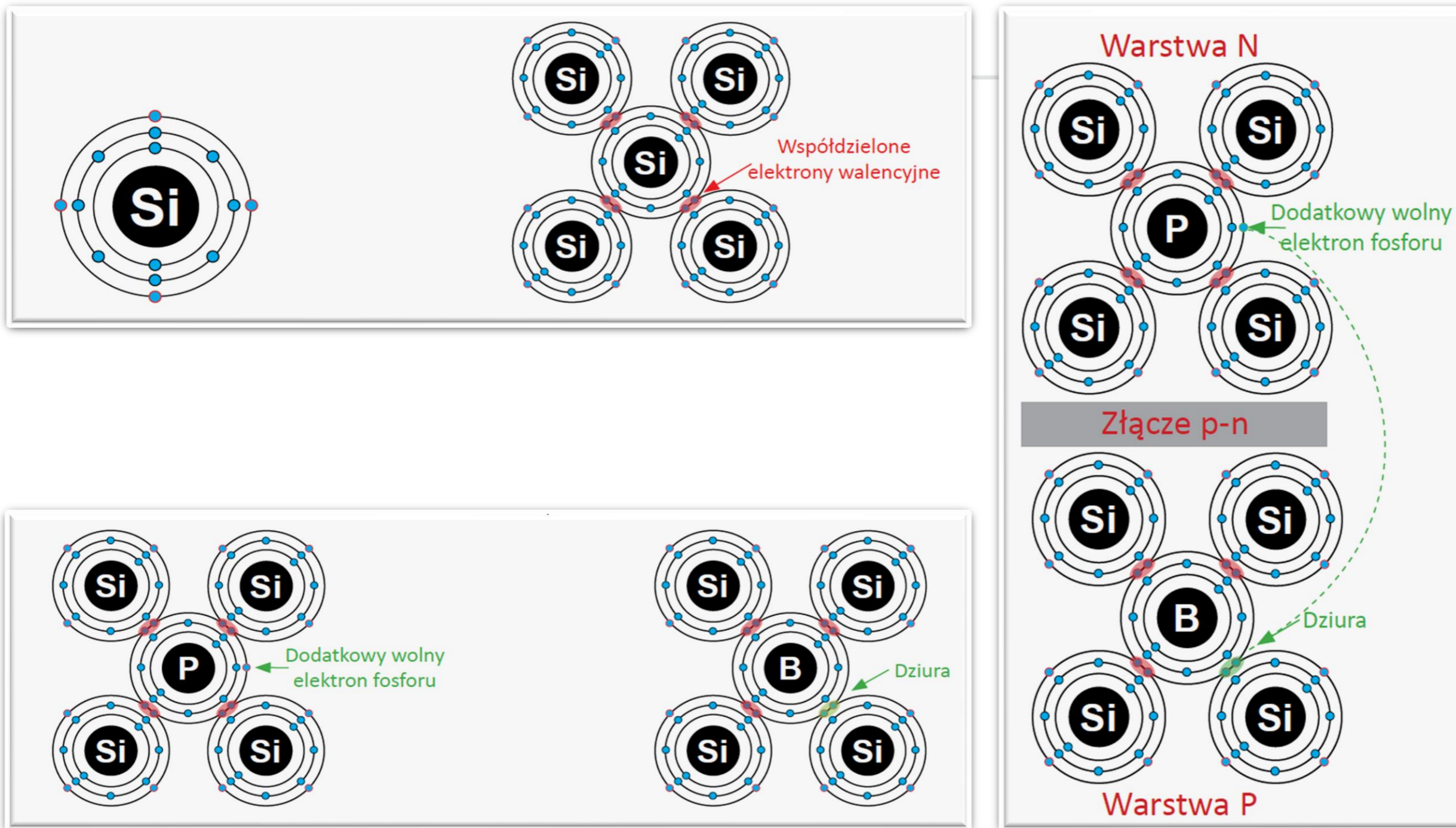
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Proces konwersji promieniowania słonecznego w ogniwie krzemowym



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Złącze p-n – domieszkowanie krzemu



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 III generacji

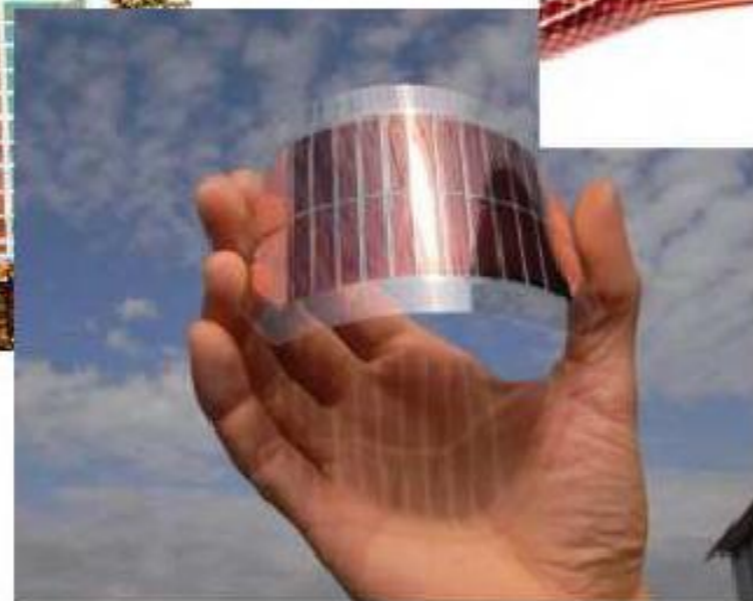
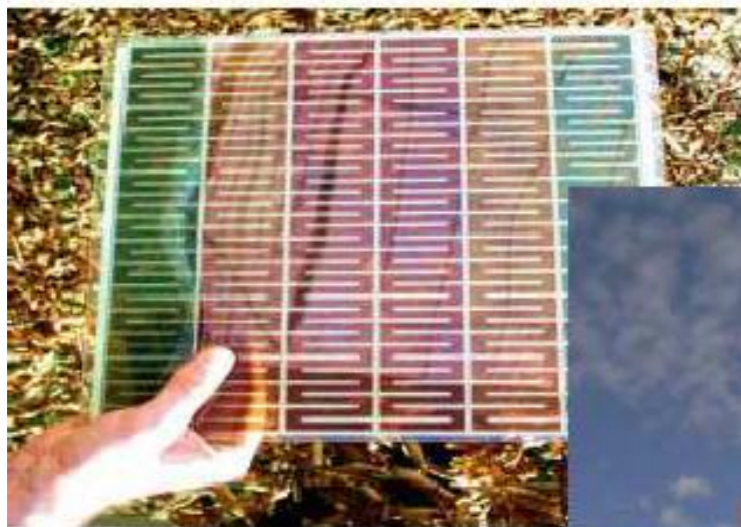
Ogniwa fotowoltaiczne trzeciej generacji

Barwnikowe

Organiczne

Polimerowe

Termoelektryczne



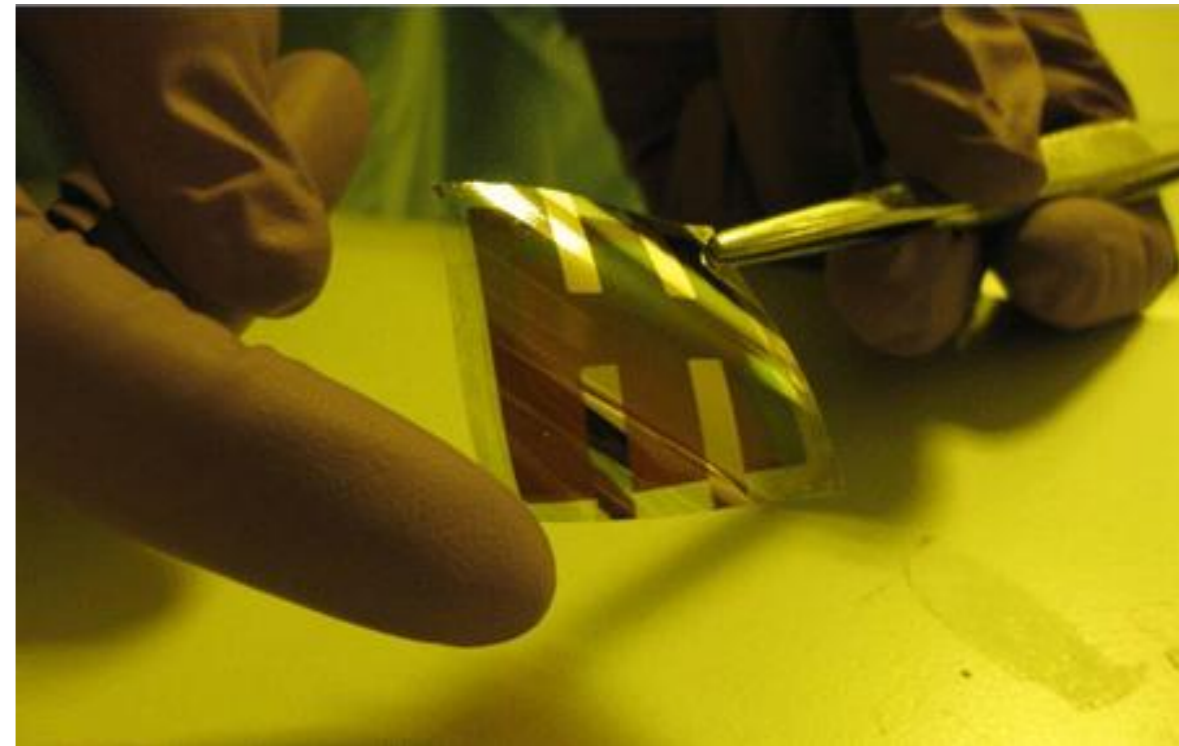
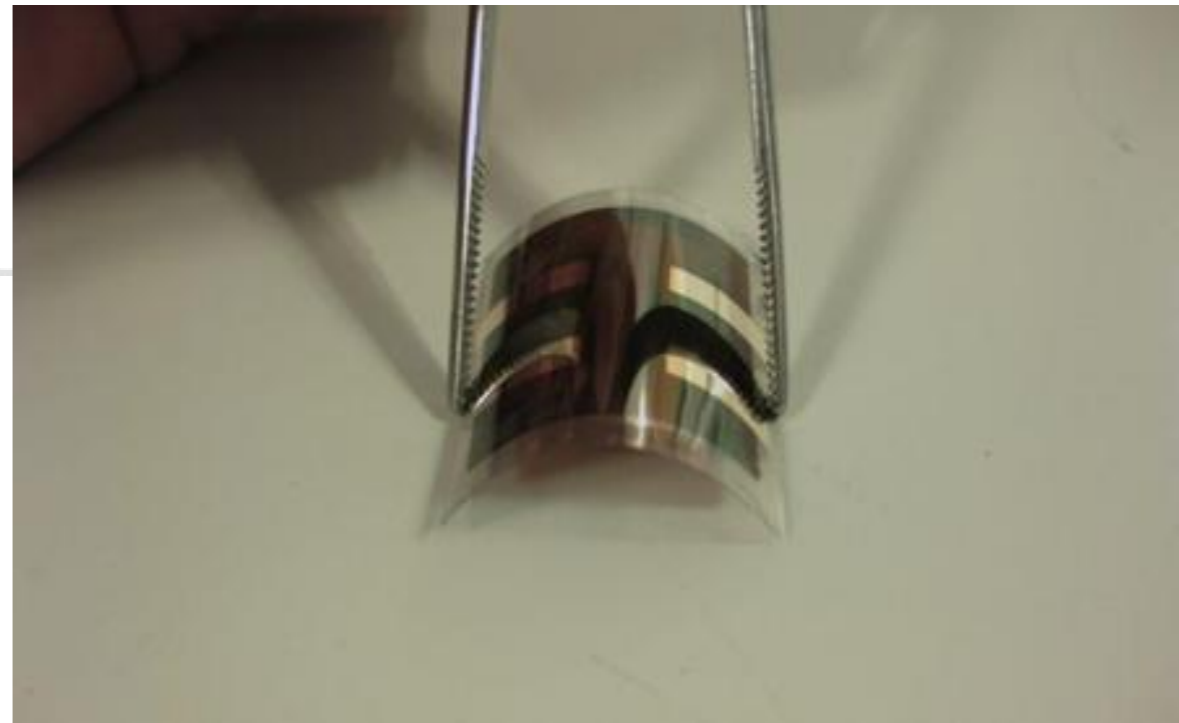
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

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%.



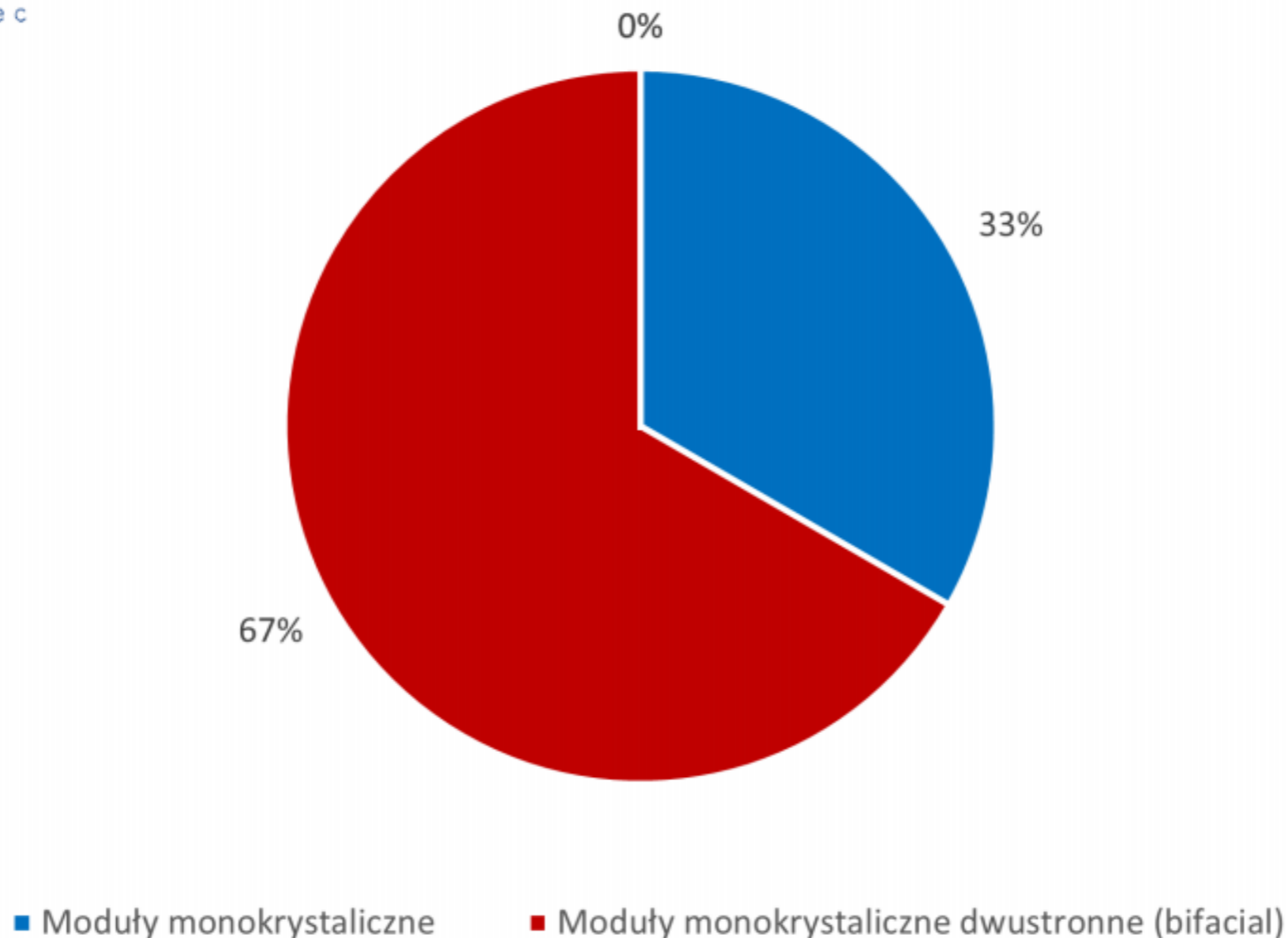
Ogniwo perowskitowe
Foto: Olga Malinkiewicz

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Udział w rynku krystalicznych ogniw krzemowych (c-Si) w różnych odmianach przekracza 99,9%. Pozostała część przypada na technologie cienkowarstwowe (TF) (a-Si, Cl(G)S, CdTe) stan na rok 2025.

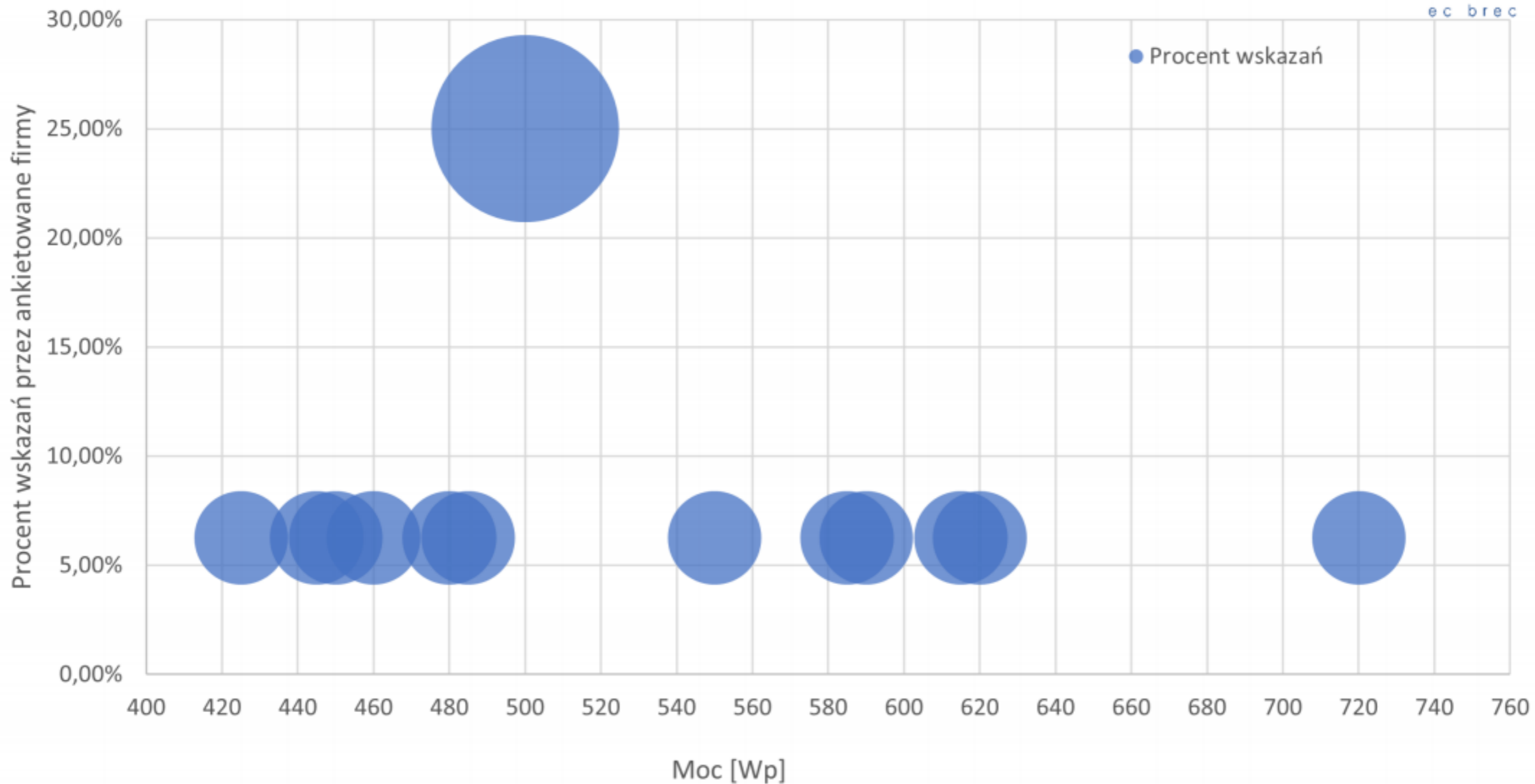


Rodzaje instalowanych modułów



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Najczęściej wybierane moce modułów w 2024 roku



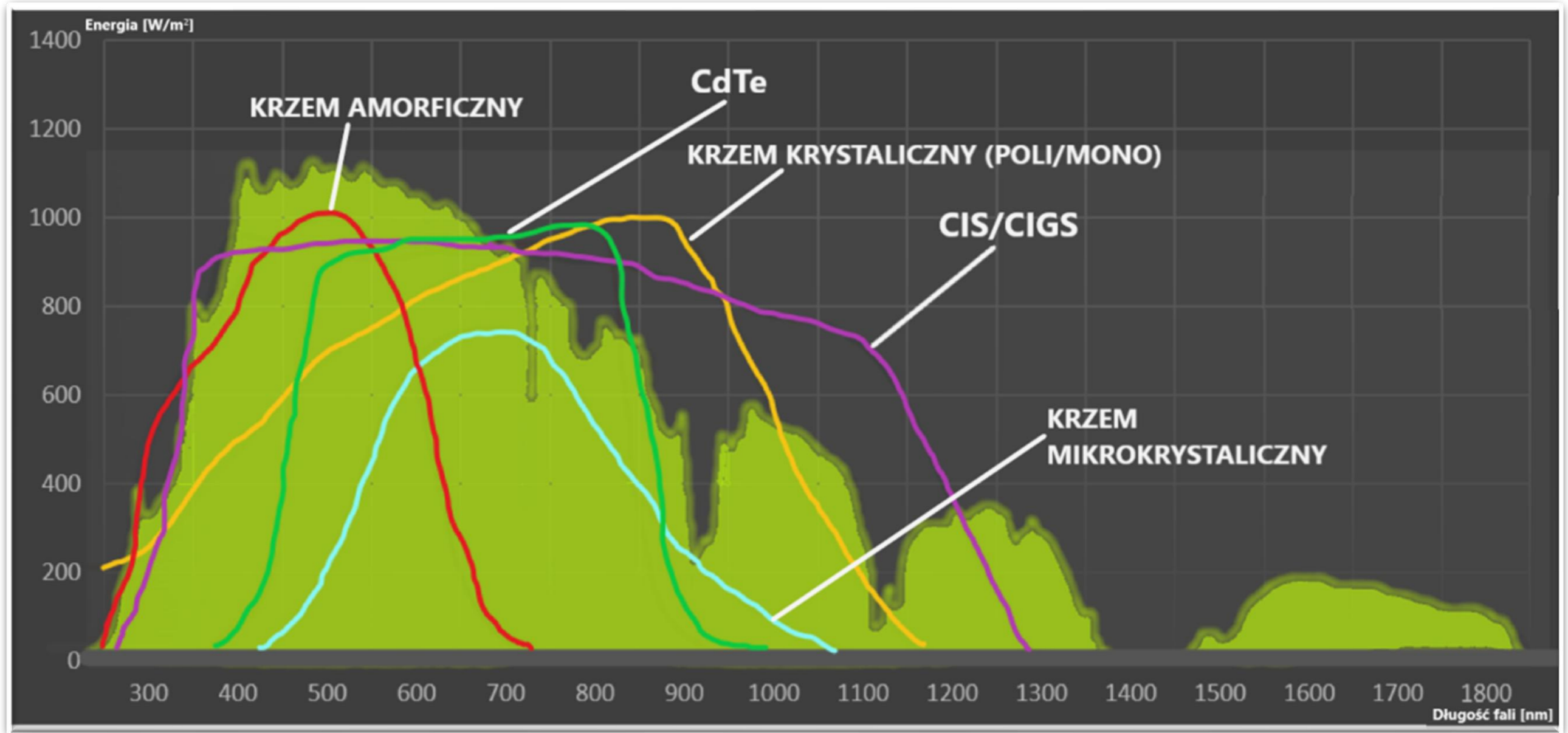
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Dachówka fotowoltaiczna



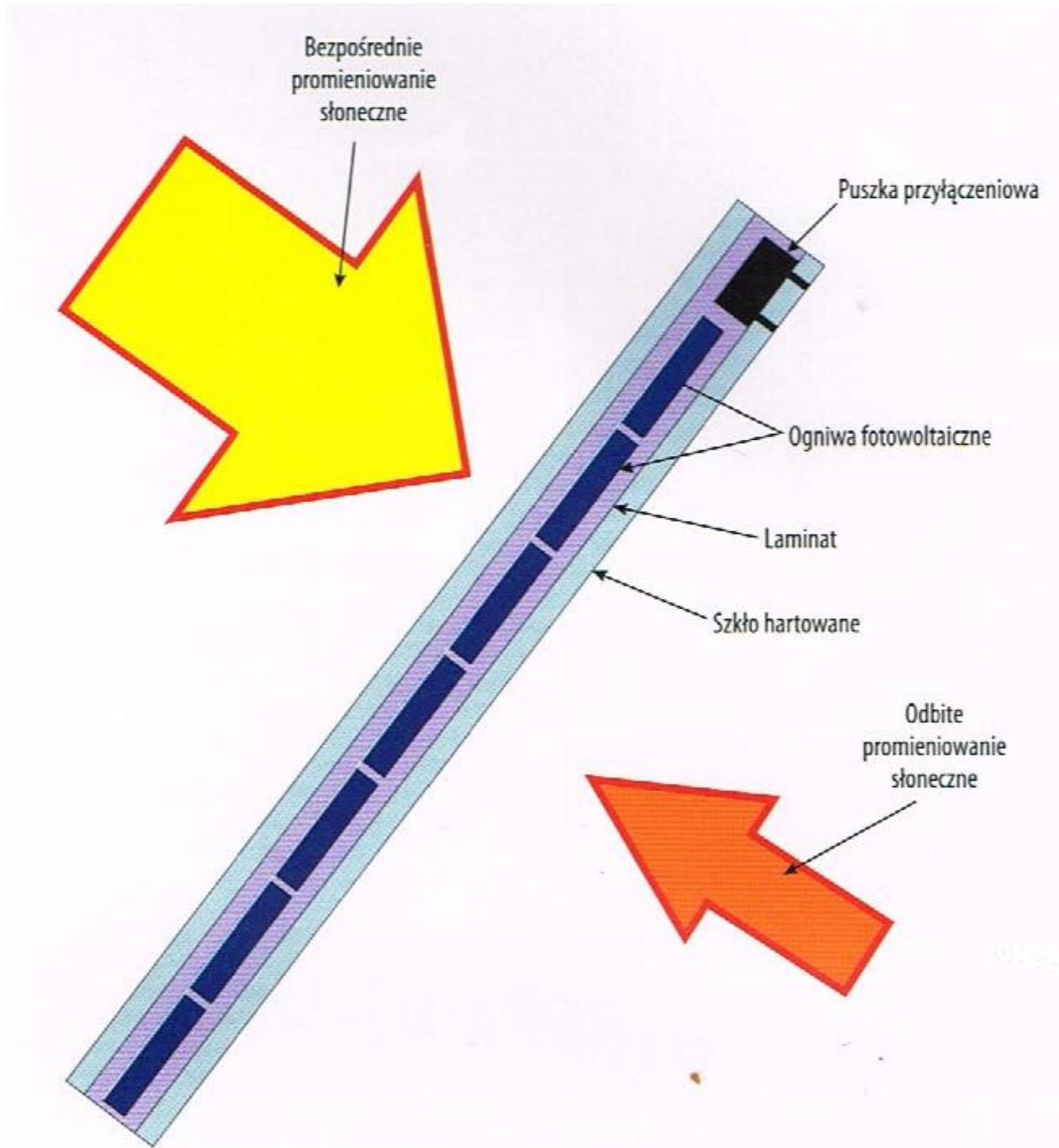
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Rodzaj ogniwa PV, a długość absorbowanych fal



Moduły fotowoltaiczne

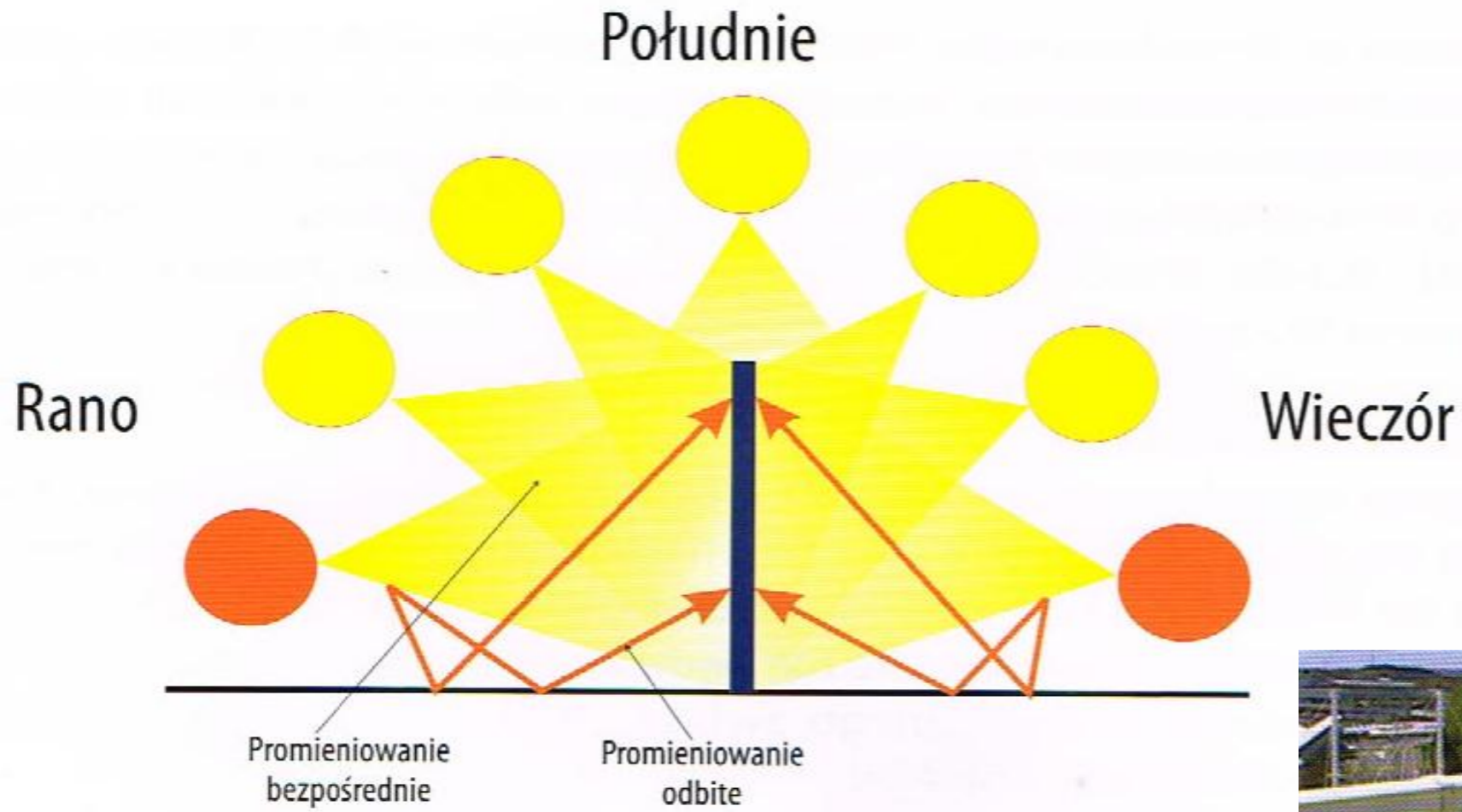
Moduły dwustronne - BIFACIAL



Zdjęcie modułu bifacial

Moduły fotowoltaiczne

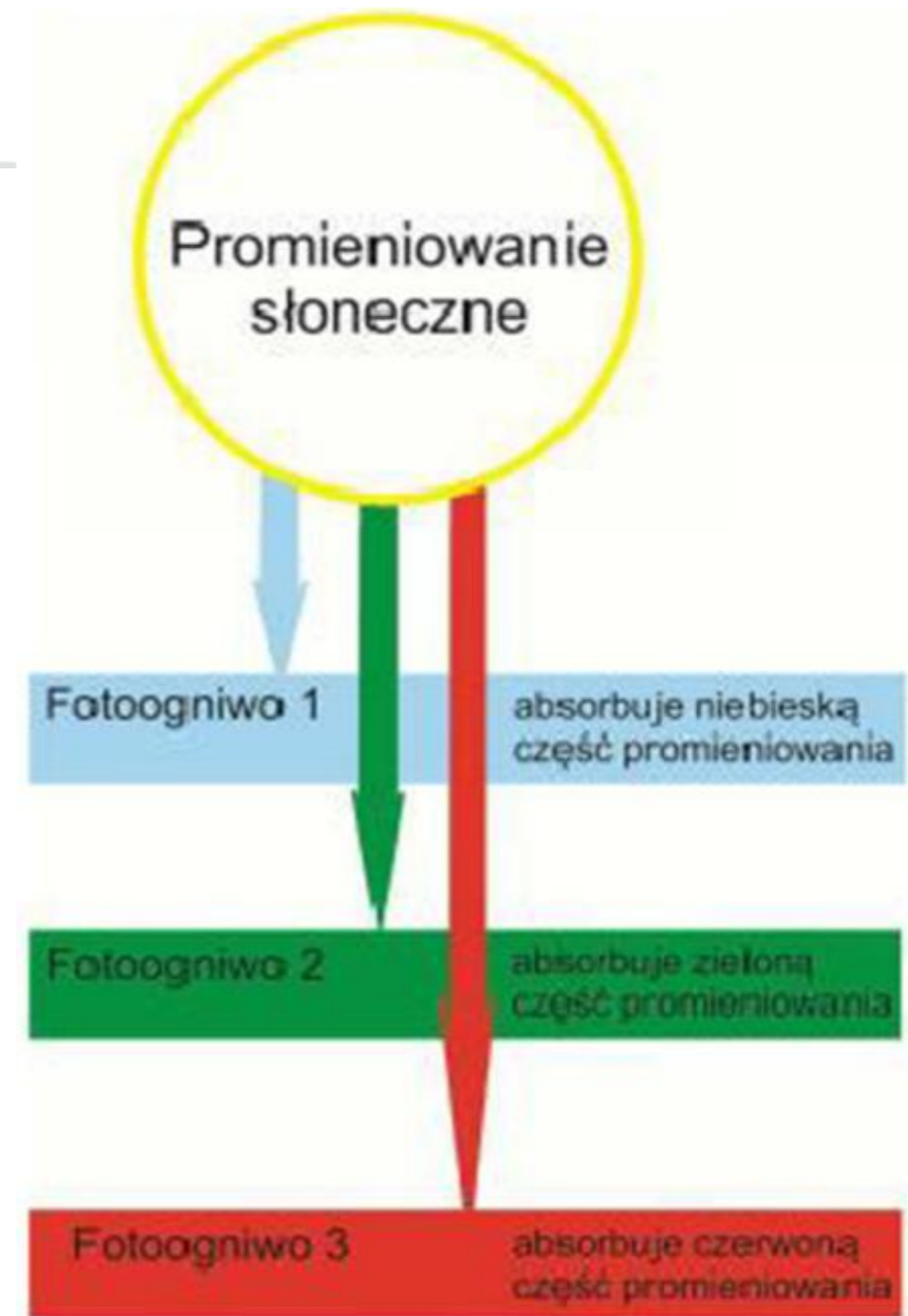
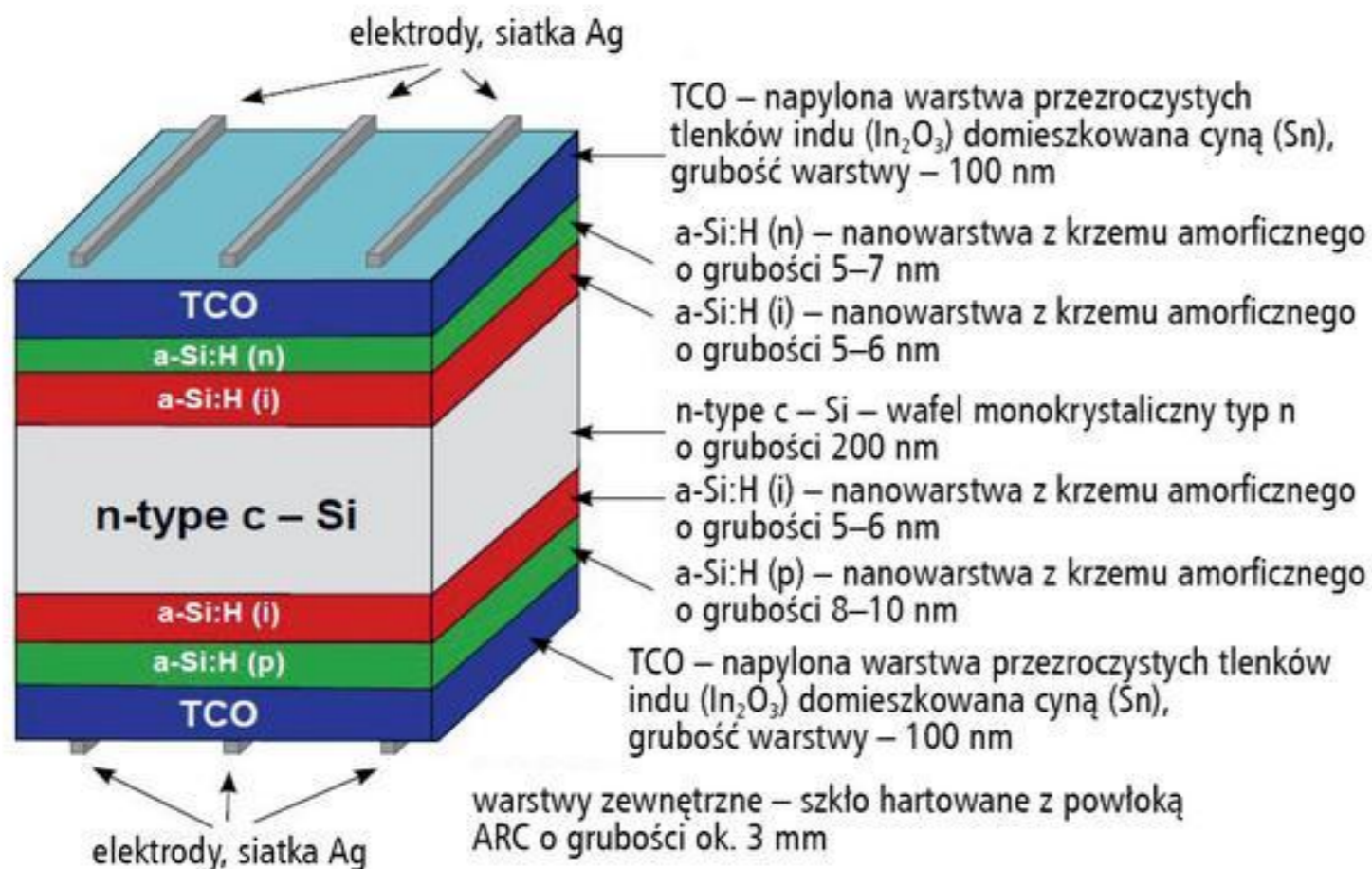
Moduły dwustronne – układ pionowy



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

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

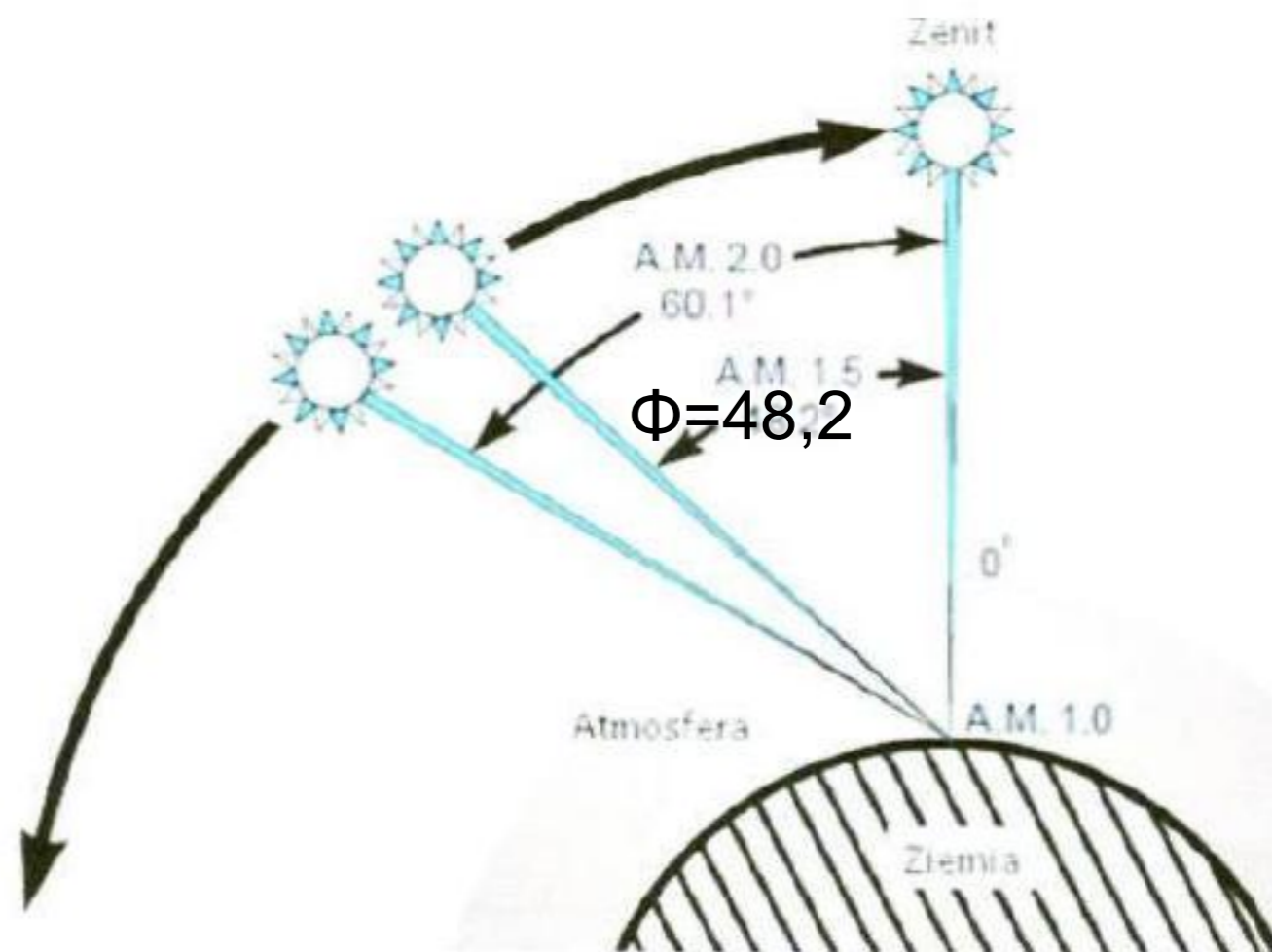
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

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 ($AM = 1/\cos \varphi$)



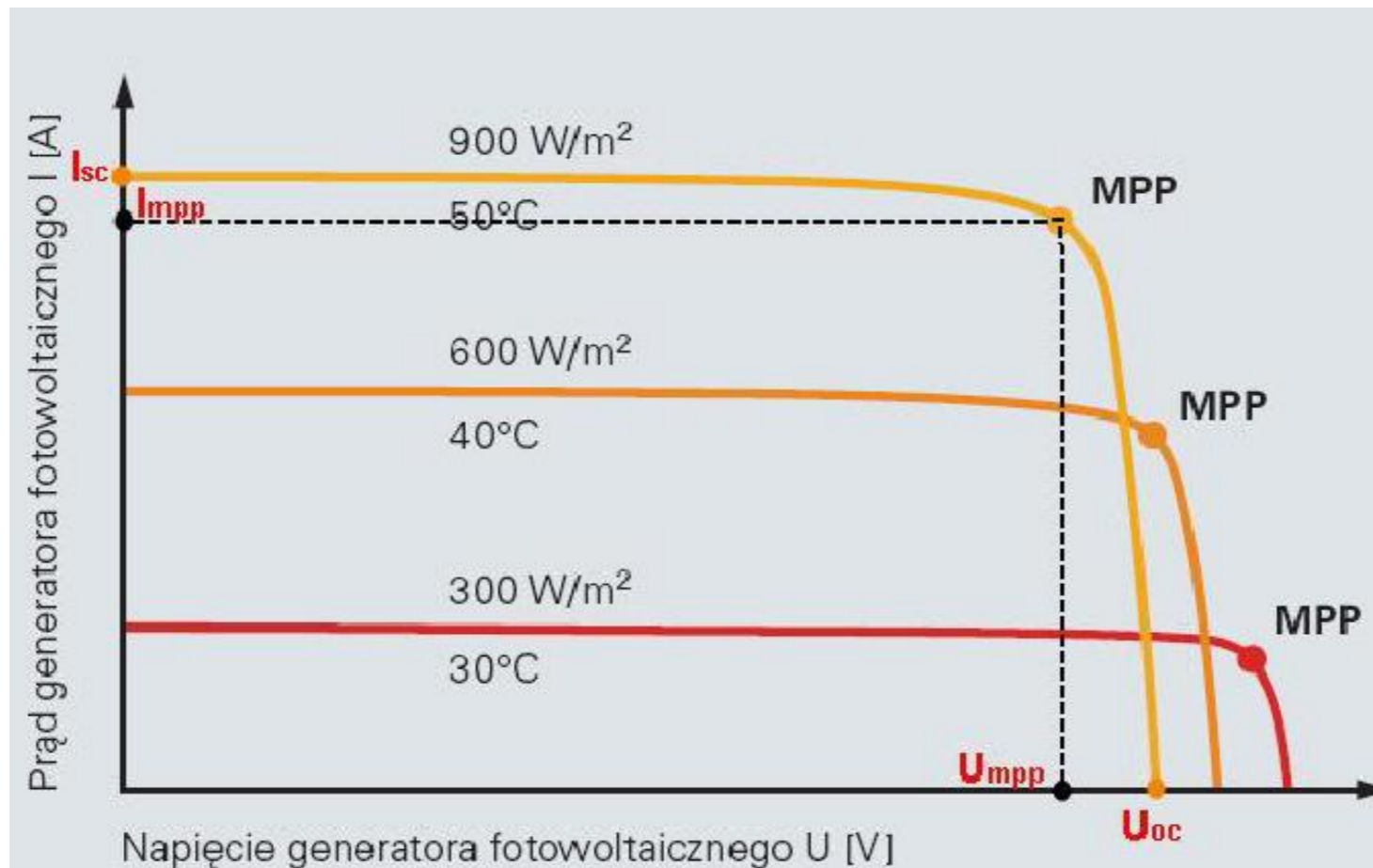
Rys. Masa optyczna atmosfery AM

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Dane techniczne modułów

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

- natężenie promieniowania 800 W/m^2
- AM 1,5 (masa optyczna atmosfery)
- 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

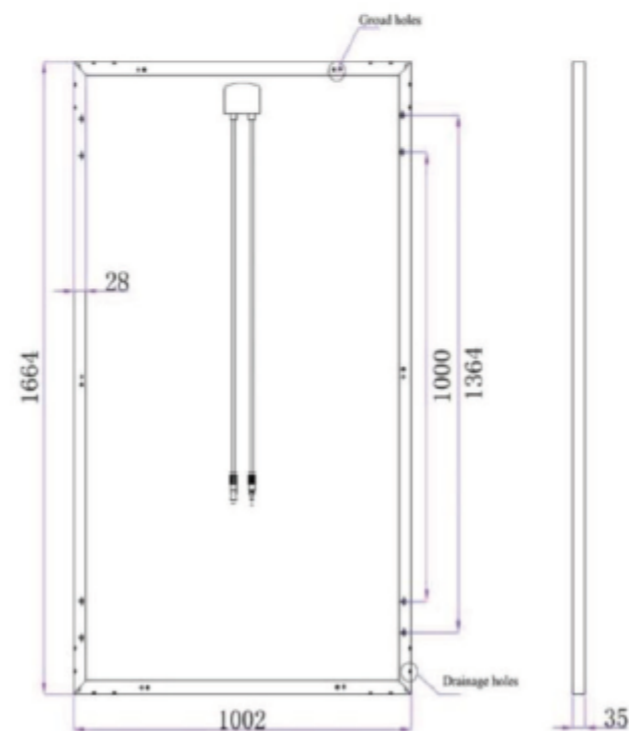
Dane techniczne modułów

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		1 000
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

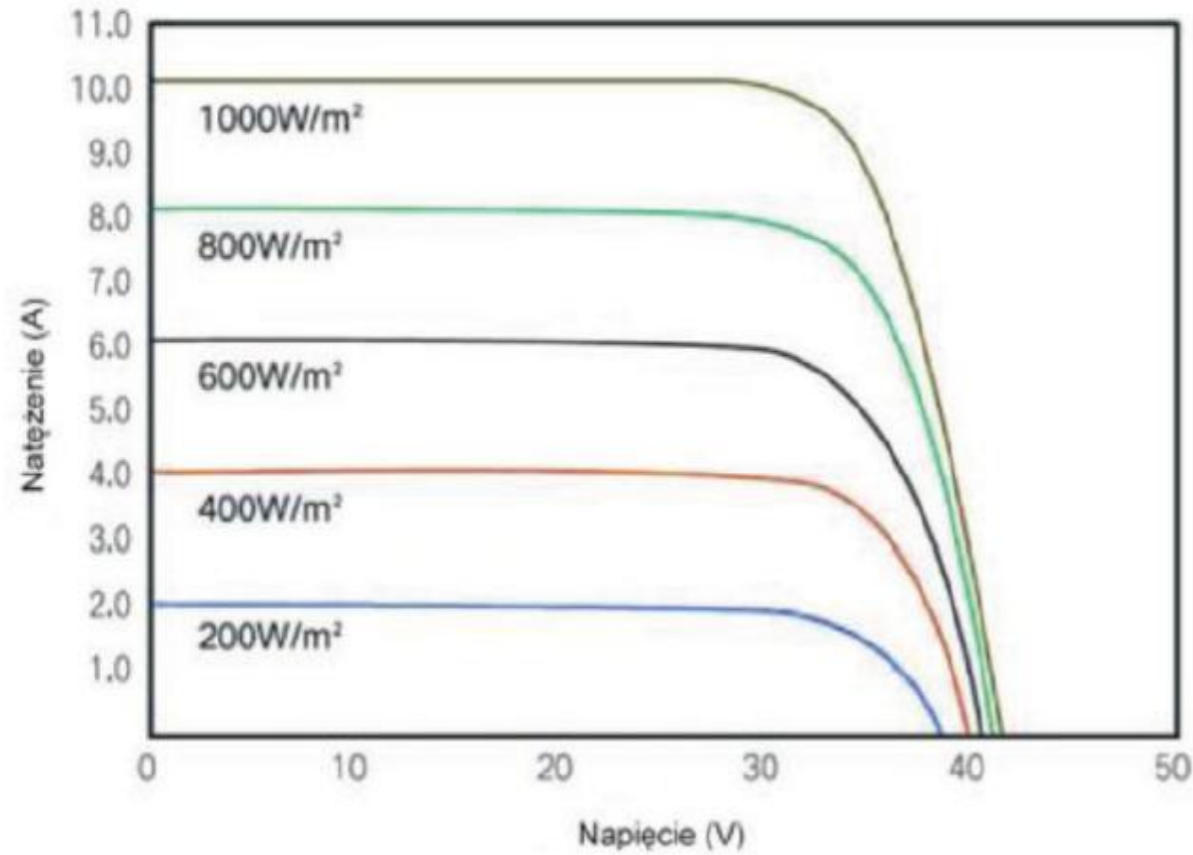
* w warunkach nominalnej temperatury pracy modułu (NMOT), napromieniowaniu 800 W/m², modulacji AM 1.5, temperatury otoczenia 20°C, prędkości wiatru 1 m/s



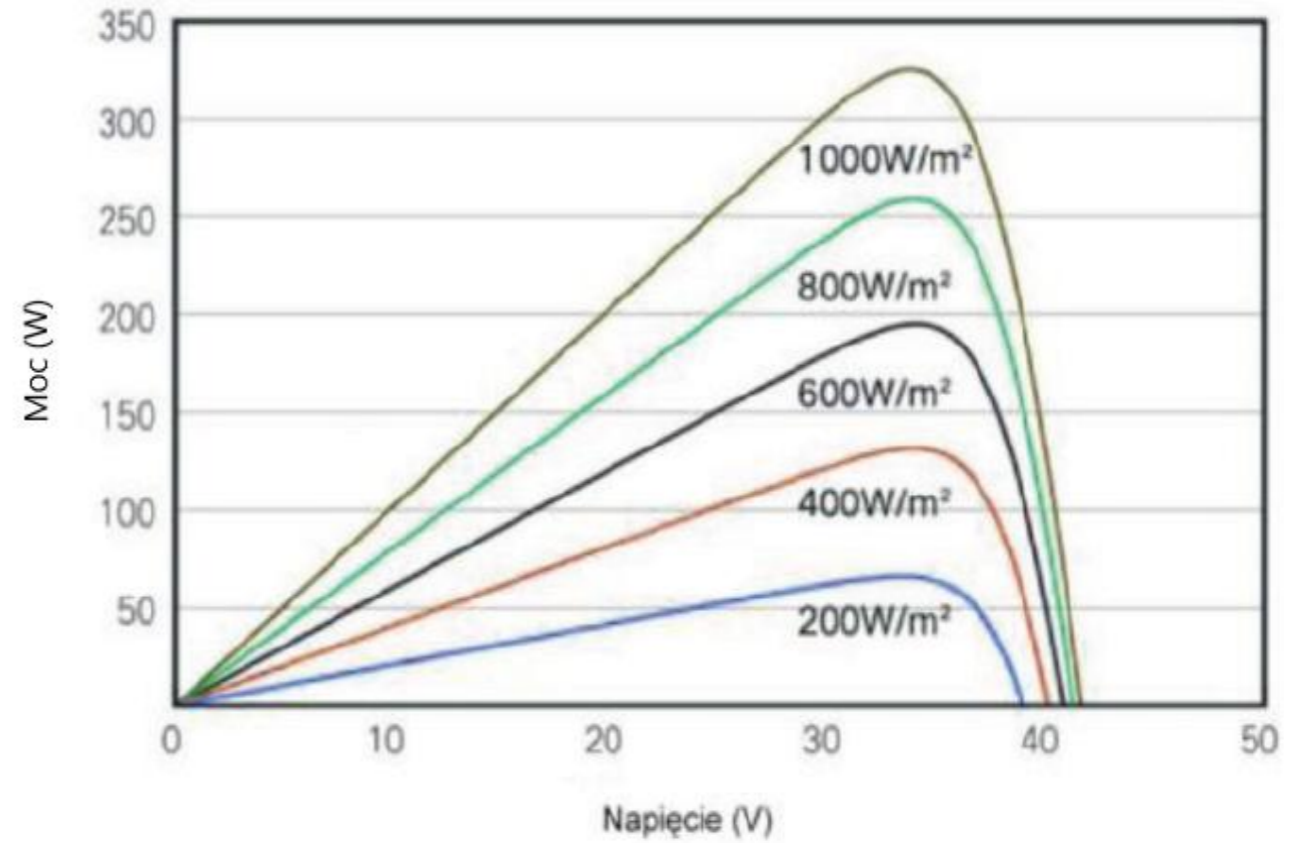
Typ ogniw:	Monokrystaliczne, 158,75×158,75 mm
Ilość Busbar:	5
Rozmieszczenie ogniw:	60 sztuk. (6×10)
Wymiary:	1 664×1 002×35 mm
Waga:	18,9 kg
Przednia pokrywa:	3,2 mm – szkło hartowane
Rama:	Anodowany stop aluminium
Skrzynka przyłącz.	IP67, 3 diody bocznikujące
Typ przewodu:	4,0 mm ²
Długość przewodu:	1 000 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



Charakterystyka
prądowo-napięciowa



Krzywa mocy

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Dane techniczne modułów

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

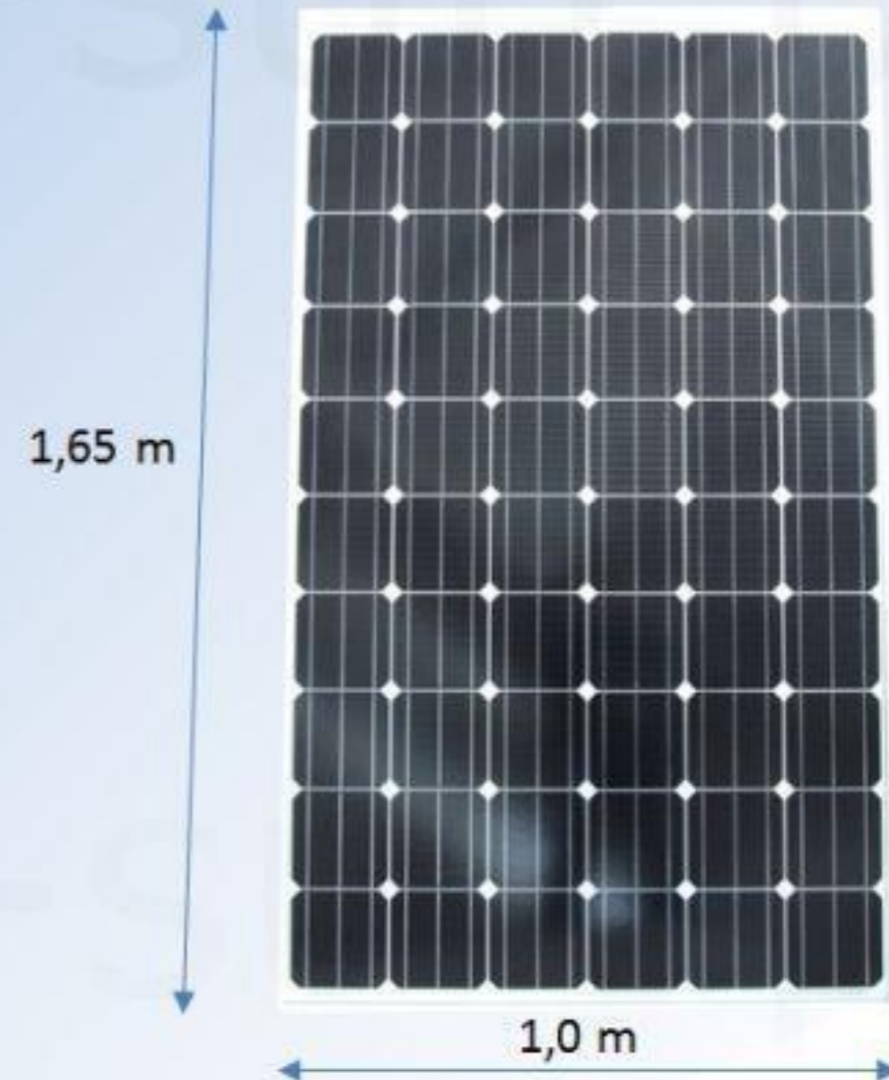
Przykład:

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 %

Natężenie = 950 W/m²



Moc chwilowa = 230,28 W

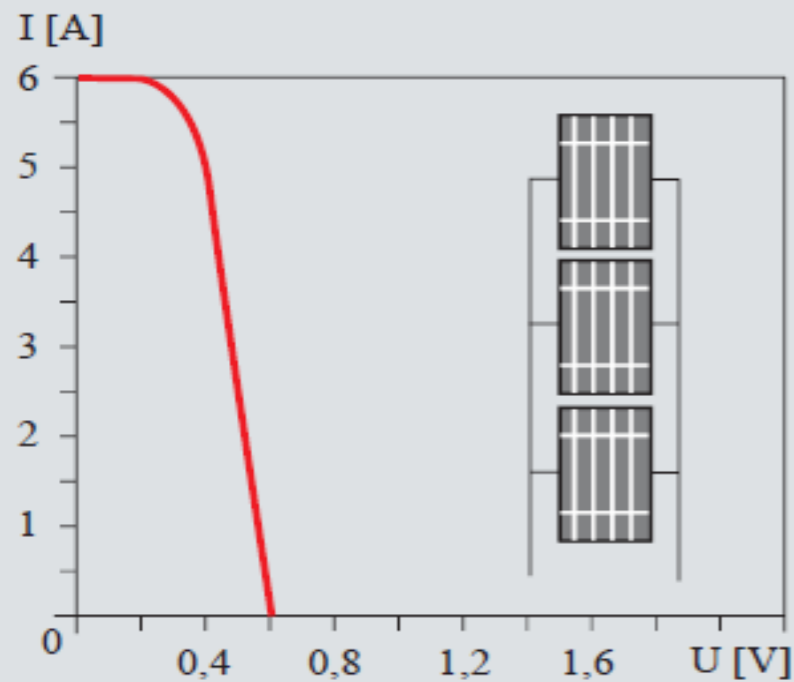
Natężenie = 200 W/m²



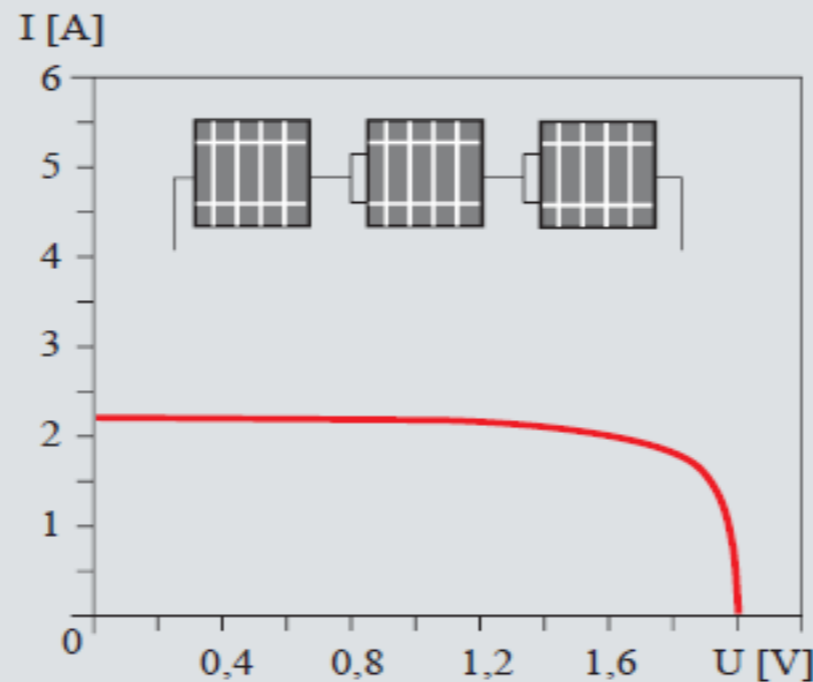
Moc chwilowa = 48,48 W

Temperatura zewnętrzna 25 C

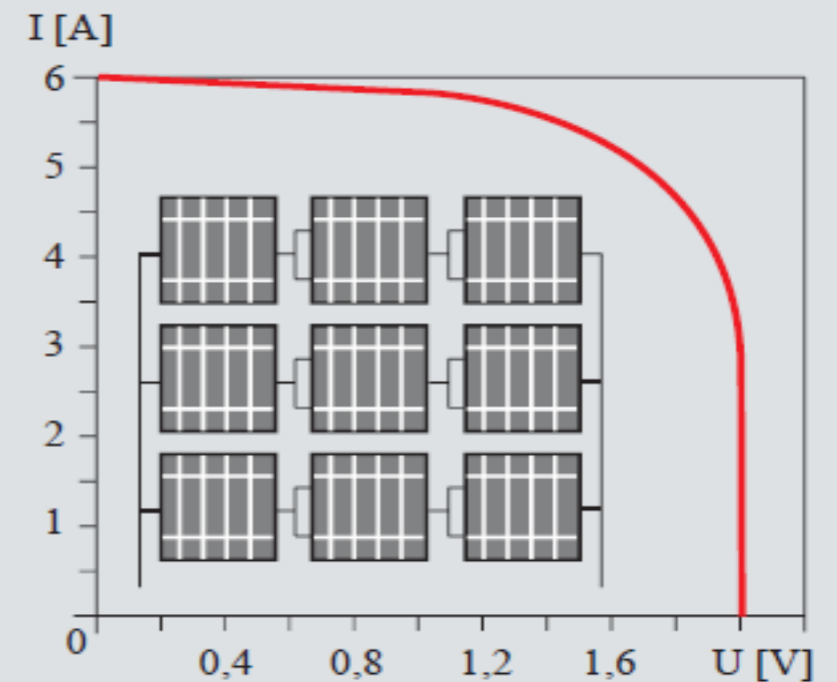
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE



Połączenia równoległe



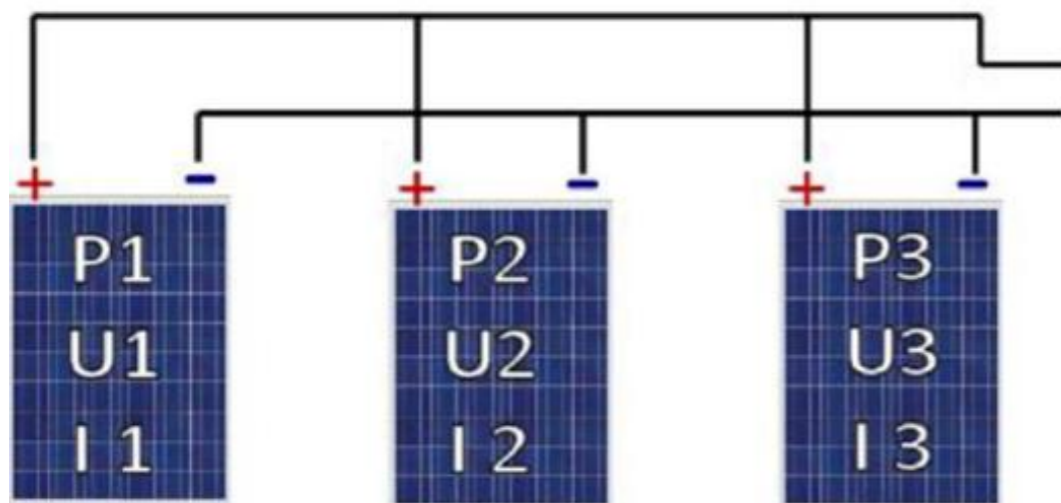
Połączenia szeregowe



Połączenia mieszane

Sposoby łączenia ogniw PV

RÓWNOLEGŁE

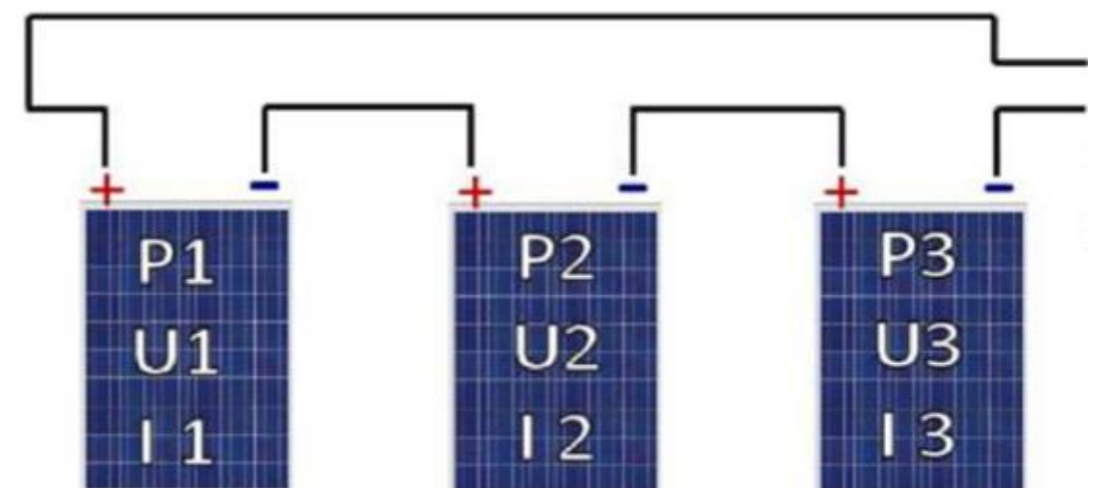


Moc instalacji $P = P1 + P2 + P3$

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



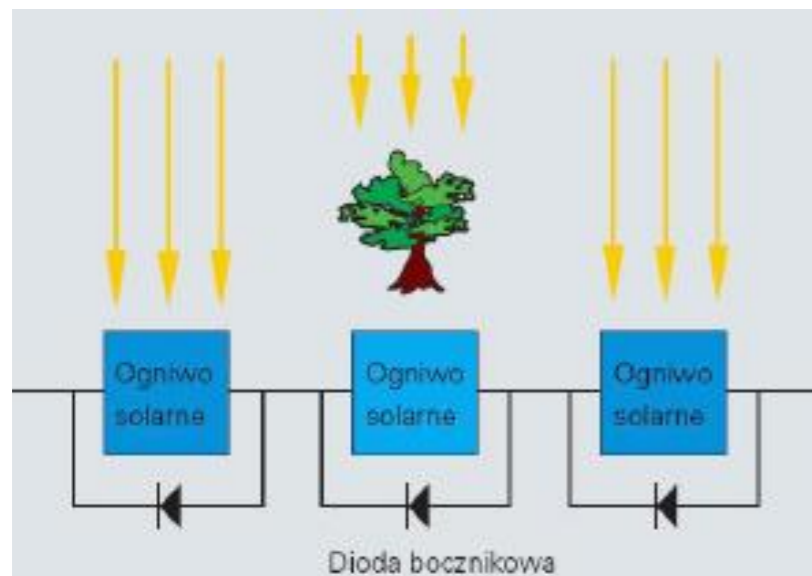
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Zacienienie - efekt Hot-Spot

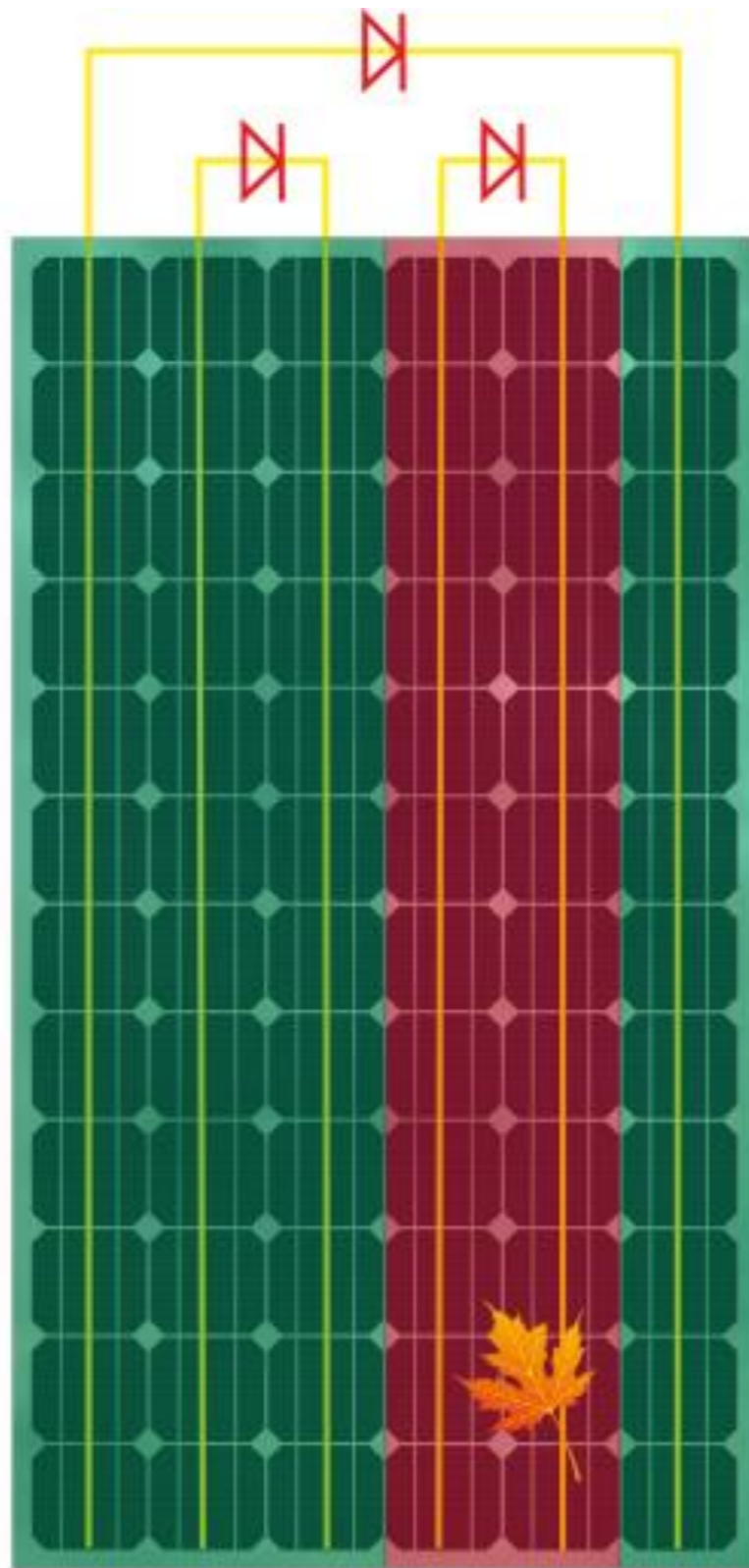
Wewnątrz modułu PV ogniwa połączone są szeregowo – jeśli nastąpi zacienienie jednego z ogniw, to zachowuje się ono jak rezystor (tzn. jak odbiornik prądu). Całe pole może wtedy dostarczać tylko tyle prądu, ile może go przepłynąć przez zacienione ogniwo. W wyniku tego, ogniwo nagrzewa się i może ulec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

Rozwiązanie problemu Hot-Spot – diody bocznikowe.

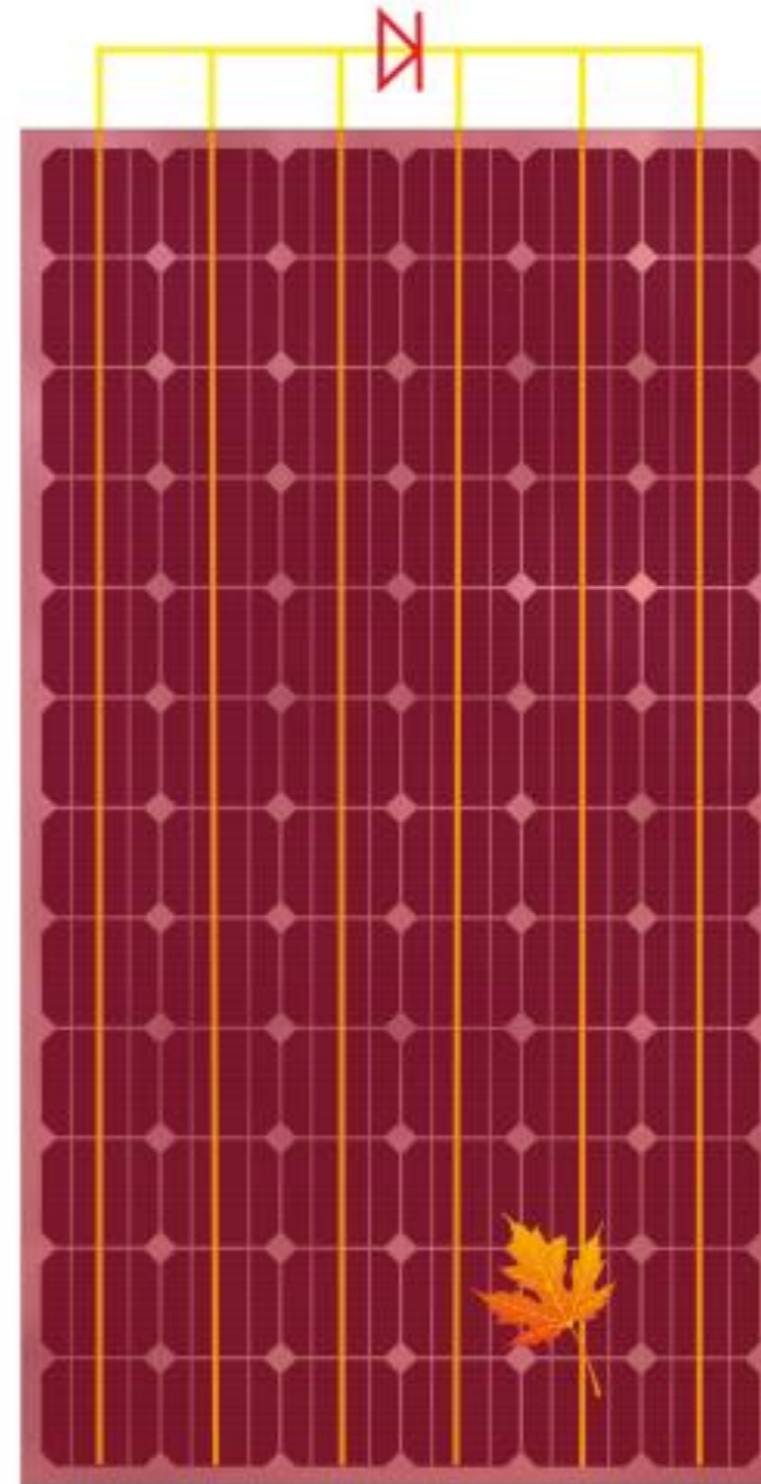
Przy zacienieniu jednego szeregu ogniw dioda bocznikowa zaczyna przewodzić i prąd płynie z ominięciem tych ogniw.



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE



33% spadek mocy

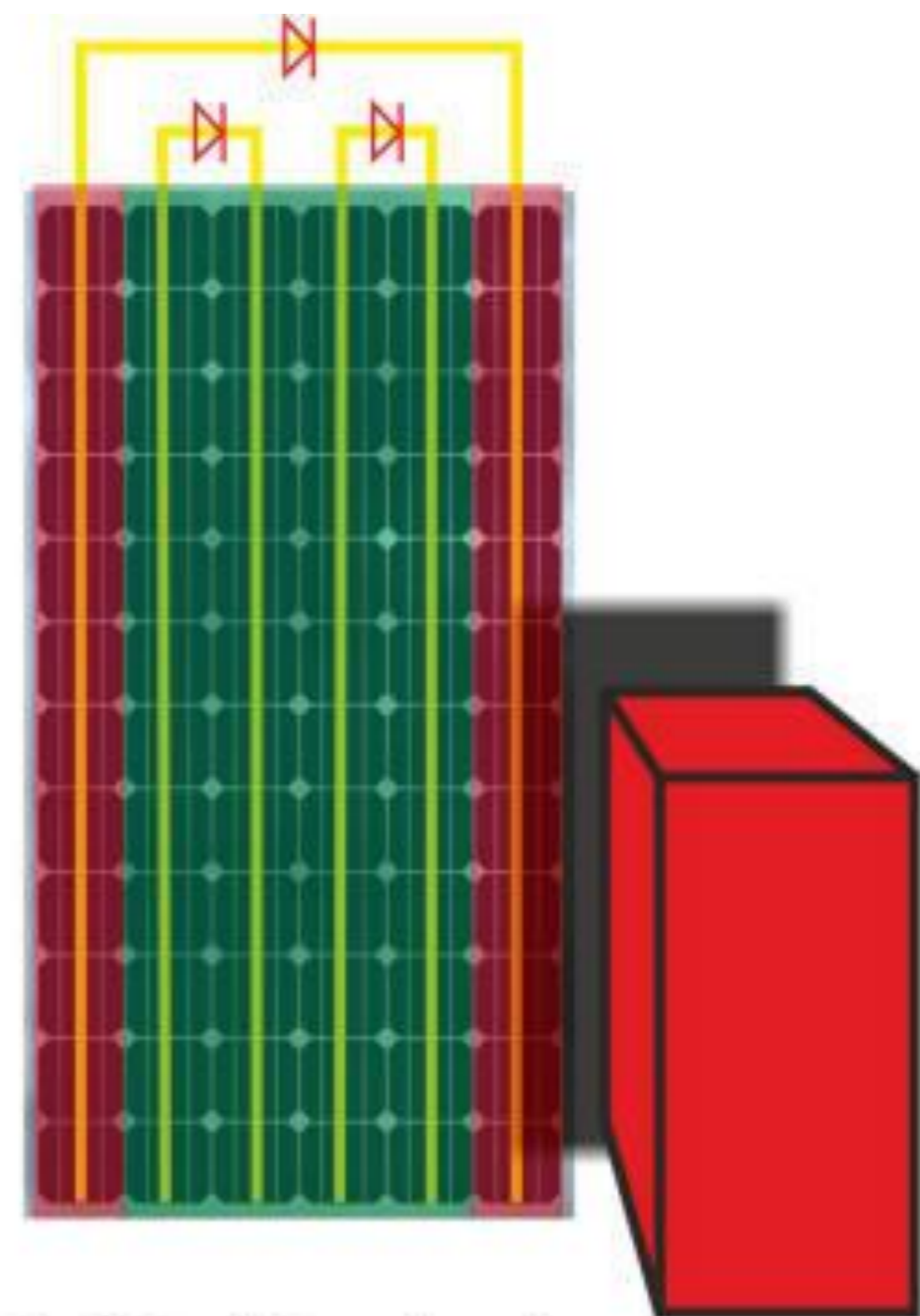


100% spadek mocy

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE



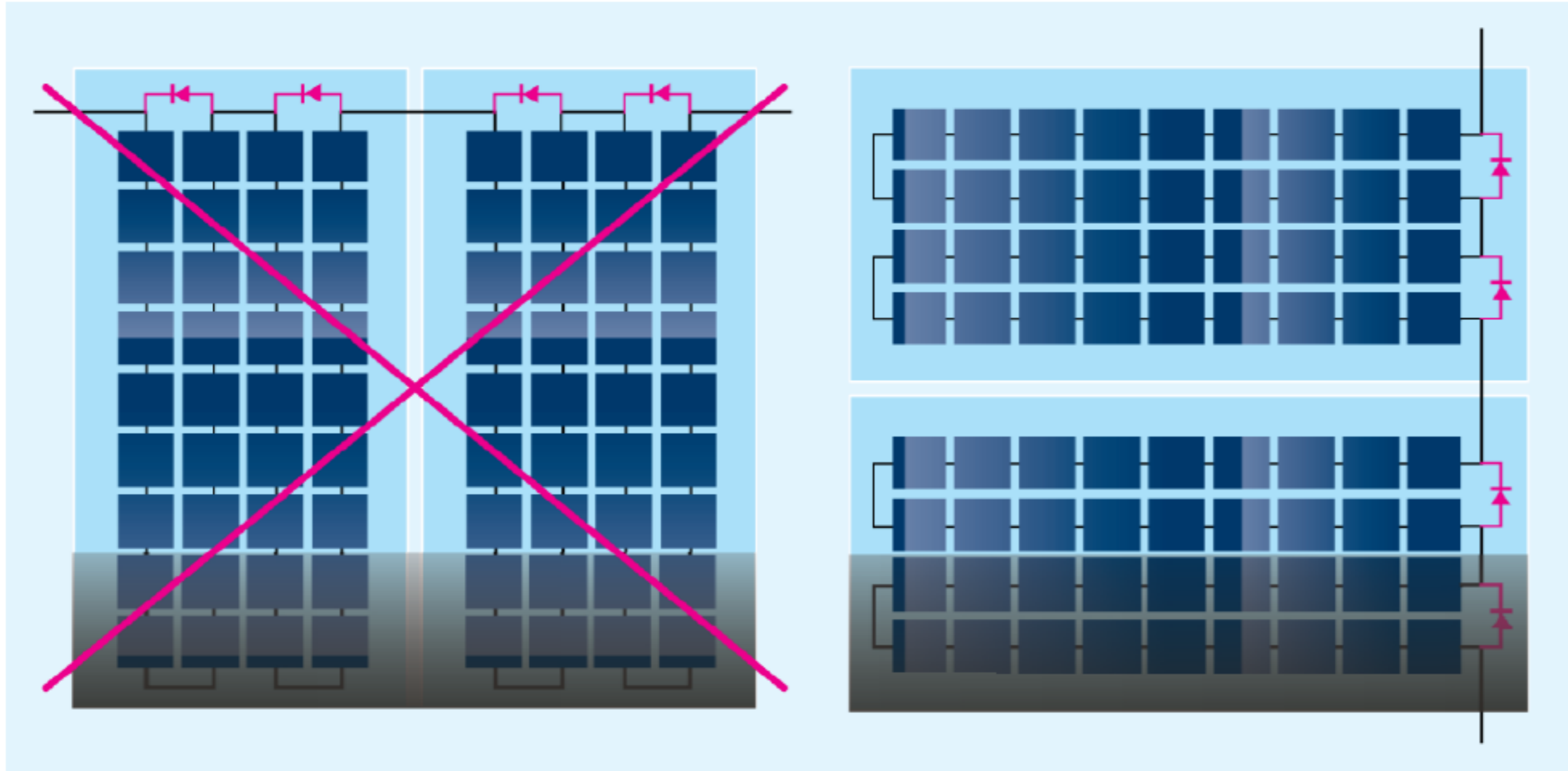
Każdy z 3 łańcuchów ogniw wyłączony z uwagi na zacinienie.
Produkcja energii równa 0% mocy nominalnej.



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

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

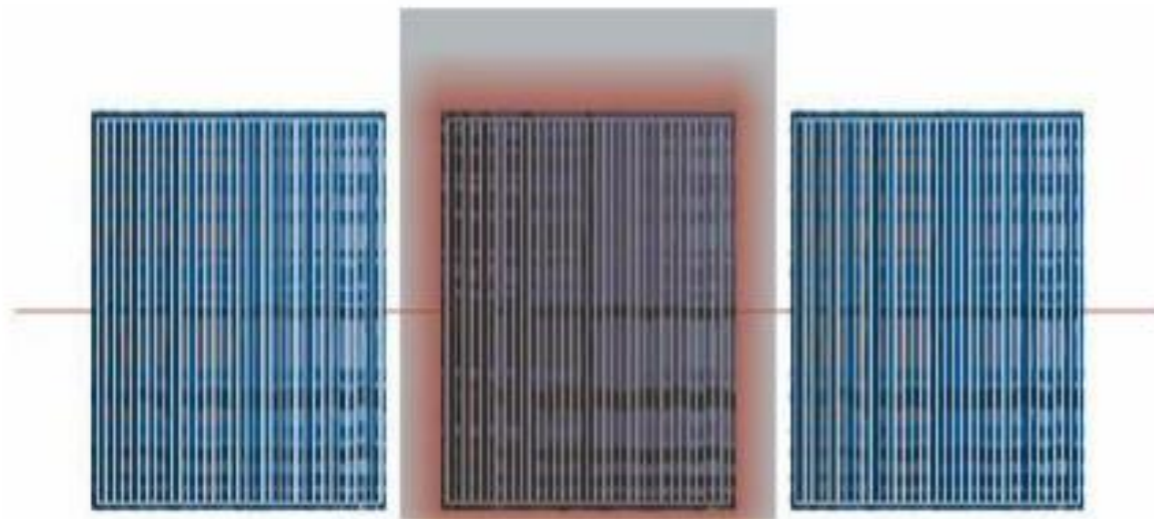
Jeżeli nie można uniknąć cienia to należy zwracać uwagę na ułożenie modułów



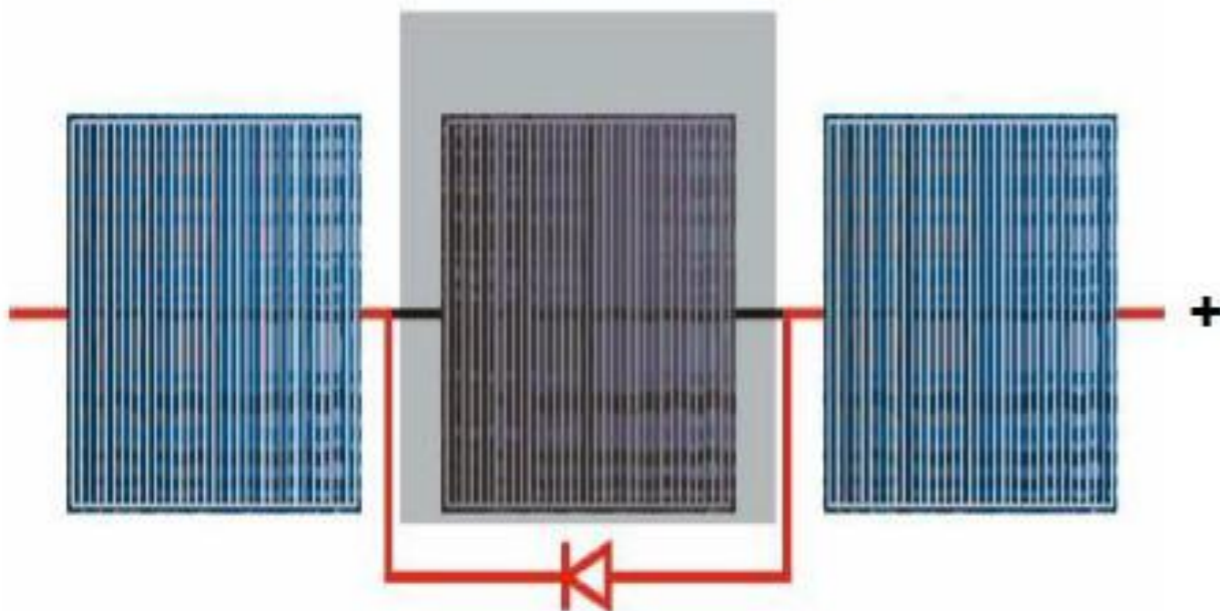
Zacienienie

Moduł zawierający diody obejściowe

Zacienienie

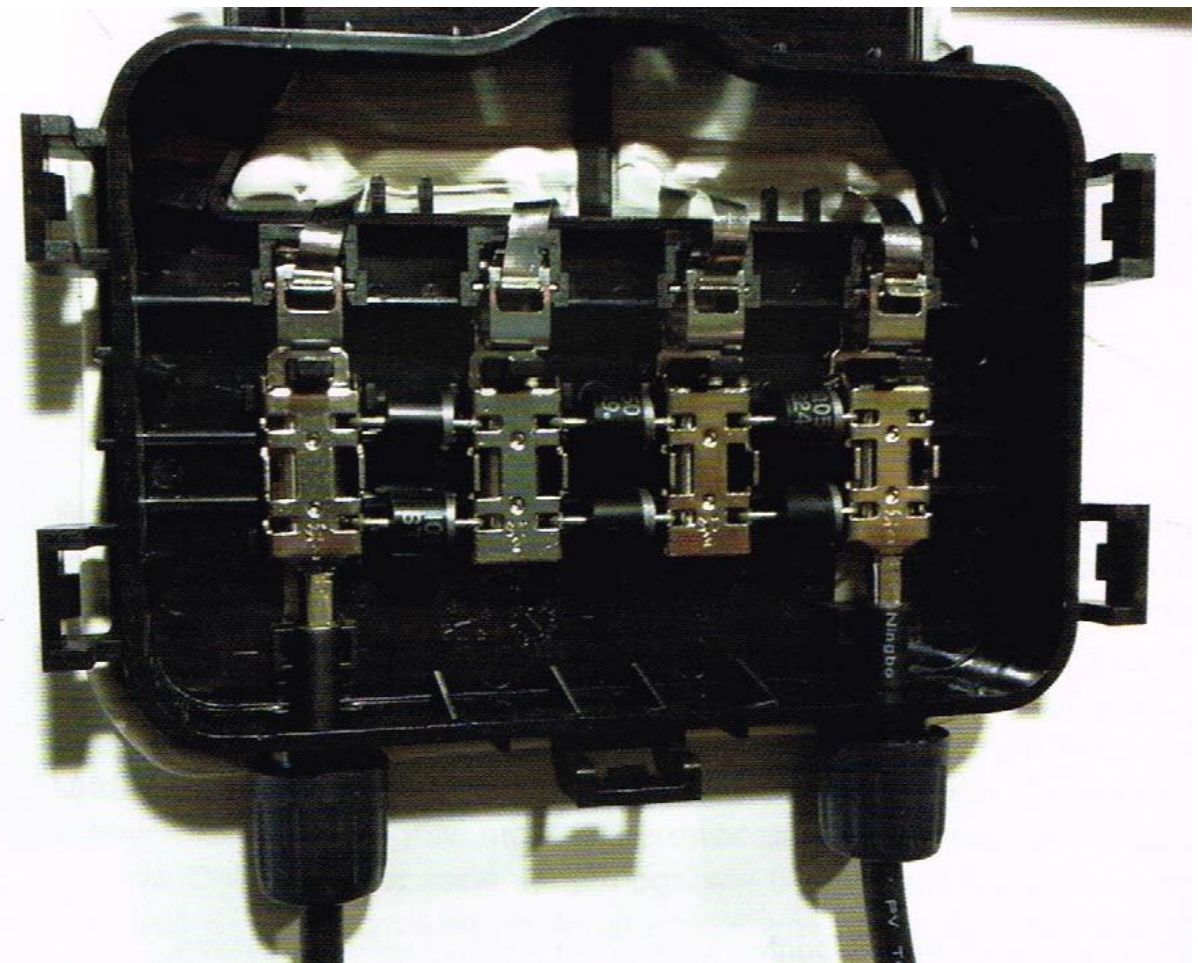


Cele ogrzewając się działają jak opornik



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

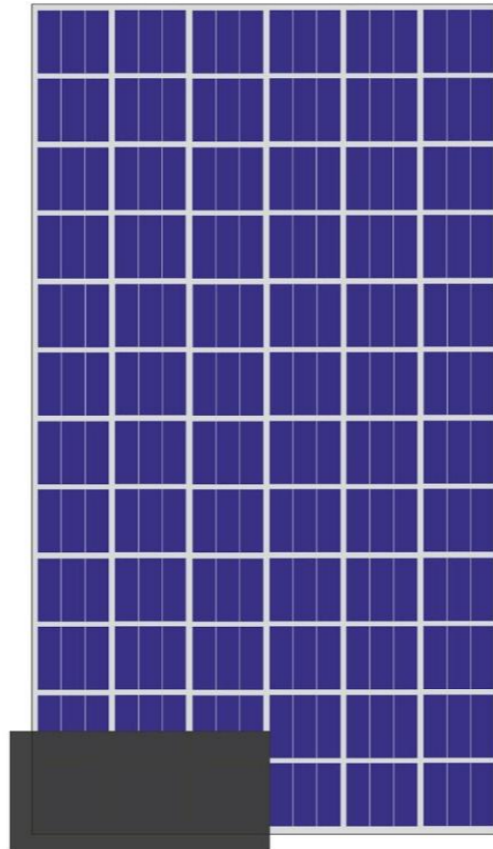
Pozostałe 75% nośników z niezacienionych ogniw rekombinuje w zacienionym obszarze jednego ogniwa i oddaje swoją energię w postaci ciepła.



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

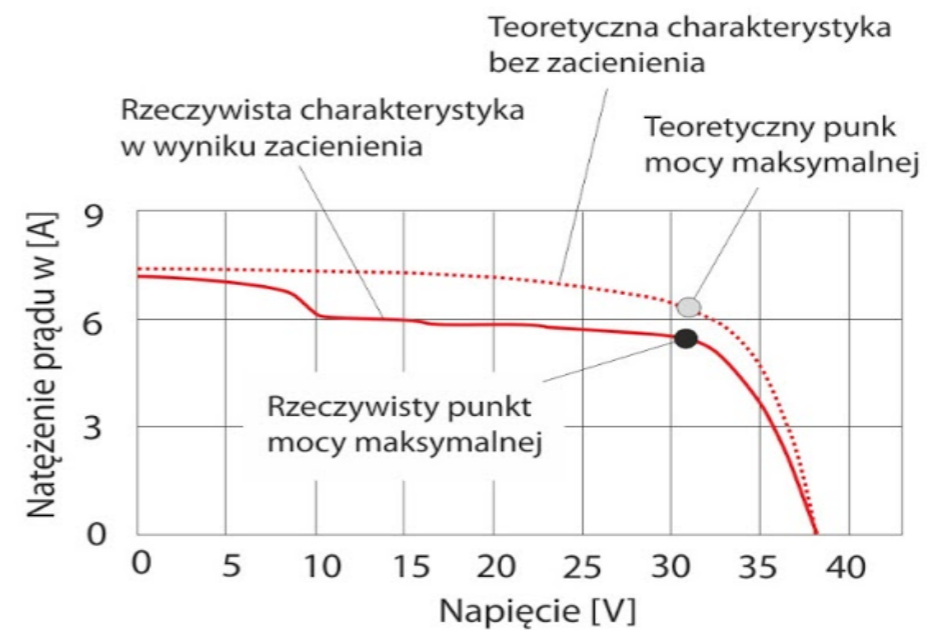
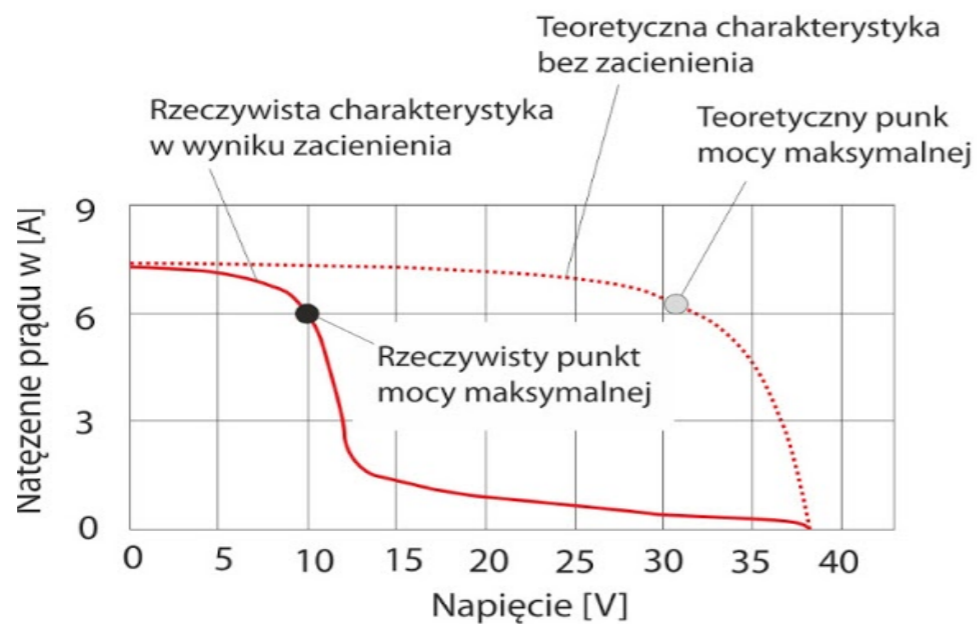
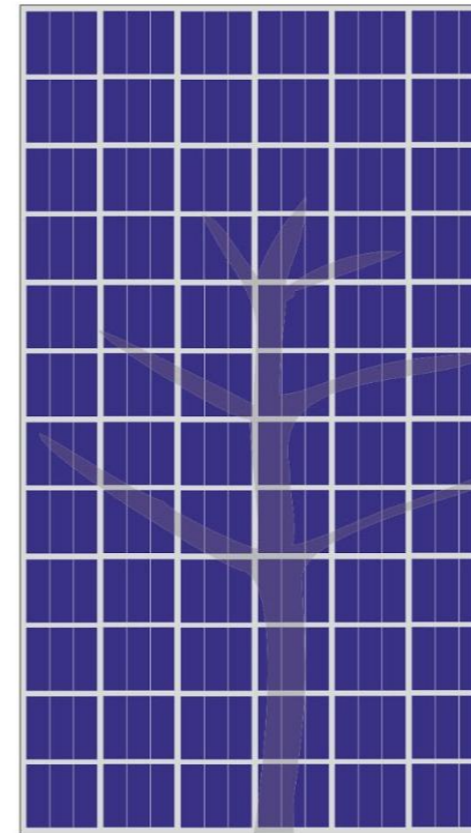
Silne zacinienie

Moduł zbudowany z 72 ogniw z 3 diodami bocznikującymi



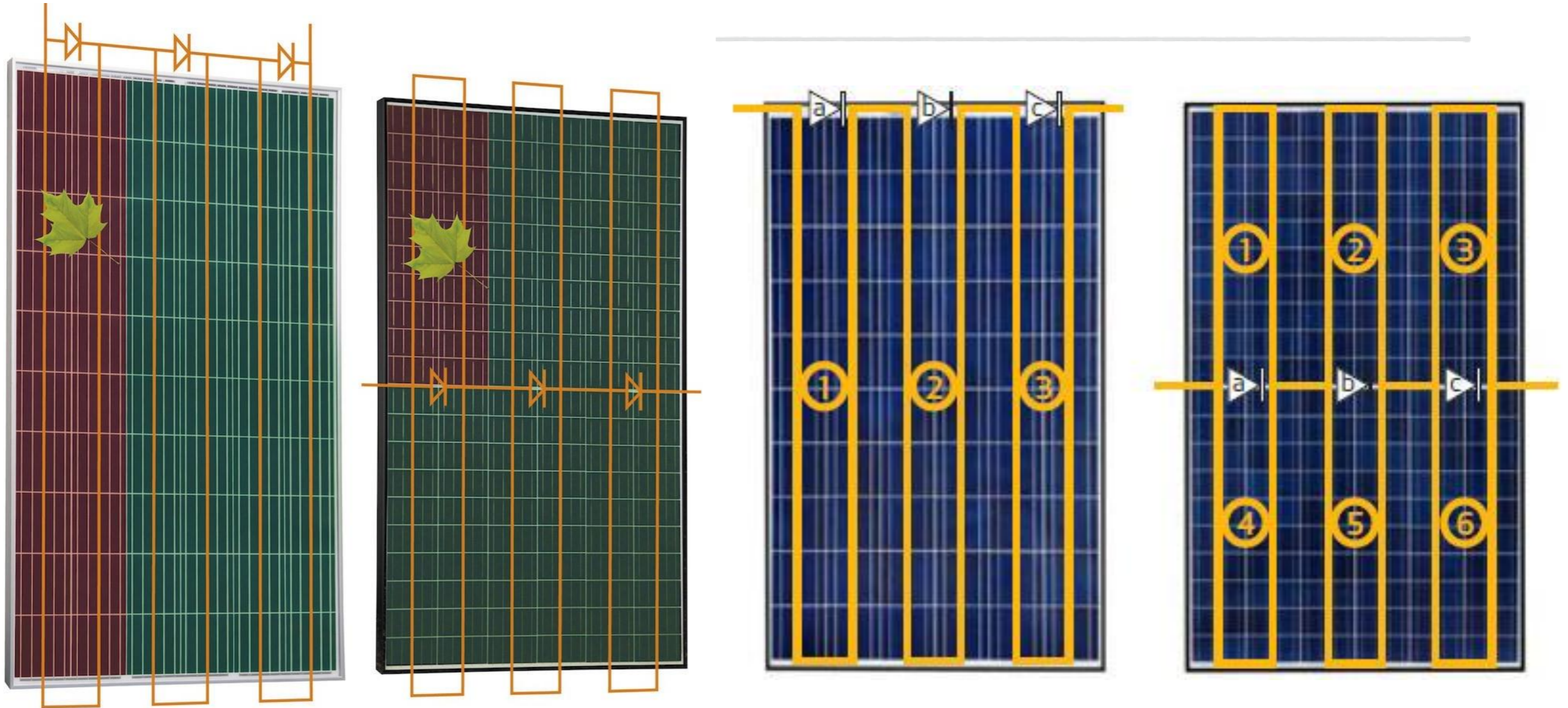
Lekkie zacinienie

Moduł zbudowany z 72 ogniw z 3 diodami bocznikującymi



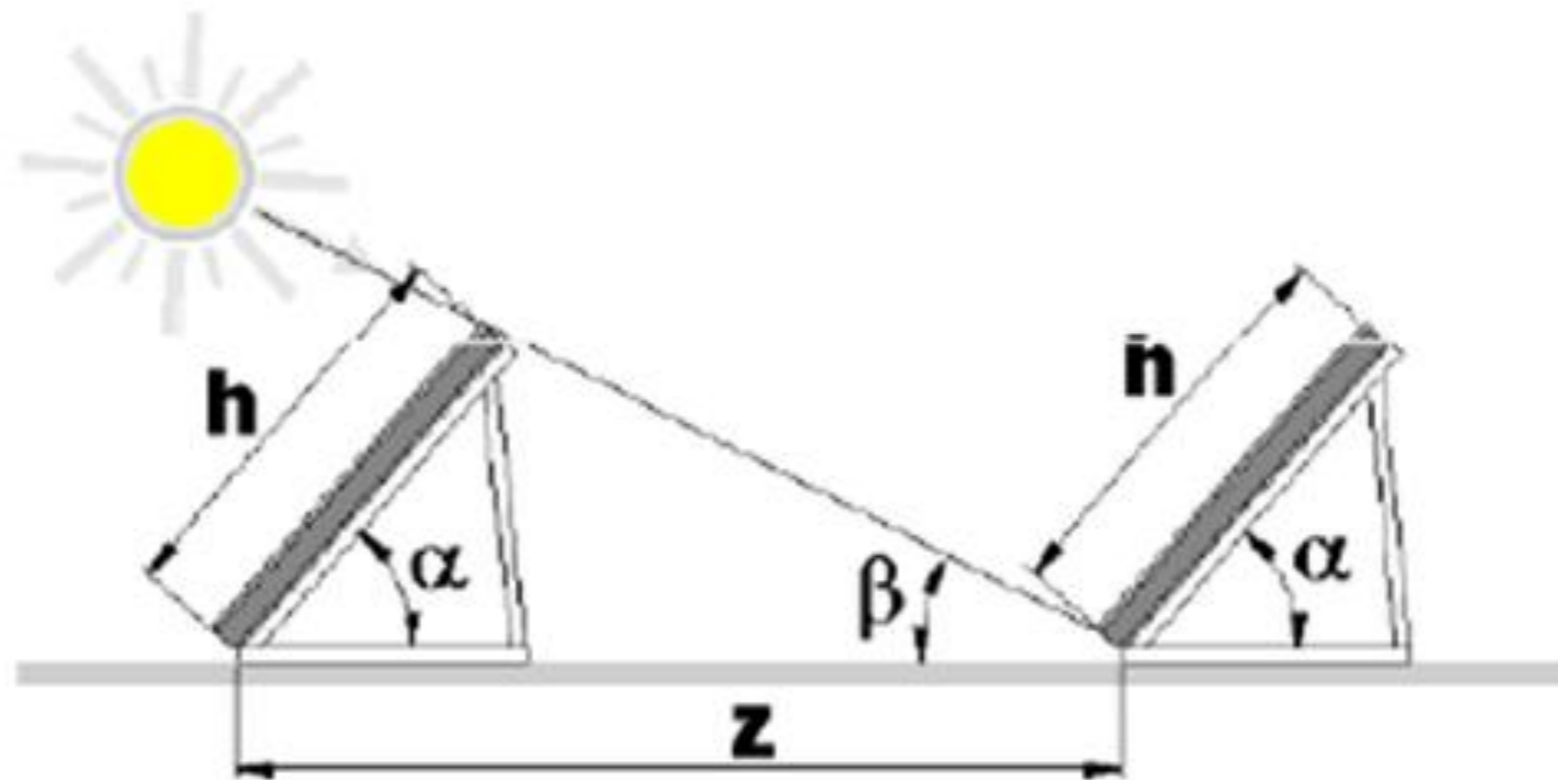
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Technologia half-cut (ogniwa połówkowe)



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Rozstaw rzędów modułów (dach płaski, grunt)



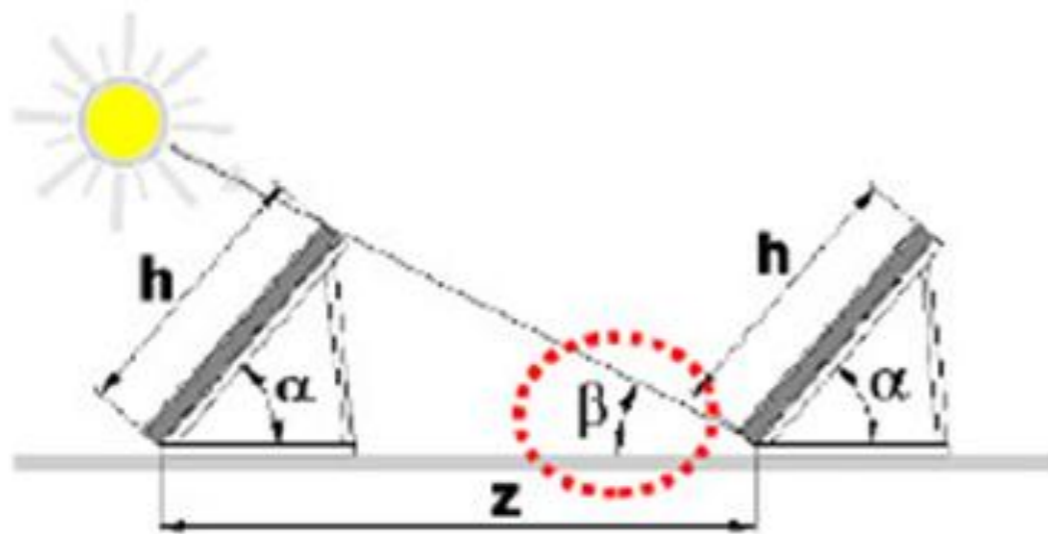
$$z = \frac{h \cdot \sin(180^\circ - (\alpha + \beta))}{\sin \beta}$$

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Odstęp między rzędami modułów (dach płaski, grunt)

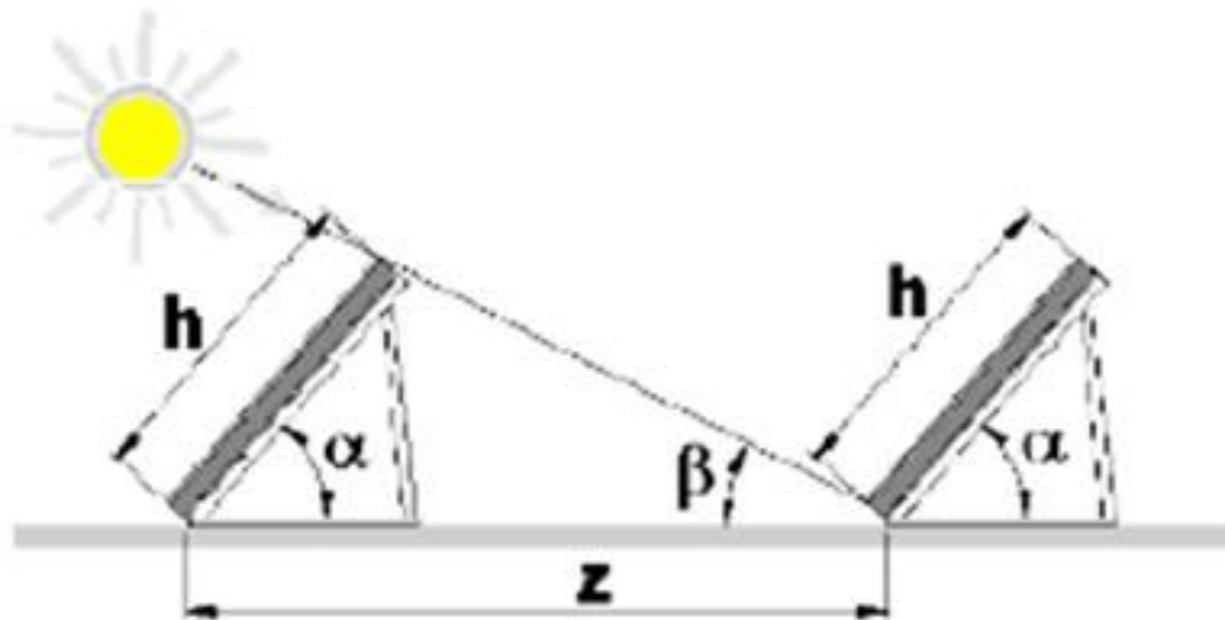
Kąt β

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



MODUŁY FOTOWOLTALICZNE

Odstęp między rzędami modułów (dach płaski, grunt)



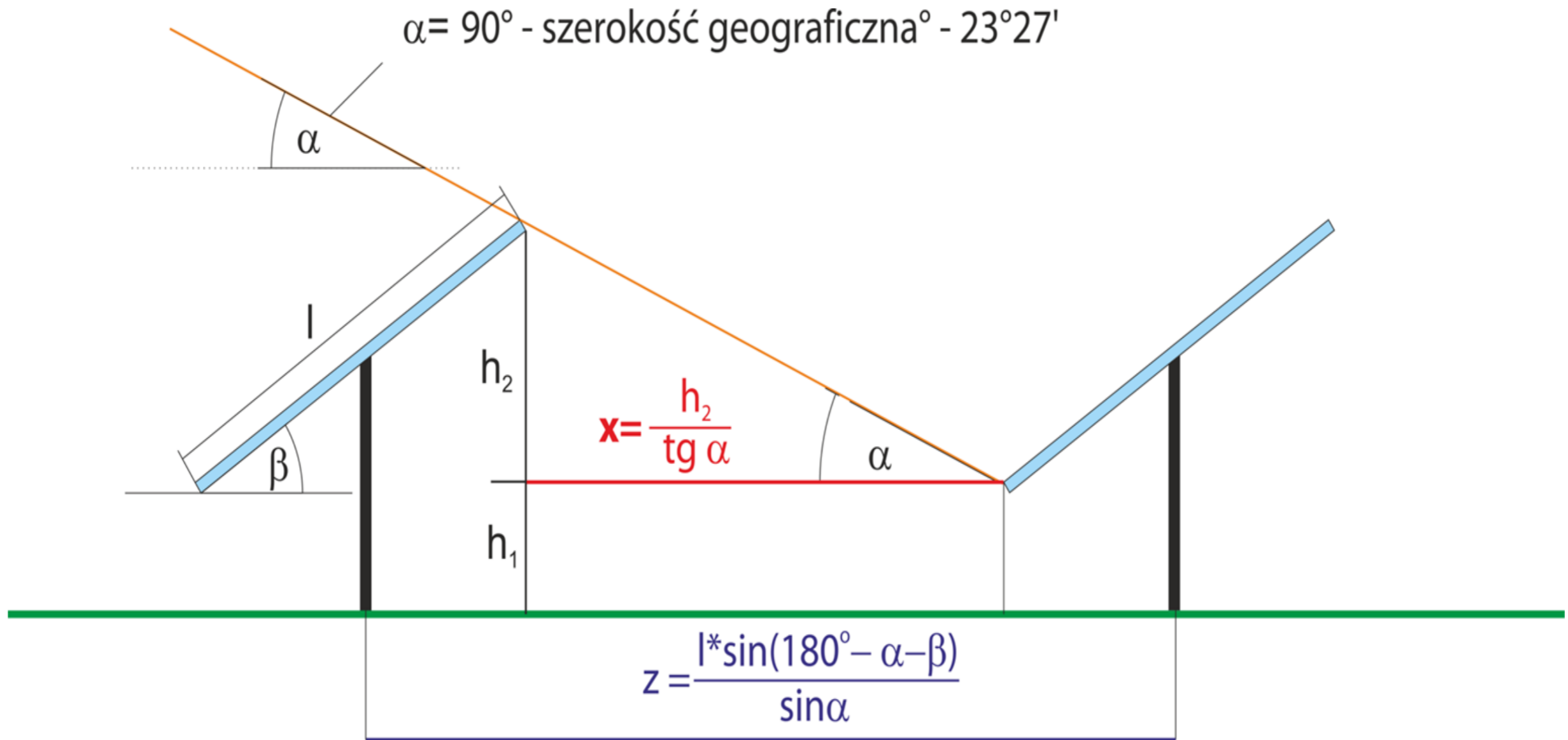
$$z = \frac{h \cdot \sin(180^\circ - (\alpha + \beta))}{\sin \beta}$$

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

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

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Odstęp między rzędami modułów (dach płaski, grunt)



Typy systemów i instalacji fotowoltaicznych

Typy instalacji



Instalacja wyspowa (off grid)

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

Dobór wielkości instalacji zależy od

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

Typy systemów i instalacji fotowoltaicznych

Typy instalacji



Instalacja podłączona do sieci (on grid)

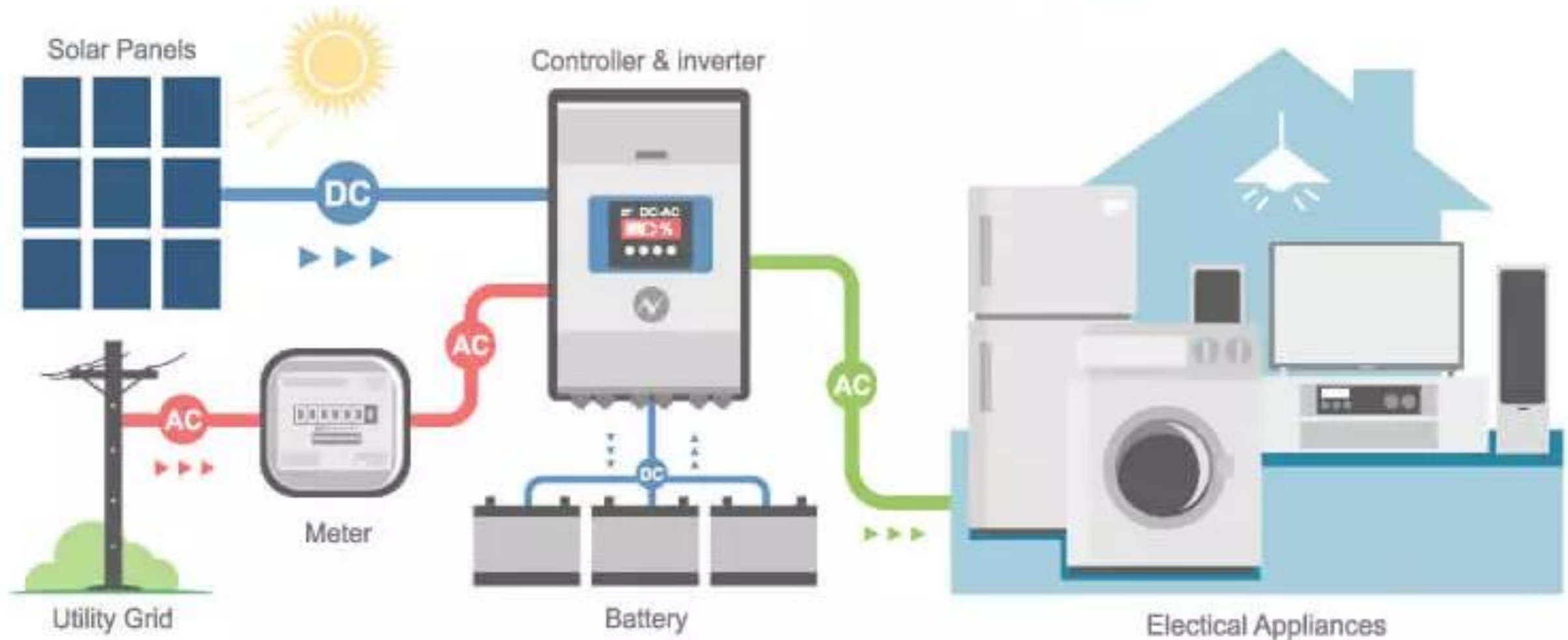
energia elektryczna z paneli fotowoltaicznych w postaci prądu stałego jest zamieniana przez inwerter na prąd zmienny o odpowiednich parametrach i następnie wykorzystywana na potrzeby pracy urządzeń domowych. Nadwyżki energii sprzedawane są do sieci energetycznej.

Dobór wielkości instalacji zależy od

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

Typy systemów i instalacji fotowoltaicznych

Typy instalacji



Dobór wielkości instalacji zależy od

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

Instalacja fotowoltaiczna hybrydowa

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

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

<https://instsani.pl/technik-urzadzen-i-systemow-energetyki-odnawialnej/vademecum-energetyki-odnawialnej>