

SYSTEMY ENERGETYKI ODNAWIALNEJ

W2:

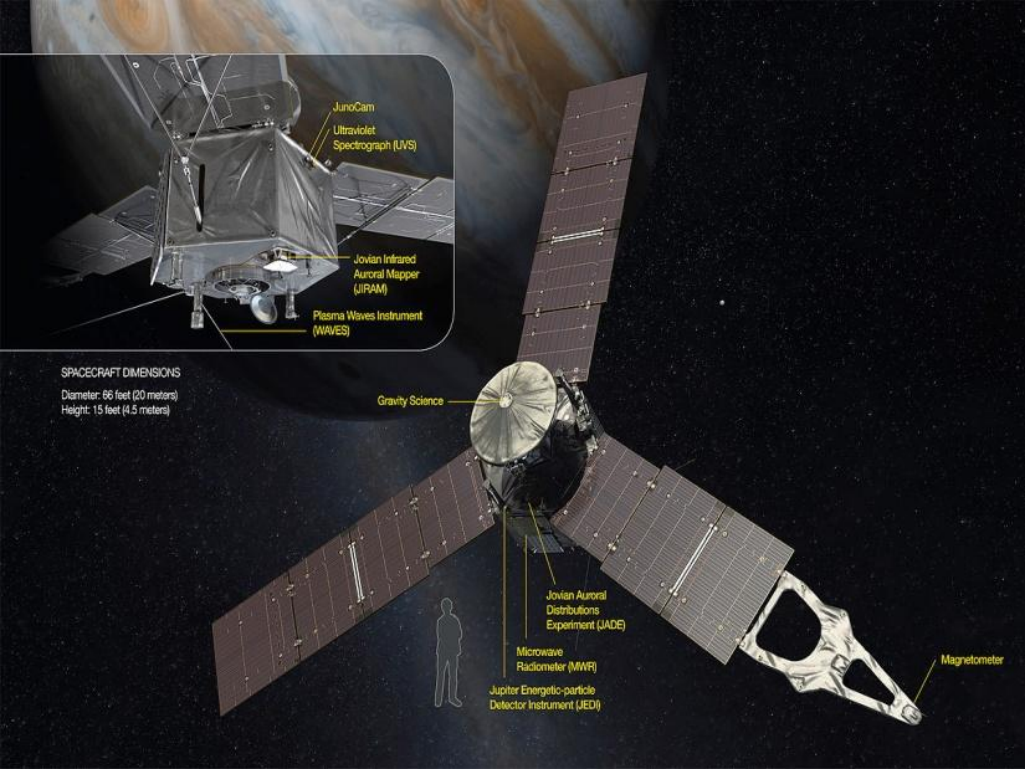
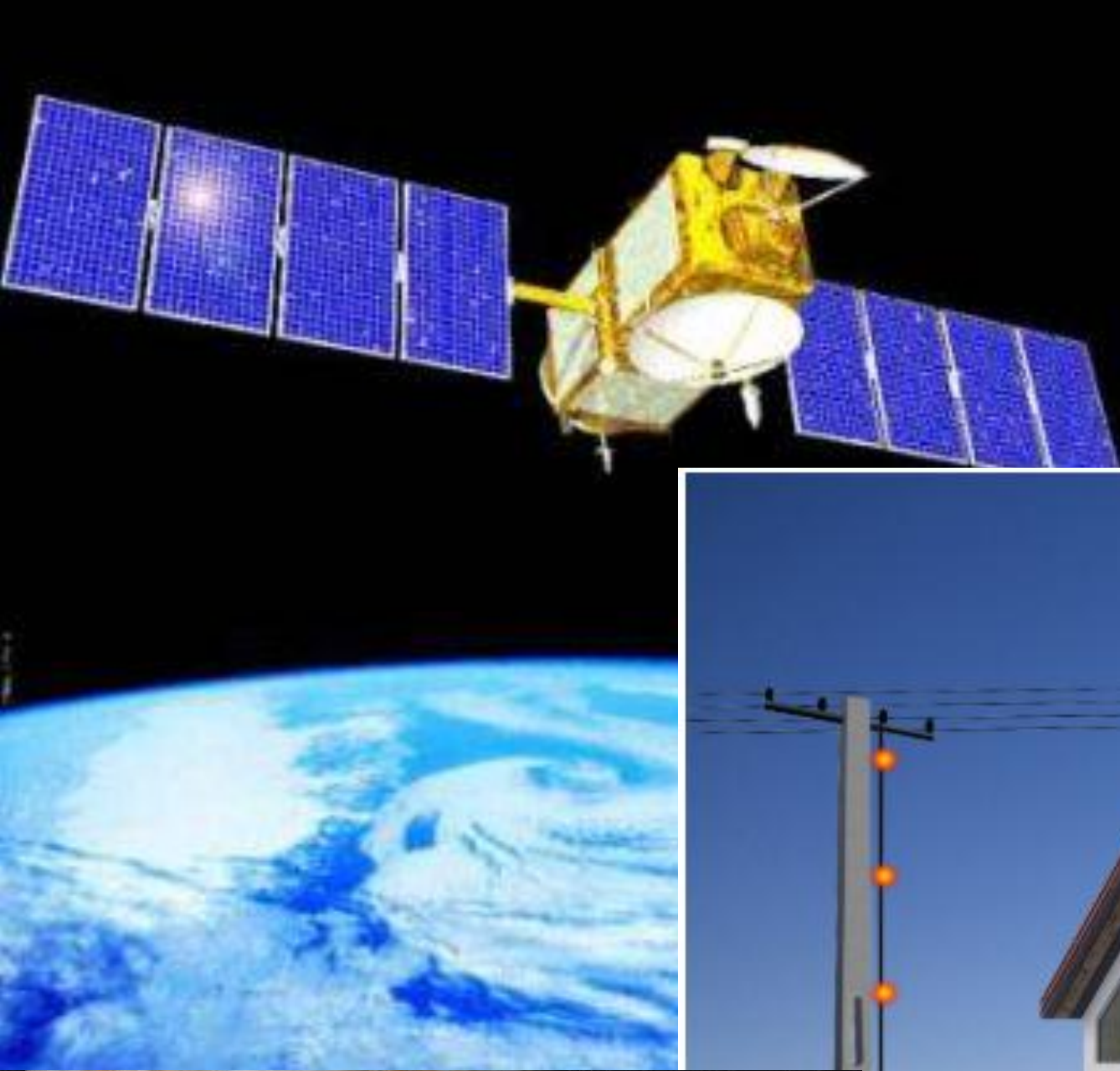
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

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.



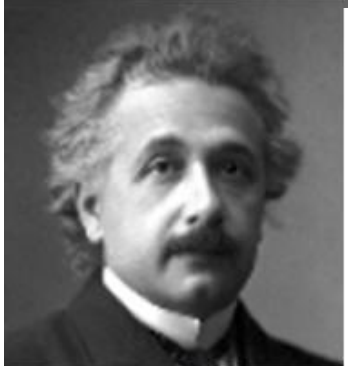
1902 r.

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%.

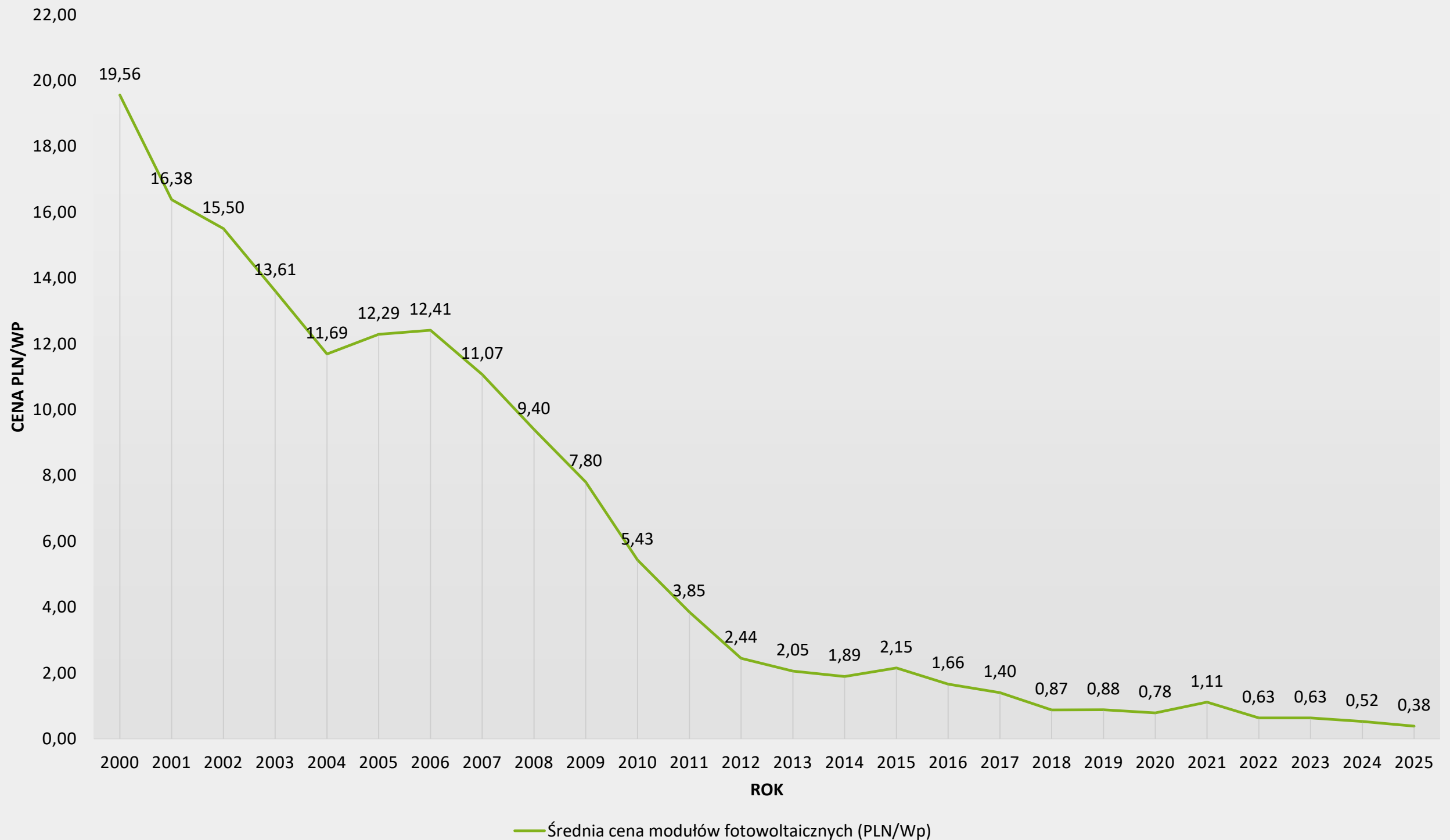
KOLEJNE LATA

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

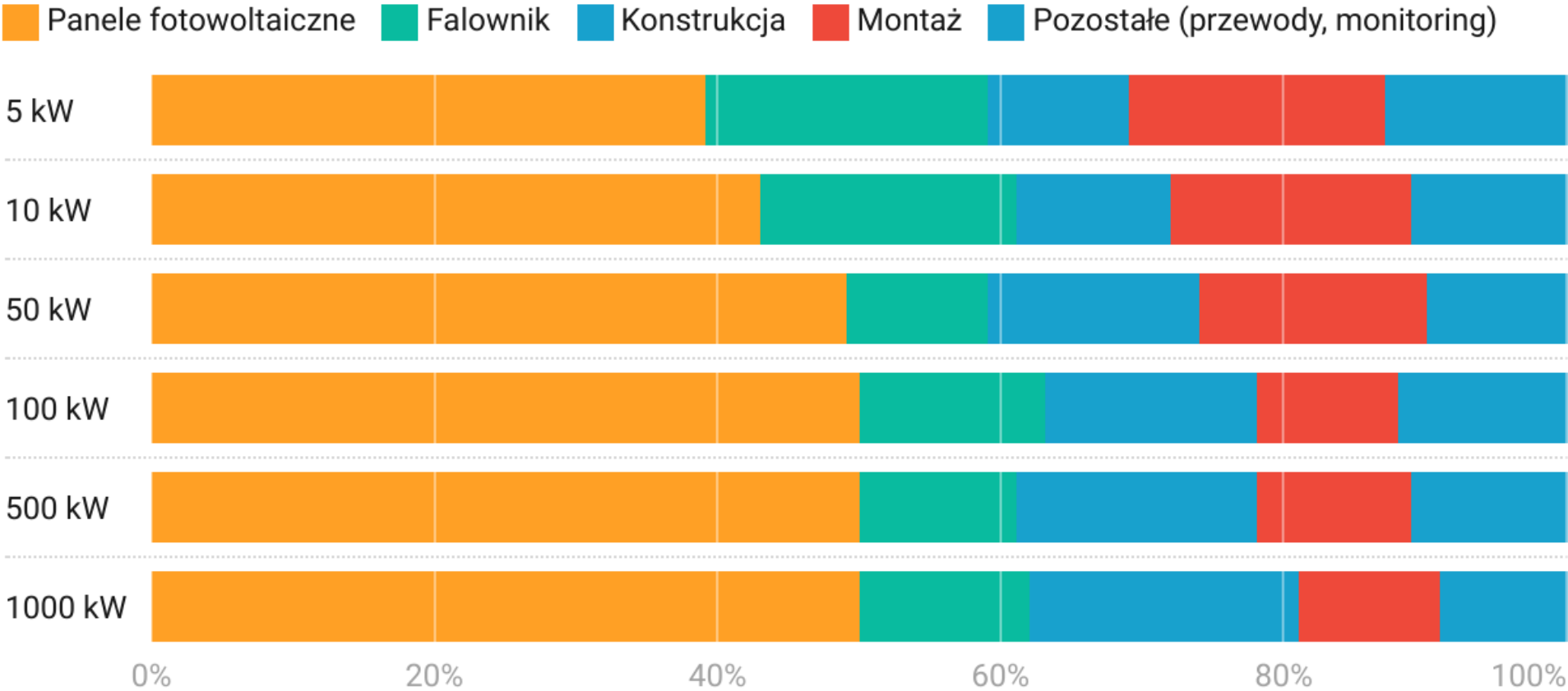
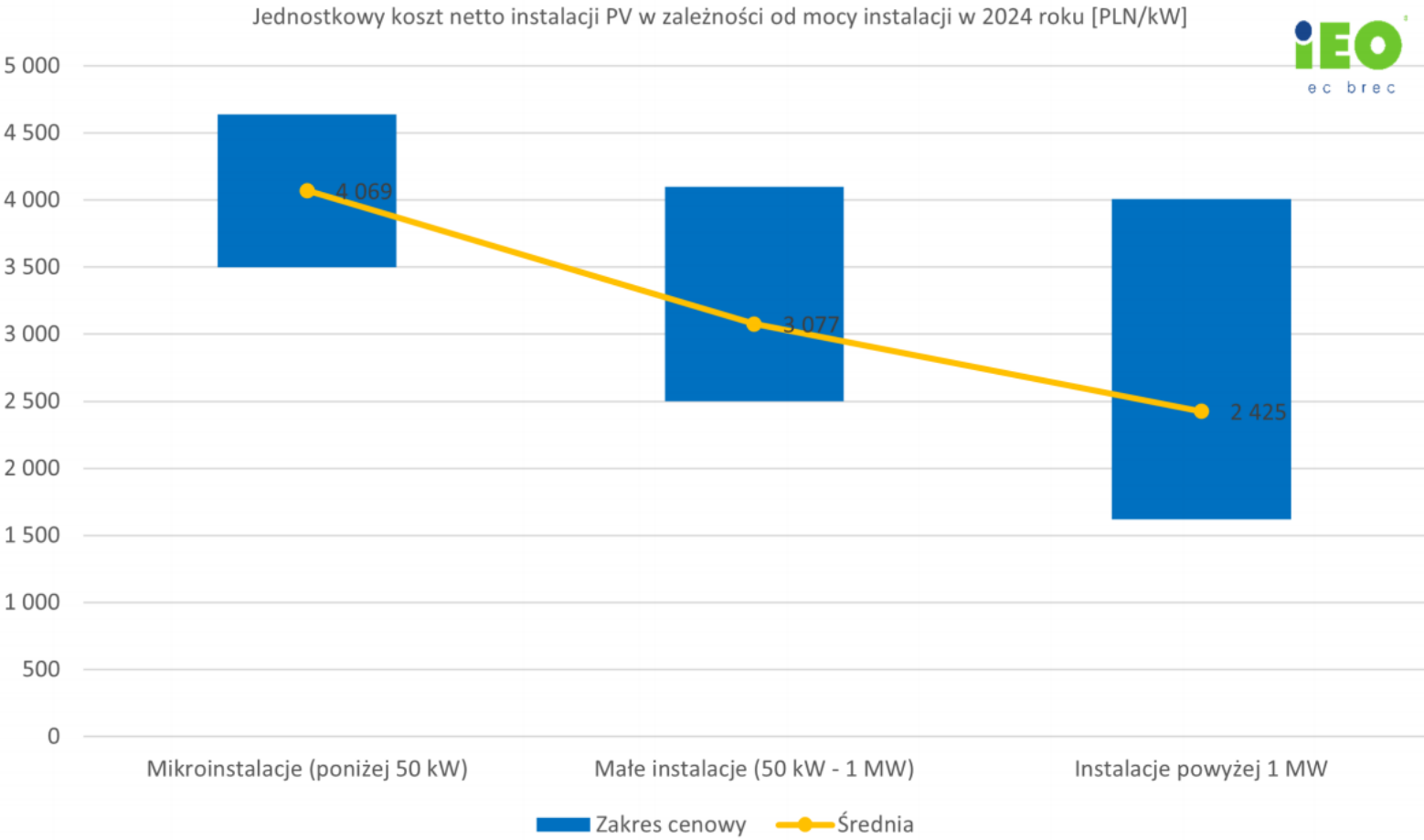
Średnia cena modułów fotowoltaicznych (PLN/Wp)



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

CENY INSTALACJI PV

Jednostkowe ceny netto instalacji PV w zależności od mocy. Źródło: IEO



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, seleniu (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.

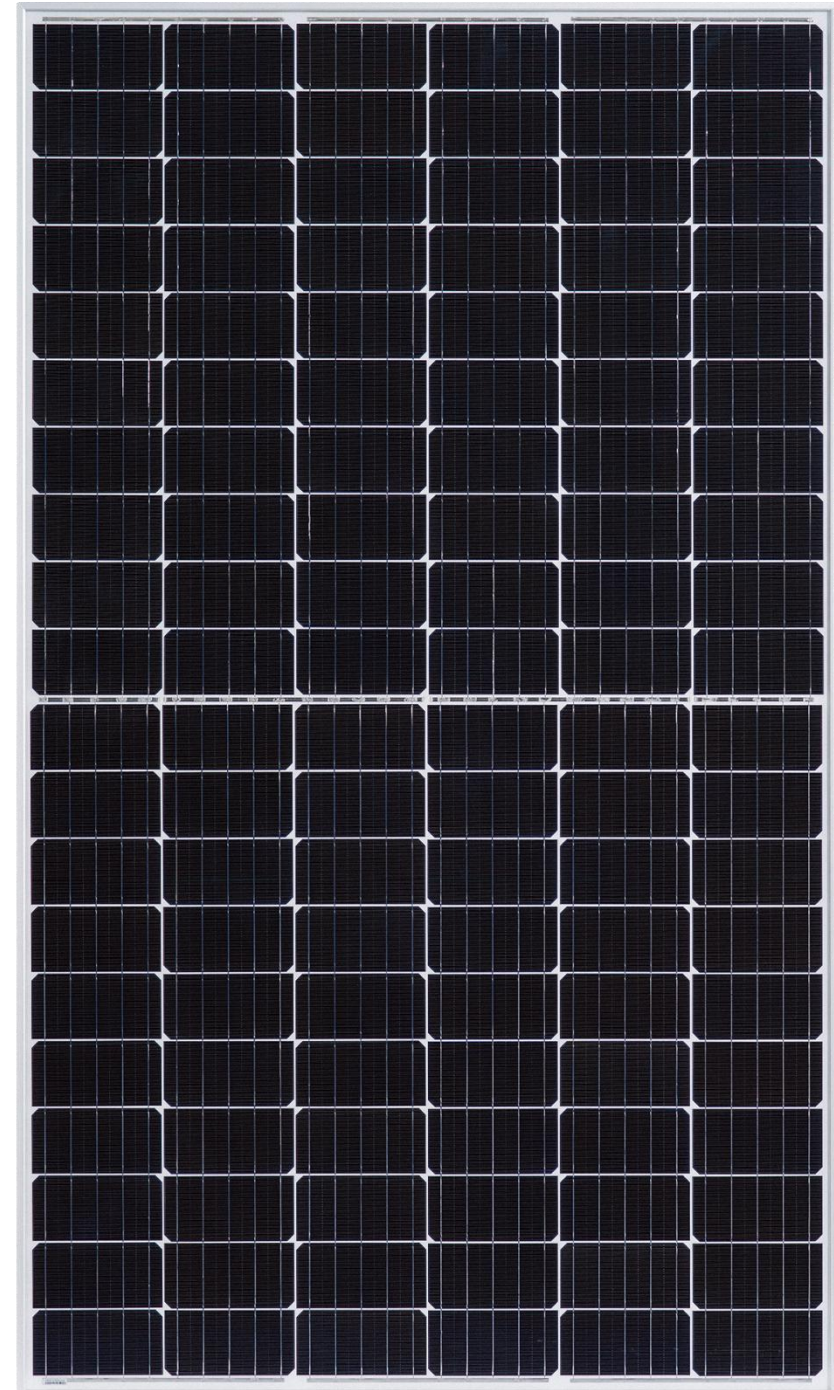
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Ogniwa fotowoltaiczne I generacji

MODUŁ POLIKRYSTALICZNY
SPRAWNOŚĆ: 15% - 18%

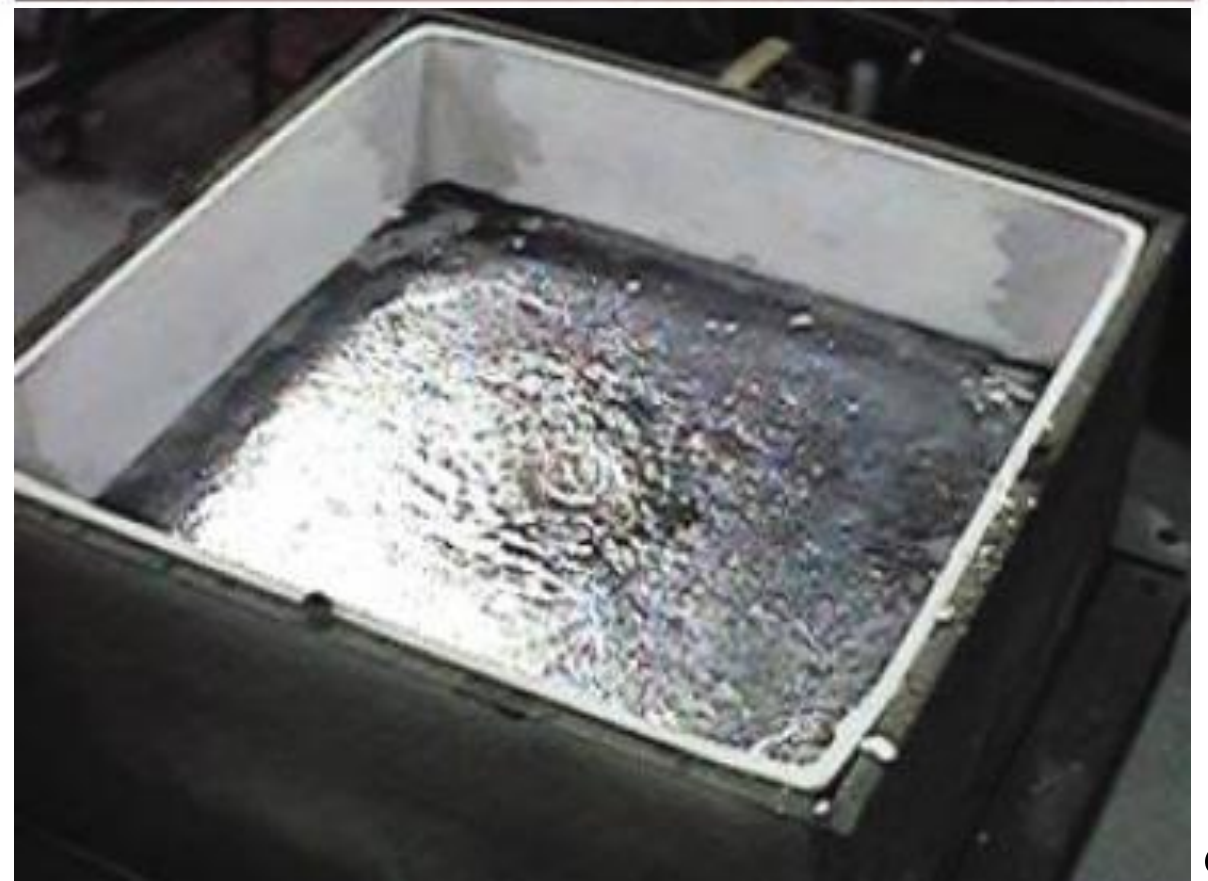
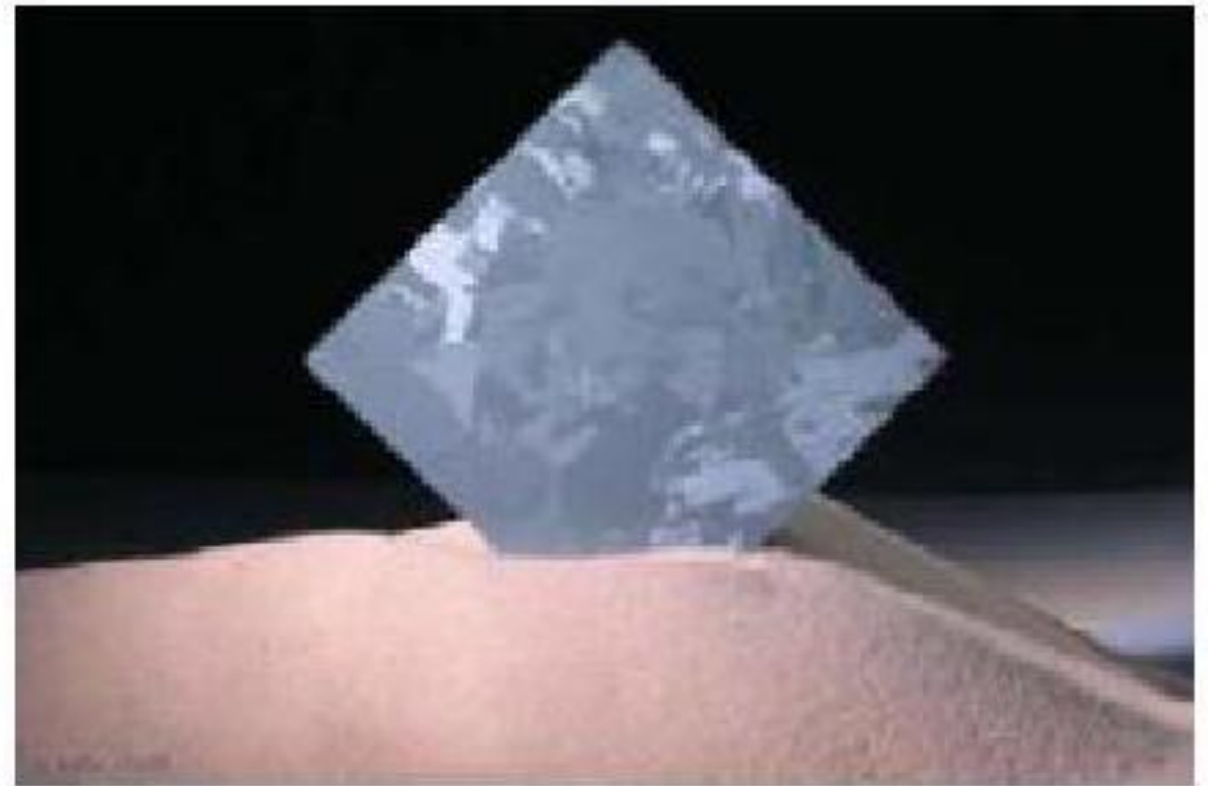


MODUŁ MONOKRYSTALICZNY
SPRAWNOŚĆ: 20% - 23%



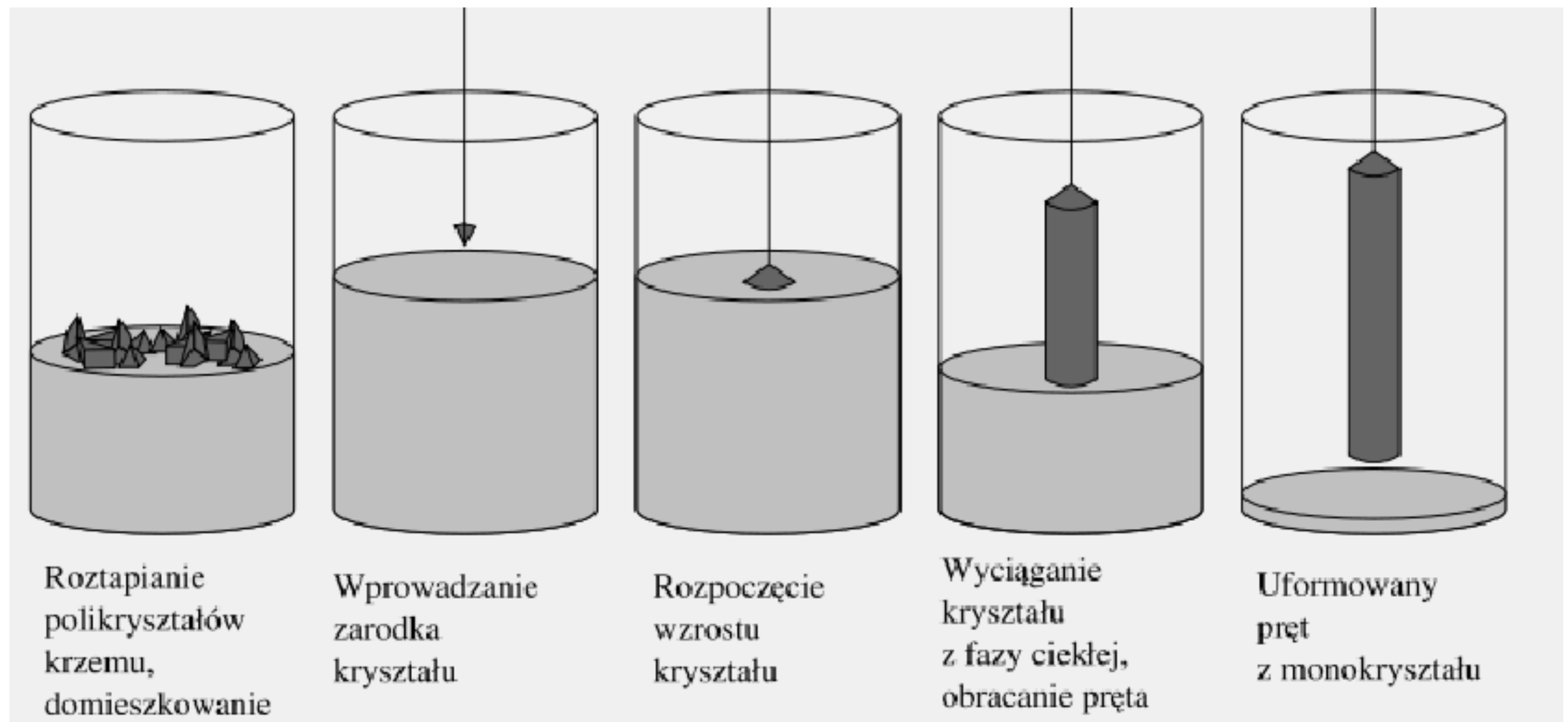
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Technologia wytwarzania ogniw I generacji



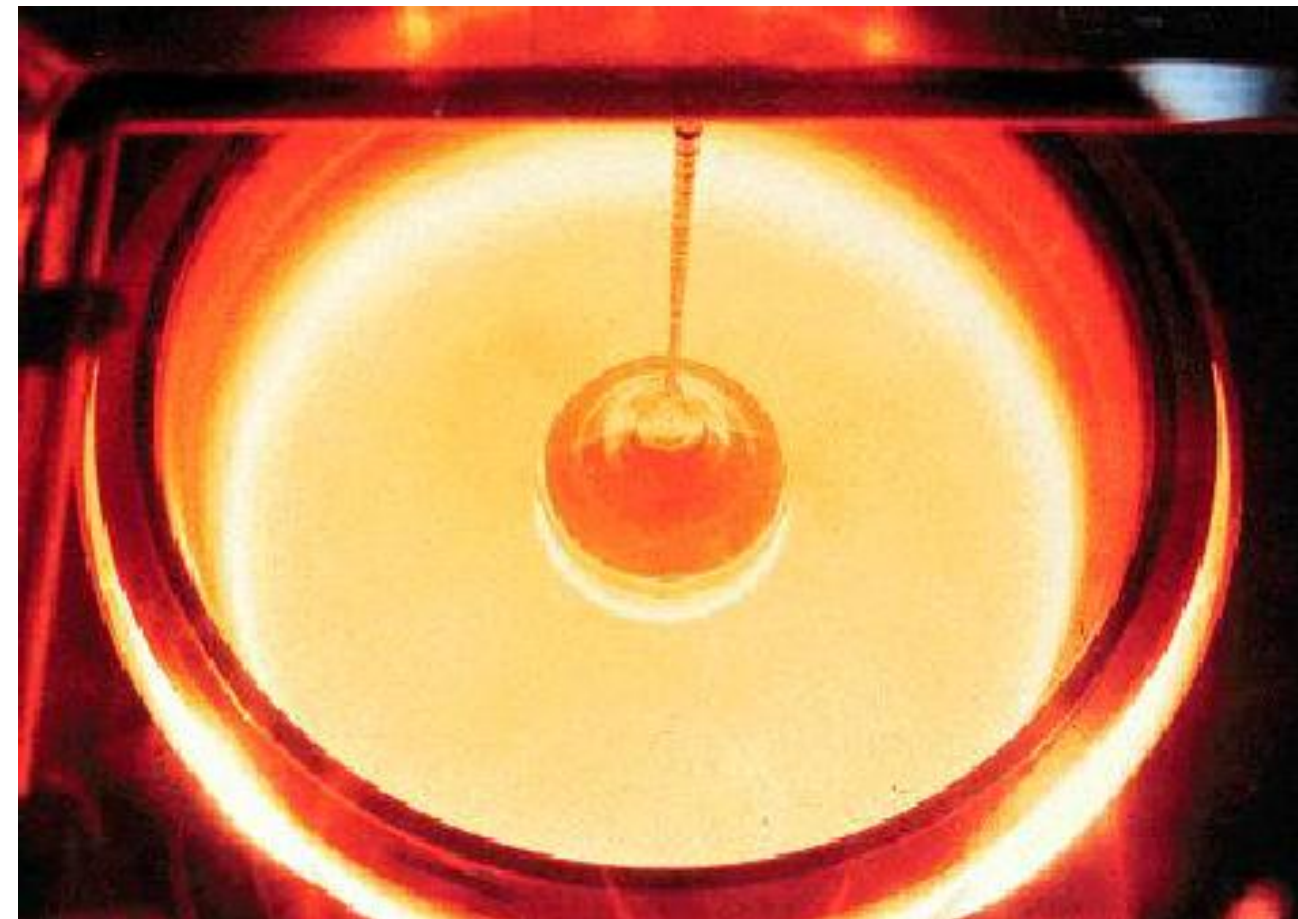
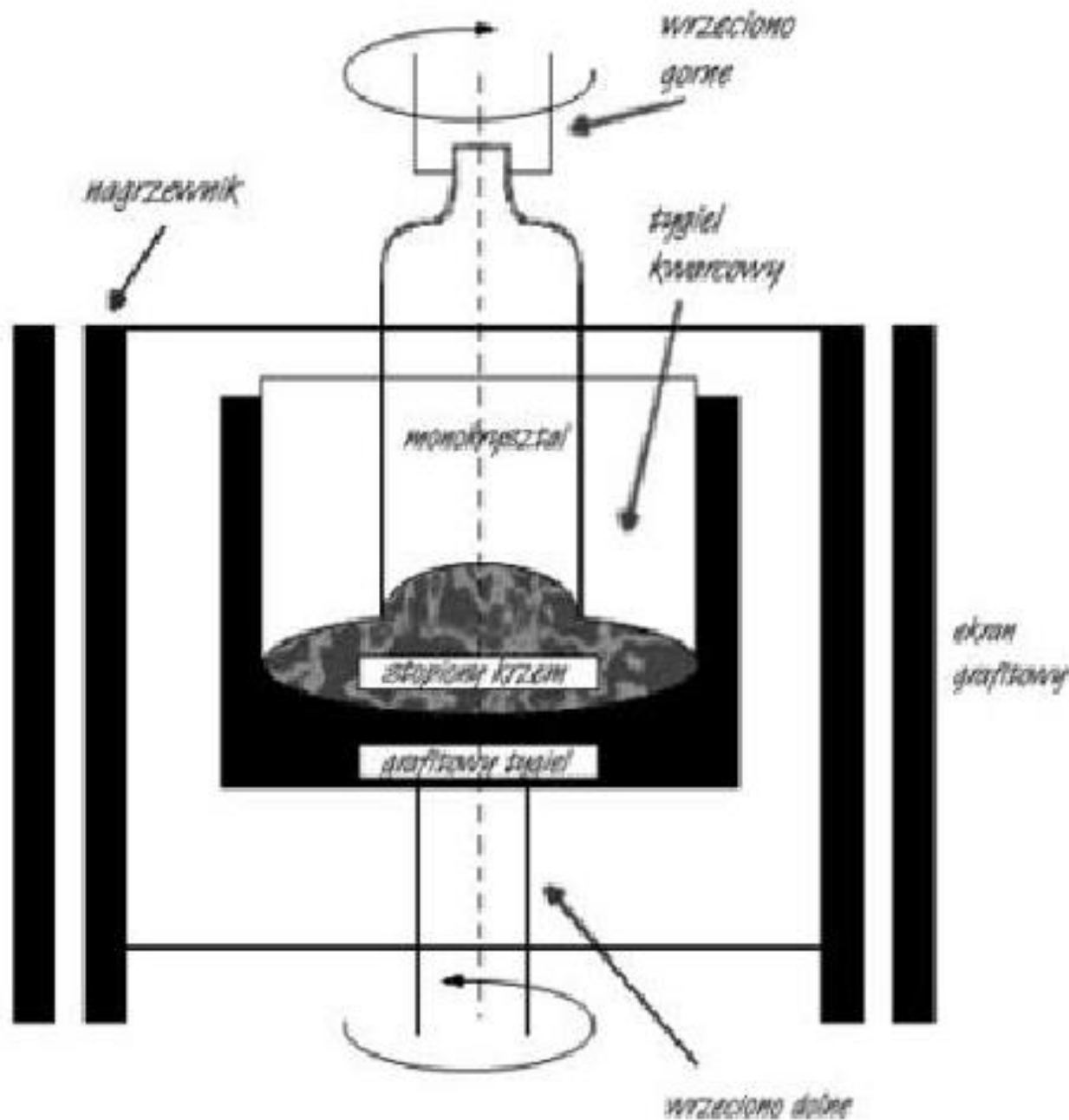
Metoda Jana Czochralskiego - technika otrzymywania monokryształów, która polega na powolnym, stopniowym wyciąganiu z roztopionego materiału zarodka krystalicznego w sposób zapewniający kontrolowaną i stabilną krystalizację na jego powierzchni. Dodatkowo, jeśli wymagają tego warunki procesu krystalizacji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

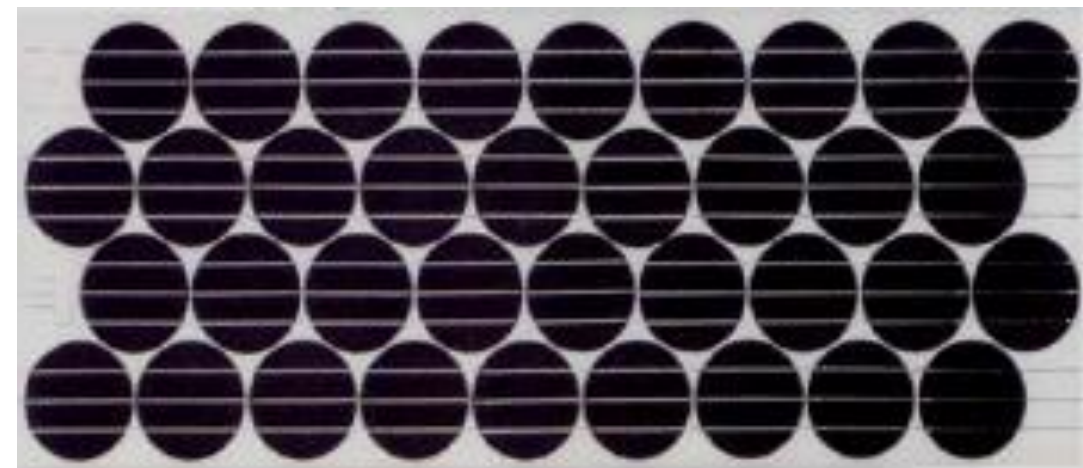
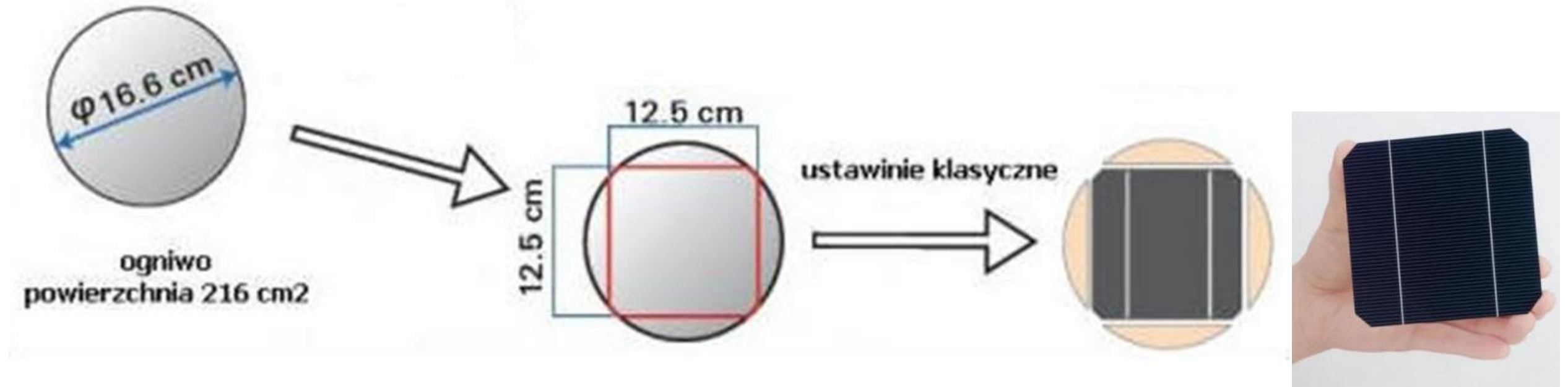
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Technologia wytwarzania ogniw I generacji



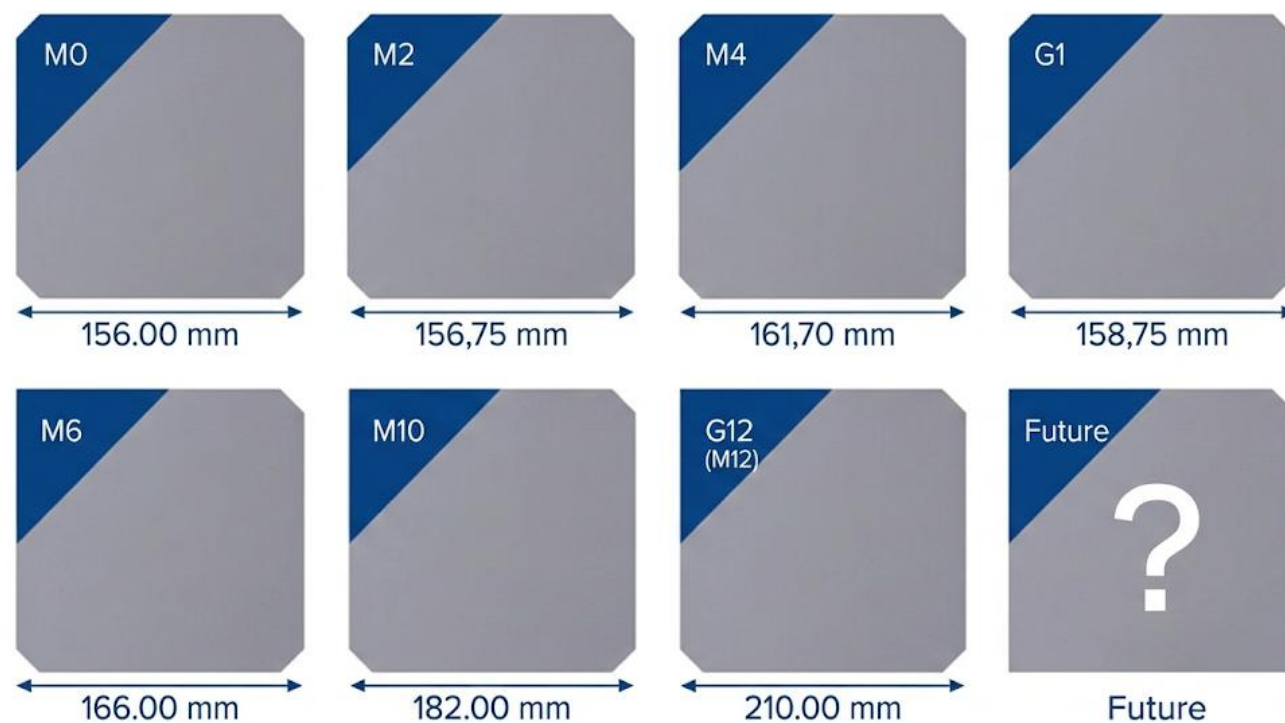
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Technologia wytwarzania ogniw I generacji



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Rodzaje wafli krzemowych ogniw I generacji

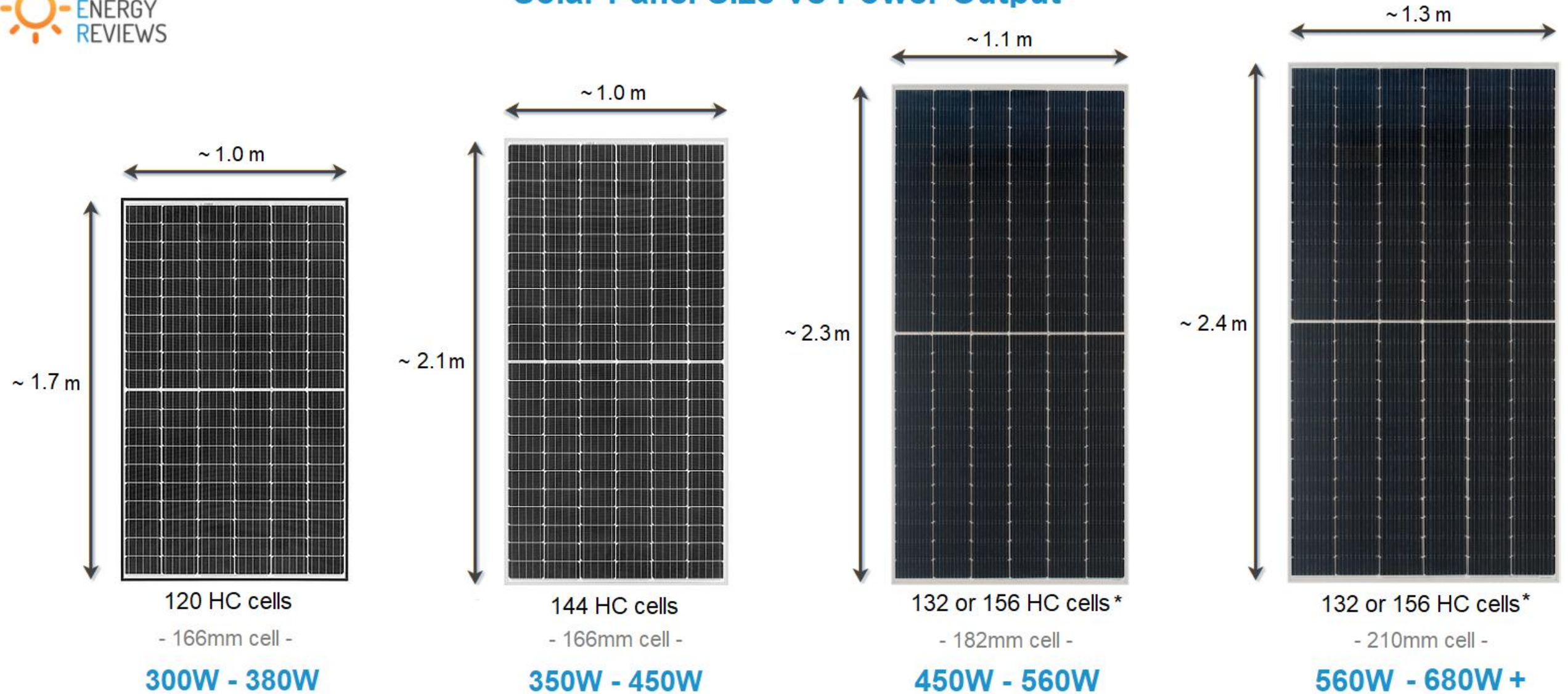


Nazwa formatu	Wymiary boku (mm)	Powierzchnia (cm ²)	Status rynkowy
M0	156.00 x 156.00	243.36	Wycofany / Serwisowy
M2	156.75 x 156.75	245.71	Schyłkowy
M4	161.70 x 161.70	261.47	Rzadko spotykany
G1	158.75 x 158.75	252.02	Starsze instalacje
M6	166.00 x 166.00	275.56	Popularny (standard 2020/21)
M10	182.00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

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE



Solar Panel Size Vs Power Output



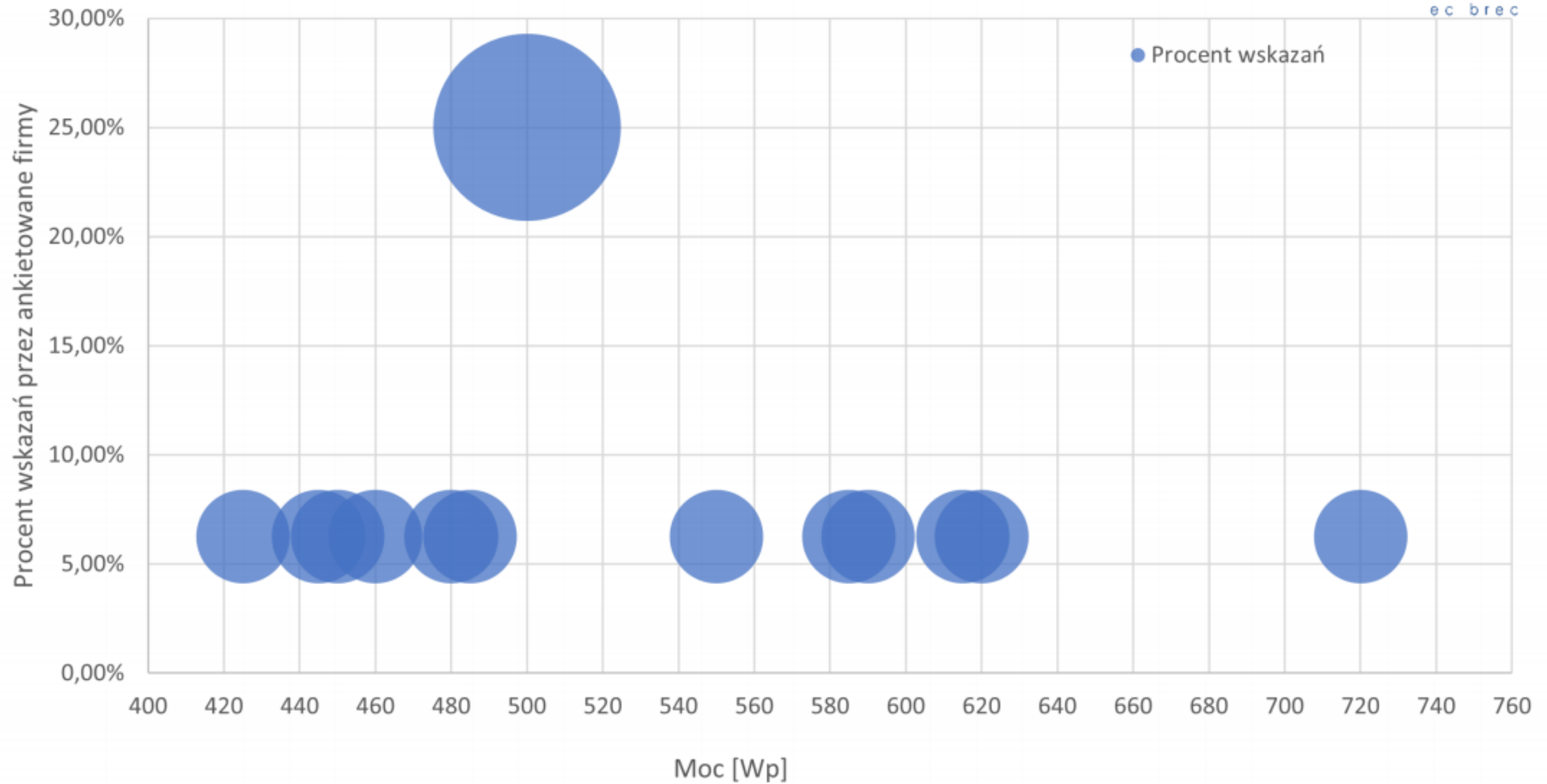
HC = Half-Cut cells

HC* = Half-Cut or 1/3 Cut cells

www.cleanenergyreviews.info

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Najczęściej wybierane moce modułów w 2024 roku



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

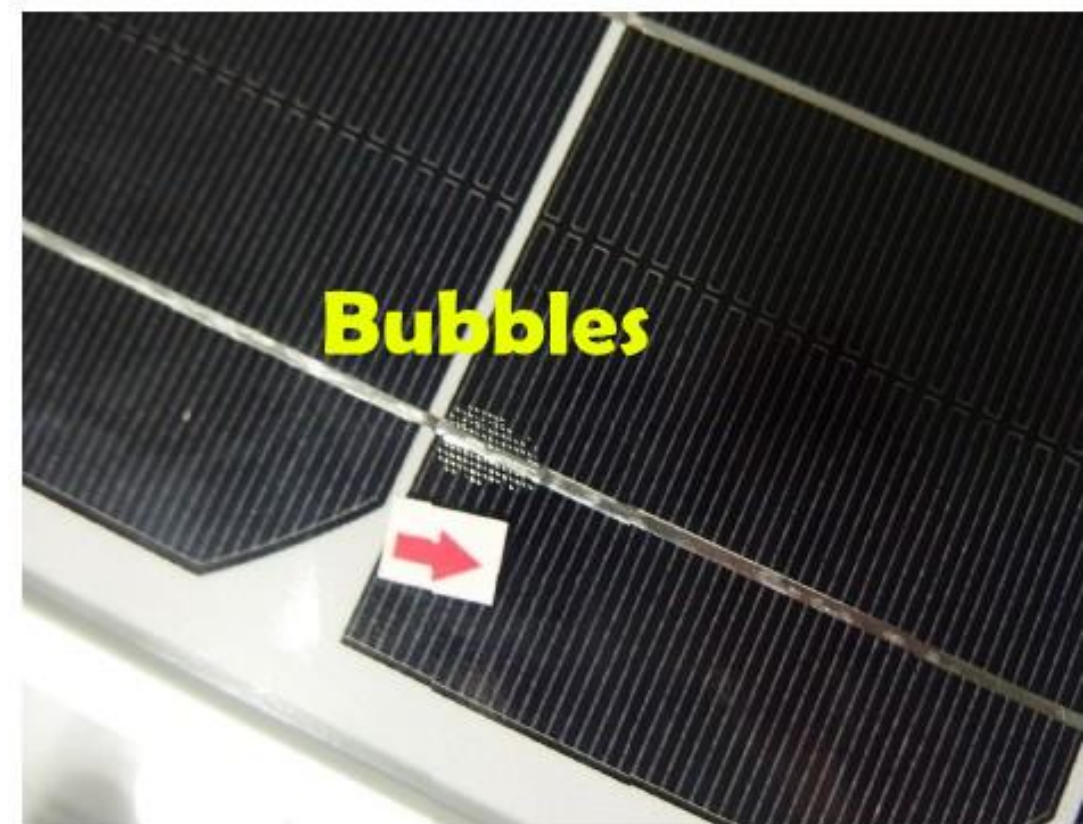
Odporność na warunki atmosferyczne:

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

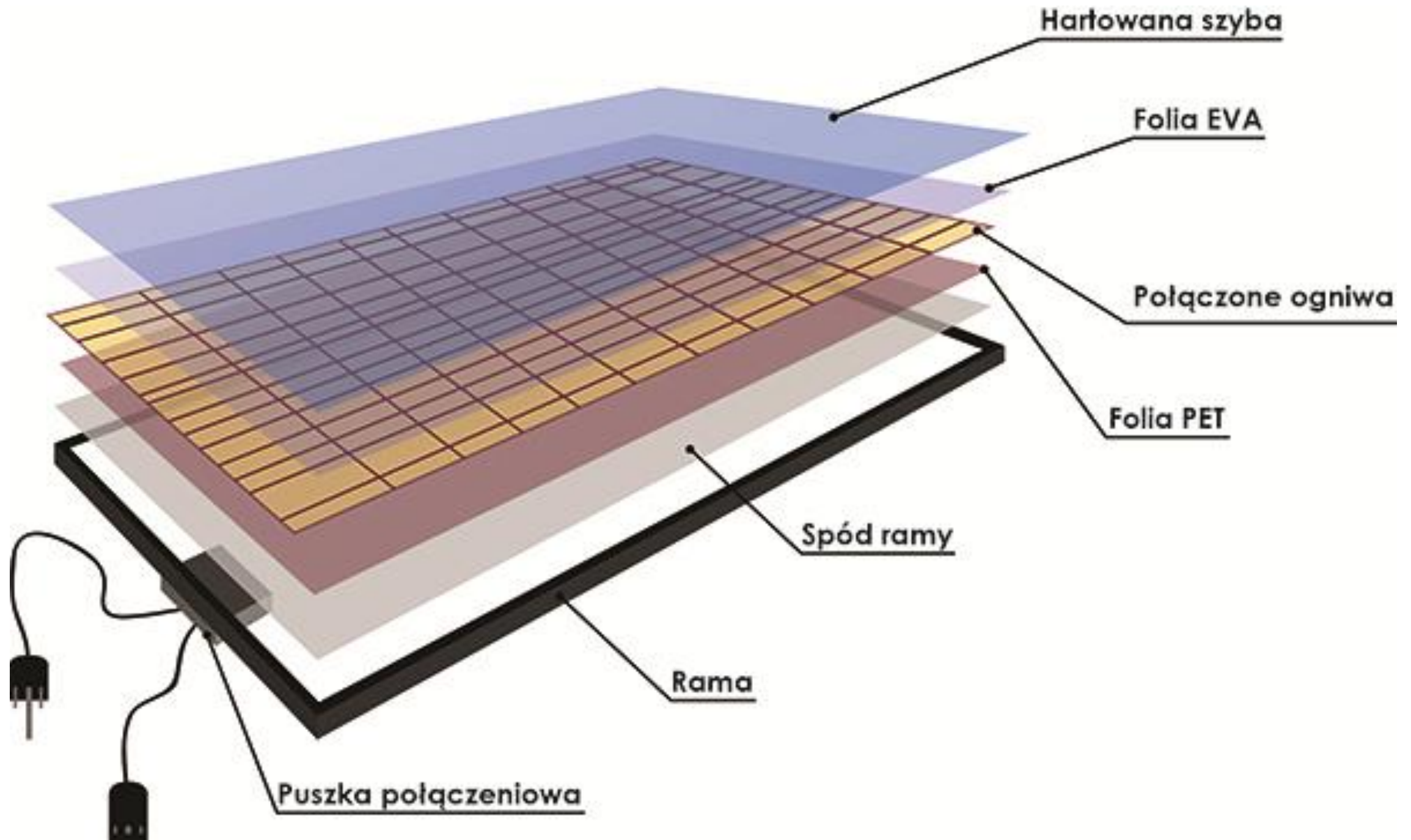
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Przykłady wad modułów PV typu B i C



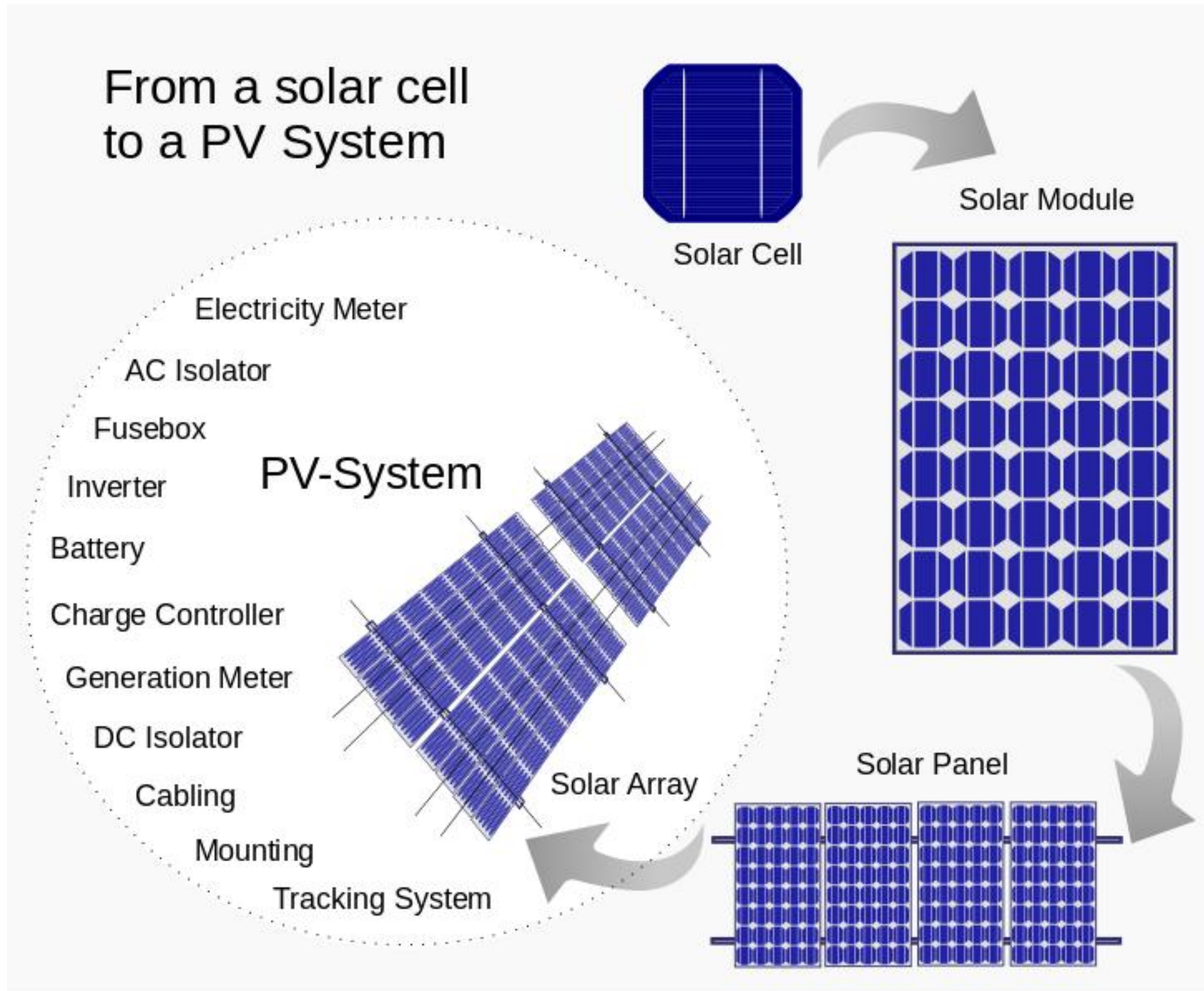
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Budowa modułu PV I generacji



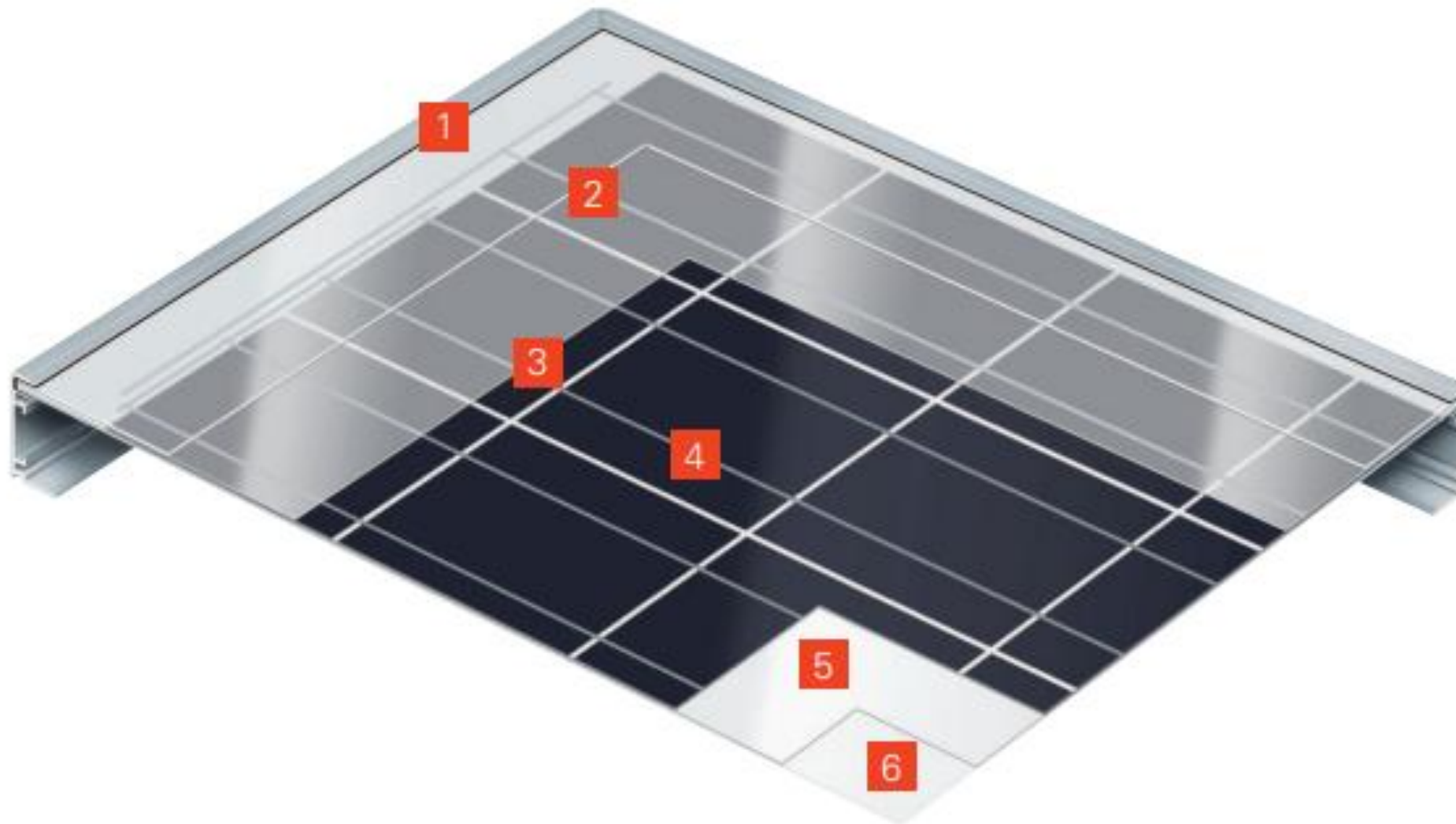
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Nazewnictwo modułów



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Budowa modułu PV I generacji

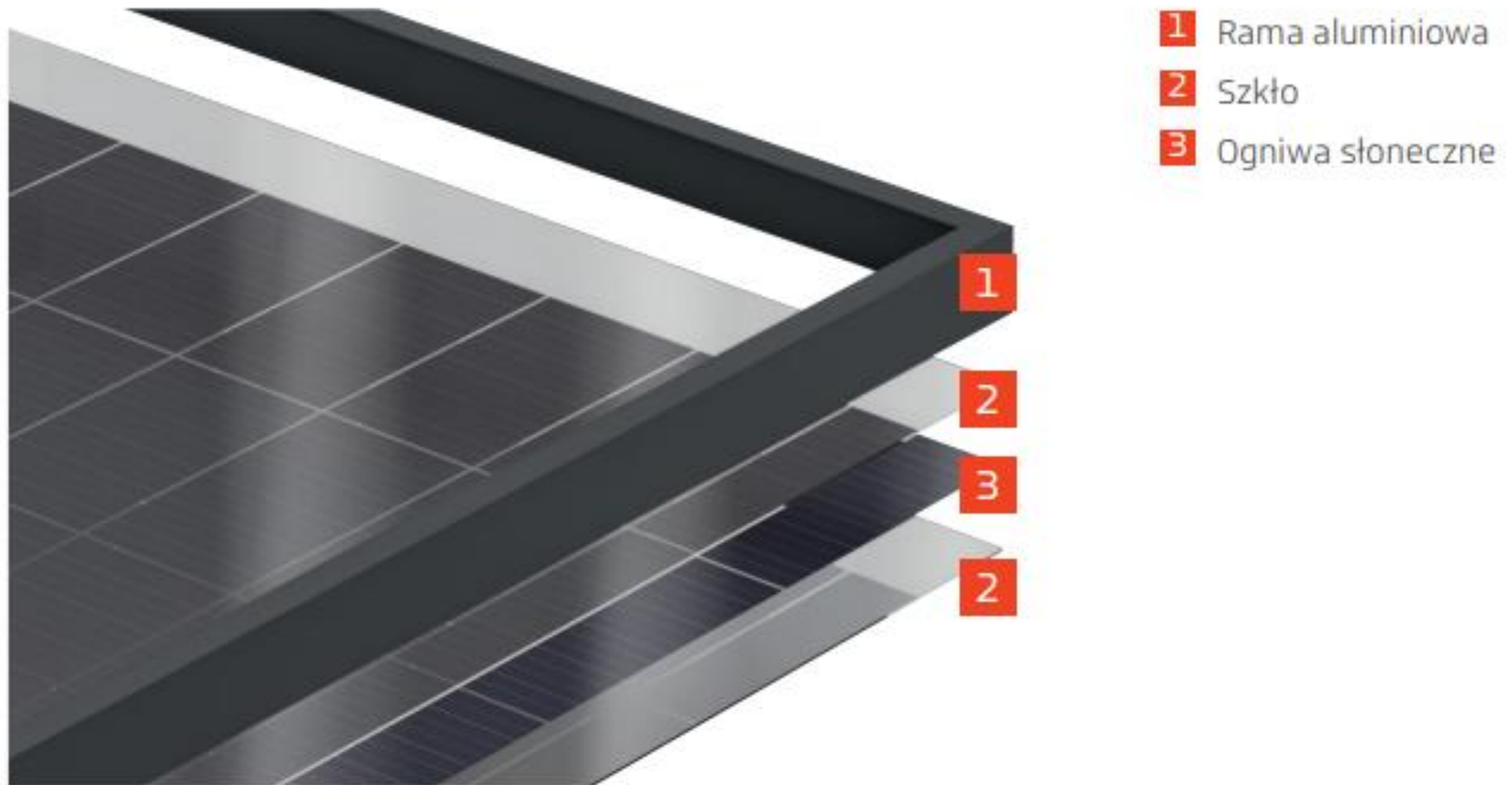


VITOVOLT 300

- 1 Rama aluminiowa
- 2 Szkło kryjące o niskiej zawartości żelaza
- 3 Górna folia EVA
(EVA = octan etylowinyłu)
- 4 Ogniwo krzemowe
- 5 Dolna folia EVA
- 6 Folia tylna

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

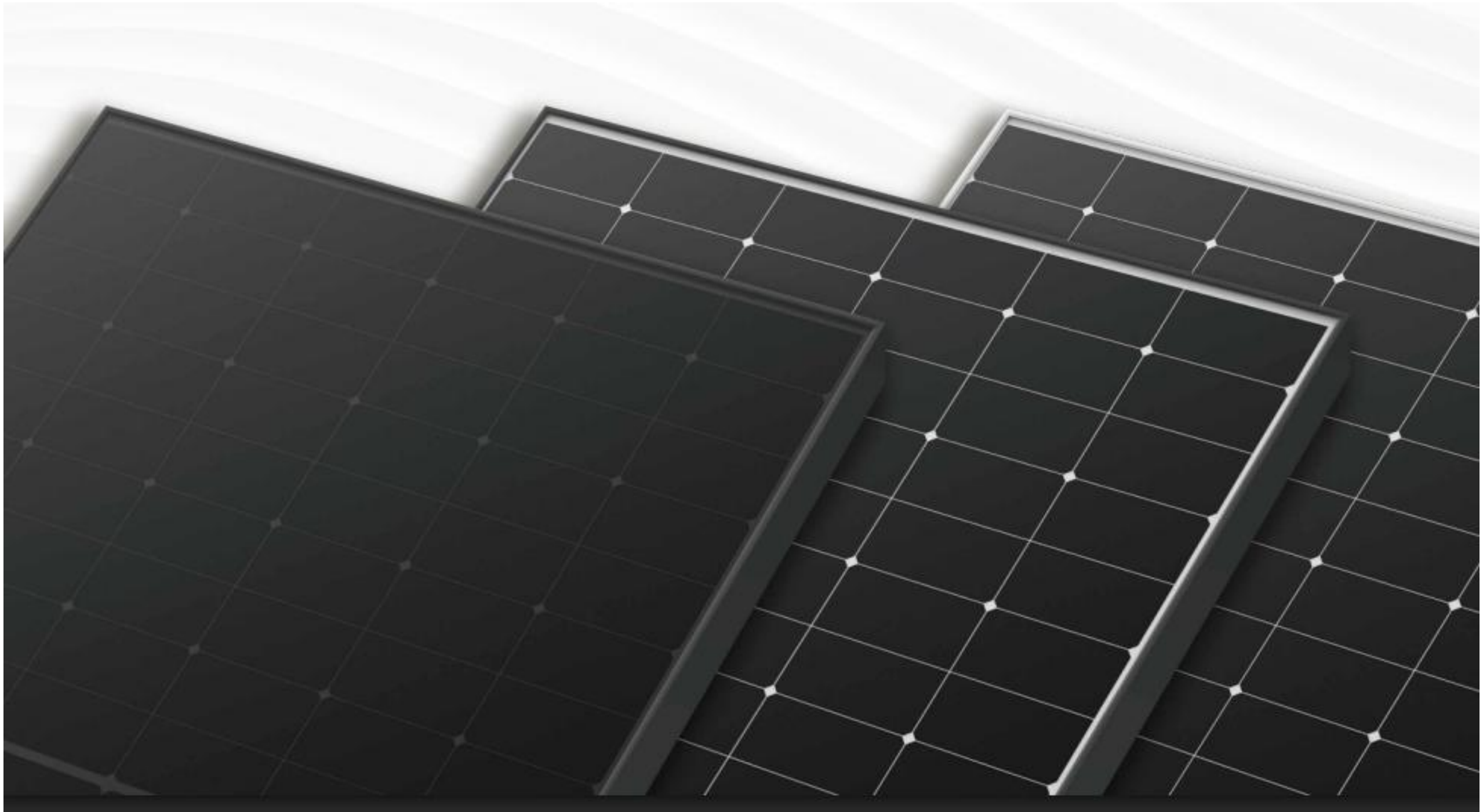
Budowa modułu PV I generacji



Przekrój przedstawia budowę dwustronnych modułów fotowoltaicznych typu szkło-szkło. Taka konstrukcja znacznie ułatwia późniejszy recykling materiałów.

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Budowa modułu PV I generacji



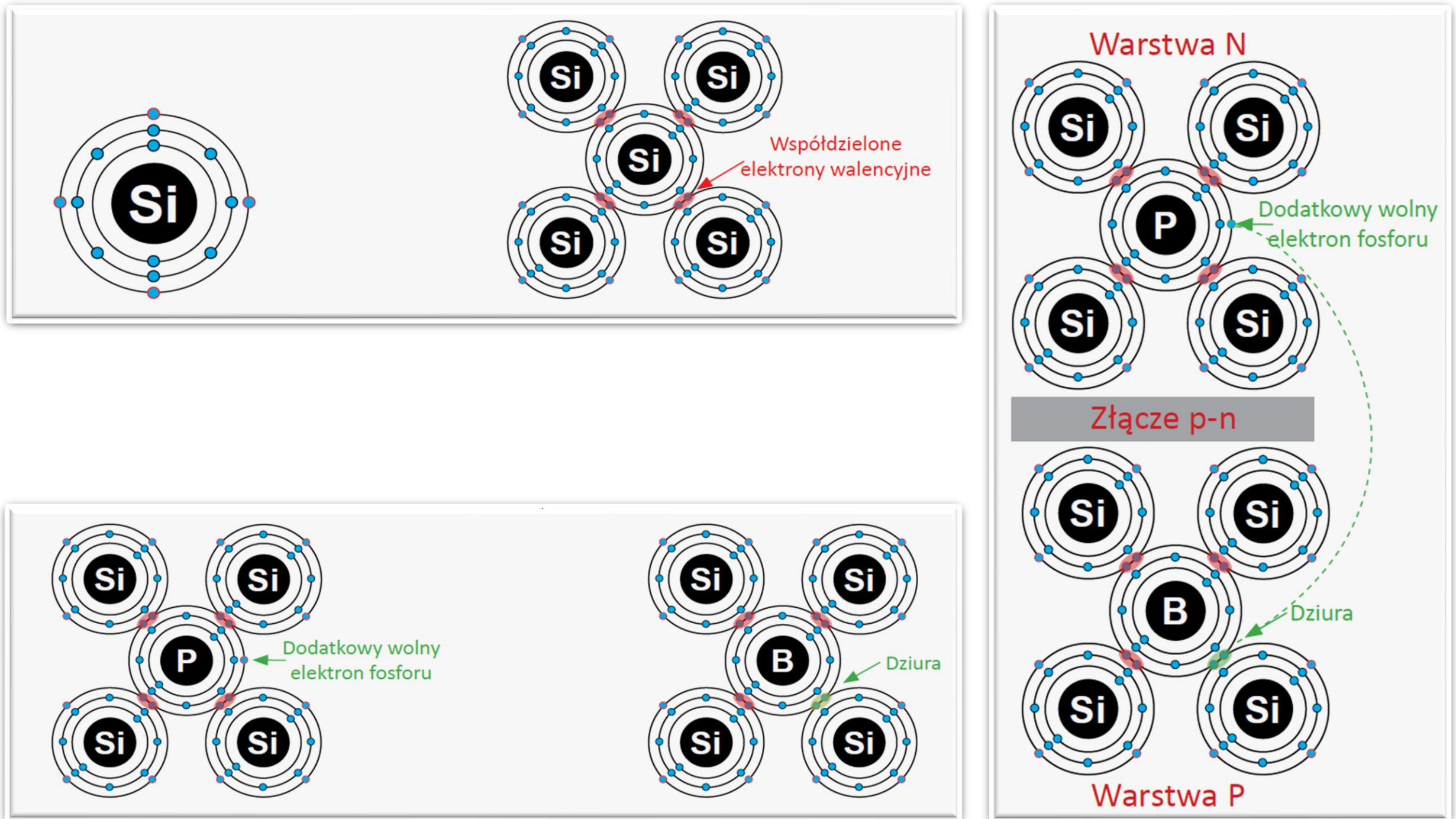
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Budowa modułu PV I generacji



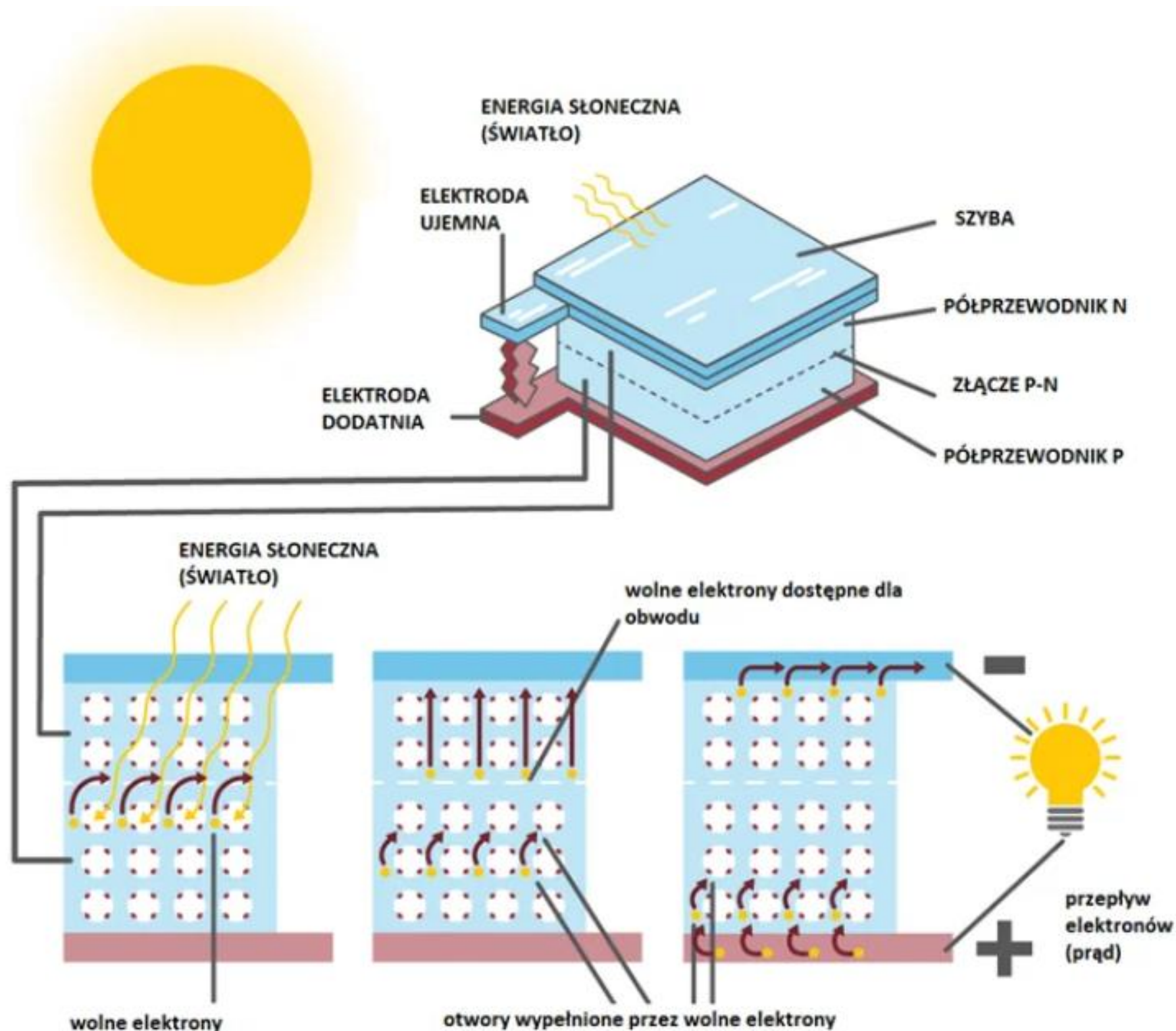
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Złącze p-n – domieszkowanie krzemu



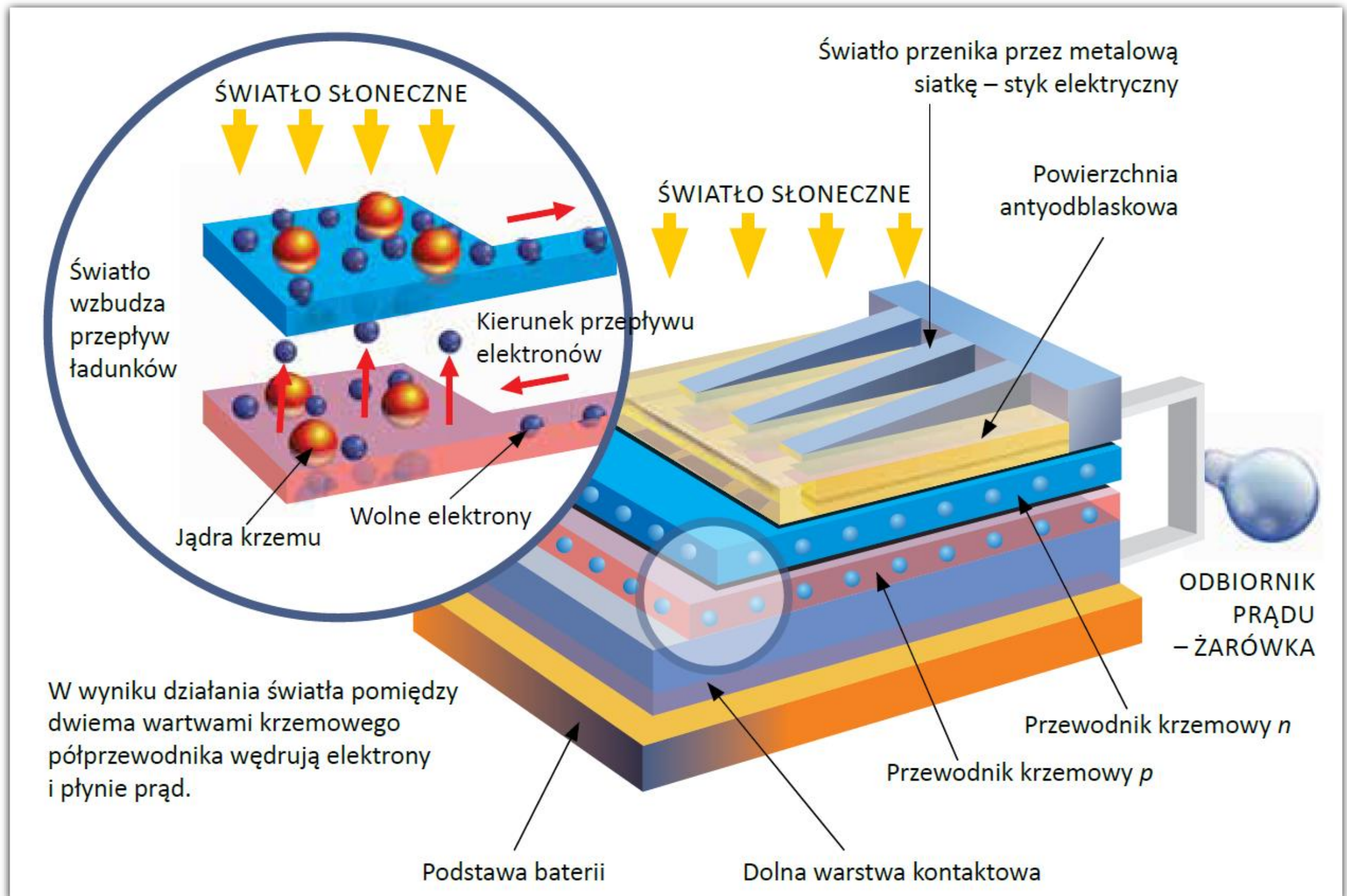
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Proces konwersji promieniowania słonecznego w ogniwie krzemowym



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Proces konwersji promieniowania słonecznego w ogniwie krzemowym



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Ogniwa PV II generacji



MODUŁ CdTe
SPRAWNOŚĆ: 12% - 14%



MODUŁ CIGS
SPRAWNOŚĆ: 13% - 16%



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

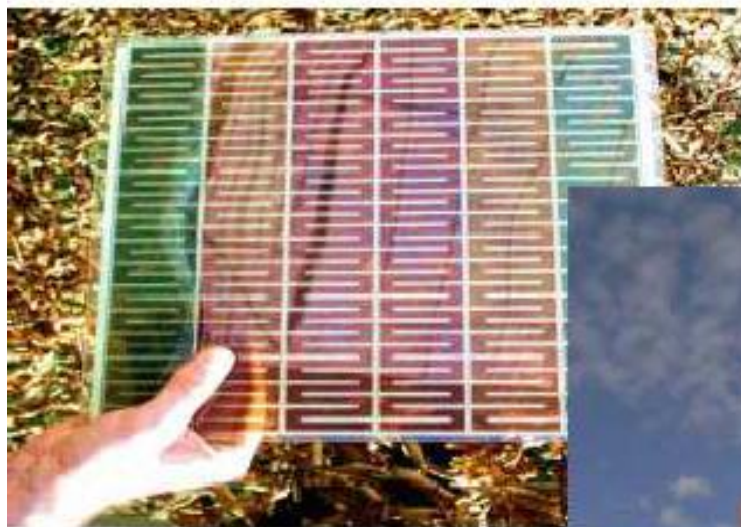
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Ogniwa PV III generacji

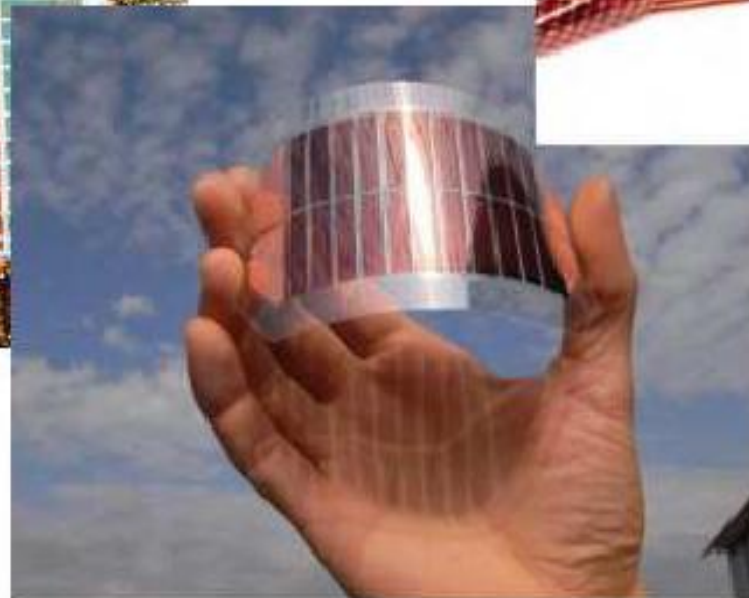
Ogniwa fotowoltaiczne trzeciej generacji



Barwnikowe



Organiczne



Polimerowe



Termoelektryczne



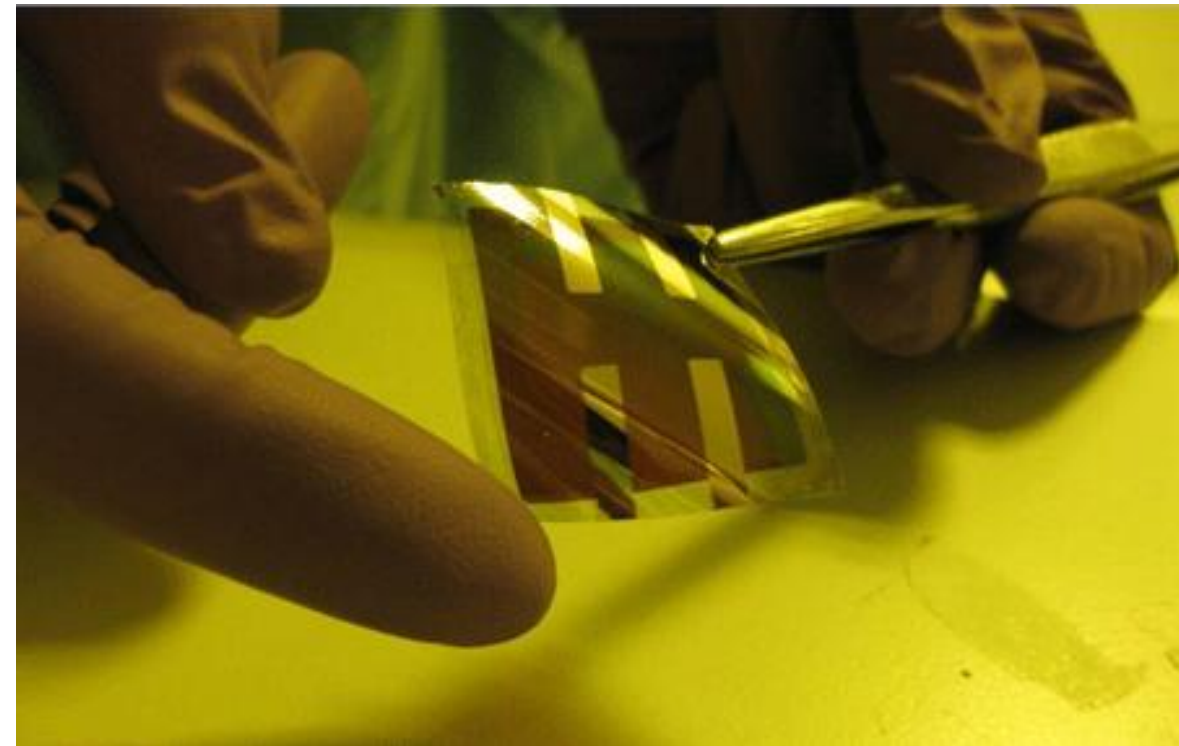
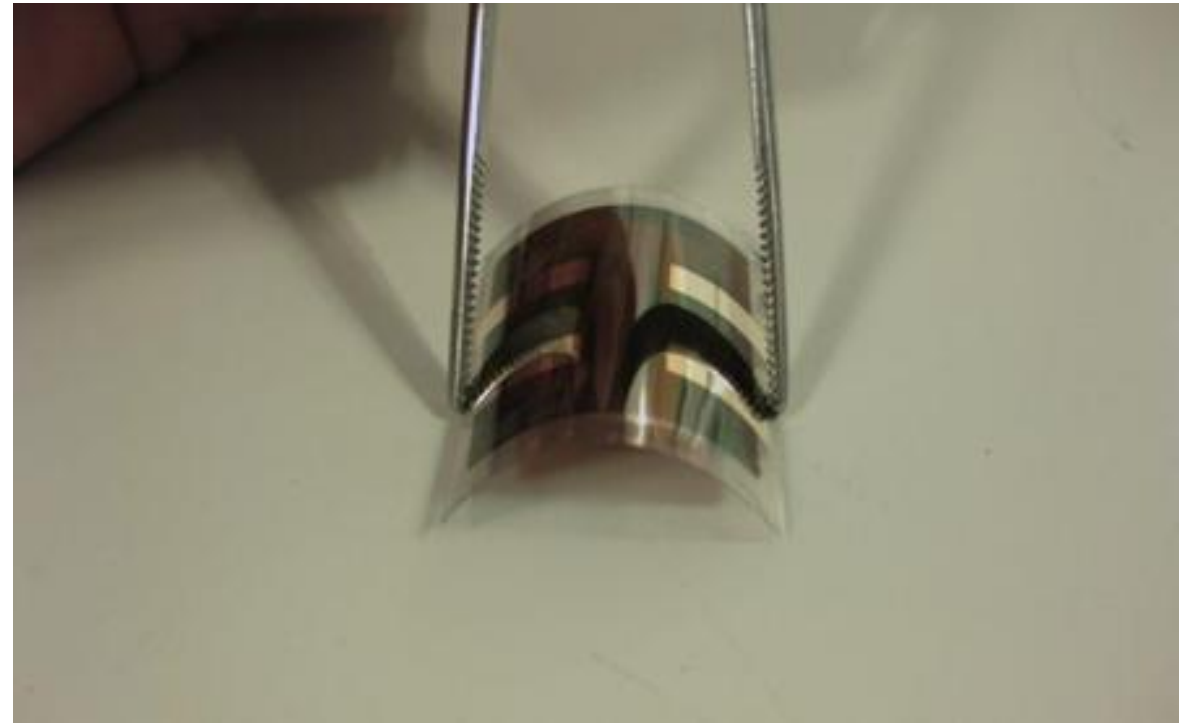
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

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%.



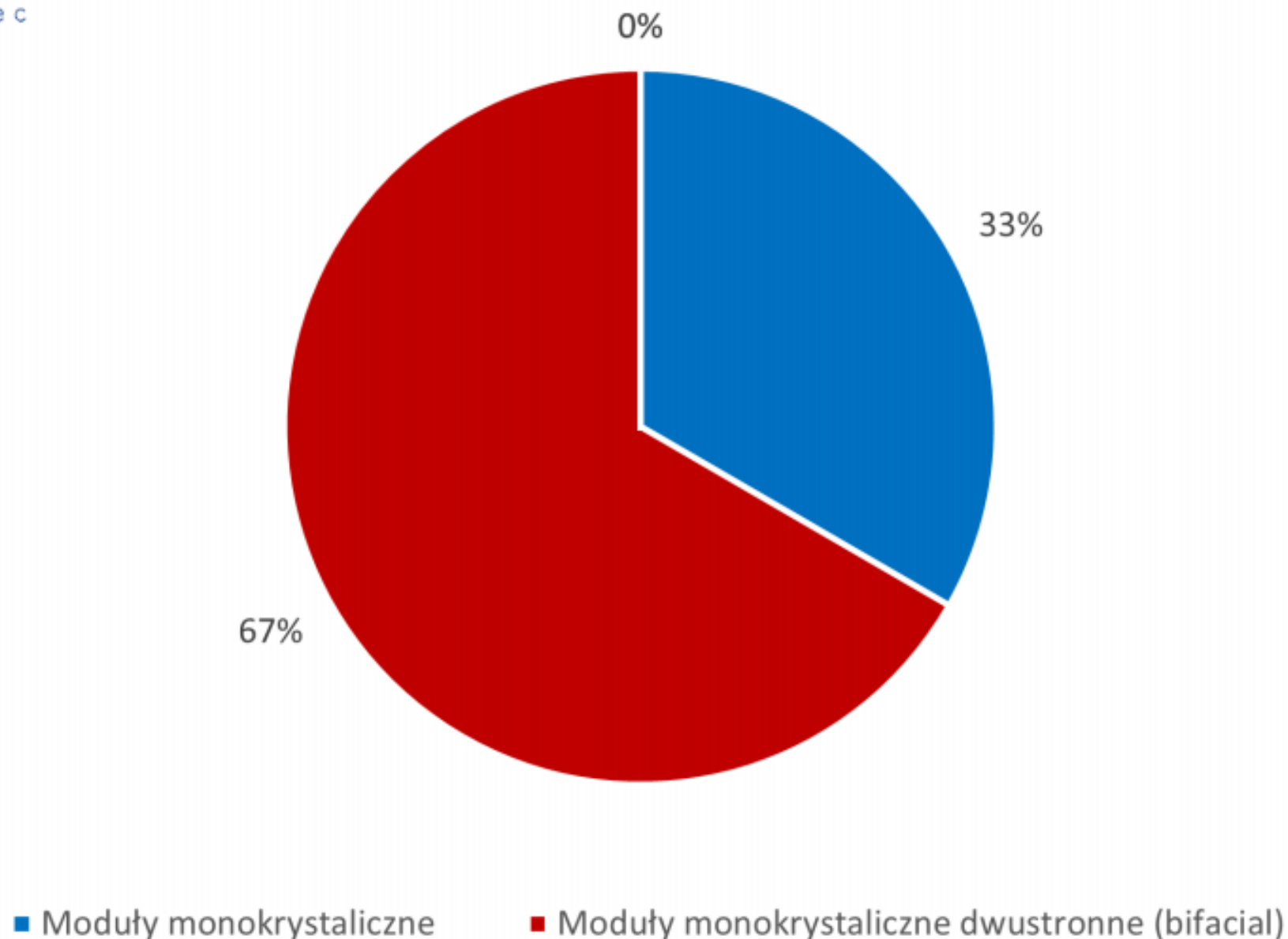
Ogniwo perowskitowe
Foto: Olga Malinkiewicz

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

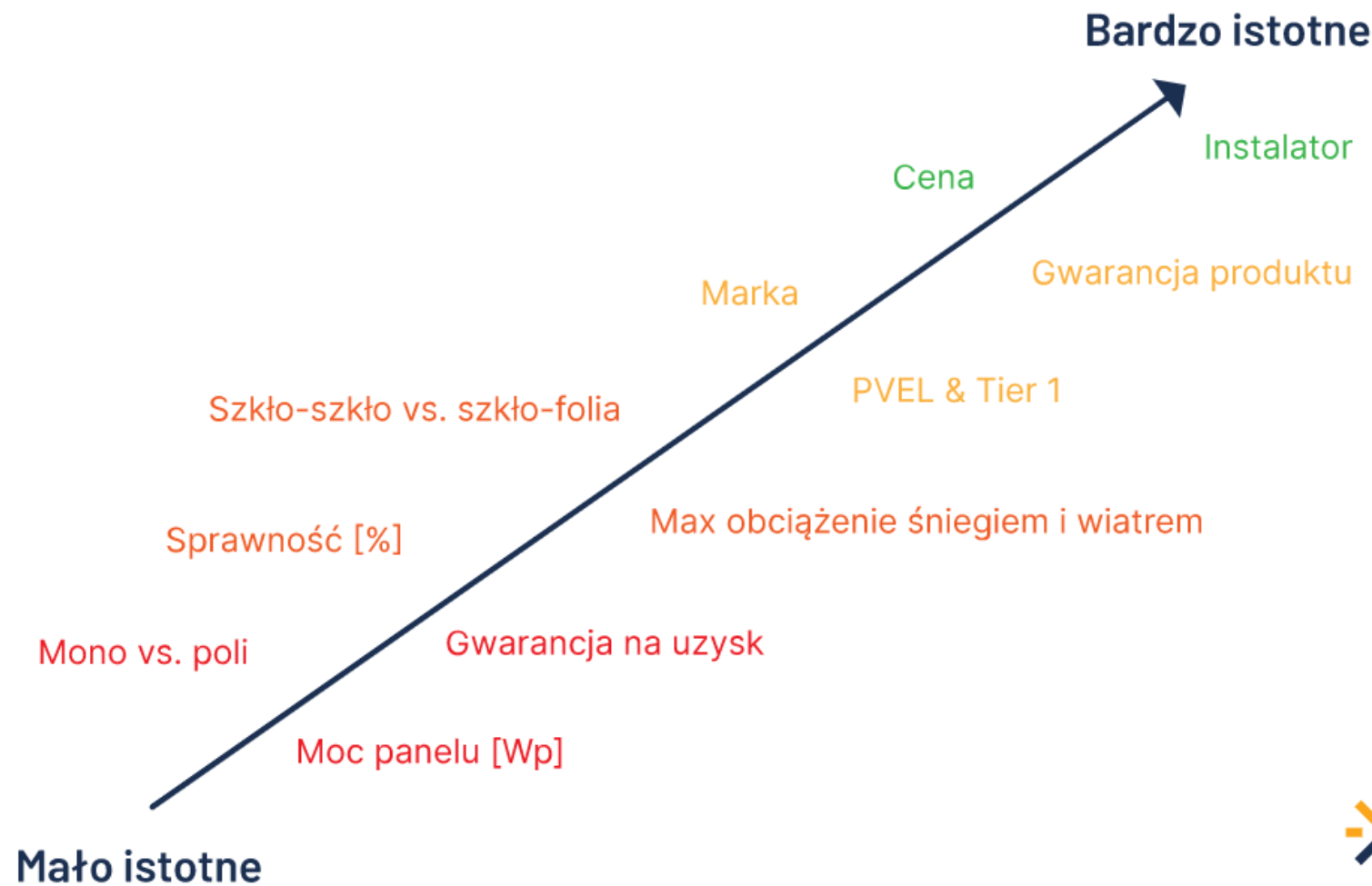
Udział w rynku krystalicznych ogniw krzemowych (c-Si) w różnych odmianach przekracza 99,9%. Pozostała część przypada na technologie cienkowarstwowe (TF) (a-Si, Cl(G)S, CdTe) stan na rok 2025.



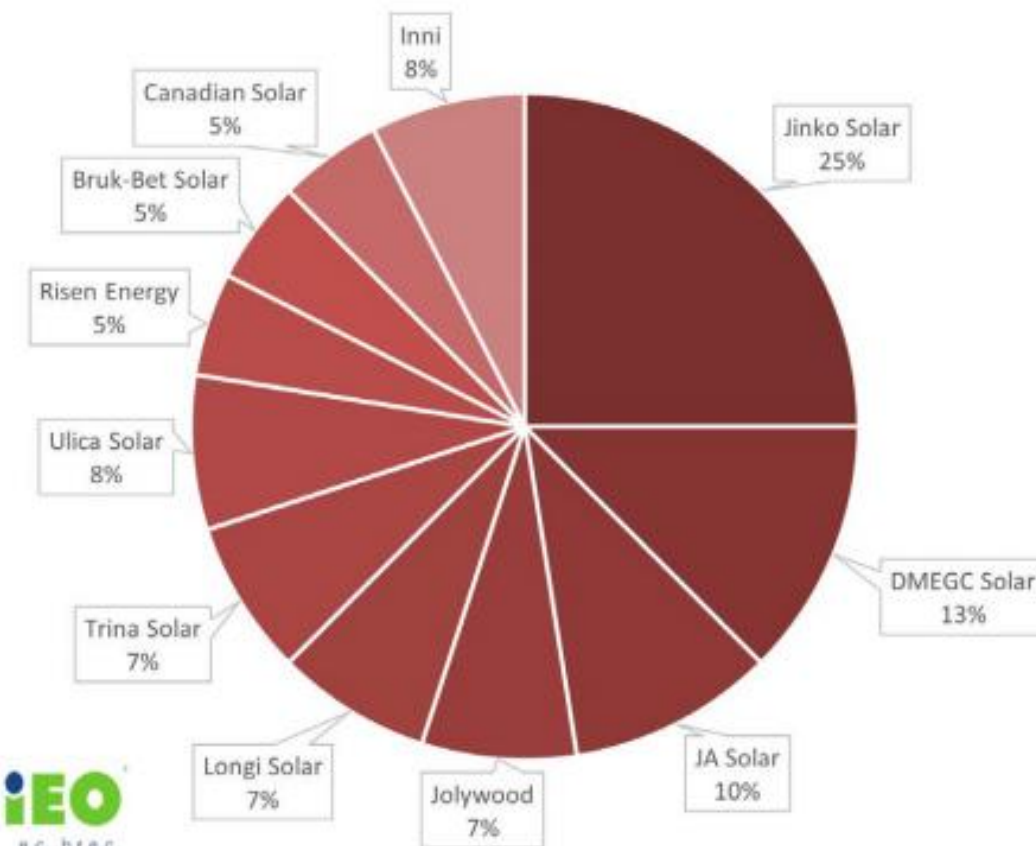
Rodzaje instalowanych modułów



DOBÓR MODUŁÓW

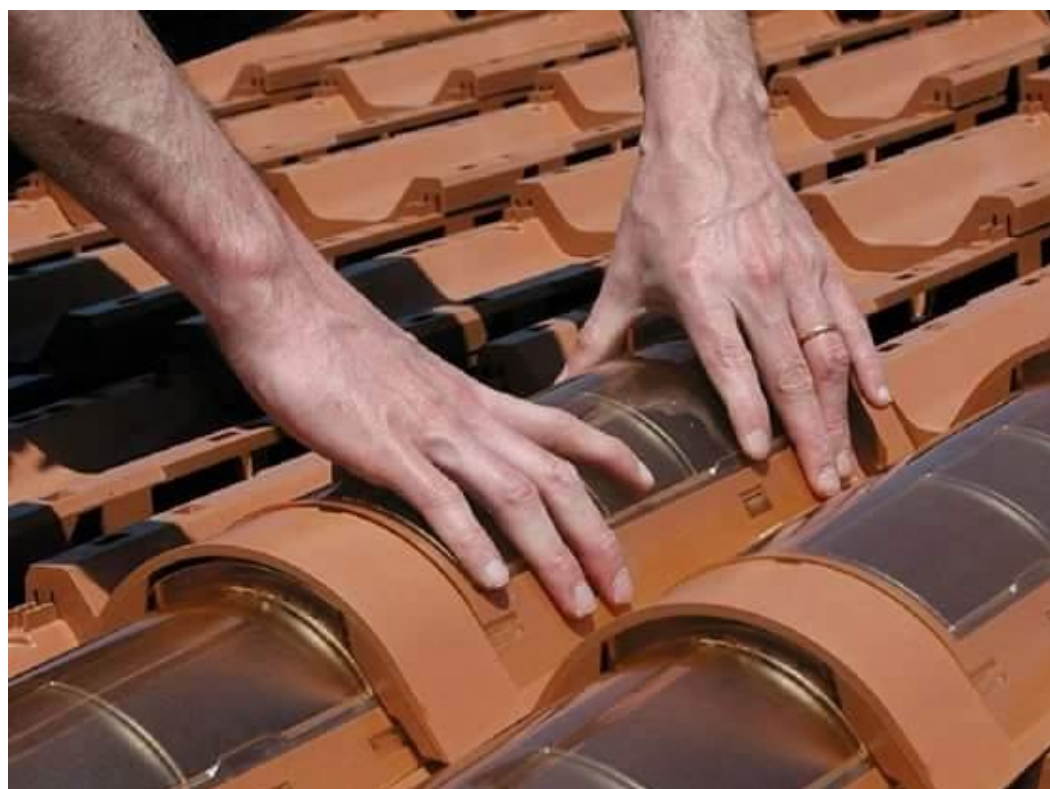


Najczęściej wybierani producenci modułów PV w 2024 roku



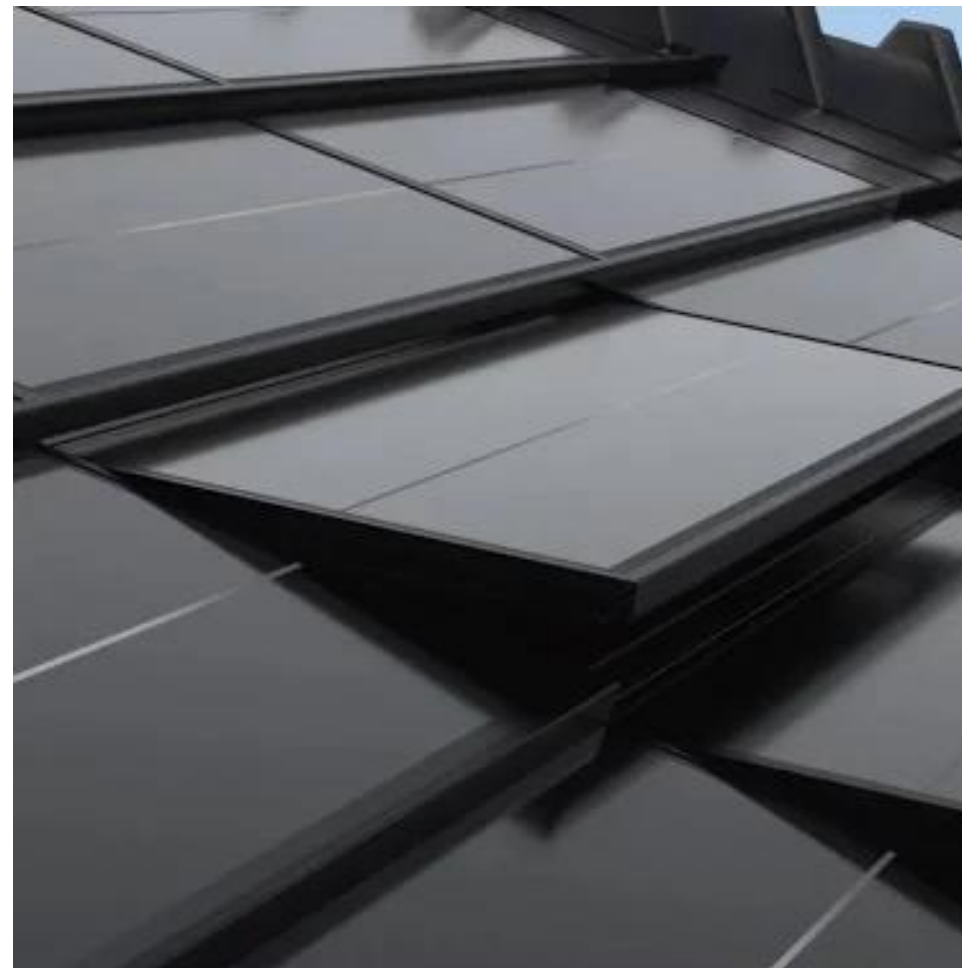
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Dachówka fotowoltaiczna



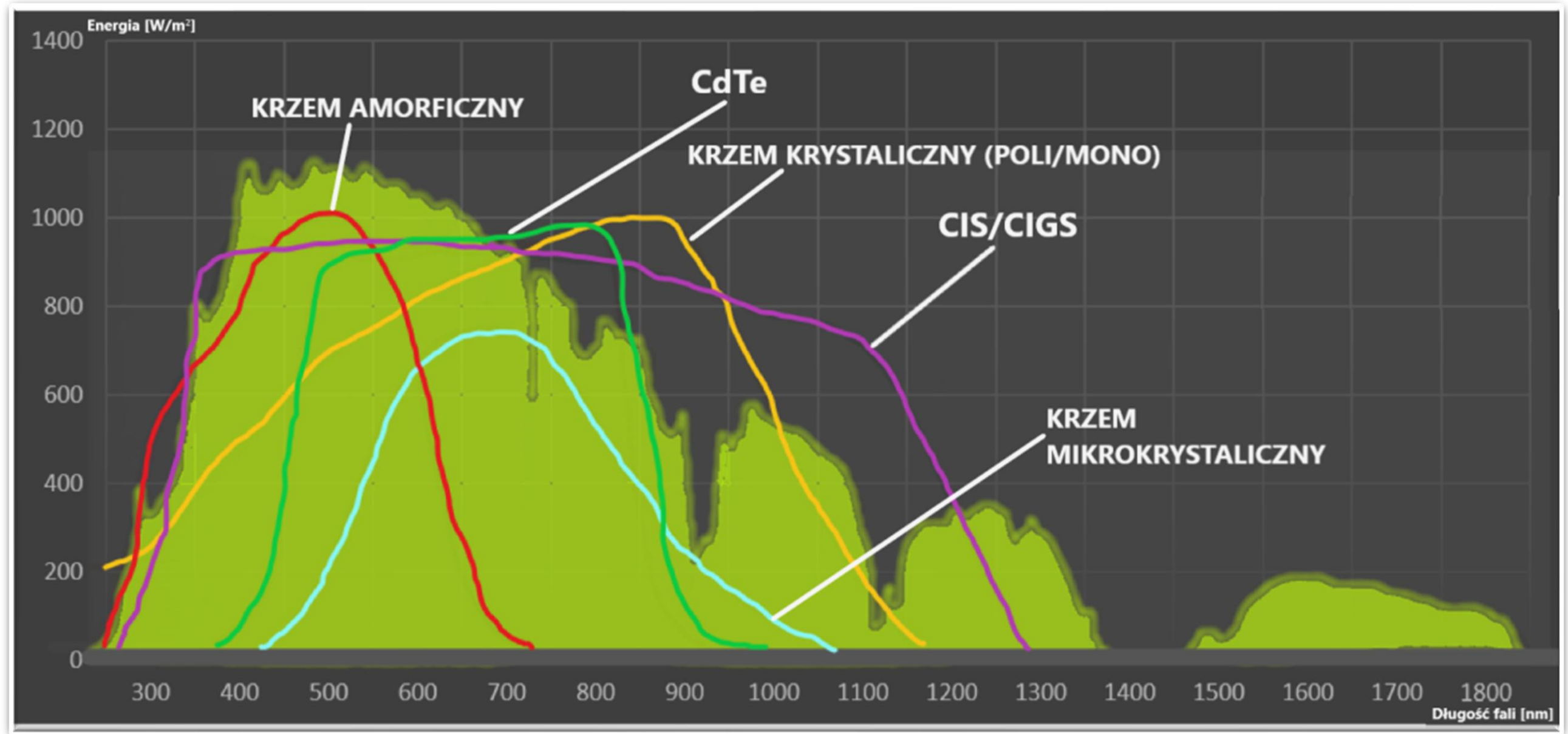
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Moduły BIPV



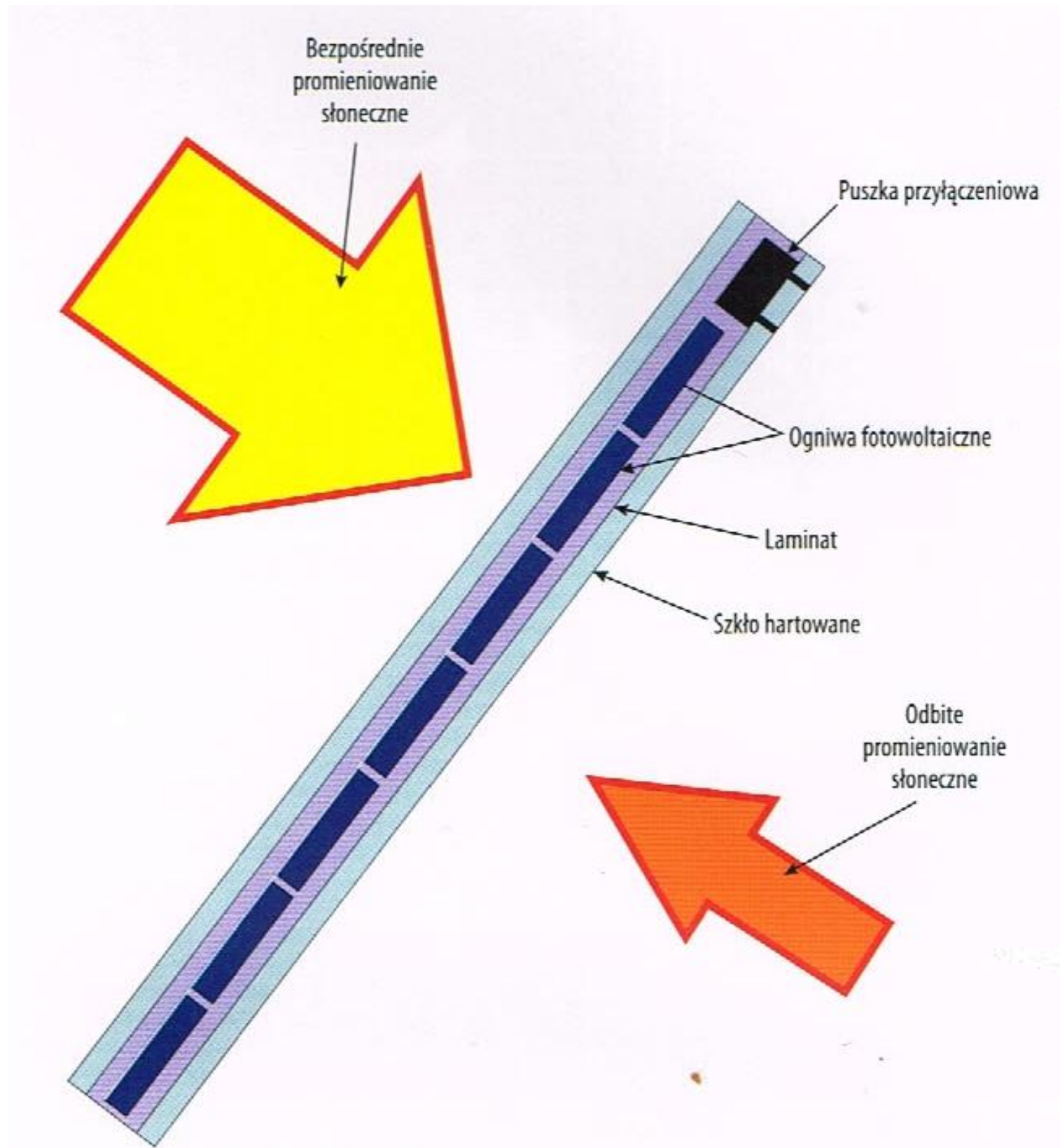
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Rodzaj ogniwa PV, a długość absorbowanych fal



Moduły fotowoltaiczne

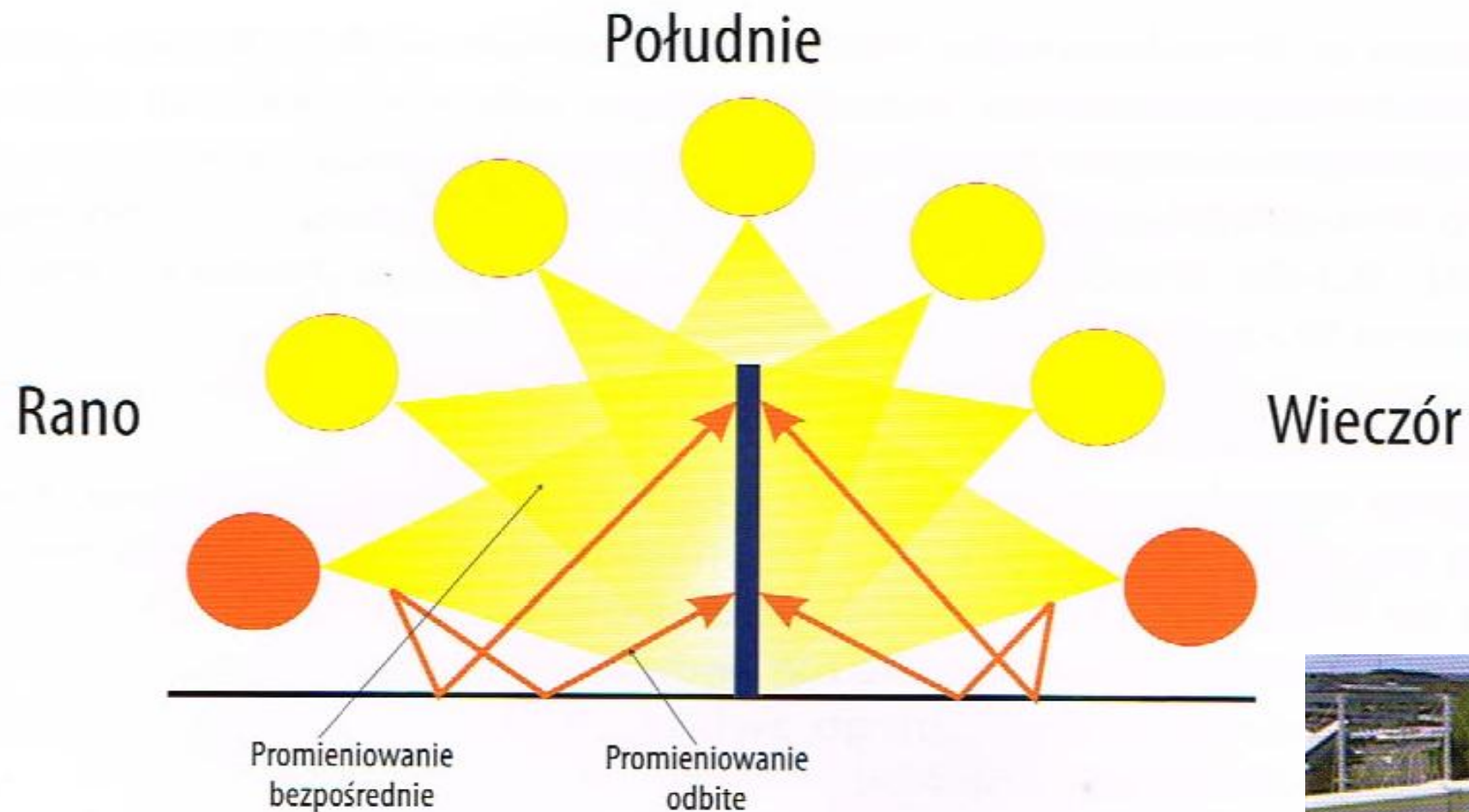
Moduły dwustronne - BIFACIAL



Zdjęcie modułu bifacial

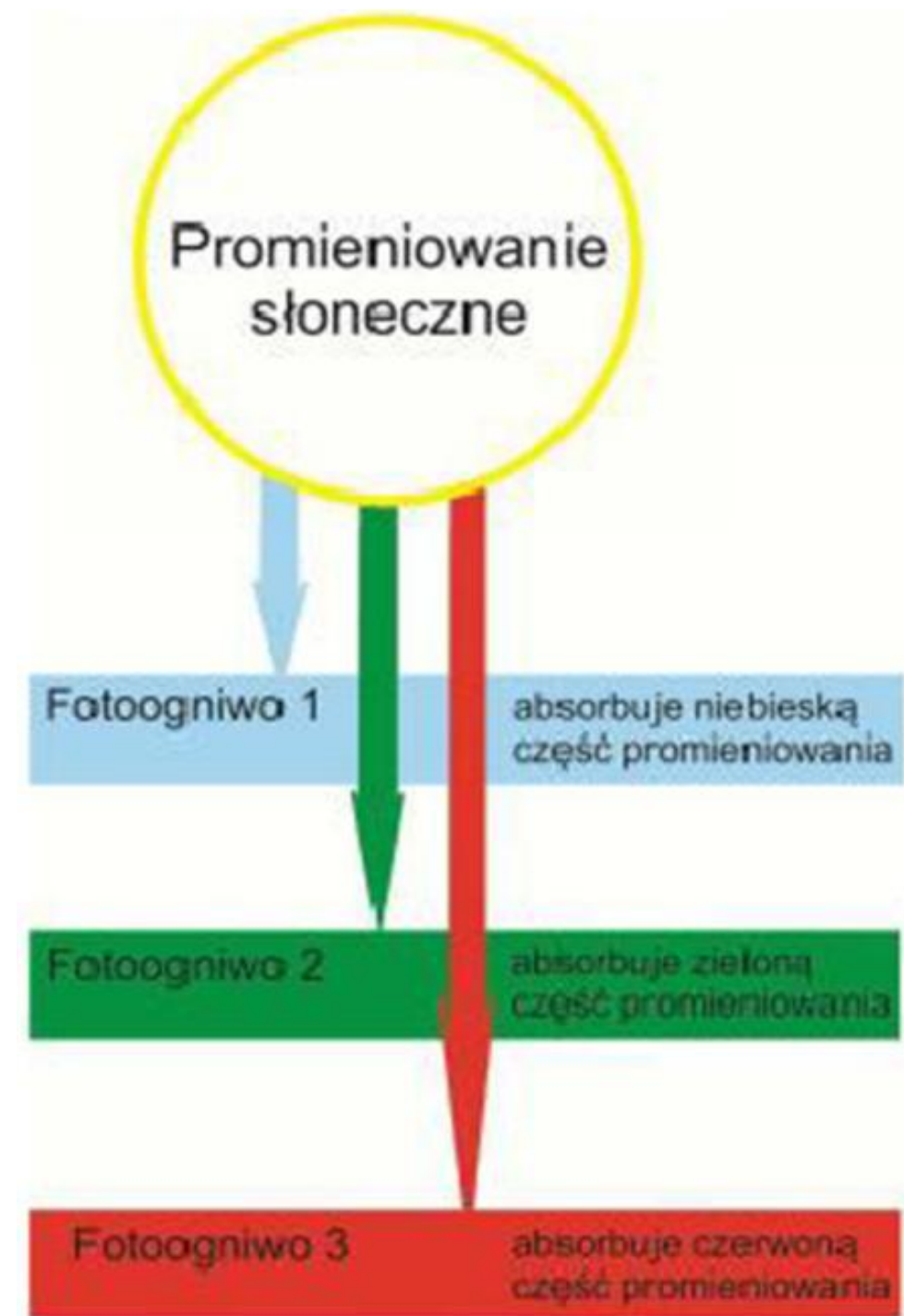
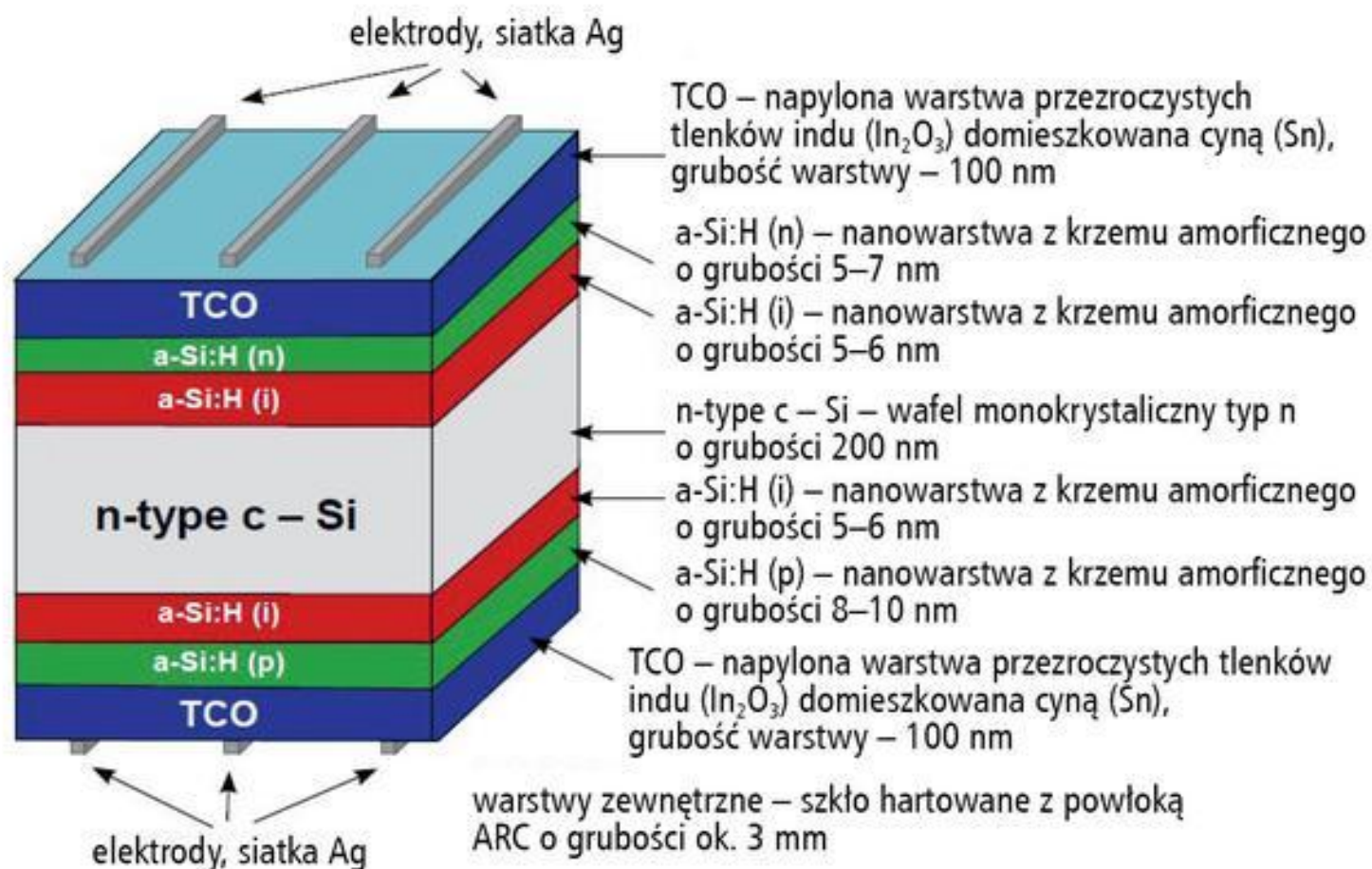
Moduły fotowoltaiczne

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

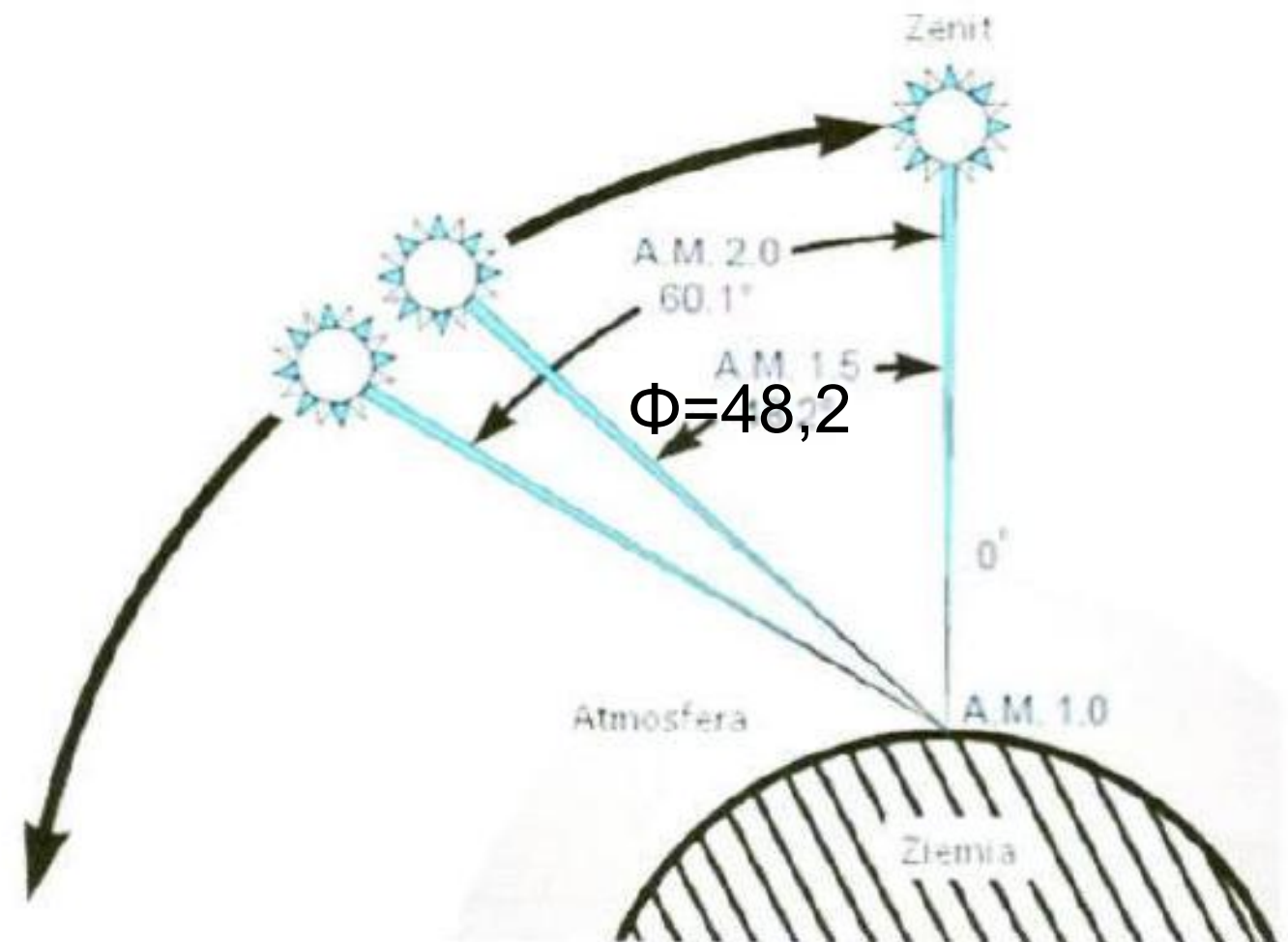
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

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



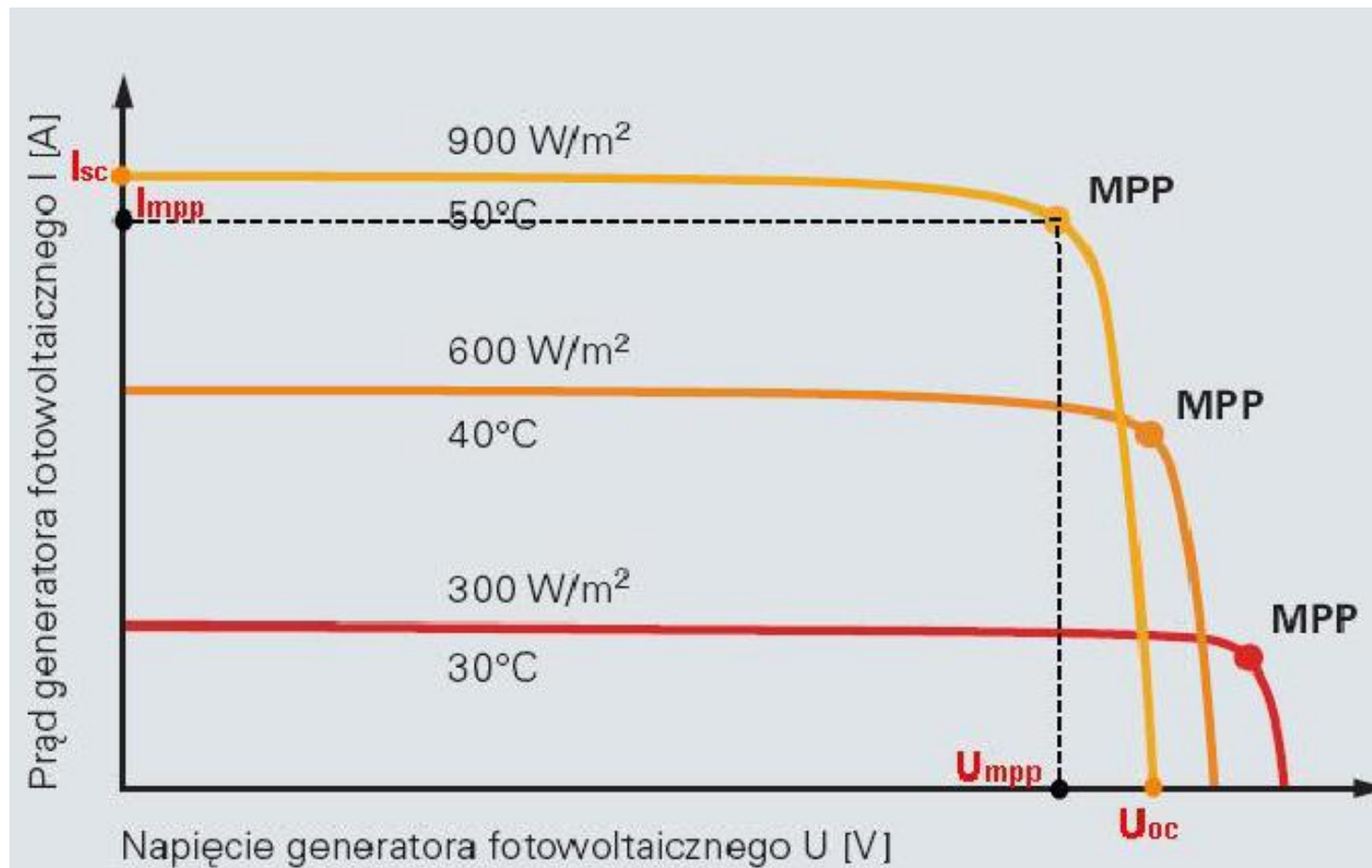
Rys. Masa optyczna atmosfery AM

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

Hi-MO X10 Transparent Design

LR8-54HVD

24.51 %

MAKSYMALNA
WYDAJNOŚĆ MODUŁU

0~3%

TOLERANCJA
MOCY

1 %

DEGRADACJA
MOCY W PIERWSZYM ROKU

0.35 %

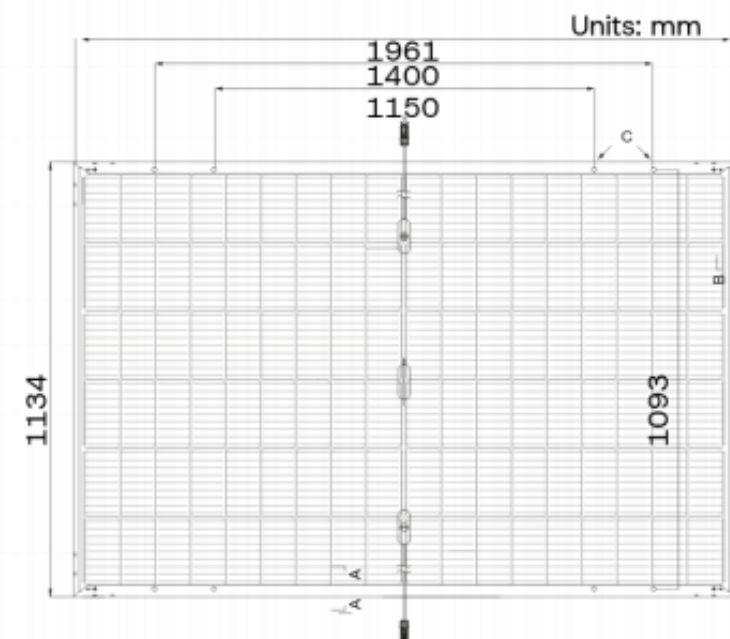
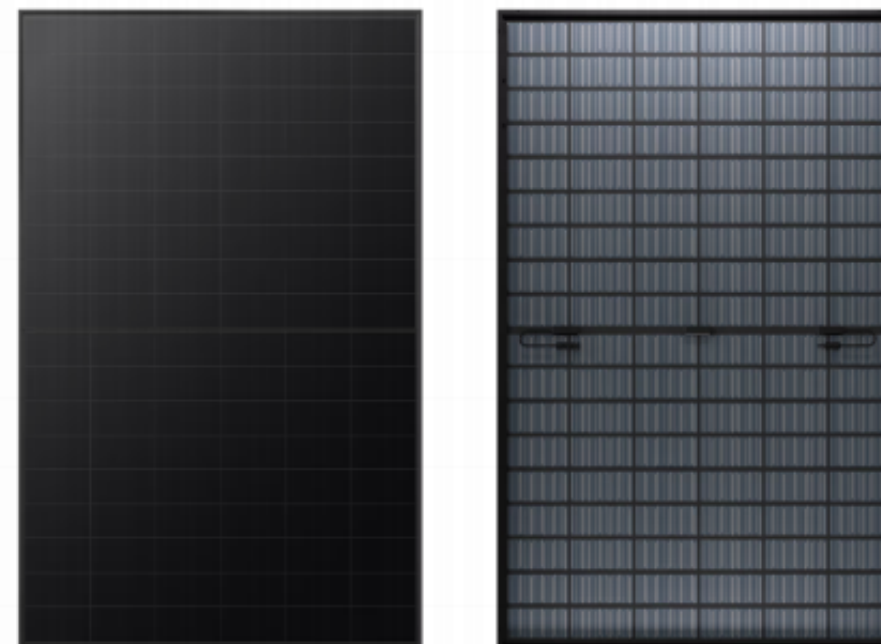
DEGRADACJA
MOCY W LATACH 2-30

BC-CELL

NIŻSZA TEMPERATURA
PRACY

Parametry mechaniczne

Orientacja ogniwa	108 (6×18)
Puszka połączeniowa	IP68
Kabel wyjściowy	4mm ² , +400, -200mm/±1200mm length can be customized
Szkło	Podwójne szkło, 2,0+2,0mm szkło póthartowane
Rama	Czarna rama ze stopu aluminium anodowanego
Waga	27.2 kg
Wymiary	1961×1134×30mm
Opakowanie	36 szt. na paletę / 180 szt. na 20'GP / 864 szt. na 40'HC



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Dane techniczne modułów

Właściwości elektryczne

	STC : AM1.5 1000W/m2 25°C		NOCT : AM1.5 800W/m2 20°C 1m/s		Niepewność pomiaru dla Pmax ± 3%
Typ modułu	LR7-54HVD-510M	LR7-54HVD-515M	LR7-54HVD-520M	LR7-54HVD-525M	LR7-54HVD-530M
Warunki testowe	STC	STC	STC	STC	STC
Maksymalna moc (Pmax/W)	510	515	520	525	530
Napięcie obwodu otwartego (VOC/V)	40.24	40.34	40.44	40.54	40.64
Prąd zwarcia (Isc/A)	16.11	16.21	16.31	16.40	16.50
Napięcie w punkcie mocy maksymalnej (Vmp/V)	33.10	33.20	33.30	33.40	33.50
Prąd w punkcie mocy maksymalnej (Imp/A)	15.41	15.51	15.62	15.72	15.82
Sprawność modułu (%)	23.61	23.83	24.06	24.28	24.51

Parametry pracy

Temperatura pracy	-40°C ~ +85°C
Tolerancja mocy wyjściowej	0 ~ 3%
Maksymalne napięcie systemu	DC1500V (IEC)
Maksymalna wartość znamionowa bezpiecznika szeregowego	30A
Znamionowa temperatura pracy ogniwa	45±2°C
Klasa ochrony	Klasa II
Klasa przeciwpożarowa	IEC Class C

Obciążenia mechaniczne

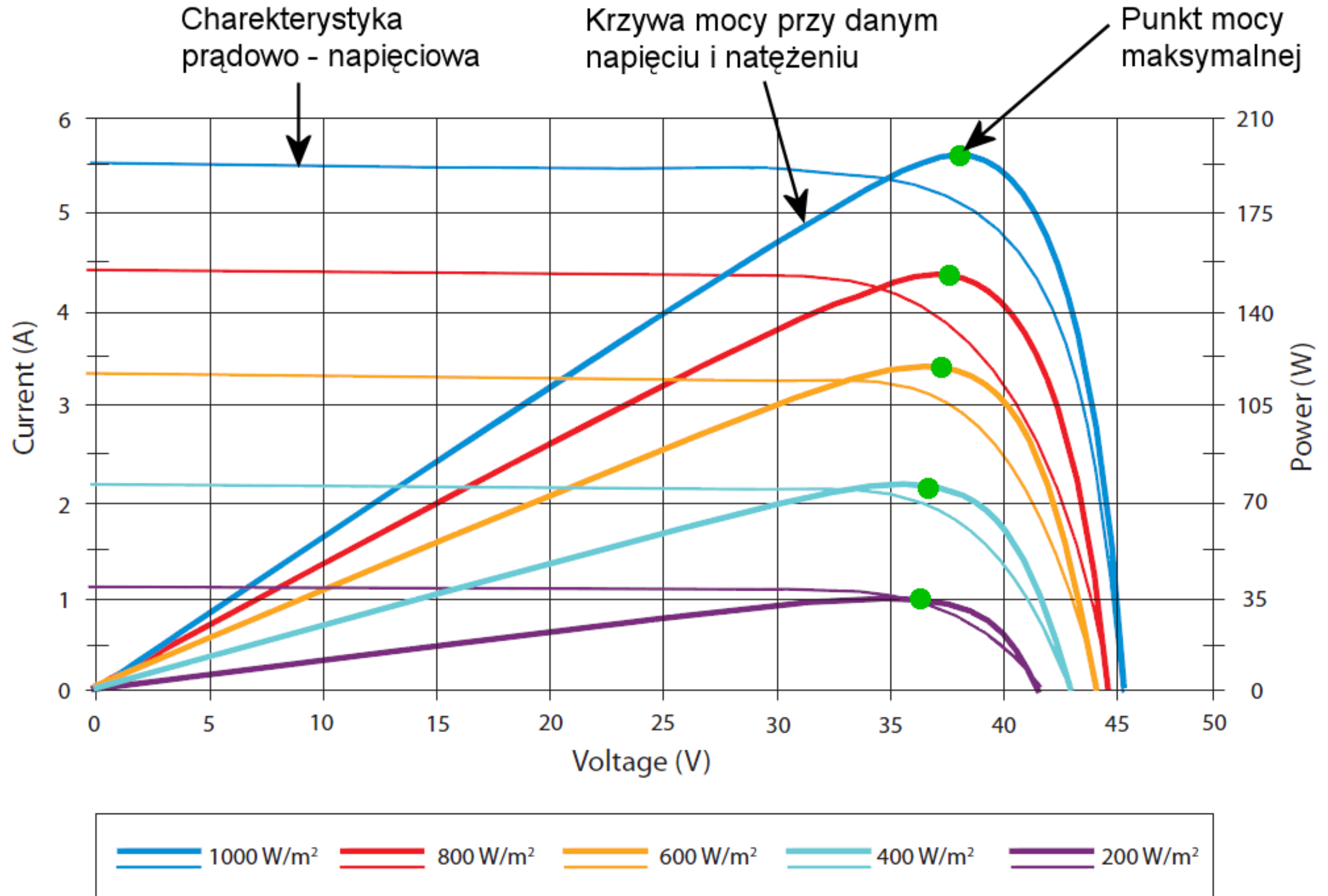
Front Side Maximum Static Loading	5400Pa
Maksymalne obciążenie statyczne na tyle	2400Pa
Test gradowy	Grad o średnicy 25 mm przy prędkości 23 m/s

Wartości temperaturowe (STC)

Współczynnik temperaturowy Isc	+0.050%/°C
Współczynnik temperaturowy Voc	-0.200%/°C
Współczynnik temperaturowy Pmax	-0.260%/°C

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Dane techniczne modułów



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Dane techniczne modułów

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

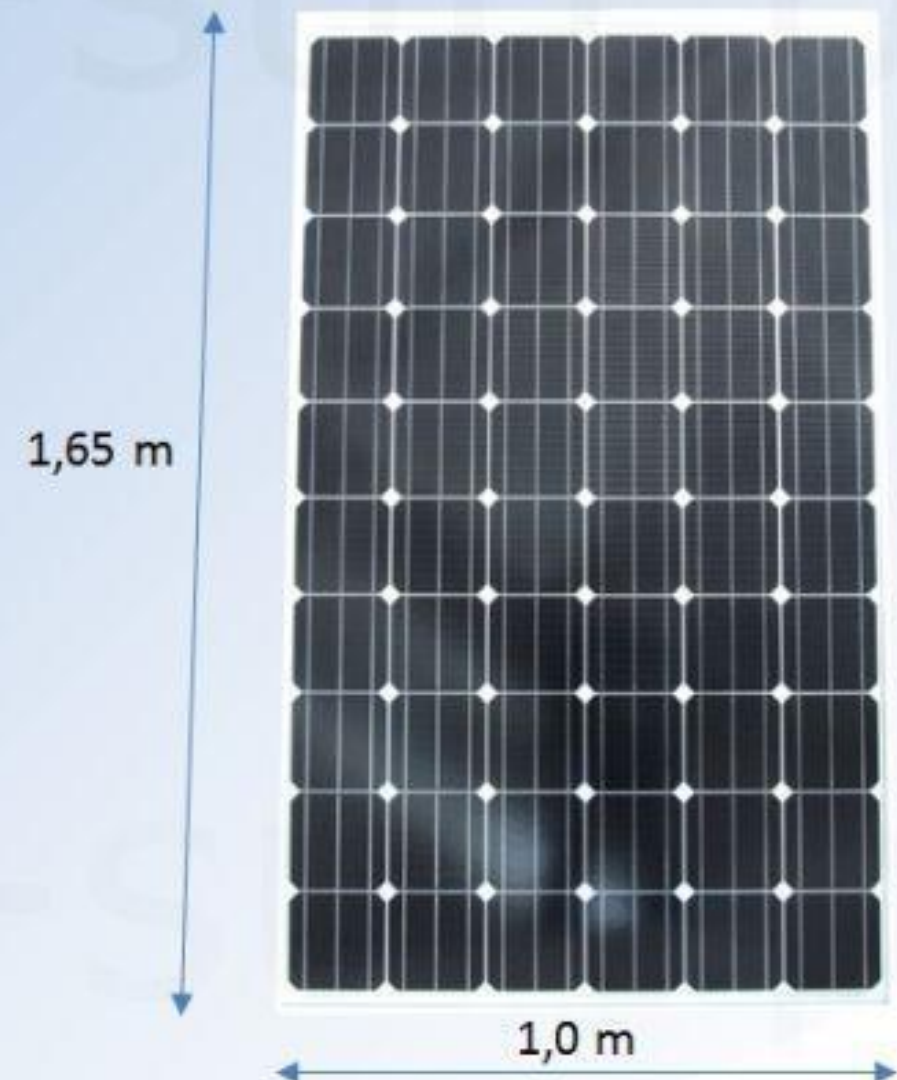
Przykład:

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

Dane techniczne modułów

Typ ogniwa	procentowa zmiana mocy	Moc w temp. 0°C	Moc w temp. 10°C	Moc w temp. 25°C	Moc w temp. 40°C	Moc w temp. 50°C	Moc w temp. 70°C
Monokrystaliczne	-0,47%	111,75W	107,05W	100W	92,95W	88,25W	78,85W
Polikrystaliczne	-0,43%	110,75W	106,45W	100W	93,55W	89,25W	80,65W
CdTe	-0,25%	106,25W	103,75W	100W	96,25W	93,75W	88,75W
CIS/CIGS	-0,40%	110W	106W	100W	94,0W	90,0W	82,0W

Źródło: <https://instsani.pl/>

+/- 50°C	Voc [V]	Vmpp [V]	Isc [A]	Impp [A]
ΔT_{max}	$40,76 - 4,48 = 36,28$	$34,16 - 4,48 = 29,68$	$15,48 + 0,305 = 15,785$	$14,64 + 0,305 = 14,945$
ΔT_{min}	$40,76 + 4,48 = 45,24$	$34,16 + 4,48 = 38,64$	$15,48 - 0,305 = 15,175$	$14,64 - 0,305 = 14,335$

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Klasa odporności na ogień modułów PV

Oceniana jest głównie według norm **IEC 61730-2** oraz **UL 790 / UL 1703**. Dzieli się na trzy główne kategorie: **Klasa A** (najwyższa trudnopalność), **Klasa B** i **Klasa C**

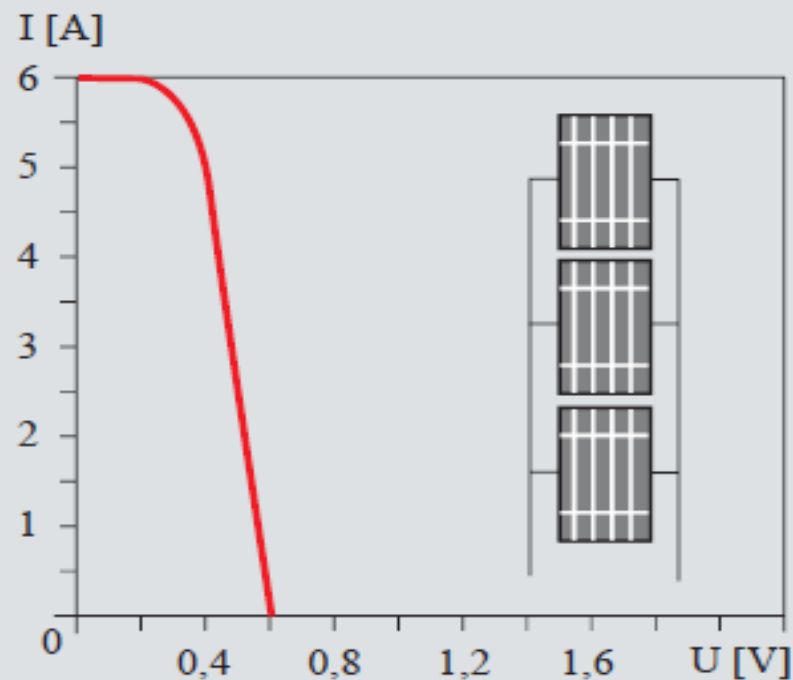
Podział klas odporności ogniowej modułów PV

- **Klasa A:** Najwyższy poziom bezpieczeństwa. Moduły PV są trudnopalne, skutecznie ograniczają rozprzestrzenianie płomieni i nie wytwarzają płonących odłamków.
- **Klasa B:** Średni poziom odporności. Ograniczają rozprzestrzenianie ognia w umiarkowanym stopniu.
- **Klasa C:** Podstawowy poziom odporności. Odpowiednie dla mniejszych obciążeń ogniowych

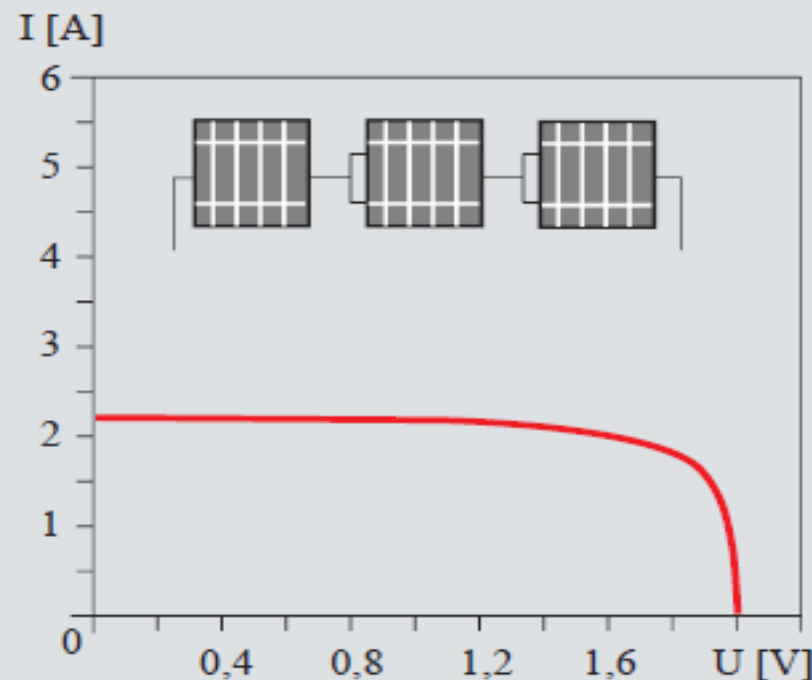
Normy testowe: Badania obejmują test rozprzestrzeniania ognia na powierzchni oraz test palności materiału zgodnie z wytycznymi IEC 61730-2 oraz amerykańskim standardem UL 790



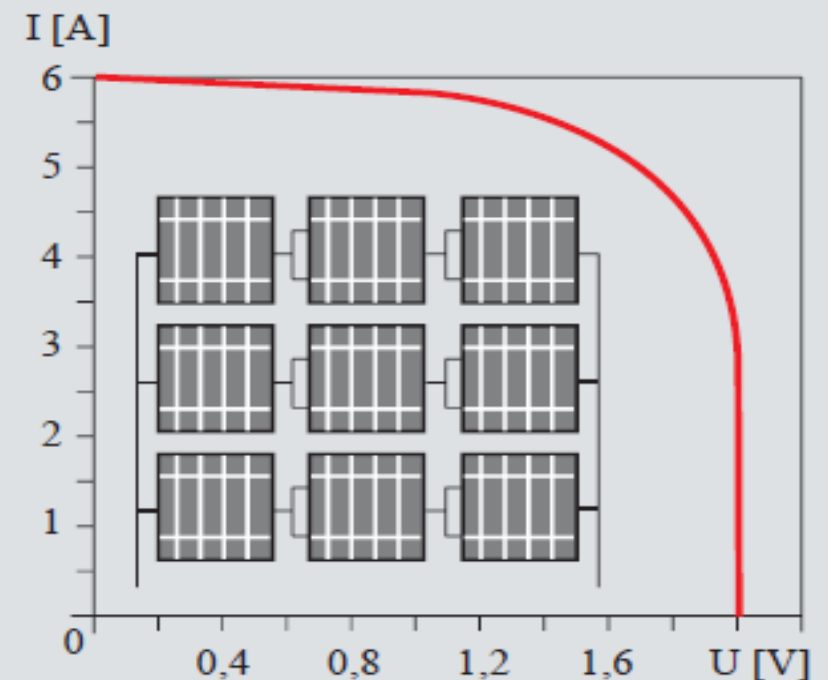
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE



Połączenia równoległe



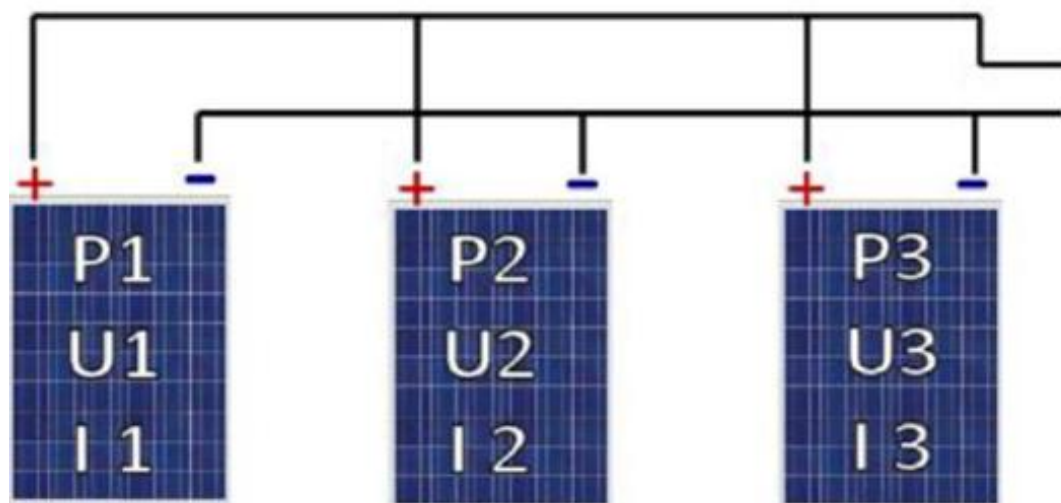
Połączenia szeregowe



Połączenia mieszane

Sposoby łączenia ogniw PV

RÓWNOLEGŁE

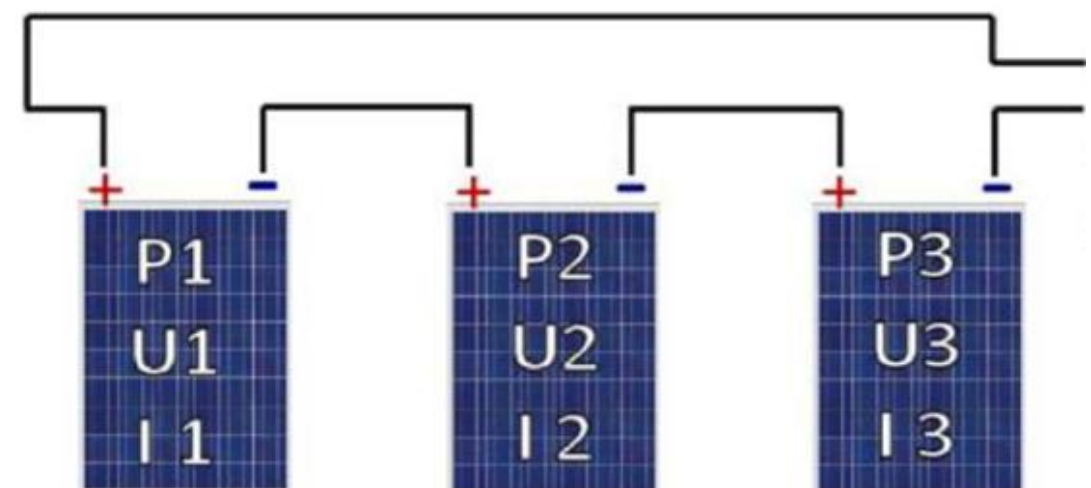


Moc instalacji $P = P1 + P2 + P3$

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

Napięcie instalacji $U = U1 = U2 = U3$

SZEREKOWE



Moc instalacji $P = P1 + P2 + P3$

Napięcie instalacji $U = U1 + U2 + U3$

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



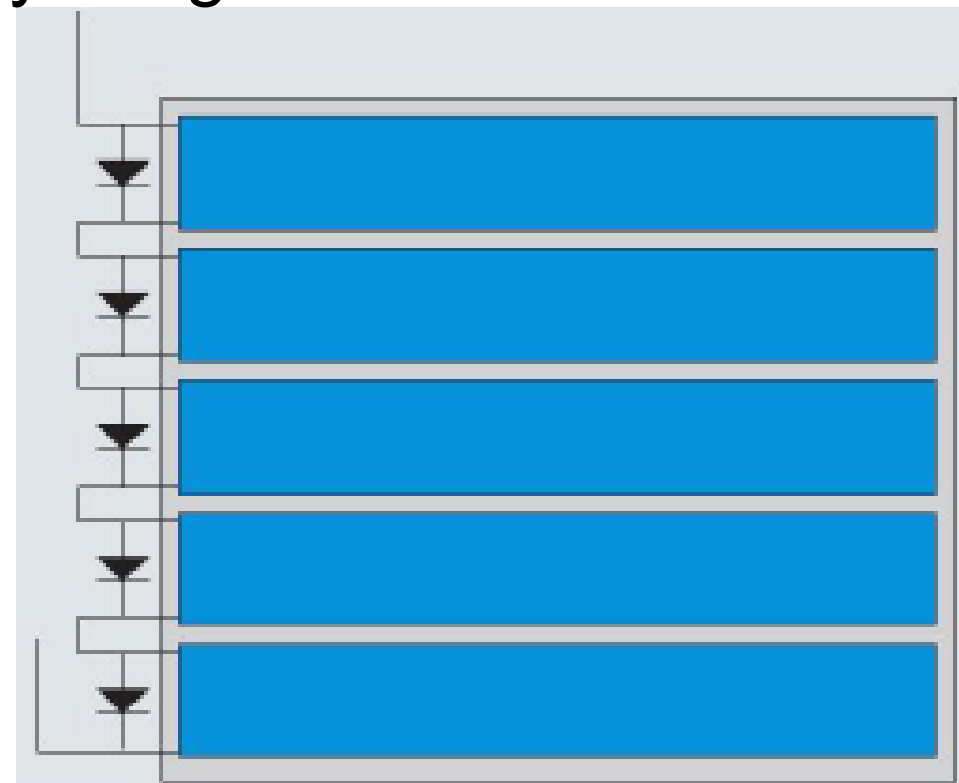
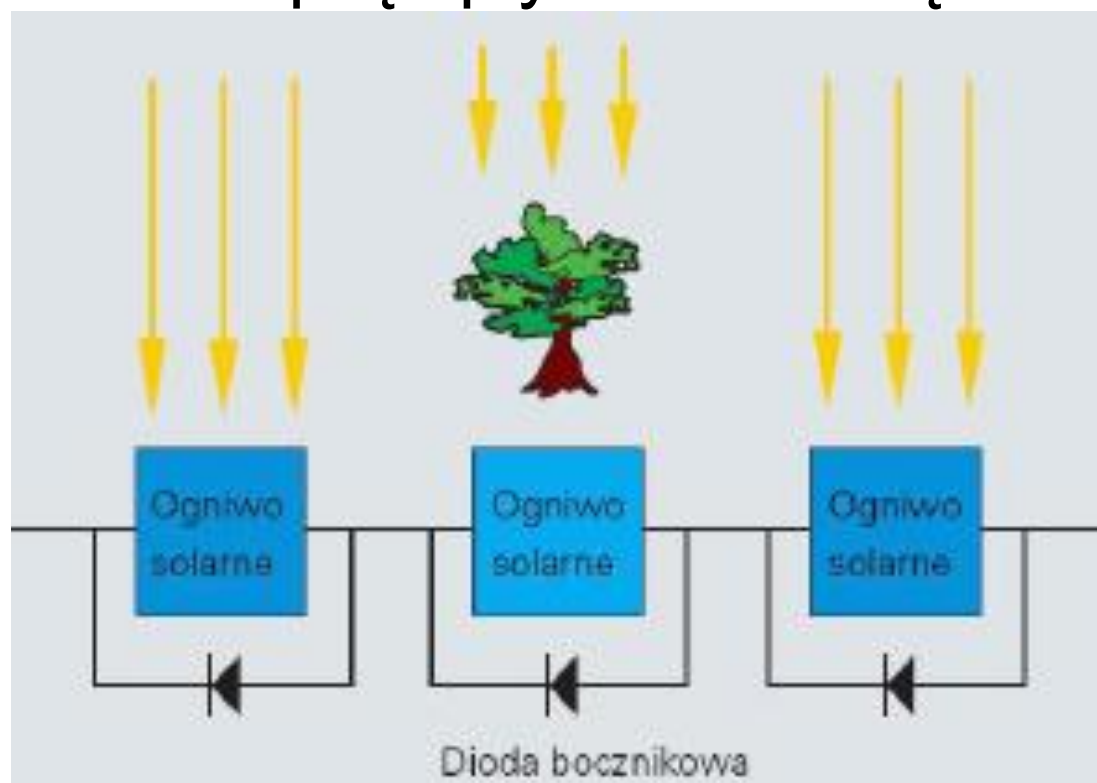
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Zacienienie - efekt Hot-Spot

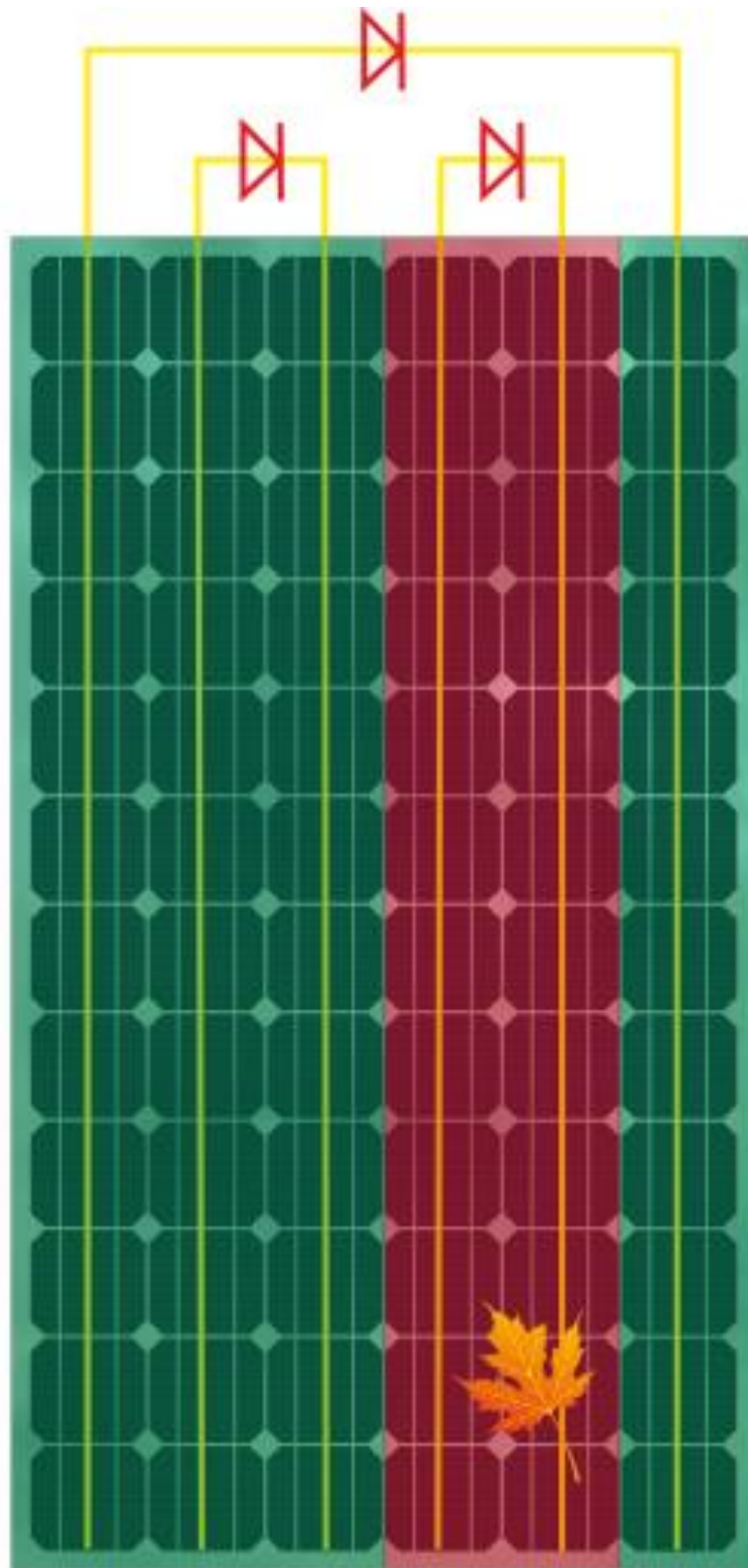
Wewnątrz modułu PV ogniwa połączone są szeregowo – jeśli nastąpi zacienienie jednego z ogniw, to zachowuje się ono jak rezystor (tzn. jak odbiornik prądu). Całe pole może wtedy dostarczać tylko tyle prądu, ile może go przepłynąć przez zacienione ogniwo. W wyniku tego, ogniwo nagrzewa się i może ulec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

Rozwiązanie problemu Hot-Spot – diody bocznikowe.

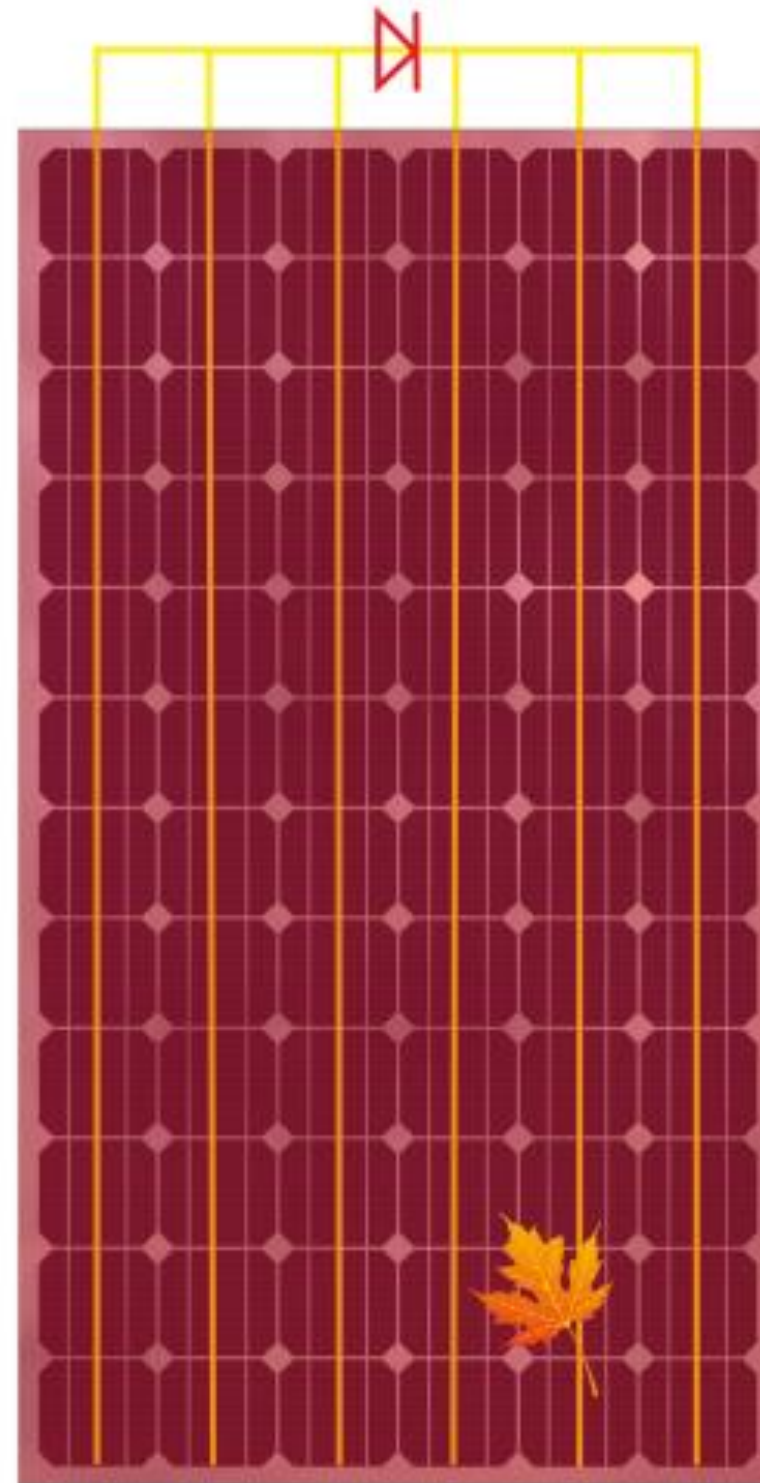
Przy zacienieniu jednego szeregu ogniw dioda bocznikowa zaczyna przewodzić i prąd płynie z ominięciem tych ogniw.



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE



33% spadek mocy

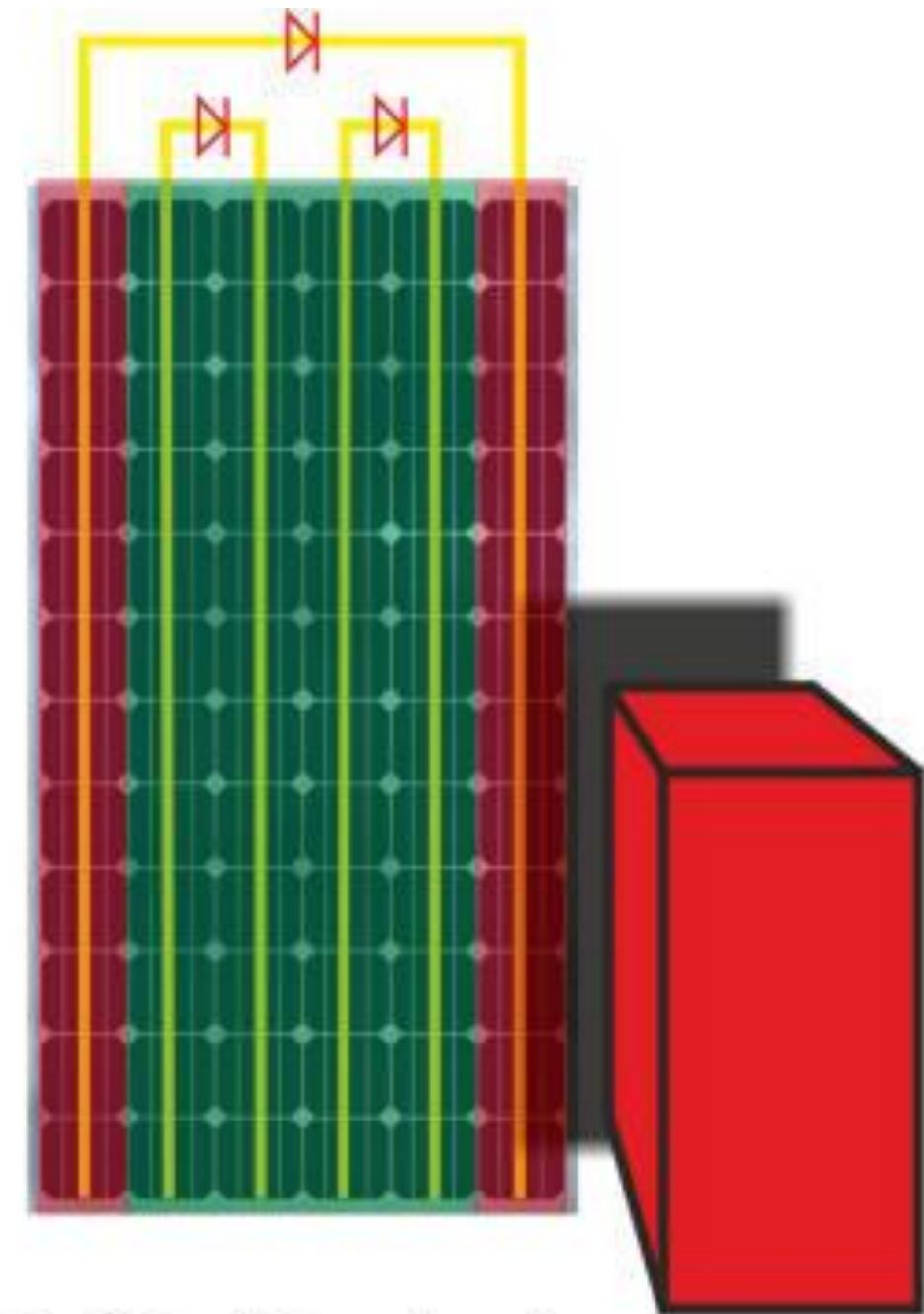


100% spadek mocy

MODUŁY FOTOWOLTAIICZNE

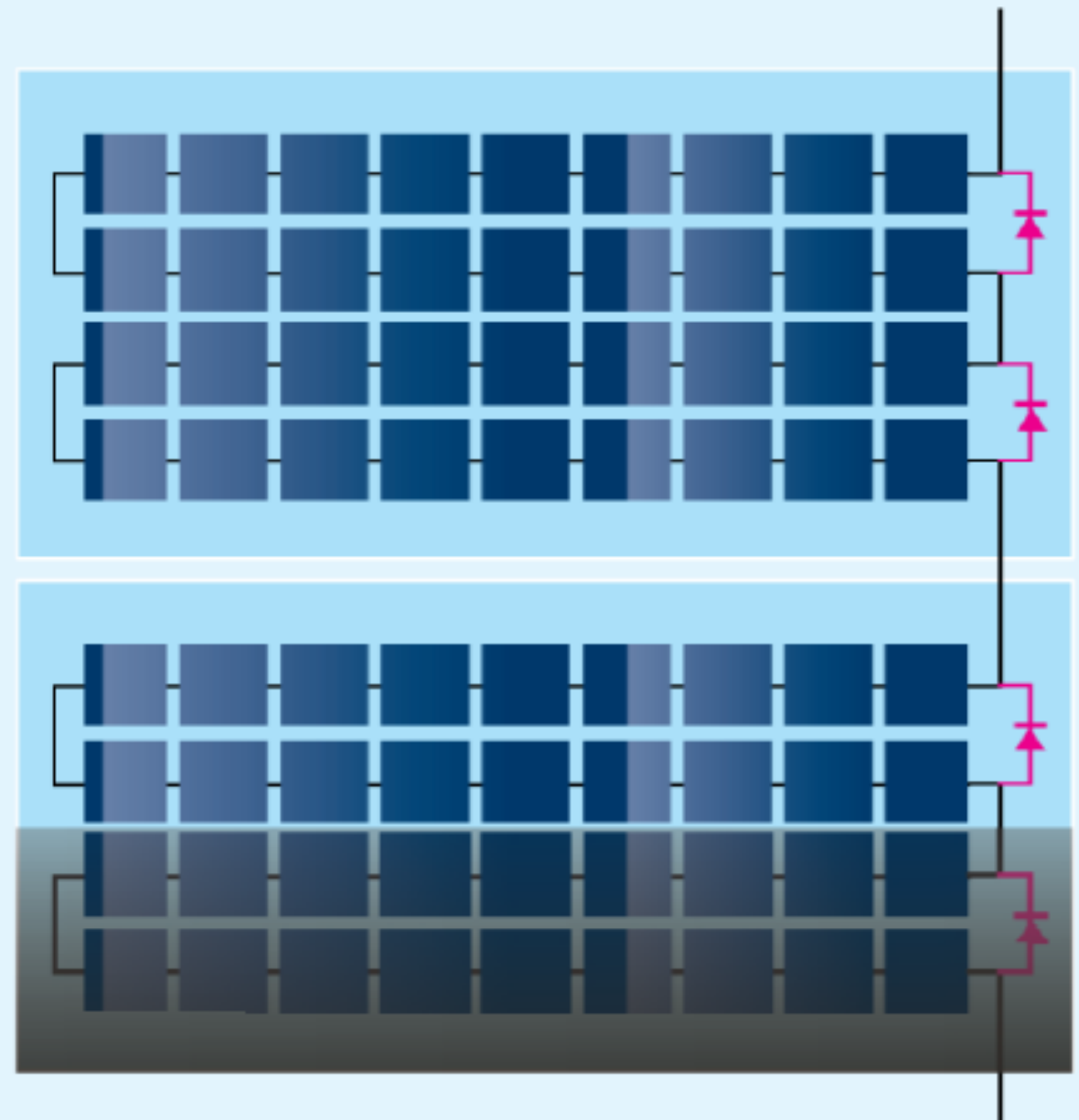
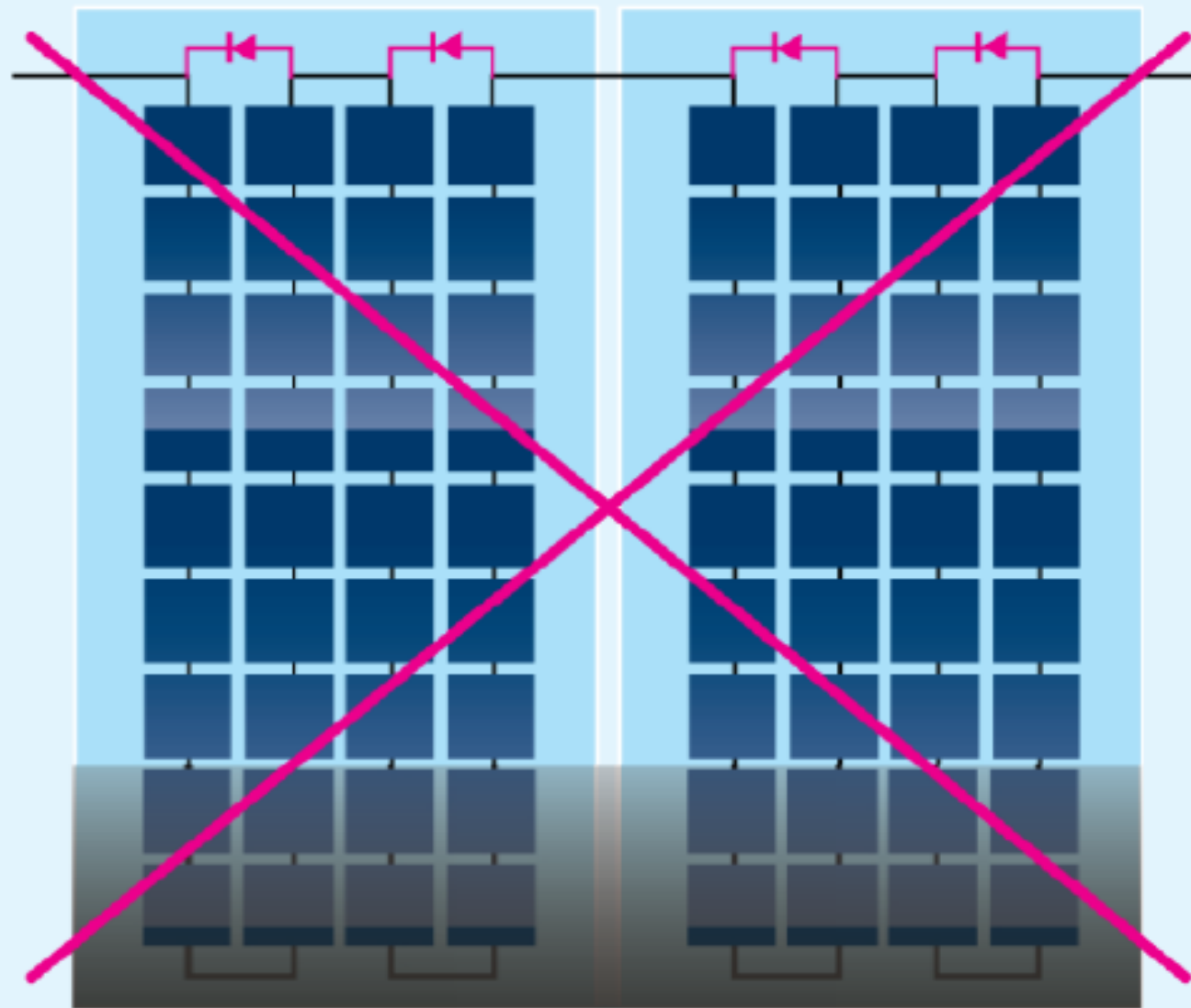


Każdy z 3 łańcuchów ogniw wyłączony
z uwagi na zacinienie.
Produkcja energii równa 0% mocy nominalnej.



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

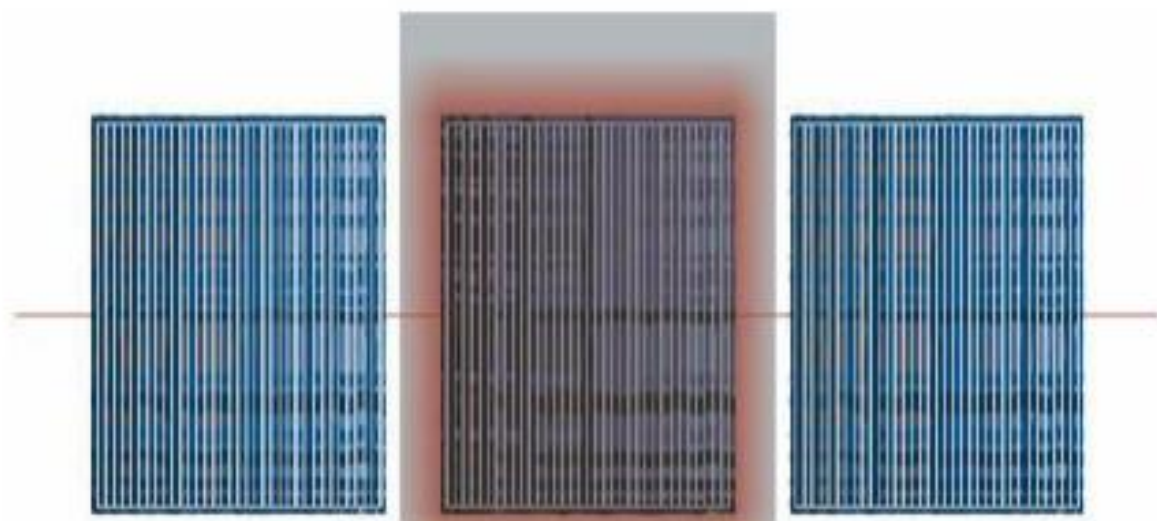
Jeżeli nie można uniknąć cienia to należy zwracać uwagę na ułożenie modułów



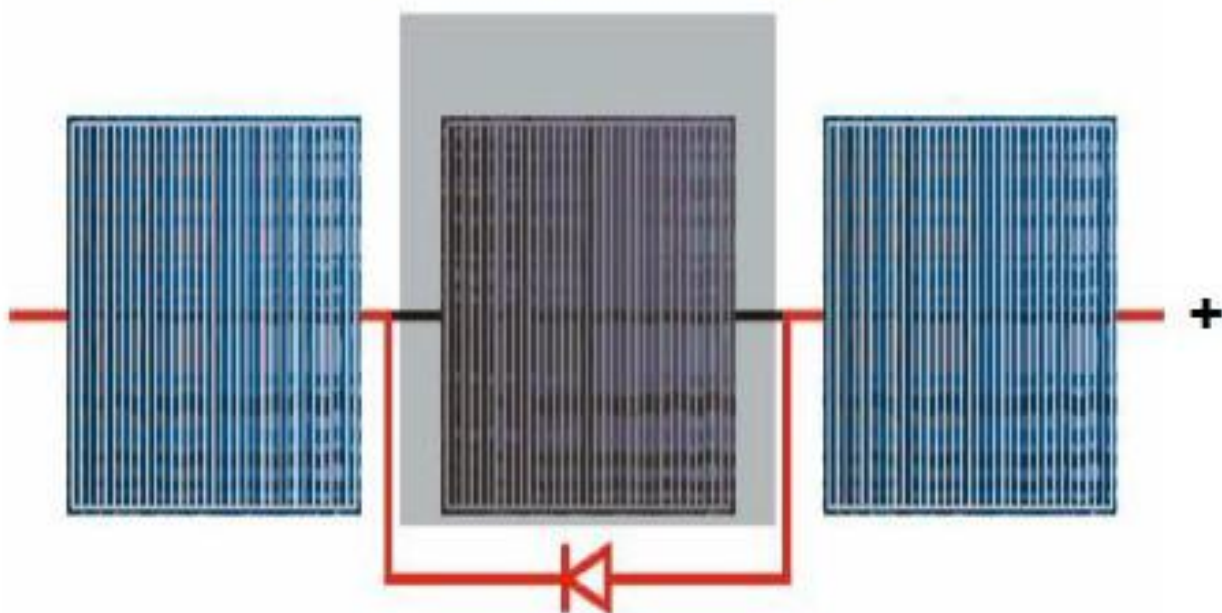
Zacienienie

Moduł zawierający diody obejściowe

Zacienienie

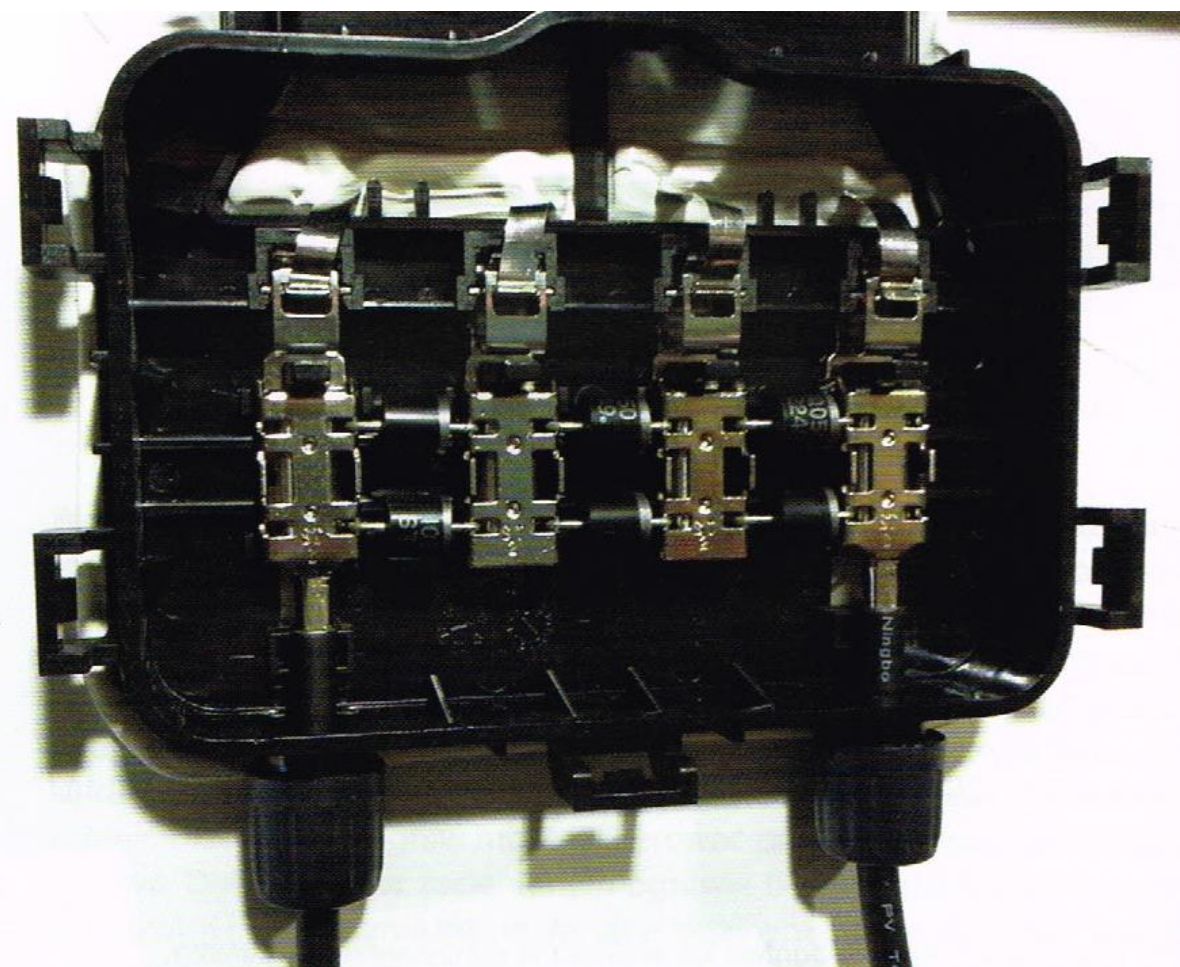


Cele ogrzewając się działają jak opornik



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

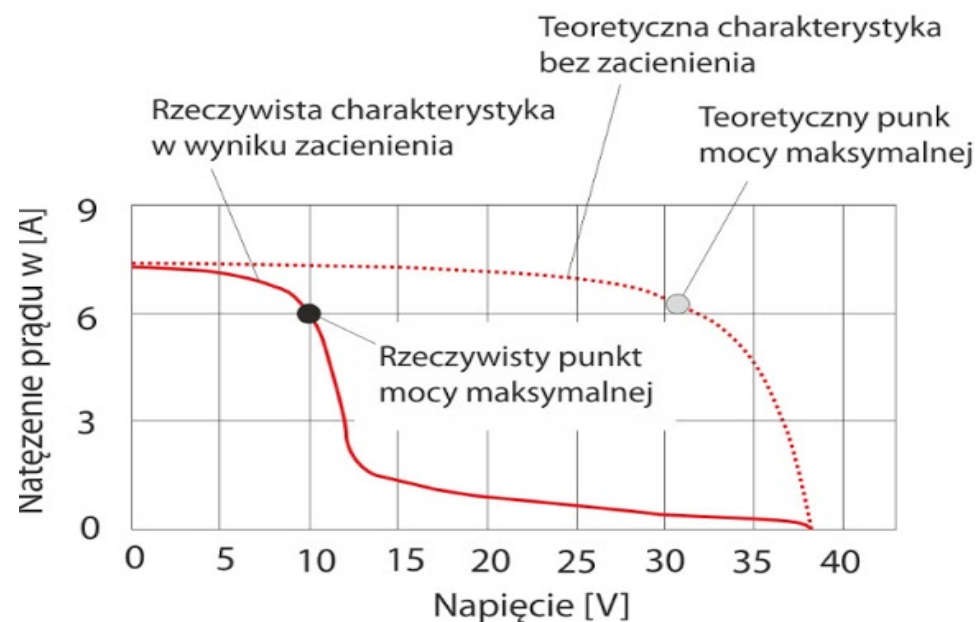
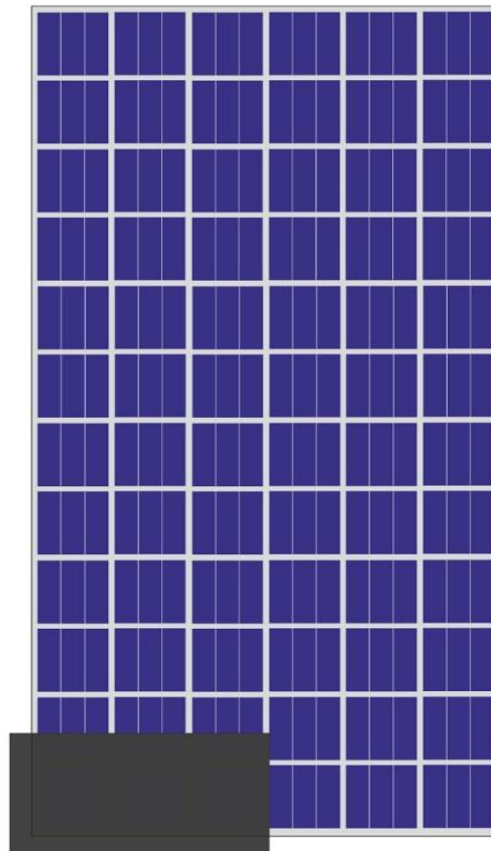
Pozostałe 75% nośników z niezacienionych ogniw rekombinuje w zacienionym obszarze jednego ogniwa i oddaje swoją energię w postaci ciepła.



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

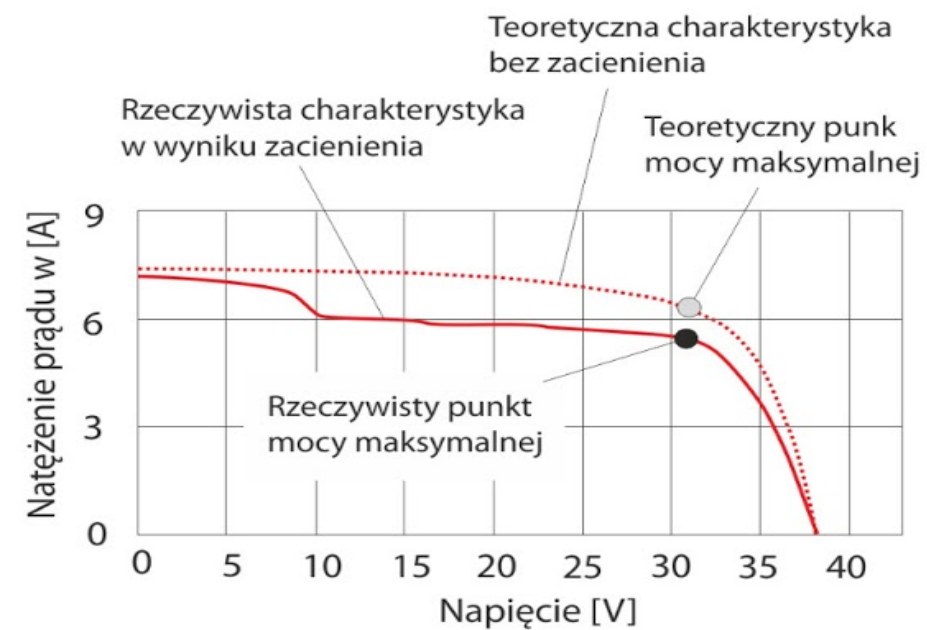
Silne zacinienie

Moduł zbudowany z 72 ogniw
z 3 diodami bocznikującymi



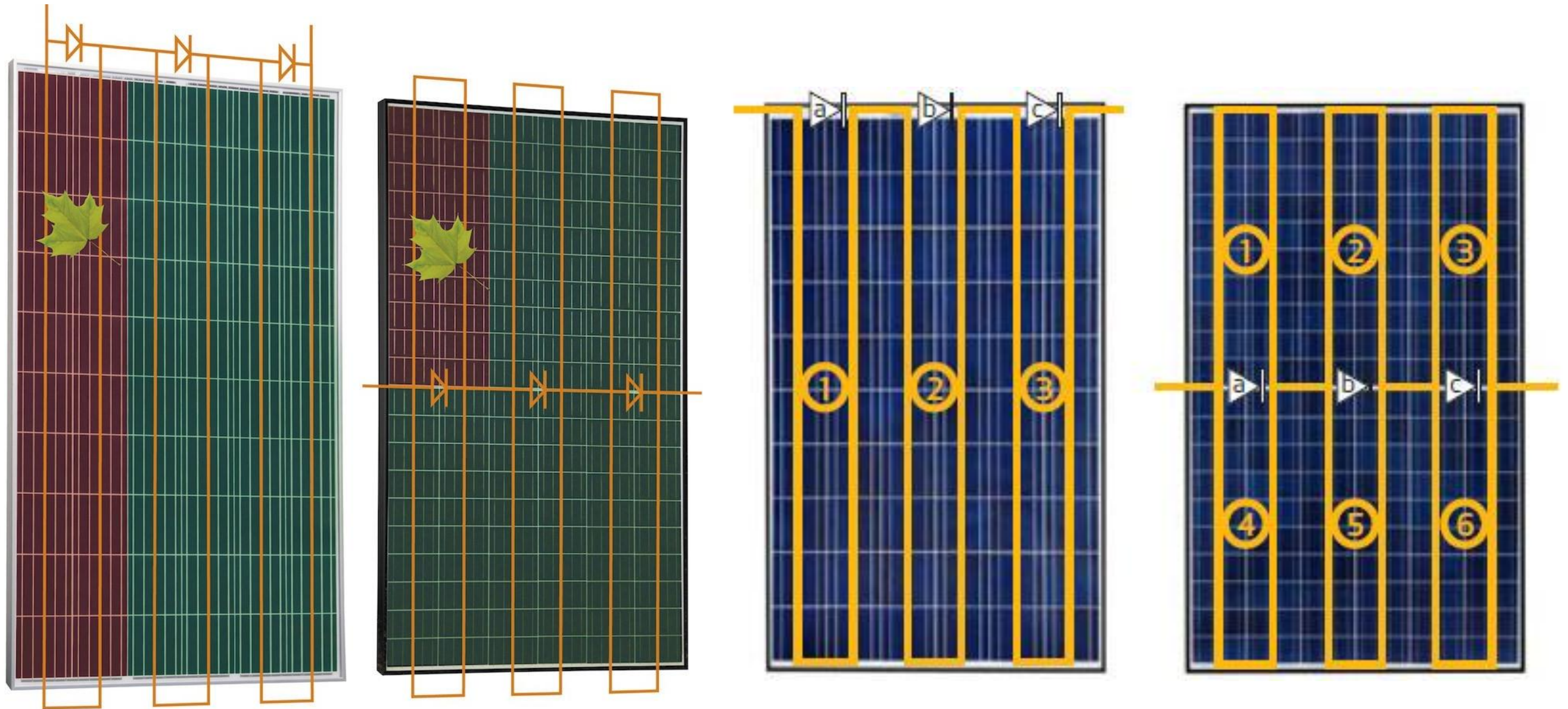
Lekkie zacinienie

Moduł zbudowany z 72 ogniw
z 3 diodami bocznikującymi



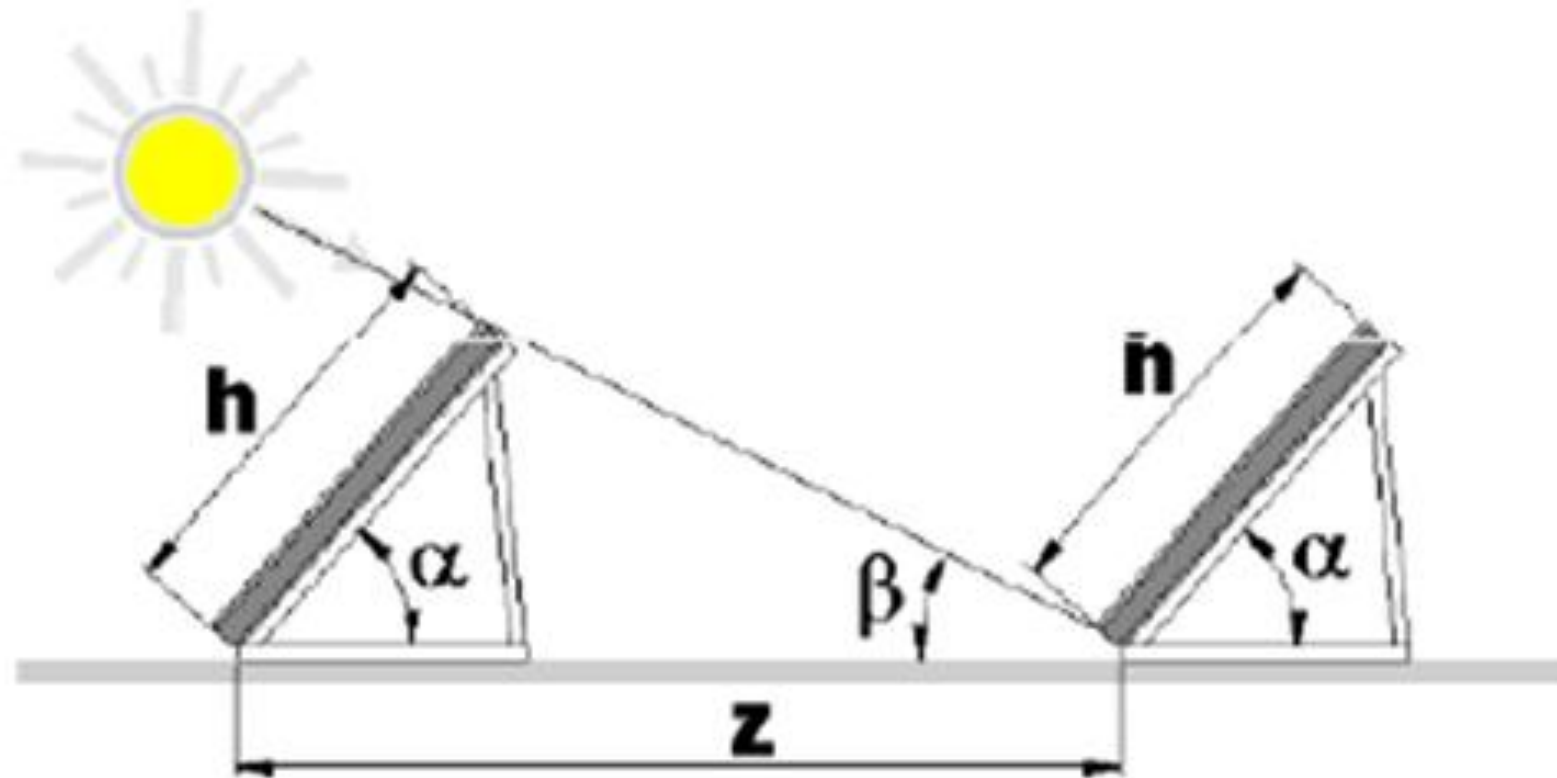
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Technologia half-cut (ogniwa połówkowe)



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Rozstaw rzędów modułów (dach płaski, grunt)



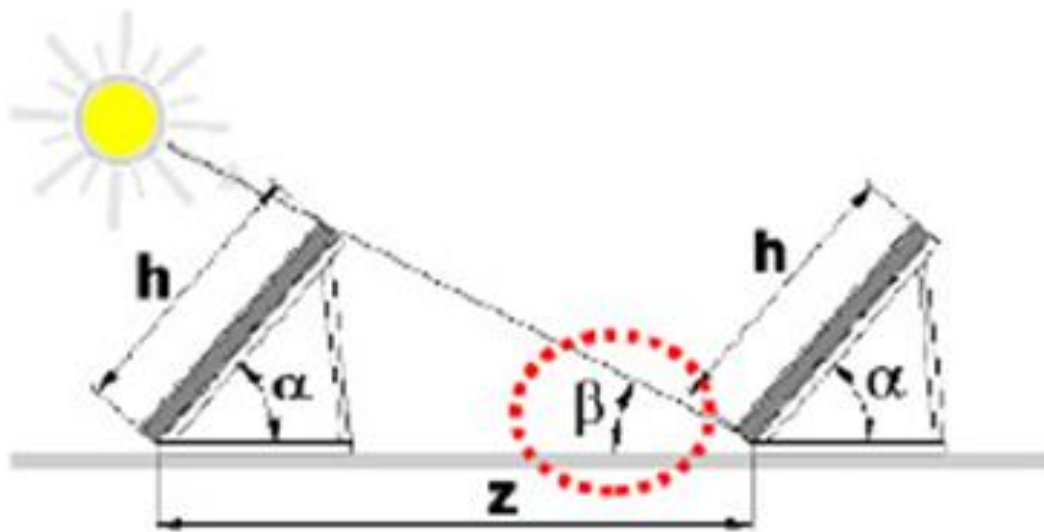
$$z = \frac{h \cdot \sin(180^\circ - (\alpha + \beta))}{\sin \beta}$$

MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Odstęp między rzędami modułów (dach płaski, grunt)

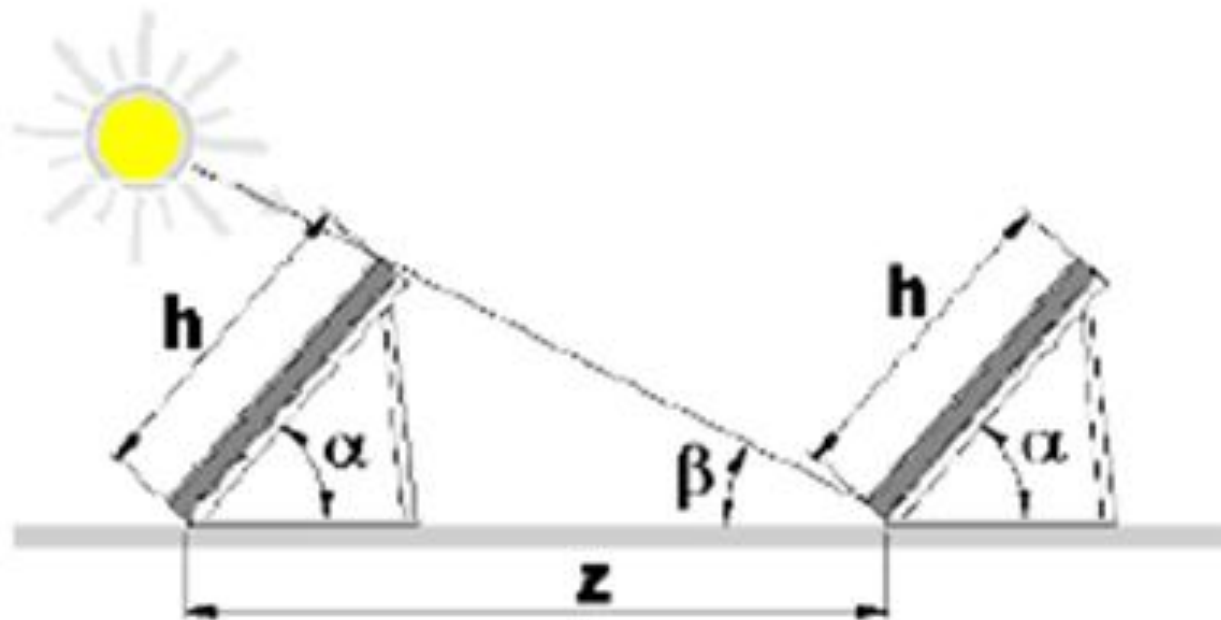
Kąt β

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



MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Odstęp między rzędami modułów (dach płaski, grunt)



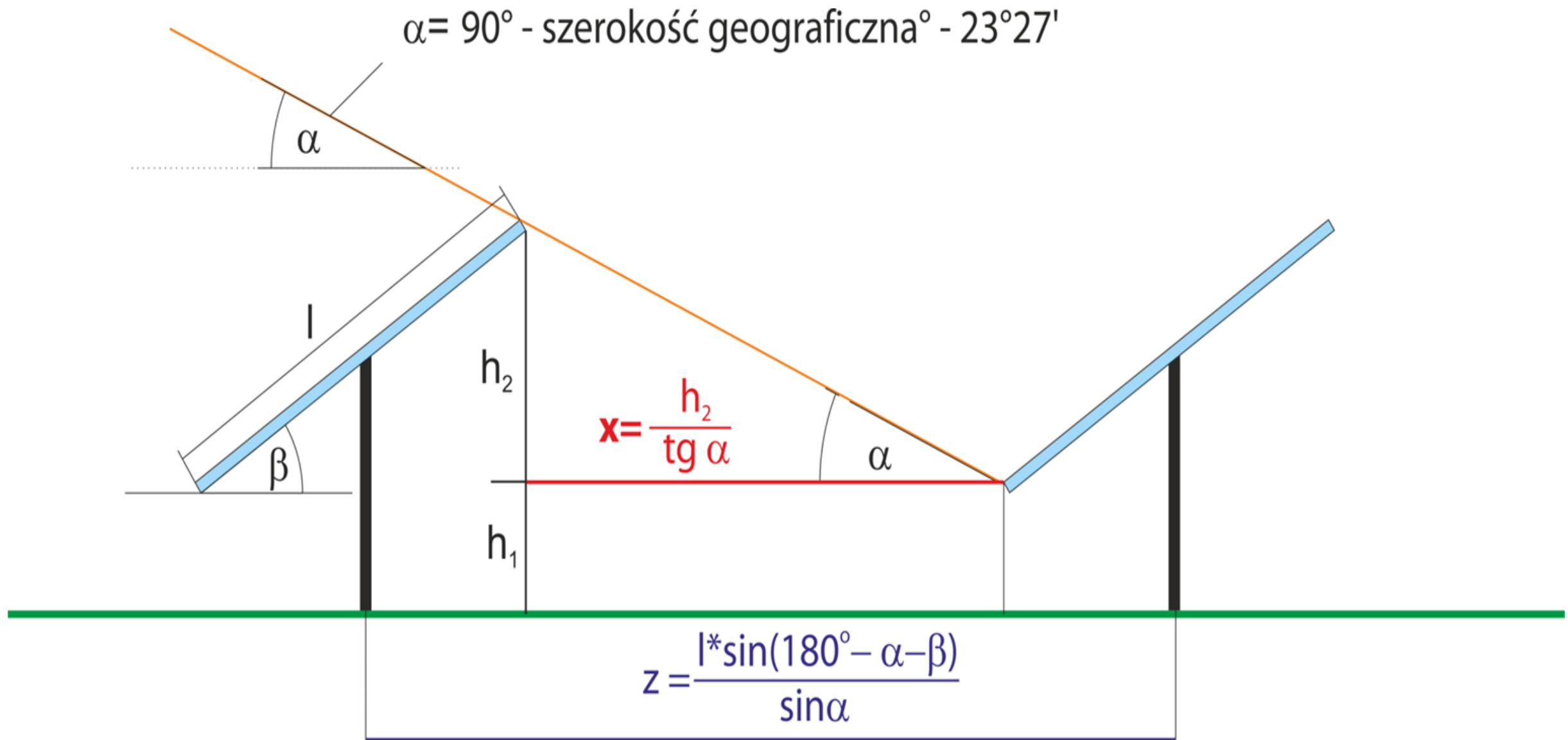
$$z = \frac{h \cdot \sin(180^\circ - (\alpha + \beta))}{\sin \beta}$$

- 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

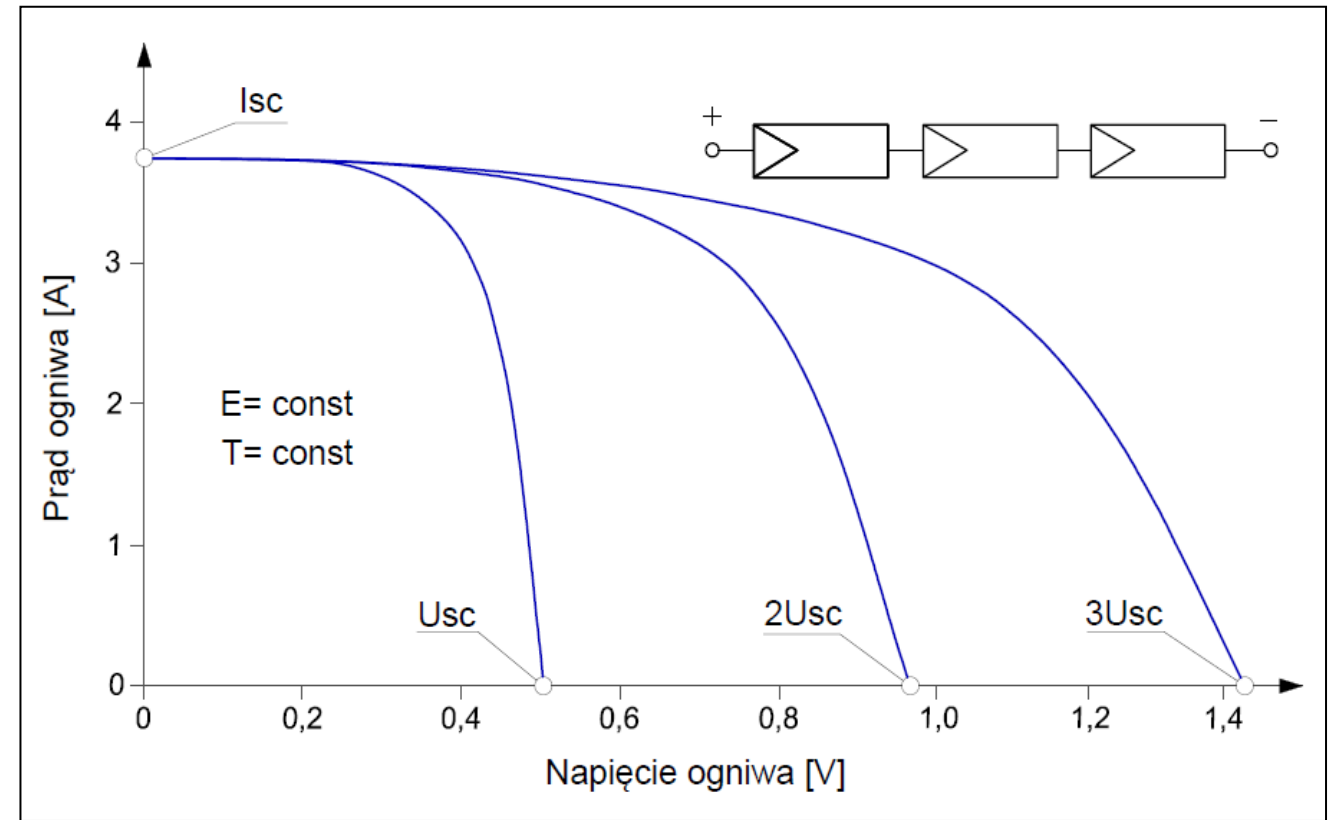
Odstęp między rzędami modułów (dach płaski, grunt)



POŁĄCZENIE MODUŁÓW

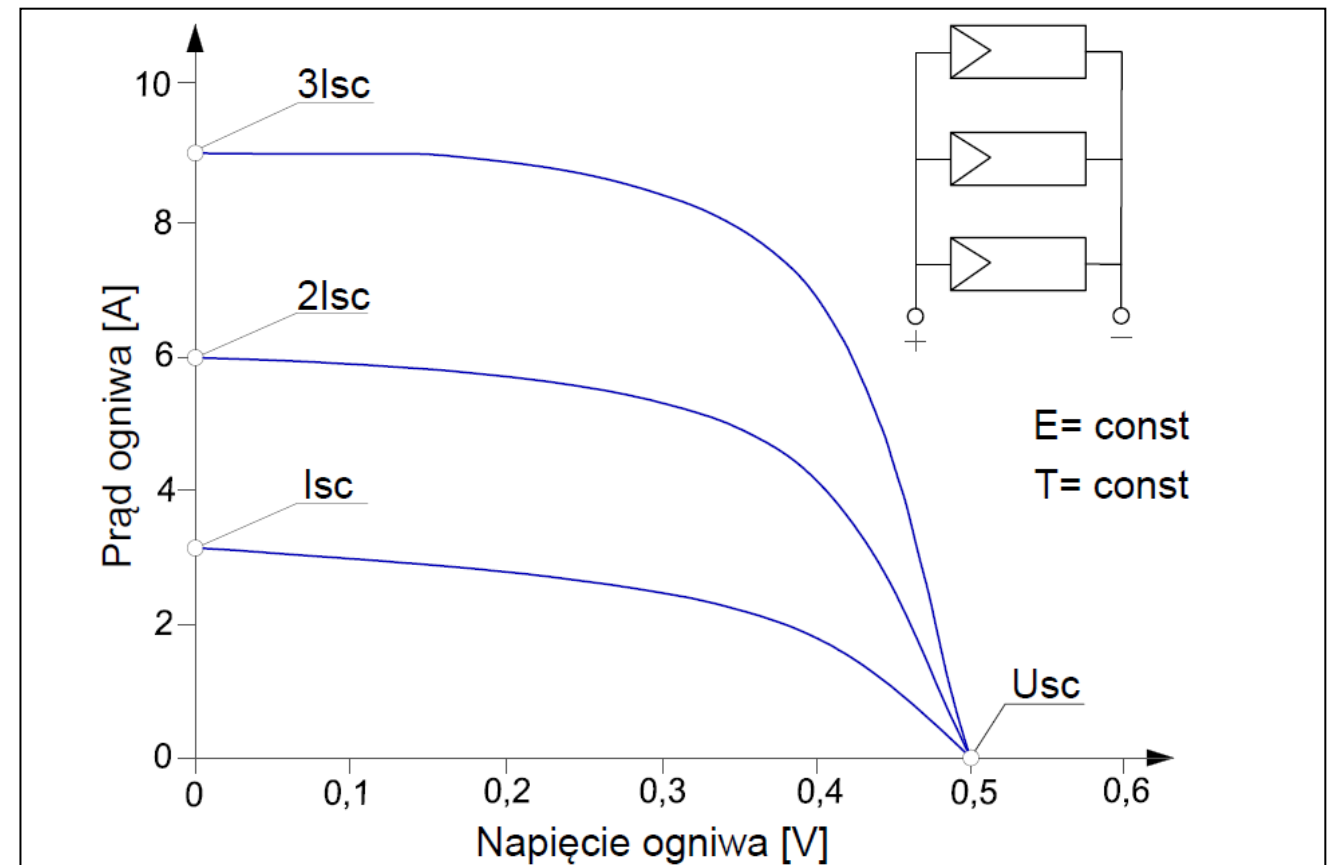
Połączenie szeregowe modułów

$U \text{ układu} = \Sigma U \text{ paneli}$, $I = \text{constans}$



Połączenie równoległe modułów

$U = \text{constans}$, $I \text{ układu} = \Sigma I \text{ paneli}$



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>