



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

# **Czyste energie**

**Wykład 5**

## **Systemy fotowoltaiczne cz.2**

**dr inż. Janusz Teneta**

**C-3 pok. 8 (parter), e-mail: [romus@agh.edu.pl](mailto:romus@agh.edu.pl)**

**Wydział EAIiIB**

**Katedra Automatyki i Robotyki**

**AGH Kraków 2018**

# Sposoby montażu paneli słonecznych

**Układy stacjonarne (zafiksowane)** – baterie słoneczne pozostają w niezmienniej pozycji przez cały rok. W niektórych przypadkach spotyka się możliwość sezonowej (lato – zima) zmiany kąta elewacji baterii.

**Układy orientowane** – baterie codziennie „podążają” za Słońcem. Ruch odbywa się w jednej lub dwóch osiach. Napęd stanowią najczęściej silniki elektryczne ale spotyka się również napędy wykorzystujące zjawiska fizyczne związane z „ciepłem” promieniowania słonecznego. W układach elektrycznych występują dwa sposoby sterowania:

- zegarowy – zmieniający położenie baterii **niezależnie** od chwilowych warunków oświetleniowych
- czujnikowy – reagujący na **odchylenie** strumienia promieniowania słonecznego od aktualnego położenia baterii
- hybrydowy – inteligentne algorytmy **zegarowo-czujnikowe**

# Wpływ montażu paneli PV na dostępność energii słonecznej

## Transposition Factors for Krakow (Poland)

Period : Whole year --- Horizontal Global Irrad. = 1044 kWh/m<sub>2</sub>

Azimuth	-90°	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Tilt													
90°	0.61	0.65	0.70	0.73	0.75	0.76	0.76	0.76	0.75	0.73	0.70	0.66	0.61
80°	0.67	0.73	0.78	0.82	0.85	0.86	0.87	0.86	0.85	0.82	0.79	0.74	0.68
70°	0.74	0.80	0.85	0.90	0.93	0.95	0.95	0.95	0.93	0.90	0.86	0.81	0.75
60°	0.80	0.86	0.92	0.96	1.00	1.02	1.03	1.02	1.00	0.97	0.92	0.87	0.81
50°	0.85	0.91	0.97	1.01	1.05	1.07	1.08	1.07	1.05	1.02	0.97	0.92	0.86
40°	0.90	0.96	1.01	1.05	1.08	1.10	1.11	1.10	1.08	1.05	1.01	0.96	0.90
30°	0.94	0.99	1.03	1.06	1.09	1.11	1.11	1.11	1.09	1.07	1.03	0.99	0.94
20°	0.97	1.00	1.03	1.06	1.08	1.09	1.10	1.09	1.08	1.06	1.04	1.01	0.97
10°	0.99	1.01	1.02	1.04	1.05	1.06	1.06	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01	0.99
0°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

### Tracking planes :

Tracking two axes :

TF = 1.38 ( 124 % of fixed plane's optimum)

East-West horizontal axis :

TF = 1.17 ( 105 % of fixed plane's optimum)

N-S axis, Tilt = Lat. - 10° :

TF = 1.35 ( 121 % of fixed plane's optimum)

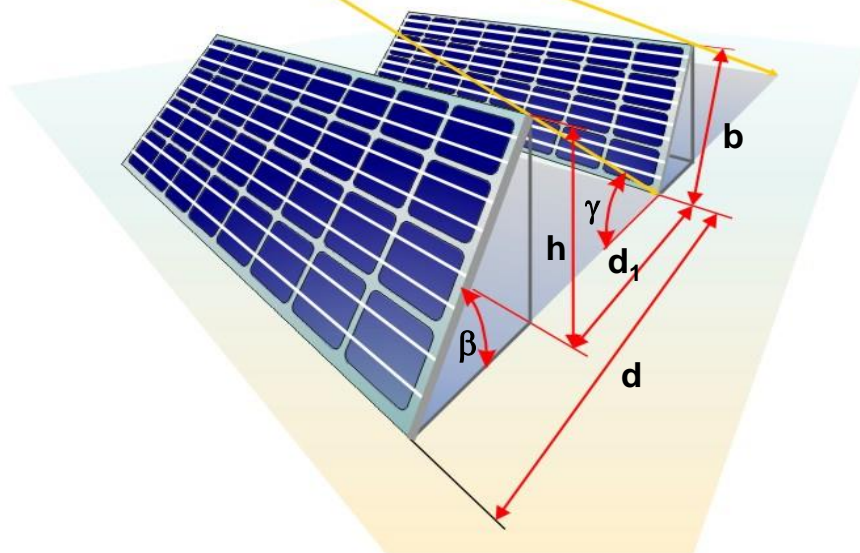
N-S axis, Tilt = Latitude :

TF = 1.33 ( 120 % of fixed plane's optimum)

# Stacjonarny montaż paneli PV na otwartej przestrzeni



W sezonie zimowym, w godzinach okołopołudniowych poprzednie rzędy nie powinny zacieniać rzędów następnych.



Reguła dla naszej szerokości geograficznej:

$$d = 3 * b$$

# Układy koncentratorowe (systemy nadążne)



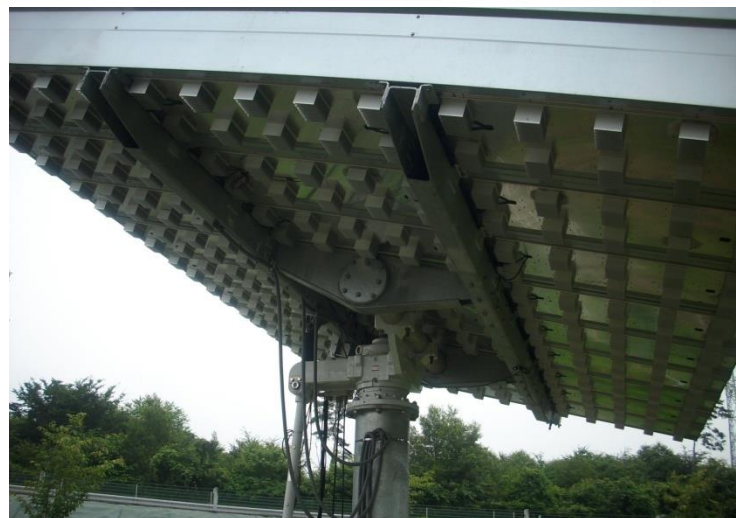
**Sevilla PV PLANT  
(płaskie lustra)**



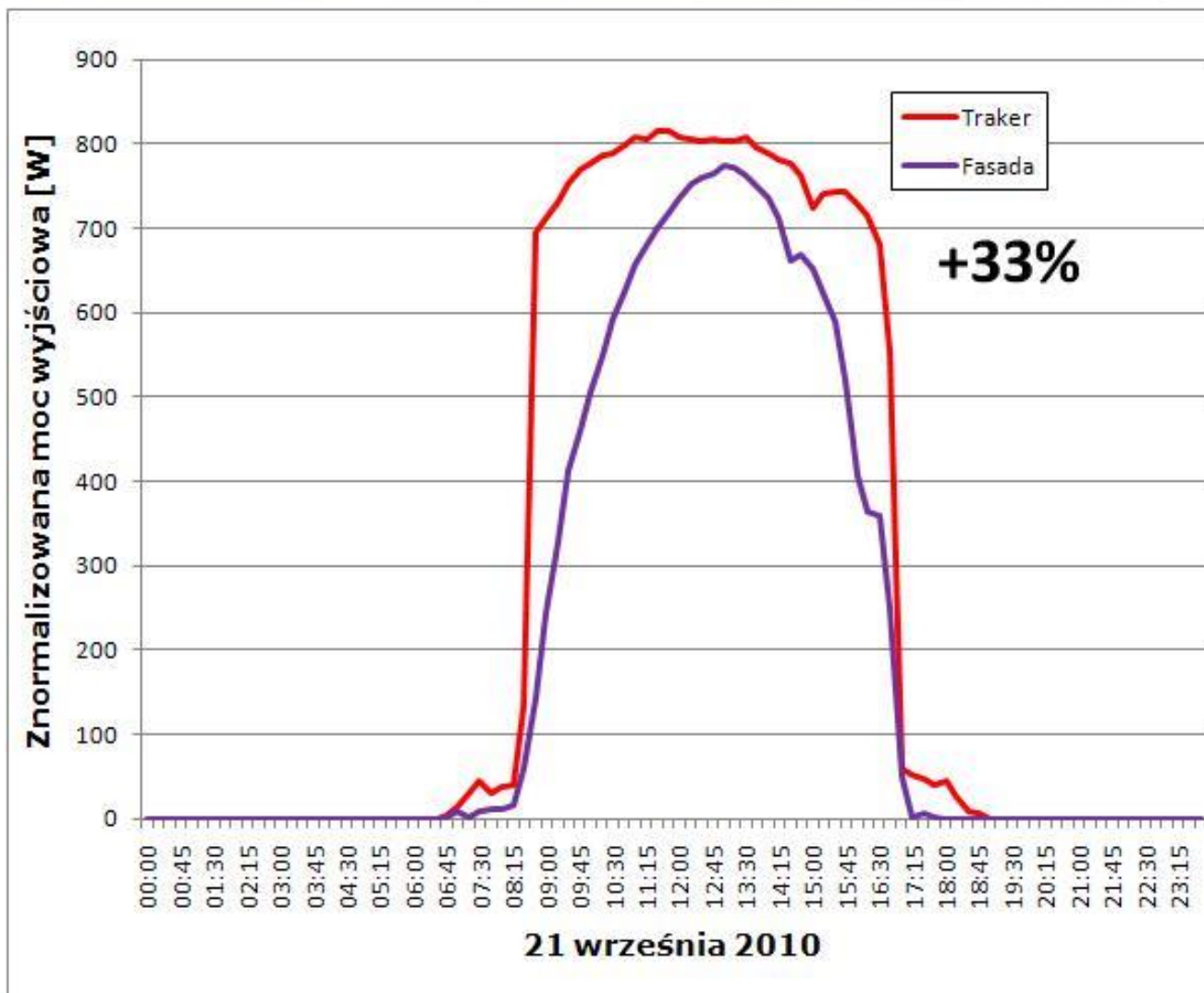
# Układy koncentratorowe (systemy nadążne)



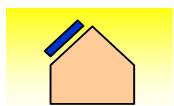
**Hokuto-City Japan  
(soczewki Fresnela)**



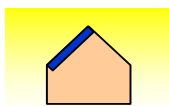
# Porównanie pracy systemu stacjonarnego i nadążnego



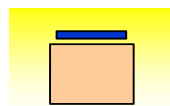
# Systemy stacjonarne na budynkach



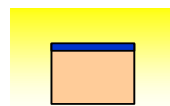
Nad nachylnym dachem (a)



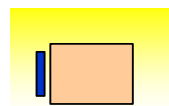
Na nach. dachu (b)



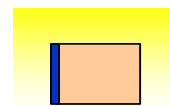
Nad płaskim dachem (c)



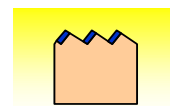
Na płaskim dachu (d)



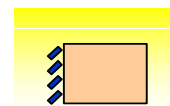
Przed fasadą (e)



Na fasadzie (f)



Na dachu typu „szedy” (g)



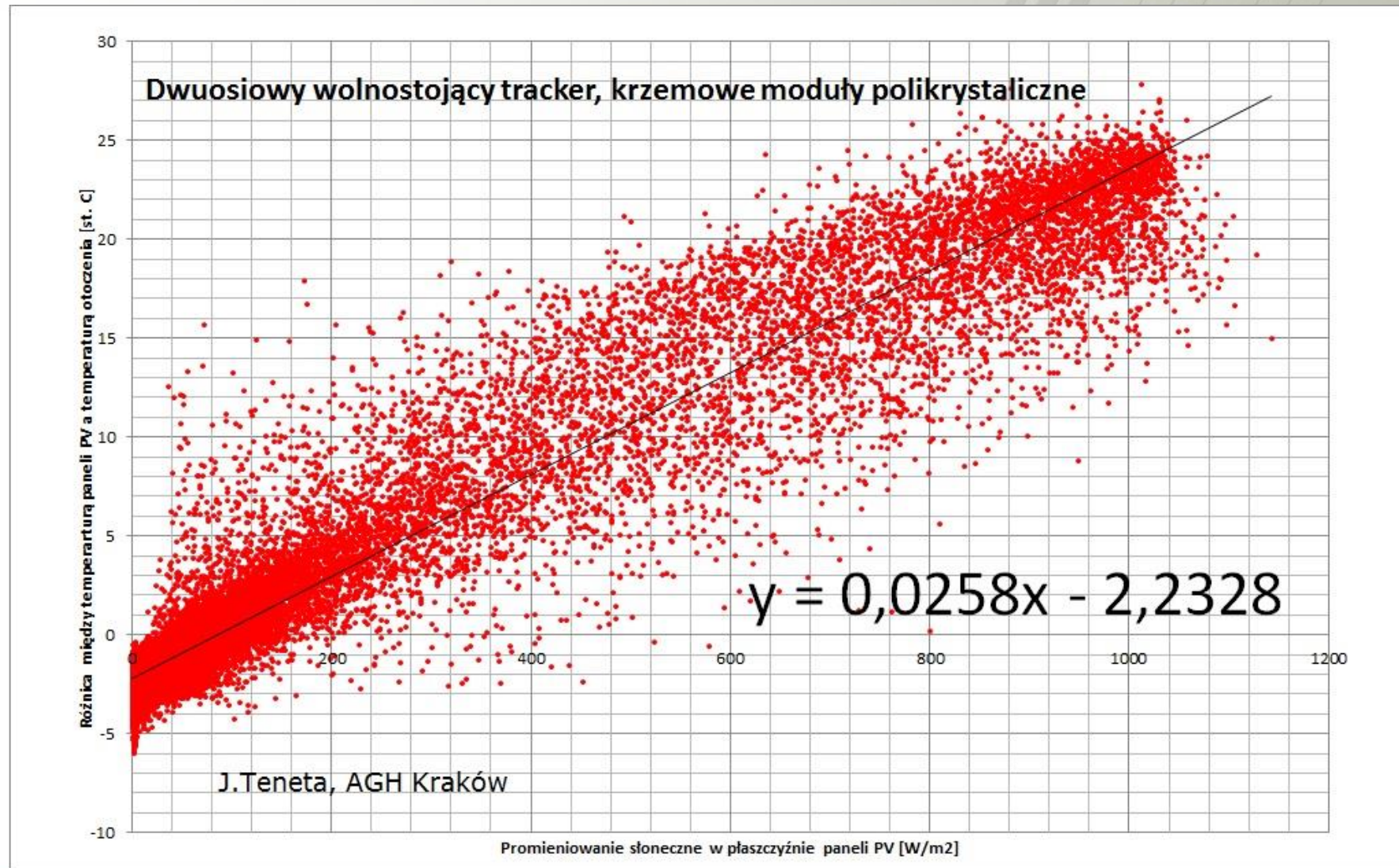
W formie markizy (h)



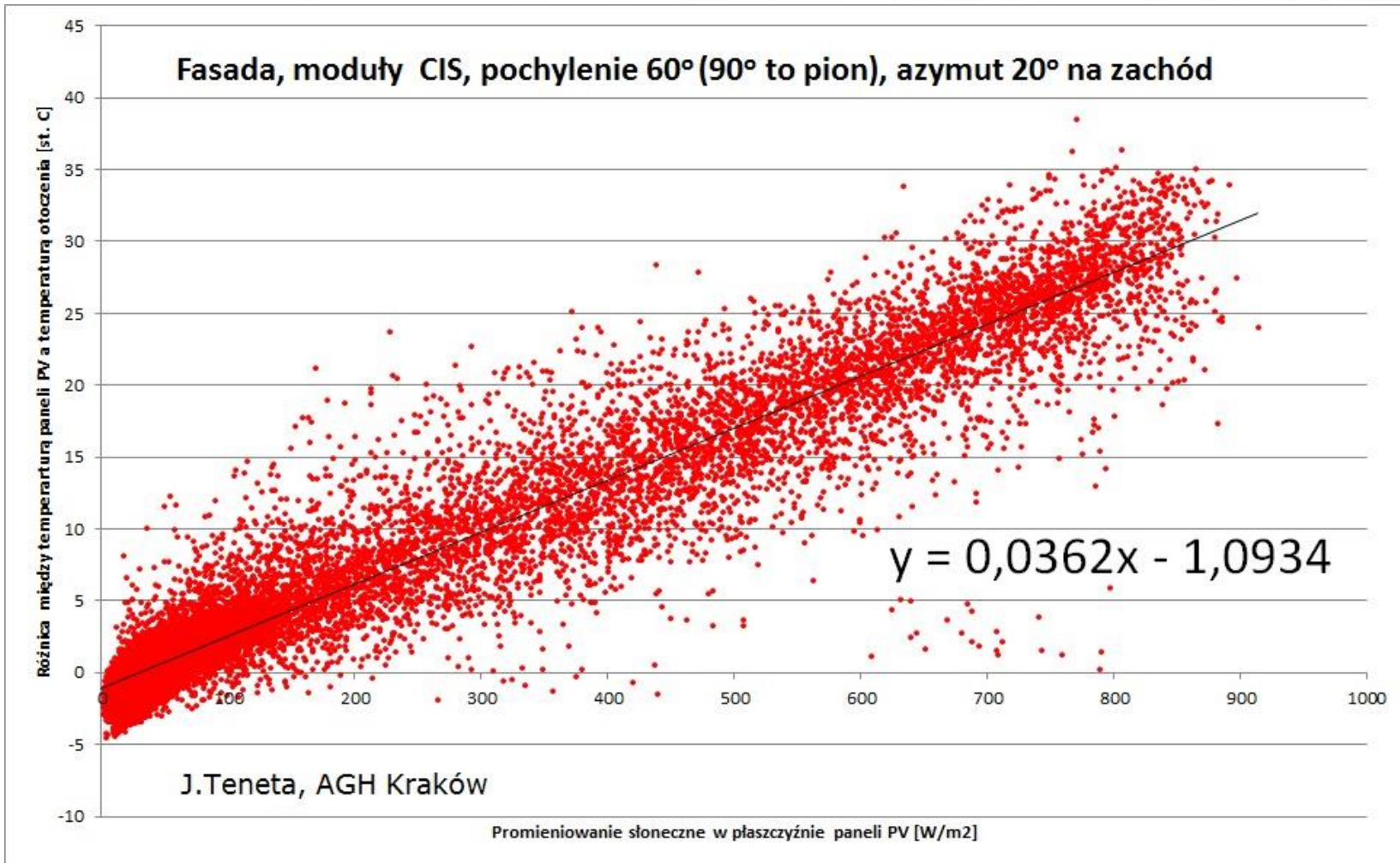
Images: Fraunhofer ISE, Freiburg, Germany



# Temperatura pracy modułów PV



# Temperatura pracy modułów PV



# Temperatura pracy modułów PV

## Nagrzewanie się modułów wystawionych na promieniowanie słoneczne.

Jeśli tylna powierzchnia modułu jest izolowana termicznie temperatura ogniwa może wzrosnąć nawet o 60°C powyżej temperatury otoczenia.

Zaprezentowane wyniki pokazują temperaturę modułów zamontowanych bezpośrednio na termoizolacyjnej fasadzie (czerwone punkty) oraz na wysięgnikach ze szczeliną wentylacyjną.

Wysoka temperatura pracy modułów PV to nie tylko spadek mocy ale również zagrożenie uszkodzeniem modułów (powyżej 85°C)

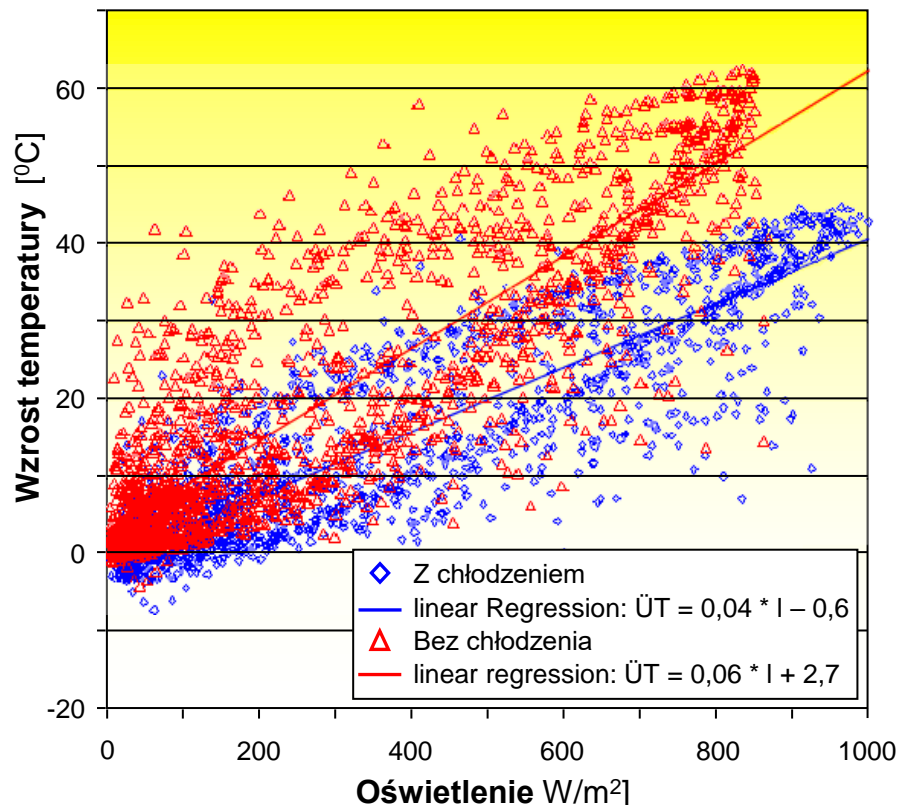


Image: Fraunhofer ISE, Freiburg, Germany; Solarpraxis AG, Berlin, Germany

# Wpływ montażu na wzrost temperatury

**Różnice temperatury pomiędzy modułami słonecznymi a otoczeniem dla różnych sposobów montażu oraz spowodowane nimi straty produkowanej energii elektrycznej.**

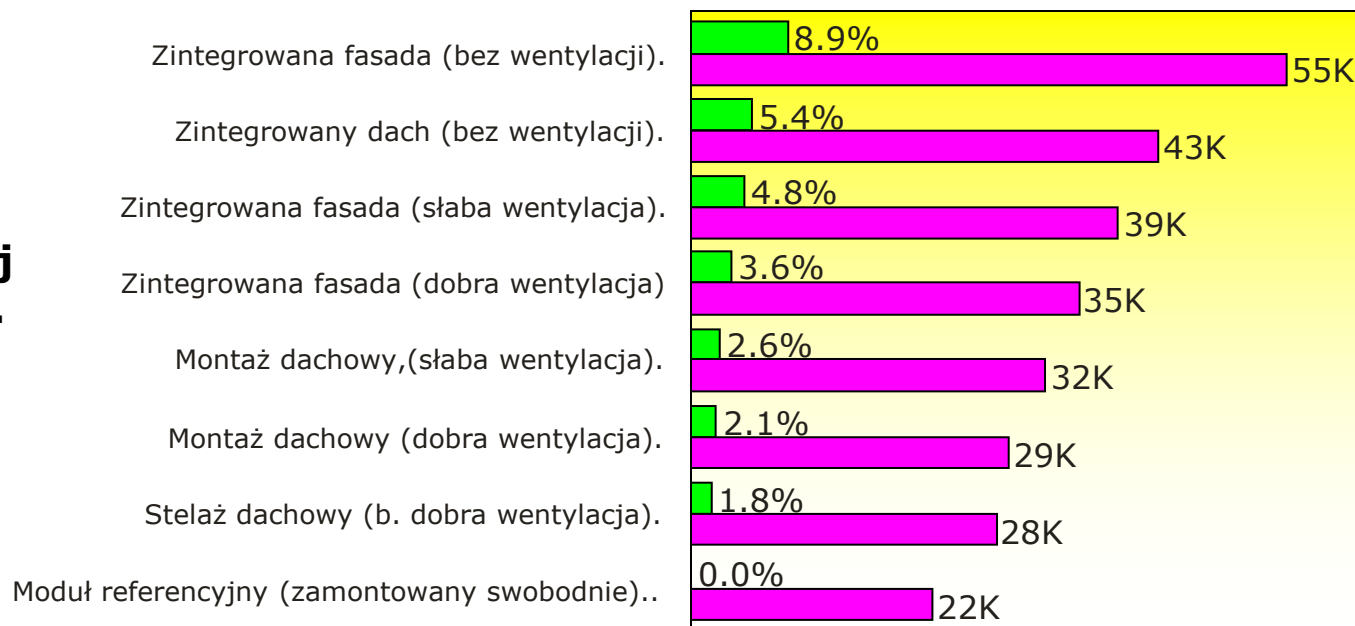
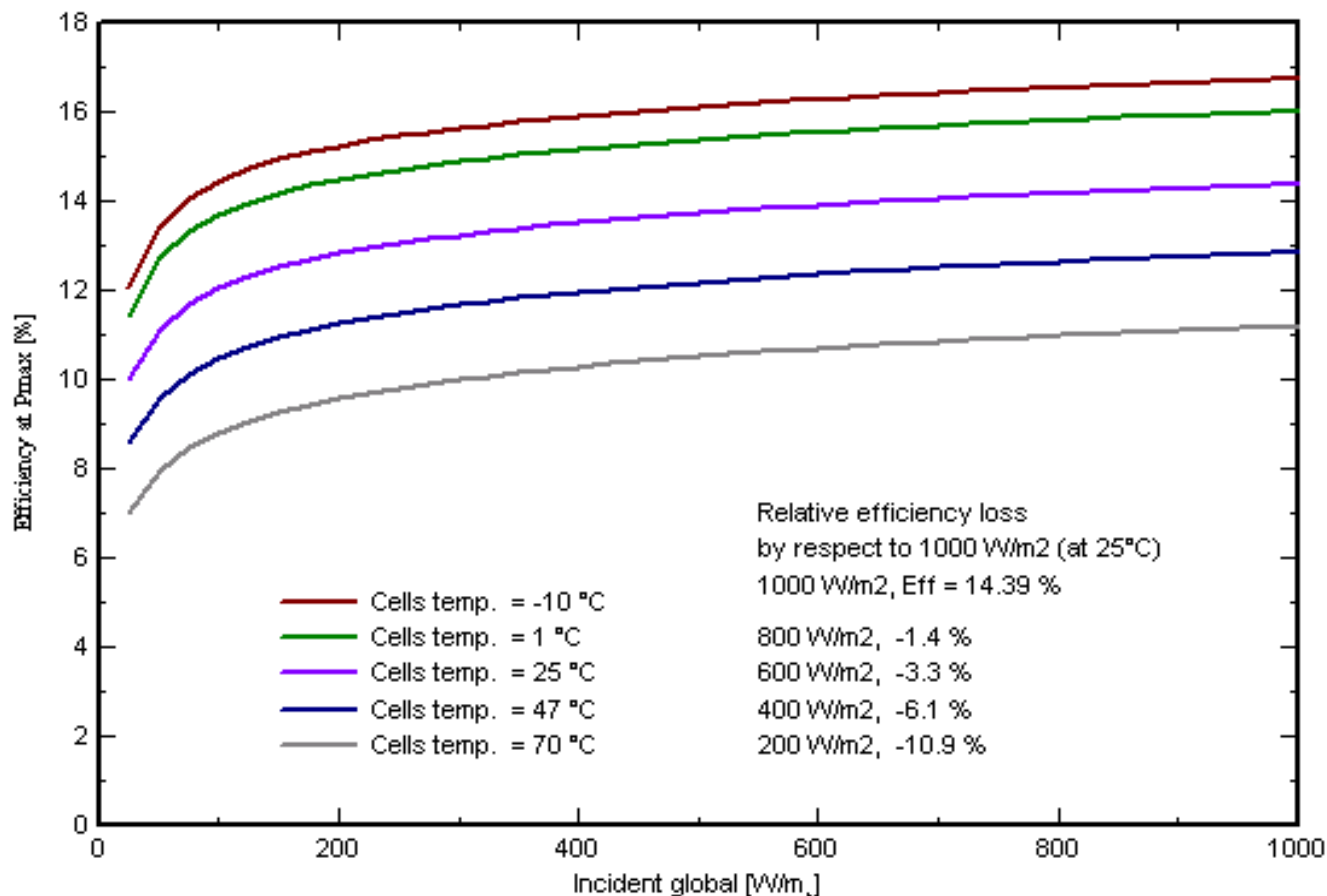


Image: Fraunhofer ISE, Freiburg, Germany

# Wrażliwość temperaturowa modułów PV

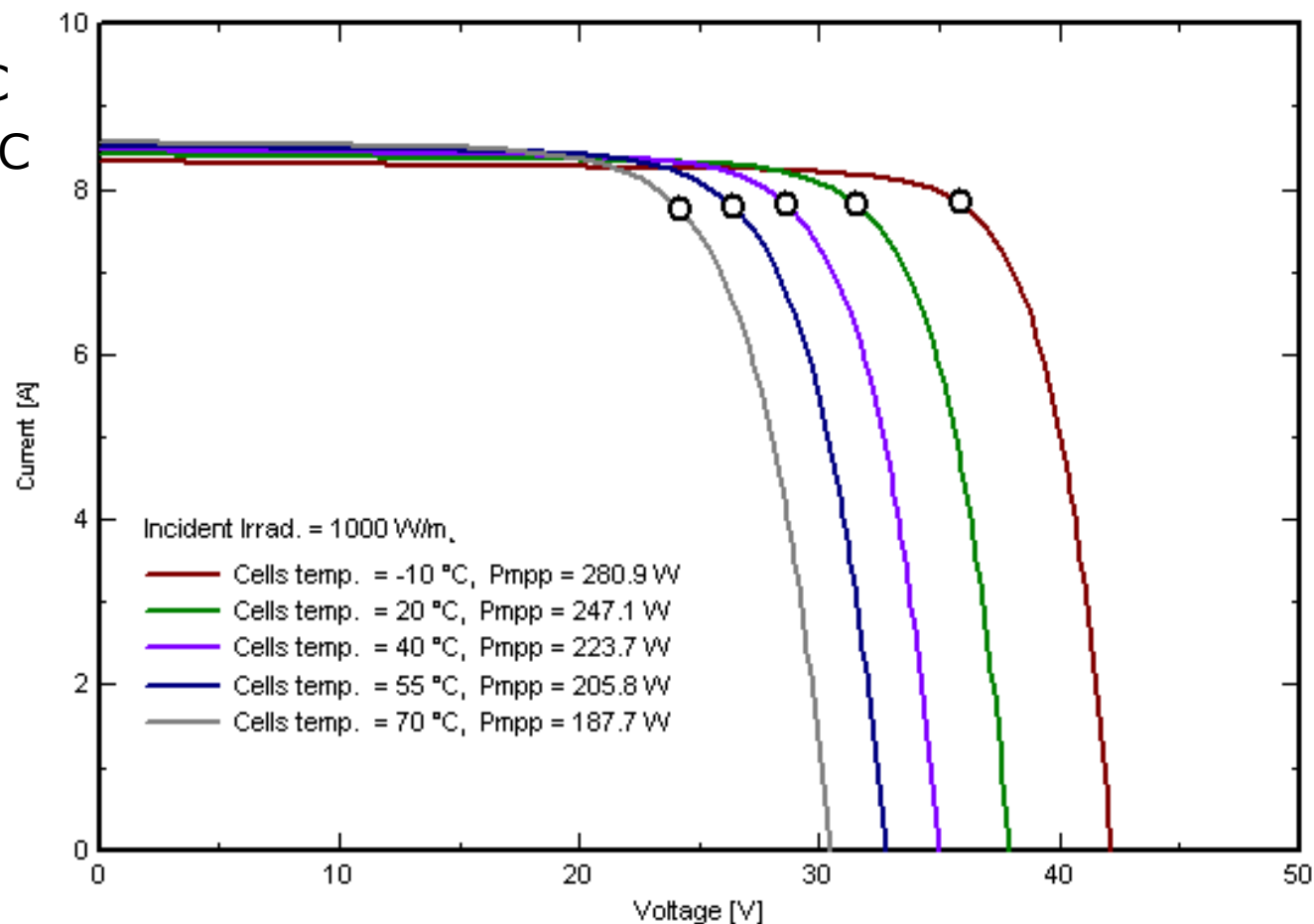
PV module: SolarWorld, SW 240 Poly



# Wrażliwość temperaturowa modułów PV

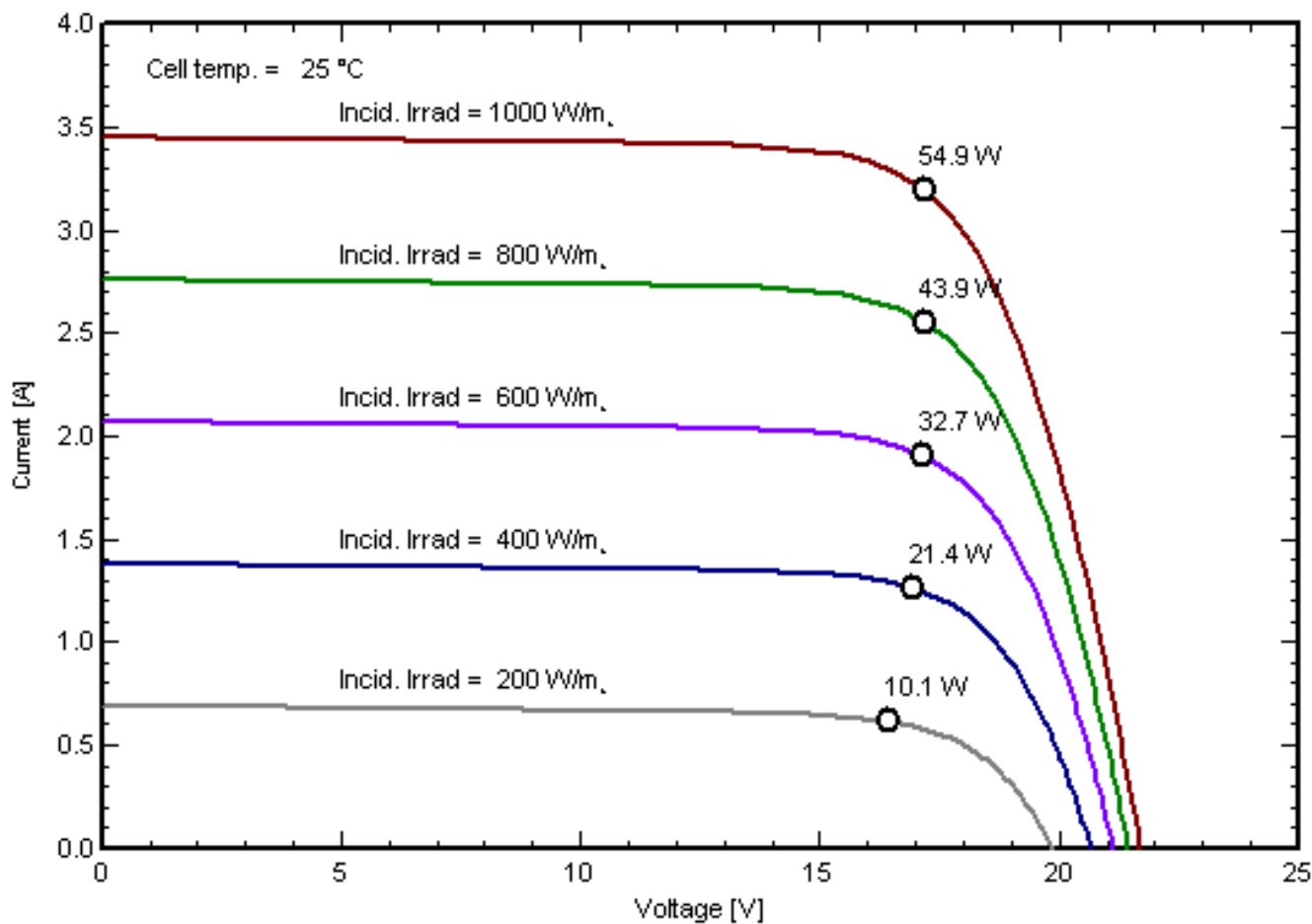
PV module: SolarWorld, SW 240 Poly

- $U_{oc}$ : -143 mV/°C
- $I_{sc}$ : +2.9 mA/°C
- $Moc$ : -0.48 %/°C



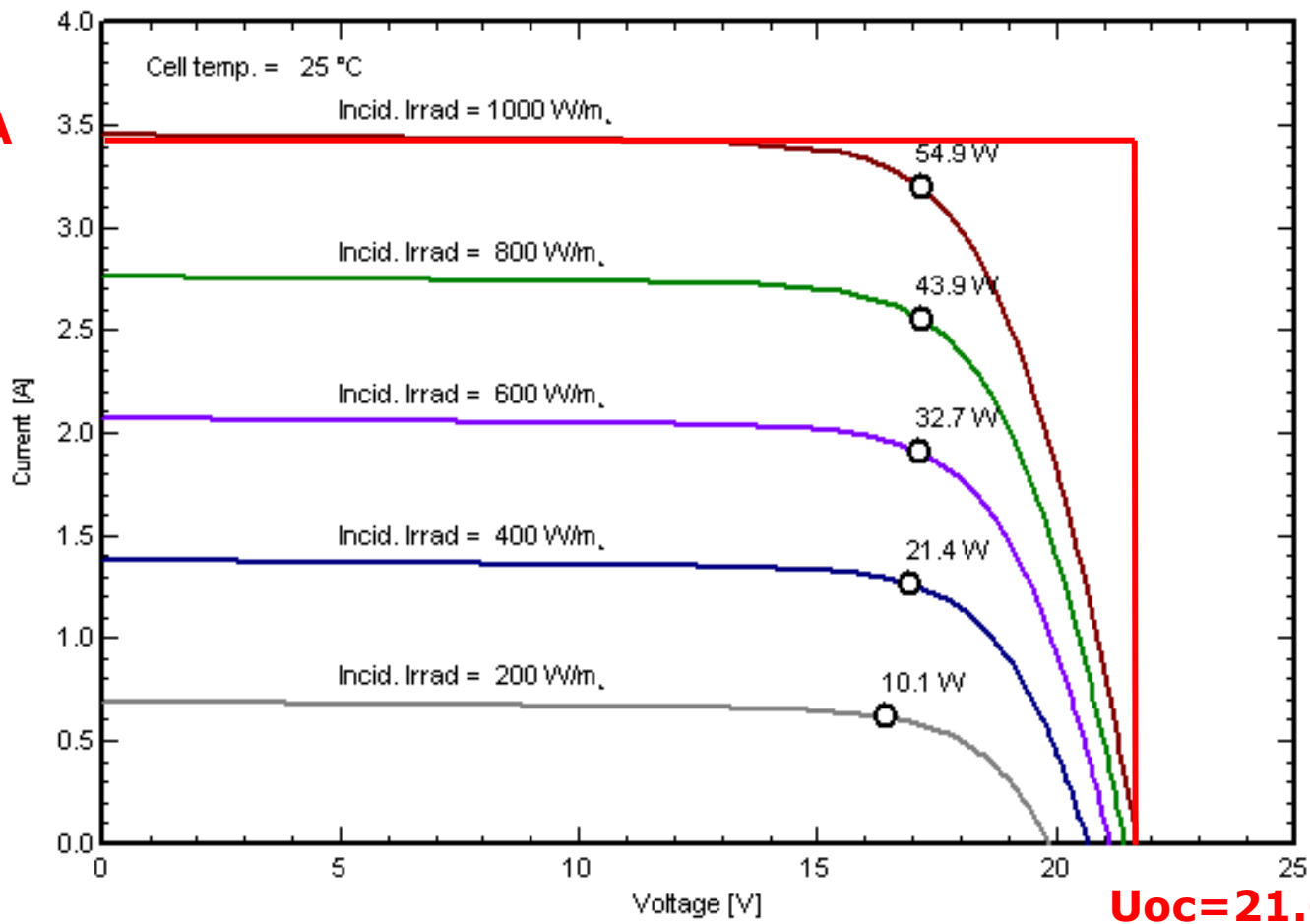
# Współczynnik kształtu Fill Factor (FF)

PV module : Siemens Solar, SM55, Manufacturer



# Współczynnik kształtu Fill Factor (FF)

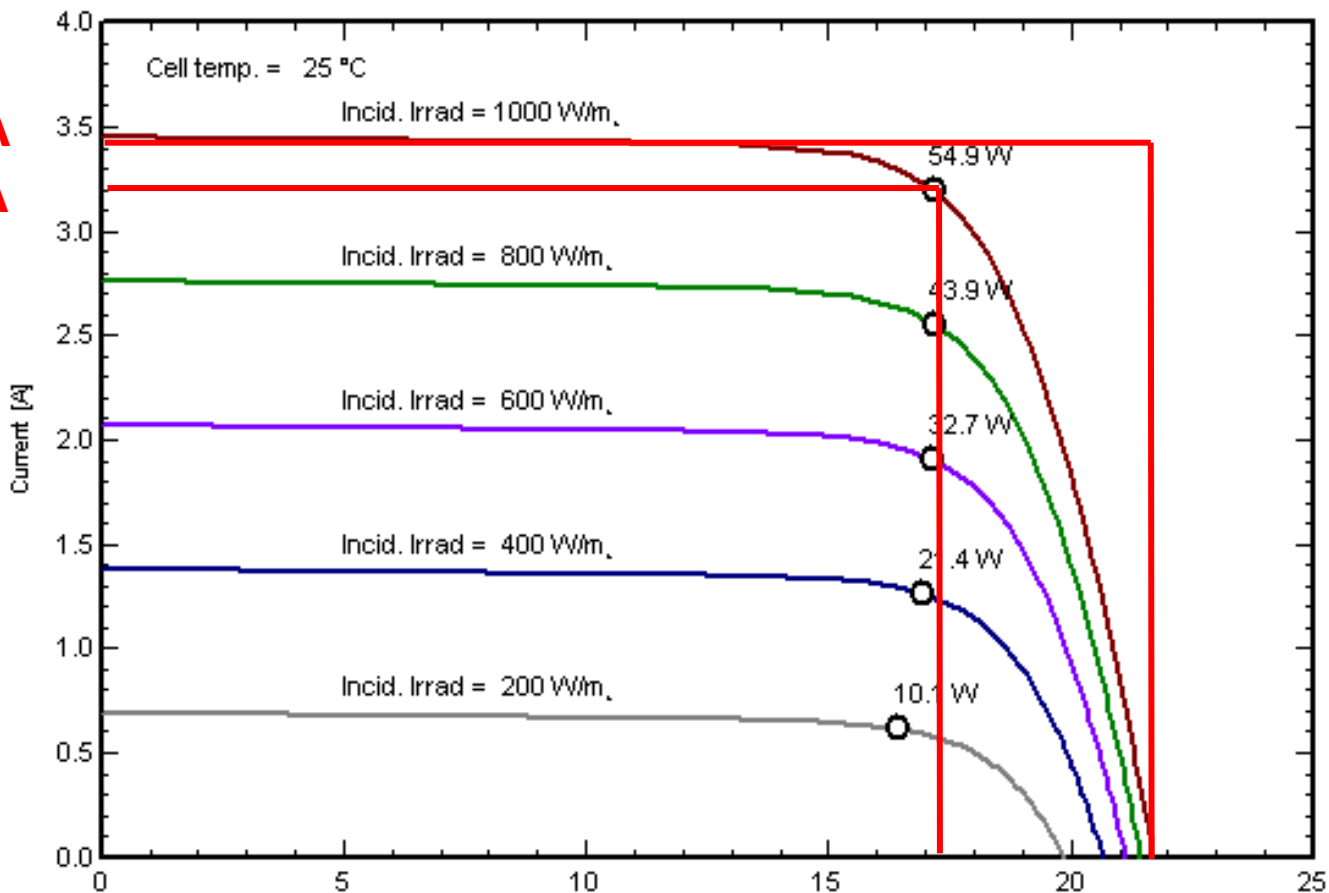
PV module : Siemens Solar, SM55, Manufacturer





# Współczynnik kształtu Fill Factor (FF)

PV module : Siemens Solar, SM55, Manufacturer



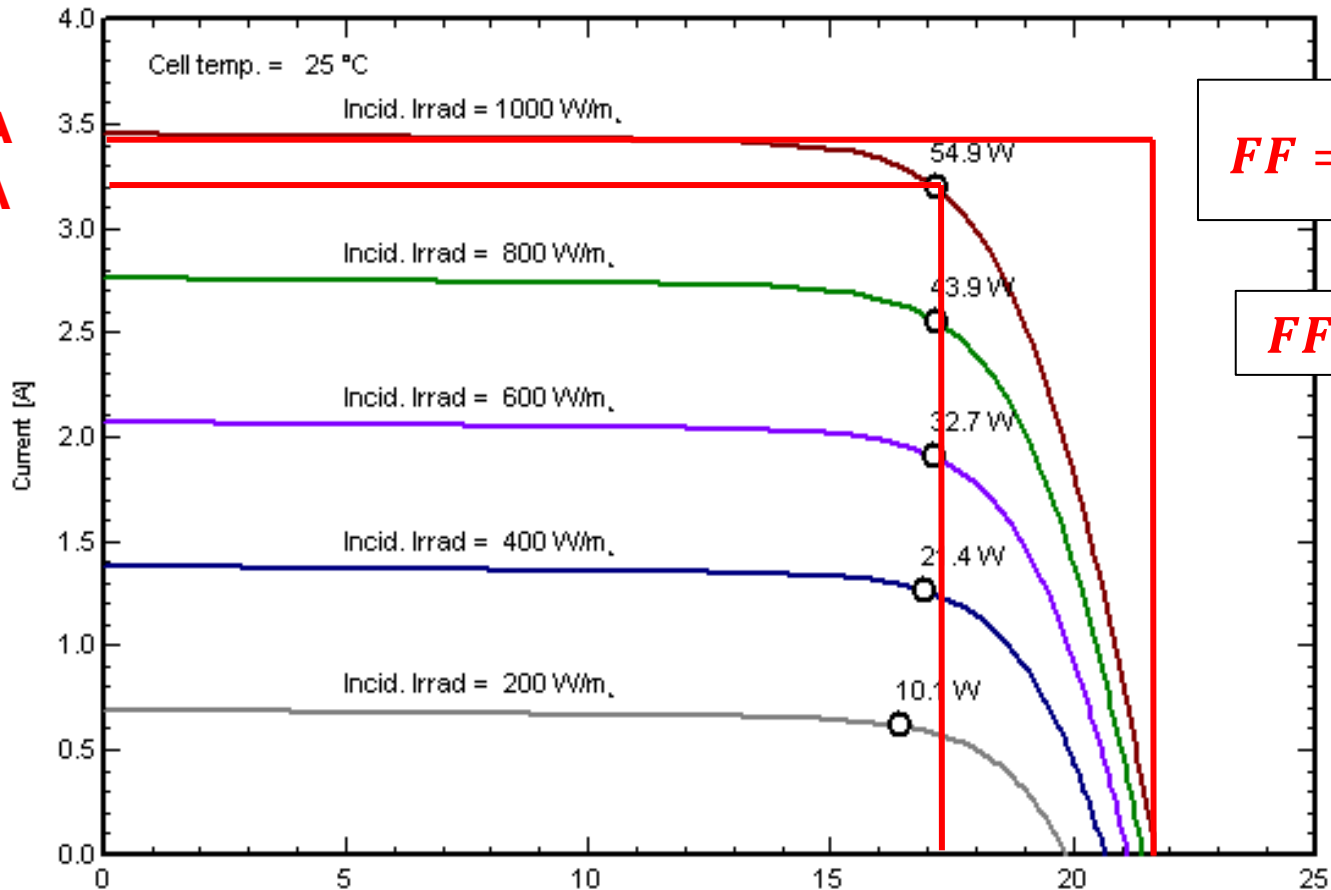
**Isc=3,45A**

**Imp=3,2A**

**Umpp=17,3V Uoc=21.6V**

# Współczynnik kształtu Fill Factor (FF)

PV module : Siemens Solar, SM55, Manufacturer



**Isc=3,45A**

**Imp=3,2A**

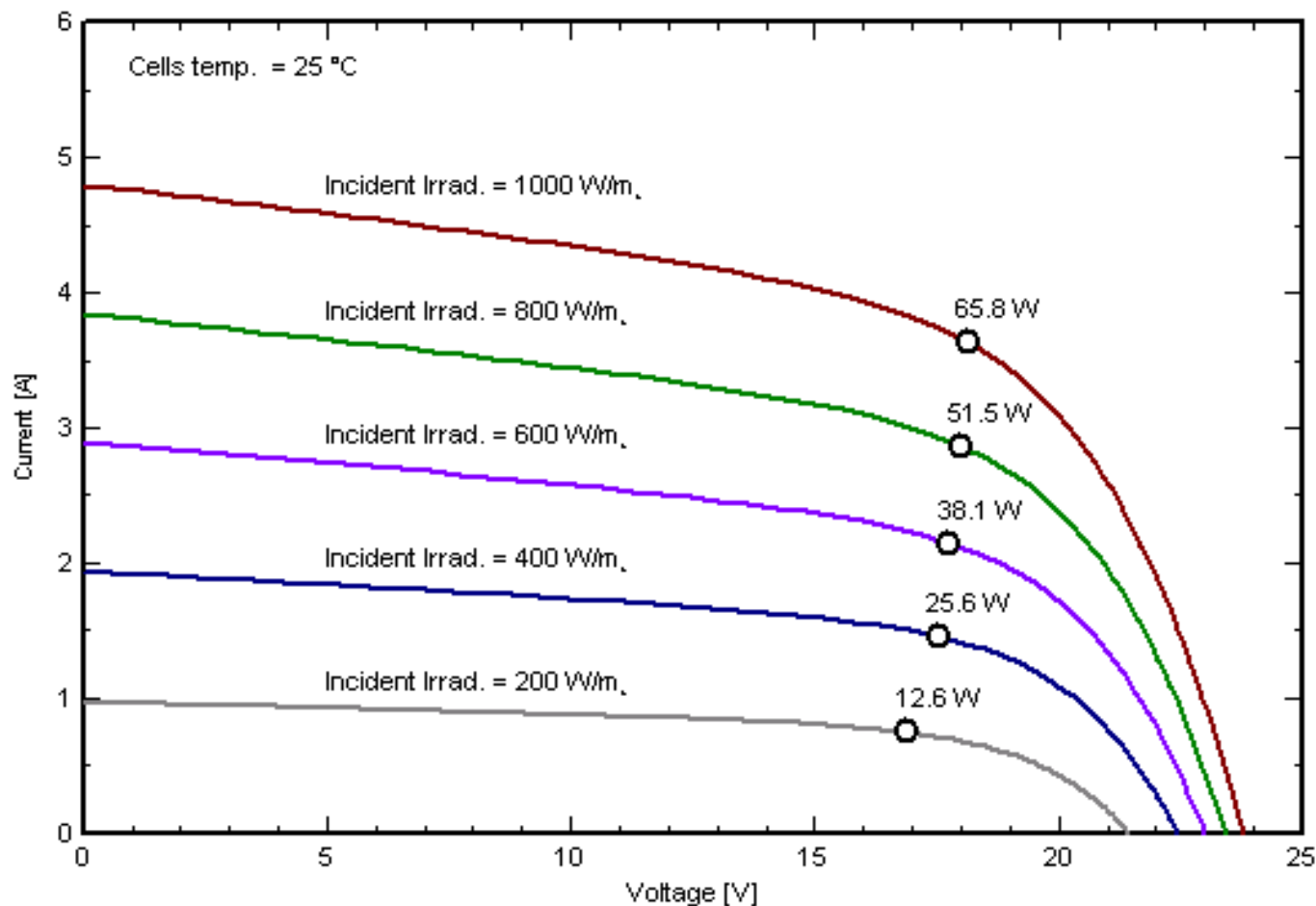
$$FF = \frac{I_m * U_m}{I_{sc} * U_{oc}}$$

$$FF = 0,743$$

**Umpp=17,3V Uoc=21.6V**

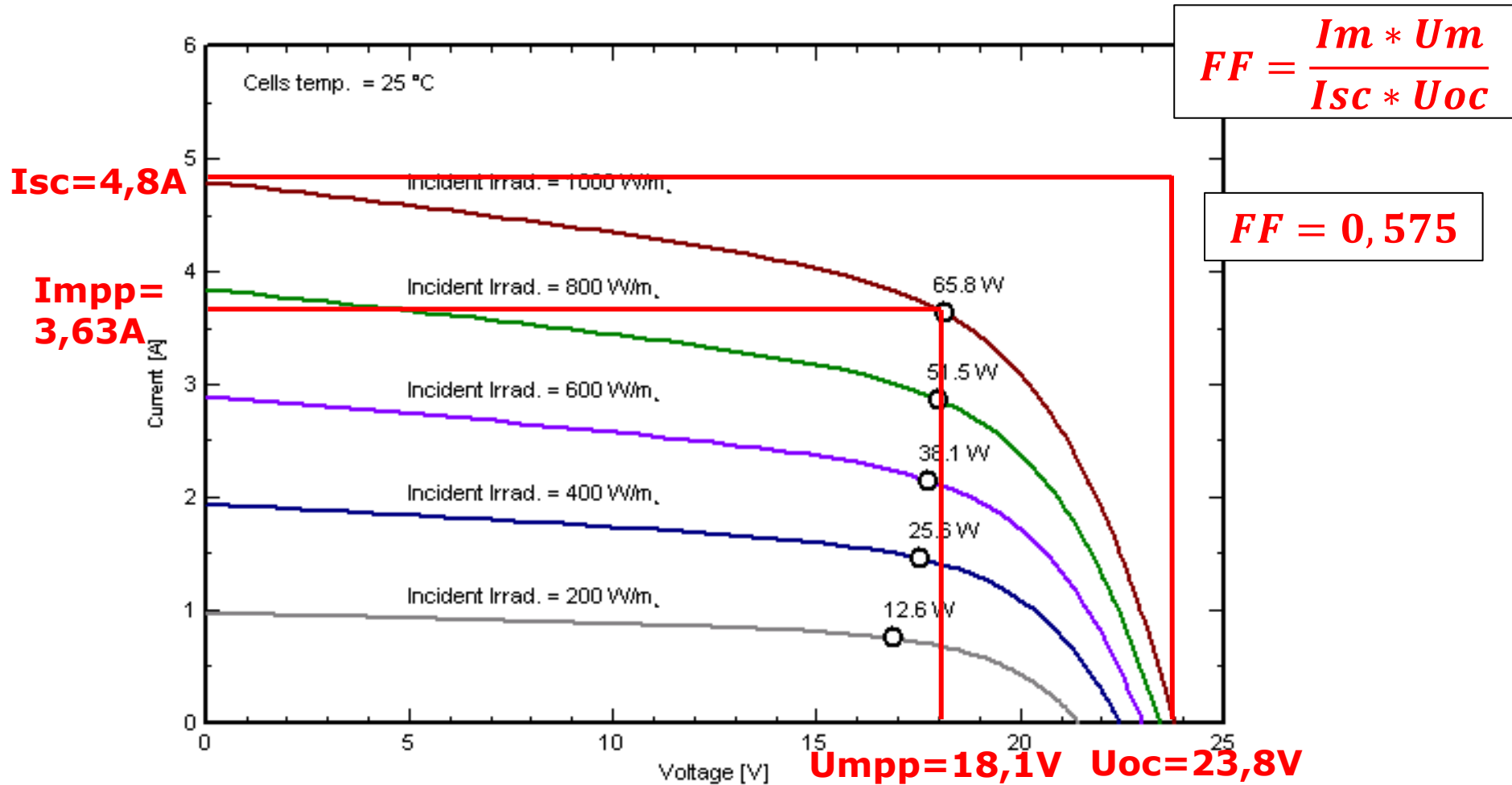
# Współczynnik kształtu Fill Factor (FF)

PV module: Uni-Solar, US-64



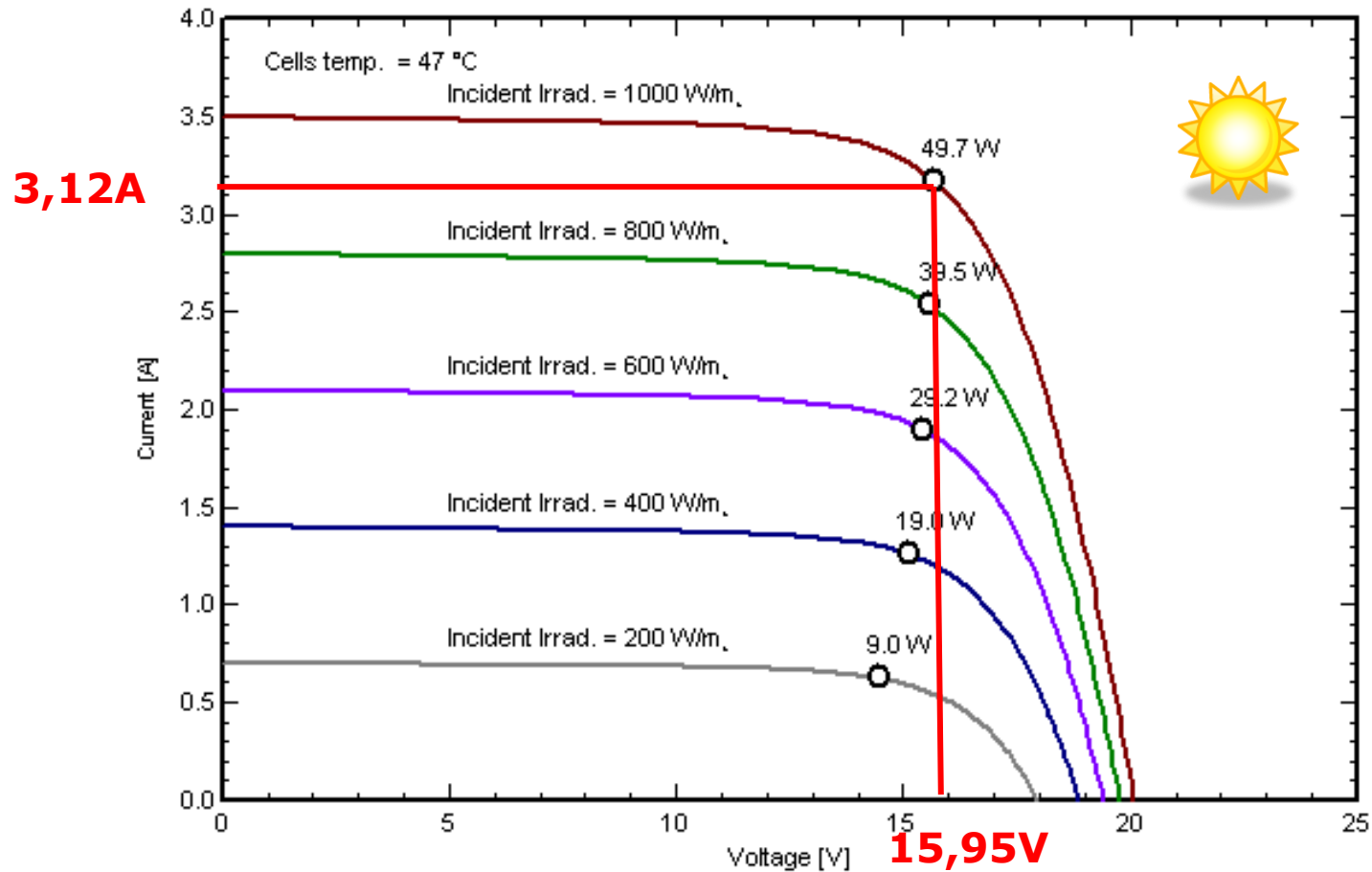
# Współczynnik kształtu Fill Factor (FF)

PV module: Uni-Solar, US-64



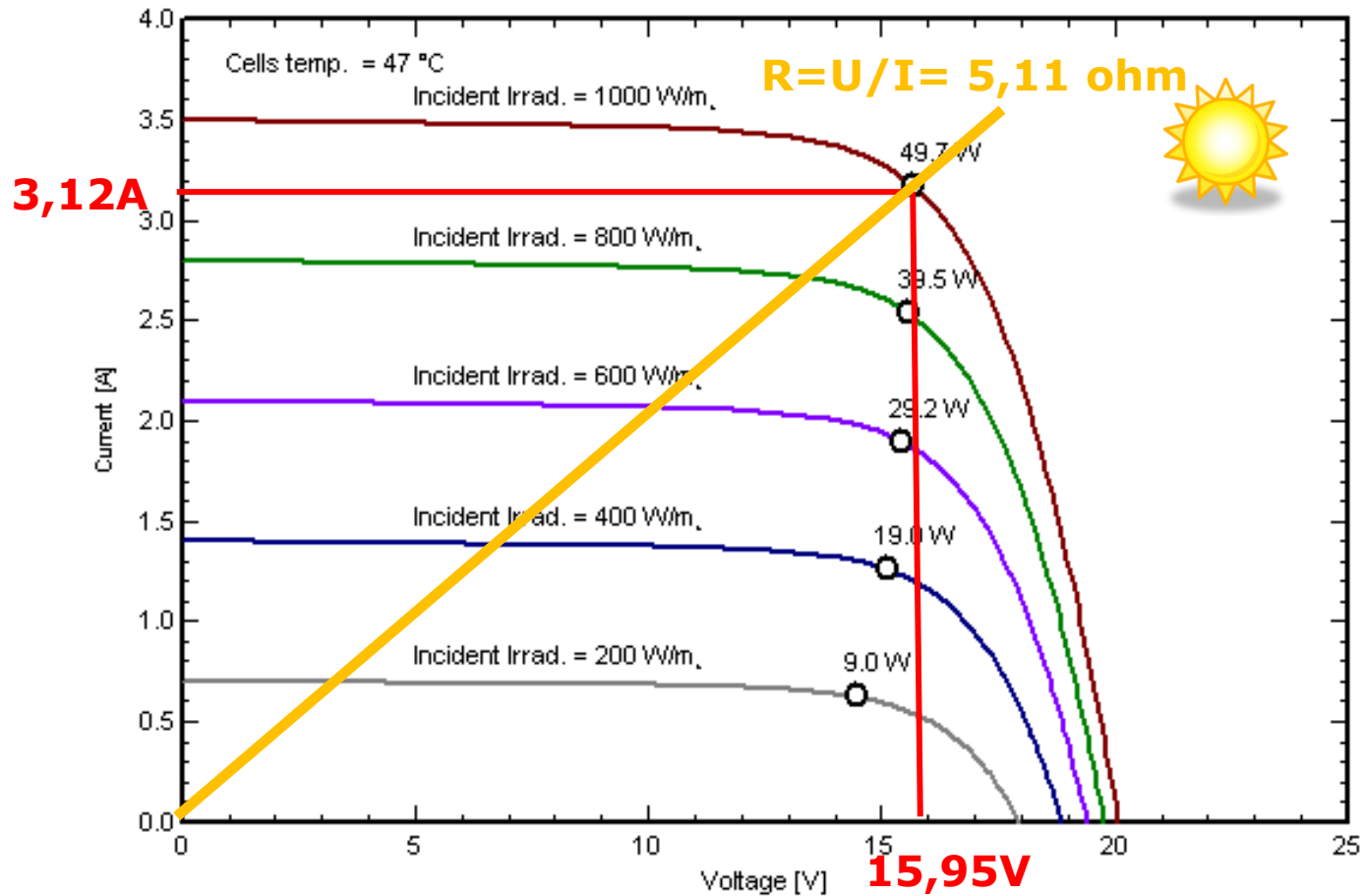
# Maximum Power Point (MPP)

PV module: Siemens Solar, SM55



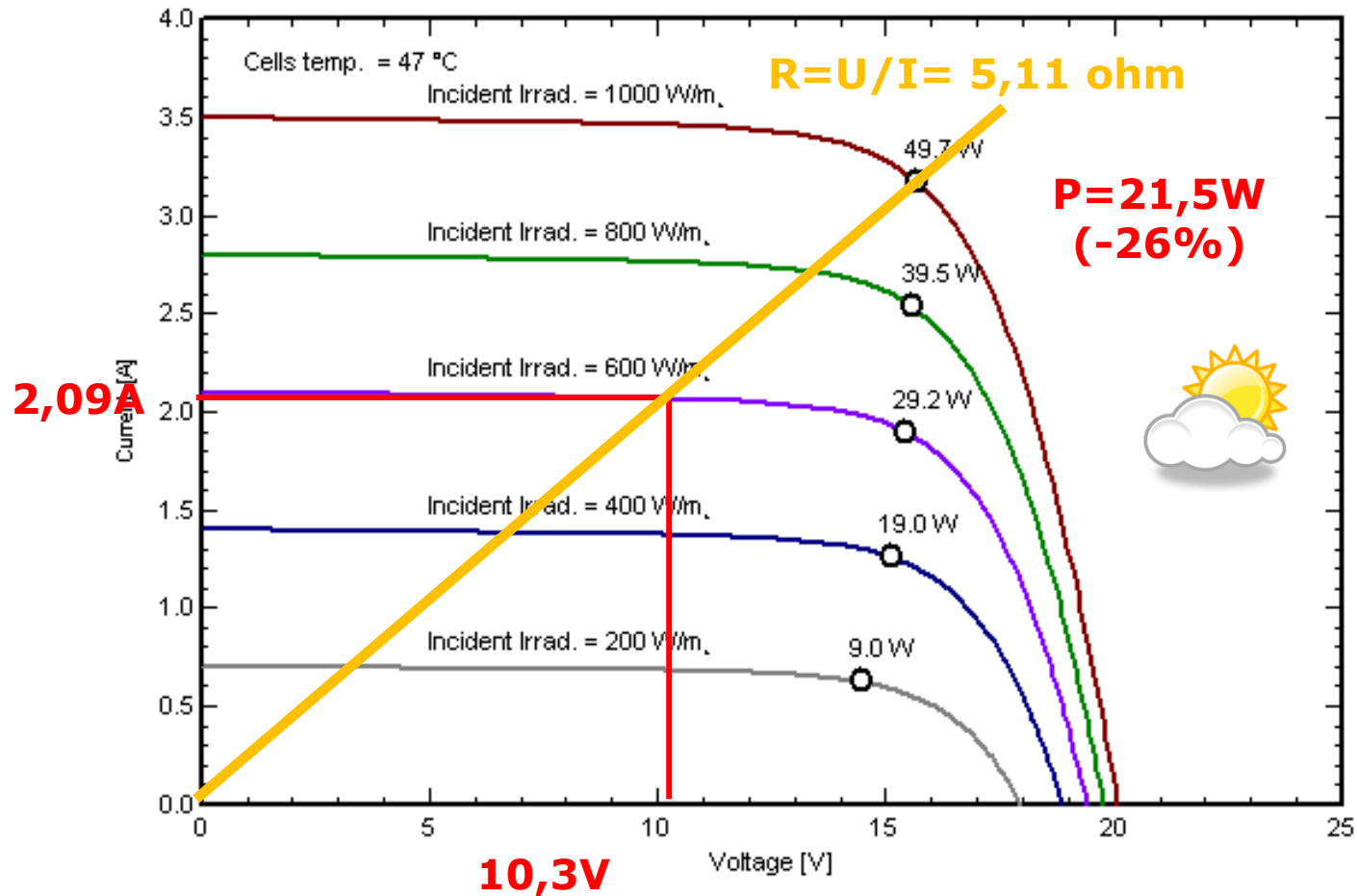
# Maximum Power Point (MPP)

PV module: Siemens Solar, SM55



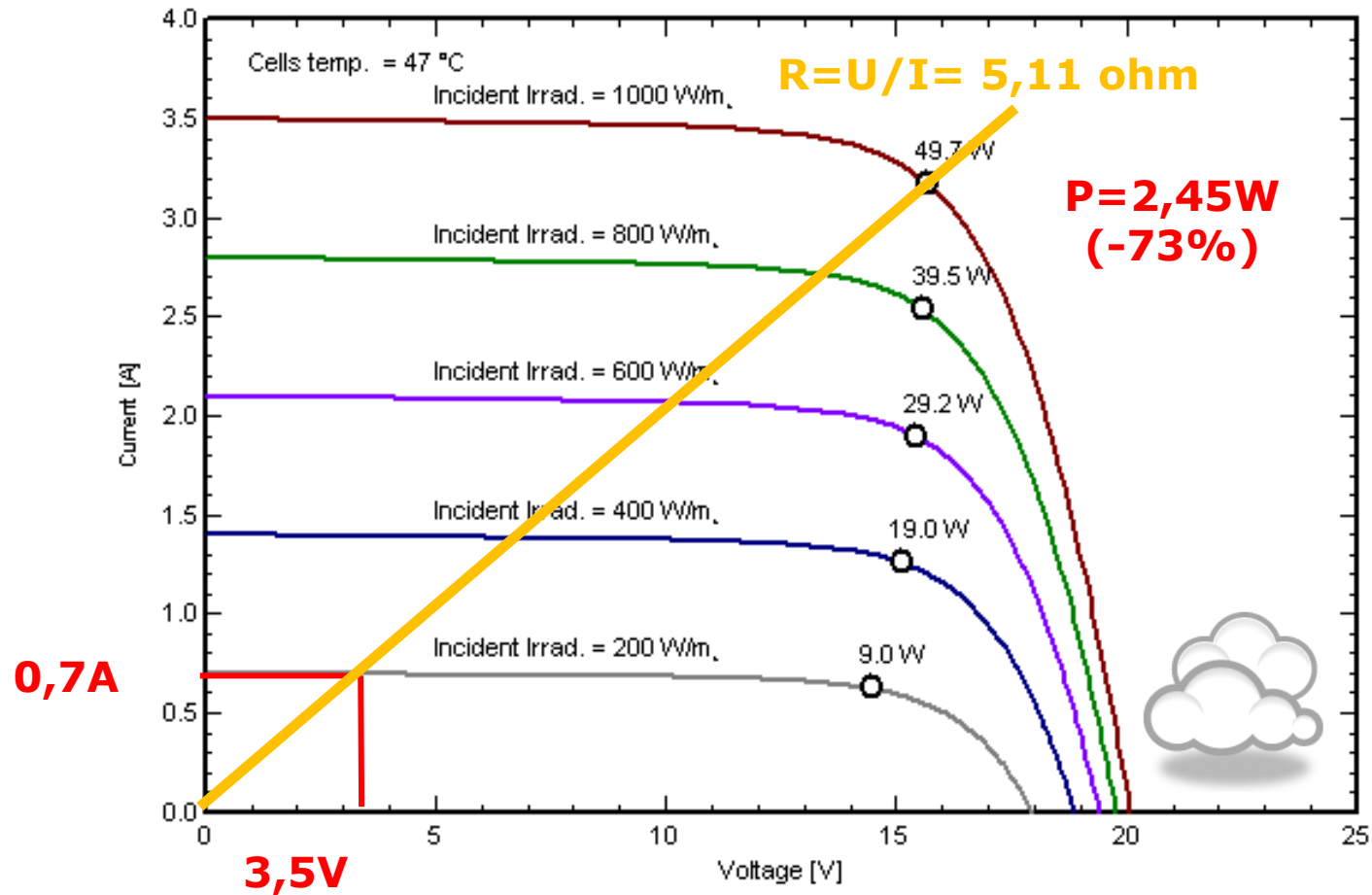
# Maximum Power Point (MPP)

PV module: Siemens Solar, SM55



# Maximum Power Point (MPP)

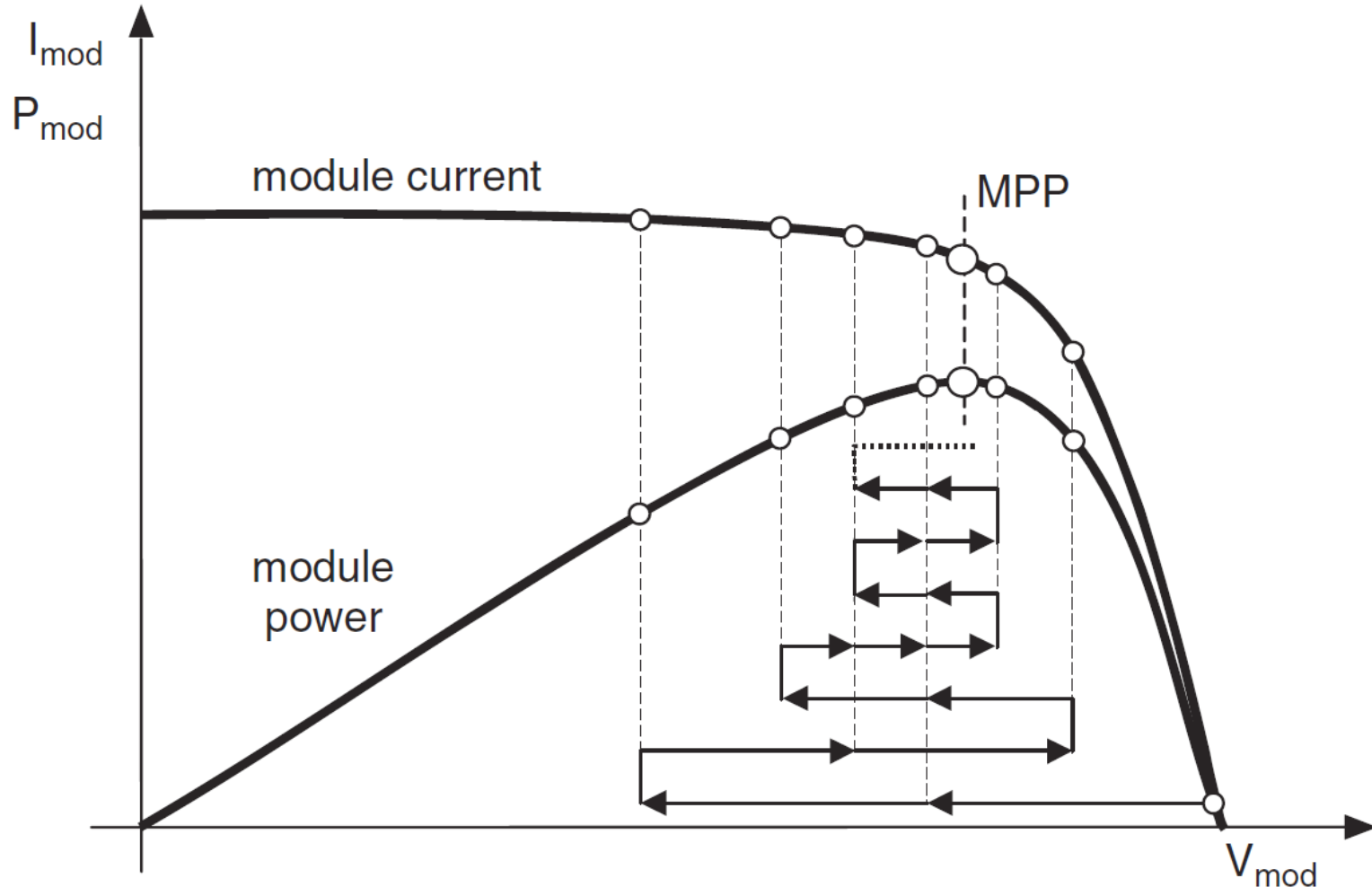
PV module: Siemens Solar, SM55





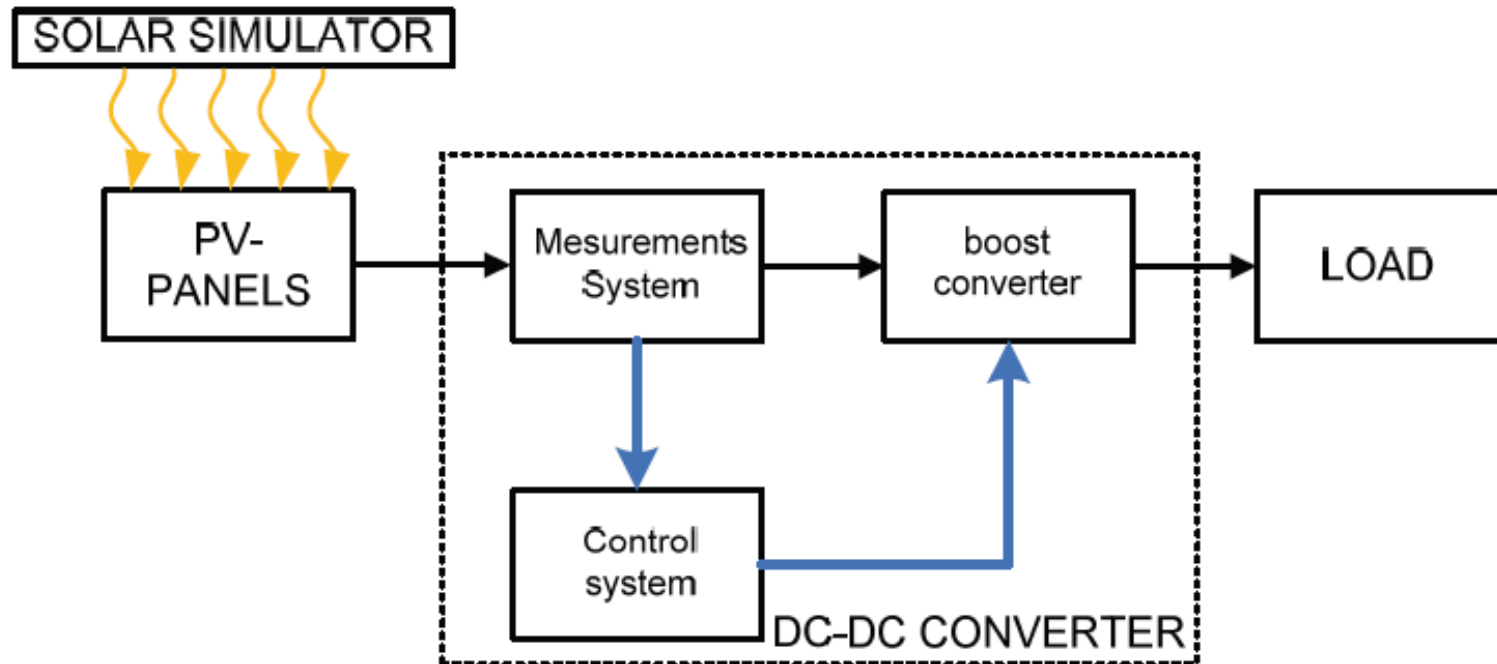
# Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Źródło: Luque A., Hegedus S.: **Handbook of Photovoltaic Science and Engineering**



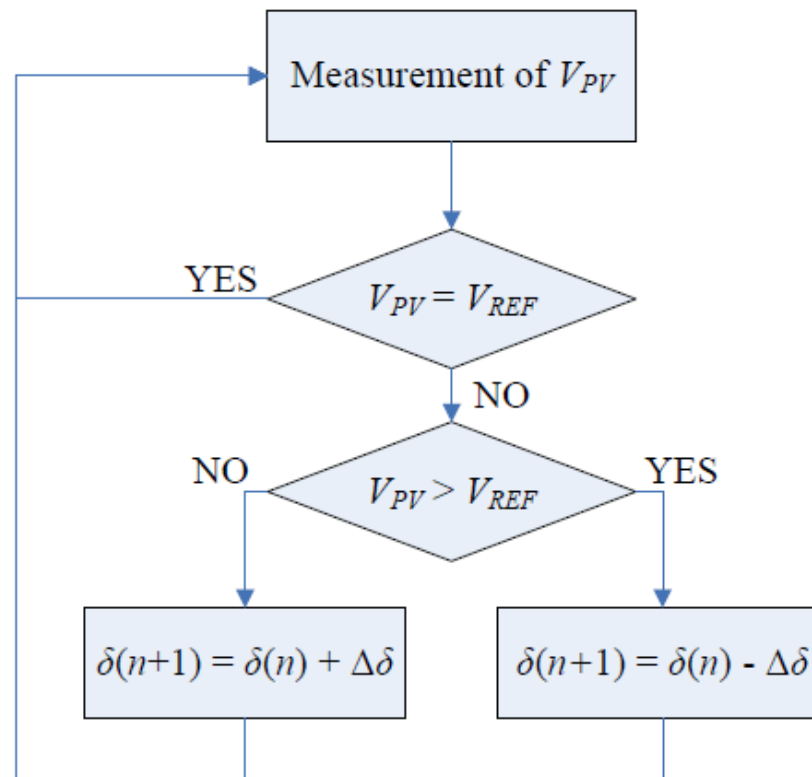
# Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Schemat blokowy elektronicznego układu MPPT



# Maximum Power Point Tracking (MPPT)

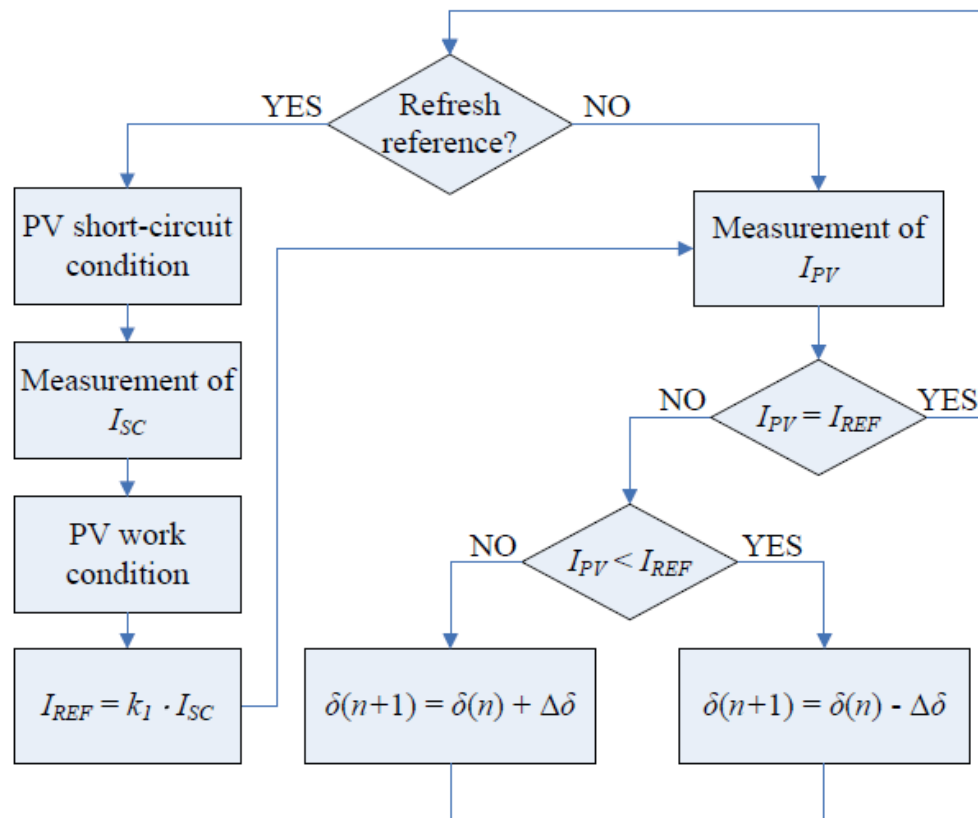
## Algorytm stałego napięcia [Constant Voltage (CV)]



$\delta$  - cykl pracy  
przetwornicy DC-DC

# Maximum Power Point Tracking (MPPT)

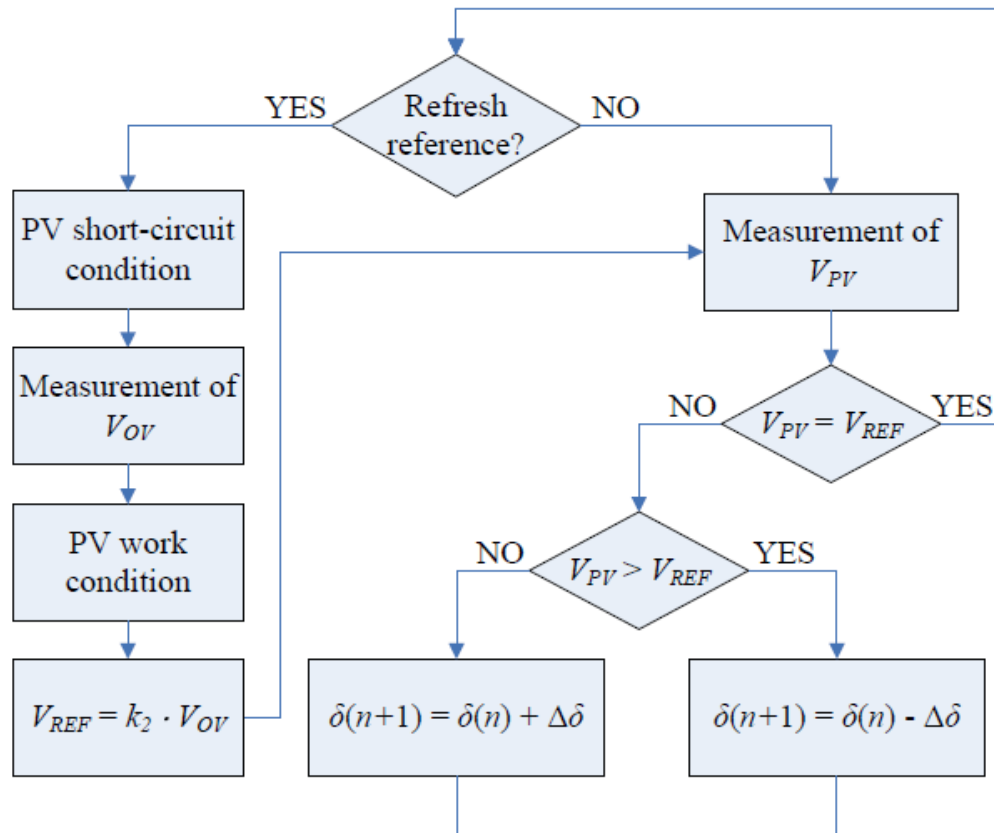
## Algorytm prądu zwarciovego [Short-Current (SC)]



$\delta$  - cykl pracy przetwornicy DC-DC

# Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Algorytm napięcia układu otwartego [Open Voltage (OV)]



$\delta$  - cykl pracy przetwornicy DC-DC

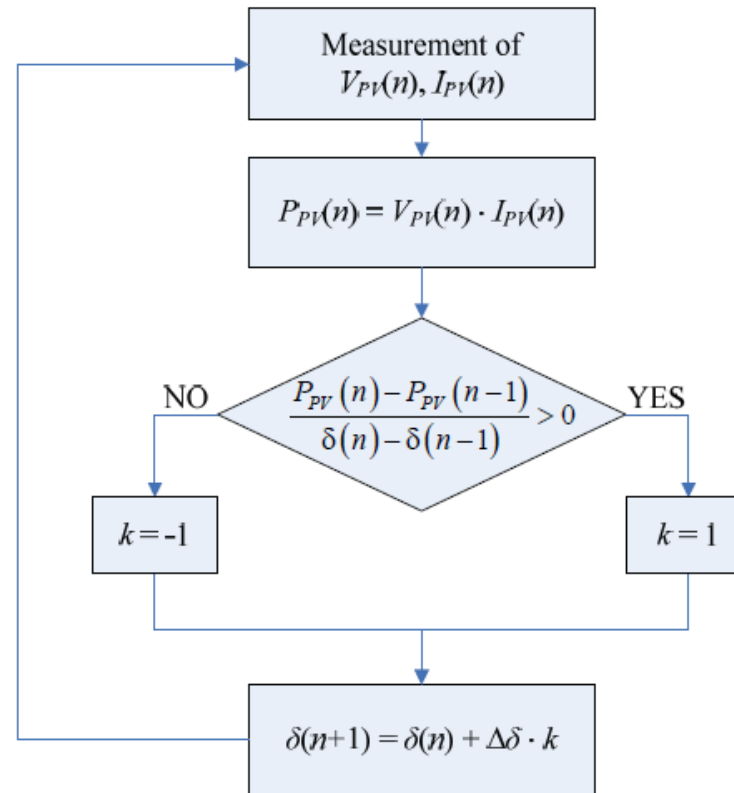
$$V_{REF} = k_2 \cdot V_{OV}$$

$$\delta(n+1) = \delta(n) + \Delta\delta$$

$$\delta(n+1) = \delta(n) - \Delta\delta$$

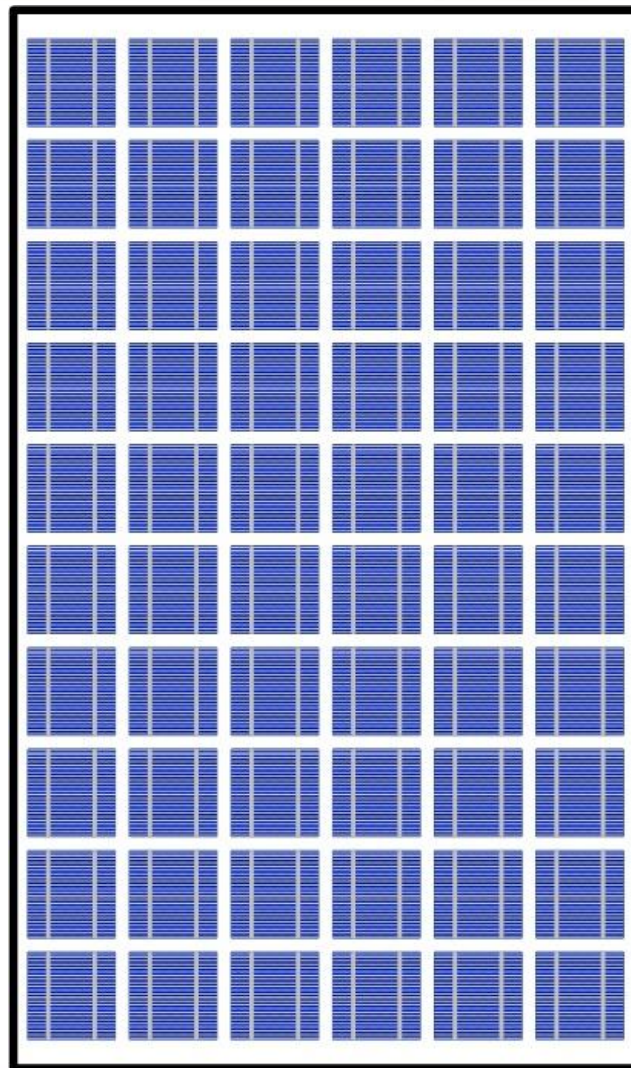
# Maximum Power Point Tracking (MPPT)

## Algorytm zaburzenia i obserwacji [Perturb and Observe (P&O)]



$\delta$  - cykl pracy  
przetwornicy DC-DC

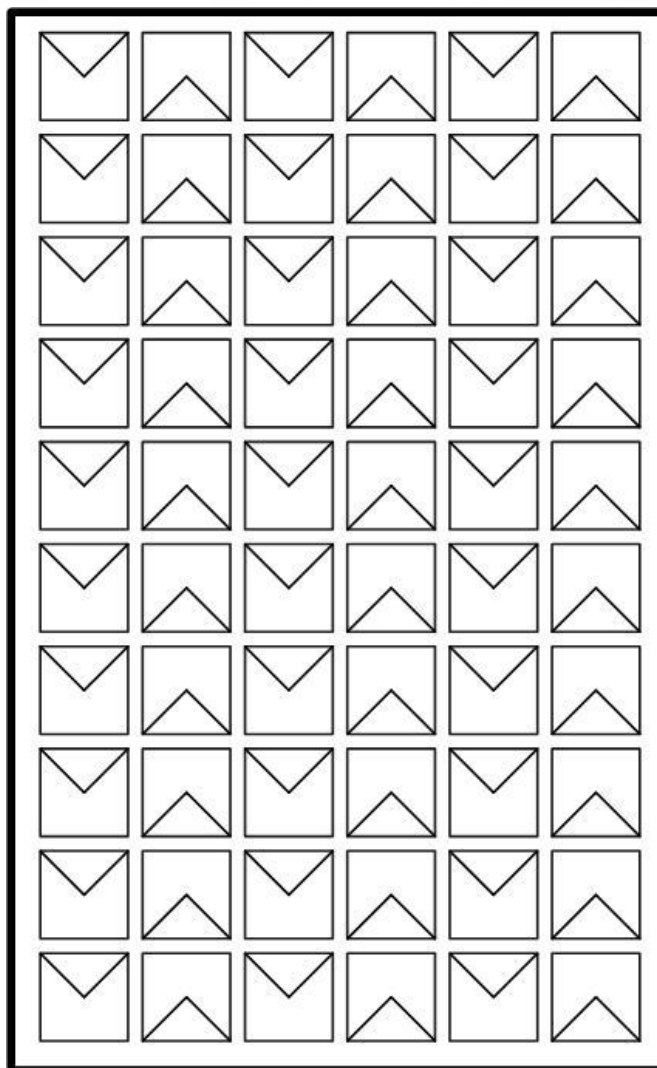
# WEWNĘTRZNA BUDOWA MODUŁU PV KRZEM KRYSTALICZNY 60 OGNIW



ELEMENTARNE  
FOTOOGNIWO



# WEWNĘTRZNA BUDOWA MODUŁU PV KRZEM KRYSTALICZNY 60 OGNIW



SYMBOL  
FOTOOGNIWA  
LUB MODUŁU PV



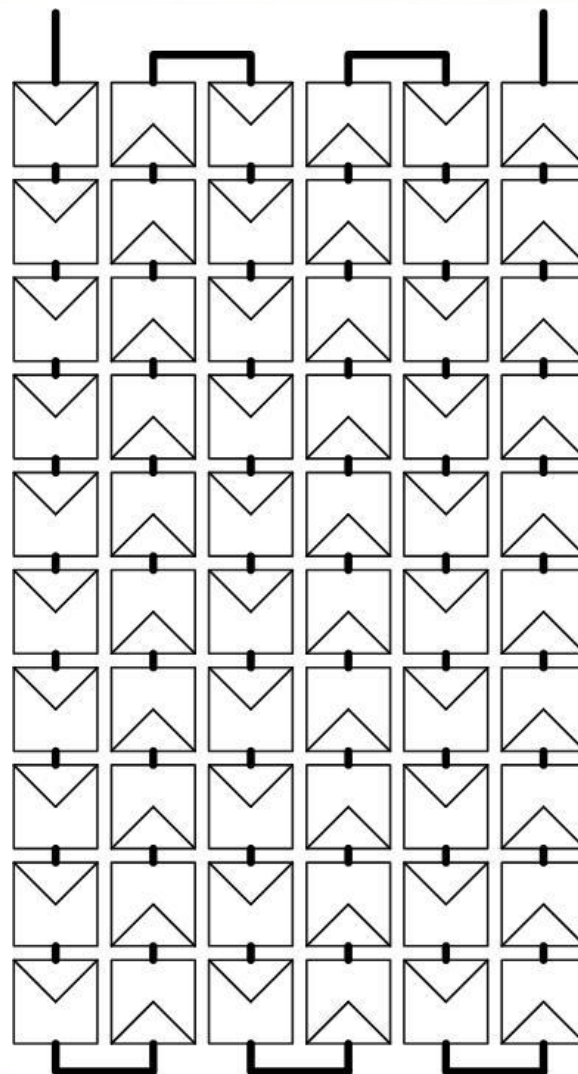
ANODA



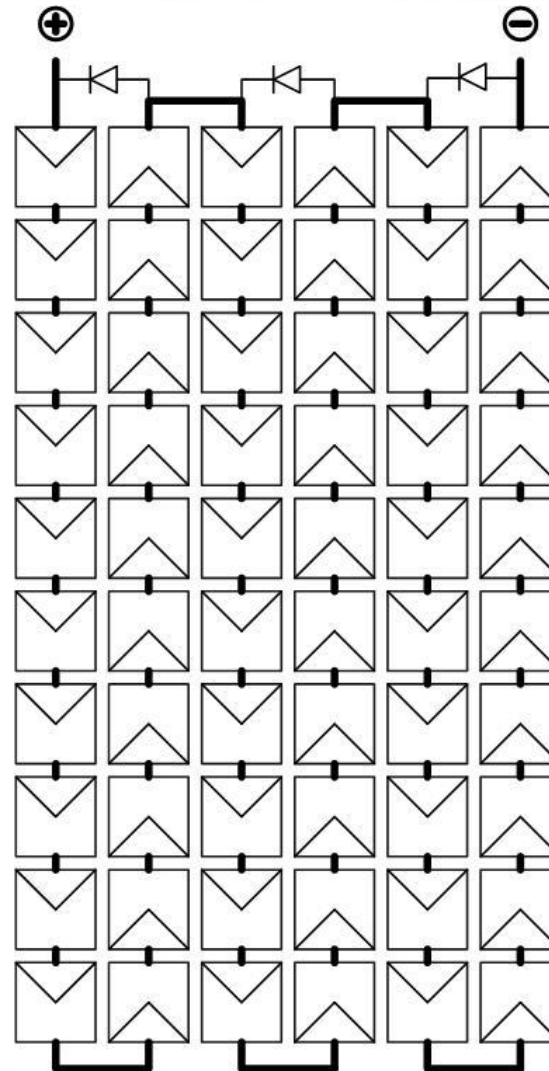
KATODA



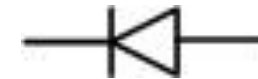
# WEWNĘTRZNA BUDOWA MODUŁU PV KRZEM KRYSTALICZNY 60 OGNIW



# WEWNĘTRZNA BUDOWA MODUŁU PV KRZEM KRYSTALICZNY 60 OGNIW

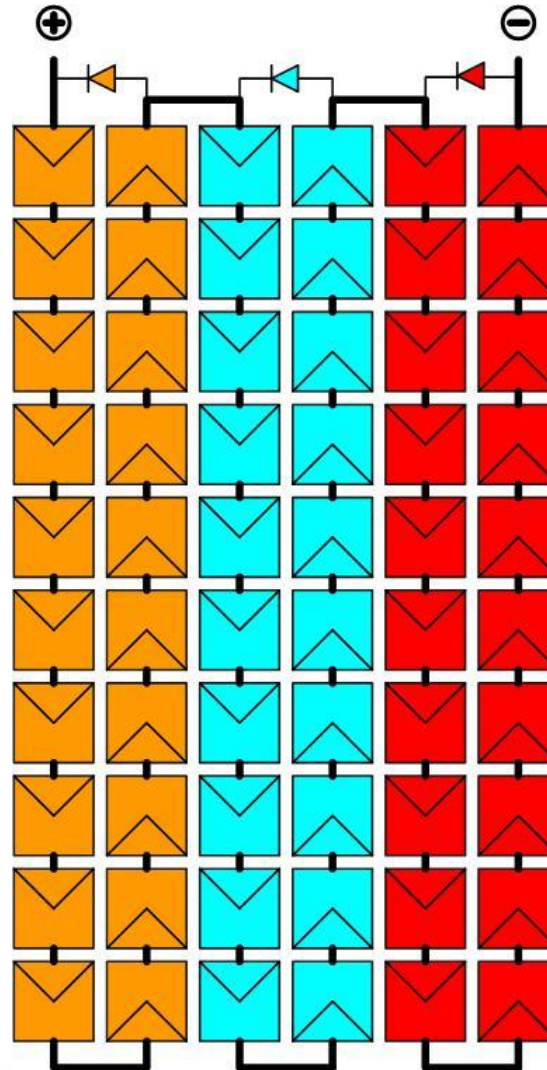


**DIODA  
BYPASS**



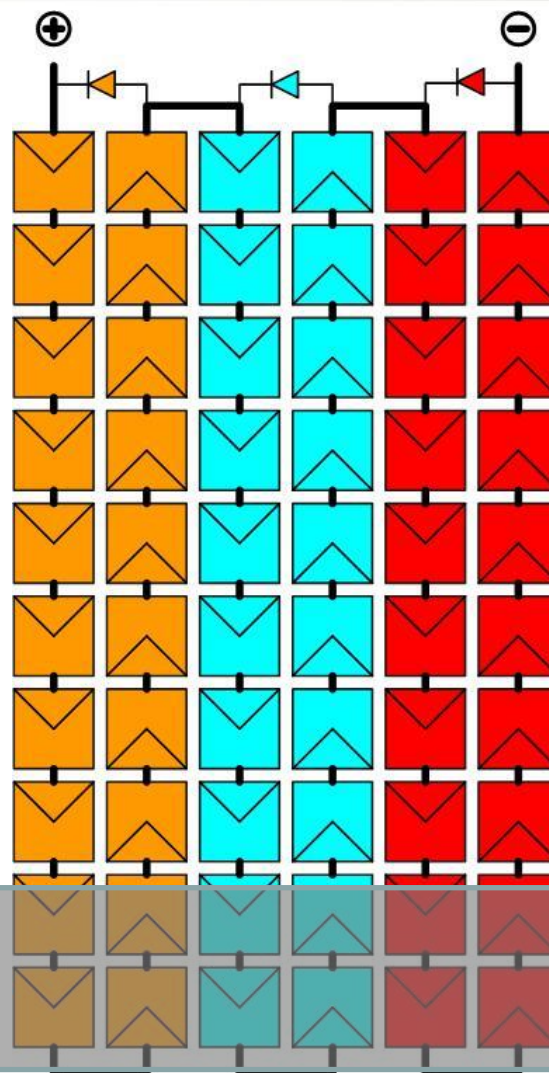
**POZWALA PRĄDOWI  
„OMINAĆ”  
ZACIENIONY  
FRAGMENT MODUŁU**

# WEWNĘTRZNA BUDOWA MODUŁU PV KRZEM KRYSTALICZNY 60 OGNIW



TRZY DIODY DZIELĄ  
MODUŁ NA TRZY  
SEGMENTY CZYLI  
SUBSTRINGI

# MODUŁ Z KRZEMU KRYSTALICZNEGO MONTAŻ PIONOWY



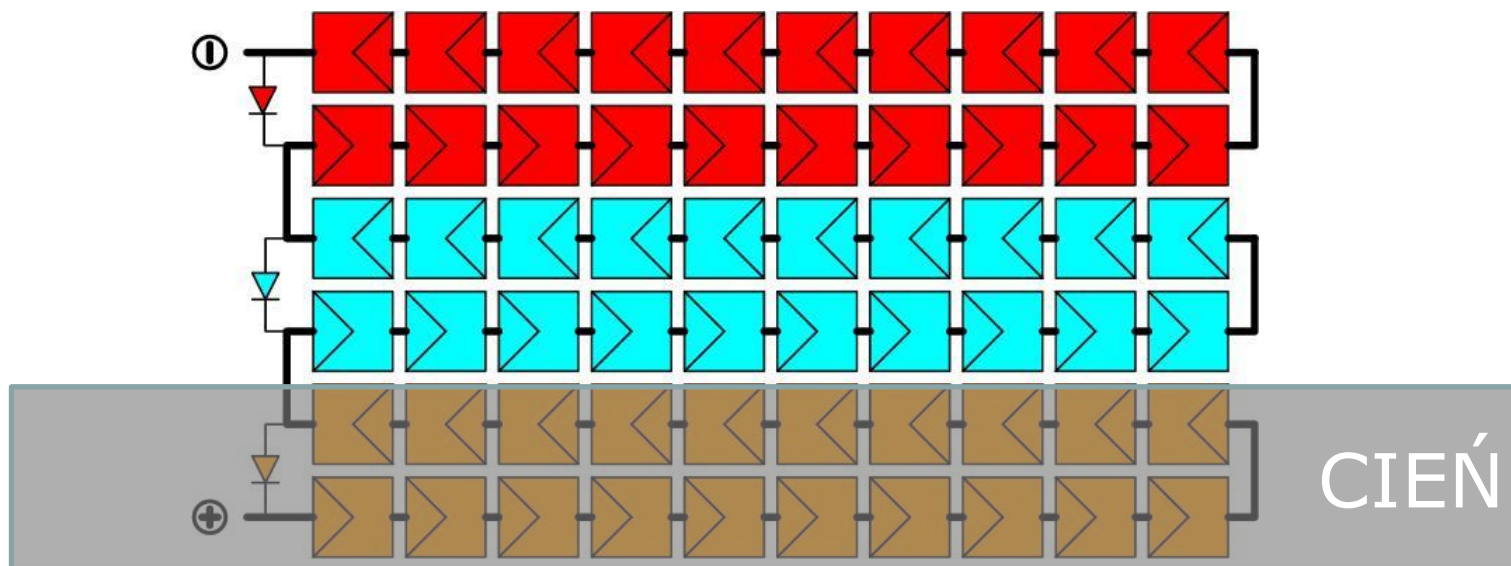
**BARDZO SILNY  
WPŁYW  
ZACIENIENIA**

**ZACIENIONE SĄ  
WSZYSTKIE TRZY  
SEGMENTY**

**CIEŃ**

# MODUŁ Z KRZMU KRYSTALICZNEGO MONTAŻ POZIOMY

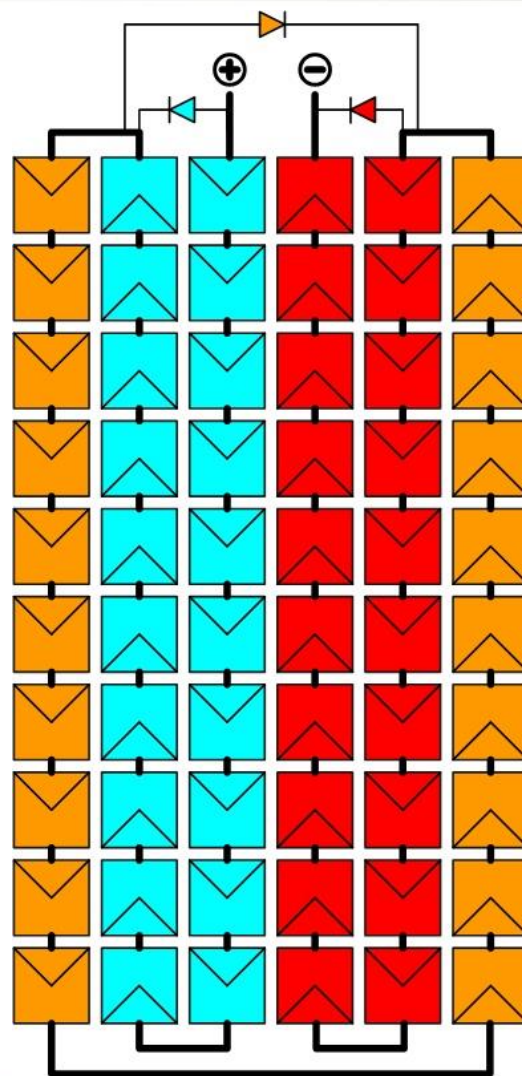
## OGRANICZONY WPŁYW ZACIENIENIA



ZACIENIONY JEST TYLKO JEDEN SEGMENT

# WEWNĘTRZNA BUDOWA MODUŁU PV KRZEM KRYSTALICZNY 60 OGNIW NIETYPOWE POŁĄCZENIE WEWNĘTRZNE

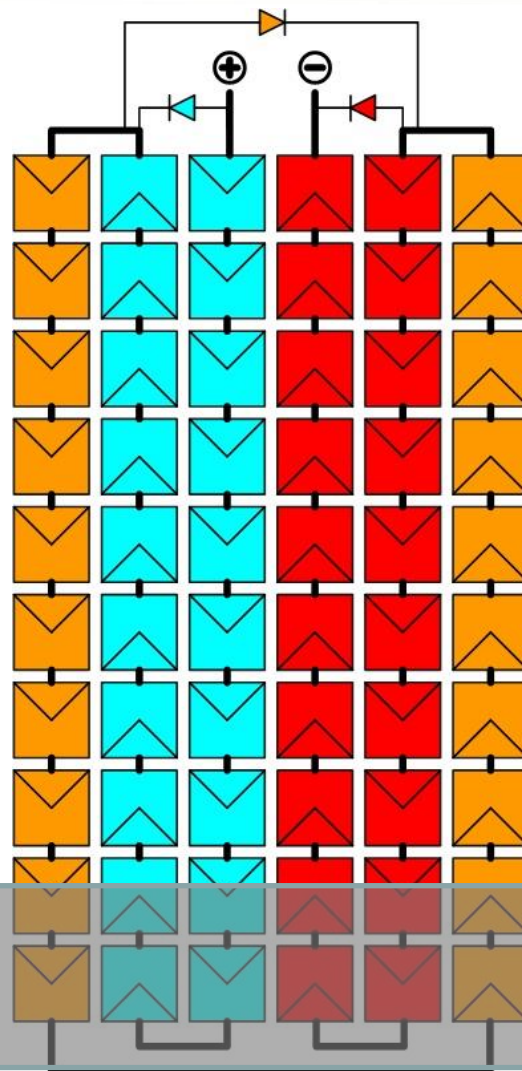
CONERGY  
POWER PLUS 225 P



TRZY DIODY DZIELĄ  
MODUŁ NA TRZY  
SEGMENTY CZYLI  
SUBSTRINGI

# MODUŁ Z KRZMU KRYSTALICZNEGO NIETYPOWE POŁĄCZENIE WEWNĘTRZNE MONTAŻ PIONOWY

CONERGY  
POWER PLUS 225 P



**BARDZO SILNY  
WPŁYW  
ZACIENIENIA**

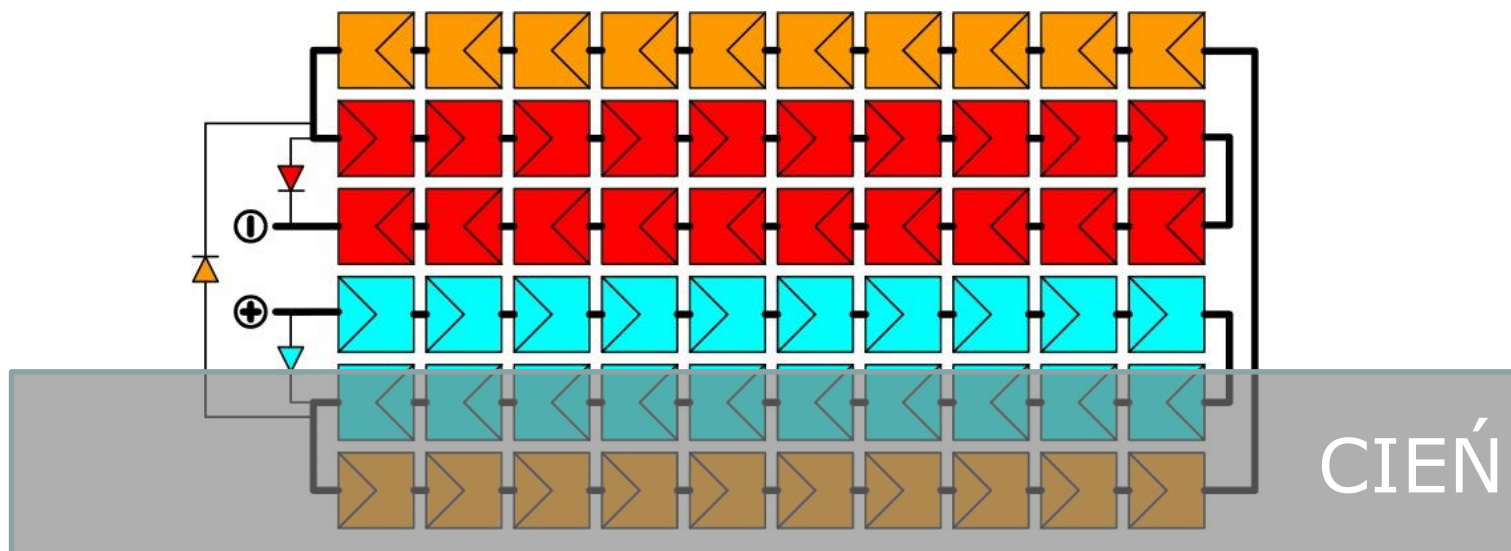
**ZACIENIONE SĄ  
WSZYSTKIE TRZY  
SEGMENTY**

**CIEŃ**

# MODUŁ Z KRZMU KRYSTALICZNEGO NIETYPOWE POŁĄCZENIE WEWNĘTRZNE MONTAŻ POZIOMY

CONERGY  
POWER PLUS 225 P

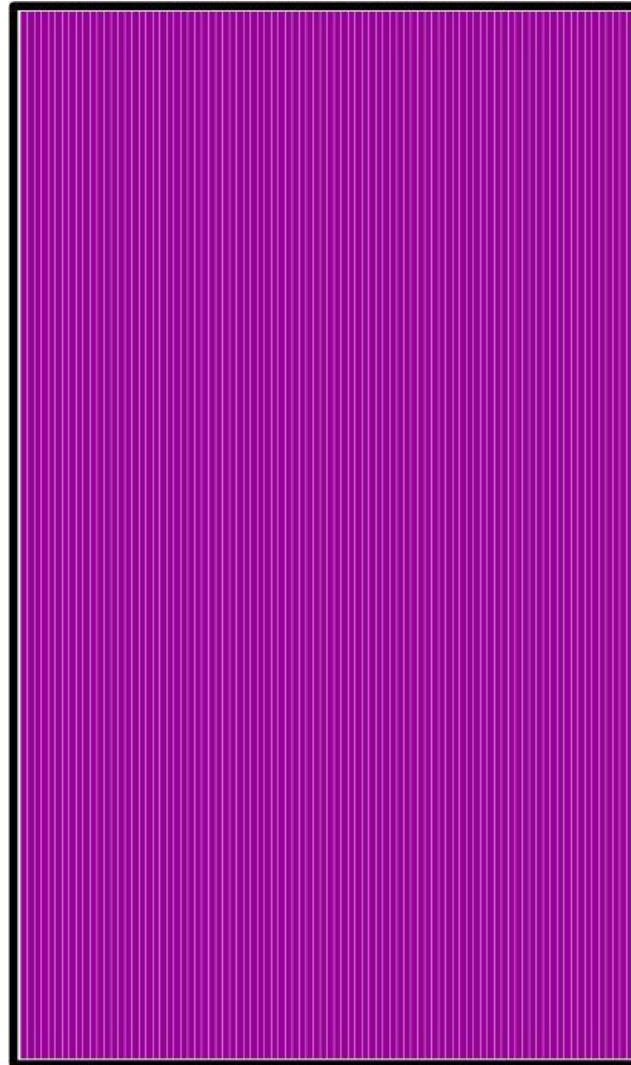
SILNY WPŁYW ZACIENIENIA



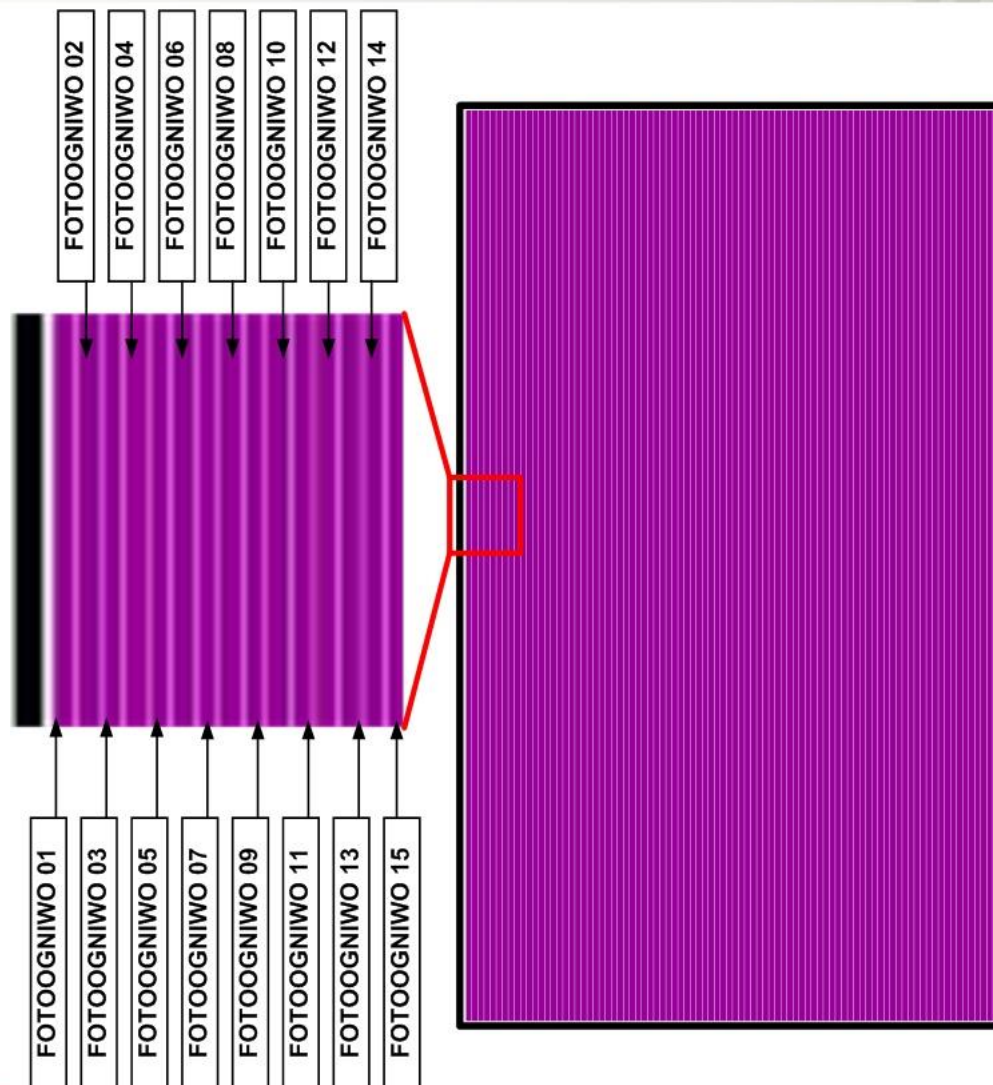
ZACIENIONE SĄ DWA SEGMENTY



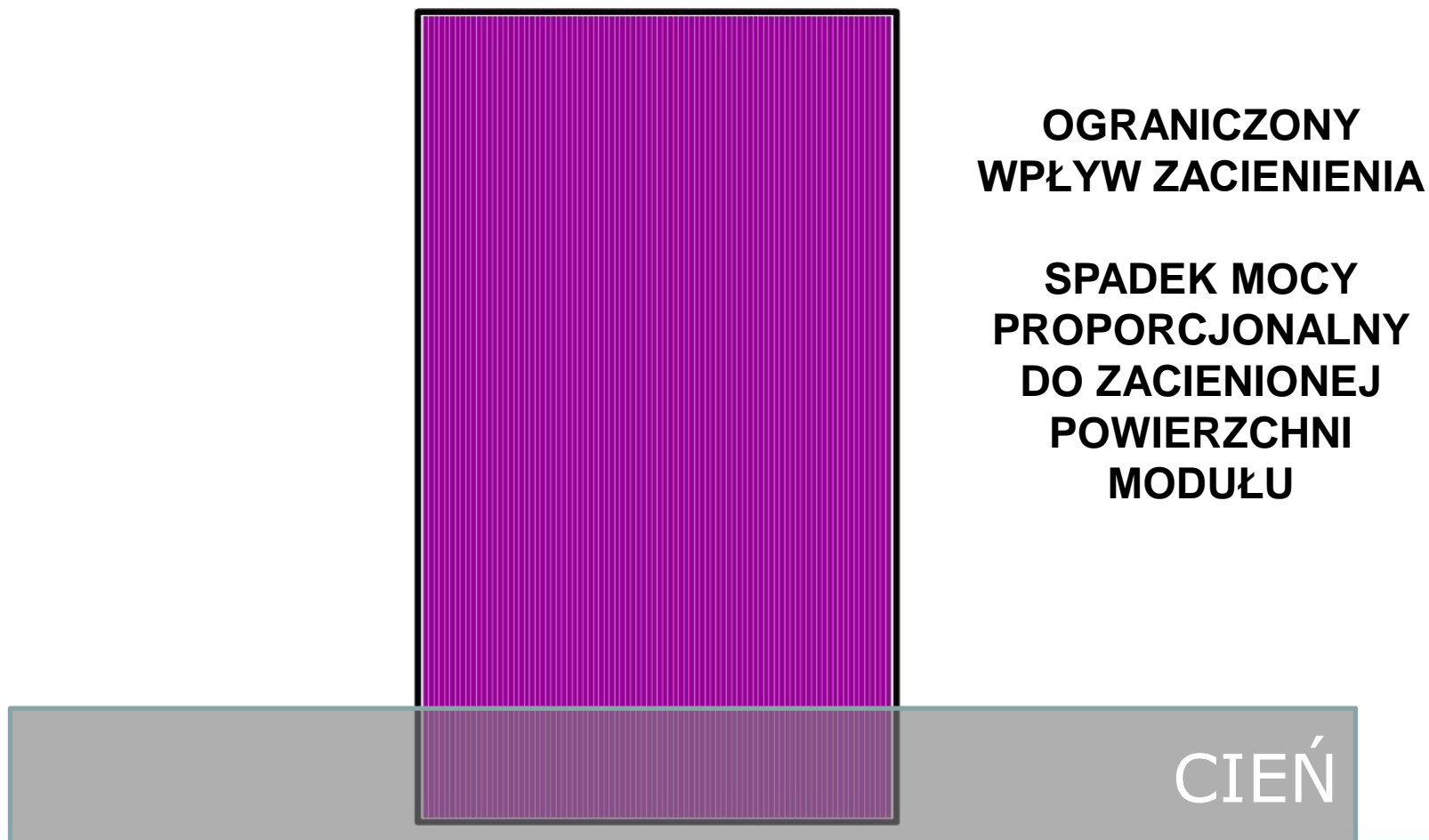
# WEWNĘTRZNA BUDOWA MODUŁU PV TECHNOLOGIA CIENKOWARSTWOWA



# WEWNĘTRZNA BUDOWA MODUŁU PV TECHNOLOGIA CIENKOWARSTWOWA

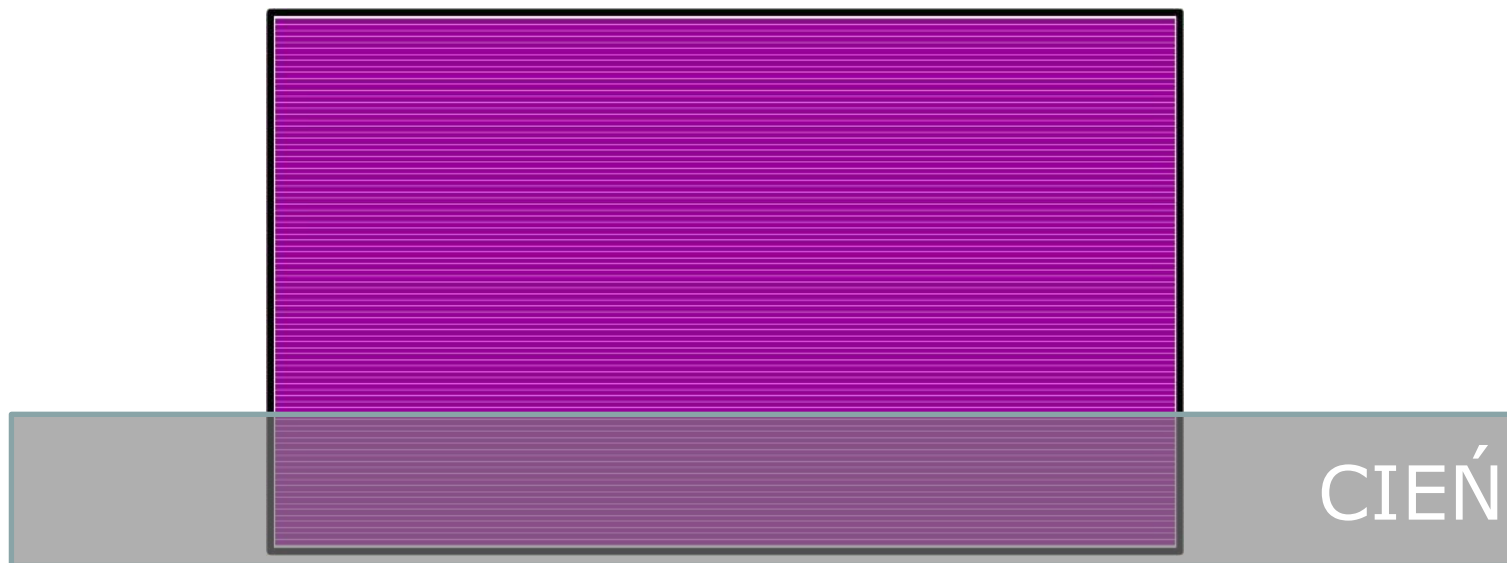


# MODUŁ CIENKOWARSTWOWY MONTAŻ PIONOWY



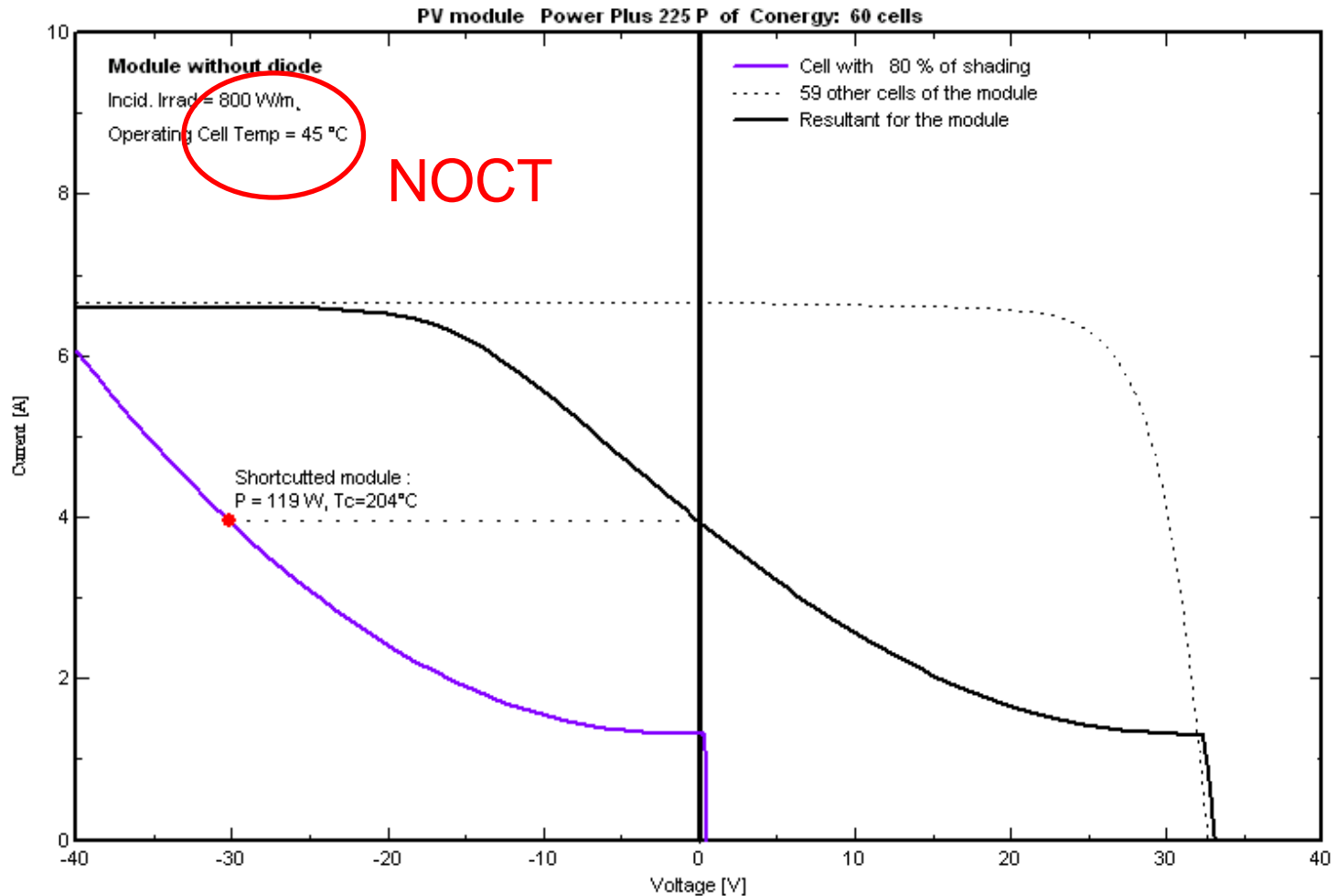
# MODUŁ CIENKOWARSTWOWY MONTAŻ POZIOMY

OGRANICZONY WPŁYW ZACIENIENIA JEŚLI ZASTOSOWANO  
DIODY BYPASS



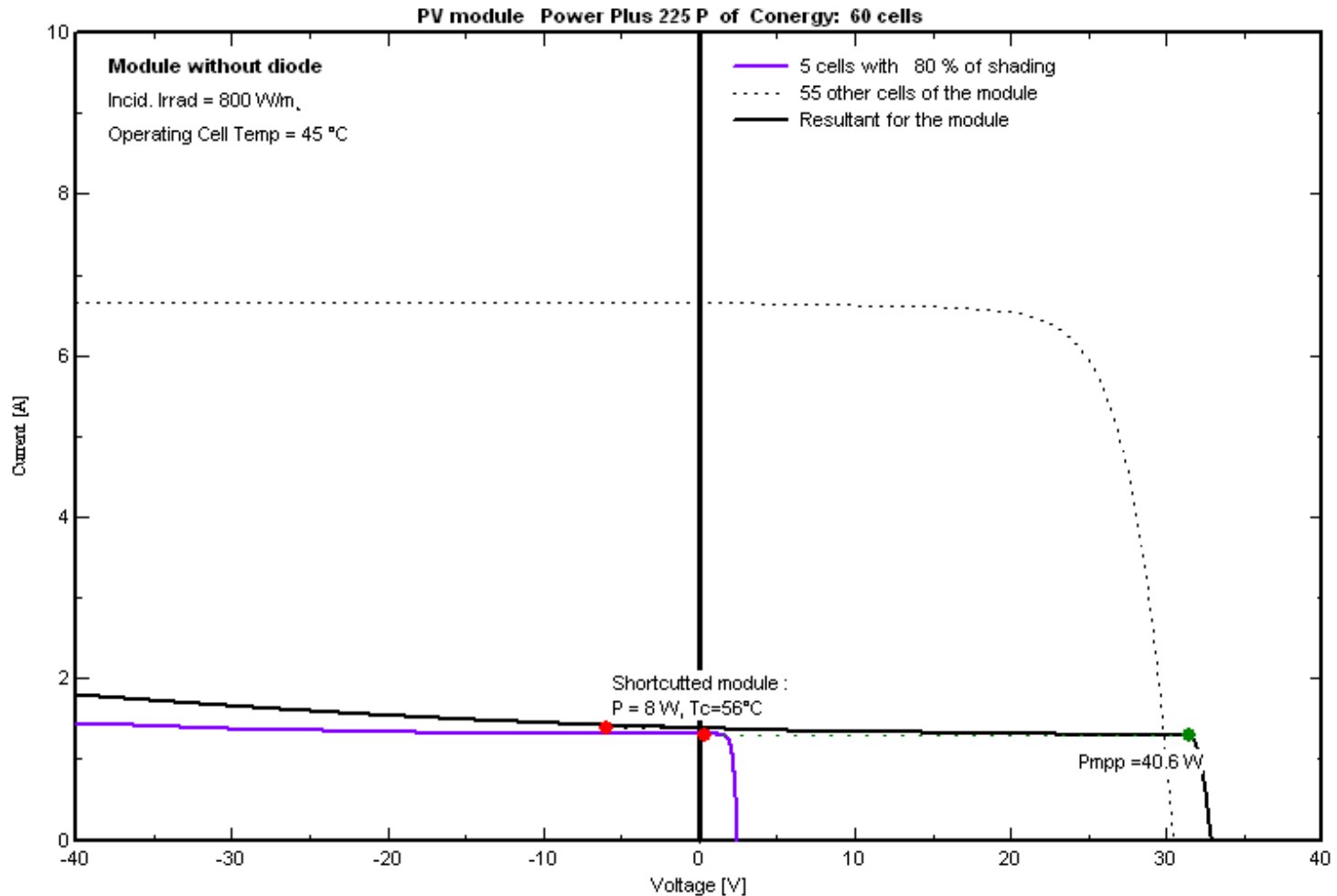
# EFEKT CZĘŚCIOWEGO ZACIENIENIA

Partial shadings on 1 cells in one diode-group - for One module



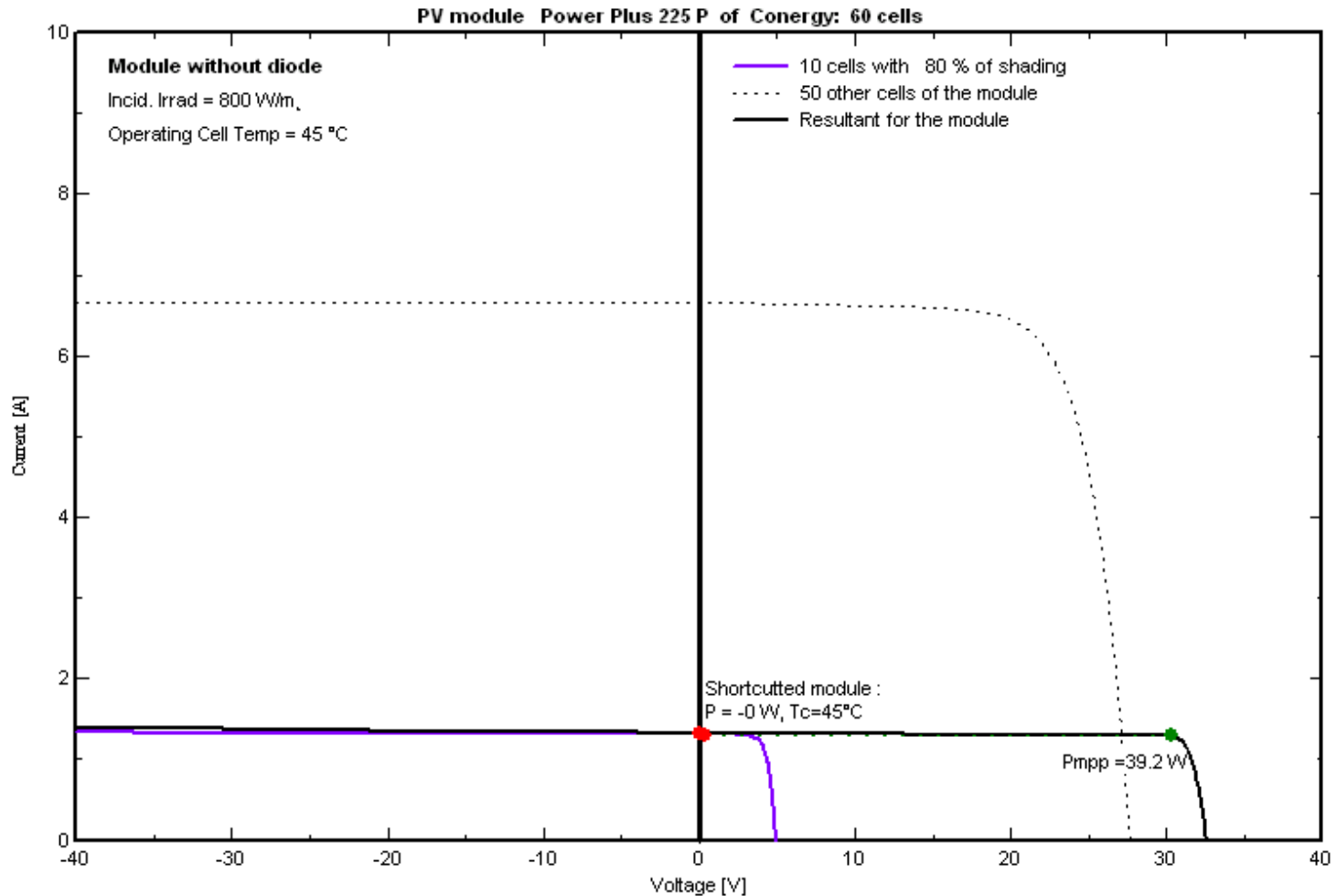
# EFEKT CZĘŚCIOWEGO ZACIENIENIA

Partial shadings on 5 cells in one diode-group - for One module



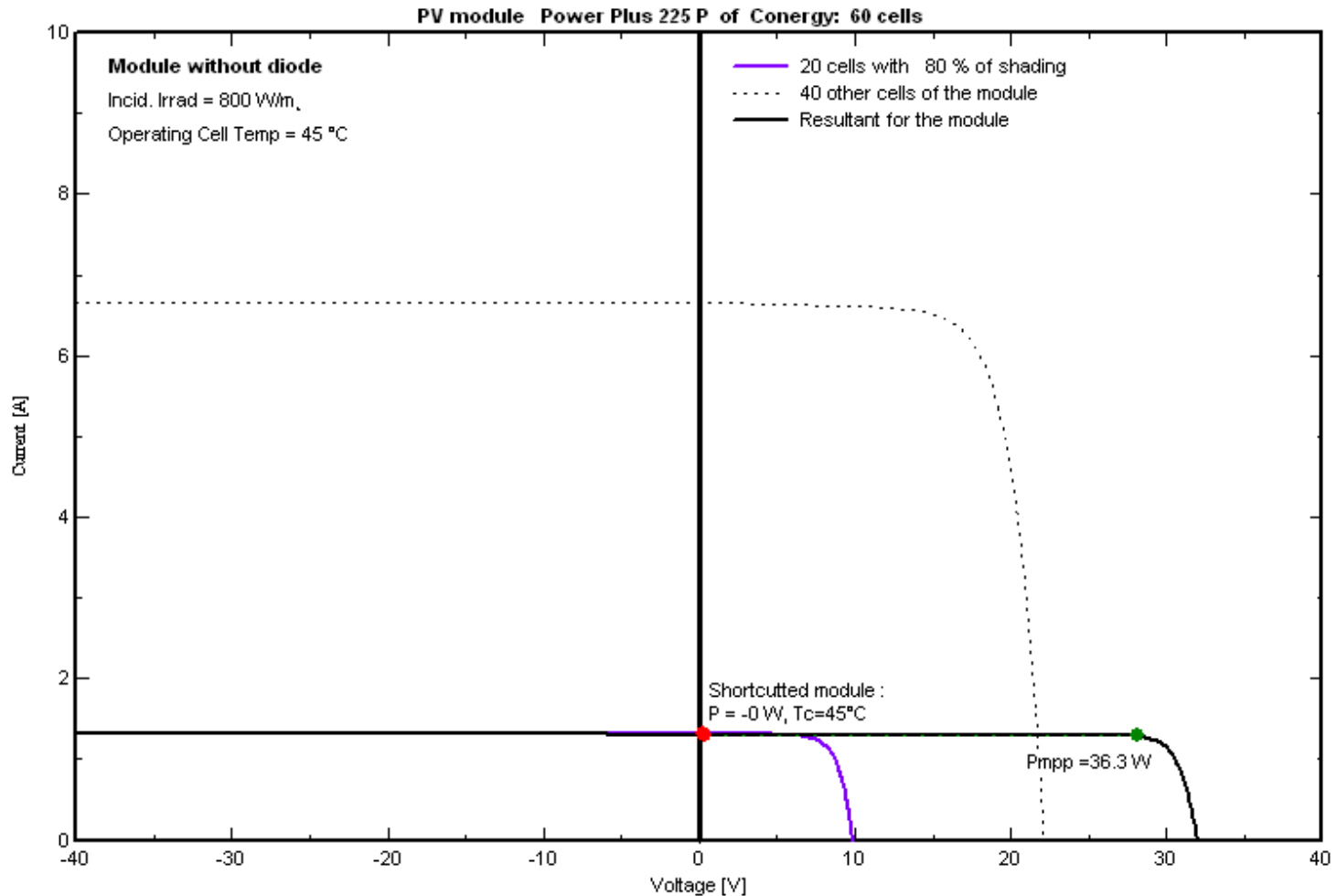
# EFEKT CZĘŚCIOWEGO ZACIENIENIA

Partial shadings on 10 cells in one diode-group - for One module



# EFEKT CZĘŚCIOWEGO ZACIENIENIA

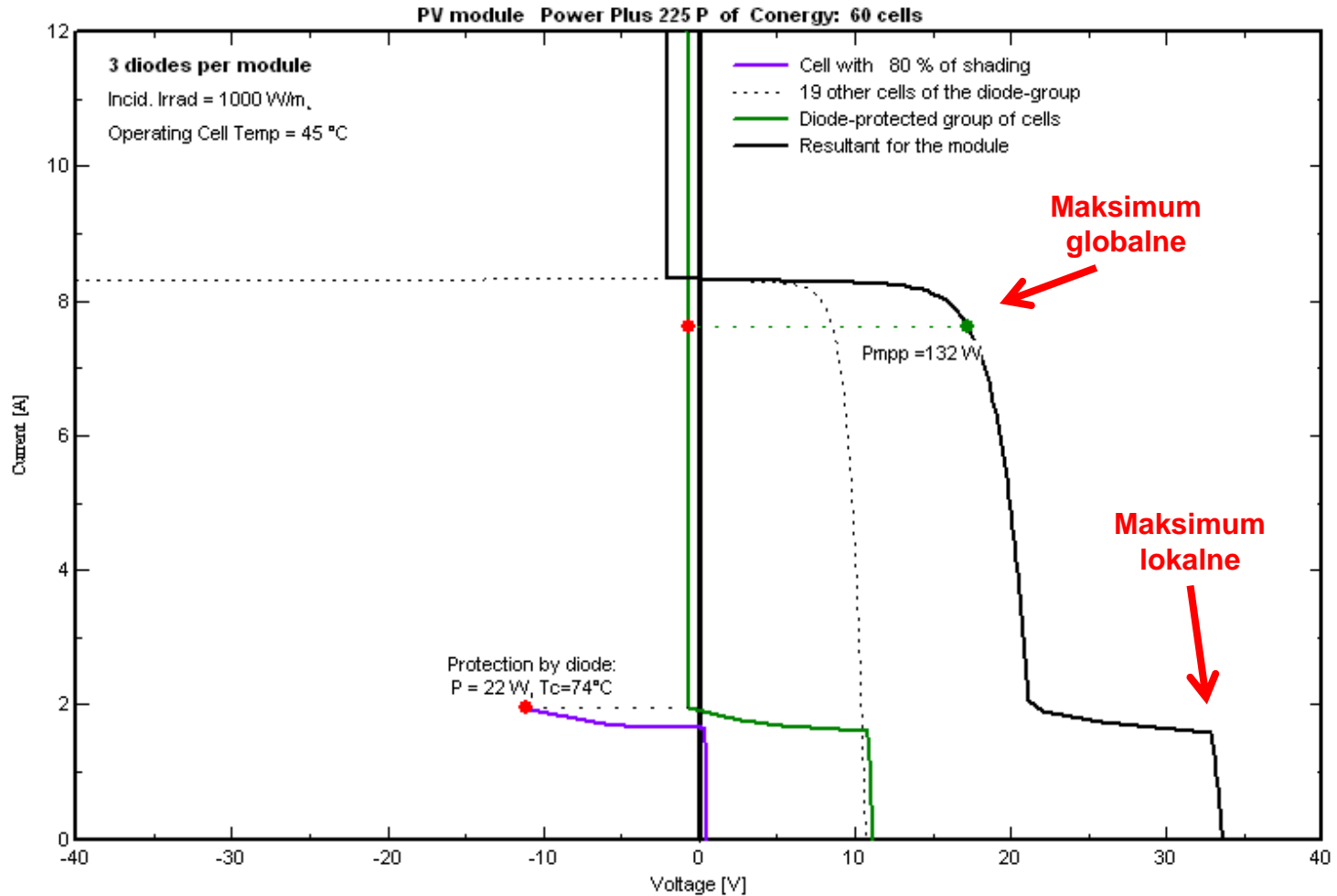
Partial shadings on 20 cells in one diode-group - for One module





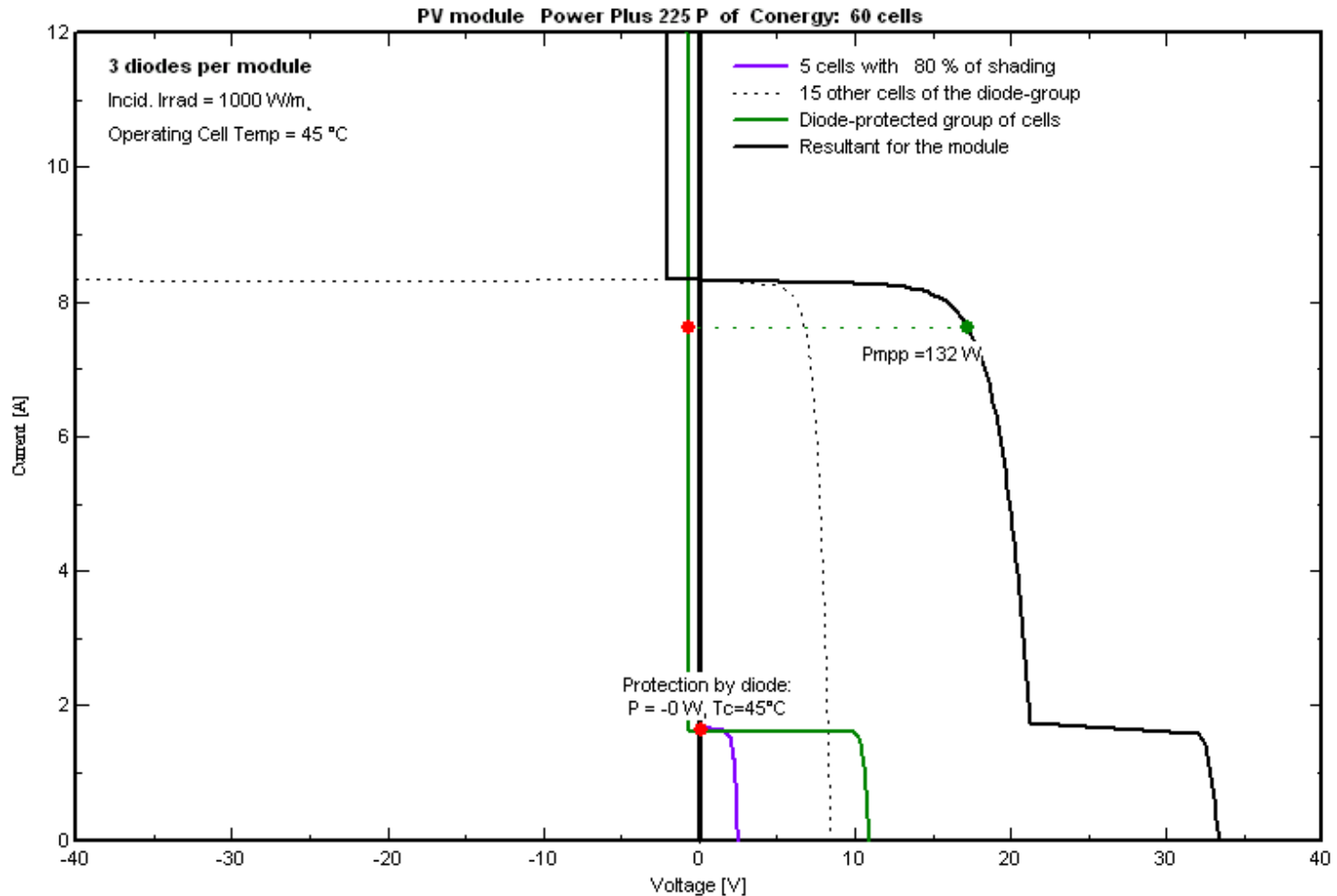
# EFEKT CZĘŚCIOWEGO ZACIENIENIA

Partial shadings on 1 cells in one diode-group - for One module



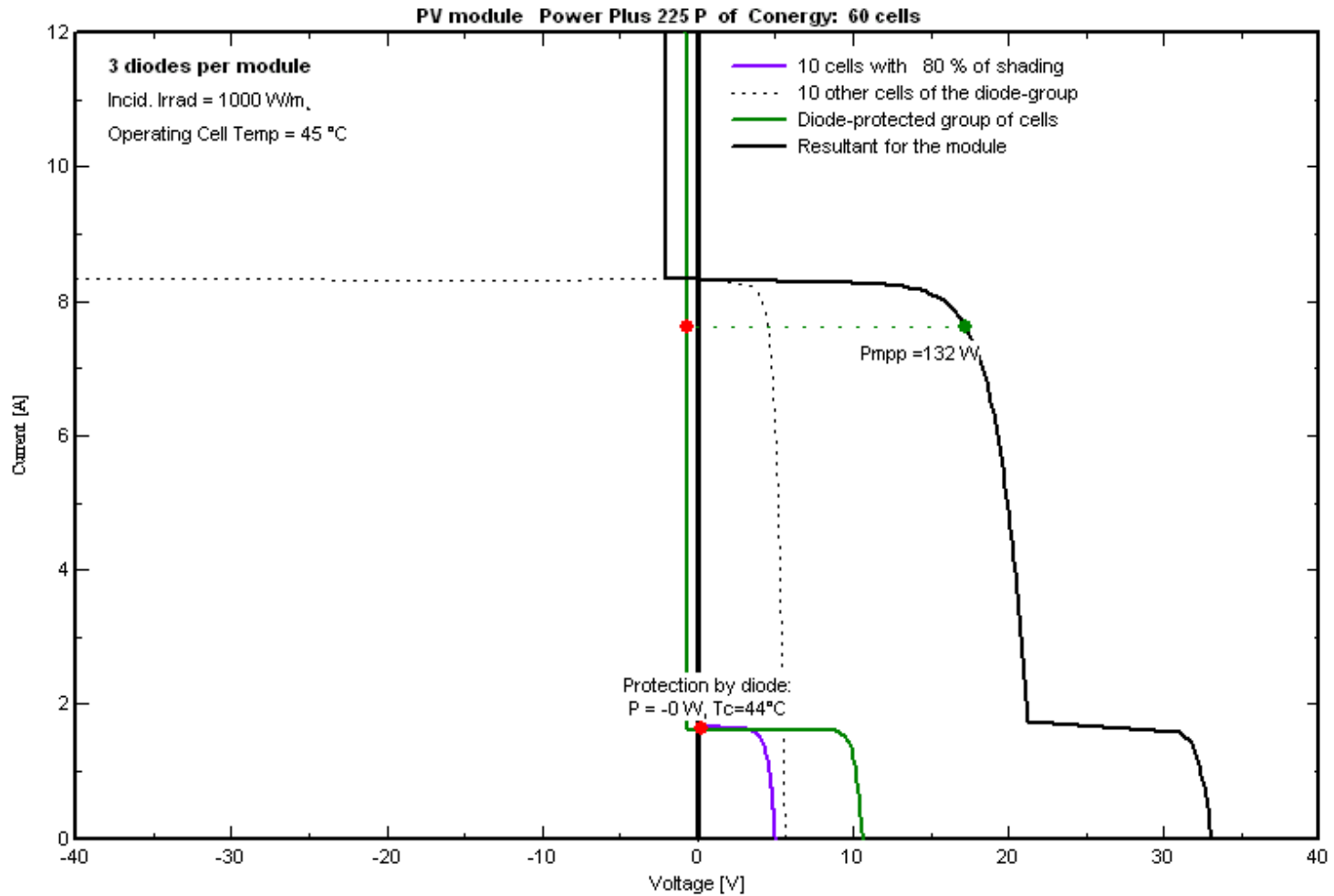
# EFEKT CZĘŚCIOWEGO ZACIENIENIA

Partial shadings on 5 cells in one diode-group - for One module



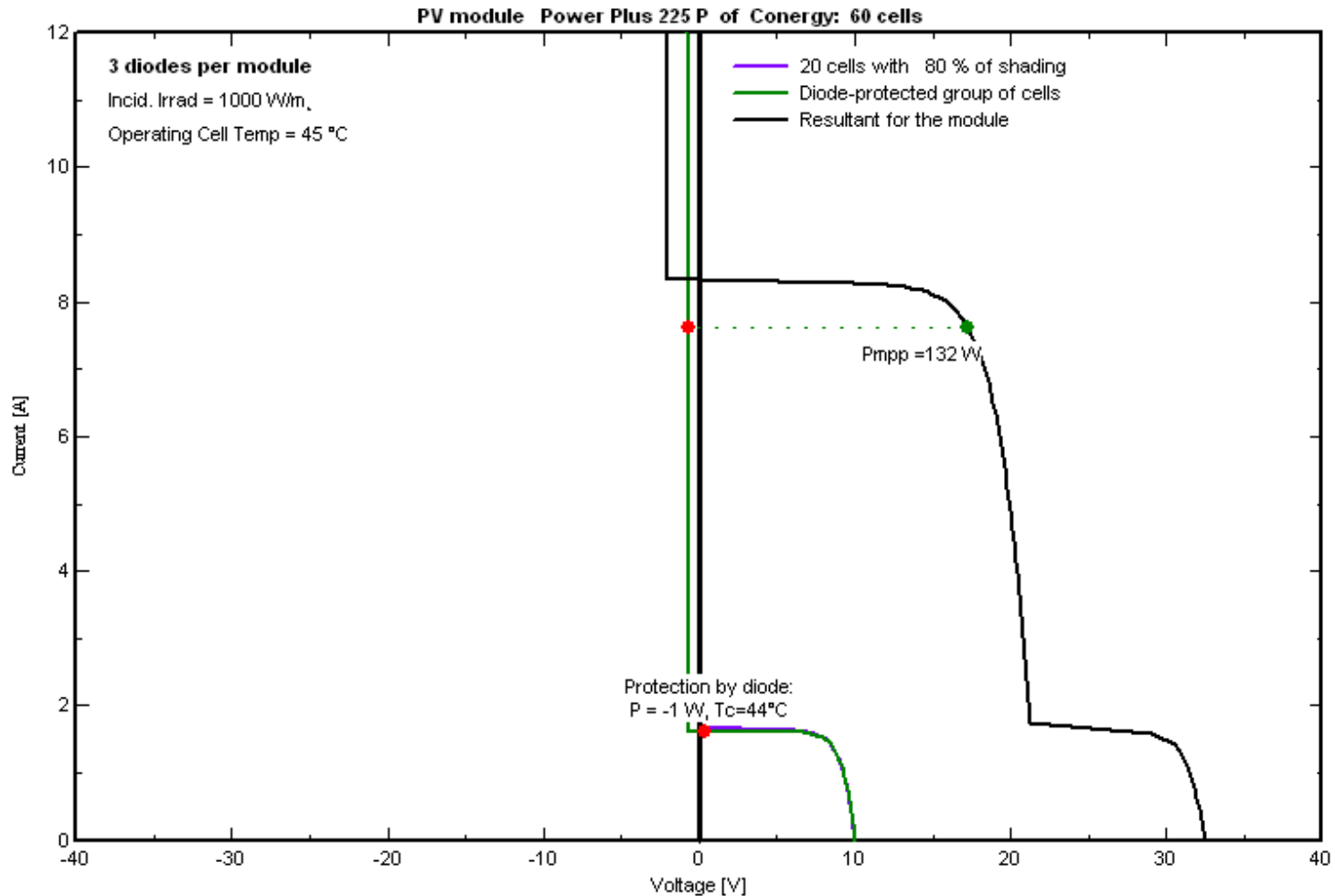
# EFEKT CZĘŚCIOWEGO ZACIENIENIA

Partial shadings on 10 cells in one diode-group - for One module



# EFEKT CZĘŚCIOWEGO ZACIENIENIA

Partial shadings on 20 cells in one diode-group - for One module





**Dziękuję za uwagę !!!**

