



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Czyste energie

Wykład 4

Systemy fotowoltaiczne cz.2

dr inż. Janusz Teneta

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

Wydział EAIiIB

Katedra Automatyki i Robotyki

AGH Kraków 2019

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/m₂

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)

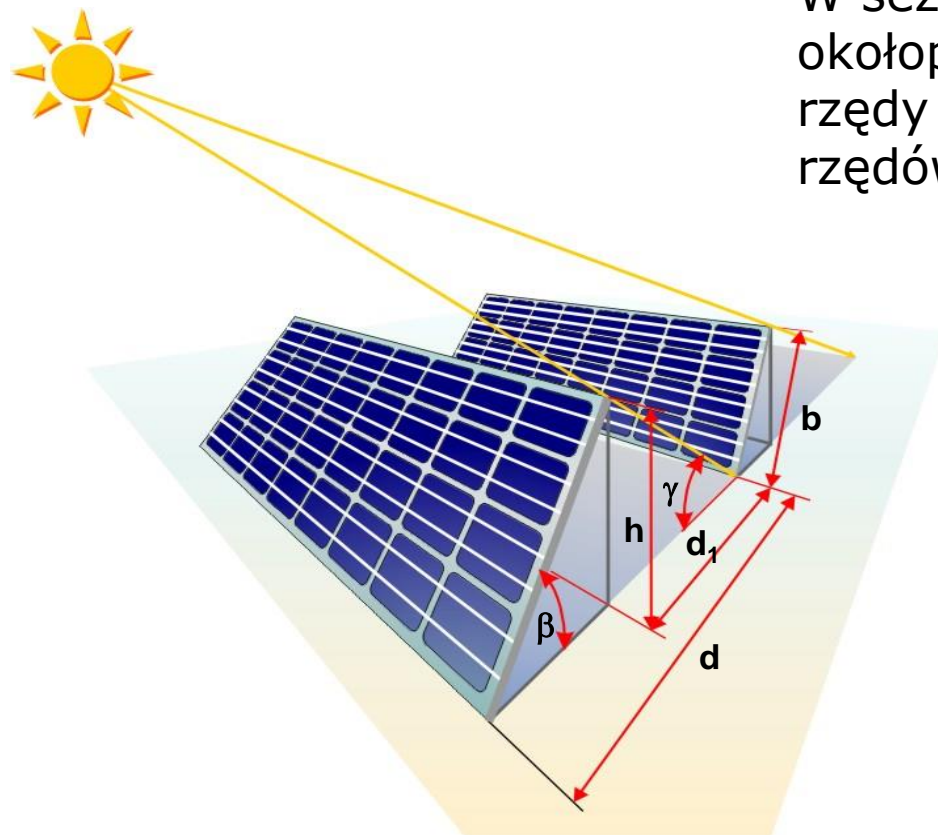
N-S axis, Tilt = Lat. - 10° :

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)

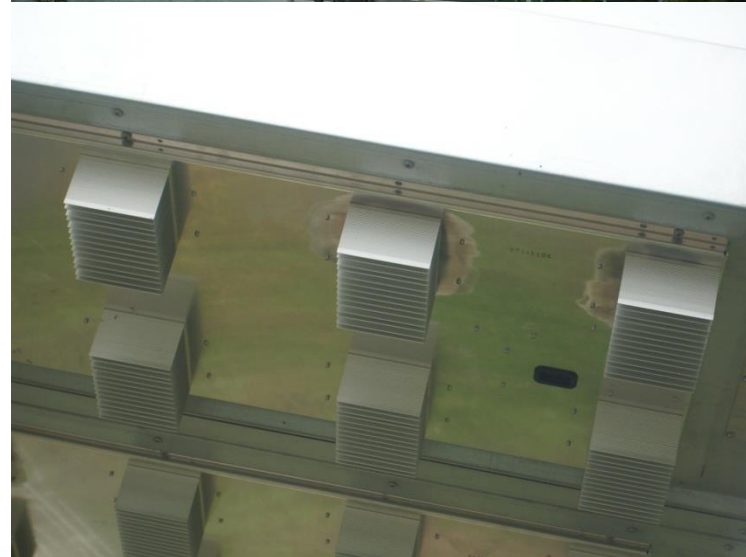
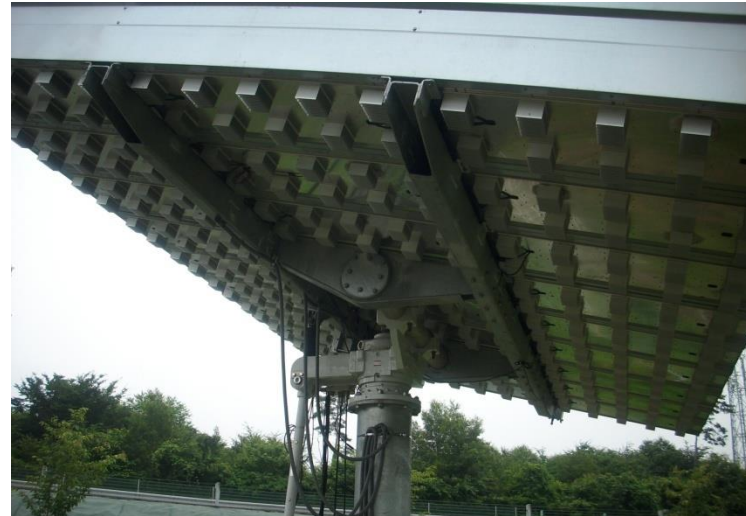


photo: Ashley Cooper/ www.naturepl.com, <http://www.abengoa.com>

Układy koncentratorowe (systemy nadążne)



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



Układy koncentratorowe (systemy nadążne)



50MW instalacja CPV Tecate, Mexico

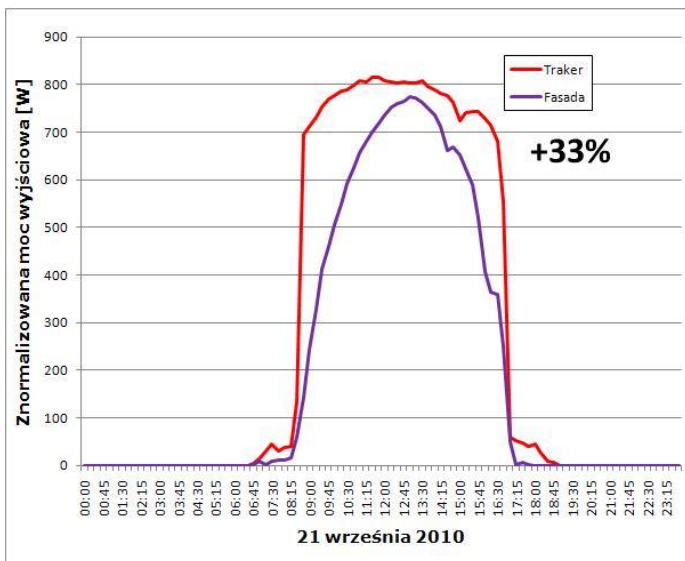
Źródło: <https://www.zdnet.com>, photo: SolFocus

**MGIT Concentrated
photovoltaic (CPV)
HYBRID electrical + thermal
Mumbai, India**
 $2 \times 11\text{m}^2 = 4,5\text{kW}_e + 11\text{kW}_t$
Sprawność łączna ok 72%
(dane handlowe producenta)

Źródło: <https://mgitsolar.en.ecplaza.net>

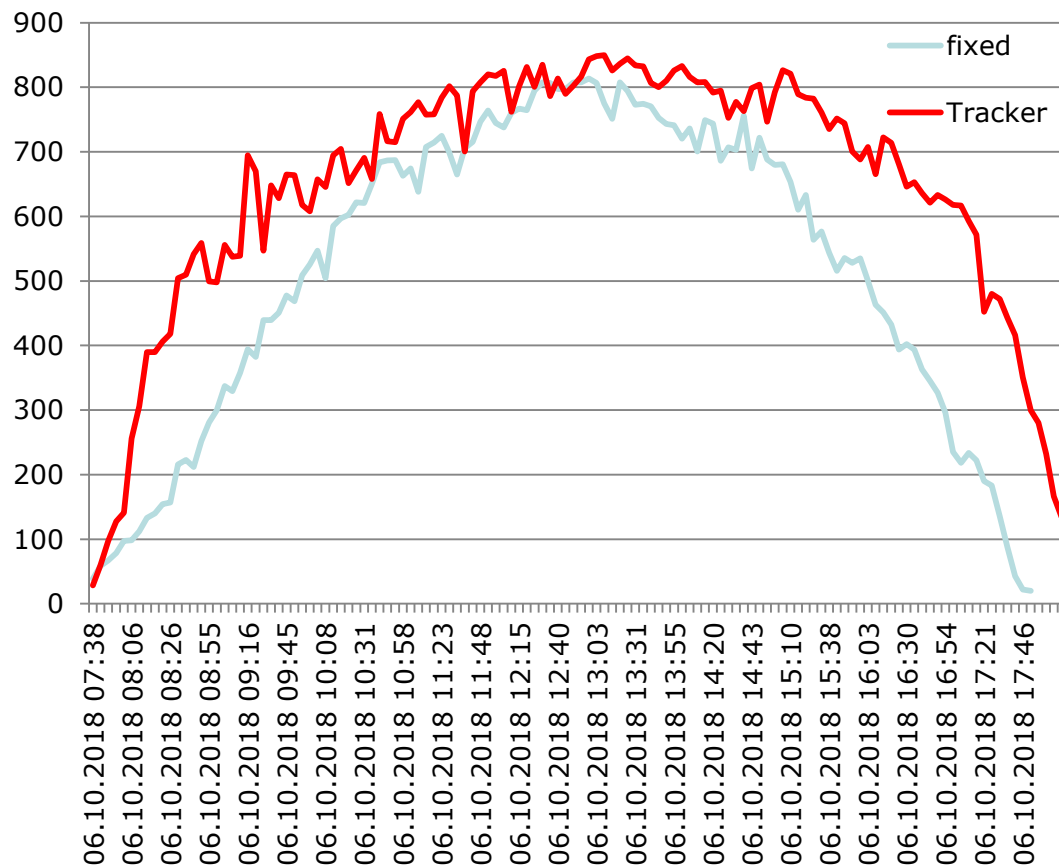


Porównanie pracy systemu stacjonarnego i nadążnego



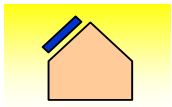
Tracker (czujnik) na parkingu przy C3 i południowa fasada C3 (elw. 60°, azymut 20°W)

Tracker rocznie produkuje ok 20% więcej energii elektrycznej niż optymalnie ustawiona instalacja stacjonarna (fixed)

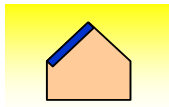


Tracker (zegar) na dachu i instalacja stacjonarna na dachu C3 (elw. 35°, azymut 20°W)

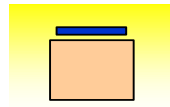
Systemy stacjonarne na budynkach



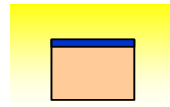
Nad nachylonym dachem (a)



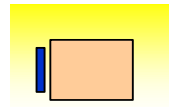
Na nach. dachu (b)



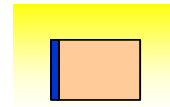
Nad płaskim dachem (c)



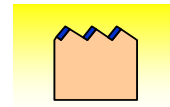
Na płaskim dachu (d)



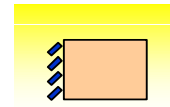
Przed fasadą (e)



Na fasadzie (f)



Na dachu typu „szedy” (h)

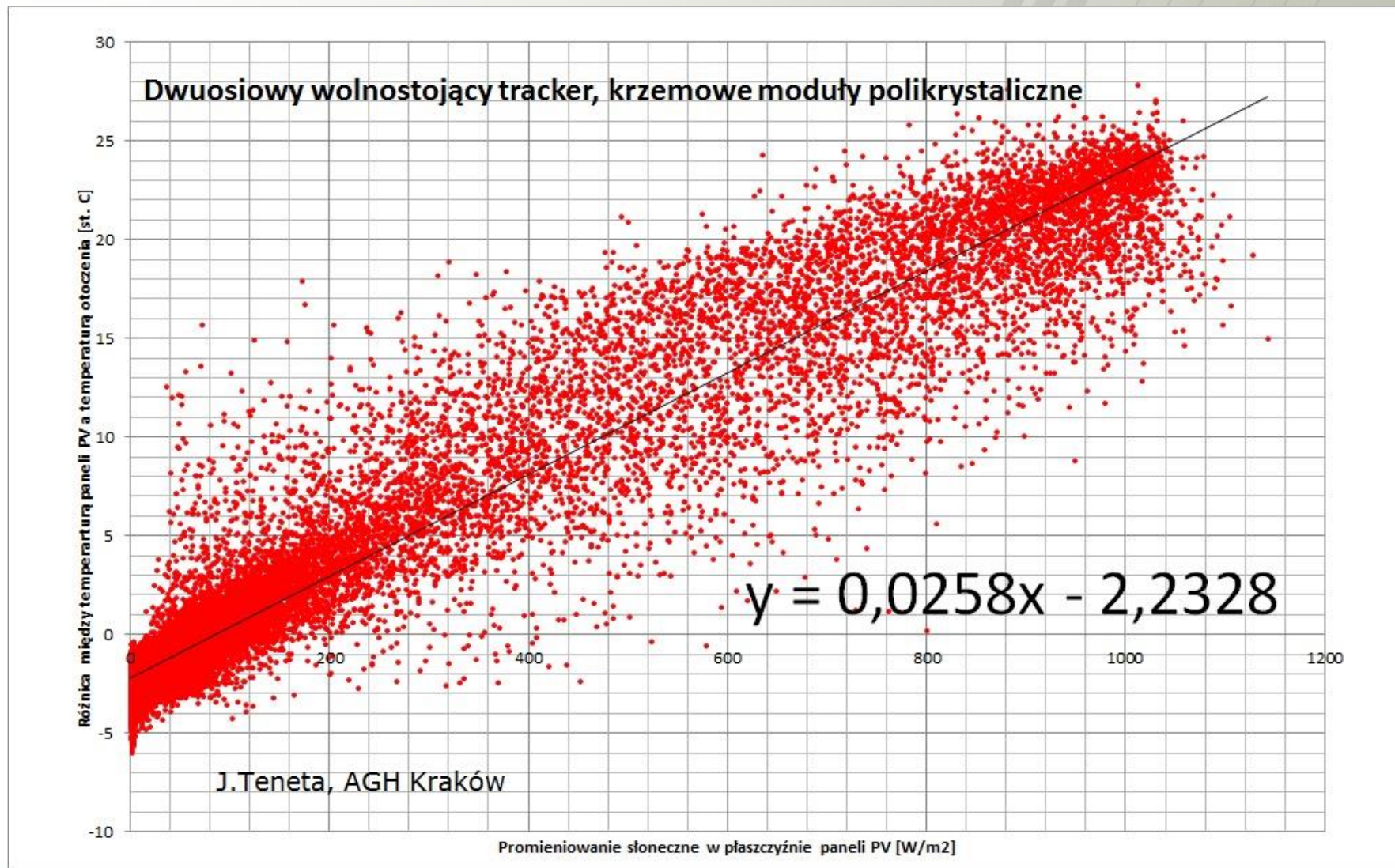


W formie markizy (h)

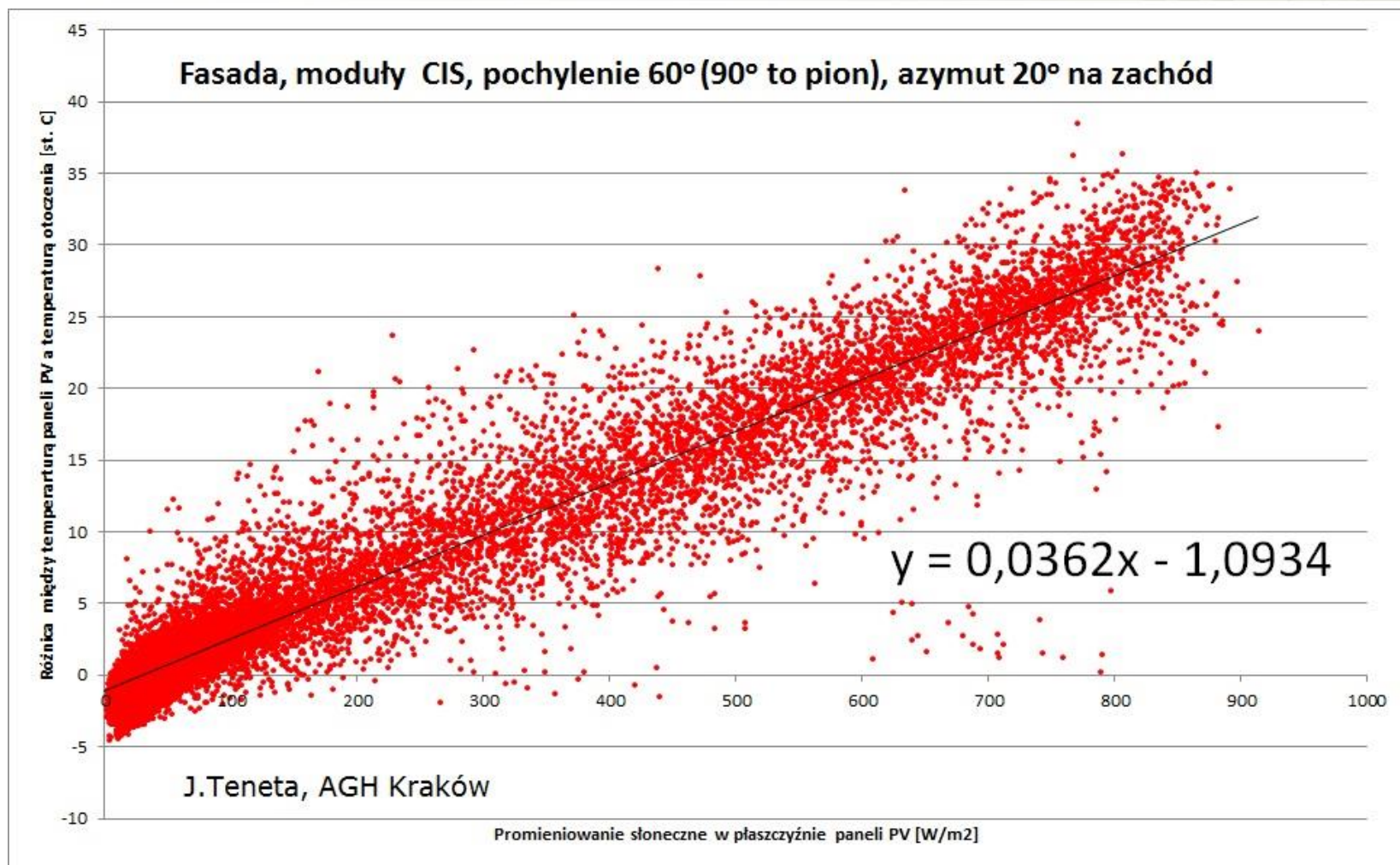


Images: Fraunhofer ISE, Freiburg, Germany

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)

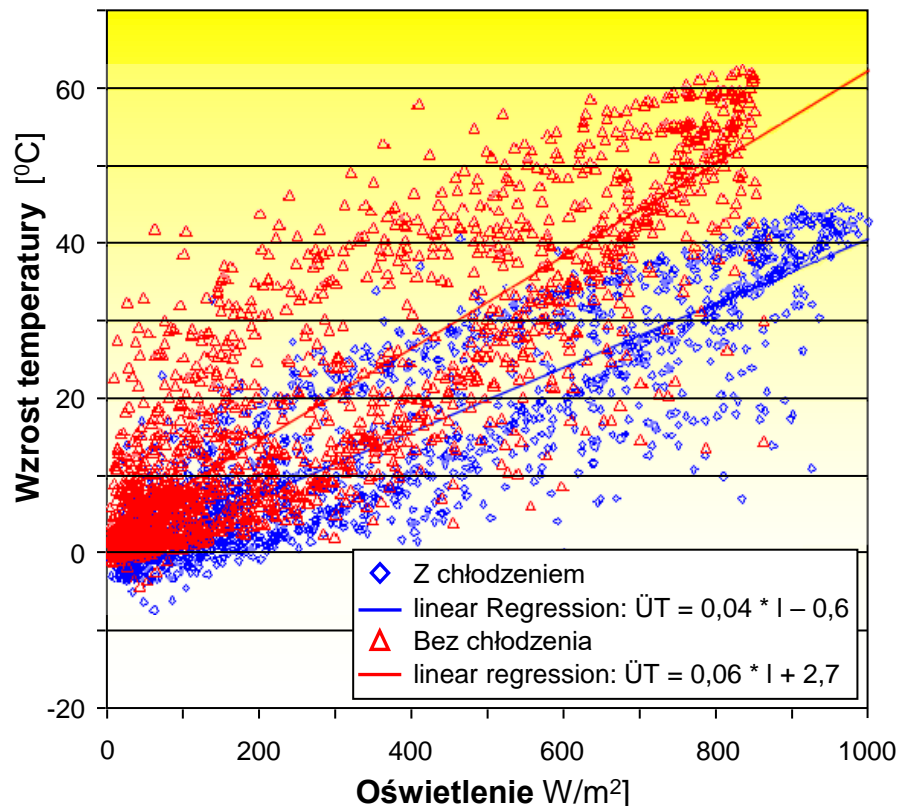


Image: Fraunhofer ISE, Freiburg, Germany; Solarpraxis AG, Berlin, Germany

Wpływ montażu na wzrost temperatury

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

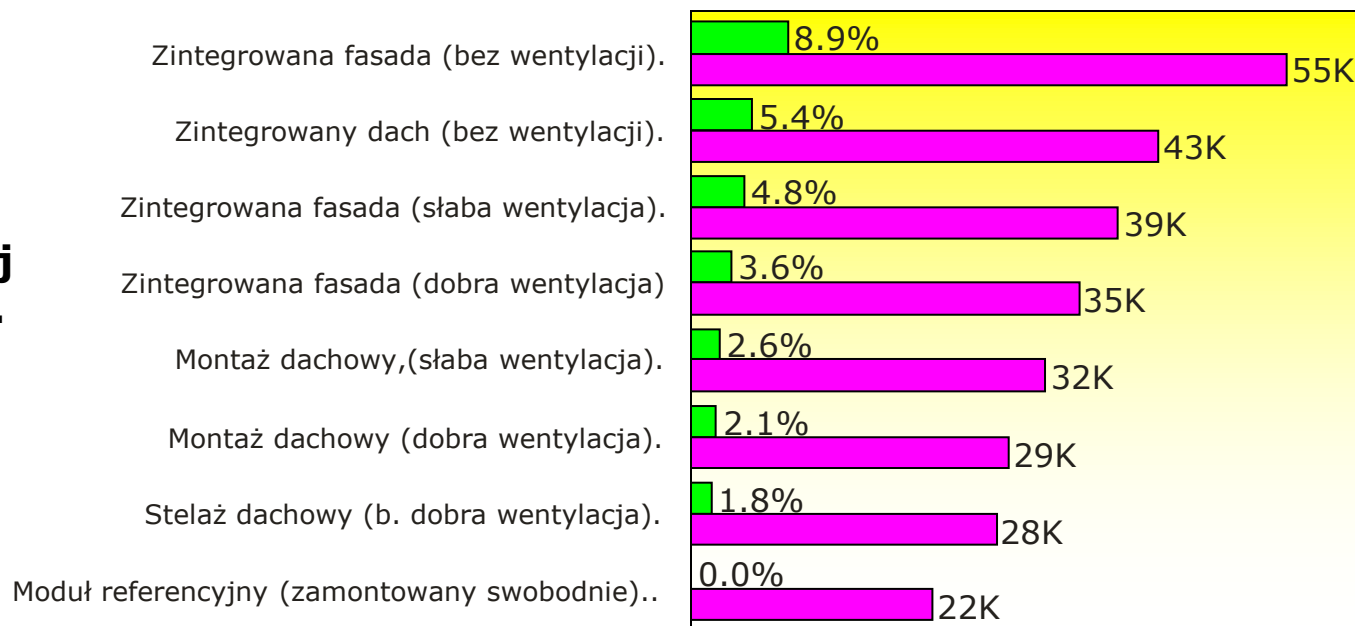
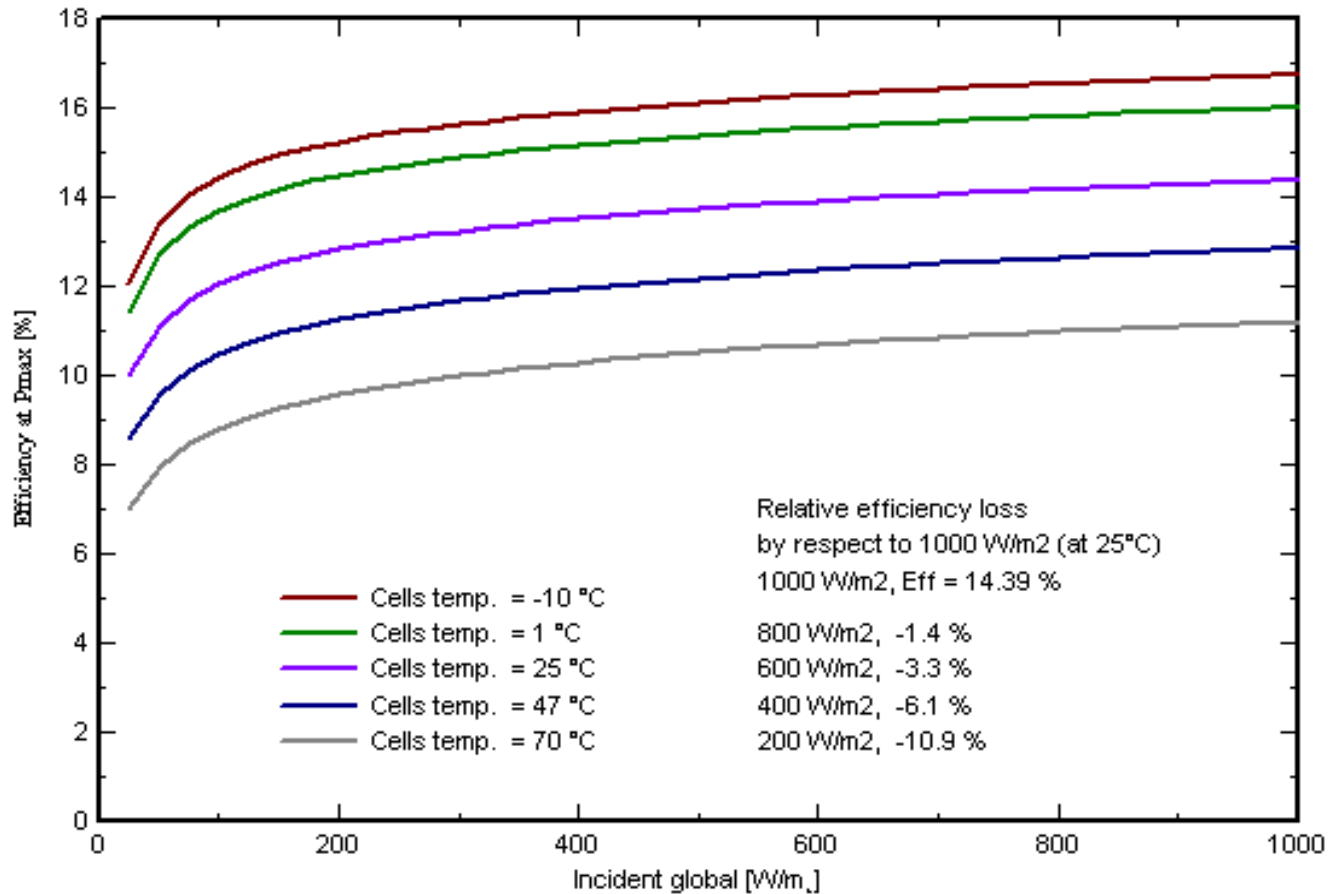


Image: Fraunhofer ISE, Freiburg, Germany

Wrażliwość temperaturowa modułów PV

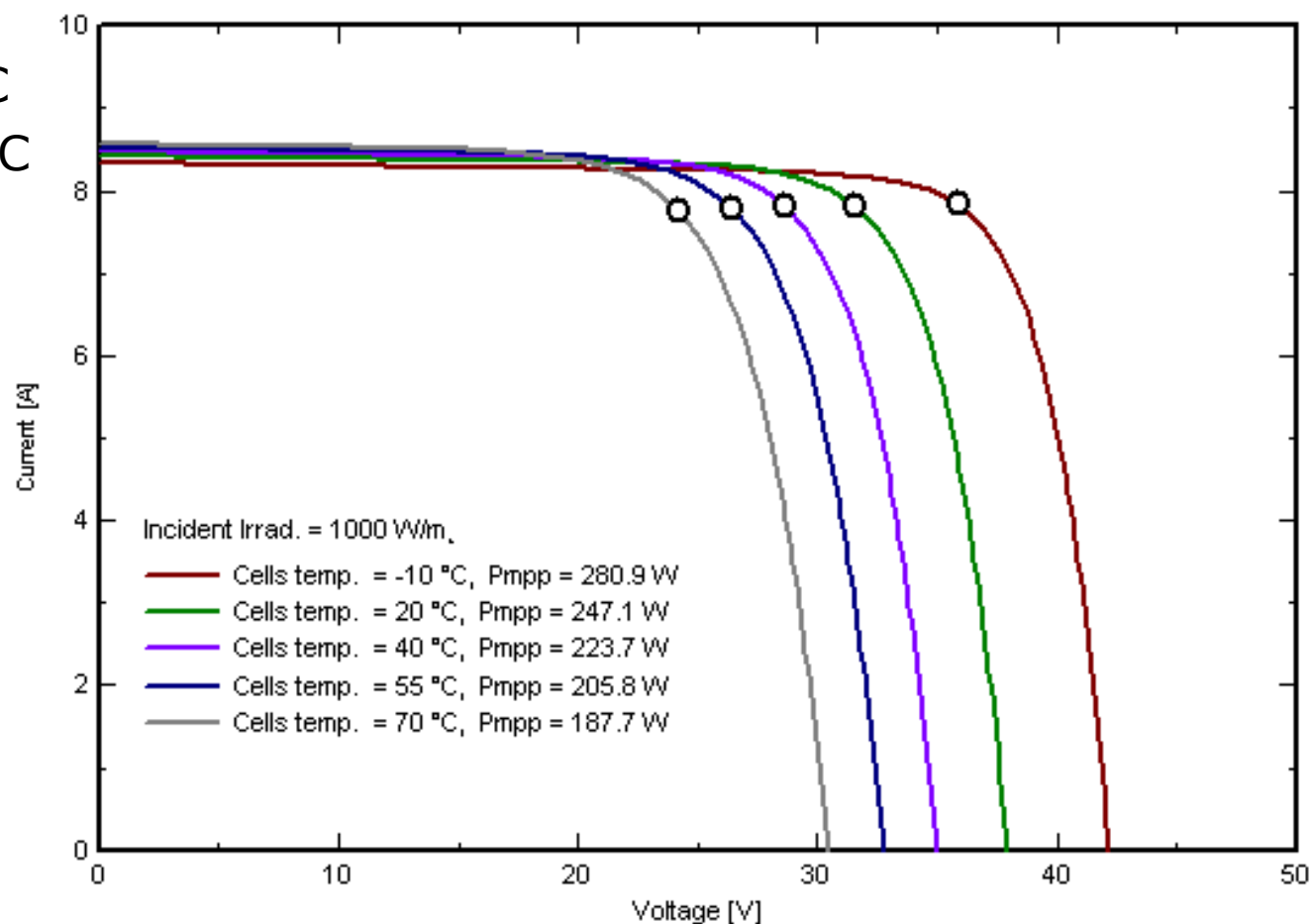
PV module: SolarWorld, SW 240 Poly



Wrażliwość temperaturowa modułów PV

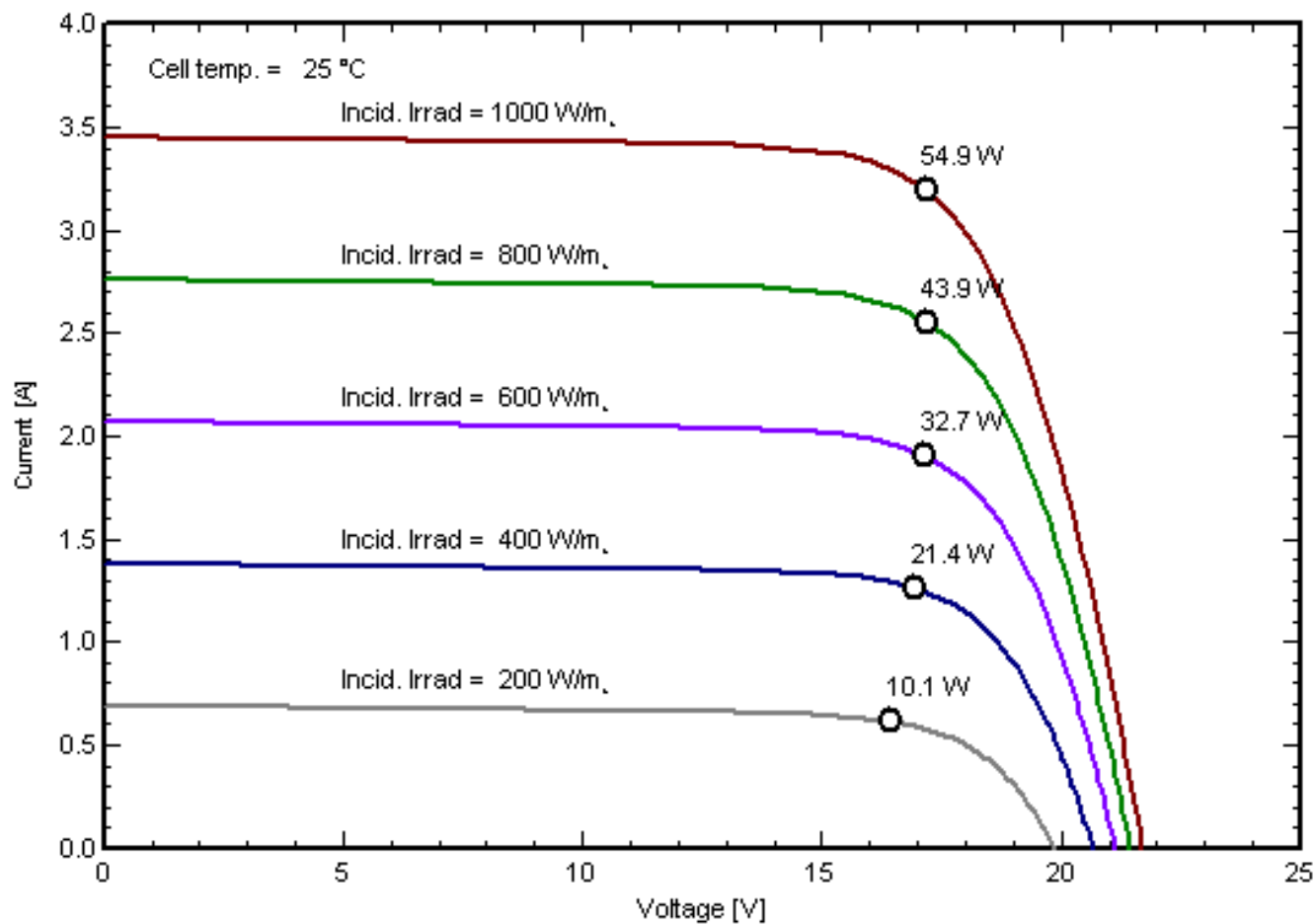
PV module: SolarWorld, SW 240 Poly

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



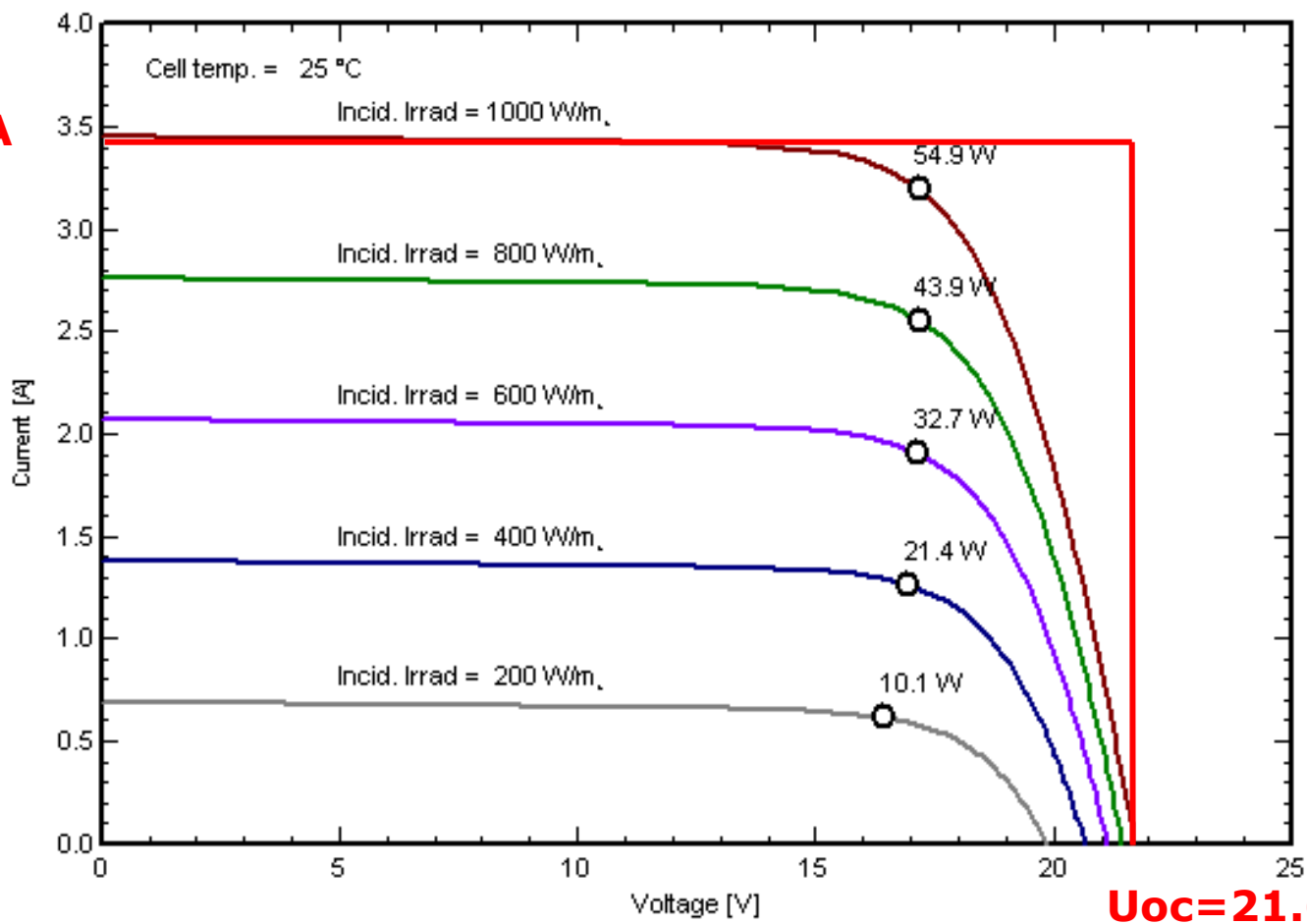
Współczynnik kształtu Fill Factor (FF)

PV module : Siemens Solar, SM55, Manufacturer



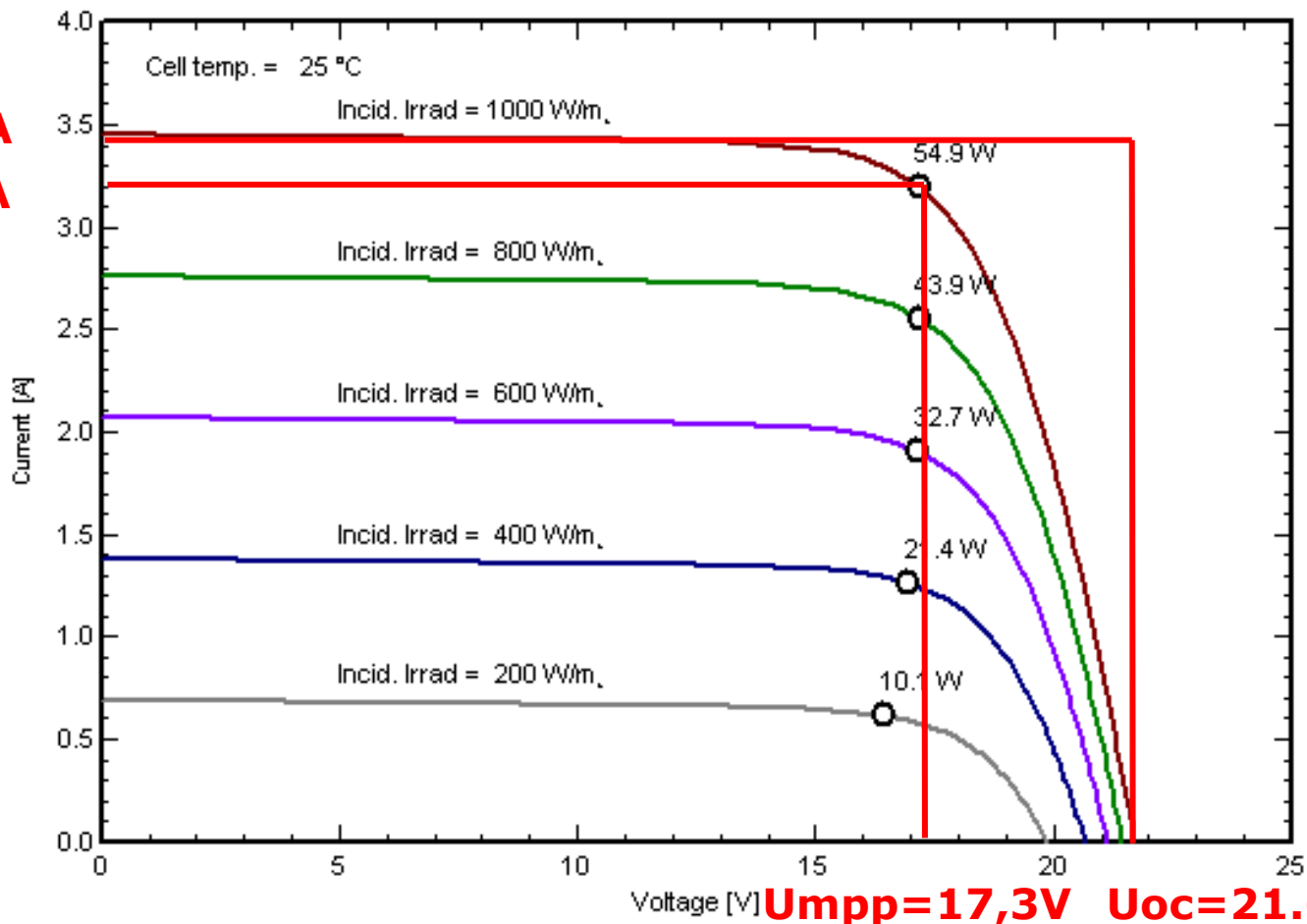
Współczynnik kształtu Fill Factor (FF)

PV module : Siemens Solar, SM55, Manufacturer



Współczynnik kształtu Fill Factor (FF)

PV module : Siemens Solar, SM55, Manufacturer

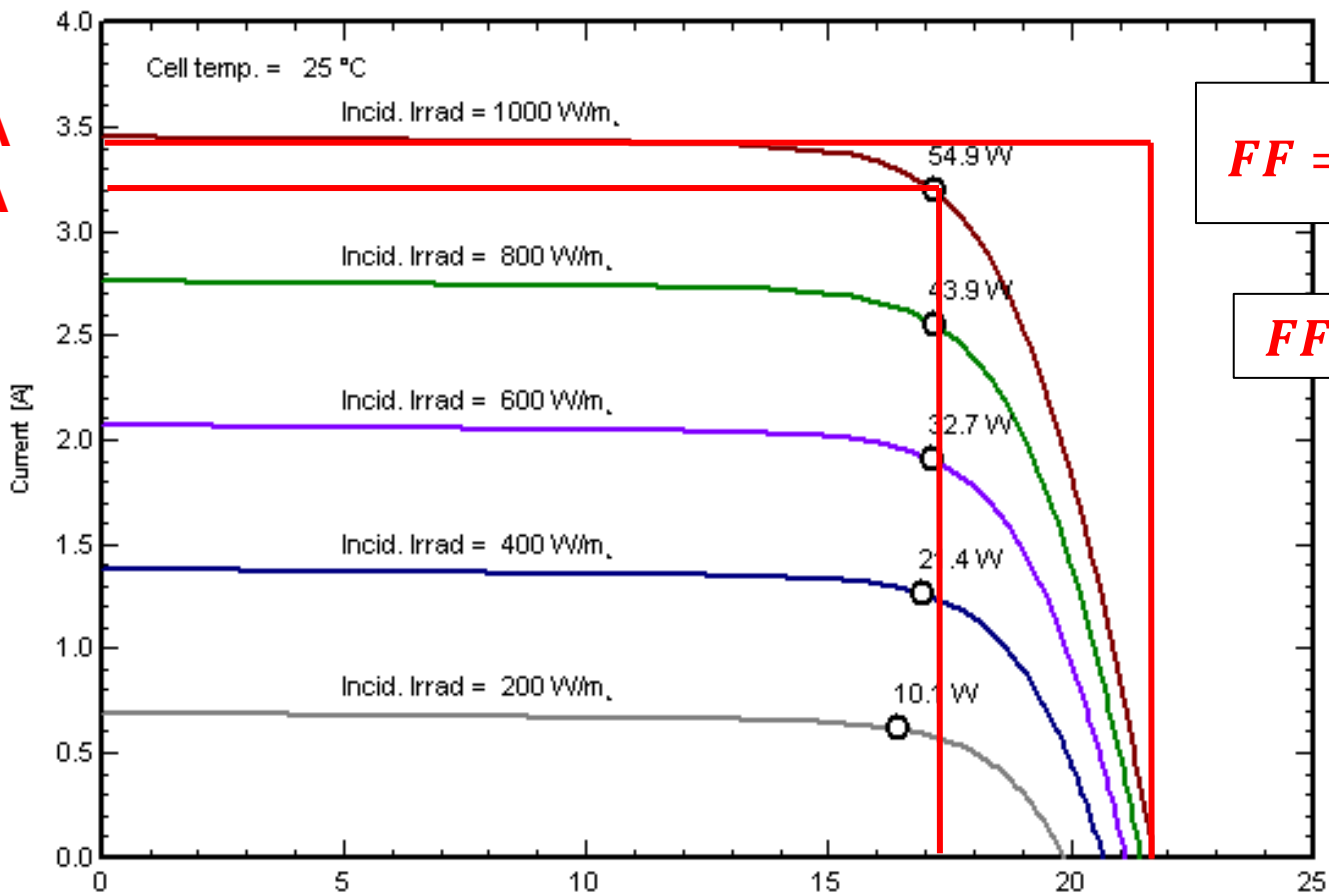


I_{sc} = 3,45A

I_{mpp} = 3,2A

Współczynnik kształtu Fill Factor (FF)

PV module : Siemens Solar, SM55, Manufacturer



Isc=3,45A

Imp=3,2A

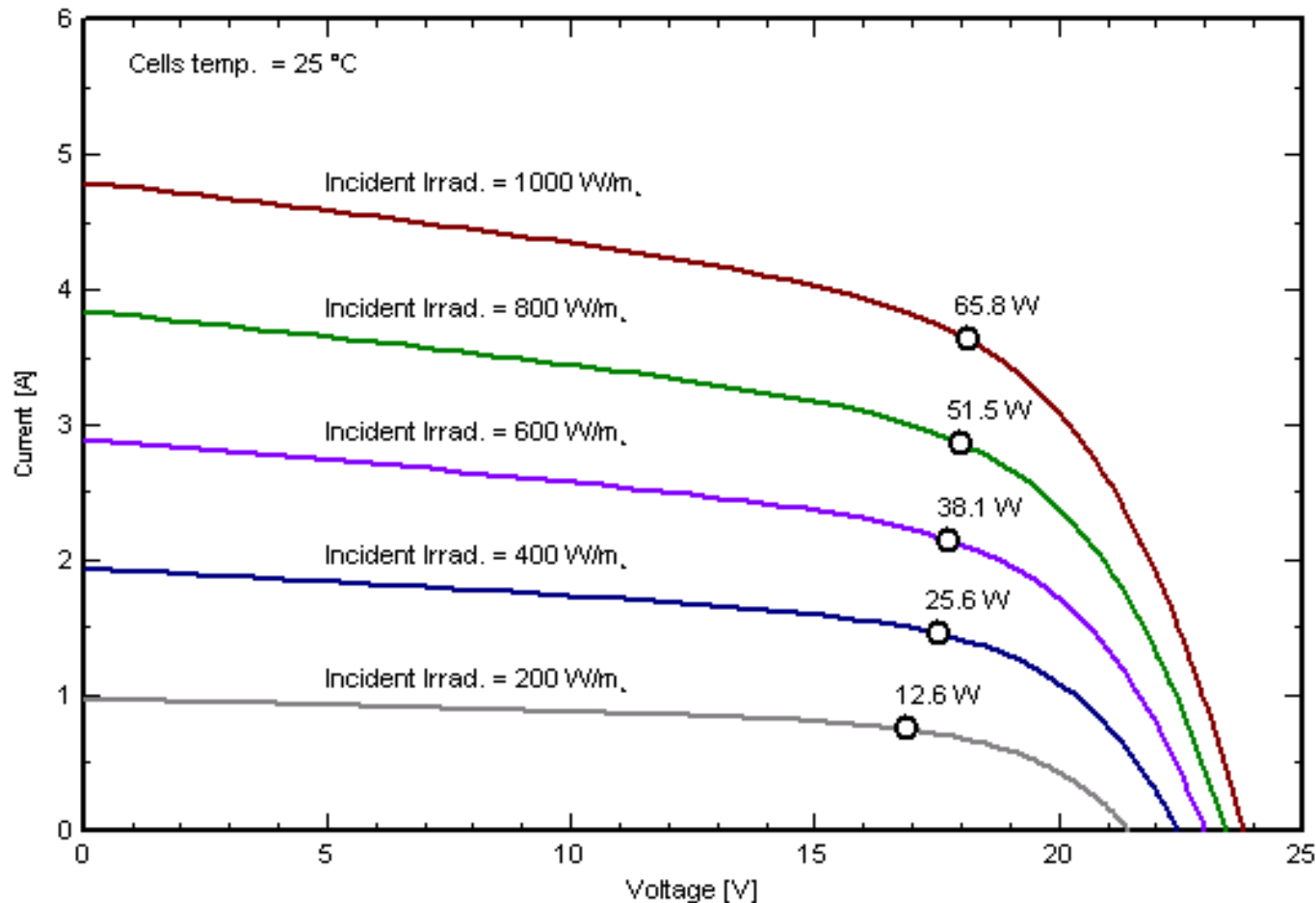
$$FF = \frac{I_m * U_m}{I_{sc} * U_{oc}}$$

$$FF = 0,743$$

Umpp=17,3V Uoc=21.6V

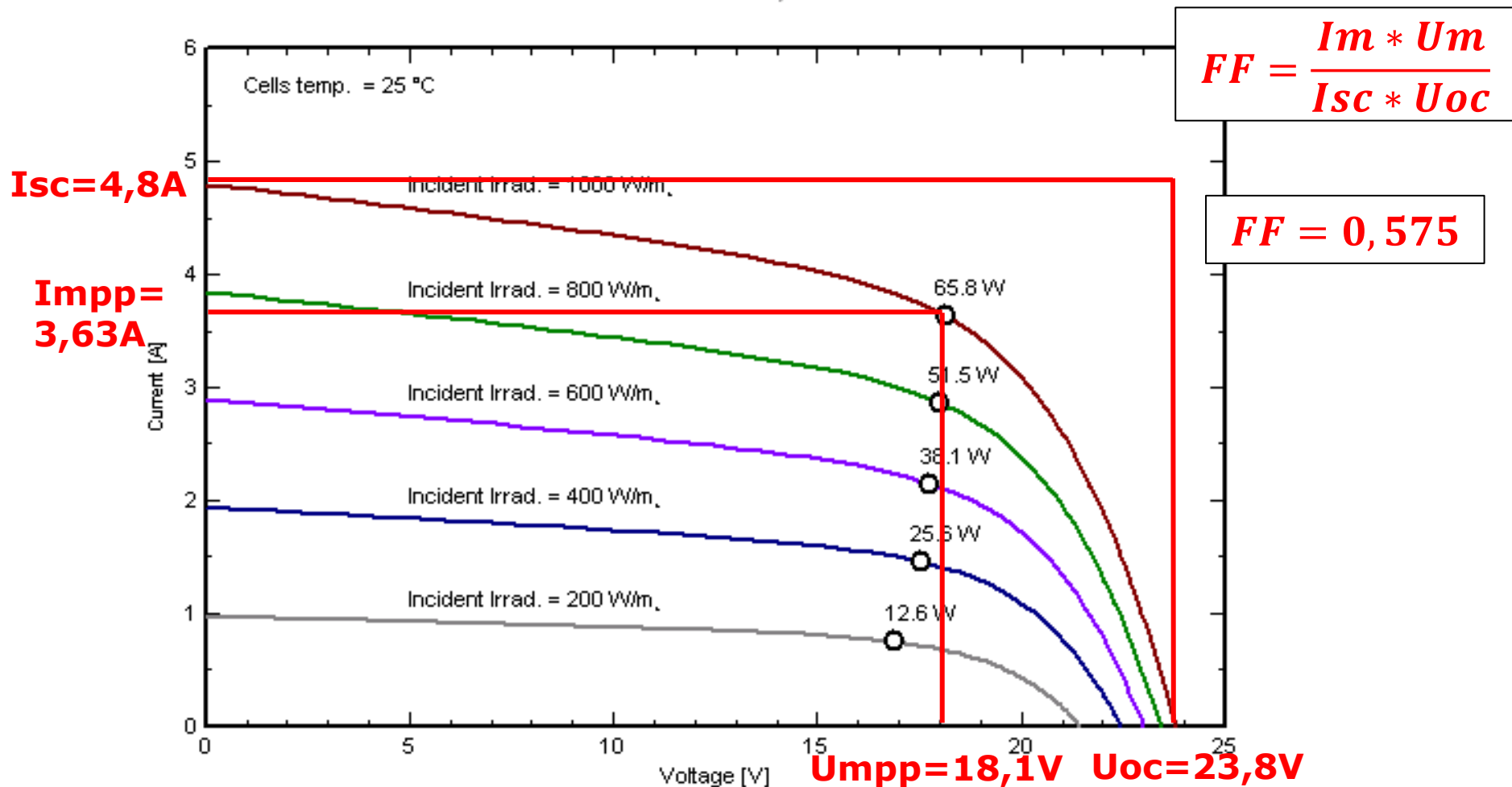
Współczynnik kształtu Fill Factor (FF)

PV module: Uni-Solar, US-64



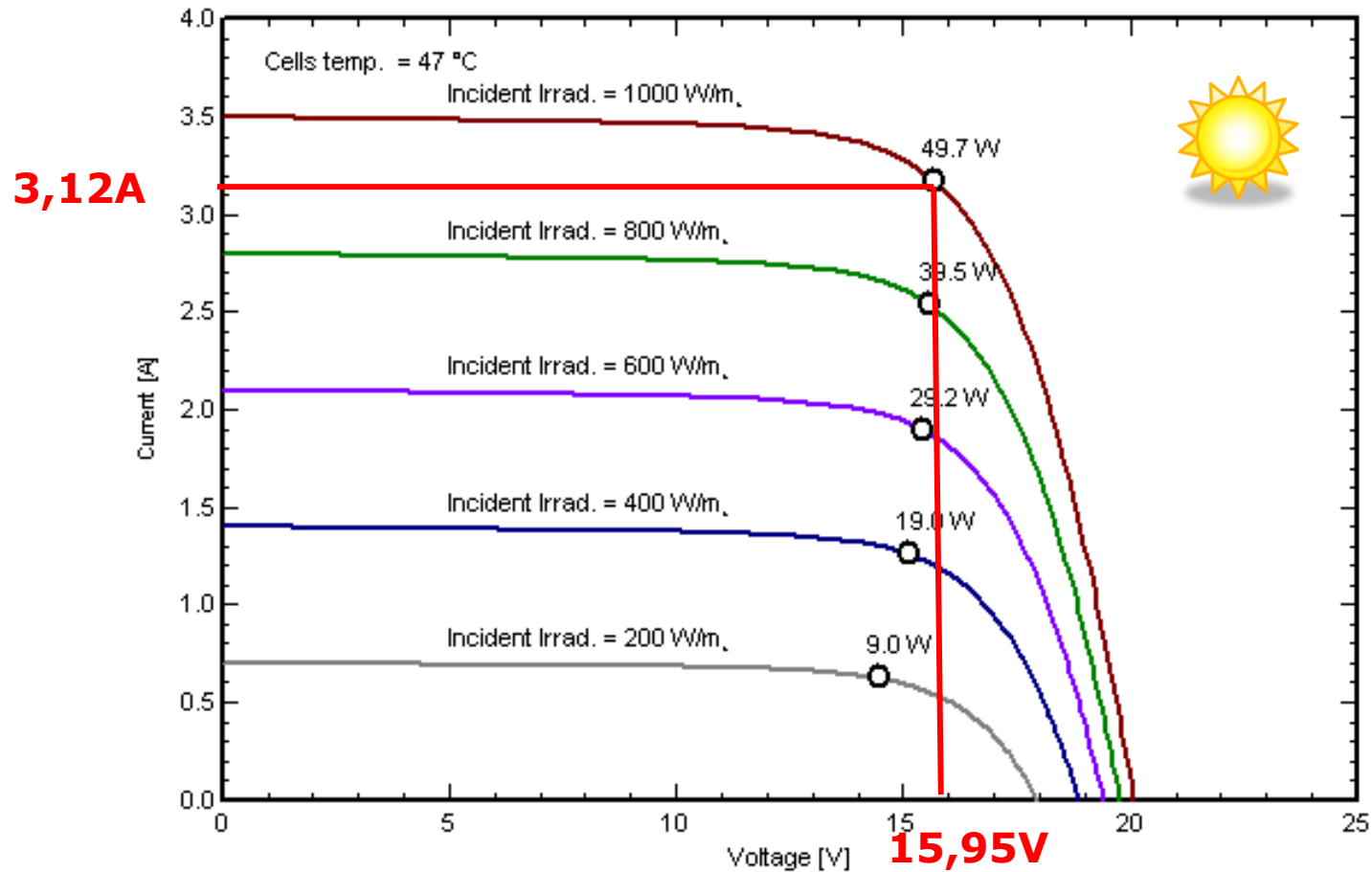
Współczynnik kształtu Fill Factor (FF)

PV module: Uni-Solar, US-64



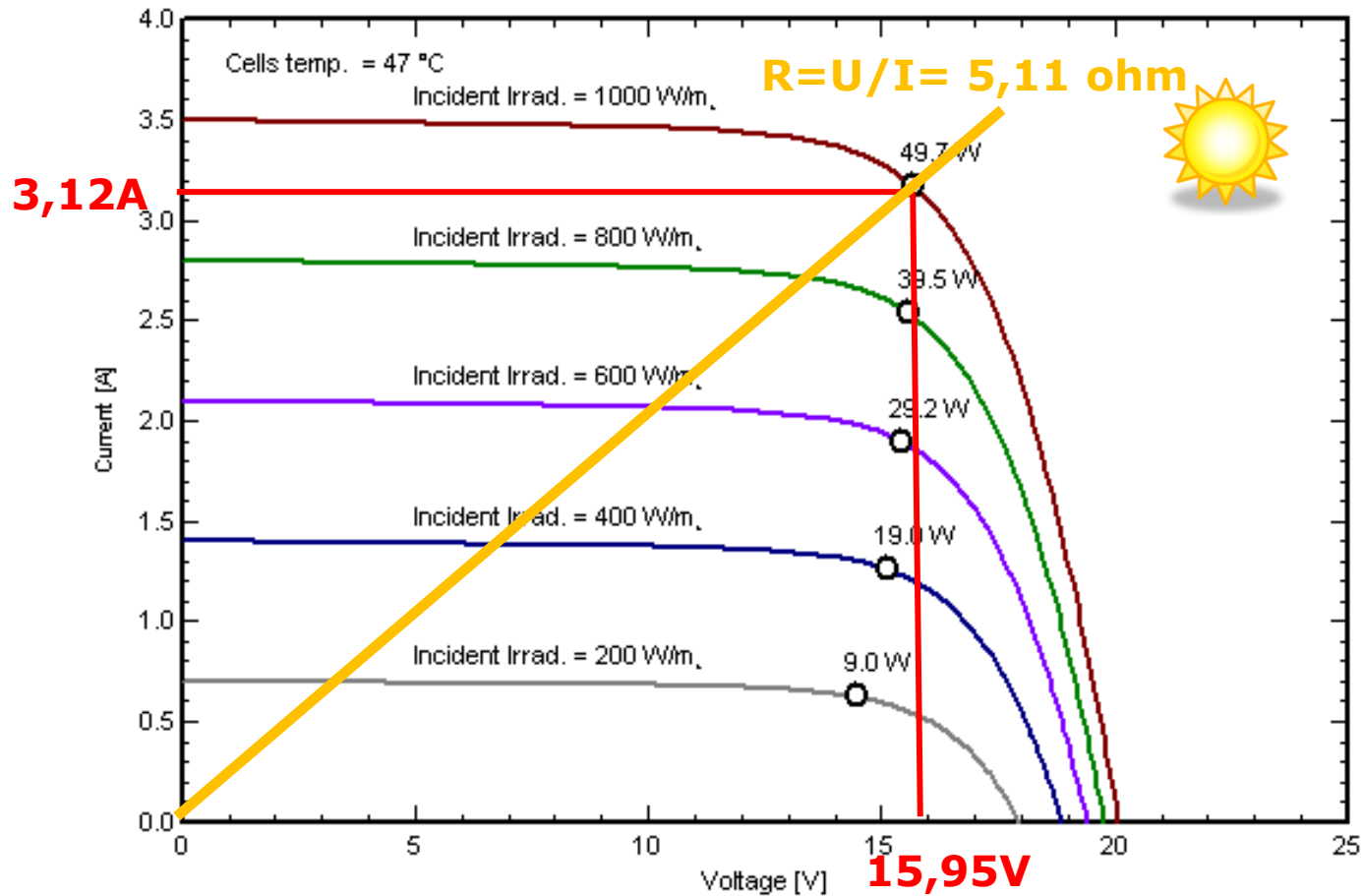
Maximum Power Point (MPP)

PV module: Siemens Solar, SM55



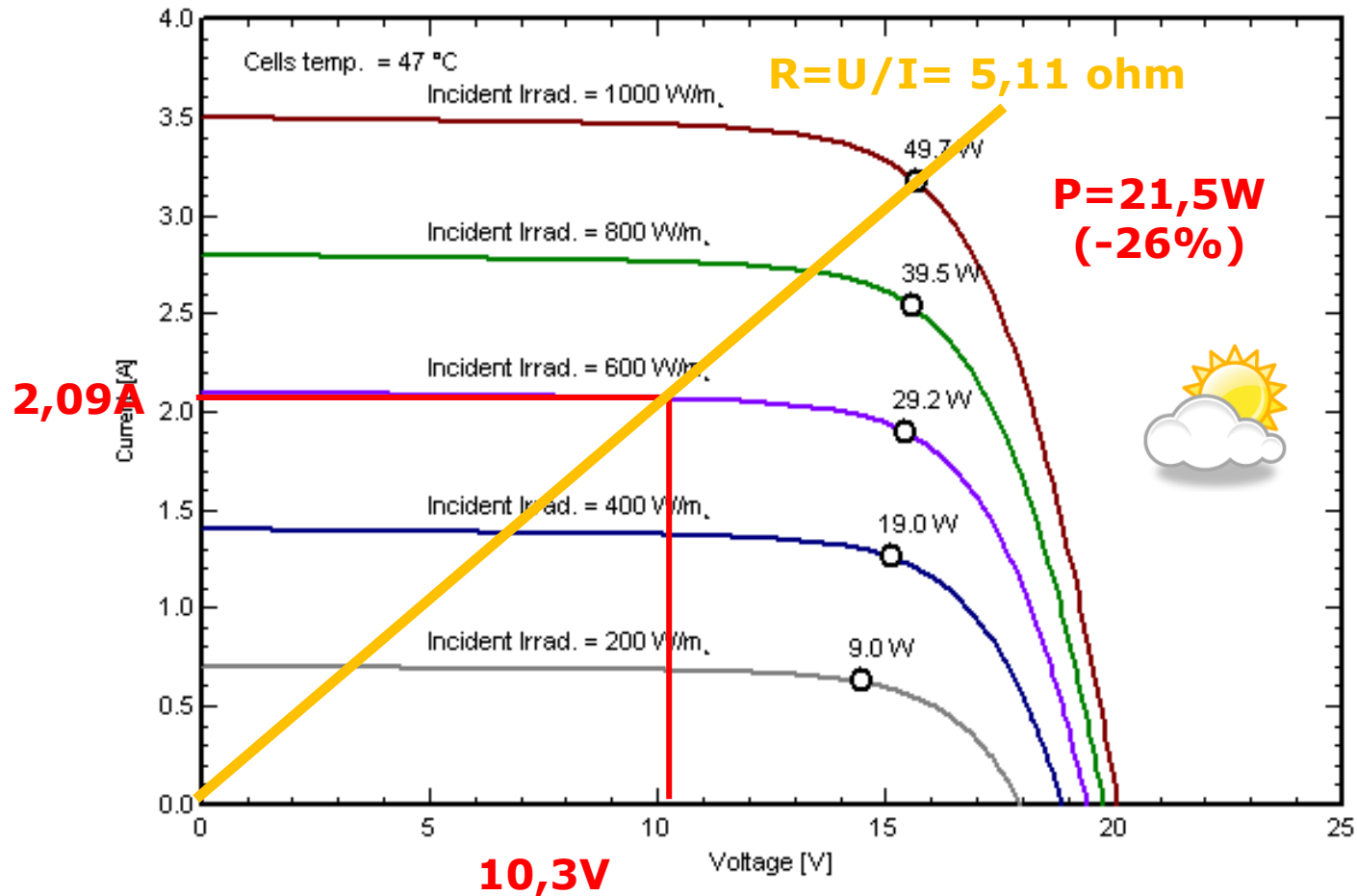
Maximum Power Point (MPP)

PV module: Siemens Solar, SM55



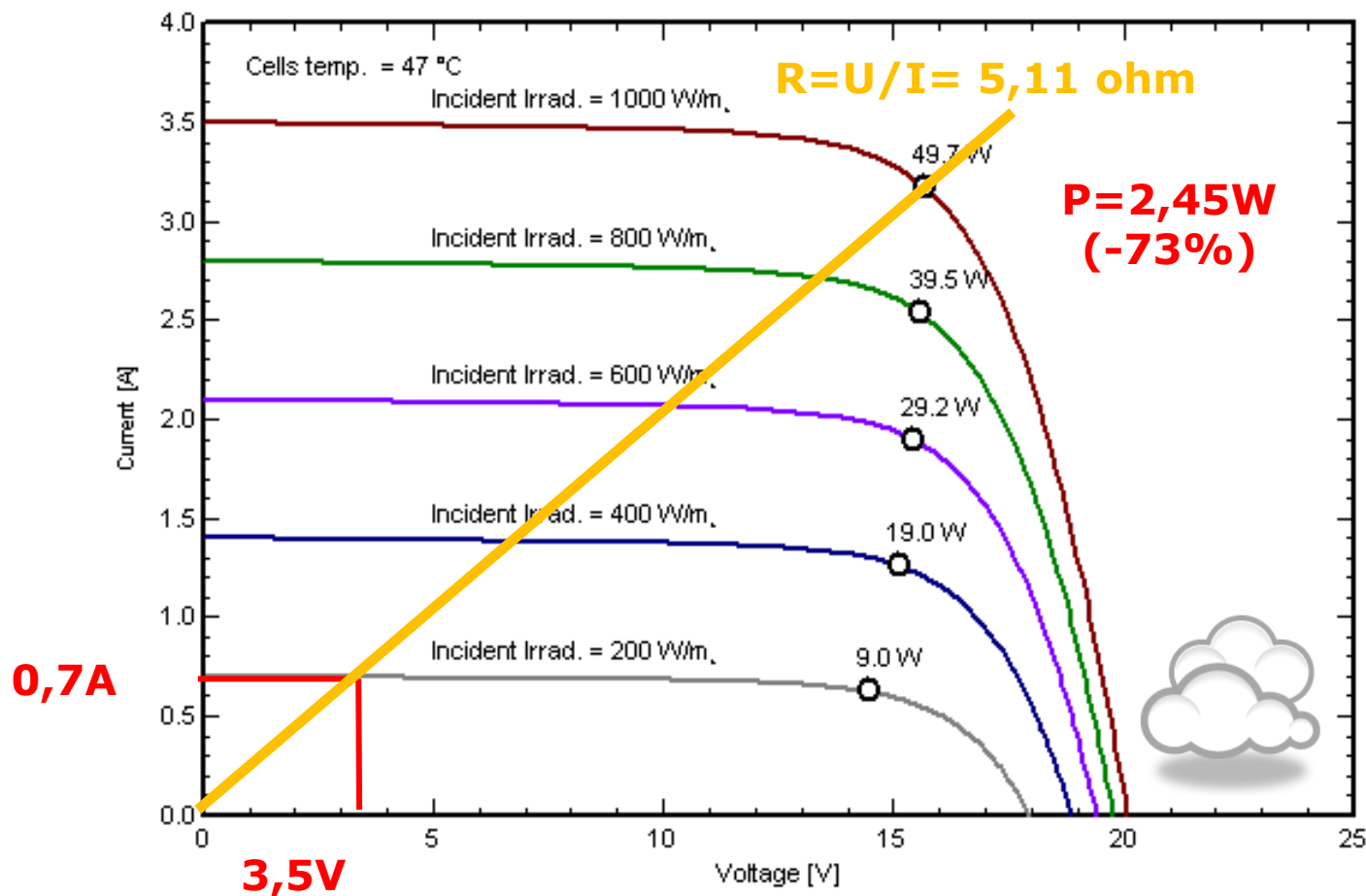
Maximum Power Point (MPP)

PV module: Siemens Solar, SM55



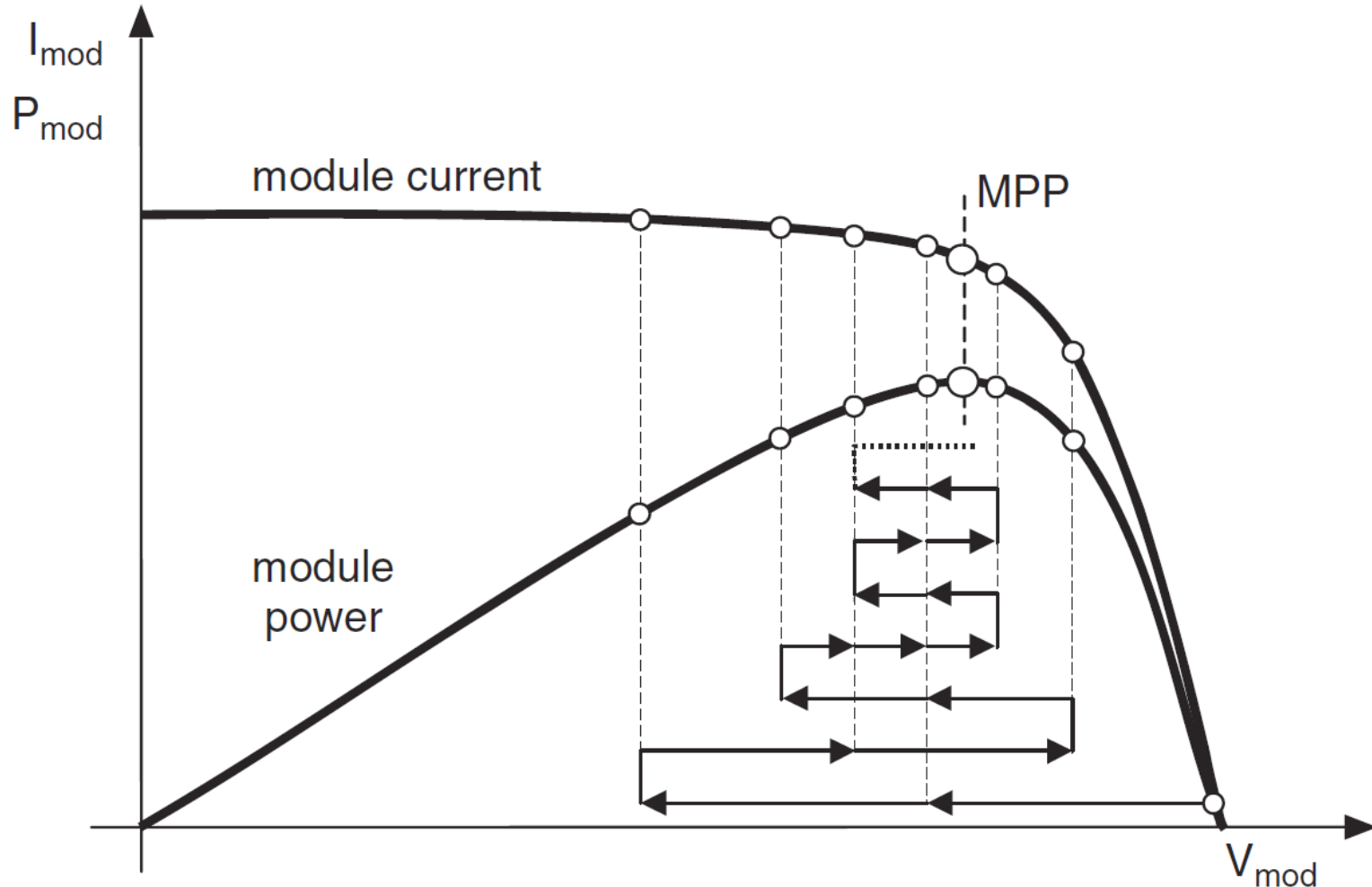
Maximum Power Point (MPP)

PV module: Siemens Solar, SM55



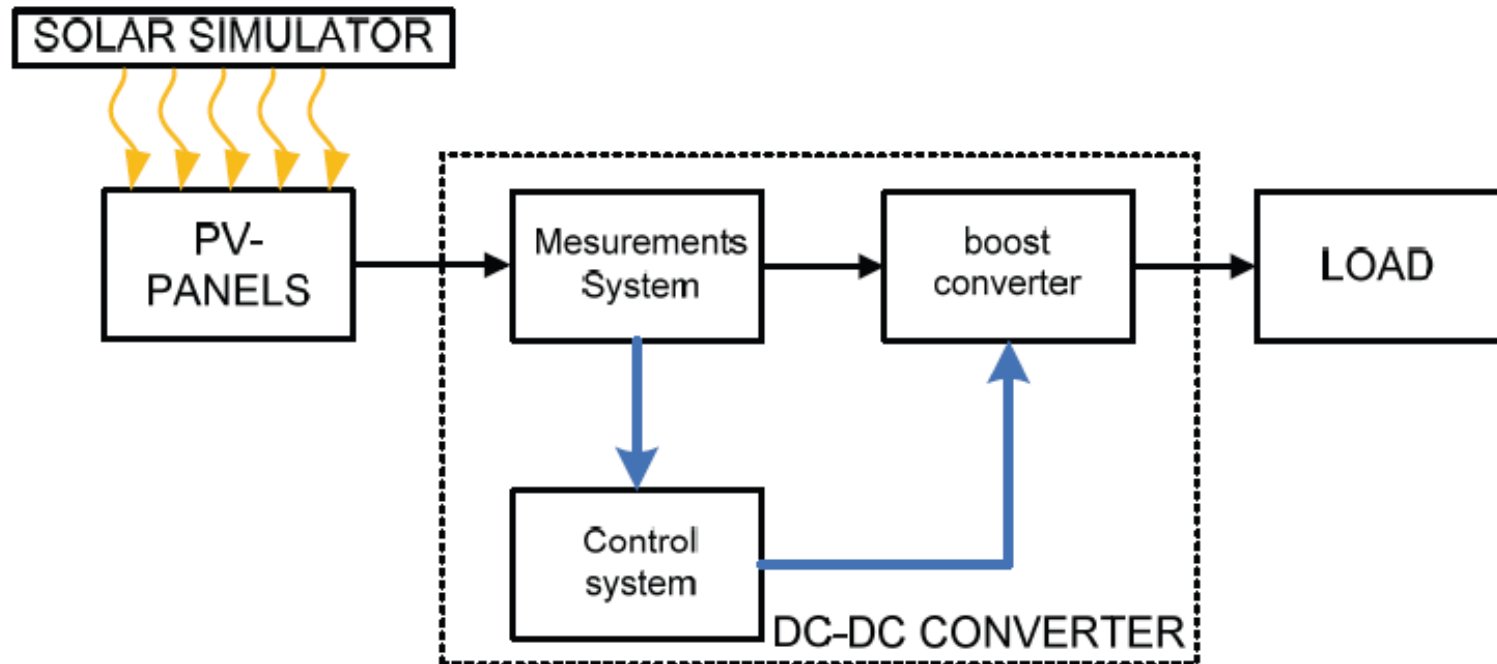
Maximum Power Point Tracking (MPPT)

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



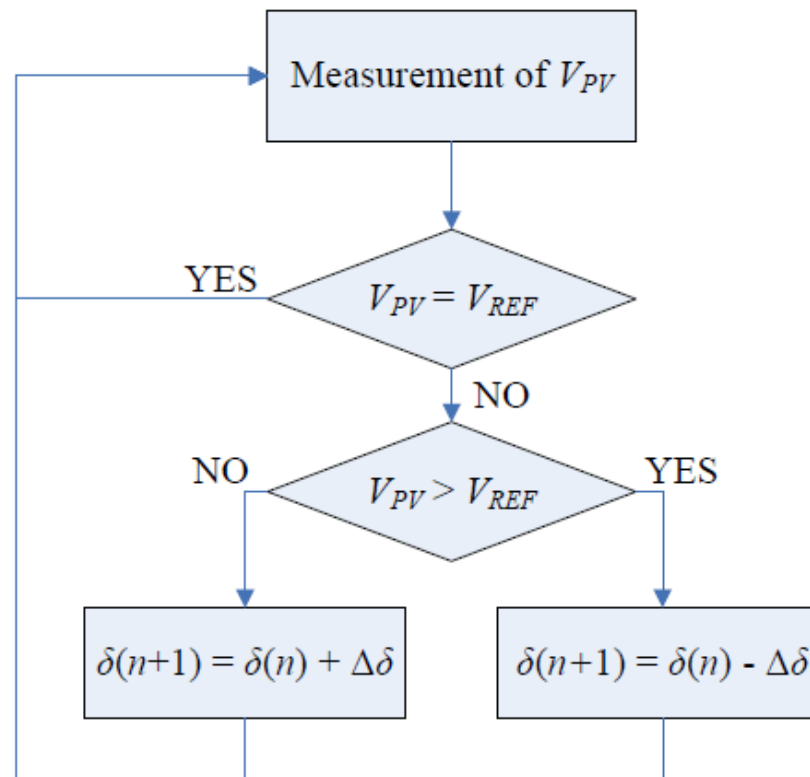
Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Schemat blokowy elektronicznego układu MPPT



Maximum Power Point Tracking (MPPT)

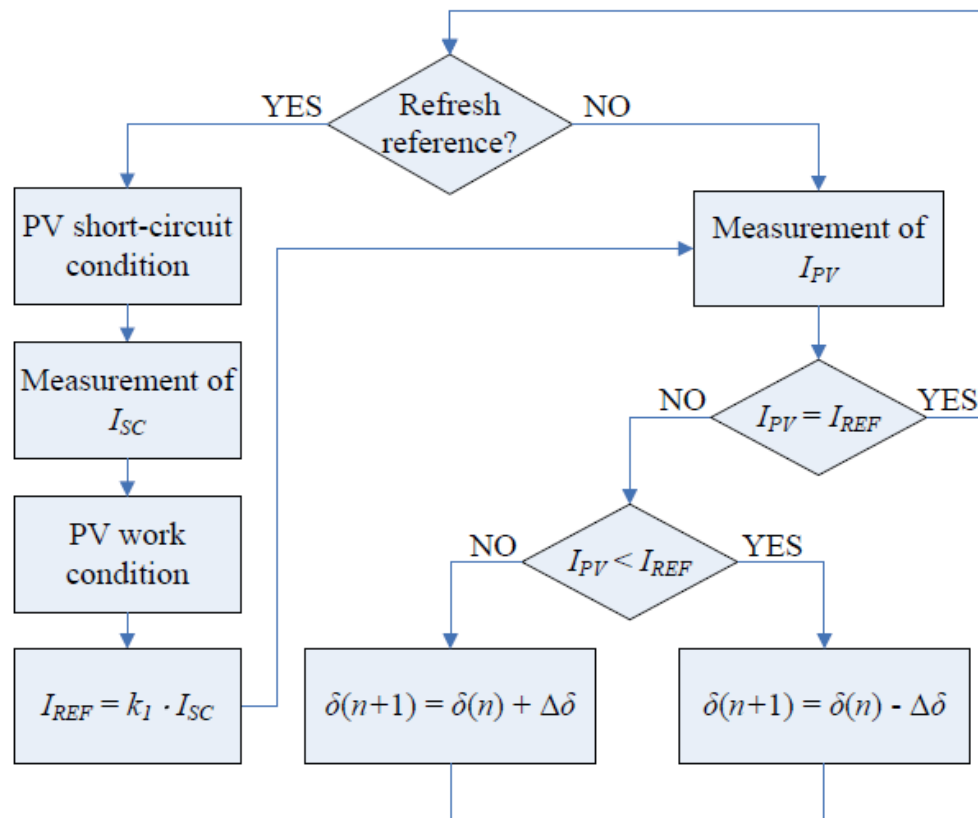
Algorytm stałego napięcia [Constant Voltage (CV)]



δ - cykl pracy
przetwornicy DC-DC

Maximum Power Point Tracking (MPPT)

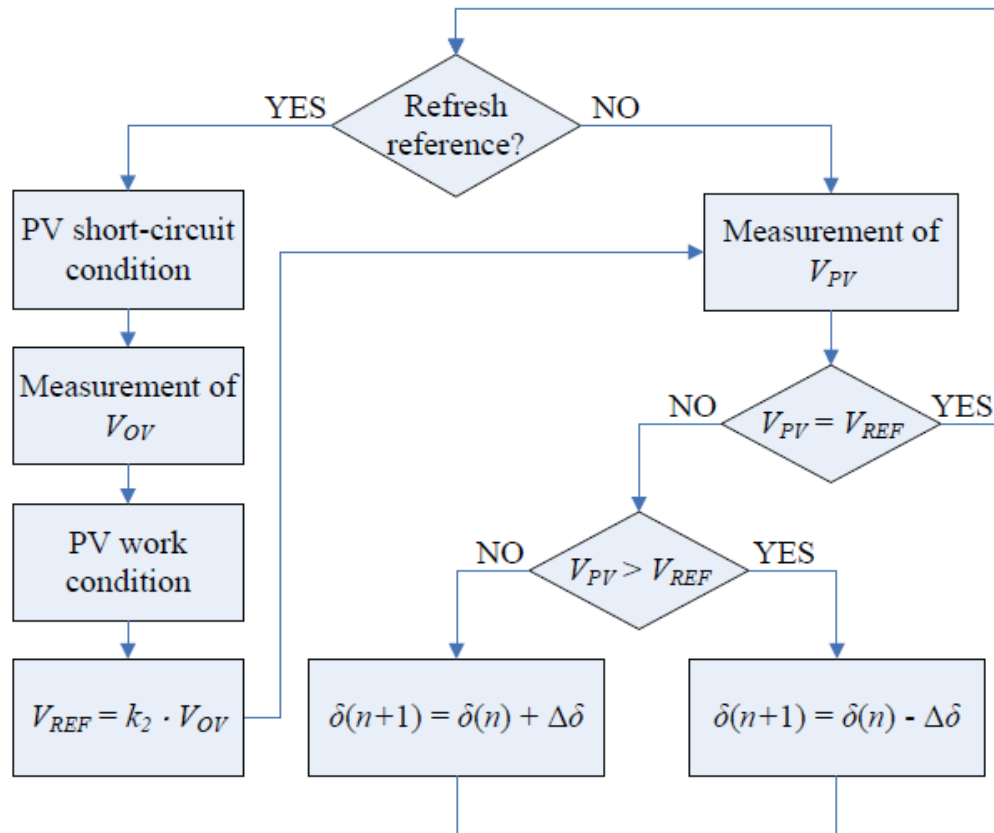
Algorytm prądu zwarciovego [Short-Current (SC)]



δ - cykl pracy przetwornicy DC-DC

Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Algorytm napięcia układu otwartego [Open Voltage (OV)]



δ - cykl pracy przetwornicy DC-DC

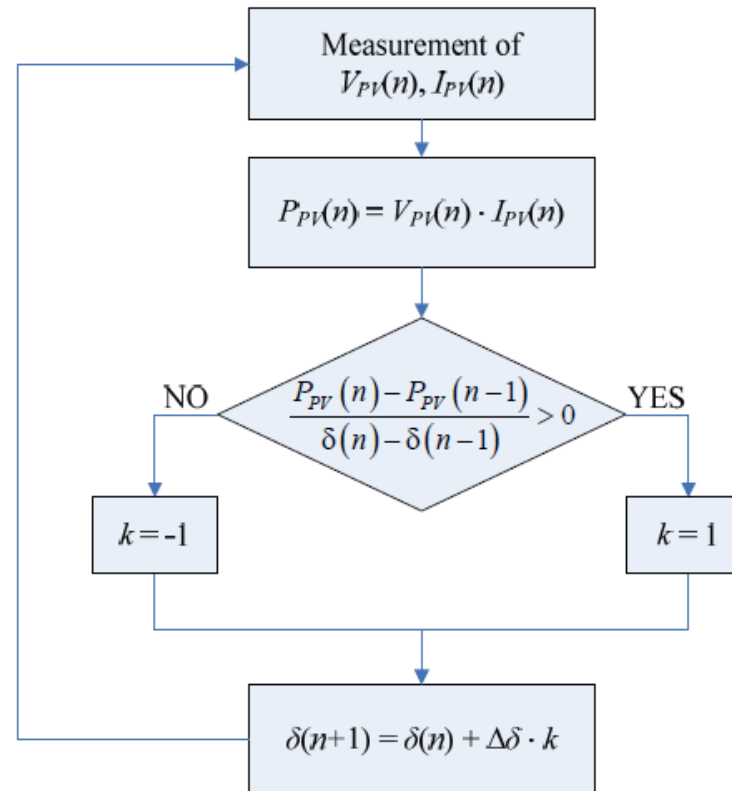
$$V_{REF} = k_2 \cdot V_{OV}$$

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

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

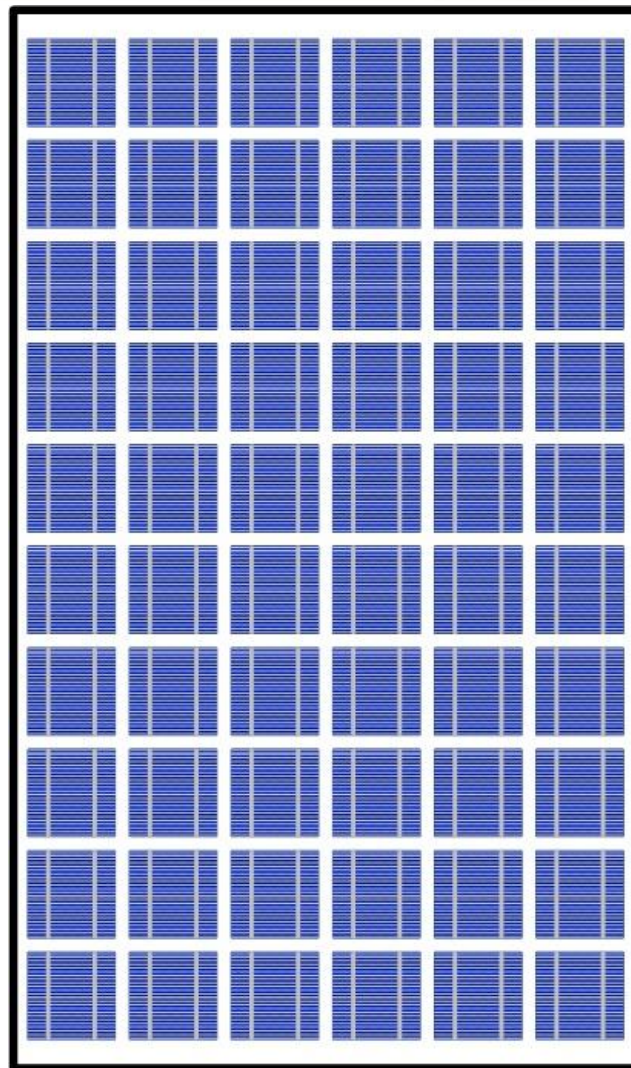
Maximum Power Point Tracking (MPPT)

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



δ - cykl pracy
przetwornicy DC-DC

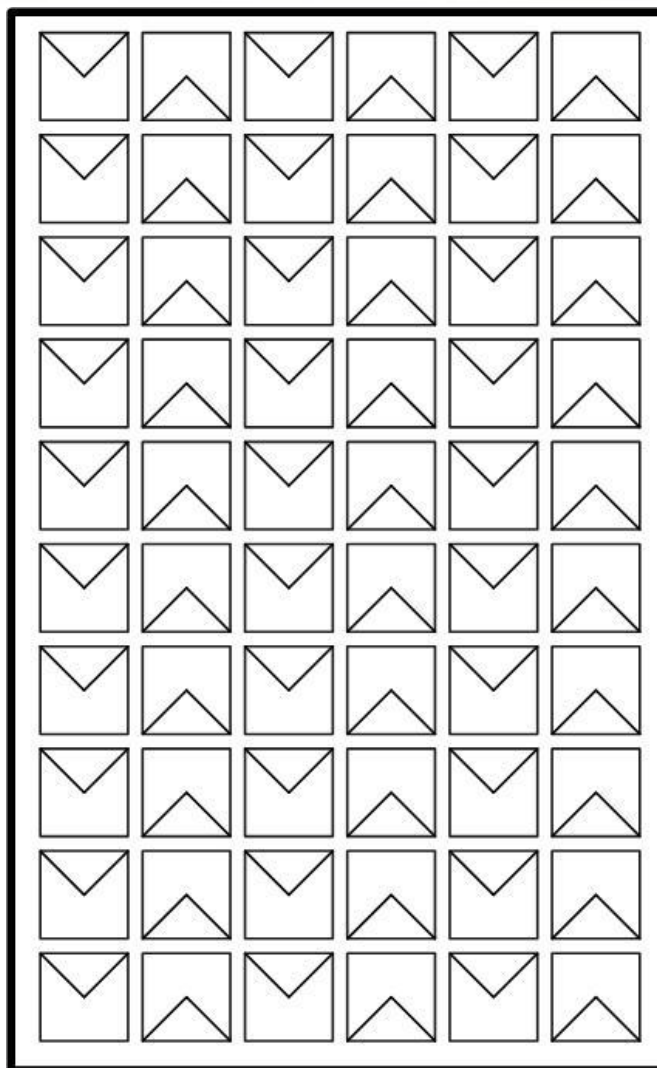
WEWNĘTRZNA BUDOWA MODUŁU PV KRZEM KRYSTALICZNY 60 OGNIW



ELEMENTARNE
FOTOOGNIWO



WEWNĘTRZNA BUDOWA MODUŁU PV KRZEM KRYSTALICZNY 60 OGNIW



SYMBOL
FOTOOGNIWA
LUB MODUŁU PV

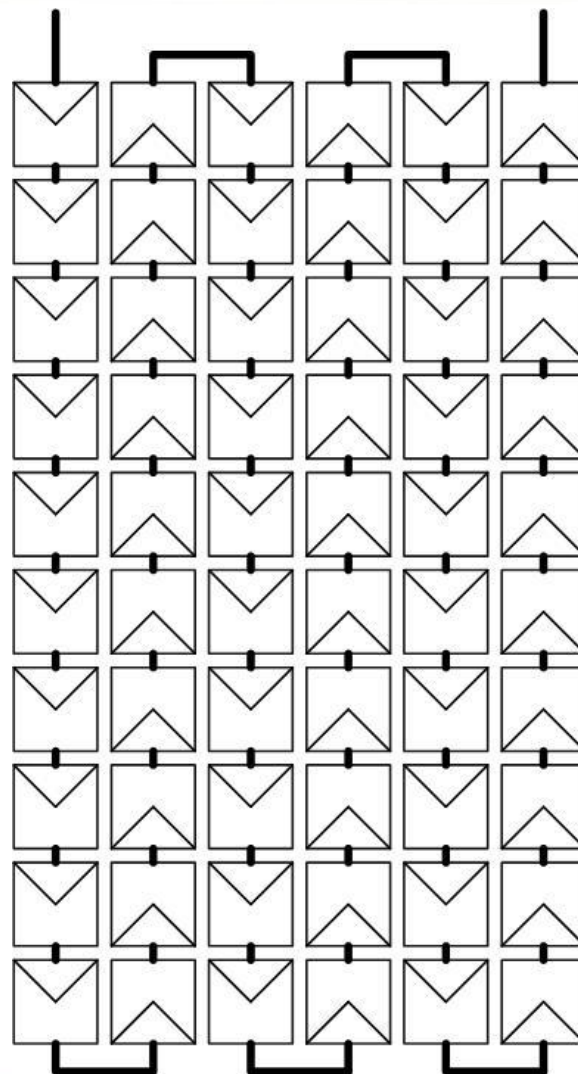


ANODA

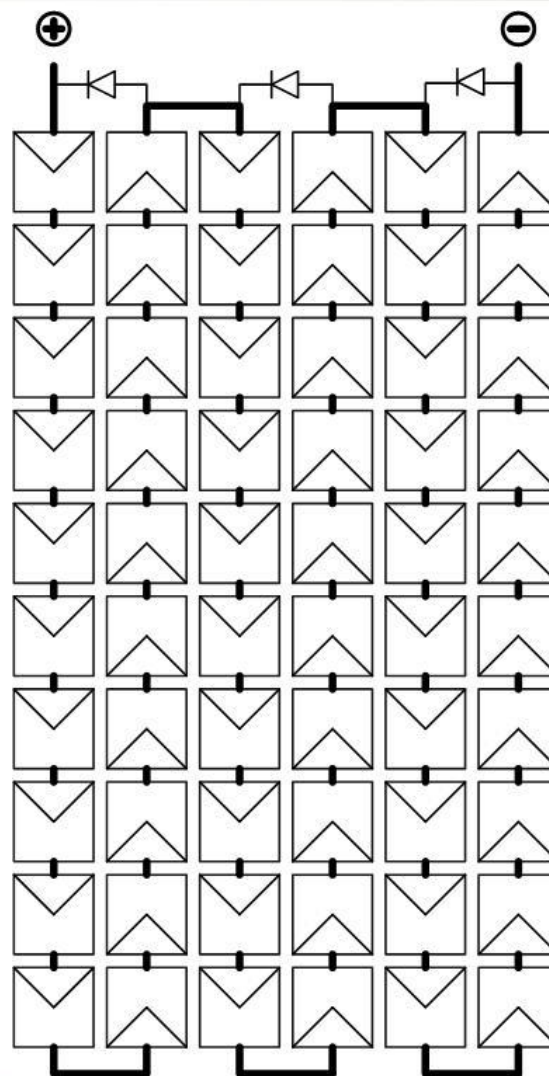


KATODA

WEWNĘTRZNA BUDOWA MODUŁU PV KRZEM KRYSTALICZNY 60 OGNIW



WEWNĘTRZNA BUDOWA MODUŁU PV KRZEM KRYSTALICZNY 60 OGNIW

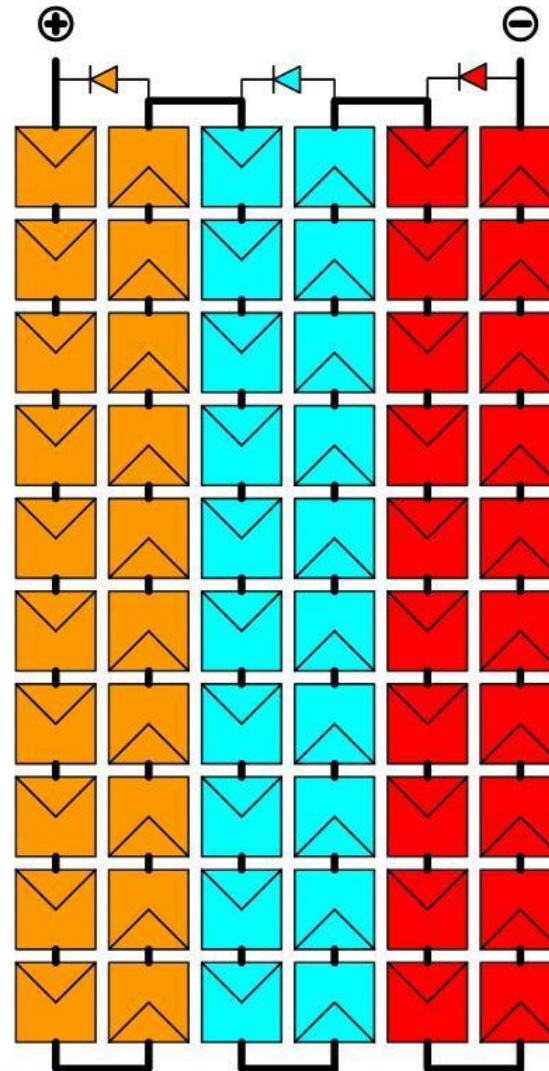


**DIODA
BYPASS**



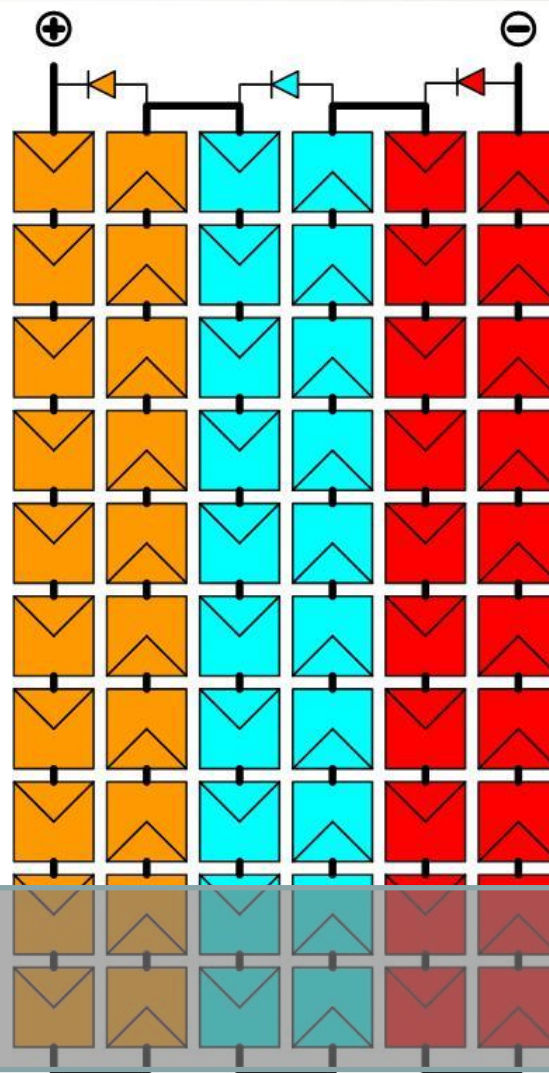
**POZWALA PRĄDOWI
„OMINAĆ”
ZACIENIONY
FRAGMENT MODUŁU**

WEWNĘTRZNA BUDOWA MODUŁU PV KRZEM KRYSTALICZNY 60 OGNIW



TRZY DIODY DZIELĄ
MODUŁ NA TRZY
SEGMENTY CZYLI
SUBSTRINGI

MODUŁ Z KRZMU KRYSTALICZNEGO MONTAŻ PIONOWY



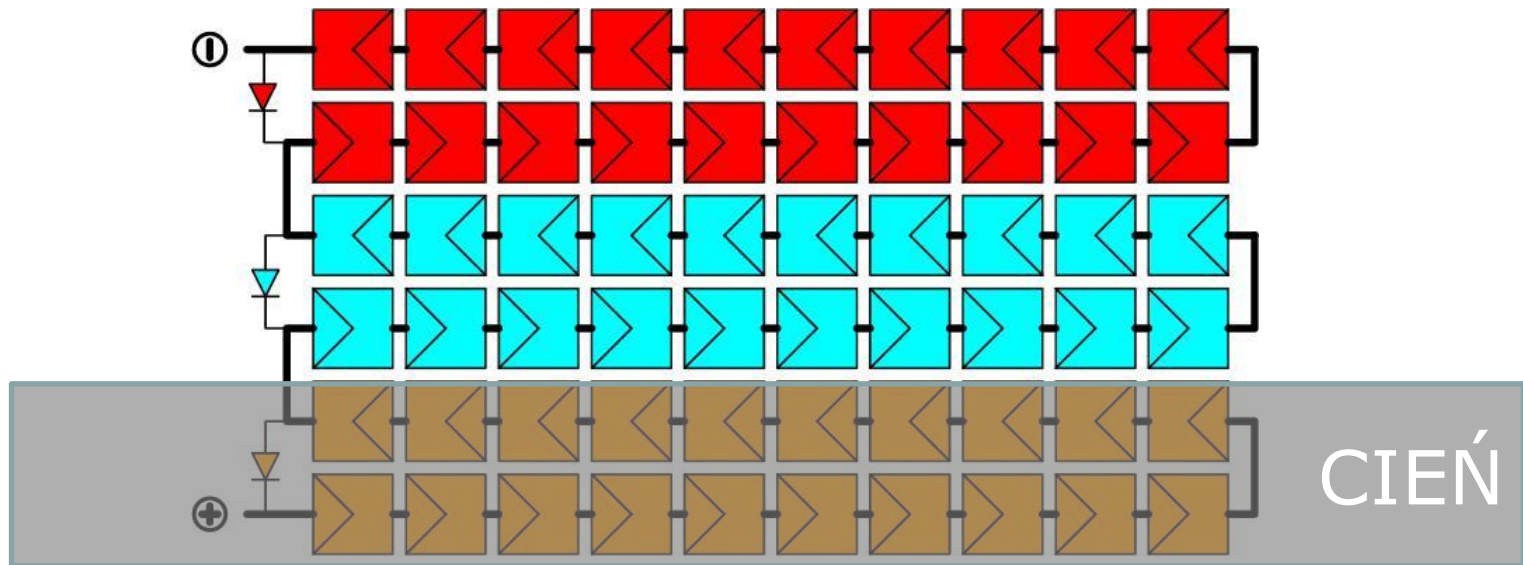
**BARDZO SILNY
WPŁYW
ZACIENIENIA**

**ZACIENIONE SĄ
WSZYSTKIE TRZY
SEGMENTY**

CIEŃ

MODUŁ Z KRZMU KRYSTALICZNEGO MONTAŻ POZIOMY

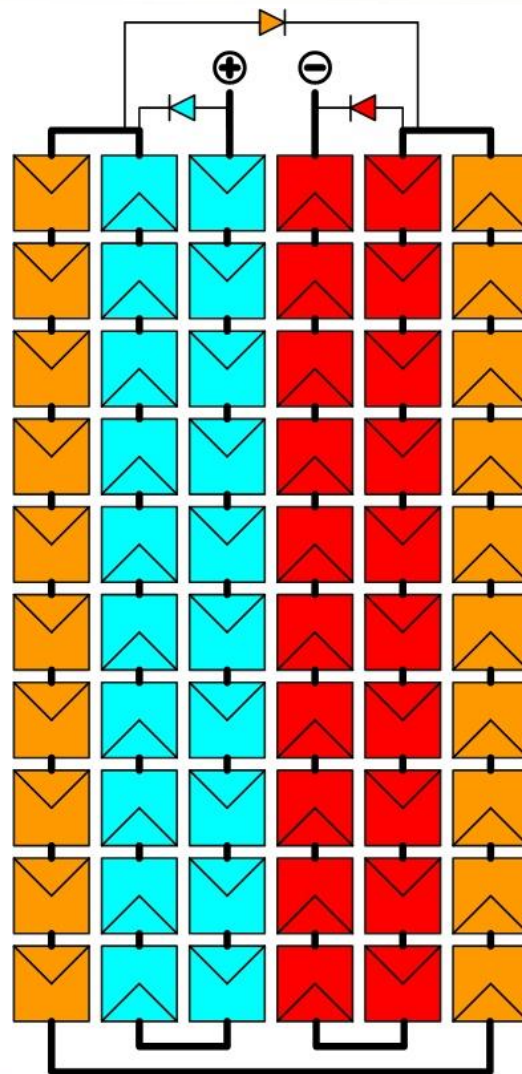
OGRANICZONY WPŁYW ZACIENIENIA



ZACIENIONY JEST TYLKO JEDEN SEGMENT

WEWNĘTRZNA BUDOWA MODUŁU PV KRZEM KRYSTALICZNY 60 OGNIW NIETYPOWE POŁĄCZENIE WEWNĘTRZNE

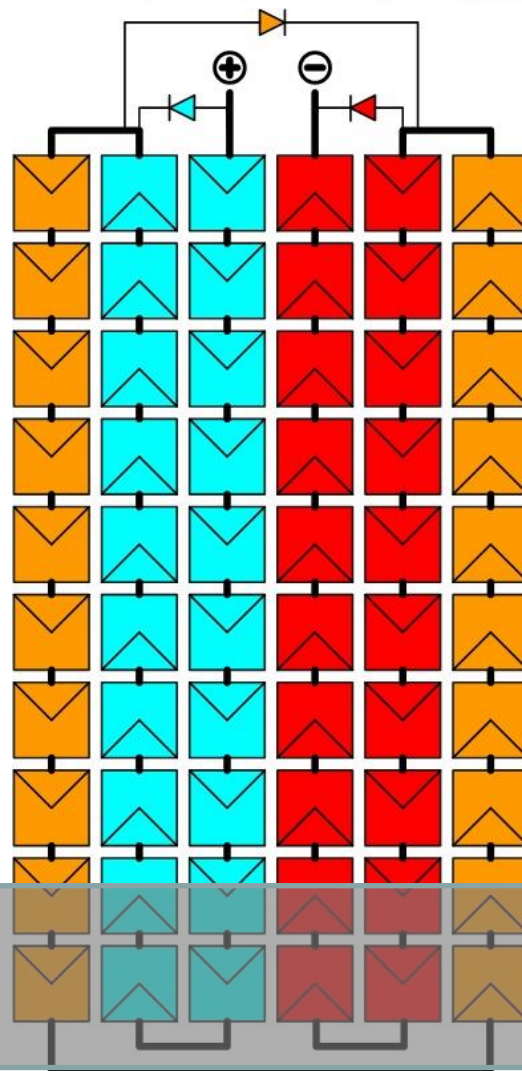
CONERGY
POWER PLUS 225 P



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**

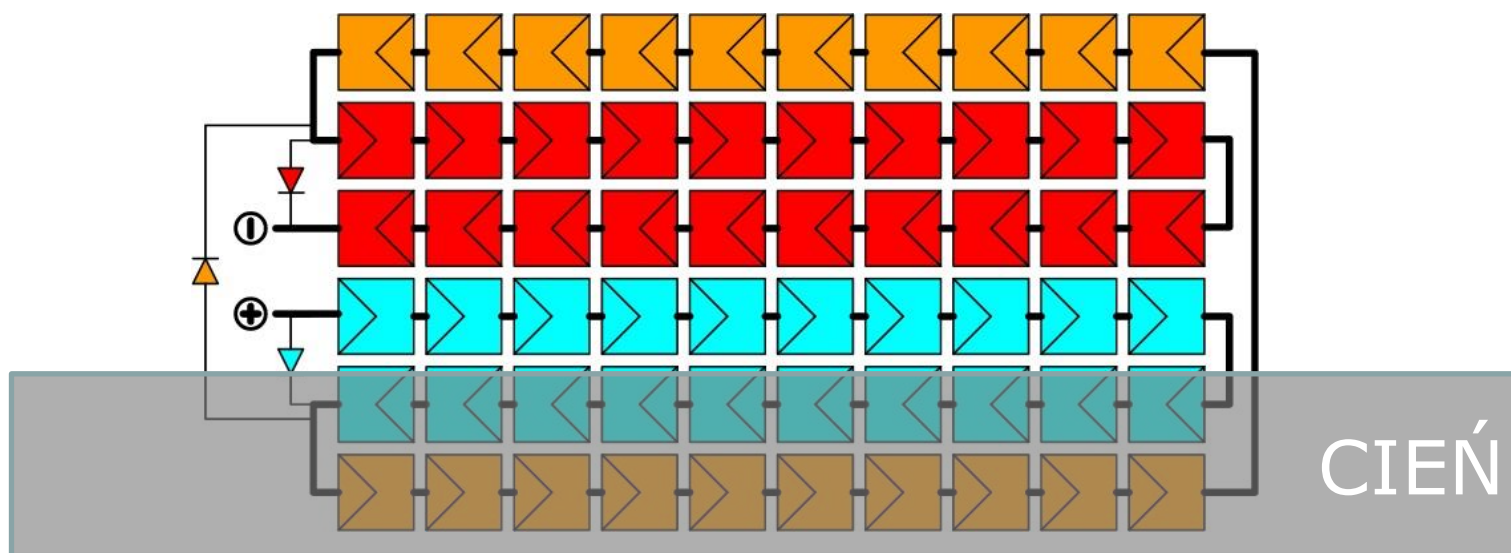
**ZACIENIONE SĄ
WSZYSTKIE TRZY
SEGMENTY**

CIEŃ

MODUŁ Z KRZMU KRYSTALICZNEGO NIETYPOWE POŁĄCZENIE WEWNĘTRZNE MONTAŻ POZIOMY

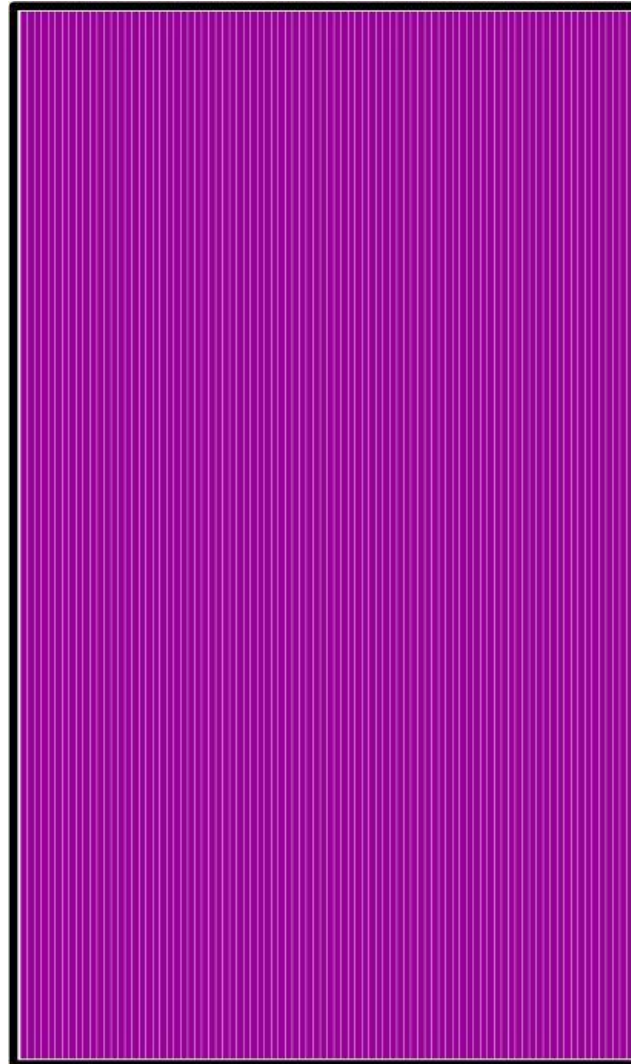
CONERGY
POWER PLUS 225 P

SILNY WPŁYW ZACIENIENIA

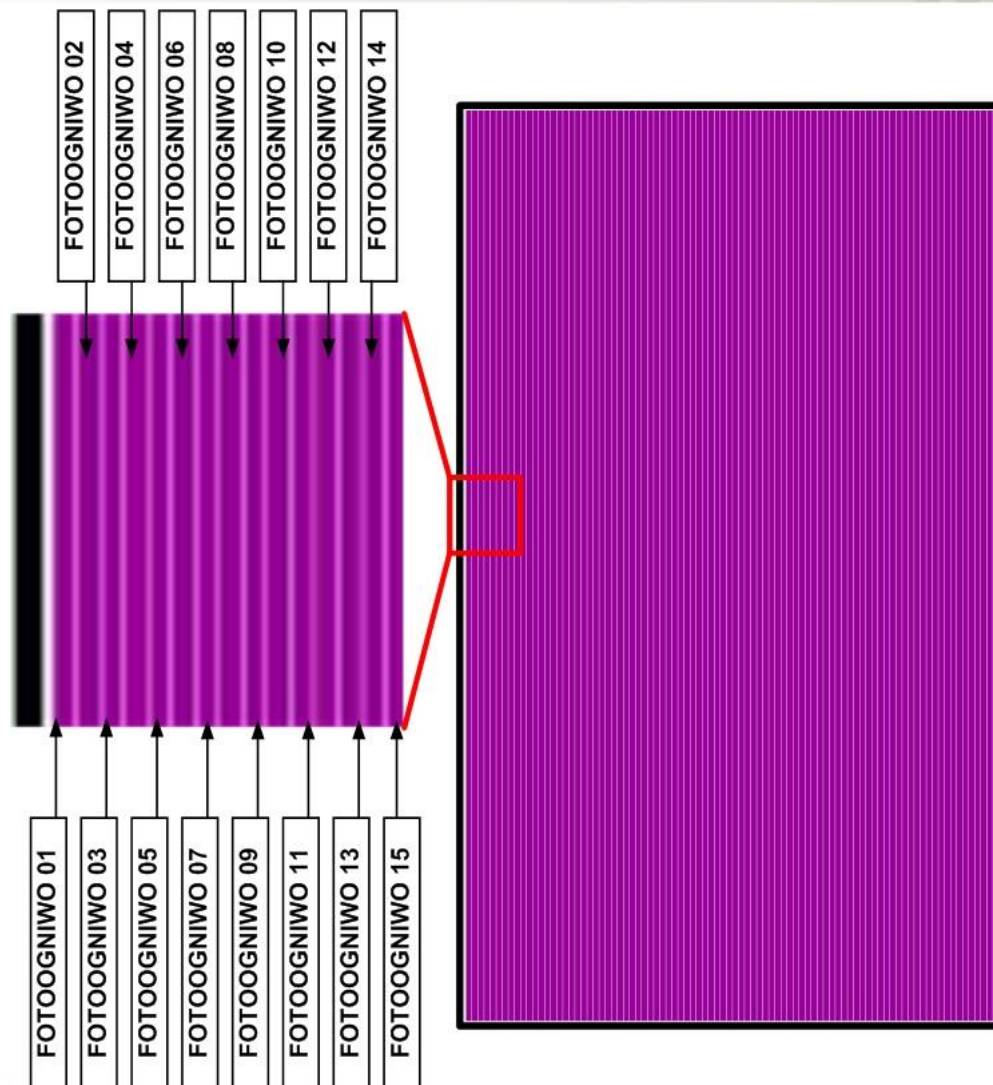


ZACIENIONE SĄ DWA SEGMENTY

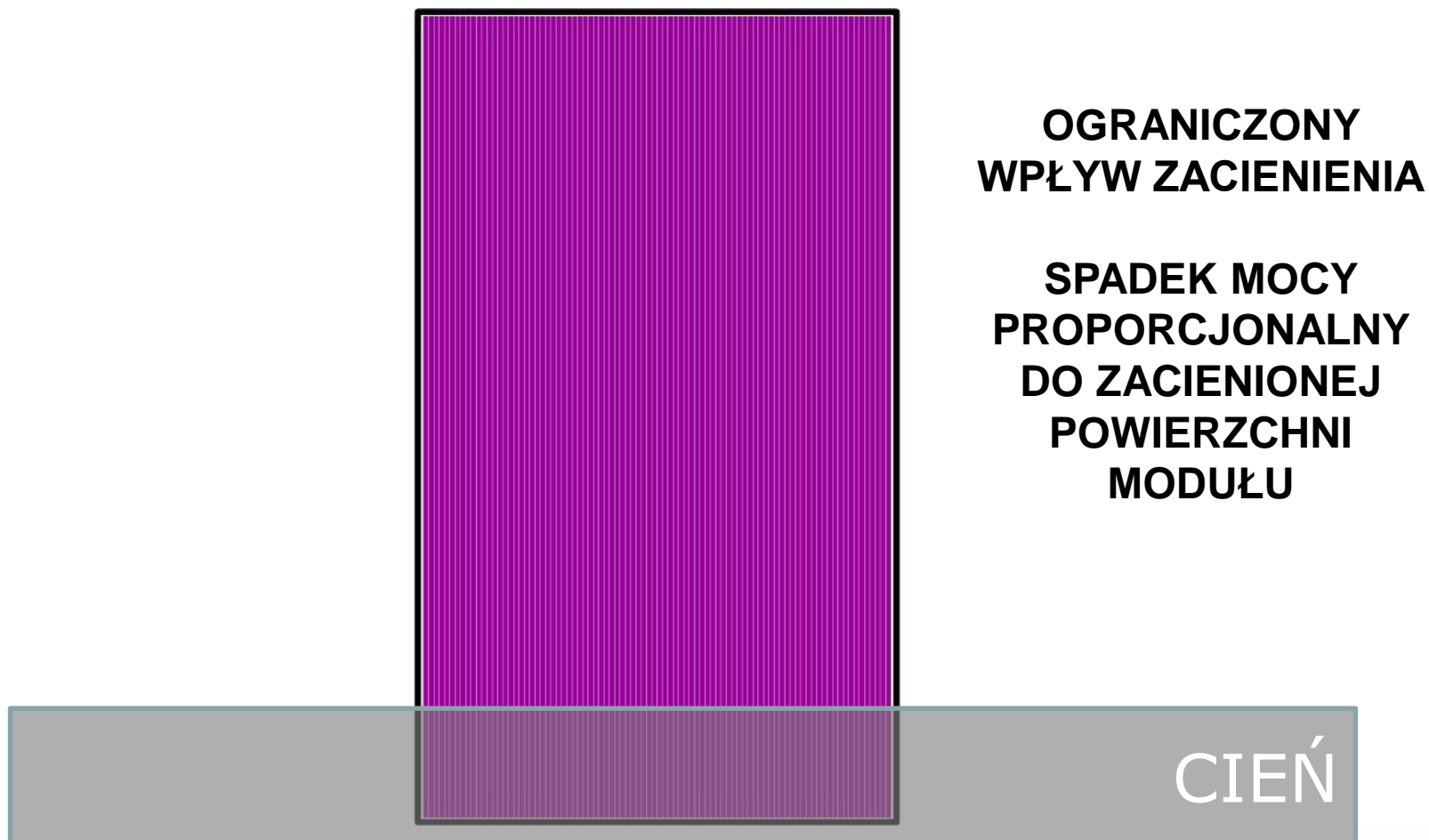
WEWNĘTRZNA BUDOWA MODUŁU PV TECHNOLOGIA CIENKOWARSTWOWA



WEWNĘTRZNA BUDOWA MODUŁU PV TECHNOLOGIA CIENKOWARSTWOWA

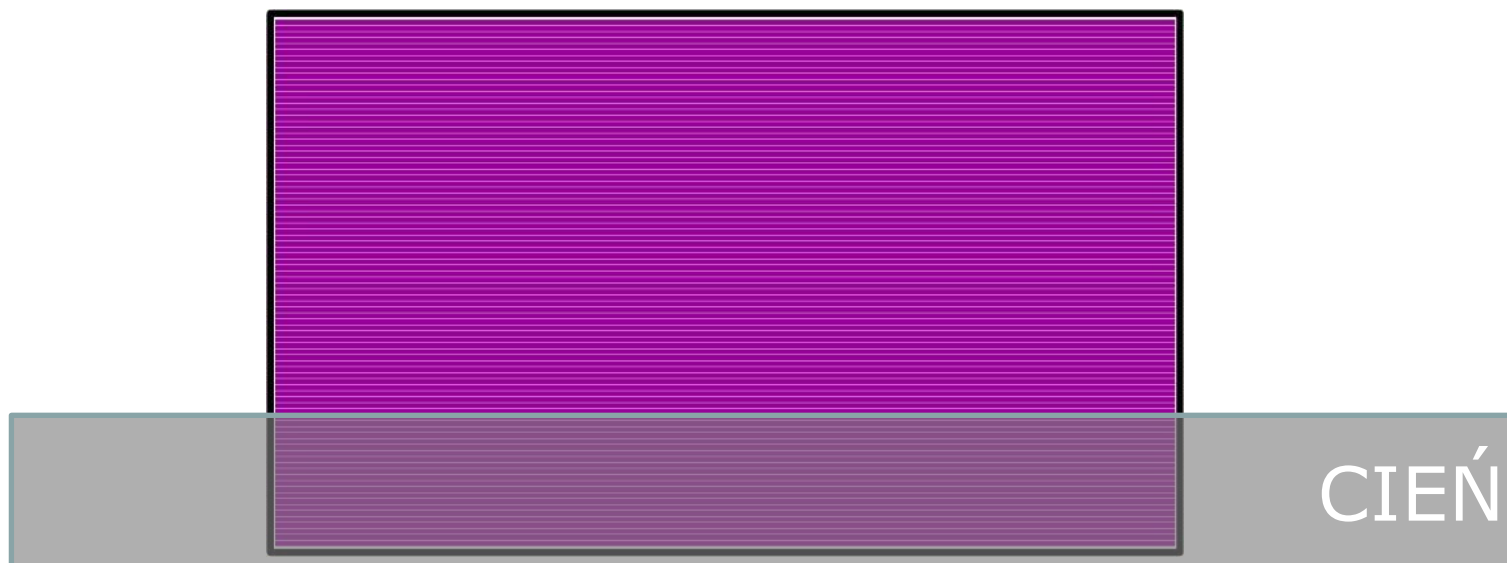


MODUŁ CIENKOWARSTWOWY MONTAŻ PIONOWY



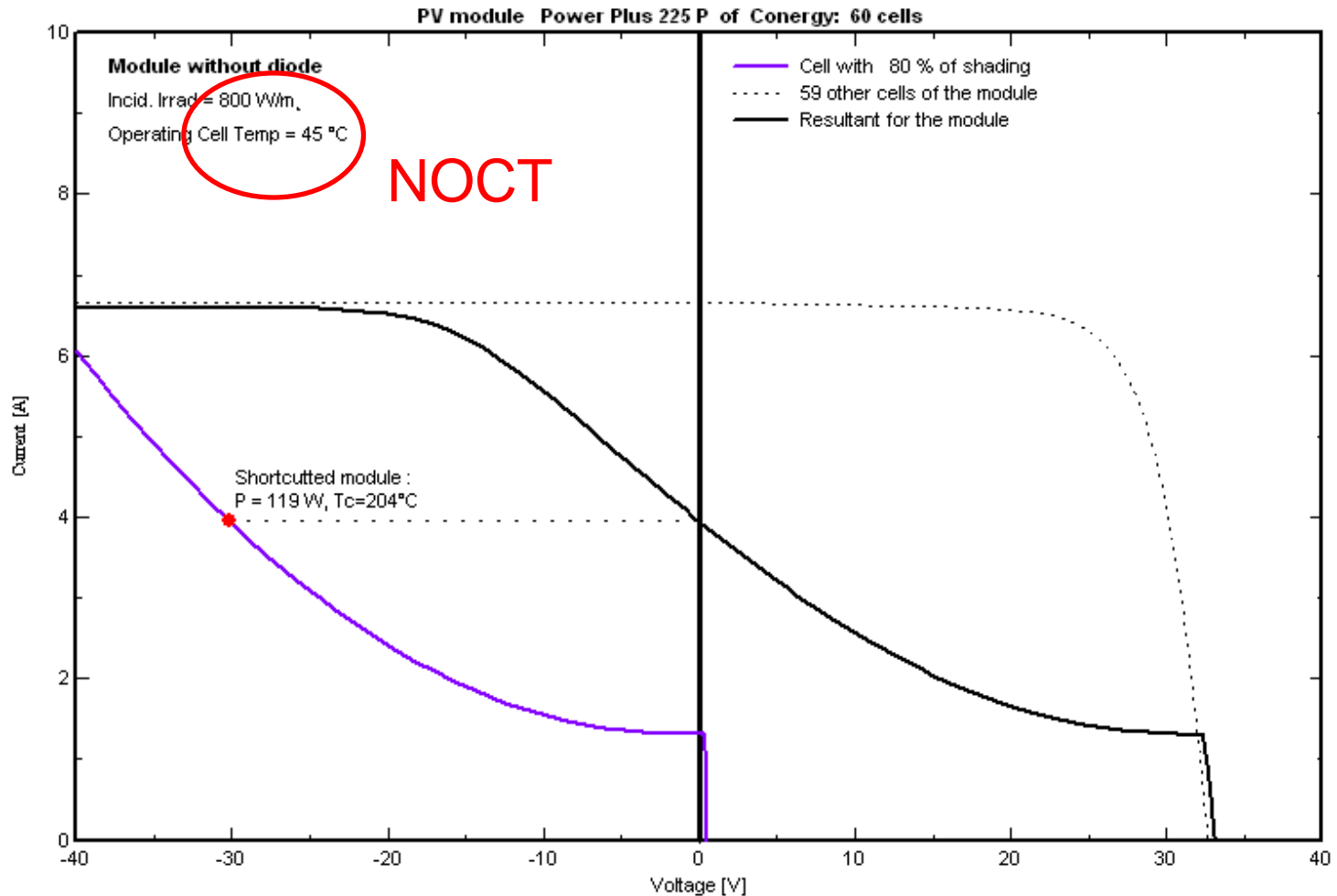
MODUŁ CIENKOWARSTWOWY MONTAŻ POZIOMY

OGRANICZONY WPŁYW ZACIENIENIA JEŚLI ZASTOSOWANO
DIODY BYPASS



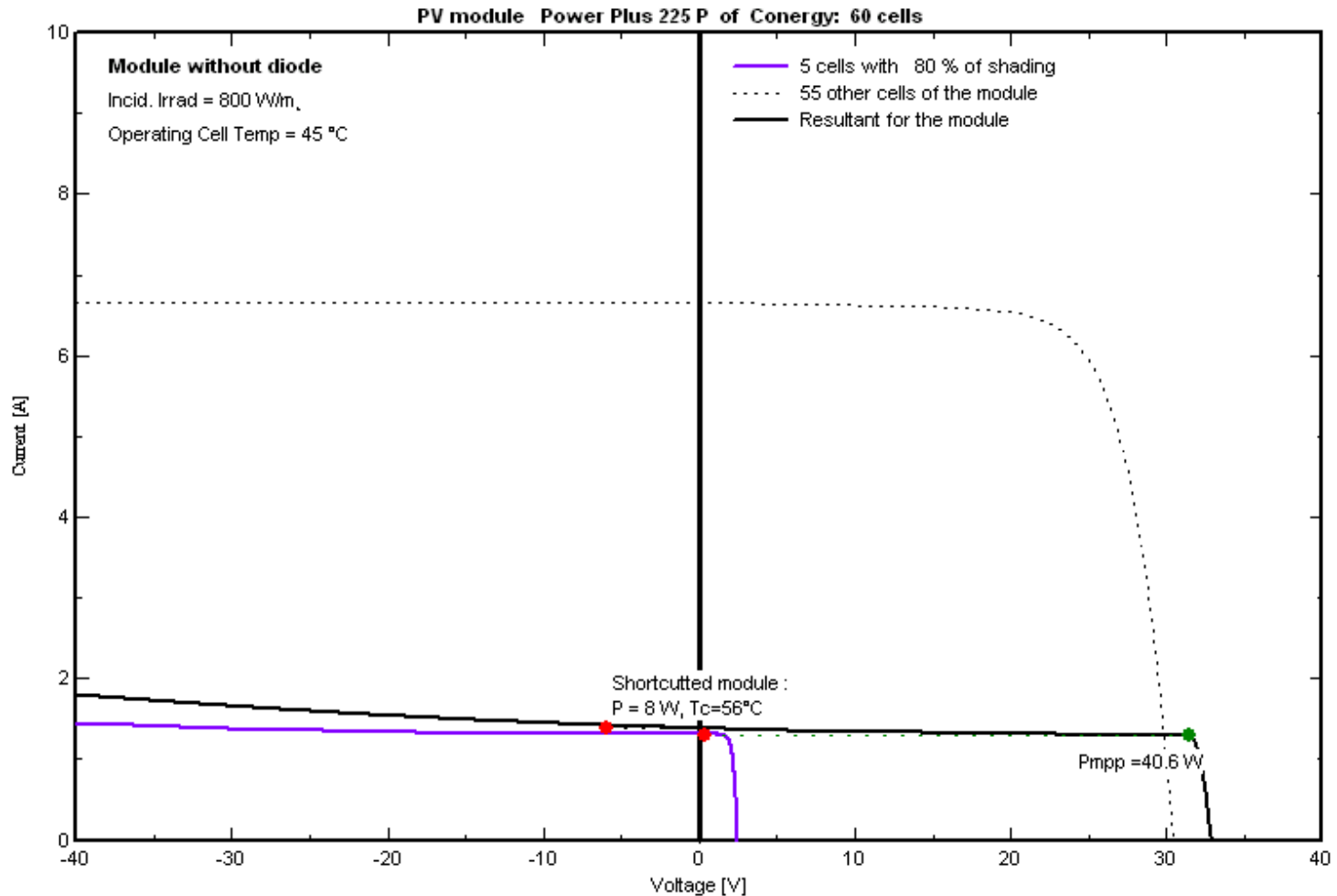
EFEKT CZĘŚCIOWEGO ZACIENIENIA

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



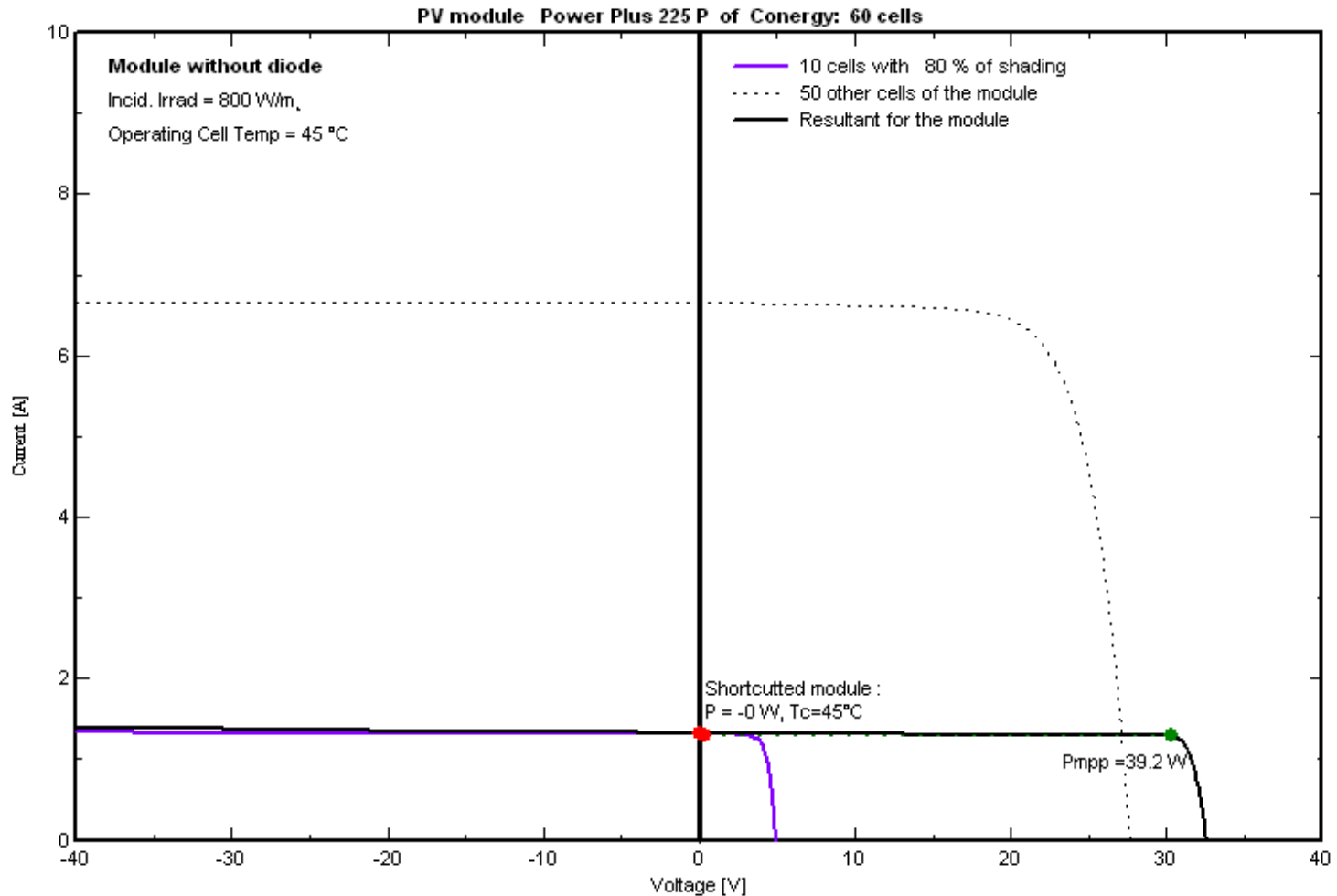
EFEKT CZĘŚCIOWEGO ZACIENIENIA

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



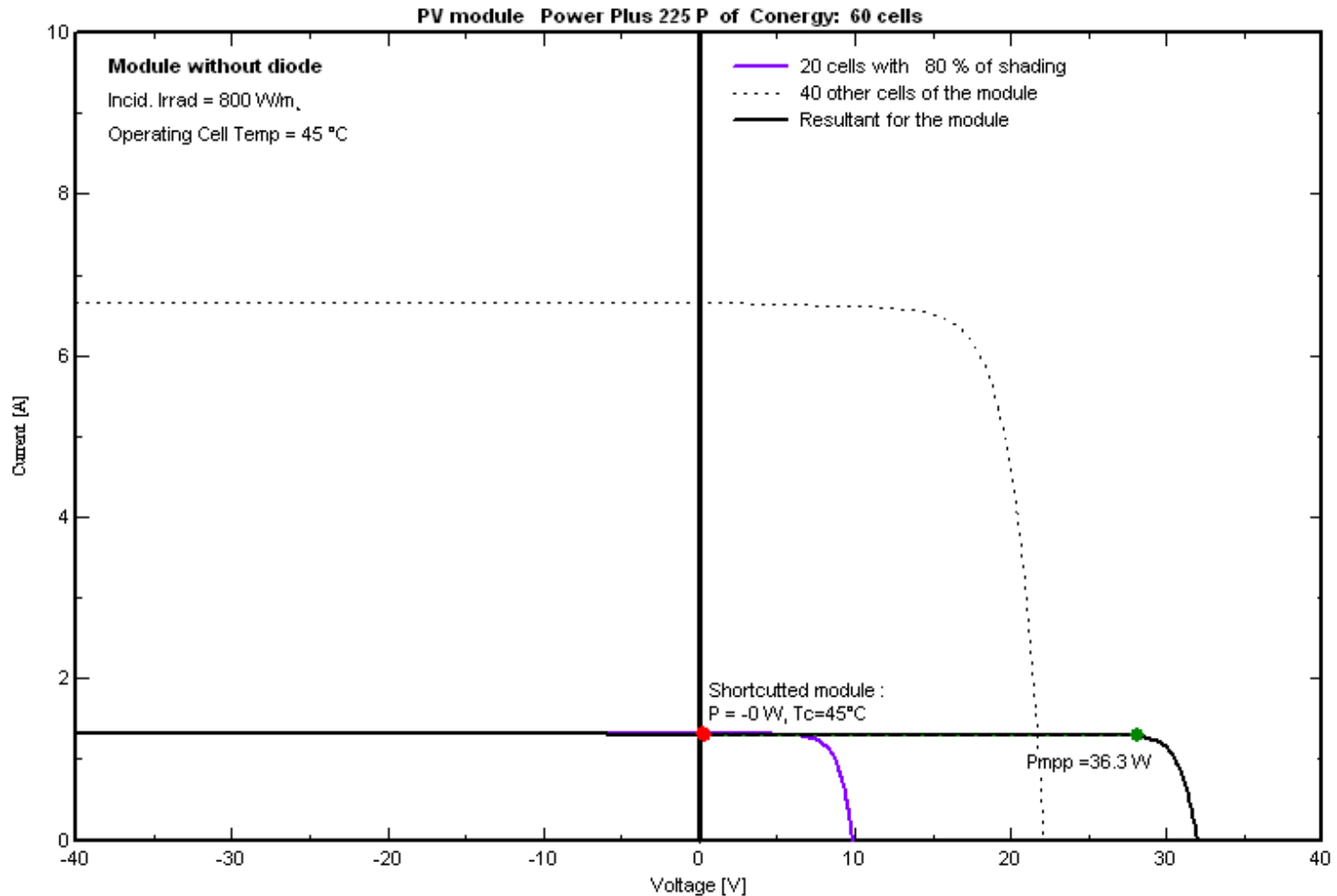
EFEKT CZĘŚCIOWEGO ZACIENIENIA

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



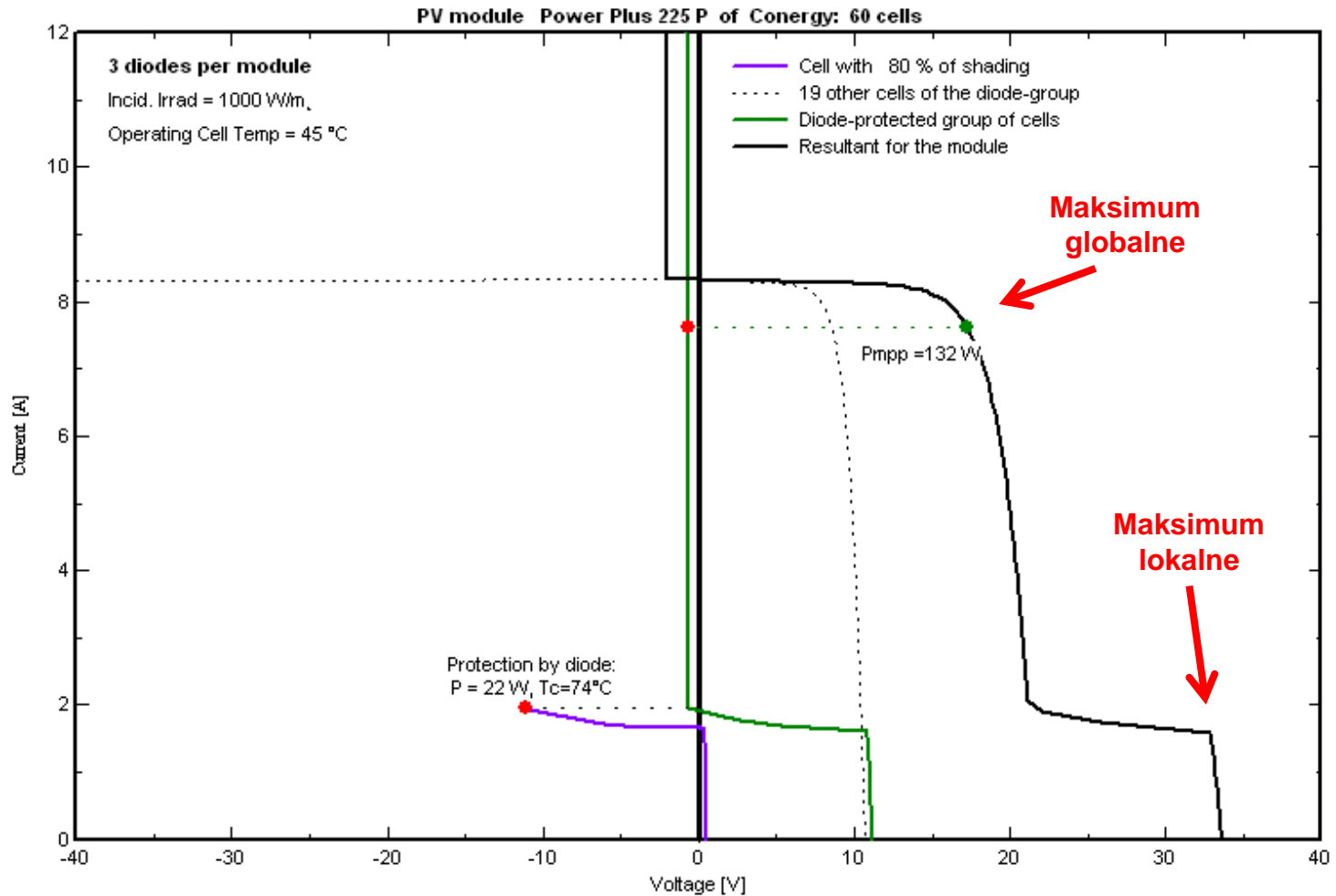
EFEKT CZĘŚCIOWEGO ZACIENIENIA

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



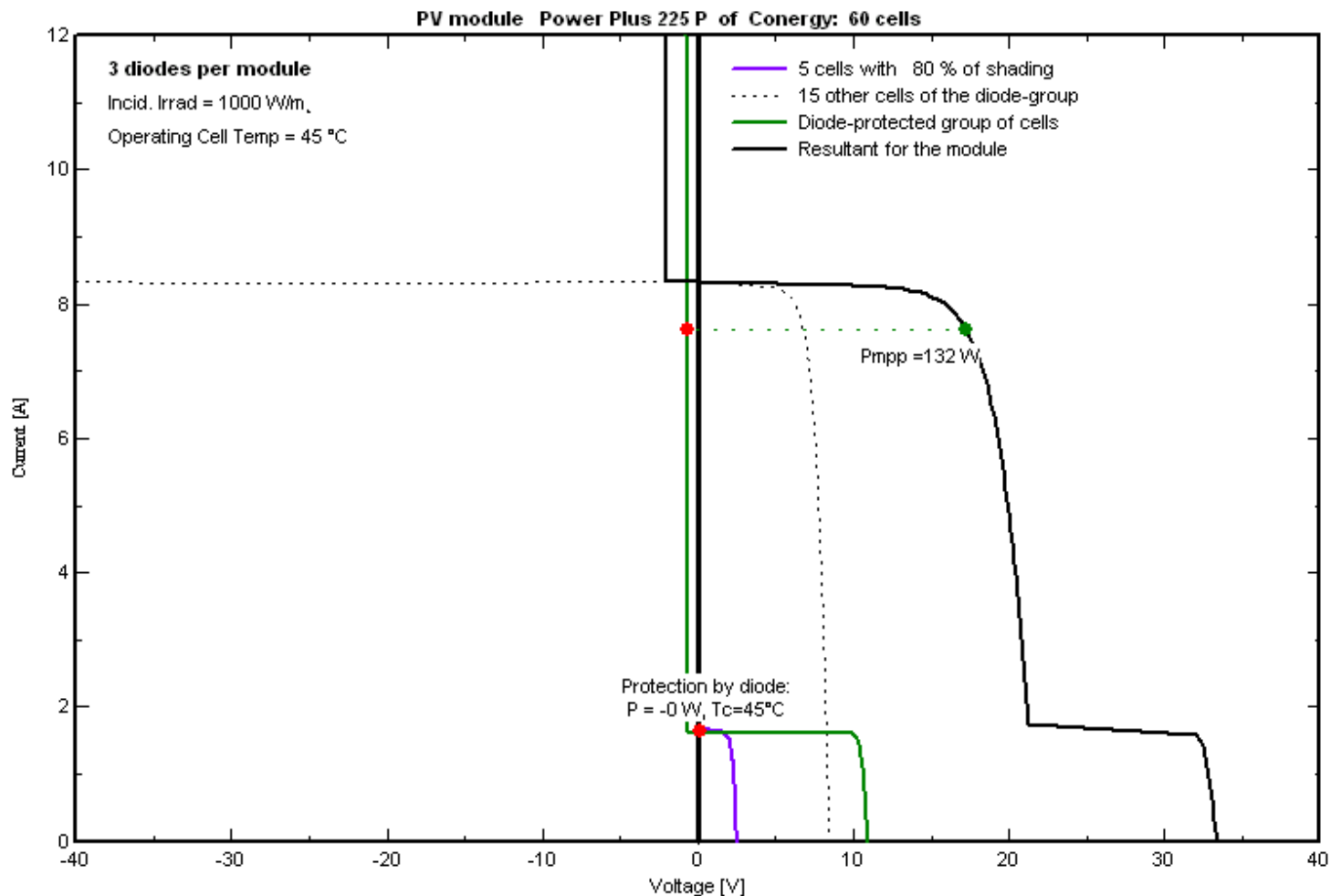
EFEKT CZĘŚCIOWEGO ZACIENIENIA

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



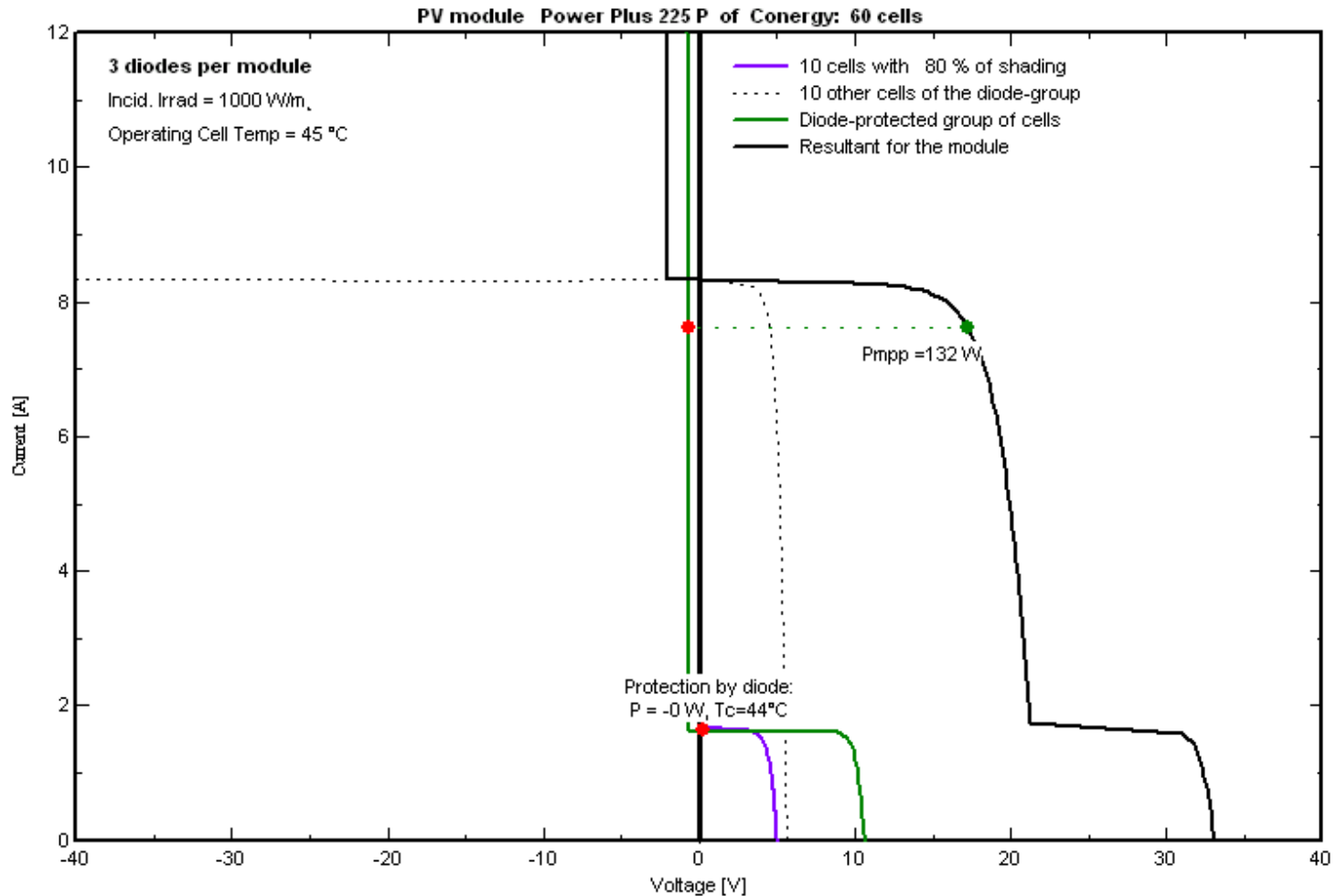
EFEKT CZĘŚCIOWEGO ZACIENIENIA

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



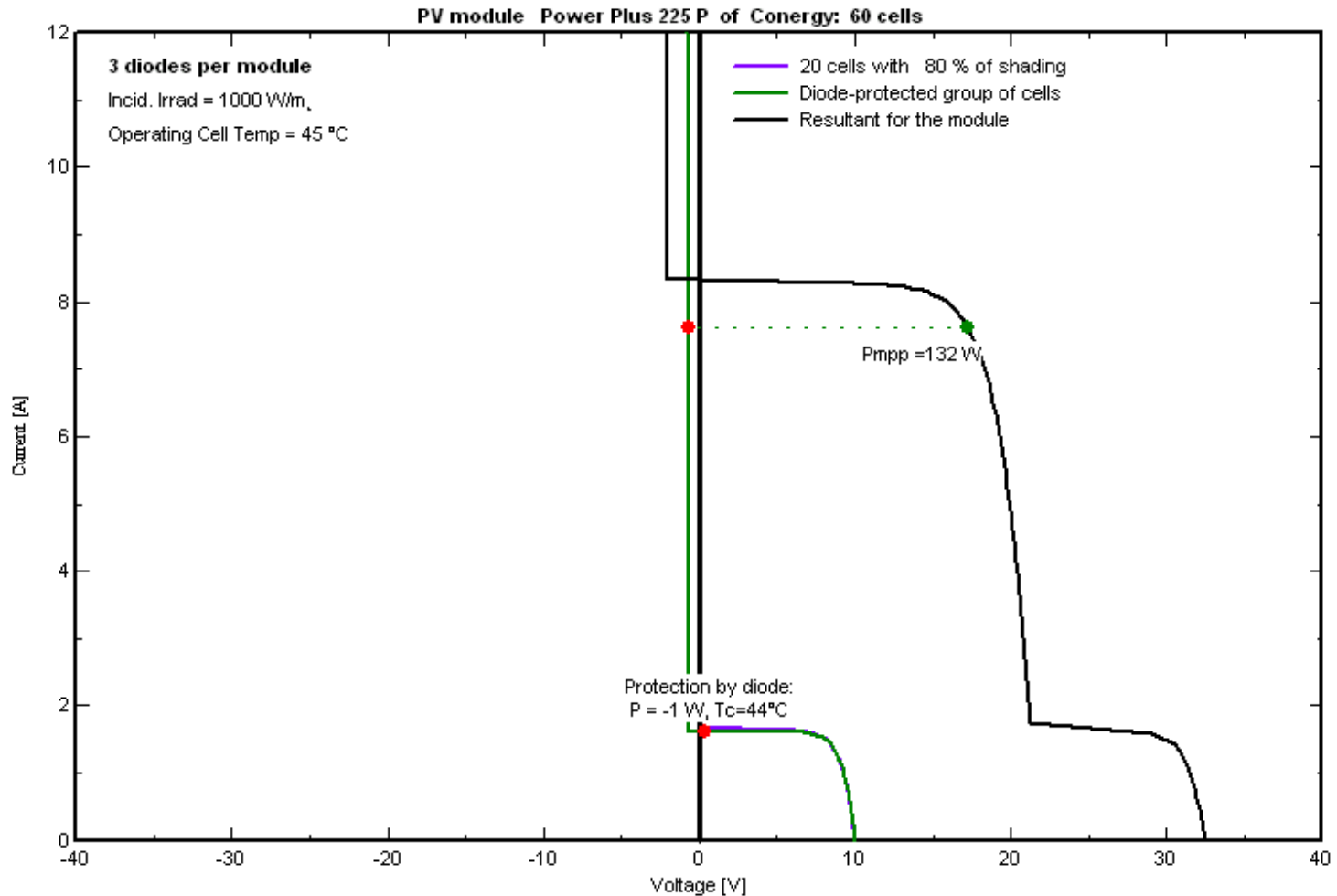
EFEKT CZĘŚCIOWEGO ZACIENIENIA

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 !!!

