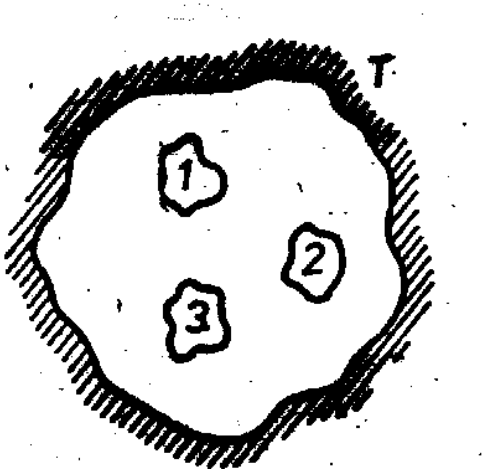
Wykład II

Widmo promieniowania słonecznego

Prawo Kirchhoffa

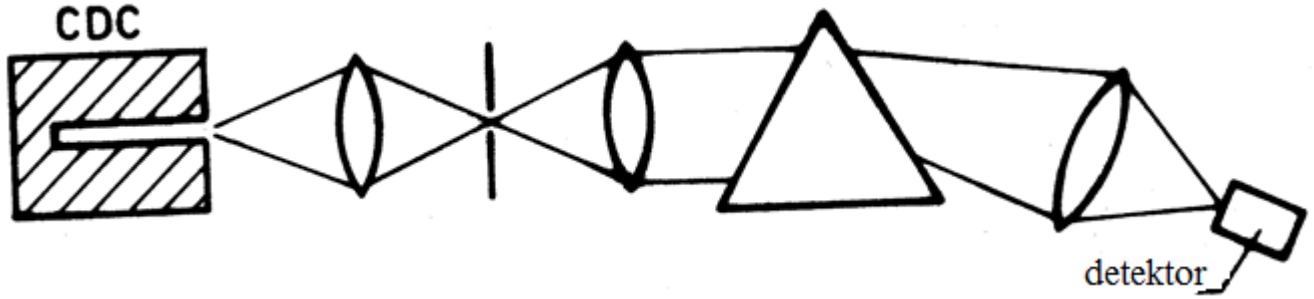


Stosunek spektralnej zdolności emisyjnej $e_\lambda(\lambda, T)$ do spektralnej zdolności absorpcyjnej $a_\lambda(\lambda, T)$ ciał jest taką samą funkcją długości fali i temperatury, niezależną od rodzaju ciała:

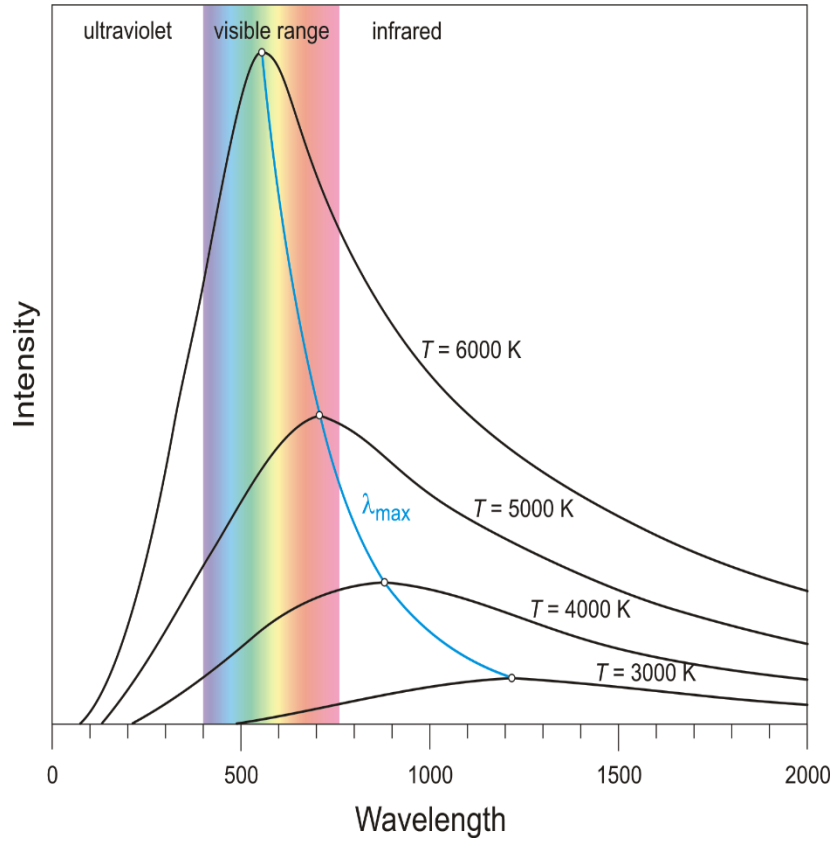
$$\frac{e_\lambda(\lambda, T)}{a_\lambda(\lambda, T)} = f(\lambda, T)$$

Dla CDC, $a_\lambda(\lambda, T) = 1$ i zgodnie z prawem Kirchoffa zdolność emisyjna CDC jest poszukiwaną funkcją $f(\lambda, T)$.

Układ do pomiaru f (λ,T)



$I \sim e(\lambda, T)$



Prawa promieniowania CDC

- **Prawo Plancka**

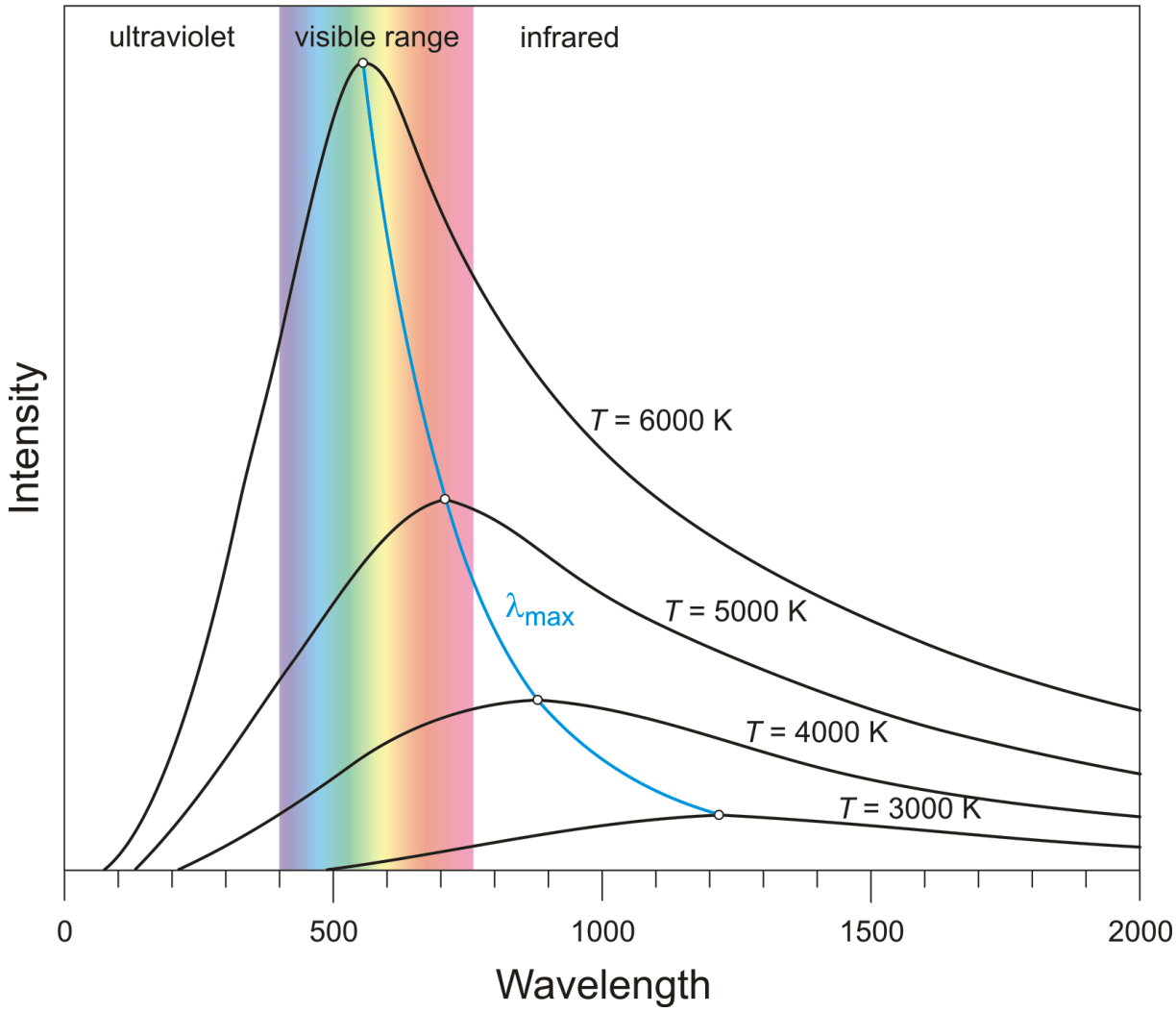
$$e(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

- **Prawo Stefana-Boltzmanna:**

$$\mathbf{M}(T) = \int_0^\infty e(\lambda, T) d\lambda = \sigma(T^4 - T_0^4)$$

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

– stała Stefana-Boltzmanna



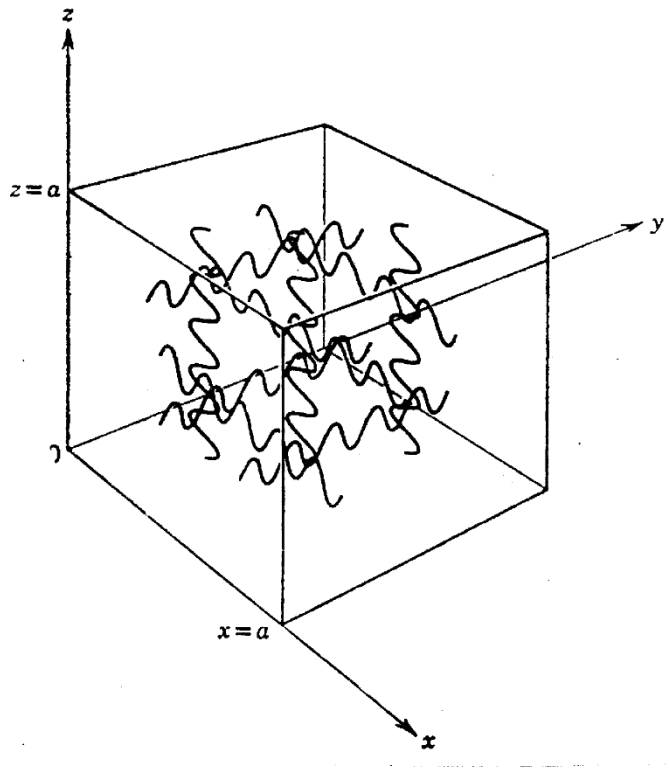
- **Prawo Wiena:** $\lambda_{max} \cdot \mathrm{T} = 2898\ \mu\mathrm{m\ K}$

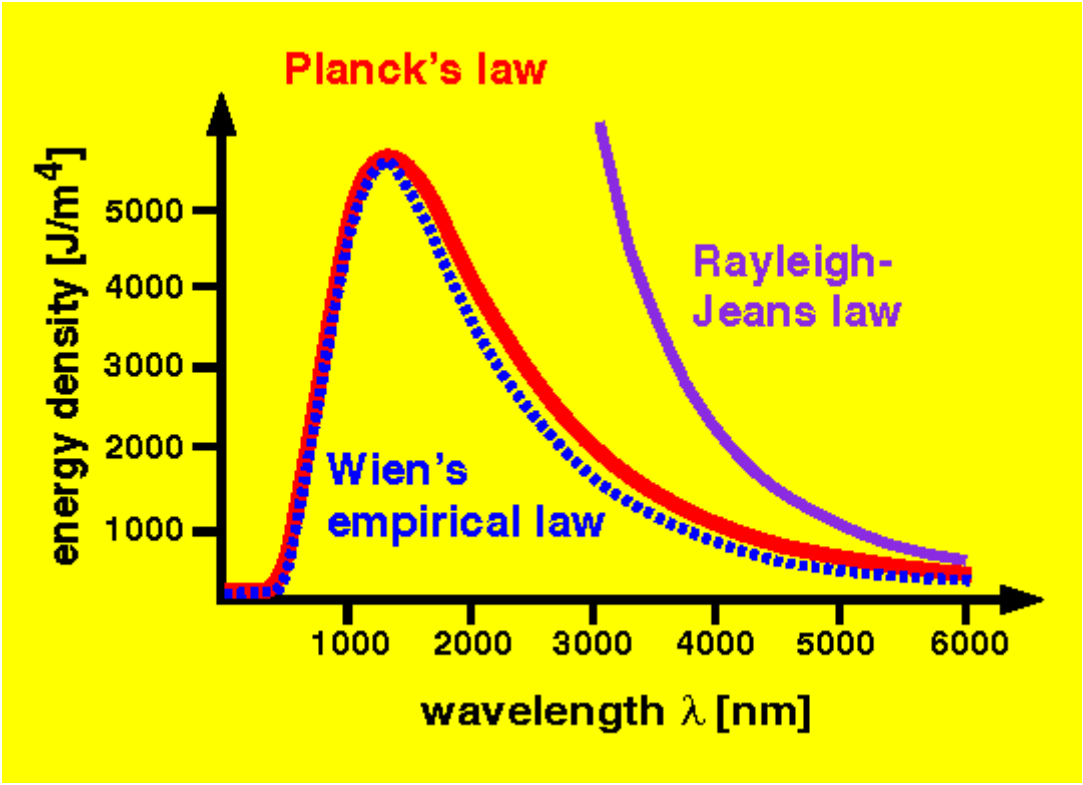
Prawo Wiena

$$\lambda_{max} \cdot T = 2898 \cdot 10^{-6}\ m \cdot K = 2898 \cdot \mu m \cdot K$$

Temperatura °K	Temperatura °C	Długość fali [μm]	Emiter
273	0	11	lód
373	100	8	wrząca woda
473	200	6,3	kolba do lutowania
573	300	5,2	żelazko do prasowania
773	500	3,9	gorące żelazo
1 273	1 000	2,3	grzejnik Ni-Cr
2 848	2 575	1,0	włókno wolframowe
3 000	2 727	0,97	żarówka samochodowa

Prawo Plancka

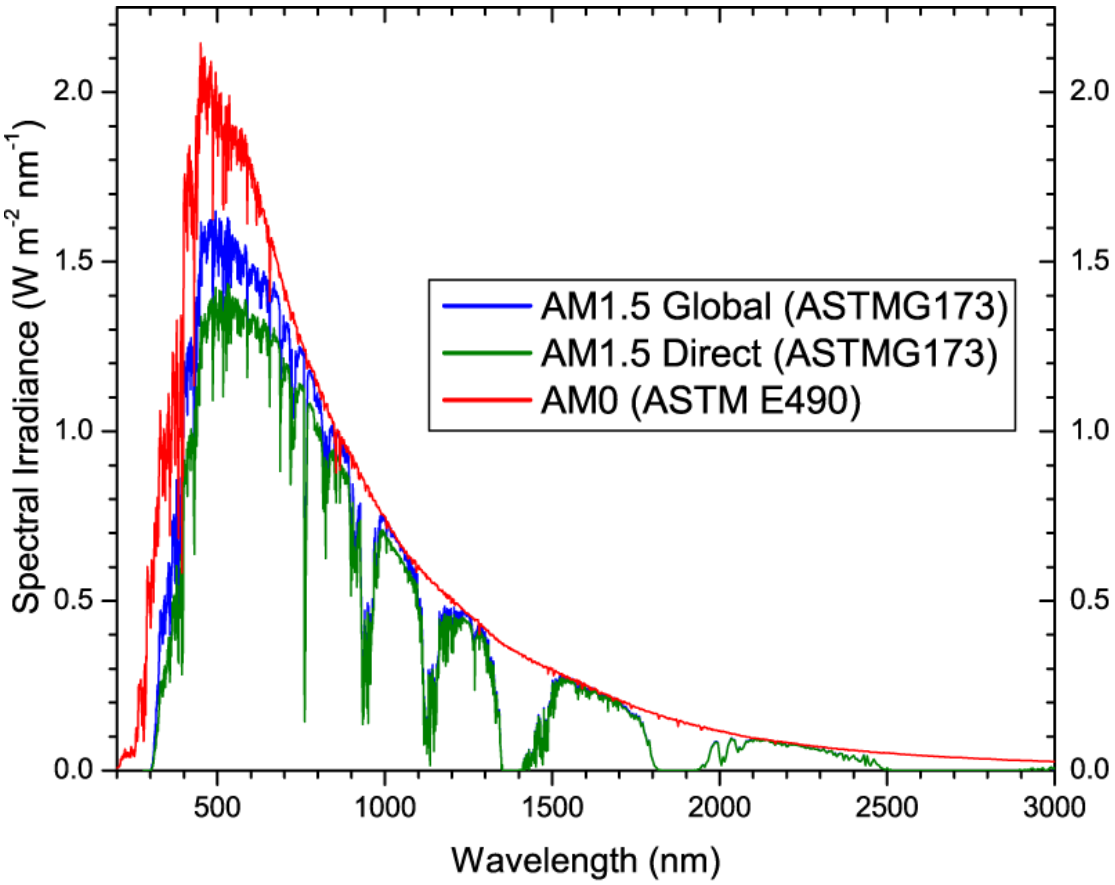




Postulat Plancka (1900r – narodziny mechaniki kwantowej):

$$\varepsilon_n = nh\nu \qquad n = 1,2,3...$$

Widmo Słońca



Spectral irradiance – spektralne natężenie napromieniowania

ASTM - American Society for Testing and Materials

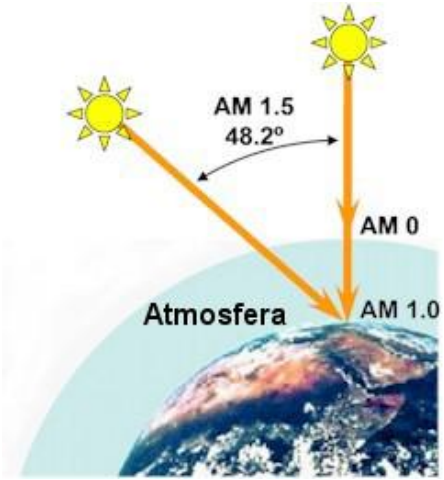
SMARTS: Simple Model of the Atmospheric Radiative Transfer of Sunshine

ASTM

Standardowe rozkłady spektralne napromieniowania słonecznego Ziemi zostały opracowane przez Amerykańskie Towarzystwo ds. Testowania i Materiałów (ASTM), we współpracy z przedstawicielami przemysłu PV, oraz laboratoriami rządowymi:

- **ASTM 1.5 Global - rozkład spektralny standardowy całkowitego natężenia napromieniowania na płaską powierzchnię (pole widzenia π); całkowite natężenie $\frac{1000W}{m^2}$**

- **ASTM 1.5 Direct - rozkład spektralny standardowy składowej prostopadłej natężenia + otoczenie Słońca (średnica dysku $5°$, bez centrum Słońca o średnicy $0.5°$); całkowite natężenie $\frac{900W}{m^2}$.**



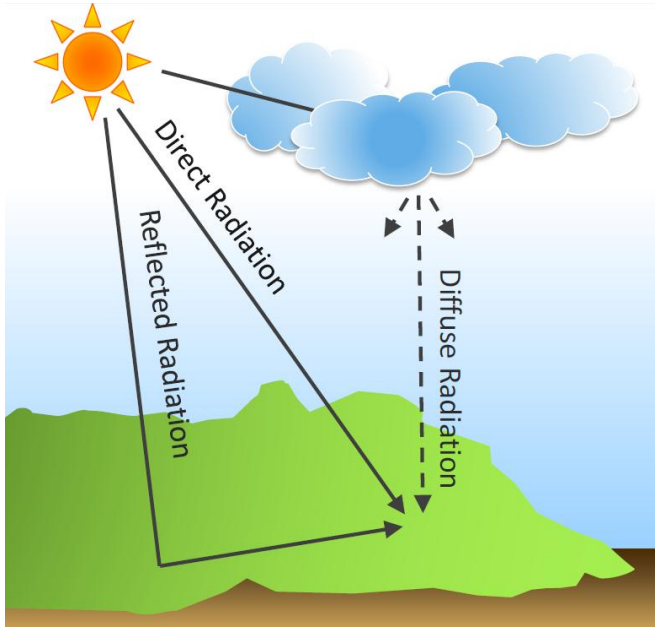
Standardowe warunki

Ogniwa słoneczne i moduły fotowoltaiczne są produkowane przez wiele różnych firm i laboratoriów. Stosowane są różnorodne technologie wytwarzania fotoogniw. Dlatego jest niezmiernie ważne aby zdefiniować warunki, które umożliwią porównanie różnych ogniw słonecznych i modułów fotowoltaicznych. Warunki te zwane są warunkami standardowymi (ang. Standard Test Conditions STC), dla których przyjęto:

- **Spektrum źródła światła AM1.5 i temperatura ogniwa 25°C. Spektrum AM1.5 jest zdefiniowane przez International Standard IEC 60904-3*. To spektrum jest mierzone gdy kąt względem zenitu wynosi 48.19°, przy czym brane jest pod uwagę światło słoneczne padające bezpośrednio, rozproszone oraz albedo. To ostatnie stanowi tę część promieniowania, która została odbita przez Ziemię.**
- **Całkowite natężenie napromieniowania spektrum AM1.5 wynosi 1000 W/m^2 i jest bliskie natężeniu które dociera do powierzchni Ziemi w bezchmurny dzień. STC i spektrum AM1.5 są używane na całym świecie w laboratoriach przemysłowych i badawczych. Moc generowana przez moduł PV w tych warunkach jest wyrażana w watach pik, W_p.**

* "IEC 60904-3, Photovoltaic devices – Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data." (2008).

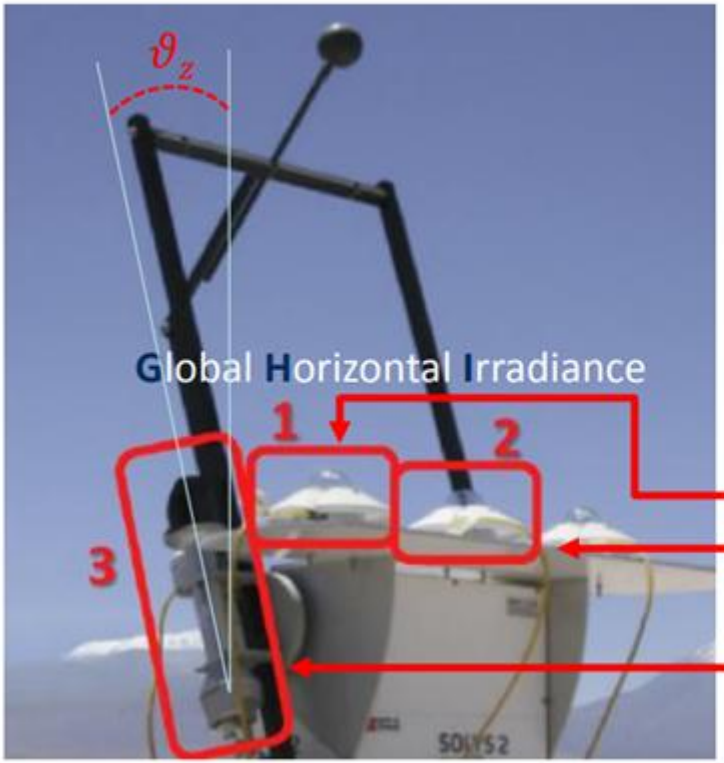
Promieniowanie słoneczne padające na panel słoneczny



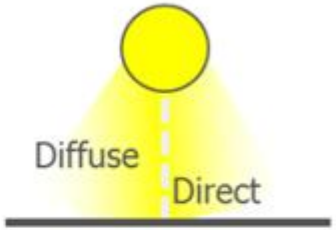
Całkowite natężenie napromieniowania:

$$\boldsymbol{G = G_{normalne} + G_{dyfuzyjne} + G_{odbite}}$$

$$G_{odbite} = albedo$$







Globalne napromieniowanie horyzontalne GHI

$$GHI = DHI + DNIcos(\vartheta_z)$$

Napromieniowanie dyfuzyjne horyzontalne DHI

Napromieniowanie normalne DNI

ϑ_z – Kąt między pozycją Słońca i zenitem

1. **Piranometr – mierzy natężenie napromieniowania GHI FOV 180°**
2. **Piranometr z osłoną na część środkową – mierzy DHI**
3. **Pirheliometr – mierzy napromieniowanie normalne (kierunkowe) FOV 5°**

FOV- pole widzenia (ang. *field of view)*

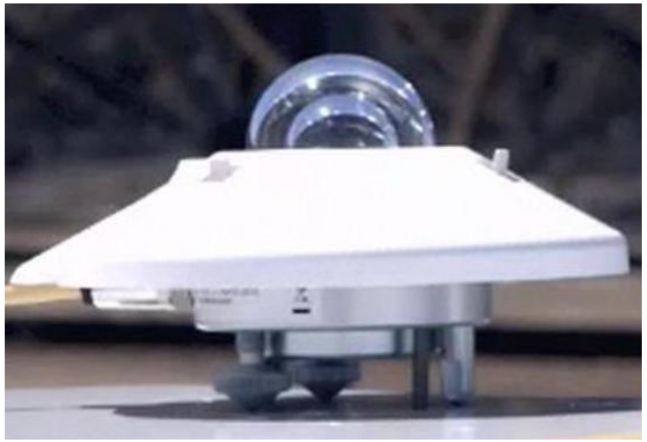
Pirheliometr

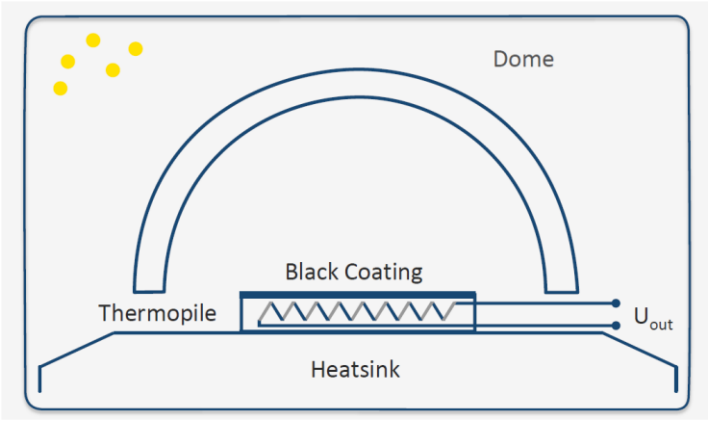
FOV - 5°



Służy do pomiaru promieniowania padającego pod określonym kierunkiem.
Jest skierowany zawsze na Słońce: umocowany na dwuosiowym uchwycie, który śledzi Słońce.

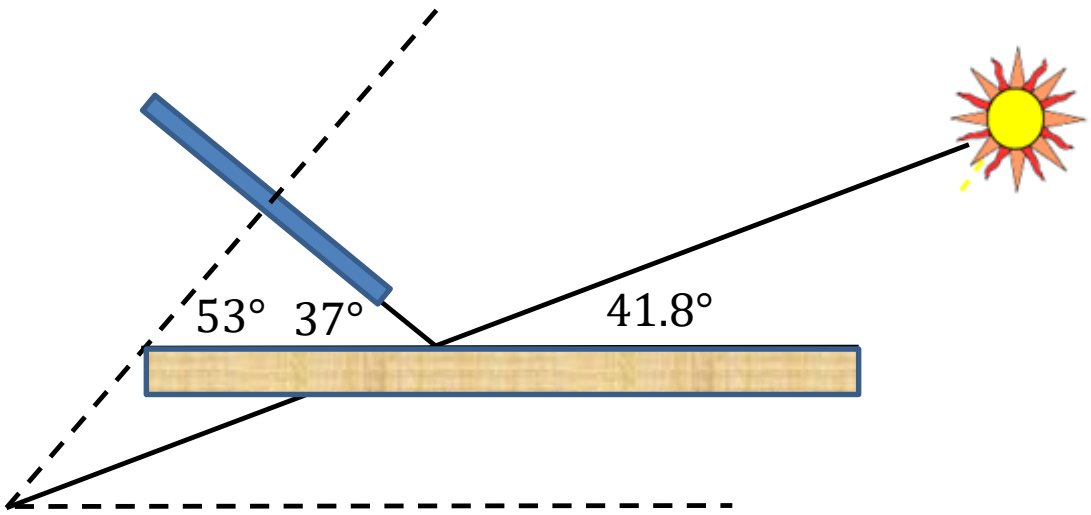
Piranometr





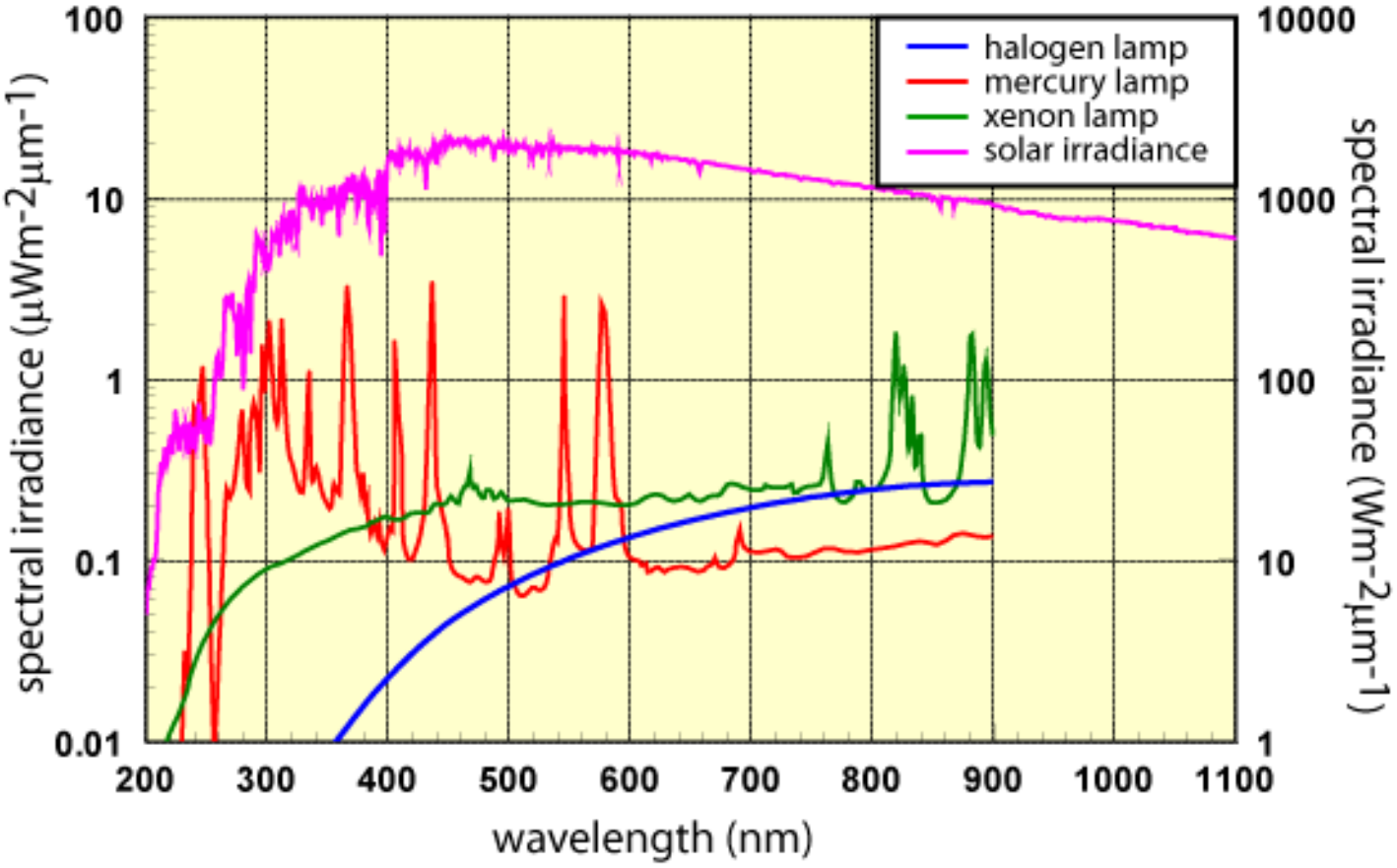
ASTM 1.5 Global

- **AM1.5, Słońce jest pod kątem $41.8°$ do horyzontu**
- **Ogniwo jest nachylone pod kątem $37°$ do horyzontu; zatem Słońce świeci pod kątem $11.2°$ do normalnej do powierzchni ogniwa.**
- **Całkowite natężenie $\frac{1000W}{m^2}$**



$$53° - 41.8° = 11.2°$$

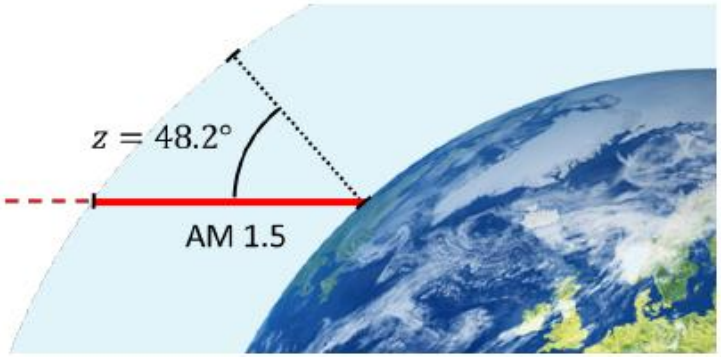
Widma zdolności emisyjnych różnych źródeł

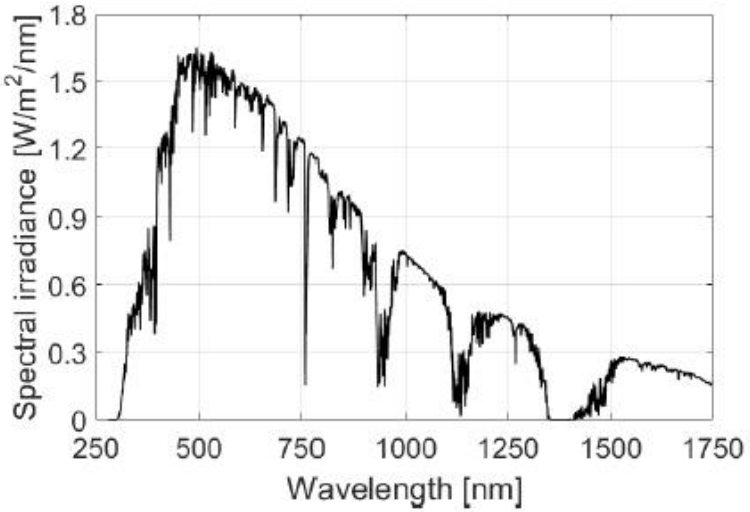


Symulator Słońca

Standard Test Conditions (STC)

1. AM1.5 spectrum
2. 1000 W/m²





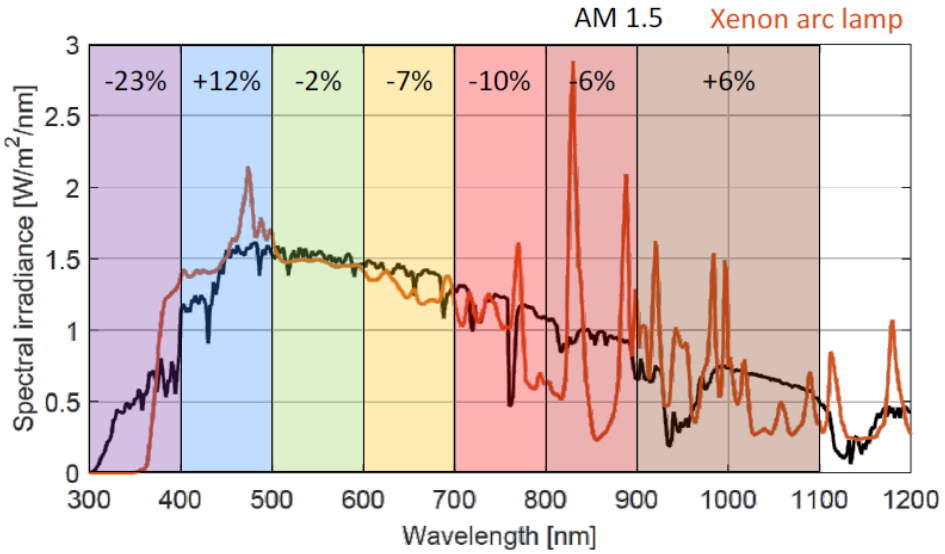
3. temperatura ogniwa 25 °C

Klasyfikacja symulatorów

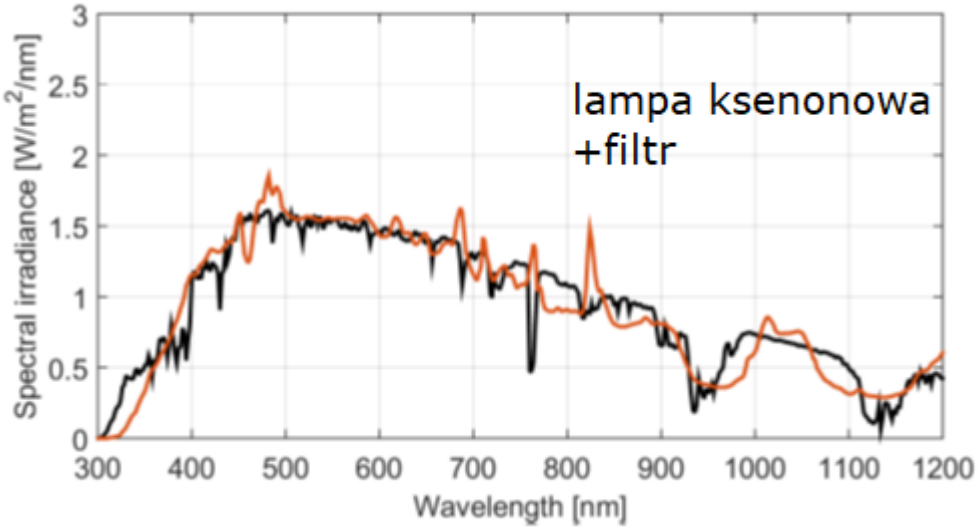
IEC 60904-9 Class

		Class A	Class B	Class C
1.	Zgodność spektrum	± 25%	± 40%	+100%/-60%
2.	Jednorodne oświetlenie	≤ 2%	≤ 5%	≤ 10%
3.	Brak stabilności czasowej	≤ 2%	≤ 5%	≤ 10%

Dopasowanie spektralne – lampa Xe



A

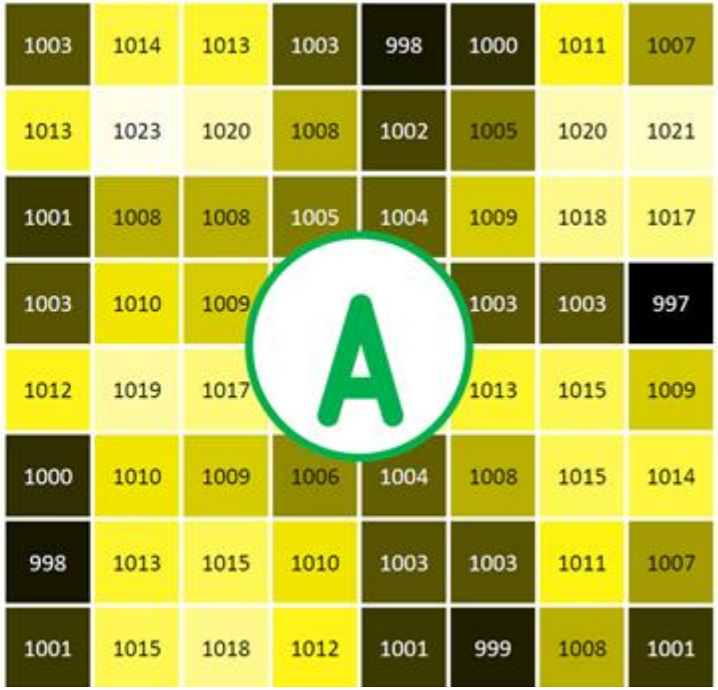


TU DELFT

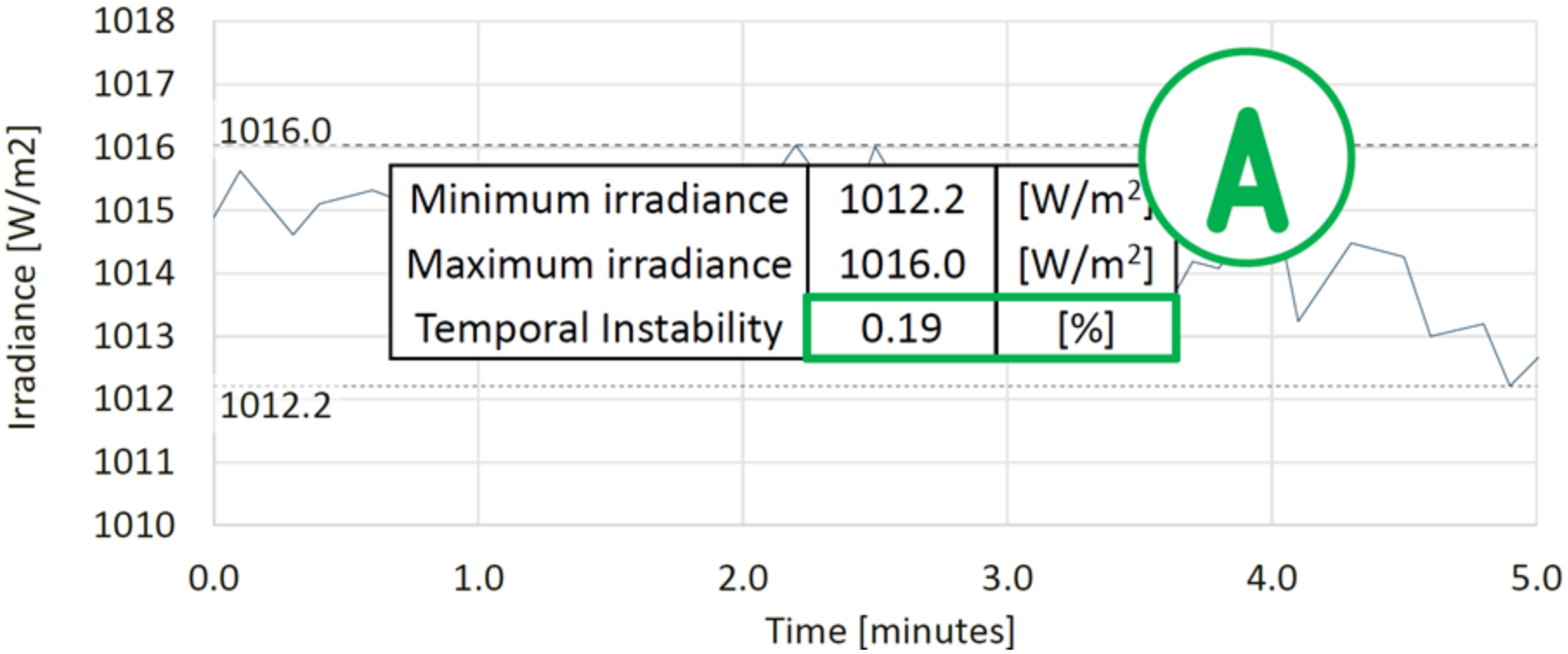
Jednorodne oświetlenie - przykład

$$\text{Uniformity}\ (\%) = \frac{\text{Irr}_{max} - \text{Irr}_{min}}{\text{Irr}_{max} + \text{Irr}_{min}} \cdot 100$$

Minimum intensity	997.4	[W/m^2]
Maximum intensity	1023.4	[W/m^2]
Uniformity	1.29	[%]

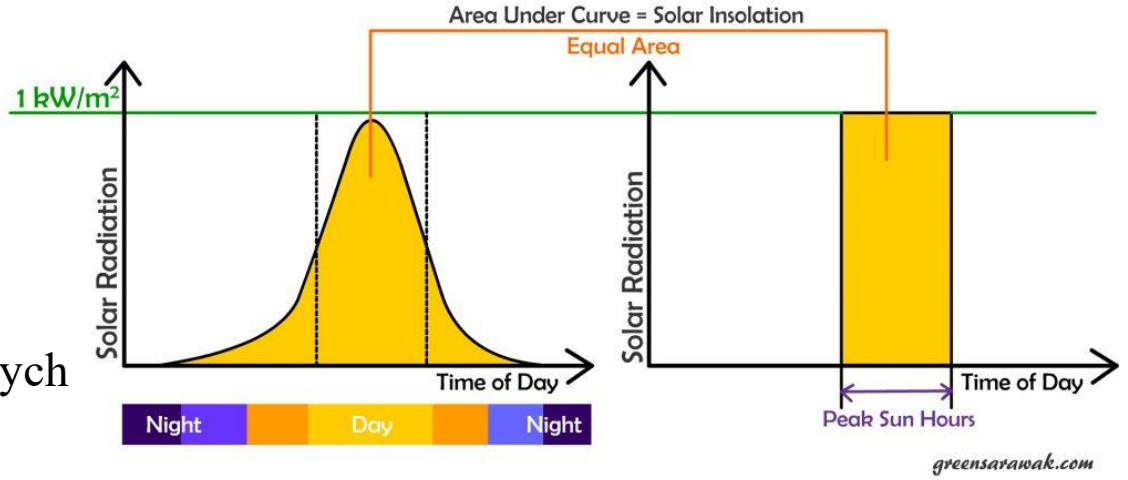


Stabilność w czasie - przykład



Nasłonecznienie ESH - Equivalent Sun Hour

$$ESH = \frac{\int_{dzień} Idt}{I_{AM1.5}} \left[\frac{\frac{Wh}{m^2}}{\frac{W}{m^2}}\right] = [h]$$



ESH – ilość godzin, podczas których natężenie napromieniowania jest równe $\mathbf{1000 W/m^2}$.

ESH jest miarą ile energii słonecznej jest dostępne dziennie na danym obszarze. Na rysunku przedstawiono przykładowe natężenie napromieniowania na pewnym obszarze podczas jednego dnia. Pole pod wykresem odpowiada energii słonecznej przypadającej na metr kwadratowy na tym obszarze, inaczej – nasłonecznieniu. Aby obliczyć ESH, nasłonecznienie należy podzielić przez natężenie napromieniowania odpowiadające AM1.5, tj. 1000 $\frac{W}{m^2}$. Pole pod wykresem, który przedstawia prostokąt o szerokości równej ESH, jest równe polu pod wykresem nasłonecznienia.

https://footprinthero.com/peak-sun-hours-calculator

- **National Renewable Energy Laboratory PVWatts Calculator**
- **Polska – ESH = 2.67**

Jak obliczyć ESH

Przykład 1:

Roczne całkowite natężenie napromieniowania słonecznego w Johannesburgu jest równe $\frac{2000kWh}{m^2}$/rok. Oblicz ekwiwalentne dzienne nasłonecznienie (ESH).

$$ESH = \frac{\frac{2000kWh}{m^2 \cdot rok}}{1000W/m^2} = \frac{2000}{365}\left[\frac{h}{dzień}\right] \cong 5,5\left[\frac{h}{dzień}\right]$$

Przykład 2: dzienne nasłonecznienie w Holandii = 2.7h

Jeśli moduł PV ma moc nominalną 100W$_p$ to moc, którą generuje dziennie:

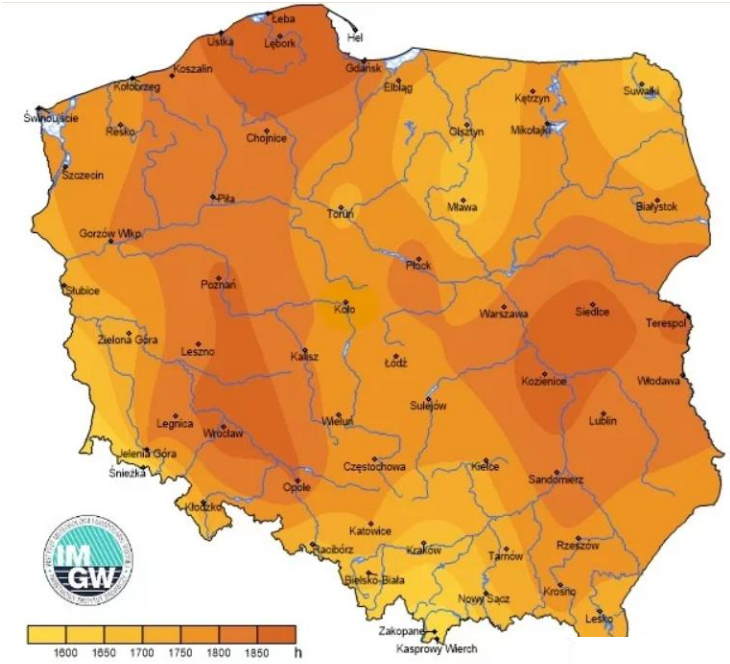
$$100W_p \cdot 2.7\ h = 270\ Wh$$

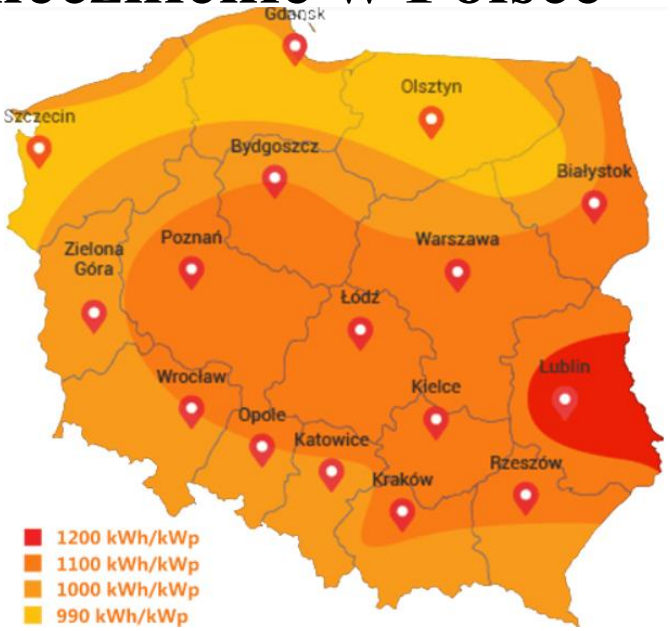
Wówczas energia generowana przez panel w ciągu roku jest równa

$$270Wh \cdot 365 \cong 98.6kWh$$

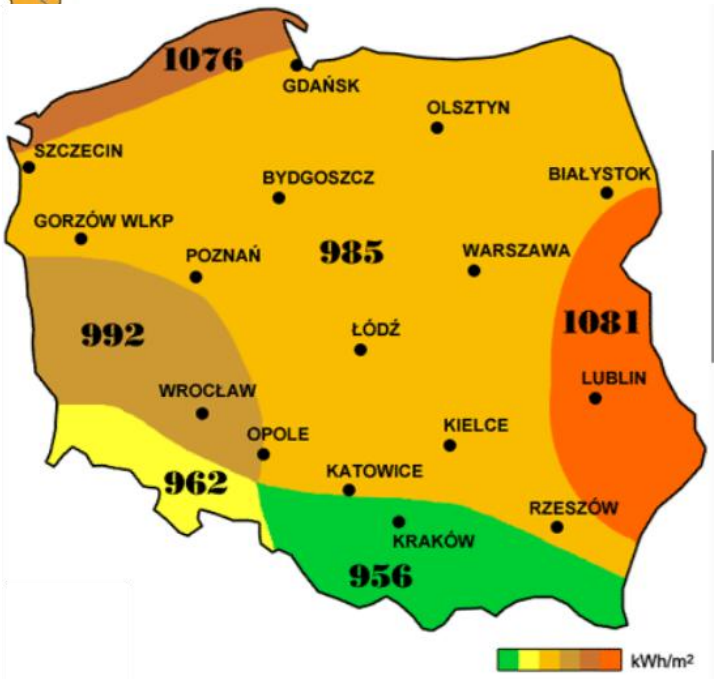
Polska – ESH = $2.67h$

Usłonecznienie i nasłonecznienie w Polsce





Usłonecznienie – liczba godzin słonecznych



Przykład

a) 3 warunki testu standardowego (STC) to natężenie promieniowania $\frac{1000W}{m^2}$, spektrum AM1,5 i nachylenie modułu $\theta = 0$.

tak/nie ?

b) Natężenie światła spektrum AM1,5 jest mniejsze od natężenia AMO o 25%:

tak/nie ?

c) W pewnym mieście w jednym z grudniowych dni Słońce wschodzi o godz. 8:30 i zachodzi o godz. 16:45. W czerwcu w tym samym miejscu wschodzi o 5:30 i zachodzi o godz. 22:00. Oznacza to, że w tym miejscu w czerwcu liczba godzin słonecznych ESH jest dwa razy większa niż w grudniu.

tak/nie?

Electrical and Mechanical Characteristics
N245, N240

Electrical data (at STC)

	VBHN245SJ25	VBHN240SJ25
Max. power (Pmax) [W]	245	240
Max. power voltage (Vmp) [V]	44.3	43.6
Max. power current (Imp) [A]	5.54	5.51
Open circuit voltage (Voc) [V]	53.0	52.4
Short circuit current (Isc) [A]	5.86	5.85
Max. over current rating [A]	15	
Production tolerance power [%]	+10/-5*	
Max. system voltage [V]	1000	

Note: Standard Test Conditions: Air mass 1.5; Irradiance = 1000W/m²; cell temp. 25°C
* All modules measured by Panasonic facilities have an output with positive tolerance.

Temperature characteristics

Temperature (NOCT) [°C]	44.0	44.0
Temp. coefficient of Pmax [%/°C]	-0.29	-0.29
Temp. coefficient of Voc [V/°C]	-0.133	-0.131
Temp. coefficient of Isc [mA/°C]	1.76	1.76

At NOCT (Normal Operating Conditions)

Max. power (Pmax) [W]	187.4	183.2
Max. power voltage (Vmp) [V]	42.5	41.7
Max. power current (Imp) [A]	4.41	4.39
Open circuit voltage (Voc) [V]	50.3	49.7
Short circuit current (Isc) [A]	4.71	4.71

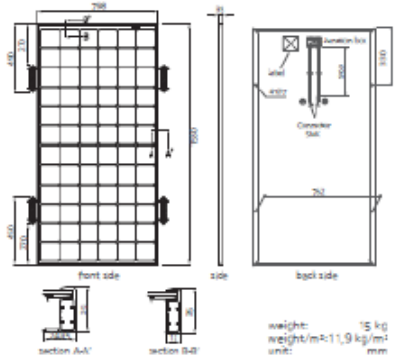
Note: Nominal Operating Cell Temp.: Air mass 1.5; Irradiance = 800W/m²; Air temperature 20°C; wind speed 1 m/s

At low irradiance (20%)

Max. power (Pmax) [W]	47.0	45.9
Max. power voltage (Vmp) [V]	43.2	42.2
Max. power current (Imp) [A]	1.09	1.09
Open circuit voltage (Voc) [V]	49.6	49.0
Short circuit current (Isc) [A]	1.17	1.17

Note: Low irradiance: Air mass 1.5; Irradiance = 200W/m²; cell temp. = 25°C

Dimensions and weight



Guarantee

Power output: 10 years (90% of Pmin), 25 years (80% of Pmin)
Product workmanship: 10 years (based on guarantee document)

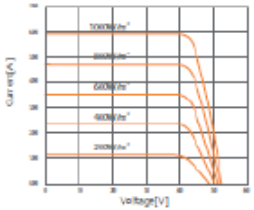
Material

Cell material: 5 inch HIT cells
Glass material: AR coated tempered glass
Frame materials: Black anodized aluminium
Connectors type: SMK

Certificates

IEC61215
IEC61730-1
IEC61730-2

Dependence on irradiance



Reference data for model VBHN245SJ25 (Cell temperature 25°C)

Please consult your local dealer for more information.

⚠ CAUTION! Please read the installation manual carefully before using the products.

Used electrical and electronic products must not be mixed with general household waste. For proper treatment, recovery and recycling of old products, please take them to applicable collection points in accordance with your national legislation.

Panasonic Eco Solutions Energy Management Europe
SANYO Component Europe GmbH

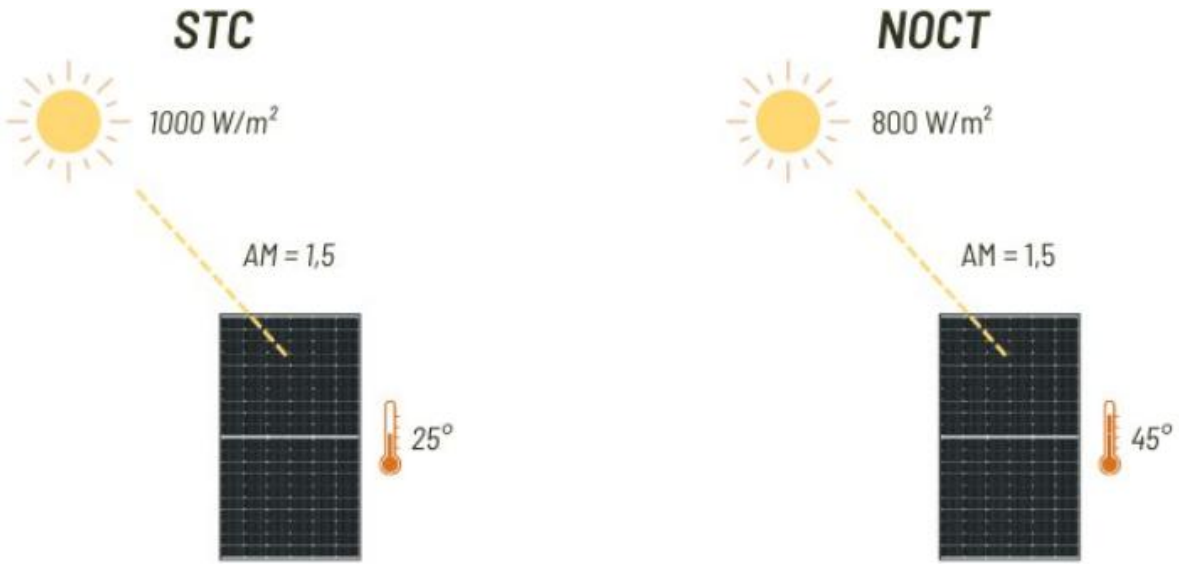
Stahlgruberring 4
81829 Munich, Germany
Tel +49-(0)89-460095-0
Fax +49-(0)89-460095-170
http://www.eu-solar.panasonic.net
info-solar@eu.panasonic.com

Panasonic

All rights reserved © 2014 COPYRIGHT SANYO Component Europe GmbH
Specifications are subject to change without notice.

01/2014

STC i NOCT



STC – standardowe warunki testowania ogniwa/modułu

NOCT – nominalna temperatura ogniwa/modułu

Z doświadczenia wynika, że różnica między temperaturą modułu T_M i temperaturą otoczenia T_a jest proporcjonalna do natężenia napromieniowania G_M modułu:

$$T_M = T_a + \frac{T_{NOCT} - 20^\circ}{800} G_M.$$

Wpływ temperatury na parametry ogniwa

$$\eta_{STC} = \eta(25°C, G_{STC}) = \frac{P_{MPP}(25°C, G_{STC})}{A \cdot G_{STC}}$$



G_{STC} = const.



T_m = **zmienna**

STC –standardowe warunki testowania ang. Standard Test Conditions

$$V_{OC}(T_m, G_{STC}) = V_{OC} + V_{OC-coeff}(T_m - T_{STC})$$

$$I_{SC}(T_m, G_{STC}) = I_{SC} + I_{SC-coeff}(T_m - T_{STC})$$

$$P_{MPP}(T_m, G_{STC}) = P_{MPP} + P_{MPP-coeff}(T_m - T_{STC})$$

$$\eta(T_m, G_{STC}) = \frac{P_{MPP}(T_m, G_{STC})}{A \cdot G_{STC}} = \eta_{STC} + \eta_{coeff}(T_m - T_{STC})$$