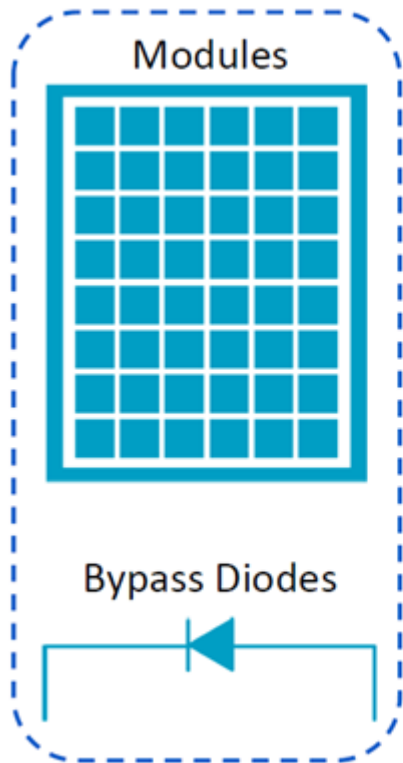


**Wykład XII**  
**System PV- projektowanie**

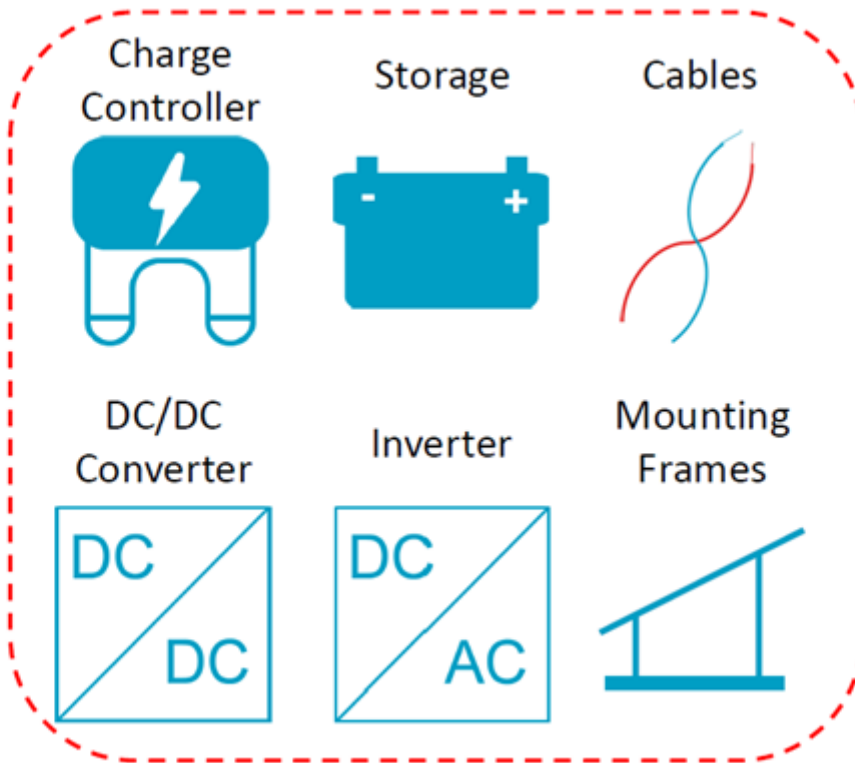
**Solar Energy: Photovoltaic (PV) Systems**  
**kurs TU DELFT**

# Elementy systemu PV

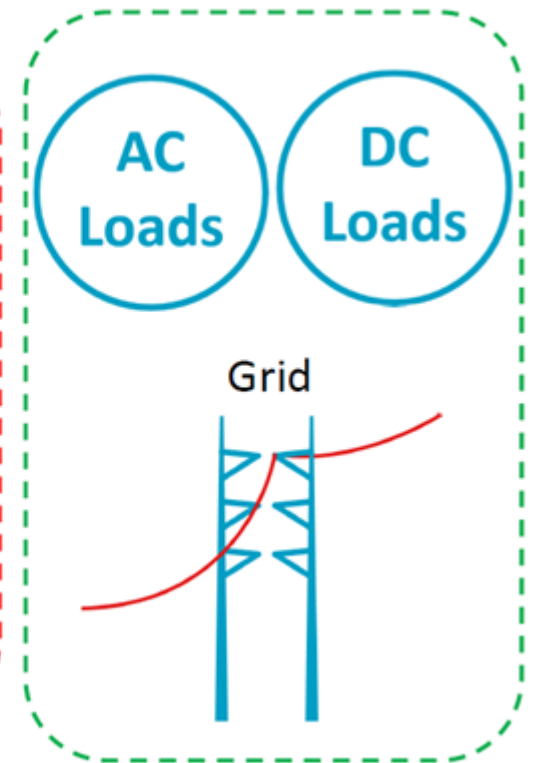
## Panele



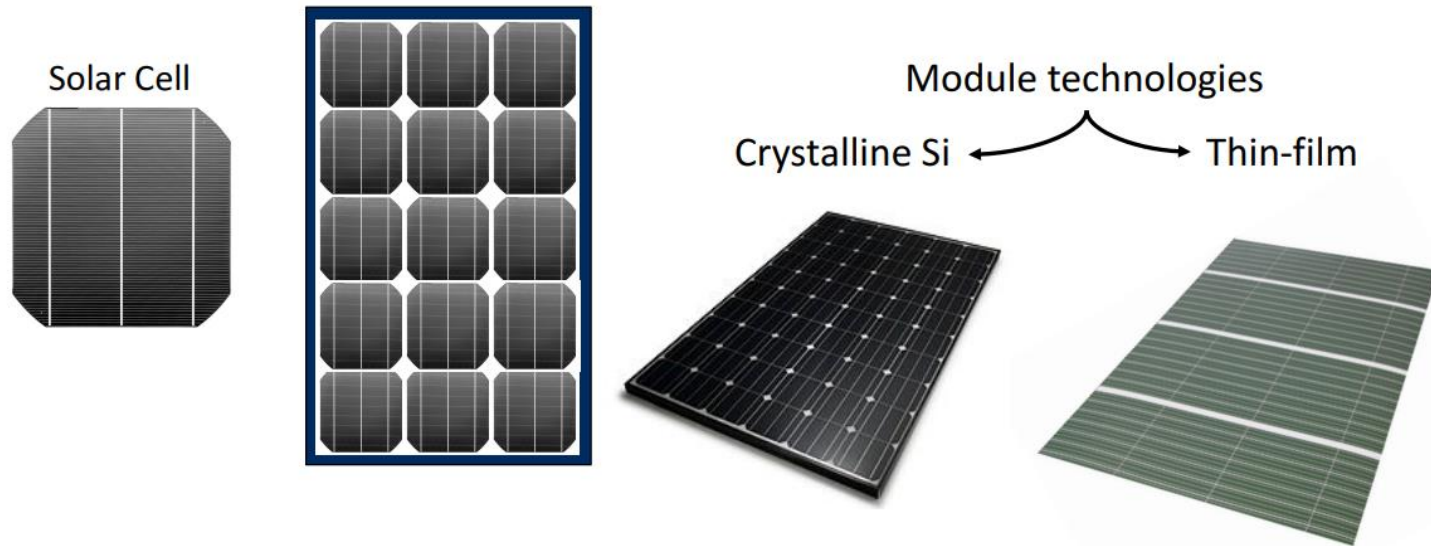
## Równowaga systemu (BoS)



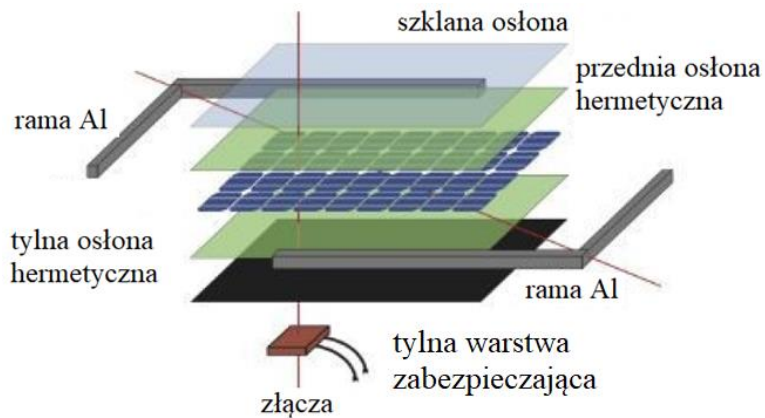
## Odbiorniki energii



# Panele PV

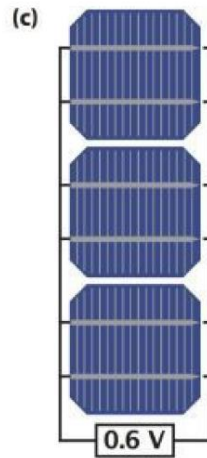
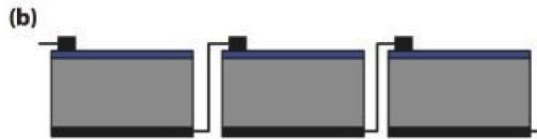
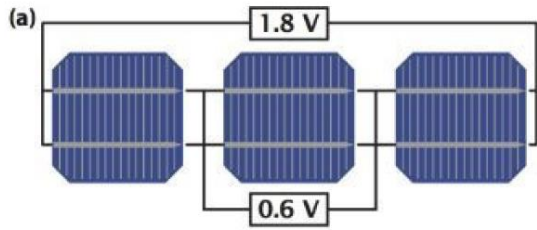


By WhistlingBird (Own work) [CC BY-SA 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)], via Wikimedia Commons  
By LG전자 (<http://www.flickr.com/photos/lge/10845634103/>) [CC BY 2.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>)], via Wikimedia Commons



## Budowa panelu krzemowych ogniw monokrystalicznych

# Łączenie ogniw

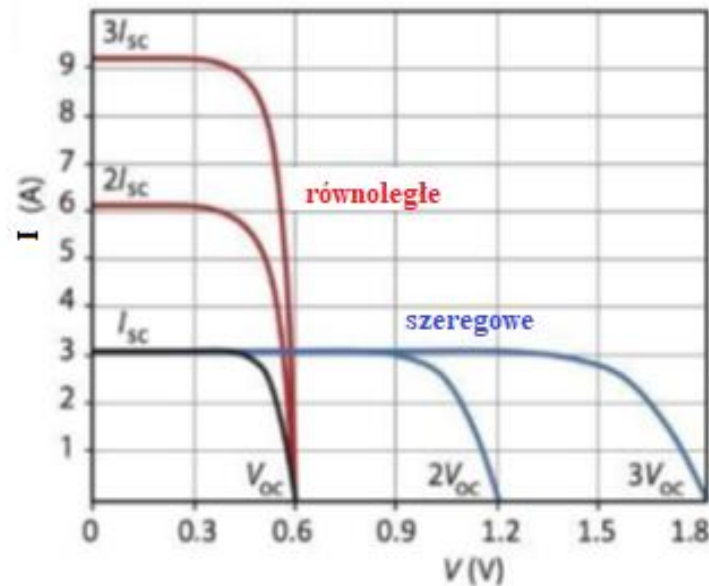


a) szeregowe połączenie 3 ogniw

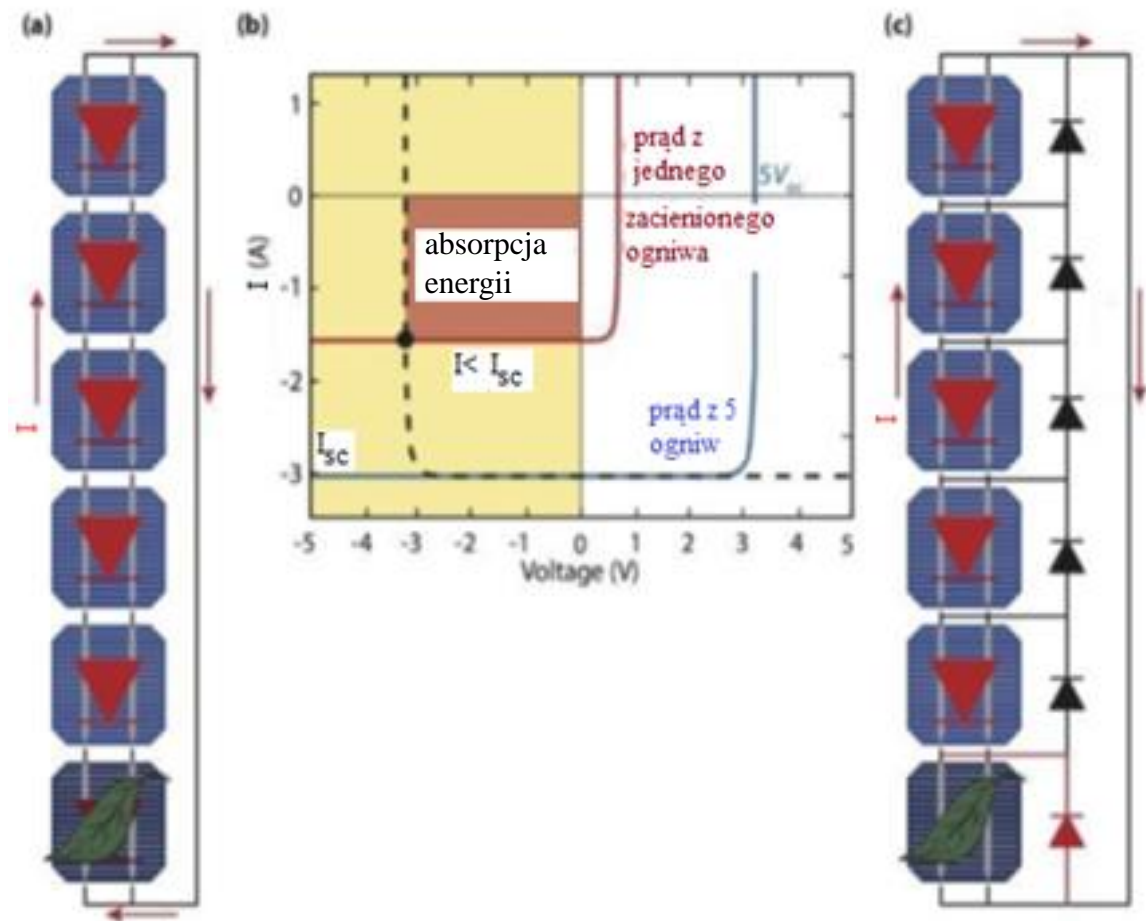
b) połączenie 3 standardowych ogniw krzemowych

c) równoległe połączenia 3 ogniw.

Solar Energy, The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversion Technologies and Systems, A.Smets et al. ed. UIT Cambridge (2016)

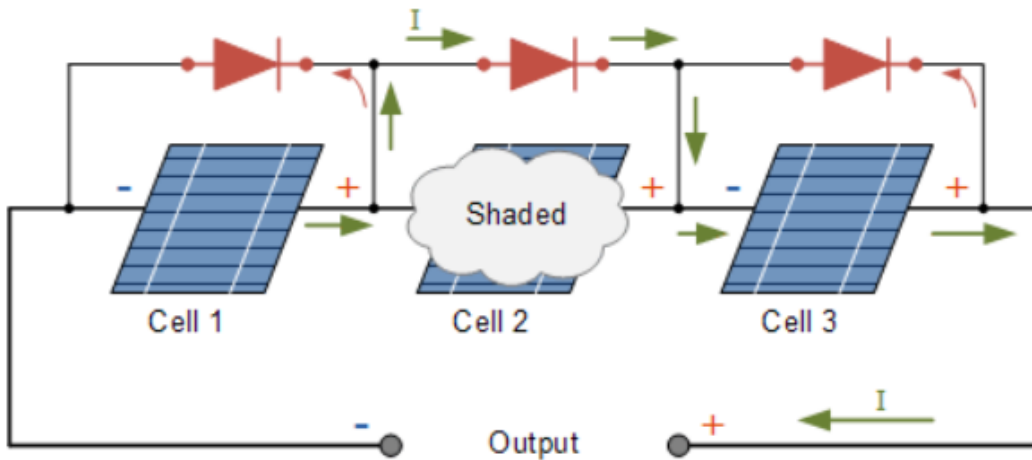
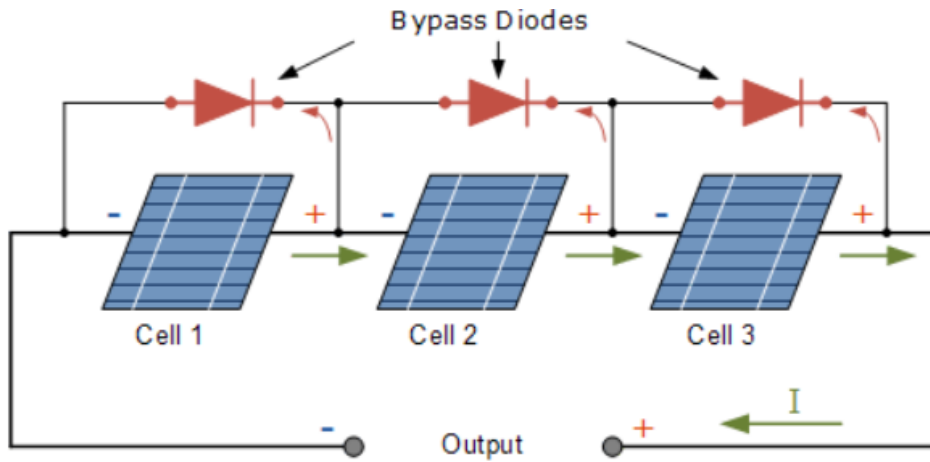


# Diody bypass



Zacienione ogniwo dostarczy najmniejszego prądu i jednocześnie będzie to prąd płynący przez wszystkie ogniwa. Na rys. pokazano charakterystyki I-V dla wszystkich ogniw bez i z jednym ogniwem zaciemnionym. Niezaciemnione ogniwa są dla zaciemnionego ogniwa źródłem napięcia polaryzującego to ogniwo w kierunku zaporowym napięciem równym  $U = -5 \cdot V_{oc} \cong -5 \cdot 0.6V = -3V$  (przy założeniu, że napięcie rozwarcia pojedynczego ogniwa jest równe ok.  $0.6V$ ). Wówczas punkt pracy tego ogniwa przesuwa się do punktu zaznaczonego na czarno. W tym punkcie ogniwo nie generuje lecz absorbuje moc i w związku z tym grzeje się.

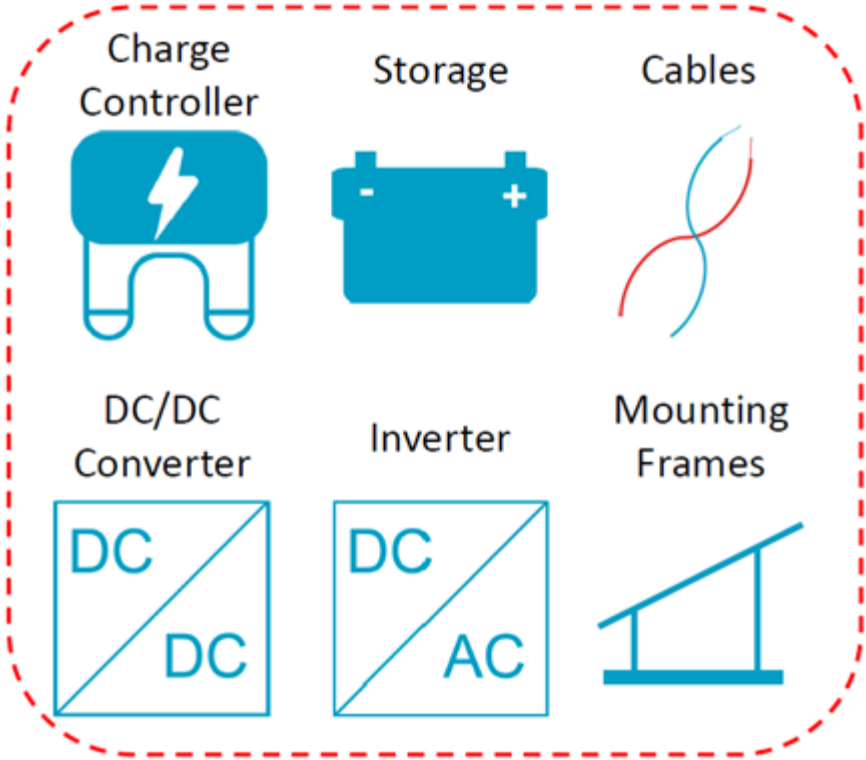
# Diody bypass



**Wstawienie diody bocznikującej jak na rysunkach powoduje przepływ prądu przez tę diodę przy zasłoniętym ogniwie.**

**Wówczas napięcie wyjściowe jest mniejsze o  $V_{oc}$  zasłoniętego ogniwa, ale układ jest chroniony.**

# BoS



# BoS

- **Stelaż, na którym montowane są panele**
- **Akumulatory, które gromadzą energię**
- **Konwerter DC-DC – zapewnia stałą wartość napięcia na wyjściu, niezależnie od fluktuacji napięcia pozyskiwanego z paneli ze względu na porę dnia i intensywność światła. Dostarcza napięcia stałego do inwertera, gdy jest on podłączony do sieci energetycznej (grid on).**
- **Inwerter DC-AC – zamienia prąd stały na prąd przemienny. Gdy jest to system połączony z siecią (grid on), może dodatkowo zawierać konwerter. Również system samodzielny (grid off) może mieć inwerter, podłączony do akumulatora. Taki inwerter różni się od inwertera w systemie grid on.**
- **Kontroler ładowania (charge controller) – kontroluje ładowanie i rozładowanie akumulatora. Zabezpiecza akumulator przed przeladowaniem i nadmiernym rozładowaniem w nocy. Dodatkowo może zawierać konwerter DC-DC oraz tracker maksymalnej mocy.**
- **Przewody łączące – wymagany jest dobór kabli o odpowiednim przekroju poprzecznym aby zminimalizować straty na rezystancji doprowadzeń.**

DC/DC converter



DC/AC inverter



Charge controller



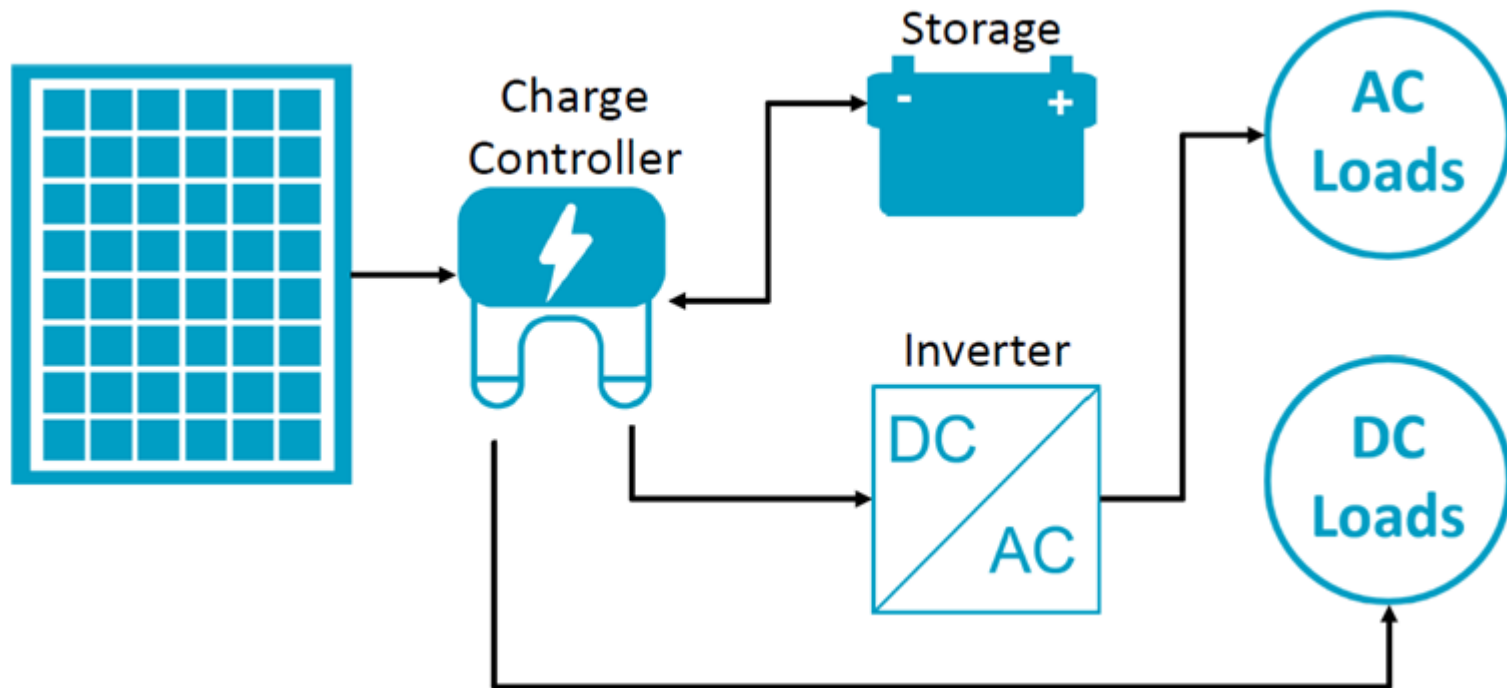


# System samodzielny (grid-off)

Panele

Równowaga systemu (BoS)

Odbiorniki energii

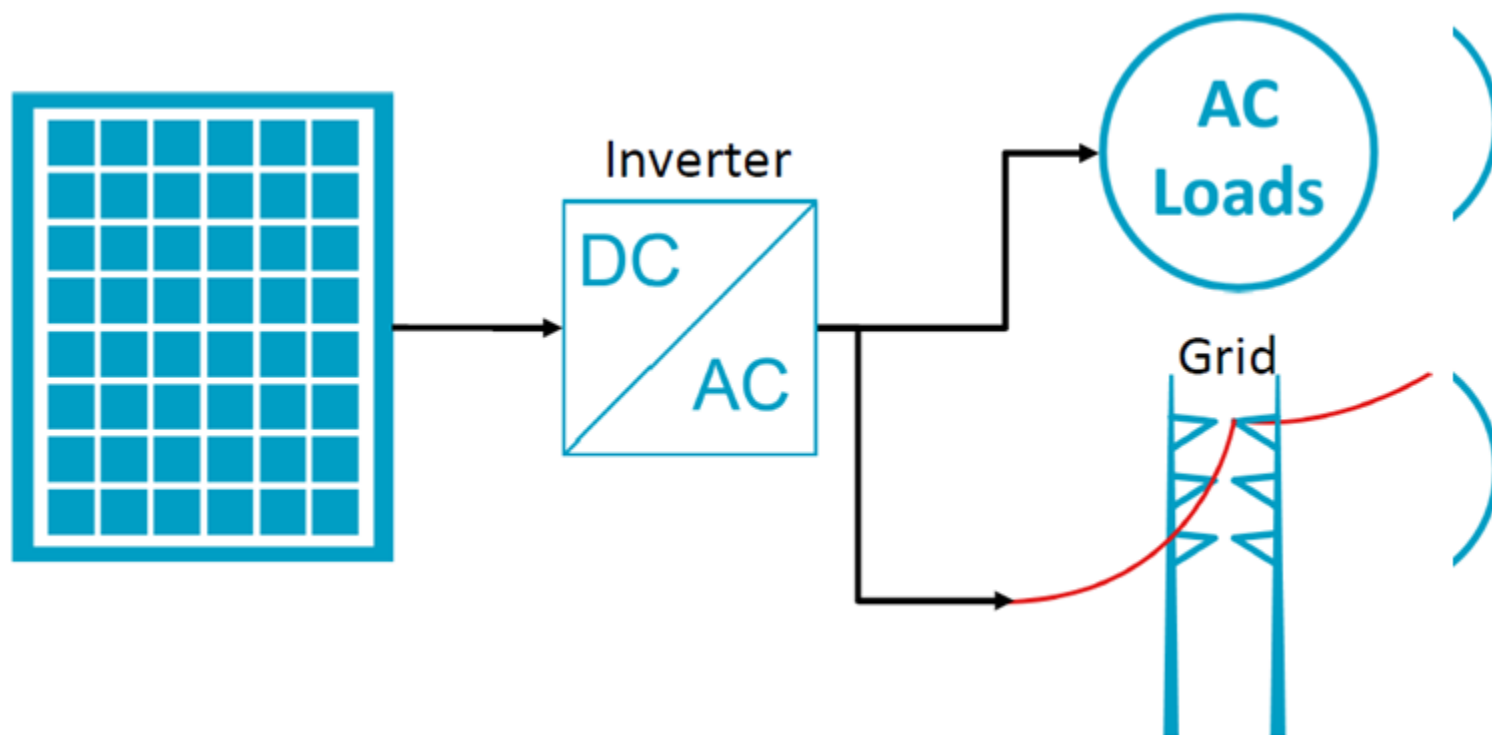


# System połączony z siecią energetyczną (grid-on)

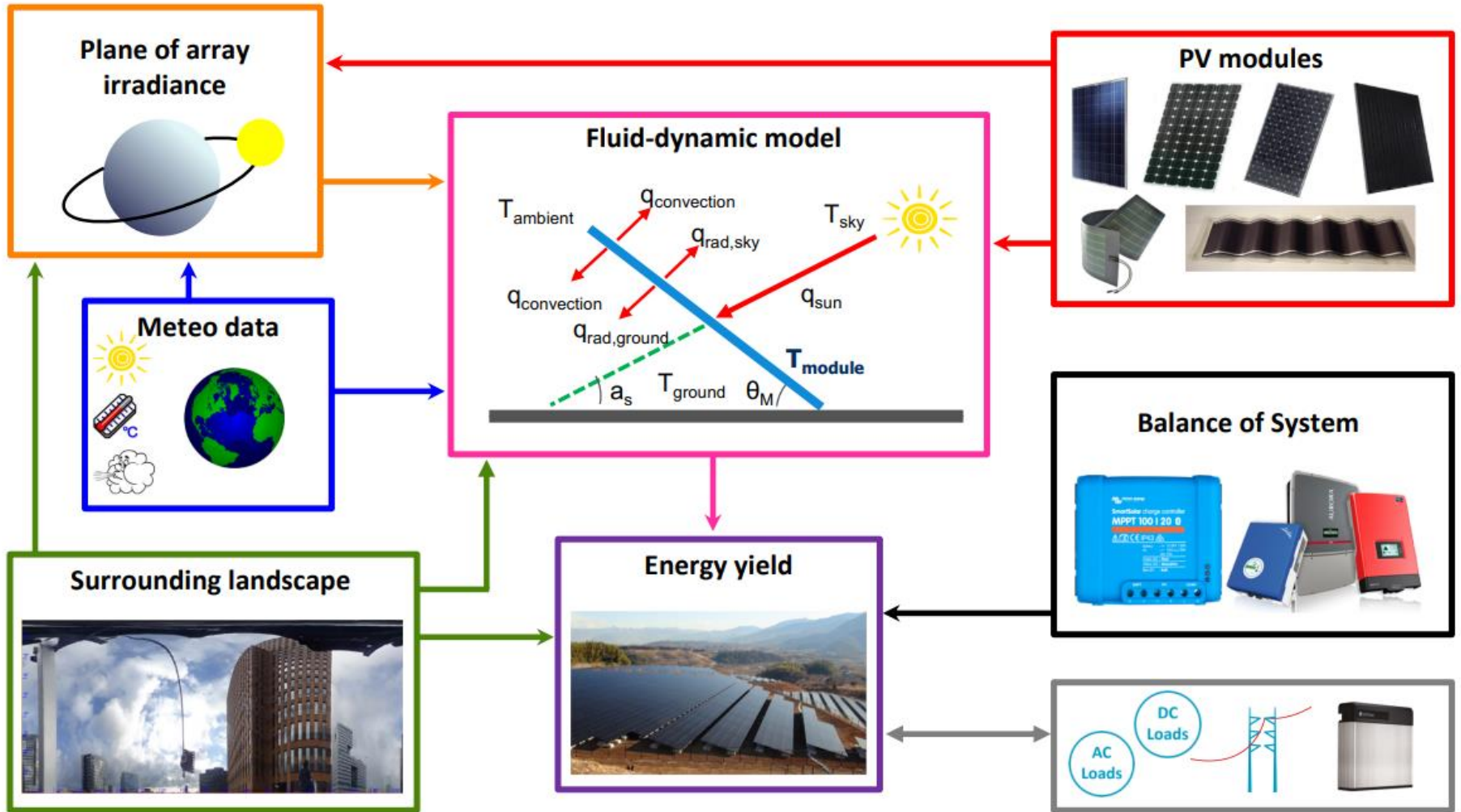
Panele

Równowaga systemu (BoS)

Odbiorniki energii



# Projekt PV



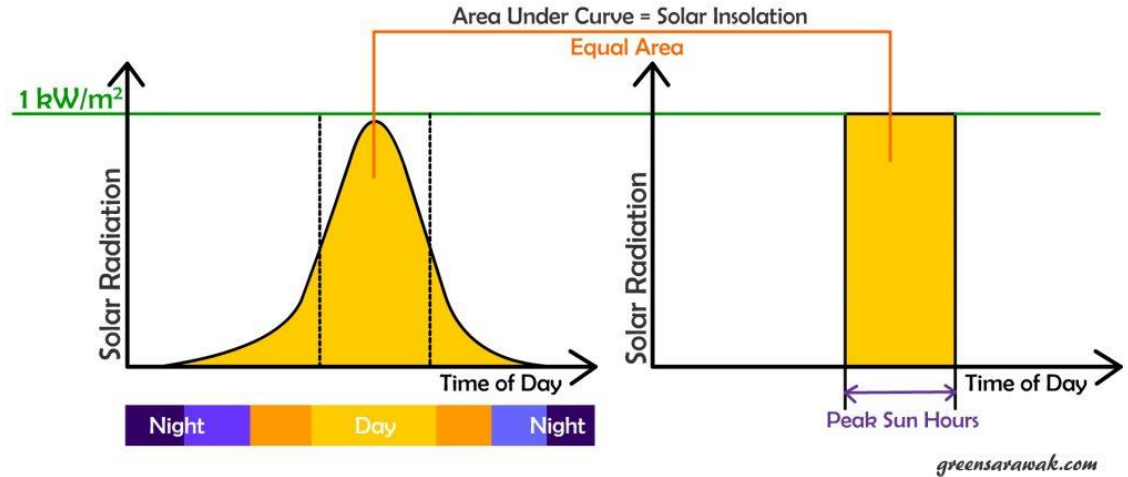
# Projekt PV

**Projektując system PV należy uwzględnić następujące czynniki:**

- 1. Warunki meteorologiczne: natężenie promieniowania słonecznego w danym miejscu, temperatura otoczenia i wiatr. Bazy danych: PVGISolar Database i NREL's National Solar Radiation DataBase.**
- 2. Otoczenie (zacienienie).**
- 3. Oprócz promieniowania padającego prostopadle, istotne są promieniowanie rozproszone (składowa „dyfuzyjna”) i promieniowanie odbite od powierzchni Ziemi. Wprowadza się pojęcie Pola Widzenia Nieba (Sky View Factor).**
- 3. Rodzaje paneli, ich połączenia.**
- 4. Dane meteorologiczne i otoczenie mają wpływ na natężenie promieniowania padającego na panele. Ponadto istotne są nachylenie i orientacja paneli. Natężenie promieniowania padającego na panele nazywa się Płaszczyzną Orientacji Paneli (Plane Array Orientation).**
- 5. Wpływ temperatury – Model Cieczy Dynamicznej (Dynamic model Fluid).**
- 6. Straty związane z systemem równowagi (BoS).**

# Nasłonecznienie

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



**ESH - Equivalent Sun Hour**

**1 godz. słoneczna. =  $1000W/m^2 \cdot 1godz$**

**<https://footprinthero.com/peak-sun-hours-calculator>**

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

# Jak obliczyć ESH

**Przykład:**

**Roczne całkowite natężenie napromieniowania słonecznego w Johannesburgu jest równe  $\frac{2000kWh}{m^2}$  /rok.**

**Oblicz ekwiwalentne dzienne nasłonecznienie (ESH).**

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

# Prosty projekt grid-off

## Projekt 4 – stopniowy:

1. **Oszacowanie całkowitej energii niezbędnej do zasilenia odbiorników (obciążenia).**
  1. **Oszacowanie ilości i sposobu połączenia paneli.**
  2. **Oszacowanie ilości niezbędnych baterii.**
  3. **Oszacowanie parametrów inwertera.**


# 1. Oszacowanie obciążenia

Odbiornik	Ilość	Ilość godzin pracy dziennie	Moc odbiorników [W]	Dzienne zużycie energii [Wh]
Oświetl. LED	4	4	3	48
TV	1	4	80	320
Toster	1	0,5	1000	500
Grzejnik	1	1,5	1500	2250
RAZEM			2583	3118

**Dzienne zapotrzebowanie po uwzględnieniu strat (10%) (Wh) - 3430Wh.  
Straty mogą wynikać np. z powodu brudnej powierzchni paneli.**



## 2. Panele


[www.jinkosolar.com](http://www.jinkosolar.com)

**PHOTOVOLTAIC MODULE**

**Solar Module Type : JKM295M-60**

Maximum Power	(Pmax)	295W
Power Tolerance		0~+3%
Maximum Power Voltage	(Vmp)	32.4V
Maximum Power Current	(Imp)	9.10A
Open Circuit Voltage	(Voc)	39.7V
Short Circuit Current	(Isc)	9.61A
Nominal Operating Cell Temp	(NOCT)	45±2°C
Maximum System Voltage		1500VDC
Maximum Series overcurrent protective device rating		15A
Operating Temperature		-40°C~+85°C
Application Class		A
Module Fire Performance		Type 1
Weight		19.0(kg)
Dimension		1650x992x40(mm)
STC: 1000W/m <sup>2</sup> , AM1.5, 25°C		

System Fire Class Rating: See Installation Instructions for Installation Requirements to Achieve a Specified System Fire Class Rating with this Product  
The fire rating is Class C in Canada




**WARNING**

ONLY qualified personnel should install or perform maintenance work on these modules

**BE AWARE** of dangerous high DC voltage when connecting modules

**DO NOT** damage or scratch the rear surface of the module

For field connections, use 12 AWG wire insulated for a minimum of 90°C, rated for wet conditions and resistant to ultra violet radiation (where exposed)

<b>Maksymalna moc (W)</b>	<b>295</b>
<b>Napięcie rozwarcia (V)</b>	<b>39,7</b>
<b>Prąd zwarcia (A)</b>	<b>32,4</b>
<b>Napięcie w MPP (V)</b>	<b>9,61</b>
<b>Prąd w MPP (A)</b>	<b>9,1</b>

## 2. Panele - ilość

Dane wejściowe	
Napięcie systemu (V)	12
MPPT	tak
ESH	5.5
Moduł PV	
Nominalna moc (W)	80
Napięcie rozwarcia (V)	22
Napięcie w MPP (V)	16.5

Liczba paneli	
Dzienne zapotrzeb. energetyczne (Wh)	3118
Dzienne zapotrz. po uwzgl. strat 10% (Wh)	3430
Minimum $W_p$ (W)	623.6
Liczba wymaganych modułów	8

**Minimalna wymagana moc w punkcie mocy maksymalnej:**

$$\text{Minimum } W_p = \frac{\text{Dzienne zapotrzeb.}}{\text{ESH}} = \frac{3430\text{Wh}}{5.5\text{h}} = 623.6\text{W}$$

$$\text{Liczba wymaganych modułów} = \frac{\text{Minimum } W_p}{\text{Nominalna moc (W)}} = \frac{623.6\text{W}}{80\text{W}} = 7.8 \cong 8$$

## 2. Panele - ilość

Dane wejściowe	
Napięcie systemu (V)	12
MPPT	tak
ESH	5.5
Moduł PV	
Nominalna moc (W)	80
Napięcie rozwarcia (V)	22
Napięcie w MPP (V)	16.5
Kontroler ładowania	
Maksymalne napięcie (V)	70

Liczba paneli	
Dzienne zapotrzeb. energetyczne (Wh)	3118
Dzienne zapotrz. po uwzgl. strat 10% (Wh)	3430
Minimum $W_p$ (W)	623.6
Liczba wymaganych modułów	8
Liczba modułów połączonych szeregowo	4
Liczba modułów połączonych równolegle	2

Założono, że kontroler ładowania jest wyposażony w system MPPT. System MPPT odłącza obciążenie od paneli tak, żeby punkt pracy paneli był zawsze w punkcie mocy maksymalnej. Stąd liczba modułów połączonych szeregowo zależy od napięcia ładowania kontrolera ładowania:

$$\text{Liczba modułów połącz. szeregowo} = \frac{\text{Maks. napięcie kontrolera ład.}}{\text{Napięcie modułu w MPP}} = \frac{70V}{16.5V} = 4$$

$$\text{Liczba modułów połącz. równolegle} = \frac{\text{Liczba wymaganych modułów}}{\text{Liczba modułów połącz. szeregowo}} = \frac{8}{4} = 2$$

# 3. Baterie

- **Pojemność C**– zdolność do gromadzenia ładunku: np. 1Ah=3600C
- **Szybkość rozładowania (C-rate)**. Dla baterii o pojemności 1Ah:

$C - rate = 1$  oznacza, że prąd rozładowania będzie równy 1A przez 1h.

$C - rate = 2$  oznacza, że prąd rozładowania będzie równy 2A przez 0.5h.

- **Wydajność baterii (liczona dla jednego cyklu ładowanie-rozładowanie)**

$$\eta_{bat} = \frac{V_{rozł} \cdot Q_{rozł}}{V_{ład} \cdot Q_{ład}}$$

- **Stan naładowania (procent pojemności baterii do rozładowania)**

$$SoC = \frac{E_{bat}}{C_{bat} \cdot V}$$

- **Głębokość rozładowania**

$$DoD = \frac{C_{bat} \cdot V - E_{bat}}{C_{bat} \cdot V}$$

### 3. Baterie cd.

Dane wejściowe	
Bateria	
Głębokość rozładowania	0.6
Liczba dni rezerwowych	2
Napięcie baterii (V)	12
Pojemność baterii (Ah)	220

Parametry baterii	
Minimalna pojemność (Ah)	952.7

$$\text{Wymagana pojemn. dzienna (Ah)} = \frac{\text{Dzienne zapotrzeb. energ. (Wh)}}{\text{Napięcie systemu (V)}} = \frac{3430\text{Wh}}{12\text{V}} = 285.8\text{Ah}$$

*Dzienne zapotrzeb. po uwzgl. dni rezerwowych:  $285.8\text{Ah} \cdot 2 = 571.6\text{Ah}$*

*Po uwzgl. strat ze względu na rozładowanie*

$$\text{minimalna pojemność baterii : } \frac{571.8\text{Ah}}{0.6} = 952.7\text{Ah}$$

### 3. Baterie cd.

Dane wejściowe	
Bateria	
Głębokość rozładowania	0.6
Liczba dni rezerwowych	2
Napięcie baterii (V)	12
Pojemność baterii (Ah)	220

Parametry baterii	
Minimalna wymagana pojemność (Ah)	952.7
Całkowita liczba baterii	5
Liczba baterii poł. szeregowo	1
Liczba baterii poł. równolegle	5

$$\text{Całk. liczba baterii} = \frac{\text{Minimalna wymagana pojemność (Ah)}}{\text{Pojemność baterii (Ah)}} = \frac{952.7}{220} = 4.3 \cong 5$$

$$\text{Liczba baterii łącz. szeregowo} = \frac{\text{napięcie systemu}}{\text{napięcie baterii}} = \frac{12V}{12V} = 1$$

$$\text{Liczba baterii łącz. równolegle} = \frac{\text{całkowita liczba baterii}}{\text{liczba baterii łącz. szeregowo}} = \frac{5}{1} = 5$$

## 4. Inwerter

Dane wejściowe	
<b>Bateria</b>	
Głębokość rozładowania	0.6
Liczba dni rezerwowych	2
Napięcie baterii (V)	12
Pojemność baterii (Ah)	220
<b>Inwerter</b>	
Straty (połączenia)	0.8
Wydajność	0.9
Napięcie inwertera (V)	12

Parametry baterii	
Minimalna wymagana pojemność (Ah)	952.7
Całkowita liczba baterii	5
Liczba baterii poł. równolegle	5
Liczba baterii poł. szeregowo	1
Parametry inwertera	
Moc odbiorników energii (W)	2583
Moc inwertera (W)	3588

Inwerter musi dać sobie radę z całkowitą mocą:

$$\text{Moc inwertera} = \frac{\text{Moc odbiorników energii}}{\text{Straty} \cdot \text{wydajność}} = \frac{2583W}{0.8 \cdot 0.9} = 3588W$$