



AGH

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

Czyste energie

Wykład 3

Systemy fotowoltaiczne

dr inż. Janusz Teneta

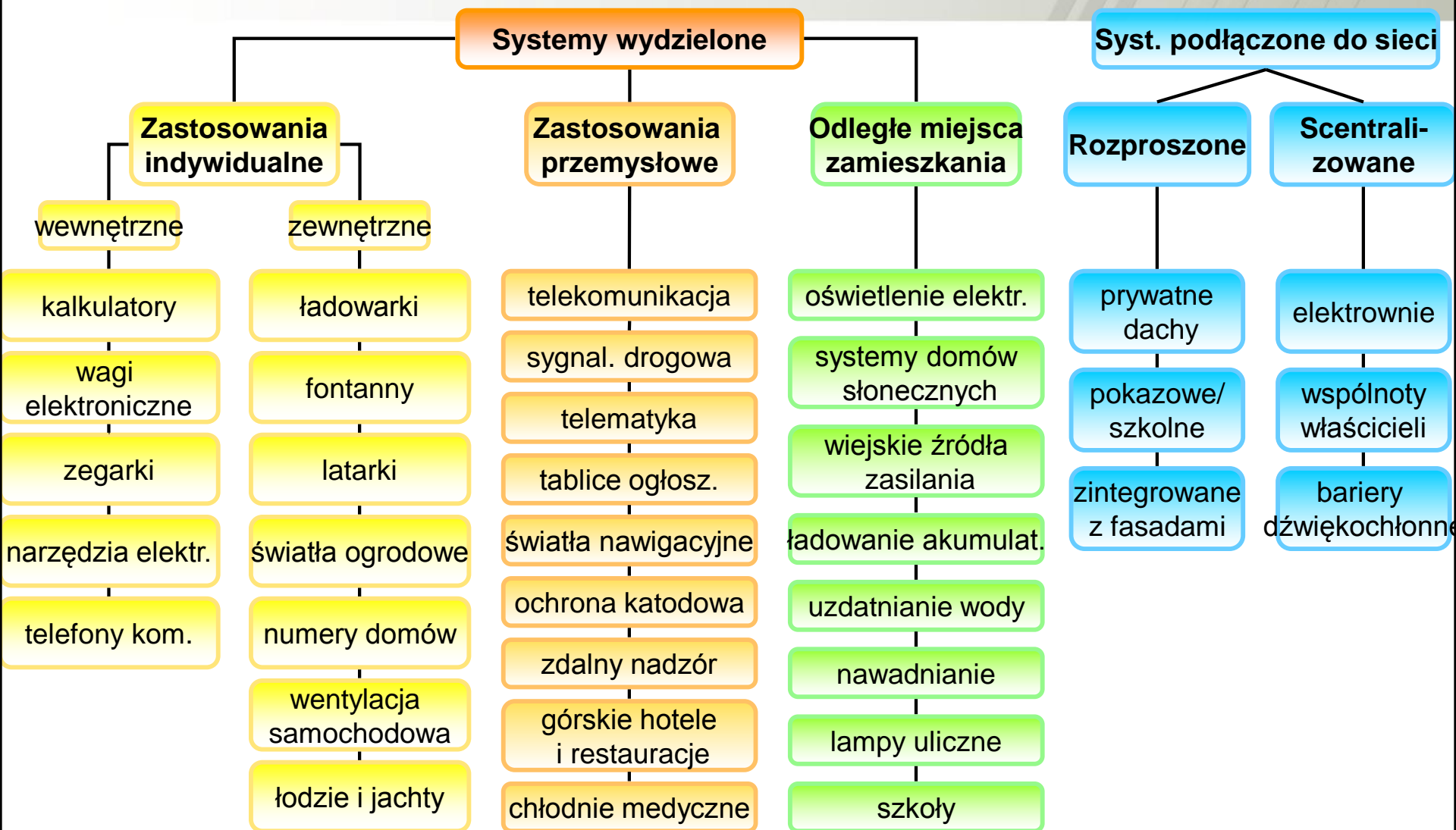
C-3 pok. 8 (parter), e-mail: romus@agh.edu.pl

Wydział EAIiIB

Katedra Automatyki i Inżynierii Biomedycznej

AGH Kraków 2016

Zastosowania fotowoltaiki



Moc zainstalowana w różnych typach systemów fotowoltaicznych

Off-Grid ~ 1,9%
(wyspowe, autonomiczne)

Grid Connected ~ 98,1%
(współpracujące z siecią)

Źródło: IEA International Energy Agency , Trends in Photovoltaic Applications Report 1992 and 2011

Table 1 – Reported PV power capacity in participating IEA PVPS countries as of the end of 2011

Country	Cumulative off-grid PV capacity* (MW)		Cumulative grid-connected PV capacity (MW)		Cumulative installed PV power (MW)	Cumulative installed per capita (W/Capita)	PV power installed during 2011 (MW)	Grid-connected PV power installed during 2011 (MW)
	domestic	non-domestic	distributed	centralized				
AUS	101,8	62	1236,8	7,4	1407,9	62,1	837	761
AUT	4,5		182,7		187,2	22,1	91,7	91
BEL					2000	182,6	963	963
CAN	23,3	37,7	131,6	366,1	558,7	16,0	277,6	276,7
CHE	4,4		204,1	2,6	211,1	26,5	100,2	100
CHN	81,8	36,3	774	2391,9	3300	2,4	2500	2485
DEU			24820		24820	303,2	7500	7500
DNK	0,3	0,5	15,9	0	16,7	3,0	9,7	9,5
ESP					4260	92,0	345	345
FRA	29,4		2289	513	2831,4	43,3	1634,1	1634
GBR					976	15,7	899	899
ISR	3,5	0,3	186	0	189,7	24,1	119,6	119,4
ITA		10	4208,7	8584,2	12802,9	210,5	9304,6	9303,6
JPN	5,5	97,7	4741,5	69,2	4913,9	38,5	1295,8	1291,3
KOR	1	5	177,3	629	812,3	16,7	156,7	156,7
MEX	27,4		7,7	2	37,1	0,3	6,5	4,5
MYS	11		2,5		13,5	0,3	0,9	0,9
NLD	5,4		126		131,4	7,9	43	43
NOR					9	1,8	< 1	< 1
PRT	3,2		140,4		143,6	13,6	12,8	12,7
SWE	5,7	0,8	8,87	0,4	15,8	1,7	4,3	3,6
TUR					7	0,1	1	1
USA			2828	1137	3966	12,6	1867	1867
Estimated totals for all IEA PVPS countries (MW)	1190		62421		63611		27970	27869

Systemy mikromocowe

www.sz-wholesale.com



źródło: różne informacje handlowe (DIY TRADE, DSnumbers, alibaba.com, www.wholesale.com)

Komercyjne systemy autonomiczne (hybrydowe)



Źródło : <http://www.solari.it>



Źródło: BBC News

Zdalny monitoring środowiska



Stacje pomiarowe w odkrywkowej kopalni miedzi Sierra Gorda, pustynia Atacama, Chile



Nadzór nad ważnymi instalacjami



Stacja kontrolna instalacji gazowej. Kraków, ul Głowackiego



Krakowski Rower Miejski. Kraków, Cichy Kącik.

Turystyka



Tablice informacyjne: Zamek Królewski w Chęcinach i Hala Stulecia we Wrocławiu.



Mazury : oświetlenie uliczne

Turystyka



Mazury : system ostrzegania przed niebezpiecznymi zjawiskami pogodowymi

Sygnalizacja drogowa, kolejowa i morska



źródło: różne informacje handlowe (SEALITEUSA, ELTEC, WWW.Solar-LED-Lights.cn, OkSolar, Affordable Solar)

Realizacja zasilania w miejscach bez dostępu do sieci



Refuge de Tete Rousse
3100 n.p.m



The Rappenecker Hof
<http://idw-online.de/pages/en/image8360>

Fotowoltaiczne systemy oświetleniowe LED



Systemy oświetleniowe



Ross Lovegrove Solar Trees in Vienna
<http://inhabitat.com>



Solar Powered Bus Shelter Unveiled in San Francisco
<http://inhabitat.com>



The sustainable city light concept
<http://www.design.philips.com>

Systemy oświetleniowe



Oświetlenie węzła autostradowego
Pustynia Atacama, Chile

Fotowoltaika zainstalowana na dachach budynków mieszkalnych

źródło: <http://sinovoltaics.com>



BAPV
(doinstalowana do dachu)



BIPV
(zintegrowana z dachem)

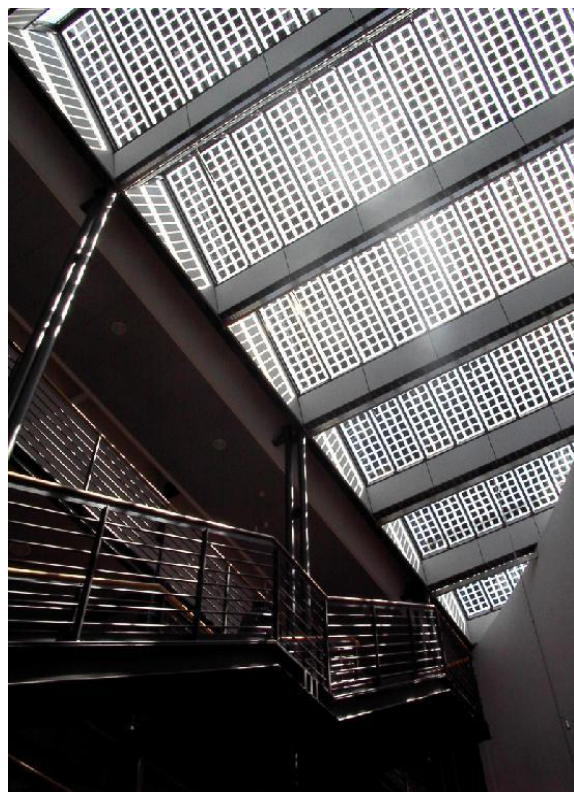
Fotowoltaika zintegrowana z budynkami (BIPV)



źródło: Fraunhofer ISE

Elementy fasady budynku wykonane z baterii słonecznych

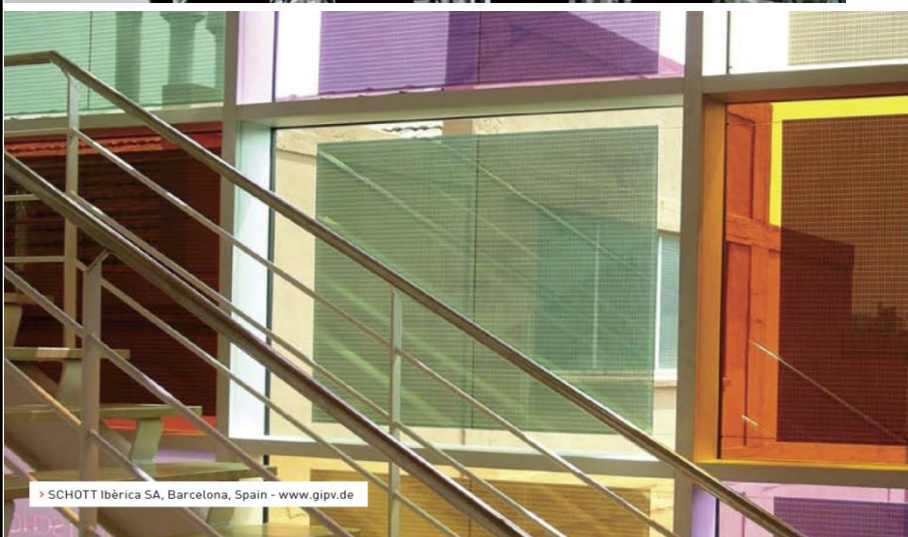
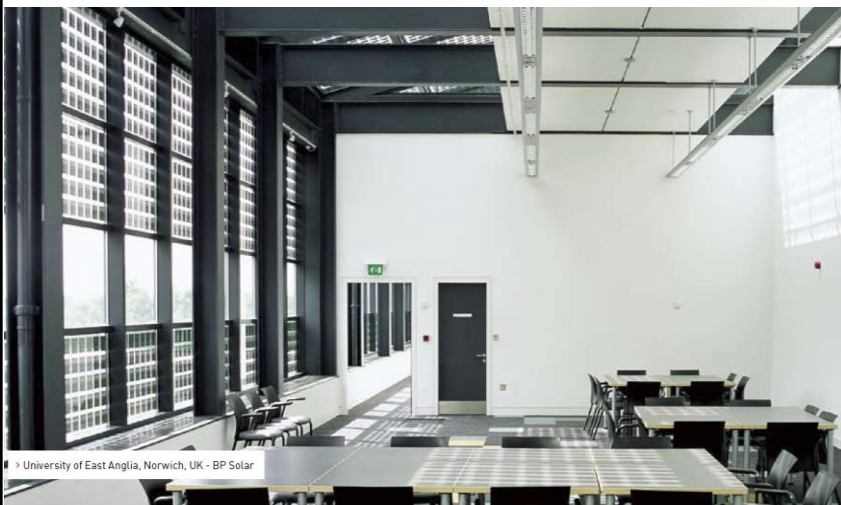
Fotowoltaika zintegrowana z budynkami (BIPV)



źródło: Fraunhofer ISE

Pokrycia dachowe wykonane z baterii słonecznych

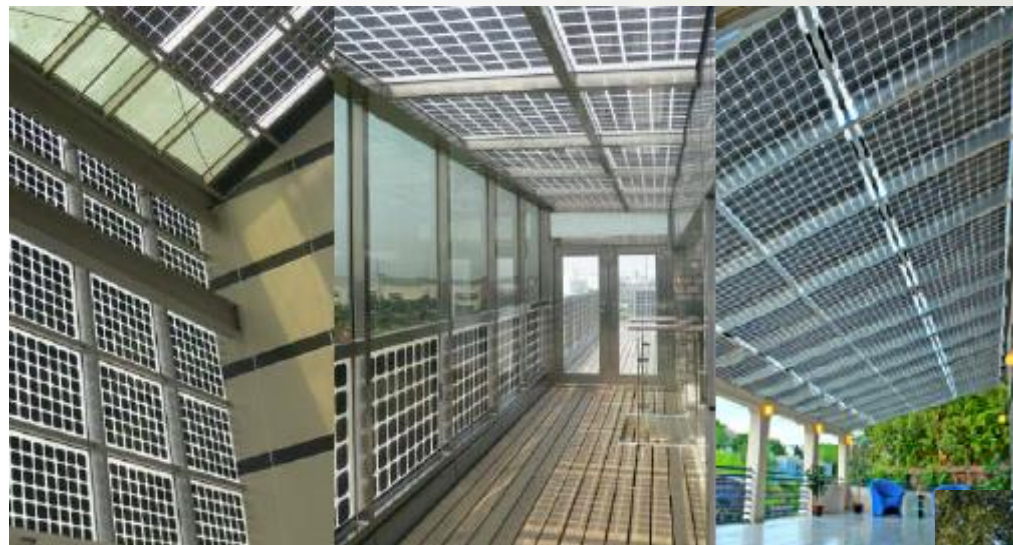
Fotowoltaika zintegrowana z budynkami (BIPV)



Eden Project, Cornwall, UK
<http://www.sharpmanufacturing.co.uk>

http://www.gipv.de/BIPV_Brochure.pdf

Fotowoltaika zintegrowana z budynkami (BIPV)



źródło: Sugan Solar System Solutions,

Źródło: <http://www.treehugger.com/solar-technology>

Elementy budynków mieszkalnych wykonane z przepuszczających światło paneli fotowoltaicznych



Fotowoltaika zintegrowana z budynkami (BIPV)



źródło: PV ezRack

Panele fotowoltaiczne stanowiące część pokrycia dachowego

Fotowoltaika zintegrowana z budynkami (BIPV)



źródło: SOLÉ Solar Power Tile

Dachówki fotowoltaiczne



źródło: www.scientificamerican.com



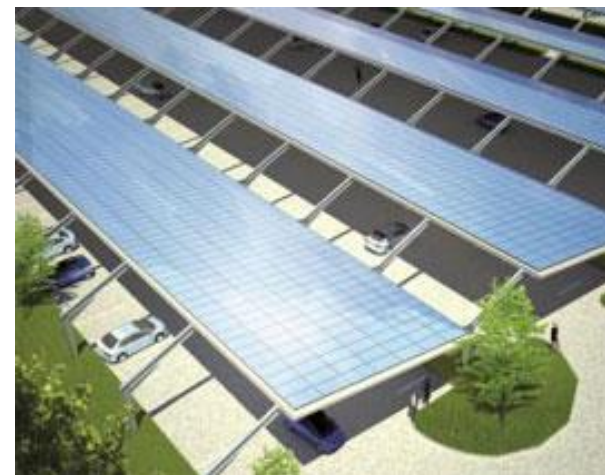
źródło: Stellar Energy Contrac

Fotowoltaika doinstalowywana do budynków (BAPV)



Fotowoltaiczny system zacieleniowy (markiza) AGH Budynek C-3

Wiaty fotowoltaiczne (mała architektura)



źródło: <http://www.schott.com>, www.solarserver.de, trackenergy.com.au

Wiaty fotowoltaiczne (mała architektura)



Źródło: www.dailygreen.de, www.sunside-carports.de

Wiaty fotowoltaiczne (mała architektura)

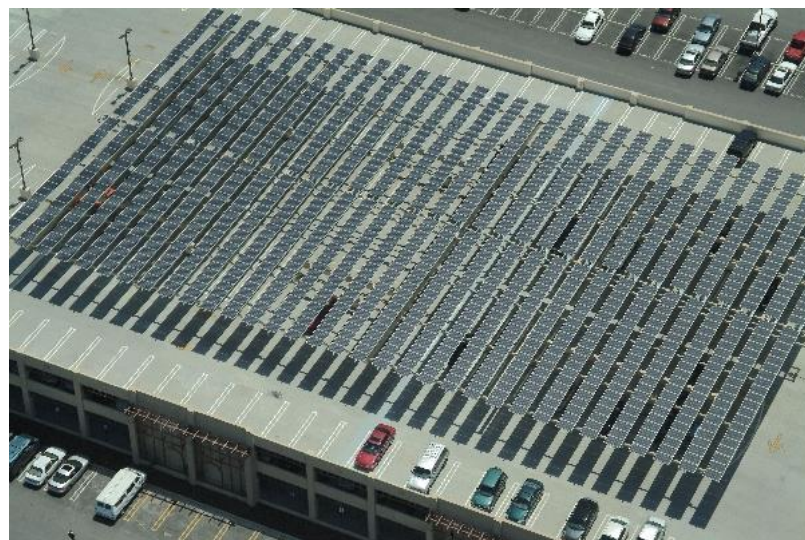
Chojnice,
Park 1000-lecia
9,6kWp

Zasilanie oświetlenia
monitoringu parku.

Źródło: www.sunnyportal.com



Dachy fotowoltaiczne



źródło: www.belectric.com, www.sustainableplant.com,
<http://www.gosolarcalifornia.ca.gov>

Dachy fotowoltaiczne



źródło: www.sma-sunny.com, <http://www.gosolarcalifornia.ca.gov>

Dachy fotowoltaiczne



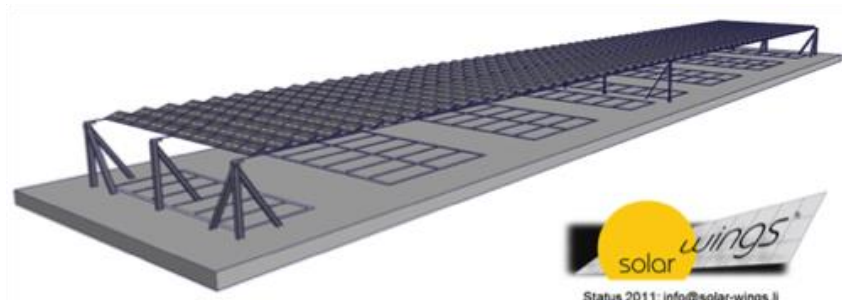
źródło: www.lapsedphysicist.org

Drzewa fotowoltaiczne



źródło: www.geocaching.com, www.solarserver.de, www.resutec.de

Rozwiązania nietypowe



źródło: de.wikipedia.org, greenzu.com, www.engineering.zhaw.ch, inhabitat.com

Moduły PV przepuszczające światło



Moduły PV przepuszczające światło



źródło: www.weiku.com, www.osps.eu, www.archiexpo.com, www.pv-magazine.com

Komercyjne elektrownie fotowoltaiczne



San Luis Obispo County, California USA
Topaz Solar Farm 550 MWp
9 mln. modułów CdTe (First Solar)
Źródło: Wikipedia

**1 MWp
~ 2,5 ha gruntu**

Hokuto-City, Japan 1,2MWp



Komercyjne elektrownie fotowoltaiczne



Yuma County, Arizona USA
Agua Caliente Solar Project 247MWp (397MWp)

<http://www.YumaSun.com/>

Pierwsza w Polsce farma fotowoltaiczna o mocy 1,0 MWp w Wierzchosławicach została uruchomiona w dniu 30.09.2011 r.



Fot. Archiwum GEORYT Krzysztof Witkowski

Przykład BAPV w Jaworznie

Sanktuarium Matki Bożej Nieustającej Pomocy



kwiecień 2011

Zalety fotowoltaki

- Nie emituje zanieczyszczeń
- Nie wytwarza hałasu
- Nie generuje wibracji
- Nie ingeruje w środowisko i przestrzeń*
- Łatwo ją zintegrować z budynkami
- Gwarancja parametrów paneli PV na 25 lat



Fotowoltaika a ekologia

System fotowoltaiczny* o mocy **1kWp** zainstalowany w Polsce jest w stanie wyprodukować **rocznie** od **850** do **950** kWh energii elektrycznej

* System stacjonarny w optymalnym ułożeniu i w warunkach czystego horyzontu

Wielkości emisji zanieczyszczeń w roku 2011 w wyniku spalania paliw w Elektrowni Bełchatów dla bloków 1-12

	Emisja całkowita przypadająca na produkcję energii elektrycznej brutto	Emisja jednostkowa z produkcji energii elektrycznej	Emisja jednostkowa z produkcji energii cieplnej
Jednostki	kg/MWh	kg/MWh	kg/GJ
SO₂	2,678	2,671	0,102
NO_x	1,342	1,336	0,078
pył	0,049	0,049	0,002
CO	0,383	0,382	0,015
CO₂	1096	1091	63,06

Elementy systemu fotowoltaicznego

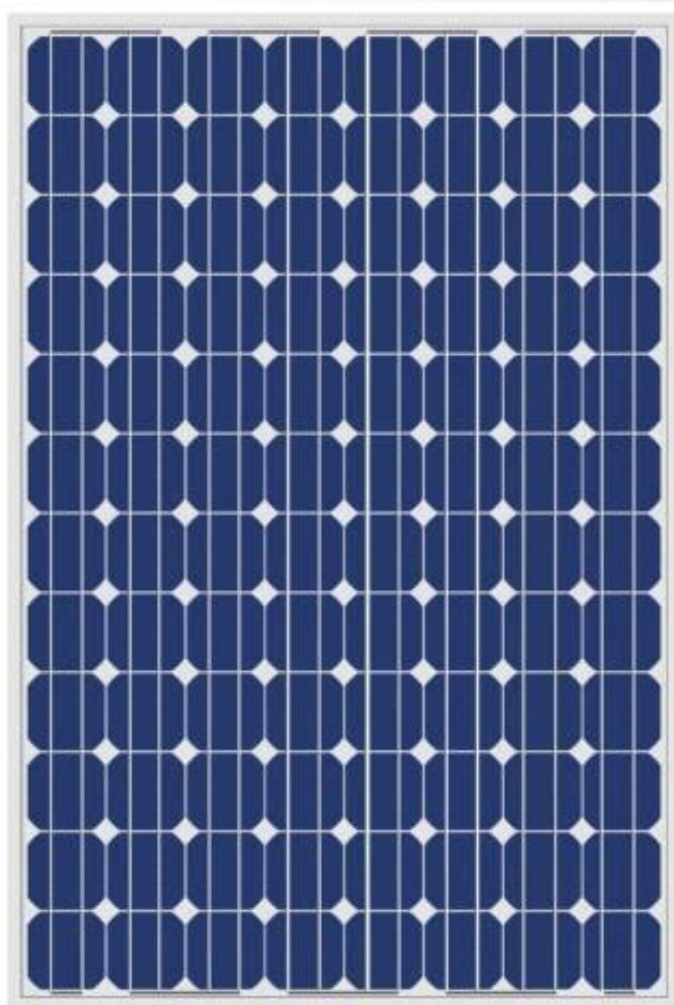
Moduł(y) fotowoltaiczne

- Stanowią generator energii elektrycznej
- Łączy się je w pola fotowoltaiczne
- Montowane są na konstrukcjach wsporczych zapewniających odpowiednie kąty ustawienia oraz wytrzymałość mechaniczną



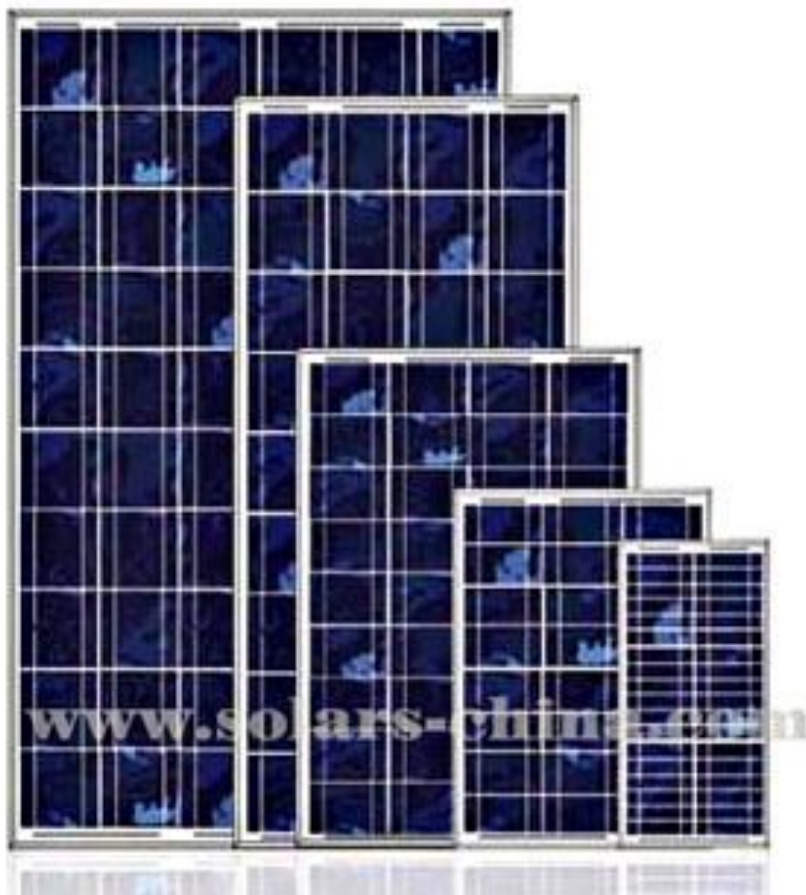
zdjęcie: Kyocera – materiały handlowe

Rodzaje modułów PV krzem monokrystaliczny



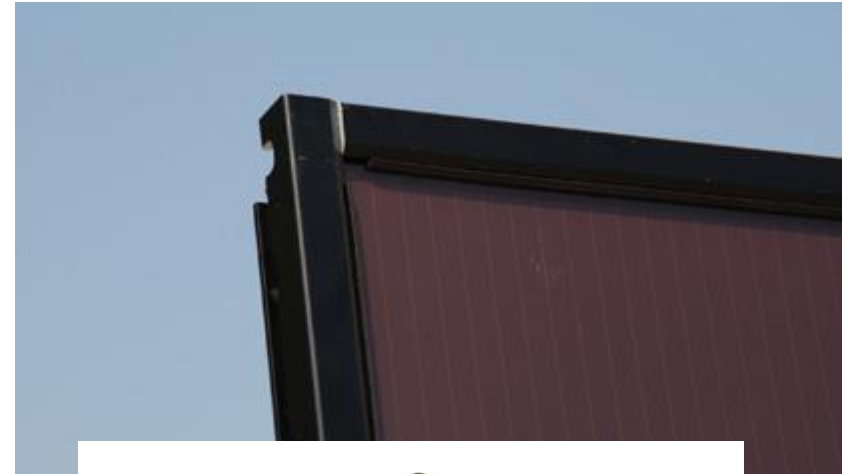
źródło : <http://www.ecvv.com> ,
<http://ledprince.in/ledprince>

Rodzaje modułów PV - krzem multiktystaliczny



źródło : <http://www.solars-china.com>, <http://www.sunlightelectric.com>

Rodzaje modułów PV moduły cienkowarstwowe



źródło : First Solar Agua Caliente Arizona USA
<http://www.made-in-china.com>,
<http://www.brijfootcare.in/solar-technologies>

Elementy systemu fotowoltaicznego

Regulator ładowania (charge - controller)

- Decyduje o rozplywie energii w autonomicznym systemie PV
- Nadzoruje proces ładowania/rozładowania akumulatora
- Wizualizuje stan pracy systemu
- Inne funkcje (wyłącznik zmierzchowy, włącznik generatora pomocniczego)

zdjęcia: Steca Elektronik GmbH



Elementy systemu fotowoltaicznego

Akumulator(y)

- Ma zgromadzić zapas energii niezbędny do zapewnienia wymaganej autonomii wydzielonego systemu PV
- Najczęściej wykorzystuje się kwasowo- ołowiowe akumulatory z elektrolitem w postaci żelu
- Magazyn energii buduje się poprzez szeregowo-równoległe łączenie akumulatorów o napięciu 2V, 6V lub 12V
- Pomieszczenie akumulatorowni wymaga wietrzenia



zdjęcia: www.Sonnenchein.org



Elementy systemu fotowoltaicznego

Falownik (inverter)

- Zamienia napięcie stałe z modułów PV na napięcie przemiennie o parametrach sieciowych
- Może posiadać izolację DC/AC (transformator) lub nie.
- Typy falowników:
 - Wyspowy (off-grid)
 - Współpracujący z siecią (on-grid)
 - Jednofazowy
 - Trójfazowy
- Zakres mocy falowników od 150W do 20kW
- Falowniki centralne o mocach od 100 do 500kW



zdjęcia: SMA Solar Technology AG

Elementy systemu fotowoltaicznego

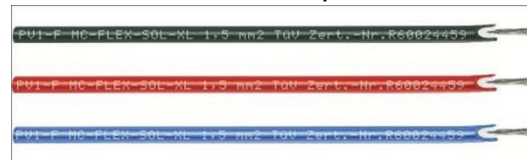
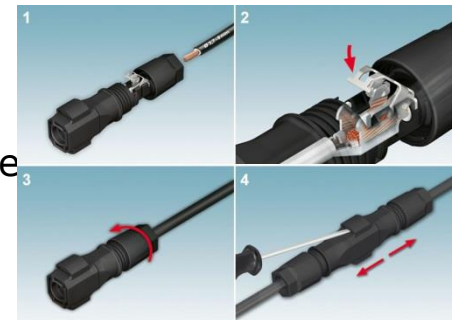
Przewody i złącza

Zdjęcia: MultiContact, PhoenixContact, IBC, Helukabel

- Mają zapewnić bezawaryjną pracę systemu przez ponad 20 lat.
- Muszą być odporne na zmienne warunki pogodowe.
- Muszą posiadać zabezpieczenia przed przypadkowym rozłączeniem
- Najpopularniejsze standardy złącz:
 - MultiContact **MC3 i MC4**
 - PhoenixContact **Sunclix**
- Przewody solarne – elastyczne (linka), odporne na działanie UV

i wysokiego napięcia (min. 1000 V)

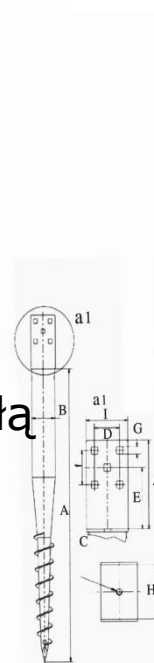
- Przykłady: IBC Flexisun, Helukabel Solarflex-X, MultiContact Flex



Elementy systemu fotowoltaicznego

Konstrukcja wsporcza

- Stalowa lub aluminiowa konstrukcja łącząca moduły fotowoltaiczne z budynkiem (dach, fasada) lub podłożem ziemnym.
- Ma zapewnić odpowiednie kąty ustawienia modułów PV oraz odporność na podmuchy wiatru.
- Tak jak ramy modułów oraz wszystkie metalowe obudowy urządzeń użytych do budowy systemu PV konstrukcja wsporcza musi być uziemiona.
- Spotyka się najróżniejsze sposoby łączenia konstrukcji wsporczej z bryłą budynku lub podłożem (stawianie, przykręcanie, wbijanie montaż na betonowych fundamentach).



Elementy systemu fotowoltaicznego



Standard Test Conditions (STC)

- **Natężenie promieniowania słonecznego: 1000 [W/m²]**
- **Widmo promieniowania słonecznego: AM=1.5**
- **Temperatura pracy modułu: 25°C**

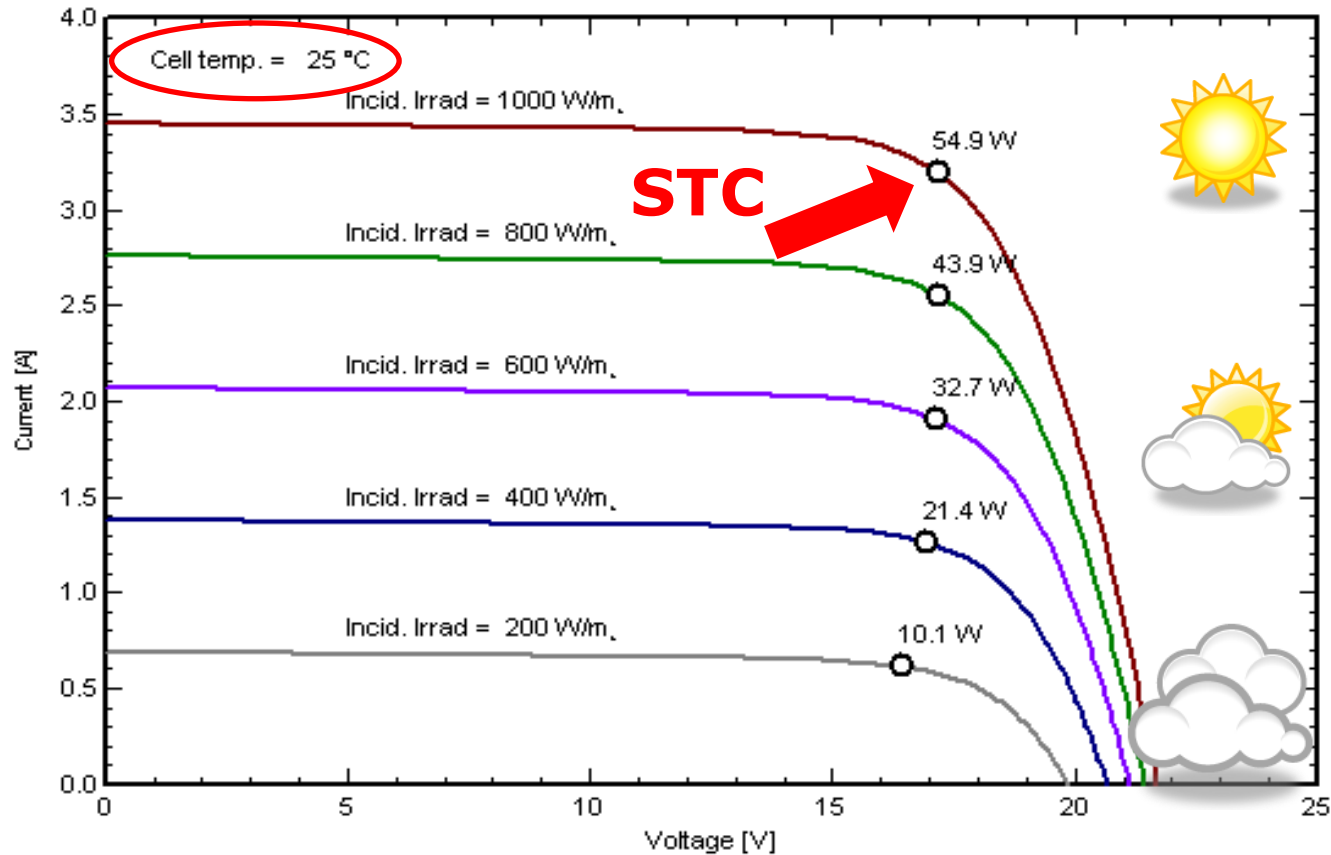
Dla warunków STC

podaje się następujące parametry modułu:

- moc znamionową
- sprawność
- napięcie układu otwartego (bez obciążenia)
- prąd zwarciový modułu
- optymalny punkt pracy (napięcie i prąd, przy których uzyskuje się z modułu moc znamionową)

Charakterystyka I/V modułu fotowoltaicznego

PV module : Siemens Solar, SM55, Manufacturer

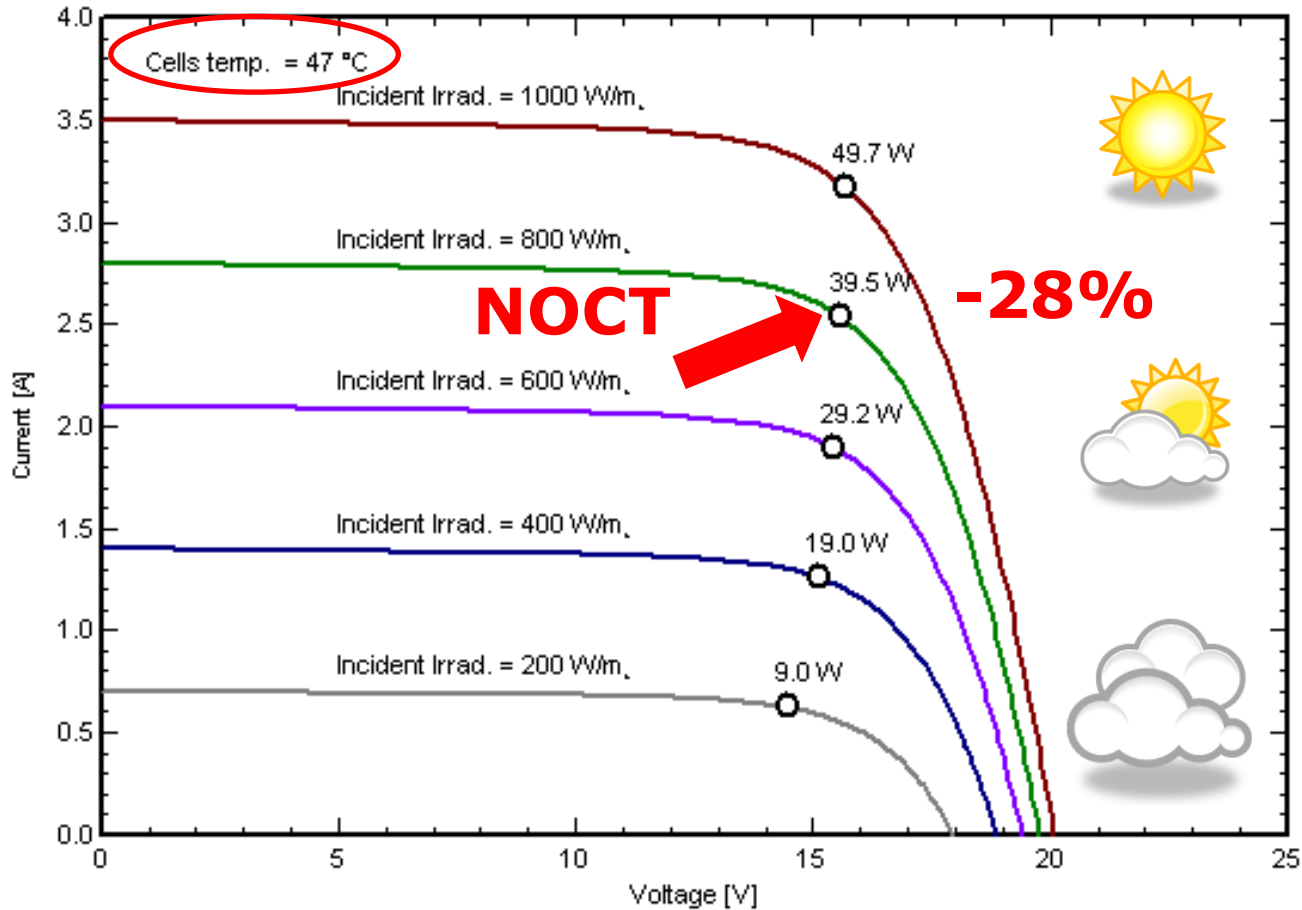


Normal (Nominal) Operating Cell Temperature NOCT

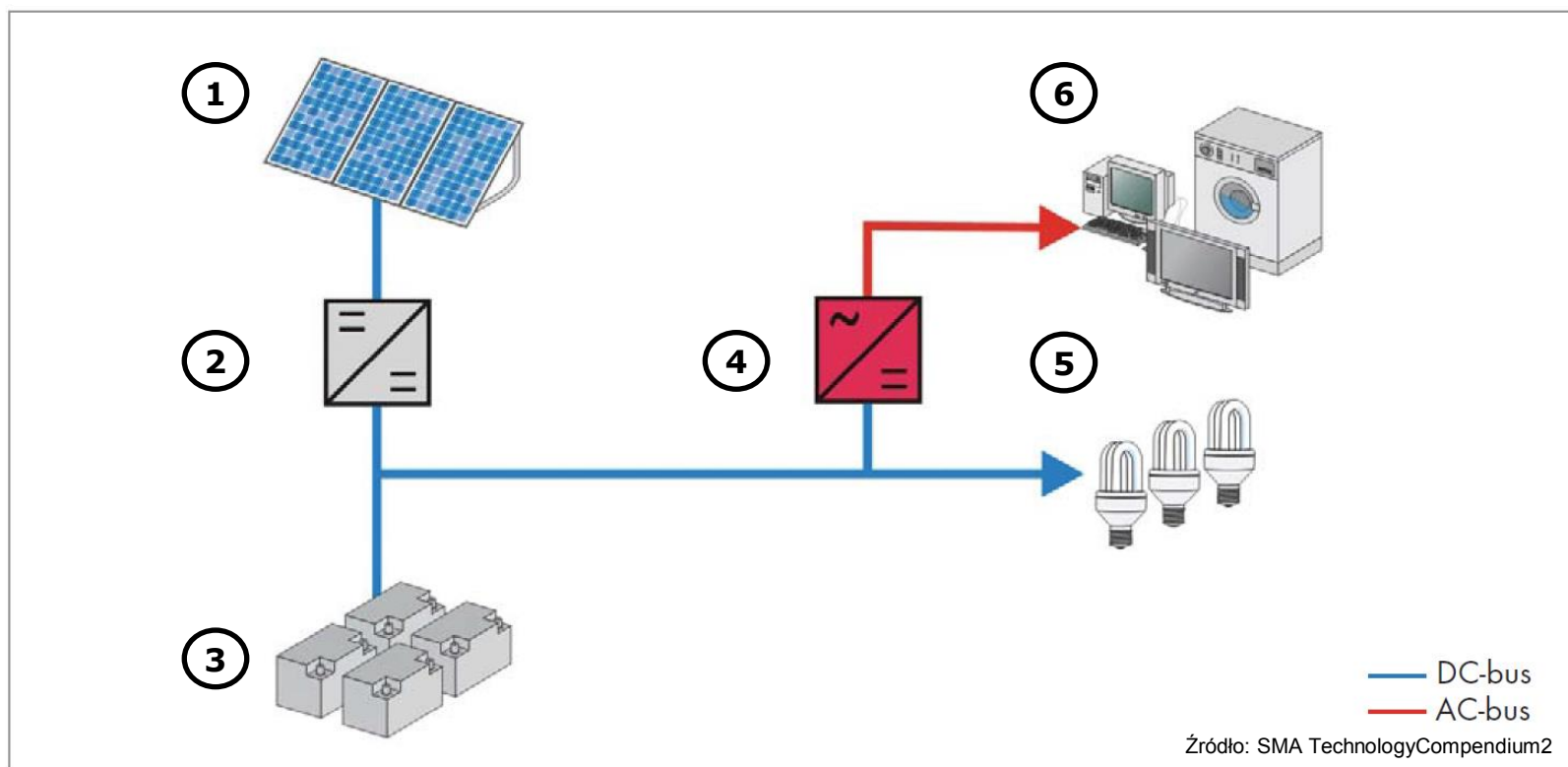
- **Natężenie promieniowania słonecznego: 800 [W/m²]**
- **Widmo promieniowania słonecznego: AM=1.5**
- **Temperatura pracy modułu: 47-49°C**
temperatura jaką osiąga moduł przy oświetleniu 800W/m², przy temperaturze powietrza 20°C i wietrze wiejącym z prędkością 1 m/s.

Normal (Nominal) Operating Cell Temperature NOCT

PV module: Siemens Solar, SM55



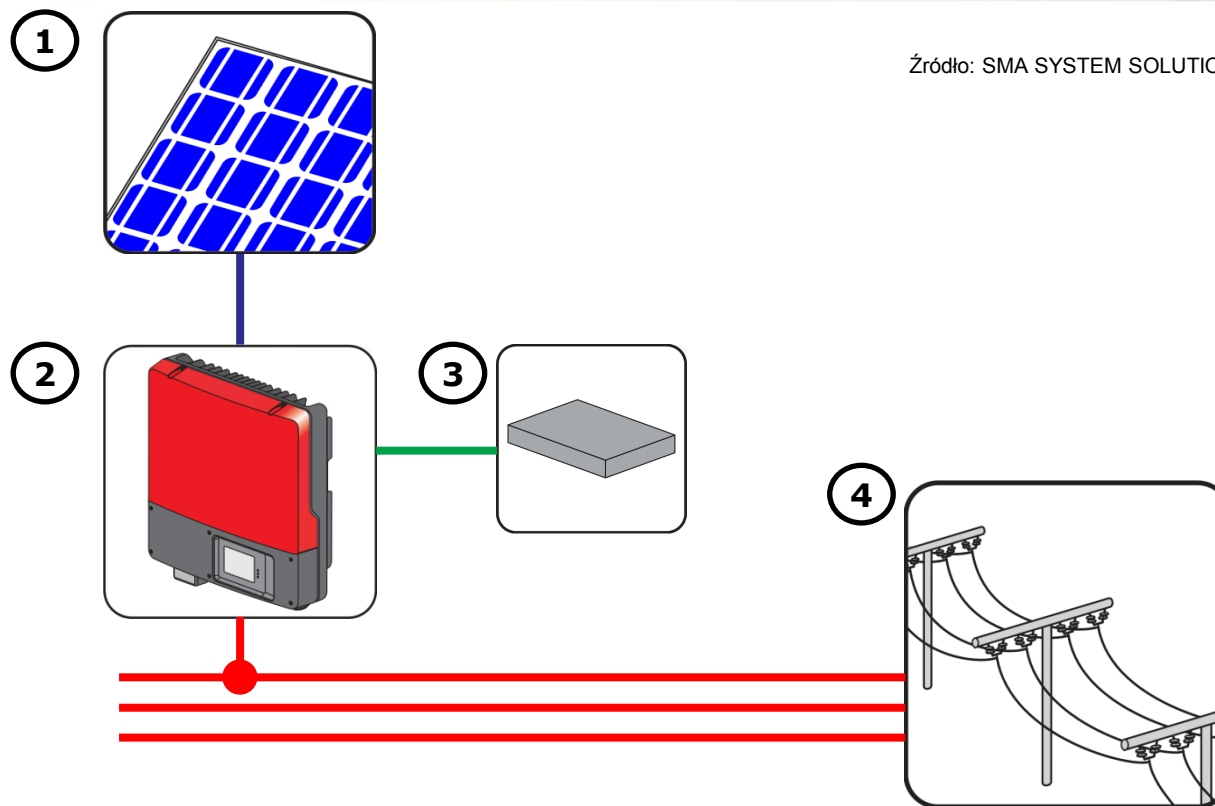
Autonomiczny system fotowoltaiczny



1. Generator fotowoltaiczny
2. Regulator ładowania
3. Bank akumulatorów

4. Autonomiczny falownik
5. Odbiorniki stałoprądowe
6. Odbiorniki zmiennoprądowe

Sieciowe systemy fotowoltaiczne

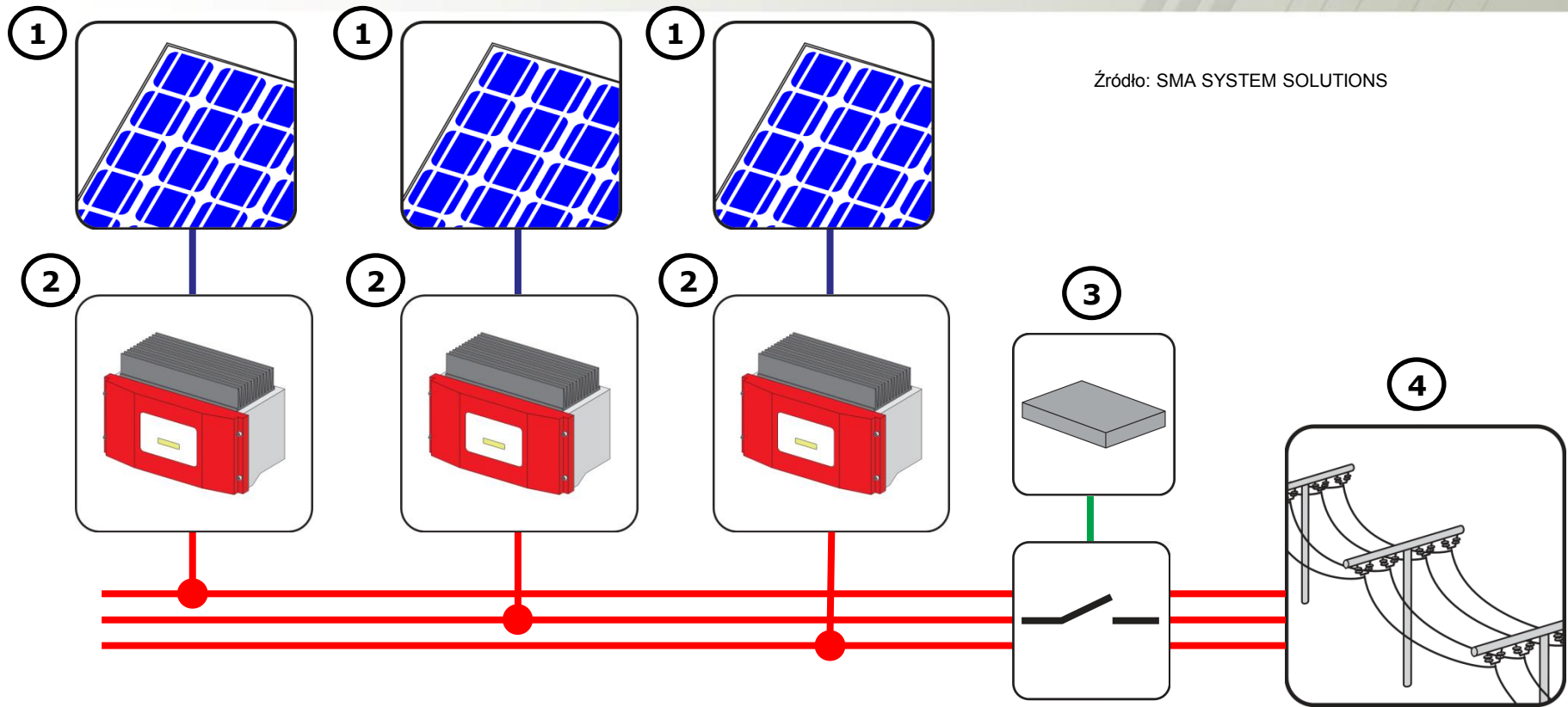


Źródło: SMA SYSTEM SOLUTIONS

1. Generator fotowoltaiczny
2. Jednofazowy falownik sieciowy z regulacją mocy
3. Urządzenia sterujące i komunikacyjne
4. Publiczna sieć elektroenergetyczna

— DC
— AC
— Magistrala komunikacyjna

Sieciowe systemy fotowoltaiczne

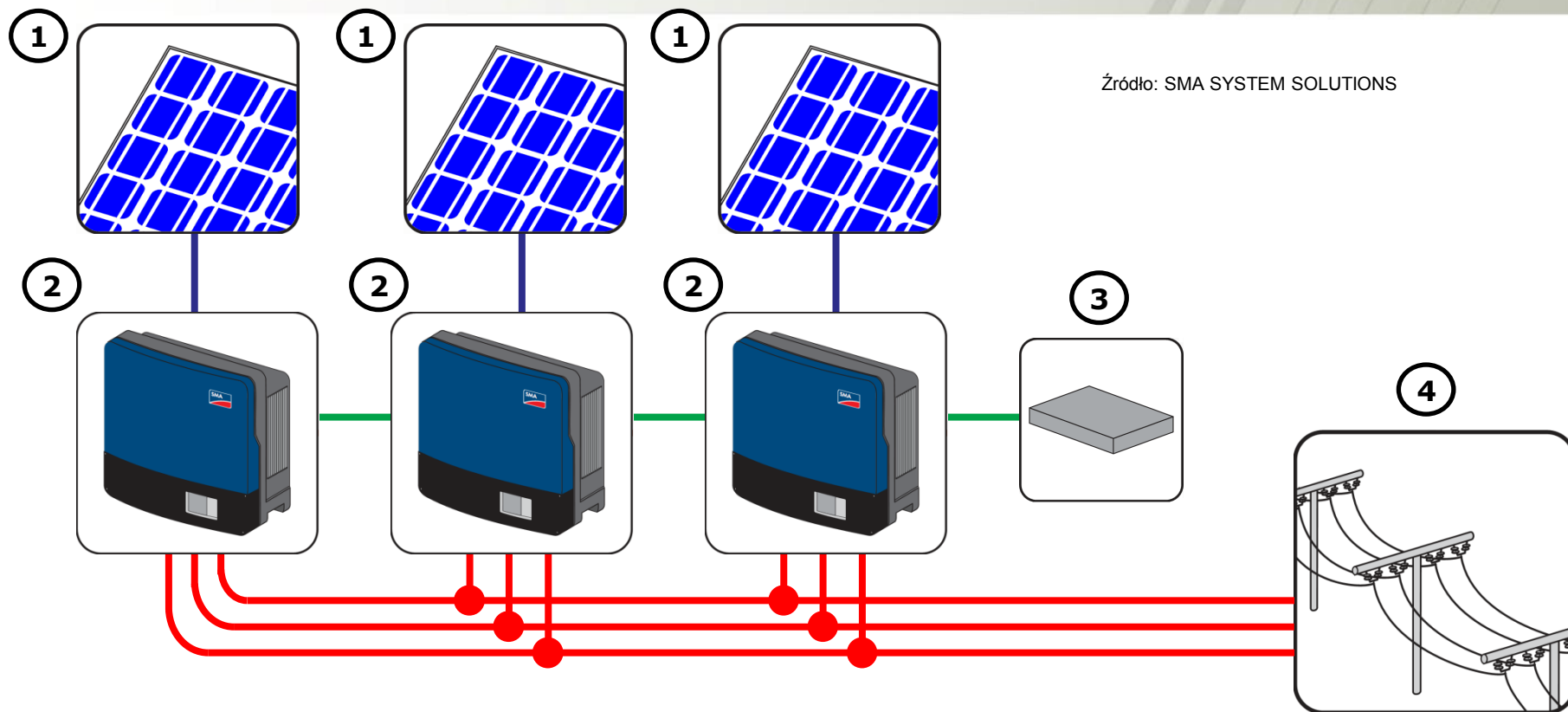


Źródło: SMA SYSTEM SOLUTIONS

1. Generator fotowoltaiczny
2. Jednofazowy falownik sieciowy
3. Urządzenia sterujące i komunikacyjne
4. Publiczna sieć elektroenergetyczna
5. Wyłącznik (zdalnie sterowany)

 DC
 AC
 Magistrala komunikacyjna

Sieciowe systemy fotowoltaiczne

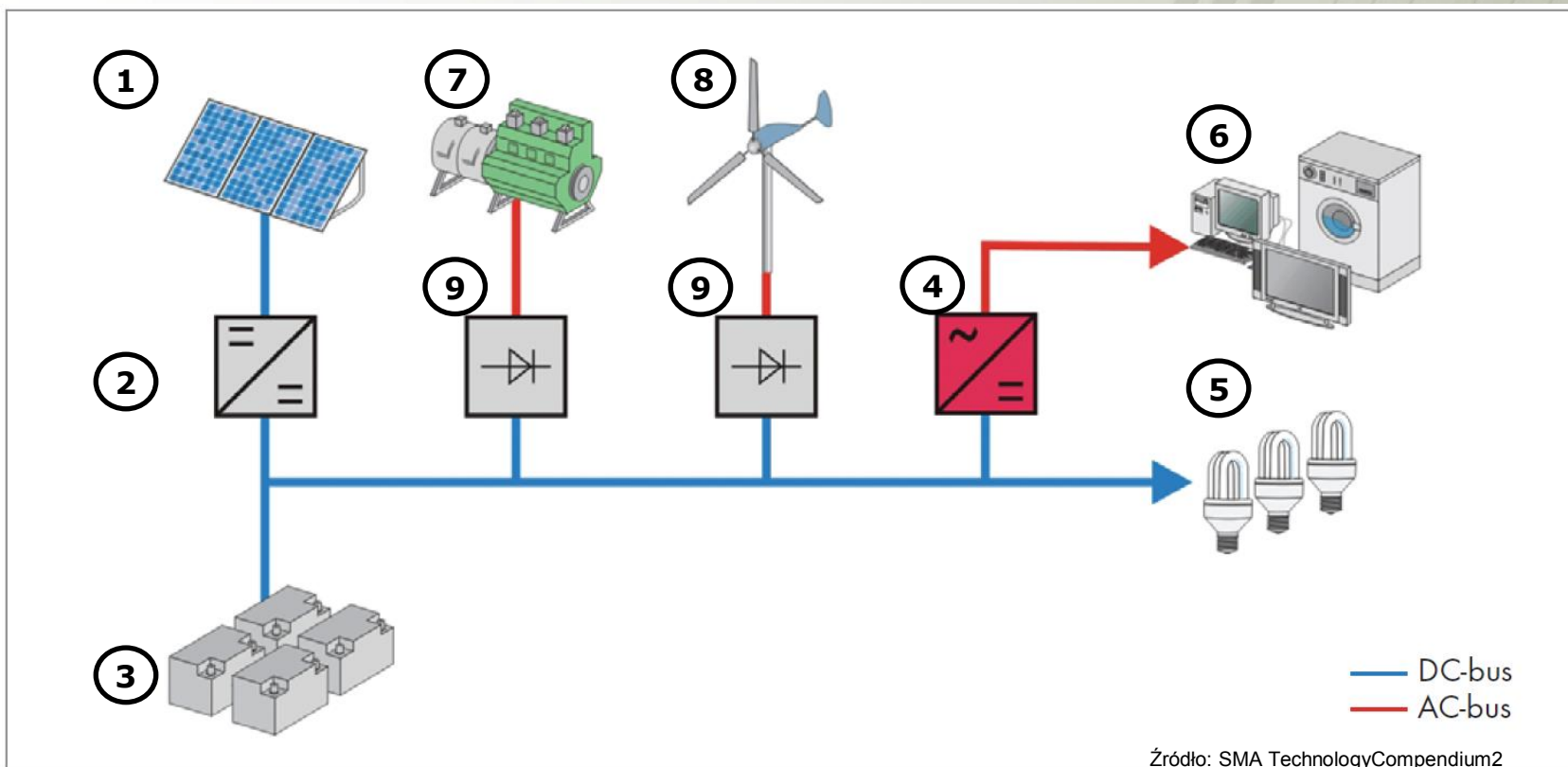


Źródło: SMA SYSTEM SOLUTIONS

1. Generator fotowoltaiczny
2. Trójfazowy falownik sieciowy z regulacją mocy
3. Urządzenia sterujące / komunikacyjne
4. Publiczna sieć elektroenergetyczna

 DC
 AC
 Magistrala komunikacyjna

Autonomiczny system hybrydowy (DC)

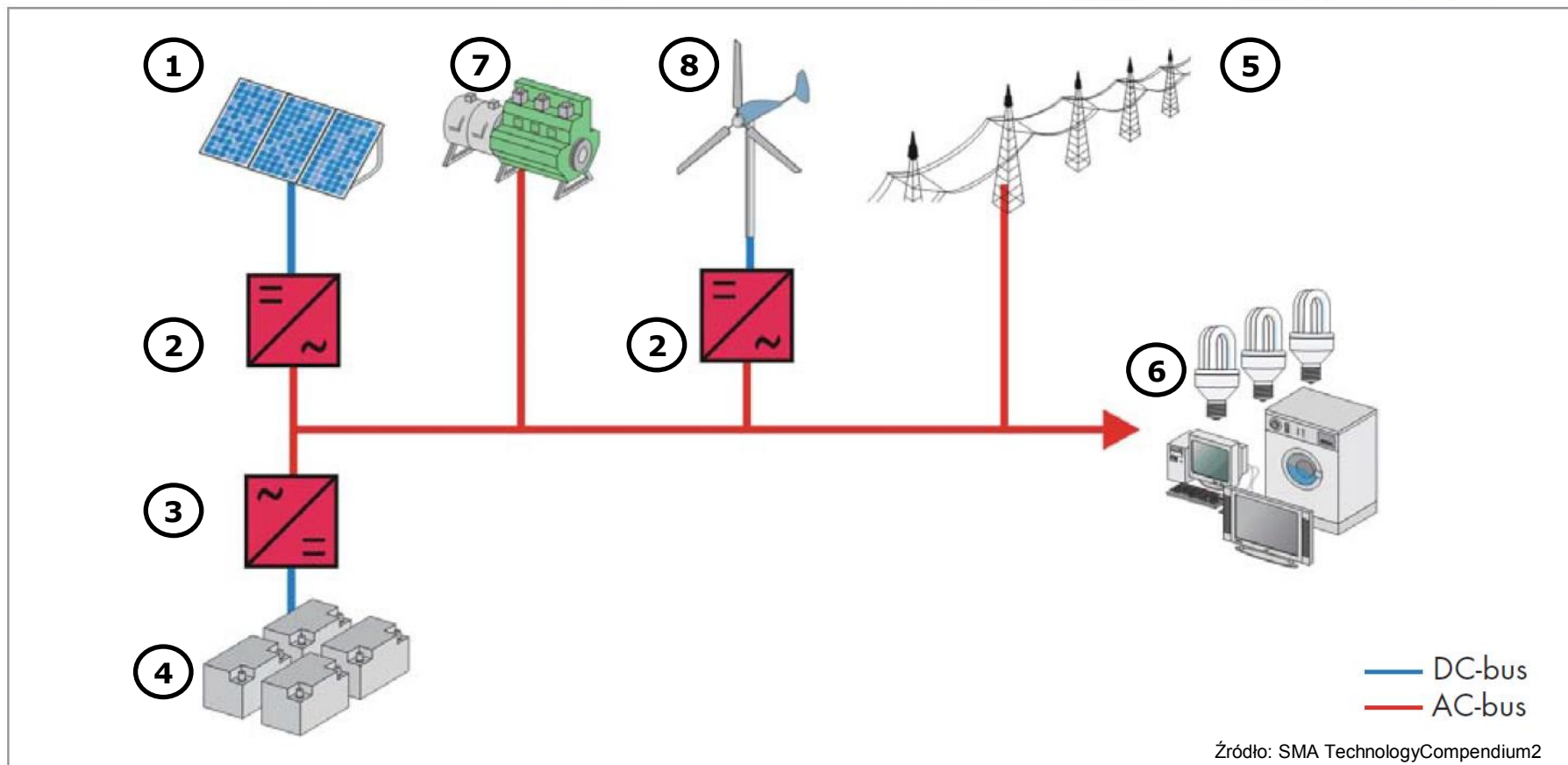


1. Generator fotowoltaiczny
2. Regulator ładowania
3. Bank akumulatorów

4. Autonomiczny falownik
5. Odbiorniki stałoprądowe
6. Odbiorniki zmiennoprądowe

7. Generator pomocniczy
8. II Generator pomocniczy
9. Prostownik napięcia

Autonomiczny system hybrydowy (AC)

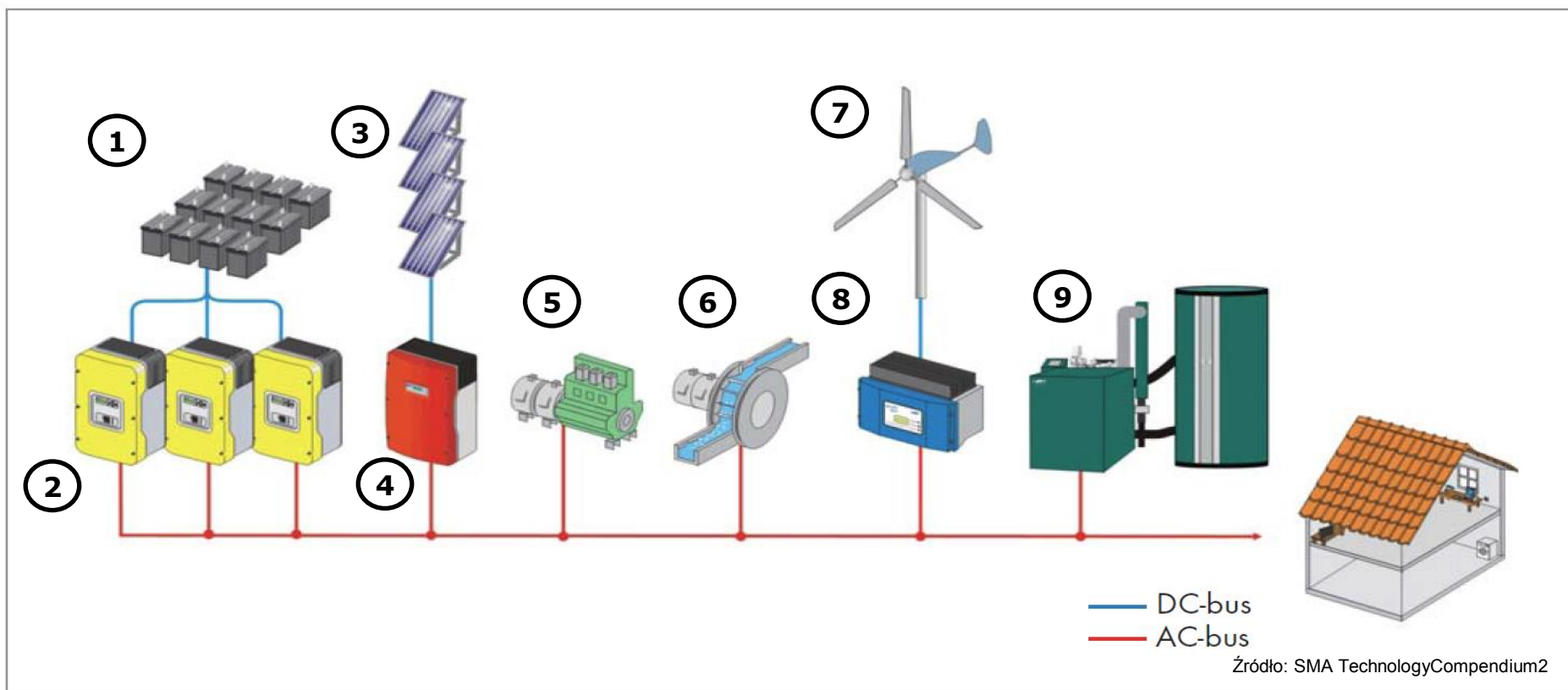


1. Generator fotowoltaiczny
2. Falownik sieciowy
3. Falownik sieciowy / ładowarka

4. Bank akumulatorów
5. Publiczna sieć elektroenerget.
6. Odbiorniki zmiennoprądowe

7. Generator pomocniczy
8. II Generator pomocniczy

Hybrydowy system wyspowy

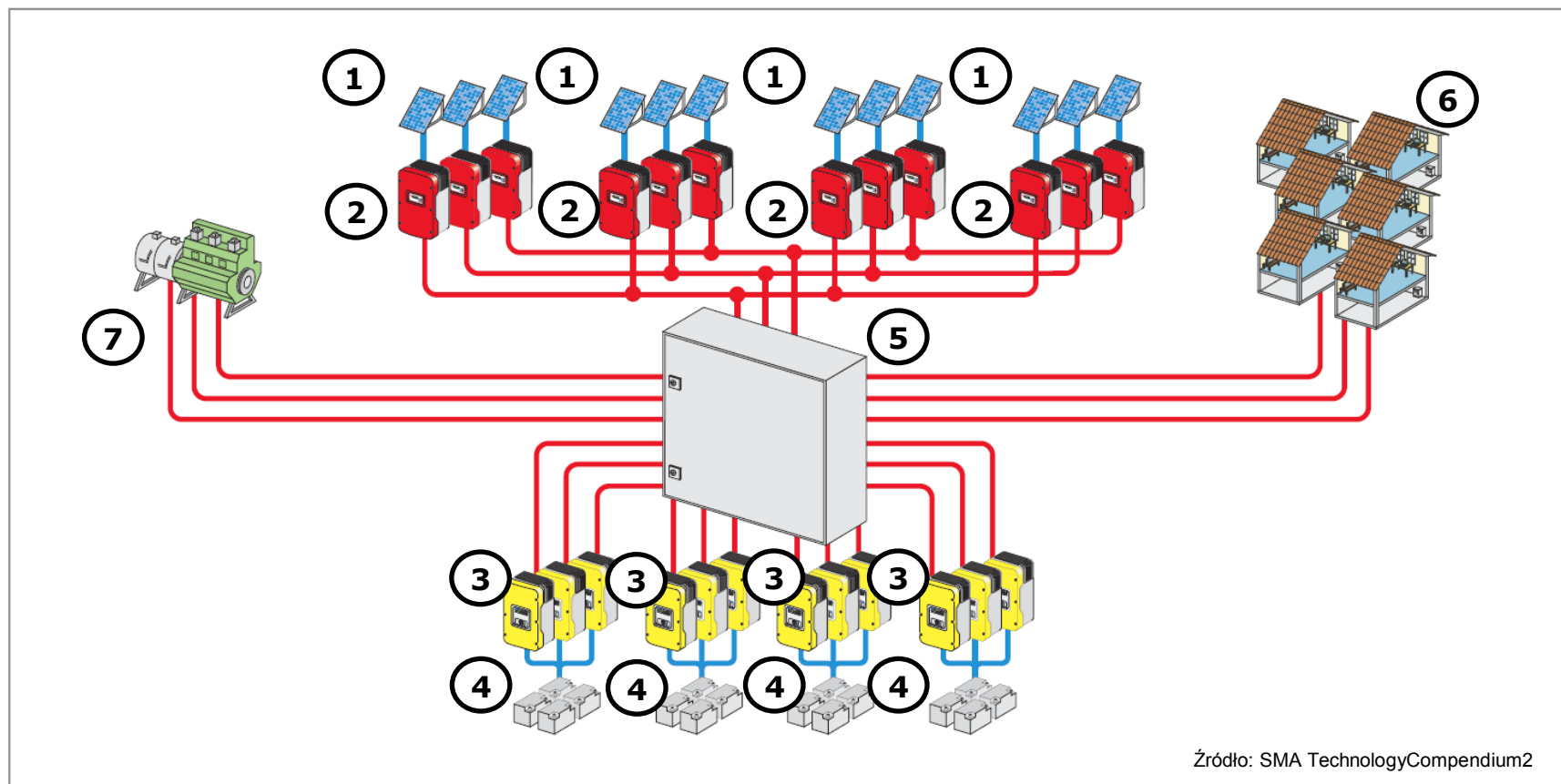


1. Bank akumulatorów
2. Falowniki wyspowe
3. Generator fotowoltaiczny

4. Falownik sieciowy (solar)
5. Generator pomocniczy
6. Hydrogenerator

7. Turbina wiatrowa
8. Falownik sieciowy (wind)
9. Generator na biogaz

Rozproszony system wyspowy



Źródło: SMA TechnologyCompendium2

1. Generator fotowoltaiczny
2. Falowniki sieciowe
3. Falowniki wyspowe

4. Banki akumulatorów
5. Centrum dystrybucji energii
6. Odbiorniki energii

7. Generator pomocniczy

Zasada działania systemu wyspowego

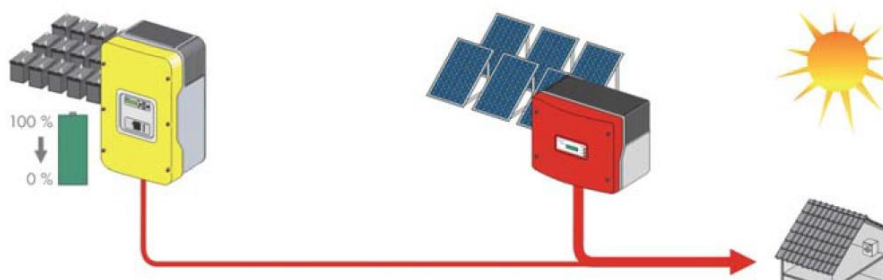
Źródło: SMA TechnologyCompendium2



Dzień : energia z PV jest większa niż potrzeby odbiorników (ładowanie akumulatorów)

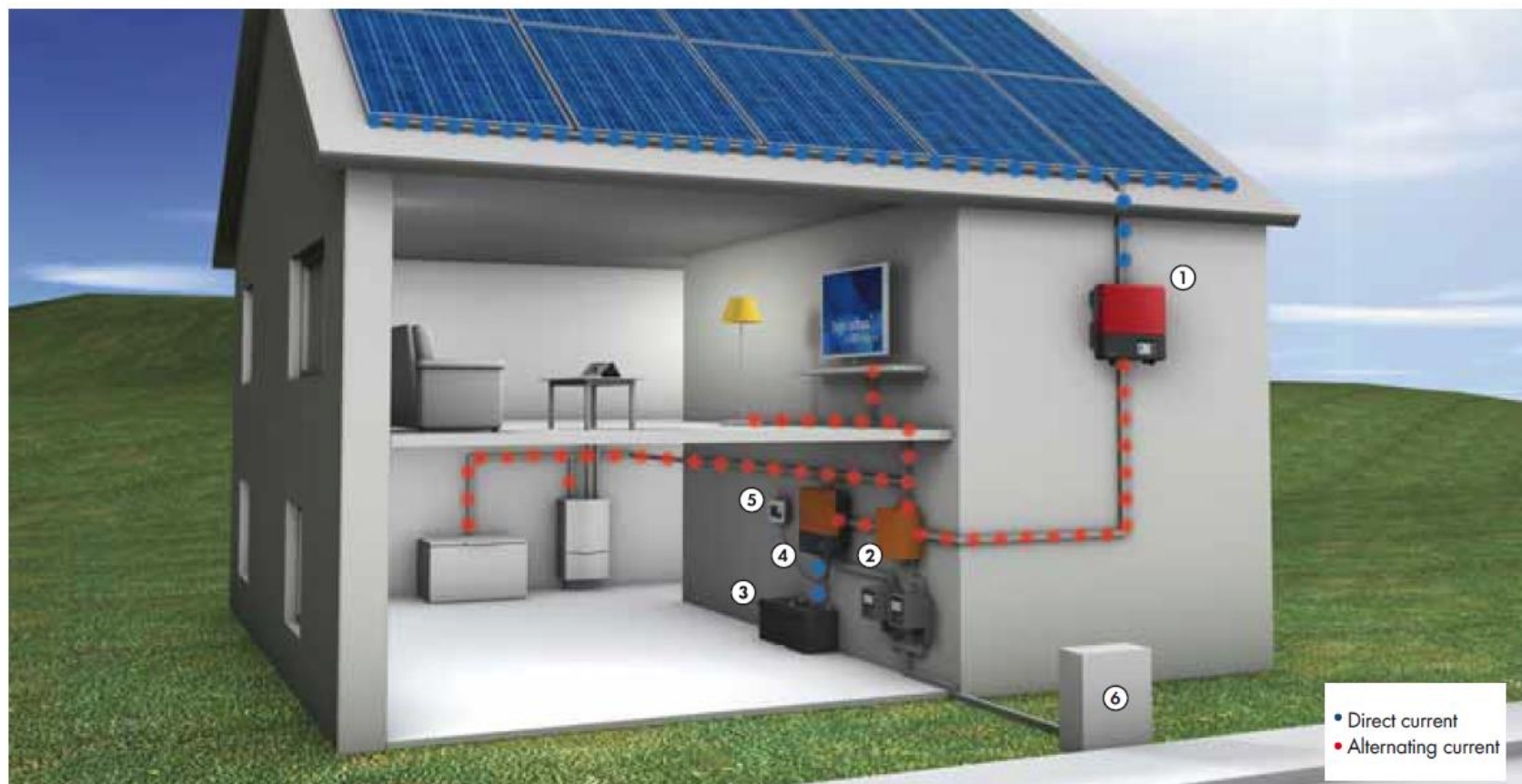


Noc: energia z PV = 0 – odbiorniki zasilane są z akumulatorów



Dzień : energia z PV jest mniejsza niż potrzeby odbiorników (dodatkowe zasilanie z akumulatorów)

System typu Sunny Backup

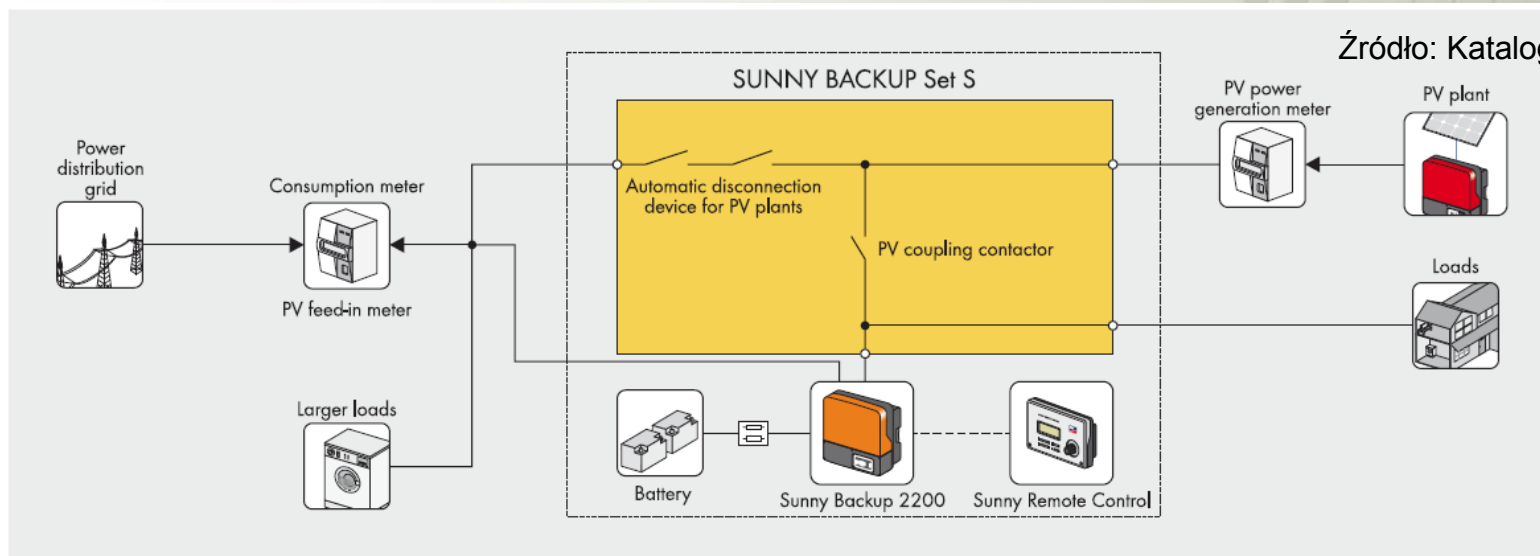


Components: 1. Sunny Boy PV inverter, 2. Sunny Backup automatic transfer switch, 3. Sunny Backup battery set, 4. Sunny Backup 2200, 5. Sunny Remote Control, 6. Grid connection

Źródło: SMA materiały promocyjne

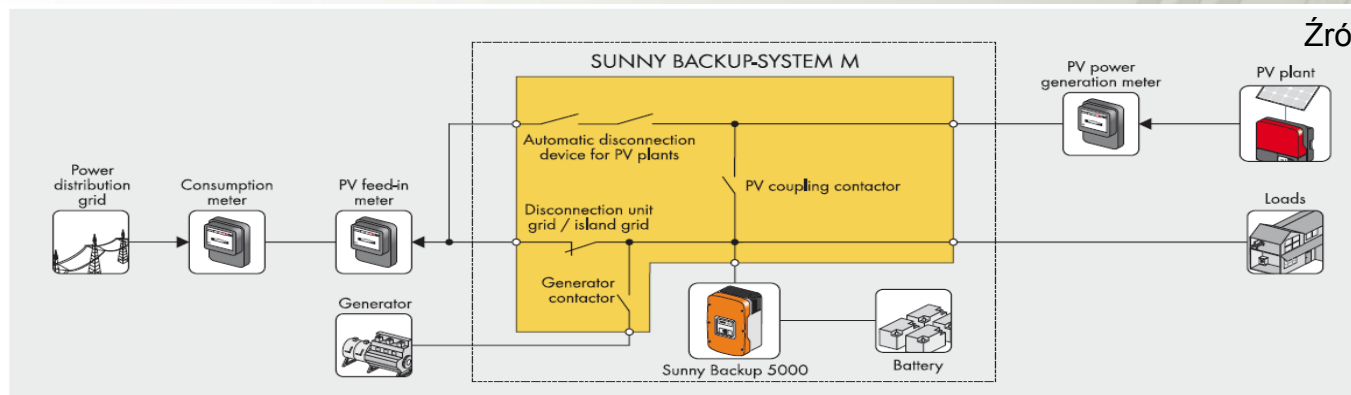
Sunny Backup Set S

Źródło: Katalog SMA 2012



Technical data	Sunny Backup Set S	
Output: loads		
Nominal power / electric current during grid operation	5.7 kW / 25 A	
Backup power (duration / 30 min / 1 min)	2.2 kW / 2.9 kW / 3.8 kW	
Number of phases (grid operation / backup operation)	1 / 1	
Voltage (range)	230 V (172.5 V - 264.5 V)	
Frequency (range)	50 Hz (45 Hz ... 65 Hz)	
Permitted grounding system	TN	
Typical interruption time during grid failure	50 ms	
Input PV plant		
Nominal AC PV power / current	4.6 kW / 20 A	
Compatible PV inverters	www.SMA-Solar.com	
Input battery		
Nominal voltage / number of blocks	24 V / 2 x 12 V	
Battery type, energy / capacity per block	AGM, 3.4 kWh / 142 Ah	

Sunny Backup Set M lub L



Źródło: Katalog SMA 201

Technical data	Sunny Backup system M	Sunny Backup system L
Output: loads		
Nominal power / electric current during grid operation	7.4 kW / 32 A at 35 °C	35 kW / 3 x 50 A at 35 °C
Max. power / electric current during grid operation for 30 min	8.9 kW / 38 A at 35 °C	41 kW / 3 x 60 A at 35 °C
Maximum fuse link	40 A	63 A
Backup power (duration / 30 min / 1 min)	5 kW / 6.5 kW / 8.4 kW	15 kW / 19.5 kW / 25.2 kW
Number of phases (grid operation / backup operation)	3/3 x 1 ~	3 / 3
Voltage (range)	230 V (187 V - 253 V)	230 V (187 V - 253 V)
Frequency (range)	50 Hz (45 Hz ... 55 Hz)	50 Hz (45 Hz ... 55 Hz)
Permitted grounding system	TN / TT	TN / TT
Typical interruption time during grid failure	20 ms	20 ms
Input PV plant		
Nominal AC PV power / current	5.7 kW / 25 A at 35 °C	28 kW / 3 x 40 A at 35 °C
Maximum fuse link	32 A	50 A
Compatible PV inverters	www.SMA-Solar.com	www.SMA-Solar.com
Input battery		
Nominal voltage	48 V	48 V
Battery type	Li-Ion / VRLA / FLA / NiCd	Li-Ion / VRLA / FLA / NiCd
Efficiency / self-consumption		
Max. efficiency in backup operation	95 %	95 %
Self-consumption consumption day / night (silent mode)	48 W / 32 W	103 W / 69 W

Sunny Backup Set XL

Źródło: Katalog SMA 201

Technical data	Sunny Backup system XL (only for TN)
Output: loads	
Nominal power / electric current during grid operation	110 kW / 3 x 160 A at 25 °C
Max. power / electric current during grid operation for 30 min	- / -
Maximum fuse link	160 A
Backup power (duration / 30 min / 1 min)	60 kW / 78 kW / 100 kW
Number of phases (grid operation / backup operation)	3 / 3
Voltage (range)	230 V (187 V - 253 V)
Frequency (range)	50 Hz (45 Hz ... 55 Hz)
Permitted grounding system	TN
Typical interruption time during grid failure	20 ms
Input PV plant	
Nominal AC PV power / current	110 kW / 3 x 160 A at 25 °C
Maximum fuse link	160 A
Compatible PV inverters	www.SMA-Solar.com
Input battery	
Nominal voltage	48 V
Battery type	VRLA / FLA / NiCd
Efficiency / self-consumption	
Max. efficiency in backup operation	95 %
Self-consumption consumption day / night (silent mode)	360 W / 230 W

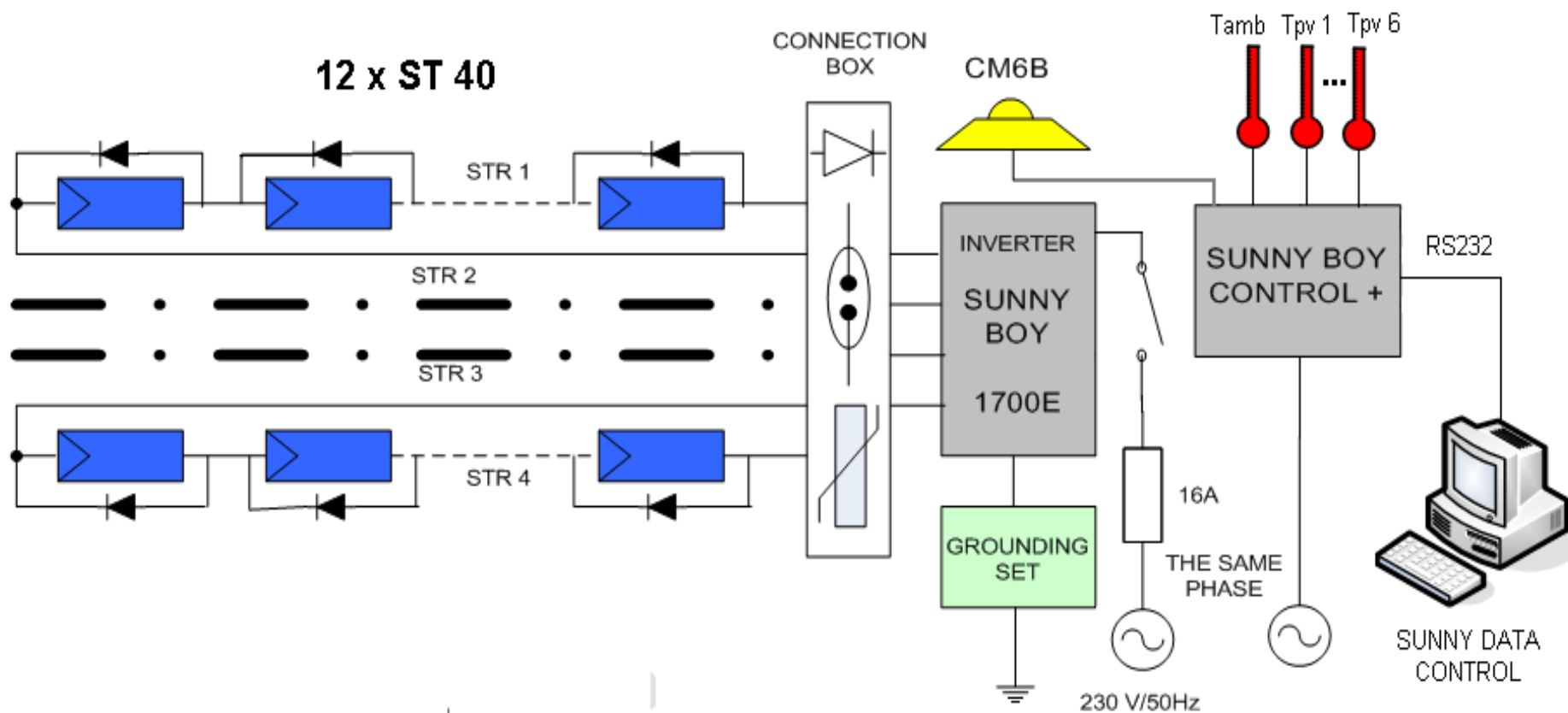
Sunny Backup Set XL

Źródło: Katalog SMA 201



Source: juwi solar GmbH, Germany

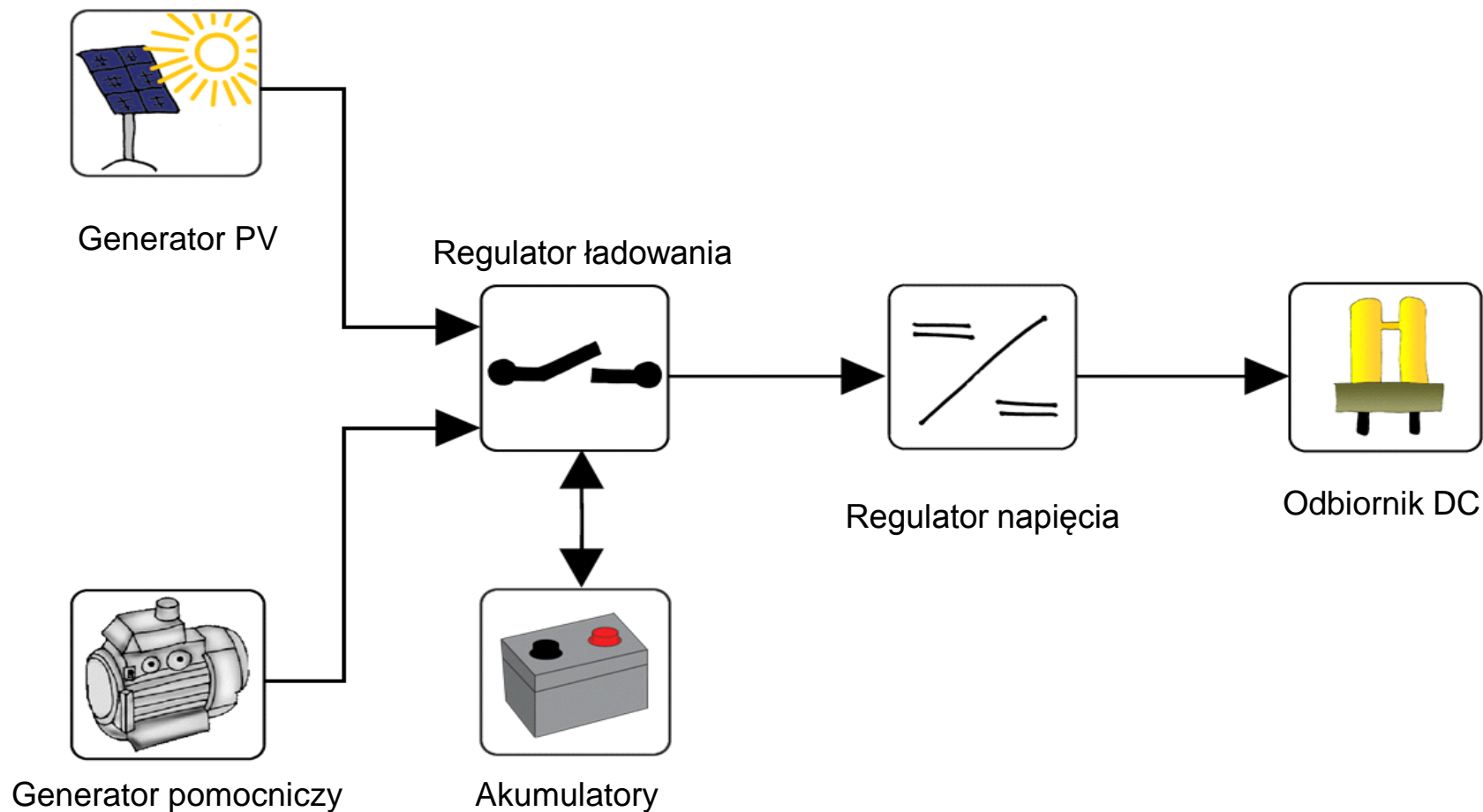
Schemat elektrowni PV podpiętej do sieci



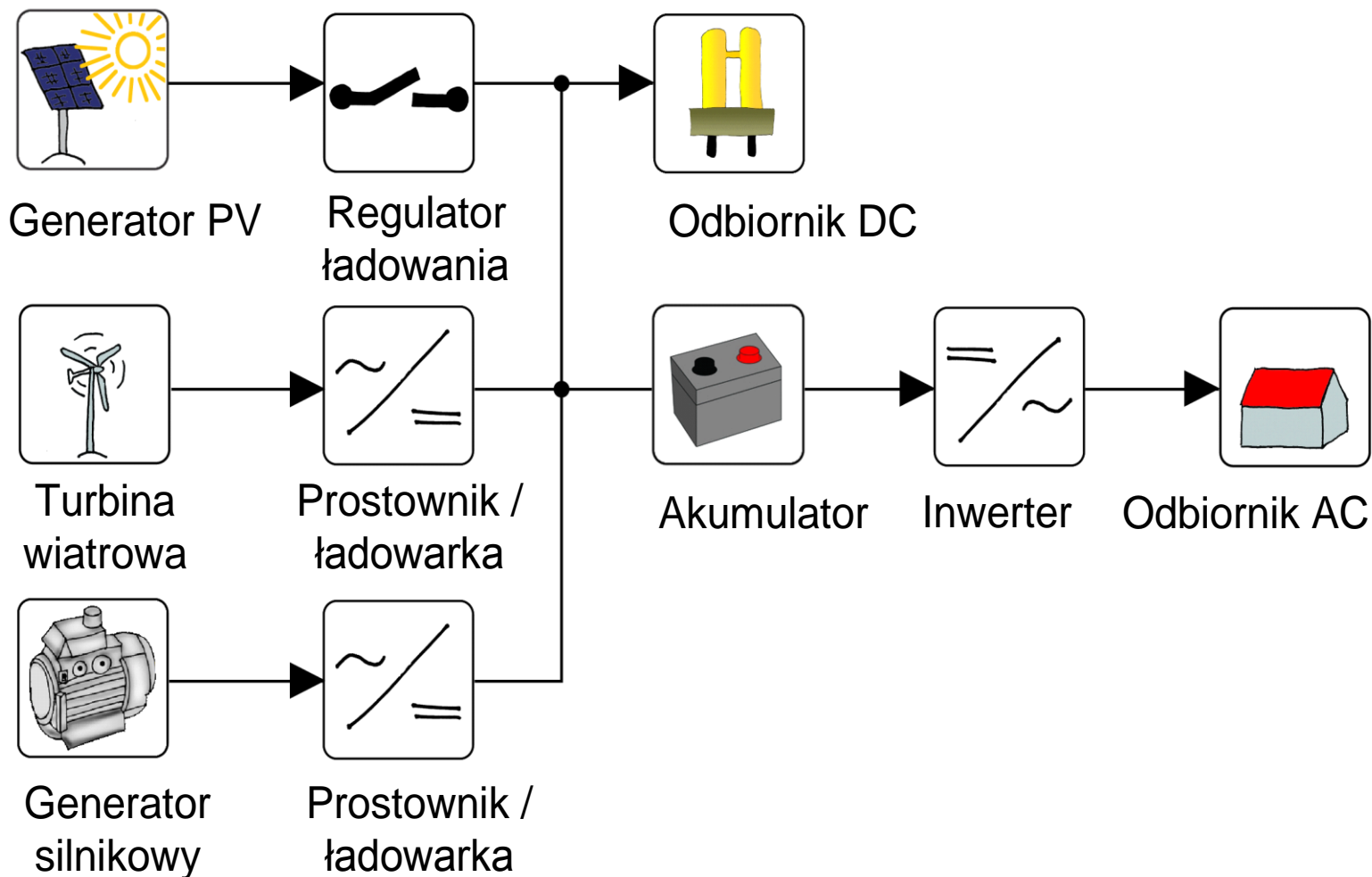
**Systemy „czysto”
fotowoltaiczne nie
gwarantują ciągłości
zasilania odbiornika !!!**

W układach o krytycznym charakterze stosuje się hybrydowe systemy zasilania

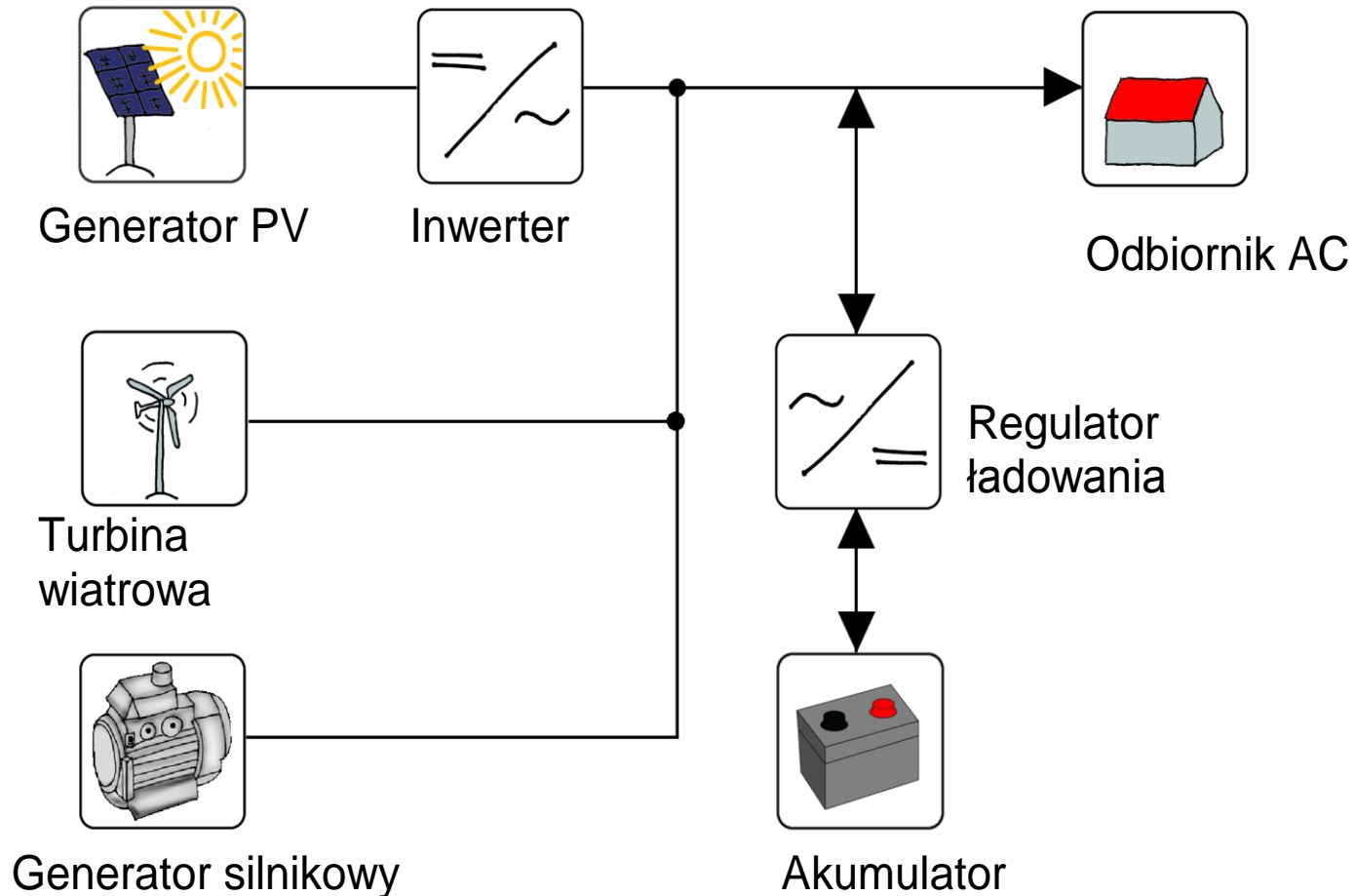
Przykład hybrydowego systemu fotowoltaicznego z generatorem pomocniczym



Konceptcja systemu hybrydowego z połączeniem stałoprądowym



Konceptcja systemu hybrydowego z połączeniem zmiennoprądowym





AGH

Fotowoltaiczny system hybrydowy: Wybór odpowiedniego generatora pomocniczego

Jako generatory
pomocnicze
można użyć:

- Generatory benzynowe
- Generatory diesla
- Generatory gazowe
- Generatory na biopaliwa
- Ogniwa paliwowe
- Generatory termoelektryczne
- Generatory termofotowoltaiczne
- Elektrochemiczne źródła energii
- Turbiny wiatrowe
- Mikroelektrownie wodne



Dziękuję za uwagę !!!

**To już jest koniec
Bo nie ma już nic
Jesteście wolni
Możecie iść...**

