



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

Czyste energie

Wykład 8

Projektowanie systemów PV

dr inż. Janusz Teneta

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

Wydział EAIiIB

Katedra Automatyki i Robotyki

AGH Kraków 2018

Projektowanie systemów fotowoltaicznych:

- Cel projektu/aplikacji
- Parametry elektryczne
- Lokalizacja
- Ograniczenia powierzchniowe
- Ograniczenia środowiskowe
- Ograniczenia finansowe
- Proces symulacji
- Weryfikacja wyników
- Budowa systemu
- Nadzór nad pracą systemu

Cel i rodzaj projektu

Cel:

- Badawczy
- Demonstracyjny
- Wizerunkowy

- Użytkowy
 - Komercyjny (zarobkowy)
 - Prywatny

Rodzaj projektu:

- Uniwersalny
- Indywidualny

Parametry elektryczne

- Maksymalizacja produkcji energii elektrycznej – systemy zarobkowe
- Pokrycie konkretnych potrzeb odbiornika z zasilania fotowoltaicznego:
 - Profil godzinowo-mocowy odbiornika
 - Napięcie
 - Autonomia
 - Chwilowe zapotrzebowanie na moc
 - Maksymalna potrzebna moc
 - Niezawodność zasilania

Kalkulator zapotrzebowania na energię elektryczną

Daily use of Energy, Variant "symulacja dla meteonorm"

Definition of Daily Household consumptions for Summer (Jun-Aug)

Consumptions | Hourly distribution

Daily consumptions

Number	Appliance	Power		Daily use	Hourly distrib	Daily energy
10	Lamps (LED or fluo)	10	W/lamp	5.0 h/day	OK	500 Wh
2	TV / PC / Mobile	100	W/app.	5.0 h/day	OK	1000 Wh
1	Domestic appliances	500	W/app.	4.0 h/day	OK	2000 Wh
2	Fridge / Deep-freeze	0.80	kWh/day	24.0 h/day	OK	1598 Wh
1	Dish- & Cloth-washers	1000.0	W aver.	2.0 h/day	OK	2000 Wh
1	Ventilation	100	W/app.	24.0 h/day	OK	2400 Wh
1	Air conditioning	1000	W/app.	3.0 h/day	OK	3000 Wh
Stand-by consumers		6	W tot	24 h/day		144 Wh
Total daily energy						12642 Wh/day
Total monthly energy						379.3 kWh/month

? Appliances info

Consumption definition by

Year

Seasons

Months

Week-end or Weekly use

Use only during

7 days in a week

Display Values of

Summer

Autumn

Winter

Spring

Copy Values

Model

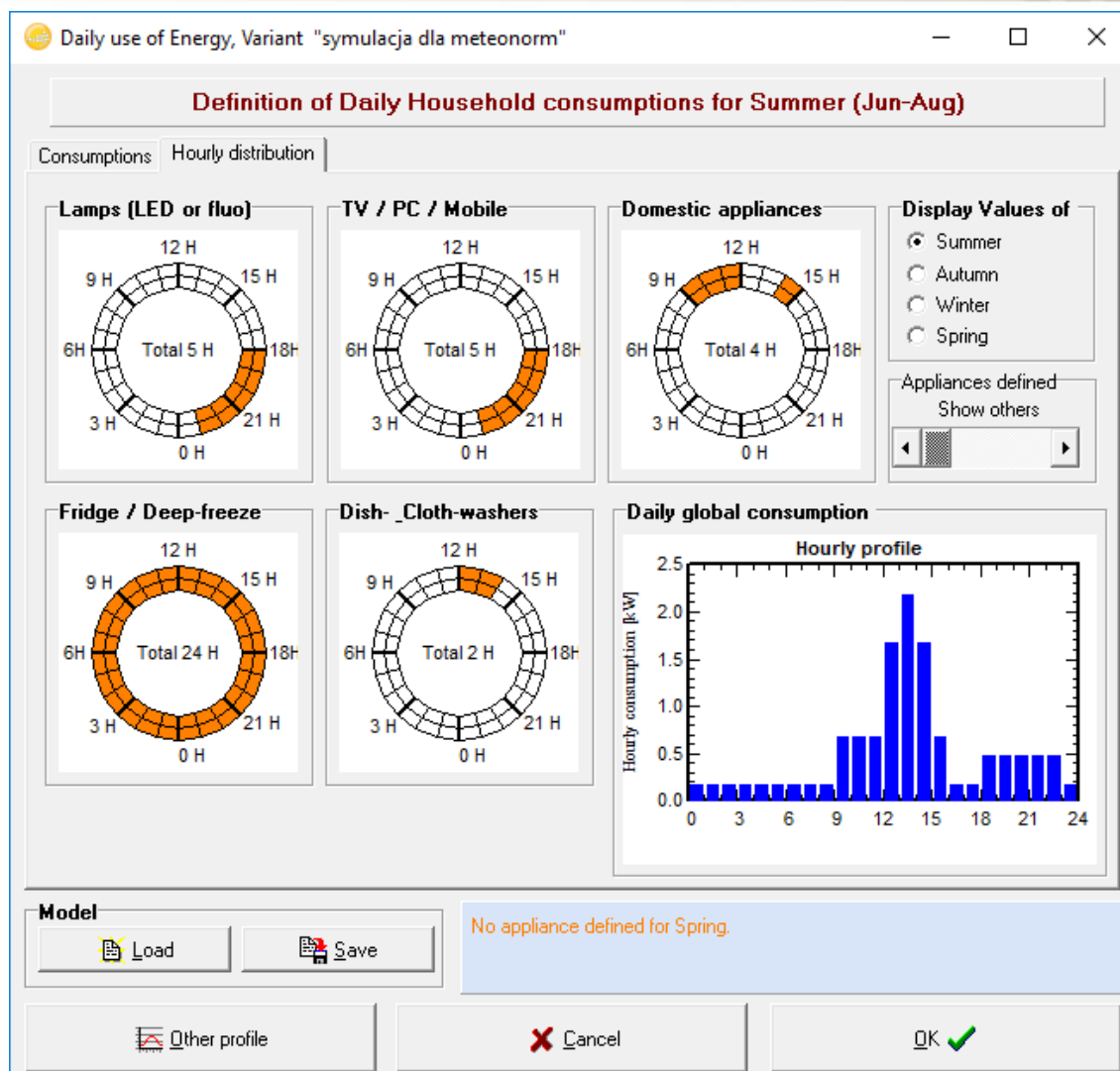
Load Save

No appliance defined for Spring.

Other profile Cancel OK

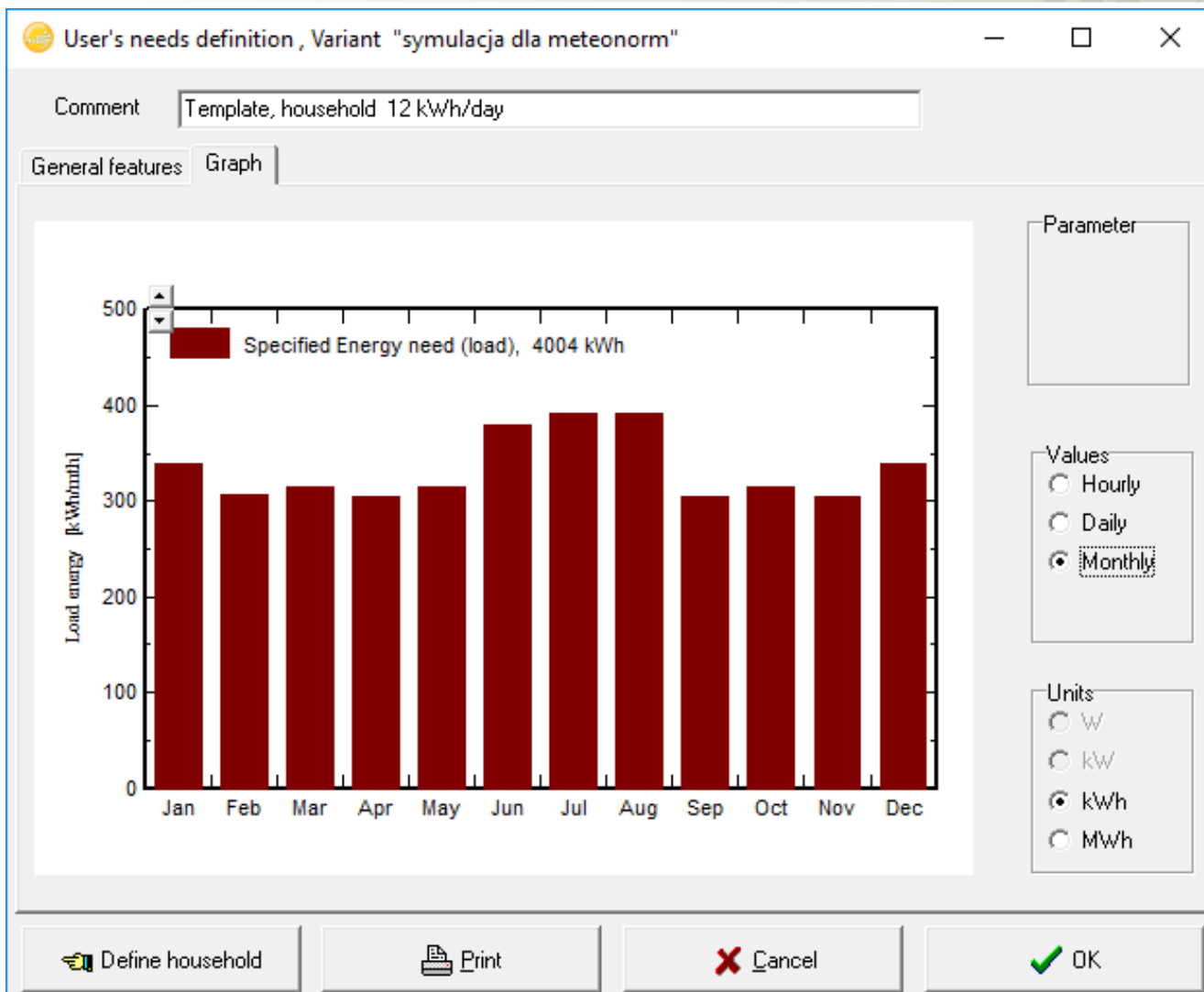
Źródło: PVSyst

Profile dobowe (godzinowe) zapotrzebowania na energię elektryczną



Źródło: PVSyst

Profile całoroczne zapotrzebowania na energię elektryczną



Źródło: PVSyst

Lokalizacja

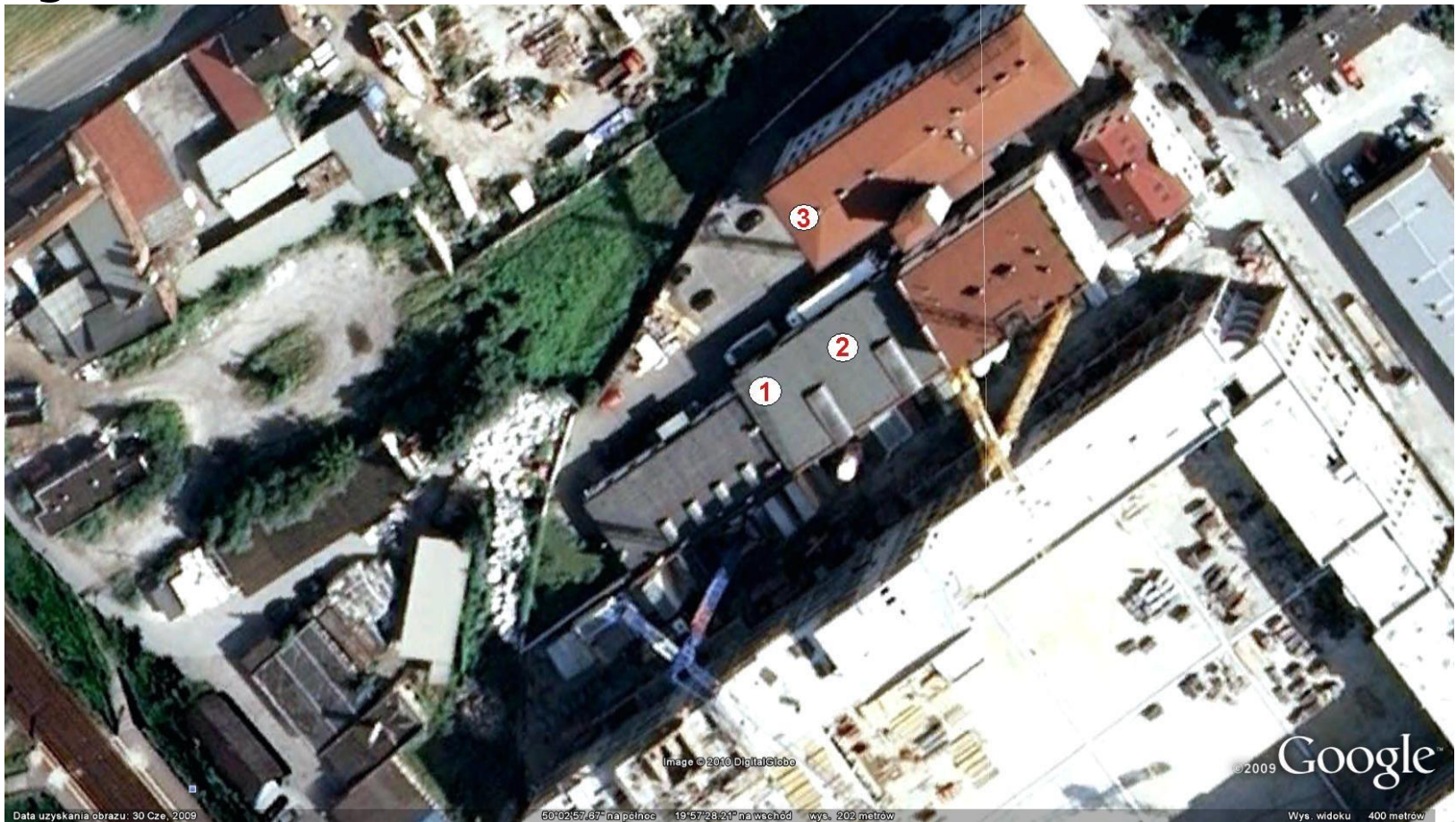
- Położenie geograficzne
 - Dostępność energii słonecznej
 - Optymalne kąty ustawienia modułów fotowoltaicznych

- Częściowe zacielenienie przez obiekty znajdujące się w pobliżu:
 - drzewa
 - budynki

- Albedo – wpływ odbicia od powierzchni płaskich przed instalacją (woda, trawnik, śnieg)

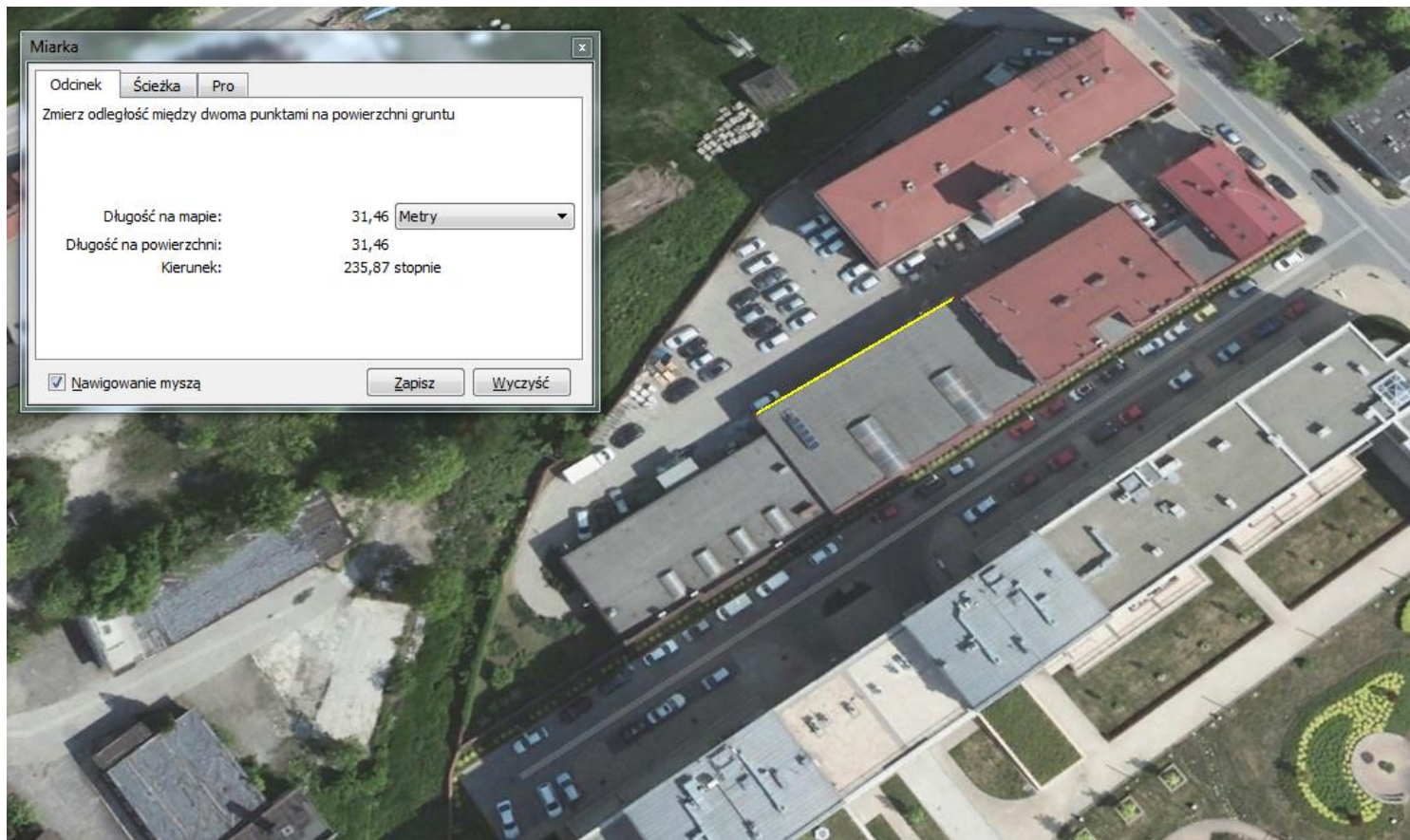
Narzędzia analizy przestrzennej

Google Earth



Narzędzia analizy przestrzennej

Google Earth



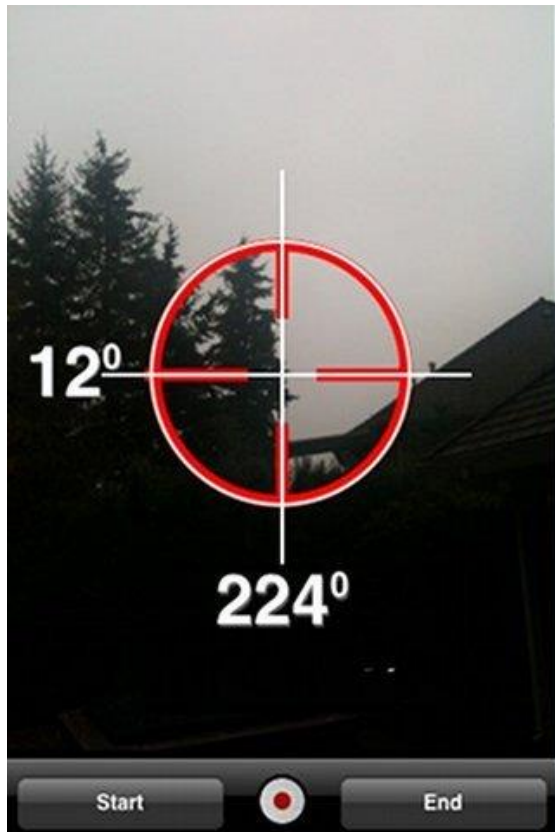
Narzędzia analizy przestrzennej

Dokumentacja fotograficzna



Narzędzia analizy przestrzennej

Aplikacje na telefony komórkowe (iPhone)



Carrier 8:19 PM

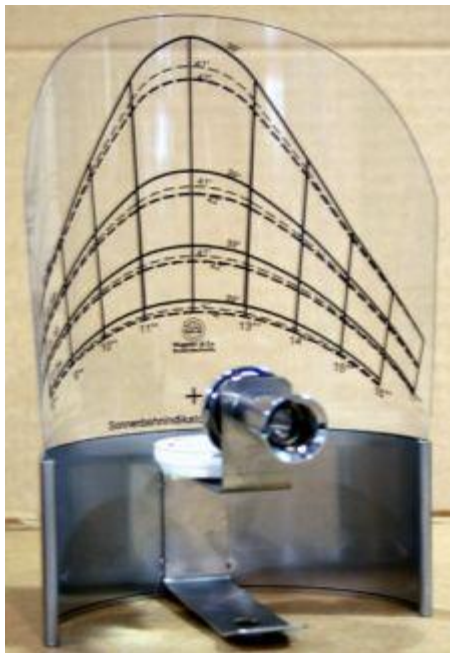
Setup

205W String Ribbon Module, Black Frame
 Size 1.57m². PTC Rating 118.2W/m² BIPV: NO
 Module Installation: Rating 7.4kW Area 62.7m²

EPV Solar	ES-A-200-fa3
ET Solar	ES-A-205-fa2
Evergreen Solar	ES-A-205-fa3
First Solar	ES-A-210-fa2
GE Energy	ES-A-210-fa3

Narzędzia analizy przestrzennej

Specjalistyczne urządzenia

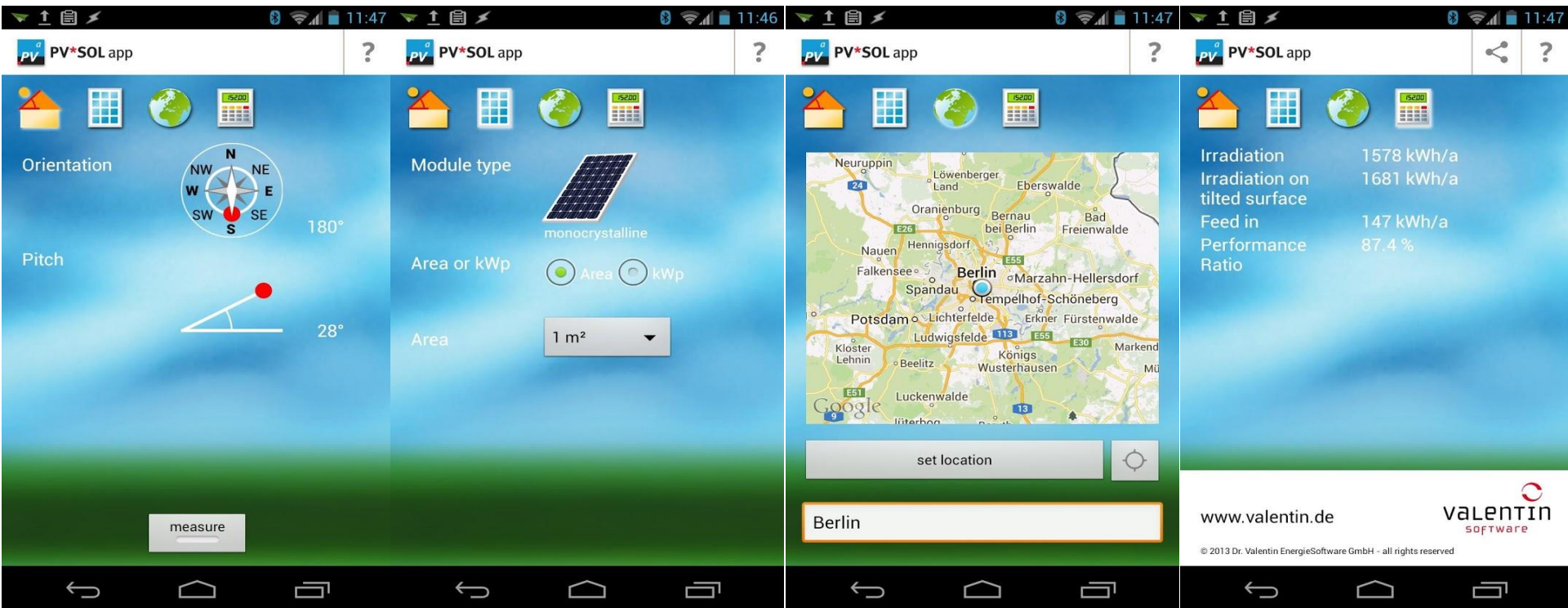


Narzędzia analizy przestrzennej

Narzędzia geodezyjne – dalmierze, poziomice, niwelatory np. Leica Disto D8



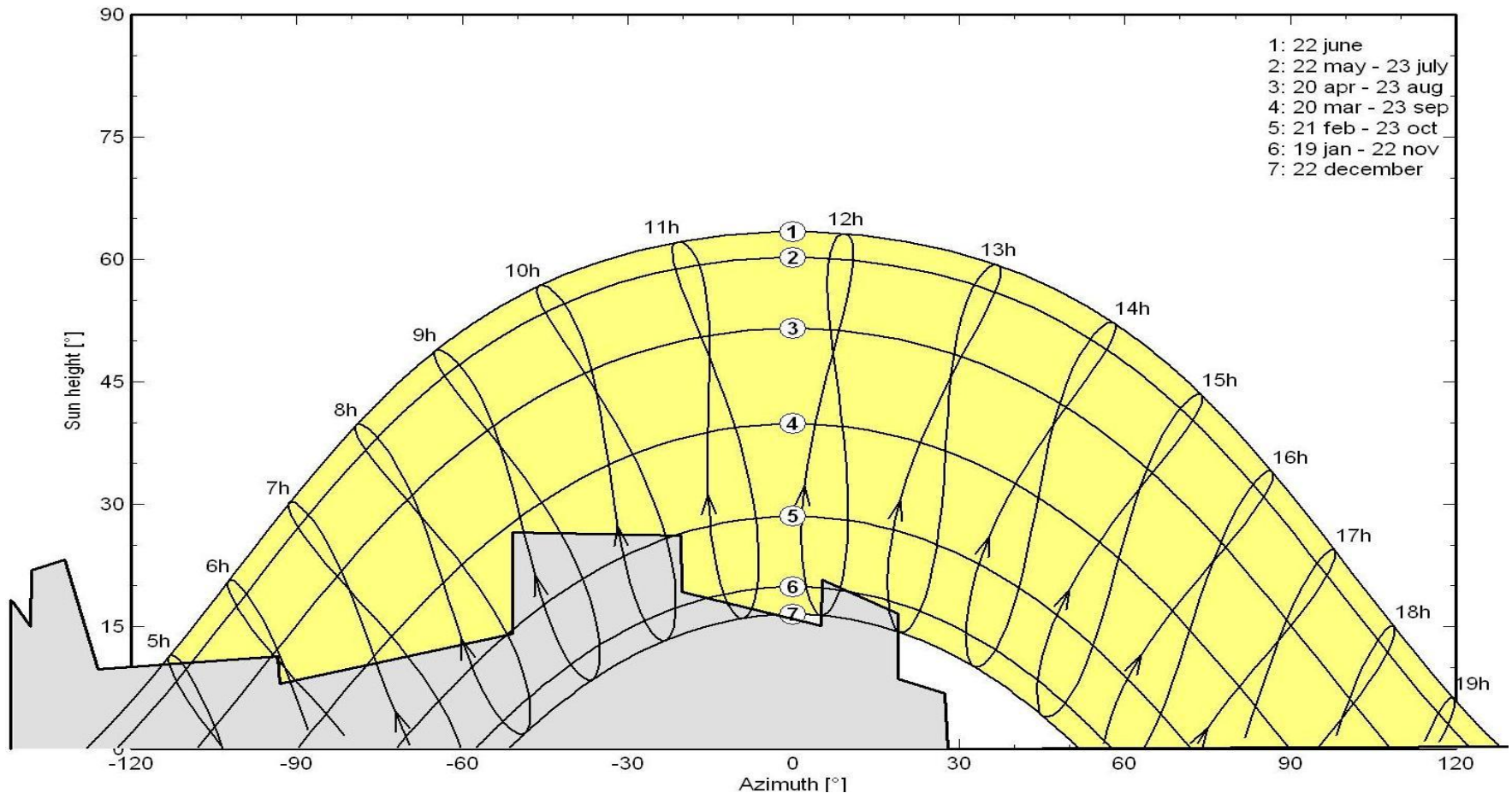
Aplikacje mobilne – PV*SOL (Android)



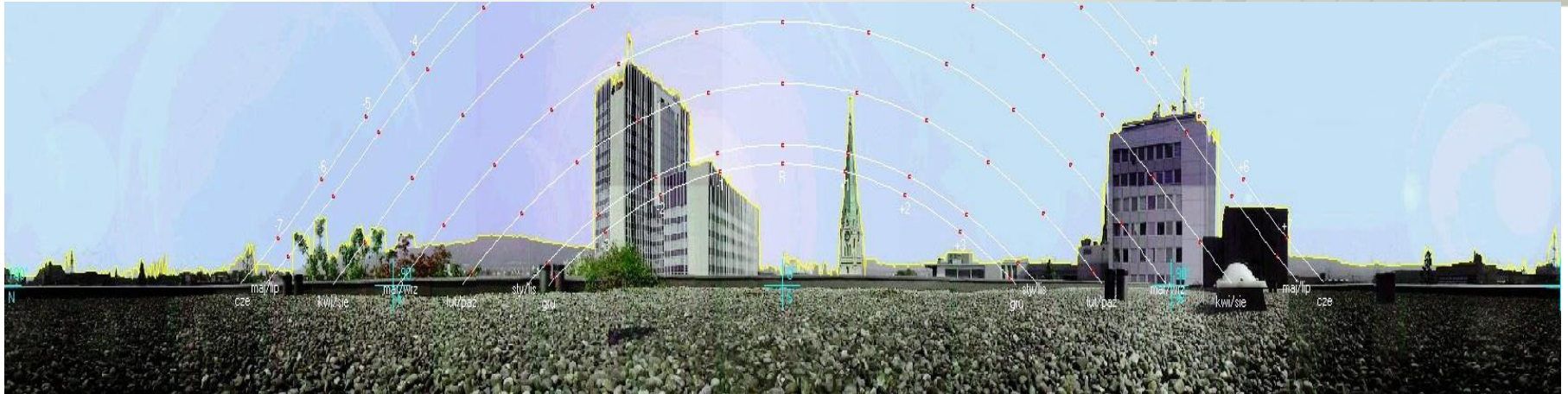
zdjęcia: Google Play

Obrys horyzontu

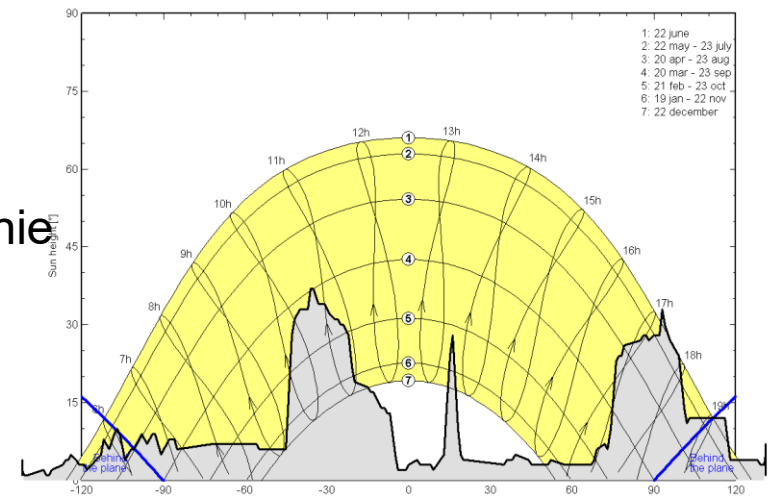
ES SYSTEM Horizont na krawędzi niższego dachu



Narzędzia analizy przestrzennej

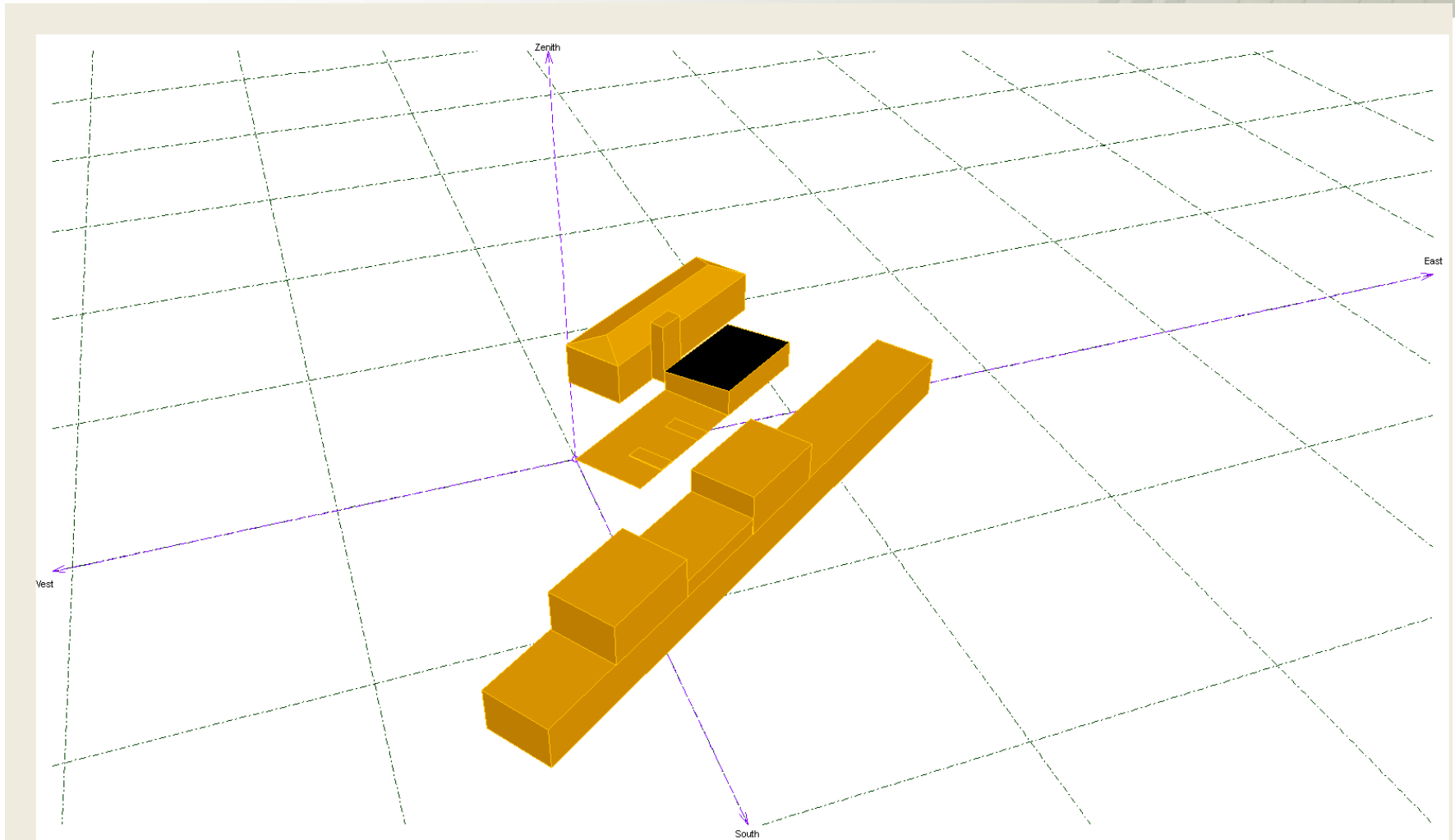


Pojedyncze zdjęcia składane w panoramę 360° przy użyciu programu Horizon v2.0 (www.energieburo.ch), a następnie automatycznie generowany plik opisu horyzontu, wczytany do programu PVsyst (www.pvsyst.com)

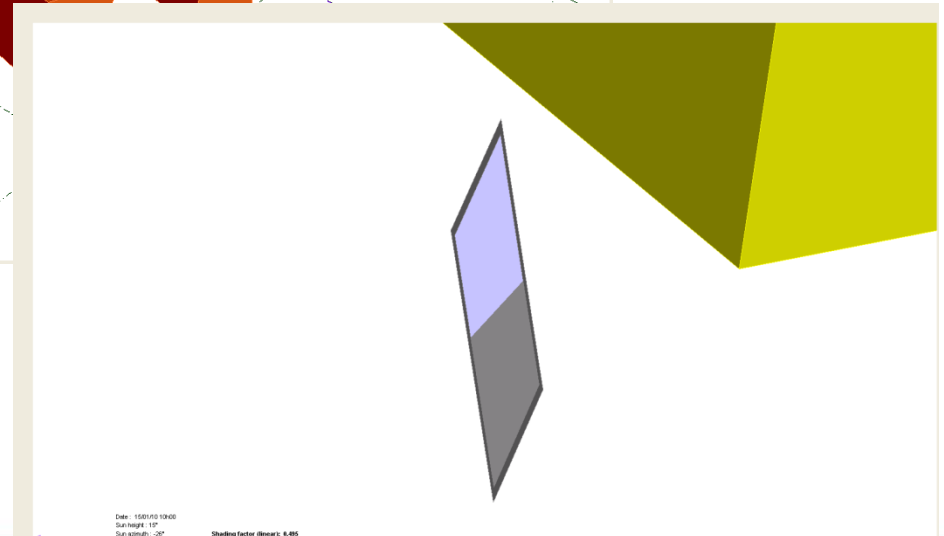
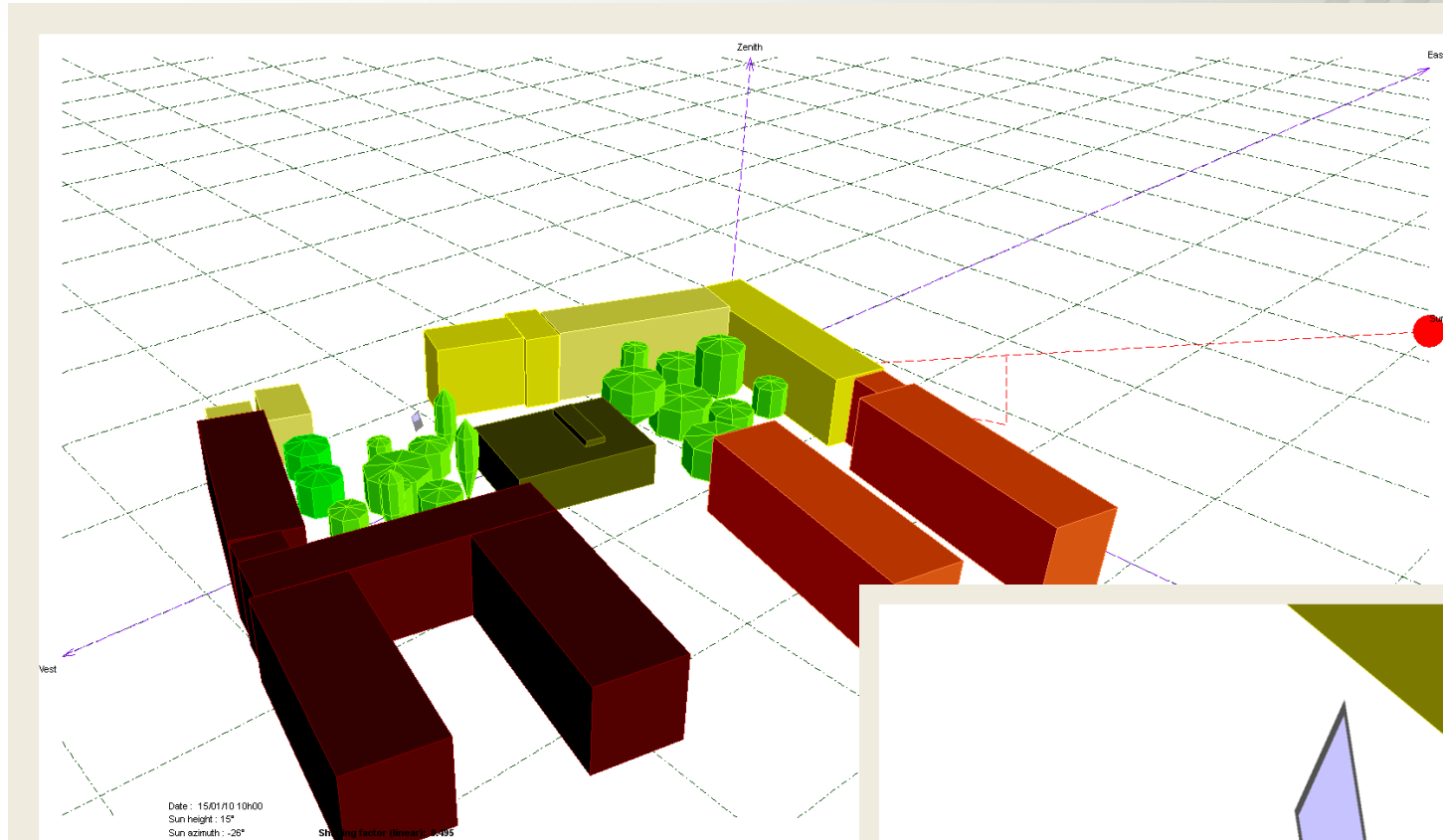


Grafika : program PVsyst oraz Horizon v2.0

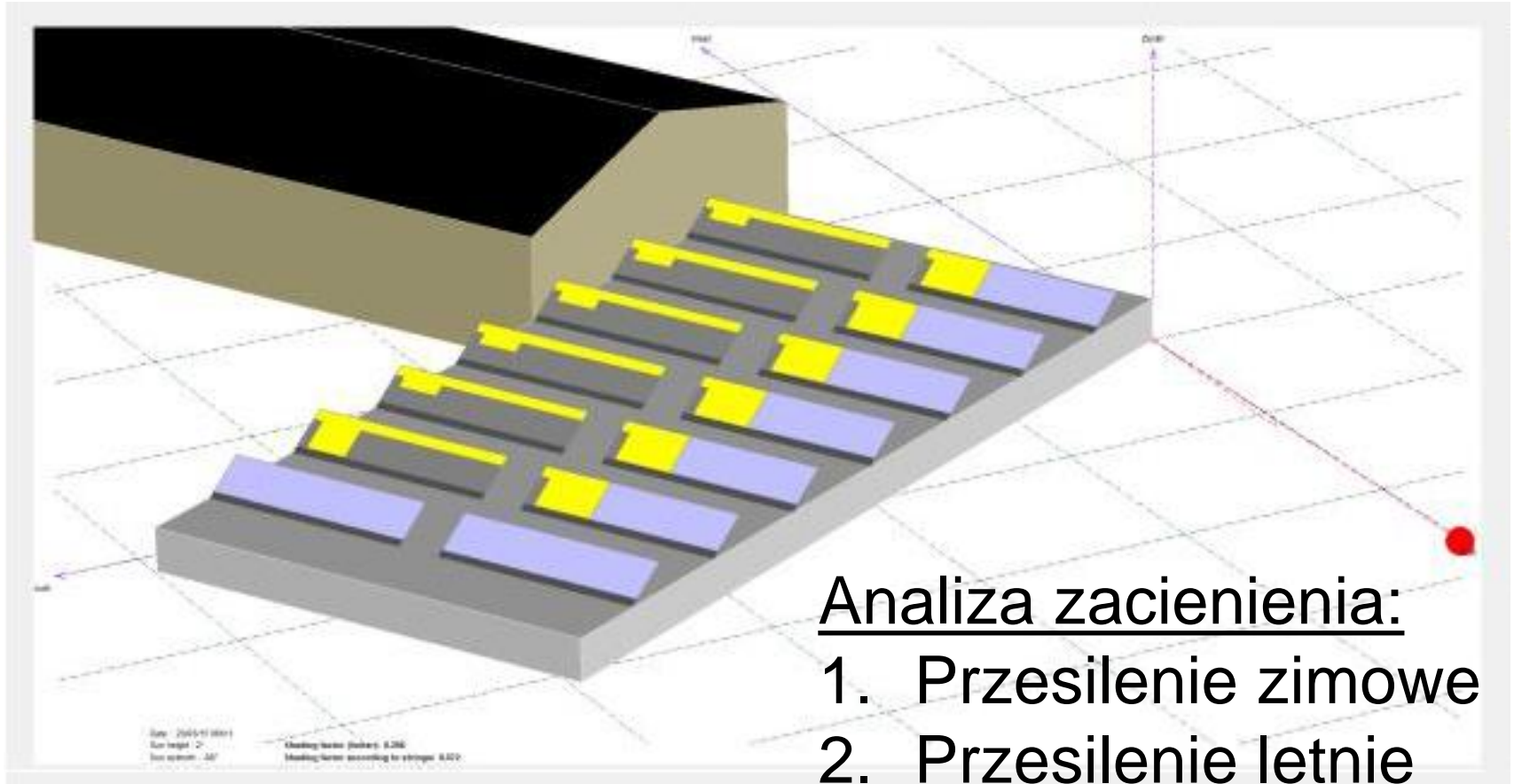
Widok trójwymiarowy



Analiza układu cieni

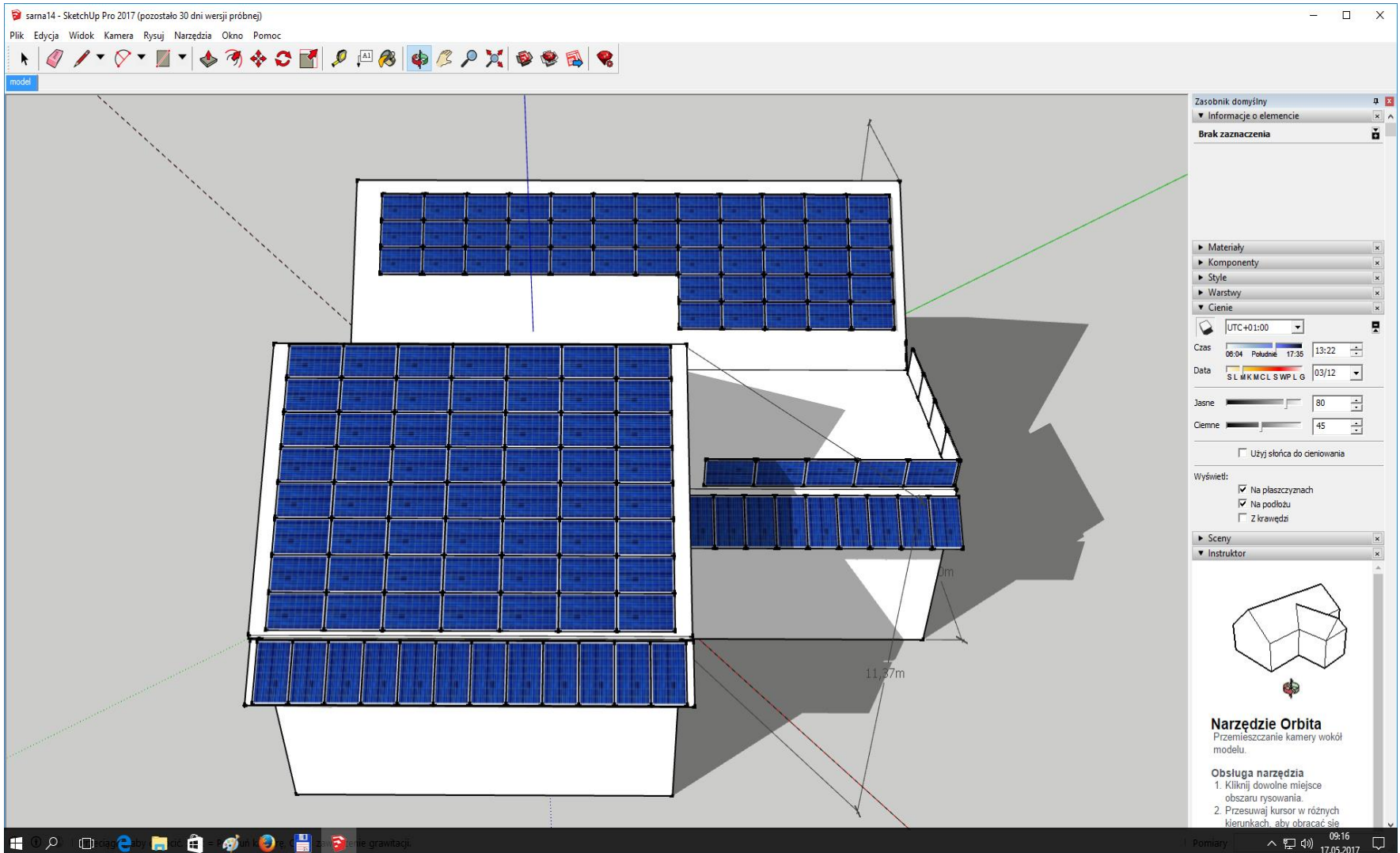


Analiza układu cieni



Grafika : program PVSyst – Near Shadings

Analiza układu cieni SketchUP 2017

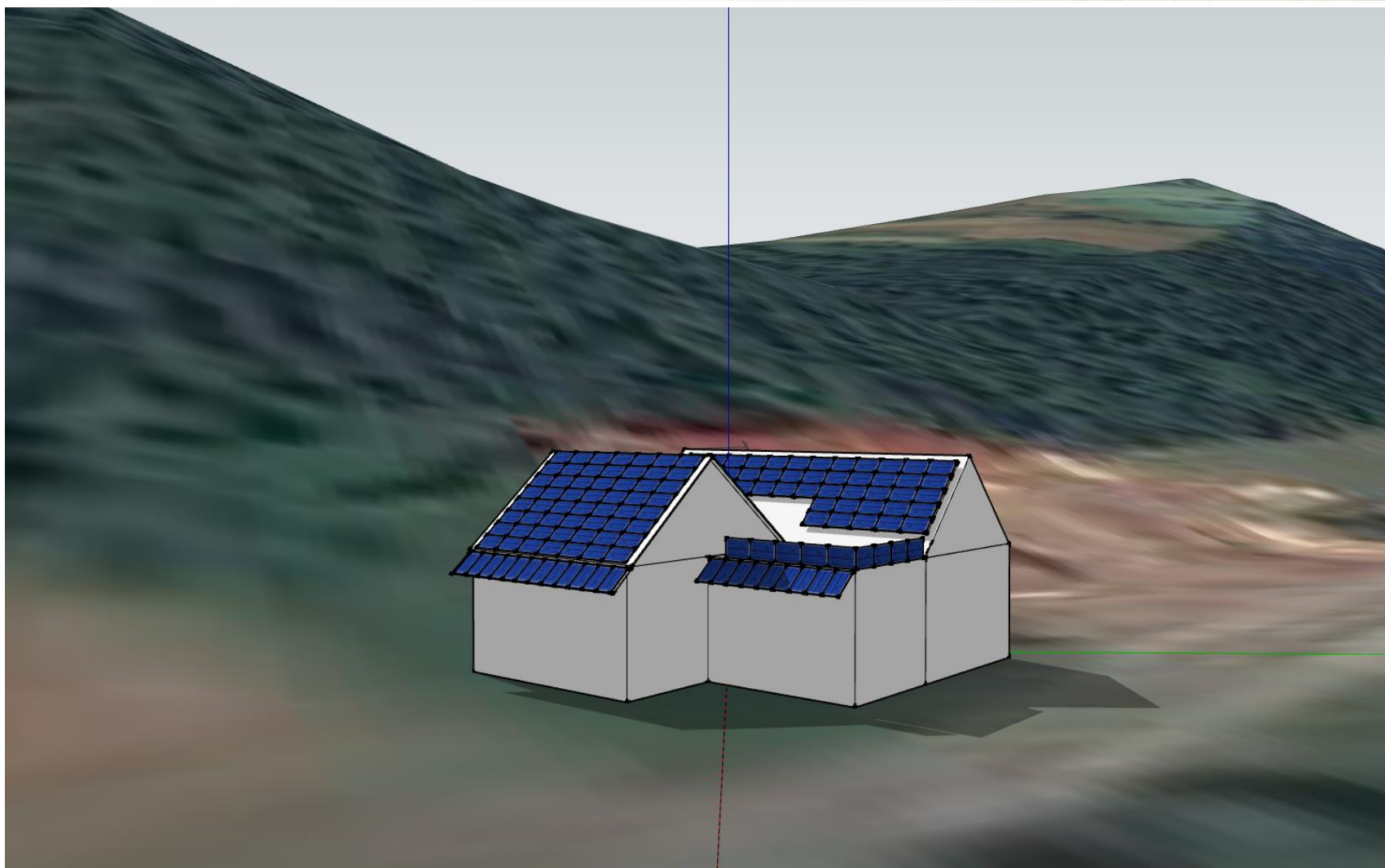


The screenshot displays the SketchUp 2017 interface. The main workspace shows a 3D model of a building with solar panels. The panels are arranged in a grid on the roof and on a lower level. A large shadow is cast by the building onto the ground plane. The software title bar indicates 'sama14 - SketchUp Pro 2017 (pozostało 30 dni wersji próbnej)'. The top menu bar includes 'Plik', 'Edycja', 'Widok', 'Kamera', 'Rysuj', 'Narzędzia', 'Okno', and 'Pomoc'. The toolbar contains various drawing and editing tools. On the right side, the 'Cienie' (Shadows) settings panel is open, showing the following options:

- UTC+01:00
- Czas: 06:04 (Poranek), 17:36 (Wieczór), 13:22 (Południe)
- Data: 03/12
- Jasne: 80
- Ciemne: 45
- Użyj słońca do cieniowania
- Wyświetl:
 - Na płaszczyznach
 - Na podłożu
 - Z krawędzi
- Sceny: Instruktor

At the bottom of the interface, the Windows taskbar is visible with various application icons and the system clock showing 09:16 on 17.05.2017.

Analiza układu cieni SketchUP 2017 + układ terenu z map Google



Ograniczenia powierzchniowe

- Powierzchnia dostępna na montaż instalacji: np. dach lub fasada budynku
- Parametry wytrzymałościowe:
 - Duża powierzchnia modułów fotowoltaicznych to duże siły powstające przy wiejącym wietrze (podciśnienie przy występowaniu szczeliny wentylacyjnej)

- Refleksy światła na panelach PV mogą być uciążliwe dla otoczenia
- Wybór odpowiedniego generatora pomocniczego w systemach hybrydowych:
 - Hałas
 - Zanieczyszczenia powietrza (spaliny)
 - Drgania
 - Zagrożenie pożarowe

Ograniczenia finansowe:

- Budżet określony na wstępie projektu
- Instalacja podpięta do sieci powinna generować zyski na zakładanym poziomie
- Cel projektu powinien zostać osiągnięty za rozsądną cenę
- Liniowość kosztów instalacji PV – możliwość rozbudowy etapami

Proces symulacji

- Reguły ogólne – obliczenia ręczne
- Symulacje komputerowe
- Optymalizacja systemu – iteracyjne dochodzenie do równowagi pomiędzy wskaźnikami jakości a kosztami



Komputerowe wspomaganie projektowania

- Specjalistyczne oprogramowanie darmowe
(np. SunnyDesign by SMA, PVGIS, PV*Sol)
- Specjalistyczne oprogramowanie komercyjne
(np. PVSyst, Solar Design Studio, PVSol, PolySun, EasySolar, BlueSol Design, SketchUP + Skelion)
- Bazy danych meteo
(pomiar własne, SolarGIS, PV GIS (bogate zbiory danych pogodowych na nowej wersji portalu), Meteonorm, Helioclim (SoDa), NASA, Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa, Satel-Light)

Pozyskiwanie danych pogodowych (prywatne stacje pogodowe)

Energia słoneczna 2017 [kWh/dzień]

aktualizacja @ 27/9/2017 10:06:58 - aktualizacja 9 sek temu

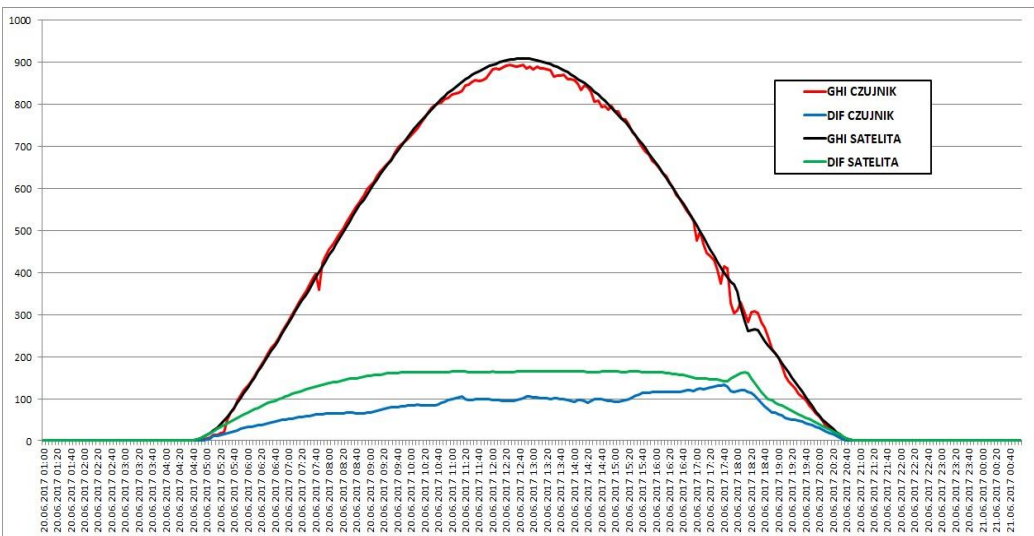
Temp./Sytuacja	Wiatr	Deszcz/Stopiony Śnieg	Podstawa chmur
 Przeważnie pochmurno 10.2°C Chłodno Odczuwana: 10°C 24-hr różnica: -0.2°C	 Cicha Podmucha: 0.0 km/h Cicha 60-min średnia: Calm 120-min średnia: Calm Dzisiaj max: 0.0 km/h 08:41 W miesiącu: 45.0 km/h Wrz 14	Dzisiaj: 0.0 mm Wczoraj: 0.2 mm Ostatni deszcz: 26/9/2017 06:04 Wrzesień: 174.4 mm Ostatnie 7 dni: 67.20 mm W sezonie: 1 635.4 mm Deszczowe dni: 109 w 2017 22 dni deszczu w Wrzesień.	=3000 =3000 =2700 =2400 =2100 =1800 =1500 =1200 =900 =600 =300 =0 =-300 =-600 =-900 =-1200 =-1500 =-1800 =-2100 =-2400 =-2700 =-3000 =-3300 =-3600 =-3900 =-4200 =-4500 =-4800 =-5100 =-5400 =-5700 =-6000 =-6300 =-6600 =-6900 =-7200 =-7500 =-7800 =-8100 =-8400 =-8700 =-9000 =-9300 =-9600 =-9900 =-10200 =-10500 =-10800 =-11100 =-11400 =-11700 =-12000 =-12300 =-12600 =-12900 =-13200 =-13500 =-13800 =-14100 =-14400 =-14700 =-15000 =-15300 =-15600 =-15900 =-16200 =-16500 =-16800 =-17100 =-17400 =-17700 =-18000 =-18300 =-18600 =-18900 =-19200 =-19500 =-19800 =-20100 =-20400 =-20700 =-21000 =-21300 =-21600 =-21900 =-22200 =-22500 =-22800 =-23100 =-23400 =-23700 =-24000 =-24300 =-24600 =-24900 =-25200 =-25500 =-25800 =-26100 =-26400 =-26700 =-27000 =-27300 =-27600 =-27900 =-28200 =-28500 =-28800 =-29100 =-29400 =-29700 =-30000
	Ciśnienie (hPa)	Wilgotność, Punkt rosy	Księżyc
	Obecnie: 1029.9 hPa 1-Hr Trend: Stabilnie 3-Hr Trend: Rising slowly Max: 1030.0 Min: 1028.2	Wilgotność: 96% Humidex: 11.3°C Punkt Rosy: 9.6°C Wetbulb: 9.9°C	Wzrastający sierp 43% Oddalony
	Prognoza UV	Nasłonecznienie	Słońce
	27 Sep 2017 Sredni 3.3 28 Sep 2017 Sredni 3.2 29 Sep 2017 Niski 2.9	Energia: 139 W/m ² (27%) Max: 148 W/m ² 09:46 Odczuwana: 12.9°C	11:53h Zmiana -00:03:42
	Temp Odczuwalna	Heating Degree Days⁴	Światło dzienne
	Obecnie: 10.2°C Dzisiaj: 9.1°C at 07:39 Wczoraj: 9.8°C W ubiegłym tyg: 18.8°C Rekord: -30.0°C 24/01/2010	Dzisiaj: 2.7 Wrzesień: 100.8 2017: 1953.8	11:53h Zmiana -00:03:42
		Cooling Degree Days⁵	Obecnie: 0.0 z max 31
		2017: 300.7	
Almanach	Indeks Nawadniania⁶	Rekordy stacji	Ryzyko pożarowe
Wschód słońca: 06:34 Zachód słońca: 18:27 Wschód księżycy: 13:42 Zachód księżycy: 22:36 Pełnia: 18:41 UTC 5 października 2017 Nów: 19:13 UTC 19 października 2017	Aktualizacja o północy Teraz: 0.40 mm Deszcz 7 dni: 67.20 mm ET 7 dni: 3.80 mm Indeks 7-Dni: 63.4 mm Wrzesień: 132.6 mm Powietrze Gęstość powietrza: 1.261 kg/m ³	HIGHS: 38.8°C LOWS: -20.4°C 08/08/2013 03/02/2012 Rekordy dzienne 32.9°C on: 08 Aug 2013 -16.8°C on: 03 Feb 2012 Rekordy nocne 27.8°C on: 09 Aug 2013 -17.7°C on: 04 Feb 2012	Aktualny Indeks PPOŻ Obecnie: 0.0 z max 31

Dzień	Sty	Lut	Mar	Kwi	Maj	Cze	Lip	Sie	Wrz	Paź	Lis	Gru
1	1.4	0.7	1.2	5.0	5.0	7.0	3.8	6.4	3.5	3.9	0.2	0.8
2	0.5	1.3	2.5	4.7	2.4	7.0	2.9	4.4	1.2	3.9	0.3	0.1
3	0.4	0.5	3.2	3.4	2.0	7.7	5.7	5.9	1.4	0.7	0.1	0.1
4	0.3	0.3	2.8	4.2	1.6	5.6	4.8	3.0	2.8	2.0	0.7	0.1
5	0.7	0.4	3.2	4.0	4.7	5.3	5.6	6.4	1.1	0.7	0.5	0.5
6	0.9	0.3	1.2	2.7	3.1	7.0	5.6	2.3	2.2	1.5	0.6	0.1
7	1.3	0.2	1.8	1.1	2.8	7.0	3.8	3.1	2.2	1.3	0.3	0.8
8	1.2	0.0	1.1	3.2	2.2	6.6	4.5	6.0	4.8	0.8	0.1	0.4
9	0.8	0.0	0.7	4.3	3.0	7.6	6.9	5.9	5.0	1.8	0.1	0.3
10	1.2	0.0	1.4	5.7	4.6	3.5	3.5	4.2	3.6	1.2	0.2	1.3
11	1.2	2.0	3.2	2.3	7.2	5.9	3.1	6.0	3.7	1.5	0.6	0.6
12	0.7	1.9	0.8	2.9	3.0	4.9	6.6	1.1	1.1	2.6	0.7	0.3
13	0.6	0.6	0.7	2.2	0.9	6.3	3.1	2.4	4.1	1.1	0.1	0.6
14	0.5	2.0	2.1	2.9	5.9	3.7	5.7	4.4	4.5	1.5	0.4	0.6
15	0.7	2.3	1.0	2.6	4.4	6.6	4.4	5.9	1.7	2.2	0.6	0.4
16	1.2	2.3	2.2	4.5	3.2	3.1	6.1	6.2	0.9	3.2	1.1	0.3
17	0.3	0.7	2.6	2.9	5.9	1.7	3.5	5.4	0.6	3.0	0.1	0.8
18	0.3	0.6	0.9	1.2	7.0	4.1	5.9	5.7	4.5	2.8	0.3	0.3
19	0.3	0.7	4.2	1.9	7.2	6.2	6.3	2.8	1.2	2.6	1.0	0.2
20	0.4	1.7	1.5	2.4	4.9	7.6	6.9	0.7	0.6	0.6	0.6	0.4
21	0.9	0.6	2.7	3.7	2.1	7.4	2.1	4.7	0.3	0.8	0.2	0.3
22	0.9	1.0	0.4	3.3	5.6	7.2	6.9	4.1	0.6	0.6	0.1	0.3
23	1.2	0.5	0.7	4.3	4.3	3.8	4.6	3.2	0.4	0.4	0.9	0.3
24	0.3	0.9	0.7	3.9	1.6	5.6	6.1	5.7	1.8	0.4	0.9	0.2
25	0.2	2.4	3.3	4.2	2.3	7.5	1.5	4.4	2.1	1.0	0.8	0.7
26	0.7	0.7	2.5	0.5	4.8	4.9	4.5	3.6	1.0	1.4	0.1	1.3
27	1.3	3.3	4.5	0.8	6.1	5.7	3.0	4.6	3.5	0.4	0.5	1.1
28	1.2	2.2	4.9	0.7	7.8	6.2	4.0	3.5	4.0	0.4	0.8	0.4
29	1.2	3.5	2.7	7.6	4.7	4.7	5.9	4.7	3.5	0.6	0.2	0.3
30	1.3	1.9	2.6	5.8	5.9	6.9	5.6	3.4	1.2	1.2	0.1	1.4
31	1.2		4.9		4.9		5.9	5.5		1.5		0.5

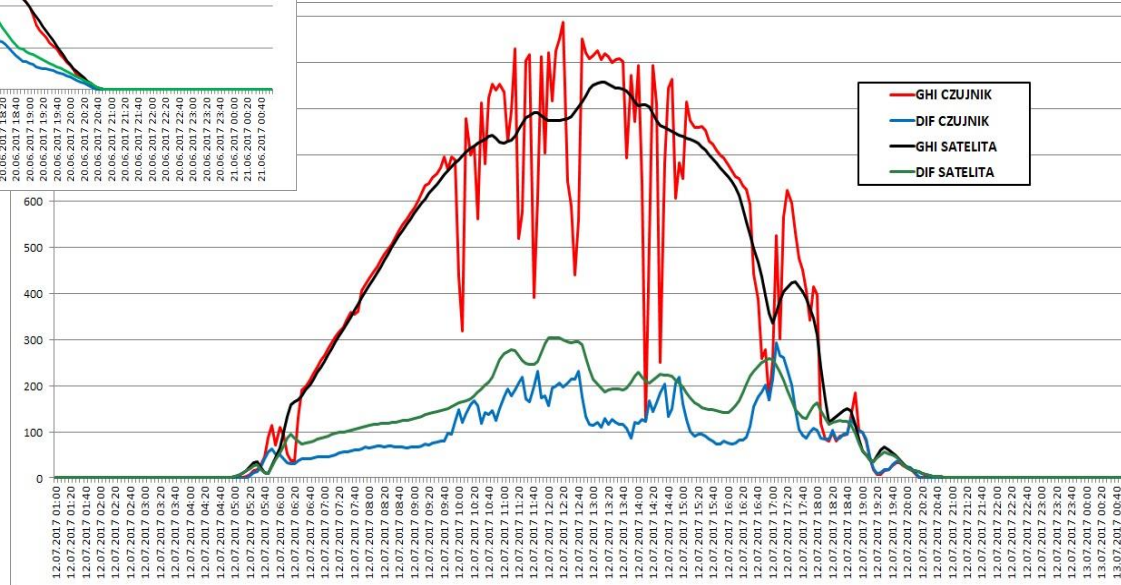
Źródło: <http://meteo.kdwd.webd.pl/>

Pomiary naziemne i dane satelitarne

← Bezchmurnie



Przejściowe zachmurzenia →



Pliki pogodowe

Na co zwracać uwagę?

- Obszar dla którego wyznaczono dane
- Wiarygodność danych
- Jednostki (W/m^2 , Wh/m^2 , MJ)
- Separator części dziesiętnej (przecinek, kropka)
- Znaczniki czasowe
 - (GMT, czas lokalny, czas słoneczny)
 - Przesunięcie czasowe (czas letni)
 - Umieszczenie znacznika czasowego (początek, środek albo koniec przedziału)

Wskaźniki jakości

- **Solar Fraction (Fsol)** – udział energii słonecznej w całkowitej ilości energii zużytej przez odbiornik – docelowo 100%
- **Performance Ratio (PR)** – współczynnik wydajności określający stosunek rzeczywiście wyprodukowanej energii elektrycznej do energii, którą mógłby wyprodukować ten sam system pracując z nominalną sprawnością (η_{STC})
- **Final Yield (Yf)** – uzysk końcowy – średnia dzienna ilość wyprodukowanej energii odniesiona do zainstalowanej mocy
- **Samokonsumpcja energii** – procentowy udział energii wyprodukowanej i zużytej bez oddawania do sieci w całkowitej ilości wyprodukowanej energii
- **Samowystarczalność energetyczna** - procentowy udział energii wyprodukowanej i zużytej bez oddawania do sieci w całkowitym zapotrzebowaniu na energię
- **Prosty okres zwrotu** – czas, po którym zyski (rozumiane również jako oszczędności) z produkcji energii w instalacji zrównoważą koszty inwestycyjne i operacyjne poniesione na budowę i funkcjonowanie tej instalacji

Współczynnik jakości systemu PV

Performance Ratio – PR

$$PR[\%] = 100 \cdot E_{\text{REAL}} / E_{\text{STC}}$$

Współczynnik jakości systemu **Performance Ratio** można również zdefiniować jako:

Wartość znormalizowana dostarczonej energii [kWh/kW]

$$PR = \frac{\text{POA Irradiation} / P_{\text{mSTC}} [\text{kWh/m}^2] / [\text{kW/m}^2]}{\text{POA Irradiation} / P_{\text{mSTC}} [\text{kWh/m}^2] / [\text{kW/m}^2]} \times 100 [\%]$$

$$PR = \frac{\frac{1}{P_{MSTC}} \times \int P_M dt}{\frac{1}{G_{POASTC}} \times \int G_{POA} dt} = \frac{E_A}{E_{GPOA} \cdot \eta_P} = \frac{\eta_{EN}}{\eta_P}$$

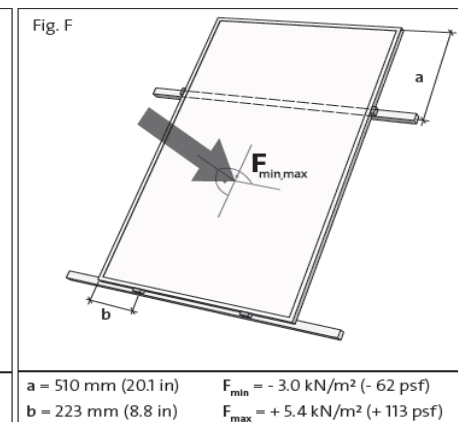
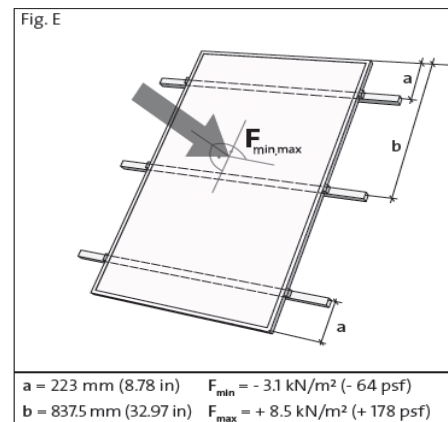
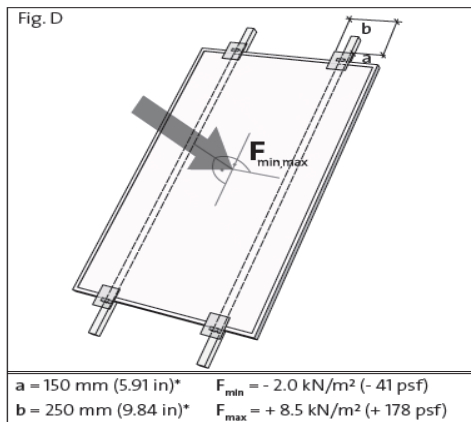
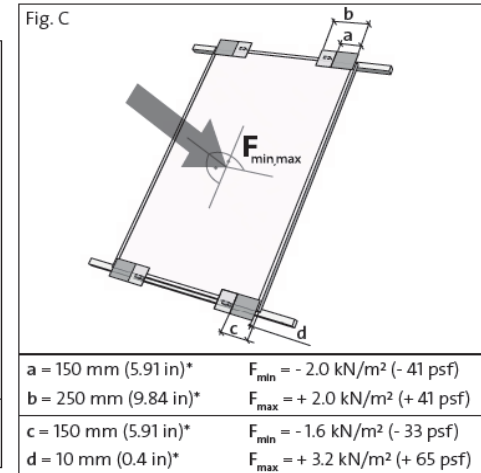
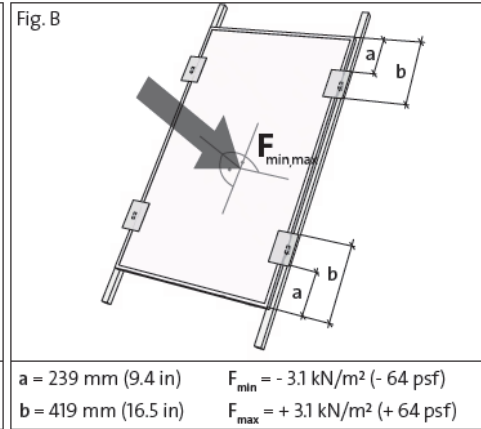
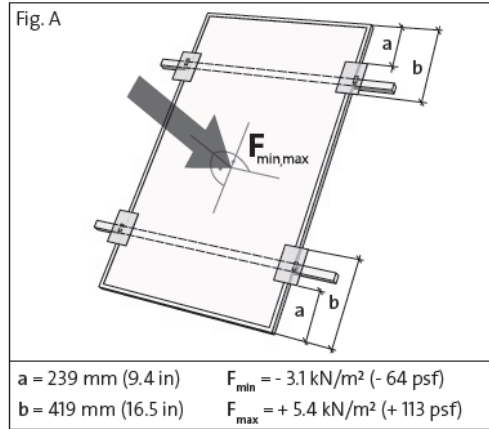
PR dla dobrego systemu to ~80%+

Weryfikacja wyników

- Przeprowadzenie symulacji na kilku różnych programach oraz dla różnych zestawów danych pogodowych
- Porównanie wyników z ogólnie przyjętymi regułami (eliminacja błędów „grubych”)
- Porównanie wyników z pomiarami w istniejących już instalacjach, pracujących możliwie blisko docelowej lokalizacji projektowanego systemu

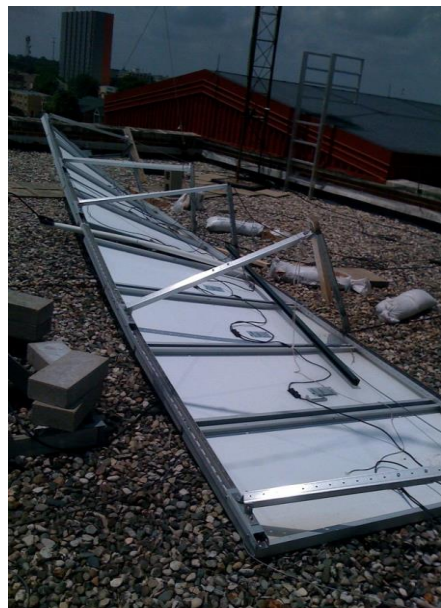
- Wytrzymała konstrukcja nośna
- Odpowiednie chłodzenie baterii słonecznych
- Okablowanie odporne na UV i hermetyczne złącza
- Zabezpieczenia – uziemienie, odgromniki i ochronniki przepięciowe, bezpieczniki (prąd cofający)
- Wentylacja akumulatorów
- System monitoringu elektrycznego i pogodowego

Wytrzymałość obciążeniowa modułów PV w zależności od sposobu montażu

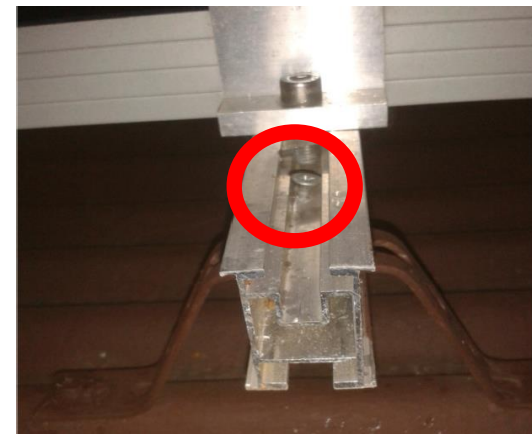


Źródło : www.solarworld.pl

Oddziaływanie wiatru na instalacje PV



Źródło : STP Sachverständigen GmbH,
E.Cwalina (ECO Technologies)
Fotowoltaika z doświadczenia instalatora,
www.australiansolarquotes.com.au,
Chris Granda
homeenergypros.lbl.gov,
www.homepower.com



Uszkodzenie PV z powodu zbyt dużego obciążenia śniegiem



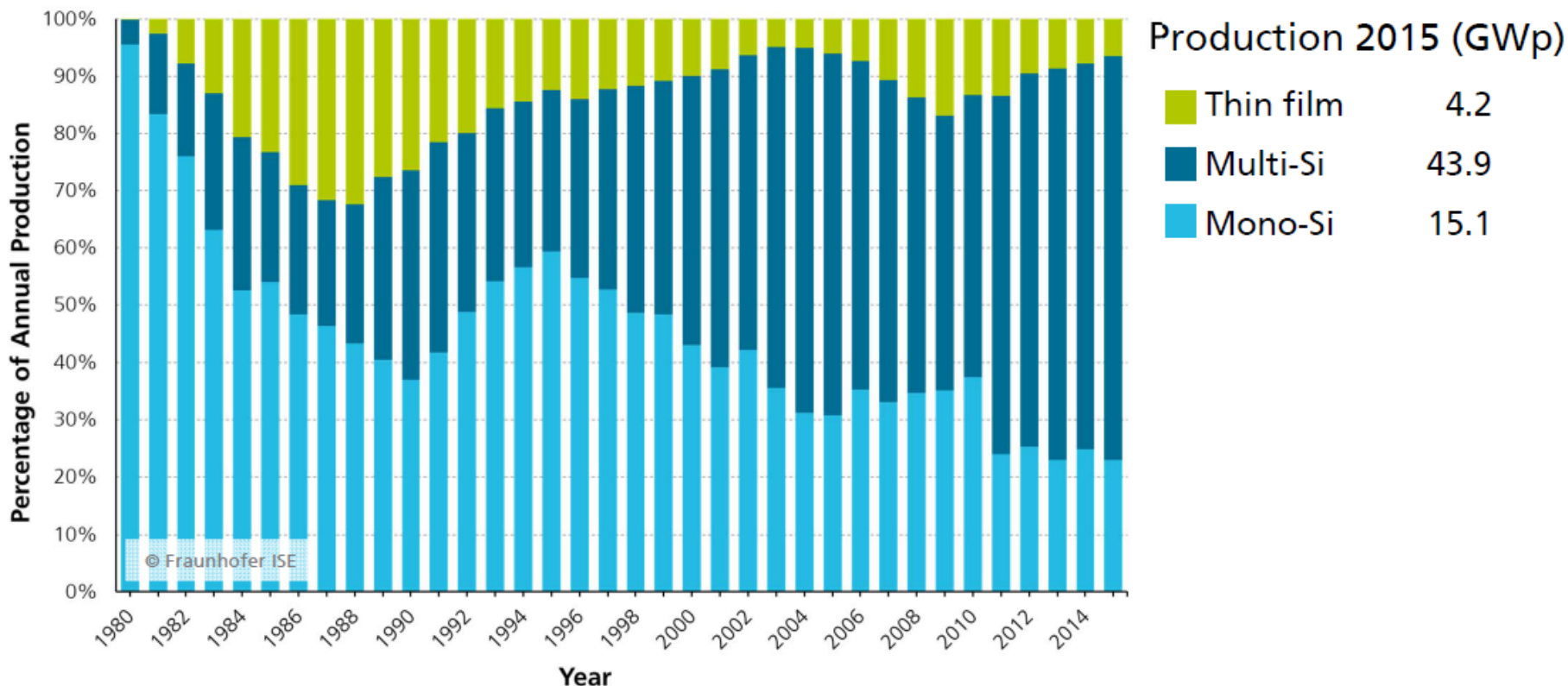
Źródło : GDV_Solarstromanlagen_richtig_versichern_2012, ENVARIS GmbH

Dobre praktyki przy projektowaniu

Wybór technologii modułów fotowoltaicznych:

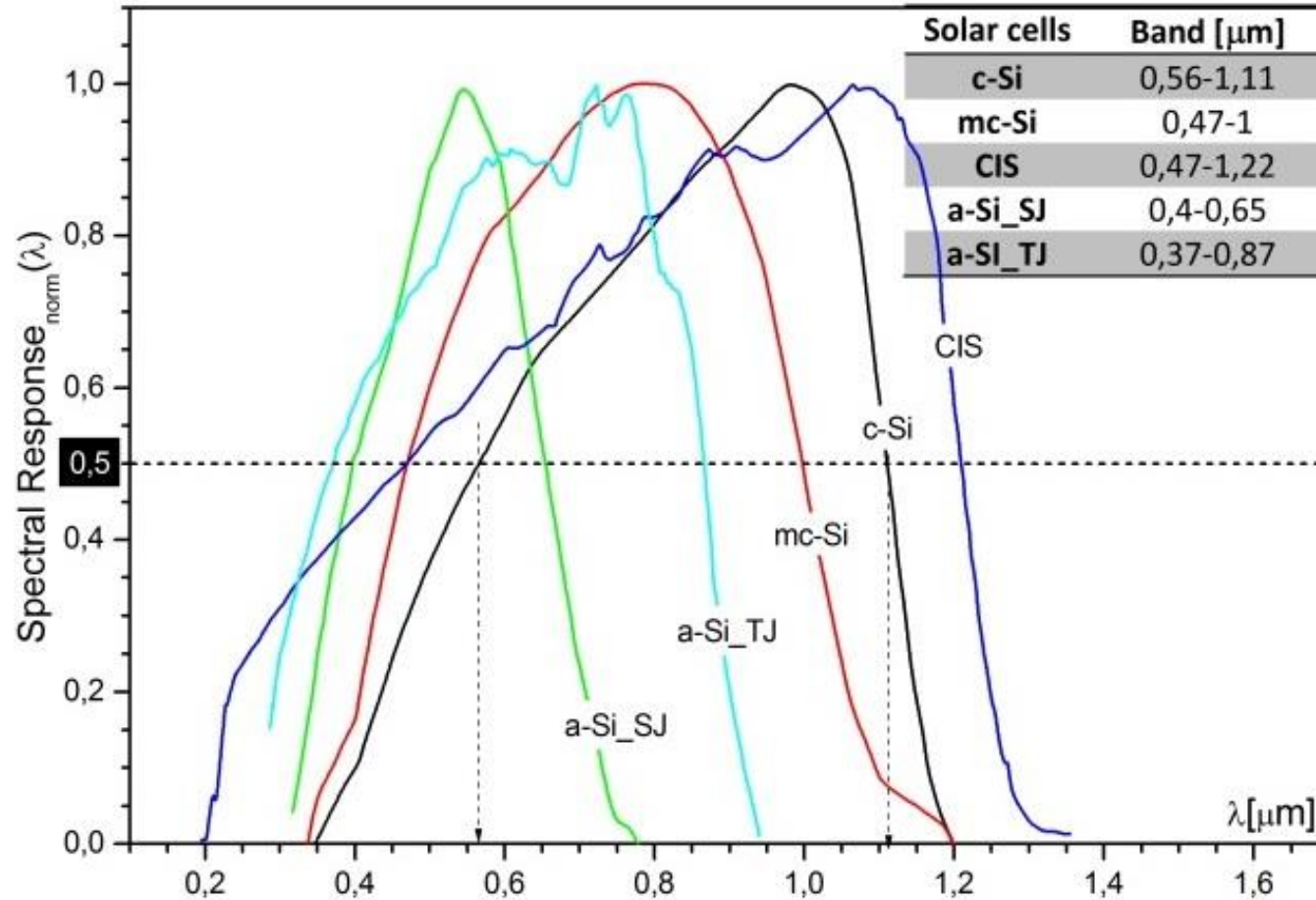
Technologia	Sprawność około [%]	Powierzchnia 1kWp [m ²]
Mono Si	23	4.4
Poly Si	18	5.5
CdTe	16.0	6.3
CIGS	16.0	6.3
HIT	25	4.0
Amorphous Si	7.5	13.3
Barwnikowy	11.1	9.0

Technologie modułów PV w latach 1980-2015



Źródło : Fotovoltaics Report 2016, www.ise.fraunhofer.de

Wybór technologii modułów fotowoltaicznych

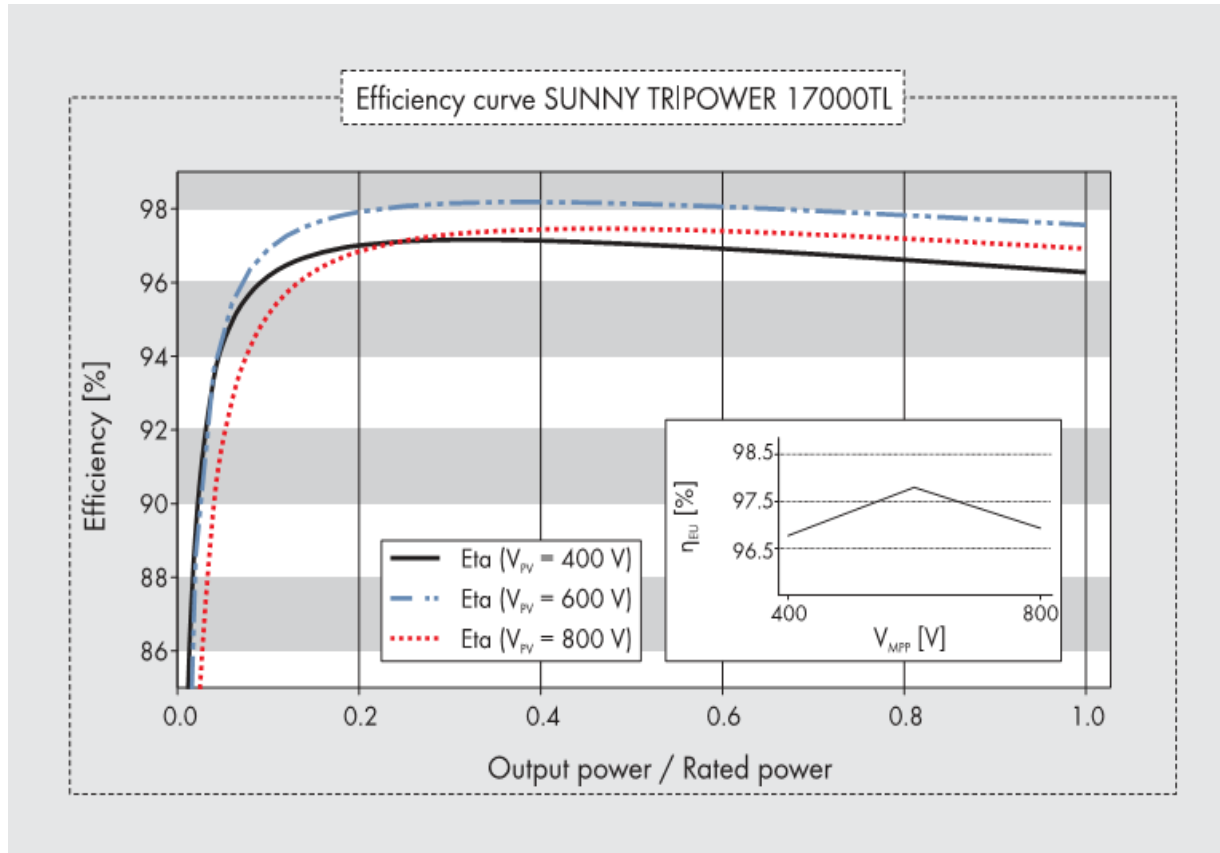


Dobre praktyki przy projektowaniu

Właściwa konfiguracja modułów PV do falownika:

- Łączna moc modułów PV (STC) powinna wynosić od **110 do 125%** mocy szczytowej falownika
- Jeżeli szeregi modułów łączymy równolegle to muszą one mieć **identyczną strukturę elektryczną** (typ i ilość modułów) oraz pracować w **identycznych warunkach nasłonecznienia** (kąty pochylenia, azymut)
- Wypadkowe napięcie układu otwartego na szeregu modułów nie może przekroczyć maksymalnego napięcia dopuszczanego na wejściu przez falownik przy **najniższej** spodziewanej temperaturze pracy systemu
- Wypadkowe napięcie punktu mocy maksymalnej na szeregu modułów nie może być niższe niż minimalne napięcie, dla którego falownik jest w stanie zaimplementować procedurę MPPT przy **najwyższej** spodziewanej temperaturze pracy systemu
- **W przypadku stosowania optymizerów mocy w łańcuchach można łączyć różne moduły PV (również pracujące w różnych warunkach nasłonecznienia i temperatury a łańcuchy łączone równolegle mogą mieć różne długości.**

Właściwa konfiguracja modułów PV do falownika



źródło: nota katalogowa falownik SMA STP 17000TL

Dobre praktyki przy projektowaniu

Właściwy dobór kąta pochylenia modułów PV:

- Dla systemów podpiętych do sieci należy wybierać optymalny kąt całoroczny (ok. 35°).
- Dla systemów wydzielonych należy wybierać kąt optymalny dla sezonu zimowego (50° - 60°). Dodatkowo taki kąt pomoże w samooczyszczaniu modułów z zalegającego śniegu.

Dobre praktyki przy projektowaniu

Obliczanie pojemności akumulatora w systemie autonomicznym:

$$C = \frac{A * E}{U * 0,8}$$

Gdzie:

- C - pojemność akumulatora [Ah]
- A - wymagana autonomia systemu [dni]
- E - energia jaką potrzebuje odbiornik w ciągu doby [Wh]
- U - znamionowe napięcie systemu [V]

Najczęściej popełniane błędy

- Niewłaściwy dobór regulatora ładowania do typu zastosowanych akumulatorów
- Błędnie określona autonomia systemu
- Stosowanie akumulatorów z ciekłym elektrolitem
- Brak odpowiedniego chłodzenia modułów PV
- Złe określenie w projekcie minimalnej i maksymalnej temperatury pracy systemu PV
- Złe kąty montażu modułów PV
- Zbyt duże zagęszczenie w przypadku wielorzędowej instalacji PV na gruncie
- Pionowy montaż modułów PV przy spodziewanym zacieleniu o charakterze horyzontalnym
- Zła konfiguracja stringów PV podłączanych do falownika
- Brak zabezpieczeń antyprzepięciowych

Sprawność falownika w systemie PV

Sprawność świadczy o jakości falownika, jest ona definiowana jako:

$$\eta = \frac{\text{moc wyjściowa}}{\text{moc wejściowa}} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}}$$

Sprawność nie jest stała, lecz zmienia się wraz ze zmianami mocy, temperatury i napięcia wejściowego.

Europejska sprawność ważona definiowana jest następująco:

$$\eta_{\text{euro}} = 0.03 \times \eta_{5\%P_n} + 0.06 \times \eta_{10\%P_n} + 0.13 \times \eta_{20\%P_n} + \\ + 0.1 \times \eta_{30\%P_n} + 0.48 \times \eta_{50\%P_n} + 0.2 \times \eta_{100\%P_n}$$

Sprawność ważona falownika dla południowo- zachodnich rejonów USA . California Energy Commision (CEC)

$$\eta_{\text{CEC}} = 0.04 \times \eta_{10\%P_n} + 0.05 \times \eta_{20\%P_n} + 0.12 \times \eta_{30\%P_n} + \\ + 0.21 \times \eta_{50\%P_n} + 0.53 \times \eta_{75\%P_n} + 0.05 \times \eta_{100\%P_n}$$

Parametr ten bierze pod uwagę zachowanie falownika przy niecałkowitym obciążeniu
 Jest to dobry parametr do porównywania różnych falowników.

Sprawność przy częściowym obciążeniu

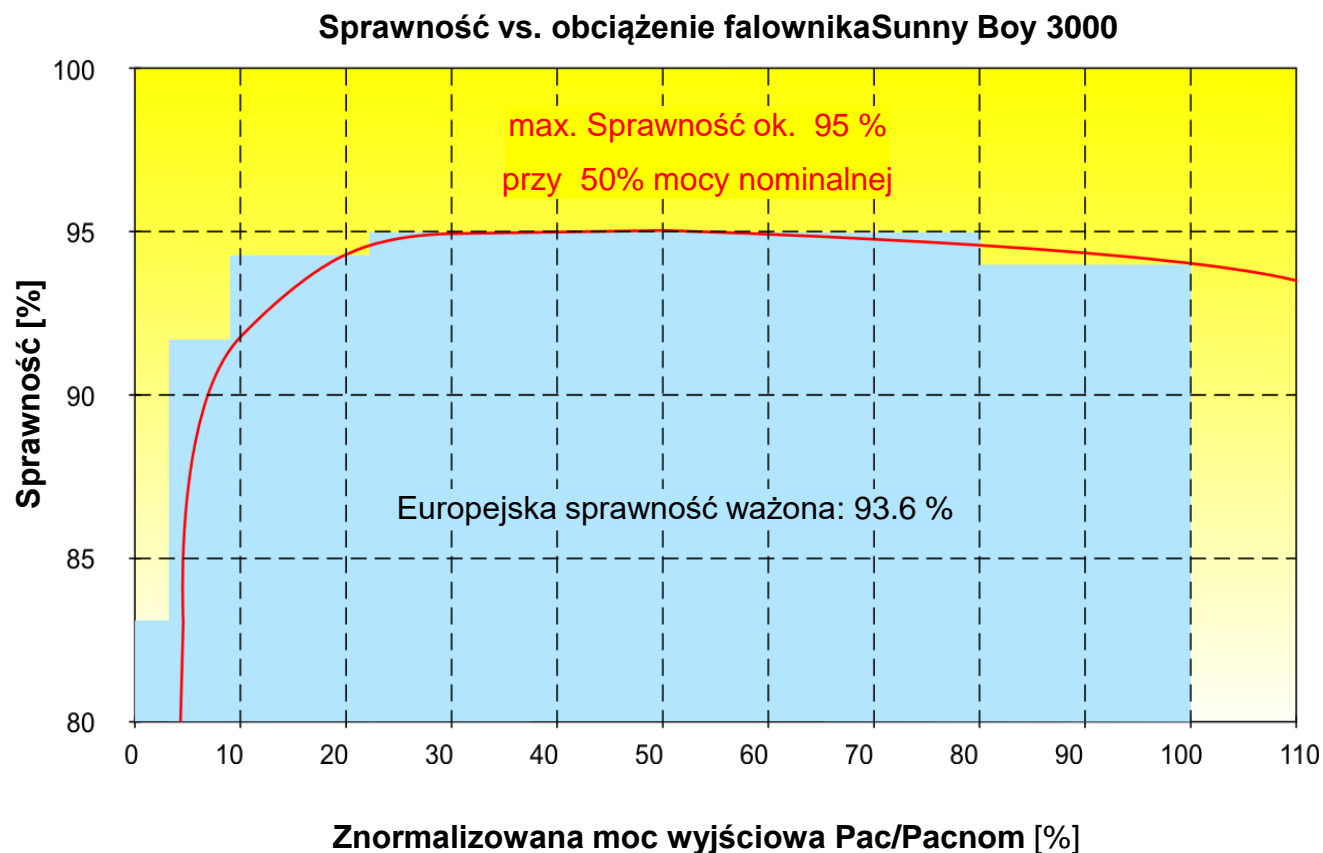


Image: SMA Regelsysteme GmbH, Niestetal, Germany

Sprawność przy różnym obciążeniu

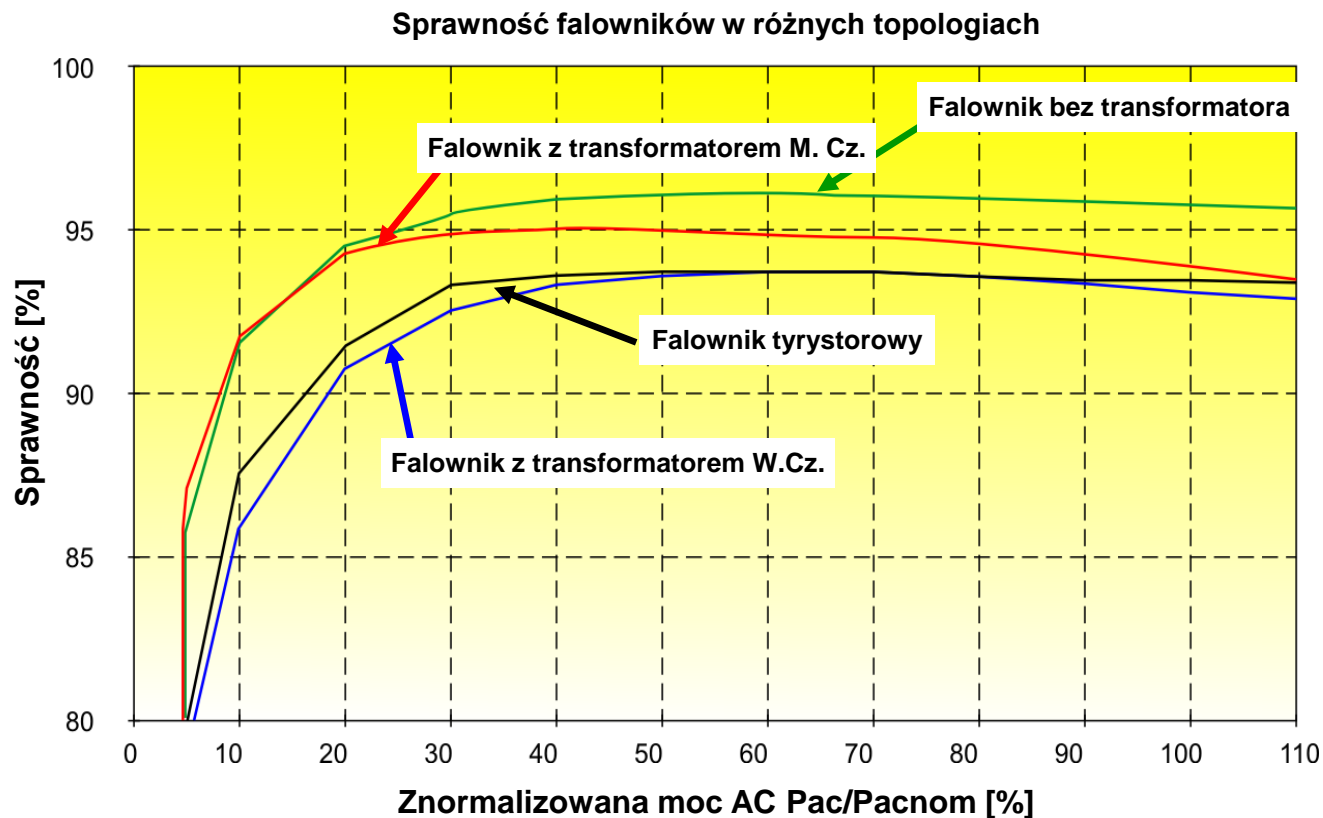
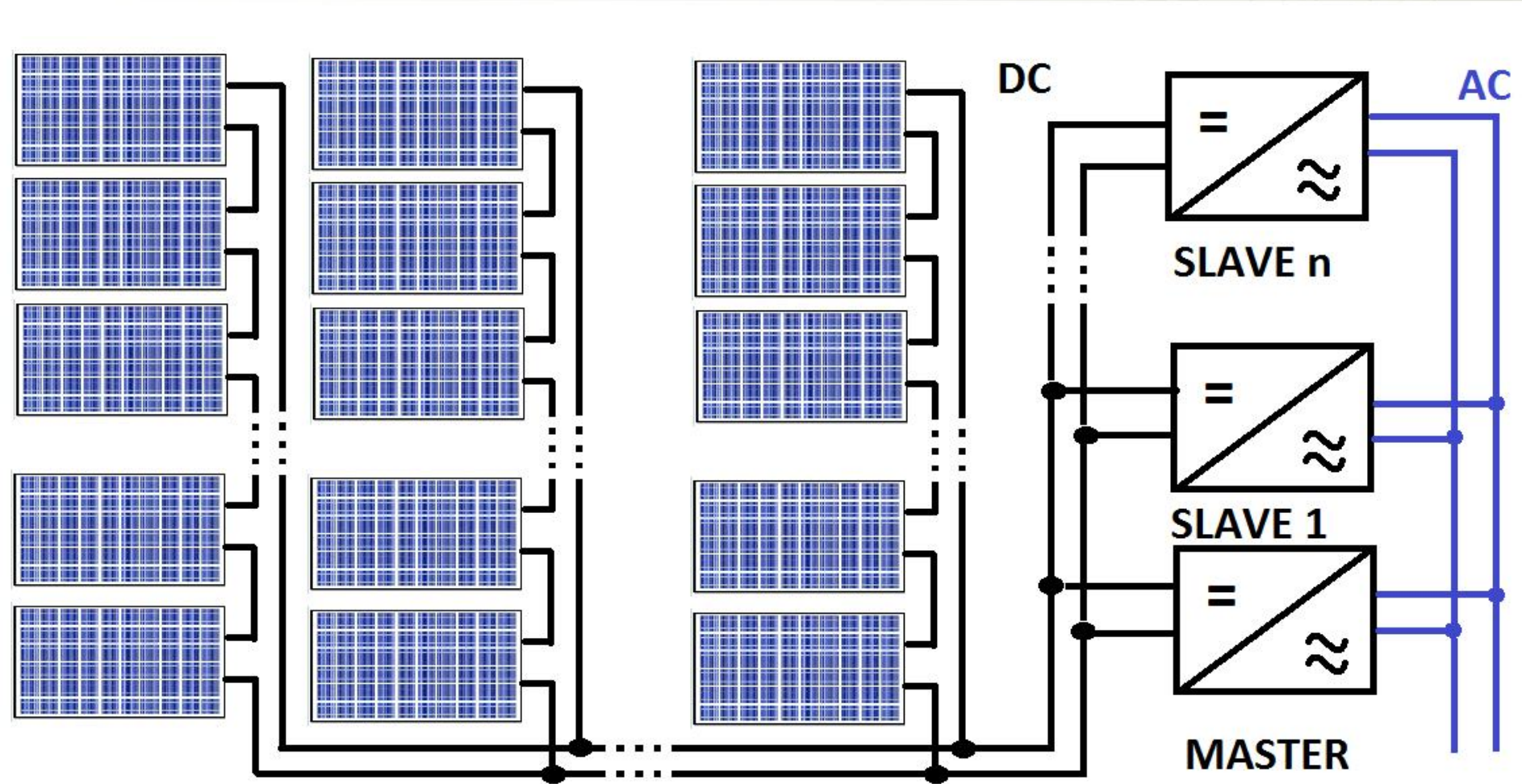
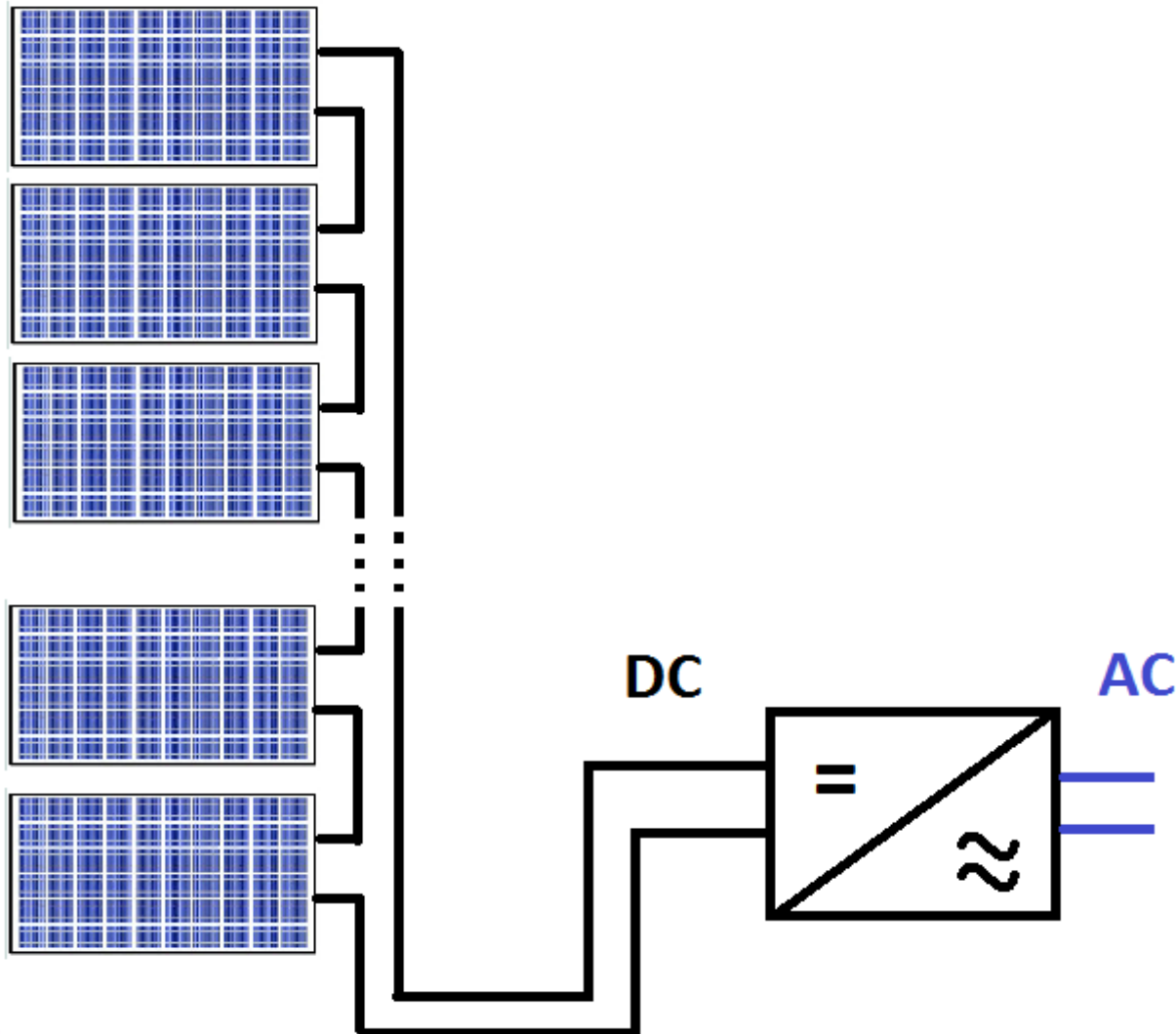


Image: SMA Regelsysteme GmbH, Niestetal, Germany

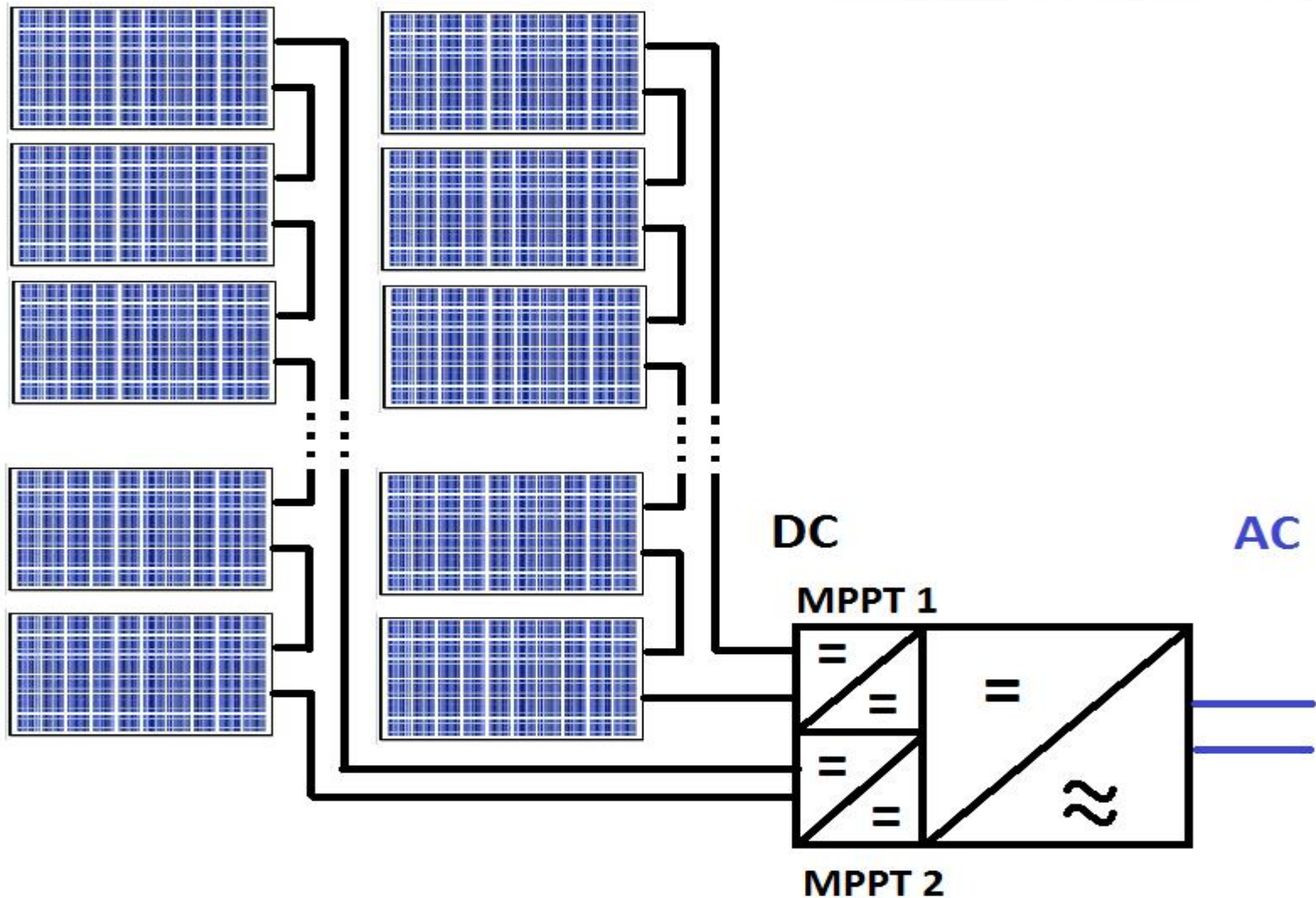
Falownik centralny (Master-Slave)



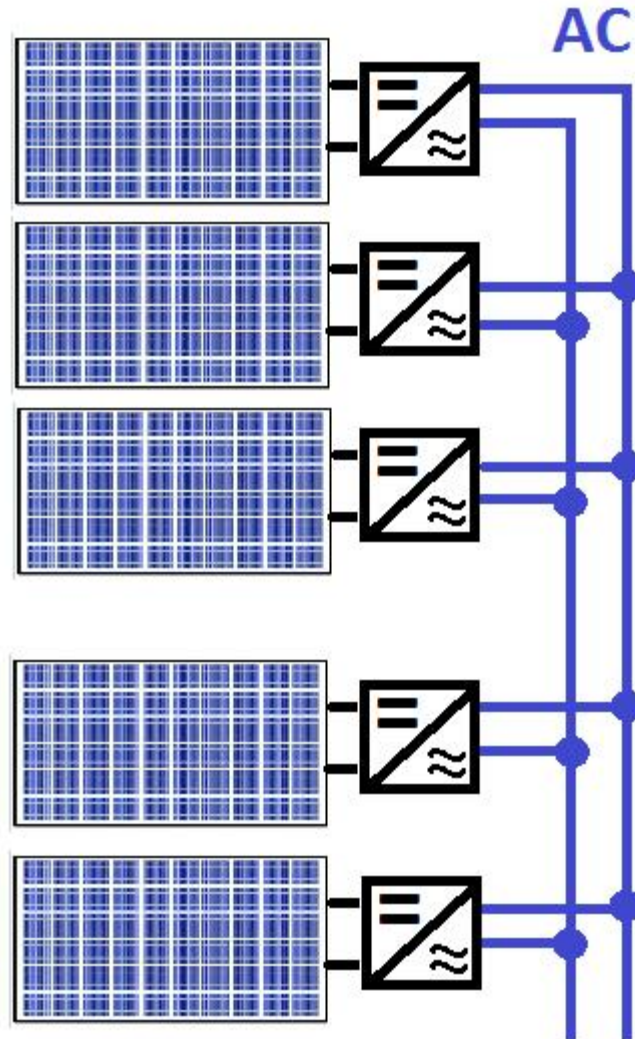
Falownik string'owy



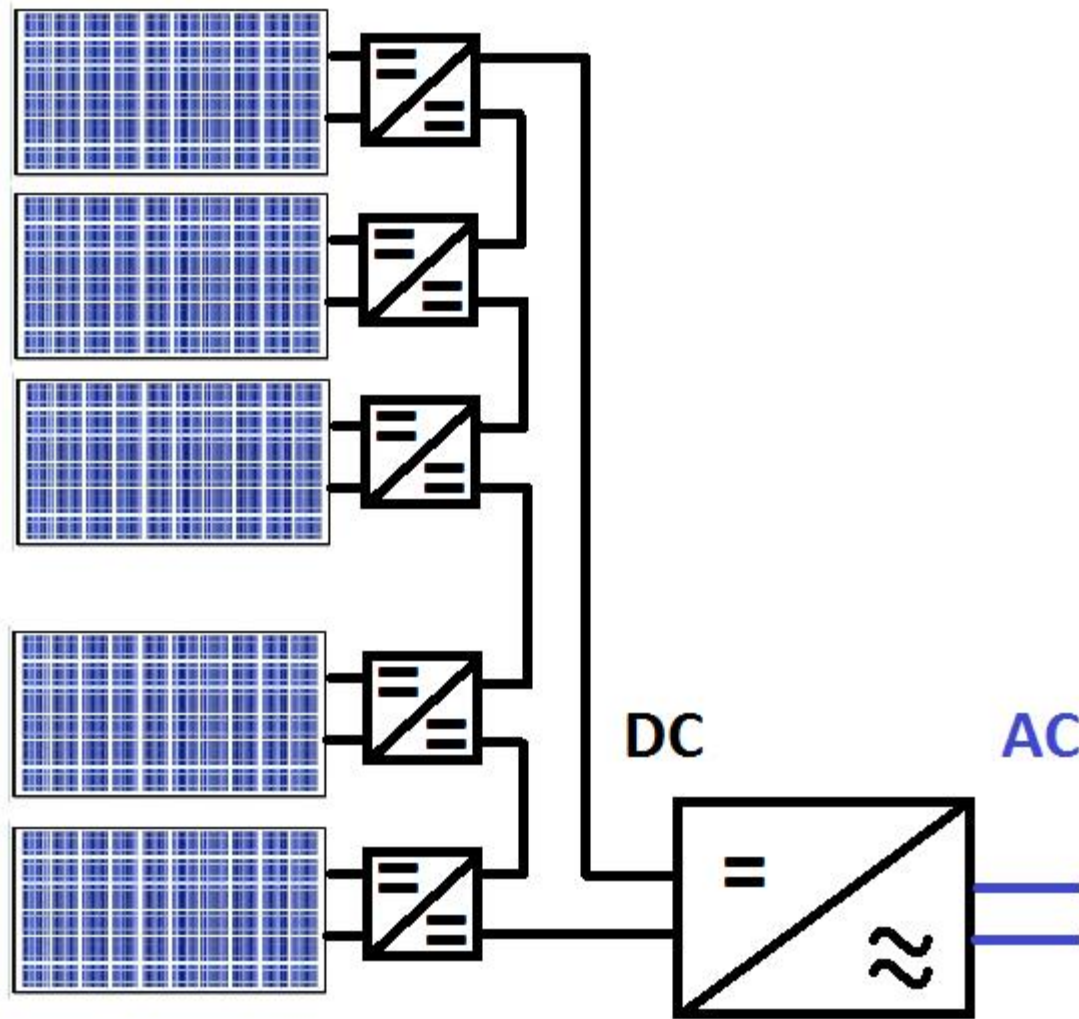
Falownik multi string'owy



Mikroinwertery



Optymizery mocy



Optymalizer mocy + falownik

solar**edge**



Źródło: www.solaredge.com

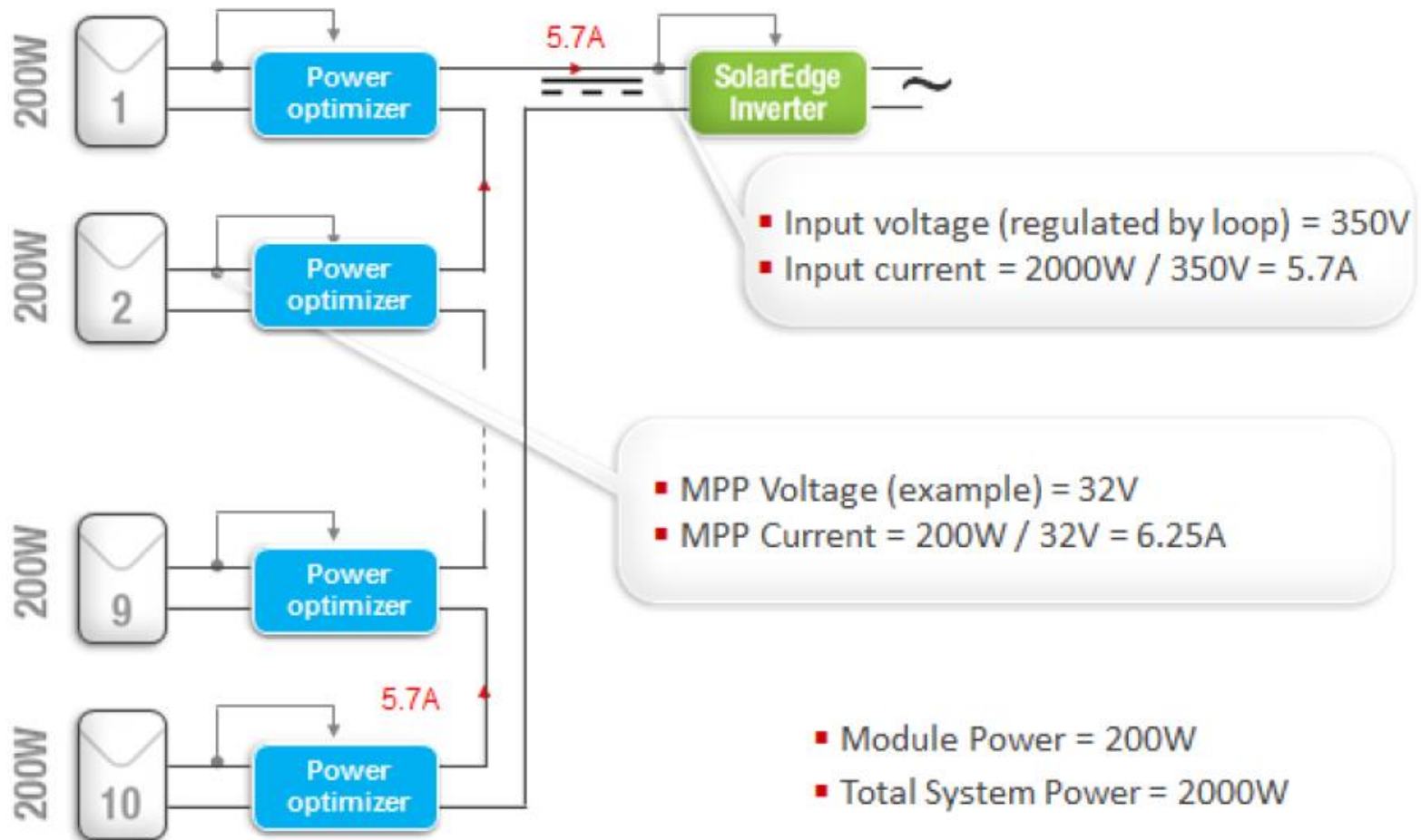
Optymizery mocy -funkcjonalności

- MPPT na poziomie pojedynczego modułu PV
- Monitoring na poziomie pojedynczego modułu PV
- W łańcuchu można łączyć szeregowo różne moduły PV
- Równolegle można łączyć łańcuchy zawierające różne ilości modułów PV
- **W stanach awaryjnych redukcja napięcia na wyjściu optyimizera do wartości 1V !**

Optymizery mocy idea stałego napięcia na łańcuchu

Warunki idealne

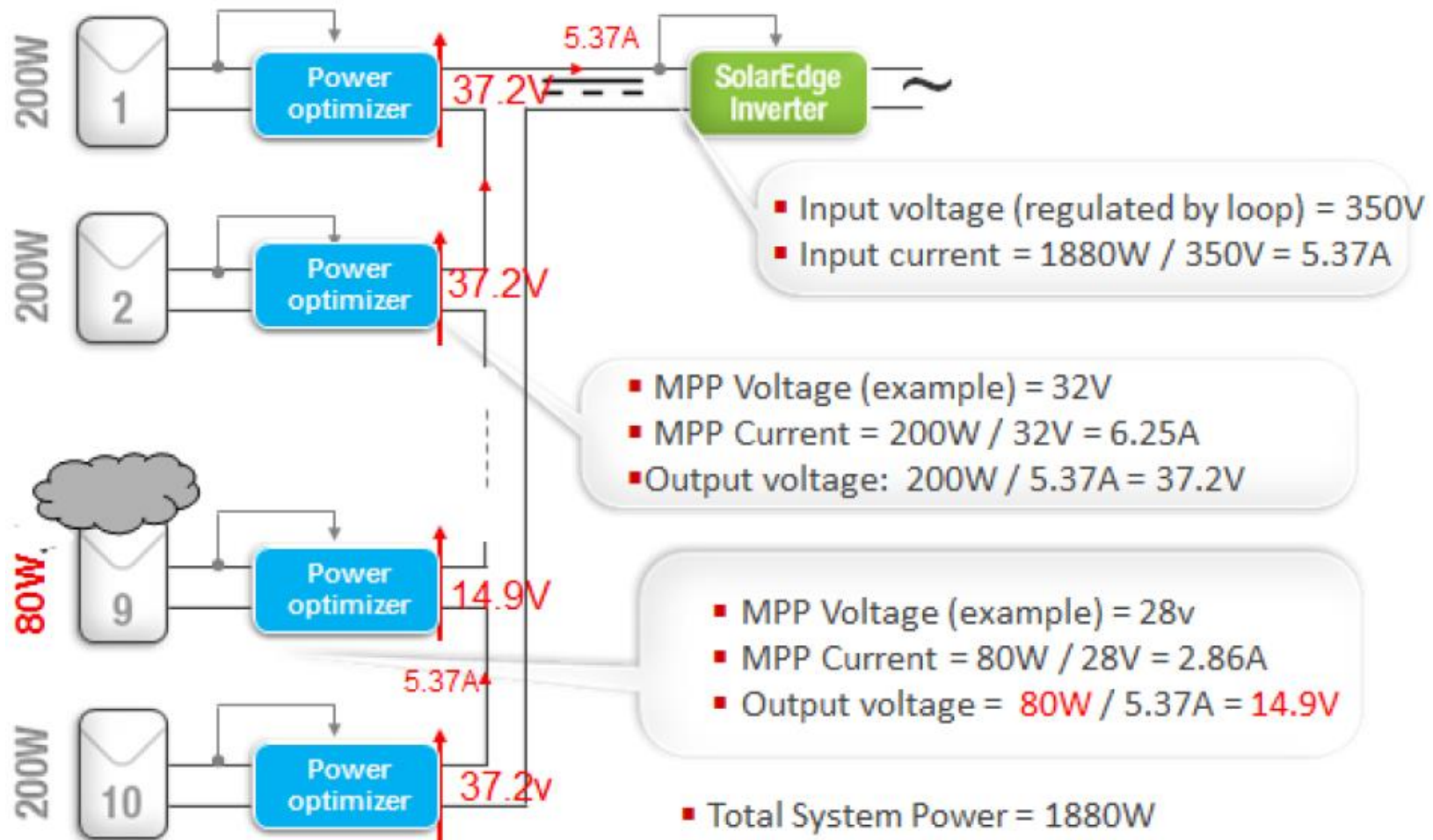
Źródło SolarEdge



Optymizery mocy idea stałego napięcia na łańcuchu

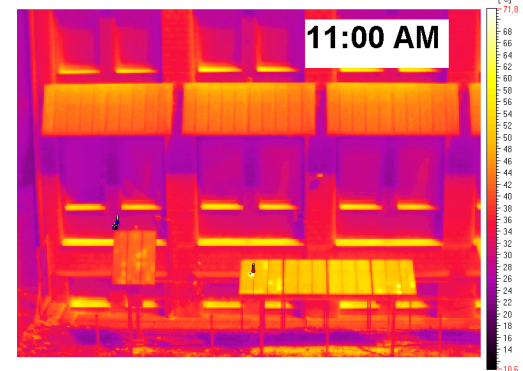
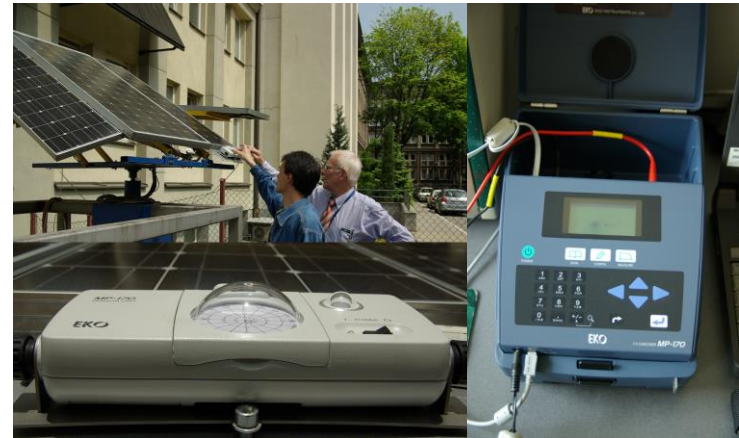
Częściowe zacinienie

Źródło SolarEdge



Nadzór nad pracą systemu

- Statystyczna analiza parametrów chwilowych
- Wykrywanie uszkodzeń:
 - Pomiar elektryczny
 - Pomiar termiczny



Optymizery mocy – monitoring na poziomie modułu



Wybierz instalację (wprowadź co najmniej 3 litery w celu)

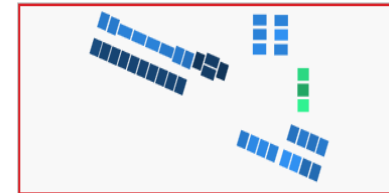
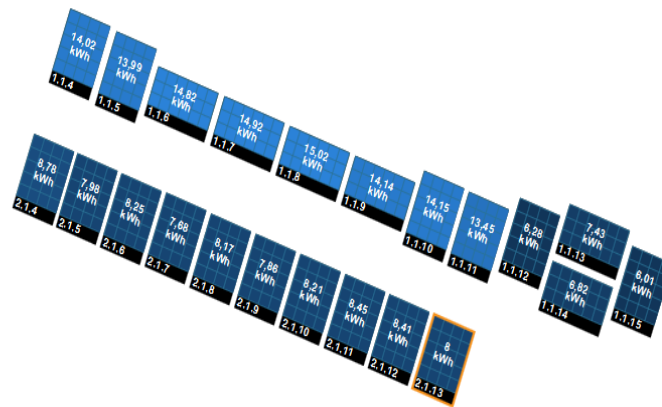
Kraków AGH dach budynku C3

Pokaż drzewo

Pokaż otwieranie

Całkowity

Układ fizyczny



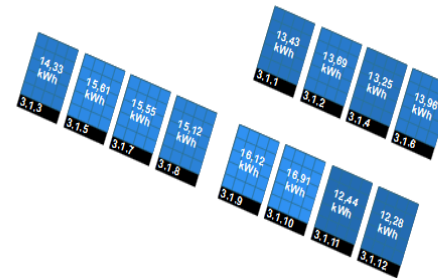
Informacje o typie i ustawieniu danego modułu



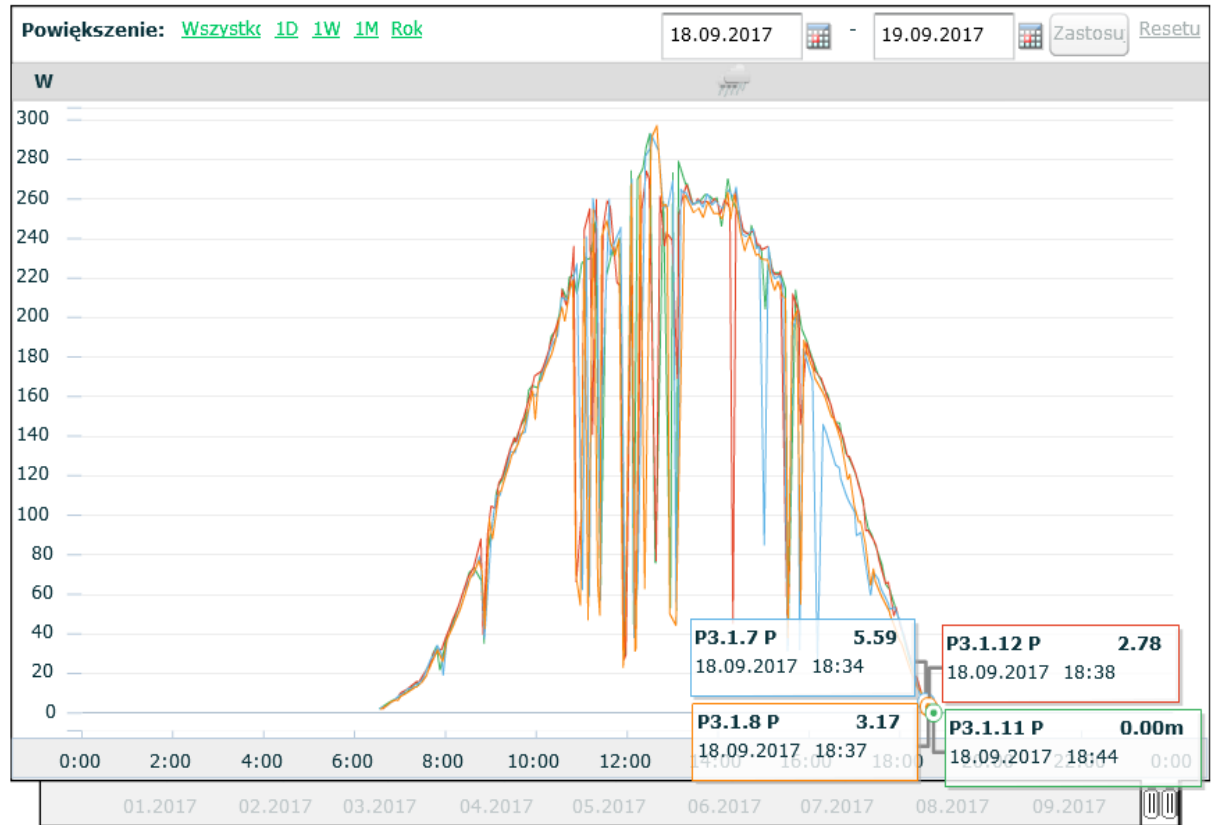
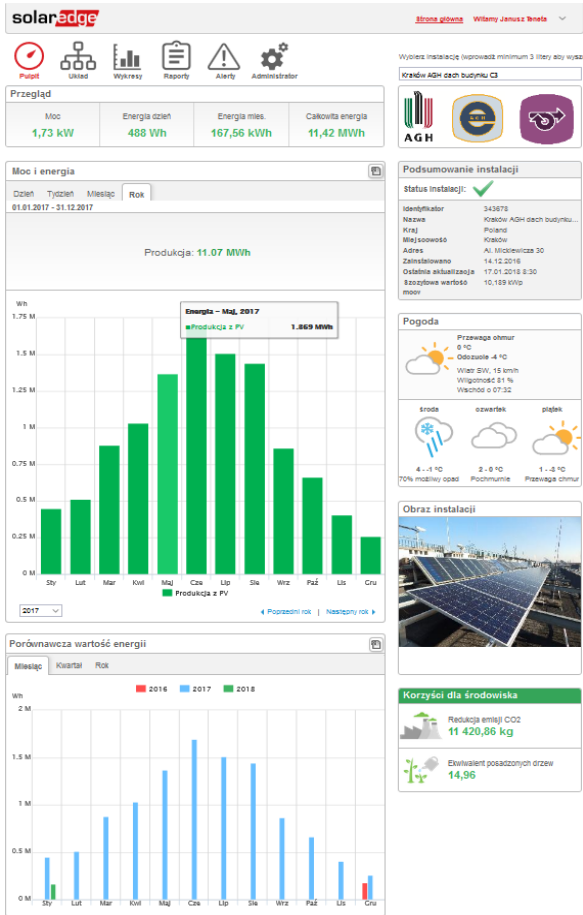
Moduł 2.1.13 (20326646-FE)
Sharp ND-RJ265
Orientacja: VERTICAL
Nachylenie: 15.0

Porównanie parametrów pracy wybranych modułów

Nazwa	Producent	Model	Numer serijny	Ostatnio zmierzono	Moc [W]	Napięcie [V]	Napięcie optymalizatora [V]	Prąd [A]	Energia [kWh]
Panel 2.1.4	Sharp	ND-RJ260	20302243-15	22.03.2017 13:59	7.06	28.25	29.13	0.25	1.428
Panel 2.1.5	Sharp	ND-RJ260	2030CE95-23	22.03.2017 14:02	8.39	30.5	29.88	0.28	1.443.75
Panel 2.1.6	Sharp	ND-RJ260	2030CC03-E4	22.03.2017 14:03	11.39	30.38	29.75	0.38	1.423.25
Panel 2.1.7	Sharp	ND-RJ260	20302759-D8	22.03.2017 13:59	5.46	29.13	29.63	0.19	1.383.25
Panel 2.1.8	Sharp	ND-RJ260	2030BC0E-1A	22.03.2017 14:03	10.04	29.75	29.38	0.34	1.417
Panel 2.1.9	Sharp	ND-RJ260	2030C028-48	22.03.2017 13:56	6.73	30.75	29.25	0.22	1.393.25
Panel 2.1.10	Sharp	ND-RJ260	2030BD3E-4B	22.03.2017 13:58	7	30.25	29.75	0.23	1.401.75
Panel 2.1.11	Sharp	ND-RJ260	20329F54-25	22.03.2017 14:01	6.75	30.88	29.75	0.22	1.415.25
Panel 2.1.12	Sharp	ND-RJ260	2030BC95-A1	22.03.2017 14:04	9.42	30.75	29.75	0.31	1.397.75
Panel 2.1.13	Sharp	ND-RJ265	20326646-FE	22.03.2017 14:04	9	29.38	29.25	0.31	1.433.5



Optymizery mocy – monitoring na poziomie modułu



Monitoring

- Monitoring pogodowy

Dzięki niemu uzyskujemy informacje o chwilowych wartościach przetwarzanej energii promieniowania słonecznego oraz o warunkach pracy systemu PV (np. temperatura powietrza). Odpowiedni zbiór danych pozwala na przeprowadzanie wiarygodnych analiz i symulacji komputerowych.

- Monitoring energetyczny

Gromadzi informacje o parametrach elektrycznych systemu PV (stało- i zmiennoprądowych). Pozwala na kontrolę pracy systemu, wykrywanie sytuacji awaryjnych oraz analizę statystyczną.

- Porównanie danych z monitoringu pogodowego i energetycznego umożliwia ocenę sprawności całego systemu PV oraz wykrywanie nietypowych uszkodzeń.

Monitoring pogody

➤ Minimum

- Całkowite promieniowanie słoneczne w płaszczyźnie horyzontalnej
- Temperatura otoczenia

➤ Optimum

- Całkowite promieniowanie słoneczne w płaszczyźnie horyzontalnej
- Rozproszone promieniowanie słoneczne w płaszczyźnie horyzontalnej
- Całkowite promieniowanie słoneczne w płaszczyźnie modułów PV
- Temperatura otoczenia (powietrza)
- Temperatura modułów PV
- Prędkość i kierunek wiatru
- Ciśnienie atmosferyczne
- Wilgotność powietrza

Monitoring pogody przykłady stacji pomiarowych



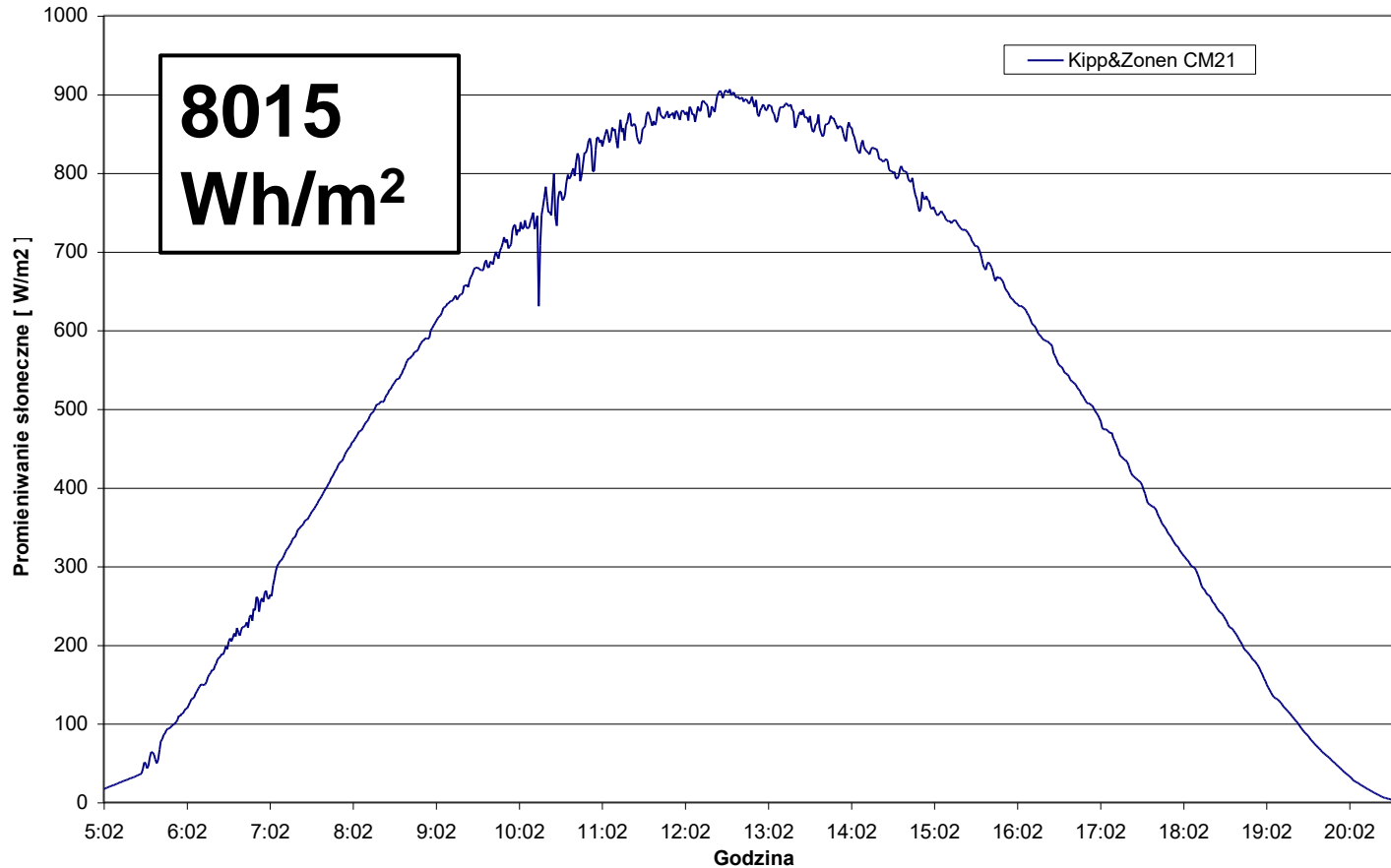
Stacja meteo na dachu budynku C3, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Monitoring pogodowy przykłady stacji pomiarowych



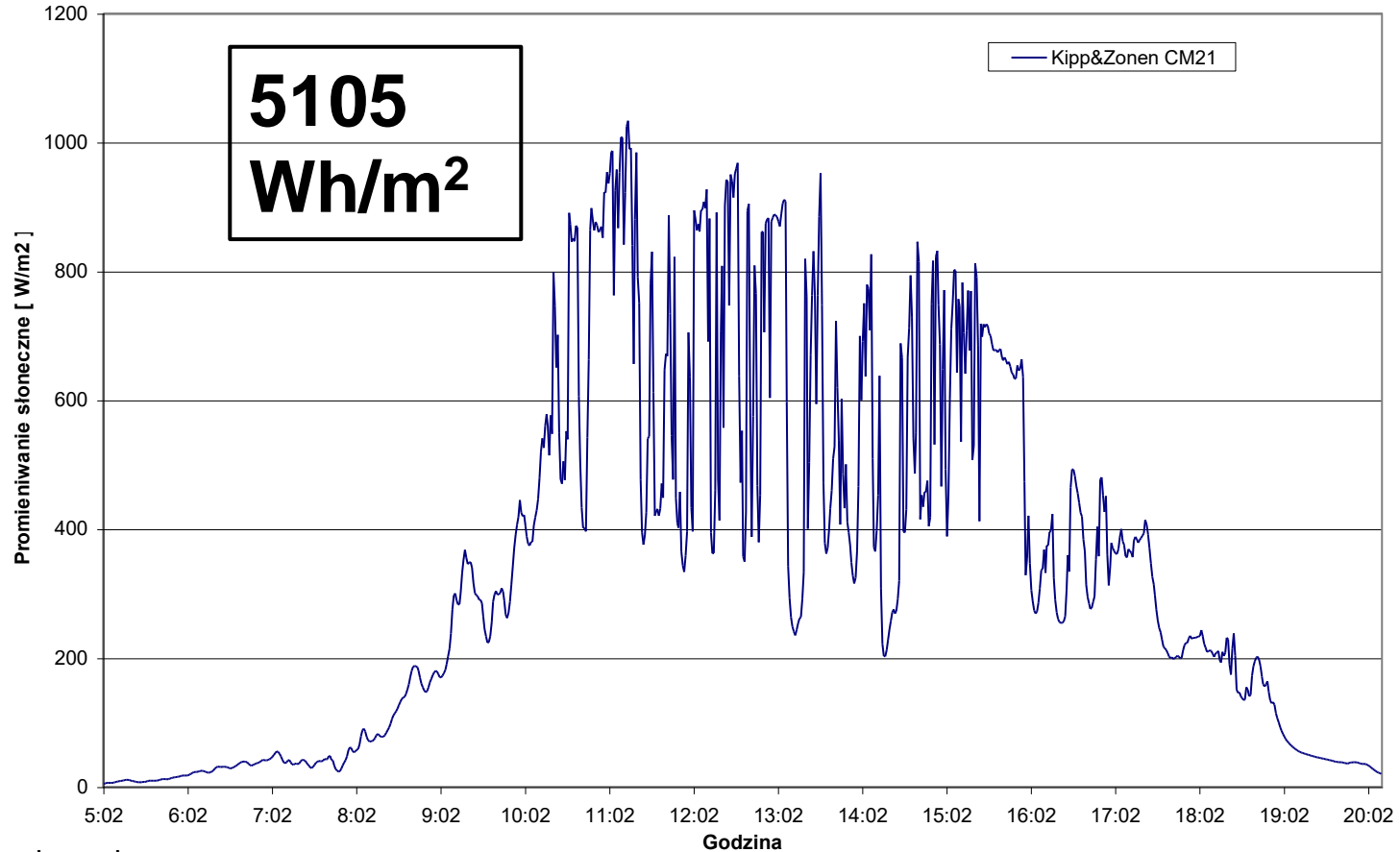
Hokuto City , Japonia monitoring farmy fotowoltaicznej 1,2MWp

Monitoring pogodyy - przykłady pomiarów nasłonecznienia (dzień słoneczny)



Źródło: pomiary własne

Monitoring pogodowy - przykłady pomiarów nasłonecznienia (dzień z zachmurzeniami)



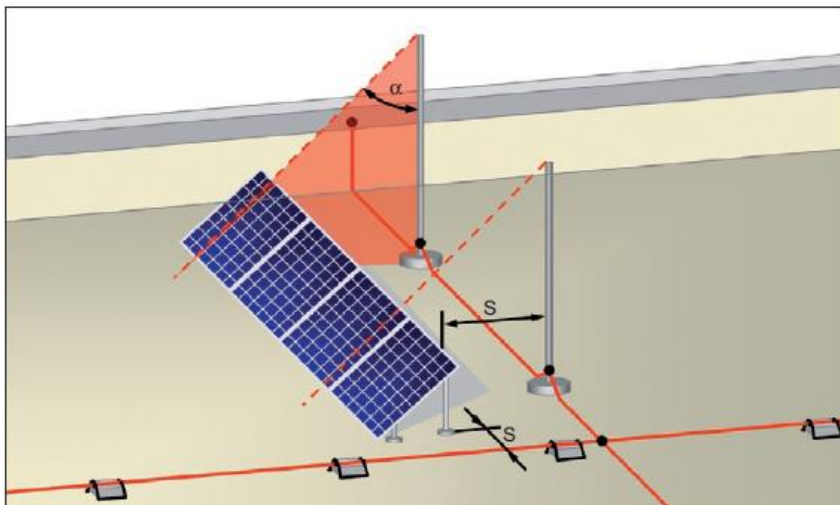
Źródło: pomiary własne



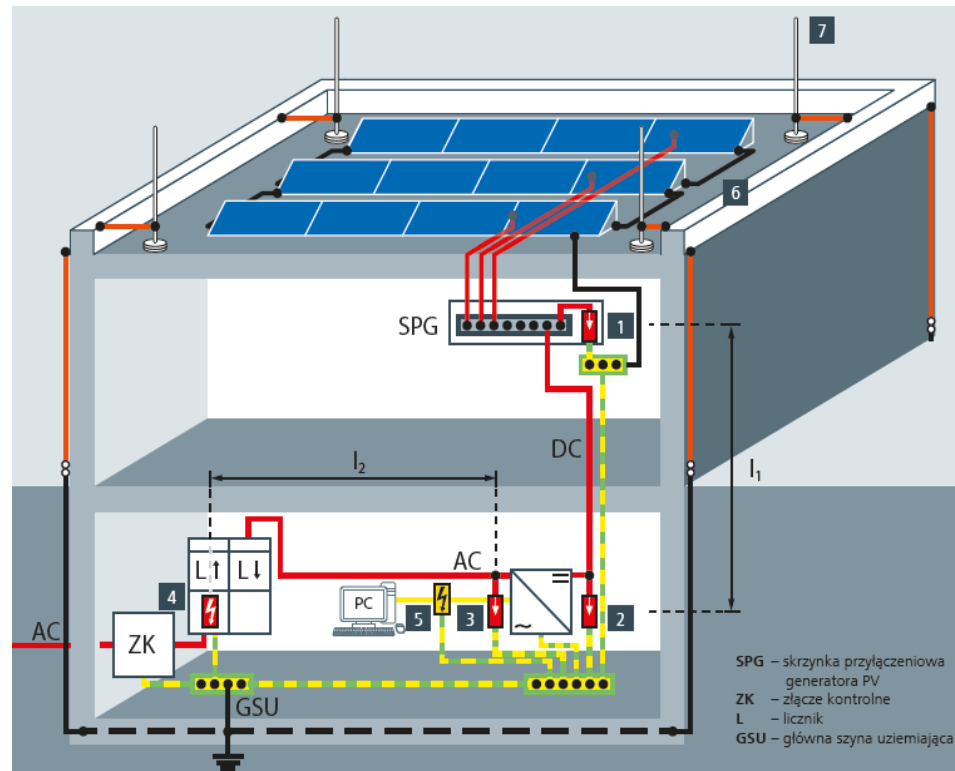
AGH

Na tym nie powinno się oszczędzać !!!

Instalacja odgromowa i antyprzebieciowa



Rys. 1. Ochrona odgromowa paneli fotowoltaicznych na dachu, gdzie: s – odstęp izolacyjny obliczony zgodnie z pkt 6.3. normy PN-EN 62305, α – kąt ochronny zgodny z tabelą 2. normy (PN-EN 62305-3), zależny od wysokości zwodu pionowego oraz przyjętej klasy LPS



SPG – skrzynka przyłączeniowa generatora PV
ZK – złącze kontrolne
L – licznik
GSU – główna szyna uziemiająca

Źródło: K. Wincencik - Ochrona odgromowa paneli słonecznych , elektroinfo 3/2009, materiały informacyjne firmy Dehn



Dziękuję za uwagę !!!

