

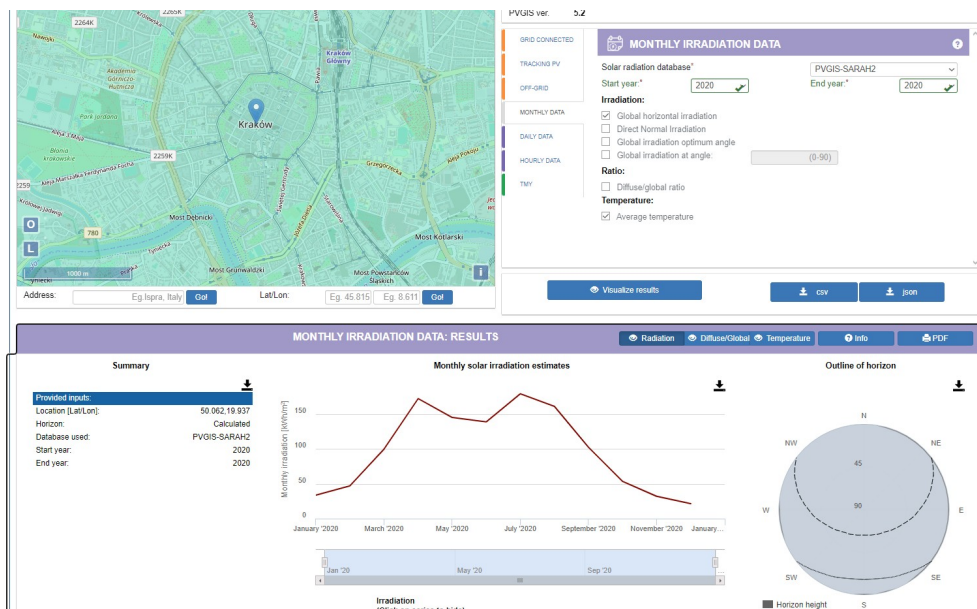
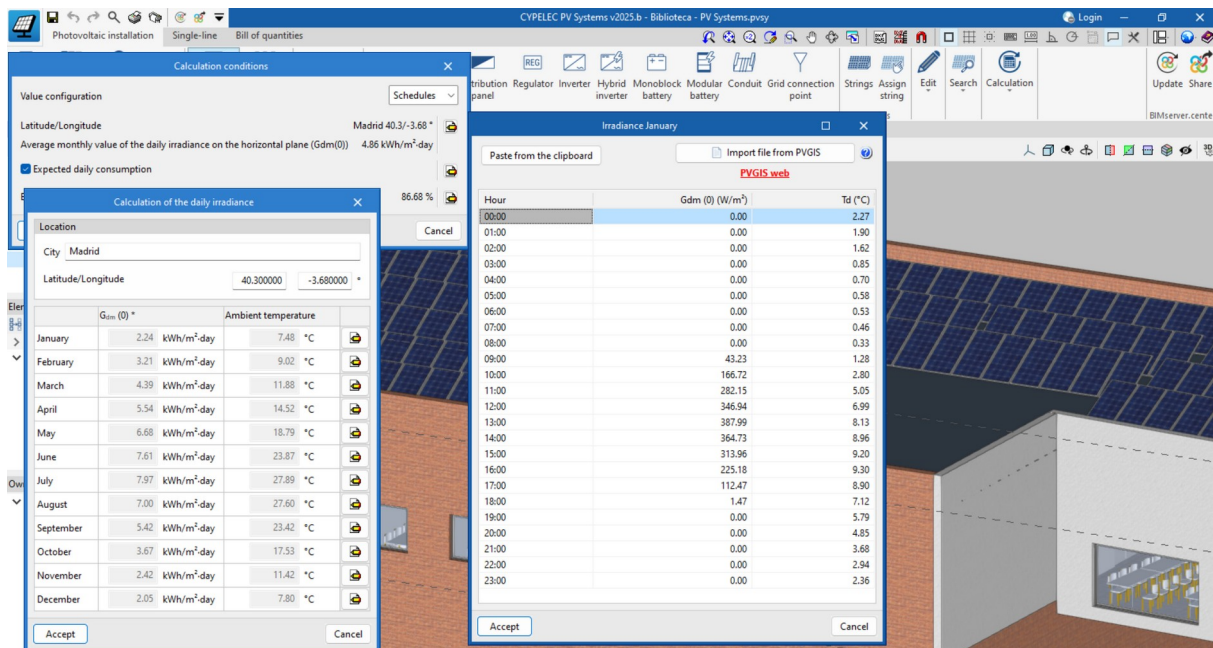
Na co zwrócić uwagę w projektowaniu instalacji fotowoltaicznej na dachu budynku?

Rosnące zapotrzebowanie na odnawialne źródła energii oraz postępująca dekarbonizacja przemysłu energetycznego prowadzą do wzrostu popularności instalacji fotowoltaicznych na dachach budynków. W szczególności budynki mieszkalne oraz komercyjne stanowią potencjalnie doskonałą lokalizację do wdrażania tego typu rozwiązań. Jednakże projektowanie instalacji fotowoltaicznej wymaga nie tylko znajomości technologii, ale również analizy wielu aspektów związanych z lokalnymi warunkami, technologią budowlaną oraz prawnymi wymaganiami. W artykule przedstawiono najważniejsze czynniki, które należy wziąć pod uwagę podczas projektowania instalacji PV na dachach budynków.

1. Analiza warunków lokalizacyjnych

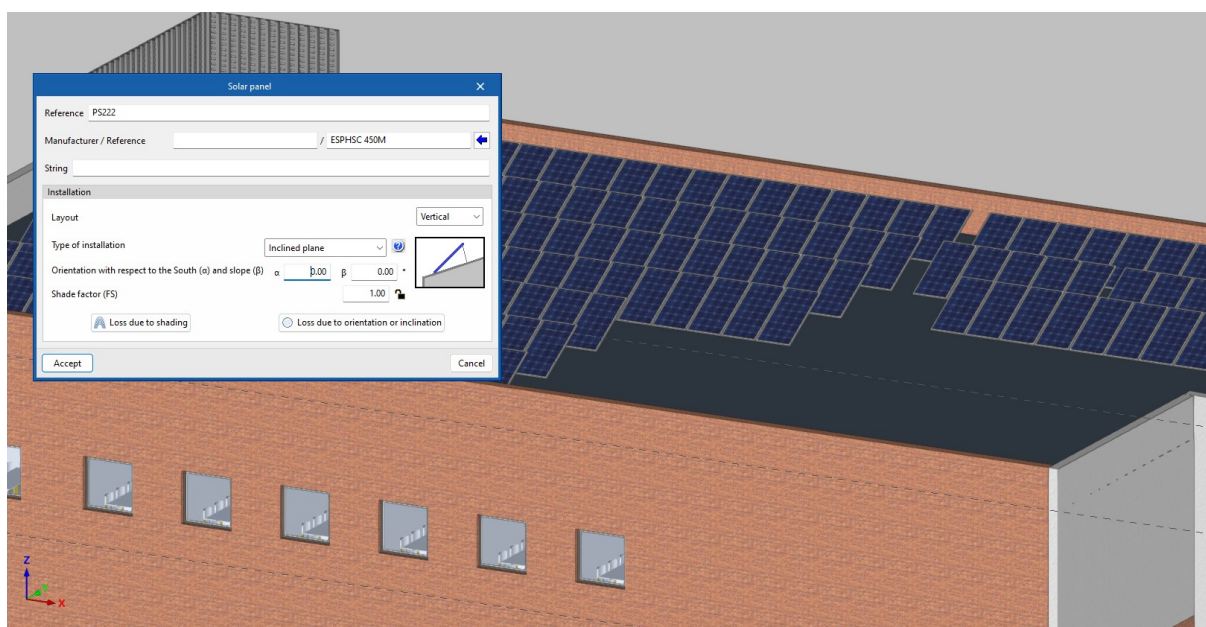
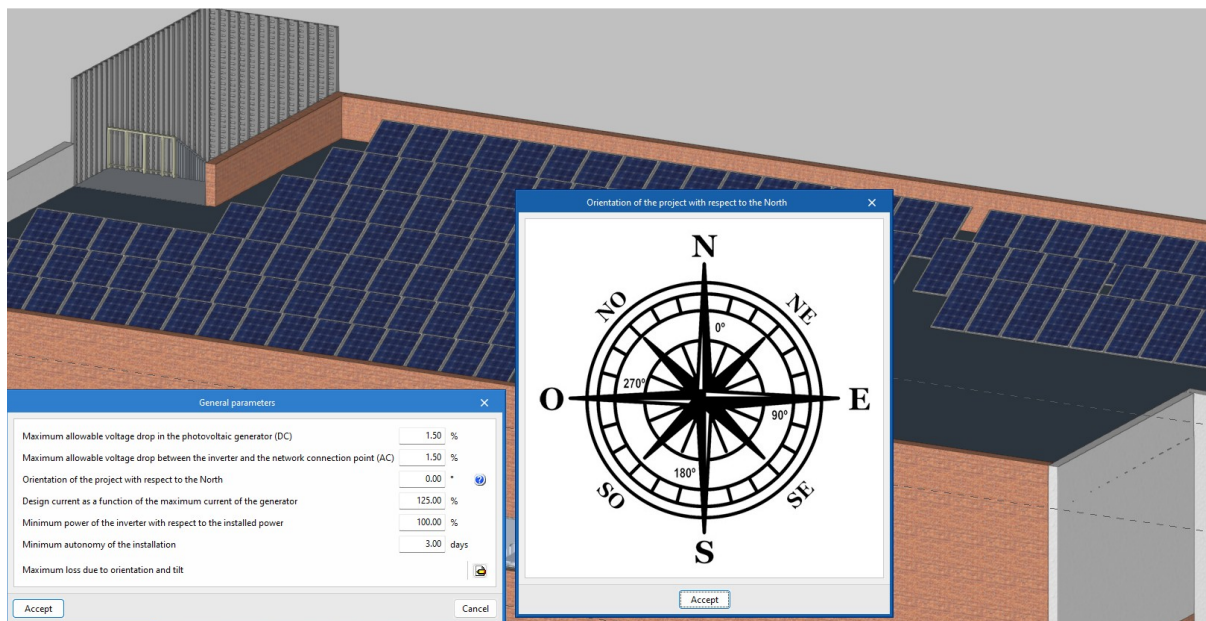
1.1. Nasłonecznienie

Najważniejszym czynnikiem wpływającym na efektywność instalacji fotowoltaicznej jest nasłonecznienie, które zmienia się w zależności od lokalizacji geograficznej. W Polsce nasłonecznienie wynosi średnio od 1000 do 1200 kWh/m²/rok, co jest wystarczające dla efektywnej pracy instalacji PV. W procesie projektowania instalacji należy jednak dokładnie przeanalizować warunki słoneczne w danym regionie, wykorzystując lokalne dane meteorologiczne. Narzędzia symulacyjne i oprogramowanie, takie jak PVGIS czy inne, pozwalają na dokładne oszacowanie potencjału energii słonecznej.



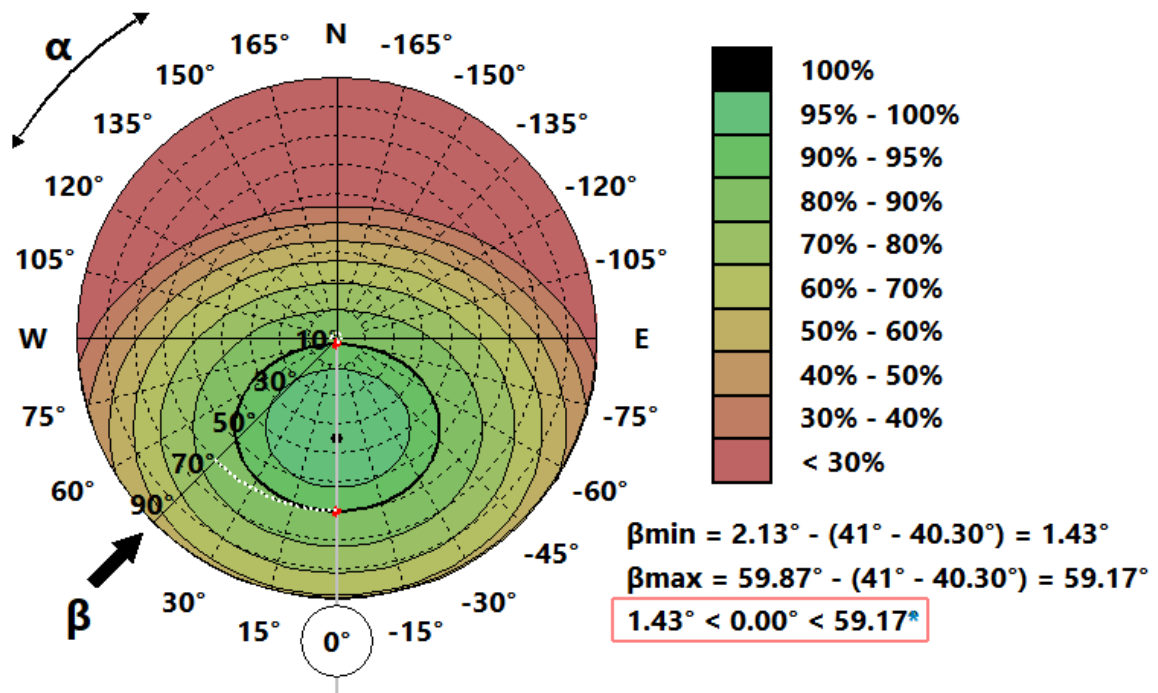
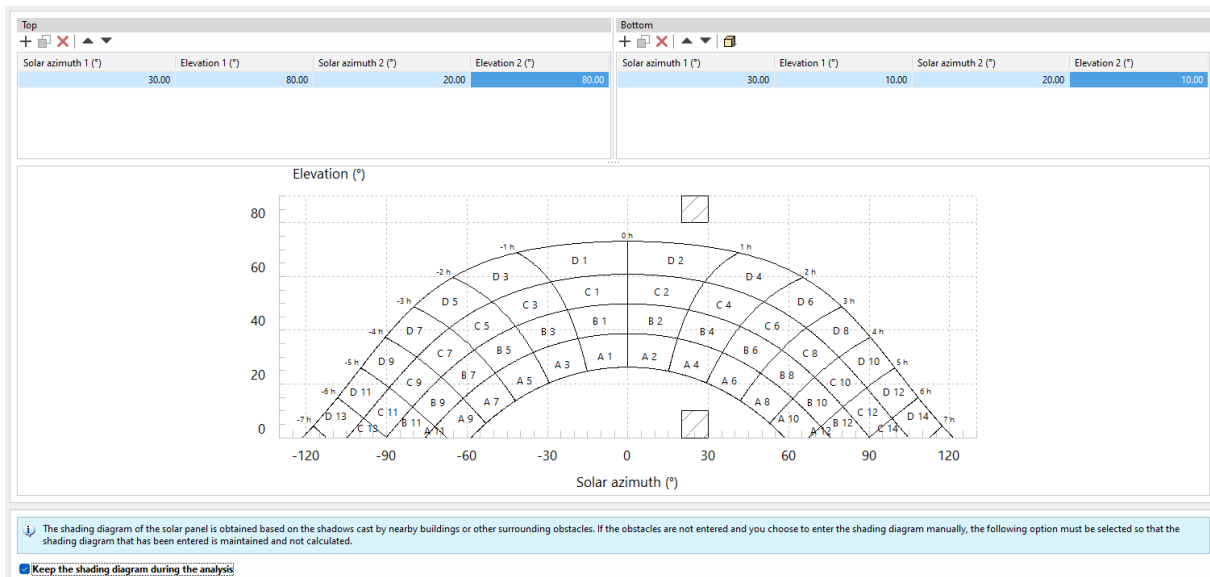
1.2. Orientacja i kąt nachylenia dachu

Optymalna orientacja paneli fotowoltaicznych w Polsce to kierunek południowy, który zapewnia maksymalne wykorzystanie promieniowania słonecznego. Panele PV montowane na dachach skierowanych w innych kierunkach mogą generować mniejszą ilość energii. Oprócz orientacji ważny jest kąt nachylenia dachu. W Polsce optymalny kąt nachylenia wynosi od 30° do 35°. W przypadku dachów płaskich panele należy montować na specjalnych konstrukcjach wsporczych, aby uzyskać odpowiedni kąt.



1.3. Zacienienie

Zacienienie ma negatywny wpływ na wydajność instalacji fotowoltaicznej. Nawet niewielkie zacienienie może obniżyć produkcję energii, ponieważ panele fotowoltaiczne są zazwyczaj połączone w serie, a zacienienie jednego modułu wpływa na całą grupę paneli. Przed projektowaniem należy przeprowadzić szczegółową analizę potencjalnych źródeł cienia, takich jak kominy, drzewa, inne budynki, czy elementy infrastruktury na dachu. Technologie takie jak optymalizatory mocy lub mikroinwertery mogą pomóc w minimalizowaniu strat związanych z zacienieniem.



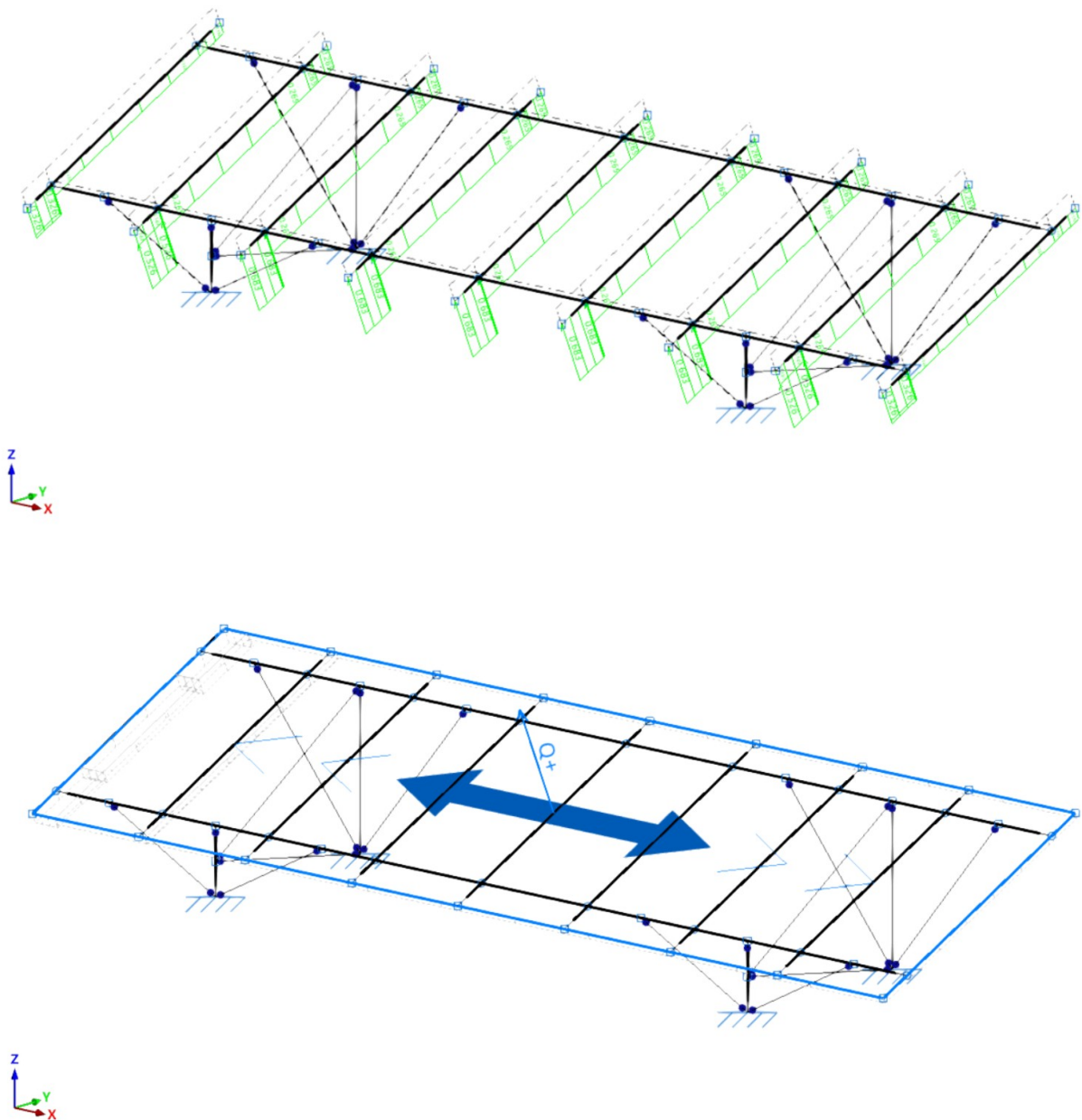
* The formula shown in point 2.3 of Annex II of PCT-C-REV is not met either

2. Nośność konstrukcji dachowej

2.1. Obciążenia

Dach, na którym ma zostać zainstalowana instalacja PV, musi mieć odpowiednią nośność, aby wytrzymać dodatkowe obciążenie wynikające z masy paneli, konstrukcji montażowej oraz sił związanych z działaniem wiatru i śniegu. W procesie projektowania należy uwzględnić

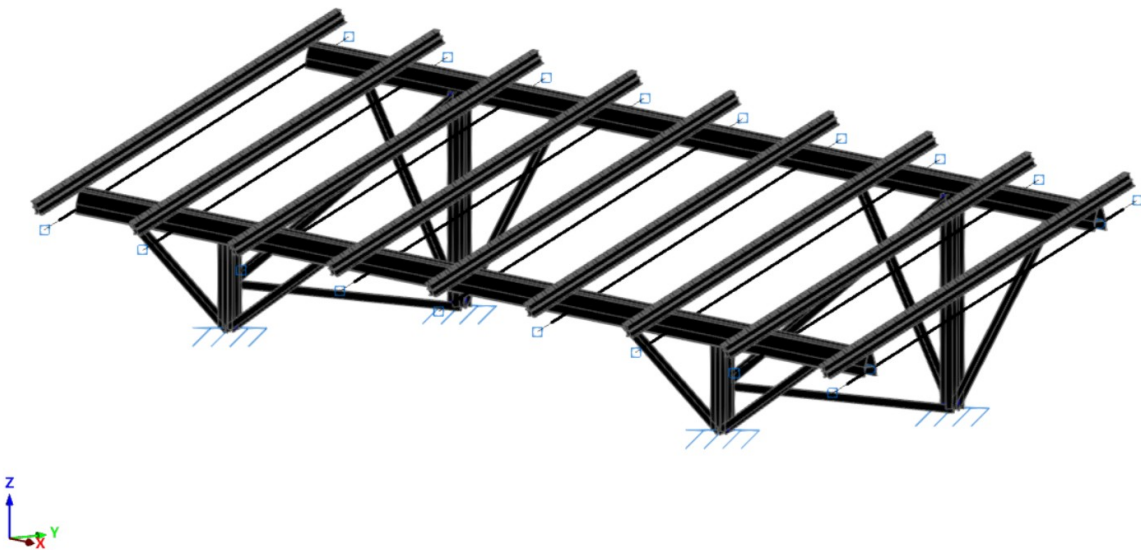
wszystkie te czynniki (i w razie potrzeby) przeprowadzić ocenę konstrukcyjną budynku. Dla niektórych starszych budynków może być konieczne wzmocnienie konstrukcji dachowej.



2.2. Typ dachu

Rodzaj dachu ma znaczenie dla wyboru systemu montażowego. W przypadku dachów skośnych (np. krytych dachówką, blachą falistą) stosuje się inne systemy montażowe niż dla dachów płaskich, pokrytych np. papą lub blachą trapezową. Montaż paneli musi być zgodny z normami budowlanymi i zapewniać trwałe mocowanie, które nie wpłynie negatywnie na

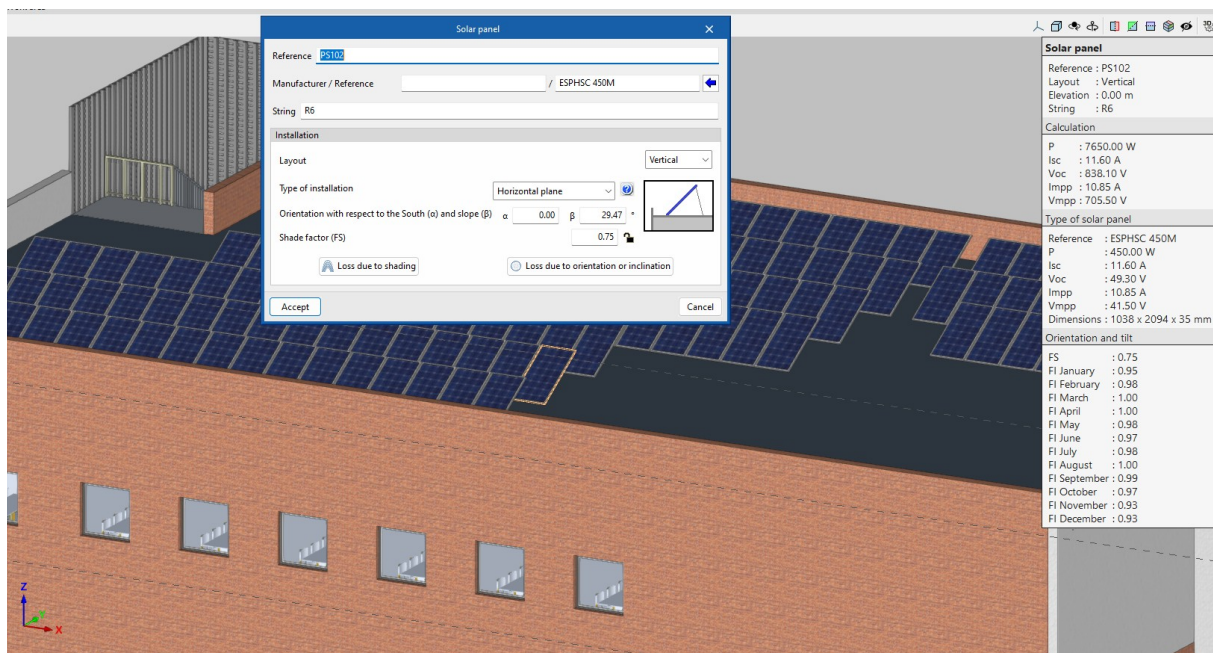
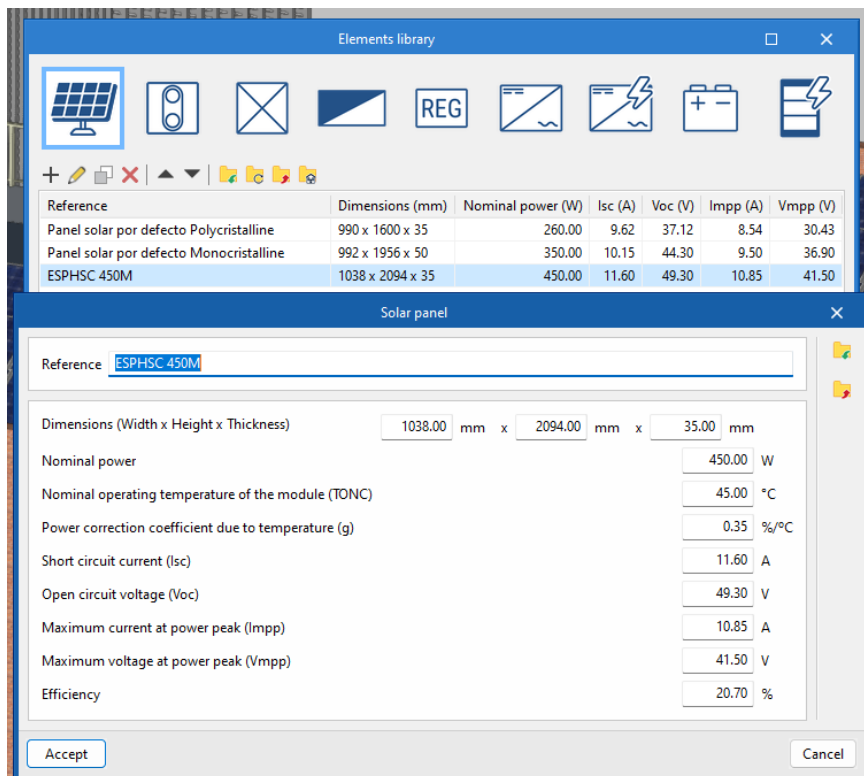
konstrukcję ani szczelność dachu.



3. Wybór komponentów instalacji

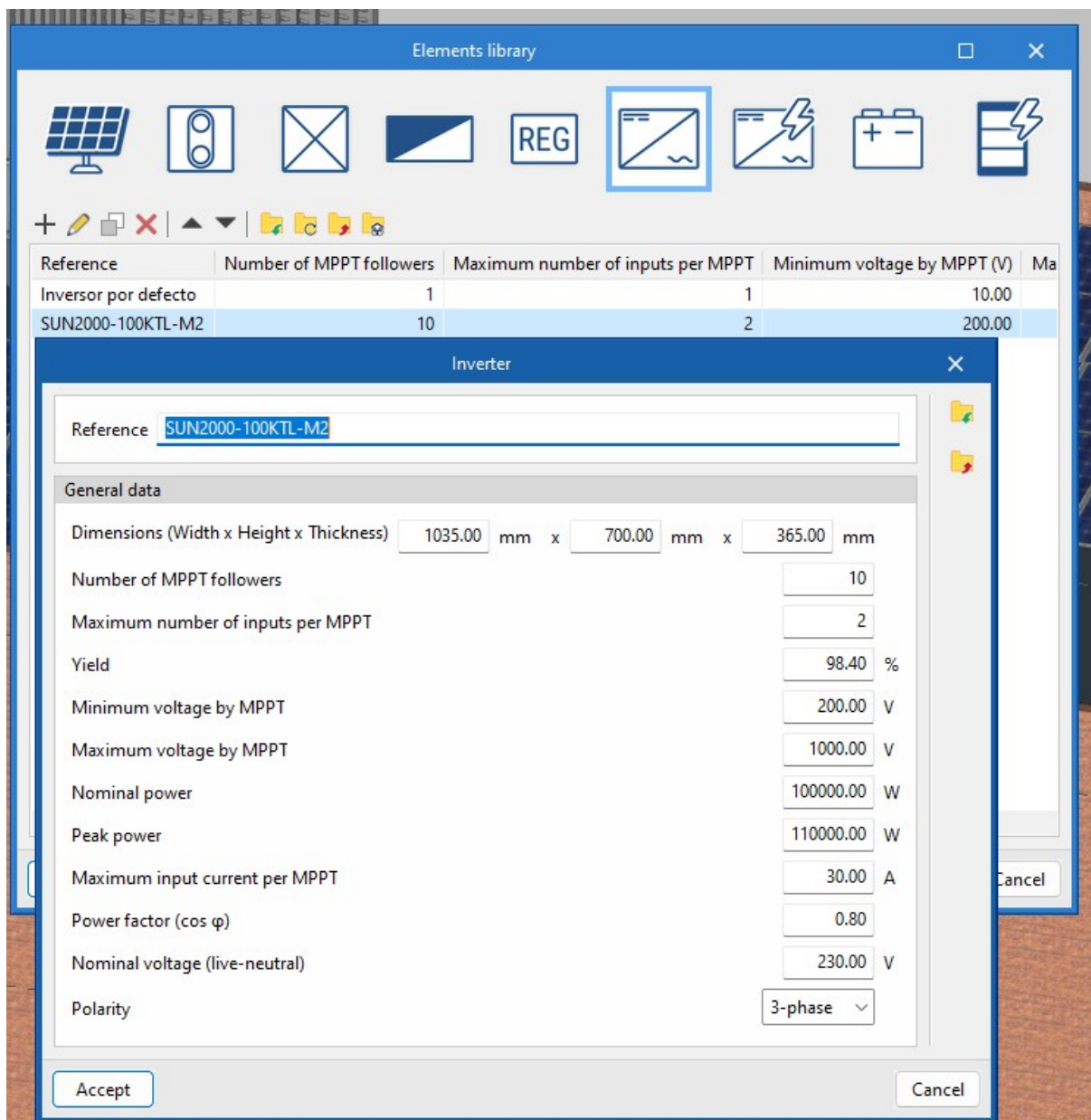
3.1. Panele fotowoltaiczne

Wybór paneli fotowoltaicznych jest kluczowy dla wydajności instalacji. Na rynku dostępne są panele monokrystaliczne, polikrystaliczne oraz cienkowarstwowe. Monokrystaliczne panele cechują się najwyższą sprawnością, podczas gdy panele cienkowarstwowe lepiej radzą sobie w warunkach słabego oświetlenia. Wybór odpowiedniego rodzaju paneli powinien zależeć od dostępnej przestrzeni na dachu oraz warunków lokalizacyjnych.



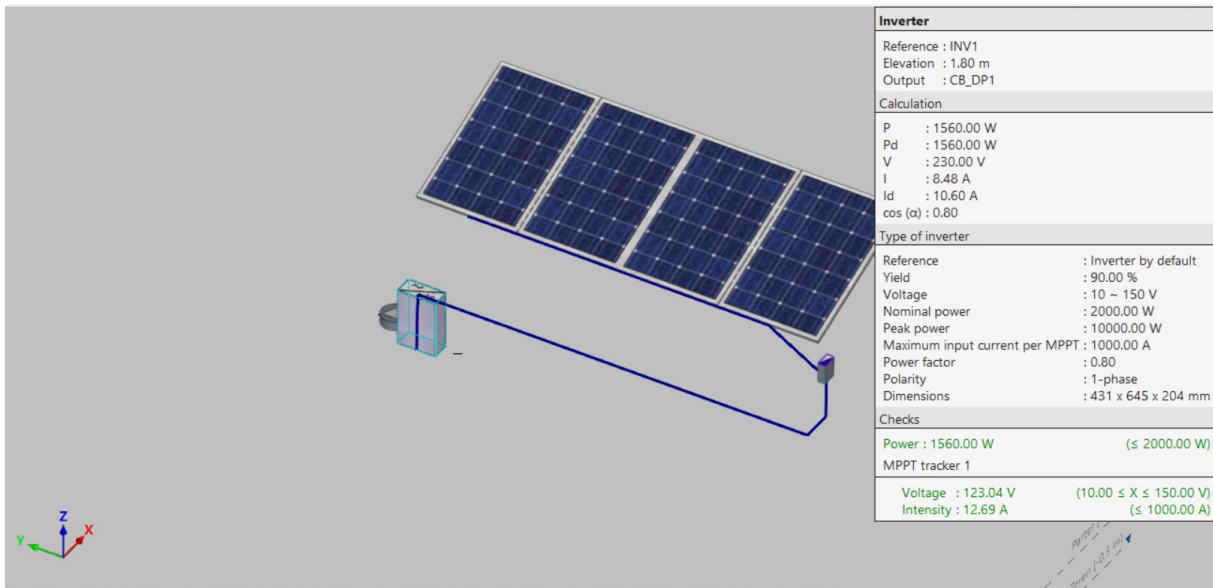
3.2. Inwerter

Inwerter przekształca prąd stały (DC) produkowany przez panele PV na prąd zmienny (AC), który może być wykorzystywany w budynku lub oddany do sieci. Przy wyborze inwertera należy zwrócić uwagę na jego sprawność, zgodność z lokalną siecią elektryczną oraz możliwości monitorowania pracy instalacji. Inwertery mogą być centralne (dla całej instalacji) lub mikroinwertery (dla każdego panelu osobno), co ma szczególne znaczenie w przypadku dachów narażonych na zacienienie.



3.3. System montażowy

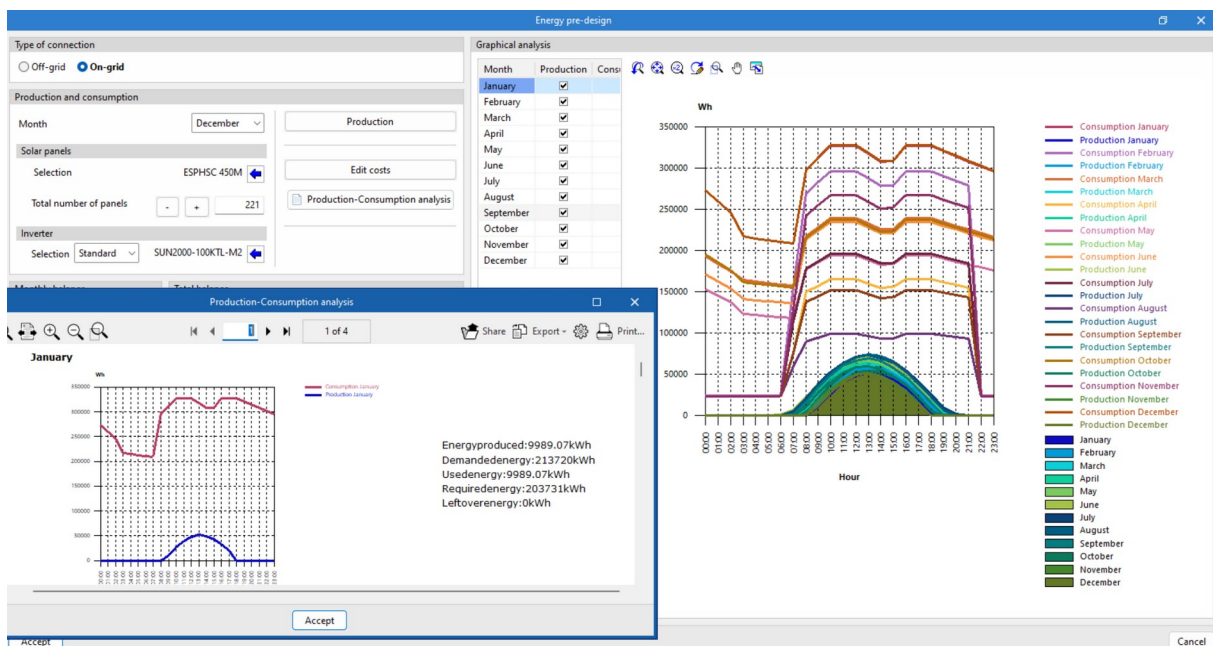
Systemy montażowe powinny być dostosowane do rodzaju dachu i warunków klimatycznych, takich jak wiatr i obciążenie śniegiem. Ważne jest, aby były wykonane z materiałów odpornych na korozję i zapewniały stabilne mocowanie paneli. System montażowy powinien również minimalizować penetrację dachu, aby nie naruszać jego integralności i nie powodować przecieków.



4. Optymalizacja efektywności energetycznej

4.1. Symulacje produkcji energii

Ważnym aspektem przed wykonaniem instalacji jest oszacowanie opłacalności instalacji PV. W tym celu wykonuje się symulacje przewidywanej produkcji energii w zależności od warunków atmosferycznych, orientacji dachu i rodzaju paneli czy zastosowanego inwertera. Kluczowym punktem jest oszacowanie miesięcznego zużycia energii np. na podstawie poprzednich rachunków. Pozwala to na uzyskanie wykresów produkcji-konsumpcji, które spełniają aspekt oszacowania opłacalności inwestycji.



4.2. Optymalizacja ekonomiczna

Koszt inwestycji w instalację PV musi być zbilansowany z przewidywanymi oszczędnościami energetycznymi. Samo oszacowanie opłacalności pokrycia zapotrzebowania nie jest często równomierne do kosztów zwrotu inwestycji. Należy więc wykonać analizę kosztów i korzyści (Cost-Benefit-Analysis), biorąc pod uwagę zarówno koszty sprzętu, jak i oszczędności wynikające z produkcji energii.

Monthly balance		Total balance	
Energy produced	9687.94 kWh	Cost of the installation	46505.00 €
Demanded energy	214054 kWh	Annual energy cost, without photovoltaic installation	300309.91 €
Used energy	9687.94 kWh	Annual energy cost, with photovoltaic installation	265566.13 €
Required energy	204366 kWh	Annual sales revenue	0.00 €
Leftover energy	0 kWh	Annual savings	34743.78 €
Sales revenue	0.00 €	Amortization period	17 Months
Monthly saving	1963.72 €		

Edit costs	
Price of each panel	140.00 €
Price of each inverter	8000.00 €
Wiring cost	365.00 €
Cost of the protection and additional elements	7200.00 €
Unit rate cost	
Annual standard charge	14053.00 €/Year
Energy selling price	0.0000 €/kWh

5. Aspekty prawne i regulacyjne

5.1. Pozwolenia i zgłoszenia

W Polsce instalacje fotowoltaiczne o mocy do 50 kW nie wymagają pozwolenia na budowę, jednak w niektórych przypadkach może być konieczne zgłoszenie planowanej inwestycji do odpowiednich organów. Przy większych instalacjach wymagane jest uzyskanie pozwolenia na budowę oraz spełnienie określonych wymagań związanych z przyłączeniem do sieci elektroenergetycznej. W takich przypadkach warto mieć przygotowaną pełną dokumentację techniczną planowanej inwestycji, wraz z projektem instalacji, danymi technicznymi i obliczeniami.

Justification calculations

1. ENERGY GENERATED BY THE INSTALLATION

$$E_p = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta) P_{mp} PR}{G_{CEM}}$$

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = G_{dm}(0) \cdot K \cdot FI \cdot FS$$

- $\beta \leq 15^\circ$:

$$FI = 1 - \left[1.2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 \right]$$

- $15^\circ < \beta < 90^\circ$:

$$FI = 1 - \left[1.2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 + 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2 \right]$$

$$L_{tem} = g \cdot (T_c - 25)$$

$$T_c = T_{amb} + (TONC - 20) \cdot \frac{G}{800}$$

$$PR = (1 - L_{cab}) \cdot (1 - L_{dis}) \cdot (1 - L_{inv}) \cdot (1 - L_{pol}) \cdot (1 - L_{ref}) \cdot (1 - L_{reg}) \cdot (1 - L_{tem}) \cdot (1 - L_{usu})$$

E	Energy produced (Wh/day)
P_{mp}	Nominal power (W)
G_{CEM}	Irradiance on the panels in STC (1000 Wh/m ²)
$G_{dm}(0)$	Average monthly value of the daily irradiance on the horizontal plane (Wh/m ² ·day)
$G_{dm}(\alpha, \beta)$	Average monthly value of the daily irradiance on the plane of the panel, for which the loss due to shading has been deducted (W/m ² ·day)
FI	Irradiance factor for the chosen orientation and slope
FS	Shade factor for the location of the panels (1 - L_{amb})
α	Orientation of the panels with respect to the South (°)
β	Slope of the panels with respect to their horizontal position (°)
β_{opt}	Optimum slope of the panels with respect to their horizontal position

	β_{opt}											
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
	50 °	43.25 °	33.25 °	23.25 °	15.75 °	15 °	15.75 °	25 °	37.5 °	46.5 °	53.25 °	53.25 °

K Factor that depends on the optimum slope of the panels

L_{tem} Loss due to temperature

g Temperature coefficient of power (1/°C)

T_c Temperature of the solar cells (°C)

T_{amb} Ambient temperature in the shade. (°C)

TONC Nominal operating temperature of the module. (°C)

G Average monthly value of the daily irradiance on the plane of the panel, for which the loss due to shading has been deducted (W/m²·day)

PR Energy performance

L_{cab} Power loss in the direct current cabling between photovoltaic panels and the inverter inlet

L_{dis} Power loss due to parameter dispersion between modules

L_{inv} Power loss in the inverter

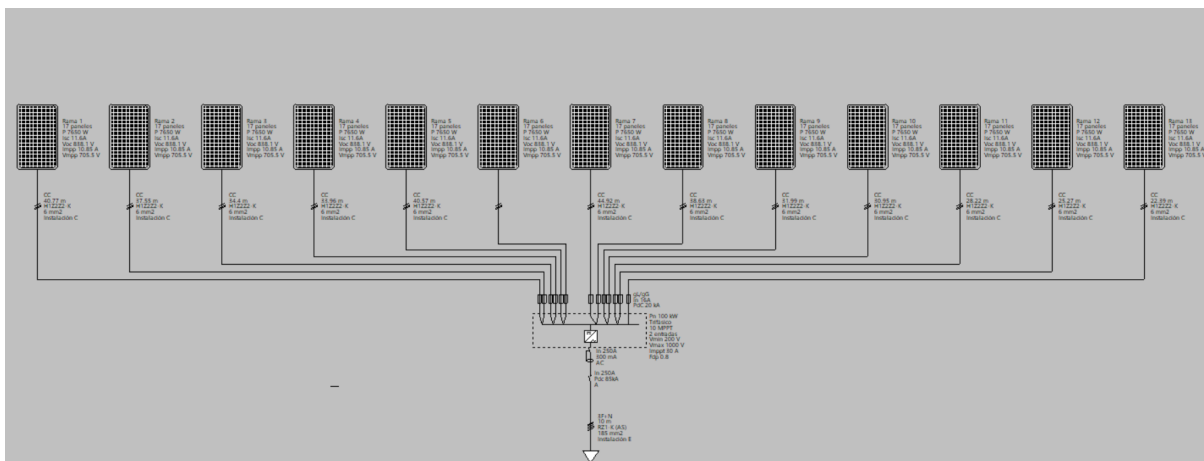
L_{pol} Power loss due to dust and dirt on the photovoltaic modules

Justification calculations

June										
Solarpanel	α	β	P_{in}	$G_{in}(0)$	K	FI	FS	$G_{in}(\alpha, \beta)$	PR	E_p
PS197	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.75	5477.58	0.81	1996.70
PS198	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.75	5477.58	0.81	1996.70
PS199	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.75	5477.58	0.81	1996.70
PS200	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.75	5477.58	0.81	1996.70
PS201	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.75	5477.58	0.81	1996.70
PS202	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.75	5477.58	0.81	1996.70
PS203	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.75	5477.58	0.81	1996.70
PS204	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.75	5477.58	0.81	1996.70
PS205	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.79	5804.73	0.81	2108.86
PS206	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.79	5804.73	0.81	2108.86
PS207	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.79	5804.73	0.81	2108.86
PS208	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.79	5804.73	0.81	2108.86
PS209	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.79	5804.73	0.81	2108.86
PS210	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.79	5804.73	0.81	2108.86
PS211	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.79	5804.73	0.81	2108.86
PS212	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.79	5804.73	0.81	2108.86
PS213	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.79	5804.73	0.81	2108.86
PS214	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.79	5804.73	0.81	2108.86
PS215	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.79	5804.73	0.81	2108.86
PS216	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.79	5804.73	0.81	2108.86
PS217	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.79	5804.73	0.81	2108.86
PS218	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.79	5804.73	0.81	2108.86
PS219	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.79	5804.73	0.81	2108.86
PS220	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.79	5804.73	0.81	2108.86
PS221	0.00	29.47	450.00	7612.44	0.99	0.97	0.79	5804.73	0.81	2108.86

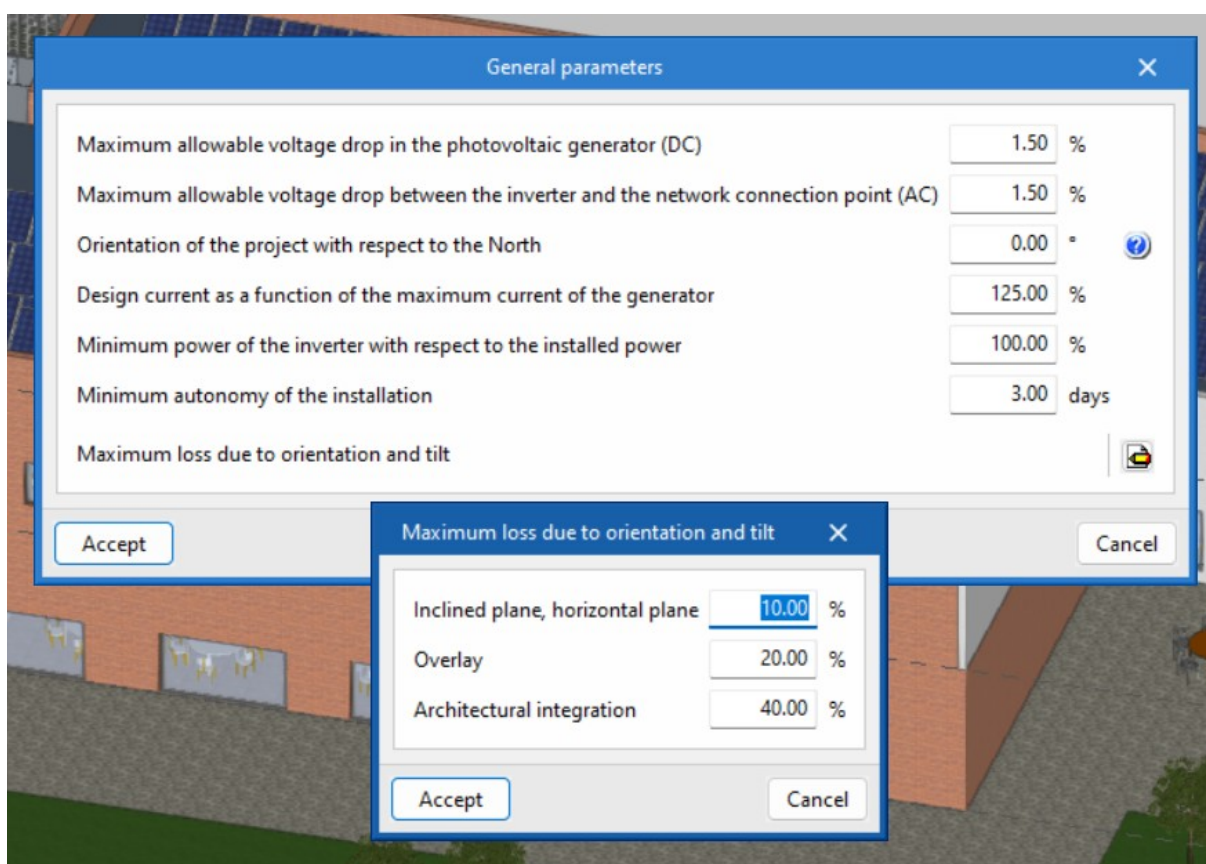
461914.13

July										
Solarpanel	α	β	P_{in}	$G_{in}(0)$	K	FI	FS	$G_{in}(\alpha, \beta)$	PR	E_p
PS1	0.00	29.47	450.00	7965.91	1.01	0.98	0.79	6223.58	0.79	2216.14
PS2	0.00	29.47	450.00	7965.91	1.01	0.98	0.79	6223.58	0.79	2216.14
PS3	0.00	29.47	450.00	7965.91	1.01	0.98	0.79	6223.58	0.79	2216.14
PS4	0.00	29.47	450.00	7965.91	1.01	0.98	0.79	6223.58	0.79	2216.14
PS5	0.00	29.47	450.00	7965.91	1.01	0.98	0.79	6223.58	0.79	2216.14
PS6	0.00	29.47	450.00	7965.91	1.01	0.98	0.79	6223.58	0.79	2216.14
PS7	0.00	29.47	450.00	7965.91	1.01	0.98	0.79	6223.58	0.79	2216.14
PS8	0.00	29.47	450.00	7965.91	1.01	0.98	0.79	6223.58	0.79	2216.14
PS9	0.00	29.47	450.00	7965.91	1.01	0.98	0.79	6223.58	0.79	2216.14
PS10	0.00	29.47	450.00	7965.91	1.01	0.98	0.79	6223.58	0.79	2216.14
PS11	0.00	29.47	450.00	7965.91	1.01	0.98	0.79	6223.58	0.79	2216.14
PS12	0.00	29.47	450.00	7965.91	1.01	0.98	0.79	6223.58	0.79	2216.14
PS13	0.00	29.47	450.00	7965.91	1.01	0.98	0.79	6223.58	0.79	2216.14
PS14	0.00	29.47	450.00	7965.91	1.01	0.98	0.79	6223.58	0.79	2216.14
PS15	0.00	29.47	450.00	7965.91	1.01	0.98	0.79	6223.58	0.79	2216.14



5.2. Normy i przepisy

Instalacje fotowoltaiczne muszą być zgodne z krajowymi normami, w tym z normami bezpieczeństwa elektrycznego (np. PN-EN 60364). Ważne jest również spełnienie wymagań związanych z przepisami budowlanymi, szczególnie w zakresie nośności konstrukcji dachowej i odporności na działanie czynników atmosferycznych.



Projektowanie instalacji fotowoltaicznej na dachu budynku wymaga kompleksowej analizy warunków technicznych, lokalizacyjnych i prawnych. Kluczowymi aspektami są:

odpowiednia orientacja i kąt nachylenia paneli, minimalizacja zacielenia, nośność konstrukcji dachowej oraz dobór komponentów o wysokiej sprawności i trwałości. Równie istotne jest przestrzeganie przepisów prawa oraz zapewnienie bezpieczeństwa elektrycznego instalacji. Prawidłowo zaprojektowana instalacja PV może zapewnić znaczne oszczędności energetyczne oraz przyczynić się do ochrony środowiska.