

AUDYT WYKONAWCZY

INSTALACJI FOTOWOLTAICZNEJ ON-GRID

Nazwa instalacji: Instalacja fotowoltaiczna o mocy 39,9 kW
Moduły fotowoltaiczne: 114szt. 350Wp Monokrystaliczne HalfCut PERC
Falownik: ok 36 kW 1szt. ,4xMPPT, Wifi

Inwestor: Wójt Gminy Aleksandrów Kujawski
Adres inwestycji: Szkoła Podstawowa w Służewie
Toruńska 8, Służewo,
87-710,

Projektant:

Nr uprawnień projektanta: OZE-A/07/00075/19/00412/2020/06
D1/707/7337/19 E1/707/7336/19

Data wykonania projektu: 29.06.20r.

Spis treści

1. Opis techniczny	str. 3
1.1. Opis projektowanych rozwiązań	str. 3
1.2. Moduły fotowoltaiczne	str. 3
1.3. Falownik	str. 4
1.4. Konfiguracja systemu fotowoltaicznego	str. 4
1.5. Zabezpieczenia instalacji fotowoltaicznej	str. 7
1.6. Instalacja odgromowa, ograniczniki przepięć, uziemienie i połączenia wyrównawcze	str. 7
1.7. Zabezpieczenie przed przepięciami	str. 8
1.8. Inne zabezpieczenia	str. 9
1.9. Przewody fotowoltaiczne	str. 9
1.10. Konstrukcja montażowa	str. 10
2. Uzysk energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznej	str. 10
3. Efekt ekologiczny	str. 11
4. Ochrona przeciwpożarowa	str. 12
5. Ochrona przeciwporażeniowa	str. 12
6. Planowany przebieg prac montażowych	str. 12
7. Zestawienie elementów projektowanego systemu fotowoltaicznego	str. 13

1. Opis techniczny

1.1. Opis projektowanych rozwiązań

Projektowane moduły fotowoltaiczne zamontowane zostaną na dedykowanej konstrukcji montażowej. Połączone ze sobą moduły przyłączone zostaną do falownika za pomocą przewodu w podwójnej izolacji, odpornego na promieniowanie UV oraz zmienne warunki atmosferyczne, dedykowanego do zastosowań fotowoltaicznych. Falownik zabudowany zostanie w szafie zabezpieczającej przed zniszczeniem, wpięty zostanie równolegle do istniejącej instalacji elektrycznej obiektu za pomocą przewodu przeznaczonego do pracy z prądem przemiennym. Zarówno strona prądowa DC jak i AC zabezpieczone zostaną odpowiednią aparaturą. Energia elektryczna wyprodukowana w systemie wykorzystywana będzie na potrzeby własne.

1.2. Moduły fotowoltaiczne

Moduły fotowoltaiczne odpowiadają za produkcję energii elektrycznej bezpośrednio z promieniowania słonecznego, wykorzystując przy tym efekt fotowoltaiczny. W projektowanej instalacji zastosowane zostały moduły wyprodukowane w technologii PERC, HalfCut), które objęte są min 25 letnią gwarancją na moc oraz min 12 letnią gwarancją produktową.

PARAMETRY PROPONOWANEGO MODUŁU W WARUNKACH STC

Parametr	Symbol	Wartość
Moc maksymalna <i>nie mniej niż</i>	Ppv	350Wp
Napięcie obwodu otwartego	Voc	Min 38.5V
Prąd zwarciov	Isc	max 12A
Napięcie w punkcie mocy maksymalnej	Vmpp	31.8V
Natężenie prądu w punkcie mocy maksymalnej	Impp	Max 11.50A
Sprawność	Im	20.0%
Współczynnik temp. mocy	Pmax	Max -0.370%/°C
Współczynnik temp. napięcia obwodu otwartego	Voc	Max -0.286%/°C
Współczynnik temp. prądu zwarciov	Isc	max 0.057%/°C
Maksymalne napięcie systemu	Vmax. pv	1500V
Dopuszczalny maksymalny prąd wsteczny	Irev. max. pv	20A
Maksymalne obciążenie mechaniczne (śnieg)	MLs	Min 5400Pa
Maksymalne obciążenie mechaniczne (wiatr)	MLw	Min 2400Pa
Zakres temp. pracy modułu	Tmin. pv - Tmax. pv	od -40 do +85°C
Wymiary +/-50mm	W x SZ x G	1762mm x 994mm x 35mm
Współczynnik wypełnienia	FF	%
Waga		Max 20.0kg

Moduł posiada podstawowe certyfikaty potwierdzające zgodność z normami w odniesieniu do parametrów i bezpieczeństwa:

- PN-EN 61215-1:2017 - Moduły fotowoltaiczne (PV) do zastosowań naziemnych. Kwalifikacja konstrukcji i aprobaty typu
- PN-EN 61730-2:2007 - Ocena bezpieczeństwa modułu fotowoltaicznego (PV)

1.3. Falownik

Falownik pełni rolę konwertera energii elektrycznej powstałej w modułach fotowoltaicznych, w postaci napięcia i natężenia prądu stałego, na energię o parametrach występujących w instalacji elektrycznej obiektu, tj. napięcia i natężenia prądu przemiennego. W projektowanej instalacji zastosowany zostanie falownik o mocy nie większej niż 40kW i nie mniejszej niż 27kW. Falownik przeznaczony jest do współpracy z 3-fazową instalacją elektryczną i charakteryzuje się następującymi parametrami:

PARAMETRY WYJŚCIOWE AC

Parametr	Symbol	Wartość
Moc znamionowa AC	Pac	27000W-40000W
Maksymalny prąd wyjściowy	Iac max.	48A
Napięcie sieciowe	Vac	V
Zakres częstotliwości	f	45 - 55Hz

PARAMETRY WEJŚCIOWE DC

Parametr	Symbol	Wartość
Maksymalna moc wejściowa	Pdc max.	Min 40800W
Maksymalny prąd wejściowy MPPT 1	Idc mppt1 max.	22A
Maksymalny prąd wejściowy MPPT 2	Idc mppt2 max.	22A
Minimalne napięcie wejściowe	Vdc min.	Max 200 V
Napięcie rozpoczęcia pracy	Vdc start	Max 250V
Znamionowe napięcie wejściowe	Vdc	Min 600V
Maksymalne napięcie wejściowe	Vdc max.	1100V
Liczba MPPT	Lmppt	4
Liczba łańcuchów na MPPT	Lstring mppt	2
Zakres napięć MPP	Vmpp min. - Vmpp max.	480-850 V

Falownik objęty jest min 10-letnią gwarancją producenta i posiada podstawowe certyfikaty potwierdzające zgodności z normami w odniesieniu do parametrów i bezpieczeństwa:

- PN-EN 50438:2014 - Wymagania dla instalacji mikrogeneracyjnych przeznaczonych do równoległego przyłączania do publicznych sieci dystrybucyjnych niskiego napięcia

1.4. Konfiguracja systemu fotowoltaicznego

Konfigurując system fotowoltaiczny, istotne jest obliczenie napięcia w skrajnych temperaturach oraz natężenia prądu stałego, jaki może się pojawić w obwodzie fotowoltaicznym, w skrajnym natężeniu promieniowania słonecznego. Może być ono wyższe, niż deklarowane w warunkach STC. Zakłada się, że moduł może osiągać temperaturę nawet 70°C podczas upalnego dnia i rozpoczynać swoją pracę przy -25°C w mroźne poranki. Baza do obliczeń będą warunki STC, tj. natężenie promieniowania słonecznego równe 1000 W/m² i temperatura ogniw 25°C.

a) Moc instalacji fotowoltaicznej

Moc projektowanej instalacji fotowoltaicznej DC obliczono w oparciu o dane modułu fotowoltaicznego, zgodnie z równaniem:

$$P_{PV} = LM \cdot P_{STC PV}$$

P_{PV} – moc instalacji fotowoltaicznej [Wp]

LM – liczba modułów fotowoltaicznych w instalacji [szt.]

$P_{STC PV}$ – moc jednostkowa modułu fotowoltaicznego [Wp]

Moc DC instalacji fotowoltaicznej wynosi 39.9 kW. Z kolei moc AC instalacji fotowoltaicznej, jest równa mocy wyjściowej falownika.

b) Minimalna i maksymalna liczba modułów łączonych szeregowo i równolegle

- Zmiana napięcia na 1 stopień Celsjusza

W celu poprawnego skonfigurowania systemu fotowoltaicznego w pierwszej kolejności należy określić zmianę napięcia na 1°C, według wzoru:

$$\Delta V = \beta \cdot V_{OC}$$

ΔV – zmiana napięcia na 1°C [V/°C]

β – współczynnik temperaturowy napięcia obwodu otwartego [%/°C]

V_{OC} – napięcie obwodu otwartego [V]

Posłuży ona do obliczenia napięcia w skrajnych temperaturach.

- Napięcie w skrajnych temperaturach pracy - napięcie obwodu otwartego w temperaturze -25°C

Napięcie obwodu otwartego pojedynczego modułu, o temperaturze -25°C, obliczono według równania:

$$V_{OC-25} = V_{OC} + (\Delta V \cdot \Delta T_1)$$

V_{OC-25} – napięcie jałowe modułu o temperaturze -25°C [V]

V_{OC} – napięcie jałowe modułu w warunkach STC [V]

ΔV – zmiana napięcia na 1°C [V/°C]

ΔT_1 – różnica temperatur pomiędzy warunkami STC, a warunkami obliczeniowymi [°C]

- Napięcie w skrajnych temperaturach pracy - napięcie w punkcie mocy maksymalnej w temperaturze 70°C

Napięcie w punkcie mocy maksymalnej pojedynczego modułu, mogącego osiągać temperaturę 70°C, obliczono zgodnie ze wzorem:

$$V_{MPP+70} = V_{MPP} - (\Delta V \cdot \Delta T_2)$$

V_{MPP+70} – napięcie pracy modułu o temperaturze +70°C [V]

V_{MPP} – napięcie modułu w punkcie mocy maksymalnej, w warunkach STC [V]

ΔV – zmiana napięcia na 1°C [V/°C]

ΔT_2 – różnica temperatur pomiędzy warunkami obliczeniowymi, a warunkami STC [°C]

- Minimalna liczba modułów w łańcuchu

Po obliczeniu napięć w skrajnych temperaturach obliczono minimalną liczbę modułów, jaka można spiąć w łańcuchu szeregowo:

$$LM_{STRING MIN.} = \frac{V_{DC START}}{V_{MPP+70}}$$

$LM_{STRING MIN.}$ - minimalna liczba modułów w łańcuchu [szt.]

$V_{MPP MIN.}$ - napięcie startowe falownika [V]

V_{MPP+70} - napięcie pracy modułu o temperaturze +70°C [V]

- Maksymalna liczba modułów w łańcuchu

Po obliczeniu napięć w skrajnych temperaturach obliczono minimalną liczbę modułów, jaka można spiąć w łańcuchu szeregowo:

$$LM_{STRING MAX.} = \frac{V_{DC MAX.}}{V_{OC-25}}$$

$LM_{STRING MAX.}$ - maksymalna liczba modułów w łańcuchu

$V_{DC MAX.}$ - maksymalne napięcie wejściowe na falownik [V]

V_{OC-25} - napięcie jałowe modułu o temperaturze -25°C [V]

- Maksymalna liczba łańcuchów modułów łączonych równolegle (jeżeli będą połączenia równoległe)

Maksymalna liczba łańcuchów połączonych równolegle, obliczona została według równania:

$$LM_{RMAX} = \frac{I_{DC MAX}}{I_{MPP}}$$

LM_{R MAX} - maksymalna liczba łańcuchów łączonych równolegle na falownik [szt.]

I_{DC MAX} - maksymalny prąd wejściowy na MPPT falownika [A]

I_{MPP} – natężenie prądu w punkcie mocy maksymalnej modułu [A]

1.5. Zabezpieczenia instalacji fotowoltaicznej

W projektowanej instalacji, w celu zabezpieczenia instalacji fotowoltaicznej przewidziano zastosowanie odpowiednio skonfigurowanej skrzynki przyłączeniowej Skrzynka przył.DC+ AC hermetyczna z ogranicznikiem przepięć 1000V typu 2, 2 x łańcuch PV, 2 x MPPT // wyl. 16A 3-F, 24T zbudowana została w oparciu o natynkową obudowę instalacyjną wykonaną z tworzywa sztucznego o stopniu ochrony (klasie szczelności) IP65.

1.6. Instalacja odgromowa, ograniczniki przepięć, uziemienie i połączenie wyrównawcze

a) Zewnętrzna instalacja odgromowa

Zewnętrzna instalacja odgromowa – piorunochron, tj. zwody, uziomy i przewody odprowadzające – służy do przejścia energii od uderzającego w budynek pioruna i odprowadzenie jej do ziemi.

W projektowanej instalacji, ze względu na posadowienie generatora PV na gruncie, nie przewiduje się jej montażu.

b) Ochrona przeciwprzebieciowa

Wewnętrzna instalacja odgromowa – ograniczniki przepięć – przeznaczone są do ochrony instalacji fotowoltaicznych przed przejściowymi przepięciami wywołanymi na zewnątrz instalacji fotowoltaicznej np. indukowanym napięciem poprzez uderzenie pioruna w linię elektroenergetyczną, bądź w jej obrębie lub przepięciami wewnętrznymi, powstającymi podczas załączania czy wyłączania nieobciążonej linii elektroenergetycznej. Zjawisko przejściowego przepięcia może spowodować uszkodzenie elementów instalacji elektrycznej w budynku lub instalacji fotowoltaicznej.

W projektowanej instalacji fotowoltaicznej, ze względu na zachowane odstępstwa pomiędzy instalacją odgromową, a instalacją PV, przewiduje się zastosowanie ograniczników przepięć DC typu 2 przystosowanych do pracy z napięciem minimum 1293.60V i AC typu 2 przystosowanych do pracy z napięciem sieciowym, które powinny być połączone z główną szyną wyrównawczą przewodem o przekroju minimum 16 mm².

Projektowane ograniczniki przepięć DC typu 2 dobrane zostaną w taki sposób, aby napięcie obwodu otwartego nie przekraczało maksymalnego (jałowego) napięcia wejściowego na falownik:

$$V_{OC} \cdot 120\% \cdot LM \leq V_{SPD} < V_{DC MAX}$$

V_{OC} - napięcie jałowe modułu w warunkach STC [V]

LM – dobrana liczba modułów do projektu [szt.]

V_{SPD} – napięcie znamionowe ogranicznika przepięć [V]

V_{DC MAX} - maksymalne napięcie wejściowe na falownik [V]

c) Uziemienie i połączenie wyrównawcze

Instalacja fotowoltaiczna na gruncie nie zwiększa ryzyka wystąpienia wyładowania atmosferycznego, jednakże w przypadku zaistnienia takiej sytuacji brak odpowiednich zabezpieczeń może spowodować bardzo wysokie szkody (zarówno w samej instalacji fotowoltaicznej, budynku jak i w urządzeniach korzystających z prądu generowanego przez nią).

Uziemienie i połączenie wyrównawcze modułów oraz inwertera pełni funkcje przeciwporażeniową, przeciwprzepięciową i odgromową. Oznacza to, że chroni to moduły fotowoltaiczne w sytuacjach uszkodzenia modułu czy w trakcie wyładowań atmosferycznych nieopodal instalacji.

Instalacja fotowoltaiczna montowana na budynkach posiadających uziemienie zewnętrzne powinna być wykonana w odpowiedniej odległości od niego (ok. 0,5 m, przy czym każdy przypadek powinien zostać niezależnie przeliczony). W takiej sytuacji instalacja fotowoltaiczna nie jest podłączona do uziemienia zewnętrznego i prąd związany z wyładowaniem będzie przejęty przez to uziemienie. W tym przypadku również niezbędne jest wykonanie uziemienia wewnętrznego - instalacji wyrównującej potencjał przewodem miedzianym. W projektowanej instalacji fotowoltaicznej przewiduje się zastosowanie przewodu, służącego do wyrównania potencjałów, o przekroju minimum 16 mm². Przewód ten połączy moduły fotowoltaiczne i elementy konstrukcji montażowej z główną szyną wyrównawczą lub wykonanym uziemieniem o rezystancji nie większej niż 10 omh

1.8. Inne zabezpieczenia

Falownik zastosowany w instalacji fotowoltaicznej wyposażony jest w urządzenia monitorujące parametry energii elektrycznej. W przypadku odchylenia monitorowanych parametrów częstotliwości i napięcia od parametrów granicznych normy PN-EN 50438, fotowoltaiczne źródło wytwórcze jest natychmiast odłączone od sieci elektroenergetycznej. System fotowoltaiczny pozostaje odłączony do momentu powrotu parametrów do ustawionych limitów.

Wykonanie wszystkich rozwiązań zabezpieczających instalację jest zgodne z obowiązującym prawem i odpowiednimi normami, w tym z polską normą PN-HD 60364-4-41:2017-09 „Instalacje elektryczne niskiego napięcia -- Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa -- Ochrona przed porażeniem elektrycznym”.

1.9. Przewody fotowoltaiczne

Przewody fotowoltaiczne, to przewody przeznaczone do pracy z prądem stałym I_{ch} zadaniem jest odprowadzenie energii elektrycznej wytworzonej w modułach fotowoltaicznych do falownika. Z kolei kabel AC odpowiada za odprowadzenie energii elektrycznej z falownika do instalacji elektrycznej obiektu i sieci elektroenergetycznej. Zakłada się, że strata temperaturowa przewodów DC i kabli AC w systemie fotowoltaicznym powinna być mniejsza niż 1%.

- Przekrój przewodów DC

Przekrój przewodów DC obliczono zgodnie z równaniem:

$$A_{DC} = \frac{P_{PV} \cdot L_{DC}}{U^2 \cdot k \cdot 1\%} \cdot 100\%$$

A_{DC} – przekrój przewodu DC [%]

P_{PV} – moc łańcucha modułów fotowoltaicznych [kWp]

L_{DC} – sumaryczna długość przewodu DC łańcucha [m]

U^2 – napięcie w punkcie mocy maksymalnej w łańcuchu fotowoltaicznym [V]

k – przewodność właściwa ($54 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$ dla miedzi)

- b) Strate mocy na przewodach AC obliczono zgodnie z równaniem:

Przekrój przewodu AC, dla instalacji elektrycznej trójfazowej, obliczono według wzoru:

$$A_{AC} = \frac{P_{AC} \cdot L_{AC}}{U_{mf}^2 \cdot k \cdot 1\%} \cdot 100\%$$

A_{AC} – przekrój przewodu AC, [%]

P_{AC} – moc inwertera po stronie AC [kW]

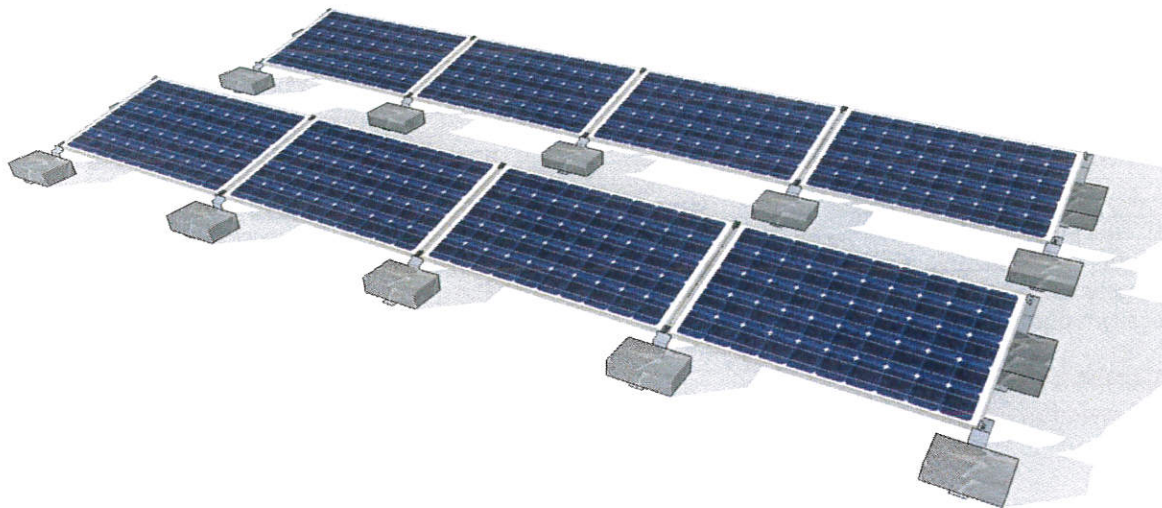
L_{AC} – długość kabla AC [m]

U_{mf}^2 – napięcie międzyfazowe, $U_{mf}^2 = 400$ [V]

k – przewodność właściwa ($54 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$ dla miedzi)

1.10. Konstrukcja montażowa

Dla projektowanych modułów fotowoltaicznych proponuje się zastosowanie konstrukcji montażowej balastowej na dach płaski wykonawca powinien zlecić obliczenie wytrzymałości konstrukcji budynku na dodatkowe obciążenie:



Rys. 1. Wizualizacja systemu montażowego oraz sposobu mocowania modułów fotowoltaicznych

2. Uzysk energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznej

Uzysk energii elektrycznej wyprodukowanej w projektowanej instalacji obliczono zgodnie z równaniem:

$$U = \frac{(N_{as} \cdot K) \cdot P_{PV} \cdot WW}{N_{at}}$$

U – uzysk energetyczny z instalacji PV [kWh/rok]

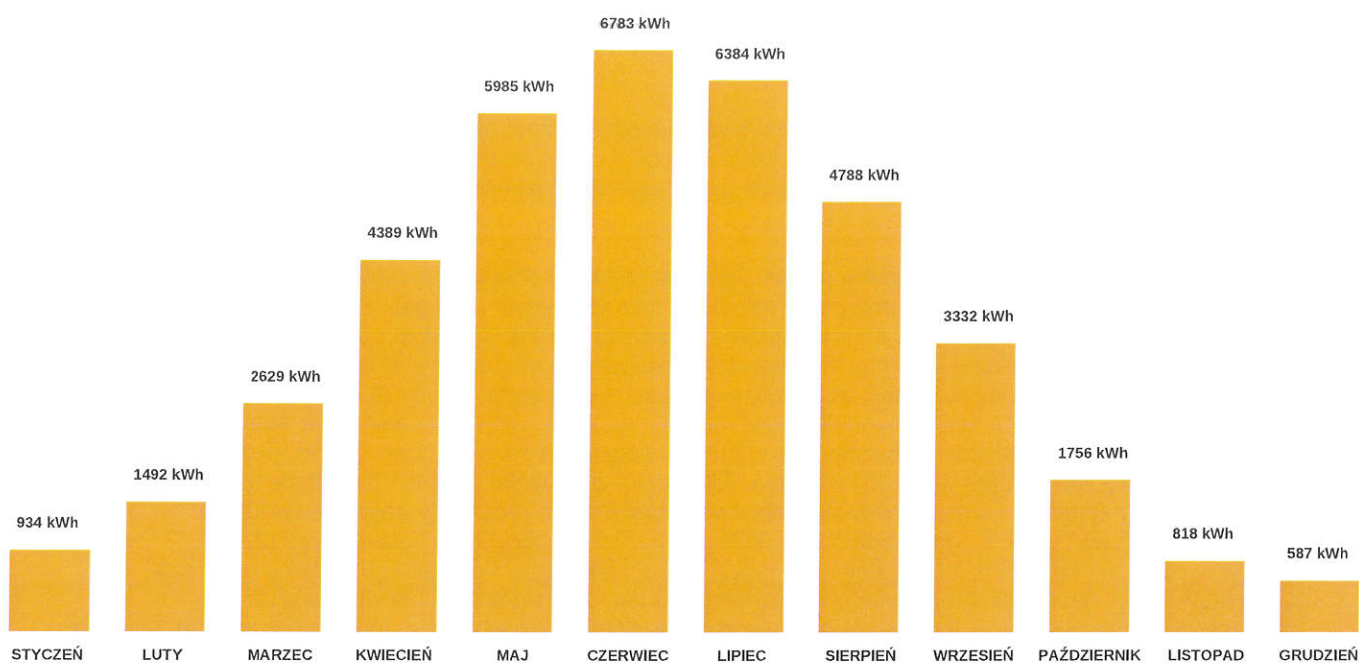
N_{as} – nasłonecznienie w pobliżu miejsca instalacji PV na powierzchnię horyzontalną [kWh/(m²*rok)]

K – współczynnik korygujący wartość nasłonecznienia w zależności od ustawienia modułów PV [%]

P_{PV} – moc instalacji fotowoltaicznej [kWp]

WW – współczynnik wydajności [%]

N_{at} – natężenie promieniowania słonecznego [kW/m²]



Łączna, prognozowana ilość wyprodukowanej energii w ciągu roku: 39900 kWh

Uwaga! Wyświetlone uzyski energii są wartościami szacunkowymi. Zostały one obliczone za pomocą wzorów matematycznych, na podstawie określonych danych. Osiągnięcie w rzeczywistości uzysków energii równych podanej w tym miejscu wartości nie jest gwarantowane!

3. Efekt ekologiczny

Efekt ekologiczny, czyli ograniczenie emisji istotnych z punktu widzenia ochrony środowiska związków chemicznych:

Związek chemiczny	Wskaźnik emisji związku do atmosfery [kg/kWh]	Emisja związku do atmosfery [kg/kWh]
CO ₂	0.798	25695.60
SO ₂	0.001516	48.8152
NO _x	0.000954	30.7188
CO	0.000234	7.5348
Pyl całkowity	0.000062	1.9964

4. Ochrona przeciwpożarowa

Instalacja fotowoltaiczna, podobnie jak inne urządzenia elektryczne, może ulec zapaleniu. Najczęstszymi przyczynami pożaru tych systemów są wyładowania atmosferyczne, zwarcia wewnętrzne, niewłaściwie dobrane zabezpieczenia i oprowadowanie lub ich brak, bądź słabe jakościowo komponenty instalacji.

Podstawowym krokiem przy gaszeniu pożaru przez strażaków jest odłączenie głównego zasilania w budynku lub wyłącznika przeciwpożarowego. Pozwala to na rozpoczęcie akcji gaśniczej bez ryzyka porażenia strażaków czy ofiar pożaru od strony sieci elektroenergetycznej. Istotne jest także odłączenie wszystkich alternatywnych źródeł zasilania – oprócz modułów fotowoltaicznych mogą to być także przykładowo agregaty Prądotwórcze. Należy jednak pamiętać, że wyłączenie zasilania głównego strony AC, nie eliminuje ryzyka porażenia prądem przez stronę DC. Moduły fotowoltaiczne, na które pada promieniowanie słoneczne, w dalszym ciągu mogą generować niebezpieczne wartości napięcia na zaciskach łańcuchów, pomimo że falownik jest wyłączony. Z tego względu instalacja elektryczna w budynku powinna być ciągle traktowana, jak gdyby była pod napięciem i strażacy powinni zachować odpowiednie procedury gaszenia urządzeń elektrycznych, tj. korzystać z odpowiednich środków gaśniczych służących do gaszenia urządzeń elektrycznych pod napięciem, mieć na uwadze ryzyko porażenia prądem gaszącego od konstrukcji czy przewodzącego pokrycia dachu itd. Moduły fotowoltaiczne nie są łatwo palne i nie wpływają na rozprzestrzenianie się ognia – ich gaszenie powinno odbywać się jedynie w momencie pożaru dachu. Możliwa jest również sytuacja, że moduły występują na innym budynku, niż objęty pożarem, z którym są połączone, co również może powodować niebezpieczeństwo porażenia prądem.

Bezwzględnie należy unikać ryzyka porażenia prądem, między innymi przez unikanie kontaktu z częściami przewodzącymi instalacji elektrycznej i modułów, konstrukcji fotowoltaicznej, a także samego dachu, mogącymi znajdować się pod napięciem

5. Ochrona przeciwporażeniowa

Podstawa ochrony przeciwporażeniowej jest izolowanie części znajdujących się pod napięciem oraz ochrona w przypadku uszkodzenia izolacji. W instalacjach elektrycznych należy stosować układy z odrębnym przewodem ochronnym PE i neutralnym N (układ TN-S, TT, rzadziej TN-C-S z uziemionym rozdziałem przewodu ochronno-neutralnego PEN). Przepisy wymagają także stosowania uziemionych połączeń wyrównawczych pomiędzy elementami przewodzącymi instalacji elektrycznej.

6. Planowany przebieg prac montażowych

- Montaż konstrukcji nośnej
- Montaż paneli fotowoltaicznych
- Uziemienie systemu fotowoltaicznego
- Montaż falownika i zabezpieczeń strony DC i AC
- Połączenie modułów z falownikiem
- Podłączenie instalacji do licznika energii elektrycznej
- Sprawdzenie pracy układu
- Wykonanie pomiarów na instalacji

7. Zestawienie elementów systemu fotowoltaicznego

Element systemu fotowoltaicznego	Liczba3 jednostek	Jednostka
Moduł fotowoltaiczny	114	[szt.]
Falownik	1	[szt.]
Skrzynka z zabezpieczeniami AC i DC		[szt.]
Przewód fotowoltaiczny, uziemiający, zasilający AC 3F		[metr]
Konstrukcja montażowa balastowa	1	[szt.]
Szafka wandaloodporna na falownik	1	[szt.]

