


PROJEKT TECHNICZNY
INSTALACJI FOTOWOLTAICZNEJ

INFORMACJE PODSTAWOWE

Nazwa instalacji	Instalacja fotowoltaiczna o mocy 23 kWp
Konstrukcja montażowa	50x (JKM460M-60HL4-V) - balastowa z uchwytyami na dach płaski - południe(K-BL-P02)
Moduły fotowoltaiczne	50 x (JKM460M-60HL4-V) - Jinka 460W Half-Cut, MultiBB, 30mm, czarna rama, biały backsheet
Inwerter	13 x Hoymiles HMS-2000 4T
Zabezpieczenia AC	1 x (SH-726 DCAC) - Rozdzielnica przyłączeniowa DC+AC z ogranicznika przepięć 1000V typu 1+2, 4x // ogr. AC typ 1+2, 50A 3-F

INFORMACJE DODATKOWE

Inwestor	Małopolski Szpital Chorób Płuc i Rehabilitacji im. Edmunda Wojtyły
Adres inwestora	ul. Kolejowa 1a
Adres inwestycji	
Projektant	
Rodzaj uprawnień projektanta	
Wykonawca	
Rodzaj uprawnień wykonawcy	
Rodzaj budynku z uwagi na jego przeznaczenie	BUDYNEK UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ
Liczba kondygnacji budynku	1
Powierzchnia użytkowa	1200 m²
Kubatura budynku	4000
Rodzaj instalacji	Nowa instalacja
Data wykonania projektu	2022-12-15

OPIS TECHNICZNY	3
1. Projektowane rozwiązania	3
OPIS PROJEKTOWANYCH ROZWIĄZAŃ	3
2. Komponenty instalacji fotowoltaicznej	3
MODUŁY FOTOWOLTAICZNE	3
INWERTER	3
OBLICZENIA KONFIGURACYJNE DLA SYSTEMU FOTOWOLTAICZNEGO	5
3. Przewody fotowoltaiczne	7
PRZEKRÓJ PRZEWODÓW	7
ZABEZPIECZENIA INSTALACJI FOTOWOLTAICZNEJ	7
INSTALACJA ODGROMOWA, OGRANICZNIKI PRZEPIĘĆ, UZIEMIENIE I POŁĄCZENIE WYRÓWNAWCZE	8
ZABEZPIECZENIE PRZED PRZETĘŻENIAMI	9
INNE ZABEZPIECZENIA	10
4. Konstrukcja montażowa	10
UZYSK ENERGII ELEKTRYCZNEJ	11
EFEKT EKOLOGICZNY	12
OCHRONA PRZECIWOPOŻAROWA	13
1. Charakterystyka zagrożenia pożarowego projektowanej instalacji PV	13
2. Informacje o kategorii zagrożenia ludzi przedmiotowego budynku	13
3. Przewidywana gęstość obciążenia ogniowego	13
4. Ocena zagrożenia wybuchem pomieszczeń oraz przestrzeni zewnętrznych	13
5. Informacje o stopniu rozprzestrzeniania się ognia na elementach budowlanych	13
6. Podział obiektu na strefy pożarowe oraz strefy dymowe	14
7. Informacje o usytuowaniu instalacji z uwagi na bezpieczeństwo pożarowego	14
8. Informacje o warunkach i strategii ewakuacji	14
9. Informacje o sposobie zabezpieczenia przeciwpożarowego instalacji PV oraz rozwiązania zmniejszające ryzyko powstania pożaru.	14
10. Wyposażenie w gaśnice	15
11. Wpływ instalacji fotowoltaicznej na urządzenia przeciwpożarowe i inne służące bezpieczeństwu pożarowemu	16
12. Miejsce montażu paneli fotowoltaicznych, falownika oraz sposób przeprowadzenia przewodów DC pomiędzy modułami a falownikiem	16
13. Sposób zapewnienia bezpieczeństwa dla ekip ratowniczo-gaśniczych	17
OCHRONA PRZECIWPORAŻENIOWA	17
PLANOWANY PRZEBIEG PRAC MONTAŻOWYCH	17

1. Projektowane rozwiązania

Opis projektowanych rozwiązań

Projektowane moduły fotowoltaiczne zamontowane zostaną na dedykowanej konstrukcji montażowej balastowa z uchwytami na dach płaski - południe. Połączone ze sobą moduły przyłączone zostaną do mikroinwertera za pomocą przewodu w podwójnej izolacji, odpornego na promieniowanie UV oraz zmienne warunki atmosferyczne, dedykowanego do zastosowań fotowolt. Mikroinwertery wpięte zostaną równolegle do istniejącej instalacji elektrycznej obiektu za pomocą kabla 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 (lub odsprzedawana będzie do sprzedawcy energii elektrycznej wybranego przez prosumenta lub sprzedawcy zobowiązanego zgodnie z art. 40 ustawy o odnawialnych źródłach energii – Dz. U. 2015 poz. 478)

2. Komponenty instalacji fotowoltaicznej

Moduły fotowoltaiczne

Moduły fotowoltaiczne odpowiadają za produkcję energii elektrycznej bezpośrednio z promieniowania słonecznego, wykorzystując przy tym efekt fotowoltaiczny. W projektowanej instalacji zastosowane zostaną moduły wyprodukowane przez firmę Jinko. Główne parametry charakteryzujące model JKM460M-60HL4-V:

DANE ELEKTRYCZNE MODUŁU W WARUNKACH STC		
Moc maksymalna	P_{PV}	460 Wp
Napięcie obwodu otwartego	V_{OC}	41.48 V
Prąd zwarciov	I_{SC}	14.01 A
Napięcie w punkcie mocy maksymalnej	V_{MPP}	34.20 V
Natężenie prądu w punkcie mocy maksymalnej	I_{MPP}	13.45 A
Sprawność	η_{PV}	21.32
Współczynnik temperaturowy mocy	α	-0.35
Współczynnik temperaturowy napięcia obwodu otwartego	β	-0.28
Współczynnik temperaturowy prądu zwarciov	γ	0.048
Maksymalne napięcie systemu	$V_{MAX. PV}$	1500 V
Dopuszczalny maksymalny prąd wsteczny	$I_{REV. MAX. PV}$	25 A
Maksymalne obciążenie mechaniczne (śnieg)	ML_S	5400 Pa
Maksymalne obciążenie mechaniczne (wiatr)	ML_W	2400 Pa
Zakres temperaturowy pracy modułu	$T_{MIN. PV} - T_{MAX. PV}$	-40 - +85 °C
Wymiary (długość, szerokość, głębokość)	D x S x G.	1903.00x1134.00x30.00 mm
Współczynnik wypełnienia (tzw. Fill Factor)	FF	79.2%
Waga	m	24.20 kg

Moduł objęty jest 15-letnią gwarancją producenta na wady ukryte i 25-letnią gwarancją na moc. Posiada także podstawowe certyfikaty potwierdzające zgodności z normami w odniesieniu do parametrów i bezpieczeństwa: PN-EN 61215-1:2005 - Moduły fotowoltaiczne (PV) do zastosowań naziemnych. Kwalifikacja konstrukcji i aprobaty typu: PN-EN 61730-2:2007 - Ocena bezpieczeństwa modułu fotowoltaicznego (PV)

Inwerter

Mikroinwerter 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 producenta Hoymiles. Model HMS-2000 przeznaczony jest do współpracy z 3-fazową instalacją elektryczną w obiekcie i charakteryzuje się następującymi parametrami:

DANE WYJŚCIOWE AC

Moc znamionowa AC	P_{AC}	2000 W
Maksymalny prąd wyjściowy	$I_{AC\ MAX.}$	9.09 A
Napięcie sieciowe	V_{AC}	230
Zakres częstotliwości	f	47.5 Hz - 52 Hz

DANE WEJŚCIOWE DC

Maksymalna moc wejściowa	$P_{DC\ MAX.}$	Wp
maksymalny prąd wejściowy na MPPT	$I_{DC\ MPPT1\ MAX.}$	A
Minimalne napięcie wejściowe	$V_{DC\ MIN.}$	22
Napięcie rozpoczęcia pracy	$V_{DC\ START}$	22
Znamionowe napięcie wejściowe	V_{DC}	V
Maksymalne napięcie wejściowe	$V_{DC\ MAX.}$	V
Liczba MPPT	L_{MPPT}	4
Liczba łańcuchów na MPPT	$L_{STRING\ MPPT}$	-
Zakres napięć MPP	$V_{MPP\ MIN.} - V_{MPP\ MAX.}$	16 - 60

INNE DANE

Stopień ochrony obudowy urządzenia	IP_{XY}^1	65
Topologia falownika	T	beztransfornatorowy
Temperatura otoczenia falownika	$T_{A\ MIN.} - T_{A\ MAX.}$	-25 °C - 60 °C

Inwerter objęty jest [wartość z karty kat] letnią gwarancją producenta z możliwością płatnego przedłużenia na wady ukryte i posiada podstawowe certyfikaty potwierdzające zgodności z normami w odniesieniu do parametrów i bezpieczeństwa: EN 50549(-1,-2):2019 - Wymagania dla instalacji mikrogeneracyjnych przeznaczonych do równoległego przyłączenia do publicznych sieci dystrybucyjnych niskiego napięcia

Gdzie „XY”: X – ochronę ludzi przed dostępem do niebezpiecznych części umieszczonych wewnątrz oraz ochronę przed wnikaniem obcych ciał stałych, Y - ochronę przed skutkami wnikania wody

Obliczenia konfiguracyjne dla systemu fotowoltaicznego

Poprawność dobranego systemu fotowoltaicznego potwierdzają poniższe obliczenia napięć i prądów w instalacji fotowoltaicznej w skrajnych warunkach. Bazą do obliczeń są parametry urządzeń w warunkach STC, tj. natężenie promieniowania słonecznego równe 1000 W/m² oraz temperatura ogniw równa PV 25°C.

Instalacja zbudowana będzie z 50 modułów. Na żadne MPPT falownika nie wchodzi łańcuchy połączone równolegle.

A. Moc instalacji fotowoltaicznej

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

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

gdzie:

- P_{PV} – moc instalacji fotowoltaicznej (kWp)
- LM – liczba modułów fotowoltaicznych w instalacji (szt)
- $P_{STC\ PV}$ – moc jednostkowa modułu fotowoltaicznego (Wp)

$$P_{PV} = 50 * 0.46 = 23$$

Moc DC instalacji fotowoltaicznej wynosi **23 kWp**. Z kolei moc AC instalacji fotowoltaicznej, równa mocy wyjściowej falownika, **26 kW**.

B. Zmiana napięcia na 1 stopień Celsjusza

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

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

gdzie:

- ΔV – zmiana napięcia na 1°C ($\frac{V}{^\circ C}$)
- β – współczynnik temperaturowy napięcia obwodu otwartego ($\frac{\%}{^\circ C}$)
- V_{OC} – napięcie obwodu otwartego (V)

$$\Delta V = -0.28\% * 41.48 = -0.116144$$

Zmiana napięcia na 1°C wynosi **-0.116144 V/°C**. Posłuży ona do obliczenia napięć w skrajnych temperaturach.

C. Napięcie w skrajnych temperaturach pracy dla poszczególnych łańcuchów

I. Napięcie obwodu otwartego w temperaturze -25°C

Napięcie obwodu otwartego pochodzące z 1 łańcucha modułów na 1 MPPT falownika w temperaturze -25°C, obliczono według równania:

$$V_{OC - 25} = LM * [V_{OC} + (\Delta V * \Delta T_1)]$$

gdzie:

- $V_{OC - 25}$ – napięcie jałowe łańcucha modułów o temperaturze -25°C (V)
- V_{OC} – napięcie jałowe modułu w warunkach STC (V)
- ΔV – zmiana napięcia na 1°C ($\frac{V}{^\circ C}$)
- ΔT_1 – różnica temperatur pomiędzy warunkami STC, a warunkami obliczeniowymi (50°C)

$$V_{OC - 25} = 50 * [41.48 + (-0.116144 * -50)] = 2364.36$$

Obliczone napięcie obwodu otwartego dla 1 łańcucha wchodzącego na 1 MPPT falownika jest równe **2364.36 V**. Maksymalne napięcie generowane przez moduły nie przekracza maksymalnego dopuszczalnego przez falownik napięcia dla zadanej temperatury -25°C.

II. Napięcie w punkcie mocy maksymalnej w temperaturze -25°C

Napięcie w punkcie mocy maksymalnej pochodzące z 1 łańcucha modułów na 1 MPPT falownika w temperaturze -25°C, obliczono według równania:

$$V_{MPP-25} = LM * [V_{MPP} + (\Delta V * \Delta T_1)]$$

gdzie:

- V_{MPP-25} – napięcie pracy łańcucha modułów o temperaturze -25°C(V)
- V_{MPP} – napięcie modułu w punkcie mocy maksymalnej, w warunkach STC (V)
- ΔV – zmiana napięcia na 1°C ($\frac{V}{^{\circ}C}$)
- ΔT_1 – różnica temperatur pomiędzy warunkami STC, a warunkami obliczeniowymi (50°C)

$$V_{MPP-25} = 50 * [34.20 + (-0.116144 * -50)] = 2000.36$$

Obliczone napięcie obwodu otwartego dla 1 łańcucha wchodzącego na 1 MPPT falownika jest równe **2000.36 V**. Napięcie robocze, osiągnięte w temperaturze -25°C znajduje się w zakresie napięciowym układu MPPT, gwarantując tym samym wysoką sprawność pracy całego systemu.

III. Napięcie w punkcie mocy maksymalnej w temperaturze 70°C

Napięcie w punkcie mocy maksymalnej pochodzące z 1 łańcucha modułów na 1 MPPT falownika w temperaturze 70°C, obliczono według równania:

$$V_{MPP+70} = LM * [V_{MPP} + (\Delta V * \Delta T_2)]$$

gdzie:

- V_{MPP+70} – napięcie pracy łańcucha modułów o temperaturze +70°C(V)
- V_{MPP} – napięcie modułu w punkcie mocy maksymalnej, w warunkach STC (V)
- ΔV – zmiana napięcia na 1°C ($\frac{V}{^{\circ}C}$)
- ΔT_2 – różnica temperatur pomiędzy warunkami STC, a warunkami obliczeniowymi (45°C)

$$V_{MPP+70} = 50 * [34.20 + (-0.116144 * 45)] = 1448.676$$

Obliczone napięcie obwodu otwartego dla 1 łańcucha wchodzącego na 1 MPPT falownika jest równe **1448.676 V**. Napięcie robocze, osiągnięte w temperaturze +70°C znajduje się w zakresie napięciowym układu MPPT, gwarantując tym samym wysoką sprawność pracy całego systemu.

3. Przewody fotowoltaiczne

Przekrój przewodów

Przewody fotowoltaiczne, to przewody przeznaczone do pracy z prądem stałym DC. Ich zadaniem jest odprowadzenie energii elektrycznej wytworzonej w modułach fotowoltaicznych do inwertera. Z kolei kabel AC odpowiada za odprowadzenie energii elektrycznej z inwertera do instalacji elektrycznej obiektu i sieci elektroenergetycznej. Zakłada się, że strata mocy w przewodzie DC i przewodach kabla AC w systemie fotowoltaicznym powinna być mniejsza niż 1% i z tego względu należy dobrać odpowiedni przekrój żyły przewodu lub żył w kablach.

A. Przekrój przewodów DC

Przekrój przewodów DC obliczono zgodnie z równaniem:

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

gdzie:

- A_{DC} – przekrój przewodów DC (mm²)
- P_{PV} – moc łańcucha modułów fotowoltaicznych w warunkach STC (kWp)
- L_{DC} – sumaryczna długość przewodu DC łańcucha "+" oraz "-" (m)
- U – napięcie w punkcie mocy maksymalnej w łańcuchu fotowoltaicznym w warunkach STC (V)
- k – przewodność właściwa (54^m/Ω*mm² dla miedzi)

$$A_{DC} = \frac{23000 * 100}{1710^2 * 54 * 1\%} = 1.4566052$$

Dobry przewód fotowoltaiczny powinien mieć przekrój minimum 1.46mm². Dla instalacji dobrano przewód o przekroju 6mm².

B. Przekrój żyły w kablu AC

Przekrój żyły w kablu AC, dla instalacji elektrycznej trójfazowej, obliczono według wzoru:

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

gdzie:

- A_{AC} – przekrój przewodów AC (mm²)
- P_{AC} – moc znamionowa inwertera po stronie AC (kW)
- L_{AC} – długość kabla AC pomiędzy inwerterem a miejscem wpięcia inwertera (m)
- U_{mf} – napięcie międzyfazowe ($U_{mf} = 400$ V)
- k – przewodność właściwa (54^m/Ω*mm² dla miedzi, 32^m/Ω*mm² dla aluminium)

$$A_{AC} = \frac{25000 * 20}{230^2 * 54 * 1\%} = 17.50332563$$

Przewody kabla powinien mieć przekrój minimum 17.5 mm²

Zabezpieczenia instalacji fotowoltaicznej

W projektowanej instalacji przewidziano zastosowanie ograniczników przepięć DC. Po stronie AC z kolei planowane jest zastosowanie ograniczników przepięć AC oraz zabezpieczenia przetężeniowego.

Instalacja odgromowa, ograniczniki przepięć, uziemienie i połączenie wyrównawcze

A. Zewnętrzna instalacja odgromowa

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

W projektowanej instalacji, ze względu na brak zewnętrznej instalacji odgromowej na budynku, nie przewiduje się jej montażu. Zakłada się, iż projektant budynku obliczył wskaźnik zagrożenia piorunowego i uznał, że wartość nie przekracza wymaganej do stosowania zewnętrznej instalacji odgromowej. Instalacja fotowoltaiczna nie zwiększa ryzyka uderzenia pioruna w budynek!

B. Ochrona przeciwprzepięciowa

Wewnętrzna instalacja odgromowa – ograniczniki przepięć – przeznaczona jest do ochrony instalacji fotowoltaicznej 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 brak instalacji odgromowej na budynku, przewiduje się zastosowanie ograniczników przepięć DC typu 2 oraz ograniczników przepięć AC typu 2 przystosowanych do pracy z napięciem sieciowym, które powinny być połączone z główną szyną wyrównawczą przewodem o przekroju minimum 6 mm².

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

$$V_{MPP + 70} \leq V_{DC MAX} \leq V_{SPD}$$

gdzie:

- $V_{MPP + 70}$ – napięcie jałowe modułu w warunkach STC (V)
- V_{SPD} – napięcie znamionowe ogranicznika przepięć (V)
- $V_{DC MAX}$ – maksymalne napięcie wejściowe na falownik (V)

$$1448.676 \leq V_{SPD}$$

Zgodnie z powyższą zależnością, dla projektowanej instalacji dobrano ogranicznik przepięć o napięciu znamionowym pracy 1000 V.

C. Uziemienie i połączenie wyrównawcze

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

W projektowanej instalacji fotowoltaicznej przewiduje się zastosowanie przewodu, służącego do wyrównania potencjałów, o przekroju minimum 6 mm². Przewód ten połączy moduły fotowoltaiczne i elementy konstrukcji montażowej z główną szyną wyrównawczą.

Zabezpieczenie przed przetężeniami

Wyłączniki nadmiarowo-prądowe, bezpieczniki topikowe i inne zabezpieczenia posiadające człon zwarciový służą do ochrony przed przeciążeniami elektrycznymi. Sytuacja taka następuje w momencie, gdy przez dany element elektryczny przepływa prąd większy niż znamionowy, np. w wyniku podłączenia zbyt dużej liczby odbiorników lub podłączenia odbiornika o zbyt dużej mocy. Zjawisko to powoduje wydzielanie się ciepła, a jeśli jest długotrwałe, może być niebezpieczne – i wywołać zwarcie, a w konsekwencji pożar. Wartość wydzielanego ciepła jest proporcjonalna do oporu przewodnika, kwadratu przepływającego prądu i czasu występowania przeciążenia. Ponadto wyłączniki pozwalają na rozłączenie całej instalacji fotowoltaicznej w analogiczny sposób, jak inne odbiorniki w domu.

A. Wyłączniki nadmiarowo-prądowe AC

Stronę AC należy zabezpieczyć przed zwarcie od strony sieci lub przeciążeniem wyłącznikiem nadprądowym o charakterystyce B. W celu dobrania odpowiedniego zabezpieczenia nadmiarowo-prądowego, według normy PN-HD 60364-4-43:2012, należy obliczyć prąd znamionowy zabezpieczenia, mając przy tym na uwadze długotrwałą obciążalność prądową przewodu, aby urządzenie zabezpieczające zadziałało przed nadmiernym wzrostem temperatury żył kabla. Długotrwałą obciążalność prądową przewodu według normy PN-IEC 60364-5-52:2011 dla przewodu wielożyłowego w rurce prowadzonej na ścianie – 2 obciążone żyły miedziane o przekroju 6 mm² wynosi 40A. Znamionowy prąd zabezpieczenia powinien więc mieścić się w zakresie:

$$I_{MAX.AC} \leq I_N \leq I_{OP}$$

gdzie:

- $I_{MAX.AC}$ – maksymalny prąd wyjściowy AC falownika (A)
- I_N – znamionowe natężenie prądu bezpiecznika (A)
- I_{OP} – dopuszczalny maksymalny prąd wsteczny przepływający przez moduł (A)

$$39.9A \leq I_N \leq 40A$$

Dla powyższej zależności, z dostępnego typoszeregu wyłączników nadmiarowo-prądowych, wybrano zabezpieczenie o znamionowym prądzie **50A**.

Za nadmierny wzrost temperatury żył uważa się wartość przekraczającą 145% długotrwałej obciążalności prądowej przewodu. Wobec tego prąd zadziałania urządzenia zabezpieczającego, powinien być mniejszy lub równy tej wartości:

$$I_Z \leq 145\% * I_{OP}$$

gdzie:

- I_Z – prąd zadziałania urządzenia zabezpieczającego (A)
- I_{OP} – dopuszczalny maksymalny prąd wsteczny przepływający przez moduł (A)

$$I_Z \leq 58A$$

Wyzwalacz przeciążeniowy (termiczny) wyłącznika nadprądowego zadziała bezwzględnie, po określonym czasie według charakterystyki wyłącznika, w momencie przekroczenia krotności prądu znamionowego zabezpieczenia:

$$I_Z = k * I_N$$

gdzie:

- I_Z – prąd zadziałania urządzenia zabezpieczającego (A)
- k – współczynnik krotności prądu powodującego zadziałanie zabezpieczenia ($k = 145\%$ dla wyłączników nadmiarowo-prądowych o charakterystyce B)
- I_N – długotrwałą obciążalność prądowa kabla (A)

$$I_Z = 145\% * 50A = 72.5A$$

Oznacza to, że prąd zadziałania zabezpieczenia jest mniejszy od prądu, w którym następuje nadmierny wzrost temperatury żył kabla mogący je uszkodzić.

$$72.5A \leq 58A$$

Wyłącznik nadmiarowo-prądowy jest więc prawidłowym zabezpieczeniem dla falownika.

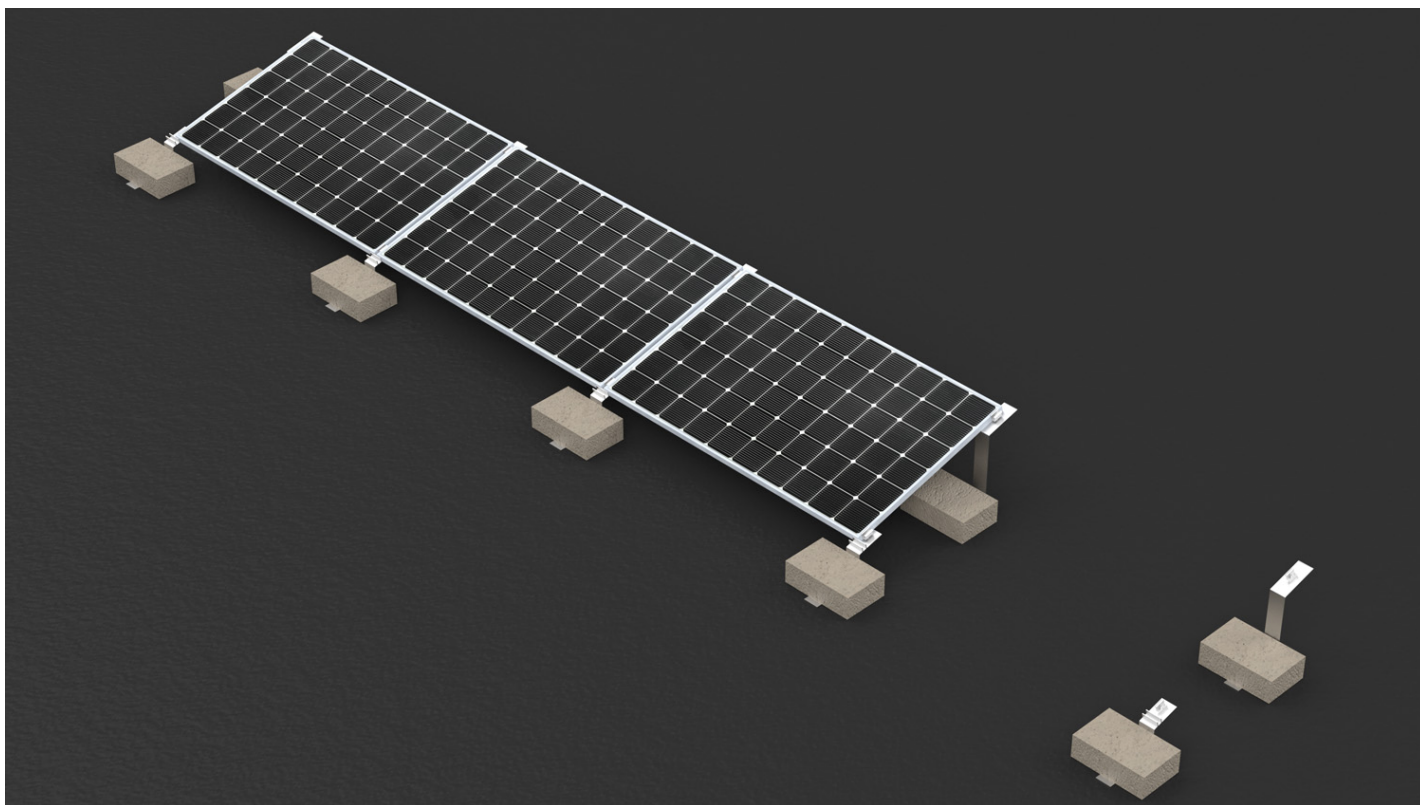
Zgodnie z powyższymi obliczeniami, w projektowanej instalacji fotowoltaicznej, dobrano wyłącznik nadmiarowo-prądowy firmy **Noark** o charakterystyce **B** i prądzie znamionowym **50A**.

Inne zabezpieczenia

Inwerter 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:50549, 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”.

4. Konstrukcja montażowa

Konstrukcja montażowa balastowa, dedykowana pod dachy płaskie. Moduły fotowoltaiczne montowane są do uchwyty aluminium, dzięki którym uzyskuje on 14° kąta nachylenia. Uchwyty dociągane są do powierzchni dachu poprzez balast. Do dodatkowych elementów zaliczamy klemy oraz śruby imbusowe, służące do montażu modułów z uchwyty. Konstrukcja montażowa jest odporna na czynniki atmosferyczne takie jak: deszcz, słońce, śnieg.



UZYSK ENERGII ELEKTRYCZNEJ

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

$$U = \frac{(N_{AS} * K) * P_{PV} * WW}{N_{AT}}$$

gdzie:

- **U** - uzysk energetyczny z instalacji PV (kWh/rok)
- **N_{AS}** - nasłonecznienie w pobliżu miejsca występowania instalacji PV na powierzchnię horyzontalną ($\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{rok}$)
- **k** - współczynnik korygujący wartość nasłonecznienia w zależności od ustawienia modułów fotowoltaicznych (%)
- **P_{PV}** - moc instalacji fotowoltaicznej (kWp)
- **N_{AT}** - natężenie promieniowania słonecznego (kW/m^2)
- **WW** - współczynnik wydajności (%)

Uwzględniając:

- nasłonecznienie, dla najbliższego miejsca inwestycji, stacji meteorologicznej Kraków, wynoszące **1160 kWh/rok**
- współczynnik korygujący K (spadek lub wzrost nasłonecznienia w stosunku do nasłonecznienia na powierzchnię horyzontalną), dla modułów fotowoltaicznych: **1.04**
- moc instalacji fotowoltaicznej równą **23 kWp**
- natężenie promieniowania słonecznego w warunkach STC równe **1 kW/m^2**
- teoretyczny współczynnik wydajności instalacji fotowoltaicznej (sprawność instalacji fotowoltaicznej) równy **85%**, oszacowany na podstawie wzoru:

$$S_{PV} = 1 - (\sum S_P + S_F + S_T + S_{N_{PS}} + S_Z + S_{N_{PN}} + S_D) * 100\%$$

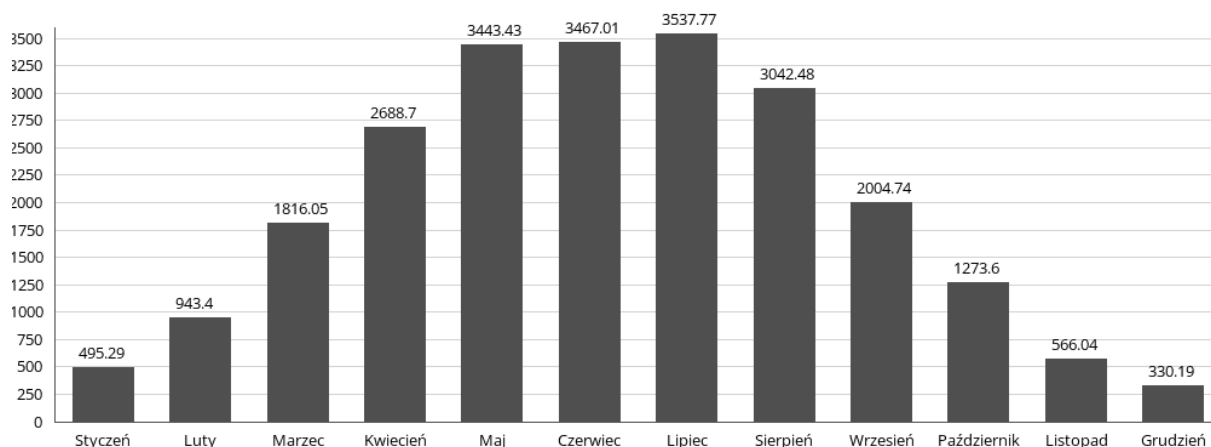
gdzie:

- **S_{PV}** - sprawność instalacji fotowoltaicznej (%)
- **S_P** - straty na przewodach (+/- 1%)
- **S_F** - straty falownika (+/- 3-7%)
- **S_T** - straty temperaturowe (+/- 4-8%)
- **S_{N_{PS}}** - straty związane z niskim natężeniem promieniowania słonecznego (+/- 1-3%)
- **S_Z** - straty związane z zacienieniem, zabrudzeniem itp. (+/- 1-5%)
- **S_{N_{PN}}** - straty wynikające z niedopasowania prądowego modułów (+/- 1%)
- **S_D** - straty na diodach bocznikujących (+/- 0,5%⁵)

Uwzględniając powyższe dane, uzysk energii elektrycznej wynosi:

$$U = \frac{(1160 * 1.04) * 23 * 85\%}{1} = 23585.12 \text{ kWh}/\text{rok} \mid 1025.44 \text{ kWh}/\text{kWp}$$

Uzysk rozbitý na miesiące przedstawia poniższy wykres:



EFEKT EKOLOGICZNY

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

$$E_i = \frac{(U * W_i)}{1000}$$

gdzie:

- **E_i** - emisja danego związku do środowiska ($\text{Mg}/_{\text{rok}}$)
- **U** - uzysk energii ($\text{kWh}/_{\text{rok}}$)
- **W_i** - wskaźnik emisyjności danego związku chemicznego dla energii elektrycznej ($\text{kg}/_{\text{kWh}}$)

ZWIĄZEK CHEMICZNY	W_i ($\text{kg}/_{\text{kWh}}$)
CO ₂	0,781
SO ₂	0,000818
NO _x	0,000824
CO	0,000252
Pył całkowity	0,000053

Efekt ekologiczny, dla powyższych wskaźników emisji, przedstawia tabela:

ZWIĄZEK CHEMICZNY	EMISJA ZWIĄZKU DO ATMOSFERY ($\text{kg}/_{\text{kWh}}$)
CO ₂	18.41997872
SO ₂	0.01929262816
NO _x	0.01943413888
CO	0.00594345024
Pył całkowity	0.00125001136

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. Jednak pożary w budynku częściej wybuchają z innych przyczyn, niezależnych od instalacji fotowoltaicznej

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 łąćuchów, pomimo że inwerter 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.

Niniejszy rozdział projektu ma na celu wskazanie warunków ochrony przeciwpożarowej dla nowoprojektowanej/rozbudowywanej instalacji fotowoltaicznej.

Zakres opracowania obejmuje wybrane elementy, które są istotnie w kontekście projektowanej instalacji wskazane w § 4 ust. 1 rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 2 grudnia 2015r. W sprawie uzgadniania projektu budowlanego pod względem ochrony przeciwpożarowej (Dz. U. z 2015r., poz. 2117).

1. Charakterystyka zagrożenia pożarowego projektowanej instalacji PV

W opracowywanym projekcie stwierdza się, że projektowana instalacja fotowoltaiczna nie stwarza dodatkowego zagrożenia pożarowego dla budynku. Wynika to z danych opublikowanych przez m.in. BRE National Solar Centre oraz TÜV Rheinland we współpracy z Instytutem Systemów Energetyki Słonecznej im. Fraunhofera. Raporty wskazują, że pożary wywołane przez system fotowoltaiczny stanowią 0,016% w odniesieniu do wszystkich instalacji PV powstałych w Niemczech.

2. Informacje o kategorii zagrożenia ludzi przedmiotowego budynku

Budynek na dachu którego (lub wolnostojąca) projektowana jest instalacja fotowoltaiczna to BUDYNEK UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ.

3. Przewidywana gęstość obciążenia ogniowego

Dla budynku nie oblicza się gęstości obciążenia ogniowego. Gęstość obciążenia pojedynczych pomieszczeń technicznych oraz innych przestrzeni PM będzie wynosiła do 500 MJ/m².

4. Ocena zagrożenia wybuchem pomieszczeń oraz przestrzeni zewnętrznych

Przyjęte funkcje poszczególnych segmentów budynku nie przewidują wystąpienia substancji mogących powodować wystąpienie stref zagrożenia wybuchem, w tym na dachu. Oznacza to brak występowania na dachu kanałów wentylacji bezpieczeństwa pracującej w strefach lub pomieszczeniach zagrożonych wybuchem.

Dla danego opracowania nie przyjmuje się dodatkowych obostrzeń z uwagi na rozmieszczenie elementów instalacji fotowoltaicznej.

5. Informacje o stopniu rozprzestrzeniania się ognia na elementach budowlanych

Przedmiotem projektu jest instalacja, która nie stanowi przykrycia dachu, zatem w tym przypadku nie określa się konieczności stosowania paneli odpowiedniej klasyfikacji w zakresie odporności dachów na ogień zgodnie z PN-ENV 1187:2004. Projektowaną instalację należy traktować jako system posadowiony na dachu, który spełnia kryteria projektowe dla danego budynku. Zaprojektowanie instalacji w oparciu o urządzenia dopuszczone do stosowania z odpowiednimi normami są warunkiem stosowania komponentów w przedmiotowym budynku.

6. Podział obiektu na strefy pożarowe oraz strefy dymowe

Budynek w którym wykonywana jest instalacja PV stanowi jedną strefę pożarową. Brak jest ścian i stropów oddzielenia przeciwpożarowego a inne obiekty budowlane i budynki usytuowane są min. 8m od przedmiotowego budynku. W związku z powyższym brak jest dodatkowych obostrzeń dla lokalizacji modułów PV oraz prowadzonych w obrębie budynku tras kablowych.

7. Informacje o usytuowaniu instalacji z uwagi na bezpieczeństwo pożarowego

Projektowana instalacja fotowoltaiczna nie wpływa na wymagania w zakresie usytuowania budynku względem obiektów sąsiednich, granicy działki oraz dróg dojazdowych i pożarowych.

8. Informacje o warunkach i strategii ewakuacji

Projektowana instalacja fotowoltaiczna nie ma wpływu na parametry dojścia i przejścia ewakuacyjnego.

9. Informacje o sposobie zabezpieczenia przeciwpożarowego instalacji PV oraz rozwiązania zmniejszające ryzyko powstania pożaru.

W projekcie instalacji fotowoltaicznej trzymano się następujących zasad mających na celu zminimalizowanie ryzyka powstania pożaru:

- Połączenia DC zaprojektowano za pomocą szybkozłączek tego samego typu i producenta.
- Zminimalizowano w instalacji ilość połączeń DC.
- Trasy przewodów DC na płaskich dachach poprowadzono w metalowych korytach kablowych trwale przymocowanych do dachu (eliminując wszelkie ostre krawędzie).
- Wykluczono prowadzenie kabli DC bezpośrednio po powierzchni dachu.
- Kable instalacji PV nie będą prowadzone w obrębie istniejących szachtów wentylacyjnych
- Trasy kablowe będą odpowiednio oznakowane „Niebezpieczeństwo – wysokie napięcie DC w ciągu dnia obecne po wyłączeniu instalacji”.
- W przypadku dachów skośnych z wyłączeniem kabli prowadzonych bezpośrednio pod modułami przewidziano zabezpieczenie przewodów przed promieniowaniem UV
- W pomieszczeniu falownika kable lub przewody należy prowadzić w kanałach elektroinstalacyjnych lub rurkach elektroinstalacyjnych z wyłączeniem obszaru bezpośrednio przy falowniku, gdzie przewody mogą być wyprowadzone bez osłon, jednak nie więcej niż 40 cm bezpośrednio przy ścianach i pod sufitami na odpowiednio przygotowanych konstrukcjach nośnych
- W przypadku montowania falownika fotowoltaicznego wewnątrz budynku należy lokalizować go w pomieszczeniu zdolnym do odprowadzenia energii cieplnej wydzielanej przez falownik, przy założeniu, że 5% mocy nominalnej falownika może być wyemitowane w postaci energii cieplnej.
- Temperatura pomieszczenia w którym jest falownik nie powinna przekraczać 35 °C, chyba że producent falownika dopuszcza pracę w wyższej temperaturze.
- Falownik fotowoltaiczny musi mieć zapewnioną przestrzeń wentylacyjną zgodnie z wymogami danego producenta. Falownika fotowoltaicznego nie należy zabudowywać bez zapewnienia wymaganej wentylacji będącej w stanie odprowadzić wydzielaną energię ciepłą.
- Falownik fotowoltaiczny powinien być montowany na podłożu niepalnym o klasie reakcji na ogień nie gorszej niż A2 (niepalne). Wyklucza się montaż falownika na płytach drewnianych, drewnopochodnych, z tworzyw sztucznych itp.

- Zapewniono ochronę odgromową urządzeń fotowoltaicznych,

10. Wyposażenie w gaśnice

Należy zapewnić wyposażenie instalacji fotowoltaicznej w gaśnice proszkową 4kg ABC.

11. Wpływ instalacji fotowoltaicznej na urządzenia przeciwpożarowe i inne służące bezpieczeństwu pożarowemu

A. Przeciwpowozarowy wyłacznik prądu (PWP)

Z uwagi na to, że instalacja PV montowana jest na obiekcie jakim jest dach budynku o kubaturze poniżej 1000 m³ nie wymaga się stosowania przeciwpowozarowego wyłacznika prądu.

B. Przygotowanie obiektu i terenu do prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych.

W celu zapewnienia bezpieczeństwa ekip ratowniczych podczas prowadzenia działań należy odpowiednio oznaczyć składowe instalacji fotowoltaicznej na planie urządzeń fotowoltaicznych.

Część graficzna opracowania powinna zawierać:

- obszar lokalizacji modułów PV
- lokalizację falownika
- miejsce usytuowania elementu zapewniającego odtłaczanie napięcia po stronie DC (wlicza się w to wyposażenie falownika)
- przebieg tras kablowych prądu stałego pozostających pod napięciem
- opcjonalnie przebieg tras kablowych prądu przemiennego
- legendę zastosowanych oznaczeń
- wskazanie osób opracowujących plan oraz datę jego opracowania

C. Oznakowanie.

Obiekt wyposażony w instalację fotowoltaiczną powinien zostać odpowiednio oznakowany.

Piktogram z wizerunkiem modułów PV na dachu powinien zostać umieszczony:

- w miejscu przyłączenia instalacji do PV
- przy liczniku
- przy głównym wyłaczniku zasilania

D. Woda do zewnętrznego gaszenia pożaru oraz drogi pożarowe.

Projektowana instalacja nie powoduje dodatkowych obostrzeń w zakresie ilości wody potrzebnej do zewnętrznego gaszenia pożaru oraz nie ingeruje w zasady prowadzenia dróg pożarowych.

12. Miejsce montażu paneli fotowoltaicznych, falownika oraz sposób przeprowadzenia przewodów DC pomiędzy modułami a falownikiem

W przedmiotowym budynku moduły instalacji fotowoltaicznej oraz mikrofalowniki zlokalizowane będą na dachu budynku. Trasa przewodu DC od modułów do mikrofalownika przewidziana jest w następujący sposób: przewód DC będzie przebiegał dachem do wejścia mikrofalownika przeddomem o dł. ok. 1 m. Następnie na poziomie na którym znajduje się falownik, przewiduje się wykonanie poziomej trasy kablowej przebiegającej przez kilka pomieszczeń/wchodzącej bezpośrednio do pomieszczenia w którym znajduje się podłączenie do sieci.

13. Sposób zapewnienia bezpieczeństwa dla ekip ratowniczo-gaśniczych

W budynku obwody DC mające szczególne znaczenie dla służb podczas prowadzenia działań ratowniczych. Obwód prądu stałego (okablowanie DC) znajduje się pomiędzy elementami generatora słonecznego a falownikiem. Napięcie DC w tym obwodzie najczęściej zawiera się w zakresie 16-60 V, w wybranych instalacjach może być jeszcze wyższe. Do porażenia prądem stałym może dojść w przypadku kontaktu (dotknięcia) jednocześnie biegunów dodatniego i ujemnego. Podczas działań ratowniczych i awaryjnych stanów pracy instalacji PV szczególne zagrożenie stanowią uszkodzenia elementów instalacji PV, w tym przede wszystkim okablowania. Do przeniesienia napięcia może dojść np. na ramie/mocowaniu uziemionego modułu PV poprzez wyrównanie potencjałów. Takie przeniesienie napięcia może doprowadzić do porażenia prądem przy dotknięciu (poruszeniu) innego przewodu. Do porażenia może dojść również w przypadku bezpośredniego kontaktu z uszkodzonym przewodem DC w budynku. Dlatego przyjęte zabezpieczenia mają na celu zminimalizowanie ryzyka porażenia prądem elektrycznym:

Budynek nie został wyposażony w rozłącznik prądu DC gdyż są zastosowane mikrofalowniki

Dzięki temu interweniujące w obrębie budynku ekipy ratowniczo-gaśnicze nie będą narażone na bezpośredni kontakt z przewodami DC pod napięciem – co zapewni bezpieczeństwo w przypadku podawania strumieni gaśniczych czy też poruszania się po budynku.

OCHRONA PRZECIWPORAŻENIOWA

Podstawą 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.

PLANOWANY PRZEBIEG PRAC MONTAŻOWYCH

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