

Spis treści

1. Opis techniczny.....	3
1.1. Przedmiot opracowania.....	3
1.2. Podstawa opracowania.....	3
1.3. Stan istniejący.....	3
1.4. Opis projektowanych rozwiązań.....	5
1.5. Moduły fotowoltaiczne.....	6
1.6. Inwerter fotowoltaiczny.....	7
1.7. Konfiguracja systemu fotowoltaicznego.....	9
1.8. Zabezpieczenia i ochrona instalacji fotowoltaicznej.....	13
a) Instalacja odgromowa i ochrona przeciwprzepięciowa.....	13
b) Uziemienie i połączenia wyrównawcze.....	13
c) Zabezpieczenia elektryczne.....	14
d) Ochrona przeciwpożarowa.....	15
1.9. Przewody fotowoltaiczne DC.....	16
1.10. Przewody AC.....	18
1.11. Złącze kablowe ZK3.....	21
1.12. Konstrukcja wsporcza – dwupodporowa gruntowa.....	21
1.13. Ogrodzenie terenu instalacji.....	23
1.14. Komunikacja i monitoring systemu.....	23
2. Uzysk energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznej.....	24
3. Efekt ekologiczny.....	25
4. Ochrona przeciwpożarowa.....	26
5. Ochrona przeciwporażeniowa.....	28
6. Planowany przebieg prac montażowych.....	28
7. Zestawienie elementów systemu fotowoltaicznego.....	29
8. Część rysunkowa.....	30
8.1. Projekt zagospodarowania terenu.....	30
8.2. Schemat ideowy instalacji fotowoltaicznej.....	31

1. Opis techniczny

1.1. Przedmiot opracowania

Przedmiotem niniejszego opracowania jest projekt techniczny naziemnej instalacji fotowoltaicznej (PV) o mocy 9,75kWp dla zaplecza socjalno-gospodarczego parku maszyn przy siedzibie Nadleśnictwa Dąbrowa.

1.2. Podstawa opracowania

Podstawę opracowania stanowią:

- zlecenie Inwestora,
- oględziny i dokumentacja zdjęciowa,
- ustalenia z Inwestorem,
- obowiązujące normy i przepisy branżowe m.in.:
 - PN-HD 60364-7-712:2007 – Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Część 7-712: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Fotowoltaiczne (PV) układy zasilania;
 - PN-EN 50438:2010P - Wymagania dotyczące równoległego przyłączenia mikrogeneratorów do publicznych sieci rozdzielczych niskiego napięcia;
 - PN-HD 60364 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych;
 - PN-IEC 60364-5-523:2001 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – Obciążalność prądowa długotrwała przewodów;
 - PN-EN 61173:2002 – Ochrona przepięciowa fotowoltaicznych (PV) systemów wytwarzania mocy elektrycznej – Przewodnik;
 - Norma N SEP-E-004 Elektroenergetyczne i sygnalizacyjne linie kablowe. Projektowanie i budowa

1.3. Stan istniejący

Siedziba Nadleśnictwa Dąbrowa zlokalizowana jest przy ul. Leśnej 25 w Jeżewie na działce o numerze ewidencyjnym 3210/3 w obrębie Nadleśnictwo Dąbrowa, w gminie Jeżewo

w powiecie Świeckim, w województwie Kujawsko-Pomorskim.

Działka nr 3210/3 o łącznej powierzchni 28,67 ha składa się z części leśnej, części rolnej oraz zabudowań Nadleśnictwa Dąbrowa. Przy drodze dojazdowej do siedziby Nadleśnictwa po jej północnej stronie znajduje się park maszyn wraz z zapleczem socjalno-gospodarczym.



Zasilanie i pomiar energii

Budynki parku maszyn zasilane są z linii napowietrznej poprzez przyłącze napowietrzne wykonane przewodami izolowanymi typu AsXS_n. Na zachodniej ścianie budynku socjalno-gospodarczego przy wejściu znajduje się złącze pomiarowe podwójne z układem pomiarowym bezpośrednim (oraz drugą tablicą licznikową – obecnie nie wykorzystywaną)



Aktualna moc umowna dla budynku to 17kW

Istniejący przydział mocy z sieci podstawowego zasilania jest wystarczający dla projektowanej instalacji fotowoltaicznej.

1.4. Opis projektowanych rozwiązań

Instalację fotowoltaiczną zaprojektowano przy założeniu wykorzystania znaczącej większości wytworzonej energii na bieżące potrzeby obiektu oraz magazynowania nadmiaru wytworzonej energii w sieci energetycznej zgodnie z obowiązującymi przepisami (odbiór 80% zmagazynowanych nadwyżek energii w umownym okresie).

W wyniku analizy możliwości technicznych oraz na podstawie informacji i materiałów dostarczonych przez Inwestora zaprojektowano instalację składającą się ze 26 monokrystalicznych modułów fotowoltaicznych (PV) o mocy 375Wp każdy. Łączna moc znamionowa instalacji będzie wynosić 9,75 kWp.

Projektowaną instalację fotowoltaiczną należy podłączyć do instalacji elektrycznej za układem pomiarowo rozliczeniowym. Wyprodukowana przez instalację fotowoltaiczną energia będzie wykorzystywana na bieżąco na potrzeby parku maszyn Nadleśnictwa. Ewentualny nadmiar będzie magazynowany przez ENEA. W przypadku zaniku napięcia w sieci, inwerter fotowoltaiczny wstrzyma produkcję energii, przechodząc automatycznie w tryb uśpienia i uniemożliwiając pracę wyspową.

Projektowana instalacja fotowoltaiczna składa się z następujących elementów:

- 26 szt. modułów fotowoltaicznych monokrystalicznych o mocy nominalnej 375Wp każdy;
- 1 szt. trójfazowego inwertera (falownika) fotowoltaicznego, beztransformatorowego o mocy nominalnej 10kW;
- jednopodporowej, dwuramiennej konstrukcji wsporczej dla modułów fotowoltaicznych posadowionej na gruncie. Kąt nachylenia modułów 28°, azymut 201° (kierunek południowy z odchyleniem o 21° od południa);
- zabezpieczeń elektrycznych strony prądu stałego DC (ograniczniki przepięć);
- zabezpieczeń elektrycznych strony prądu zmiennego AC (ograniczniki przepięć, wyłączniki nadmiarowoprądowe, urządzenia różnicowoprądowe);
- okablowania i systemu połączeń strony DC i AC;
- uziemienia i instalacji ekwipotencjalnej;
- instalacji teleinformatycznej;
- ogrodzenia terenu instalacji.

1.5. Moduły fotowoltaiczne

Moduły fotowoltaiczne odpowiadają za produkcję energii elektrycznej bezpośrednio z promieniowania słonecznego, wykorzystując przy tym efekt fotowoltaiczny.

W projektowanej instalacji zastosowano moduły monokrystaliczne o mocy nominalnej 375Wp. Łączna moc zainstalowana będzie wynosić: 9,75kWp. Dopuszcza się zastosowanie zamiennie modułów o większej mocy i mniejszej ich liczbie pod warunkiem spełnienia wymagania łącznej mocy generatora PV w zakresie od 9,5 do 10,0kWp.

PARAMETRY PROPONOWANEGO MODUŁU W WARUNKACH STC

Parametr	Symbol	Wartosc
Moc maksymalna	Ppv	375 Wp
Napięcie obwodu otwartego	Voc	41,1 V
Prąd zwarciov	Isc	11,60 A
Napięcie w punkcie mocy maksymalnej	Vmpp	34,6 V
Natężenie prądu w punkcie mocy maksymalnej	Impp	10,84 A
Sprawność	Im	20,60%
Współczynnik temp. mocy	Pmax	-0,35%/°C
Współczynnik temp. napięcia obwodu otwartego	Voc	-0,27%/°C
Współczynnik temp. prądu zwarciov	Isc	+0,048%/°C
Maksymalne napięcie systemu	Vmax. pv	1000 V
Dopuszczalny maksymalny prąd wsteczny	Irev. max. pv	20 A
Maksymalne obciążenie	ML	5400 Pa
Zakres temp. pracy modułu	Tmin. pv - Tmax. pv	od -40 do +85°C
Wymiary	W x SZ x G	1755mm x 1038mm x 35mm
Współczynnik wypełnienia	FF	0,78%
Waga		19,5kg

Zastosowane moduły PV powinny charakteryzować się współczynnikami wypełnienia oraz temperaturowymi takimi samymi jak powyżej lub lepszymi. Powinny posiadać trwałą konstrukcję odporną na obciążenia mechaniczne (wiatr oraz śnieg) oraz posiadać podstawowe certyfikaty (CE, TUV, MCS) 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)

Wymagane jest zastosowanie modułów, które posiadają conajmniej:

- 10 letnią gwarancję na produkt
- 25 letnią gwarancję liniową mocy (85% mocy znamionowej po 25 latach)

Moduły powinny być wyposażone w gniazdo przyłączeniowe o klasie ochronności IP67, z 3 diodami obejściowymi (by-pass) oraz konektory typu MC4. Na końcach przewodów fotowoltaicznych należy zastosować konektory tego samego typu.

1.6. Inwerter fotowoltaiczny

Inweter (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 o częstotliwości 50Hz.

Inweter fotowoltaiczny 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 odłączane od sieci elektroenergetycznej. System fotowoltaiczny pozostaje odłączony do momentu powrotu parametrów w ramy ustawionych limitów.

W projektowanej instalacji zastosowano falownik o mocy znamionowej 10kW. Dopuszcza się zastosowanie falownika o mocy dobranej tak, by jego moc znamionowa zawierała się w przedziale 90-120% łącznej mocy generatora (modułów PV).

Projektuje się beztransformatorowy falownik 3-fazowy o minimum 2 niezależnych modułach śledzenia punktu mocy maksymalnej - MPPT. Niezależne moduły MPPT zapewnią optymalne wytwarzanie energii i elastyczność instalacji w przypadku wystąpienia częściowych zacienień, zabrudzeń lub czasowej pracy fragmentów instalacji z mniejszą wydajnością (uszkodzenia, awarie). Do każdego z trackerów MPPT projektuje się podłączenie jednego łańcucha modułów fotowoltaicznych o długości 13 szt. Należy zwrócić szczególną uwagę na dopuszczalny maksymalny prąd wejściowy DC na każdy tracker MPPT (minimum 12A lub potwierdzony obliczeniami).

Urządzenie musi być wyposażone w rozłącznik strony DC, zabezpieczenie przed pracą wyspą, monitoring rezystancji izolacji, monitoring prądu uszkodzeniowego (RCMU) oraz

zabezpieczenie przed odwrotną polaryzacją łańcuchów DC. Wymagany jest również interfejs komunikacyjny – moduł transmisji danych wykorzystujący ogólnodostępną sieć komórkową (wbudowany w falownik lub w postaci zewnętrznego modułu). Falownik powinien być przeznaczony do użytku zewnętrznego, a stopień ochrony urządzenia musi wynosić co najmniej IP65.

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”.

Inwerter oraz rozdzielnice elektryczne PV-AC oraz PV-DC z zabezpieczeniami należy zainstalować na konstrukcji wsporczej pod modułami fotowoltaicznymi (zgodnie z mapą zagospodarowania terenu). Falownik będzie osłonięty przed warunkami atmosferycznymi, deszczem, bezpośrednimi promieniami słonecznymi. Należy zastosować dedykowany system mocowania falownika, uwzględniający jego wagę, oraz zapewnić określone przez producenta odstępki niezbędne dla prawidłowej wentylacji podczas pracy (zaleca się odstępki min. 50cm z każdej strony).

Zastosowany inwerter musi posiadać wszystkie certyfikaty wymagane do pracy w sieci energetycznej na terenie Polski oraz potwierdzające zgodność 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

Zaleca się by wybrany falownik posiadał gwarancję produktową na minimum 5 lat z możliwością jej wydłużenia za dodatkową odpłatnością na 10/15 lat w zależności od decyzji Inwestora.

Dobrany w projekcie falownik charakteryzuje się następującymi parametrami:

PARAMETRY WYJŚCIOWE AC

Parametr	Symbol	Wartosc
Moc znamionowa AC	Pac	10 000 W
Maksymalny prąd wyjściowy	Iac max.	3x 14.5 A
Napięcie sieciowe	Vac	230/400 V
Zakres częstotliwości	f	45 – 55 Hz

PARAMETRY WEJŚCIOWE DC

Parametr	Symbol	Wartosc
Maksymalna moc wejściowa	P _{dc max.}	15 000 Wp
Maksymalny prąd wejściowy	I _{dc max.}	20 A
Znamionowe napięcie wejściowe	V _{dc}	580 V
Maksymalne napięcie wejściowe	V _{dc max.}	1000 V
Liczba MPPT	L _{mppt}	2
Liczba łańcuchów na MPPT	L _{string mppt}	2 + 1
Zakres napięć MPP	V _{mpp min.} - V _{mpp max.}	320 - 800V

1.7. 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. Bazą do obliczeń są 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]

$$26 \times 375 \text{ Wp} = 9\,750 \text{ Wp}$$

Moc DC instalacji fotowoltaicznej wynosi 9,75 kW. Z kolei moc AC instalacji fotowoltaicznej, równa mocy wyjściowej falownika, jest równa 10 kW.

b) Minimalna i maksymalna liczba modułów łączonych szeregowo i równolegle

Zmiana napięcia przy zmianie temperatury o 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]

$$-0,27\% \times 41,1V = -0,111 V / ^\circ C$$

Zmiana napięcia na 1°C wynosi -0,111V. Posłuży ona do obliczenia napięcia w skrajnych temperaturach.

c) 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]

$$41,1 + (0,111 \times 50) = 46,65 V$$

Obliczone napięcie jest równe 46,65V.

d) 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]

$$34,6 - (0,111 \times 45) = 29,61 \text{ V}$$

Obliczone napięcie jest równe 29,61 V.

e) Minimalna liczba modułów w łańcuchu

Po obliczeniu napięć w skrajnych temperaturach obliczono minimalną liczbę modułów, jaką 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]

$$250 / 29,61 = 8,45 < 9 \text{ szt.}$$

Minimalna liczba modułów, jaką można łączyć szeregowo w pojedynczy łańcuch wynosi 9szt.

f) Maksymalna liczba modułów w łańcuchu

Po obliczeniu napięć w skrajnych temperaturach obliczono maksymalną liczbę modułów, jaką 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]

$$1000 / 46,65 = 21,44 > 21 \text{ szt.}$$

Maksymalna liczba modułów, jaką można łączyć szeregowo w pojedynczy łańcuch wynosi 21 szt.

g) Maksymalna liczba łańcuchów modułów łączonych równolegle

Maksymalna liczba łańcuchów połączonych równolegle, obliczona została według równania:

$$LM_{R MAX.} = \frac{I_{DC MAX.}}{I_{MPP}}$$

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]

$$20 / 10,84 = 1,85 > 1 \text{ szt.}$$

Obliczona maksymalna liczba łańcuchów połączonych równolegle na 1 MPPT falownika wynosi 1 szt.

1.8. Zabezpieczenia i ochrona instalacji fotowoltaicznej

a) Instalacja odgromowa i ochrona przeciwprzepięciowa

Ze względu na lokalizację instalacji w bezpośrednim sąsiedztwie linii napowietrznej niskiego napięcia opartej na słupach ŻN-10 oraz niewielkiej odległości od budynku socjalno-gospodarczego wyposażonego w instalację piorunochronną oraz pobliskim wysokim maszcie telekomunikacyjnym nie zakłada się dodatkowej instalacji odgromowej.

Ochronę przed indukowanymi przepięciami spowodowanymi pobliskimi wyładowaniami atmosferycznymi zaprojektowano stosując ograniczniki przepięć typu II. Wszystkie zastosowane ograniczniki przepięć należy łączyć z główną lub lokalną szyną wyrównawczą przewodem miedzianym o przekroju minimum 16 mm².

b) Uziemienie i połączenia wyrównawcze

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

W pobliżu inwertera i rozdzielnic PV-AC i PV-DC należy zainstalować główną szynę uziemiającą GSU, do której należy przyłączyć wszystkie elementy wymagające uziemienia (obudowę inwertera, zaciski PE ograniczników przepięć).

Przewiduje się wykonanie połączeń wyrównawczych pomiędzy konstrukcją wsporczą, a ramami modułów fotowoltaicznych za pomocą podkładek uziemiających przebijających.

Konstrukcję wsporczą należy uziemić zgodnie z obowiązującymi standardami, za pomocą bednarki FeZn 25x4mm i linki miedzianej LgY 16mm² połączonej z podporami głównymi konstrukcji. W razie potrzeby należy zastosować dodatkowe uziomy pionowe w postaci wbijanych szpilek uziomowych.

Połączenia wyrównawcze należy prowadzić możliwie blisko linii DC i AC (równolegle), tak by uniknąć tworzenia pętli indukcyjnych.

Należy zapewnić odpowiednią wartość rezystancji uziemienia $R_u < 10 \Omega$. Wykonać pomiary wykonanych instalacji uziemiających. Uzyskane wartości potwierdzić protokołem pomiarów.

c) Zabezpieczenia elektryczne

Poza zabezpieczeniami wbudowanymi w inwerter projektuje się zabezpieczenia instalacji po stronie prądu zmiennego AC oraz stałego DC.

Strona prądu zmiennego AC

W ramach zabezpieczenia strony AC projektuje się rozdzielnicę PV-AC zlokalizowaną w pobliżu miejsca montażu inwertera. Rodzielnicę należy wyposażyć zgodnie ze schematem w:

- ogranicznik przepięć SPD typu II, AC, TNS, $I_n=20\text{kA}$, $U_p<1,5\text{kV}$;
- zabezpieczenie różnicowoprądowe RCD typu A o czułości 300mA;
- wyłącznik nadmiarowo-prądowy S303B 20A;

Strona prądu stałego DC

Poza zabezpieczeniami wbudowanymi w falownik (m.in. wbudowany rozłącznik DC) projektuje się rozdzielnicę główną PV-DC wyposażoną w 2 szt. ograniczników przepięć SPD typu II, DC, 1000V, $I_n=12,5\text{kA}$, $I_{\max} = 25\text{kA}$, $U_p < 4\text{kV}$ – zlokalizowaną w pobliżu inwertera na konstrukcji wsporczej.

d) Ochrona przeciwpożarowa

Budynek zaplecza socjalno-gospodarczego nie przekracza $1\,000\text{m}^3$ i nie wymagane jest zastosowanie przeciwpożarowego wyłącznika prądu. Instalacja fotowoltaiczna jest posadowiona na gruncie, a obszar funkcjonowania prądu DC ograniczony jest do obrysu konstrukcji wsporczej. Zastosowany inwerter musi posiadać zabezpieczenie przed pracą wyspą – w przypadku zaniku napięcia w sieci energetycznej przestaje pracować i dostarczać napięcie po stronie AC i energię do sieci.

1.9. Przewody fotowoltaiczne DC

Przewody fotowoltaiczne, to przewody przeznaczone do pracy z prądem stałym DC. Ich zadaniem jest odprowadzenie energii elektrycznej wytworzonej w modułach fotowoltaicznych do falownika. Przewody te będą prowadzone pod modułami łącząc je ze sobą, a następnie z grupy modułów poprzez ogranicznik przepięć będą wprowadzone na

wejścia inwetera. Połączenie pomiędzy poszczególnymi modułami na jednej konstrukcji wsporczej zostanie wykonane za pomocą przewodu DC dołączonego do skrzynki przyłączeniowej modułu fotowoltaicznego. Połączenie pomiędzy skrajnymi końcami łańcuchów modułów, a falownikiem zostanie wykonane za pomocą dedykowanego kabla solarne PV 1x4mm² (wg schematu).

Przewody solarne charakteryzują się następującymi parametrami:

- napięcie znamionowe: min 1200V DC;
- podwójna izolacja z gumy usieciowanej, bezhalogenowy, płomienioodporny;
- żyły: wg PN/EN-60228, miedziane wielodrutowe klasy 5;
- izolacja: guma usieciowana -40/+90°C;
- powłoka: guma usieciowana M21 odporna na UV i warunki atmosferyczne,
- temperatura na powierzchni przewodu: max. 90°C po ułożeniu na stałe, praca dopuszczalna w temp. -40°C do +90°C

Zakłada się, że strata na przewodach DC w systemie fotowoltaicznym powinna być mniejsza niż 1%.

Dobór przekroju przewodów DC

Dopuszczalna założona strata mocy na przewodach DC wynosi 1%.

Obliczenie strat mocy i spadków napięcia na przewodach DC jest warunkiem efektywnej pracy, a nie warunkiem bezpieczeństwa. Z tego powodu przy obliczeniach przyjęte wartości mocy oraz napięcia odnoszą się do warunków NOCT, nie STC.

Najdłuższa długość przewodu DC w projektowanej instalacji :

$$L = 13\text{m} \cdot 2 + 15\text{m} = 41\text{m}$$

(pod modułami i od ostatniego modułu do falownika) – PV 1x4mm²

$$\text{strata mocy w \%} = (P \cdot L) / (U^2 \cdot k \cdot A) \cdot 100\%$$

gdzie:

P – moc obwodu w warunkach NOCT [W]

$$P = 3\,640\text{ W}$$

L – sumaryczna długość przewodu + i – [m]

$$L = 41\text{ m}$$

U – napięcie obwodu w warunkach NOCT [V]	$U = 13 \cdot 32,2 = 418,6 \text{ V}$
k – przewodność właściwa dla miedzi	$k = 54$
A – przekrój poprzeczny przewodu [mm^2]	$A = 4 \text{ mm}^2$

Łącznie na najdłuższym obwodzie DC strata mocy wynosi $0,43\% < 1\%$

Dobre przewody fotowoltaiczne DC o przekrojach 4 mm^2 spełniają założenia.

Zaleca się stosować przewody o kolorystyce czerwonej i czarnej odpowiednio dla przewodów bieguna dodatniego (+) oraz ujemnego (-).

Należy unikać tworzenia się pętli przewodów, w których mogłoby indukować się napięcie. Przewód dodatni prowadzić blisko ujemnego nawet kosztem większego zużycia przewodów. Układanie przewodów prowadzić starannie, aby uniknąć ocierania kabli o ostre krawędzie i nie załamywać ponad dopuszczone promienie zgięcia. Przewody należy zabezpieczyć przed drganiami, przesunięciami i tarciem o elementy konstrukcyjne. Przewody fotowoltaiczne można prowadzić pod modułami bez dodatkowych osłon natomiast przy wykonaniu przejść między rzędami modułów, należy je dodatkowo zabezpieczyć przed promieniowaniem UV, np. przez poprowadzenie ich w rurkach ochronnych odpornych na warunki atmosferyczne.

Należy używać dedykowanych, oryginalnych konektorów fotowoltaicznych MC4.

Zweryfikować dane producenta modułów i na końcach przewodów zastosować złącza tego samego typu oraz producenta. Złącza przymocować do konstrukcji montażowej lub modułów. Przy połączeniu z falownikiem zastosować złącza dostarczone przez producenta falownika.

1.10. Przewody AC

Przewód prądu zmiennego AC odpowiada za odprowadzenie energii elektrycznej z falownika do instalacji elektrycznej obiektu i do sieci elektroenergetycznej.

Zakłada się, że strata na przewodach AC w systemie fotowoltaicznym powinna być mniejsza niż 1% dla mocy w warunkach NOCT. Dla długich tras kablowych stratę można zwiększyć do 3%.

Dobór przekroju przewodów AC:

Minimalny 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)

$P_{AC} = 26 \text{ szt.} \cdot 280 \text{ W} = 7\,280 \text{ W}$ (moc generatora w warunkach NOCT)

$L_{AC} = 41 \text{ m}$ (od inwertera do miejsca przyłączenia)

$k = 54$ (dla miedzi – kabel typu YKY)

$$(7\,280 \cdot 41) / (400^2 \cdot 54 \cdot 0,01) = 3,45 \text{ mm}^2 < 10 \text{ mm}^2$$

Obciążalność prądowa kabla YKY 4x10mm² układanego w ziemi w rurze ochronnej wynosi $I_z = 61 \text{ A}$.

Obliczeniowy maksymalny prąd roboczy dla mocy 10 kW wynosi

$$I_B = 10 / (1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,95) = 15,2 \text{ A}$$

Prąd znamionowy urządzenia zabezpieczającego $I_N = 20 \text{ A}$.

Sprawdzenie doboru kabla:

$$I_B = 15,2 \text{ A} < I_N = 20 \text{ A} < I_z = 61 \text{ A} - \text{warunek spełniony}$$

$$I_2 = 1,6 \cdot I_N = 32 \text{ A} \quad 32 \text{ A} < (1,45 \cdot 61 \text{ A}) = 88,5 \text{ A} - \text{warunek spełniony}$$

W wyniku obliczeń w projektowanym systemie fotowoltaicznym przewidziano zastosowanie po stronie AC pomiędzy miejscem przyłączenia a rozdzielnicą PV-AC miedzianego kabla ziemnego typu YKY 4x10mm².

Dla połączeń między inwerterem a zabezpieczeniami w rozdzielnicy PV-AC należy użyć przewodu miedzianego YDYżo 5x10mm².

Między rozdzielnicą PV-AC a złączem pomiarowym na ścianie budynku kabel YKY 4x10mm² należy układać w wykopie na głębokości 70-80cm na podsypce piaskowej o grubości co najmniej 10cm. Kabel można zginać tylko w przypadkach koniecznych, promień zgięcia powinien być możliwie duży jednak nie mniejszy niż 10 - krotna zewnętrzna średnica kabla. Przy konstrukcji wsporczej oraz przy ścianie budynku koło złącza pomiarowego należy pozostawić zapasy kabla minimum 2,5 m. Wzdłuż całej trasy kabla (co około 7m) i w złączu pomiarowym należy zabudować oznaczniki kablowe z taśmy AL lub PCV z danymi kabla, trasy, datą ułożenia, nazwą wykonawcy.

Po ułożeniu kabel przysypać warstwą piasku o grubości 10cm, a następnie warstwą gruntu rodzimego o grubości 15cm, a następnie przykryć na całej długości folią koloru niebieskiego z tworzywa sztucznego o grubości co najmniej 0,3 mm. Resztę wykopu należy uzupełnić gruntem rodzimym i utwardzić.

Kabel ziemny strony AC należy prowadzić wg rysunku projektu zagospodarowania terenu:

- w rurze ochronnej typu AROT DVK Ø75mm na odcinku ok. 26 metrów wokół budynku socjalno-gospodarczego, w tym na odcinku około 13 metrów pod kostką betonową po jej uprzedniej rozbiórce (po ułożeniu kabla kostkę należy odtworzyć).

Należy przeprowadzić inwentaryzację kabla przez uprawnionego geodetę.

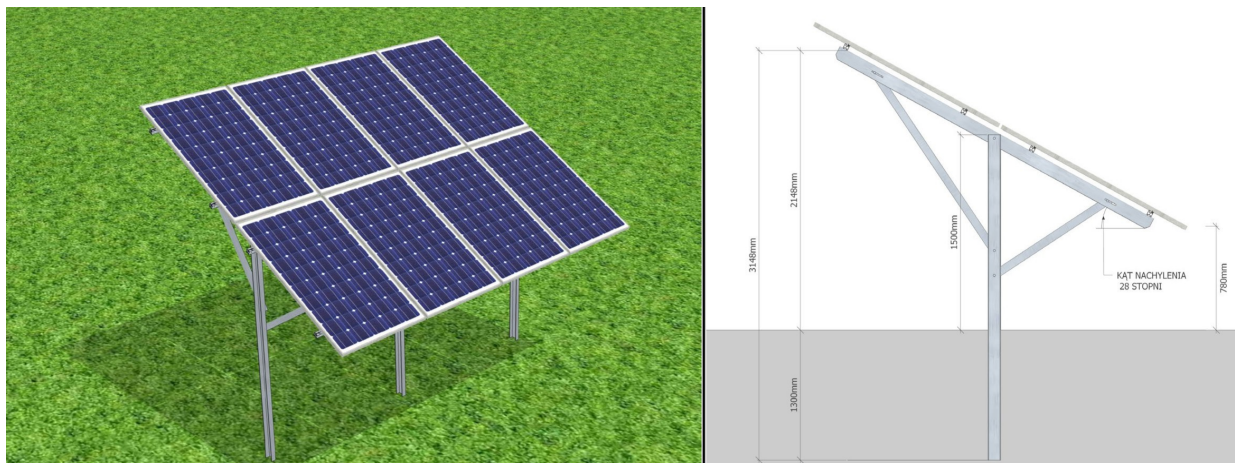
1.11. Konstrukcja wsporcza – jednopodporowa dwuramienna gruntowa

Dla projektowanej instalacji fotowoltaicznej proponuje się zastosowanie konstrukcji wsporczej jednopodporowej, dwuramiennej wbijanej w grunt. Nośność gruntu na którym mają być zlokalizowane konstrukcje wsporcze oceniono jako średnią/dobłą.

Po analizie dostępnego terenu, ustaleniach z Inwestorem i optymalizacji planowanych uzysków energii elektrycznej, zaprojektowano posadowienie konstrukcji montażowej pod kątem 28° o orientacji odchylonej od południa o 21° w kierunku zachodnim (azymut 201°). Instalację podzielono na 2 łańcuchy (2x po 13szt. modułów). W oparciu o udostępnioną mapę

wybrano nasłonecznione miejsce za budynkiem socjalno-gospodarczym. Ustalono, że Inwestor dokona wycinki drzew i krzewów zacieniających obszar posadowienia konstrukcji wsporczej – wg oznaczenia na mapie

Przykład jednopodporowej konstrukcji gruntowej pod moduły PV prezentuje poniższy rysunek:



Moduły fotowoltaiczne będą montowane na konstrukcji wsporczej w dwóch rzędach w układzie pionowym (wertykalnie). Zalecana głębokość osadzania podpór wbijanych w grunt wynosi 1,5m i nie powinna być mniejsza niż 1,3m. Kąt pochylenia modułów należy wyregulować odpowiednio przykręcając ramiona do podpory. W razie potrzeby wzmocnienia stabilności konstrukcji należy zainstalować dodatkowe stężenia łącząc ukośnie podpory główne.

Konstrukcja wsporcza powinna być wykonana z wysokiej jakości stali zabezpieczona przed korozją (np. specjalną powłoką antykorozyjną Magnelis), musi także posiadać certyfikat deklaracji właściwości użytkowych i dopuszczenie do stosowania w budownictwie wg obowiązujących przepisów.

1.12. Ogrodzenie terenu instalacji

Istniejące ogrodzenie na długości 22 metrów należy zdemontować i odtworzyć po przesunięciu, wyrównując je z budynkiem oraz linią ogrodzenia przed budynkiem. Nowe ogrodzenie należy wykonać z siatki o wysokości max. 1,5m w odległości 2 metrów od modułów i konstrukcji wsporczej tak, by uniknąć zacinienia modułów.

1.13. Komunikacja i monitoring systemu

Ze względu na lokalizację z dala od infrastruktury teleinformatycznej Nadleśnictwa projekt zakłada podłączenie falownika do internetu w celu zapewnienia łączności z platformą monitorującą pracę instalacji poprzez ogólnodostępną sieć komórkową. Należy zastosować moduł sieci komórkowej z użyciem karty SIM – zewnętrzny lub wbudowany w falownik.

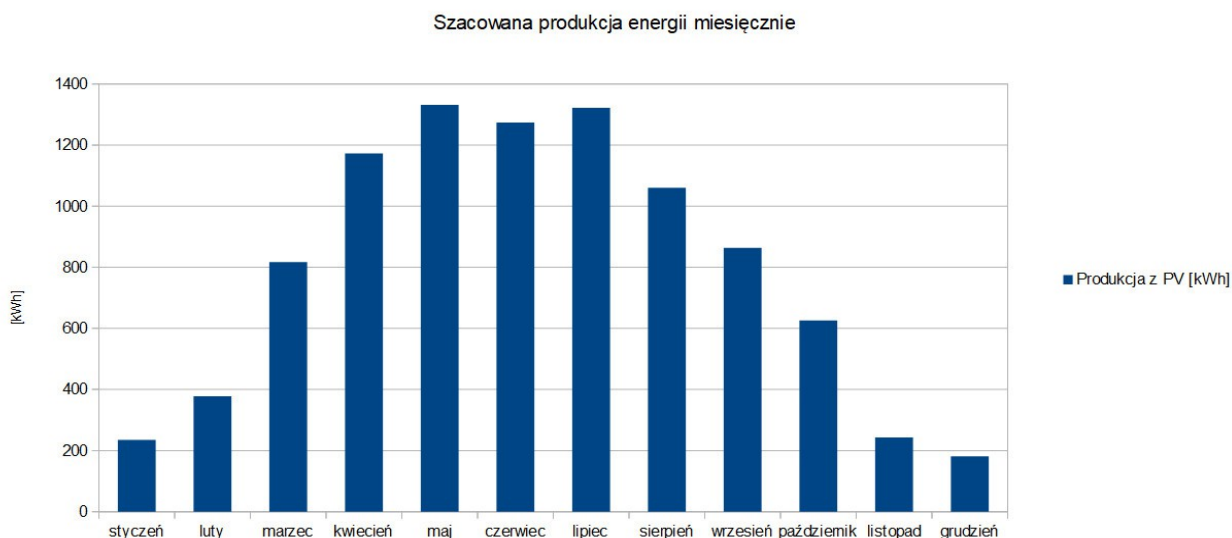
Inwestorowi należy zapewnić monitoring instalacji fotowoltaicznej poprzez dedykowane rozwiązanie producenta falownika.

2. Uzysk energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznej

Planowany uzysk energii elektrycznej wyprodukowanej w projektowanej instalacji w kolejnych miesiącach kalendarzowych przedstawia poniższa tabela:

Miesiąc	Produkcja z PV [kWh]
Styczeń	235
Luty	378
Marzec	817
Kwiecień	1 173
Maj	1 332
Czerwiec	1 274
Lipiec	1 322
Sierpień	1 060
Wrzesień	864
Październik	626
Listopad	243
Grudzień	181
SUMA:	9 505

Uwaga! Przedstawione uzyski energii są wartościami szacunkowymi. Osiągnięcie w rzeczywistości uzysków energii równych podanym wartościom nie jest gwarantowane! Łączna, prognozowana ilość wyprodukowanej energii w ciągu roku wynosi: 9 505 kWh



3. Efekt ekologiczny

Dla budowy nowej instalacji fotowoltaicznej, ocena efektu ekologicznego jest dokonywana jako obliczenie wielkości emisji unikniętej w wyniku jej użytkowania, wyznaczonej oddzielnie dla gazów cieplarnianych (CO₂) oraz pozostałych zanieczyszczeń.

Emisję unikniętą oblicza się w odniesieniu do jednego roku, na podstawie rocznych ilości wyeliminowanej energii nieodnawialnej oraz przyjętych odpowiednio wskaźników emisyjnych.

Do obliczeń przyjęto wskaźniki emisyjności energii elektrycznej u odbiorców końcowych, czyli po uwzględnieniu całej wyprodukowanej energii elektrycznej w kraju oraz strat na przesyle i dystrybucji energii elektrycznej opublikowane przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE) w raporcie:

„Wskaźniki emisyjności CO₂, SO₂, NO_x, CO i pyłu całkowitego dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2019 rok, IOŚ-PIB, grudzień 2020”

Wskaźniki emisyjności dla odbiorców końcowych	[kg/Mwh]
Dwutlenek węgla (CO ₂)	719
Tlenki siarki (SO _x /SO ₂)	0,511
Tlenki azotu (NO _x /NO ₂)	0,576
Tlenek węgla (CO)	0,233
Pył całkowity	0,029

Obliczenia:

Prognozowana ilość wyprodukowanej przez instalację fotowoltaiczną energii elektrycznej w ciągu jednego roku wynosi: 9 505 kWh

stąd emisja uniknięta / redukcja emisji zanieczyszczeń do atmosfery wg wskaźników emisyjności KOBiZE:

Prognozowana produkcja energii przez system PV rocznie [kWh]			E = 9505
REDUKCJA EMISJI			
Rodzaj zanieczyszczenia	Wskaźnik emisyjności w_e	Jednostka	Redukcja emisji [kg/rok] $e = E * w_e$
CO₂	0,719	kg/kWh	6834,1
SO _x /SO ₂	0,000511	kg/kWh	4,86
NO _x /NO ₂	0,000576	kg/kWh	5,47
CO	0,000233	kg/kWh	2,21
Pył całkowity	0,000029	kg/kWh	0,28

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. Należy zadbać o prawidłowe, zgodne ze sztuką wykonanie elementów elektrycznych instalacji.

Podstawowym krokiem przy gaszeniu pożaru przez strażaków jest odłączenie głównego zasilania w budynku lub użycie 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.

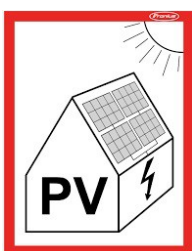
Bezwzględnie należy unikać ryzyka porażenia prądem, między innymi przez unikanie

kontakty z częściami przewodzącymi instalacji elektrycznej i modułów, konstrukcji fotowoltaicznej, mogącymi znajdować się pod napięciem.

Projektowany falownik posiada zabezpieczenie przed pracą wyspową, zabezpieczenie przed odwróconą biegunowością oraz wyposażony jest w wewnętrzny wyłącznik różnicowo-prądowy (RCD), który chroni przed porażeniem prądem elektrycznym oraz zagrożeniem pożarowym w przypadku awarii modułu PV, przewodów lub falownika. Falownik wykrywa uszkodzenia izolacji i usterki uziemienia.

W złączu pomiarowym, w widocznym miejscu przy wejściu do budynku oraz na rozdzielni głównej należy umieścić:

- informację o tym, że obiekt jest wyposażony w instalację PV,



- schemat połączeń instalacji oraz rozmieszczenie poszczególnych elementów i kabli
- dane kontaktowe wykonawcy instalacji.

W pobliżu inwertera umieścić informację, że po wyłączeniu inwertera po stronie AC, przewody prądu stałego DC nadal mogą znajdować się pod napięciem.

Przygotować instrukcję postępowania w razie pożaru.

Po wykonaniu zgłosić instalację do odpowiedniej terenowo jednostki Państwowej Straży Pożarnej.

5. Ochrona przeciwporażeniowa

Podstawą ochrony przeciwporażeniowej jest izolowanie części znajdujących się pod napięciem oraz ochrona w przypadku uszkodzenia izolacji. W instalacjach elektrycznych prądu zmiennego należy stosować układy z odrębnym przewodem ochronnym PE i neutralnym N (układ TN-S). Przepisy wymagają także stosowania uziemionych połączeń wyrównawczych pomiędzy elementami przewodzącymi.

Zaprojektowany falownik wyposażony jest w wewnętrzny wyłącznik różnicowo-prądowy (RCD), który chroni przed porażeniem prądem elektrycznym. Falownik wykrywa i sygnalizuje uszkodzenia izolacji i usterki uziemienia.

6. Planowany przebieg prac montażowych

- Demontaż odcinka ogrodzenia,
- Montaż konstrukcji wsporczej,
- Montaż paneli fotowoltaicznych,
- Montaż falownika i zabezpieczeń strony DC i AC,
- Poprowadzenie przewodów prądu stałego na konstrukcjach wsporczych,
- Wykonanie wykopu i ułożenie kabla prądu zmiennego,
- Uziemienie systemu fotowoltaicznego,
- Połączenie modułów z falownikiem,
- Odtworzenie ogrodzenia w nowej lokalizacji,
- Wykonanie pomiarów instalacji,
- Sprawdzenie pracy układu,

7. Zestawienie elementów systemu fotowoltaicznego

Zestawienie najistotniejszych elementów projektowanej instalacji fotowoltaicznej

Lp.	Element	Liczba	Jednostka
1	Moduł fotowoltaiczny 375Wp	26	szt
2	Inwerter fotowoltaiczny 10kW	1	szt.
3	Konstrukcja wsporcza jednopodporowa	1	kmpl.
4	Rozdzielnica PV-AC (wg schematu)	1	kmpl.
5	Rozdzielnica PV-DC (wg schematu)	1	kmpl.
6	Kabel YKY 4x10mm ²	41	mb
7	Przewód fotowoltaiczny PV 1x4mm ²	30	mb
8	Ogrodzenie z siatki	25	mb

8. Część rysunkowa

8.1. Projekt zagospodarowania terenu

8.2. Schemat ideowy instalacji fotowoltaicznej