



Erasmus+



Project Erasmus+: Training and certification model  
for photovoltaic trainers with the use of ECVET system  
(EU-PV-Trainer). No 2016-1-PL01-KA202-026279

## MODUŁ 2. PLANOWANIE, INSTALACJA, MODERNIZACJA I KONSERWACJA INSTALACJI FOTOWOLTAICZNYCH

### M2.J2. Montaż instalacji fotowoltaicznych

PORADNIK DLA UCZESTNIKA ZAJĘĆ  
I PROWADZĄCEGO ZAJĘCIA

RESEARCH NETWORK  
ŁUKASIEWICZ

INSTITUTE  
FOR SUSTAINABLE  
TECHNOLOGIES



FUNDACIÓN *equipo humano*



EDIT.C

EDUCATION & INFORMATION TECHNOLOGY CENTRE

**Erasmus+**  
**Cooperation for innovation and the exchange of good practices**  
**Strategic Partnership for vocational education and training**

***“Training and certification model for photovoltaic trainers with the use of ECVET system  
(EU-PV-Trainer)”***  
**No 2016-1-PL01-KA202-026279**

---

**Intellectual Outputs O4.**

**Bank of training modules for the photovoltaic trainer with  
regard to ECVET requirements (stationary learning)**

---

Ten projekt został zrealizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej.  
Projekt lub publikacja odzwierciedlają jedynie stanowisko ich autora i Komisja Europejska  
nie ponosi odpowiedzialności za umieszczoną w nich zawartość merytoryczną.

2018-2019

**MODUŁ 2.**  
**PLANOWANIE, INSTALACJA, MODERNIZACJA  
I KONSERWACJA INSTALACJI FOTOWOLTAICZNYCH**

**M2.J2. Montaż instalacji fotowoltaicznych**

**PORADNIK  
DLA UCZESTNIKA ZAJĘĆ I PROWADZĄCEGO ZAJĘCIA**

## **Kurs: Trener fotowoltaiki**

### **Moduł 2. Planowanie, instalacja, modernizacja i konserwacja instalacji fotowoltaicznych**

#### **Jednostka modułowa M2.J2. Montaż instalacji fotowoltaicznych**

### **Poradnik dla uczestnika zajęć dydaktycznych i prowadzącego zajęcia**

**Autorzy:**

Stanisław Pietruszko  
Kamil Kulma  
Radosław Gutowski  
Radosław Figura  
Miroslaw Żurek  
Katarzyna Sławińska  
Maria Knais  
Emilia Pechenau  
Adina Cocu  
Jose Enrique Val Montros  
Alfonso Cadenas Cañamás

**Recenzenci:**

Tomasz Magnowski

**Konsultacja metodologiczna:**

Edyta Kozieł

**Opracowanie redakcyjne:**

Bożena Mazur

**Korekta językowa:**

Katarzyna Sławińska

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną dla jednostki modułowej **M2.J2. Montaż instalacji fotowoltaicznych** wchodzącej w skład modułu **M2. PLANOWANIE, INSTALACJA, MODERNIZACJA I KONSERWACJA INSTALACJI FOTOWOLTAICZNYCH** zawartego w modułowym programie nauczania dla kursu **Trener fotowoltaiki**.

2018-2019

## SPIS TREŚCI

<b>1. WPROWADZENIE .....</b>	<b>2</b>
<b>2. WYMAGANIA WSTĘPNE .....</b>	<b>4</b>
<b>3. USZCZEGÓLOWIONE EFEKTY KSZTAŁCENIA.....</b>	<b>5</b>
<b>4. MATERIAŁ NAUCZANIA .....</b>	<b>6</b>
4.1. Przepisy BHP dotyczące instalacji.....	6
4.2. Plan instalacji.....	12
4.3. Narzędzia i sprzęt do instalacji systemów fotowoltaicznych .....	17
4.4. Praktyczne zasady instalacji modułów, doboru i wymiarowania przewodów i kabli .....	21
4.5. Ustawianie i uruchomienie systemu fotowoltaicznego .....	29
4.6. Współpraca baterii z systemami fotowoltaicznymi.....	34
4.7. Ochrona przeciwprzepięciowa w instalacjach fotowoltaicznych.....	41
4.8. Ochrona odgromowa i instalacja uziemiająca .....	48
4.9. Zasady instalacji dla systemów solarnych .....	55
4.10. Typowe błędy podczas instalacji .....	61
4.11. Dokumentacja techniczna instalacji i warunki odbioru .....	67
4.12. System jakości. Oszacowanie zakresu instalacji, oferta, umowa na instalację urządzeń i systemów słonecznych.....	73
<b>5. ĆWICZENIA.....</b>	<b>80</b>
5.1. Przepisy BHP dotyczące instalacji – ćwiczenia .....	80
5.2. Plan instalacji – ćwiczenia .....	81
5.3. Zasady bezpieczeństwa dotyczące konserwacji i konserwacji instalacji solarnej – ćwiczenia .....	82
5.4. Praktyczne zasady instalacji modułów, doboru i wymiarowania przewodów i kabli – ćwiczenia .....	82
5.5. Ustawianie i uruchomienie systemu fotowoltaicznego – ćwiczenia.....	83
5.6. Współpraca baterii z systemami fotowoltaicznymi – ćwiczenia .....	84
5.7. Ochrona przeciwprzepięciowa w instalacjach fotowoltaicznych – ćwiczenia .....	84
5.8. Ochrona odgromowa i instalacja uziemiająca – ćwiczenia .....	85
5.9. Zasady instalacji dla systemów solarnych – ćwiczenia.....	86
5.10. Typowe błędy podczas instalacji – ćwiczenia .....	86
5.11. Dokumentacja techniczna instalacji i warunki odbioru – ćwiczenia .....	87
5.12. System jakości. Oszacowanie zakresu instalacji, oferta, umowa na instalację urządzeń i systemów fotowoltaicznych – ćwiczenia.....	88
<b>6. SPRAWDZIAN POSTĘPÓW .....</b>	<b>89</b>
<b>7. SŁOWNIK .....</b>	<b>91</b>
<b>8. LITERATURA .....</b>	<b>92</b>

# 1. WPROWADZENIE

Przystępując do nauki wykonywania zadań zawodowych przypisanych trenerowi PV w systemie kształcenia modułowego jako uczestnik szkolenia zdobędziesz niezbędną wiedzę i umiejętności zawodowe zawarte w 2 modułach:

- M1. Planowanie, organizowanie, przeprowadzenie i ocenianie szkolenia zawodowego
- M2. Planowanie, instalacja, modernizacja i konserwacja instalacji fotowoltaicznych.

Każdy moduł jest podzielony na jednostki modułowe zawierające materiał nauczania, pytania sprawdzające, ćwiczenia i sprawdzian postępów.

W opracowaniu przygotowano materiały dla jednostki modułowej **M2.J2. Montaż instalacji fotowoltaicznych** wchodzącej w skład modułu **M2. Planowanie, instalacja, modernizacja i konserwacja instalacji fotowoltaicznych**.

Przed rozpoczęciem nauki jako uczestnik szkolenia powinieneś zapoznać się z wymaganiami wstępnymi oraz uszczegółowionymi efektami kształcenia, tj. wiedzą, umiejętnościami i postawami, jakich nabędziesz po ukończeniu nauki w ramach danej jednostki modułowej.

W opracowaniu materiału nauczania wykorzystano doświadczenia partnerów projektu w zakresie prowadzenia zajęć dydaktycznych na kursach przygotowujących przyszłych monterów instalacji fotowoltaicznych. Materiał nauczania uzupełniony został szkoleniem e-learningowym, w którym zamieszczono m.in. filmy instruktażowe.

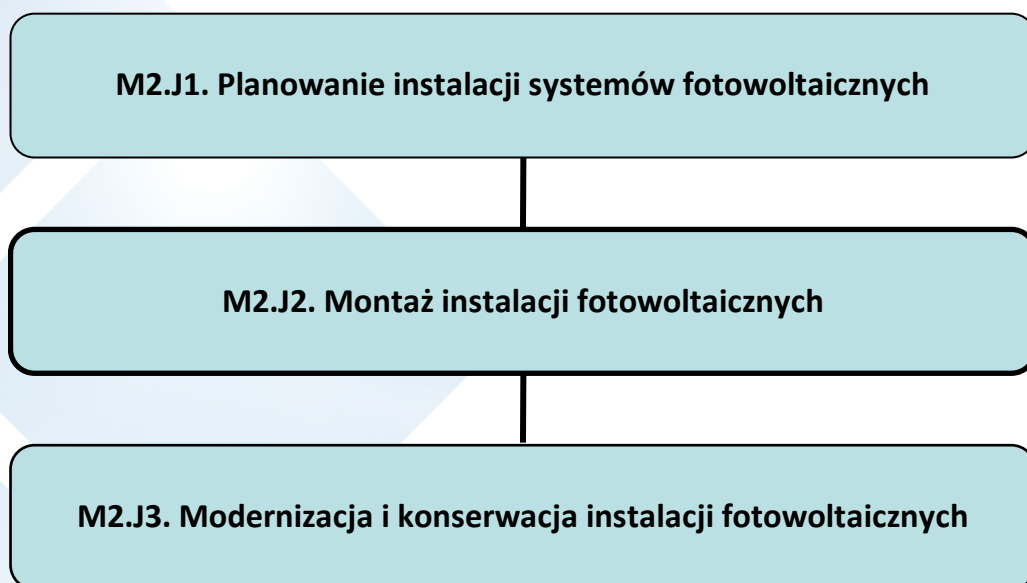
Przed przystąpieniem do wykonywania ćwiczeń sprawdź, czy jesteś do tego odpowiednio przygotowany. W tym celu wykorzystaj pytania sprawdzające zamieszczone po materiale nauczania. Zakończeniem opracowania każdego tematu jest sprawdzian postępów, który pozwoli Ci określić zakres nabytej wiedzy i umiejętności. Jeśli uzyskasz pozytywne wyniki, to będziesz mógł przejść do następnego tematu, jeżeli nie, powinieneś powtórzyć treści niezbędne do określonych umiejętności.

Podstawą do zaliczenia jednostki modułowej jest zaliczenie testu sprawdzającego umieszczonego w wersji e-learningowej.

Uwaga: w przypadku treści kształcenia w których są odniesienia do aktów prawnych, należy pamiętać, że są one aktualne na dzień przygotowania opracowania i muszą podlegać aktualizacji. Przedstawione treści kształcenia w module są zgodne ze stanem prawnym na dzień 15.08.2018 r.

Poradnik został opracowany w ramach projektu „**Training and certification model for photovoltaic trainers with the use of ECVET system (EU-PV-Trainer)**” współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach programu Erasmus+ Cooperation for innovation and the exchange of good practices Strategic Partnership for vocational education and training.

Zamieszczone w poradniku materiały odzwierciedlają jedynie stanowisko ich autorów i Komisja Europejska nie ponosi odpowiedzialności za umieszczoną w nich zawartość merytoryczną.



Schemat układu jednostek modułowych w ramach modułu **M2. Planowanie, instalacja, modernizacja i konserwacja instalacji fotowoltaicznych**

Wykaz jednostek modułowych i orientacyjna liczba godzin dydaktycznych

Nazwa modułu	Nazwa jednostki modułowej	Przewidziana liczba godzin dydaktycznych
<b>M2. Planowanie, instalacja, modernizacja i konserwacja instalacji fotowoltaicznych</b>	M2.J1. Planowanie instalacji systemów fotowoltaicznych	28
	M2.J2. Montaż instalacji fotowoltaicznych	20
	M2.J3. Modernizacja i konserwacja instalacji fotowoltaicznych	16
	<b>Razem:</b>	<b>64</b>



## 2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Przystępując do realizacji programu jednostki modułowej **M2.J2. Montaż instalacji fotowoltaicznych** wchodzącej w skład modułu **M2. Planowanie, instalacja, modernizacja i konserwacja instalacji fotowoltaicznych**, powinieneś umieć:

- korzystać z różnych źródeł informacji,
- określać własne prawa i obowiązki,
- rozpoznawać podstawowe akty prawne,
- uczestniczyć w dyskusji, prezentacji i obronie własnego stanowiska,
- poczuwać się do odpowiedzialności za zdrowie (życie) własne i innych,
- stosować podstawowe zasady etyczne (rzetelnej pracy, punktualności, dotrzymania danego słowa, uczciwości, odpowiedzialności za skutki, prawdomówności),
- współpracować w grupie z uwzględnieniem podziału zadań,
- obsługiwać komputer na poziomie podstawowym.

### 3. USZCZEGÓLWIONE EFEKTY KSZTAŁCENIA

#### M2.J2. Montaż instalacji systemów fotowoltaicznych

Słuchacz po zrealizowaniu zajęć w ramach jednostki modułowej osiągnie następujące efekty kształcenia:

Wiedza (zna i rozumie):	Umiejętności (potrafi):
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Przepisy bezpieczeństwa i higiena pracy przy wykonywaniu instalacji.</li> <li>– Plan instalacji.</li> <li>– Narzędzia i wyposażenie do montażu instalacji systemów fotowoltaicznych.</li> <li>– Zasady praktyczne instalacji modułu, dobór i wymiarowanie przewodów oraz kabli.</li> <li>– Zasady konfigurowania i uruchamiania systemów fotowoltaicznych.</li> <li>– Współpraca akumulatorów z systemami fotowoltaicznymi.</li> <li>– Technika przeciwprzepięciowa w instalacjach fotowoltaicznych.</li> <li>– Instalacja odgromowa oraz instalacja uziemienia.</li> <li>– Zasady montażu systemów fotowoltaicznych.</li> <li>– Typowe błędy montażowe instalacji.</li> <li>– Warunki odbioru i dokumentacja techniczna instalacji.</li> <li>– Kosztorys, oferta, umowa na montaż urządzeń i systemów fotowoltaicznych.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Stosować przepisy bezpieczeństwa i higiena pracy przy wykonywaniu instalacji.</li> <li>– Wykonywać plan prac instalacyjnych.</li> <li>– Posługiwać się narzędziami i wyposażeniem do montażu.</li> <li>– Dokonywać oceny jakości użytych materiałów i wykonanych robót.</li> <li>– Instalować moduły, dobierać przewody oraz kable zgodnie z dokumentacją projektową.</li> <li>– Konfigurować i uruchamiać systemy fotowoltaiczne.</li> <li>– Dobierać i montować zabezpieczenia przeciwprzepięciowe w instalacjach fotowoltaicznych.</li> <li>– Dobierać i montować elementy instalacji odgromowej oraz uziemienia.</li> <li>– Montować systemy fotowoltaiczne.</li> <li>– Wykrywać i analizować typowe błędy związane z montażem instalacji.</li> <li>– Opracowywać dokumentację powykonawczą zmontowanej instalacji fotowoltaicznej.</li> <li>– Wykonywać przedmiar i obmiar robót związanych z montażem urządzeń i systemów fotowoltaicznych.</li> <li>– Sporządzać kosztorysy oraz przygotowywać oferty i umowy dotyczące montażu urządzeń i systemów fotowoltaicznych.</li> </ul>
<b>Kompetencje społeczne:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wykonuje i kończy pracę zgodnie z kryteriami efektywności, oszczędności i wydajności.</li> <li>– Organizuje w sposób produktywny swoją pracę.</li> <li>– Przestrzega standardów montażu ustalonych przez organizację.</li> <li>– Utrzymuje porządek na stanowisku pracy i w jego pobliżu, zgodnie z ustalonymi wymaganiami przez firmę.</li> <li>– Uczestniczy w pracy zespołu i współpracuje z jego członkami.</li> <li>– Interpretuje i wykonuje pracę zgodnie z instrukcjami i przepisami.</li> </ul>	

## 4. MATERIAŁ NAUCZANIA

### 4.1. Przepisy BHP dotyczące instalacji

Przy omawianiu przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy podczas instalacji systemów fotowoltaicznych nie można pominąć dwóch głównych zagadnień związanych z:

- wykonywaniem prac pod napięciem oraz
- wykonywaniem prac na wysokościach.

Szczególną uwagę należy poświęcić na możliwość wystąpienia obydwu zagrożeń jednocześnie.

Instalatorzy wykonujący prace monterskie na dachach budynków powinni posiadać uprawnienia dopuszczające do prac wysokościowych, powinni być wyposażeni w specjalistyczny sprzęt zabezpieczający przed upadkiem z wysokości oraz przed porażeniem prądem.

Prace powinny być wykonywane starannie z użyciem odpowiednio dobranych materiałów i systemów montażowych, aby zapewnić długoletnią i bezawaryjną pracę systemu fotowoltaicznego.

#### Podstawowe czynności przed rozpoczęciem pracy

Przed rozpoczęciem pracy należy:

- zapoznać się z dokumentacją i zaplanować kolejność poszczególnych etapów pracy,
- przygotować konieczne narzędzia z izolowanymi uchwytami, chroniącymi przed bezpośrednim porażeniem,
- przygotować niezbędne tablice ostrzegawcze,
- przygotować konieczny sprzęt pomiarowy oraz niezbędny sprzęt izolacyjny, jak: rękawice dielektryczne, zabezpieczające przed skutkami przypadkowego dotknięcia dwóch przewodów o różnych potencjałach (kontrolowane co 6 miesięcy), kalosze, dywaniki, pomosty izolacyjne i okulary ochronne.

#### Prace mechaniczne

Pierwszą czynnością podczas montażu modułu fotowoltaicznego jest prawidłowe osadzenie konstrukcji wsporczej. Konstrukcja wsporcza musi być dobrana do rodzaju instalacji. Niemniej jednak niezależnie od tego czy to będzie montaż na gruncie, na dachu czy też jako BIPV na elewacji konstrukcja musi spełniać określone normy techniczne.



Rys. 1. Montaż konstrukcji mechanicznej dla naziemnego systemu PV

Źródło: <https://solarprofessional.com/articles/products-equipment/racking/ground-mount-pv-racking-systems#.W7uZyyszapo>, (dostęp: 20.09.2018).

Następnie należy do konstrukcji wsporczej przymocować zgodnie z zaplanowaną kolejnością moduły fotowoltaiczne wykorzystując oryginalne atestowane elementy montażowe danego producenta i przy użyciu zalecanych w instrukcji montażu narzędzi i przyrządów. Pomijając montaż na gruncie, pozostałe sposoby montażu będą pracami na wysokości. Istnieje szereg przepisów i zaleceń jak takie prace wykonywać.



Rys. 2. Instalator systemu PV pracujący na wysokości przy montażu modułów

Źródło: <http://theconversation.com/why-rooftop-solar-is-disruptive-to-utilities-and-the-grid-39032>, (dostęp: 20.09.2018).

**Prace na wysokości** należą do prac szczególnie niebezpiecznych, upadek z wysokości jest bardzo częstą przyczyną wypadków, na ogół ciężkich lub śmiertelnych.

Ocenia się że upadek stanowił przyczynę ponad 30% wszystkich wypadków przy pracy. Dlatego też podczas robót montażowych często wykonywanych na wysokości, muszą być zachowane wyjątkowe środki ostrożności z uwagi na duży stopień zagrożenia zdrowia i życia pracowników.

Pracą na wysokości jest praca wykonywana na powierzchni znajdującej się na wysokości co najmniej 1,0 m nad poziomem podłogi lub ziemi. Na powierzchniach wzniesionych na wysokość powyżej 1,0 m nad poziomem podłogi lub ziemi, na których w związku z wykonywaną instalacją mogą przebywać pracownicy, lub służących jako przejścia, powinny być zainstalowane balustrady składające się z poręczy ochronnych.

Jeżeli ze względu na rodzaj i warunki wykonywania prac na wysokości zastosowanie tego typu balustrad jest niemożliwe, należy stosować inne skuteczne środki ochrony pracowników przed upadkiem z wysokości, odpowiednie do rodzaju i warunków wykonywania pracy.

Prace na wysokości powinny być organizowane i wykonywane w sposób nie zmuszający pracownika do wychylania się poza poręcz balustrady lub obrys urządzenia, na którym stoi. Przy pracach na: drabinach, klamrach, rusztowaniach i innych podwyższeniach do 2m należy zapewnić, aby drabiny, klamry, rusztowania, pomosty i inne urządzenia były stabilne i zabezpieczone przed nieprzewidywaną zmianą położenia oraz posiadały odpowiednią wytrzymałość na przewidywane obciążenie.



Rys. 3. Instalator systemu PV pracujący na wysokości

Źródło: <https://easi-dec.co.uk/products/solar-access-system>, (dostęp: 20.09.2018).

Przy pracach wykonywanych na rusztowaniach na wysokości powyżej 2 m od otaczającego poziomu podłogi lub terenu zewnętrznego oraz na podestach ruchomych wiszących należy w szczególności:

- zapewnić bezpieczeństwo przy komunikacji pionowej i dojścia do stanowiska pracy,
- zapewnić stabilność rusztowań i odpowiednią ich wytrzymałość na przewidywane obciążenia,
- przed rozpoczęciem użytkowania rusztowania należy dokonać odbioru technicznego w trybie określonym w odrębnych przepisach.

Przy montowaniu części mechanicznych należy na bieżąco kontrolować i sprawdzać jakość wykonywanych operacji.

### Prace elektryczne

Po czynnościach związanych z mocowaniem konstrukcji przystępujemy do wykonywania połączeń elektrycznych, które obejmują połączenia elektryczne pomiędzy modułami, wykonywanie połączeń kablowych do skrzynki DC (connection box) instalację zabezpieczeń oraz jeżeli jest taka konieczność przeprowadzamy operacje związane z instalacją odgromową.

Moduł elektryczny jest urządzeniem aktywnym elektrycznym wytwarzającym energię elektryczną.

Kontakt z aktywnie elektrycznie częściami modułu mogą spowodować przepalenie, iskrzenie, poparzenie lub porażenie prądem. Moduł fotowoltaiczny wytwarza napięcie elektryczne kiedy promienie słoneczne lub inne źródło oświetla jego powierzchnię.

Jest dobrą praktyką, że podczas montażu należy przykryć moduł plandeką, aby odizolować promienie słoneczne na czas instalacji.



Rys. 4. Zabezpieczanie modułów PV plandeką  
Źródło: <http://securedsolar.com/why/>, (dostęp: 20.09.2018).

Roboty elektryczne do jakich należą prace przy montażu instalacji fotowoltaicznych to prace związane z wykonywaniem wielu połączeń elektrycznych zarówno w obwodach prądu stałego jak i prądu przemiennego.

Prace te odbywają się na otwartym terenie (instalacje naziemne oraz połączenia modułów na dachu) oraz w budynkach – prowadzenie instalacji falownika oraz rozdzielnicy i zabezpieczeń prądu przemiennego.

Prace elektryczne powinien wykonywać pracownik – osoba dorosła, który ukończył szkołę zawodową o specjalności elektryka ma aktualne uprawnienia zawodowe, potwierdzone odpowiednim zaświadczeniem kwalifikacyjnym, posiada dobry stan zdrowia i został przeszkolony w zakresie BHP.

Instalator systemów fotowoltaicznych zatrudniony przy robotach elektrycznych powinien być wyposażony w odpowiednią odzież roboczą, rękawice ochronne oraz niezbędny zestaw narzędzi.

Przed przystąpieniem do montażu należy sprawdzić czy każdy aktualnie montowany moduł jest nie uszkodzony. W przypadku stwierdzenia uszkodzenia niezwłocznie przeprowadzić wymianę uszkodzonego elementu lub części, bazując na elementach oryginalnych lub zareklamować.



Rys. 5. Prawidłowo zapakowany moduł PV  
Źródło: <http://sinovoltaics.com/solar-basics/basics-of-solar-panel-packaging/>, (dostęp: 20.09.2018).

### Montaż instalacji stałoprądowej

Instalowanie modułów fotowoltaicznych na dachu należy przeprowadzać zgodnie z zaleceniami producentów modułów, przewodów elektrycznych oraz złączy.

Do przeprowadzania tych prac należy używać narzędzi wskazanych przez producentów poszczególnych elementów, a do zaciskania przewodów oryginalnych dedykowanych zaciskarek.



Rys. 6. Przykładowy zestaw zaciskarek przewodów DC dla instalacji PV  
Źródło: <http://www.solar-test-equipment.co.uk/knipex-mc4-tool-kit-24>, (dostęp: 20.09.2018).

Przy układaniu przewodów należy szczególną uwagę skierować na zabezpieczenie ich przed uszkodzeniami mechanicznymi. Przy wykonywaniu kuciu bruzd i otworów w ścianach budynków stosować okulary i rękawice ochronne.

Każdy wykonany odcinek instalacji elektrycznej należy sprawdzać pod kątem zamocowania mechanicznego, a przede wszystkim pod kątem poprawności elektrycznej przy pomocy wskaźników lub mierników.

### Montaż instalacji zmiennoprądowej

W instalacjach domowych oraz zintegrowanych z budynkiem instalacjach elewacyjnych część zmiennoprądowa jest umieszczona wewnątrz budynku. Natomiast dla instalacji na gruncie mogą wystąpić instalacje zmiennoprądowe na otwartym terenie lub w budynku. W tym przypadku przy montażu należy zachować szczególną ostrożność ze względu na ukształtowanie terenu oraz warunki atmosferyczne.

Zaleca się aby wszystkie prace na zewnątrz związane z prowadzeniem i podłączaniem elementów instalacji elektrycznej prowadzić podczas bezdeszczowej pogody o niewielkiej lub ograniczonej wilgotności.

Montaż instalacji AC obejmuje instalację falownika, głównego przewodu AC prowadzącego od inwertera do rozdzielni, instalację zabezpieczeń oraz podłączenie do sieci elektrycznej w rozdzielni. Czynności te należy przeprowadzać zgodnie z zaleceniami producentów poszczególnych elementów.

W razie stwierdzenia w czasie pracy uszkodzenia w instalacji, zatrzymać i wyłączyć dopływ energii (dla części DC jedynym skutecznym sposobem jest przykrycie modułów plandeką) natomiast dla instalacji AC należy odłączyć rozłącznikiem główny DC obwód PV, a część AC rozłącznikiem głównym AC w rozdzielni.

W przypadku wystąpienia porażenia prądem elektrycznym każdy z instalatorów powinien bezwzględnie znać i umieć stosować praktycznie podstawowe zasady ratownictwa porażonych prądem elektrycznym.

W takim przypadku należy:

- usunąć porażoną osobę możliwie szybko spod działania prądu,
- zastosować sztuczne oddychanie (nie wolno przerywać aż do chwili przybycia lekarza),
- udzielić pierwszej pomocy,
- niezwłocznie wezwać lekarza.

### Główne przyczyny powstawania pożarów

Przyczyny powstania pożaru w instalacji fotowoltaicznej są najczęściej zlokalizowane w obwodzie prądu stałego (szczególnie w tych umieszczonych na dachu budynku) oraz w części AC w falowniku lub rozdzielni głównej.

W części DC najczęściej mamy do czynienia z zapłonem spowodowanym uszkodzeniem okablowania solarnego lub złącza.

Dochodzi wtedy do powstania łuku elektrycznego, pojawia się otwarty ogień i dochodzi do zapalenia poszycia dachowego.



Rys. 7. Pożar generatora PV

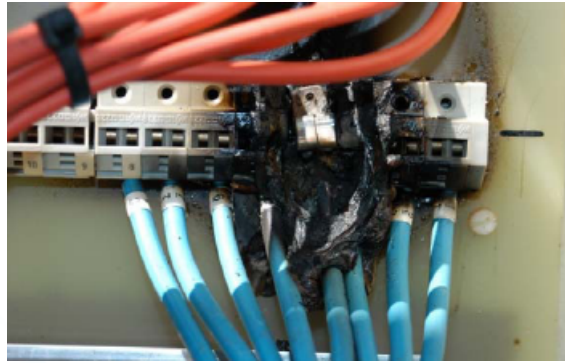
Źródło: <http://www.greenworldinvestor.com/wp-content/uploads/2016/06/PV-on-fire.jpg>, (dostęp: 20.09.2018).

Kolejną przyczyną są mikrouszkodzenia modułów PV podczas eksploatacji bądź na etapie produkcji lub transportu – niezauważone przez instalatora. W miejscach tych uszkodzeń powstają gorące punkty (hot spot), których temperatura jest na tyle wysoka, że również dochodzi do pojawienia się otwartego ognia na dachu.

Po stronie AC najczęstsze przyczyny pożarów to nieprawidłowy dobór falownika i jego uszkodzenie podczas pracy, nieprawidłowy dobór i montaż okablowania AC oraz nieprawidłowy dobór zabezpieczeń.

Tego typu sytuacje spowodowane są najczęściej przez brak kontroli wejściowej komponentów użytych do instalacji, nieumiejętne prowadzenie prac montażowych, przypadkowe przecięcie przewodów. Wynika to przede wszystkim z nieprawidłowego przeprowadzenia prac montażowych przez instalatorów.





Rys. 8. Pożar rozdzielnic AC w instalacji PV

Źródło: [https://www.researchgate.net/publication/254027370\\_Fault\\_analysis\\_in\\_solar\\_PV\\_arrays\\_under\\_Low\\_irradiance\\_conditions\\_and\\_reverse\\_connections](https://www.researchgate.net/publication/254027370_Fault_analysis_in_solar_PV_arrays_under_Low_irradiance_conditions_and_reverse_connections), (dostęp: 20.09.2018).

## 4.2. Plan instalacji

Wszelkie prace przy montażu systemu fotowoltaicznego powinny być szczegółowo zaplanowane. Dobre rozplanowanie robót oraz sprawdzenie montowanych urządzeń pomoże uniknąć niepotrzebnego zamieszania w trakcie montażu, skróci czas montażu i zredukuje liczbę nieprzewidzianych sytuacji.

Niektóre z elementów mogą wymagać instalacji w obudowach odpornych na działanie warunków atmosferycznych. Instalator powinien oszacować, na etapie wstępnego planowania, wielkość przestrzeni potrzebnej na zainstalowanie wszystkich wymaganych komponentów.

Montaż rozpoczyna się od mocowania konstrukcji wsporczych, a następnie modułów fotowoltaicznych wraz z okablowaniem i zabezpieczeniami strony DC. Następnym etapem jest montaż falowników, okablowanie strony AC oraz zabezpieczeń strony AC.

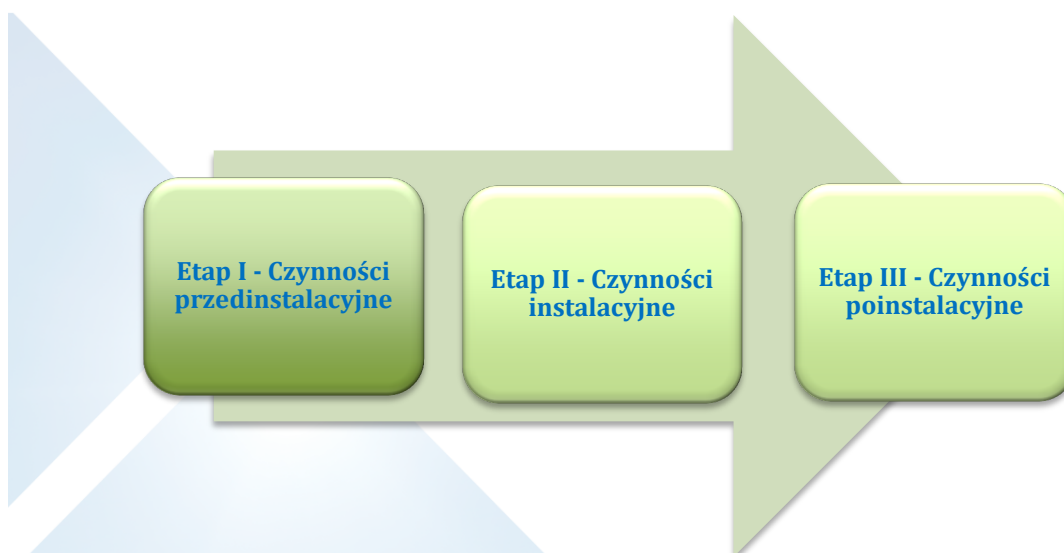
W przypadku, gdy zachodzi konieczność wykonania instalacji odgromowej należy ją zainstalować.

Po wykonaniu wszystkich prac instalacyjnych instalator dokonuje wstępnego uruchomienia systemu pamiętając o kolejności włączania obwodów. W pierwszej kolejności załączany jest obwód DC, a następnie obwód AC.

Wyłączenie instalacji fotowoltaicznej powinno odbywać się w kolejności odwrotnej, czyli najpierw odłączamy obwód AC od sieci, a następnie DC.

W trakcie wstępnego uruchomienia systemu wykonuje się czynności regulacyjne w falownikach, regulatorach napięcia lub ładowarkach akumulatorów.

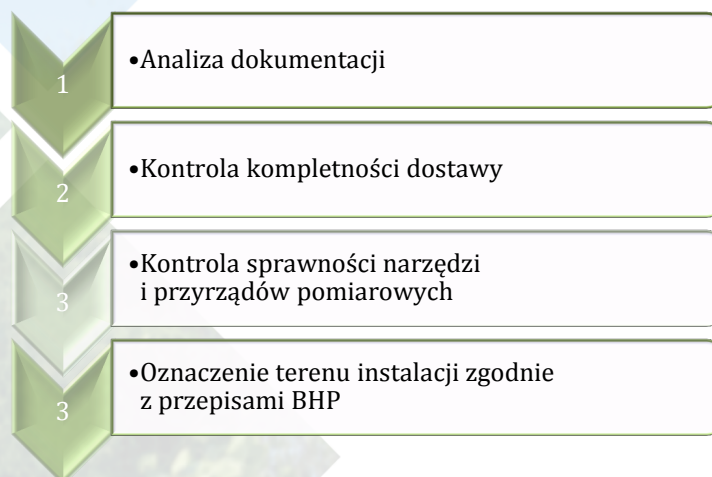
Po zakończeniu czynności uruchomieniowych instalator powinien przeszkolić użytkownika w zakresie bieżącej obsługi systemu fotowoltaicznego.



Rys. 1. Etapy podczas procesu instalacji systemu PV  
 Źródło: opracowanie własne

### ETAP I. Czynności przedinstalacyjne

Poszczególne czynności przedinstalacyjne obrazuje diagram z rysunku 1.



Rys. 2. Czynności przedinstalacyjne  
 Źródło: opracowanie własne

#### Analiza dokumentacji

Dostarczona dla zespołu instalacyjnego dokumentacja musi być sprawdzona pod względem formalnym, tzn. czy zawiera wszystkie informacje niezbędne do przeprowadzenia prac instalacyjnych, czy jest sporządzona i zatwierdzona przez osoby do tego uprawnione.

Uprawnienia do projektowania instalacji elektrycznych w budownictwie są nadawane w każdym kraju UE zgodnie z wewnętrznymi przepisami.

Ponadto należy zweryfikować jej kompletność w części elektrycznej i mechanicznej. Tylko poprawnie wykonana dokumentacja pozwoli zrealizować proces montażu systemu zgodnie ze sztuką.

### Kontrola kompletności dostawy

Kolejnym krokiem jest kontrola kompletności dostawy. Należy bezpośrednio w trakcie dokonywania zakupów samodzielnie, lub niezwłocznie podczas dostawy na dokonać sprawdzenia ilościowego i jakościowego wszystkich detali. Pozwoli to nam uniknąć w przyszłości ewentualnych sporów z dostawcami poszczególnych elementów. Ze szczególną troską należy weryfikować jakość modułów fotowoltaicznych, gdyż od ich jakości zależy bezpieczeństwo użytkowników oraz wydajność systemu.

### Kontrola sprawności narzędzi i przyrządów pomiarowych

Prowadząc prace instalacyjne elektryczne w większości przypadków również na wysokości ze szczególną troską należy skompletować odpowiednie przyrządy pomiarowe (mierniki napięcia, prądu, izolacji, linijki pomiarowe itp.), drabiny, środki ochrony osobistej, odzież roboczą.

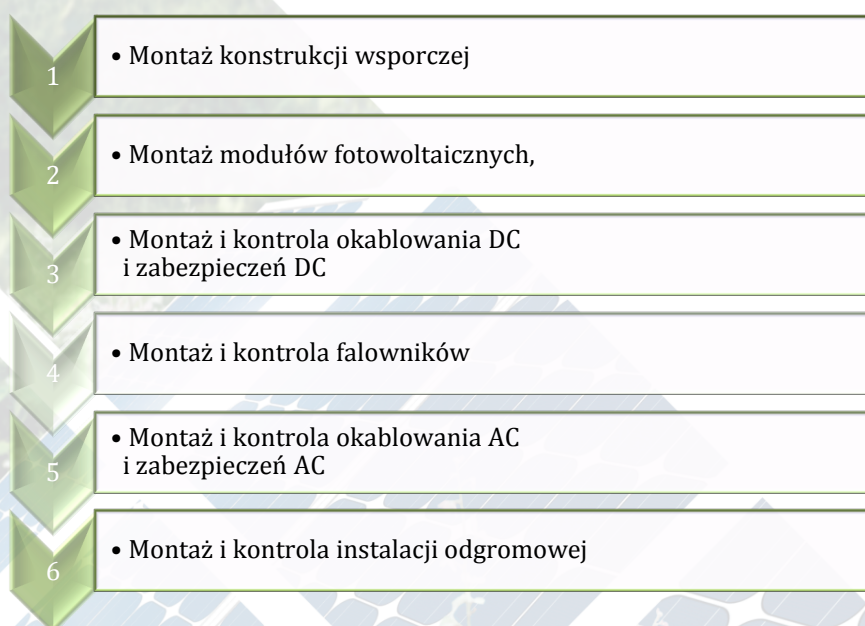
Wszystkie w/w detale muszą być sprawne, z odpowiednimi ważnymi atestami zapewniając poprawność prowadzonych prac oraz niezbędne bezpieczeństwo instalatorów podczas prowadzenia robót jak i użytkownikom po oddaniu do eksploatacji całego systemu.

### Oznaczenie terenu instalacji zgodnie z przepisami BHP

Ponieważ większość prac prowadzonych w trakcie realizacji inwestycji fotowoltaicznych jest przeprowadzana w terenie, na zewnątrz należy zgodnie z obowiązującymi przepisami ogrodzić i oznaczyć wyraźnie i jednoznacznie teren instalacji. Pozwoli to uniknąć pojawienia się w obszarze zagrożonym osób trzecich i zminimalizować ryzyko udziału tych osób w wypadku.

## ETAP II. Czynności instalacyjne

Poszczególne działania podczas instalacji obrazuje poniższy diagram.



Rys. 3. Kolejne kroki instalacyjne  
Źródło: opracowanie własne

### **Montaż konstrukcji wsporczej**

Po przeprowadzeniu wyżej wymienionych czynności początkowych każdą instalację rozpoczynamy od ustawienia konstrukcji wsporczej. Niezależnie czy instalacja jest przeprowadzona na gruncie, na dachu czy też zintegrowana z budynkiem należy zgodnie z dokumentacją wykonać system wsporczy.

Należy postępować zgodnie z zaleceniami producentów tych systemów stosując zalecane narzędzia i przyrządy pomiarowe niezbędne do przeprowadzenia tych prac. Po ich zakończeniu należy przeprowadzić kontrolę poprawności montażu.

### **Montaż modułów fotowoltaicznych**

Moduły fotowoltaiczne stanowią kluczowy element od których zależy bezpieczeństwo i wydajność generatora fotowoltaicznego. Przed podjęciem czynności montażowych należy bezwzględnie dokonać inspekcji wzrokowej każdego z modułów w celu wykrycia ewentualnych nieprawidłowości (szczelność ramy, gładkość szkła, poprawność zamontowania puszki DC oraz zintegrowany przewódów i złącz. Montaż każdego modułu należy sprawdzić pod względem jego trwałości, czy przewody nie zostały przypadkowo zaciśnięte w instalacji wsporczej oraz zweryfikować krytyczne odległości (np. odstęp od krawędzi dachu, czy też wysokość od płaszczyzny dachu). Ważne jest aby moduły były zamontowane w jednej płaszczyźnie.

### **Montaż i kontrola okablowania DC i zabezpieczeń DC**

Prowadzenie przewodów DC należy wykonać zgodnie z podstawowymi zasadami, Dostarczony na miejsce przewód DC należy na bieżąco sprawdzać pod względem jakościowym. Czy nie ma przecięć instalacji, załamania przewodów. Również złącza DC i skrzynkę połączeniową DC (connection box) należy poddać kontroli pod kątem jakości.

Instalację należy prowadzić ściśle z wytycznymi producentów według ustalonych tras kablowych przy użyciu dedykowanych narzędzi i oryginalnych zaciskarek przewodów. Te wydawałoby się proste czynności wymagają ogromnej staranności gdyż ich nieprawidłowe przeprowadzenie zdecydowanie zwiększa ryzyko uszkodzenia instalacji, a na pewno jest przyczyną spadku wydajności gdyż generowane straty energii na rezystancjach przewodów i połączeń całego obwodu DC są odpowiednio wyższe.

Po zmontowaniu całego generatora PV konieczna jest weryfikacja poprawności montażu mechanicznego oraz sprawdzenie pod względem elektrycznym.

### **Montaż i kontrola falowników**

Montaż obwodu prądu przemiennego rozpoczynamy od instalacji falownika (falowników). Standardowo sprawdzamy kompletność i jakość dostawy. Następnie używając dedykowanych przez producenta narzędzi montujemy go w odpowiednim miejscu zgodnie z zaleceniami producenta. Idealne miejsce do instalacji falowników powinno być chłodne, suche, bezpyłowe oraz znajdujące się blisko modułów PV, skrzynki rozdzielczej oraz akumulatorów.

Może to być miejsce na konstrukcji wsporczej, w rozdzielnicy lub n ścianie. W każdym z tych przypadków instalacja musi być bezpieczna i zapewniać prawidłową wentylację urządzenia. Po sprawdzeniu poprawności montażu w następnej kolejności dokonujemy niezbędnych czynności programowania urządzenia, realizacji dedykowanych nastaw parametrów elektrycznych niezbędnych do prawidłowej pracy całej instalacji.

### Montaż i kontrola okablowania AC i zabezpieczeń AC

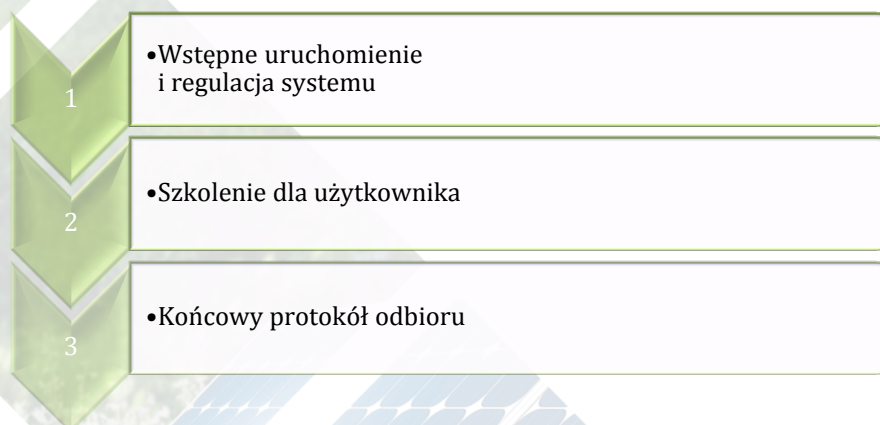
Po sprawdzeniu poprawności działania instalacji przystępujemy do montażu okablowania po stronie AC. Podobnie jak w przypadku obwodu DC prowadzenie przewodów AC należy wykonać zgodnie z podstawowymi zasadami prowadzenia tras kablowych, a dostarczony na miejsce przewód AC należy na bieżąco sprawdzać pod względem jakościowym. Montaż zabezpieczeń instalacji po stronie AC wykonujemy po uprzedniej kontroli jakościowej.

### Montaż i kontrola instalacji odgromowej

Jeżeli zachodzi konieczność to ze względu na występowanie ryzyka uszkodzenia instalacji na skutek wyładowań atmosferycznych wykonujemy taką instalację. Ponieważ większość małych instalacji jest posadowiona na dachach to montaż prowadzimy w sposób standardowy. Instalację odgromową montujemy za pomocą tradycyjnych uchwytów dystansowych. Ich których liczba znacznie przekracza tę, która wymagana jest przy metodzie naciągowej. W ścianach oraz na dachach płaskich stosuje się głównie uchwyty wbijane oraz na kołki rozporowe. Dopuszcza się również stosowania uchwytów przyklejanych na lepik lub klej silikonowy (w przypadku dachów płaskich krytych papą, bądź blachą powlekaną). Jeśli dach jest spadzisty, zwykle konieczne jest stosowanie uchwytów gąsiorkowych, które mocowane są do połączy za pośrednictwem zaczepów lub przybijane do łąt. Występują również uchwyty przyklejane do dachówek ceramicznych za pomocą klejów wodoodpornych i mrozoodpornych.

### ETAP III. Czynności poinstalacyjne

Poszczególne prace finalne w procesie instalowania systemu fotowoltaicznego są pokazane na poniższym diagramie.



Rys. 4. Czynności końcowe w procesie instalacji systemu PV  
Źródło: opracowanie własne

### Wstępne uruchomienie i regulacja systemu

Po wybudowaniu całej instalacji dokonujemy wstępnego uruchomienia, a następnie przeprowadzamy niezbędne regulacje mające na celu osiągnięcie zakładanej wydajności systemu. Z natury rzeczy prace te powinniśmy przeprowadzać zarówno w dzień słoneczny jak i pochmurny weryfikując w ten sposób pracę systemu w różnych warunkach atmosferycznych.

### **Szkolenie dla użytkownika i protokół odbioru**

Na zakończenie instalacji przeprowadzamy szkolenie dla użytkownika z obsługi systemu (dotyczy to w szczególności interfejsu użytkownika oraz jeżeli występuje to skojarzonej z nim aplikacji). Jest to niezmiernie ważna część całego gdyż dzięki poprawnemu szkoleniu użytkownik nie tylko pozna kluczowe zasady eksploatacji, ale potwierdzi zaufanie do firmy instalacyjnej i być może poleci kolejnemu zainteresowanemu.

Zapoznajemy też z możliwymi alarmami, które mogą się pojawiać podczas pracy systemu oraz krokami jakie należy podejmować przy okazji ich wystąpienia.

Końcowym akcentem naszej pracy jest sporządzenie i podpisanie z inwestorem protokołu odbioru instalacji.

### **4.3. Narzędzia i sprzęt do instalacji systemów fotowoltaicznych**

W trakcie montażu systemu fotowoltaicznego instalator powinien mieć do dyspozycji dedykowane narzędzia ułatwiające montaż konstrukcji wsporczej oraz modułów fotowoltaicznych. Szczególnej uwagi wymagają również narzędzia oraz przygotowanie materiałów potrzebnych do wykonania okablowania po stronie DC. Obwody elektryczne po stronie DC są narażone na działanie warunków atmosferycznych przez cały okres użytkowania instalacji. Wszelkie połączenia, ułożenie i mocowanie przewodów oraz kabli, zaciskanie złączek DC powinno być wykonane starannie oraz dokładnie. Do złącz DC nie należy wprowadzać żadnych środków chemicznych, ponieważ mogą one doprowadzić do szybszej korozji materiałów, z których wykonane są styki złącz.

W zależności od rodzaju instalacji i rozplanowania jej poszczególnych elementów strona AC może być wykonana na zewnątrz lub w pomieszczeniach wewnętrznych. W każdym przypadku należy bezwzględnie przestrzegać przepisów dotyczących montażu instalacji AC, a w przypadku instalacji zewnętrznych stosować materiały odporne na warunki atmosferyczne. Po wykonaniu prac związanych z okablowaniem instalator powinien wykonać pomiary sprawdzające stan całej instalacji fotowoltaicznej.

#### **Narzędzia do montażu konstrukcji wsporczej**

Konstrukcja wsporcza jest elementem nośnym dla całej instalacji. Z punktu widzenia mechanicznego jest ona elementem pośredniczącym pomiędzy podłożem, (które stanowi grunt, powierzchnia dachu lub elewacja budynku), a modułami fotowoltaicznymi. Zarówno z jednej jak i z drugiej strony należy zapewnić pewne, trwałe na wiele lat i bezpieczne mechaniczne połączenie wszystkich współpracujących ze sobą elementów. Do wykonania tej konstrukcji niezbędne będą zarówno maszyny i urządzenia do robót gruntowych – mała koparka, urządzenia do palowania (kafar), czasami spycharka do niwelowania nierówności gruntu. Dla gruntów niestabilnych konieczne jest posiadanie urządzeń do wylewania fundamentów, na których staną słupy wsporcze.



Rys. 1. Kafar do wbijania konstrukcji gruntowych

Źródło: <https://solarprofessional.com/articles/design-installation/utility-scale-pv-ground-mount-racking-solutions/page/0/1#.W7z-P3szapo>, (dostęp: 20.09.2018).

Ponadto dla wszystkich rodzajów konstrukcji wsporczych niezbędne będą klucze do przykręcania modułów, drabiny rusztowania, zestaw poziomic oraz co bardzo ważne środki ochrony osobistej.

### Narzędzia i oprzyrządowanie do montażu modułów fotowoltaicznych

Ze względu na prostą budowę modułów fotowoltaicznych oraz różnego rodzaju dedykowane przez różnych producentów dopasowane do nich elementy montażowe zestaw narzędzi do ich posadowienia jest ograniczony do minimum.

Zestaw prostych kluczy (czasem wystarczy jeden), wkrętarka, metrówka, ołówek. Spowodowane to jest również koniecznością minimalizowania ilości narzędzi niezbędnych do przeprowadzenia tych prac, gdyż wykonywane są one na wysokości i często na pochylonej płaszczyźnie dachu.



Rys. 2. Przykładowy zestaw montażowy

Źródło: <https://www.solaris-shop.com/blog/essential-tools-for-solar-installations/>, (dostęp: 20.09.2018).

### Narzędzia do montażu okablowania strony DC instalacji fotowoltaicznej

Konieczne jest posiadania metrówki, ołówka do określania wymiarów i miejsca położenia uchwytów i tras kablowych, prawidłowego narzędzia do zdejmowania izolacji i zarabiania kabli.

Większość producentów złącz fotowoltaicznych od strony napięcia DC oferuje instalatorom profesjonalne komplety narzędzi pozwalające na wykonywanie połączeń o minimalnej

rezystancji oraz zapewniającą szczelność na poziom nawet IP68. Jest to bardzo ważne gdyż przewody te pracują przez cały rok na wolnym powietrzu w różnych warunkach atmosferycznych, wielokrotnie w środowisku wilgotnym lub mokrym.



Rys. 3. Zestaw narzędzi do złącz fotowoltaicznych D

Źródło: <http://www.lensunsolar.com/Lensun-MC3-MC4-Solar-Crimping-Tools-Solar-PV-Tool-Kits,Crimper-Stripper-cutter-spanners>, (dostęp: 20.09.2018).

### Narzędzia do montażu falowników fotowoltaicznych

Falowniki fotowoltaiczne w zależności od maksymalnej mocy jaką przetwarzają są urządzeniami ciężkimi. Ponadto pomimo wysokiej sprawności generowane podczas pracy straty wymagają sprawnego odprowadzania ciepła poprzez system radiatorów. Każdy z producentów do instrukcji obsługi załącza stosowny szablon do trasowania otworów na ścianie.

Ponadto **wiertarka** z odpowiednimi wiertłami oraz **zestaw kluczy** (może **wkrętarka**) do przykręcenia uchwytów do powieszenia inwertera. W celu podłączenia części elektrycznej niezbędne będą przyrządy pomiarowe (napięcie, prąd, rezystancja)

### Narzędzia do montażu okablowania strony AC instalacji fotowoltaicznej

Do instalacji po stronie AC wykorzystać możemy przyrządy pomiarowe używane do montażu falownika, natomiast prowadzenie tras kablowych, zarabianie po połączeniu przewodów będzie wymagało użycia **wiertarki**, **wkrętarki** oraz czasami **zestawu kluczy**.



Rys. 4. Przykładowe komplety narzędzi do pracy przy instalacji AC

Źródło: <https://www.wihatools.com/insulated-slimline-blade-19pc-set>, <http://www.imtechie.in/best-drilling-machine-reviews/>, (dostęp: 20.09.2018).

Niezbędne będą przyrządy do wyznaczania długości kabli, znakowania ewentualnych punktów do nawiercania dla potrzeb mocowań tras kablowych.



### Przyrządy pomiarowe do kontroli instalacji fotowoltaicznej

Po zakończeniu budowy instalacji fotowoltaicznej i przeprowadzeniu procesu konfiguracji i regulacji systemu należy dokonać pomiarów końcowych całej instalacji.

Pomiary elektryczne należy prowadzić przy użyciu **zalegalizowanych przyrządów pomiarowych do pomiaru napięcia i prądu oraz rezystancji**. Niezbędny będzie przyrząd do kontroli rezystancji uziemienia.



Rys. 5. Zestaw przyrządów do pomiarów instalacji fotowoltaicznej

Źródło: <https://www.benning.de/products-en/testing-measuring-and-safety-equipment/measuring-devices-for-photovoltaic/photovoltaic-tester-benning-pv-1-1.html>, (dostęp: 20.09.2018).

W przypadku konieczności dokładnego wyznaczenia wydajności całego systemu niezbędne będzie określenie natężenia promieniowania słonecznego. Do tego pomiaru niezbędny jest **pyranometr** – instrumentem do pomiaru promieniowania całkowitego pochodzącego z półkuli, rozproszonego i odbitego, najczęściej w całym zakresie widma światła słonecznego.



Rys.6. Pyranometr

Źródło: <https://www.test-therm.pl/katalog-produktow/meteorologia/pyranometry-promieniowanie-calkowite-rozproszone-i-odbite/lp-pyra-12>, (dostęp: 20.09.2018).

Poprzez stosowanie stosownych filtrów możliwy jest pomiar selektywny wybranych zakresów promieniowania.

#### 4.4. Praktyczne zasady instalacji modułów, doboru i wymiarowania przewodów i kabli

Instalacja modułu fotowoltaicznego powinna przebiegać zgodnie z zaleceniami producenta modułu. Jest jednak kilka wskazówek ogólnych dotyczących większości modułów fotowoltaicznych dostępnych na europejskim rynku.

##### Wskazówki i zalecenia producenta modułów fotowoltaicznych

Każdy producent modułów fotowoltaicznych w karcie katalogowej oraz w instrukcji montażu określa zestaw niezbędnych zaleceń, wskazówek niezbędnych do prawidłowego montażu tego elementu. Określa również szereg zastrzeżeń dotyczących czego nie wolno robić podczas montażu i eksploatacji. Stosowanie się do powyższych uwarunkowań pozwoli na poprawną pracę modułu przez cały okres jego żywotności.

##### Oględziny modułu fotowoltaicznego, wykrywanie uszkodzeń mechanicznych

Należy dokonać oględzin modułu fotowoltaicznego w celu wykrycia uszkodzeń mechanicznych. Instalator nie powinien instalować modułu uszkodzonego. Spowoduje on wadliwe działanie całego łańcucha fotowoltaicznego w którym będzie włączony. Należy dokładnie sprawdzić ramę czy nie jest uszkodzona, szczelność na przedniej i tylnej części modułu, jakość mocowania puszek przyłączeniowej oraz kabli i wtyczek DC.



Rys. 1. Przykład rozszczelnionego modułu fotowoltaicznego

Źródło: <https://www.homepower.com/articles/solar-electricity/design-installation/potential-pv-problems>,  
(dostęp: 20.09.2018).

Instalator przystępując do pracy na podstawie projektu określa miejsce zainstalowania modułów fotowoltaicznych i weryfikuje założenia projektowe pod kątem mogącego wystąpić zacienienia.

##### Weryfikacja warunków terenowych ze względu na możliwe zacienienie instalacji fotowoltaicznej

Przeszkody terenowe takie jak drzewa, poprzedzające budynki, kominy itp. Stanowią naturalne elementy wywołujące zacienienie modułów fotowoltaicznych. Instalator powinien

przewidzieć jak w konkretnym przypadku cień padający od w/w elementów będzie zmniejszał efektywną produkcję energii elektrycznej. Może do tego użyć narzędzi softwarowych, w których po odpowiednim odwzorowaniu całej instalacji wraz z przeszkodami terenowymi i urbanistycznymi może zasymulować wydajność całej instalacji.

### **Pionowe oraz poziome ustawienie modułów fotowoltaicznych**

Wizualizacja ta może obejmować zarówno pionowe jak i poziome ustawienie modułów. Może się tak zdarzyć, że najlepszy efekt zostanie uzyskany gdy część modułów będzie pracowała pionowo, a część poziomo. Sytuacja ta wystąpi gdy mamy do czynienia z instalacją typu wschód – zachód i w obu tych kierunkach istnieją różne przeszkody terenowe i budowlane.

### **Ekspozycja na promieniowanie słoneczne modułów będących w tym samym łańcuchu lub kolektorze fotowoltaicznym**

W celu maksymalizacji uzysku w procesie pozyskiwania energii elektrycznej należy dążyć do takiego ustawienia modułów w tym samym łańcuchu PV aby ekspozycja na promieniowanie była dla każdego modułu jednakowa. Stosując się do tej zasady dla każdego z łańcuchów możemy oczekiwać, że uzyskamy maksymalne prądy wyjściowe dla każdego z nich.

### **Weryfikacja doboru przekroju przewodów**

Ze względu na specyficzny charakter instalacji prądu stałego w instalacji fotowoltaicznej, niezbędne jest odpowiednie dobranie przekroju przewodów. Znając maksymalne prądy wyjściowe z każdego ze stringów możemy zweryfikować poprawność doboru przewodów w kolektorach i całym generatorze.

Podczas doboru i weryfikacji przekroju przewodów należy brać pod uwagę następujące, istotne czynniki:

- napięcia znamionowe przewodów,
- prąd znamionowy przewodów,
- minimalizację strat przesyłu.

Przekroje przewodów powinny być dobrane w taki sposób, aby stanowiły niską oporność dla przepływającego prądu elektrycznego, a wielkość strat na drodze moduły fotowoltaiczne → falownik → przyłączy energetyczne nie powinna przekraczać wartości 1% (dla strony DC i AC).

#### **Rezystancja właściwa przewodów miedzianych dla:**

2,5 mm <sup>2</sup> – 0,0074 Ω/m,	10,0 mm <sup>2</sup> – 0,0018 Ω/m,
4,0 mm <sup>2</sup> – 0,0046 Ω/m,	25,0mm <sup>2</sup> – 0,00073 Ω/m,
6,0 mm <sup>2</sup> – 0,0031 Ω/m,	35,0mm <sup>2</sup> – 0,00049 Ω/m.

### **Wymagania dla kabli fotowoltaicznych**

Przewody powinny być obudowane podwójną warstwą izolacji: podstawowej i dodatkowej, która w przypadku uszkodzenia jednej z izolacji zabezpiecza przed porażeniem prądem i chroni przed pożarem. Promień zgięcia przewodów powinien być stosunkowo duży co ułatwia w dużym stopniu montaż i chroni przed uszkodzeniami wewnętrznymi. Giętkość żyły powinna być klasy 5-tej lub 6-tej, co oznacza że przewód będzie bardzo giętki i odporny na wszelkie ruchy.

Materiał, z którego wykonany jest izolacja zewnętrzna przewod musi być odporny na różnego rodzaju oleje i czynniki chemiczne, które będą na niego oddziaływać przez długi czas. Temperatura pracy sięgać powinna powyżej 100°C, a żyła przy zwarcu musi wytrzymać temperaturę ponad 200°C przez kilka sekund. Im większa wytrzymałość cieplna żyły tym lepiej. Duże znaczenie ma także wytrzymałość przewodów na temperatury poniżej zera, ponieważ przewody w instalacjach PV muszą pracować przez cały rok, również w okresie zimowym. Standardem jest tutaj wytrzymałość 40°C poniżej zera, jednak nieliczni producenci oferują przewody o wytrzymałości do minus 50°C. Trwałość przewodów powinna wynosić co najmniej tyle ile wynosi okres bezawaryjności instalacji fotowoltaicznej czyli około 20 lat. Natomiast na chwilę obecną wielu producentów oferuje przewody, których trwałość została określona na 30 lat. Przewody do instalacji PV powinny charakteryzować się także niewrażliwością na promienie UV.



Rys. 3. Budowa kabla fotowoltaicznego, gdzie: 1. Żyła miedziana wielodrutowa giętka (Conductor), 2. Pierwsza warstwa izolacji, guma bezhalogenowa, kolor biały LSZH (Insulation), 3. Druga warstwa izolacji guma bezhalogenowa, nierozprzestrzeniająca płomienia, niewydzielająca dymu. Kolor czarny lub czerwony (Outer sheath)

Źródło: <https://voltaconsolar.com/solar-products/pv-cables/solar-cables/red-solar-cable-100m-drum-6mm.html>, (dostęp: 20.09.2018).

### Przykładowe parametry pracy

#### 1. Temperatura pracy:

- maksymalna temp. pracy: 120°C,
- maksymalna temperatura żyły podczas zwarcia: 250°C (max. 5 s),
- minimalna temp. pracy: -40°C.

#### 2. Właściwości przeciwpożarowe:

- niska emisja gazów korozyjnych wg UNE-EN 60754-2 oraz IEC 60754-2,
- niska emisja gęstości dymów wydzielanych podczas spalania wg UNE-EN 61034 oraz IEC 61034,
- współczynnik przezroczystości > 60%,
- odporność na rozprzestrzenianie płomienia: UNE-EN 60332-1 oraz IEC 60332-1 (badanie na pojedynczym przewodzie/kablu),
- właściwości bezhalogenowe wg UNE-EN 60754-1 oraz IEC 60754-1.

#### 3. Odporność na wodę:

- ochrona przed zatopieniem AD8.

#### 4. Właściwości mechaniczne:

- minimalny promień gięcia: 3x średnica kabla,
- udarność: AG2 – średnia odporność.

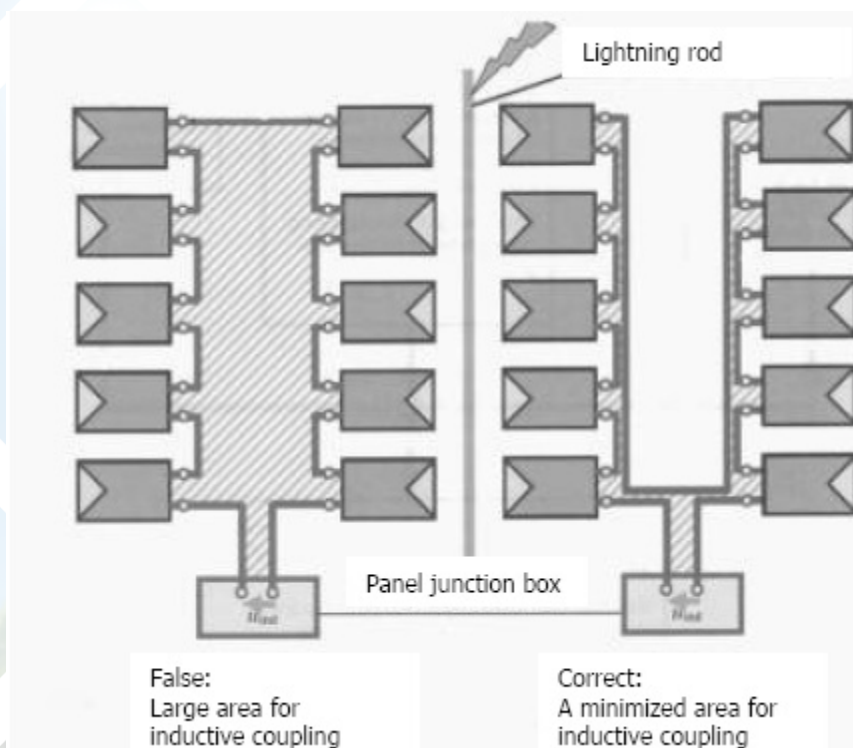
#### 5. Właściwości elektryczne:

- napięcie znamionowe DC: 1,8 kV.

## 6. Odporność chemiczna:

- odporność na oleje i czynniki chemiczne: Doskonała,
- odporność na smary i oleje mineralne: Doskonała,
- odporność na UV wg EN 50618, TÜV 2Pfg 1169-08 oraz UL 2556.

Droga układania kabli powinna być jak najkrótsza z jednej strony, ale również powinna uwzględniać minimalizowane zagrożenie związanego z wyładowaniami atmosferycznymi.



Rys. 4. Prawidłowe i nieprawidłowe ułożenie przewodów DC, gdzie: – Lightning rod – Piorunochron, – Panel junction box – Skrzynka przyłączeniowa panelu, – False: Large area for inductive coupling – Fałsz: duży obszar dla sprzężenia indukcyjnego, – Correct: A minimized area for inductive coupling – Prawidłowo: Minimalny obszar dla sprzężenia indukcyjnego

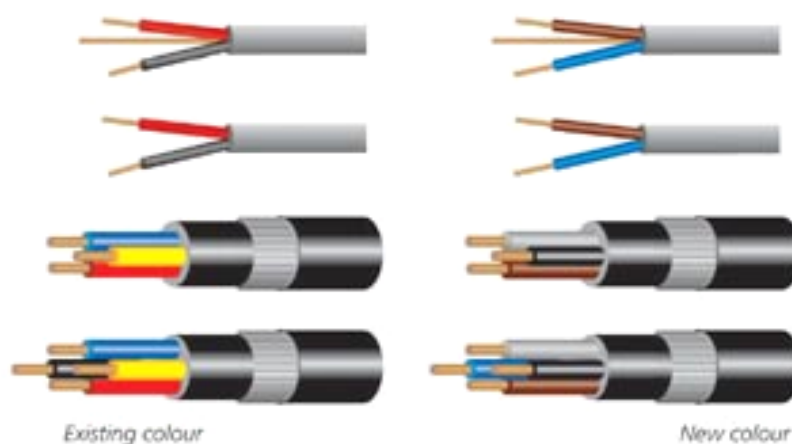
Źródło: <http://www.tec-institut.com/construction-of-a-100-kwp-solar-power-system-on-top-of-carports-built-for-a-parking-lot-with-60-parking-spaces-on-company-premises/>, (dostęp: 20.09.2018).

## Kable dla części zmiennoprądowej instalacji niskiego napięcia

Kable do obwodu prądu przemiennego powinien być giętki, olejoodporny i samogasnący. Może być układany bezpośrednio w ziemi oraz instalowany na korytkach, drabinkach kablowych oraz w kanałach kablowych. Kabel powinien być odporny na promieniowanie UV i przygotowany do instalowania na zewnątrz pomieszczeń bez stosowania dodatkowej ochrony również do stosowania w wilgotnych warunkach, włącznie z całkowitym krótkotrwałym zanurzeniem w wodzie.

Żyły wielodrutowe giętkie powinny być klasy giętkości 5 wg IEC 60228 i wykonane są z miedzi elektrolitycznej. Wysoka giętkość i mały promień gięcia (5xśrednica kabla) znacznie ułatwiają proces instalacji, umożliwiając szybsze układanie kabla nawet w szczególnie wymagających warunkach i miejscach o utrudnionym dostępie. Izolacja żył powinna być wykonana jest z polietylenu usieciowanego XLPE. Dzięki temu możliwe jest uzyskanie lepszych parametrów elektrycznych kabla (wyższa obciążalność długotrwała, niższa

stratność, wyższa wytrzymałość elektryczna) niż w przypadku kabli z izolacją żył z PVC. Szerszy zakres temperatur pracy kabla (-40°C do 90°C), a przy zwarciu maksymalna dopuszczalna temperatura to 250°C (do 5 s).



Rys. 5. Budowa kabla prądu przemiennego, gdzie: – Existing colour – Dotychczasowa kolorystyka, – New colour – Nowa kolorystyka

Źródło: [https://www.emsd.gov.hk/minisites/New\\_Cable\\_Colour\\_Code/en/tech1.html](https://www.emsd.gov.hk/minisites/New_Cable_Colour_Code/en/tech1.html), (dostęp: 20.09.2018).

W przypadku, gdy instalacja fotowoltaiczna realizowana jest w obiektach użyteczności publicznej lub dla części zmiennoprądowej wymagane są podwyższone parametry dotyczące bezpieczeństwa pożarowego zalecane jest zastosowanie kabli bezhalogenowych.

W przypadku wystąpienia pożaru nie wydzielają trujących związków halogenowych, takich jak chlor, fluor, brom i jod. Charakteryzują się niskim stopniem emisji gazów toksycznych i agresywnych gazów korozyjnych. Niskie są też ilości i gęstość wydzielanego dymu, a jego współczynnik przezroczystości jest większy niż 60%. Mają właściwości samogasnące i w przypadku wystąpienia pożaru nie rozprzestrzeniają płomienia, zarówno na pojedynczym kablu jak i w wiązce kablowej. Mogą być one układane bezpośrednio w ziemi oraz wewnątrz i na zewnątrz pomieszczeń bez konieczności dodatkowej ochrony przed wpływami środowiska zewnętrznego. Powłoka zewnętrzna kabli wykonana jest z tworzywa bezhalogenowego wysoce odpornych na promieniowanie UV oraz jest również odporna na oleje. Zastosowany na izolację żył z polietylen usieciowany pozwala na pracę w zakresie temperatur p od -40°C do +90°C, a najwyższa dopuszczalna temperatura żyły przewodzącej w warunkach zwarcia to 250°C. W obu przypadkach dla kabli DC i AC dostępne są wersje z zabezpieczeniem przeciw gryzoniom. Wszystkie typy posiadają oznakowanie odcinków metrowych co znacznie ułatwia pracę instalatorom.

### Złącza DC w instalacjach fotowoltaicznych

Złącze PV składa się z pary wtyk-gniazdo. Wewnątrz izolatorów znajdują się kontakty, które są zaciskane na wchodzących do złącza przewodach. Wejścia przewodów zabezpieczone są uszczelkami i nakrętką. Dzięki zachowaniu zależności biegunowości połączeń od montowanej na przewodzie części złącza (WTYK „minus” oraz GNIAZDO „plus”), praca instalatora jest znacznie ułatwiona. Pozwala to na uniknięcie pomyłek polaryzacji połączeń w przypadku potrzeby rozłączania i ponownego łączenia przewodów instalacji modułów PV.

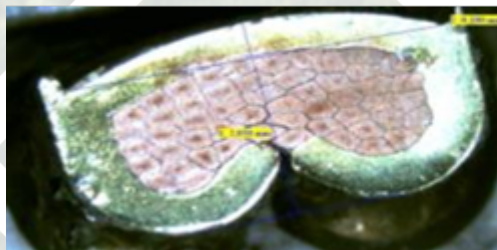


Rys. 6. Gniazdo (+) i wtyk (-) złącza fotowoltaicznego

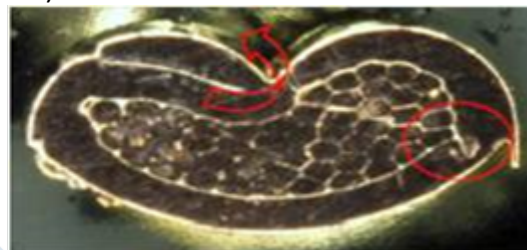
Źródło: <https://www.fabian.com.mt/en/products/webshop/14928/solar----power-connector-mc4-plug-and-socket-kitf.htm>, (dostęp: 20.09.2018).

Newralgicznym punktem złącza są kontakty, czyli elementy przewodzące, które są zaciskane na wchodzących do złącza przewodach, a następnie zapewniają one styk wewnątrz złącza. Poprawność ich zaciśnięcia oraz jakość samego kontaktu jest kluczowa jeśli chodzi o trwałość tego elementu oraz straty jakie może on wprowadzać na skutek rezystancji co w konsekwencji może doprowadzić do awarii. Rezystancja złącza jest bardzo istotnym parametrem z uwagi na straty wydajności jakie mogą one wprowadzać w systemie fotowoltaicznym. W sekcji okablowania modułów wielkość ta jest zwielokrotniana z uwagi na występowanie złączy w większej ilości (moduły, puszki zbiorcze), przez co ważna jest niska (oraz stabilna w okresie wieloletnim) rezystancja prawidłowo zaciśniętych złączy.

a)



b)



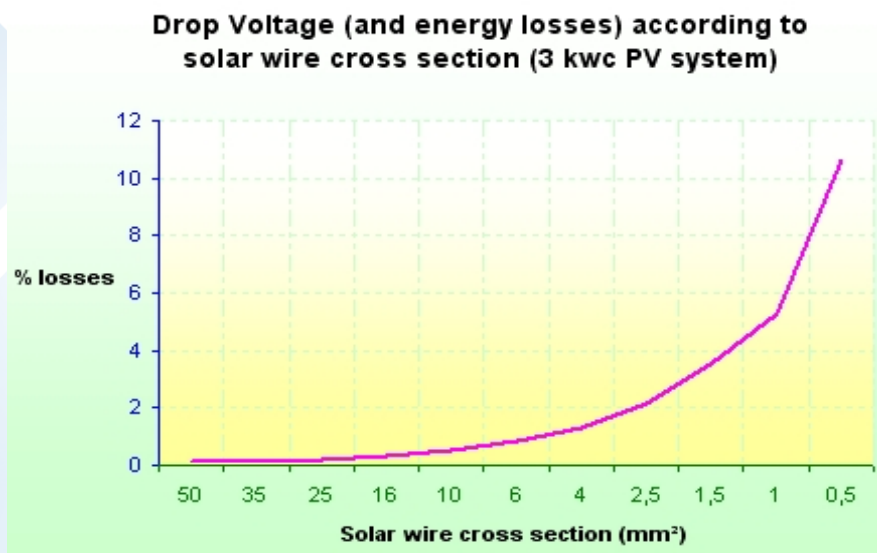
Rys. 7. Prawidłowo (a) i nieprawidłowo (b) zaciśnięte przewody na złączu fotowoltaicznym

Źródło: [kabelforum.de](http://kabelforum.de), (dostęp: 20.09.2018).

Przyczyny awarii mogą być różne:

- niskiej jakości złącza,
- poluzowanie połączenia, wynikające z ciągłych zmian temperatury, wibracji, zmęczenia materiału lub niepoprawnej instalacji,
- mechaniczne uszkodzenie izolacji w wyniku otarcia lub bezpośredniego działania sił zewnętrznych (wiatr, tworzenie się lodu, temperatura i promieniowanie słoneczne),
- degradacja izolacji pod wpływem czynników środowiskowych (promieniowanie UV, wilgoć, chemikalia, ciepło),
- uszkodzenie izolacji przez gryzonie i insekty,
- przepięciowe uszkodzenia izolacji.

Poza odpornością na awarie, ważne jest także, aby przewody nie powodowały strat wydajności systemu.



Rys. 8. Straty w okablowaniu DC, gdzie: – Drop Voltage (and Energy losses) according to solar wire cross section (3 kwc PV system) – Spadek napięcia (i straty energii) zgodnie z przekrojem przewodu słonecznego (system fotowoltaiczny 3 kwc); – % losses – % straty; –Solar wire cross section (mm<sup>2</sup>) – Przekrój przewodu (mm<sup>2</sup>)

Źródło: <https://photovoltaic-software.com/solar-tools/dc-ac-drop-voltage-calculator>, (dostęp: 20.09.2018).

### Czynności związane z łączeniem oraz rozłączaniem elementów generatora fotowoltaicznego

Połączenie generatora musi przebiegać w ściśle określonej kolejności:

- montaż konstrukcji nośnej,
- instalacja modułów w kolejności zgodnej z projektem,
- połączenia kablowe DC w poszczególnych kolektorach ze zwróceniem uwagi na pewne i trwałe mocowanie okablowania do konstrukcji wsporczej lub elementów dachu,
- montaż skrzynki połączeniowej DC i zabezpieczeń,
- podłączenie poszczególnych kolektorów do skrzynki połączeniowej,
- jeżeli w instalacji występuje instalacja odgromowa to należy ją podłączyć,
- sprawdzenie całości pod względem elektrycznym i mechanicznym.

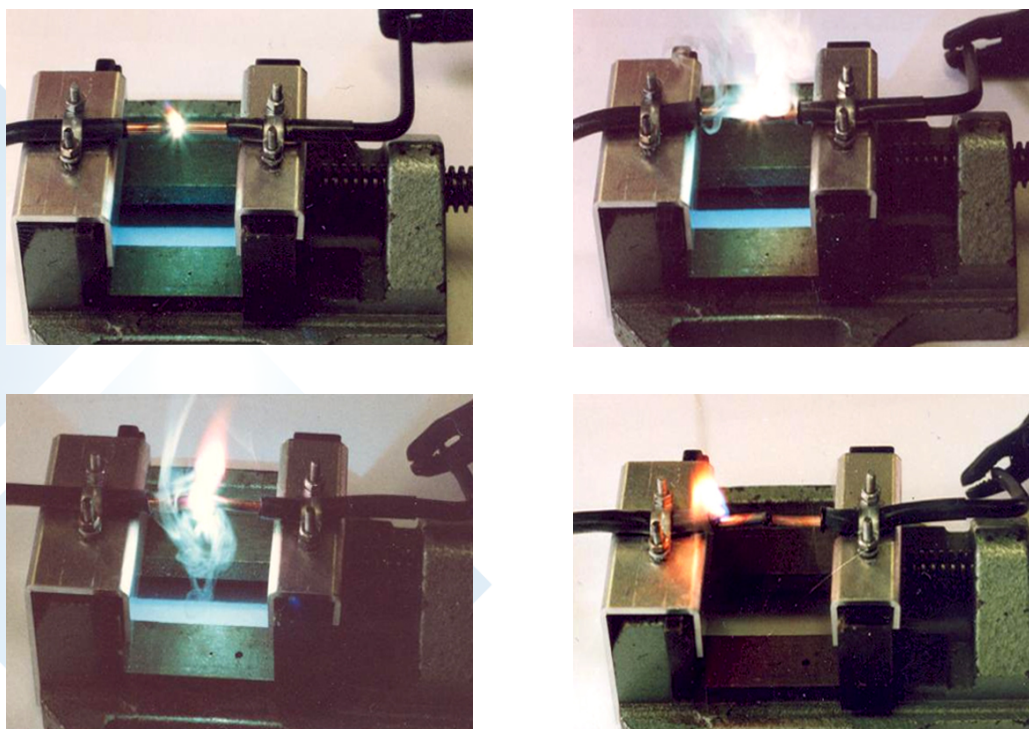
### Układanie wiązek przewodów i kabli instalacji fotowoltaicznej

#### Zasady montażu przewodów fotowoltaicznych w systemach dachowych

Przewody nie mogą luźno zwisać, „huścić się” czy leżeć luzem na powierzchni dachu, szczególnie w ciągach komunikacyjnych. Przewody należy zabezpieczyć np. za pomocą opasek zaciskowych lub umieścić je w trasach kablowych, listwach, kanałach itp.

Przewody nie mogą także być naprężone, nadmiernie zagięte lub ocierać się o elementy systemu PV lub budynku. Grozi to uszkodzeniem izolacji. Przewody muszą być poprowadzone do skrzynki zbiorczej. Należy zadbać o odpowiednie uszczelnienie, aby uniknąć przeciekania do wewnątrz skrzynki co może powodować zwarcia i możliwość powstawania łuku elektrycznego.





Rys. 9. łuk elektryczny w obwodzie DC

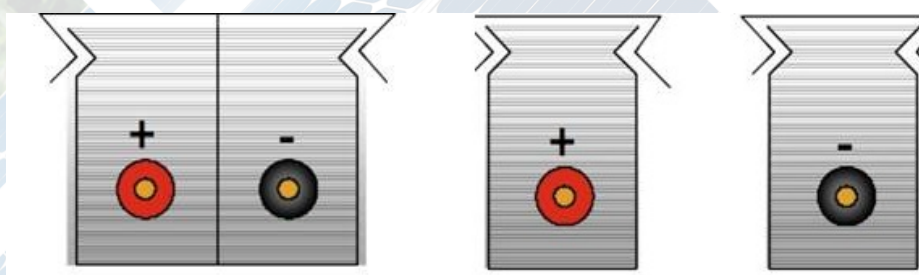
Źródło: ALTENER Projekt Soltrain 2004 Fraunhofer ISE, (dostęp: 20.09.2018).

### Zasady montażu przewodów fotowoltaicznych w systemach naziemnych

Przewody w systemach naziemnych umieszcza się w kanałach.

Kanały powinny chronić przewody przed warunkami atmosferycznymi, bezpośrednim nasłonecznieniem oraz uszkodzeniami mechanicznymi. Kanały na przewody zapobiegają też nieuprawnionemu dostępowi osób trzecich. Kanały należy umiejscowić na ziemi lub na konstrukcji wsporczej za modułami PV i powinny one prowadzić do skrzynki zbiorczej umieszczonej w pobliżu rzędów modułów. Przewody w kanałach nie powinny być umieszczone luźno, ale nie mogą być one też przytwierdzone zbyt mocno (rozszerzalność termiczna, naprężenia).

Przewody muszą być poprowadzone do skrzynki zbiorczej, a przepusty powinny być odpowiednio uszczelnione, aby uniknąć przeciekania do wewnątrz skrzynki. W miarę możliwości należy umieścić wejścia przewodów na spodniej stronie skrzynki. Dla lepszego zabezpieczenia instalacji przed ryzykiem iskrzenia lub zwarcia przewody dodatni i ujemny mogą być poprowadzone oddzielnie z wykorzystaniem listew kablowych z przegrodą lub w osobnych listwach. W przypadku uszkodzenia izolacji przewody pozostają fizycznie rozdzielone.



Rys. 10. Rozdzielenie przewodów poprzez prowadzenie w listwach

Źródło: Polskie Towarzystwo Fotowoltaiki. Elementy instalacyjne: kable, złącza i puszki przyłączeniowe

## 4.5. Ustawianie i uruchomienie systemu fotowoltaicznego

### Uruchomienie systemu fotowoltaicznego

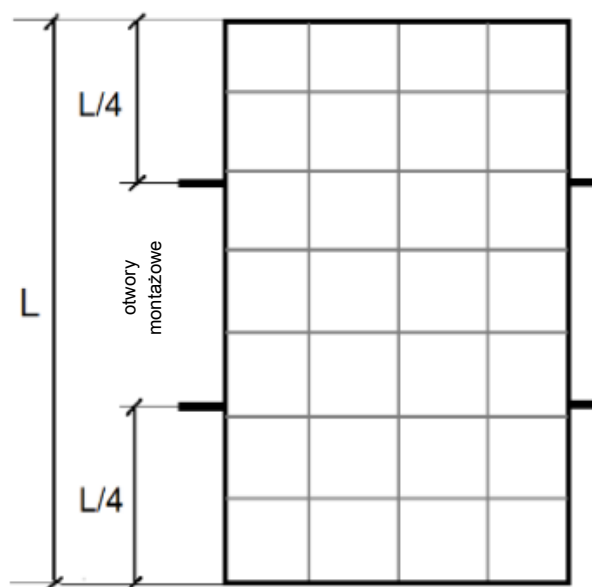
Gdy wszystko zostanie już zamontowane, nadchodzi moment pierwszego uruchomienia instalacji. Ponieważ instalacja fotowoltaiczna zbudowana jest z obwodów zarówno stałoprądowych jak i zmiennoprądowych to jej uruchomienie należy przeprowadzać sekwencyjnie, sprawdzając i uruchamiając każdy z obwodów oddzielnie. Sprawdzenie musi obejmować kontrolę mocowania mechanicznego oraz sprawność działania pod względem elektrycznym.

### Kolejność włączania oraz wyłączenia poszczególnych elementów w instalacji fotowoltaicznej

Zasadniczym elementem każdej instalacji fotowoltaicznej jest urządzenie do którego dopływa energia wytworzona w modułach fotowoltaicznych i jest przekazywana dalej do obwodów wyjściowych. W zależności od rodzaju instalacji będzie to regulator ładowania lub falownik fotowoltaiczny.

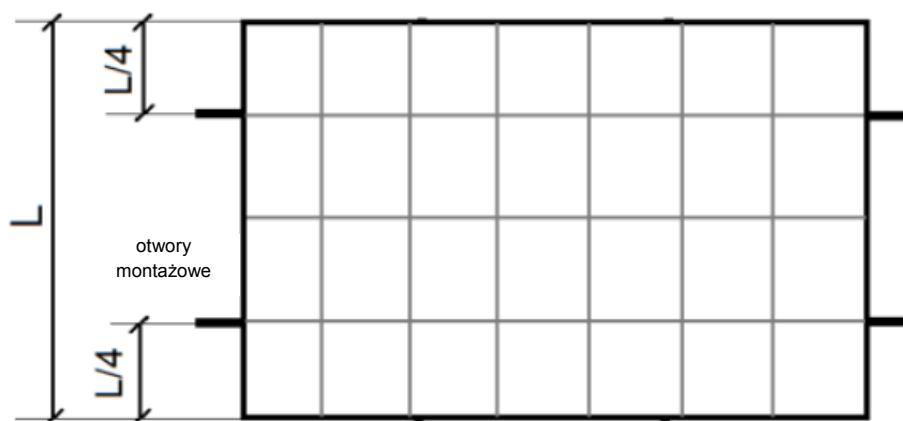
Zanim jednak przejdziemy do konfigurowania tych urządzeń należy wykonać czynności sprawdzające pozostałych elementów instalacji:

- W instalacji stałoprądowej należy wykonać kontrolę elektryczną i poprawności montażu wszystkich elementów generatora fotowoltaicznego.



Rys. 1. Prawidłowe odległości montażowe dla modułów pracujących pionowo (otwory montażowe)

Źródło: [http://www.suntrans.pl/produkty/moduly/instrukcja\\_montazu\\_i\\_uzytkowania\\_modulu\\_pv\\_05\\_08.pdf](http://www.suntrans.pl/produkty/moduly/instrukcja_montazu_i_uzytkowania_modulu_pv_05_08.pdf), (dostęp: 20.09.2018).



Rys. 2. Prawidłowe odległości montażowe dla modułów pracujących poziomo (otwory montażowe)  
 Źródło: [http://www.suntrans.pl/produkty/moduly/instrukcja\\_montazu\\_i\\_uzytkowania\\_modulu\\_pv\\_05\\_08.pdf](http://www.suntrans.pl/produkty/moduly/instrukcja_montazu_i_uzytkowania_modulu_pv_05_08.pdf), (dostęp: 20.09.2018).

- Weryfikujemy czy moduły są zamontowane zgodnie z zaleceniami producenta.
- Sprawdzamy położenie puszk montażowej w każdym z modułów.
- Kontrolujemy poprawność połączeń elektrycznych i mocowania kabli łączących poszczególne moduły kładąc szczególny nacisk na biegunowość.
- Sprawdzamy napięcie wyjściowe z kolektora (w przypadku większej ilości kolektorów czynność tą powtarzamy dla wszystkich kolektorów) przed connection box.
- Kontrolujemy poprawność montażu Connection box i aparatów tam znajdujących się – bezpieczników DC, zabezpieczeń SPD i wyłącznika głównego DC.
- Sprawdzamy montaż głównego kabla DC od Connection box do wejść DC w falowniku.
- Dokonujemy pomiaru napięcia wyjściowego DC z modułów będącego jednocześnie napięciem wejściowym DC dla falownika.
- Jeżeli w naszej instalacji istnieje instalacja odgromowa to również sprawdzamy jej poprawność wykonania, gdyż w tej sytuacji jest ona integralną częścią instalacji DC.

### Podłączenie i konfiguracja regulatora ładowania

Regulator napięcia jest urządzeniem stosowanych w systemach fotowoltaicznych off-grid w więc nie podłączony do sieci elektrycznej. Takie instalacje są instalacjami autonomicznymi z punktu widzenia użytkownika, gdyż zapewniają dostawy energii elektrycznej do odbiorników.

Ze względu na fakt, że posiadana instalacja off-grid może być jedynym źródłem energii w danej lokalizacji należy z należytą starannością zainstalować regulator gwarantując użytkownikowi poprawność jego działania. Kolejność działań przedstawia się następująco:

- Zamontować regulator w pionowej pozycji w taki sposób, aby zapewnić swobodny przepływ powietrza chłodzącego z dołu do góry przez radiator.
- Sprawdzić, czy dopuszczalny prąd wyjściowy z generatora PV oraz wejściowy prąd odbiornika nie przekraczają danych zainstalowanego modelu.
- W pierwszej kolejności należy podłączyć akumulator, a potem odbiorniki.
- Należy zwrócić uwagę na stan naładowania akumulatora – w zależności od rodzaju regulatora będzie to widoczne na ekranie LCD lub wskaźniku z diod LED.
- Wybrać typ podłączanego akumulatora.
- Ustawić prawidłowo napięcie znamionowe akumulatora (12V, 24V, 48V lub inne dostępne w regulatorze).

- W zależności od stanu naładowania podjąć dalsze czynności wskazane w instrukcji montażu.
- Podłączyć generator fotowoltaiczny PV do regulatora.
- Przyciskiem ON/OFF włączyć regulator PV.
- Jeżeli regulator posiada funkcję autotestu należy ją przeprowadzić.
- W przypadku braku takiej funkcji postępować zgodnie ze wskazówkami producenta.
- Jeżeli czynności połączeniowe zostały wykonane poprawnie to system powinien działać i w warunkach nasłonecznienia w zależności od stanu naładowania akumulatora powinniśmy obserwować odpowiedni tryb pracy (ładowanie akumulatora lub przekazywanie energii do odbiorników).

### Podłączenie i konfiguracja falownika sieciowego

Istnieje wiele rodzajów falowników fotowoltaicznych i wielu producentów. Uruchomienia każdego z nich przebiega w inny sposób i jest opisane szczegółowo w instrukcji instalacji i obsługi każdego z nich. Poniżej zostaną omówione podstawowe zagadnienia, a tam gdzie będzie potrzebne działanie szczegółowe to trzeba się odwołać do konkretnego modelu i instrukcji producenta, aby proces przeprowadzić poprawnie.

Ponieważ falownik jest urządzeniem stosunkowo dużej mocy, a występujące tam napięcie i prądy zarówno po stronie DC, jak i AC stanowią zagrożenie dla życia i zdrowia instalatora i użytkownika to należy bezwzględnie przestrzegać zasad BHP i ostrzeżeń podawanych przez producentów, podstawowe z nich opisane są poniżej.

- Na zaciskach i w przewodach falownika mogą pojawić się niebezpieczne dla życia napięcia również po jego wyłączeniu i odłączeniu.
- Podczas pracy falownik musi być zamknięty.
- Podczas wyłączenia i włączania nie wolno dotykać przewodów ani zacisków.
- Nie dokonywać jakichkolwiek zmian w falowniku.
- Zapewnić bezpieczeństwo eksploatacyjne poprzez prawidłowe uziemienie, dobór przewodów oraz odpowiednią ochronę przed zwarcieniem.
- Przed rozpoczęciem oględzin bądź prac konserwacyjnych wyłączyć wszystkie źródła napięcia i zabezpieczyć je przed niezamierzonym włączeniem.
- Osoby nieupoważnione powinny przebywać z dala od falownika i instalacji fotowoltaicznej.
- W szczególności przestrzegać normy PN-EN-60364-7-712 „Wymagania dotyczące zakładów pracy, pomieszczeń i instalacji szczególnego rodzaju – fotowoltaiczne systemy zasilania”.

Podczas wykonywania pomiarów w falowniku pod napięciem przestrzegać następujących zasad:

- Zdjąć biżuterię z palców i przegubów rąk.
- Nie dotykać przyłączy elektrycznych.
- Używać bezpiecznych i zalegalizowanych przyrządów pomiarowych.
- Podczas pracy przy falowniku PV stać na izolowanym podłożu.

Bezpieczeństwo pracy falowników zapewniane jest poprzez:

- Odgromniki/warystory zabezpieczające obwody wejściowe przed przepięciami o wysokim ładunku energii po stronie sieci i generatora.

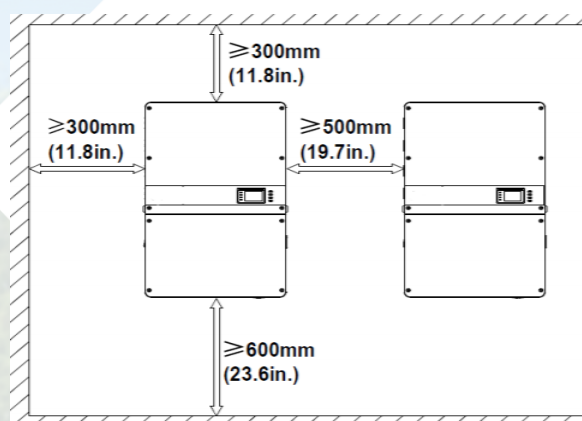
- Monitoring temperatury elementu chłodzącego.
- Filtr EMC chroniący falownik przez zakłóceniami wysokiej częstotliwości.
- Warystory po stronie sieci AC, chroniące falowniki przed przepięciami i seriami przepięć.

Zwrócić uwagę na warunki w jakich falownik powinien pracować (instrukcja użytkownika falownika):

- W każdym przypadku należy zapewnić odprowadzenie nadmiaru ciepła od falownika.
- Zapewnić niezakłóconą cyrkulację powietrza.
- Zapewnić dobry dostęp do późniejszej obsługi i konserwacji falownika.
- Chronić przed nadmierną wilgocią oraz promieniowaniem słonecznym.
- Jeżeli falownik posiada wyświetlacz należy zamontować go tak, by odczyt parametrów z wyświetlacza nie był utrudniony.

Miejsce ustawienia:

- Montaż wolno stojący albo naścienny.
- Dostateczna nośność ścian na których jest zamontowany.
- Ściany wykonane z materiału odpornego na wysokie temperatury, trudno palne.
- Należy zapewnić minimalne odstępy montażowe i łatwy dostęp dla konserwatora.



Rys. 3. Przykładowe odległości podczas montażu grupy falowników (wielkości podane w calach)

Źródło: [https://www.solectria.com//site/assets/files/2265/docr-070645-f\\_manual\\_installation\\_and\\_operation\\_pvi\\_50-60tl.pdf](https://www.solectria.com//site/assets/files/2265/docr-070645-f_manual_installation_and_operation_pvi_50-60tl.pdf), (dostęp: 20.09.2018).

Podłączenie falownika do sieci zasilającej:

- Falownik może otwierać i instalować tylko wykwalifikowany elektryk.
- Przed podłączeniem do instalacji elektrycznej sprawdzić czy falownik jest należy prawidłowo zamocowany.
- Odłączyć stronę AC i DC od napięcia i zabezpieczyć je przed ponownym włączeniem.
- Przewody przyłączeniowe do sieci podłączać w dedykowanej skrzynce przyłączeniowe.
- Przed wprowadzeniem przewodu sieciowego do urządzenia jeszcze raz upewnić się czy falownik jest całkowicie odłączony od napięcia zarówno po stronie AC jak i DC.

W przypadku wysokiej rezystancji przewodów, tj. przy dużej długości przewodów po stronie sieci, zwiększa się napięcie na zaciskach sieciowych falownika podczas pracy w trybie zasilania. Falownik monitoruje to napięcie. Jeżeli przekroczy ono graniczną wartość dla danej sieci, to nastąpi wyłączenie falownika. Dlatego też należy zwracać uwagę na dostatecznie

duże przekroje przewodów oraz na ich małe długości, aby minimalizować rezystancję przewodów.

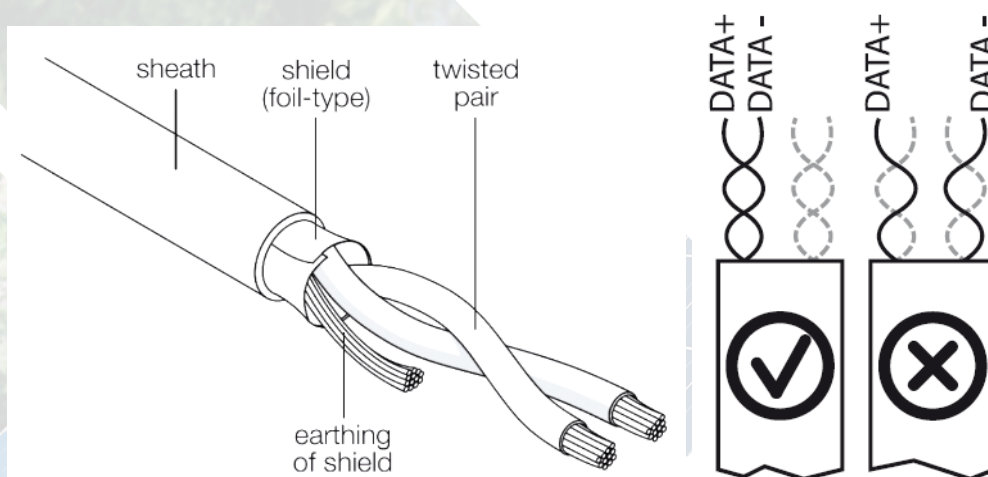
W instalacjach z wieloma falownikami zwracać uwagę na to, żeby falowniki włączone były w różne fazy w celu uniknięcia asymetrii w sieci.

#### Włączenie falownika:

- Sprawdź czy falownik jest zmontowany i podłączony do instalacji elektrycznej.
- Sprawdź czy pokrywa skrzynki przyłączeniowej jest uziemiona i zamknięta.
- Sprawdź czy generator fotowoltaiczny dostarcza napięcie większe od minimalnego napięcia wejściowego DC w falowniku.
- Podłącz generator fotowoltaiczny przez rozłącznik DC.
- Podłącz napięcie sieciowe przez bezpieczniki zewnętrzne.
- Falownik powinien rozpocząć pracę.
- Pierwsze uruchomienie jest opisane w instrukcjach użytkownika dla konkretnych falowników.

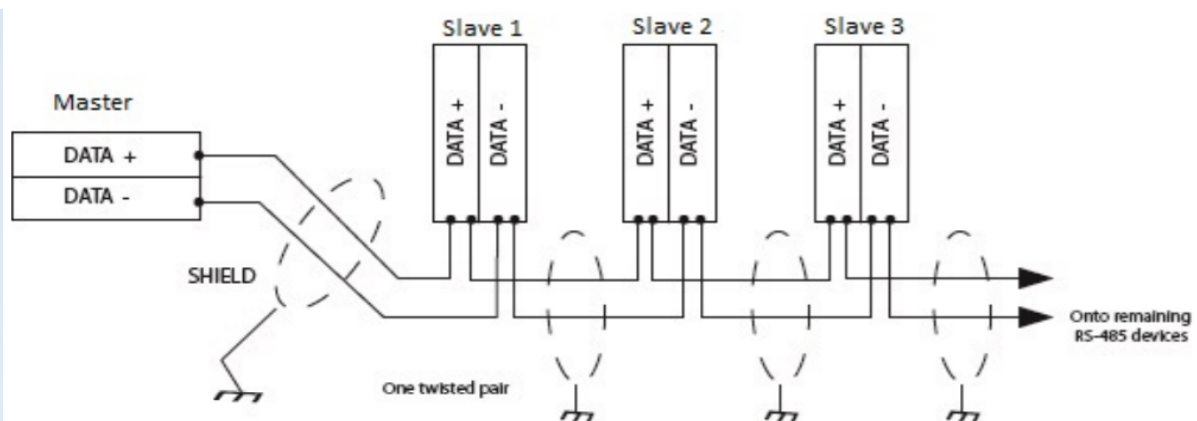
#### Zdalna komunikacja z urządzeniem (regulatorem ładowania lub falownikiem)

- Komunikacja z wykorzystaniem magistrali RS 485 odbywa się z wykorzystaniem dwóch przewodów sygnałowych Data „plus” oraz Data „minus”. W celu wyeliminowania zakłóceń jako przewód komunikacyjny powinno się wykorzystywać skrętkę ekranowaną.
- Ekran podłączać do PE tylko z jednej strony.
- Należy zwracać uwagę na prawidłowe podłączenie żył Data „plus” oraz Data „minus”.
- W przypadku zamiany żył miejscami komunikacja nie jest możliwa.
- Podczas podłączania DATA+ i DATA- zwracać uwagę na prawidłowe sparowanie żył.
- Nie układać przewodów magistrali RS485 w pobliżu przewodów przewodzących prąd DC/AC.
- Urządzenia łączyć równolegle, a każdemu abonentowi magistrali (falownikowi, czujnikowi) przypisać unikalny adres.
- Obwód komunikacyjny zakończyć urządzeniem końcowym tzw. terminatorem.



Rys. 4. Skrętka komunikacyjna dla RS 485, gdzie: – Sheath – Pierwsza warstwa izolacji; – Shield (foil-type) – Izolacja typu folia; – Twisted pair – para przewodów; – Earthing of shield – uziemienie; – Data+ – Biegun+; Data- – Biegun-

Źródło: <https://electrical-engineering-portal.com/correct-cabling-modbus-rs485>, (dostęp: 20.09.2018).



Rys. 5. Połączenia równoległe kilku falowników w przypadku komunikacji z protokołem RS 485, gdzie: Master – Główny falownik; Data+ – Biegun+; Data- – Biegun-; Shield – Uziemienie; Slave – Połączone równoległe falowniki; One twisted pair – Para przewodów; Onto remaining RS-485 devices – Na pozostałych urządzeniach RS-485

Źródło: [https://www.solectria.com//site/assets/files/1611/commercial\\_inverters\\_communication\\_manual.pdf](https://www.solectria.com//site/assets/files/1611/commercial_inverters_communication_manual.pdf), (dostęp: 20.09.2018).

## 4.6. Współpraca baterii z systemami fotowoltaicznymi

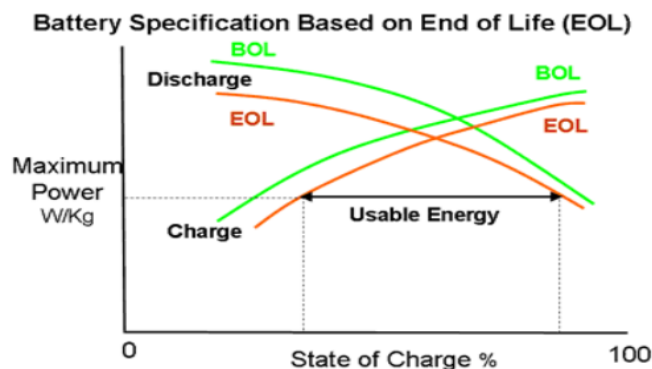
### Potrzeba magazynowania energii

Magazynowanie energii elektrycznej odbywa się przy wykorzystaniu akumulatorów. Dostępnych jest wiele rodzajów akumulatorów począwszy od akumulatorów kwasowych, żelowych, niklowych czy litowych. Każda technologia charakteryzuje się swoją żywotnością liczoną w latach, liczbą cykli rozładowania i ładowania, głębokością rozładowania, maksymalną wydajnością prądową itp.

Wybór dobrego akumulatora powinien być poprzedzony analizą parametrów w odniesieniu do planowanego przeznaczenia akumulatora.

### Ogólne wymagania odnośnie akumulatorów:

- a) duża ilość cykli > 5000,
- b) niewielkie samorozładowanie,
- c) możliwość komunikacji z systemem fotowoltaicznym, a w szczególności z falownikiem,
- d) duża obciążalność zarówno przy ładowaniu jak i rozładowaniu,
- e) szeroki zakres temperaturowy pracy,
- f) długa żywotność > 15 lat,
- g) skalowalność (budowa modułowa),
- h) bezobsługowość,
- i) wysoki poziom bezpieczeństwa,
- j) dostęp do kluczowych parametrów magazynu – online.



Rys. 1. Maksymalna gęstość mocy w zależności od stanu naładowania w całym spektrum życia akumulatorów, gdzie: Battery Specification Based on End of Life (EOL) – Maksymalna gęstość mocy w zależności od stanu naładowania w całym spektrum życia akumulatorów (EOL); Maximum Power – Maksymalna moc; State of Charge – Stan naładowania; Discharge – Rozładowanie; Charge – ładowanie; Usable Energy – Użytkowa energia

Źródło: <https://www.mpoweruk.com/traction.htm>, dostęp: 20.09.2018).

## Ogólne dane o akumulatorach

### Akumulatory siarkowo-ołowiowe

- 1) Zbudowany z szeregowo połączonych ogniów.
- 2) Napięcie nominalne pojedynczego ogniwa: 1.8 – 2.1V.
- 3) Podstawowym składnikiem jest ołów.
- 4) Elektrody są wykonane z płyt ołowianych – kratownic – z wprasowanym w nie tlenkiem ołowiu(II) (PbO). Po umieszczeniu płyt w naczyniu, które jest obudową akumulatora, wprowadza się 20% roztwór wodny kwasu siarkowego(VI) o gęstości 1,15 g/cm<sup>3</sup> w temperaturze 25°C.

### Akumulatory VRLA (*valve regulated lead acid*)

- 1) Rodzaj akumulatora kwasowo-ołowiowego, z żelowym elektrolitem. Kwas siarkowy po wymieszaniu z krzemionką tworzy masę o konsystencji żelu.

### Akumulatory AGM (z ang. *absorbitive glass mat*)

- 1) Technologia w której elektrolit jest zaabsorbowany w separatorze wykonanym z maty szklanej.
- 2) Duża pojemność związana z bardzo dużym ciężarem.
- 3) Uzyskane napięcie w zależności od ilości połączonych ogniów: 6, 12, 24 => 12 V, 24 V, 48 V.
- 4) Zastosowania stacjonarne (akumulatorownie, UPS), sprzężonym z instalacjami solarnymi, ale ograniczona ilość cykli.

### Akumulatory NiCd

- 1) Niskie napięcie znamionowe 1.2 V/ogniwo.
- 2) Wysoka stałość napięcia w trakcie rozładowania.
- 3) Mała zależność pojemności od prądu rozładowania.
- 4) Dobre parametry w niskich temperaturach w trakcie rozładowania.
- 5) Wysoka trwałość cykliczna.
- 6) Efekt pamięci.
- 7) Cykliczność do 1200 cykli.



## Akumulatory NiMH

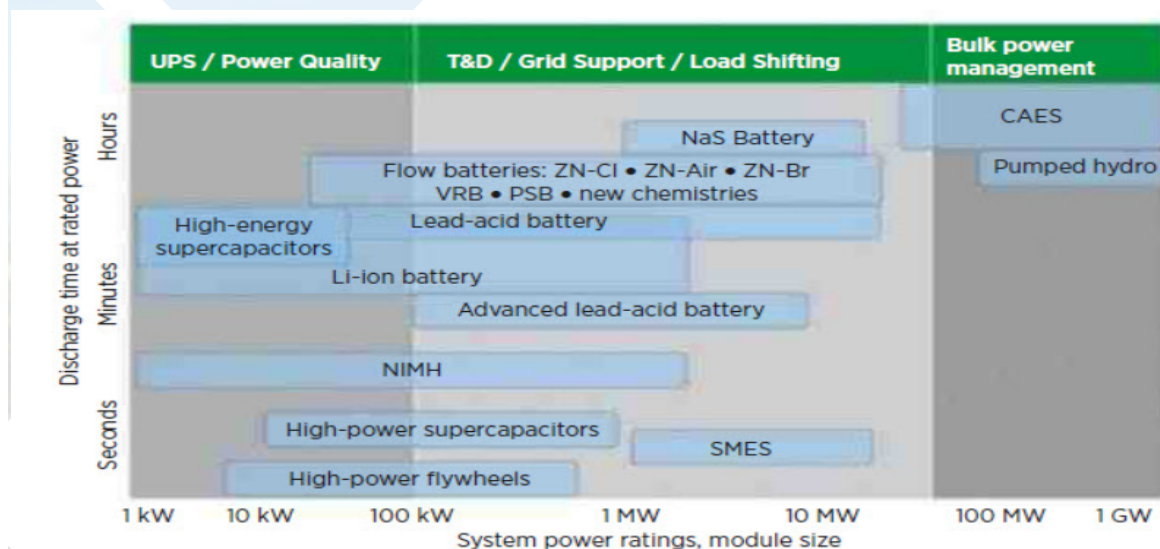
- 1) Napięcie znamionowe 1.2 V/ogniwo.
- 2) Mała zależność pojemności od szybkości rozładowania.
- 3) Dobre parametry w niskich temperaturach dla niskich.
- 4) Dobra akceptowalność z punktu widzenia ochrony środowiska.
- 5) Wytrzymałość 500 – 1000 cykli.

## Akumulatory litowo-jonowe

- 1) Gęstość energii 130 – 200 Wh/kg; 300 Wh/L.
- 2) Sprawność ładowania/rozładowania: 99,8%.
- 3) Samorozładowywanie: 2%/mc.
- 4) Wytrzymałość > 5000 cykli.

## Akumulatory litowo-żelazowe

- 1) Gęstość energii 130 – 200 Wh/kg; 300 Wh/L.
- 2) Sprawność ładowania/rozładowania: 99,8%.
- 3) Samorozładowywanie: 3%/mc.
- 4) Wytrzymałość > 5000 cykli.



Rys. 2. Dyspozycyjność czasowa różnych technologii magazynowania energii dla różnych mocy, gdzie: Discharge time at rated power – Czas rozładowania, moc znamionowa; Seconds – Sekundy; Minutes – Minuty; Hours – Godziny; System power ratings, module size – Ocena mocy systemu, rozmiar modułu; High-power flywheels – Koła zamachowe o dużej mocy; SMES (Superconducting magnetic energy storage) – Nadprzewodnikowe zasobniki energii; High-power supercapacitors – Superkondensatory o dużej mocy; NiMH – Akumulator niklowo-metalowo-wodorkowy; Advanced lead-acid battery – Zaawansowany akumulator kwasowo-ołowiowy; Li-ion battery – Akumulator litowo-jonowy; High-energy supercapacitors – Superkondensatory wysokoenergetyczne; Lead-acid battery – Akumulator kwasowo-ołowiowy; Flow batteries: ZN-Cl, ZN-Air, ZN-Br, CRB, PBS, new chemistries – Akumulatory przepływowe: ZN-Cl, ZN-Air, ZN-Br, CRB, PBS, nowe związki chemiczne; NaS Battery – Akumulator NaS; Pumped hydro – ładowane wodnie; CAES (Compressed Air Energy Storage) – Sprężone powietrze; UPS / Power Quality – UPS / Jakość zasilania; T&D / Grid Support / Load Shifting – T&D / Wsparcie sieciowe; Bulk power management – Zarządzanie energią

Źródło: <https://hub.globalccsinstitute.com/publications/electricity-storage-and-renewables-island-power-guide-decision-makers/2a-understanding-storage-performance>, (dostęp: 20.09.2018).

## Istnieją inne technologie magazynowania energii:

### 1) Koła zamachowe

Energia jest magazynowana w postaci energii kinetycznej masy wirującej. Wartość zgromadzonej energii wzrasta wraz z kwadratem prędkości kątowej wirowania, która jest ograniczona wytrzymałością stosowanego materiału do budowy koła. Stosując materiały lekkie możliwe jest osiągnięcie wyższych prędkości wirowania w porównaniu do materiałów cięższych o tej samej wytrzymałości na rozciąganie, a przez to mogą zmagazynować większą energię.

### 2) Elektrownie pompowe

Wodne elektrownie szczytowo-pompowe przeznaczone są do gromadzenia pobranej energii elektrycznej, a następnie oddawania jej do sieci. W porze niskiego zapotrzebowania na moc, nadmiar energii elektrycznej w systemie służy do pompowania wody do górnego zbiornika. W okresie zwiększonego popytu woda spływa z górnego do dolnego zbiornika przez turbinę, generując moc elektryczną. Odwracalne turbozespoły działają więc na przemian jako silnik-pompa lub turbina-generator. Uwzględniając ubytek odparowanej wody i straty w turbozespole, przy wytwarzaniu elektryczności odzyskuje się jedynie 70 do 75% energii pobranej na przetłoczenie wody do górnego zbiornika.

### 3) Sprężone powietrze

Technologia nazwana skrótowo CAES (ang. Compressed Air Energy Storage – magazynowanie energii w sprężonym powietrzu) jest modyfikacją tradycyjnego cyklu elektrowni pompowych opartych na turbinach gazowych. Technologia ta wykorzystuje tanią, pozaszczytową energię elektryczną do gromadzenia sprężonego powietrza, które następnie służy do napędu turbiny gazowej w porze szczytu

### 4) Nadprzewodnikowe zasobniki energii (Superconducting magnetic energy storage – SMES)

SMES'y magazynują energię w polu magnetycznym cewki, wykonanej ze specjalnych stopów. Przez ochłodzenie przewodów do minus 269°C oporność materiału na przepływ prądu zanika, umożliwiając przewodzenie bardzo wysokich wartości prądu bez strat energii. Z punktu widzenia całości systemu konieczne jest uwzględnienie poboru energii przez układ chłodzenia. Również konieczny jest przepływ prądu przez elementy niemające cech nadprzewodnictwa oraz łączniki energoelektroniczne, w których występują straty obciążeniowe. Pomimo tego, ogólna sprawność w komercyjnych zastosowaniach jest bardzo wysoka. Zdolność magazynowania (pojemność energetyczna) SMES w zastosowaniach komercyjnych wynosi dziś tylko ok. 1 kWh, a maksymalna moc wyjściowa do 1 MW i ograniczona przez obciążalność elementów energoelektronicznych.

### 5) Superkondensatory

Superkondensatory magazynują energię w polu elektrycznym powstającym pomiędzy dwiema elektrodami. Podstawowe konstrukcje i właściwości elektryczne są zbliżone do konwencjonalnych kondensatorów. Konstrukcja elektrod i dobór elektrolitu umożliwiają uzyskanie wysokiej gęstości ładowania na powierzchni elektrod, ale graniczne napięcie wynosi ok. 2,7 V na ogniwo (cele). Pomimo niskiego napięcia, ilość zmagazynowanej energii jest znacznie wyższa niż w kondensatorach konwencjonalnych i może osiągnąć rząd kilku Wh dla największych kondensatorów, dostępnych komercyjnie. Superkondensatory są łączone dla uzyskania większych modułów z pojemnością energetyczną do 1 kWh i dalej zestawiane w większe jednostki magazynowania energii.

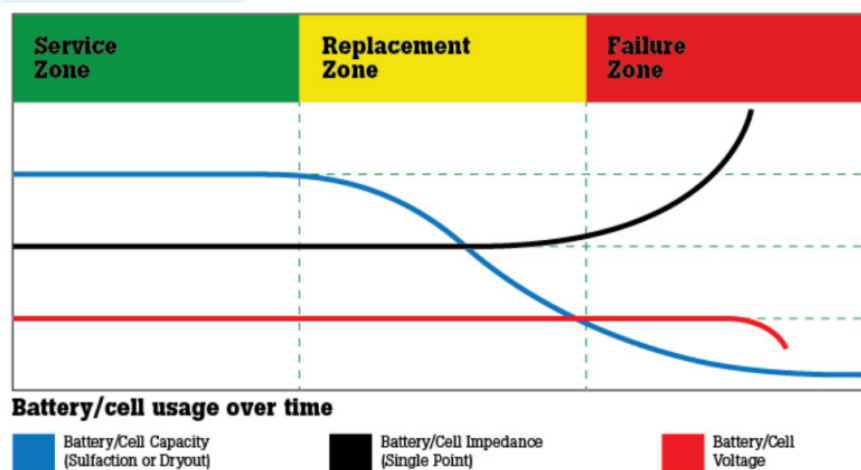
## Technologie i koszty – dzisiaj i jutro

Ze względu na konieczność ciągłej pracy cyklicznej w systemach fotowoltaicznych możemy stosować te akumulatory, które potrafią wykonać kilka tysięcy cykli, w szerokim zakresie temperatur (rys. 3).

Konieczność stałej komunikacji z systemem oraz wymagane małe gabaryty prowadzi do wniosku, że jedynie nowoczesne technologie litowo-jonowe i litowo-żelazowe mogą znajdować powszechne zastosowanie w systemach PV. Lawinowy wzrost zainteresowania magazynami energii doprowadził w ostatnich latach do znacznej obniżki cen. Od poziomu ponad 1000€/kWh do 400€/kWh za kompletny system magazynowania energii. Przewiduje się, że ceny te spadną do poziomu 250- 300€/kWh w najbliższych latach, a najwięksi optymiści prognozują że do 150€/kWh.

### Podstawowe parametry elektryczne akumulatorów:

- 1) Pojemność znamionowa w Q [Ah].
- 2) Rezystancja wewnętrzna  $R_w$  [mΩ].
- 3) Napięcie maksymalne naładowania  $U_{max}$  [V].
- 4) Napięcie znamionowe  $U_n$  [V].
- 5) Napięcie minimalne rozładowania  $U_{min}$  [V].

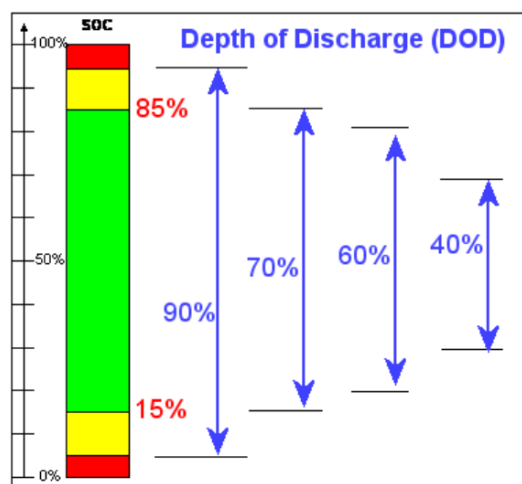


Rys. 3. Strefy żywotności baterii, gdzie: Service Zone – Strefa użytkowania; Replacement Zone – Strefa wymiany; Failure Zone – Strefa awarii; Battery / cell usage over time – Zużycie akumulatora z upływem czasu; Battery / Cell Capacity (Sulfaction or Dryout) – Pojemność akumulatora / ogniwa (zasiarczenie lub wysychanie); Battery / Cell Impedance (Single Point) – Impedancja akumulatora / ogniwa (pojedynczy punkt); Battery / Cell Voltage – Napięcie akumulatora / ogniwa

Źródło: <https://www.fluke.com/en-us/learn/best-practices/measurement-basics/stationary-batteries/measuring-battery-state-of-health-over-time-to-ensure-optimal-uptime>, (dostęp: 20.09.2018).

### Parametry określające zakresy eksploatacji akumulatora w czasie:

- 1) SOH [%] – state of health – poziom pojemności względem pojemności nowego ogniwa.
- 2) SOC [%] – state of charge – poziom naładowania akumulatora.
- 3) DOD [%] – depth of discharge – poziom rozładowania akumulatora (rys. 4).

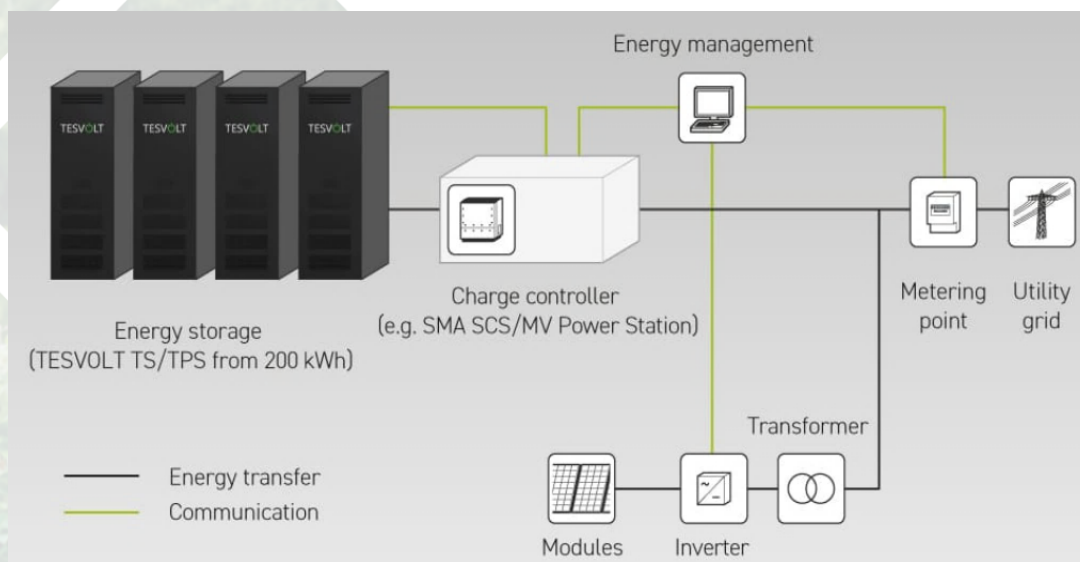


Rys. 4. Różne poziomy rozładowania akumulatora, gdzie: SOC [%] – state of charge – poziom naładowania akumulatora; DOD [%] – depth of discharge – poziom rozładowania akumulatora  
 Źródło: <https://www.ev-power.eu/blog/Tests-and-diagnosis/Depth-of-discharge-DOD.html>, (dostęp: 20.09.2018).

### Systemy nadzorujące pracę akumulatorów

Systemem niezbędnym do pracy akumulatorów w systemach fotowoltaicznych jest system nadzorujący pracę akumulatora. Jego nadrzędnym celem jest zabezpieczenie magazynu energii przed uszkodzeniem poprzez przekroczenie jego wymaganych zakresów czy to napięciowych, temperaturowych czy też prądowych łącznie ze zwarcie.

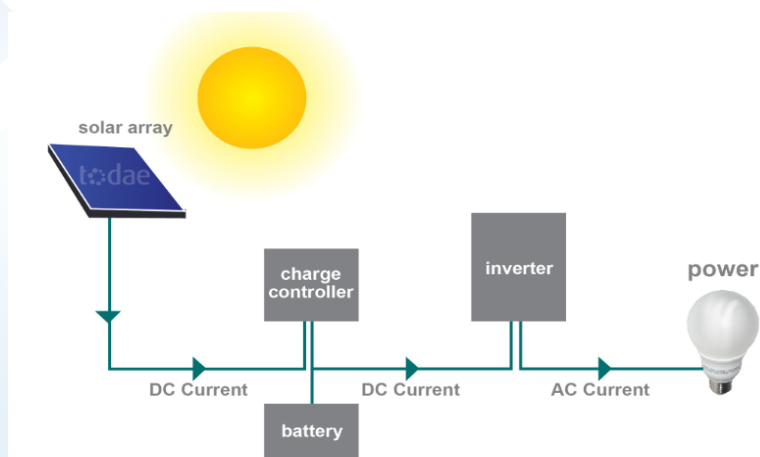
Drugim jego kluczowym zadaniem jest komunikacja i wymiana informacji z systemem ładowania dotycząca ogólnie rozumianej wymiany energii pomiędzy systemem PV, odbiornikami a magazynami energii (rys. 5).



Rys. 5. Schemat komunikacyjny pomiędzy magazynem energii a systemem PV, gdzie: Energy storage (TESVOLT TS/TPS from 200kWh) – Magazynowanie energii (TESVOLT TS / TPS od 200 kWh); Charge controller (e.g. SMA SCS/MV Power Station) – Kontroler ładowania (np. SMA SCS / MV elektrownia); Energy management – Zarządzanie energią; Modules – Moduły PV; Inverter – Falownik; Transformer – Transformator; Metering point – Punkt pomiarowy; Utility grid – Sieć energetyczna  
 Źródło: <https://zerohomebills.com/product/tesvolt-tps-200-864kwh-lithium-battery-storage-all-in-one-20ft-container/>, (dostęp: 20.09.2018).

### Praca magazynu z regulatorem ładowania

W systemach prostych bez falownika urządzeniem z którym komunikuje się magazyn energii jest regulator ładowania (rys. 6). Zapewnia on prawidłowy proces ładowania poprzez nadzór nad wielkością prądu ładowania, maksymalnego napięcia ładowania, a w niektórych przypadkach kontroluje on również temperaturę pracy akumulatora.

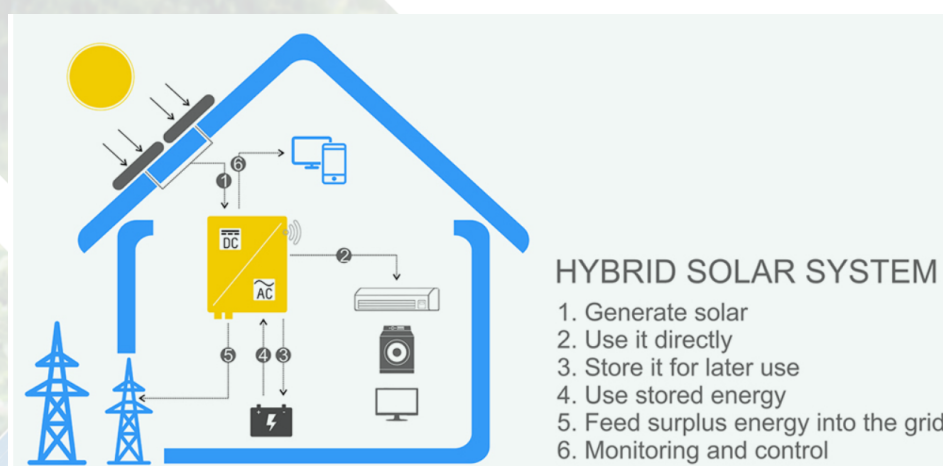


Rys. 6. Magazyn energii w systemie PV z kontrolerem ładowania, gdzie: Solar array – Panele słoneczne; DC Current – Prąd DC; Charge controller – Kontroler ładowania; Inverter – Falownik; AC Current – Prąd AC; Power – Energia

Źródło: <https://maandus.com/en/pvsystemeng.html>, (dostęp: 20.09.2018).

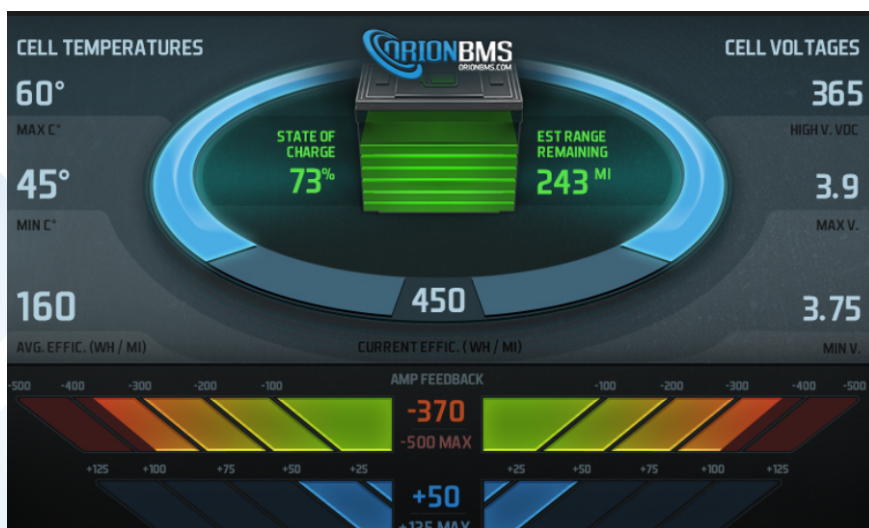
### Praca magazynu z falownikiem

W systemach wyposażonym w falownik (on-grid off-grid czy też hybrydowy (rys. 7) system nadzoru (BMS) w trybie online wymienia informację z falownikiem podczas procesu ładowania i rozładowania. Zaawansowane systemy BMS przekazują do systemu informację o SOH, SOC i DoD (rys. 8). Bieżąca informacja o w/w parametrach pozwala na optymalną pracę zasobnika energii co wydłuża jego żywotność oraz ilość cykli które jest on w stanie wykonać.



Rys. 7. Magazyn energii w systemie PV z falownikiem, gdzie: Hybrid solar system – Hybrydowy układ fotowoltaiczny; 1. Generator solar – Generator słoneczny; 2. Use it directly – Bezpośrednie zużycie energii; 3. Store it for later use – Przechowywanie energii do późniejszego wykorzystania; 4. Use stored Energy – Zużycie zmagazynowanej energii; 5. Feed surplus Energy into the grid – Nadwyżka energia wysyłana do sieci; 6. Monitoring and control – Monitorowanie i kontrola

Źródło: <https://www.solarminer.com.au/solar-battery-storage/>, (dostęp: 20.09.2018).



Rys. 8. Przykładowy wygląd ekranu systemu zarządzania energią w układzie PV  
 Źródło: <https://www.orionbms.com/>, (dostęp: 20.09.2018).

#### 4.7. Ochrona przeciwprzepięciowa w instalacjach fotowoltaicznych

**Instalacja PV podłączona do zewnętrznej sieci elektroenergetycznej narażona jest na uszkodzenia w kilku obszarach:**

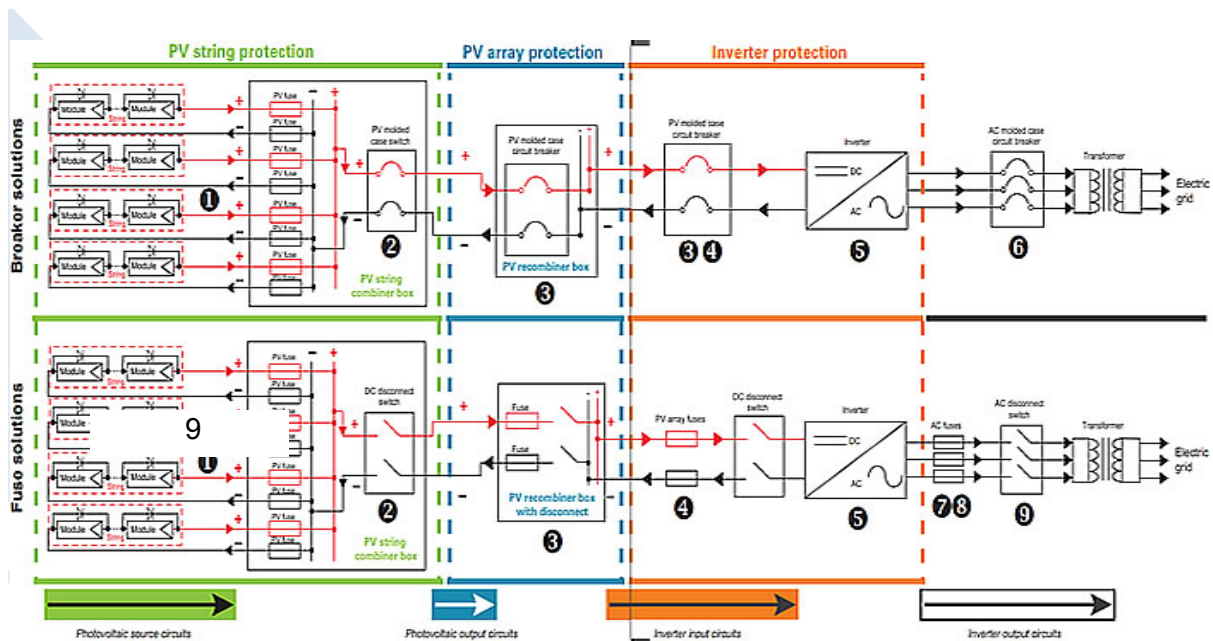
- w instalacji prądu stałego pomiędzy modułami a falownikiem (np. powstawanie prądów zwarciovych spowodowanych zaciemnieniem modułów, zwarcia w przewodach, powstawanie hot spotów, wyładowania atmosferyczne),
- w instalacji prądu przemiennego w miejscu przyłączenia falownika do sieci (np. z powodu wzrostu napięcia w miejscu przyłączenia falownika, wahań napięcia w sieci, nieprawidłowego doboru zabezpieczeń).

Z uwagi na powyższe w instalacji PV stosuje się:

- bezpieczniki I-ego – dla pojedynczych kolektorów PV,
- bezpieczniki II-ego poziomu – dla całego generatora PV,
- ograniczniki przepięć,
- instalację uziemiającą,
- instalację odgromową.

W instalacjach PV występują też inne zabezpieczenia wchodzące w skład samych elementów, jak np. diody bocznikujące (mostkujące).

Na rys. 1. Przedstawiono zabezpieczenia stosowane w obwodzie DC instalacji PV.



Rys. 1. Zabezpieczenia w instalacji PV, gdzie: Fuso solution – Wersja Fuso; Bronkor solutions – Wersja Bronkora; PV string protection – Ochrona ciągów PV; PV array protection – Zabezpieczenia PV; Inverter protection – Zabezpieczenie falownika

Źródło: <http://www.cleanenergybrands.com/shoppingcart/categories/pv-circuit-protection/pv-circuit-breakers/>, (dostęp: 20.09.2018).

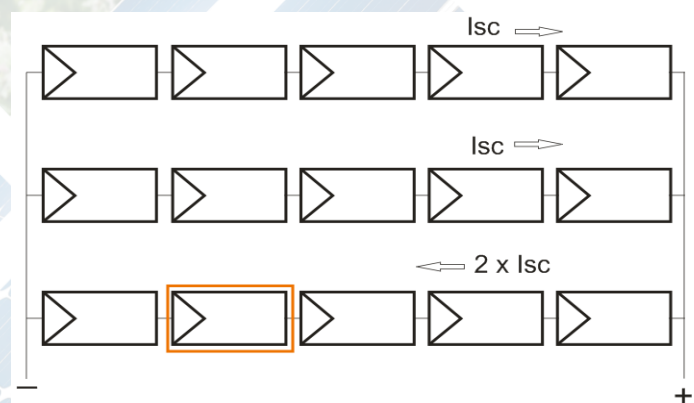
## Bezpieczniki

Przyłączeniu równoległym wielu szeregowych obwodów (ang. string) paneli fotowoltaicznych zacinienie jednego z modułów powoduje, że cały prąd płynący w pozostałych łańcuchach przepływa przez łańcuch z zaciętym modułem (rys. 2). Jest to tzw. prąd wsteczny lub inaczej też „rewersyjny”. Jego wartość zależy od ilości równoległe połączonych łańcuchów i jest równa:

$$I_n = (n - 1) \cdot I_{sc}$$

Gdzie:

- $I_n$  – wartość prądu rewersyjnego,
- $N$  – ilość równoległe połączonych łańcuchów,
- $I_{sc}$  – wartość prądu zwarcia modułu.



Rys. 2. Przepływ prądu wstecznego przez obwód z zaciętym modułem PV

Źródło: Opracowanie własne

Większość modułów oferowanych na rynku jest w stanie wytrzymać prąd rewersyjny rzędu 1,5-2 I<sub>sc</sub>, dlatego konieczność ochrony pojawia się najczęściej dopiero przy trzech i więcej łańcuchach połączonych równolegle. Zabezpieczenie przed prądem wstecznym stanowi tutaj bezpiecznik z wkładką topikową. Wkładki topikowe o charakterystyce gPV (do ochrony fotowoltaiki) zostały tak zaprojektowane, aby sprawnie wyłączać już niewielkie przeciążenia, które mogłyby uszkodzić moduły fotowoltaiczne.

Według zaleceń normy IEC 60269-6 wkładka topikowa ma nie zadziałać dla prądu 1,13 I<sub>n</sub>, natomiast ma się przepalić w określonym czasie dla prądu o wartości 1,45 I<sub>n</sub>. Wkładki topikowe o innych charakterystykach niż gPV lub gR/gPV nie nadają się do ochrony modułów fotowoltaicznych.

Istniejące na rynku wyłączniki nadprądowe DC można używać tylko do zabezpieczania falowników DC/AC, a nie należy ich stosować do ochrony modułów fotowoltaicznych, gdyż w przypadku zwarcia w module może pojawić się prąd wsteczny płynący w drugą stronę i cewka elektromagnetyczna w wyłączniku może nie zadziałać.

**Wkładki topikowe cylindryczne stanowią tzw. bezpieczniki I poziomu** – mają za zadanie wyłączać prądy zwarciovne w obszarze paneli, dlatego należy je instalować jak najbliżej ostatniego w stringu panelu PV, przy czym montaż powinien być zarówno po stronie bieguna dodatniego jak i ujemnego.

**Poziom zabezpieczeń poziomu II** instalacji PV występuje bezpośrednio przed wejściem DC w falowniku gdzie doptywa całkowity prąd sumaryczny z całego generatora PV. Oczywiście gdy falownik posiada wiele wejść to każdy, niezależny obwód wejściowy musi posiadać takie zabezpieczenie. Stosowane są tutaj wkładki topikowe PV DC pracujące na prądzie stałym i napięciu 750V-1100V. Wkładki umieszczane są w podstawach bezpiecznikowych i umożliwiają szybkie odłączenie falownika od całego generatora PV. Instaluje się je również w biegunie ujemnym i dodatnim.

Duże instalacje PV mogą mieć zdecentralizowany system wielu małych falowników lub też jeden centralny falownik PV o mocy nawet kilkuset [kVA]. W tym drugim przypadku łączy się równolegle wiele łańcuchów modułów fotowoltaicznych i wówczas występują prądy całkowite wpływające do falownika od kilkudziesięciu do kilkuset amperów.

Dla tak dużych instalacji należy stosować wkładki topikowe o charakterystyce gPV o wielkości znormalizowanej NH1 od **32A do 160A** na 750V i 1000V DC oraz wkładki NH (rys. 3), ale o wydłużonym korpusie – są to wkładki NH1xl, NH2xl i NH3xl do **450A** na 1100V DC i do **350A** na 1500V DC. Wkładki te można instalować w jednobiegunowych podstawach, rozłącznikach (do 630A i napięciu 1000-1200V DC, kategoria użytkowa DC20B) oraz w specjalnych dwubiegunowych listwach bezpiecznikowych na napięcie do 1500V DC na system szyn zbiorczych o rozstawie 370 mm. To ostatnie rozwiązanie jest szczególnie atrakcyjne, bo umożliwia budowanie kablowych szaf rozdzielczych w obudowach poliestrowych oraz rozdzielnic na napięciu 1100V i 1500V DC o mocy nawet do 1 MW. Rozwiązania te są proste w konstrukcji i stosunkowo tanie.





Rys. 3. Bezpiecznik gPV dużej mocy w obudowach typu NH

Źródło: <http://www.eti.si/images/userfiles/en-GB/documents/products/Ultraquick/PV.pdf>, (dostęp: 20.09.2018).

### Ograniczniki przepięć

Ochrona przeciwprzebieciowa instalacji fotowoltaicznych ma na celu zabezpieczenie instalacji przed skutkami przepięć w sieci elektroenergetycznej wywołanymi awariami w sieci lub będących skutkami uderzenia pioruna. Przepięcia od uderzeń piorunów występują nawet w odległościach 1km od instalacji. Ogólne zasady stosowania ochrony przeciwprzebieciowej dla systemów fotowoltaicznych zawiera norma **PN-EN 61173:2002 (IEC 61173:2002)**. **Ochrona przepięciowa fotowoltaicznych (PV) systemów wytwarzania mocy elektrycznej.**

Szczegółowe zasady stosowania ochrony przeciwprzebieciowej zawierają normy:

- 1) IEC 61643-1. Urządzenia ograniczające przepięcia dołączone do sieci rozdzielczych niskiego napięcia. Wymagania techniczne i metody badań.
- 2) IEC-60364-4-442. Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed przepięciami. Ochrona instalacji niskiego napięcia przed przejściowymi przepięciami i uszkodzeniami przy doziemieniach w sieciach wysokiego napięcia.
- 3) IEC 60364-4-443:1999, Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed przepięciami. Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi i łączeniowymi.
- 4) IEC 60364-7-712:2007 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Część 7-712: Wytyczne dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Fotowoltaiczne (PV) układy zasilania.

W celu zabezpieczenia systemów fotowoltaicznych i podłączonych do nich urządzeń elektronicznych przed przepięciami i sprężeniami, stosuje się specjalne **ograniczniki przepięć (SPD – Surge Protection Device)** przeznaczone do systemów fotowoltaicznych po stronie napięcia stałego oraz standardowe ograniczniki przepięć po stronie prądu przemiennego. W instalacjach prądu stałego nie występuje „przejście prądu przez zero”, przez co utrudnione jest gaszenie prądów zwarciovych. Dobór niewłaściwych ograniczników przepięć może stwarzać zagrożenie pożarowe dla urządzeń elektrycznych i elektronicznych.

Tabela 1. Ogólne wytyczne doboru zabezpieczeń SPD w systemach fotowoltaicznych

Czy jest LPS?	Czy zachowano odstępy izolacyjne „s” od LPS?	Odległość pomiędzy modułami PV i falownikiem	SPD DC moduły PV	SPD DC falownik	SPD AC
tak	tak	< 10 m	–	Typ 2	Typ 1
		> 10 m	Typ 2	Typ 2	
	nie	< 10 m	–	Typ 1	
		> 10 m	Typ 1	Typ 1	
nie	–	< 10 m	–	Typ 2	Typ 2
		> 10 m	Typ 2	Typ 2	

Źródło: PN-HD 60364-7-712:2007 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Część 7-712: Wytyczne dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Fotowoltaiczne (PV) układy zasilania.

### Rodzaje ograniczników

- 1) **Ograniczniki przepięć typu 1** (klasy B) zabezpieczają przed bezpośrednim i bliskim uderzeniem pioruna.
- 2) **Ograniczniki przepięć typu 2** (klasy C) zabezpieczają większość odbiorników elektrycznych przed przepięciami komutacyjnymi i przepięciami zredukowanymi przez ograniczniki przepięć typu 1.
- 3) **Ograniczniki przepięć typu 3** (klasy D) dodatkowo zabezpieczają szczególnie czułe i kosztowne urządzenia elektryczne i elektroniczne.
- 4) **Zestawy ograniczników przepięć typu 1+2** (klasy B+C).

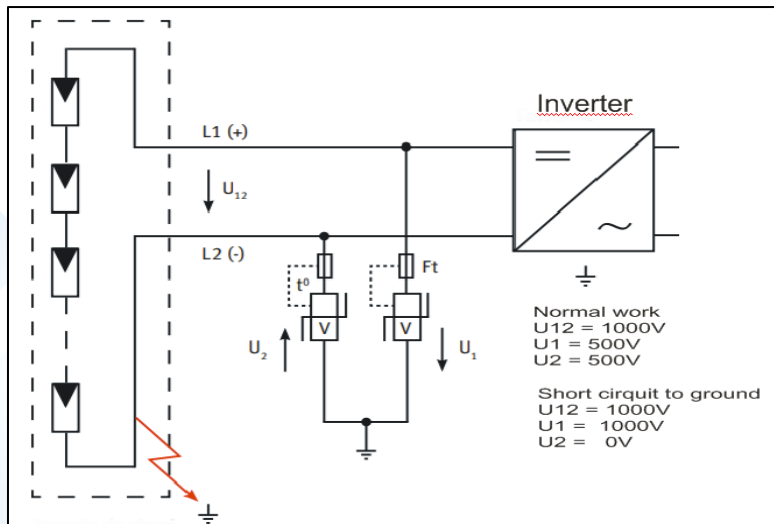
Obecnie w systemach PV po stronie DC coraz częściej stosowane są specjalne dedykowane ograniczniki przepięć z systemem SCI (Short Circuit Interruption), z trzystopniowym systemem przełączeniowym prądu stałego.

### Ograniczniki przepięć dla fotowoltaiki

Pojedyncze panele fotowoltaiczne wytwarzają prąd stały przy stosunkowo niewielkim napięciu rzędu 30-40V. Łącząc je szeregowo podnosimy całkowite napięcie obwodu DC napięcie do wartości kilkuset woltów, a czasem nawet więcej, gdyż na rynku są dostępne falowniki do 1200 czy 1500V DC. Do ochrony instalacji PV konstruuje się specjalne ograniczniki przepięć, zwykle są one dostosowane do napięć znamionowych w zakresie od 500 do 1500V DC, ale istnieją też wykonania na mniejsze napięcia.

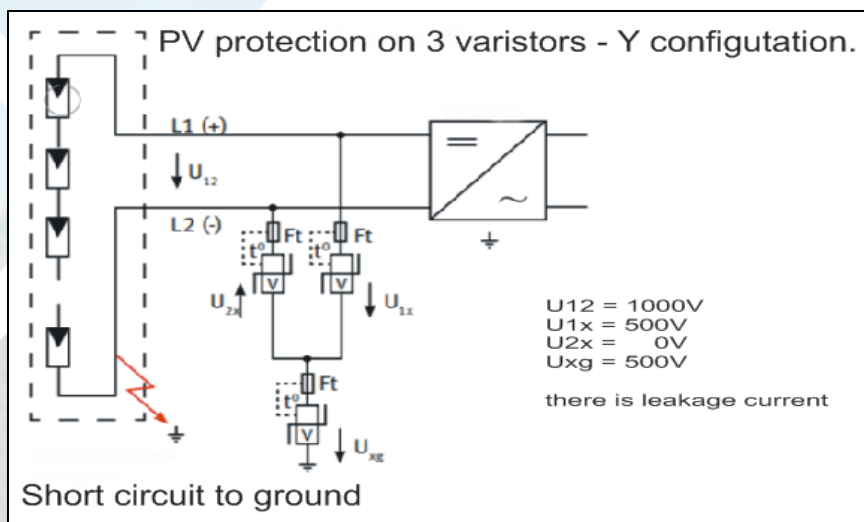
W zależności od konstrukcji i usytuowania instalacji fotowoltaicznej, długości przewodów, ich ułożenia oraz obecności instalacji odgromowej dokonuje się obliczeń i na tej podstawie podejmuje decyzję, czy należy zastosować ograniczniki przepięć typu 1+2, czy też wystarczy tylko typ 2 (Tabela 1).

Tańszym, ale technicznie gorszym rozwiązaniem są 2-modułowe ograniczniki przepięć dla fotowoltaiki do zabezpieczania biegunów dodatniego i ujemnego (rys. 4).



Rys. 4. Ogranicznik przepięć dwubiegunowy w obwodzie fotowoltaicznym, gdzie: Short circuit to ground – Uziemienie; Inverter – Falownik; Normal work – Normalna praca

Źródło: <http://www.jeanmueller.pl/pliki/ochrona-instalacji-fotowoltaicznych-2016.pdf>, (dostęp: 20.09.2018).



Rys. 5. Ogranicznik przepięć trójbiegunowy w konfiguracji „Y” w obwodzie fotowoltaicznym, gdzie: PV protection on 3 varistors – „Y” configuration – Ogranicznik przepięć trójbiegunowy w konfiguracji „Y”; Short circuit to ground – Uziemienie; There is leakage current – Występuje prąd upływowy

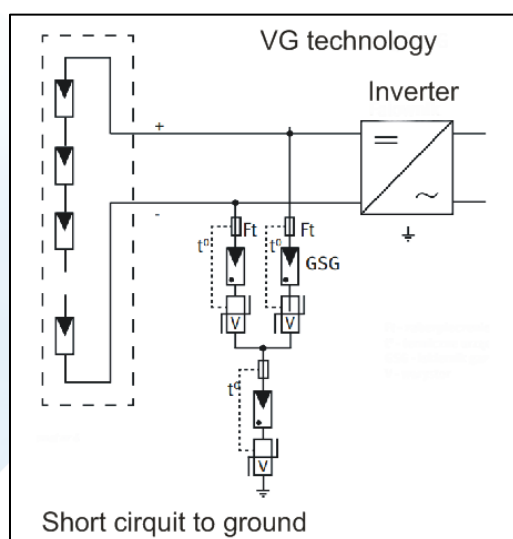
Źródło: <http://www.jeanmueller.pl/pliki/ochrona-instalacji-fotowoltaicznych-2016.pdf>, (dostęp: 20.09.2018).

Podczas normalnej pracy sieci występuje maksymalne napięcie 500V DC na biegunie dodatnim i 500V DC na biegunie ujemnym, a sumaryczne napięcie wyjściowe generatora wynosi 1000V. Moduły w ograniczniku przepięć są dobrane do takiego właśnie napięcia znamionowego – 500V DC. W przypadku zwarcia np. w wyniku uszkodzenia izolacji kabla, na biegunie, gdzie wystąpiło zwarcie, pojawi się napięcie 0V, a na drugim natomiast 1000V DC. Ponieważ moduł SPD był dobrany do napięcia 500V, a nie 1000V DC, nastąpi trwałe uszkodzenie tego ogranicznika.

Aby tego uniknąć należy zastosować wykonanie 3-biegunowe w układzie połączeń „Y” (rys. 5), gdyż trzeci dodatkowy moduł podłączony szeregowo względem uziemienia również jest na 500V DC, czyli w sumie SPD wytrzyma spadek napięcia 1000V DC.

We wcześniejszych rozwiązaniach jako elementy wykonawcze w tego typu zabezpieczeniach występowały warystory, ale ich wadą było występowanie prądów upływu i prądu roboczego. W późniejszych rozwiązaniach pojawiły się iskierniki gazowe. Dzięki temu wyeliminowany został prąd upływu, a pozostał niewielki prąd roboczy pomiędzy biegunem dodatnim i ujemnym.

Najlepszym na dzisiaj rozwiązaniem jest zastosowanie w każdej gałęzi iskierników (rys. 6), gdyż wtedy nie pojawiają się zarówno prądy upływu jak i prądy roboczego.



Rys. 6. Ogranicznik trójbiegunowy z iskiernikami w obwodzie fotowoltaicznym, gdzie: Short circuit to ground – Zwarcie do ziemi; Inverter – Falownik

Źródło: <http://www.jeanmueller.pl/pliki/ochrona-instalacji-fotowoltaicznych-2016.pdf>, (dostęp: 20.09.2018).

## Rozłączniki

Stosowane są na ogół po obu stronach falownika, czyli zarówno w obwodzie prądu stałego jak i przemiennego. Pełnią rolę ochrony falownika w czasie montażu, na wypadek prac serwisowych, wymiany elementów, itp. Na rynku znajdziemy całą gamę rozłączników różnych producentów i o różnych wartościach dopuszczalnego prądu rozłączenia.

Do przerwania prądu w tego typu rozłącznikach wykorzystywana jest elektromagnetyczna siła Lorentza powodująca wyciągnięcie i przerwanie łuku. Aparaty mają symetryczną konstrukcję, która umożliwia pracę niezależnie od polaryzacji, więc rozłącznik działa jednakowo w obu kierunkach przepływu prądu.

Dobłą praktyką jest stosowanie rozłączników z widoczną przerwą zrealizowaną przez duże okna w obudowie, które pozwalają sprawdzić położenie styków głównych aparatu. Działanie rozłącznika nie jest wrażliwe na skoki napięcia, a przełączanie odbywa się z prędkością niezależną od operatora (szybkie załączenie i rozłączenie).

W przypadku konieczności pracy w kategorii użytkowania DC22BF funkcje izolowania i rozłączania możemy realizowane są poprzez aparaty posiadające napięcie znamionowe łączeniowe  $U_e$  do 1100V DC i zakres prądowy od 160 do 1600A.

Rozłączniki izolacyjne mogą mieć wykonanie w wersji wewnętrznej, do zamocowania tylko wewnątrz budynku w suchych pomieszczeniach, jak i wykonanie zewnętrznie w klasie ochrony IP65. Ten ostatni typ rozłączników posiada najczęściej od razu wejścia typowe dla obwodów wyjściowych z generatora PV co eliminuje konieczność budowania przejściowego okablowania dużej mocy który byłby niepotrzebnym źródłem strat.

## 4.8. Ochrona odgromowa i instalacja uziemiająca

### **Urządzenia systemu fotowoltaicznego nie zwiększają ryzyka wyładowania piorunowego.**

Jednak zainstalowanie systemu fotowoltaicznego na dachu zwiększa ryzyko przedostania się prądu piorunowego do wnętrza budynku w przypadku wyładowania bezpośrednio w panel. Zaleca się, aby instalacje fotowoltaiczne były chronione przed skutkami wyładowań atmosferycznych przez zastosowanie instalacji odgromowych. W przypadku, gdy instalacji odgromowej nie ma, a urządzenia na dachu wykonane są w klasie ochronności niższej niż II klasa, należy taką instalację wykonać.

Zgodnie z prawami fizyki i siłami natury układ uziemiający łączący ciało naelektryzowane z ziemią pozwala na oddanie odpowiedniej liczby ładunków dodatnich dążąc do zubożenia elektrycznego. Odprowadzenie do ziemi udarowych prądów wyładowań atmosferycznych chroni budynek i ludzi w nim znajdujących się przed negatywnymi skutkami wyładowań atmosferycznych.

Instalator powinien poznać elementy używane do wykonania zwodów poziomych oraz zwodów pionowych. Na podstawie norm dotyczących instalacji odgromowych należy umieć dokonać klasyfikacji obiektu do odpowiedniej grupy obiektów i zgodnie z zapisami normy zaprojektować instalację odgromową. Istotnym elementem instalacji odgromowej jest uziemienie.

Uziom powinien charakteryzować się rezystancją mniejszą niż określona w normie, tak aby był w stanie odprowadzić do ziemi potencjał powstający w trakcie wyładowania atmosferycznego.

### **Zadania i zasady stosowania instalacji odgromowej**

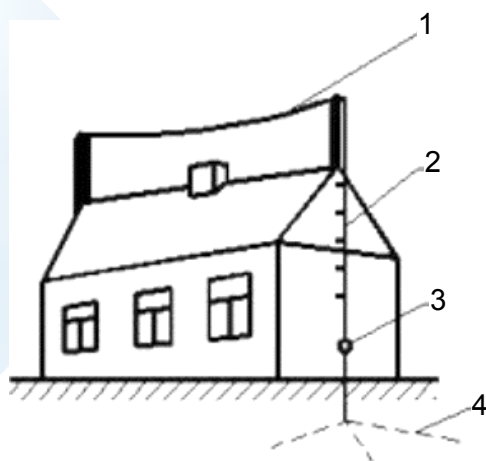
Podczas montażu instalacji fotowoltaicznej na dachu, zgodnie z wymogami aktualnych przepisów, należy ją chronić przed skutkami wyładowań atmosferycznych bezpośrednich i pobliskich. Dokonując analizy ryzyka wystąpienia szkód piorunowych zgodnie z zaleceniami normy EN 62305-2 (norma dotycząca zarządzania ryzykiem przy ochronie odgromowej) w przypadku gdy jest ona znaczne należy zamontować układ instalacji odgromowych (LPS), tworzących strefę ochronną o takich rozmiarach, aby całość urządzeń zamontowanych na dachu mieściła się wewnątrz tej strefy.

Jest ona odpowiedzialna za ochronę obiektu przed porażeniem wynikającym z wyładowań atmosferycznych.

### **Instalacja odgromowa składa się z (rys. 1):**

- 1) **zwodów**, które odpowiadają za bezpośrednie przyjęcie wyładowań piorunowych, które następnie odprowadzane są do ziemi. Umieszcza się je na dachach i ścianach budynków lub na masztach w sąsiedztwie chronionego budynku. Za zwody uznaje się naturalne zewnętrzne elementy konstrukcyjne dachu - maszty anten, wywietrzniki, dźwigary metalowe, zbrojenia żelbetonowe oraz wszelkie części metalowe wystające poza dach. Zwody mogą być również sztucznie wprowadzonymi prętami i przewodami zainstalowanymi pionowo lub poziomo. Zwody sztuczne wykonuje się ze stali nierdzewnej, miedzi lub stali ocynkowanej o minimalnej grubości 6 mm;

- 2) **przewodów uziemiających** (między przewodami odprowadzającymi a uziomem) i **odprowadzających** (między zwodami a przewodami uziemiającymi) służących do łączenia poszczególnych elementów instalacji w całość;
- 3) **uziomu** odpowiedzialnego za odprowadzenie ładunku elektrycznego pochodzącego z pioruna i przechwyconego przez metalowe części instalacji do gruntu. Uziemienie ma postać przewodu, który wykonany jest z przewodnika (naturalne wykorzystanie metalowych części podziemnych, nieizolowanych żelbetonowych fundamentów, metalowych rurociągów wodnych);
- 4) **zacisków probierczych** służących do kontroli i pomiaru rezystancji uziomu i ciągłości galwanicznej w części nadziemnej układu.



Rys. 1. Schematyczny rysunek instalacji odgromowej, gdzie: 1. Zwód poziomy wysoki, 2. Przewód odprowadzający, 3. Zacisk probierczy, 4. Uziom

Źródło: [https://www.researchgate.net/figure/Lightning-protection-system-LPS-transfer-the-lightning-current-safely-to-the-ground\\_fig1\\_282924315](https://www.researchgate.net/figure/Lightning-protection-system-LPS-transfer-the-lightning-current-safely-to-the-ground_fig1_282924315), (dostęp: 20.09.2018).

### Rozmieszczenie instalacji odgromowej na dachach oraz fasadach budynków

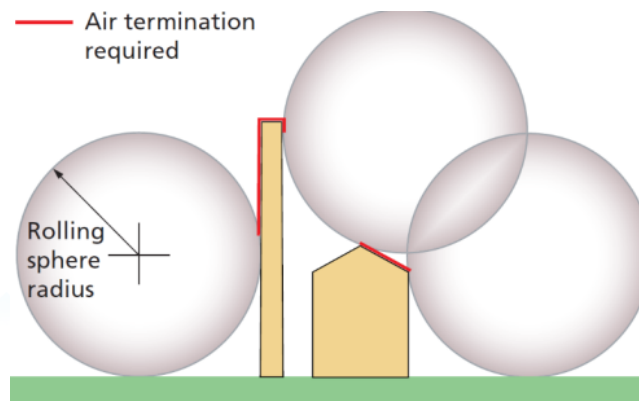
Na świecie znane są cztery podstawowe metody określające rozmieszczania elementów instalacji odgromowej dla prawidłowej ochrony budynków przed wyładowaniami atmosferycznymi.

#### 1. Metoda toczącej się kuli (Rolling Sphere Method)

Jest to prosta metoda, aby wyznaczyć obszar, który należy chronić. Ma zastosowanie przy określaniu wyładowań bocznych. W tej metodzie kula przetacza się po powierzchni struktury budynku, a punkt, w którym sfera dotknie jego ściany, jest najbardziej podatny na błyskawice.

W tym miejscu powinno znajdować się zakończenie zwodu odgromowego.

Promień kuli określa, która klasa ochrony jest potrzebna do prawidłowej ochrony.



Rys. 2. Schemat wyznaczania ochrony w metodzie toczącej się kuli, gdzie: Rolling sphere radius – Promień toczącej się kuli

Źródło: [https://www.lsp-international.com/bs-en-iec-62305-lightning-protection-standard/figure-15-application-of-the-rolling-sphere-method/#iLightbox\[postimages\]/0](https://www.lsp-international.com/bs-en-iec-62305-lightning-protection-standard/figure-15-application-of-the-rolling-sphere-method/#iLightbox[postimages]/0), (dostęp: 20.09.2018).

Tabela 1. Klasy zabezpieczeń i promień w metodzie toczącej się kuli

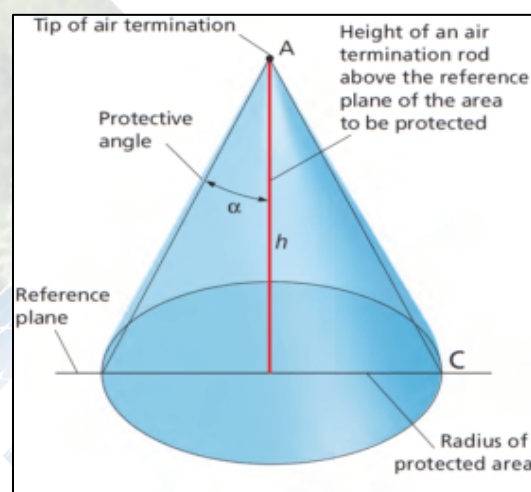
Klasa zabezpieczenia LPS	Promień toczącej się kuli (m)
<b>Klasa I</b>	20
<b>Klasa II</b>	30
<b>Klasa III</b>	45
<b>Klasa IV</b>	60

Źródło: [https://sep.com.pl/opracowania/opracowania\\_ochr\\_odgrom\\_bud.pdf](https://sep.com.pl/opracowania/opracowania_ochr_odgrom_bud.pdf), (dostęp: 20.09.2018).

## 2. Metoda kąta ochronnego

Ta metoda jest matematycznym uproszczeniem metody toczącej się kuli.

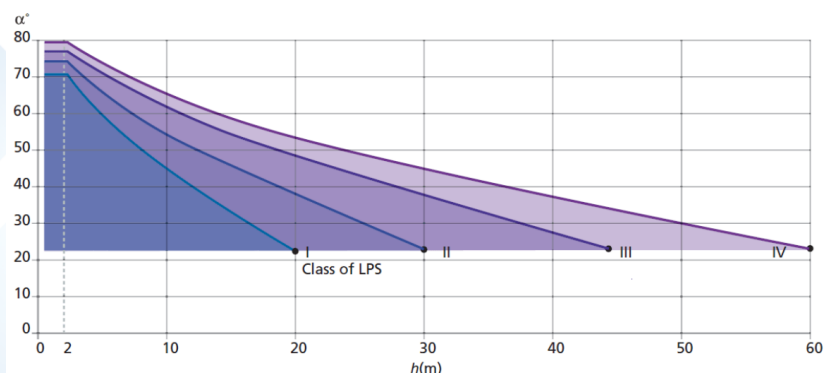
Kąt ochrony jest mierzony pomiędzy promieniem okręgu będącego rzutem kuli na powierzchnie ochranianą a wysokością zwodu ochronnego.



Rys. 3. Schemat wyznaczania ochrony w metodzie kąta ochronnego, gdzie: Reference plane – Płaszczyzna odniesienia; Protective angle – Kąt ochronny; Tip of air termination – Końcówka pręta; Height of an air termination rod above the reference plane of the area to be protected – Wysokość pręta w odniesieniu do obszaru, który ma być chroniony; Radius of protected area – Promień chronionego obszaru

Źródło: <https://www.lsp-international.com/bs-en-iec-62305-lightning-protection-standard/figure-16-the-protective-angle-method-for-a-single-air-rod/>, (dostęp: 20.09.2018).

Kąt ochrony zmienia się wraz z wysokością zwołu ochronnego i tym samym zmienia się klasą LPS. Ta metoda jest ograniczona do wysokości pojedynczego pręta równej lub mniejszej od promień kuli.



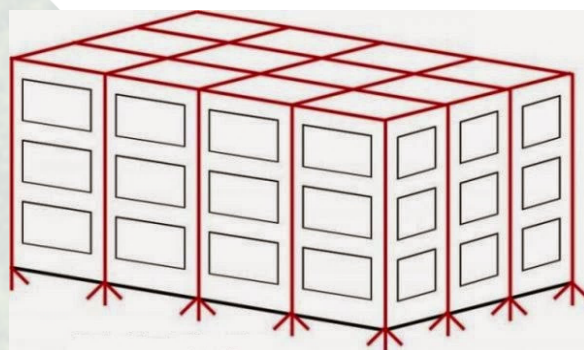
Rys. 4. Zależność kąta ochronnego  $\alpha^\circ$  od wysokości  $H$  zwołu i klasy LPS

Źródło: <https://www.lsp-international.com/bs-en-iec-62305-lightning-protection-standard/#post/0>, (dostęp: 20.09.2018).

### 3. Metoda elementów oczkowych – metoda siatkowa (Mesh method)

Ta metoda służy do ochrony dachów płaskich lub płaskich powierzchni. Metodę tę stosuje się tylko wtedy, gdy przewody są w kształcie oczek oraz:

- przewody oczek umieszczone są na krawędziach powierzchni,
- rozmiar oczek jest zgodny ze standardową tabelą,
- żadne metalowe konstrukcje nie powinny wystawać poza obszar oczka,
- z każdego punktu powinny istnieć co najmniej 2 oddzielne ścieżki do masy.



Rys. 5. Schemat wyznaczania ochrony w metodzie siatkowej

Źródło: <https://www.electrotechnik.net/2014/09/how-is-mesh-protection-for-lightning.html>, (dostęp: 20.09.2018).

Tabela 2. Klasy zabezpieczeń i powierzchnie oczek

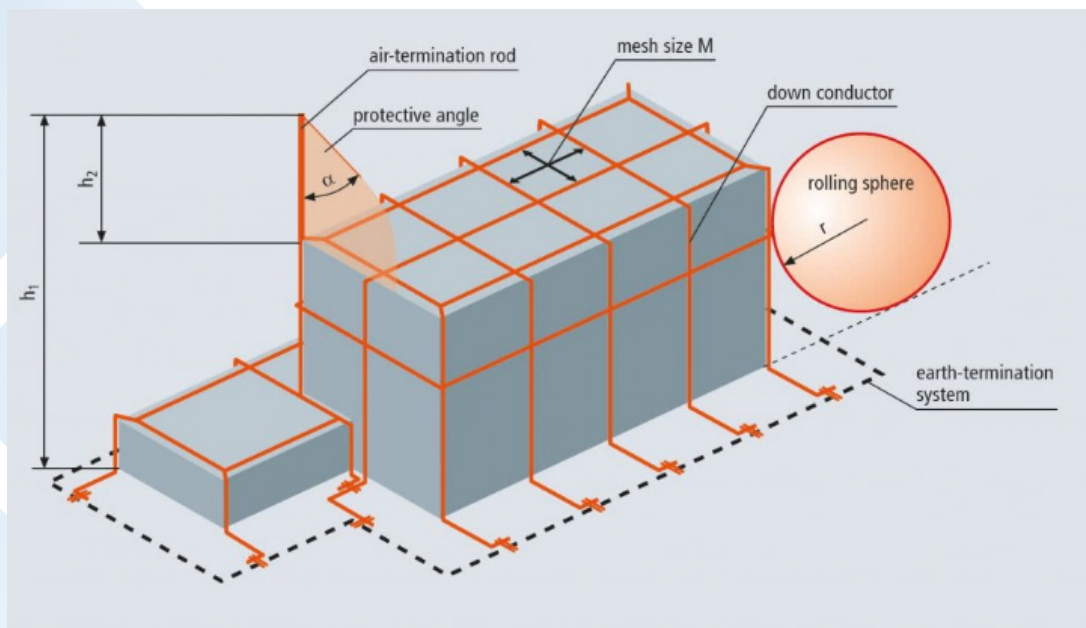
Klasa ochrony (LPS)	Wielkość oczka
I	5m x 5m
II	10m x 10m
III	15m x 15m
IV	20m x 20m

Źródło: [https://sep.com.pl/opracowania/opracowania\\_ochr\\_odgrom\\_bud.pdf](https://sep.com.pl/opracowania/opracowania_ochr_odgrom_bud.pdf), (dostęp: 20.09.2018).



#### 4. System mieszany

W praktyce dla skutecznej ochrony budynków stosuje się łącznie wszystkie trzy metody. W zależności od miejsca chronionego wybieramy tą metodę, która jest najbardziej optymalna dla tego fragmentu budynku.



Rys. 6. Schemat wyznaczania ochrony w systemie mieszanym, gdzie: Protective angle – Kąt ochrony; Air-termination rod – Pręt powietrzny; Mesh size M – Rozmiar oczka M; Down conductor – Dół przewodnika; Rolling sphere – Tocząca kula; Earth-termination system – System uziemienia

Źródło: <http://eurovolt.eu/en/post/5-1-air-termination-systems>, (dostęp: 20.09.2018).

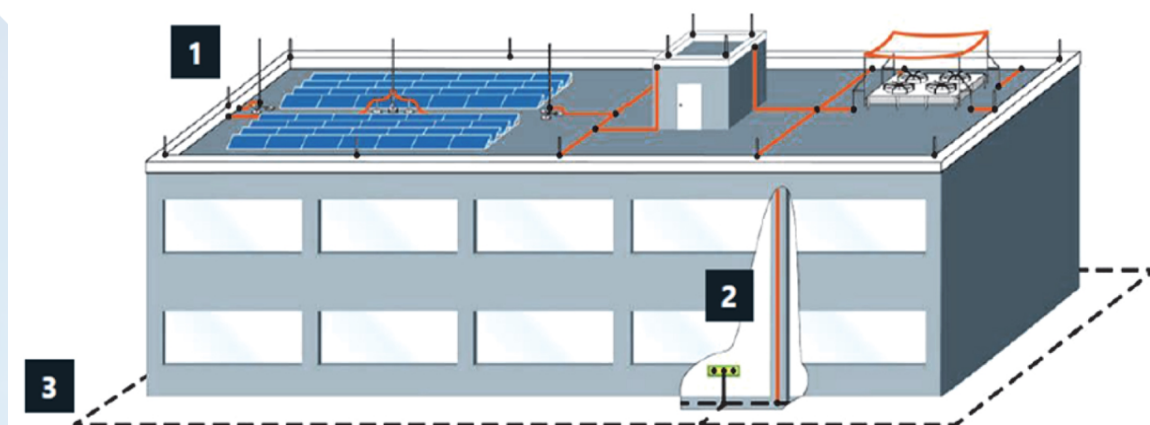
#### Ochrona przeciwprzebieciowa instalacji fotowoltaicznej na budynku bez instalacji odgromowej

W przypadku gdy instalacja fotowoltaiczna jest posadowiona na obiekcie bez istniejącej instalacji odgromowej należy taką instalację wykonać po przeprowadzonej wcześniej ocenie ryzyka. W Europie wielu ubezpieczycieli wymaga wykonania takiej ochrony w klasie III.

Podstawowe zasady ochrony przed bezpośrednim oddziaływaniem prądu piorunowego mówią, że „wszystkie urządzenia dachowe z materiałów izolacyjnych lub przewodzących, które zawierają wyposażenie elektryczne i/lub służące przetwarzaniu informacji, powinny znajdować się w przestrzeni ochronnej układu zwodów”.

Wynika z tego jasno, że gdy nie spełnimy tego zalecenia to bezpośrednie wyładowanie piorunowe w elementy systemu PV może doprowadzić do zniszczenia samego systemu fotowoltaicznego oraz instalacji elektrycznej i urządzeń zainstalowanych wewnątrz obiektu budowlanego.

Dlatego też cały system fotowoltaiczny musi być umieszczony w przestrzeni chronionej. Taką przestrzeń można stworzyć stosując odpowiednio dobrane układy zwodów pionowych lub poziomych. Należy również zachować odpowiednie odstępy izolacyjne pomiędzy urządzeniami systemu a zwodami lub przewodami odprowadzającymi.



Rys. 7. Instalacja fotowoltaiczna na budynku bez ochrony, gdzie: 1. Air – termination system – System napowietrzny; 2. Down conductor – Dół przewodnika; 3. Earth – termination system – System uziemienia

Źródło: <http://www.ee.co.za/article/lightning-protection-leave-experts.html>, (dostęp: 20.09.2018).

### Ochrona przeciwprzebieciowa instalacji fotowoltaicznej na budynku z instalacją odgromową

W przypadku gdy na budynku istnieje już instalacja odgromowa ważną kwestią przy wzajemnym dostosowywaniu zabezpieczenia instalacji fotowoltaicznej do instalacji odgromowej do jest zachowanie odpowiednich odstępów izolacyjnych.

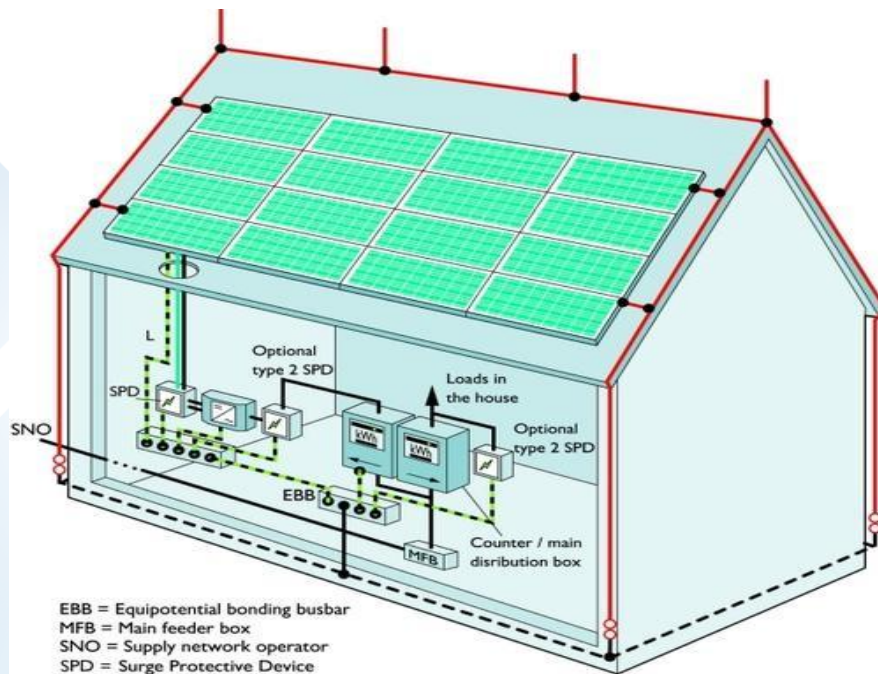
Ich zadaniem jest zabezpieczenie elementów instalacji fotowoltaicznej przed przeskokami iskrowymi czy łukami elektrycznymi, które w czasie trafienia piorunem instalacji odgromowej mogłyby pochodzić od zwodów czy przewodów piorunochronnych. Odstępy izolacyjne zgodnie z normą PN - EN 62305-3:2009 wyznacza się na podstawie wzoru:

$$S \geq k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} \cdot l$$

Gdzie:

- S – minimalny odstęp izolacyjny,
- $k_i$  – współczynnik uzależniony od klasy ochrony 0,04 dla III i klasy LPS,
- $k_m$  – współczynnik uzależniony od materiału odstepu izolacyjnego 1 – dla powietrza,
- $k_c$  – współczynnik uzależniony od rozptywu prądu w przewodach 1 – dla 1 przewodu odprowadzającego, 1...0,5 – dla 2 przewodów odprowadzających,
- l – długość w metrach, mierzona wzdłuż zwodu lub przewodu odprowadzającego od punktu, w którym jest rozpatrywany odstęp izolacyjny, do punktu najbliższego połączenia wyrównawczego.

Z reguły wystarczający odstęp izolacyjny S zawiera się między 0,5 a 1 m. Pewien problem pojawia się gdy między elementami instalacji PV a elementami instalacji odgromowej nie można zachować odstepu izolacyjnego np. z uwagi na stalową konstrukcję dachu lub jego pokrycia lub z uwagi na pełne wypełnienie panelami powierzchni dachu. W takim przypadku, aby system fotowoltaiczny przed przeskokami ładunków elektrycznych z instalacji piorunochronowej należy metalowe elementy konstrukcji paneli połączyć z instalacją odgromową.

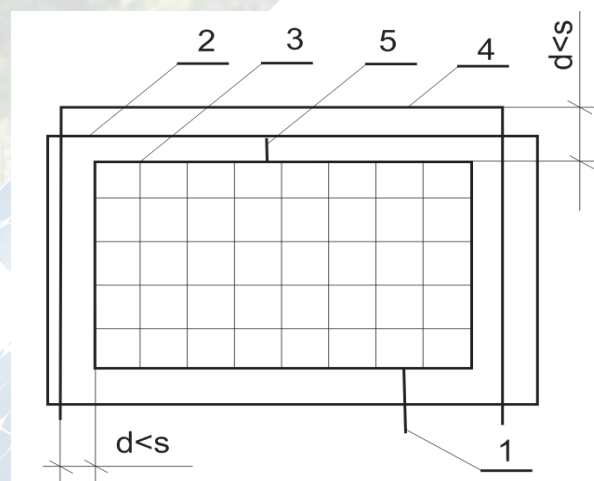


Rys. 8. Instalacja fotowoltaiczna na budynku z ochroną odgromową, gdzie: EBB = Equipotential bonding busbar – szynoprzewód wyrównujący potencjały; MFB = Main feeder box – Główna skrzynia podawcza; SNO = Supply network operator – operator sieci zasilającej; SPD = Surge Protective Device – Ochrona przeciwprzebieciowa; Optional type SPD Opcjonalny typ SPD; Loads in the house – ładunki w domu; Counter / main distribution box – Licznik / główna skrzynka rozdzielcza

Źródło: <https://www.indiamart.com/satcomelektronics/r-f-surge-protector.html>, (dostęp: 20.09.2018).

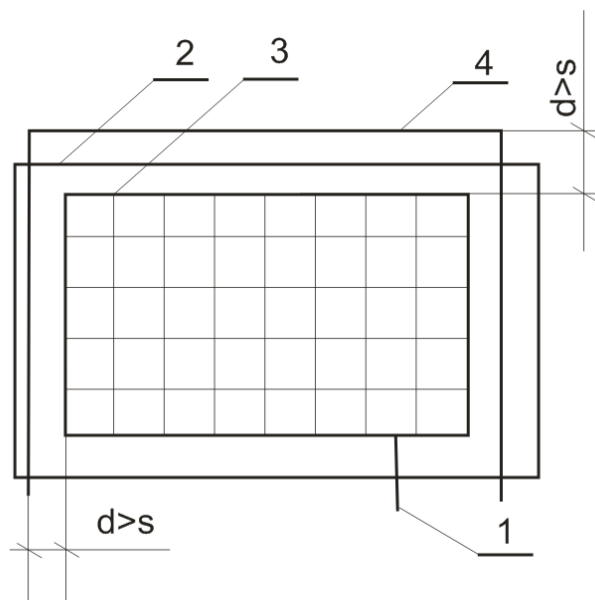
W praktyce mamy do czynienia z dwoma przypadkami:

- 1) Budynek jest wyposażony w LPS, a odległość elementów PV nie spełnia warunku  $d < s$ ; w takim przypadku konstrukcję wsporczą elementów PV należy objąć połączeniami wyrównawczymi.
- 2) Budynek jest wyposażony w LPS, a odległość elementów PV spełnia warunek  $d < s$ ; w takim przypadku konstrukcję wsporczą elementów PV należy połączyć z systemem zwodów odgromowych.



Rys. 9. Połączenia wyrównawcze dla gdy  $d < s$ , gdzie: 1 – przewód wyrównawczy do GSU; 2 – krawędź dachu, 3 – generator PV; 4 – zwody poziome; 5 – połączenie konstrukcji wsporczej PV z LPS

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 11. Połączenia wyrównawcze dla gdy  $d > s$ , gdzie: 1 – przewód wyrównawczy do GSU; 2 – krawędź dachu; 3 – generator PV; 4 – zwody poziome

Źródło: opracowanie własne.

#### 4.9. Zasady instalacji dla systemów solarnych

Rozpoczynając proces instalacji fotowoltaicznych należy przestrzegać pewnych zasad i kolejności wykonywania czynności podczas całego procesu. Takie postępowanie daje gwarancje, że nasze działania będą racjonalne, efektywne i skutecznie, a realizowana usługa dla klienta zostanie wykonana w terminie przy zachowaniu dobrej jakości oraz kosztach założonych w kosztorysie.

1	•Weryfikacja danych wejściowych
2	•Potwierdzenie warunków umowy
3	•Realizacja dostaw
4	•Zabezpieczenie miejsca instalacji
5	•Wykonanie instalacji
6	•Czynności końcowe i odbiór

Rys. 1. Weryfikacja danych wejściowych do projektu

Źródło: opracowanie własne.

### **Weryfikacja danych wejściowych do projektu**

Należy przeprowadzić wizję lokalną obiektu oraz upewnić się czy dostarczona dokumentacja techniczna jest zgodna i dopasowana do obiektu. Ta czynność ma znaczenie gdy wykonujemy instalacje z dokumentacji sporządzonej przez podmiot trzeci, a my jako instalatorzy nie braliśmy udziału w żadnej wizji lokalnej i przystępujemy do pracy jako firma wynajęta do wyżej wymienionych prac. W przypadku gdy projekt jest nasz ta czynność jest możliwa do pominięcia gdyż na etapie projektowania mieliśmy ciągły kontakt z obiektem .

### **Potwierdzenie z inwestorem warunków umowy przed przystąpieniem do realizacji zakupów**

Dobłą praktyką sprawdzoną w każdym przypadku jest potwierdzenie z klientem warunków umowy (ceny, terminy rozpoczęcia prac). Być może klient z różnych powodów potrzebuje niewielkich zmian co do rozpoczęcia prac. Jeżeli takie zmiany następują to należy je uzgodnić w formie pisemnej i potwierdzić obustronnym podpisem. Wtedy unikniemy ewentualnych nieporozumień i sporów co do warunków realizacji umowy.

### **Realizacja dostaw poszczególnych komponentów oraz kompletacja narzędzi**

Kolejnym krokiem jest kompletacja wszystkich komponentów niezbędnych do wykonania prac instalacyjnych oraz zapewnienie odpowiednich narzędzi do pracy. Dostarczone na miejsce instalacji elementy i narzędzia należy zabezpieczyć (najlepiej w porozumieniu z inwestorem – może posiada jakieś pomieszczenie gospodarcze w którym bezpiecznie i bez przeszkody dla żadnej ze stron mogą one być przechowywane w odpowiednich warunkach. Jeżeli nasza instalacja jest duża i przebiega etapami to należy rozważyć możliwość dostaw na poszczególne etapy co pozwoli zachować większy porządek podczas prac bez uszczerbku na terminowość jej realizacji.

Bardzo ważną sprawą jest dokonanie kontroli wejściowej dostarczonych elementów (modułów, falownika, okablowania wraz ze złączami i pozostałych elementów instalacji). Takie postępowanie pozwoli uniknąć ewentualnych sporów z dostawcą w przypadku dostawy wadliwej, gdyż nasza interwencja będzie natychmiastowa. Jeżeli zakupów dokonujemy sami to czynności kontrolne należy wykonywać bezpośrednio w miejscu zakupu.

### **Zabezpieczenie miejsca instalacji**

Ze względu, że nasze prace będą pracami elektrycznymi z jednej strony oraz pracami na wysokości z drugiej strony należy zabezpieczyć miejsce wykonywania instalacji zgodnie z przepisami BHP.

Pracownicy biorący udział w pracach powinni być zdrowi i posiadać wszelkie niezbędne uprawnienia potwierdzone stosowymi aktualnymi certyfikatami niezbędnymi do prowadzenia poszczególnych czynności.



Rys. 2. Przykładowe zabezpieczenie terenu

Źródło: <http://odnawialnezrodlaenergii.pl/energia-sloneczna-aktualnosci/item/514-farma-fotowoltaiczna-w-lipsku-na-finiszu>, (dostęp: 20.09.2018).

### Wykonywanie prac instalacyjnych

W następnym kroku przechodzimy do instalacji, którą przeprowadzamy etapowo.

W przypadku małych zespołów instalacyjnych (dwuosobowych) etapy realizujemy w kolejności jeden za drugim, natomiast w przypadku gdy dysponujemy zespołem większym możemy poszczególne etapy realizować równolegle.

Poszczególne etapy wynikają wprost z logiki budowy systemu i przedstawiają się następująco:

1. Montaż instalacji wsporczej (na dachu czy też na gruncie).



Rys. 3. Instalacja wsporcza na dachu

Źródło: <http://solarsystemmanufacturers.com/metal-roof-mounting-structure/metal-roof-mounting-structure-manufacturer/>, (dostęp: 20.09.2018).



Rys. 4. Instalacja wsporcza na gruncie

Źródło: <https://www.solarbuildermag.com/wp-content/uploads/2013/05/Solar-FlexRack.jpg>, (dostęp: 20.09.2018).

2. Kontrola poprawności montażu.
3. Montaż modułów fotowoltaicznych do konstrukcji wsporczej.



Rys. 5. Montaż modułów na dachowej konstrukcji wsporczej

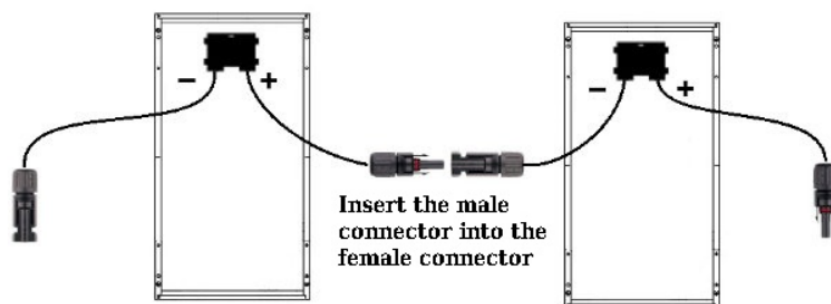
Źródło: <http://www.solarpanelsindustry.com/p/portfolio.html>, (dostęp: 20.09.2018).



Rys. 6. Montaż modułów na gruntowej konstrukcji wsporczej

Źródło: <http://www.ticktockenergy.com/ground-mounted-solar-panels/>, (dostęp: 20.09.2018).

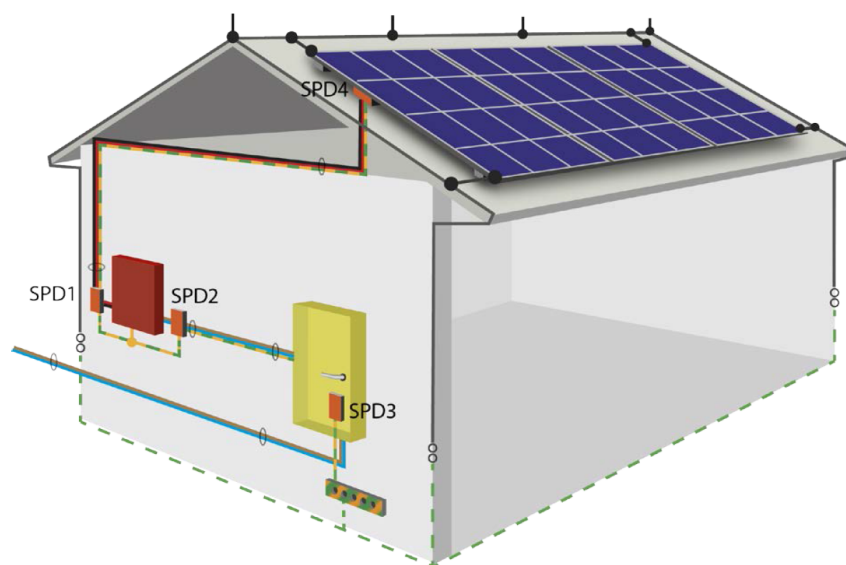
4. Kontrola poprawności montażu.
5. Połączenie elektryczne modułów i prowadzenie instalacji DC.



Rys. 7. Połączenie elektryczne modułów, gdzie: Insert the male connector into the female connector – Włóż męski wtyk do żeńskiego wtyczki

Źródło: <https://www.solar-electric.com/learning-center/wiring-cabling/how-to-use-mc4-connectors-cables.html>, (dostęp: 20.09.2018).

6. Kontrola i niezbędne pomiary pod względem elektrycznym.
7. Montaż instalacji odgromowej (jeżeli występuje) i zabezpieczeń po stronie DC.



Rys. 8. Instalacja odgromowa

Źródło: <http://www.novaris.com.au/wp-content/uploads/2016/02/0015-D29V2-Protection-for-PV-Systems-Australia.pdf>, (dostęp: 20.09.2018).

8. Kontrola i niezbędne pomiary elektryczne.
9. Montaż skrzynki połączeniowej DC (connection box) oraz wyłącznika głównego DC skojarzonego z obwodem DC.





Rys. 9. Montaż skrzynki DC

Źródło: <https://www.etigroup.eu/solution/protection-of-photovoltaics-systems/dc-distribution-and-protection>, (dostęp: 20.09.2018).

10. Ostateczna kontrola całości układu DC po stronie kolektorów PV.
11. Prowadzenie instalacji głównego kabla DC i do skrzynki połączeniowej (connection box) do falownika.
12. Montaż falownika zgodnie z instrukcją



Rys. 10. Montaż falownika

Źródło: <http://greenpowerco.com.au/wp-content/uploads/2016/11/sma-inverters-1024x354.jpg>, (dostęp: 20.09.2018).

13. Kontrola poprawności zainstalowania głównego kabla DC i montażu falownika.
14. Poradzenie instalacji AC od falownika do rozdzielni głównej.
15. Montaż zabezpieczeń po stronie AC.



Rys. 11. Zabezpieczenia AC

Źródło: <https://solarbay.com.au/projects/drury-farm-dairy-commercial-solar/dairy-farm-solar/>, (dostęp: 20.09.2018).

16. Kontrola poprawności montażu obwodu AC.
17. Przyłączenie falownika do sieci (jeśli wstępnie).
18. Montaż i podłączenie magazynu energii jeśli występuje.
19. Wstępne uruchomienie falownika bez podłączonego obwodu DC w celu sprawdzenia poprawności instalacji AC.
20. Chwilowe rozłączenie falownika od sieci.
21. Podłączenie obwodu DC do falownika i ponowne jego uruchomienie.
22. Przeprowadzenie niezbędnych nastaw i czynności programowych w falowniku.
23. Uruchomienie układu komunikacji zdalnej.
24. Odłączenie urządzeń dodatkowych jeżeli występują (np. Solar Log) do analizy.

#### **Czynności końcowe i odbiór:**

1. Podstawowe szkolenie dla użytkownika.
2. Podpisanie protokołu odbioru, wystawienie dokumentów gwarancyjnych kończącego instalację.
3. Końcowe rozliczenie z klientem.

## **4.10. Typowe błędy podczas instalacji**

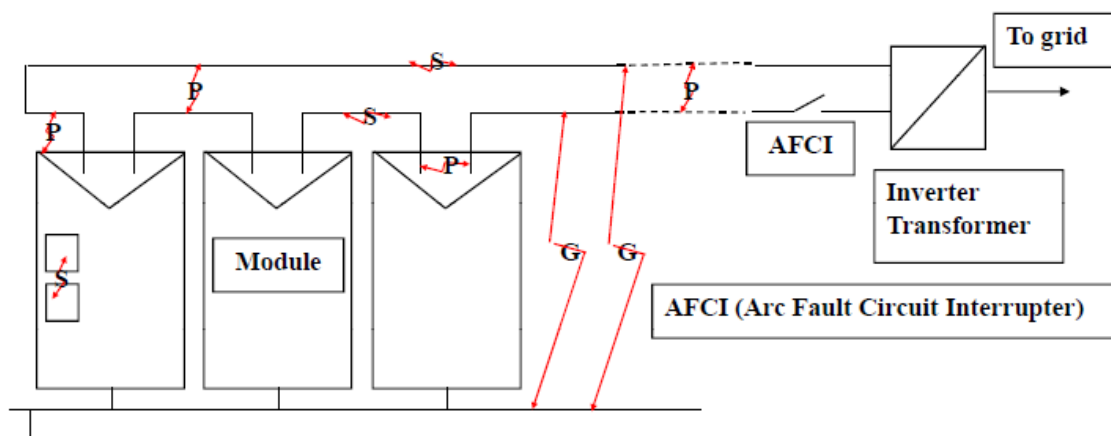
Systemy PV powinny działać przez wiele lat. Dlatego też użyteczne będą informacje na temat typowych błędów i problemów występujących podczas montażu systemu.

### **Awarie izolacji (przebicia)**

W ostatnich latach znacznie poprawiła się jakość przewodów i połączeń pomiędzy modułami przez wprowadzenie złączy wtykowych. Stosowanie kabli i połączeń kablowych mało odpornych na temperaturę i promieniowanie UV stwarzało wiele problemów.

Właściwe połączenie związane jest także z odpowiednią wytrzymałością mechaniczną. Wszystkie połączenia i izolacje starzeją się. Żywotność kabli stosowanych w systemach zasilania energetycznego określa się na 45 lat.

Izolacja kabla może być uszkodzona przez promieniowanie UV, przepięcia napięciowe oraz mechanicznie. Jakiegokolwiek uszkodzenia izolacji po stronie DC mogą spowodować iskrzenie stanowiące zagrożenie pożarowe.



Rys. 1. Prawdopodobne miejsca uszkodzenia kabli w instalacji fotowoltaicznej, gdzie: To grid – Do sieci; Inverter – Falownik; Transformer – Transformator; AFCI (Arc Fault Circuit Interrupter) – AFCI (Przerywacz obwodu usterki łuku); Module – Moduł PV

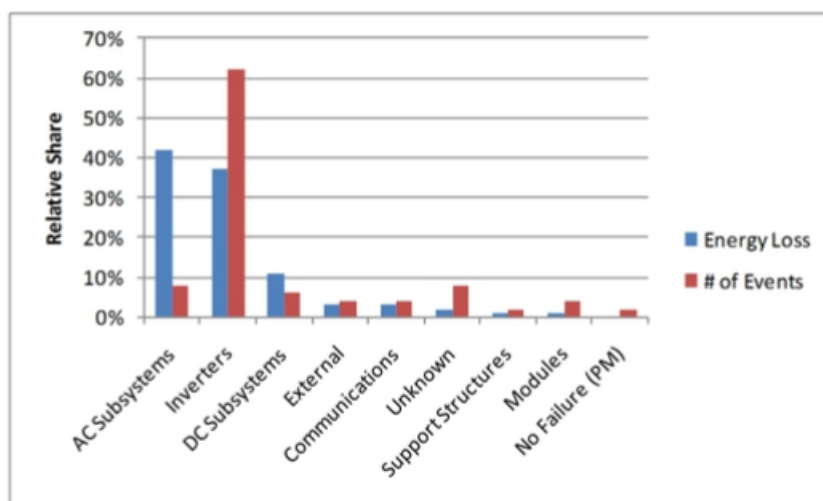
Źródło: <https://www.agcs.allianz.com/assets/PDFs/ARC/Tech%20Talks/TTVol8-FireHazardsofPVSystems.pdf>, (dostęp: 20.09.2018).

W związku z tym okablowanie musi być okresowo sprawdzane pod względem mechanicznych i termicznych uszkodzeń. Najlepszym rozwiązaniem jest pomiar rezystancji izolacji.

Automatyczny monitoring izolacji stosowany w falownikach jest bardzo użyteczną funkcją. System monitoringu sygnalizuje uszkodzenie izolacji i odłącza system PV od sieci energetycznej. Jednak prąd z paneli PV stale będzie dostarczany. Oznacza to, że awaria nie może być wyeliminowana przez falownik. Jeśli taka awaria zostanie zasygnalizowana jak najszybciej powinna być podjęta akcja jej usunięcia.

### Awaryjne falowników

Najczęściej sygnalizowanymi awariami są awaryjne falowników (63%). Można zaobserwować jednak znaczną poprawę w tym zakresie. Powszechnym błędem jest niewłaściwe wymiarowanie lub/i okablowanie lub dopasowanie napięciowe z panelami PV. Wiele firm instalacyjnych przezwyciężyło ten problem stosując narzędzia programowe pozwalające na właściwą symulację parametrów systemu. Innym źródłem problemów z inwerterami są przepięcia spowodowane impulsami elektrycznymi lub przetężeniami sieciowymi, starzeniem lub przegrzaniem.



Rys. 2. Procentowy rozkład uszkodzeń w systemach PV, gdzie: Relative Share – Względny udział; Energy Loss – Utrata energii; Energy of Events – Energia wydarzeń; AC Subsystems – Podsystemy AC; Inverters – Falownik; DC Subsystems – Podsystemy DC; External – Zewnętrzna; Communications – Komunikacja; Unknown – Nieznany; Support Structures – Struktury wsparcia; Modules – Moduły PV; No Failure (PM) – Brak awarii (PM)

Źródło: <https://www.scottmadden.com/insight/solar-photovoltaic-plant-operating-and-maintenance-costs/>, (dostęp: 20.09.2018).

### Awarie mechaniczne modułów

Typową awarią jest zniszczenie modułów PV podczas instalacji na dachu podczas ich ustawiania w celu uzyskania płaskiej powierzchni. Typowym błędem w montażu PV jest brak dylatacji pomiędzy modułami lub zbyt rzadkie mocowania nie uwzględniające siły wiatru. Źle dobrany moduł do warunków środowiskowych pod wpływem temperatury i wiatru lub w wyniku starzenia może ulegać szybkiej degradacji i np. szkło może się kruszyć, a źle dobrany materiał na ramy montażowe może powodować ich korozję.



Rys. 3. Uszkodzenie generatora PV pod wpływem wiatru

Źródło: <https://www.renewableenergyworld.com/articles/print/volume-18/issue-4/features/solar/ensuring-your-solar-array-doesn-t-get-caught-in-the-wind.html>, (dostęp: 20.09.2018).

Błędy i uszkodzenia w instalacji PV mogą być zminimalizowane poprzez odpowiednie projektowanie, instalację i konserwację systemu fotowoltaicznego. Zwykle w instalacjach fotowoltaicznych najczęściej błędów występuje podczas instalacji.

### Częste błędy podczas montażu paneli i konfiguracji:

- 1) Zmiana okablowania, bez naniesienia poprawek na schemat elektryczny.
- 2) Zmiana typu modułu lub producenta w wyniku problemów w dostawach.
- 3) Przekroczenie napięcia modułu lub falownika na skutek nieprawidłowego zaprojektowania paneli.
- 4) Umieszczenie zbyt małej liczby szeregowych modułów do prawidłowego działania falownika podczas wysokich temperatur letnich.
- 5) Instalacja modułów fotowoltaicznych bez uwzględnienia parametru  $I_{mp}$  każdego modułu (grupowanie)

### Częste błędy instalacyjne w okablowaniu:

- 1) Błędy ludzkie w wykonywaniu połączeń podczas instalacji.
- 2) Nie wystarczające przymocowanie kabli do podłoża (tras kablowych).



Rys. 4. Źle ułożone kable PV

Źródło: <https://solarprofessional.com/articles/design-installation/common-residential-pv-system-code-violations#.W9Hs1nszapo>, (dostęp: 20.09.2018).

- 3) Przewody dotykające dachu lub innych powierzchni ściernych narażone na uszkodzenia fizyczne.
- 4) Źle umocowane trasy kablowe- mocowania w zbyt dużych odstępach.
- 5) Zbyt wiele kabli wchodzących w jeden zacisk.



Rys. 5. Ułożone kable PV bez trasy kablowej

Źródło: <https://newenglandcleanenergy.com/energymiser/2013/05/09/shady-solar-installers-installment-2-why-wires-matter/>, (dostęp: 20.09.2018).

- 6) Brak elementów nośnych do prowadzenia przewodów.
- 7) Zbyt mocno naciągnięte lub za luźne kable.
- 8) Nie w pełni wykorzystane złącza wtykowe.
- 9) Gięcia przewodów zbyt blisko gniazda.
- 10) Źle połączone złącza wtykowe (nie zablokowane).

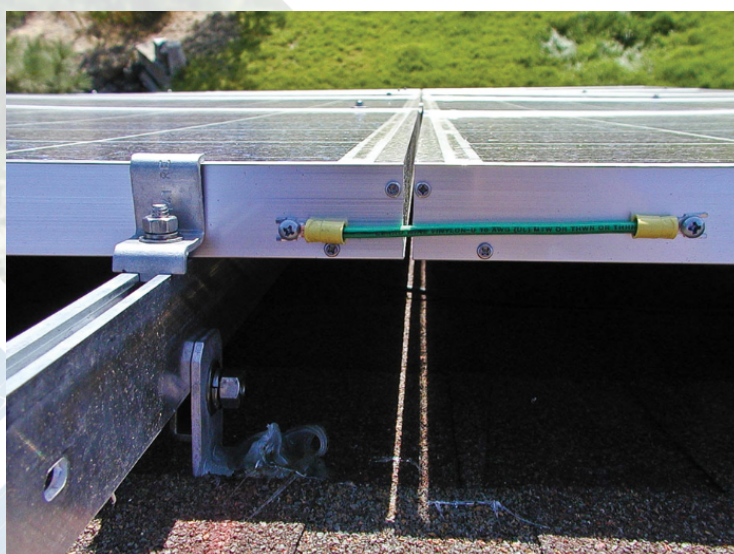


Rys. 6. Prawidłowe podłączenie kabli PV przy pomocy złącz wtykowych

Źródło: <https://www.homepower.com/articles/solar-electricity/equipment-products/array-wire-management>, (dostęp: 20.09.2018).

#### Typowe błędy instalacyjne uziemienia modułów fotowoltaicznych:

- 1) Brak instalacji uziemiającej na panelu.
- 2) Nie połączone różne części modułów w celu osiągnięcia równego potencjału uziemienia.



Rys. 7. Połączenie wyrównujące potencjały uziemienia modułów w systemach PV

Źródło: <https://solarprofessional.com/articles/design-installation/common-residential-pv-system-code-violations#.W9Hs1nszapo>, (dostęp: 20.09.2018).

- 3) Korzystanie z niewłaściwych uchwytów uziemiających do uziemienia modułów fotowoltaicznych i konstrukcji wsporczych.
- 4) Założenie, że wbite w ziemię ramki aluminiowe do wsparcia struktur zapewniają skuteczne uziemienie.
- 5) Źle zwymiarowana instalacja uziemiająca.
- 6) Nie zainstalowane prawidłowo zabezpieczenie odgromowe.



Rys. 7. Fragment instalacji odgromowej w systemie PV

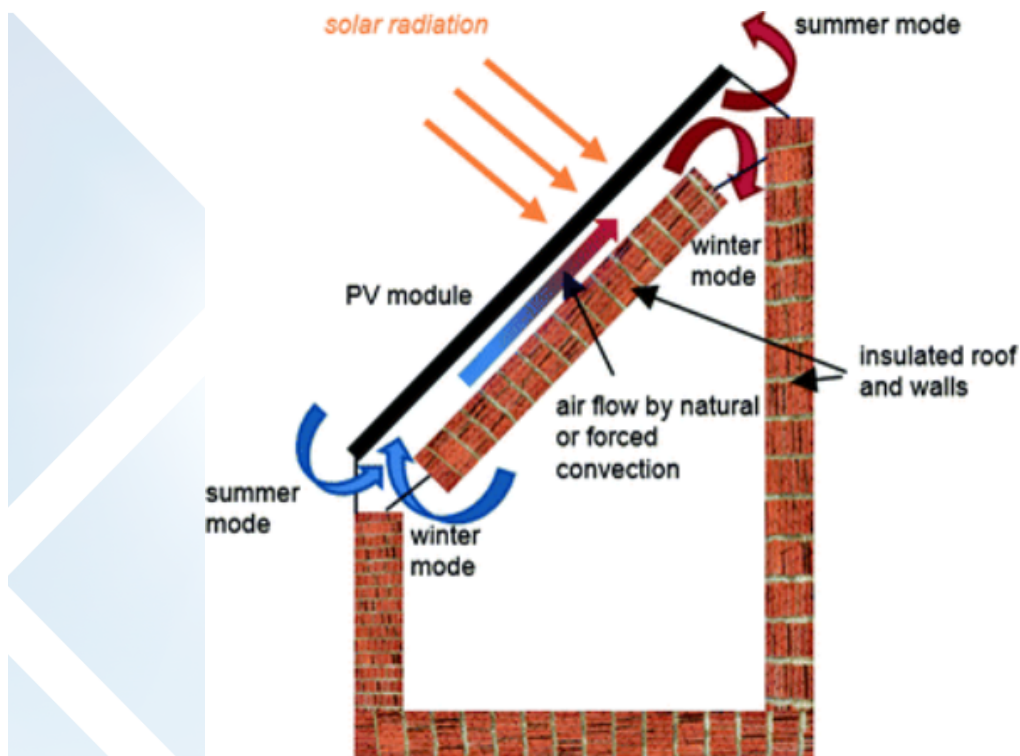
Źródło: <https://www.solarinsure.com/protect-your-solar-power-system-from-lightning>, (dostęp: 20.09.2018).

#### **Typowe błędy dotyczące instalacji skrzynek elektrycznych, tras kablowych oraz przy deinstalacji:**

- 1) Zrywanie się instalacji przystosowanych do montażu pionowego w nie-pionowym zastosowaniu – instalowanie wyłączników przeznaczonych do pracy pionowej w ustawieniu nie-pionowym.
- 2) Instalacja bezpieczników o niewłaściwej wartości.
- 3) Źle zlokalizowane skrzynki elektryczne i trasy kablowe co czyni je prawie niedostępnymi dla serwisu.
- 4) Nieprzestrzeganie wskazówek producenta dotyczących odłączenia okablowania po stronie DC.
- 5) Instalacja kabli bez lub o nieodpowiedniej izolacji w miejscach wilgotnych i wewnątrz skrzynek nie odpornych na zamoknięcie.
- 6) Stosowanie nieodpowiednich mocowań aby wprowadzić kable do skrzynek zewnętrznych.

#### **Typowe błędy instalacyjne związane z systemami mocowania:**

- 1) Zastosowanie niewłaściwego sprzętu montażowego.
- 2) Źle wykonane obróbki dekarские.
- 3) Stosowanie nieodpowiednich mocowań dachowych dla konkretnego rodzaju dachu.
- 4) Stosowanie nie odpowiednich wkrętów do zakończeń dachowych, do elementów więźby dachowej.
- 5) Wiercenie nieodpowiednich otworów pod kołki rozporowe i popękane zakończenia dachowe (elementy więźby dachowej).
- 6) Nieprawidłowa odległość modułów od dachu.



Rys. 8. Wymiana powietrza przy dobrze zamontowanym module PV, gdzie: Solar radiation – Promieniowanie słoneczne; PV module – Moduł PV; Summer mode – Tryb letni; Winter mode – Tryb zimowy; Air flow by natural or forced convection – Przepływ powietrza przez konwekcję naturalną lub wymuszoną; Insulated roof and walls – Izolowany dach i ściany

Źródło: Olivier Dupré, Rodolphe Vaillon, Martin A. Green; *Thermal Issues in Photovoltaics and Existing Solutions* Springer International Publishing AG 2017.

## 4.11. Dokumentacja techniczna instalacji i warunki odbioru

### Dokumentacja techniczna

Większość instalacji PV pracuje w trybie on grid tzn. jest przyłączona do sieci elektroenergetycznej. Takie przyłączenie każdego urządzenia wymaga spełnienia wymaganych przez lokalnego operatora sieci określonych warunków technicznych.

W przypadku mikroinstalacji jednym z warunków jest przedstawienie na etapie składania wniosku o przyłączenie dokumentacji technicznej instalacji .

Dokumentacja powinna zawierać:

- schemat instalacji elektrycznej obiektu,
- sposób podłączenia mikroinstalacji do instalacji elektrycznej obiektu oraz do sieci,
- w przypadku, gdy zgłaszającym jest przedsiębiorca, układ połączeń powinien zawierać układ pomiarowy energii elektrycznej wytworzonej w mikroinstalacji.



Ponadto wniosek o przyłączenie instalacji fotowoltaicznej powinien zawierać szczegółowe informacje dotyczące poszczególnych elementów instalacji:

### 1. Informacja o instalacji fotowoltaicznej

- a) Miejsce usytuowania grunt/dach/elewacja/inne .....
- b) Ilość sekcji\* ..... [szt.].
- c) Moc znamionowa sekcji ..... [W].
- d) Maksymalne dopuszczalne napięcie ..... [V].
- e) Rodzaj zamontowana trwale na: .....
- f) Max wysokość konstrukcji\*\* ..... [m].

\* Jako sekcje należy traktować grupę paneli przyłączonych do jednego inwertera.

\*\* Dotyczy tylko konstrukcji montowanych na gruncie, liczona od gruntu do najwyższej wysuniętego elementu konstrukcji / panelu.

### 2. Ogniwo fotowoltaiczne

- a) Producent/kraj/typ:
- b) Przewidywany czas eksploatacji w latach: .....
- c) Maksymalna moc znamionowa: ..... [W].
- d) Napięcie jałowe DC (obwodu otwartego): ..... [V].
- e) Maksymalne napięcie DC: ..... [V].
- f) Prąd zwarcia: ..... [A].
- g) Maksymalny prąd dla warunków optymalnych: ..... [A].
- h) Sprawność znamionowa ..... [%].
- i) Wymiary (szer./wys.) ..... [m].

### 3. Falownik DC/AC (inwerter)

- a) Typ falownika
- b) Producent/Kraj ....
- c) Ilość przekształtników .... [szt.].
- d) Moc znamionowa AC .... [kW].
- e) Moc znamionowa DC .... [kW]
- f) Maksymalne napięcie wejściowe .... [V].
- g) Napięcie znamionowe wyjściowe .... [V].
- h) Zakres zmiany napięcia wyjściowego .... [V].
- i) Prąd znamionowy wejściowy .... [A].
- j) Prąd znamionowy wyjściowy .... [A].
- k) Prąd wyjściowy min/max .... [A].
- l) Pobór mocy w trybie nocnym .... [W].
- m) Częstotliwość .... [Hz].
- n) Zakres zmian częstotliwości [Hz].
- o) Współczynnik zniekształceń .... [%].
- p) Współczynnik mocy .... [--].

### Wykonanie instalacji

Ponadto należy zwrócić uwagę, że budowa zarówno samej mikroinstalacji jak i jej podłączenie do sieci elektroenergetycznej może być wykonana jedynie przez osobą posiadającą właściwe uprawnienia określone w przepisach danego kraju.

## Testy końcowe, uruchomienie i przekazanie do użytkownika

Proces instalacji kończy się etapem testowania i uruchamiania. Ten etap poprzedza procedurę sporządzenia przez instalatora pisemnego protokołu, który zawiera wyniki testów uruchomieniowych w tym te określone w instrukcji montażu przez producentów zastosowanych urządzeń PV.

Pomiary testowe powinny być poprzedzone wstępnymi oględzinami systemu, których należy dokonać jeszcze przed włączeniem zasilania instalacji. Oględziny powinny być przeprowadzone zgodnie z wymaganiami normy IEC 60364-6.

**Uwaga:** W przypadku przewodów elektrycznych, które po zakończeniu montażu systemu mogą znaleźć się w miejscach trudnodostępnych, konieczne może być ich sprawdzanie jeszcze przed lub w trakcie prac instalacyjnych.

Należy upewnić się, że następujące elementy, typowe dla systemów fotowoltaicznych podłączonych do sieci zostaną skontrolowane w trakcie wstępnych oględzin:

### **Strona stałoprądowa (DC) systemu PV – przegląd ogólny**

Ogólny przegląd instalacji DC powinna zweryfikować, czy:

- 1) System DC został zaprojektowany, wyspecyfikowany i zainstalowany zgodnie z wymaganiami normy IEC 60364, a w szczególności jej części IEC 60364-9-1.
- 2) Maksymalne napięcie pola modułów PV jest odpowiednie dla lokalizacji systemu PV (IEC 60364-9-1 i lokalne przepisy mogą stanowić, że instalacje powyżej pewnego napięcia mogą być umieszczone tylko w określonych lokalizacjach).
- 3) Wszystkie elementy systemu i struktury montażowe zostały wybrane i zmontowane w taki sposób, aby wytrzymać wpływ spodziewanych warunków zewnętrznych, takich jak wiatr, śnieg, temperatury czy narażenia na korozję.
- 4) Mocowanie dachowe i przepusty przewodów elektrycznych są odporne na warunki atmosferyczne (tam gdzie ma to zastosowanie).

### **System DC – ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym**

Kontrola instalacji DC powinna objąć co najmniej weryfikację przyjętych środków w celu ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym w przypadku wystąpienia wad izolacji, w tym:

- a) Środki ochronne przewidziane przy stosowaniu bardzo niskiego napięcia (SELV / PELV) – tak / nie;
- b) Ochrona przez zastosowanie klasy II lub równoważnej izolacji zastosowanej po stronie DC – tak / nie;
- c) Przewody i połączenia łańcuchów PV i pola modułów PV zostały wybrane i zainstalowane w sposób minimalizujący ryzyko wystąpienia zwarcia pomiędzy nimi i zwarcia doziemnych; zazwyczaj osiąga się przez zastosowanie kabla z izolacją ochronną i wzmocnioną (często określaną jako podwójna izolacja) – tak / nie.

### **System DC – ochrona przed skutkami uszkodzenia izolacji**

Kontrola instalacji DC powinna objąć co najmniej weryfikację obowiązujących środków ochrony przed skutkami uszkodzenia izolacji, w tym:

- a) Separacja galwaniczna wewnątrz falownika lub po stronie AC – tak / nie;
  - b) Uziemienie funkcjonalne każdego elementu przewodzącego – tak / nie;
- UWAGA:** znajomość separacji galwanicznej i funkcjonalnych rozwiązań uziemienia są niezbędne w celu ustalenia, czy prawidłowo zostały określone środki mające na celu ochronę przed skutkami uszkodzenia izolacji;

- c) System alarmowy wykrywania niskiej rezystancji izolacji pomiędzy polem modułów PV a ziemią – zgodność z wymaganiami normy IEC 60364-9-1.

**UWAGA:** opcja najczęściej zapewniana przez falownik.

### **System DC – zabezpieczenie nadprądowe**

Kontrola instalacji DC powinna objąć co najmniej weryfikację zabezpieczeń nadprądowych w obwodach prądu stałego:

- a) W przypadku systemu bez zabezpieczenia nadprądowego w łańcuchach modułów PV, należy upewnić się, że:
- $I_{MOD\_MAX\_OCPR}$  (maksymalny prąd znamionowy bezpiecznika szeregowego w łańcuchu) jest większy niż możliwy prąd wsteczny;
  - Okablowanie łańcuchów modułów PV jest dobrane tak aby przenieść maksymalny prąd zwarciový z równolegle podłączonych łańcuchów.

**Uwaga:** do obliczania prądów wstecznych pola modułów PV należy stosować normę IEC60364-9-1;

- b) W przypadku systemów z zabezpieczeniem nadprądowym w łańcuchach upewnij się, że urządzenia ochronne nadprądowe są odpowiednie, właściwie zainstalowane i zgodne z wymaganiami normy IEC 60364-9-1; podobnie gdy zabezpieczenie nadprądowe zainstalowane zostało dla całego pola modułów PV lub jakiejś jego sekcji.

### **System DC – instalacja uziemiająca**

Kontrola instalacji uziemienia strony DC powinna objąć co najmniej sprawdzenie:

- a) W przypadku, gdy system PV zawiera funkcjonalne uziemienie jednego z przewodów DC – zgodności specyfikacji i zainstalowania tego uziemienia z wymogami normy IEC 60364-9-1;
- b) W przypadku gdy system PV posiada bezpośrednie połączenie do ziemi po stronie DC – zgodności zastosowanego rozłącznika z wymaganiami normy IEC 60364-9-1;
- c) Zgodności sposobu połączeń uziemiających ramy pola modułów PV z wymaganiami normy IEC 60364-9-1.

**UWAGA:** Przepisy lokalne mogą wymagać różnych połączeń.

- d) W przypadku, gdy są zainstalowane uziemienie ochronne i / lub przewody wyrównujące potencjały, należy sprawdzić czy są one ułożone równoległe do przewodów DC i związane z nimi.

### **System DC – Ochrona przed skutkami wyładowań atmosferycznych oraz przepięć**

Kontrola instalacji DC powinna tutaj objąć co najmniej:

- a) W celu zminimalizowania napięć wywołanych wyładowaniem atmosferycznym, sprawdzenie, czy powierzchnia pętli tworzonych przez przewody elektryczne jest tak mała, jak to tylko możliwe;
- b) Sprawdzenie środków mających na celu ochronę długich przewodów (np. poprzez ekrany lub instalowanie bezpieczników odgromowych – SPD);
- c) W przypadku gdy wykorzystywane są bezpieczniki odgromowe SPD sprawdzenie, czy zainstalowane są zgodnie z wymaganiami normy IEC 60364-9-1.

### **System DC – dobór i instalacja wyposażenia elektrycznego**

Kontrola instalacji DC obejmuje tu co najmniej kontrolę, czy:

- a) Wszystkie elementy przeznaczone są do pracy ciągłej DC i przy maksymalnych możliwych wartościach napięcia i prądu jak zdefiniowano to w normie IEC 60364-9-1:

**UWAGA:** Podczas kontroli systemu DC wymagana jest znajomość maksymalnego napięcia i prądu systemu.

- **maksymalne napięcie systemu jest funkcją konfiguracji łańcuchów modułów PV / pola modułów PV, napięcia jałowego ( $V_{oc}$ ) modułów i mnożnika uwzględniającego zmiany temperatury i natężenia oświetlenia (typowo 1.3),**
  - maksymalny możliwy prąd zwarcia jest funkcją konfiguracji łańcuchów PV modułów/ pola modułów PV, prądu zwarcia modułów ( $I_{sc}$ ) i mnożnika uwzględniającego zmiany temperatury i natężenia promieniowania (typowo 1.5);
- b) Instalacje elektryczne zostały dobrane i zmontowane tak, aby mogły wytrzymać przewidywane oddziaływanie czynników zewnętrznych, takich jak wiatr, oblodzenia, temperatury, promieniowanie słoneczne i UV;
- c) Sposób izolowania i rozłączania łańcuchów, pola modułów PV i sekcji modułów PV został zrealizowany zgodnie z wymaganiami normy IEC 60364-9-1;
- d) Rozłącznik DC jest zainstalowany po stronie DC falownika zgodnie z wymaganiami normy IEC 60364-9-1;
- Uwaga:** Norma IEC60364-9-1 określa cztery różne sposoby instalacji rozłącznika; zastosowany rodzaj i miejsce rozłącznika powinny być przedstawione w raporcie z odbioru systemu.
- e) W przypadku gdy zainstalowane zostały diody blokujące, należy upewnić się, że ich znamionowe napięcie zaporowe wynosi co najmniej  $2 \times V_{ocSTC}$  łańcucha modułów PV, w którym diody zostały zamontowane (norma IEC 60364-9-1);
- f) Wtyczki i gniazda połączeniowe są tego samego typu i tego samego producenta i odpowiadają wymaganiom normy IEC 60364-9-1.

### **Strona zmiennoprądowa (AC) systemu PV – przegląd ogólny**

**Po stronie AC przegląd systemu fotowoltaicznego obejmuje co najmniej sprawdzenie czy:**

- a) Rozłącznik izolacyjny falownika jest umieszczony po stronie napięcia zmiennego;
- b) Wszystkie urządzenia rozłączające i przełączające zastosowane w instalacji PV, okablowane są od strony „obciążenia”, a sieć publiczna od strony „źródła”;
- c) Parametry pracy falownika zostały zaprogramowane zgodnie z lokalnymi przepisami;
- d) W przypadku, gdy element RCD zabezpieczenia różnicowego został zainstalowany w obwodzie prądu przemiennego zasilającego falownik, należy upewnić się, że element ten został dobrany zgodnie z wymaganiami normy IEC 60364-9-1.

**UWAGA** W przypadku niektórych falowników mogą być wymagane bezpieczniki RCD typu B (zwłoczne).

### **Oznakowanie i identyfikacja**

Kontrola systemu fotowoltaicznego obejmuje co najmniej sprawdzenie czy:

- a) Oznakowanie wszystkich układów, urządzeń zabezpieczających, przełączników i zacisków zostało wykonane zgodnie z wymaganiami normy IEC 60364 w ogólności oraz 60364-9-1 w szczególności;
- b) Zamieszczono na wszystkich obudowach puszek połączeniowych DC (generatora PV i pól modułów PV) etykiety ostrzegawcze wskazujące, że aktywne części wewnątrz skrzynki są zasilane z pola modułów PV i mogą być nadal pod napięciem nawet po odłączeniu od falownika PV i sieci publicznej;
- c) Wyraźnie oznakowano rozłącznik izolujący po stronie AC;

- d) Wyposażono punkty połączeń systemu z siecią w etykiety ostrzegawcze informujące o podwójnym zasilaniu;
- e) Schemat jednokreskowy instalacji elektrycznej dostępny jest w miejscu instalacji;
- f) Dane instalatora dostępne są w miejscu instalacji;
- g) Procedury wyłączenia systemu dostępne są w miejscu instalacji;
- h) Procedury alarmowe dostępne są w miejscu instalacji (w stosownych przypadkach);
- i) Wszystkie oznakowania i etykiety przymocowane zostały w sposób trwały.

**UWAGA:** wymagania dla oznakowania i etykietowania systemu fotowoltaicznego wyszczególnione są w normie IEC60364-9-1.

Kopia wyników testów musi być dostarczona klientowi. Po uruchomieniu systemu, instalator wystawia klientowi certyfikat, który musi zawierać następujące dane:

- Adres nieruchomości.
- Dane kontaktowe instalatora.
- Typy i numery seryjne zainstalowanych urządzeń.
- Datę oddania systemu PV do eksploatacji.
- Moc znamionową systemu PV.
- Szacunek rocznej wydajności energetycznej systemu PV.
- Okres gwarancji udzielony przez instalatora.
- Gwarancje producenta dla modułów PV i inwertera, oraz dane kontaktowe serwisów dostawców tych komponentów.

Takie informacje są szczególnie niezbędne w sytuacjach, gdy firma monterska już nie istnieje. Pozwala to również klientowi na zweryfikowanie próby uniknięcia odpowiedzialności za nieprawidłowy montaż.

### Gwarancje i serwis

Po zakończeniu procesu instalacji, klient musi mieć pewność, że ma wsparcie w przypadku jakichkolwiek problemów z systemem PV. Szczegóły gwarancji obejmujących jakość produktów i prac instalacyjnych powinny być zawarte w dokumentacji z uruchomienia, którą instalator przekazał klientowi po zakończeniu instalacji.

Instalatorzy powinni proponować zawarcie umowy serwisowej, ale nie powinni nalegać na skorzystanie z niej. Dobrą praktyką jest pozostawienie klientowi kopii instrukcji, która opisuje wymagania dotyczące konserwacji systemu.

Wszyscy instalatorzy powinni posiadać i stosować przejrzystą procedurę reklamacyjną i jej opis pozostawić u klienta.

Przydatnym narzędziem do monitorowania satysfakcji klientów jest zwrotny formularz satysfakcji klienta. Dlatego dobrą praktyką jest pozostawienie takiego formularza w zestawie dokumentów przekazywanych klientowi.

## 4.12. System jakości. Oszacowanie zakresu instalacji, oferta, umowa na instalację urządzeń i systemów słonecznych

### Zasady dotyczące jakości

Każda firma instalacyjna musi budować systemy PV zgodnie z obowiązującymi standardami a w całym procesie budowy powinna stosować dobre praktyki, aby w sposób powtarzalny instalować systemy PV na tym samym wysokim poziomie jakości.

Narzędziem do realizacji tego celu może być system zarządzania jakością (SZJ).

Zasadniczą ideą SZJ jest to aby cały proces, od pierwszego kontaktu z klientem tj. od złożenia oferty poprzez montaż, uruchomienie i przekazanie do użytkowania systemu PV, był określony w pisemnym planie, który jest realizowany przez instalatora podczas wszystkich instalacji.

Standardowe procedury, formularze i programy, które składają się na system zarządzania jakością przyczyniają się do spójności działań i ich identyfikowalności. Identyfikowalność staje się ważna w przypadku problemów zaraz po uruchomieniu ale może pomóc także wiele miesięcy lub lat później.

Taka dokumentacja pomaga zrozumieć, gdzie np. instalator popełnił błąd, albo wykazać, że instalator nie popełnił żadnych błędów, a wina leży gdzie indziej (jest to szczególnie przydatne, jeśli dochodzi do sporu).

Standard ISO 9001 jest przykładem systemu zarządzania jakością stosowanego przez wiele średnich i dużych przedsiębiorstw i może być użytecznym przewodnikiem dla każdego, kto rozważa, jak skonfigurować system zarządzania jakością we własnej działalności. Należy pamiętać, że każda firma jest inna, a więc każda musi opracować swój własny SZJ, który najlepiej pasuje do jej sposobu działania.

Wdrożenie pełnego systemu ISO 9001 nie jest konieczne aby osiągać cele jakościowe.

Skrócona ale obejmująca kluczowe procedury wersja systemu jest bardziej odpowiednia dla mniejszych firm i przedsiębiorców indywidualnych.

Poniższy wykaz jest przykładem niektórych elementów, które można uwzględnić pisząc procedury operacyjne dla firmy instalującej systemy PV:

1. Procedura zbierania danych do projektu, formularz ofertowy.
  - a) Dane do oferty wstępnej,
  - b) Dane z wizji lokalnej.
2. Wzór oferty.
3. Wzór umowy z klientem.
4. Procedura wyboru narzędzi programowych, które mają być używane do projektowania systemu PV.
5. Procedura zakupów i kontroli dostarczanych komponentów systemu PV.

6. Procedura wykonania instalacji systemu PV: projekt, uzgodnienia, montaż.
7. Procedura odbioru systemu PV
8. Procedura aktualizacji SZJ w tym dokumentów w nim stosowanych
9. Inne dokumenty, które powinny być zawarte w SZJ m.in.:
  - a) Wykaz przepisów krajowych związanych z budową systemu PV: normy techniczne, przepisy budowlane i przewodniki branżowe.
  - b) Instrukcje producentów dla każdego z produktów fotowoltaicznych zainstalowanych przez firmę.
  - c) Wykaz dokumentów do przekazania klientowi w tym dotyczących prac utrzymaniowych.
  - d) Gwarancja dobrego wykonania z określonymi warunki gwarancji.
  - e) Zasady ochrony zdrowia i bezpieczeństwa ze szczególnym uwzględnieniem specyfiki systemów fotowoltaicznych (np. powstawanie łuku elektrycznego i innych niż przy napięciu przemiennym zasad dotyczących zagrożeń pożarowych.)
10. Inne dokumenty objęte SZJ, które mogą być używane:
  - a) Wykaz przyrządów (w tym numery seryjne), które wymagają kalibracji, kto jest odpowiedzialny za to że sprzęt jest skalibrowany w terminie, harmonogram kalibracji.
  - b) Zapisy szkoleń pracowników - przydatne do ustalenia, kto jest właściwie przygotowany do realizacji danej procedury i do ustalenia ścieżki rozwoju umiejętności pracowników, tak aby odpowiednio ich motywować do realizacji planu pracy.
  - c) Procedura reklamacji i dziennik reklamacji (niezależnie od tego czy są uzasadnione czy nie), aby zarejestrować problemy, nawet pojedyncze przypadki i wiedzieć w jaki sposób zostały one rozwiązane.

#### Przykładowy formularz ofertowy projektu:

Dane adresowe:

Projekt: nr, nazwa	
Adres budowy:	
Nazwa i adres inwestora:	
Kontakt do inwestora:	
Kontakty do wykonawców:	
Architekt/projektant budynku:	
Nr telefonu	E-mail
Elektryk	
Nr telefonu	E-mail
Dekarz	
Nr telefonu	E-mail

Dane dotyczące sieci elektroenergetycznej:

Dystrybutor sieci	Nr telefonu	E-mail
Moc i zasilanie	Opis sytuacji	
Moc planowana do zainstalowana nie jest większa niż określona w wydanych warunkach przyłączenia – konieczne zgłoszenie.		
Moc planowana do zainstalowana jest większa niż określona w wydanych warunkach przyłączenia – konieczny wniosek.		
Zasilanie sieci dopuszczone przez dystrybutora na następujących warunkach:		

Załączone dokumenty:

* Plan budynku	* Plan piętra	* Rzut dachu
* Widok z boku	* Przekrój budynku	* Opis budynku
* Zdjęcie dachu	* Zdjęcia domu	* Zdjęcia zacienienia
* Zdjęcie licznika prądu	* Zdjęcie dołączenia domu do sieci.	* Historia zużycia energii
* Inne.....		

Wymagania klienta:

Nominalna moc systemu PV , w kWp:	Planowane fundusze inwestycyjne w zł:
Oczekiwana produkcja energii elektrycznej w kWh/rok:	Maksymalna powierzchnia dachu dla system PV w m <sup>2</sup> :
Inne:	

**Szczegóły kształtu dachu: ...**

Szczegóły powierzchni dachu:

Powierzchnia dachu dostępna dla generatora PV (zalecana jest szerokość odstępu od krawędzi z każdej strony co najmniej 0,5 m):

Długość w m =	Szerokość w m =	Powierzchnia w m <sup>2</sup> =
---------------	-----------------	---------------------------------

Elementy na dachu powodujące zacienienie paneli generatorów PV:

* Komin	* Antena	* Okno
* Piorunochron	* Lukarna	* Inne

Rysunek /szkic zacięniowanego obszaru w załączeniu.

Użyteczna powierzchnia po odjęciu zacięniowanego miejsca: .....m<sup>2</sup>

**Dostępność dachu:**

* Wymagany podnośnik	* Wymagane rusztowanie	* Możliwy dostęp dla ciężarówki
----------------------	------------------------	---------------------------------



## Montaż modułów – ochrona odgromowa – falownik – zasilanie, okablowanie:

Orientacja modułów	-90° = wschód 0° = południe +90° = zachód
Nachylenie modułów (0° = poziome)	
Mocowanie na dachu płaskim przy użyciu lin i zacisków ☼	

Czy istnieje uziemienie? Wymagany przegląd ☼	Tak ☼ ☼ Nie
Czy istnieje ochrona odgromowa? Wymagany przegląd?	Tak ☼ ☼ Nie Tak ☼ ☼ Nie

Rodzaj istniejących zabezpieczeń	
Lokalizacja skrzynki generatora	
Lokalizacja przetwornika DC	
Lokalizacja falownika	
Lokalizacja dla licznika i bezpieczników	Tak ☼ ☼ Nie
Wymagana modernizacja	Tak ☼ ☼ Nie

### Okablowanie DC na dachu:

☼ przez kanały dachu	☼ w odpiwach dachu	☼ wmontowane w stelażu
Długość kabli od generator PV do rozdzielacza (m)		
Długość kabli od rozdzielacza do przetwornika DC/falownika (m)		

<b>Okablowanie AC:</b> ☼ w górnej części tynku	☼ poniżej tynku	☼ w kanale okablowania
Długość kabli od falownika do licznika (m)		
Długość kabli od licznika do bezpiecznika (m)		

### Pozostałe warunki montażu:

Opis:
-------

Każda firma powinna opracować własny SZJ z opisem która z procedur będzie wykorzystywana na każdym etapie od pierwszego kontaktu z klientem do przekazania instalacji do użytkowania i usług posprzedażnych. Powinno tam być również określone kto jest odpowiedzialny za wykonanie danej procedury. Taki dokument określany jest na ogół jako Plan Jakości.

Po wdrożeniu SZJ warto dokonywać jego okresowego przeglądu w celu sprawdzenia jak dobrze działa (np. roczne) i rejestrować wyniki każdego przeglądu. Pozwala to na unikanie popełnionych wcześniej błędów i stosowanie dobrych praktyk w codziennej pracy firmy.

Takie przeglądy są również okazją do sprawdzenia zmian w przepisach i normach, które są istotne przy instalacjach fotowoltaicznych oraz do zidentyfikowania problemów i wszelkich skarg, co pozwala na poprawę jakości pracy i współpracy z podwykonawcami.

### Obsługa klienta

Cały proces od pierwszego kontaktu z klientem, poprzez uruchomienie i przekazanie do użytkownika systemu PV powinien być jasny, przejrzysty, udokumentowany i zrozumiały dla klienta. Odchodzenia od tej ogólnej zasady nieuchronnie prowadzi do problemów i skarg.

W związku z tym wszystkie etapy procesu muszą być udokumentowane w formie zrozumiałej dla klienta, wszystkie kluczowe punkty powinny być wyjaśnione ustnie, a projektu nie można kontynuować jeśli nie odpowiada to klientowi i nie akceptował on przedstawionego kosztorysu.

### Sprzedaż systemu PV

W procesie sprzedaży powinny być przestrzegane poniższe zasady:

#### 1) Reklama

Działania reklamowe i promocyjne powinny przedstawiać oferowane produkty i usługi w sposób obiektywny i nie wymuszać wykonania usług. Podstawowa informacja kierowana do klienta jaką jest przewidywana wydajność systemu powinna wynikać z danych z bazy nasłonecznienia w lokalizacji inwestycji np. ze strony <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=it&map=europe> i uwzględniać warunki zacienienia, które w zasadniczy sposób mogą wpłynąć na wydajność.

#### 2) Szkolenie personelu

Pracownicy sprzedaży powinni być przeszkoleni do poziomu umożliwiającego im szczegółowe przedstawienie proponowanego do instalacji systemu PV lub doradzanie w wymaganej jego modernizacji. Powinni również potrafić właściwie ocenić charakterystykę „energetyczną” budynku i doradzić klientowi w zakresie efektywności energetycznej.

Szkolenia dla pracowników sprzedaży powinny zawierać moduł dotyczący dopuszczalnych technik sprzedaży w celu uniknięcia użycia niewłaściwej taktyki (zbyt silna presja sprzedaży).

Personel powinien być poinformowany o możliwych sankcjach w przypadku jej stosowania.

#### 3) Podstawowe zasady dotyczące pracy sprzedawcy

Podczas pierwszego spotkania nie może wywierać presji dotyczącej podpisania umowy.

Podczas pierwszej wizji lokalnej nie może pozostawać na obiekcie dłużej niż przez 2 godziny (przeгляд, pomiary itp.).

W początkowej fazie procesu sprzedaży nie może przyjąć zapłaty.

Musi poinformować klienta o procesie sprzedaży, w tym o warunkach odstąpienie od umowy po jej podpisaniu.

Musi poinformować klienta o wszelkich potrzebnych pozwoleniach lub zezwoleniach (np. pozwolenia na budowę, podłączenie do sieci) przed rozpoczęciem instalacji aby było jasne, kto jest odpowiedzialny za ich uzyskanie.

Musi rzetelnie oszacować przewidywaną wydajność systemu PV.

## Kosztorys i umowa – szacowanie wydajności energetycznej

Kosztorys razem z warunkami realizacji, często stanowią umowę pomiędzy firmą instalującą a klientem. Zapisy umowy muszą być jasne, zrozumiałe i zawierać wszystkie niezbędne informacje. Dobrą praktyką jest, aby przed przedstawieniem propozycji finansowej dotyczącej instalacji PV przedstawić swoim klientom oszacowanie rocznej wydajności energetycznej przez proponowany system fotowoltaiczny. Jest to ważne ponieważ klient oczekuje, że wytwarzanie energii z odnawialnego źródła energii poprawi jego bilans finansowy związany z używaną energią (będzie w założonym okresie bardziej korzystne finansowo niż tylko zasilanie sieciowe). Kluczowe znaczenie ma więc oszacowanie przewidywanej charakterystyki energetycznej systemu, co powinno nastąpić przed zawarciem jakiegokolwiek umowy dotyczącej instalacji.

Tabela 1. Przykładowy kosztorys systemu

Lp.	Komponenty systemu	Typ	Ilość	Parametry
<b>Nazwa</b>	<b>Producent</b>			
1	Moduły PV			
2	System montażowy			
3	Falownik			
4	Regulator ładowania			
5	Osprzęt i okablowanie			
6	Zabezpieczenia			
7	Akumulatory			
8	System monitorowania			
9	Cena montażu zł (brutto)			
Cena całkowita zł (brutto)				

W warunkach krajowego rozwoju fotowoltaiki najważniejszym parametrem prognozy będzie dokładne określenie jaki procent wytworzonej energii może stanowić samo-konsumpcję i pozwoli na zaoszczędzenie wydatków na energię a jaki musi być odprowadzony do sieci (ze względu na charakterystykę pracy systemu PV) po obowiązujących, obecnie niskich stawkach.

Na tym etapie określenie wydajności energetycznej może być tylko przybliżone. Obliczenia mogą stać się bardziej złożone, w zależności od stopnia wymaganej dokładności. Należy wyjaśnić klientowi wpływ na wydajność systemu PV kluczowych czynników takich jak: klimat, orientacja geograficzna i pochylenie modułów, zacienienie, temperatura i określić, jaka metoda obliczeń została wykorzystana (ręczna lub przy użyciu pakietu oprogramowania do modelowania).

Główne założenia przyjęte do obliczeń powinny być także przedstawione klientowi, aby umożliwić sprawdzenie otrzymanych wyników. Jest to ważne ponieważ pomaga wyjaśnić, że wydajności systemu PV nie można przewidzieć dokładnie, ze względu na różnice w ilości dostępnej w danym miejscu i roku energii słonecznej. Jednak w ujęciu wieloletnim prognozy oparte na profesjonalnych programach projektowych, uwzględniających wszystkie parametry techniczne, metrologiczne i lokalne oraz przede wszystkim analizę zacienienia, pokrywają się z kilku do maksymalnie kilkunastoprocentowym błędem z rzeczywistością. Celowe jest jednak zapewnienie klientowi możliwość wykonania wspólnej analizy uproszczonej np. z uwzględnieniem bazy danych PVIGS.

**Inne informacje, które powinny być dostarczane klientowi na etapie zapytania ofertowego to:**

- 1) Wyjaśnienie wszelkich dostępnych zachęt finansowych (np. dotacje, itp.).
- 2) Uzyskany stosunek ceny do jakości proponowanego systemu.
- 3) Informację jakie elementy mogą wymagać wymiany w okresie eksploatacji systemu i przybliżony koszt tej wymiany.
- 4) Lista wszystkich głównych komponentów, które zostały dostarczone, w tym ich marka, model i numer seryjny. Dane te są szczególnie istotne ze względu na gwarancję bezawaryjnej pracy systemu PV.
- 5) Przewidywany czas trwania procesu instalacji.
- 6) Dopuszczalne możliwe przedłużenie czasu instalacji (w zależności od lokalnych przepisów i praktyk).

**Czego może oczekiwać instalator w czasie instalacji w:**

- 1) Wszystkie inne wymagane usługi (np. udostępnienie zasilania, dostęp do wody i toalety).
- 2) Magazyn dla bezpiecznego przechowywania sprzętu przed montażem.

**Czego może oczekiwać klient:**

- 1) Informacji na temat formy i terminów płatności, które są dopuszczalne.
- 2) Uzgodnień na piśmie w przypadku drobnych zmian w specyfikacji.
- 3) W przypadku dużych zmian w specyfikacji przez którąkolwiek ze stron musi być przygotowana nowa specyfikacja i praca może być kontynuowana po jej obustronnym zaakceptowaniu.

## 5. ĆWICZENIA

### 5.1. Przepisy BHP dotyczące instalacji – ćwiczenia

#### Ćwiczenie 1. (do tematu 4.1)

Uzupełnij zdanie wyrażeniem z ramki.

Prace na wysokości należą do prac .....

szczególnie niebezpiecznych	szczególnie bezpiecznych	nie wymagających specjalnych uprawnień	wykonywanych przy silnym wietrze
-----------------------------	--------------------------	--	----------------------------------

#### Ćwiczenie 2. (do tematu 4.1)

Spośród wymienionych czynników wybierz te, które stanowią podstawowe czynności przed rozpoczęciem pracy.

	Podstawowe czynności przed rozpoczęciem pracy
Przygotować konieczne narzędzia z izolowanymi uchwytami, chroniącymi przed bezpośrednim porażeniem.	
Przygotować konieczny sprzęt pomiarowy oraz niezbędny sprzęt izolacyjny, jak: rękawice dielektryczne, zabezpieczające przed skutkami przypadkowego dotknięcia dwóch przewodów o różnych potencjałach (kontrolowane co 6 m-cy), kalosze, dywaniki, pomosty izolacyjne i okulary ochronne.	
Przygotować niezbędne tablice ostrzegawcze.	
Upewnić się, że wszyscy monterzy są na dachu budynku.	
Zabezpieczyć luźne elementy w pojeździe.	
Zachować bezpieczną odległość od drabiny na wypadek upadku montera	
Zakupić odpowiednie materiały piśmiennicze i kreślarskie.	
Zapoznać się z dokumentacją i zaplanować kolejność poszczególnych etapów pracy.	
Zapoznać się z umową na sprzedaż energii elektrycznej.	

#### Ćwiczenie 3. (do tematu 4.1)

Wykreśl punkt niepasujący do reszty:

Montaż instalacji stałoprądowej związany jest z:

- montażem przewodów łączących moduły fotowoltaiczne,
- montażem końcówek typu MC4 na przewodach,
- łączeniem modułów fotowoltaicznych w łańcuchy,
- podłączaniem generatora fotowoltaicznego do falownika,
- montażem zabezpieczenia różnicowo-prądowego typu AC.

## 5.2. Plan instalacji – ćwiczenia

### Ćwiczenie 1. (do tematu 4.2)

Spośród wymienionych czynności wybierz te, które wchodzą w skład czynności przedmontażowych.

	Podstawowe czynności przedmontażowe
Analiza dokumentacji	
Kontrola kompletności dostawy	
Kontrola sprawności narzędzi i przyrządów pomiarowych	
Końcowy protokół odbioru	
Montaż i kontrola falowników	
Montaż i kontrola instalacji odgromowej	
Montaż i kontrola okablowania AC i zabezpieczeń AC	
Montaż i kontrola okablowania DC i zabezpieczeń DC	
Montaż konstrukcji wsporczej	
Montaż modułów fotowoltaicznych	
Oznaczenie terenu instalacji zgodnie z przepisami BHP	
Szkolenie dla użytkownika	
Wstępne uruchomienie i regulacja systemu	

### Ćwiczenie 2. (do tematu 4.2)

Spośród wymienionych czynności wybierz te, które wchodzą w skład czynności montażowych.

	Podstawowe czynności montażowe
Analiza dokumentacji	
Kontrola kompletności dostawy	
Kontrola sprawności narzędzi i przyrządów pomiarowych	
Końcowy protokół odbioru	
Montaż i kontrola falowników	
Montaż i kontrola instalacji odgromowej	
Montaż i kontrola okablowania AC i zabezpieczeń AC	
Montaż i kontrola okablowania DC i zabezpieczeń DC	
Montaż konstrukcji wsporczej	
Montaż modułów fotowoltaicznych	
Oznaczenie terenu instalacji zgodnie z przepisami BHP	
Szkolenie dla użytkownika	
Wstępne uruchomienie i regulacja systemu	

### Ćwiczenie 3. (do tematu 4.2)

Spośród wymienionych czynności wybierz te, które wchodzą w skład czynności pomontażowych.

	Podstawowe czynności pomontażowe
Analiza dokumentacji	
Kontrola kompletności dostawy	
Kontrola sprawności narzędzi i przyrządów pomiarowych	
Końcowy protokół odbioru	
Montaż i kontrola falowników	
Montaż i kontrola instalacji odgromowej	
Montaż i kontrola okablowania AC i zabezpieczeń AC	
Montaż i kontrola okablowania DC i zabezpieczeń DC	
Montaż konstrukcji wsporczej	
Montaż modułów fotowoltaicznych	
Oznaczenie terenu instalacji zgodnie z przepisami BHP	
Szkolenie dla użytkownika	
Wstępne uruchomienie i regulacja systemu	

## 5.3. Zasady bezpieczeństwa dotyczące konserwacji i konserwacji instalacji solarnej – ćwiczenia

### Film 1. (praktyczne do tematu 4.3)

Film instruktażowy jak korzystać z narzędzi do montowania złącz MC4.

Przy użyciu ściągacza izolacji usunąć około 1 cm izolacji z przewodu fotowoltaicznego. Następnie, bez dotykania palcami żył przewodu nasunąć metalowy pin złącza MC4. Pin z przewodem umieścić w zaciskarce. Zaciskarkę mocno ścisnąć do momentu, w którym blokada umożliwi otwarcie zaciskarki. Na zaciśnięty przewód nałożyć nakrętkę złącza, a następnie pin wcisnąć w obudowę złącza. Dokręcić nakrętkę do obudowy złącza dedykowanymi kluczami.

**Pomoce dydaktyczne:** Kabel solarny 4mm<sup>2</sup>, końcówki MC4, zaciskarka do MC4, ściągacz izolacji, klucze do skręcania złącz MC4

## 5.4. Praktyczne zasady instalacji modułów, doboru i wymiarowania przewodów i kabli – ćwiczenia

### Film 1. (do tematu 4.4)

Film – montaż modułów na połąci dachowej

Moduły fotowoltaiczne, konstrukcja montażowa wraz z niezbędnymi elementami i kluczami (w zależności od producenta konstrukcji), połąc dachowa (ewentualnie fragment połąci dachowej), sznurek, poziomica (ew. laserowa).

### Film 2. (do tematu 4.4)

Film – układanie przewodów na dachu

### Film 3. (do tematu 4.4)

Film – łączenie modułów w łańcuchy i podłączanie ich do falownika fotowoltaicznego

## 5.5. Ustawianie i uruchomienie systemu fotowoltaicznego – ćwiczenia

### Ćwiczenie 1. (do tematu 4.5)

Uzupełnij zdanie wyrażeniem z ramki.

Przy pionowym montażu modułów fotowoltaicznych skrzynka zaciskowa modułu fotowoltaicznego powinna znajdować się .....

na górze modułu	na dole modułu	po prawej stronie modułu	po lewej stronie modułu
-----------------	----------------	--------------------------	-------------------------

### Ćwiczenie 2. (do tematu 4.5)

Spośród wymienionych czynników wybierz te, które wpływają na efektywność energetyczną instalacji fotowoltaicznej.

	Czynniki wpływające na efektywność energetyczną instalacji fotowoltaicznej
Dobry dostęp do późniejszej obsługi i konserwacji falownika	
Jeżeli falownik posiada wyświetlacz należy zamontować go tak, by odczyt parametrów z wyświetlacza nie był utrudniony	
Niezakłócona cyrkulacja powietrza	
Ochrona przed nadmierną wilgocą oraz promieniowaniem słonecznym	
Odprowadzenie nadmiaru ciepła od falownika	
Ograniczony dostęp powietrza do falownika	
Praca w środowisku wilgotnym zapewniającym lepsze chłodzenie falownika	
Trwałe zasłonięcie wyświetlacza zabezpieczające przed dostępem niepowołanych osób	

### Ćwiczenie 3. (do tematu 4.5)

Wykreśl punkt niepasujący do reszty:

Do czynności wykonywanych w trakcie włączenie falownika należą:

- odłączenie generatora fotowoltaicznego od falownika.
- podłączenie generatora fotowoltaicznego przez rozłącznik DC.
- podłączenie napięcia sieciowe przez bezpieczniki zewnętrzne.
- sprawdzenie czy falownik jest zmontowany i podłączony do instalacji elektrycznej.
- sprawdzenie czy generator fotowoltaiczny dostarcza napięcie większe od minimalnego napięcia wejściowego DC w falowniku.
- sprawdzenie czy pokrywa skrzynki przyłączeniowej jest uziemiona i zamknięta.



## 5.6. Współpraca baterii z systemami fotowoltaicznymi – ćwiczenia

### Ćwiczenie 1. (do tematu 4.6)

Uzupełnij zdanie wyrażeniem z ramki.

Magazynowanie energii elektrycznej możliwe jest dzięki zastosowaniu .....

akumulatorów	kolektorów solarnych	żarówek energooszczędnych	buforowego zbiornika na ciepłą wodę
--------------	----------------------	---------------------------	-------------------------------------

### Ćwiczenie 2. (do tematu 4.6)

Spośród wymienionych parametrów wybierz parametry opisujące magazyny energii elektrycznej.

	Parametry magazynów energii elektrycznej
Częstotliwość napięcia wyjściowego $f$ [Hz]	
Napięcie maksymalne naładowania $U_{\max}$ [V]	
Napięcie minimalne rozładowania $U_{\min}$ [V]	
Napięcie znamionowe $U_N$ [V]	
Pojemność znamionowa $Q$ [Ah]	
Prędkość obrotowa $n$ [obr/min]	
Rezystancja wewnętrzna $R_w$ [m $\Omega$ ]	
Temperatura topnienia [°C]	

### Ćwiczenie 3. (do tematu 4.6)

Wykreśl punkt niepasujący do reszty.

Do parametrów określających zakresy eksploatacji akumulatorów w czasie należą:

- SOC.
- SOH.
- DOD.
- RISC.

## 5.7. Ochrona przeciwprzebieciowa w instalacjach fotowoltaicznych – ćwiczenia

### Ćwiczenie 1. (do tematu 4.7)

Uzupełnij zdanie wyrażeniem z ramki.

Ograniczniki przepięć typu ..... zabezpieczają przed bezpośrednim uderzeniem pioruna.

1	2	3	4
---	---	---	---

### Ćwiczenie 2. (do tematu 4.7)

Spośród wymienionych zabezpieczeń wybierz te, które chronią instalację elektryczną przed skutkami wyładowań atmosferycznych lub przepięć.

	Poprawne warunki pracy falownika fotowoltaicznego
Zabezpieczenie nadprądowe B	
Zabezpieczenie nadprądowe D	
Zabezpieczenie przeciwprzepięciowe typu 1	
Zabezpieczenie przeciwprzepięciowe typu 1+2	
Zabezpieczenie przeciwprzepięciowe typu 2	
Zabezpieczenie przeciwprzepięciowe typu 3	
Zabezpieczenie różnicowo-prądowe B	

## 5.8. Ochrona odgromowa i instalacja uziemiająca – ćwiczenia

### Ćwiczenie 1. (do tematu 4.8)

Uzupełnij zdanie wyrażeniem z ramki.

Elementem instalacji odgromowej umieszczonym w ziemi jest .....

uziom	zwód poziomy	zacisk probierczy	przewód odprowadzający
-------	--------------	-------------------	------------------------

### Ćwiczenie 2. (do tematu 4.8)

Spśród wymienionych metod wybierz metody określające rozmieszczanie elementów instalacji odgromowej.

	Metody określające rozmieszczanie elementów instalacji odgromowej
Metoda kąta ochronnego	
Metoda pierwszego uderzenia	
Metoda pioruna	
Metoda prądów udarowych	
Metoda siatkowa	
Metoda toczącej się kuli	

### Ćwiczenie 3. (do tematu 4.8)

Wykreśl punkt niepasujący do reszty:

Elementami instalacji odgromowej są:

- moduł fotowoltaiczny.
- przewód odprowadzający.
- uziom.
- zacisk probierczy.
- zwód pionowy.
- zwód poziomy.

## 5.9. Zasady instalacji dla systemów solarnych – ćwiczenia

### Ćwiczenie 1. (do tematu 4.9)

Uzupełnij zdanie wyrażeniem z ramki.

Przed przystąpieniem do montażu modułów fotowoltaicznych na dachu należy.....

Zamontować elementy wsporcze dla modułów fotowoltaicznych	Sprawdzić poprawność połączeń elektrycznych	Włączyć falownik fotowoltaiczny	Zamontować zabezpieczenia nadprądowe po stronie DC
---	---	---------------------------------	--

### Ćwiczenie 2. (do tematu 4.9)

Proces instalacji systemu fotowoltaicznego obejmuje następujące zagadnienia:

	Proces instalacji systemu fotowoltaicznego obejmuje
Czynności końcowe i odbiór	
Potwierdzenie warunków umowy	
Realizacja dostaw	
Uzyskanie kredytu inwestycyjnego	
Uzyskanie wsparcia w postaci dotacji	
Weryfikacja danych wejściowych	
Wykonanie instalacji	
Zabezpieczenie miejsca instalacji	

### Ćwiczenie 3. (do tematu 4.9)

Wykreśl punkt niepasujący do reszty:

Wykonanie prac instalacyjnych polega między innymi na:

- montaż falownika fotowoltaicznego
- montaż instalacji wsporczej.
- montaż modułów fotowoltaicznych.
- montaż zabezpieczeń po stronie AC oraz DC instalacji fotowoltaicznej.
- podpisaniu umowy na wykonanie instalacji fotowoltaicznej.
- połączenie modułów fotowoltaicznych.

## 5.10. Typowe błędy podczas instalacji – ćwiczenia

### Ćwiczenie 1. (do tematu 4.10)

Uzupełnij zdanie wyrażeniem z ramki.

Najczęściej występującymi usterkami w instalacjach fotowoltaicznych są awarie .....

falowników fotowoltaicznych	modułów fotowoltaicznych	okablowania po stronie DC	okablowania po stronie AC
-----------------------------	--------------------------	---------------------------	---------------------------

### Ćwiczenie 2. (do tematu 4.10)

Spośród wymienionych wybierz typowe błędy mogące powstać przy montażu modułów fotowoltaicznych.

	Typowe błędy mogące powstać przy montażu modułów fotowoltaicznych
Instalowanie zabezpieczeń nadprądowych po stronie AC o zbyt małym prądzie znamionowym	
Niepoprawny dobór modułów do falownika na etapie projektowania instalacji PV	
Połączenie zbyt małej liczby modułów fotowoltaicznych w łańcuch PV	
Zmiana okablowania, bez naniesienia poprawek na schemat elektryczny	
Zmiana typu modułu lub producenta w wyniku problemów w dostawach	

### Ćwiczenie 3. (do tematu 4.10)

Wykreśl punkt niepasujący do reszty:

Typowe błędy związane z instalacją systemów mocowań modułów fotowoltaicznych:

- stosowanie nieodpowiednich mocowań dachowych.
- stosowanie nieodpowiednich wkrętów.
- zastosowanie niewłaściwego sprzętu montażowego.
- źle wykonane obróbki dekarne.
- źle wykonane połączenia modułów fotowoltaicznych.

## 5.11. Dokumentacja techniczna instalacji i warunki odbioru – ćwiczenia

### Ćwiczenie 1. (do tematu 4.11)

Spośród wymienionych informacji wybierz te, które powinny znaleźć się w informacji o instalacji fotowoltaicznej.

	Informacje o instalacji fotowoltaicznej, które należy zamieścić w dokumentacji
Liczba łańcuchów fotowoltaicznych	
Maksymalna moc przyłącza energetycznego	
Maksymalne dopuszczalne napięcie w instalacji fotowoltaicznej	
Miejsce usytuowania grunt /dach /elewacja /inna	
Moc znamionowa instalacji fotowoltaicznej	
Przeznaczenie budynku	
Sumaryczna moc znamionowa odbiorników będących własnością inwestora	

### Ćwiczenie 2. (do tematu 4.11)

Wykreśl punkt niepasujący do reszty.

Dokumentacji technicznej mikroinstalacji dołączana do wniosku o przyłączenie do sieci elektroenergetycznej powinna zawierać:

- schemat blokowy falownika fotowoltaicznego.
- schemat mikroinstalacji fotowoltaicznej.
- sposób podłączenia mikroinstalacji do instalacji elektrycznej obiektu oraz do sieci elektroenergetycznej.
- szczegółowe informacje dotyczące poszczególnych elementów instalacji fotowoltaicznej.

## 5.12. System jakości. Oszacowanie zakresu instalacji, oferta, umowa na instalację urządzeń i systemów fotowoltaicznych – ćwiczenia

### Ćwiczenie 1. (do tematu 4.12)

Uzupełnij zdanie wyrażeniem z ramki.

Wykonanie instalacji fotowoltaicznej zgodnie z obowiązującymi standardami przez firmę instalacyjną zapewnia .....

wprowadzenie systemu zarządzania jakością	utworzenie etatu specjalisty ds. jakości	przestrzeganie zasad BHP	szybka realizacja zadania
---	--	--------------------------	---------------------------

### Ćwiczenie 2. (do tematu 4.12)

Wykreśl punkt niepasujący do reszty:

Poprawne planowanie dachowej instalacji fotowoltaicznej wymaga zdobycia następujących informacji:

- kształtu oraz położenia dachu względem kierunku południowego,
- rodzaju poszycia dachu,
- ewentualnych źródeł zacielenia dachu,
- oczekiwanego uzysku energetycznego z planowanej instalacji fotowoltaicznej,
- liczby osób przebywających w budynku.

## 6. SPRAWDZIAN POSTĘPÓW

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) Wyjaśnić na czym polega montaż instalacji stałoprądowej?		
2) Wymienić podstawowe czynności przed rozpoczęciem pracy?		
3) Omówić czynności związane z pracami mechanicznymi podczas wykonywania instalacji PV?		
4) Omówić czynności związane z pracami elektrycznymi?		
5) Wskazać główne przyczyny powstawania pożarów instalacji PV?		
6) Wyjaśnić na czym polegają czynności przedinstalacyjne?		
7) Wymienić czynności instalacyjne w odpowiedniej kolejności?		
8) Omówić poszczególne czynności instalacyjne?		
9) Omówić czynności związane z montażem falownika fotowoltaicznego?		
10) Wymienić czynności poinstalacyjne?		
11) Wyjaśnić sens stosowania dedykowanych narzędzi montażowych?		
12) Wymienić podstawowe narzędzia montażowe dedykowane do instalacji fotowoltaicznej?		
13) Omówić zalety stosowania dedykowanych narzędzi montażowych?		
14) Omówić sposób postępowania przy montażu złączy fotowoltaicznych DC?		
15) Wskazać narzędzia potrzebne do montażu falownika fotowoltaicznego?		
16) Wyjaśnić zasady prawidłowego montażu modułu fotowoltaicznego?		
17) Wymienić typowe przekroje przewodów stosowanych w instalacjach fotowoltaicznych po stronie generatora fotowoltaicznego?		
18) Omówić budowę przewodu DC stosowanego w generatorach fotowoltaicznych?		
19) Omówić budowę przewodu stosowanego po stronie AC w instalacji fotowoltaicznej?		
20) Wskazać typowe przyczyny awarii instalacji fotowoltaicznych występujących po stronie generatora fotowoltaicznego?		
21) Wyjaśnić na czym polega montaż falownika fotowoltaicznego?		
22) Wymienić podstawowe zasady montażu modułów fotowoltaicznych?		
23) Omówić czynności związane z włączeniem oraz wyłączeniem falownika fotowoltaicznego?		
24) Omówić zagrożenia związane ze zdalną komunikacją z falownikami?		
25) Wskazać główne zasady obowiązujące przy wykonywaniu pomiarów falowników fotowoltaicznych?		
26) Wyjaśnić na czym polega magazynowanie energii elektrycznej?		
27) Wymienić podstawowe technologie wykonania akumulatorów?		
28) Omówić parametry eksploatacyjne akumulatorów?		
29) Omówić zagrożenia związane z nadzorowaniem pracy akumulatorów?		
30) Wskazać parametry znamionowe, wady oraz zalety poszczególnych technologii wykonania akumulatorów?		
31) Wyjaśnić na czym polega ochrona przeciwprzepięciowa instalacji fotowoltaicznej?		
32) Wymienić podstawowe zasady doboru zabezpieczeń przeciwprzepięciowych w instalacji fotowoltaicznej?		
33) Omówić rodzaje zabezpieczeń przeciwprzepięciowych?		
34) Omówić rolę instalacji odgromowej przy ochronie przeciwprzepięciowej instalacji fotowoltaicznych?		

35) Wskazać główne zasady montażu zabezpieczeń przeciwprzepięciowych?		
36) Wyjaśnić dlaczego powinno się stosować instalacje odgromowe?		
37) Wymienić podstawowe zasady rozmieszczania elementów instalacji odgromowej?		
38) Omówić metody rozmieszczania elementów instalacji odgromowej?		
39) Omówić zagadnienia związane z zabezpieczaniem instalacji fotowoltaicznej przed skutkami wyładowań atmosferycznych?		
40) Wskazać kiedy występuje ryzyko wyładowania bezpośredniego w instalację fotowoltaiczną?		
41) Wyjaśnić na czym polega zabezpieczenie miejsca instalacji?		
42) Wymienić podstawowe czynności związane z montażem instalacji fotowoltaicznej?		
43) Omówić czynności związane z montażem instalacji wsporczej?		
44) Omówić zagadnienia związane z wykonaniem pomiarów odbiorczych instalacji fotowoltaicznej?		
45) Wskazać główne zasady obowiązujące przy włączaniu instalacji fotowoltaicznej?		
46) Wyjaśnić wpływ błędów powstających przy łączeniu modułów na działanie instalacji fotowoltaicznej?		
47) Wymienić typowe błędy występujące przy montażu modułów fotowoltaicznych?		
48) Omówić typowe błędy występujące przy montażu konstrukcji wsporczych?		
49) Omówić błędy związane z układaniem przewodów i kabli w instalacjach fotowoltaicznych?		
50) Wskazać główne błędy powstające przy montażu instalacji odgromowych?		
51) Wyjaśnić tworzenie dokumentacji technicznej instalacji fotowoltaicznej?		
52) Wymienić podstawowe elementy jakie powinna zawierać dokumentacja techniczna?		
53) Omówić informacje jakie powinien zawierać opis instalacji fotowoltaicznej?		
54) Omówić elementy dokumentacji powykonawczej?		
55) Wskazać główne zasady oznakowania elementów instalacji fotowoltaicznej?		
56) Wyjaśnić na czym polega wprowadzanie systemu zarządzania jakością?		
57) Wymienić podstawowe informacje pomagające w planowaniu instalacji fotowoltaicznych?		
58) Omówić podstawowe zasady postępowania z klientem?		
59) Omówić zagadnienia związane z zawieraniem umowy na wykonanie instalacji fotowoltaicznej?		
60) Wskazać główne komponenty w instalacjach fotowoltaicznych?		

W przypadku gdy wybrałeś odpowiedź „NIE” proponujemy powrót do materiału nauczania i ponowne jego przeanalizowanie celem osiągnięcia zamierzonych efektów uczenia się (wiedzy, umiejętności).

Ewentualnie sięgnij do dodatkowych źródeł informacji zaproponowanych przy każdym z tematów.

## 7. SŁOWNIK

Polski	English
Bezpieczniki mocy	Fuses
Cykl ładowania	Charging cycle
Cykl rozładowania	Discharging cycle
Czynności instalacyjne	Installation activities
Czynności poinstalacyjne	Post-installation activities
Czynności przedinstalacyjne	Pre-installation activities
Dokumentacja techniczna	Technical documentation
Generator fotowoltaiczny	Photovoltaic generator
Instalacja fotowoltaiczna	Photovoltaic installation
Instalacja odgromowa	Lightning installation
Klasa izolacji	Insulation class
łańcuch fotowoltaiczny	Photovoltaic chain
Magazyn energii	Energy storage
Moduł fotowoltaiczny	Photovoltaic module
Montaż falownika	Assembly of the inverter
Montaż konstrukcji nośnej	Assembly of the supporting structure
Montaż modułów PV	Assembly of PV modules
Montaż okablowania	Cabling assembly
Napięcie maksymalne akumulatora	Maximum voltage of battery
Napięcie minimalne akumulatora	Minimum voltage of battery
Ochrona odgromowa	Lightning protection
Ogniwo fotowoltaiczne	Photovoltaic cell
Pojemność akumulatora	Battery capacity
Praca na wysokości	Work at height
Praca pod napięciem	Live work
Prąd rewersyjny	Reverse current
Prąd rozładowania akumulatora	Battery discharging current
Projekt instalacji fotowoltaicznej	Photovoltaic installation design
Przewód łańcucha PV	PV chain wire
Rezystancja właściwa	Specific resistance
Układ śledzenia punktu maksymalnej mocy	Tracking system of the point of maximum power
Uziemienie	Earth
Uziom	Earthing
Wkładka topikowa cylindryczna	Cylindrical fuse link
Wyłącznik nadprądowy	Overcurrent circuit breaker
Wyłącznik różnicowo-prądowy	Residual current device
Zabezpieczenie nadprądowe	Overcurrent protection
Zabezpieczenie przeciwprzepięciowe	Power surge protection
Zabezpieczenie różnicowo-prądowe	Residual current circuit breaker
Złącze fotowoltaiczne	Photovoltaic connection
Zwód pionowy	Vertical air terminal
Zwód poziomy	Horizontal air terminal



## 8. LITERATURA

1. Bernaciak A.: *Ochrona środowiska w praktyce. Aspekty ekonomiczno-prawne*. Wydawcy Sorus sc and Ekoprofil, Poznań 1994.
2. Brzeziński W.: *Ochrona prawna naturalnego środowiska człowieka*. PWN, Warszawa 1975.
3. Dębski M., Luberański A., Petrukanec A., Polewka P.: *Praktyczny poradnik Instalatora. Systemy fotowoltaiczne i słoneczne systemy grzewcze*. Wydawnictwo ATUM Sp. z o.o., Warszawa 2016.
4. Jarzębski Z. M.: *Energia słoneczna, konwersacja fotowoltaiczna*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1990r.
5. Jastrzębska G.: *Ogniwa słoneczne. Budowa, technologia, zastosowanie*. Wydawnictwa Komunikacji i łączności WKŁ, Warszawa 2013.
6. Klugmann-Radziemska E.: *Fotowoltaika w teorii i praktyce*. Wydawnictwo BDC, Legionowo 2010.
7. Michałowska-Knap K., Wiśniewski G.: *Stan obecny i potencjał energetyki odnawialnej w Polsce*. Prace PIGWO 2008.
8. Szymańska B.: *Instalacje fotowoltaiczne. Teoria, praktyka, prawo, ekonomia*. Kraków, Wydawnictwo Glob Energia, 2013.
9. Tytko R.: *Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej*. Wydawnictwo Towarzystwo Słowaków w Polsce, Kraków 2014.
10. Tytko R.: *Odnawialne źródła energii*. Wydawnictwo OWG, Warszawa 2010.
11. Znajdek, K., Sibiński, M.: *Ogniwa fotowoltaiczne różnych typów*. Świat Szkła, numer 9, rozdział 16, Wydawnictwo Euro-Media Sp. z o.o., 2011.

### Źródła elektroniczne (dostęp: 20.09.2018)

1. Gnatowski M.: *Falownik, czyli inwerter w pigułce*. <http://www.solartime.pl/porady-eksperta/item/554-falownik-czyli-inwerter-w-pigulce>
2. [www.zielonewrota.pl](http://www.zielonewrota.pl) (październik 2012).
3. [www.gramwzielone.pl](http://www.gramwzielone.pl)
4. [www.sep.com.pl](http://www.sep.com.pl)
5. [www.systemy-fotowoltaika.pl](http://www.systemy-fotowoltaika.pl)
6. [www.fotowoltaikainfo.pl](http://www.fotowoltaikainfo.pl)
7. <https://pvmonitor.pl>
8. [www.fotowoltaika.com.pl](http://www.fotowoltaika.com.pl)

