

ZASADY MONTAŻU INSTALACJI FOTOWOLTAICZNYCH WEDŁUG OBOWIĄZUJĄCYCH PRZEPISÓW I NORM

Konrad SEKLECKI¹, Marek OLESZ²

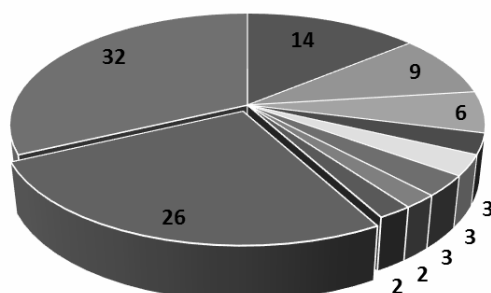
1. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki
tel.: 500174775, e-mail: konrad.seklecki@pg.edu.pl
2. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki
tel.: 583471820, e-mail: marek.olesz@pg.edu.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono niektóre wytyczne normalizacyjne oraz wynikające z dobrej praktyki inżynierskiej zasady dotyczące montażu instalacji fotowoltaicznych. Na podstawie dokumentacji fotograficznej omówiono typowe błędy w wykonaniu instalacji fotowoltaicznych wskazując jednocześnie przyczyny ich występowania. Analizy statystyczne uszkodzeń w różnych krajach wskazują na znaczną ich liczbę głównie w fazie dynamicznego wzrostu liczby instalacji.

Słowa kluczowe: mikro instalacja fotowoltaiczna, instalacja fotowoltaiczna, ochrona przeciwporażeniowa, ogniwa fotowoltaiczne, wytyczne montażu instalacji fotowoltaicznych.

1. WSTĘP

W Polsce od początku 2019 roku do końca II kwartału 2021 roku odnotowano lawinowy, 10-krotny wzrost liczby instalacji fotowoltaicznych o niewielkich mocach do 10 kW instalowanych w gospodarstwach domowych. Przy tak dużym wzroście zapotrzebowania na usługę montażu instalacji fotowoltaicznej zdarza się, że firmy korzystają z niewykwalifikowanych pracowników. Brak poprawnego wykonania na etapie montażu, a następnie niedokładne odbiory techniczne mogą powodować liczne problemy w późniejszym użytkowaniu instalacji, a w skrajnych wypadkach nawet uszkodzenie części lub całej instalacji, wraz z budynkiem i/lub jego wyposażeniem.

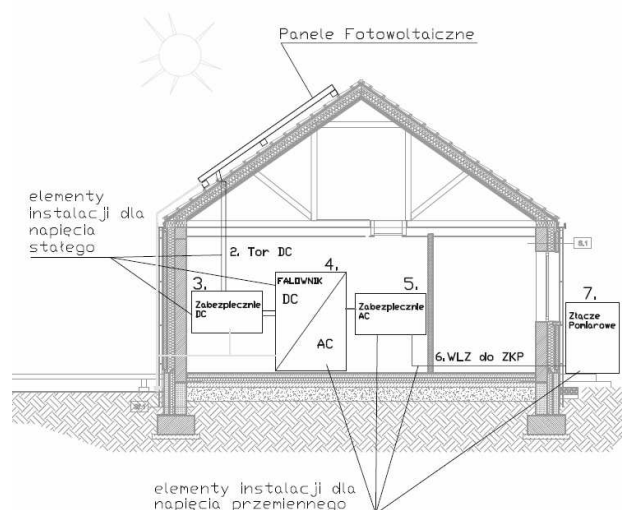


- obciążenie śniegiem (14%)
- błędy techniczne (6%)
- sabotaż (3%)
- kradzież (2%)
- przebiecia (26%)
- wiatr (9%)
- kuny (3%)
- błędy ludzkie (3%)
- pożar (2%)
- inne (32%)

Rys. 1. Przyczyny uszkodzeń (w [%] dla instalacji fotowoltaicznych w Niemczech- dane z 2010 roku)

Tego rodzaju przypadki – jak np. pożar lub zwarcie wewnętrzne, w konsekwencji mogą powodować wysokie straty finansowe dla gospodarstwa, a w skrajnym wypadku zagrażać bezpieczeństwu osób (rys. 1).

Instalacja fotowoltaiczna (rys. 2) składa się z urządzeń elektrycznych takich jak: panele fotowoltaiczne (1), okablowanie (2), urządzenia typu falowniki (4) wytwarzające napięcie AC z napięcia stałego DC oraz zabezpieczenia po stronie DC (3) i AC (5), kabla WLZ (6) do złącza kablowo pomiarowego (7). Elektrycy wykonujący instalacje fotowoltaiczne powinni posiadać uprawnienia kwalifikacyjne E do 1 kV lub bez ograniczeń napięciowych w grupie 1: Urządzenia, instalacje i sieci elektroenergetyczne wytwarzające, przetwarzające i zużywające energię elektryczną w zakresie: obsługi, konserwacji, eksploatacji i montażu.



Rys. 2. Schemat instalacji fotowoltaicznej zlokalizowanej w wolnostojącym budynku

Dodatkowo monter instalacji fotowoltaicznych może wystąpić do Urzędu Dozoru Technicznego o wydanie certyfikatu, który potwierdza posiadanie kwalifikacji do instalowania instalacji odnawialnych źródeł energii, w tym systemów fotowoltaicznych. Certyfikat posiadający 5-letni okres ważności jest wydawany na podstawie odpowiedniego wykształcenia poświadczonego dyplomem zawodowym, kwalifikacji zawodowych lub ukończenia odpowiedniego kierunku szkoły wyższej. W przypadku osób

nie posiadających odpowiedniego wykształcenia wymaga się odbycia szkolenia w ośrodku akredytowanym przez UDT, a następnie zdania egzaminu z wiedzy teoretycznej i praktycznej [21].

Opcjonalnie oczekuje się od monterów udokumentowanego szkolenia z montażu urządzeń określonego typu odbytego u producentów. W przypadku objęcia wykonywanej instalacji procedurą budowlaną (np. pozwolenie na budowę) wszystkie prace powinny być nadzorowane przez kierownika posiadającego uprawnienia budowlane w specjalności instalacyjnej w zakresie sieci, instalacji, urządzeń elektrycznych i elektroenergetycznych dla domków jednorodzinnych i instalacji. Dodatkowo pracownicy wykonujący pomiary/badania pomontażowe powinni posiadać uprawnienia kwalifikacyjne E i D dla Grupy 1, Urządzenia, instalacje i sieci elektroenergetyczne w zakresie: kontrolno-pomiarowym [15].

2. WYTYCZNE DO MONTAŻU INSTALACJI FOTOWOLTAICZNYCH

Wykonana instalacja fotowoltaiczna musi spełniać wymagania techniczne określone w obowiązujących normach i przepisach prawa polskiego, w tym w szczególności wynikających z Prawa Budowlanego [4], odpowiednich rozporządzeń [5, 13] oraz dokumentów Operatorów Sieci Dystrybucyjnej, "Kryteria przyłączenia oraz wymagań technicznych dla mikro instalacji i małych instalacji przyłączanych do sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia Operatora Systemu Dystrybucyjnego" wynikających z wytycznych podanych w [21]. Wymagania techniczne podzielono na następujące grupy:

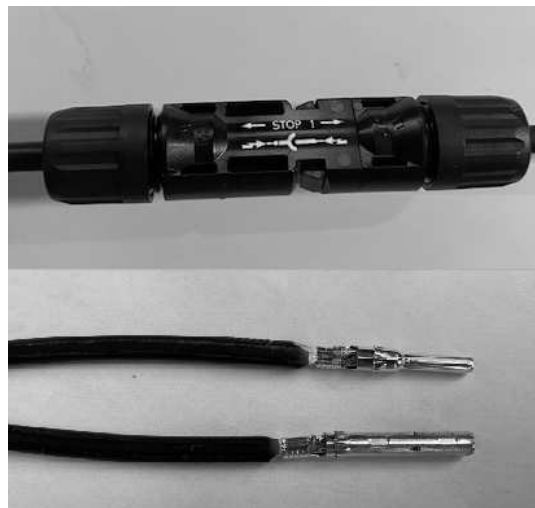
- przewody w instalacji PV,
- łączenia modułów w instalacji,
- montaż falownika,
- montaż modułów fotowoltaicznych,
- montaż skrzynek zabezpieczających DC i AC.

2.1. Przewody w instalacji PV

Zgodnie z wymaganiami [1, 2, 3], zasadami wiedzy technicznej [14] oraz dokumentacjami technicznymi producentów przewodów w instalacjach fotowoltaicznych należy stosować:

- przewody DC solarne wykonane z materiałów ustalonych w dokumencie PN-EN 60216 Materiały elektroizolacyjne - oznaczanie ciepłoodporności,
- przewody atestowane do pracy przy napięciach stałych do 1000 V, które posiadają odpowiednie dopuszczenia wydane przez jednostki certyfikujące,
- w miejscach narażonych na działanie promieniowania słonecznego przewody powinny być prowadzone w odpornej na promieniowanie ultrafioletowe (UV) trasie kablowej, wykonanej na przykład z rury karbowanej, koryt elektrycznych, itp.
- prowadzenie w rurkach elektroinstalacyjnych lub listwach/kanałach instalacyjnych w przypadku przewodów prowadzonych na zewnątrz oraz wewnątrz budynku,
- przewody prądu stałego przy podłączeniach w rozdzielniach oznakowane kolorami (czerwony „+”, czarny bądź niebieski „-”) należy zastosować etykiety „+/-”.
- kable DC prowadzone w niewielkim odstępnie, tak, aby nie tworzyć pętli indukcyjnych,
- wymagania dotyczące prowadzenia instalacji elektrycznej, np. prowadzenia przewodów pionowo lub poziomo, zachowania wymaganych przepisami odstępów od innych

instalacji (np. zaleca się aby kable prądu stałego nie dotykały w żadnym miejscu instalacji gazowej),



Rys. 3. Przykład złącza MC4

a)



b)



Rys. 4. Przykład a) nieprawidłowego, bez mocowania prowadzenia przewodów na dachu budynku, b) rozwiązanie prawidłowe

- przewody po stronie AC i DC ze stosownymi oznaczeniami (np. kabel +/-, rodzaj zabezpieczeń, oznakowanie urządzeń pod napięciem, oznakowanie BHP),
- przewody po stronie AC i DC zaleca się prowadzić w wydzielonych korytkach kablowych, po stronie AC nie należy stosować przekroju przewodu mniejszego niż 4 mm²,
- złącza MC4 (rys. 3) oraz przewody DC umieszczone pod modułami prawidłowo przymocowane do konstrukcji opaskami zaciskowymi odpornymi na promieniowanie UV.

Na rysunku 4 pokazano przykłady błędnych i prawidłowych rozwiązań montażowych – głównie w zakresie prowadzenia i mocowania przewodów.

Pokazane sytuacje poprzez dopuszczenie przesuwania się przewodów i rozwiązań z istniejącymi wstępnymi naprężeniami mogą w dalszych etapach eksploatacji wprowadzać wadliwe połączenia, bądź prowadzić do utraty ciągłości izolacji przewodów.

2.2. Łączenia modułów w instalacji

Łączenie modułów w instalacji powinno być zrealizowane w sposób zapewniający prawidłową pracę całej instalacji: napięcie i natężenie prądu w obwodach modułów PV nie może przekraczać maksymalnych wartości określonych w danych technicznych montowanego inwertera. Zastosowane typy połączeń modułów muszą być zgodne z wytycznymi projektowymi wartości napięcia i natężenia prądu w łączonych obwodach według poniższych zasad:

- szeregowo połączenie modułów – napięcia poszczególnych modułów sumują się, całkowite natężenie prądu wynika z danych katalogowych pojedynczego modułu,
- równoległe połączenie modułów – natężenia prądu poszczególnych modułów sumują się, całkowite napięcie wynika z danych pojedynczego modułu.

a)



b)



Rys. 5. a) Nieprawidłowy montaż bezpośrednio do konstrukcji powodujący naprężenia, b) rozwiązanie prawidłowe

2.3. Montaż falownika

W przypadku stosowania połączeń modułów w łańcuchy należy unikać tworzenia pętli przewodów, w których mogłoby się indukować napięcie. W celu uniknięcia wewnętrznej indukcji należy prowadzić przewód dodatni, ujemny oraz ochronny (PE) razem w niewielkiej odległości. W instalacji należy unikać zwijania nadmiaru przewodów w pętli i krzyżowania przewodów, w tym szczególnie z przewodami instalacji odgromowej. Dodatkowo moduły powinny zostać zamocowane mechanicznie w pewny sposób, tak aby wykluczyć skutki parcia wiatru oraz ciężaru instalacji na konstrukcję dachową (rys. 5).

Montaż falownika może być wykonany jedynie na podstawie dokumentacji techniczno – ruchowej producenta falownika [19, 20] przez wykwalifikowany personel, zgodnie z ogólnie przyjętymi zasadami. Przykład prawidłowego montażu pokazano na rys. 6b).

a)



b)



Rys. 6. Przykład a) nieprawidłowego łączenia przewodów od falownika do RG w pomieszczeniu garażu, brak uszczelnienia miejsca przejścia przewodów pomiędzy pomieszczeniami, b) rozwiązanie prawidłowe

Przy montażu falowników należy zwrócić szczególną uwagę na poniższe elementy:

- falownik powinien zostać zamontowany w miejscu zacienionym, nie powinien być oświetlony bezpośrednio przez słońce, dodatkowo należy unikać pomieszczeń niewentylowanych, o dużym stopniu nagrzewania lub lokalizacji bezpośrednio nad innymi działającymi urządzeniami elektrycznymi produkującymi ciepło,

- należy zachować odstępy wentylacyjne i inne wytyczne montażowe zgodnie z informacjami wskazanymi w instrukcji montażu / obsługi producenta,
- falownik nie może znajdować się w miejscach zawilgoconych, nie może być montowany na strychu, na powierzchniach łatwopalnych oraz w miejscach, gdzie jest bezpośrednio narażony na niekorzystne warunki atmosferyczne,
- wyświetlacz falownika należy umieścić na wysokości oczu, czyli w odległości 160-180 cm od ziemi,
- w przypadku montowania kilku urządzeń zabrania się montowania jednego falownika bezpośrednio nad drugim, a jeżeli są montowane obok siebie to należy zachować odpowiedni dystans między nimi,
- falownik musi być uruchomiony przez instalatora, który jest zobowiązany przeszkolić użytkownika z obsługi podstawowych funkcji montowanego urządzenia,
- uziemienie konstrukcji inwertera, obudowy inwertera, skrzynek AC i DC należy wykonać przewodem 16 mm² do szyny głównej,
- szynę główną należy uziemić przewodem 16 mm² do dodatkowego uziomu sztucznego lub istniejącego uziemienia budynku, o ile spełnia ono odpowiednie parametry.

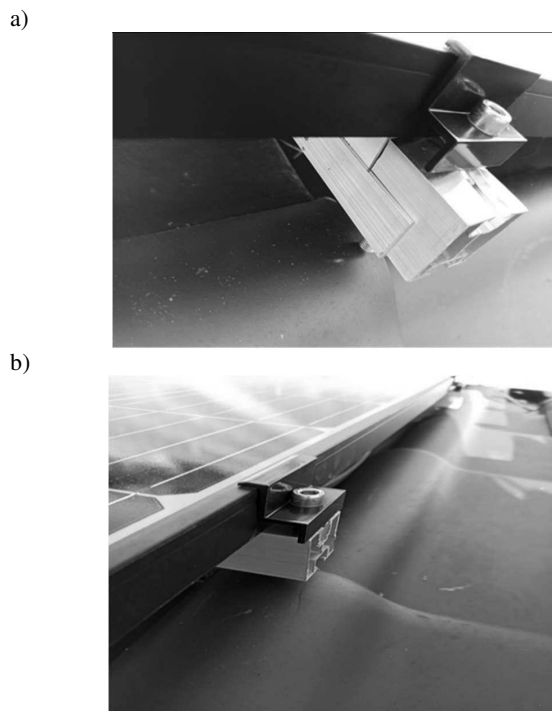
2.4. Montaż modułów fotowoltaicznych

Uchwyty mocujące muszą być rozmieszczone w odpowiednich strefach modułu, zgodnie z wytycznymi producenta (np. [18]). Zazwyczaj, licząc od krawędzi, jest to strefa od 0,125 do 0,25 długości dłuższego boku modułu. Moduł mocowany do konstrukcji musi mieć minimum 4 punkty podparcia. Niedopuszczalne jest dociskanie modułu uchwytem, jeżeli nie dotyka on swobodnie konstrukcji wsporczej. Przykręcanie śrub mocujących moduł, czy to bezpośrednio do konstrukcji, czy za pośrednictwem uchwyty, powinno odbywać się z odpowiednim momentem (zazwyczaj $8 \div 15$ Nm) podanym przez producenta w dokumentacji techniczno – ruchowej. Dokręcanie z równomierną siłą gwarantuje właściwe rozłożenie naprężeń w module, zmniejsza ryzyko powstania mikropęknięć oraz zapewnia spełnienie warunków gwarancji producenta, które są podstawą do ewentualnych roszczeń w przypadku uszkodzenia panelu. Stosowane uchwyty muszą charakteryzować się odpowiednio dużą wytrzymałością na rozciąganie: minimum 190 MPa przy granicy sprężystości – 200 MPa.

Niedopuszczalne jest wykonanie miejsca połączeń profili nośnych, np. pomiędzy modułami lub zbyt blisko końca profili, gdyż może to powodować deformację całej konstrukcji pod wpływem dodatkowego obciążenia śniegiem lub wiatrem (rys. 7).

Poziomowanie modułów – konstrukcja wsporcza powinna zostać wypoziomowana wzdłuż profili. Poszczególne rzędy profili muszą być zamontowane na tej samej wysokości, tak aby powierzchnie górne modułów znajdowały się w jednej płaszczyźnie. Innymi słowy wszystkie moduły muszą być ułożone optycznie równo względem siebie zarówno w pionie jak i w poziomie.

Wybierając system i sposób, montażu należy pamiętać, aby zachować minimum 6 - 10 cm wolnej przestrzeni między najniższym elementem modułu a najwyższym dachu. Przestrzeń ta jest niezbędna do wentylacji modułu i jego naturalnego chłodzenia. Przy montażu modułów na dachu należy zachować minimum 30-35 cm odstępu między końcem ostatniego rzędu modułów a krawędzią dachu.



Rys. 7. a) nieprawidłowy montaż panelu na konsoli wykonanej z dwóch części, b) nieprawidłowa lokalizacja otworu w konsoli (zbyt blisko krawędzi)

Odstęp ten jest niezbędny, aby woda spływająca po modułach trafiała do rynny. W przypadku montażu na gruncie należy zachować niezbędną przestrzeń między ostatnim (najniższym) rzędem modułów a gruntem. Przestrzeń ta potrzebna jest, aby w zimę spływający i tworzący zasy śnieg nie zasłaniał ostatniego rzędu modułów. W porze letniej zbyt niskie usytuowanie utrudnia np. koszenie trawy, co wymusza minimalną lokalizację na wysokości 50 – 60 cm. W przypadku montażu modułów na konstrukcji naziemnej w układzie „jeden na drugim” skrzynki przyłączeniowe zawsze muszą znajdować się na górze modułu, aby unikać zaciekania wodą.

Należy zachować ciągłość galwaniczną pomiędzy modułami względem siebie (wyrównanie potencjałów modułów) oraz pomiędzy modułami a konstrukcją (uziemiaenie konstrukcji).

W przypadku montażu modułów na dachu skośnym budynku zalecany dystans między uchwytami montażowymi (typu S) modułów wynosi 100 centymetrów.

Podczas prac należy szczególnie zadbać o szczelność połączeń dachowej, a wszelkie zaistniałe uszkodzenia, które powstały podczas montażu należy naprawić przez:

- właściwe dokręcenie gumowych uszczelnień w miejscach montażu śrub dwugwintowych,
- stosowne uszczelnienie za pomocą taśmy dekararskiej, uszczelnacza dekararskiego lub lepiku dekararskiego miejsc naruszenia szczelności połączeń.

Przy każdej instalacji modułów należy stosować konkretne wytyczne producenta w zakresie montażu na danym rodzaju konstrukcji.

2.5. Montaż skrzynek zabezpieczających DC i AC

W warunkach zewnętrznych oraz wilgotnych należy montować rozdzielnice DC i AC posiadające stosowne certyfikaty i aprobaty w stopniu ochrony IP65, w innych przypadkach sugeruje się stosowanie IP44. Przewody doprowadzone do rozdzielnic należy zaciskać we

właściwych tulejach zaciskowych. Nie dopuszcza się „skręcania przewodów” oraz naciągania kabli. Kable i przewody nie mogą być zbyt mocno przykręcone lub zbyt mocno dociśnięte. Dodatkowo wszystkie przewody wprowadzane i wyprowadzane z rozdzielnic natynkowych muszą przechodzić przez dławiki kablowe o odpowiednim stopniu ochrony IP. Wewnętrzne okablowanie w skrzynce należy wykonać w sposób staranny i niestwarzający niebezpieczeństwa pożaru lub porażenia. Wszystkie żyły PE, przewody połączeń wyrównawczych głównych i miejscowych oraz ekranów kabli muszą być przyłączone do głównej szyny wyrównawczej (rys. 7b). Zastosowane w rozdzielnicach zabezpieczenia DC i AC powinny wynikać z obliczeń projektowych [6-10, 12]. Zabezpieczeń AC i DC nie należy montować na jednej szynie w skrzynce z zabezpieczeniami.

Należy pamiętać o prawidłowym połączeniu do przewodu ochronnego lub głównych bądź miejscowych szyn wyrównawczych ograniczników przeciwprzebiegowych. Skrzynki DC i AC powinny znajdować się na wysokości 1,1–1,85 m od podłogi, w miejscu umożliwiającym łatwy dostęp w razie potrzeby nagłego wyłączenia całej instalacji, zamknięcia wyłącznika po samoczynnym otwarciu bądź okresowego sprawdzania stanu wyłączników różnicowoprądowych.

a)



b)



Rys. 8. Połączenia przewodów ochronnych i neutralnych, a) wadliwe (brak uporządkowania przewodów), b) prawidłowe wykonanie połączeń przewodów ochronnych w rozdzielnicach

Wszystkie elementy instalacji muszą być zamontowane w pobliżu inwertera, należy unikać łączenia instalacji AC i DC w osłonach. Wszystkie przewody +/- podłączone do inwertera muszą być oznaczone etykietami „nie rozłączać, pod obciążeniem”, aby nie spowodować zapału łuku elektrycznego.

3. POMIARY

Po montażu wszystkich elementów instalacji należy wykonać oględziny, badania i pomiary końcowe: rezystancji izolacji, ochrony od porażenia, badania obciążenia na poszczególnych obwodach, badania pomontażowe rozdzielnic i wszystkie niezbędne próby i testy zainstalowanych urządzeń. Zakres pomiarów i testów wykonanej instalacji należy przeprowadzić zgodnie z wytycznymi, zawartymi w dokumentacji techniczno – ruchowej producenta, które powinny być zgodne z wymaganiami norm [11, 16, 17].

Norma [16] dotyczy bezpośrednio instalacji fotowoltaicznych i w ramach procedur odbiorczych proponuje:

- oględziny (kontrola techniczna dachu i ocena wpływu konstrukcji wsporczej i modułów na konstrukcję dachu, przegląd elementów mocujących – pęknięcia, uszkodzenia, sprawdzenie prawidłowości montażu okablowania i ochrony przed skutkami cieplnymi, sprawdzenie prawidłowości doboru elementów instalacji i ich zabezpieczeń, sprawdzenie prawidłowości oznaczenia przewodów neutralnych i ochronnych, sprawdzenie oznakowania instalacji, sprawdzenie poprawności połączeń przewodów, sprawdzenie prawidłowego i kompletnego oznaczenia obwodów bezpieczników, łączników, zacisków),
- pomiary podstawowe (sprawdzenie polaryzacji, ciągłości przewodów, rezystancji izolacji po stronie DC i AC, rezystancji uziemienia, impedancji pętli zwarcia po stronie AC oraz napięć i prądów w poszczególnych częściach instalacji - napięcia obwodu otwartego i prądu zwarcia modułów oraz prądów w obwodach wejściowych i wyjściowych falownika),
- pomiary dodatkowe.

Badania powinny zostać wykonane przy natężeniu promieniowania słonecznego w zakresie $400 \div 700 \text{ W/m}^2$, zakończone próbą funkcjonalnego działania poszczególnych elementów instalacji. Pomiary dodatkowe, opcjonalne obejmują wyznaczenie charakterystyk prądowo – napięciowych poszczególnych paneli oraz analizę rozkładu temperatury metodą termowizyjną.

Protokół z badań odbiorczych podpisany przez osobę odpowiedzialną za jego przygotowanie powinien zawierać opis poszczególnych metod pomiarowych, odpowiednie wartości referencyjne oraz przede wszystkim wynik przeprowadzonych oględzin i badań – pozytywny lub negatywny. W przypadku wyniku negatywnego uprawniona osoba sprawdzająca musi wskazać przyczynę odmowy dopuszczenia instalacji do eksploatacji z zaleceniami jej modyfikacji w celu osiągnięcia wyniku pozytywnego kolejnego sprawdzenia.

4. WNIOSKI

Przedstawione w artykule ogólne zasady montażu instalacji fotowoltaicznych wskazują na szereg problemów technicznych, które należy rozwiązać na etapie projektowania, a następnie podczas montażu instalacji. Na

etapie realizacji inwestycji sporządzenie projektu przez osobę posiadającą stosowne uprawnienia budowlane gwarantuje, pod warunkiem poprawnego montażu i odbioru, większą niezawodność instalacji na etapie eksploatacji.

Zapewnienie prawidłowych rozwiązań technicznych podczas montażu wymaga wiedzy i umiejętności osób odpowiedzialnych za budowę i uruchomienie instalacji, co powinien zapewnić właściwy i profesjonalny system szkoleń.

System normalizacyjny oraz dobra praktyka inżynierska jednoznacznie wskazują na wystarczające środki do osiągnięcia prawidłowego stanu technicznego w instalacjach fotowoltaicznych.

Dużą rolę w zapewnieniu właściwej jakości elementów składowych i ich montażu ma system certyfikacji jego poszczególnych elementów oraz zasady odbioru instalacji i przekazania jej do eksploatacji.

5. BIBLIOGRAFIA

1. PN-EN 60446:2010 zasady podstawowe i bezpieczeństwa przy współdziałaniu człowieka z maszyną, oznaczanie i identyfikacja - Oznaczenia identyfikacyjne przewodów barwami albo cyframi.
2. PN-HD 60364-7-712:2016-05 - Instalacje elektryczne niskiego napięcia - Część 7-712: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji - Fotowoltaiczne (PV) układy zasilania.
3. PN-EN 50618:2015-03 Kable i przewody elektryczne do systemów fotowoltaicznych.
4. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Tekst jednolity: Dz. U. 2010 Nr 243 poz. 1632 z późniejszymi zmianami).
5. Obwieszczenie Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 8 kwietnia 2019 w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie Dz.U. 2019 poz. 1065.
6. Norma PN-HD 60364-4-41:2017 - Instalacje elektryczne niskiego napięcia - Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa - Ochrona przed porażeniem elektrycznym.
7. Norma PN-HD 60364-4-43:2012 - Instalacje elektryczne niskiego napięcia - Część 4-43: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa - Ochrona przed prądem przetężeniowym.
8. PN-IEC 60364-5-52:2011 - Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych - Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – Przewodowanie.
9. Norma PN-HD 60364-5-54:2011 – Instalacje elektryczne niskiego napięcia - Część 5-54: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Układy uziemiające i przewody ochronne.
10. PN-E-04700:1998, Urządzenia i układy elektryczne w obiektach elektroenergetycznych - Wytyczne przeprowadzania pomontażowych badań odbiorczych.
11. Norma PN-HD 60364-6:2016 - Instalacje elektryczne niskiego napięcia - Część 6: Sprawdzanie.
12. Norma SEP N SEP-E-002 - Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Instalacje elektryczne w budynkach mieszkalnych.
13. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 marca 2013 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach i instalacjach energetycznych, Dz. U. 2013, poz. 492.
14. Warunki techniczne wykonania i odbioru robót budowlano-montażowych. D1: Instalacje elektryczne, piorunochronne i telekomunikacyjne w budynkach mieszkalnych, Instytut Techniki Budowlanej, ISBN: 978-83-249-8582-1 (2014).
15. Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 28 kwietnia 2003 r. w sprawie szczegółowych zasad stwierdzania posiadania kwalifikacji przez osoby zajmujące się eksploatacją urządzeń, instalacji i sieci, Dz. U. z 2003 r. Nr 89, poz. 828.
16. PN-EN 62446-1:2016-08, Systemy fotowoltaiczne (PV) - Wymagania dotyczące badań, dokumentacji i utrzymania - Część 1: Systemy podłączone do sieci - Dokumentacja, odbiory, nadzór.
17. PN-EN IEC 62446-2:2020-12, Systemy fotowoltaiczne (PV) - Wymagania dotyczące badań, dokumentacji i utrzymania - Część 2: Systemy podłączone do sieci - Utrzymanie systemów PV.
18. Instrukcja instalacji modułów fotowoltaicznych LONGi Solar, strona internetowa, https://solar-distribution.baywa_re.pl/out/media/LR4_60HPB_PL_LONGi_instrukcja_instalacji_01.pdf.
19. Instrukcja instalacji Fronius Symo 3 - 8,2 kW, FRONIUS INTERNATIONAL GMBH, Austria.
20. SUN2000-(3KTL-10KTL)-M0 - instrukcja obsługi, Wydanie 06 (2020-03-12) Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd.
21. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 23 lutego 2021 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o odnawialnych źródłach energii, Dz. U.2021, poz. 610.

INSTALLATION REQUIREMENTS FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEM ACCORDING TO THE REGULATIONS AND STANDARDS

The article presents standardization guidelines and rules for the installation of photovoltaic installations resulting from good engineering practice. On the basis of photographic documentation, typical errors in the implementation of photovoltaic installations were discussed, at the same time indicating the reasons for their occurrence. Statistical analyses of failures in various countries indicate a significant number of failures, mainly in the phase of dynamic growth in the number of installations.

Keywords: photovoltaic micro-installation, photovoltaic installation, electric shock protection, photovoltaic cells, installation guidelines for photovoltaic installations.