

OCHRONA
PRZECIWPOŻAROWA



WYBRANE ZAGADNIENIA UŻYTKOWE I BEZPIECZEŃSTWA W INSTALACJACH FOTOWOLTAICZNYCH

Zespół autorski:

mgr inż. Paweł Gancarczyk
st. bryg. w st. sp. mgr inż. Jan Kielin
bryg. mgr inż. Tomasz Kołodziejczyk
inż. Michał Piasecki
st. bryg. dr inż. Jacek Zboina

Przygotowanie do wydania:

Anna Golińska
Aleksandra Grzęda
Elżbieta Muszyńska-Połeć

Projekt graficzny, skład i łamanie:

Małgorzata Żurniewicz-Turno
Grafika na okładce: Freepik

© Copyright by Wydawnictwo CNBOP-PIB, Józefów 2021

Ta publikacja jest dostępna na licencji Creative Commons-Uznanie autorstwa

Na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe (CC BY-SA 4.0)

Wydawca:

Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowodziowej
im. Józefa Tuliszkowskiego
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Nadwiślańska 213
05-420 Józefów k. Otwocka
www.cnbop.pl

Wydanie 1, maj 2021

SPIS TREŚCI

1.	WPROWADZENIE	4
2.	DEFINICJE	5
3.	INFORMACJE PODSTAWOWE	6
3.1.	Fotowoltaika (PV)	6
3.2.	Podstawowe elementy składowe instalacji PV	7
3.2.1.	Ogniwo fotowoltaiczne	8
3.2.2.	Moduł fotowoltaiczny	8
3.2.3.	Generator fotowoltaiczny	8
3.2.4.	Skrzynka przyłączeniowa generatora	9
3.2.5.	Falownik	9
3.2.6.	Okablowanie	11
3.2.7.	Rozłączniki	12
3.2.8.	Wyłączniki	12
3.2.9.	Instalacja i rozdzielnia elektryczna z bezpiecznikami w obiekcie	13
3.2.10.	Magazyn energii (zestaw akumulatorów)	13
3.2.11.	Obwody prądowe instalacji PV	14
3.2.12.	Przewody DC	14
4.	MONTAŻ MODUŁÓW PV	15
5.	OZNAKOWANIE	16
6.	POTENCJALNE ZAGROŻENIA PODCZAS DZIAŁAŃ RATOWNICZO-GAŚNICZYCH	18
6.1.1.	Rodzaje zagrożeń	18
6.1.2.	Ryzyko porażenia prądem	18
6.1.3.	Ryzyko porażenia łukiem elektrycznym	19
7.	ŚRODKI OSTROŻNOŚCI PODCZAS INTERWENCJI	20
8.	WYBRANE ZAGADNIENIA DOTYCZĄCE PROWADZENIA DZIAŁAŃ	22
8.1.1.	Bariera psychiczna (opór), wiedza i praktyka	22
8.1.2.	Rozpoznanie dotyczące instalacji PV w strefie działań	22
8.1.3.	Postępowanie z generatorem fotowoltaicznym podczas działań ratowniczych	22
8.1.4.	Niewłaściwe działanie	23
9.	PODSUMOWANIE	24
	LITERATURA	25



1. WPROWADZENIE

W ostatnich latach w naszym codziennym życiu oraz w gospodarce obserwujemy gwałtowny wzrost wykorzystania odnawialnych źródeł energii (OZE). Coraz więcej energii elektrycznej pozyskuje się poprzez zastosowanie instalacji fotowoltaicznych (PV) i wiatrowych. Dynamicznie przybywa zarówno przydomowych instalacji PV, jak i tych o dużych mocach, w tym elektrowni słonecznych PV (potocznie „farm”) wytwarzających prąd elektryczny na skalę przemysłową.

Nowe możliwości oferowane przez tę technologię wiążą się jednocześnie z powstawaniem nowych zagrożeń i ewolucją tych znanych dotychczas. Niniejszą publikację Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowodzi – PIB przygotowało w odpowiedzi na potrzeby związane z bezpieczeństwem użytkowania oraz prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych w miejscach, gdzie wykorzystywane są instalacje PV. Dokument kontynuuje temat ochrony przeciwpożarowej instalacji fotowoltaicznych poruszony po raz pierwszy przez CNBOP-PIB w wydany w 2021 roku przekładzie niemieckiego poradnika *Ocena ryzyka pożarowego w instalacjach fotowoltaicznych. Określenie koncepcji bezpieczeństwa w celu minimalizacji ryzyka. (Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung)* opublikowanego pierwotnie przez TÜV Rheinland.

We wspomnianym wyżej poradniku zawarto konkretne rekomendacje dotyczące ochrony przeciwpożarowej w odniesieniu do zawartości i zakresu projektu instalacji PV. Wskazano jednocześnie na konieczność przedstawienia w tym projekcie danych niezbędnych do stwierdzenia zgodności instalacji z wymaganiami ochrony przeciwpożarowej przez rzeczoznawcę do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych. Podkreślić należy, że pozycja ta powstała na podstawie wyników projektu badawczo-rozwojowego pod tytułem *Ocena ryzyka pożarowego w instalacjach fotowoltaicznych oraz opracowywania koncepcji bezpieczeństwa w celu minimalizacji tego ryzyka (Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung)*, realizowanego w Niemczech w latach 2011–2015. Poradnik ten odnosi się do przepisów niemieckich, jak również stosowanych tam dokumentów normatywnych i wytycznych. Zawiera także szczegółowe sprawozdania z badań, jakie zostały przeprowadzone w ramach realizacji wymienionego wyżej projektu, a dotyczyły m.in. zagrożeń porażeniem ratowników prądem elektrycznym oraz zachowania się modułów PV w warunkach pożarowych (reakcja na źródła ciepła o różnej mocy, wydzielanie toksycznych produktów spalania tworzyw

zastosowanych do budowy modułów PV). Publikacja ta została również opublikowana w językach angielskim i hiszpańskim. Edycje te można pobrać ze strony <http://www.pv-brand-sicherheit.de>. Dzięki zaangażowaniu i skrupulatnej pracy st. bryg. w st. spocz. mgr. inż. Jana Kielina poradnik został przetłumaczony również na język polski¹. Książkę wydaną przez CNBOP-PIB można bezpłatnie pobrać ze strony internetowej Instytutu. Przekład pozwala na szersze rozpowszechnienie publikacji wśród polskich czytelników oraz wypełnia pewną lukę na naszym rynku w zakresie wiedzy opartej na badaniach i doświadczeniach w innym państwie. Obszerny i szczegółowy poradnik – w ocenie autorów niniejszego dokumentu – może posłużyć jako cenne uzupełnienie wiadomości na temat stosowania i eksploatacji instalacji PV.

Podczas gdy wspomniany wyżej poradnik dedykowany jest w szczególności rzeczoznawcom do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych i projektantom instalacji PV oraz innym osobom czy podmiotom zainteresowanym tą tematyką, niniejsza publikacja kierowana jest przede wszystkim do ratowników, którzy coraz częściej prowadzą działania ratowniczo-gaśnicze w obiektach wyposażonych w instalacje fotowoltaiczne na potrzeby własne lub w obiektach wytwarzających prąd przemysłowo, tj. elektrowniach słonecznych. Ma ona na celu ogólne przybliżenie zasad działania systemów fotowoltaicznych, a także potencjalnych zagrożeń, jakie mogą występować zarówno podczas ich normalnego użytkowania, jak i w sytuacjach awaryjnych (np. podczas pożaru lub innego miejscowego zagrożenia). Zawarte syntetyczne informacje, uwzględniające między innymi przykłady oznakowania instalacji oraz ich elementów składowych, a także przedstawione zalecenia i rekomendacje, mają charakter praktyczny. Służą one zwiększeniu bezpieczeństwa ratowników podczas działań i dostarczają im niezbędnych informacji o towarzyszących tym działaniom zagrożeniach, pozwalają na właściwą ich ocenę, a także na prognozowanie rozwoju sytuacji. Publikacja ta, z uwagi na swój ogólny charakter, może być również przydatna użytkownikom instalacji PV, szczególnie w przypadku stwierdzenia przez nich uszkodzeń elementów instalacji PV podczas jej eksploatacji.

Przedkładając powyższe informacje o zawartości obu publikacji poświęconych ochronie przeciwpożarowej instalacji fotowoltaicznych, jesteśmy przekonani, iż spotkają się one z Państwa zainteresowaniem i okażą się użyteczne w praktyce. Zapraszamy jednocześnie do odwiedzenia zakładki Wydawnictwa na stronie internetowej cnbop.pl i zapoznania się z pełną ofertą wydawniczą Instytutu.

¹ Ocena ryzyka pożarowego w instalacjach fotowoltaicznych. Określenie koncepcji bezpieczeństwa w celu minimalizacji ryzyka, tłum. J. Kielin, Wydawnictwo CNBOP-PIB, Józefów 2021, [dostępny do bezpłatnego pobrania: <https://sklep.cnbop.pl/dostep-do-pdf/>].



2. DEFINICJE

Ogniwo fotowoltaiczne – lub ogniwo słoneczne, ogniwo fotoelektryczne, fotoogniwo – ogniwo PV – element (krzemowa płytka półprzewodnikowa), który pod wpływem promieniowania świetlnego (naturalnego lub sztucznego) działa jak generator energii elektrycznej².

Moduł PV – najmniejszy, w pełni chroniony przed wpływami środowiska, zespół połączonych ze sobą ogniw PV³.

Panel PV – zestaw wzajemnie ze sobą połączonych modułów PV⁴.

Generator fotowoltaiczny – generator PV – zespół połączonych ze sobą modułów fotowoltaicznych wytwarzających prąd stały o określonych parametrach⁵.

Instalacja PV – zamontowane urządzenia układu zasilania PV⁶.

Skrzynka przyłączeniowa – rozdzielnica, w której łączone są panele lub łańcuchy PV i która może zawierać również akcesoria elektryczne⁷.

Strona DC – część instalacji PV od modułów PV do zacisków DC falownika PV⁸.

Strona AC – część instalacji PV od zacisków AC falownika PV do punktu połączeniowego przewodu zasilania PV z instalacją elektryczną⁹.

Falownik – urządzenie do przekształcania prądu stałego (DC) w prąd przemienny (AC)¹⁰.

Złącze – zestaw dwóch wtyków (męski i żeński), najczęściej stosowane typu mc-4.

Ochrona odgromowa – kompletny system do ochrony obiektów budowlanych przed piorunami, łącznie z ich wewnętrznymi systemami i zawartością, składający się ogólnie z LPS i SPM¹¹.

Ogranicznik przepięć – zapewnia ochronę instalacji i odbiorników przed działaniem przepięć atmosferycznych indukowanych, łączeniowych, a także przed bezpośrednim oddziaływaniem części prądu piorunowego. Ograniczniki przepięć stosowane są w tablicach rozdzielczych niskiego napięcia, w budynkach mieszkalnych oraz przemysłowych¹².

Wyłącznik – łącznik mechanizmowy zdolny do załączania, przewodzenia i wyłączania prądu w normalnych warunkach pracy obwodu, a także do załączania, przewodzenia przez określony czas i wyłączania prądu w określonych nie-normalnych warunkach pracy obwodu, na przykład podczas zwarcia¹³.

Rozłącznik bezpiecznikowy – rozłącznik, w którym wkładka topikowa lub główka bezpiecznikowa z wkładką topikową stanowi styk ruchomy¹⁴.

Plan urządzenia fotowoltaicznego dla ekip ratowniczych – dokument służący ekipom ratowniczym do rozpoznania lokalizacji urządzeń fotowoltaicznych. Umieszczony w łatwo dostępnym dla ratowników miejscu, w formacie umożliwiającym ratownikom swobodne odczytanie symboli. Czasami nazywany kartą obiektu z instalacją PV lub kartą informacyjną PV.

² Fotowoltaika – słownik pojęć, <http://kompaniasolarna.pl/slowniczek-oze/fotowoltaika-sloownik-2/> [dostęp: 21.08.2020].

³ HD 60364-7-712:2016 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-712: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Fotowoltaiczne (PV) układy zasilania.

⁴ Tamże.

⁵ B. Szymański, *Instalacje fotowoltaiczne*, Wydawnictwo GLOBENERGIA Sp. z o.o., Kraków 2019.

⁶ HD 60364-7-712:2016 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-712, dz. cyt.

⁷ Tamże.

⁸ Tamże.

⁹ Tamże.

¹⁰ PN-EN 50171:2007 Centralne układy zasilania.

¹¹ Tamże.

¹² HD 60364-7-712:2016 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-712, dz. cyt.

¹³ PN EN 60947-2:2018-01 Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa – Część 2: Wyłączniki.

¹⁴ Na podstawie IEC 60050-441:1984, 441-14-17 International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 441: Switchgear, controlgear and fuses.

3. INFORMACJE PODSTAWOWE

3.1. Fotowoltaika (PV)

Fotowoltaika to dziedzina nauki i techniki zajmująca się przetwarzaniem światła słonecznego na energię elektryczną, która uzyskana w ten sposób zalicza się do grupy tzw. odnawialnych źródeł energii (OZE). Do zamiany promieni słonecznych w prąd służy ogniwo fotowoltaiczne. Wraz z rozwojem technologii przeszło ono modyfikacje. Zaczęto łączyć je w moduły PV, które zasilają urządzenia różnych rozmiarów – od najmniejszych (takich jak zegarki czy zabawki) aż do największych (rozwiązań wykorzystywanych w przemyśle, np. w stacjach pomiarowo-rozliczeniowych gazu ziemnego, ropy naftowej oraz energii elektrycznej, zasilania automatyki przemysłowej i pomiarowej). Układy o mniejszej mocy elektrycznej wykorzystywane są w gospodarstwach domowych. Inne połączenia modułów PV mogą tworzyć elektrownie słoneczne o mocach przekraczających 50 kW.

Aby instalacje fotowoltaiczne działały efektywnie, muszą być zlokalizowane w miejscu zapewniającym równomierne oświetlenie światłem słonecznym. Najczęściej jako miejsce montażu modułów fotowoltaicznych wskazywane są dachy obiektów budowlanych, jak również ich elewacje. W przypadku instalacji o większych mocach czy elektrowni słonecznych moduły fotowoltaiczne są montowane na poziomie gruntu na specjalnych konstrukcjach wsporczych. Rycina 1 przedstawia przykład montażu modułów na elewacji budynku. Przy takim montażu należy również uwzględnić dostęp serwisowy.



Ryc. 1. Przykład układu paneli na elewacji budynku Politechniki Warszawskiej

Źródło: opracowanie własne.

Instalacje bazujące na odnawialnych źródłach energii nie muszą ograniczać się do pracy na bazie światła słonecznego. Pozyskiwanie prądu może również odbywać się z układów wykorzystujących wiatr czy wodę, a nadwyżki pozyskanego prądu mogą być magazynowane w akumulatorach. Układy instalacji fotowoltaicznych dzieli się na trzy typy:

- on-grid – instalacja podłączona do sieci elektroenergetycznej; niewykorzystana energia trafia do sieci lub magazynowana jest w akumulatorach¹⁵,
- off-grid – instalacja nie jest podłączona do sieci elektroenergetycznej, a energia jest wykorzystywana na bieżąco lub magazynowana w akumulatorach¹⁶,
- hybrydowa – instalacja, do której można przyłączyć inne źródła energii z grupy OZE.

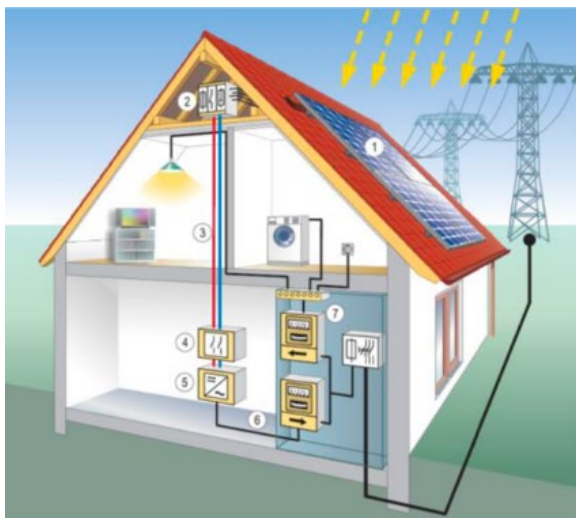
Budowa systemów fotowoltaicznych została przedstawiona w poradniku *Ocena ryzyka pożarowego w instalacjach fotowoltaicznych. Określenie koncepcji bezpieczeństwa w celu minimalizacji ryzyka.*

Instalacja PV to zbiór elementów zapewniających dostarczanie prądu do odbiorników. Podstawowymi elementami są moduły PV, które pod wpływem działania promieni słonecznych (światlnych) wytwarzają energię elektryczną. W zależności od zapotrzebowania na moc elektryczną stosuje się od jednego do wielu połączonych ze sobą modułów PV. Warto zaznaczyć, że z uwagi na montaż modułów na zewnątrz budynku, kable stosowane do ich połączeń powinny być odporne na warunki atmosferyczne. Kolejnym ważnym elementem instalacji PV jest falownik, który ma za zadanie przemienić prąd stały w prąd przemienny o odpowiednich parametrach. Zapewnia on prawidłową pracę odbiorników (urządzeń końcowych lub sieci energetycznej).

¹⁵ B. Szymański, *Instalacje fotowoltaiczne*, dz. cyt.

¹⁶ Tamże.

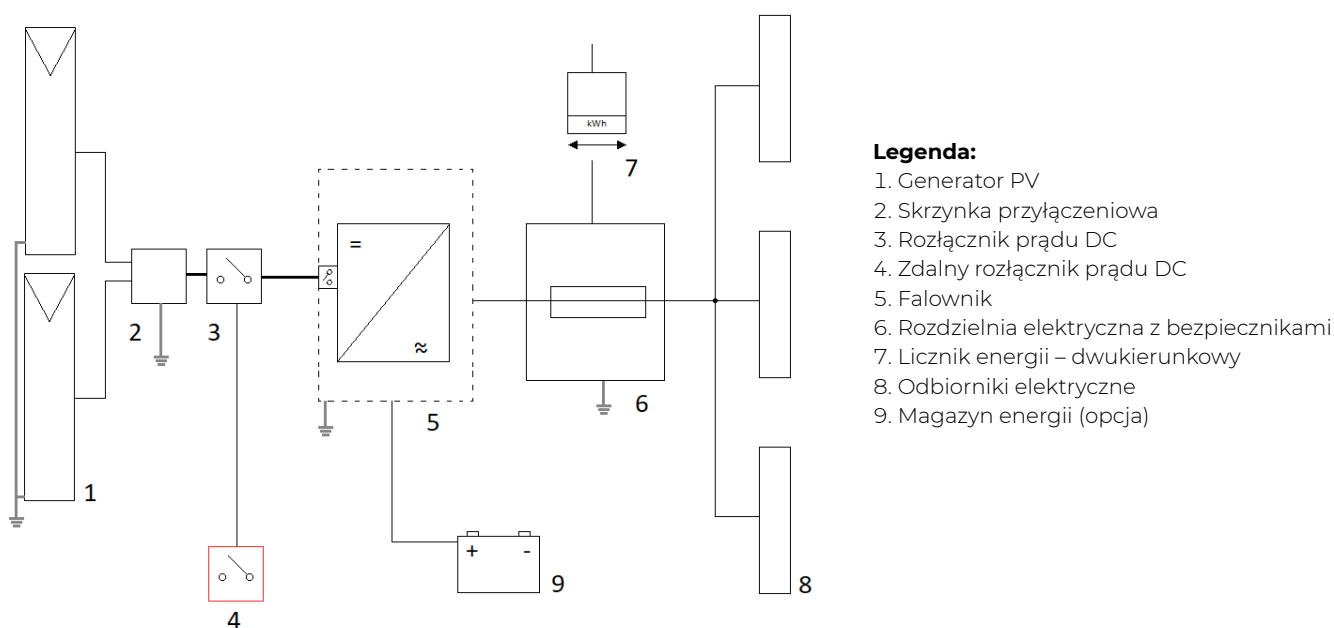
3.2. Podstawowe elementy składowe instalacji PV



Ryc. 2. Przykład instalacji fotowoltaicznej podłączonej do sieci z bezpośrednim zasilaniem¹⁷

Na rycinie przedstawiono umiejscowienie poszczególnych elementów składowych podstawowej struktury instalacji PV podłączonej do sieci. Układ instalacji PV składa się zasadniczo z następujących głównych elementów:

- generator PV,
- skrzynka przyłączeniowa generatora (z techniką ochronną),
- okablowanie, przez które przesyłany jest prąd stały,
- przełącznik główny prądu stałego,
- falownik,
- okablowanie prądu przemiennego,
- szafa licznikowa z rozdzielnią obwodów prądowych, miernikiem zużycia i natężenia, a także podłączeniem do obiektu.



Ryc. 3. Schemat instalacji PV

Źródło: opracowanie własne.

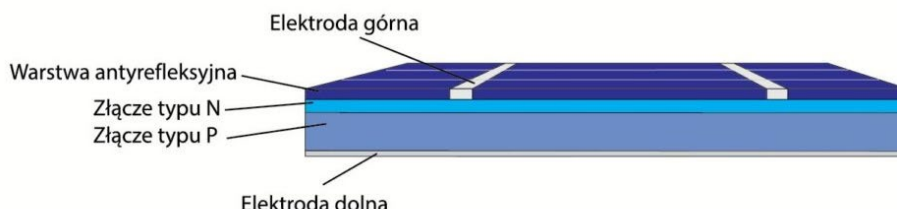
Prawidłowo dobrane i zamontowane elementy oraz właściwie wykonane i podłączone okablowanie zapewniają optymalną wydajność takiej instalacji. Użyte do montażu wyroby, takie jak kable, systemy mocowań, złączki, falowniki oraz rozłączniki, powinny spełniać określone parametry techniczne zadeklarowane przez ich producentów lub potwierdzone w wyniku oceny zgodności zgodnie z zamierzonym zakresem stosowania tych produktów.

¹⁷ Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung, TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH, Köln 2015.

3.2.1. Ogniwo fotowoltaiczne

Ogniwo fotowoltaiczne lub ogniwo słoneczne, ogniwo fotoelektryczne, fotoogniwo to element półprzewodnikowy, w którym następuje przemiana (konwersja) energii promieniowania słonecznego (światła) w energię elektryczną w wyniku zjawiska fotowoltaicznego. Ogniwa można łączyć ze sobą szeregowo i równolegle.

Na rycinie 4 przedstawiono ogólną budowę ogniwa fotowoltaicznego.



Ryc. 4. Budowa ogniwa fotowoltaicznego¹⁸

3.2.2. Moduł fotowoltaiczny

Moduł fotowoltaiczny – to układ połączonych szeregowo lub szeregowo-równolegle ogniw słonecznych, które są umieszczone w ramie modułu. Moduły słoneczne mogą być obsługiwane indywidualnie, ale częściej łączy się ze sobą kilka modułów słonecznych w celu utworzenia systemu fotowoltaicznego.

Istnieją dwa podstawowe typy modułów słonecznych¹⁹:

- słoneczne krystaliczne,
- cienkowarstwowe.

Fotowoltaiczne moduły krystaliczne dzieli się na²⁰:

- polikrystaliczne,
- monokrystaliczne.

3.2.3. Generator fotowoltaiczny

Generator fotowoltaiczny to wszystkie moduły PV składające się na jedną instalację fotowoltaiczną. Jest odpowiedzialny za przekształcanie energii słonecznej w energię elektryczną. W tym przypadku generator wykorzystuje energię słoneczną, z kolei generator wiatrowy wykorzystuje energię wiatru. Generator fotowoltaiczny wytwarza energię elektryczną w postaci prądu stałego, dlatego w systemie PV niezbędny jest falownik, który przekształca prąd stały na zmienny²¹.

Uwaga: podczas wchodzenia na powierzchnie z modułami PV należy zawsze brać pod uwagę nośność konstrukcji obiektu budowlanego. Należy uwzględnić:

- ciężar modułów słonecznych,
- ciężar możliwych dodatkowych obciążeń (np. śniegiem),
- uszkodzenia konstrukcji nośnej i ewentualnie zasadniczą nośność.

W instalacjach PV stosowane mogą być tzw. systemy naprowadzania nazywane też systemami nadążnymi. W przypadku takiego rozwiązania moduły generatora energii elektrycznej są zawsze utrzymywane (obracane) w ciągu dnia pod optymalnym kątem do słońca. Jest to możliwe dzięki specjalnej konstrukcji i siłownikom. W ciągu dnia instalacja może się obracać nawet wokół całego budynku, co podwyższa sprawność elektrowni.

Podczas zbliżania się do konstrukcji z modułami PV należy mieć na uwadze, że może ona się poruszać!

¹⁸ B. Szymański, *Instalacje fotowoltaiczne*, dz. cyt.

¹⁹ <https://www.rechnerphotovoltaik.de/photovoltaik/begriffserklaerung> [dostęp: 17.09.2020].

²⁰ Tamże.

²¹ <https://www.rechnerphotovoltaik.de/photovoltaik/begriffserklaerung/solargenerator> [dostęp: 18.09.2020].



Ryc. 5. Panele PV w instalacji obrotowej

Źródło: obraz Jose Luis Voltas z Pixabay.

3.2.4. Skrzynka przyłączeniowa generatora

Skrzynka przyłączeniowa generatora – (GAK) służy do połączenia przewodów prądu stałego (DC) prowadzonego od modułów PV. GAK może być wyposażona w ochronę przepięciową i odgromową. Skrzynki przyłączeniowe generatora mogą być wyposażone w rozłączniki²².

3.2.5. Falownik

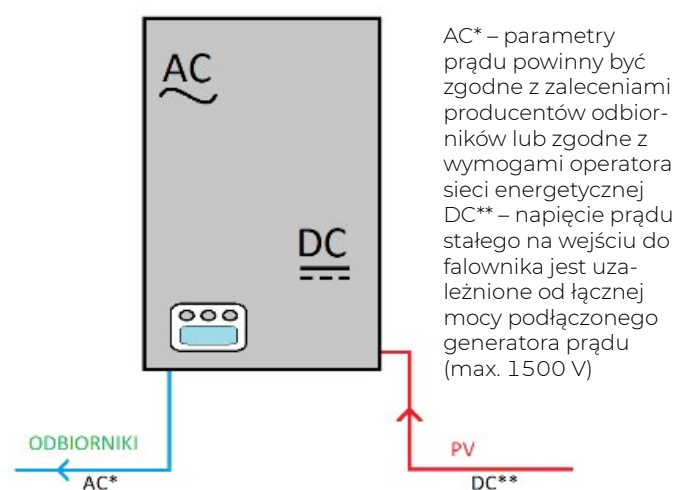
Falownik (przetwornik mocy DC/AC) – urządzenie elektryczne zamieniające prąd stały (DC), którym jest zasilane, na prąd przemienny (AC) o parametrach dostosowanych do sieci energetycznej niskiego napięcia oraz odbiorników elektrycznych (w Europie o napięciu znamionowym 230 lub 400 V).

Falownik jest jednym z podstawowych elementów każdego systemu PV. Moduły słoneczne wychwytyją energię promieniowania słonecznego i przekształcają ją w energię elektryczną poprzez efekt fotoelektryczny. W ten sposób generowany jest prąd stały. Jednak ten prąd stały nie może być używany przez urządzenia gospodarstwa domowego, urządzenia elektryczne i tym podobne. Nie można go również wprowadzić do publicznej sieci lokalnego dostawcy energii elektrycznej.

Zamiast tego wymagany jest prąd przemienny. Falownik służy do generowania prądu przemiennego z prądu stałego. Czasami można spotkać się z nazwą konwerter. Falownik to nie tylko urządzenie do przetwarzania energii elektrycznej. Realizuje on jednocześnie następujące zadania:

- utrzymuje parametry prądu elektrycznego zgodne z wymogami publicznej sieci energetycznej,
- monitoruje w sposób ciągły parametry pracy instalacji,
- odłącza system w sposób automatyczny od sieci w przypadku wystąpienia usterek²³.

Na rycinie 6 przedstawiono schemat falownika z wyświetlaczem podstawowym. Rodzaj oraz funkcjonalności falownika zależą od producenta i modelu.



Ryc. 6. Schemat ideowy falownika

Źródło: opracowanie własne.

²² Photovoltaikanlagen im Feuerwehreinsatz, GVB, Ittigen 2016, http://www.pvtest.ch/Dokumente/Publikationen/216_MB.107.1.d_Photovoltaikanlagen_im_Feuerwehreinsatz.pdf [dostęp: 17.09.2020].

²³ <https://www.rechnerphotovoltaik.de/photovoltaik/begriffserklaerung> [dostęp: 17.09.2020].

Falownik może być zainstalowany w dowolnym miejscu lub pomieszczeniu (na zewnątrz i wewnątrz obiektu), które spełnia wymogi montażu podane przez producenta. Dla instalacji powyżej 6,5 kW lokalizacja falownika musi być dodatkowo uzgodniona z rzeczoznawcą do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych. Umieszczenie falowników, jak i innych elementów instalacji PV, powinno być zaznaczone w planie urządzenia fotowoltaicznego dla ekip ratowniczych.

Innym stosowanym rozwiązaniem są mikrofalowniki (określane również jako mikroinwertery). Są one bezpośrednio przyłączone do każdego pojedynczego modułu PV i tam konwertują prąd stały (DC) na prąd zmienny (AC). Ponieważ mikroinwertery montowane są do każdego modułu, ich liczba jest równa liczbie modułów PV. Przykładowy falownik oraz mikroinwerter przedstawia rycina 7.



Ryc. 7. Tradycyjny falownik PV oraz mikroinwerter

Źródło: SMA Solar Technology.

Prąd stały²⁴

Prąd nazywany jest prądem stałym, kiedy nośniki ładunku przepływają w sposób ciągły, w tym samym kierunku i z jedną siłą.

Systemy fotowoltaiczne generują zwykle prąd stały, który jest transportowany do falownika za pomocą kabli dodatniego i ujemnego. Falownik przekształca prąd stały w prąd przemienny, który ostatecznie może zostać doprowadzony do publicznej sieci energetycznej. Prąd stały nie nadaje się również do bezpośredniego zasilania ze względu na trudny transport na duże odległości. Ponadto prawie żadne urządzenie elektryczne, takie jak pralka, ekspres do kawy lub zmywarka do naczyń, nie może być zasilane prądem stałym.

Prąd przemienny²⁵

Prąd przemienny to prąd, który nieustannie zmienia swój kierunek. W Polsce prąd przemienny ma częstotliwość zmiany kierunku równą 50 Hz. Oznacza to, że zmienia kierunek 100 razy w ciągu sekundy.

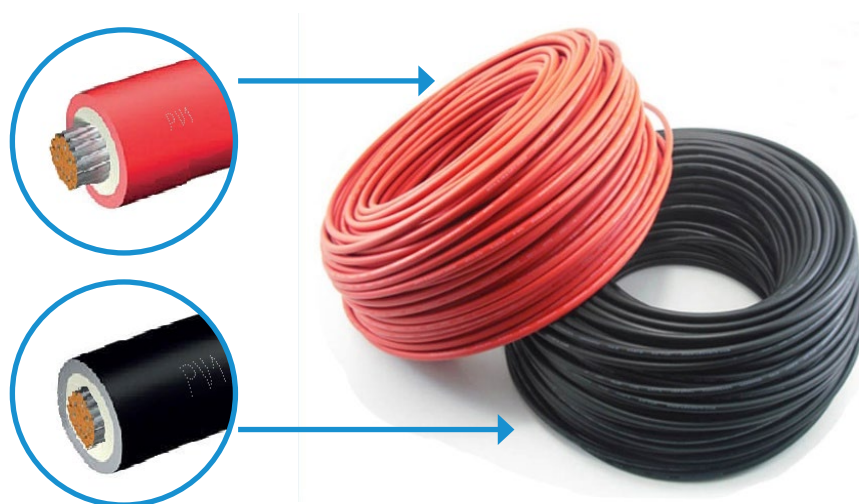
Moduły słoneczne wychwytyują energię promieniowania słonecznego i przekształcają ją w energię elektryczną poprzez efekt fotoelektryczny. Generowany tak jest prąd stały. Jednak ten prąd stały nie może być używany przez urządzenia gospodarstwa domowego, urządzenia elektryczne i tym podobne. Nie można go również wprowadzić do publicznej sieci lokalnego dostawcy energii elektrycznej. Zamiast tego wymagany jest prąd przemienny. Systemy PV nie wytwarzają prądu przemiennego, ale prąd stały, którego w konsekwencji nie można wykorzystać. Aby energia elektryczna wytwarzana przez system fotowoltaiczny mogła zostać wykorzystana lub wprowadzona do sieci, należy ją przekształcić przy zastosowaniu falownika, zwanego również konwerterem, który jest niezbędny do obsługi systemu PV.

²⁴ Prąd stały – definicja, https://pl.wikipedia.org/wiki/Pr%C4%85d_sta%C5%82y [dostęp: 05.08.2020].

²⁵ Prąd przemienny – definicja, https://pl.wikipedia.org/wiki/Pr%C4%85d_przemienny [dostęp: 05.08.2020].

3.2.6. Okablowanie

W instalacji fotowoltaicznej stosowane są określone rodzaje i przekroje żył – na przykład kable jednożyłowe o przekroju od 4 aż do 120 mm² – w niektórych dużych systemach. Poszczególne moduły PV są łączone ze sobą. Następnie kable są prowadzone od generatora słonecznego do falownika. Ważnym zagadnieniem na etapie projektowania i wykonania instalacji PV jest dobór i prowadzenie okablowania. Powinno się stosować specjalne kable – tzw. kable solarne. Są one na ogół podwójnie izolowane. Składają się z drobnożyłowych drutów miedzianych i występują w dwóch kolorach (czarny i czerwony, patrz ryc. 8). Kabel jest odporny na promieniowanie UV, ozon i na warunki atmosferyczne. Jest zaprojektowany do pracy w zakresie temperatur od około 40°C do +120°C (w zależności od producenta). Zazwyczaj napięcie znamionowe prądu stałego na kablach tranzytowych (za skrzynką przyłączeniową) wynosi ok. 1000 V (wg producentów kable mogą pracować przy napięciu znamionowym do 1800 V). W starszych systemach były stosowane kable wielożyłowe w izolacji gumowej. Aktualnie w projektowanych instalacjach PV używa się kabli dedykowanych do instalacji PV i posiadających oznaczenia np. PV-1 lub H1Z2Z2-K. Kable solarne zazwyczaj są przymocowane do konstrukcji nośnej modułów PV, a następnie przebiegają najkrótszą trasą do falownika. Przed falownikiem na ogół znajduje się skrzynka przyłączeniowa generatora, gdzie łączone są kable DC.



Ryc. 8. Kable solarne

Źródło: opracowanie własne.

W instalacjach PV przewody prowadzone są również w rurach, kanałach kablowych, na trasach kablowych, zlokalizowanych wewnątrz lub zewnątrz obiektu budowlanego. Przewody prądu stałego (DC) są połączone ze sobą za pomocą złązek stosowanych w instalacjach solarnych. Poniżej przedstawiono ich przykłady.



Ryc. 9. Solarne połączenie wtykowe typ MC-4

Źródło: <https://ec.staubli.com/> [dostęp: 08.10.2020].

Kable w systemie PV narażone są na wpływ warunków atmosferycznych, dlatego powinny charakteryzować się wysoką odpornością. Aby zapewnić im odpowiednią ochronę, stosuje się często przewody z podwójną izolacją. Dodatkowo kable można umieścić w specjalnych rurach ochronnych odpornych na promieniowanie UV, zmiany temperatur oraz wilgoć, zwiększając tym samym ich wytrzymałość i odporność na warunki atmosferyczne i uszkodzenia mechaniczne.

3.2.7. Rozłączniki

Rozłączniki izolacyjne służą jako awaryjne wyłączniki prądu, których wartość prądu znamionowego nie przekracza dziesięciokrotności tego prądu. Mechanizmy rozłączników nie mają zastosowania do rozłączania prądów zwarciovych. W instalacjach PV używa się ich do rozłączenia instalacji, np. pomiędzy modułami PV a falownikiem. Rozłączniki w porównaniu do wyłączników mają zabezpieczenia umożliwiające ponowne uruchomienie instalacji po ustaniu przyczyny zadziałania innych zabezpieczeń (zwarciovego lub przeciążeniowego), jednakże uruchomienie może odbywać się tylko bez obciążenia. Dostępne są jako elementy do montażu w obudowie użytkownika lub jako obudowane rozłączniki o stopniu ochrony IP65 do montażu na zewnątrz budynku²⁶.



Ryc. 10. Przykłady lokalizacji rozłączników prądu AC za falownikiem

Źródło: Photovoltaikanlagen im Feuerwehreinsatz, GVB, Ittigen 2016, http://www.pvtest.ch/Dokumente/Publikationen/216_MB.107.1.d_Photovoltaikanlagen_im_Feuerwehreinsatz.pdf [dostęp: 08.09.2020].

3.2.8. Wyłączniki

Wyłącznik to typ łącznika, który w instalacjach elektrycznych stosuje się do załączania, przewodzenia i wyłączania prądu w normalnych warunkach pracy obwodu, działa przy pojawieniu się prądu przeciążeniowego oraz zwarciovego. Wyłącznik, który jest wyposażony w komorę gasikową umożliwia rozłączanie instalacji w bezpieczny sposób. Wyłącznik powinien być zamontowany w miejscu łatwo dostępnym. Może służyć do bezpiecznego przeprowadzenia konserwacji (zapobieganie łukowi elektrycznemu podczas rozłączania linii pod obciążeniem). Należy pamiętać, że nie jest on tożsamy z przeciwpożarowym wyłącznikiem prądu. Wyłączniki stosowane w falownikach nie odłączą napięcia na kablach DC, a jedynie umożliwią swobodne odłączenie falownika od prądu DC²⁷.



Ryc. 11. Przykłady lokalizacji wyłączników przed falownikiem

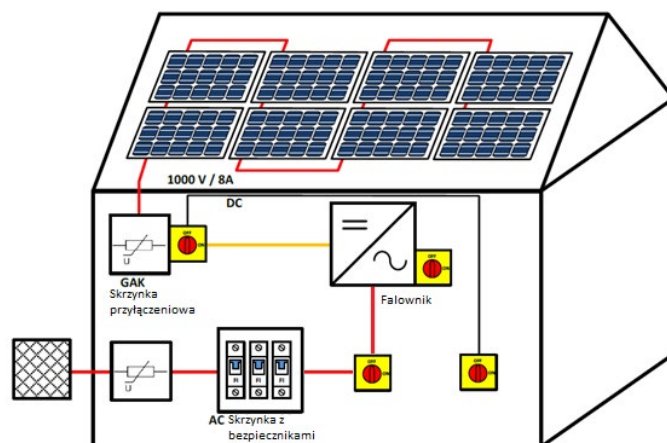
Źródło: jw.

²⁶ <http://www.instsani.pl/511/zabezpieczenia-instalacji-pv> [dostęp: 08.09.2020].

²⁷ Tamże.

Zaletą wyłączników w porównaniu do wkładek bezpiecznikowych jest gotowość do ponownego załączenia natychmiast po ustaniu przyczyny zadziałania jednego z zabezpieczeń (zwarciego lub przeciążeniowego) wyłącznika.

Rycina 12 przedstawia przykładowy schemat stosowania rozłączników/wyłączników prądu w instalacji PV. Wskazane jest zachowanie możliwości rozłączenia instalacji tuż za modułami PV, tak by napięcie nie pojawiło się w kablach prądu stałego.



Ryc. 12. Schemat rozmieszczenia rozłączników instalacji po stronie prądu DC i AC

Źródło: jw.

3.2.9. Instalacja i rozdzielnia elektryczna z bezpiecznikami w obiekcie



Ryc. 13. Przykład przyłącza falownika

Źródło: PV PROJEKT, <https://pvprojekt.com/realizacje/> [dostęp: 08.10.2020].

Przewody prądu zmiennego (AC) instalacji PV przebiegają od falownika do rozdzielni elektrycznej z bezpiecznikami. W niej istnieje możliwość wyłączania zasilania sieciowego do budynku. Tam najczęściej również zlokalizowany jest licznik zużytej energii (poboru) oraz licznik porównawczy. Od rozdzielni elektrycznej przewody prowadzą do skrzynki przyłączeniowej obiektu lub do zasilania sieciowego dostawcy energii.

3.2.10. Magazyn energii (zestaw akumulatorów)

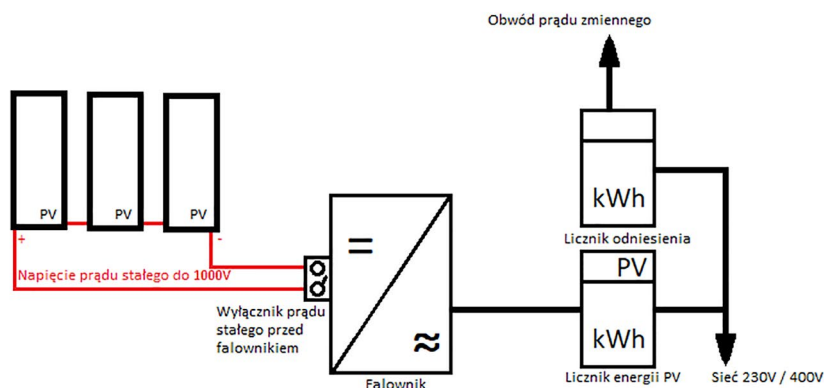
Systemy magazynowania energii mogą spełniać szeroki zakres zadań. Głównymi celami tych zestawów akumulatorów, które są zwykle wykonane na bazie litowo-jonowej, są:

- pośrednie magazynowanie energii elektrycznej,
- zwiększenie zużycia własnego zasobu energii elektrycznej z fotowoltaiki poprzez magazynowanie pośrednie (tym samym lepsze wynagrodzenie za zużycie własne),
- zasilanie podstawowe poprzez przełączenie systemu w tryb pracy wyspowej (znajduje uzasadnienie w przypadku awarii zasilania, ale jest możliwe tylko w połączeniu z odpowiednim falownikiem)²⁸.

²⁸ <https://www.rechnerphotovoltaik.de/photovoltaik/begriffserklaerung> [dostęp: 17.09.2020].

3.2.11. Obwody prądowe instalacji PV

Oprócz ogólnej instalacji elektrycznej (AC) w obiekcie, w którym zamontowana jest instalacja PV, znajdują się dodatkowe obwody, mające szczególne znaczenie dla służb ratowniczych podczas prowadzenia działań ratowniczych. Jest to obwód prądu stałego (okablowanie DC) pomiędzy elementami generatora słonecznego a falownikiem. Napięcie DC w tym obwodzie najczęściej zawiera się w zakresie 250–900 V, w wybranych instalacjach może być jeszcze wyższe.



Ryc. 14. Diagram obwodów prądu instalacji PV

Źródło: opracowanie własne.

Do porażenia prądem stałym może dojść w przypadku kontaktu (dotknięcia) jednocześnie biegunów dodatniego i ujemnego. Podczas działań ratowniczych i awaryjnych stanów pracy instalacji PV szczególne zagrożenie stanowią uszkodzenia elementów instalacji PV, w tym przede wszystkim okablowania. Do przeniesienia napięcia może dojść np. na ramie/mocowaniu uziemionego modułu PV poprzez wyrównanie potencjałów. Takie przeniesienie napięcia może doprowadzić do porażenia prądem przy dotknięciu (poruszeniu) innego przewodu.

Dodatkowym zagadaniem istotnym dla ratowników jest prowadzenie działań ratowniczo-gaśniczych w nocy przy sztucznych źródłach światła, a także światłe księżycy. Więcej na ten temat można przeczytać w tłumaczeniu wytycznych niemieckich pt. *Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung*²⁹.

3.2.12. Przewody DC

Jak wskazano powyżej, w instalacjach PV ważną kwestią jest właściwy dobór i prowadzenie okablowania. Specjalistyczne kable i przewody do systemów fotowoltaicznych są oznaczone symbolami PV-1, PV-1-F lub H1Z2Z2-K. Kable prowadzone na zewnątrz są narażone na działanie warunków atmosferycznych, w tym działające mocno niekorzystnie promieniowanie UV, dlatego kable dedykowane do instalacji PV są pod tym kątem specjalnie konstruowane. Dodatkowo przy projektowaniu instalacji powinno być uwzględniane zabezpieczenie miejsc, które mogą być narażone na uszkodzenia mechaniczne, w tym między innymi działanie zwierząt np. znajdujących się na strychu gryzoni lub nietoperzy. Widoczne uszkodzenia przewodów powinny być traktowane jako ryzyko dla ratowników podczas działań ratowniczych.

²⁹ Ocena ryzyka pożarowego w instalacjach fotowoltaicznych..., dz. cyt.



4. MONTAŻ MODUŁÓW PV

Moduły PV instalowane są na dachach budynków, elewacjach lub na otwartej przestrzeni. W zależności od rodzaju pokrycia dachowego stosuje się różne sposoby mocowania modułów. Innymi sposobami montażu i pozwalającymi na bardziej efektywne wykorzystanie energii słonecznej są systemy naprowadzania lub systemy nadążne³⁰. Oba systemy najczęściej stosowane są na powierzchniach płaskich. Zarówno ramy, jak i podkonstrukcje (stelaże) do montażu modułów PV wykonane są przeważnie z aluminium. Pojedyncze moduły PV są mocowane za pomocą dedykowanych klamer (nie wchodzą w światło modułu PV) do ww. podkonstrukcji czy stelaży.

Szeroko rozpowszechnione są konstrukcje nośne wykonane z profili aluminiowych. Mocowane są one do dachu nachylnego hakami ze stali nierdzewnej lub aluminium. Haki takie z założenia są pod pokryciem dachu przymocowywane śrubami do krokwi/więźby dachowej. W dachach z blachy trapezowej lub falistej, które często znajdują się na halach przemysłowych, zamiast haków dachowych stosuje się śruby, na których mocuje się szyny profilowe.

Dla modułów PV, które są zintegrowane z dachem (montaż w dachu), zamiast pokrycia dachowego stosuje się uszczelnione profile i wmontowywane do nich odpowiednio moduły PV.

W celu osiągnięcia optymalnego nachylenia modułów PV na płaskich dachach, stosowane są kątowe konstrukcje wsporcze lub całe ich systemy. Jeśli pokrycie dachowe, na przykład dachów płaskich, nie powinno być przewiercane, konstrukcje nośne modułów PV obciąża się określonym ciężarem. Innymi stosowanymi możliwościami instalowania modułów PV na płaskich dachach są tzw. systemy ssąco-ciśnieniowe (*sog-druck-system*). Wówczas aerodynamika i ciężar właściwy zapewniają statykę instalacji. Siły wiatru wytwarzają podciśnienie, które zapobiega (ogranicza) przesuwaniu się lub zerwaniu tak mocowanych modułów.

Moduł PV średniej wielkości waży około 20 kg. Na przykład instalacja PV o wydajności 5 kW (19 modułów, każdy o mocy około 270 W) na dachu obiektu budowlanego **obciąża go dodatkowo o około 380 kg!** Ciężar ten rozkłada się w zależności od jakości podbudowy i liczby haków dachowych na prawie całej powierzchni, którą zajmują moduły PV, ale zwłaszcza przy dachach o niewielkich rezerwach nośności, przy dodatkowych niekorzystnych okolicznościach i obciążeniu, może dojść do utraty nośności. Szczególny przypadek stanowią dachy płaskie, gdy konstrukcja wsporcza modułów jest dodatkowo obciążana w celu jej stabilizacji. Pogłębionej analizy nośności wymagają także obiekty o dużej powierzchni dachowej, z licznymi modułami, obciążone znacznym ciężarem.

Podczas działań ratowniczych pamiętać należy, iż konstrukcja może być osłabiona przez ogień, wiatr lub dodatkowe duże obciążenie (np. śnieg). Trzeba uwzględniać ryzyko częściowej lub całkowitej utraty nośności (czyli wcześniejszego zawalenia się dachu).

Najczęściej do konstrukcji wsporczych stosowane są profile aluminiowe. Trzeba pamiętać, iż są one łatwo deformowane pod wpływem temperatury i w warunkach pożaru dość szybko ulegają zniszczeniu. Może to prowadzić do utraty nośności, a w konsekwencji do ich zawalenia się. W zależności od budowy, wielkości konstrukcji dachu analiza zdarzeń rzeczywistych pożarów upoważnia do wniosku, iż rzadko dochodzi do zburzenia części instalacji. Częściej cała instalacja z więźbą dachową spada przez wypalone krokwie prosto do wnętrza budynku.

Dodatkowe informacje na ten temat można znaleźć w poradniku *Ocena ryzyka pożarowego w instalacjach fotowoltaicznych. Określenie koncepcji bezpieczeństwa w celu minimalizacji ryzyka* w rozdziale Bezpieczeństwo i jakość instalacji fotowoltaicznych – zagrożenia i błędy, 3.1 Zachowanie modułów podczas pożaru.

Wobec braku szczegółowych danych statystycznych dotyczących pożarów i innych miejscowych zagrożeń w obiektach wyposażonych w instalacje PV i zewnętrznych instalacjach PV w naszym kraju poglądowo autorzy proponują zapoznać się z analizą zdarzeń tego typu, zamieszczoną w wymienionej wyżej publikacji, w rozdziale 3.3 Analiza uszkodzeń i pożarów w systemach fotowoltaicznych.

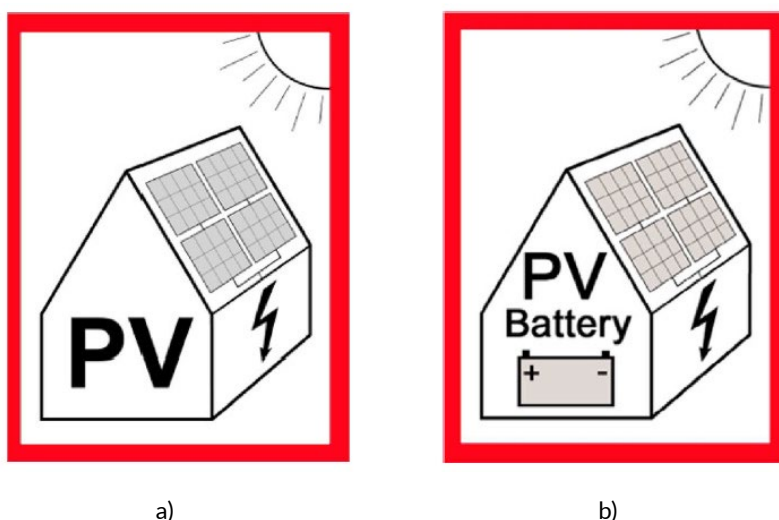
³⁰ B. Szymański, *Instalacje fotowoltaiczne*, dz. cyt.

5. OZNAKOWANIE

Strażacy przyjmujący zgłoszenie nie zawsze otrzymują pełne informacje na temat obiektu oraz zagrożeń. Dlatego też obiekty, w których zamontowana jest instalacja PV, powinny być oznakowane. Odpowiednie oznakowanie i plan instalacji fotowoltaicznej obiektu są dla ekip ratowniczych istotnym elementem mającym wpływ na szybkie przeprowadzenie rozpoznania i podjęcie właściwych decyzji. Są one pomocne zarówno dla osób znajdujących się w środku, jak i na zewnątrz budynku. Informują między innymi o lokalizacji wyłączników DC.

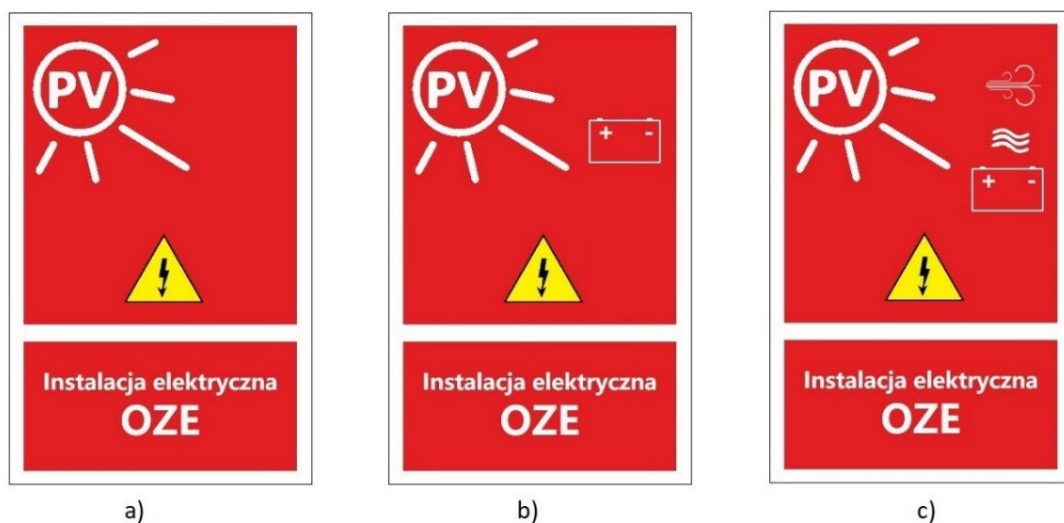
Piktogramy informujące o zastosowaniu instalacji PV powinny być umieszczone przy głównym wyłączniku prądu, szafce elektrycznej, natomiast schemat instalacji PV (plan instalacji fotowoltaicznej dla ekip ratowniczych) w miejscu łatwo dostępnym dla ratowników, np. szafce przyłącza elektrycznego do budynku.

Poniżej przedstawiono przykładowe znaki informacyjne o zastosowaniu instalacji PV oraz plan instalacji fotowoltaicznej dla ekip ratowniczych. W celu ujednolicenia znaków ostrzegawczych dla wyrobów z grupy OZE, CNBOP-PIB proponuje stosowanie znaków przedstawionych na ryc. 15 i 16.



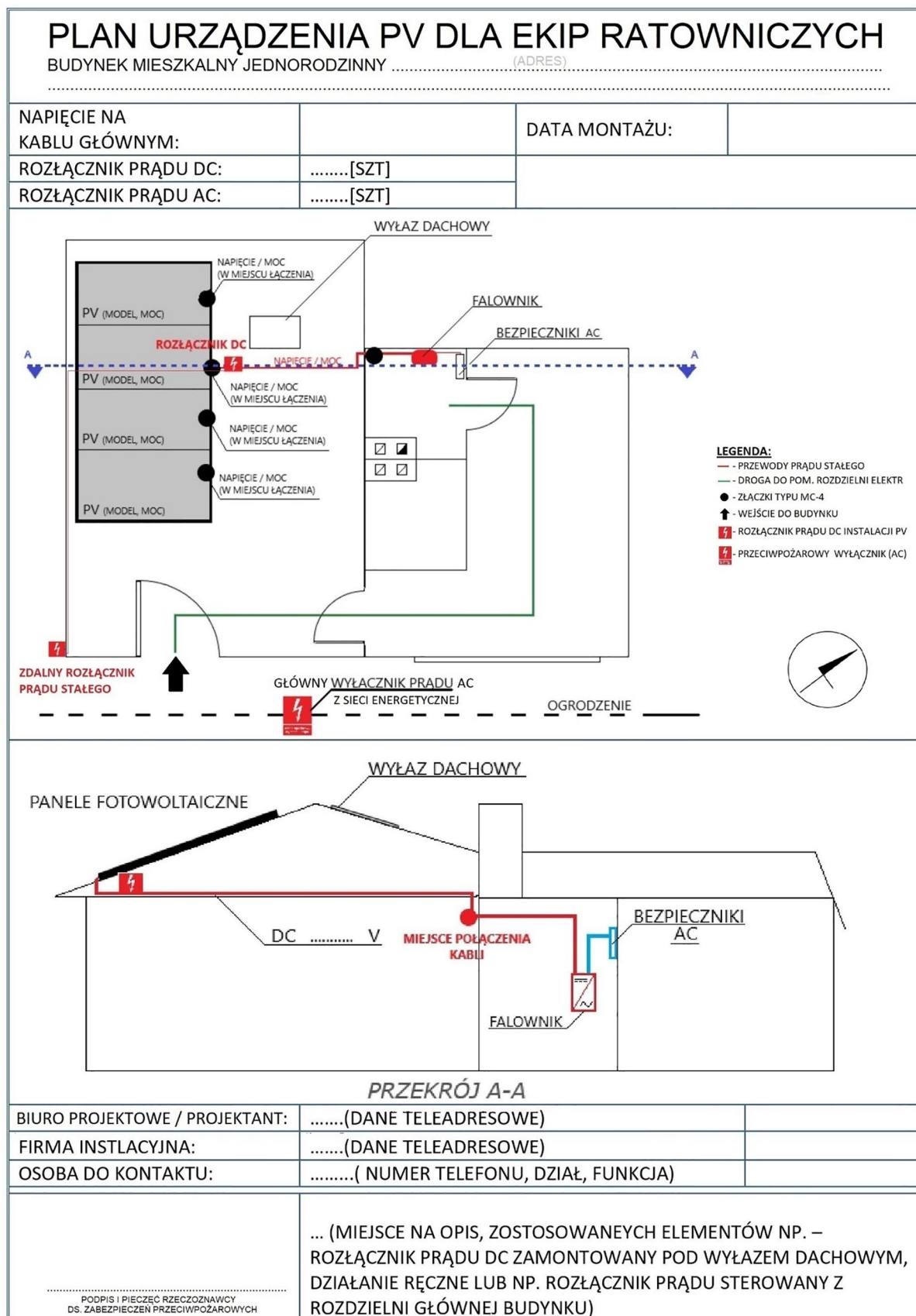
Ryc. 15. Znak informujący, że obiekt jest wyposażony: a) w instalację PV, b) w instalację PV z magazynem energii

Źródło: PN-HD 60364-7-712:2016 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Część 7-712: Wytyczne dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Fotowoltaiczne (PV) układy zasilania.



Ryc. 16. Znak informujący o rodzaju instalacji PV znajdującej się w obiekcie: a) tylko instalacja PV, b) instalacja PV z magazynem energii, c) instalacja PV z generatorem wiatrowym i magazynem energii

Źródło: opracowanie własne na podstawie normy dot. znaków bezpieczeństwa – ochrona przeciwpożarowa wg normy PN-EN ISO 7010.



Ryc. 17. Przykład planu instalacji fotowoltaicznej dla straży pożarnej

Źródło: opracowanie własne na podstawie *Einsatz an Photovoltaikanlagen. Informationen für Einsatzkräfte von Feuerwehren und technischen Hilfsdiensten*, Deutscher Feuerwehr Verband, Berlin 2012.

Zaleca się, aby budynek, w którym znajduje się instalacja fotowoltaiczna, był oznakowany zgodnie z normą PN-HD 60364-7-712:2016³¹ w następujących miejscach:

- w rozdzielni głównej budynku,
- obok głównego licznika energii (jeśli jest oddalony od rozdzielni głównej),
- obok głównego wyłącznika,
- w rozdzielnicy, w której instalacja fotowoltaiczna przyłączona jest do instalacji elektrycznej budynku.

6. POTENCJALNE ZAGROŻENIA PODCZAS DZIAŁAŃ RATOWNICZO-GAŚNICZYCH

Zagrożenia dla sił ratowniczych podczas działań w strefie instalacji PV są szczegółowo scharakteryzowane wraz z oceną poziomu ryzyka w rozdziale 4. poradnika *Ocena ryzyka pożarowego w instalacjach fotowoltaicznych. Określenie koncepcji bezpieczeństwa w celu minimalizacji ryzyka*.

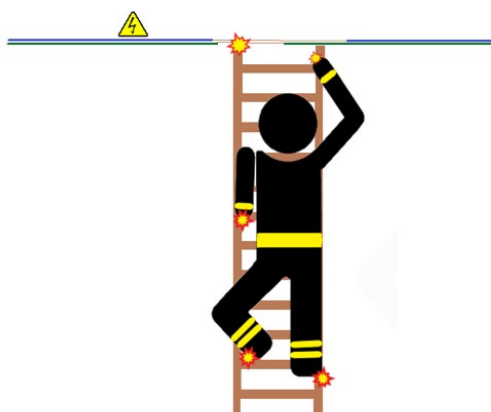
6.1.1. Rodzaje zagrożeń

Podstawowe zagrożenia związane z działaniami w strefie instalacji PV podczas pożarów lub innych miejscowych zagrożeń stanowią³²:

- gazy toksyczne,
- strach,
- rozprzestrzenianie ognia,
- promieniowanie atomowe,
- substancje chemiczne,
- zachorowania / urazy,
- wybuch,
- elektryczność,
- upadek.

6.1.2. Ryzyko porażenia prądem

Ryzyko porażenia prądem elektrycznym o stałej wartości natężenia występuje już na złączach przewodów i modułów PV. Wraz ze wzrostem natężenia światła rośnie wytwarzana wartość prądu stałego. Najwyższe parametry prądu (napięcie lub natężenie) są obecne w części zbiorczej przewodów przekazujących zasilanie do falownika. Porażenie prądem może nastąpić w chwili



Ryc. 18. Kontakt człowieka pośrednio z czynnymi kablami

Źródło: opracowanie własne.

kontaktu z dwoma kablami pod napięciem o przeciwnych biegunach, kablem dodatnim i uziemieniem dla prądu stałego lub z falownikiem czy dowolnymi kablami prądu zmiennego. Należy mieć również na uwadze, iż kable elektryczne mogą być pozbawione izolacji, np. w wyniku oddziaływania ognia, uszkodzenia mechanicznego, zniszczenia przez gryzonie, a także uszkodzenia w wyniku nieprawidłowego montażu. Uszkodzona izolacja lub brak izolacji na kablu stanowi zagrożenie, które może być trudne do dostrzeżenia.

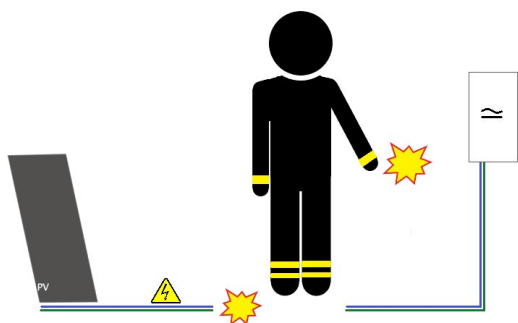
Na rycinie 18 przedstawiono ratownika wchodzącego po drabinie opartej o uszkodzone kable. Mogą one mieć kontakt z blaszonym dachem czy rynnami, co może z kolei posłużyć jako przewodnik prądu.

³¹ PN-HD 60364-7-712:2016 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Część 7-712: Wytyczne dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Fotowoltaiczne (PV) układy zasilania.

³² *Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung*, TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH, Köln 2015.

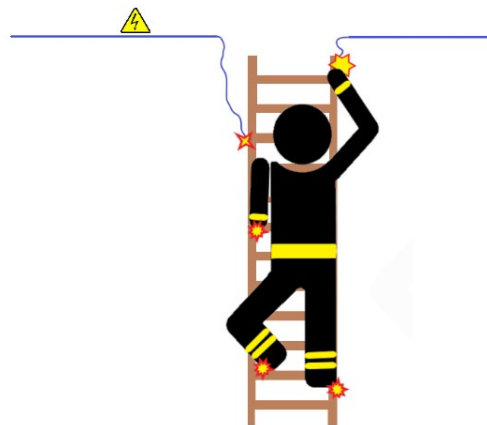


Przerwanie kabla lub uszkodzenie jego izolacji może nastąpić przy powierzchni, po której porusza się ratownik lub z którą ma bezpośredni kontakt. Uszkodzone kable ułożone przy gruncie, na dachu lub antresoli wskutek przepięć elektrycznych mogą przyczynić się do porażenia elektrycznego osób poruszających się po tych powierzchniach. Należy pamiętać, iż strażak może prowadzić działania na mokrej powierzchni, co sprzyja wzrostowi ryzyka porażenia prądem.



Ryc. 19. Kontakt człowieka pośrednio z czynnymi kablami

Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 20. Kontakt człowieka bezpośrednio z czynnymi kablami

Źródło: opracowanie własne.

Ryc. 20 przedstawia zagrożenie dla człowieka, jakie stanowi kontakt z uszkodzonymi kablami elektrycznymi.

Dodatkową uwagę należy zwrócić w przypadku zalanych przez wodę elementów instalacji PV, w tym falowników zlokalizowanych wewnątrz i na zewnątrz budynku. W takiej sytuacji również istnieje niebezpieczeństwo porażenia elektrycznego, jeżeli generator słoneczny przy działaniu światła na moduły PV dostarcza wystarczające napięcie stałe.

6.1.3. Ryzyko porażenia łukiem elektrycznym

Łuk elektryczny jest zjawiskiem spowodowanym jonizacją udarową, występującym w wyniku wyładowania gazu plazmowego między dwoma elektrodami o tym samym biegunie. Przepływ prądu między rozwartymi przewodami zależy też od zastosowanego materiału, a przede wszystkim od wielkości natężenia i napięcia prądu. Łuki elektryczne mogą być postrzegane jako lśniące światło w kształcie łuku z typowymi odgłosami trzasków. Temperatura łuku może osiągnąć kilka tysięcy stopni, a sam łuk jest bardzo trudny do ugastenia³³.

Na rycinie 21 zaprezentowano poglądowo łuk elektryczny. Jest on bardzo trudny do wygaszenia lub przerwania. Zjawisko to wykorzystuje się w lampach wyładowczych oraz spawalnictwie. Efekt łuku może nastąpić w miejscu przerwanej linii prądowej, pomiędzy uszkodzeniem kabla dodatniego prądu stałego a innym elementem przewodzącym prąd, np. w otwartym i niezabezpieczonym obwodzie elektrycznym lub w miejscach uszkodzenia izolacji kabli. Pozornie niewidoczne uszkodzenie lub przerwanie kabla w rzeczywistości może powodować szerokie spektrum zagrożeń. Dlatego w przypadku dokonywania czynności podczas działań ratowniczych miejsce awaryjnego rozłączenia instalacji elektrycznej, np. poprzez rozcięcie kabli, należy zabezpieczyć i oznaczyć np. taśmą ostrzegawczą.



Ryc. 21. Efekt łuku elektrycznego (rycina poglądowa)

Źródło: opracowanie własne.

Szczegółowy opis zagrożeń związanych z łukami elektrycznymi w instalacjach przedstawiony jest w rozdziale 2 oraz podrozdz. 3.2 Ocena ryzyka łuku w instalacjach fotowoltaicznych i 3.5 Potencjalne punkty zagrożenia łukiem elektrycznym w instalacjach fotowoltaicznych w poradniku *Ocena ryzyka pożarowego w instalacjach fotowoltaicznych. Określenie koncepcji bezpieczeństwa w celu minimalizacji ryzyka*.

³³ Tamże.



Potencjalnym zagrożeniem dla instalacji PV mogą być warunki atmosferyczne. Silny wiatr może w widoczny lub niewidoczny sposób uszkodzić elementy instalacji, przemieścić ciężkie przedmioty oraz naruszyć konstrukcję dachu czy miejsca mocowania paneli. Uszkodzone podkonstrukcje, elementy konstrukcyjne obiektu, jak również śruby mocujące oraz obluźnione połączenia elektryczne bez dokładnych oględzin mogą nie wyglądać na zniszczone, chociaż w rzeczywistości stanowią zagrożenie.

Możliwe negatywne skutki działania wiatru:

- niekontrolowane rozłączenie instalacji będącej pod napięciem,
- uszkodzenie konstrukcji dachu,
- uszkodzenie zarówno podkonstrukcji modułów PV, jak i samych modułów.

W konsekwencji takie usterki mogą prowadzić między innymi do pożaru. Zagrozić mogą również niestabilne elementy. Identyfikując takie uszkodzenia, **należy pamiętać, że panele fotowoltaiczne poddane działaniu światła są cały czas generatorem prądu (DC)**³⁴. Należy również mieć na uwadze, że stosowane w akcjach ratowniczych maszty oświetleniowe oraz inne dodatkowe źródła światła mają wpływ na generowanie prądu w modułach.

Dodatkowe zagrożenie dla ratowników stwarza także brak możliwości przeprowadzenia rozpoznania w przypadku, gdy na miejscu działań nie ma planu instalacji fotowoltaicznej dla ekip ratowniczych ani dostępu do informacji o instalacji PV. Wówczas podczas prowadzenia akcji ratowniczo-gaśniczych z instalacjami fotowoltaicznymi powinno się zawsze postępować jak z urządzeniami, w których występuje napięcie stałe ok. 1000 V. Szczególne zagrożenia dla ratowników powstają przy uszkodzeniu instalacji PV.

Podczas prowadzenia działań można wskazać również takie ryzyka, jak:

- upadek z wysokości,
- zatrucie toksycznymi gazami powstałymi w wyniku spalania się modułów PV,
- spadające elementy,
- utrata nośności konstrukcji (wcześniejsze zawalenie się dachu z powodu nadmiernego obciążenia).

Przy tak zwanych instalacjach wyspowych (off-grid) instalacji PV może być zlokalizowany magazyn energii. Są to baterie akumulatorów o napięciu stałym (DC) pomiędzy 12–60 V. Istnieje tam zagrożenie poparzenia chemicznego przez kwas siarkowy i zagrożenie tworzenia się mieszanin wybuchowych gazów. Należy również pamiętać, iż mogą być zastosowane nowe typy akumulatorów, które mają inne charakterystyki dotyczące możliwych zagrożeń.

7. ŚRODKI OSTROŻNOŚCI PODCZAS INTERWENCJI

Mając na uwadze opisane w niniejszym opracowaniu zagrożenia, wskazane jest, aby w obiektach z instalacją PV jednostki ratownicze przestrzegały między innymi następujących zasad:

1. Zachowanie środków ostrożności z uwagi na zagrożenia prądowe – rekomendowane postępowanie jak z urządzeniem elektrycznym pod napięciem.
2. Kontrolowane rozłączenie instalacji fotowoltaicznej w miejscach wskazanych na planie instalacji fotowoltaicznej dla ekip ratowniczych lub w innych – awaryjnych miejscach, zapewniające bezpieczne prowadzenie akcji ratowniczej. Należy pamiętać, że zazwyczaj wyłączenia przerywają dostarczanie prądu przemiennego do obiektu lub do sieci zewnętrznej, natomiast moduły dalej generują prąd stały.
3. Stosowanie odzieży ochronnej i wyposażenia technicznego zapewniających ochronę przed występującymi napięciami elektrycznymi.
4. Doraźne zabezpieczenie lub oznaczenie miejsca awaryjnego rozłączenia instalacji w miejscach innych niż wskazane w schemacie elektrycznym.
5. Podczas gaszenia pożaru postępowanie jak z instalacjami elektrycznymi będącymi pod napięciem:
 - zachować odstęp minimum 1 m od urządzeń i elementów mogących być pod napięciem,
 - rozłączenie instalacji tylko wyłącznikiem (nie dotyczy rozłączenia awaryjnego),
 - podczas gaszenia wodą zachować minimalne odległości, tj. 5 m przy strumieniu zwartym lub 1 m przy strumieniu rozproszonym (powyższe odległości podane wg DIN VDE0132(DVE0123):2015-10),
 - zachować ostrożność na obszarach zalanych,
 - nie niszczyć modułów ani kabli.

³⁴ R. Backstrom, D.A. Dini, *Firefighter Safety and Photovoltaic Installations Research Project*, Underwriters Laboratories Inc., https://ulfirefightersafety.org/docs/PV-FF_SafetyFinalReport.pdf [dostęp: 10.01.2019].



6. Nie należy chodzić lub stawać na modułach PV ani opierać na nich przedmiotów. Nie należy ich też niszczyć czy rozbijać w celu uzyskania dostępu bez upewnienia się o wyłączeniu instalacji.

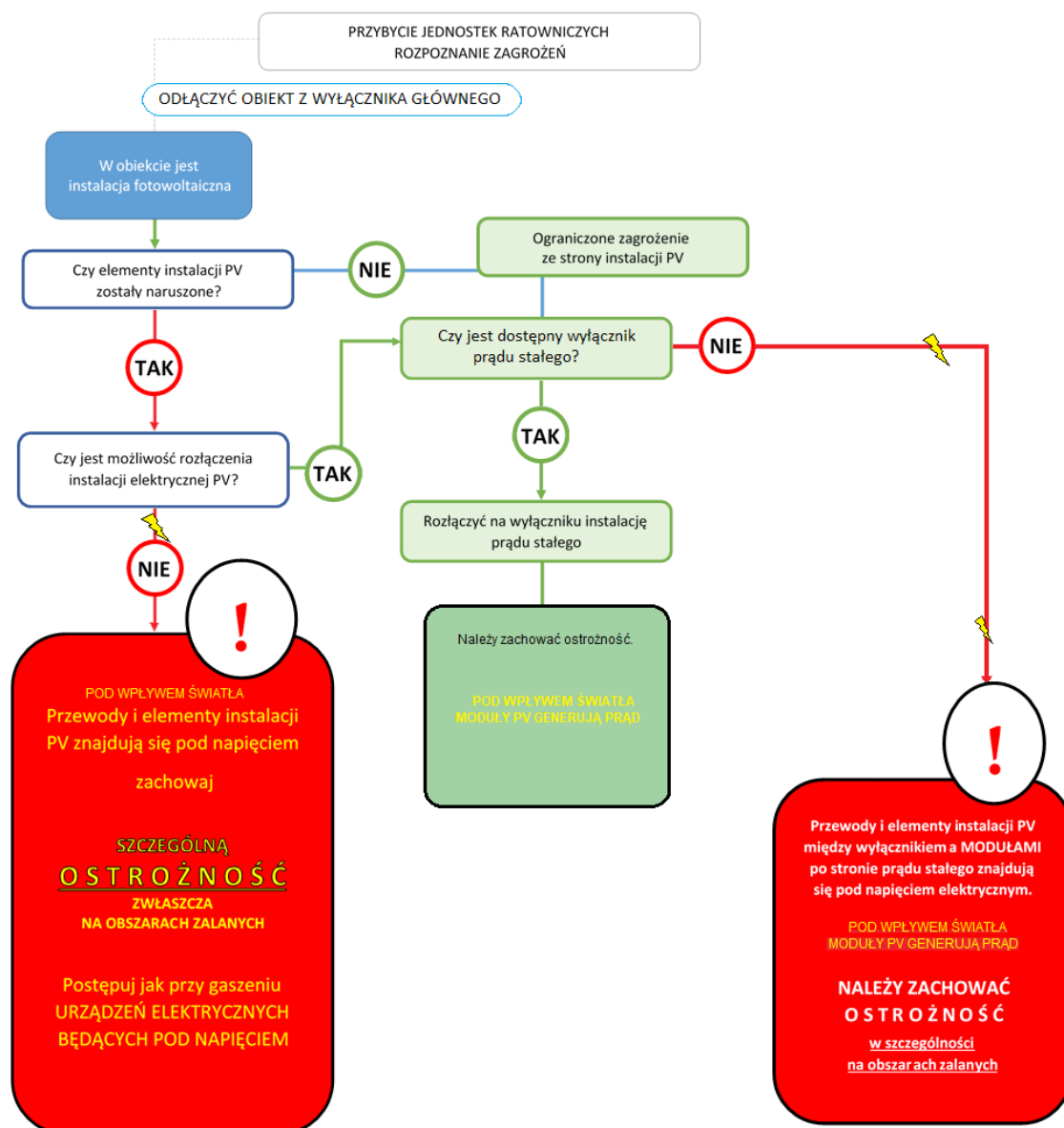
7. Podczas oświetlania miejsca akcji zaleca się wykonywać to w sposób ograniczający oświetlenie generatora fotowoltaicznego.

Dodatkowe informacje – rozdział 4.5.2. Zagadnienia bezpieczeństwa elektrycznego w sytuacjach użycia sztucznego oświetlenia w poradniku *Ocena ryzyka pożarowego w instalacjach fotowoltaicznych. Określenie koncepcji...* (dz. cyt.).

8. Nie należy otwierać skrzynek przyłączeniowych ani rozdzielni bez uzasadnienia. Nie przecinać żadnych kabli DC ani złączy wtykowych! Należy uważać na uszkodzone lub zwisające kable.

Bardzo ważnym aspektem jest, aby osoby podejmujące działania ratownicze były wyposażone w sprzęt (w tym sprzęt dielektryczny) i środki gaśnicze służące do gaszenia urządzeń będących pod napięciem. Zanim zostaną podjęte działania ratownicze, kierujący akcją musi określić, jakim sprzętem ochronnym i zabezpieczającym przed porażeniem prądem elektrycznym mają posługiwać się ratownicy w czasie działań ratowniczo-gaśniczych. Stosowane przez nich narzędzia w przypadku kontaktu z kablami lub elementami będącymi pod napięciem elektrycznym nie powinny przewodzić prądu.

Na potrzeby rozpoznania i podejmowania decyzji sporządzony został schemat postępowania. Podobny schemat w Republice Federalnej Niemiec zalecany jest przez Niemiecki Związek Straży Pożarnych podczas prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych. Zawiera on zasady postępowania przy pożarach lub innych zdarzeniach z udziałem instalacji fotowoltaicznych.



Ryc. 22. Schemat postępowania podczas działań przy pożarach lub innych zdarzeniach z udziałem instalacji fotowoltaicznych

Źródło: opracowanie własne na podstawie VDE 20100-712.



8. WYBRANE ZAGADNIENIA DOTYCZĄCE PROWADZENIA DZIAŁAŃ

8.1.1. Bariera psychiczna (opór), wiedza i praktyka

Bieżące kształcenie i doskonalenie wiedzy w zakresie instalacji PV, w teorii i praktyce jest kluczowe dla podejmowania skutecznych działań i zapewnienia bezpieczeństwa ratowników. Nowe rozwiązania i technologie, przy coraz powszechniejszym ich stosowaniu, stanowią mogą dodatkowe utrudnienia i zagrożenia. Aby skutecznie usuwać określone opory (bariery psychiczne, w tym obawy, strach) w kontekście działań w strefie z instalacją PV, zasadne jest systematyczne pozyskiwanie wiedzy i doskonalenie umiejętności przez ratowników. Pomocnym dla praktycznego kształcenia i zainteresowania tematyką może być bezpośredni dostęp do instalacji PV, która umożliwi jednostkom straży pożarnej zapoznanie się z wyglądem i rozmieszczeniem poszczególnych jej elementów, a także przy jej specjalnym dostosowaniu również ćwiczenie określonych czynności.

8.1.2. Rozpoznanie dotyczące instalacji PV w strefie działań

W przypadku prowadzenia działań w obiektach budowlanych i na terenach, gdzie występują instalacje PV, rozpoznanie powinno wyjaśnić w szczególności:

- czy istnieje i jest dostępny plan instalacji fotowoltaicznej dla ekip ratowniczych?

Jeśli tak – większość ważnych informacji dla rozpoznania powinna się tam znajdować!

- czy jest tylko instalacja PV, czy jest również inna instalacja np. do ogrzewania słonecznego?

Możliwe są kombinacje tych instalacji!

- gdzie znajdują się poszczególne elementy instalacji PV?
- czy instalacja PV jest przyłączona do sieci, czy jest to tak zwana instalacja wyspowa (off-grid)?
- czy instalacja ma magazyn energii (bateria akumulatorów)? Jeśli tak – gdzie on się znajduje?
- jak przebiegają przewody prądu stałego (DC)?
- gdzie znajduje/-ją się wyłącznik/-i prądu stałego (DC)? Czy jest dostępny wyłącznik straży pożarnej (pożarowy)?
- czy można rozłączyć falownik od strony prądu stałego? Jeśli tak, to gdzie? Falownika nie odłącza się od sieci tylko od zasilania po stronie prądu DC;
- gdzie jest usytuowana tablica główna bezpieczników/rozdziálu (dystrybucji) normalnego zaopatrzenia w energię elektryczną?
- czy są uszkodzone elementy budowlane?
- czy są uszkodzone elementy instalacji PV?

Podczas prowadzonych działań ratowniczych przy nieuszkodzonych instalacjach PV odstęp od urządzeń PV może zostać zmniejszony. Jednak należy wtedy szczególnie uważać, czy żaden moduł PV lub instalacja elektryczna po stronie modułów PV nie została uszkodzona!

Napięcie elektryczne może trwale naruszyć urządzenia zabezpieczające i inne elektryczne części na przykład pojazdów z podnośnikami hydraulicznymi. Dlatego bezwzględnie należy unikać bezpośredniego kontaktu tych urządzeń z uszkodzonymi instalacjami fotowoltaicznymi.

- czy osiągalna jest firma, która instalowała instalację PV ? (patrz plan instalacji fotowoltaicznej dla ekip ratowniczych)
- czy mieszkańcy, sąsiedzi są w stanie udzielić wiarygodnych dodatkowych informacji?

8.1.3. Postępowanie z generatorem fotowoltaicznym podczas działań ratowniczych

Przykrycie generatora fotowoltaicznego (modułów PV) foliami lub żelami natryskiwanymi jest możliwe, ale w praktyce przysparza określonych problemów, między innymi wynikających z dostępu do generatora (często na dachach), dostępności środków technicznych (dedykowanych foli, żeli itp.), ograniczeń sprzętowych (zadysponowania pojazdu drabiny czy podnośnika pożarniczego), a także z powodu wymaganego czasu do wykonania tych czynności, szczególnie w przypadku instalacji PV o znaczących powierzchniach.



Ponadto folię należy przymocować. W zależności od warunków atmosferycznych, w tym siły wiatru, taka czynność może stanowić zagrożenie dla osób ją wykonujących. Jest również czasochłonna. Dlatego przy stosowaniu rozwiązania z foliami należy pamiętać, iż muszą one zostać odpowiednio starannie i pewnie przymocowane. Uwzględnić przy tym należy, iż praca ze stabilnymi foliami na dachach przy wietrze wiąże się z dodatkowymi zagrożeniami. Przy instalacjach PV zlokalizowanych na poziomie gruntu wykonanie tych czynności może być łatwiejsze, ale także wówczas musi zostać uwzględnione zapotrzebowanie materiałowe i czasowe.

Inną możliwością przykrywania generatora fotowoltaicznego (przerwania jego pracy i wytwarzania energii elektrycznej) jest wykorzystanie specjalnie przeznaczonych do tego celu natryskiwanych żeli. Wiąże się to jednak z pewnymi problemami. Szybkie i poprawne pokrycie specjalnym żelem instalacji PV może być problematyczne w przypadku utrudnionego dostępu do modułów lub ich znacznej liczby. W zależności od rodzaju instalacji, aby wstrzymać wytwarzanie prądu przez cały generator słoneczny lub jego panel, najczęściej cała powierzchnia musi zostać przykryta tak, aby nie przepuszczała światła. Należy stosować specjalistyczne i sprawdzone środki żelowe do pokryć modułów PV.

Skuteczność zastosowanego przykrycia generatora fotowoltaicznego wymaga sprawdzenia. Zweryfikować należy, czy nie występuje napięcie elektryczne. O ile to możliwe, takiego pomiaru napięcia powinien dokonać wykwalifikowany elektryk.

O konieczności stosowania przykrycia generatora fotowoltaicznego decydują warunki, w których prowadzone są działania ratownicze. To działanie może być właściwe i uzasadnione również wtedy, kiedy napięcie DC z generatora zredukowane jest do bezpiecznej (niezagrożającej) wielkości, aby np. zwalczać lokalnie tłący się pożar, prowadzić działania z zakresu ratownictwa technicznego czy też na potrzeby udzielania pomocy znajdującej się tam osobie, jeżeli to możliwe.

Należy jednak przy tym zawsze uwzględnić, że wszystkie nieprzykryte części instalacji nadal wytwarzają lub mogą wytwarzać prąd! Należy ponadto utrzymywać wystarczająco bezpieczną odległość od części instalacji, które nie mogą zostać wyłączone!

8.1.4. Niewłaściwe działanie

Na podstawie doświadczeń opisanych w publikacji TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH pt. *Ocena ryzyka pożarowego w instalacjach fotowoltaicznych Określenie koncepcji bezpieczeństwa w celu minimalizacji ryzyka* wskazano, iż szereg działań (środków) podczas prowadzenia działań ratowniczych okazało się nieskutecznych, nieprzydatnych, a nawet niebezpiecznych w przypadku instalacji PV. Do tych działań należy:

- Pokrywanie pianą generatora słonecznego. Po pokryciu pianą stwierdzono, że piana po krótkim czasie spływa po powierzchni modułów PV i dlatego nie można jej w ten sposób skutecznie zabezpieczyć, ponadto piana gaśnicza lepiej przewodzi prąd niż woda;
- Rozłączenie przewodów DC poza przewidzianymi do tego urządzeniami wyłączającymi niesie poważne zagrożenie wystąpienia łuku elektrycznego i ryzyko bezpośredniego porażenia elektrycznego ratowników i ratowanych. Dlatego nie należy ich przecinać lub rozrywać bez zapewnienia określonych warunków bezpieczeństwa i posiadania niezbędnych do tego informacji o instalacji PV;
- Zniszczenie/uszkodzenie modułu PV nie prowadzi do dezaktywacji napięcia, ale może stwarzać dodatkowe zagrożenie porażenia dla osób a poszczególne uszkodzone ogniwa mogą być miejscem powstania łuku elektrycznego.

Przed rozpoczęciem działań ratowniczo-gaśniczych należy przeprowadzić rozpoznanie dotyczące instalacji PV ze względu na możliwość występowania napięcia do około 1000 V.

Podczas gdy ogólne obwody instalacji elektrycznej (AC) w obiektach budowlanych mogą być dość łatwo wyłączone przez zakład energetyczny lub wykwalifikowanego elektryka, obwodu prądu stałego w pewnych okolicznościach i w szczególności w starszych instalacjach PV nie można wyłączyć. Oznacza to dla ratowników biorących udział w działaniach, że przewody pomiędzy modułami a wyłącznikiem prądu stałego, w przypadku odpowiedniej ilości światła dziennego padającego na moduły PV, zawsze znajdują się pod napięciem. Moduły instalacji PV mogą także generować prąd stały pod wpływem oświetlenia sztucznego używanego przez jednostki straży pożarnej.

Więcej informacji na temat można znaleźć w tymże poradniku rozdz. 4.5.2. Zagadnienia bezpieczeństwa elektrycznego w sytuacjach użycia sztucznego oświetlenia.



9. PODSUMOWANIE

Publikacja ta zawiera podstawowe informacje dotyczące użytkowania i zasad bezpieczeństwa, które należy wykorzystać zarówno podczas eksploatacji, jak również prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych w obiektach i na terenach, gdzie znajdują się instalacje fotowoltaiczne. Użytkowanie tych instalacji, ze względu na ich specyfikę działania, może wiązać się z omówionymi w tej publikacji lub innymi zagrożeniami. Do niebezpiecznych sytuacji może dojść również w przypadku awarii instalacji PV.

Niniejsze wytyczne są częścią realizowanych przez CNBOP-PIB prac w zakresie szeroko pojętego bezpieczeństwa układów przetwarzania energii słonecznej w elektryczną. Ze względu na ciągły rozwój wiedzy i technologii w omawianym obszarze opracowanie nie ma charakteru zamkniętego. Uwzględniono w nim obecny stan wiedzy. Autorzy otwarci są na propozycje i rekomendacje dotyczące zmian i potrzeb uzupełnienia przedmiotowej publikacji.

Dodatkowe szczegółowe informacje dotyczące instalacji PV dostępne są między innymi we wskazanej we wstępie publikacji *Ocena ryzyka pożarowego w instalacjach fotowoltaicznych. Określenie koncepcji bezpieczeństwa w celu minimalizacji ryzyka*, udostępnionej przez CNBOP-PIB na stronie internetowej <https://sklep.cnbop.pl/dostep-do-pdf/>.



LITERATURA

1. Backstrom R., Dini D. A., *Firefighter Safety and Photovoltaic Installations Research Project*, Underwriters Laboratories Inc., https://ulfirefightersafety.org/docs/PV-FF_SafetyFinalReport.pdf [dostęp: 10.01.2019].
2. *Einsatz an Photovoltaikanlagen. Informationen für Einsatzkräfte von Feuerwehren und technischen Hilfsdiensten*, Deutscher Feuerwehr Verband, Berlin 2012.
3. Fotowoltaika – słownik pojęć, <http://kompaniasolarna.pl/slowniczek-oze/fotowoltaika-slownik-2/> [dostęp: 21.08.2020].
4. HD 60364-7-712:2016 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-712: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Fotowoltaiczne (PV) układy zasilania.
5. IEC 60050-441:1984, 441-14-17 International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 441: Switchgear, controlgear and fuses.
6. *Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung*, TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH, Köln 2015.
7. Photovoltaikanlagen im Feuerwehreinsatz, GVB, Ittigen 2016, http://www.pvtest.ch/Dokumente/Publikationen/216_MB.107.1.d_Photovoltaikanlagen_im_Feuerwehreinsatz.pdf [dostęp: 17.09.2020].
8. Photovoltaik Begriffe, <https://www.rechnerphotovoltaik.de/photovoltaik/begriffserklaerung> [dostęp: 17.09.2020].
9. PN-EN 50171:2007 Centralne układy zasilania.
10. PN EN 60947-2:2018-01 Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa – Część 2: Wyłączniki.
11. PN-HD 60364-7-712:2016 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Część 7-712: Wytyczne dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Fotowoltaiczne (PV) układy zasilania.
12. *Ocena ryzyka pożarowego w instalacjach fotowoltaicznych. Określenie koncepcji bezpieczeństwa w celu minimalizacji ryzyka*, tłum. J. Kielin, CNBOP-PIB, Józefów 2021.
13. Prąd przemienny – definicja, https://pl.wikipedia.org/wiki/Pr%C4%85d_przemienny [dostęp: 05.08.2020].
14. Prąd stały – definicja, https://pl.wikipedia.org/wiki/Pr%C4%85d_sta%C5%82y [dostęp: 05.08.2020].
15. Piliński M., *Bezpieczeństwo pożarowe instalacji fotowoltaicznych*, „Fachowy Elektryk” 2018, 3, 28–30.
16. Szymański B., *Instalacje fotowoltaiczne*, Wydawnictwo GLOBENERGIA Sp. z o.o., Kraków 2019.
17. Zabezpieczenia instalacji PV, <http://www.instsani.pl/511/zabezpieczenia-instalacji-pv> [dostęp: 08.09.2020].