



**Adrian Barasiński<sup>1</sup>, Paweł Czaja<sup>2</sup>, Dariusz Polak<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Centralna Szkoła Państwowej Straży Pożarnej w Częstochowie*

*ul. Sabinowska 62, 42–200 Częstochowa*

*e-mail: barasinskia@cspsp.pl, polakd@cspsp.pl*

<sup>2</sup>*Politechnika Częstochowska*

*Wydział Elektryczny*

*al. Armii Krajowej 17, 42–200 Częstochowa*

*e-mail: czajap@el.pcz.czest.pl*

## OCHRONA PRZECIWPOŻAROWA I PRZECIWPORAŻENIOWA INSTALACJI FOTOWOLTAICZNYCH

**Streszczenie.** Prąd elektryczny jest głównym nośnikiem energii we współczesnych czasach. Każde gospodarstwo domowe, zakład pracy, a nawet pojazd mechaniczny, w mniejszym lub większym stopniu wykorzystuje energię elektryczną. Różne gałęzi gospodarki przemysłowej, transport oraz gospodarstwa domowe do normalnego funkcjonowania wymagają zasilania w energię elektryczną poprzez sieci lub instalacje elektroenergetyczne.

Stale rosnąca liczba urządzeń wymagających zasilania elektrycznego wpływa na potrzebę rozbudowy oraz dostosowywania infrastruktury do wymogów ich właściwego zasilania pod względem technicznym oraz bezpieczeństwa eksploatacji.

Nadmierna eksploatacja zasobów naturalnych wpływa na ich szybkie kurczenie, wzrost kosztów pozyskiwania oraz kosztów końcowej produkcji energii elektrycznej.

Wprowadzone w Polsce regulacje prawne w zakresie pozyskiwania i zbywania energii, wyprodukowanej w prosumenckich mikro instalacjach, wpłynęły na dynamiczny rozwój sektora „zielonej” energetyki. Polska zobowiązana jest do 2020 r. zwiększyć procentowy udział energii wyprodukowanej ze źródeł odnawialnych w ogólnym bilansie energetycznym do poziomu 15%.

Technologia fotowoltaiczna (PV) staje się coraz częściej wykorzystywana w mikro instalacjach ( $\leq 10\text{kW}$ ), montowanych na dachach domów jednorodzinnych lub w postaci zestawów modułów wolnostojących na prywatnych posesjach. Instalacje tego typu w większości eksploatowane są przez osoby nie mające odpowiedniej wiedzy i przygotowania praktycznego, dotyczącego bezpieczeństwa obsługi urządzeń i instalacji elektrycznych.

Wystąpienie pożaru lub innego zagrożenia w obrębie obiektu z zabudowaną instalacją fotowoltaiczną, wymaga podjęcia przez służby odpowiednich kroków umożliwiających

bezpieczne przeprowadzenie akcji ratowniczej lub gaśniczej. W zakresie typowych urządzeń i instalacji zasilanych z sieci dystrybucyjnej w energię elektryczną, wymagania techniczne oraz procedury odłączenia zasilania elektrycznego są jasno określone w przepisach. W przypadku instalacji fotowoltaicznych, ze względu na ich specyfikę pracy, brak jest możliwości jednoznacznego wyeliminowania zagrożenia wynikającego z obecności elementów pod napięciem w trakcie trwania akcji ratowniczo-gaśniczej. W artykule przeprowadzono analizę sposobu działania systemu fotowoltaicznego, ze szczególnym uwzględnieniem zagrożeń porażeniowych prądem elektrycznym dla strażaków biorących udział w akcji ratowniczo-gaśniczej w obrębie czynnej instalacji fotowoltaicznej.

**Słowa kluczowe:** instalacja fotowoltaiczna, prąd elektryczny, straż pożarna, porażenie, pożar, bezpieczeństwo pożarowe

## FIRE AND ELECTRIC SHOCK PROTECTION OF PHOTOVOLTAIC INSTALLATIONS

**Abstract.** The electric current is the main energy carrier in today's world. Each household, work place and vehicles use it more or less. Different branches of industrial economy, transport and household need electric power from mains or electric power installations to work correctly.

The number of devices, which need electric power, is growing all the time. It impacts on the necessity of expansion and adjustment the infrastructure to have the correct power in terms of technical and safe operation.

An excessive exploitation of natural resources affects on theirs quick shorten, the growth of acquisition costs and also the growth of final electric power costs.

Legal regulations, which were brought in Poland in regard to acquire and dispose energy produced in micro installations, has impacted on the dynamic development of green energy area. Poland till 2020 is obliged to increase the number of energy produced via renewable sources to 15% of the whole energy.

Photovoltaics technology (PV) is becoming more and more used in micro installations ( $\leq 10\text{kW}$ ) which are installed on detached houses' roofs or free-standing modules which are situated on private properties. These types of installations are mainly utilized by people, who do not have enough knowledge and practical preparation of using electric devices and installations in safety way.

The occurrence of fire or other danger within facility with photovoltaics installation requires taking the right action by rescue services which enable safe rescue and firefighting action. When it comes to get off the power supply from typical devices and installations supplied by electricity, technical requirements and procedures are clarified in regulations. In the case of photovoltaics installations there is no clear possibility to eliminate the threat because of theirs specificity during the rescue and firefighting action.

In this article, the analysis of photovoltaics system's mode of action has been conducted with due regard to electrocution threats among firefighters taking part in rescue and firefighting action within active photovoltaics installation.

**Keywords:** photovoltaic installations electric current, the State Fire Service, electric shock, fire, fire safety.

## Budowa obwodów DC instalacji PV

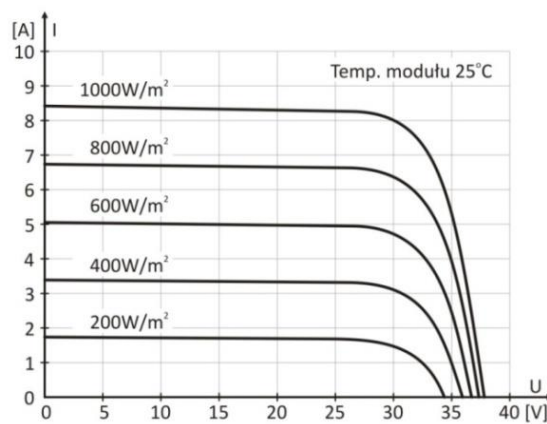
Projektując i budując instalacje PV, należy odpowiednio dobrać środki ochrony przeciwporażeniowej, uwzględnić negatywny wpływ warunków środowiskowych, tak aby cała instalacja prawidłowo funkcjonowała przez zakładany okres eksploatacji oraz aby nie stwarzała niebezpieczeństwa dla osób postronnych i strażaków biorących udział w akcji ratowniczo-gaśniczej.

Zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie [2], obwody strony DC należy traktować jako urządzenia pod napięciem, nawet jeśli cała instalacja PV jest odłączona od strony AC (od sieci elektroenergetycznej).

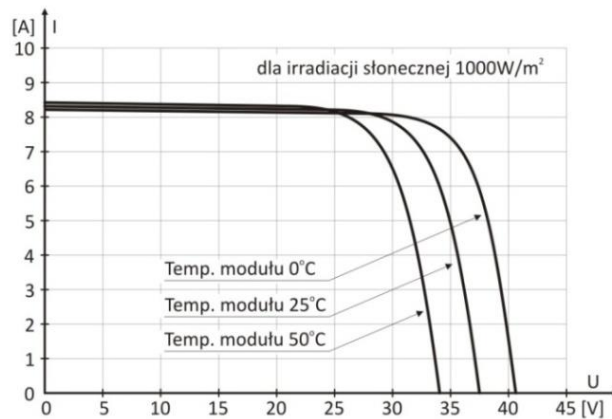
Instalacja fotowoltaiczna jest systemem elektrycznym, w skład którego wchodzi moduły fotowoltaiczne (panele), konstrukcja montażowa (system montażowy), inwerter (falownik), okablowanie (przewody), zabezpieczenia. Instalacja fotowoltaiczna może pracować w dwóch systemach: off-grid czyli niepodłączony do sieci, w którym występują magazyny energii w postaci akumulatorów różnego typu lub w systemie on-grid, czyli ze stałym połączeniem z siecią elektroenergetyczną. Instalacje off-grid wykorzystują akumulatory do gromadzenia energii, natomiast instalacje przyłączone do sieci elektroenergetycznej (on-grid) nie posiadają dodatkowego źródła magazynowania energii, a nadwyżki w niej wytworzone oddawane są do sieci. Najbardziej stosowanym rodzajem instalacji tego typu jest system hybrydowy, będący połączeniem obu wyżej wymienionych.

Głównym składnikiem takiej instalacji są moduły fotowoltaiczne. Są to urządzenia elektryczne, w których przy wykorzystaniu zjawiska fotoelektrycznego zachodzi bezpośrednia przemiana energii promieniowania świetlnego w energię elektryczną. Pojedynczy moduł PV, np. o mocy 250 W, może wygenerować napięcie stałe w zakresie do 40 V (Rys. 1, 2). Wartość generowanego prądu uzależniona jest bardzo silnie od intensywności promieniowania słonecznego. W celu uzyskania większych mocy, moduły PV łączy się ze sobą szeregowo i/lub równolegle. Połączenie szeregowe powoduje wzrost napięcia w obwodzie DC, proporcjonalnie do ilości połączonych modułów (Rys. 3). Połączone szeregowo, tworzą łańcuchy, z których energia elektryczna przekazywana jest za pomocą połączeń kablowych do inwerterów (falowników). Maksymalne dozwolone napięcie obwodu otwartego DC w warunkach standardowych ( $U_{OC\ STC}$ ) [2], ograniczone jest specyfikacją techniczną zas-

tosowanych urządzeń: inwertera, modułów PV, elementów zabezpieczających oraz okablowania (typowo  $U_{OC\ STC} = 1000\ V$ ). W celu osiągnięcia wyższych prądów, a tym samym wyższych mocy w instalacji, szeregowo łańcuchy modułów PV łączy się równolegle (Rys. 4). Maksymalna wartość prądu strony DC ograniczona jest parametrami technicznymi zastosowanego inwertera. Należy przestrzegać zasady, że wszystkie łączone moduły PV powinny posiadać te same parametry techniczne.



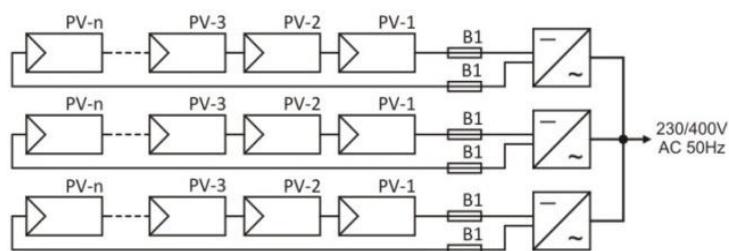
Rys. 1. Charakterystyki  $I=f(U)$  przykładowego modułu o mocy 250W dla różnych wartości iradiacji słonecznej ( $t = \text{const.}$ )



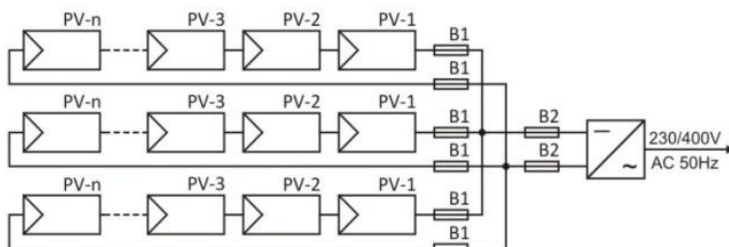
Rys. 2. Charakterystyki  $I=f(U)$  przykładowego modułu o mocy 250W dla różnych temp. pracy (irradiacja słoneczna const.)

Dwoma podstawowymi czynnikami technicznymi, wpływającymi na ograniczony zakres możliwych do zastosowania środków ochrony przeciwporażeniowej w instalacjach PV, są: brak możliwości wyłączenia obwodów DC

dopóki moduły PV są wystawione na promieniowanie słoneczne oraz mała wartość generowanego prądu zwarciovego. Typowe prądy zwarciove w obwodach szeregowo połączonych modułów PV są tylko o ok. 10% większe od znamionowych prądów pracy. W związku z tym bezcelowe jest stosowanie w obwodach DC ochrony polegającej na samoczynnym wyłączeniu zasilania w wymaganym czasie.



Rys. 3. Szeregowe połączenie modułów PV z inwerterami DC/AC



Rys. 4. Połączenie równoległe łańcuchów (szeregowych) modułów PV do centralnego inwertera DC/AC instalacji PV

Norma [2] nakazuje stosować urządzenia zabezpieczające w obwodach DC do ochrony modułów PV i okablowania przed prądami zwarć po stronie AC inwertera (w przypadku braku separacji galwanicznej) oraz przed prądami zwrotnymi występującymi przy uszkodzeniu jednego z kilku połączonych równoległe łańcuchów modułów PV. Najczęściej stosowane są bezpieczniki o charakterystyce gPV, zgodnie z wymaganiami normy [7], napięciu znamionowym wyższym niż najwyższe napięcie w obwodzie DC ( $< U_{OC\ STC}$ ) oraz prądzie znamionowym, spełniającym zależność [1]:

$$1,4 \cdot I_{SC} \leq I_n \leq 2,4 \cdot I_{SC} \quad (1)$$

gdzie:  $I_{SC}$  - znamionowy prąd zwarciovych modułów PV,  $I_n$  - znamionowy prąd bezpiecznika.

Najczęstszymi uszkodzeniami występującymi w obwodach DC instalacji PV są przebicia elektryczne izolacji wynikające z wysokich wartości napięć roboczych oraz negatywnych wpływów warunków atmosferycznych (wilgoć, temperatura, promieniowanie UV).

### Podstawowe zasady ochrony przeciwporażeniowej w obwodach DC instalacji PV

Zgodnie z wymogami normy [2], w obwodach instalacji PV o napięciu  $U_{OC \max} > 120 \text{ V DC}$ , jako środek ochrony przeciwporażeniowej należy stosować izolację wzmocnioną lub podwójną. Dostępne na rynku moduły fotowoltaiczne, standardowo produkowane są w II klasie ochronności, przystosowane są do pracy w zakresie temperatur  $-40^{\circ}\text{C} \div +90^{\circ}\text{C}$  i zapewniają szczelność na poziomie IP67. Maksymalne napięcie w obwodzie DC, łączącym pojedyncze moduły w łańcuchy może wynosić maksymalnie 1000 V.

Na oprowadowanie obwodów DC, należy stosować kable jednożyłowe na napięcie min. 0,6/1 kV o dopuszczalnej temperaturze pracy nie niższej niż  $90^{\circ}\text{C}$  i wysokiej odporności na promieniowanie UV. Ze względu na temperaturę pracy i sposób instalacji, wyznaczając dopuszczalną długotrwałą obciążalność prądową kabli, wymagane jest stosowanie współczynników korekcyjnych w odniesieniu do wartości określonych przez producentów. W tab. 1 zestawiono dane techniczne kabla PV1-F, wytwarzanego przez wielu producentów z przeznaczeniem do wykorzystania w obwodach DC instalacji PV. Do łączenia kabli w obwodach DC należy stosować certyfikowane złącza systemowe o parametrach technicznych porównywalnych z właściwościami kabla PV1-F, np. złącza typu MK-4.

Tabela 1: Właściwości techniczne kabla typu PV1-F [6]

| typ                    | PV1-F                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| napięcie pracy (AC)    | 600/1000 V                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- żyła skręcana miedziana, pobielana,</li> <li>- podwójna izolacja,</li> <li>- odporny na warunki atmosferyczne, promieniowanie UV, ozon,</li> <li>- dobra odporność na oleje oraz chemikalia,</li> <li>- zewnętrzna opona odporna na przetarcia i uszkodzenia,</li> <li>- dzięki podwójnej izolacji, krótkotrwale odporny na bardzo wysoką temperaturę podczas zwarcia (5s/200°C)</li> </ul> |
| napięcie pracy (DC)    | 1800 V                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| napięcie testu (50 Hz) | 4000 V                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| zakres temperatur      | $-40^{\circ}\text{C} \div +90^{\circ}\text{C}$ |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| max. temp. na żyłę     | $+120^{\circ}\text{C}$                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| min. promień gięcia    | 4x (średnica zew.)                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| elastyczność           | klasa 5                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

Stosowanie wzmocnionej lub podwójnej izolacji nie wyklucza ryzyka powstania uszkodzenia [3]. Usterki izolacji w obwodach DC mogą być bardzo niebezpieczne ze względu na możliwość powstania łuku elektrycznego i małe prawdopodobieństwo jego samoistnego wygaszenia. Dodatkowym zabezpieczeniem mogą być urządzenia kontrolujące stan izolacji w obwodach DC, sygnalizujące i ostrzegające o powstałym uszkodzeniu [4, 5].

### Zagrożenia wynikające z pracy instalacji fotowoltaicznej

Instalacje PV mogą stwarzać zagrożenie fizyczne, chemiczne i elektryczne. Moduły generują napięcie pod wpływem promieniowania słonecznego nawet wtedy, gdy są fizycznie odłączone od sieci lub w części przykryte, np. śniegiem. Standardowe systemy zawierają od kilkudziesięciu do kilkuset modułów PV, jeden lub kilka inwerterów konwertujących prąd DC produkowany przez panele PV do prądu AC zsynchronizowanego z siecią. Typowy moduł PV wytwarza napięcie  $20 \div 40$  V. Wystarczy 3÷4 działające moduły, by produkowały napięcie niebezpieczne dla osób dotykających ich odsłonięte elementy.

Podstawowym zabezpieczeniem inwertera jest „intyislanding” czyli „nie bądź samotną wyspą energii”. Oznacza to, że w przypadku odcięcia przepływu prądu od inwertera do sieci energetycznej, sytuacja ta zostaje wykryta i następuje odcięcie prądu w czasie poniżej 0,1 sekundy. Dla ratowników biorących udział w prowadzonych działaniach oznacza to, że po wyłączeniu zasilania budynku, panele nie powinny już produkować prądu. Niestety nie! Panele w słońcu nadal produkują prąd, tyle tylko, że nic nie zamyka obwodu elektrycznego. Pęknięty panel + woda = zamknięty obwód = porażenie!

Najczęstsze zagrożenia występujące przy pracy w obrębie systemów fotowoltaicznych to:

- Porażenie prądem powstałe w wyniku efektu łuku elektrycznego w trakcie gaszenia; efekt kominowy w instalacjach dachowych – szybkie rozprzestrzenianie się pożaru po instalacji;
- Poparzenia;
- Zatrucia w wyniku występowania gazów toksycznych w trakcie spalania elementów instalacji. Ogniwa fotowoltaiczne w trakcie spalania wytwarzają trzy główne szkodliwe związki chemiczne:
  - tellurek kadmu (CdTe) - zwykle w instalacjach komercyjnych lub użytkowych - rakotwórczy,
  - arsenek galu (GaAs) – wysoce toksyczny i rakotwórczy,
  - fosfor (P) – najgorszy ze wszystkich trzech (dawka śmiertelna wynosi 50 mg).

- Porażenie prądem podczas prac rozbiórkowych szczególnie na systemach z potencjalnymi awariami i uszkodzonymi komponentami. Ryzyko to wzrasta szczególnie dla ekip ratunkowych podczas akcji oraz w czasie usuwania skutków zdarzenia, takich jak: pożar, powódź, zawalenie lub zerwanie dachu, uszkodzenie mechaniczne modułów i innych komponentów podczas anomalii atmosferycznych, itp.;
- Brak możliwości rozłączenia łańcuchów pod napięciem stałym, a tym samym zwiększenie ryzyka powstania łuku istnieje nawet po kontroli pożarowej, ponieważ generator fotowoltaiczny ciągle pracuje. Dla ekip ratowniczych utrudnieniem może być fakt, że trasy kablowe nie są udokumentowane lub są trudno dostępne.
- Występowanie napięcia na konstrukcji montażowej. Należy pamiętać że nawet jeden uszkodzony element instalacji, takich jak panel, konektor, złączka, uszkodzone połączenie wyrównawcze może powodować występowanie prądów upływowych stanowiących zagrożenie zdrowia i życia!
- Brak możliwości oddzielenia linii zasilania prądem stałym od przewodów prądu przemiennego, np. linie energetyczne w budynku. Dodatkowo linie te nie są łatwo rozpoznawalne, zazwyczaj prowadzone są w osłoniętych korytach kablowych lub peszlach. Trudno odróżnić je od zwykłych przewodów sieciowych.
- Spadające elementy instalacji z połaci dachowych.

### **Działania ratowniczo-gaśnicze w budynkach wyposażonych w instalację fotowoltaiczną**

Jednym z pierwszych czynności wykonywanych przez straż pożarną podczas działań ratowniczo-gaśniczych jest przeprowadzenie rozpoznania miejsca zdarzenia. Dla budynku wyposażonego w instalację PV, mogącą stanowić zagrożenie jako rozpoznanie można przyjąć ustalenie stanu instalacji PV. W tym celu należy wykonać kilka podstawowych kroków ułatwiających wypracowanie decyzji. Pierwszym z nich jest uzyskanie od personelu, uczestników zdarzenia lub świadków jak największej ilości informacji na temat okoliczności zdarzenia. Wiadomości te mogą obejmować m.in. sposób funkcjonowania instalacji fotowoltaicznej (on-grid/off-grid), miejsce usytuowania falownika, trasę kablową AC i DC, itp. Przystępując do działań, zawsze należy zachować szczególną ostrożność. Jeśli to nie jest konieczne, nie należy zbliżać się do pracującej instalacji. Następnie, kierujący działaniami ratowniczymi (KDR) powinien określić stan instalacji na podstawie oznak zewnętrznych (jej wyglądu) oraz otoczenia. Do obserwacji można użyć np. kamery termowizyjnej. Okopcenie paneli, widoczne przebarwienia, uszkodzone termicznie

złącza i przewody świadczą, że mogło dojść do uszkodzenia instalacji i pojawienia się napięcia na metalowych elementach instalacji i budynku. Kolejnym krokiem jest określenie z jaką mocą instalacji (ilością paneli) mamy do czynienia, co może pomóc w ustaleniu napięcia na przewodach po stronie DC. Bardzo ważnym jest również zweryfikowanie czy/lub w jakie zabezpieczenia wyposażona jest instalacja PV. Czy w jej skład wchodzi optymalizatory lub rozłączniki DC. Następnie w zależności od rodzaju instalacji konieczne staje się zlokalizowanie akumulatorów i ich odpowiednie zabezpieczenie przed działaniem wysokiej temperatury lub ognia. Warty podkreślenia jest fakt, iż w sytuacji braku odpowiednich informacji o stanie instalacji, niezbędne jest stosowanie maksymalnych środków ochrony. Przyjmuje się wówczas, że jest to najbardziej niebezpieczny przypadek, a mianowicie, że doszło do uszkodzenia instalacji – występują prądy i napięcia upływowe o wartości niebezpiecznej dla zdrowia i życia ratowników.

Samo prowadzenie działań w pobliżu instalacji fotowoltaicznej wymaga zachowania odpowiednich warunków bezpieczeństwa. Pierwszym z nich jest stosowanie odpowiedniej odzieży ochronnej, tj. ubrań specjalnych i aparatów ochrony dróg oddechowych. Przydatne jest również wyposażenie się w sprzęt elektroizolacyjny w postaci odpowiednich rękawic, obuwia (mogą to być buty gumowe strażackie). Następnie, w celu neutralizacji zagrożenia, konieczne jest odłączenia zarówno od strony AC, jak i DC instalacji (w tym także inwertera). Jakikolwiek operacje polegające na rozłączaniu (kabli i przewodów) wykonywane są tylko w przypadku, gdy instalacja fotowoltaiczna wyposażona jest w rozłączniki bezpiecznikowe prądu stałego (bocznik pożarowy) oraz bezpieczniki prądu zmiennego. W przeciwnym wypadku istnieje ryzyko porażenia łukiem elektrycznym prądu stałego. Podczas nasłonecznienia (ale i nie tylko) przewody i elementy instalacji fotowoltaicznej pozostają pod napięciem elektrycznym do miejsca, w którym znajduje się rozłącznik prądu stałego. Wymagana jest szczególna ostrożność. Należy zachować bezpieczną odległość (1 m) od elementów instalacji, a także odpowiednią odległość w przypadku podawania środków gaśniczych na płonącą część instalacji. Gaszenie pożaru baterii ołowiowo-kwasowych należy wykonywać za pomocą gaśnic CO<sub>2</sub>, pianowych lub suchych. Pod żadnym pozorem nie należy stosować wody, ani podejmować żadnej próby przecięcia akumulatorów. Grozi to wylaniem się elektrolitu, co z kolei może prowadzić do poparzenia skóry i podrażnienia górnych dróg oddechowych. Ważne staje się również współpracowanie z odpowiednimi służbami wykwalifikowanym i do pracy przy instalacji PV. Są to często odpowiednio przeszkoleni elektrycy lub instalatorzy danego systemu. Samo zakończenie działań wymaga również zapewnienia bezpiecznych warunków gwarantujących uniemożliwienie ponownego uruchomienia uszkodzonej instalacji poprzez jej zabezpieczenie i konsultacje z dostawcą/installatorem systemu.

## Wnioski

Coraz szybszy rozwój odnawialnych źródeł energii (OZE) wymaga odpowiedniego przystosowania strażaków ratowników do radzenia sobie z taki zagrożeniem. W związku z tym zasadna byłaby realizacja specjalistycznych szkoleń i warsztatów umożliwiających zapoznanie się strażaków PSP i OSP ze sposobami niwelowania zagrożeń porażeniowych od strony OZE.

Wystąpienie pożaru lub innego zagrożenia w obrębie obiektu z zabudowaną instalacją fotowoltaiczną, wymaga podjęcia przez służby odpowiednich kroków umożliwiających bezpieczne przeprowadzenie akcji ratowniczej lub gaśniczej. W tym celu zasadne staje się wprowadzenie nowelizacji rozporządzenia dotyczącego szczegółowych zasad bezpieczeństwa i higieny służby strażaków Państwowej Straży Pożarnej uwzględniającego zagrożeń wynikających z alternatywnych źródeł zasilania.

Niezbędne byłoby wprowadzenie stosownych przepisów prawa mówiących o sposobie postępowania w razie pożarów lub innych zagrożeń wynikających z OZE.

Należy wprowadzić obowiązek odpowiedniego oznakowania instalacji PV, tak aby na etapie rozpoznania KDR miał pełen wgląd w sposoby zabezpieczenia instalacji, lokalizację akumulatorów i tras kablowych.

Zaleca się wzmożenie doraźnych kontroli skuteczności działania systemów zabezpieczających.

## Literatura

- [1] Szczerbowski R.: Instalacje fotowoltaiczne – aspekty techniczno-ekonomiczne, *Przegląd Elektrotechniczny*, R.90, nr 10/2014, s. 31–36.
- [2] Norma PN-HD 60364-7-712:2007 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Część 7-712: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Fotowoltaiczne (PV) układy zasilania.
- [3] Norma PN-EN 61140:2005 Ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym - Wspólne aspekty instalacji i urządzeń.
- [4] Norma PN-HD 60364-4-41:2009 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed porażeniem elektrycznym.
- [5] Musiał E.: Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach niskiego napięcia. Konsekwencje ustanowienia normy PN-HD 60364-4-41:2009, *INPE* nr 129/130, 2010, s. 5–39.
- [6] HELUKABEL, Katalog produktów - Kable i przewody, 2014.

- 
- [7] Norma PN-EN 60269-6:2011 Bezpieczniki topikowe niskonapięciowe - Część 6: Wymagania dodatkowe dotyczące wkładek topikowych do zabezpieczania fotowoltaicznych systemów energetycznych.