

Przyziemne wyzwania energii ze słońca

Odnawialne źródła energii stają się coraz bardziej popularne, a wśród nich fotowoltaika. Produkcja prądu z promieni słonecznych niesie ze sobą wiele korzyści. Dla strażaków natomiast oznacza dodatkowe wyzwania oraz zagrożenia.

mgr inż. poż. Szymon Kokot-Góra

Założyciel inicjatywy edukacyjnej cfbt.pl, instruktor taktycznego zwalczania pożarów metodą COBRA, zastępca Naczelnika Ośrodka Szkolenia KW PSP w Olsztynie, mł. bryg.

Odnawialne źródła energii (OZE) zyskują na popularności i stają się powszechne. Wpływa na to wiele czynników, wśród których ekonomia i ekologia wiodą prym. Możliwość pozyskiwania nieodpłatnej energii, oszczędności oraz dopłaty do inwestycji powoduje, że różnego rodzaju instalacje OZE wyrastają niemal jak grzyby po deszczu. Wśród energii pozyskiwanej z natury warto przyjrzeć się technologii fotowoltaiki (ang. *photovoltaic*, PV), czyli produkcji prądu z promieni słonecznych. Instalacje PV są bardzo popularne pomimo tego, że polski rynek nadal jest względnie mały w porównaniu z innymi krajami europejskimi. Natomiast dynamiczny rozwój sprawia, że coraz częściej strażacy są zmuszeni mierzyć się z dodatkowymi wyzwaniami oraz zagrożeniami, jakie są powodowane przez tego typu instalacje.

Elementy i sposób działania systemu fotowoltaicznego

Tempo rozwoju tego segmentu technologii sprawia, że legislacja nie jest w stanie nadążyć za zmianami, a sfera bezpieczeństwa pozostaje

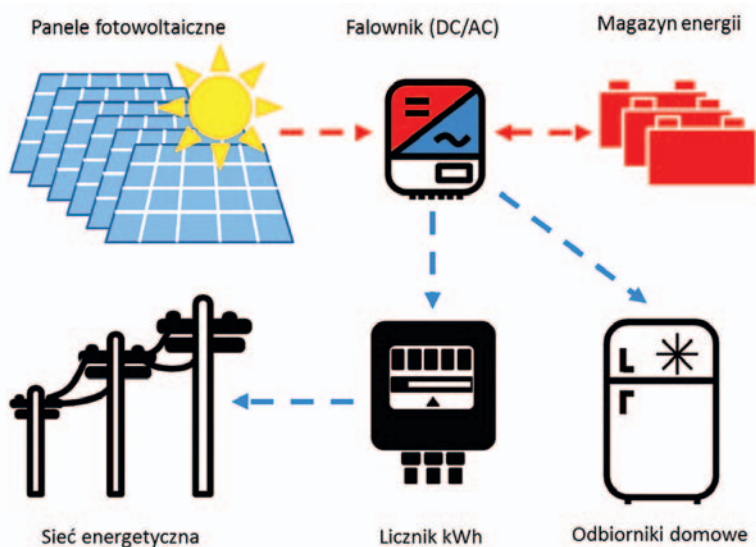
w cieniu coraz to nowszych udoskonaleń technologii, jednocześnie stymulujących zainteresowanie inwestycjami w ten rodzaj odnawialnej energii. Naturalnym trendem jest również rozwijanie strony estetycznej omawianych rozwiązań, co często sprzyja ich skutecznemu maskowaniu, potęgując zagrożenie dla nieświadomych ekip ratowniczych. Ponadto edukacja samych strażaków pozostawia nadal wiele do życzenia, jeśli chodzi o zrozumienie zagrożeń oraz sposobów postępowania. Zarówno zdarzenia o charakterze miejscowych zagrożeń, jak i pożary stwarzają w przypadku obecności instalacji PV szereg dodatkowych zagrożeń oraz wyzwań.

System fotowoltaiczny składa się najczęściej z następujących elementów:

- paneli fotowoltaicznych zamocowanych na konstrukcji nośnej (wykonywanej na konstrukcji lub na gruncie);
- okablowania łączącego elementy całej instalacji;
- inwertera (urządzenia, które zamienia prąd stały na prąd przemienny);
- zabezpieczeń (występujących po stronie prądu stałego jak i zmiennego);

- opcjonalnie: urządzeń magazynujących energię (akumulatory);
- opcjonalnie: licznika energii i podłączenia do sieci energetycznej.

Panele fotowoltaiczne zamieniają energię słoneczną na napięcie elektryczne. Pojedynczy panel może wytworzyć napięcie stałe (ang. *direct current*, DC) rzędu kilkudziesięciu Voltów. Można je łączyć na różne sposoby (szeregowo, równolegle oraz szeregowo-równolegle) i uzyskiwać dosyć wysokie napięcia. Zależnie od krajowej legislacji napięcia uzyskiwane z instalacji domowych mogą sięgać 800, a nawet 1000 V. Są to poziomy stwarzające realne zagrożenie dla strażaków! Ponadto strażacy nie dysponują urządzeniami do wykrywania obecności prądu stałego, w przeciwieństwie do prądu przemiennego (ang. *aplified current*, AC). Każdy z paneli, na który pada światło, wytwarza prąd elektryczny, który płynie do urządzenia zwanego falownikiem (inaczej inwerterem lub przetwornikiem mocy). Tam prąd stały jest zmieniany na prąd przemienny, a wysokość jego napięcia jest dostosowywana do znormalizowanych poziomów wykorzystywanych przez odbiorniki. Jeśli w instalacji występuje możliwość ►



Rys. 1. Podstawowe elementy instalacji PV. Opracowanie własne



fot. z archiwum autora

Fot. 1. Falownik instalacji PV po otwarciu obudowy



Fot. 2. Instalacja fotowoltaiczna naziemna

- magazynowania energii elektrycznej, wówczas niewykorzystana energia jest przesyłana do zmagazynowania. Niewykorzystana energia może też przepływać przez licznik i być wysyłana do sieci energetycznej, generując tym samym oszczędności. System taki nosi nazwę *on grid*, a system niepodłączony do sieci nazywany jest *off grid*. Instalacje PV mogą być też łączone z innymi instalacjami OZE, np. generującymi energię z siły wiatru i wówczas noszą nazwę instalacji hybrydowych.

Zagrożenia ze strony instalacji PV

Strażacy muszą pamiętać, że głównym zagrożeniem ze strony instalacji jest porażenie prądem elektrycznym. O ile zagrożenie to można zneutralizować po stronie napięcia przemiennego,

o tyle po stronie DC napięcie będzie występować nawet po wyłączeniu zwyczajowych zabezpieczeń, takich jak bezpieczniki nadprądowe (w obiektach mieszkalnych) czy przeciwpożarowe wyłączniki prądu, montowane w obiektach o kubaturze pojedynczej strefy pożarowej przekraczającej 1000 m³ lub zawierających strefę zagrożenia wybuchem. Zagrożenie wzrasta w momencie, gdy strażacy muszą ugasić pożar, który powstał w obiekcie wyposażonym w instalację PV. Niemniej również zdarzenia z grupy miejscowych zagrożeń, jak zniszczenia po silnych wiatrach, powalone na budynki drzewa itd., stwarzają poważne ryzyko.

Instalacje fotowoltaiczne, jak wszystkie stosowane przez człowieka technologie, są narażone na wadliwe funkcjonowanie. Przyczynami mogą być: niskiej jakości komponenty powodujące zwarcia w instalacji, nieumiejętne obchodzenie się z instalacją, a także czynniki naturalne (wyładowania atmosferyczne, zabrudzenia powierzchni paneli powodujące ich lokalne przegrzewanie itp.).

Istotnym elementem instalacji jest wejście przewodu DC do budynku. Znajomość tego miejsca pozwala lepiej rozpoznać zagrożenia i warunki pracy poprzez zidentyfikowanie obszarów, w których napięcie może występować pomimo wyłączenia zabezpieczeń prądu przemiennego. Istnieją też bardziej kosztowne panele PV wyposażone w indywidualne mikroinwertery, które wysyłają do przewodów łączących skonwertowany już prąd przemienny. W takich rozwiązaniach napięcie występuje pod modułami. W praktyce jednak niezwykle trudno jest stwierdzić strażakom owe różnice w drodze rozpoznania, szczególnie rozpoznania bojem. Pozostaje przyjęcie bezpiecznej zasady zakładania, że wszystko jest pod napięciem do momentu jednoznacznego stwierdzenia stanu faktycznego.

Badania pod kątem neutralizacji systemu PV

Logicznym i praktycznym sposobem neutralizacji paneli PV wydaje się ich osłanianie przed dostępnym światłem generującym energię elektrycz-

ną. Próby wykonane przez amerykański instytut Underwriters Laboratories (UL) przyniosły wiele ciekawych wniosków odnośnie do tej oraz innych metod działania strażaków przy instalacji PV. W prowadzonych próbach przyjęto, że pojawienie się natężenia prądu rzędu:

- 0-2 mA jest uznawane za bezpieczne;
- 2,1-40 mA powoduje odczuwanie obecności napięcia;
- 40,1-240 mA powoduje skurcz mięśni i zaciśnięcie ręki na przewodzie;
- powyżej 240 mA powoduje śmierć w wyniku porażenia.

Wykonano próby przykrywania paneli plan-dekami różnego rodzaju (1 warstwa). Przykrycie zwykłą czarną folią typu stretch okazało się bezpieczne, podobnie jak specjalnymi płachtami używanymi przez amerykańskich strażaków do ratowania mienia (*fire salvage canvas*). Użycie folii malarskiej powodowało obecność groźnego śmierzczą natężenia rzędu 2,1 A, natomiast winylowa płachta do ratowania mienia dała równie niebezpieczny wynik 1,8 A. Ogólna konkluzja z badań sugeruje, że ten sposób może działać przy niewielkich instalacjach, lecz nie sprawdza się w przypadku dużych.

Prowadzono również testy z użyciem piany gaśniczej, którą pokrywano powierzchnię paneli. Średnio po około 10 minutach piana spływała z powierzchni, co było bezpośrednią przyczyną uznania owej metody zabezpieczania za nieskuteczną. Istnieje też dedykowany środek o nazwie PV Stop o udowodnionym działaniu blokującym. Jest aplikowany jak piana z ga-



Fot. 3. Instalacja fotowoltaiczna na budynku

śnicy i po podaniu tworzy gumopodobną warstwę pozostającą na powierzchni paneli. Daje się również łatwo usuwać po wyschnięciu, bez szkody dla komponentów instalacji.

W badaniach UL pochyłono się również nad najbardziej powszechnie stosowanym środkiem gaśniczym, czyli wodą. W tym celu wzięto pod uwagę szereg zmiennych, jak: napięcie systemu PV, wydajność wodną prądownic, rodzaj prądu gaśniczego, odległość od prądownicy do elementów pod napięciem czy też przewodność wody. Stosując zacytowane powyżej kryteria, prowadzono testy, których podsumowanie zawiera tab. 1. Stosowano wodę ze stawu.

Podając wodę prądem rozproszonym, nie stwierdzono przewodzenia prądu przy napięciu 1000 V. UL zalecił w związku z tym stosowanie dystansu co najmniej 6 metrów (20 stóp) dla prądów zwartych i kąta rozproszenia co najmniej 10° dla prądów rozproszonych (bez podawania zalecanej odległości).

Odległość [m]	Średnica pyszczka [mm]	Ciśnienie [bar]	Napięcie DC [V]	Natężenie [Ma]
3	25	1,45	1000	5,7
3	25	1,45	600	3,2
3	25	1,45	300	1,6
3	25	1,45	50	0,3
6	25	1,6	1000	1,5

Tab. 1. Wyniki testów podawania wody na instalację PV. Opracowanie własne



► Instytut badał również środki ochrony indywidualnej (ŚOI). Próbom poddano 3 modele rękawic pożarniczych. Zastosowane zmienne w tym badaniu to rękawice suche lub mokre na zewnątrz oraz wewnątrz, rękawice zabrudzone lub nie. Czyste rękawice, suche zarówno na zewnątrz, jak i w środku, nie przewodziły prądu elektrycznego. Zabrudzone rękawice, suche zarówno na zewnątrz, jak i w środku, również nie przewodziły prądu elektrycznego. W przypadku rękawic zaburzonych i mokrych na zewnątrz tylko jeden model nie przewodził prądu podczas badania. W pozostałych przypadkach rękawice przewodziły prąd elektryczny, a w licznych przypadkach napięcia 50 kVDC powodowały zaciskające skurcze mięśni oraz występowanie śmiertelnych poziomów natężenia prądu elektrycznego.

W kolejnym teście zbadano zdolność obuwia strażackiego do izolowania prądu i zapobiegania uziemieniu układu, z którym w kontakt strażak mógłby wejść podczas wykonywania czynności. Dwa badane modele obuwia wykonane były z gumy, a trzeci wykonano ze skóry. Jedynie gumowe obuwie, fabrycznie nowe, zachowało wymaganą ochronę we wszystkich warunkach badania (50 VDC, 300 VDC, 600 VDC i 1000 VDC). Obuwie skórzane w pierwszym teście dało wy-

nik przekraczający zdefiniowany wcześniej próg czucia, a w pozostałych testach z wyższymi napięciami osiągnęło poziom powodujący zaciśnięcie mięśni. W przypadku obuwia używanego niemal wszystkie testy dawały wynik powyżej progu czucia. Dla poziomu 600 VDC niemal zawsze występował poziom zagrożenia śmiertelnego, a dla 1000 VDC poziom ów wystąpił zawsze.

Kolejnym badanym zagadnieniem była zdolność oświetlenia stosowanego przez strażaków do generowania napięcia na panelach fotowoltaicznych w porze nocnej. W tym celu stosowano różne kombinacje oświetlenia z najaśnic przy kabinie oraz masztowych. Używane najaśnice posiadały moce rzędu 12 kW i 6 kW w jednym zestawie, oraz 6 kW i 4,5 kW w drugim. W niektórych testach zastosowano wszystkie wymienione najaśnice (łącznie osiągając moc 28,5 kW; dla porównania, najniższa moc w testach to 15 kW z częściowo włączonej najaśnicy o mocy 6 kW). We wszystkich przypadkach stosowanie światła z najaśnic powodowało pojawienie się napięcia powodującego przekroczenie poziomu odczuwania lub zaciśnięcie mięśni. Dopiero oddalenie światła ze źródła o mocy 1,5 kW na odległość 15 m (50 stóp) pozwoliło na obniżenie poziomu generowanego natężenia prądu do poziomu bezpiecznego.

Testowano również możliwość wytworzenia napięcia przez światło generowane z innych źródeł. Do testów ze światłem generowanym przez płomień użyto dwóch stosów wykonanych łącznie z 12 palet drewnianych. W odległościach między 22,5-4,5 m (756-15 stóp), przy pełnym zaciemnieniu hali testowej, płomień był w stanie wygenerować napięcie powodujące skurcz mięśni. Natomiast światło księżycowe, testowane podczas pełni od 20 minut po zmierzchu do 20 minut przed świtem, nie powodowało generowania energii elektrycznej.

Przy wszystkich wymienionych testach instytut badawczy UL zaznaczał, że badania są prowadzone dla konkretnych warunków i sprzętu i mogą się różnić w przypadku innych okoliczności.

Dodatkowym zagrożeniem podczas pożarów paneli PV są powstające ze spalania substancje. Wśród najbardziej szkodliwych występują: tellurek kadmu (CdTe, związek rakotwórczy), arsenek galu (GaAs, wysoce toksyczny i rakotwórczy) oraz fosfor (P, bardzo toksyczny, dawka śmiertelna wynosi 50 mg/kg). Używanie ochrony układu oddechowego oraz dekontaminacja SOI mają krytyczne znaczenie!

Fotowoltaika – propozycje rozwiązań

Warsztaty przeprowadzone w gronie strażaków podziału bojowego, pionu operacyjnego, kontrolno-rozpoznawczego i dydaktycznego, przy współudziale ekspertów zajmujących się wykonywaniem instalacji PV, pozwoliły na sformułowanie następujących konkluzji.

Propozycje wymagań organizacyjno-prawnych pozwalających na podniesienie bezpieczeństwa ratowników podczas interwencji z udziałem instalacji fotowoltaicznych:

a) Wprowadzenie ujednoliconych oznaczeń na budynkach – na przykład przy wejściu głównym (tudzież przy głównym wyłączniku prądu). Oznaczenie powinno zawierać następujące informacje: fakt występowania instalacji, fakt ewentualnej obecności magazynu energii (wskazane umiejscowienie za pomocą uproszczonego piktogramu), miejsce wejścia przewodu DC do budynku, miejsce roz-

dzielni, umiejscowienie i liczbę falowników, wysokość napięcia instalacji.

b) Zawarcie części graficznej w instrukcji bezpieczeństwa pożarowego, przekazywanej do właściwego miejscowo stanowiska kierowania PSP, schematu instalacji, projektu po wykonawczego instalacji oraz kontaktu do firmy ją serwisującej.

c) Oznaczenie ustalonym kolorem lub etykietami elementów instalacji PV w sposób umożliwiający jej łatwe rozpoznanie (na przykład oznakowania izolacji instalacji za pomocą znormalizowanych naklejek rozmieszczonych w stosownych odległościach).

d) Dyskutowano nad koniecznością rejestrowania instalacji w momencie odbioru. Być może tego typu rozwiązanie okaże się przydatne z uwagi na konieczność uregulowania całego sektora tej technologii. W oczekiwaniu na regulacje z poziomu UE oraz kraju zasadne wydaje się czynienie autonomicznych uzasadnionych wiedzą techniczną kroków w celu wyprzedzenia potencjalnych problemów (kroki zaradcze). Jednocześnie zauważono, że w trybie interwencji kluczowe jest wspomniane w podpunkcie a) oznakowanie, umożliwiające niezawodne rozpoznanie faktu oraz rodzaju występującej instalacji, w szczególności w dobie powstawania rozwiązań maskujących ten fakt i narażających strażaków na brak możliwości stwierdzenia go w trakcie rozpoznania na miejscu zdarzenia. Gdyby doszło do rejestracji (w momencie odbioru), wówczas – stosownie do przyjętych rozwiązań – należy pomyśleć o mechanizmach wymiany informacji między stosownymi podmiotami a PSP.

e) Dyskutowano nad rozwiązaniem o nazwie „wyłącznik Q”, który w momencie wyłączenia przez strażaków dopływu energii elektrycznej z sieci uziemia każdy oddzielny panel, tym samym niwelując ryzyko porażenia.

f) Zasadne wydaje się wprowadzenie obowiązku automatycznego rozłączania obwodu akumulatorów gromadzących produkowaną energię w momencie interwencyjnego wyłączenia napięcia w budynku przez strażaków. Dodatkowo niezbędne jest oddzielne oznakowanie ►

- miejsca występowania banku energii w sposób analogiczny np. do oznakowania rozmieszczenia gaśnic w budynkach użyteczności publicznej itd.
- g) Na wzrost bezpieczeństwa ekip mogłoby również wpłynąć rozwiązanie techniczne pojedynczych paneli, rozłączające układ w momencie wzrostu temperatury (zarzewie pożaru).

Podsumowanie

Wnioski dotyczące działań interwencyjnych podczas ćwiczeń z udziałem instalacji fotowoltaicznych:

1

Z uwagi na powszechność i rosnącą popularność instalacji PV rozpoznanie pod kątem potwierdzenia (wykluczenia) występowania instalacji PV powinno stanowić odtąd nieodzowny element procesu pozyskiwania informacji: od momentu przyjęcia zgłoszenia poprzez dojazd i działania na miejscu zdarzenia.

2

W trakcie działań strażacy powinni zachować wyjątkową ostrożność, ponieważ napięcie może wystąpić zawsze i wszędzie.

3

W rozpoznaniu należy przede wszystkim ustalić umiejscowienie komponentów instalacji, takich jak falownik i instalacja DC (stałego napięcia). Pozyskane informacje należy przekazać wszystkim strażakom biorącym udział w interwencji.

4

Podczas pożaru występuje możliwość przebieć i pojawienia się napięcia na przewodzących elementach: konstrukcji nośnej, pokryciu dachu (blachodachówka), rynny, woda z rynien, miejsca ujścia wody z rynien.

5

Podawanie wody powinno następować z zachowaniem ostrożności: odległość min. 6 m, zalecany prąd rozproszony o kącie rozwarcia co najmniej 30°, ciśnienie pozwalające na wytworzenie skutecznej mgły (około 6-7 barów na wylocie prądownicy), operowanie z przerwami, obserwowanie reakcji.

6

Zarówno światło wykorzystywane przez strażaków do oświetlenia terenu akcji, jak też pochodzące z płomieni może spowodować pojawienie się niebezpiecznego poziomu napięcia w instalacji. Światło księżycowe nie powoduje pojawienia się niebezpiecznego poziomu napięcia w instalacji.

7

Można rozważyć pokrywanie paneli w celu zablokowania dopływu światła. Niektóre materiały nie zabezpieczają przed pojawieniem się napięcia, niektóre przewodzą prąd elektryczny. Zalecane są wyjątkowa ostrożność i prowadzenie analizy „ryzyko kontra zysk” przed podjęciem jakichkolwiek czynności z tego zakresu.

8

Rozłączanie elementów instalacji obciążonej powoduje ryzyko powstania łuku, podobnie jak rozłączanie elementów instalacji poprzez rozcinanie lub niszczenie narzędziami strażackimi. Nie należy tego robić. Należy stosować się do ogólnych postanowień przepisów branżowych ze sfery BHP dotyczących pracy w obecności zagrożeń ze strony energii elektrycznej.

9

Należy zwiększyć nadzór nad właściwym badaniem obuwia strażackiego pod kątem ochrony przed porażeniem. □

Piśmiennictwo

1. Szymański, B.: *Instalacje fotowoltaiczne*. Wydanie IX, Kraków 2020.
2. *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków tech-*

nicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U.2019.1065 t.j. z dnia 2019.06.07).

3. Backstrom R., Dini D.A.: *Firefighter Safety and Photovoltaic Installations Research Project*. 2011.