

**mgr inż. Mateusz Urbańczyk**

*Komenda Miejska PSP w Warszawie*

**mgr inż. Damian Hajdas**

*Politechnika Częstochowska, Wydział Zarządzania*

**mł. kpt. dr inż. Adrian Barasiński**

*Centralna Szkoła PSP w Częstochowie*

**DOI: 10.5604/01.3001.0014.4269**

## **Instalacje fotowoltaiczne jako nowe wyzwanie dla straży pożarnej. Część I: Budowa i zasada działania systemów fotowoltaicznych**

### **Abstrakt**

Instalacje fotowoltaiczne (PV) stały się integralną częścią instalacji elektroenergetycznej niskiego napięcia (nn) w gospodarstwach domowych i zakładach pracy. Coraz więcej osób decyduje się na korzystanie z alternatywnych systemów opartych na odnawialnych źródłach energii. Energia ta w zależności od sposobu pracy instalacji, oprócz bieżącego zapotrzebowania, może być gromadzona w akumulatorach bądź przesyłana do sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia. Produkcja energii elektrycznej z wykorzystaniem modułów fotowoltaicznych jest przyjaznym rozwiązaniem dla właścicieli takich systemów, jak i środowiska, jednakże w przypadku wystąpienia sytuacji awaryjnej spowodowanej niewłaściwą pracą systemu może doprowadzić do powstania np. pożaru. Dlatego niezbędne jest kształcenie strażaków na temat zasad funkcjonowania takich systemów, mogących wystąpić zagrożeniach, sposobach ich dezaktywacji oraz wytycznych dotyczących postępowania podczas prowadzonych akcji. Celem pierwszej części artykułu jest przedstawienie ratownikom biorącym czynny udział w działaniach ratowniczo-gaśniczych budowy i zasady działania instalacji PV. Dobre zrozumienie zasad funkcjonowania umożliwi podejmowanie skuteczniejszych decyzji oraz zwiększy bezpieczeństwo strażaków.

**Słowa kluczowe:** fotowoltaika, odnawialne źródła energii, zarządzanie działaniami ratowniczo-gaśniczymi, ochrona przeciwpożarowa

**Przyjęty: 02.11.2020; Zrecenzowany: 25.11.2020; Zatwierdzony: 04.12.2020**

# Photovoltaic Installations as New Challenge for the Fire Service.

## Part I: Design and Operation of Photovoltaic Systems

### Abstract

Photovoltaic systems (PV) have become an integral part of low voltage (LV) powering lines used in households and work establishments. More and more people are interested in alternative systems based on renewable energy sources. Depending on the way the installation is meant to operate, apart from covering the current powering needs, this energy may also be accumulated in batteries or transmitted to the low voltage power grid. Generation of power with the use of photovoltaic modules is a friendly solution for owners of such systems and for the environment, yet in the event of an emergency situation caused by incorrect operation of the system it could among others cause a fire. This makes it necessary to assure training and education to firefighters so that they could become familiar with the functioning of such systems, potential hazards, methods to be adopted to deactivate them as well as guidelines for actions to be implemented during executed actions. The first section of the article presents rescuers actively involved in rescue and extinguishing actions with information concerning the design and principles of operation of the PV installation. Familiarisation with the functioning of the system would contribute to making better and more effective decisions, and is also expected to enhance the safety of firefighters.

**Keywords:** photovoltaics, renewable energy sources, management of rescue and extinguishing systems, fire protection

**Received: 02.11.2020; Reviewed: 25.11.2020; Accepted: 04.12.2020**

### 1. Wprowadzenie

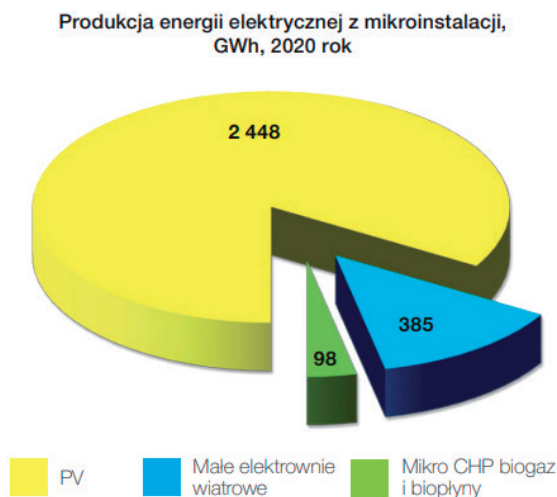
Rozwój technologiczny zarówno w Polsce, jak i na świecie, przyczynił się do zwiększonego zapotrzebowania na energię elektryczną. Każdy dom, biuro bądź hala produkcyjna posiada od kilkudziesięciu do kilkuset odbiorników energii elektrycznej. W wyniku tego zwiększyła się liczba punktów (gniazd), średnica przekroju przewodu oraz ich liczba, a w szczególności ilość zużywanej energii elektrycznej. Tak wielkie zapotrzebowanie zaspokajano poprzez duże elektrownie, m.in. węglowe i jądrowe. Jednakże

elektrownie węglowe emitują do atmosfery duże ilości gazów cieplarnianych oraz związków szkodliwych dla środowiska. Natomiast elektrownie jądrowe ze względu na zachodzące w nich reakcje mogą stanowić poważne zagrożenie dla dużej grupy ludzi w chwili awarii reaktora. Dlatego też coraz więcej krajów zaczęło szukać innych, alternatywnych metod produkcji energii elektrycznej, w tym z wykorzystaniem niewyczerpalnych źródeł, takich jak wiatr i słońce. Efektem tego stała się budowa elektrowni wiatrowych, wodnych, a w ostatnich latach fotowoltaicznych. Początkowo elektrownie takie stanowiły duże farmy produkujące znaczne ilości energii elektrycznej, która w sposób komercyjny była sprzedawana odbiorcom. Obecnie, m.in. dzięki zmianom w prawie, na popularności zyskały małe, przydomowe systemy fotowoltaiczne produkujące energię elektryczną na własne potrzeby.

Niewątpliwie korzyści płynące z takiego rozwiązania są znaczne, jednakże w kontekście szeroko rozumianego bezpieczeństwa pożarowego stanowią kolejne wyzwanie, z którym coraz częściej przychodzi się mierzyć ochotniczej straży pożarnej i Państwowej Straży Pożarnej. Obecnie nie ma oficjalnych statystyk podających realną moc wszystkich funkcjonujących instalacji fotowoltaicznych na terenie kraju. Każdego dnia powstaje kilkanaście nowych instalacji (w szczególności w skali mikro), a branża odnawialnych źródeł energii (OZE) przeżywa wyraźny rozkwit i jest najszybciej rozwijającą się gałęzią ze wszystkich technologii w energetyce. Publicznie dostępna statystyka Urzędu Regulacji Energetyki za 2019 r. nie obejmuje m.in. mikroinstalacji, które nadal dominują na rynku PV, ale też nie obejmuje tych instalacji, które nie są podłączone do sieci, tzw. *off-grid*. Na podstawie danych opublikowanych przez Instytut Energii Odnawialnej pełna statystyka mocy zainstalowanej w źródłach fotowoltaicznych obejmuje:

- mikroinstalacje fotowoltaiczne – o mocy do 50 kW, których łączna moc na koniec 2018 r. wynosiła 350 MW, aktualnie może przekraczać nawet 400 MW;
- małe instalacje fotowoltaiczne – o mocy od 50 kW do 500 kW, których łączna moc wynosi 33 MW (stan na koniec kwietnia 2019 r.),
- instalacje PV o mocy powyżej 500 kW, zbudowane w ramach systemu świadectw pochodzenia – IEO szacuje, że moc tych instalacji może przekraczać 75 MW,
- instalacje PV, które wygrały aukcje OZE i zostały już zrealizowane, o łącznej mocy ok. 170 MW,
- instalacje o mocy zbliżonej do 1 MW, z uwzględnieniem pojedynczych instalacji o mocy poniżej 500 kW,
- instalacje PV nieprzyłączone do sieci typu *off-grid* (zostały pominięte w dalszej części raportu).

Biorąc pod uwagę powyższe grupy instalacji fotowoltaicznych, łączna moc zainstalowana w źródłach fotowoltaicznych wynosiła ok. 700 MW. Wspomniane wcześniej statystyki pokazują, że pod koniec 2018 r. na terenie Polski pracowało już 55502 mikroinstalacji OZE o łącznej mocy ponad 353 MW, a większość z nich to instalacje fotowoltaiczne. Przewiduje się, że wiodącą technologią prosumencką w sektorze zielonej energii elektrycznej do końca 2020 r. będą nadal systemy fotowoltaiczne (84%), potem małe elektrownie wiatrowe (13%), a niespełna 3% stanowią biogazownie.

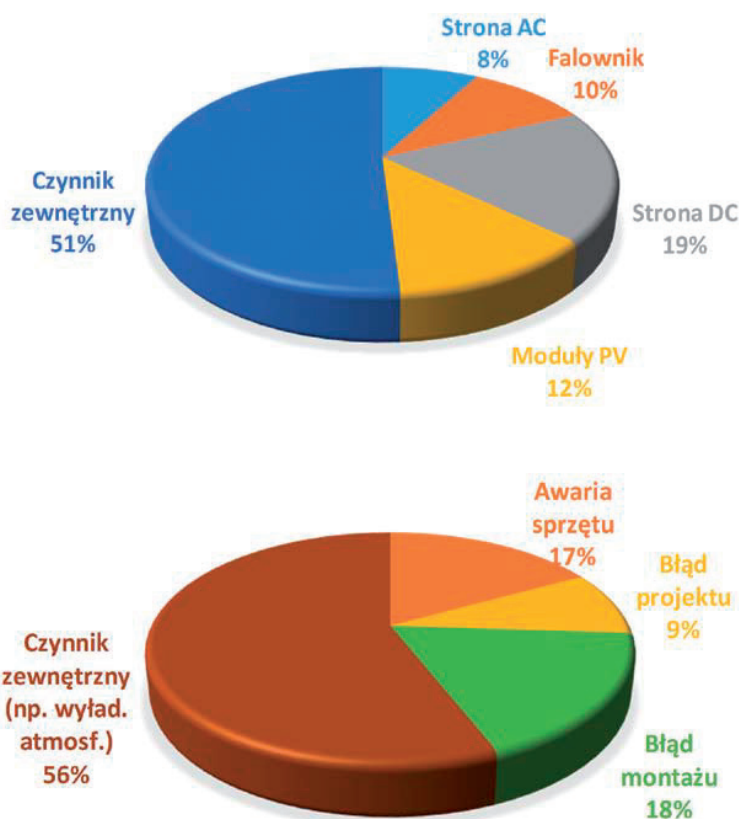


**Rys. 1.** Projekcja produkcji energii elektrycznej z mikroinstalacji w 2020 r.

Źródło: opracowanie IEO, ZP FEO [1]

Przyglądając się danym statystycznym oraz panującemu trendowi, jednoznacznie można stwierdzić, że aktualna moc wszystkich instalacji OZE wynosi już ponad 400 MW. Znaczna część mikroinstalacji fotowoltaicznych (ok. 75% mocy) to instalacje realizowane przez prosumentów indywidualnych (rozumianych zgodnie z definicją z ustawy o OZE), czyli w praktyce instalacje u osób fizycznych, natomiast pozostałe to mikroinstalacje w przedsiębiorstwach (tzw. prosument biznesowy wg definicji IEO). Rosnące zapotrzebowanie na nowe inwestycje niestety nie idzie w parze z jakością. Niestaranne wykonanie instalacji może grozić chociażby pożarem. Państwowa Straż Pożarna nie prowadzi oficjalnych statystyk dotyczących tego typu zdarzeń i mimo iż pożarom ulega niewielki procent nowo powstałych instalacji, to bez wątpienia rosnący popyt na tego typu źródła energii zwiększy ilość zdarzeń z ich udziałem. Nie mniej jednak,

bazując na danych statystycznych innych krajów, można wnioskować, iż taka instalacji PV może stanowić zagrożenie pożarowe i porażeniowe dla jej właścicieli oraz ratowników biorących udział w akcji ratowniczej. Zgodnie z danymi opublikowanymi w 2013 r. przez TÜV Rheinland we współpracy z Instytutem Systemów Energetyki Słonecznej im. Fraunhofera (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems; ISE) do przyczyn pożarów instalacji fotowoltaicznej najczęściej dochodzi w wyniku czynnika zewnętrznego, np. wyładowania atmosferycznego lub złego montażu). Natomiast sama instalacja to odpowiednio 17% awarii sprzętu i 10% awarii falownika. Warty podkreślenia jest fakt, że według szczegółowej analizy jako najważniejszą przyczynę pożaru uznano powstanie łuku elektrycznego, który to po stronie prądu stałego DC stanowi poważne zagrożenie.



**Rys. 2.** Przyczyny pożarów instalacji PV w Niemczech

Źródło: [7, 9]

## 2. Budowa i zasada działania

### 2.1. Moduły fotowoltaiczne

Instalacja fotowoltaiczna jest systemem elektrycznym, w skład którego wchodzi moduły fotowoltaiczne (panele), konstrukcja montażowa (system montażowy), inwerter (falownik), okablowanie (przewody), zabezpieczenia. Instalacja PV 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.

Kierujący działaniem ratowniczym (KDR) podczas zdarzenia w pierwszej kolejności powinien określić, czy dany budynek jest wyposażony w instalację fotowoltaiczną. Na pierwszy rzut oka może wydawać się to proste do stwierdzenia, jednakże szybki rozwój odnawialnych źródeł energii skupia swoją uwagę nie tylko na sprawności całej instalacji, ale także na jej estetyce i zmaksymalizowaniu miejsc montażu. Dlatego spotykane są coraz częściej moduły zintegrowane z budynkiem (ang. *Building Integrated Photovoltaics* – BIPV) stanowiące elementy konstrukcyjne, np. dach, ścianę (rys. 3).

Głównym składnikiem takiej instalacji są moduły fotowoltaiczne (rys. 4). Są to urządzenia elektryczne, w których przy wykorzystaniu zjawiska fotoelektrycznego zachodzi bezpośrednia przemiana energii promieniowania świetlnego w energię elektryczną. Każdy moduł fotowoltaiczny zbudowany jest z ogniw fotowoltaicznych, które wewnątrz modułu połączone są ze sobą szeregowo (rys. 5). Całość jest odpowiednio zabezpieczona i umieszczona w obudowie tworzącej moduł fotowoltaiczny. Tak zbudowane generatory, połączone ze sobą, tworzą łańcuchy, z których energia elektryczna przekazywana jest za pomocą połączeń kablowych do falownika (inwertera).

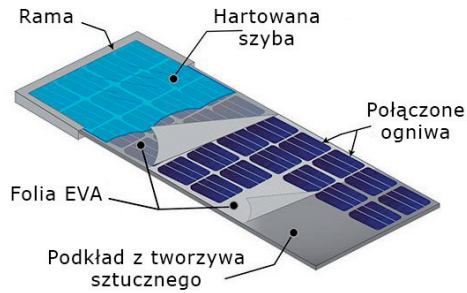
Pojedynczy moduł PV, np. o mocy 250 W, może wygenerować napięcie stałe w zakresie do 40 V (rys. 6 i 7). Wartość generowanego prądu uzależniona jest bardzo silnie od intensywności promieniowania słonecznego. W celu uzyskania większych mocy moduły PV łączy się ze sobą szeregowo i/lub równolegle. Połączenie szeregowe powoduje wzrost napięcia w obwodzie DC proporcjonalnie do ilości połączonych modułów (rys. 8). 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 ( $U_{OC\ STC}$ ) ograniczone jest specyfikacją techniczną zastosowanych urządzeń: inwertera, modułów PV, elementów zabezpieczających oraz okablowania (typowo  $U_{OC\ STC} = 1000\text{ V}$ ). W celu osiągnięcia wyższych prądów, a tym samym wyższych mocy w instalacji, szeregowe łańcuchy modułów PV łączy się równoległe (rys. 9). 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.



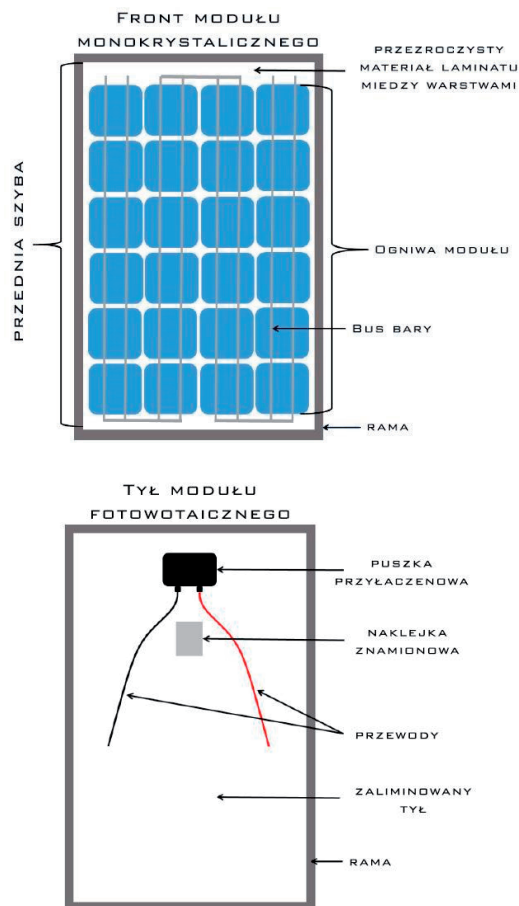
**Rys. 3.** Przykłady modułów addytywnych

Źródło: [12, 13, 14]



**Rys. 4.** Przekrój modułu fotowoltaicznego opartego na ogniwach z krzemu krystalicznego

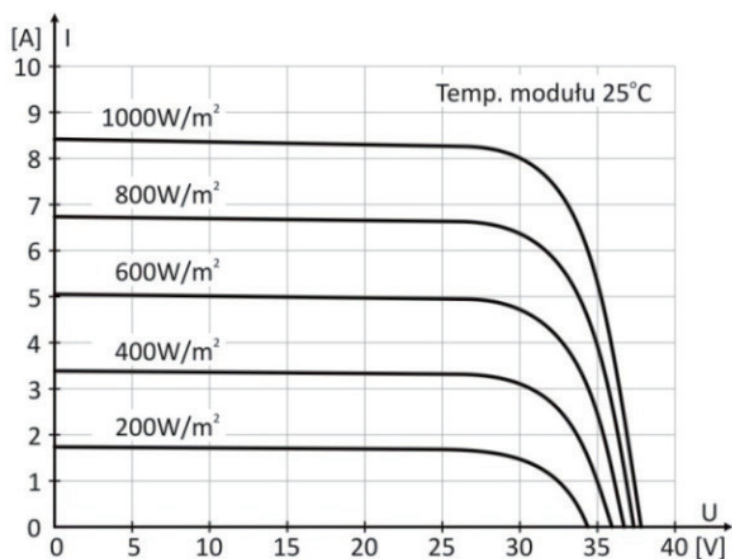
Źródło: [15]



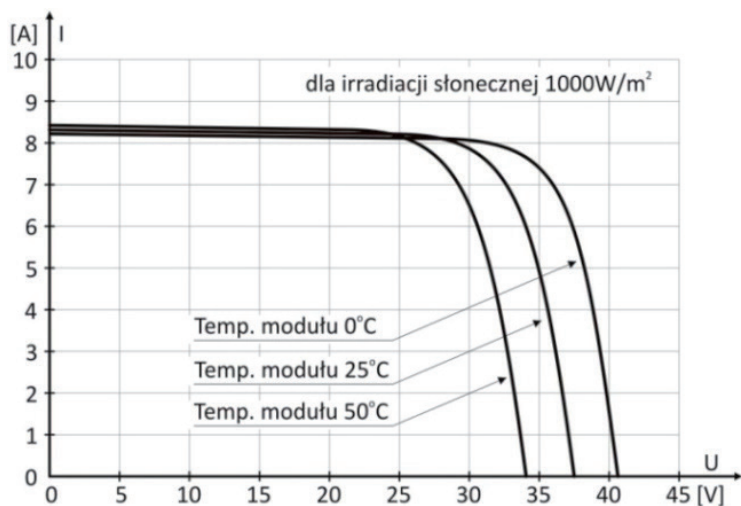
**Rys. 5.** Rzut przedniej i tylnej części modułu fotowoltaicznego z krzemu krystalicznego

Źródło: opracowanie własne



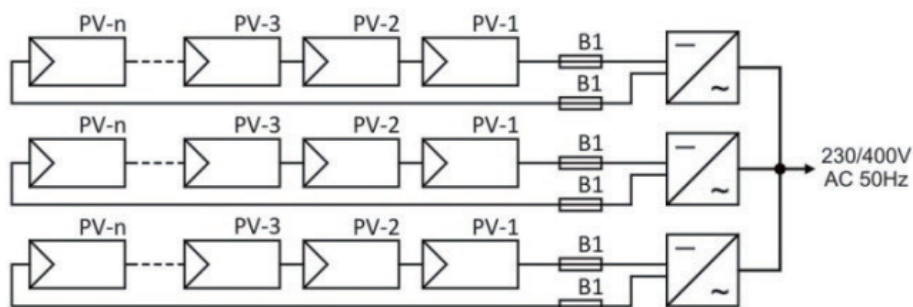


**Rys. 6.** Charakterystyki  $I = f(U)$  przykładowego modułu o mocy 250 W dla różnych wartości irradacji słonecznej ( $t = \text{const.}$ )



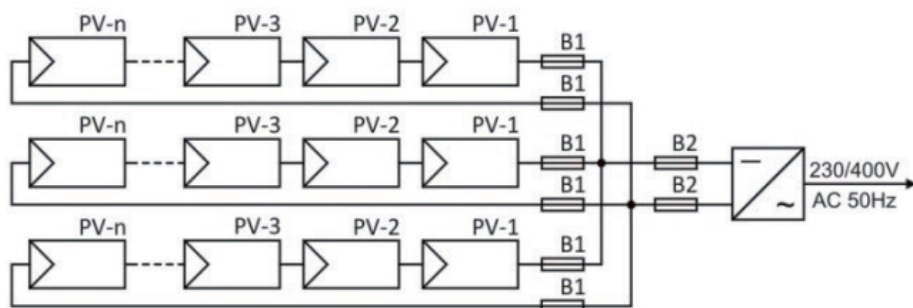
**Rys. 7.** Charakterystyki  $I = f(U)$  przykładowego modułu o mocy 250W dla różnych temp. pracy (irradiacja słoneczna const.)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [5]



**Rys. 8.** Szeregowe połączenie modułów PV z inwerterami DC/AC

Źródło: opracowanie własne na podstawie [5]



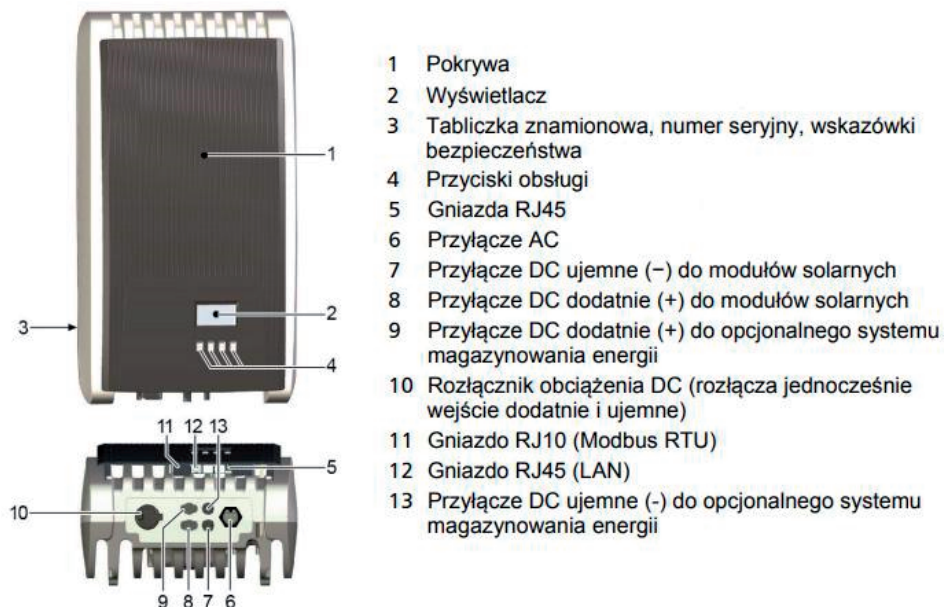
**Rys. 9.** Połączenie równoległe łańcuchów (szeregowych) modułów PV do centralnego inwertera DC/AC instalacji PV

Źródło: opracowanie własne na podstawie [5]

## 2.2. Inwerter

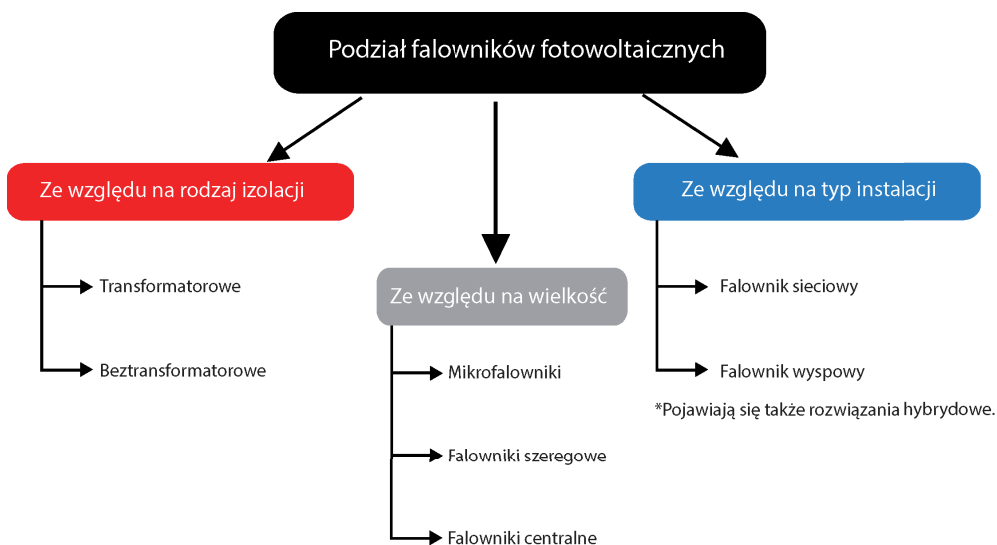
Drugim po modułach najważniejszym elementem instalacji fotowoltaicznej jest inwerter (falownik). Jest to urządzenie przekształcające energię elektryczną, która dostarczana jest do niego z modułów fotowoltaicznych w postaci prądu i napięcia stałego na energię w postaci prądu i napięcia sinusoidalnie przemiennego, zgodnego z wymaganymi parametrami sieci elektrycznej (w Polsce 230/400V, 50Hz). Oprócz samej zamiany energii falownik pełni także funkcje kontrolne (zabezpieczające) oraz monitoruje uzysk energii ze słońca (rys. 10). Falowniki dobiera się indywidualnie do potrzeb danej instalacji, uwzględniając przy tym m.in. wielkość instalacji i sposób pracy (rys. 11).

## BUDOWA INWERTERA FOTOWOLTAICZNEGO



**Rys. 10.** Budowa przykładowego sieciowego falownika fotowoltaicznego

Źródło: [16]

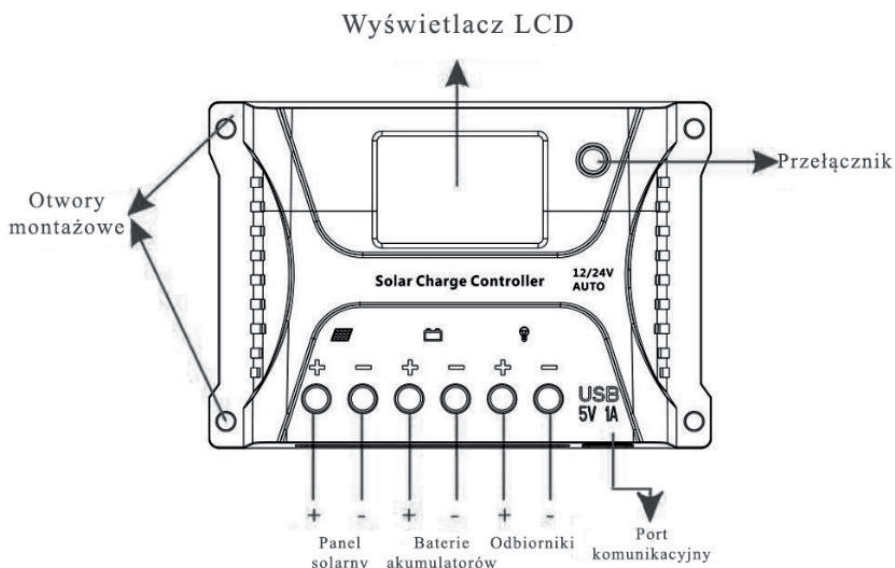


**Rys. 11.** Podział falowników fotowoltaicznych

Źródło: opracowano na podstawie [4]

### 2.3. Regulatory ładowania

Innym rodzajem urządzenia, mającym za zadanie wykorzystanie energii z paneli fotowoltaicznych w sposób bezpieczny, jest regulator ładowania. Służy on do kontrolowania procesu ładowania akumulatorów w systemach fotowoltaicznych. Chroni baterie przed przeładowaniem oraz nadmiernym rozładowaniem, a w konsekwencji przed uszkodzeniem. Regulator zapewnia prawidłowy przebieg procesu. Oprócz funkcji mających zapewnić prawidłowe funkcjonowanie akumulatorów w instalacjach fotowoltaicznych, za jego pomocą można także wykorzystywać zgromadzoną energię w akumulatorach, podpinając do niego urządzenie elektryczne wykorzystujące energię w postaci prądu stałego, takie jak np. lampy oświetleniowe DC, czujniki ruchu, grzałki elektryczne czy też systemy monitoringu (rys. 12).



**Rys. 12.** Budowa regulatora ładowania

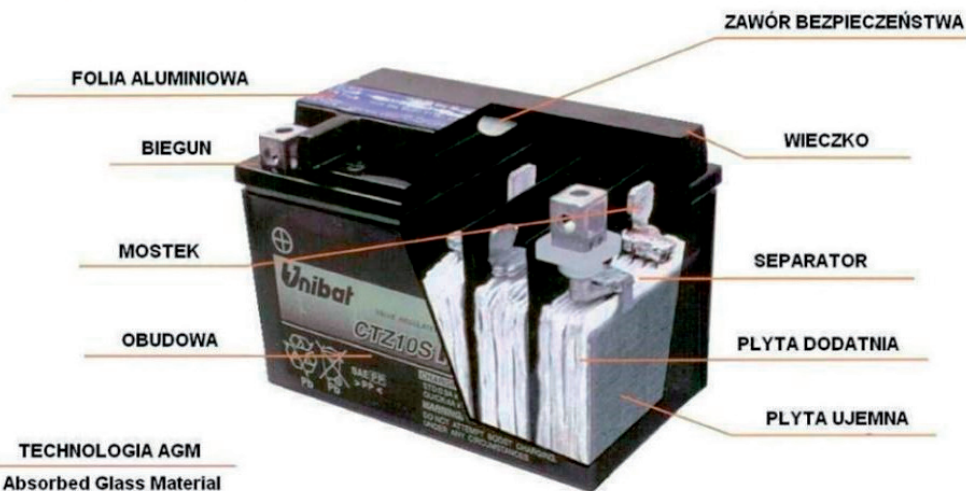
Źródło: [17]

### 2.4. Akumulatory

Elementem instalacji stałoprądowej DC o napięciu od 12V do 48V są akumulatory stanowiące magazyny energii. Przykład urządzenia wykonanego w technologii AGM (ang. *absorbptive glass mat* – technologia, w której elektrolit jest zaabsorbowany w sepa-

ratorze wykonanym z maty szklanej) (rys. 13). Mogą one tworzyć system połączonych ze sobą szeregowo-równolegle baterii o całkowitej pojemności kilkuset Ah przy różnym napięciu sięgającym nawet 48V (rys. 13). W zależności od liczby zastosowanych w instalacji baterii akumulatorów i sposobu ich połączenia będą one pracować w systemie 12V, 24V lub 48V, tworząc układ o większym napięciu lub pojemności (rys. 14).

#### AKUMULATOR BEZOBSŁUGOWY

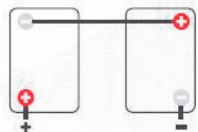


**Rys. 13.** Budowa akumulatora

Źródło: [18]

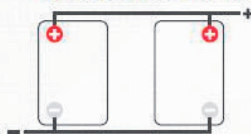
a) Połączenie szeregowe dla 24 V, 75 Ah (przykład)

Łączne napięcie =  
suma pojedynczych napięć  
Łączna pojemność =  
pojedyncza pojemność



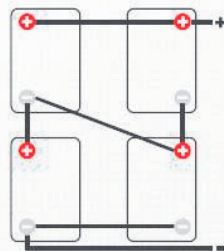
b) Połączenie równoległe dla 12 V, 150 Ah (przykład)

Łączne napięcie =  
pojedyncze napięcie  
Łączna pojemność =  
suma pojedynczych pojemności



c) Połączenie szeregowo-równoległe 24 V, 150 Ah (przykład)

Łączne napięcie =  
suma 2 pojedynczych napięć  
Łączna pojemność =  
suma 2 pojedynczych pojemności



**Rys. 14.** Rodzaje mogących wystąpić połączeń w akumulatorach

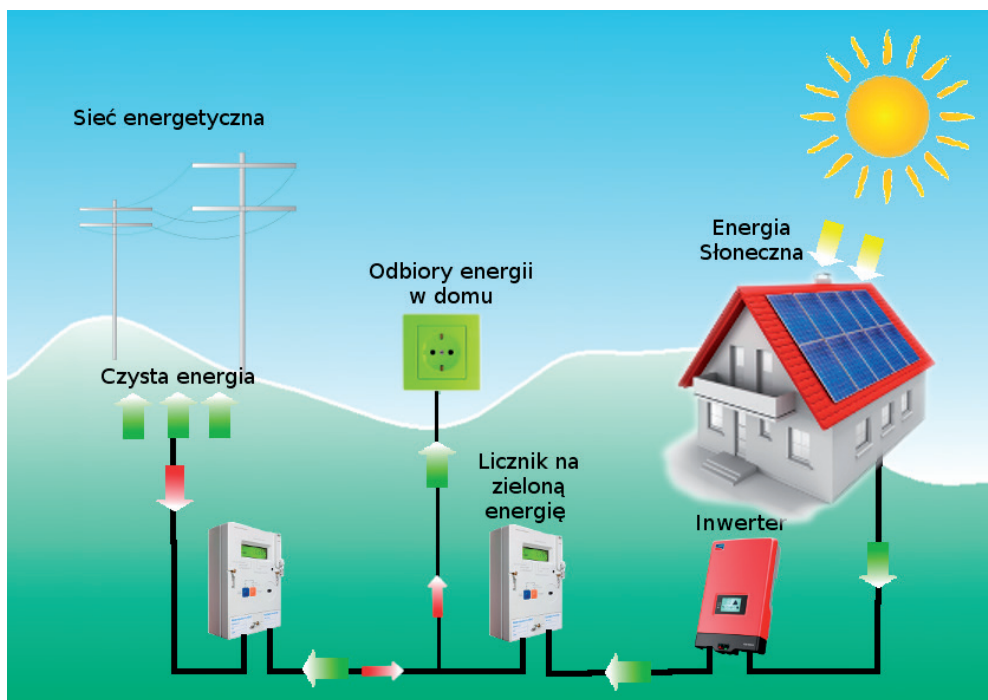
Źródło: [19]

## 2.5. Okablowanie

### a) Instalacja PV po stronie DC

Instalacja PV po stronie DC jest instalacją stałoprądową, prowadzoną przeznaczonymi do tego celu przewodami w podwójnej izolacji odpornej na promieniowanie UV. Ważne jest, aby przewody elektryczne były odpowiednio wykonane. Przewody te po stronie DC podlegają normie PN-HD 60364-7-712:2016-05. Dlatego też zabronione jest stosowanie „zwykłych” przewodów użytkowanych w instalacjach elektrycznych nn 230V. Zgodnie z zapisami normy przewody te powinny m.in.:

- być odporne na oddziaływanie wysokiej i niskiej temperatury pracy i otoczenia (w tym pożaru),
- być podwójnie izolowane,
- zapewnić trwałość izolacji przez 20 lat,
- posiadać izolację; powinny być odporne na oddziaływanie czynników zewnętrznych, w tym promieni UV;



**Rys. 15.** Schemat sieciowej instalacji PV

Źródło: [20]

Ponadto do łączenia paneli stosowane są hermetyczne konektory. Obecnie spotykanym standardem są konektory typu MC4. Jednakże nie wszyscy producenci używają oryginalnych złącz, lecz złącza z nimi kompatybilne, o zbliżonej budowie. Niestety występowały przypadki, w których słabej jakości złącza pękały podczas montażu lub mrozów bądź siłą docisku i powierzchnia styków była na tyle mała, że dochodziło do powstawania oporności przejścia, która z kolei prowadziła do wydzielania się dużych ilości ciepła, iskrzenia i w konsekwencji pożaru.

### **b) Instalacja PV po stronie AC**

Sieciowa instalacja PV po stronie AC ma swój początek od inwertera fotowoltaicznego, a kończy na rozłącznikach bezpiecznikowych w istniejącym złączu kablowym. Pośredniczące złącza kablowe wyposażone są w rozłączniki bezpiecznikowe oraz ograniczniki przepięć typu 2.

## **3. Zagrożenia wynikające z pracy instalacji fotowoltaicznej**

Podczas prowadzonej akcji ratowniczej w obrębie pracującej instalacji PV podstawowymi zagrożeniami dla ratowników mogą być:

- porażenie,
- poparzenie,
- upadek z wysokości,
- zatrucie gazami toksycznymi,
- wybuch,
- warunki atmosferyczne,
- inne urazy mechaniczne.

Moduły generują napięcie pod wpływem promieniowania słonecznego nawet, 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 ÷ 40 V. Wystarczy 3 ÷ 4 działające moduły, by produkowały napięcie niebezpieczne dla osób dotykających ich odsłonięte elementy. 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 powstałego w wyniku nieprawidłowego montażu.

Dodatkową uwagę należy zwrócić na zalane przez wodę elementy instalacji PV, w tym falowniki zlokalizowane 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.

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 połąci dachowych.

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 lub innego miejsca mocowania paneli. Uszkodzone podkonstrukcje, elementy konstrukcyjne obiektu, jak również śruby mocujące oraz obluzowane połączenia elektryczne, bez dokładnych oględzin mogą nie wyglądać na zniszczone, a stanowić określone zagrożenie.

## Podsumowanie

Na podstawie zamieszczonych informacji można wyciągnąć następujące wnioski:

- Należy pamiętać, że systemy fotowoltaiczne są bezpieczne, niezawodne i nie stanowią zagrożenia dla osób czy mienia, jednak w sytuacjach awaryjnych mogą stanowić niebezpieczeństwo pożarowe i porażeniowe.
- Ważny podkreślenia jest fakt, że dopóki świeci słońce, moduły fotowoltaiczne będą produkować energię elektryczną, a ich rozłączenie technicznie może być trudne.
- Instalacja fotowoltaiczna może stanowić źródło porażenia, dlatego niezmiernie ważne jest jej fachowe wykonanie z zachowaniem wszelkich standardów i norm.
- Należy zwrócić szczególną uwagę na okablowanie i sposoby wykonania poszczególnych połączeń. Warunki, w jakich pracuje instalacja, wpływają na nadmierne zużywanie się poszczególnych podzespołów, a w przypadku nieprawidłowego wykonania połączeń przewodów elektrycznych może stanowić poważne niebezpieczeństwo.
- W trakcie działań, w których mamy do czynienia z pożarem instalacji PV, KDR zobowiązany jest wykonać dokładne rozpoznanie w kontekście występującej instalacji PV, tzn. jej usytuowania, zlokalizowania miejsca umieszczenia inwertera wraz z poszczególnymi zabezpieczeniami.

- Należy pamiętać, że w przewodach na odcinku moduły–inwerter występuje napięcie DC o wartości sięgającej do 1000V, nawet po wyłączeniu inwertera.
- Zasadne staje się wprowadzenie dodatkowych zabezpieczeń, które mogłyby wyeliminować lub nawet częściowo ograniczyć zagrożenie porażeniowe.
- Dobrą praktyką powinno stać się oznaczanie instalacji PV za pomocą symboli ostrzegawczych lub tablic informacyjnych opisujących mogące wystąpić zagrożenia w pobliżu inwerterów, zabezpieczeń AC i DC oraz samych modułów fotowoltaicznych.

## Bibliografia / References

- [1] Raport fotowoltaika, Edycja VII, IEO 2018 r.
- [2] Krajowy Plan Rozwoju Mikroinstalacji Odnawialnych Źródeł Energii do 2020 roku – Synteza, IEO, ZP FEO.
- [3] Urbańczyk M., *Projekt procedury postępowania w przypadku działań ratowniczych w obrębie instalacji fotowoltaicznych*, praca dyplomowa, SGSP, Warszawa 2020.
- [4] Szymański B., *Instalacje fotowoltaiczne*, wyd. Globenergia Sp. z o.o., Kraków, 2019.
- [5] Barasiński A., Czaja P., Polak D., *Ochrona przeciwpożarowa i przeciwporażeniowa instalacji fotowoltaicznych*, „Prace Naukowe Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie, Technika, Informatyka, Inżynieria Bezpieczeństwa” 2018, t. VI.
- [6] Barasiński A., *Obciążalność prądowa instalacji elektrycznych w aspekcie bezpieczeństwa pożarowego budownictwa energooszczędnego*, PCz, Częstochowa 2016.
- [7] Piliński M., *Bezpieczeństwo instalacji fotowoltaicznych*, „Rynek fotowoltaiczny” – dodatek do „Magazynu Rynek Elektryczny” 2019, nr 3.
- [8] Sarniak M.T., *Budowa i eksploatacja systemów fotowoltaicznych*, „Zeszyty dla elektryków” 2015, nr 13.
- [9] Sepanski A. i in., *Assessment of the fire risk in PV-arrays and development of security concepts for risk minimization*. TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH, Köln („Ocena ryzyka pożaru w tablicach fotowoltaicznych i opracowanie koncepcji bezpieczeństwa w celu minimalizacji ryzyka.”) 2015.
- [10] PN-HD 60364-7-712:2016-05 – Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Część 7-712: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Fotowoltaiczne (PV) układy zasilania.
- [11] PN-HD 60364-7-712:2007 – Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Część 7-712: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Fotowoltaiczne (PV) układy zasilania.

- [12] [www.architectsjournal.co.uk/archive/whats-new-in-building-integrated-pv-bipv-at-the-riba](http://www.architectsjournal.co.uk/archive/whats-new-in-building-integrated-pv-bipv-at-the-riba) (dostęp: 18.10.2020).
- [13] [www.murator.com.pl/budowa/dach/dachowki-fotowoltaiczne-produkujace-energie-aa-s5Hv-UoBy-vofE.html](http://www.murator.com.pl/budowa/dach/dachowki-fotowoltaiczne-produkujace-energie-aa-s5Hv-UoBy-vofE.html) (dostęp: 05.11.2020).
- [14] [www.biznes.interia.pl/nieruchomosci/news-dachowka-fotowoltaiczna-nowy-pomysl-na-odnawialne-zrodlo-ene,nId,4206611](http://www.biznes.interia.pl/nieruchomosci/news-dachowka-fotowoltaiczna-nowy-pomysl-na-odnawialne-zrodlo-ene,nId,4206611) (dostęp: 18.10.2020).
- [15] [www.gameaspphalt.ru/uk/solnechnaya-batareya-svoimi-rukami-dorogaya-igru-shka-ili-realnaya-vozmozhnost-sekonomit-izgotovlenie-s](http://www.gameaspphalt.ru/uk/solnechnaya-batareya-svoimi-rukami-dorogaya-igru-shka-ili-realnaya-vozmozhnost-sekonomit-izgotovlenie-s) (dostęp: 05.10.2020).
- [16] [www.steca.com/index.php?Inverter\\_selection](http://www.steca.com/index.php?Inverter_selection) (dostęp: 24.10.2020).
- [17] [www.alibaba.com/product-detail/SR-HP2410-manual-pwm-ce-rohs\\_60691749505.html](http://www.alibaba.com/product-detail/SR-HP2410-manual-pwm-ce-rohs_60691749505.html) (dostęp: 27.10.2020).
- [18] [www.motox.com.pl/akumulatory-motocyklowe-porady/](http://www.motox.com.pl/akumulatory-motocyklowe-porady/) (dostęp: 14.10.2020).
- [19] [www.elektroda.pl/rtvforum/topic3314200.html](http://www.elektroda.pl/rtvforum/topic3314200.html) (dostęp: 01.11.2020).
- [20] [www.tare.pl/fotowoltaika](http://www.tare.pl/fotowoltaika) (dostęp: 18.10.2020).

**Damian Hajdas** – student studiów doktoranckich na Wydziale Zarządzania Politechniki Częstochowskiej. Zawodowo oficer Państwowej Straży Pożarnej na stanowisku kierowniczym. Wykazuje zainteresowania w zakresie tematyki związanej z bezpieczeństwem, zarządzaniem kryzysowym, ochroną przeciwpożarową i ochroną ludności na wypadek sytuacji kryzysowej. Wieloletni wykładowca przedmiotów taktyka zwalczania pożarów oraz podstawy prawa w ochronie przeciwpożarowej w Centralnej Szkole Państwowej Straży Pożarnej w Częstochowie.

Od marca 2019 r. członek Polskiego Instytutu Spalania w Warszawie. Brał udział w projektach realizowanych na rzecz obronności i bezpieczeństwa państwa współfinansowanych przez NCBiR: CYBERFIRE „Symulatory szkoleniowe w zakresie zwalczania pożarów wewnętrznych”, SAFEDAM „Zaawansowane technologie wspomagające przeciwdziałanie zagrożeniom związanymi z powodziami”. Bierze cykliczny udział w Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Popularyzatorskiej organizowanej w ramach obchodów Światowego Dnia Bezpieczeństwa.

**Mateusz Urbańczyk** – absolwent studiów technicznych w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie na kierunku technologie energii odnawialnej, a także dziennego studium aspirantów w Centralnej Szkole Państwowej Straży Pożarnej w Częstochowie. Ukończył studia podyplomowe (SPO i SPK) w Szkole Głównej Służby

Pożarniczej. Funkcjonariusz Państwowej Straży Pożarnej od 2012 r. Obecnie dowódca sekcji w Specjalistycznej Grupie Ratownictwa Chemiczno-Ekologicznego „Warszawa 6” w JRG 6 przy Komendzie Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej m.st. Warszawy.

**Adrian Barasiński** – absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Częstochowskiej, doktor nauk technicznych w dziedzinie elektrotechnika. Ukończył zaoczne studium aspirantów w Centralnej Szkole Państwowej Straży Pożarnej w Częstochowie oraz studia podyplomowe (SPO) w Szkole Głównej Służby Pożarniczej. Funkcjonariusz Państwowej Straży Pożarnej pełniący służbę w Centralnej Szkole PSP w Częstochowie na stanowisku wykładowcy. Opiekun Laboratorium Profilaktyki Pożarowej w Elektroenergetyce. Autor wielu publikacji w czasopismach naukowych o zasięgu krajowym i międzynarodowym. Wykazuje zainteresowania w zakresie tematyki związanej z bezpieczeństwem, ochroną przeciwpożarową i zagrożeniami pożarowymi i porażeniowymi od strony prądu elektrycznego.

**Damian Hajdas** – PhD graduate of the Department of Management of the Częstochowa University of Technology. Works in the State Fire Service occupying a managerial post. The scope of interests comprise subjects related to safety, crisis management, fire protection and civil security in the event of emergency situations. Long-term lecturer at the Central School of Fire Service in Częstochowa specialised in firefighting tactics and legal regulations in fire protection.

As of 2019 member of the Polish Institute of Combustion in Warsaw. Participation in projects executed for state defence and security co-financed by NCBiR; CYBERFIRE “Training simulators in combatting internal fires”, SAFEDAM “Advanced technologies supporting counteracting hazards related with floods”. Cyclical participation in the Polish Science and Popularisation Conference organised during the World Day for Safety.

**Mateusz Urbańczyk** – graduate of technical studies at the University of Life Sciences in Warsaw in the faculty of technologies of renewable energy, as well as full-time college of officers at the Central School of State Fire Service in Częstochowa. Completed post-graduate studies (SPO and SPK) in the Main School of Fire Service. Officer of the State Fire Service as of 2012. Presently section commander in the Specialist group of Chemical and Ecological Rescuing “Warszawa 6” in Rescue and Firefighting Unit 6 at the Warsaw Headquarters of the State Fire Service.

**Adrian Barasiński** – graduate of the Faculty of Electrical Engineering of the Częstochowa University of Technology, PhD in technical sciences in the field of electrical engineering. Graduated from extramural studies at the college of officers of the Central School of State Fire Service and post-graduate studies (SPO) in the Main School of Fire Service. By profession officer of the Central School of State Fire Service working as lecturer. Supervisor of the Laboratory of Fire Prevention in Power Engineering. Author of numerous publications in scientific journal of domestic and international rank. The scope of interests comprises topics related to security, fire protection and fire and electric shock hazards caused by electricity.