

Nazwa systemu	Skrót	Nr SZP
Instalacja fotowoltaiczna	PV	6



Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej

Standardowe zasady postępowania podczas zdarzeń w obrębie instalacji fotowoltaicznych

Data wydania	Wydanie	Zatwierdził
marzec 2022 r.	pierwsze	nadbryg. Arkadiusz PRZYBYŁA Zastępca Komendanta /podpisano elektronicznie/
Opracował	Przedłożył	Zaakceptował
Zespół KG PSP	Zastępca Dyrektora Biura Planowania Operacyjnego st. bryg. mgr inż. Michał LANGNER	Dyrektor Biura Planowania Operacyjnego st. bryg. mgr inż. Jacek ZALECH

Cel dokumentu. Wprowadzenie.

Cel dokumentu

Niniejszy dokument ma na celu usystematyzowanie wiedzy na temat postępowania ratowniczego na obiektach wyposażonych w instalację fotowoltaiczną (PV, ang. *photovoltaic*). Należy pamiętać, że podczas prowadzenia działań występuje szereg nieprzewidywalnych sytuacji, trudnych do zdefiniowania w dokumencie tego typu. Biorąc pod uwagę powyższe, należy zawsze pamiętać, że podczas formułowania zamiarów taktycznych, bezpieczeństwo ratowników stanowi priorytet. Niniejsze standardowe zasady postępowania (SZP) mają być wsparciem Kierującego Działaniem Ratowniczym, a nie stanowić wykładnię jego działania. Z uwagi na dynamiczny rozwój technologiczny instalacji fotowoltaicznych część rozwiązań będzie wymagała okresowej aktualizacji, co może w przyszłości prowadzić do zmiany obecnie przedstawionych koncepcji działań ratowniczych.

Wprowadzenie

Zadaniem instalacji fotowoltaicznych jest przetwarzanie energii promieniowania słonecznego bezpośrednio w energię elektryczną. Instalacje fotowoltaiczne zaliczane są do odnawialnych źródeł energii (OZE).

Wyróżniamy trzy podstawowe typy instalacji fotowoltaicznych:

- 1) on-grid – instalacja podłączona do sieci elektroenergetycznej,
- 2) off-grid – instalacja niepodłączona do sieci elektroenergetycznej, co wymaga magazynowania energii,
- 3) hybrydowa – instalacja łącząca w sobie rozwiązania z on-grid oraz off-grid z możliwością przyłączenia innych źródeł energii.

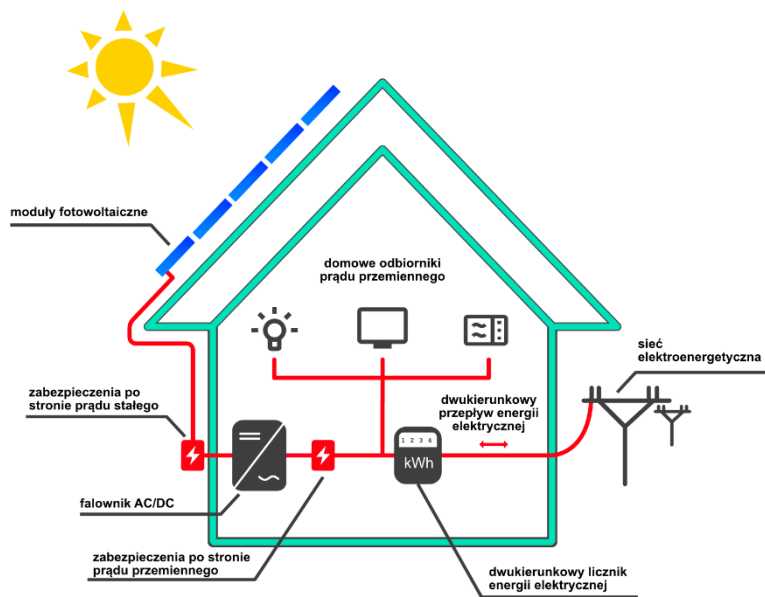
Z uwagi na charakter budowy i pracy instalacja PV może w sytuacjach awaryjnych stanowić zagrożenie porażeniem prądem elektrycznym. Instalacja fotowoltaiczna pracuje zarówno podczas dziennego oświetlenia, jak i (w ograniczonym zakresie) w warunkach ograniczonego oświetlenia (np. sztucznego).

Instalację fotowoltaiczną można podzielić na część stałoprądową (moduły – falownik) oraz zmiennoprądową (falownik – instalacja elektryczna w budynku).

Instalacje PV montowane są na dachach, na elewacjach budynków, czy też bezpośrednio na gruncie.

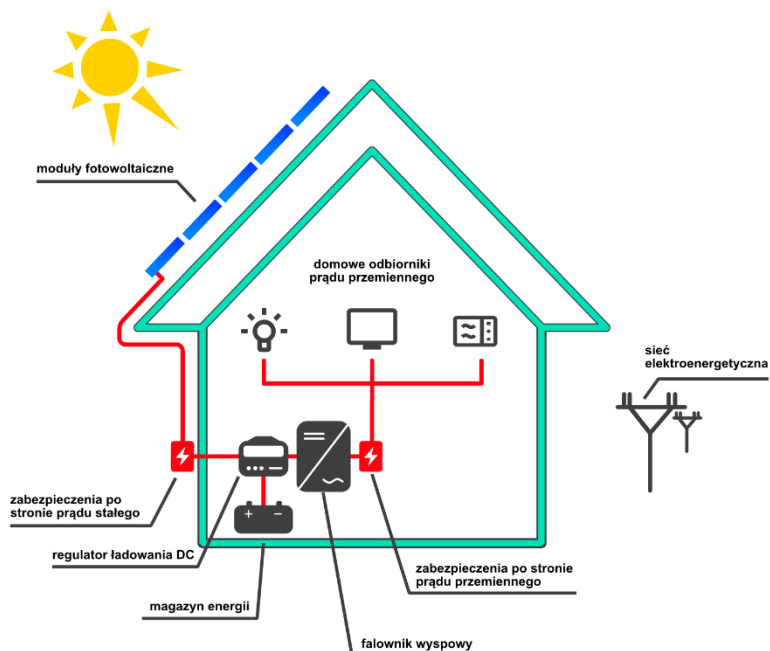
W przypadku zdarzeń w obrębie instalacji wolnostojących (montowanych na ziemi), taktyka działań nie różni się znacząco w stosunku do przedstawionej poniżej. Należy brać pod uwagę możliwość lokalizacji falownika także bezpośrednio pod modułem PV. Sama konstrukcja instalacji wolnostojącej składa się z pionowych profili stalowych wbitych w grunt oraz poziomych poprzecznie ułożonych profili, do których mocowane są moduły. System montażu zapewnia stabilne przymocowania modułów do konstrukcji wsporczej poprzez profil nośny oraz system montażowy haków i śrub.

INSTALACJA FOTOWOLTAICZNA ON-GRID
(PRZYŁĄCZONA DO SIECI ELEKTROENERGETYCZNEJ)



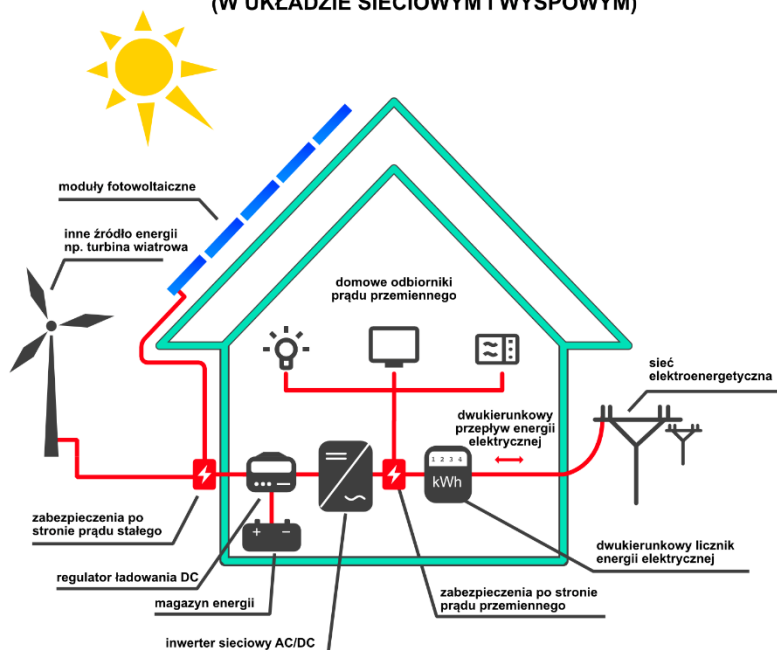
Rys. 1. Sieciowa instalacja fotowoltaiczna on-grid.
Źródło: opracowanie własne (Mateusz Urbańczyk).

INSTALACJA FOTOWOLTAICZNA OFF-GRID
(NIEPRZYŁĄCZONA DO SIECI ELEKTROENERGETYCZNEJ)



Rys. 2. Instalacja fotowoltaiczna off-grid.
Źródło: opracowanie własne (Mateusz Urbańczyk).

HYBRYDOWA INSTALACJA FOTOWOLTAICZNA (W UKŁADZIE SIECIOWYM I WYSPOWYM)

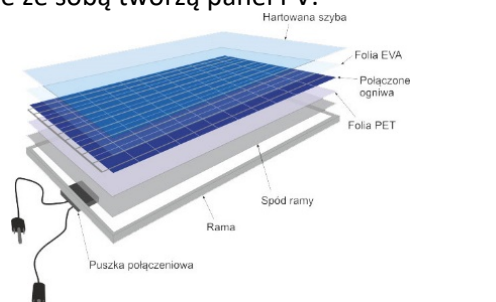


Rys. 3. Hybrydowa instalacja fotowoltaiczna.
Źródło: opracowanie własne (Mateusz Urbańczyk).

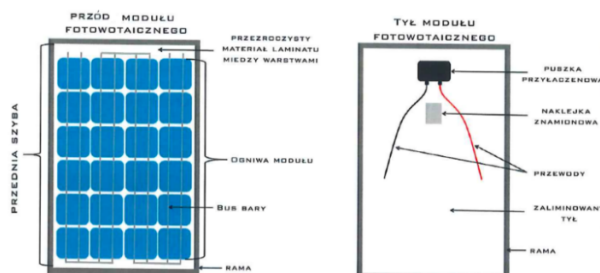
Elementy instalacji fotowoltaicznej

1. Moduły fotowoltaiczne:

Głównym składnikiem instalacji PV są moduły fotowoltaiczne (rys. 4). Są to urządzenia elektryczne, w których przy wykorzystaniu zjawiska fotoelektrycznego zachodzi bezpośrednia przemiana energii **promieniowania świetlnego (naturalnego lub sztucznego) w energię elektryczną**. Każdy moduł fotowoltaiczny zbudowany jest z ogniw fotowoltaicznych, które połączone są ze sobą szeregowo lub szeregowo-równolegle. Całość jest odpowiednio zabezpieczona i umieszczona w obudowie tworzącej moduł (rys. 5). Napięcie znamionowe modułu PV, np. o mocy 400 W, wynosi do 50 V. Moc chwilowa modułu silnie zależy od natężenia 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 (prąd stały) proporcjonalnie do liczby połączonych modułów. Tak połączone moduły tworzą łańcuchy (stringi), z których energia elektryczna przekazywana jest za pomocą połączeń kablowych do falowników (inwerterów). Moduły fotowoltaiczne połączone wzajemnie ze sobą tworzą panel PV.



Rys. 4. Budowa typowego modułu fotowoltaicznego (rysunek poglądowy) [11].



Rys. 5. Widok przedniej i tylnej części modułu fotowoltaicznego.
Źródło: opracowanie własne.

2. Falownik (ang. *Inverter*):

Falownik (rys. 6) to urządzenie przekształcające prąd ze stałego na przemienny o pożądanej częstotliwości napięcia wyjściowego (w Polsce 230/400 V, 50 Hz). Falowniki dobiera się indywidualnie do potrzeb danej instalacji, uwzględniając przy tym m.in. wielkość instalacji i sposób pracy. Falownik może być zainstalowany w różnych miejscach (na zewnątrz i wewnątrz obiektu), które spełniają wymogi jego montażu podane przez producenta.

Falownik nie tylko przetwarza energię elektryczną, ale jednocześnie realizuje następujące zadania:

- 1) utrzymuje parametry napięcia elektrycznego zgodne z wymogami elektroenergetycznej sieci dystrybucyjnej,
- 2) monitoruje w sposób ciągły wybrane parametry pracy instalacji,
- 3) automatycznie odłącza system od sieci w przypadku zaniku **napięcia po stronie AC** (prąd przemienny).

Uwaga! Nadal na odcinku między falownikiem, a modułami może występować napięcie DC.



Rys. 6. Przykłady najczęściej stosowanych falowników PV [12] [13] [14].

Innym stosowanym rozwiązaniem są mikrofalowniki (rys. 7.) zwane również mikroinwerterami. Różnica w stosunku do falowników polega na tym, że są one bezpośrednio przyłączone do każdego pojedynczego modułu PV, z którego konwertują prąd stały (DC) na prąd przemienny (AC). Z uwagi na wskazanie montażu mikrofalownika do modułów, przy założeniu maksymalnie jednego mikrofalownika na kilka modułów, ich liczba w instalacji może wynosić od jednego do nawet kilkudziesięciu sztuk. Jedną z korzyści ich stosowania jest obniżenie napięcia po stronie DC do wartości bezpiecznej, co następuje po odłączeniu zasilania po stronie AC.



Rys. 7. Przykładowy mikrofalownik [15].

3. Okablowanie:

Do prawidłowej pracy instalacji PV powinny być stosowane przewody specjalne tzw. solarne. Stałoprądowa część instalacji PV (na odcinku moduły – falownik) prowadzona jest przewodami w podwójnej izolacji odpornej na promieniowanie UV i wpływ warunków atmosferycznych. W instalacjach stosuje się kable jednożyłowe o przekroju od 4 mm² do 120 mm². Zabronione jest stosowanie „zwykłych” przewodów użytkowanych w instalacjach elektrycznych o napięciu 230 V.

Zaleca się, aby przewody prowadzone były w rurach, kanałach kablowych, zlokalizowanych wewnątrz lub na zewnątrz obiektu budowlanego. W praktyce zdarza się, że trasy kablowe w budynkach mieszkalnych jednorodzinnych prowadzone są w kanałach wentylacyjnych.

Przewody prądu stałego (DC) łączy się ze sobą za pomocą konektorów (złączek) dedykowanych do instalacji PV (rys. 8). Obecnie najczęściej stosowane są konektory typu MC4. Jednakże nie wszyscy producenci używają oryginalnych złącz, lecz złącz z nimi kompatybilnych o zbliżonej budowie. Niestety występowały przypadki, w których słabej jakości złącza pękały podczas montażu lub mrozów. Powodowało to zmniejszenie powierzchni styków lub/i siły docisku, wzrost wartości rezystancji zestykowej i prowadziło to do wydzielania się nadmiernej ilości ciepła lub/i łuku elektrycznego.



Rys. 8. Konektor typ MC-4 [16].

4. Zabezpieczenia:

Dla systemów fotowoltaicznych zalecane jest stosowanie zabezpieczeń podstawowych, do których zalicza się:

- 1) zabezpieczenie przeciwporażeniowe,
- 2) zabezpieczenie przeciwprzepięciowe,
- 3) zabezpieczenie odgromowe,
- 4) zabezpieczenie przeciążeniowe i zwarciove.

Dla zwiększenia bezpieczeństwa użytkowników i systemu fotowoltaicznego można stosować zabezpieczenia dodatkowe, między innymi zabezpieczenia przeciwpożarowe.

Falownik, z uwagi na charakter swojej pracy, może również pełnić funkcje zabezpieczające.

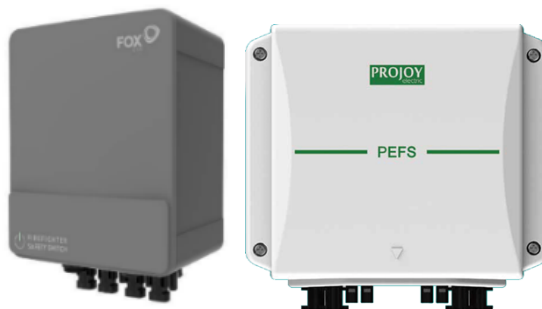
W niektórych, z reguły bardziej rozbudowanych instalacjach fotowoltaicznych spotyka się dodatkowe formy zabezpieczeń:

1. **Optymalizatory mocy** (rys. 9) montowane pod modułami PV. Poza swoim podstawowym przeznaczeniem polegającym na zoptymalizowaniu sprawności modułów, niektóre systemy w razie awarii lub wyłączenia zasilania prądu przemiennego mają dodatkową funkcję zmniejszenia napięcia DC na modułach i przewodach do bezpiecznej wartości. Dodatkowo falownik i optymalizator wyłączą się pod wpływem ekstremalnie wysokiej temperatury lub gdy wystąpi łuk elektryczny.



Rys. 9. Optymalizator mocy [17].

2. **Rozłączniki bezpieczeństwa (automatyczne)** (rys. 10) – są urządzeniami służącymi do załączania i rozłączania napięcia stałego pochodzącego z modułów fotowoltaicznych. Są sterowane automatycznie poprzez sieć prądu przemiennego. Celem ich jest rozłączenie obwodu prądu stałego w momencie przerwy w zasilaniu po stronie prądu przemiennego i automatyczne załączenie obwodu prądu stałego po przywróceniu zasilania prądu przemiennego. Taka sytuacja następuje w przypadku awarii sieci energetycznej lub umyślnego wyłączenia zasilania budynku, gdy istnieje zagrożenie pożarowe. Rozłączniki automatyczne nie wymagają obsługi, a dzięki umiejscowieniu ich w pobliżu modułów, dają dodatkową korzyść, polegającą na obniżeniu napięcia na trasach kablowych po stronie DC.



Rys. 10. Rozłącznik bezpieczeństwa DC [18] [19].

5. Dodatkowe wyposażenie instalacji PV:

1. **Magazyn energii** – stałoprądowy bank energii zwykle wykonany najczęściej z połączonych ze sobą szeregowo-równoległe baterii. Stanowi kluczowy element większości instalacji off-grid oraz hybrydowych.
2. **Regulator ładowania** – służy do kontrolowania procesu ładowania magazynów energii w systemach fotowoltaicznych. Chroni baterie przed przeładowaniem oraz nadmiernym rozładowaniem, a w konsekwencji przed ich uszkodzeniem.

Zagrożenia

Zagrożenia występujące przy pracy w obrębie systemów fotowoltaicznych to:

1. Ryzyko porażenia łukiem elektrycznym. Łuk elektryczny powstaje zwykle przy rozłączaniu obwodów pod napięciem. Przykładowo, uderzenie toporem strażackim w przewód zasilający pracującej instalacji fotowoltaicznej mogłoby spowodować powstanie łuku elektrycznego pomiędzy biegunami dodatnim i ujemnym. **Z tego powodu niszczenie przewodów zasilających jest zabronione. Należy również pamiętać, że nawet po przecięciu przewodu zasilającego, fragment od modułów do miejsca przecięcia nadal znajduje się pod napięciem!**
2. Ryzyko upadku z wysokości.
3. Spadające elementy z dachu. Podczas prowadzenia działań w obrębie instalacji PV należy liczyć się ze spadającymi jej fragmentami, co jest szczególnie prawdopodobne w przypadku pożarów obejmujących pionowo zamontowane moduły (np. na elewacji budynku). W przypadku dachów płaskich oraz o niewielkim kącie pochylenia instalacja może być zabezpieczona betonowym balastem, który stwarza dodatkowe zagrożenie.
4. Ryzyko poparzenia.
5. Występowanie gazów toksycznych w trakcie spalania elementów instalacji. Ogniwa fotowoltaiczne w trakcie spalania wydzielają szkodliwe związki chemiczne, w tym:
 - 1) tellurek kadmu (CdTe) – rakotwórczy,
 - 2) arsenek galu (GaAs) – wysoce toksyczny i rakotwórczy,
 - 3) fosfor (P) – dawka śmiertelna wynosi 50 mg,
 - 4) chlorowódz (HCl) powstały podczas topienia się izolacji przewodów – wysoce toksyczny.
6. Ryzyko porażenia prądem podczas prac rozbiórkowych szczególnie w systemach z potencjalnymi awariami i uszkodzonymi komponentami – **niezależnie od odłączenia zasilania obiektu, część instalacji od modułu fotowoltaicznego do falownika może znajdować się pod napięciem**, nawet podczas działań po zmierzchu, w przypadku oddziaływania takich źródeł światła jak: płomień, oświetlenie sztuczne miejsca prowadzenia działań.
7. Ryzyko wystąpienia napięcia na konstrukcji montażowej. Należy pamiętać, że nawet jeden uszkodzony element instalacji taki jak moduł, konektor, przewód może spowodować pojawienie się napięcia na metalowych elementach przewodzących obiektu i instalacji.

Porażenie prądem elektrycznym. Zagadnienia ogólne

Porażenie prądem elektrycznym w przypadku działań w obrębie instalacji PV stanowi jedno z podstawowych zagrożeń. Obiekt pod napięciem to fragment instalacji lub urządzenia elektrycznego, który cechuje potencjał elektryczny wyższy niż potencjał ziemi, przyjmowany, jako 0 V. W niektórych sytuacjach, np. izolowanych od ziemi układach zasilania, różnica potencjałów występuje pomiędzy biegunami źródła napięcia. Z praktycznego punktu widzenia oznacza to, że jeżeli obiekt pod napięciem zostanie uziemiony, np. poprzez dotknięcie dłonią, nastąpi przepływ prądu rażeniowego przez ciało człowieka do ziemi. Innymi słowy człowiek stanie się częścią obwodu elektrycznego. Należy pamiętać, że napięcie jest zawsze przyczyną, a przepływ prądu skutkiem. A zatem czym wyższe napięcie obiektu, tym większy prąd przepłynie przez ciało człowieka. Należy podkreślić, że jeżeli człowiek będzie skutecznie odizolowany od ziemi (np. stosując obuwie dielektryczne), dotknięcie obiektu pod napięciem nie spowoduje porażenia. Sprawi to jedynie, że człowiek będzie znajdował się pod napięciem. Co do zasady, czym wyższe napięcie obiektu, tym skutki porażenia mogą być groźniejsze. Wartości napięć uznawanych za bezpieczne (roboczych lub dotykowych, dopuszczalnych długotrwałe) przedstawiono w tabeli nr 1.

Tabela 1. Wartości napięć uznawanych za bezpieczne AC i DC.

Warunki pracy urządzenia	Opis	Wartości napięć uznawanych za bezpieczne [V]	
		AC	DC
Normalne (suche)	Typowe warunki eksploatacji	50	120
Wilgotne	Zwiększona wilgotność otoczenia, zwiększone jest ryzyko porażenia	25	60
Mokre	Praca w pełnym lub częściowym zanurzeniu w wodzie	12	30

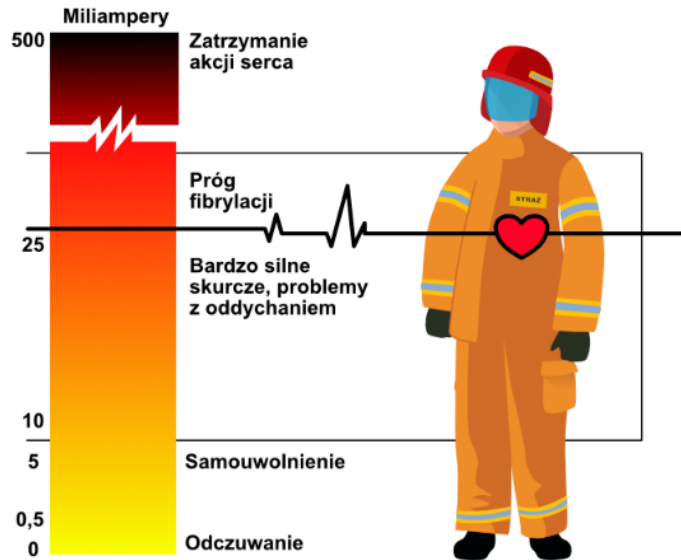
Źródło: Opracowanie własne na podstawie: [10].

UWAGA: Systemy PV pracują pod napięciem do 1500 V DC!

Po dotknięciu obiektu pod napięciem, rezystancja ciała człowieka oraz posiadanych środków ochrony indywidualnej (obuwie, rękawice) będzie determinować wartość prądu rażeniowego. Wartość ta, z kolei, wpływa na skutki porażenia odniesione bezpośrednio do organizmu strażaka. Prąd elektryczny przepływający przez żywy organizm wywołuje w nim różne zmiany fizyczne, chemiczne oraz biologiczne.

Na skutki porażenia prądem elektrycznym wpływają czynniki (rys. 11):

- 1) elektryczne (rodzaj prądu, wielkość natężenia prądu, czas przepływu prądu),
- 2) fizjologiczne (stopień rozwoju organizmu człowieka, stan naskórka),
- 3) zewnętrzne (czynniki wpływające na zmniejszenie rezystancji ciała ludzkiego np. wilgotność, wysoka temperatura).



Rys. 11. Skutki porażenia prądem elektrycznym.
Źródło: opracowanie własne (Mateusz Urbańczyk).

Zgodnie z obowiązującymi normami, za najniższy próg wyczuwalności uznaje się wartość prądu **0,5 mA**. Należy pamiętać, że jest to wartość dużo niższa od typowych prądów znamionowych domowych instalacji elektrycznych (np.: 16 A, 25 A). Już taka wartość natężenia prądu stanowi zagrożenie wystąpienia niekontrolowanych odruchów.

Skutki porażenia prądem

Warto podkreślić, że poza zakłócaniem naturalnych dla organizmu sygnałów elektrycznych przekazywanych przez układ nerwowy, istota porażenia prądem wiąże się z wydzielaniem ciepła na rezystancji tkanek, wzrostu ich temperatury i niszczeniu struktur biologicznych. Dlatego prąd elektryczny może oddziaływać na organizm ludzki w sposób pośredni lub bezpośredni.

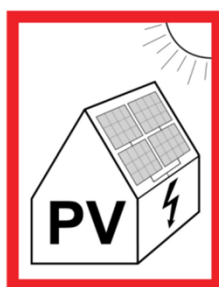
Działanie pośrednie powstające bez przepływu prądu przez ciało człowieka, powoduje takie urazy jak:

- 1) oparzenia ciała wskutek pożarów wywołanych zwarcieniem elektrycznym lub spowodowane dotknięciem do nagrzaných elementów,
- 2) groźne dla życia oparzenia ciała łukiem elektrycznym, a także metalizacja skóry spowodowana osadzaniem się roztopionych cząstek metalu,
- 3) uszkodzenia wzroku wskutek dużej jaskrawości łuku elektrycznego,
- 4) uszkodzenia mechaniczne ciała w wyniku upadku z wysokości lub upuszczenia trzymanego przedmiotu.

Rozpoznanie i działania zabezpieczające

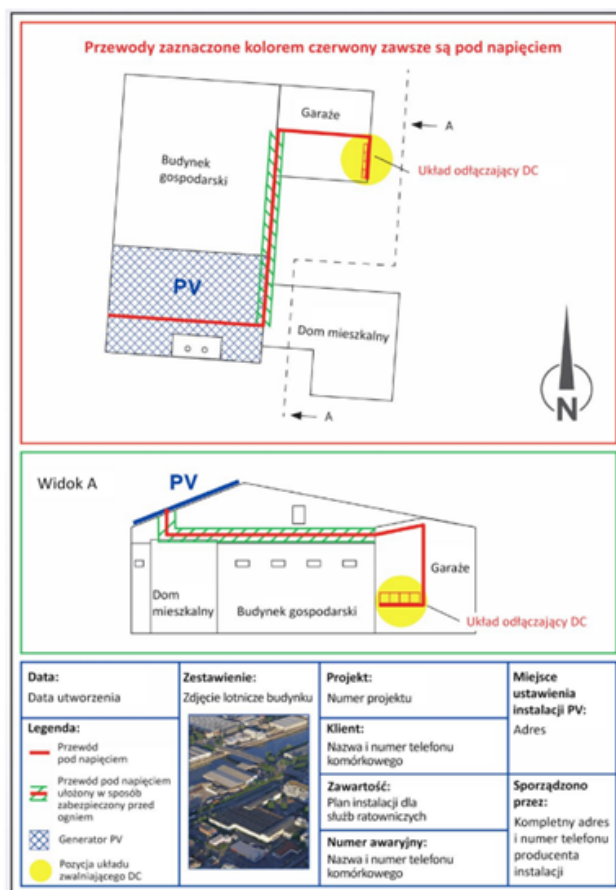
1. Przeprowadzenie rozpoznania

1. Dojeżdżając na miejsce zdarzenia zadbaj o właściwe ustawienie pojazdów ratowniczo-gaśniczych od strony nawietrznej, zachowując przy tym bezpieczną odległość.
2. Podczas rozpoznania postępuj zgodnie z obowiązującymi procedurami oraz stosuj środki ochrony indywidualnej (w tym sprzęt elektroizolacyjny) w zależności od rodzaju zdarzenia.
3. Pozyskaj od zarządcy, właściciela, personelu, uczestników lub świadków zdarzenia jak największą ilość informacji na temat okoliczności zdarzenia. Zgodnie z Polską Normą PN-HD 60364-7-712:2016-05 obiekty z instalacjami fotowoltaicznymi powinny być oznaczone znakiem bezpieczeństwa informującym o obecności w obiekcie tej instalacji. Znak ten powinien być umieszczony w: złączu instalacji elektrycznej, w miejscu pomiaru, jeżeli jest oddalone od złącza, w jednostce odbiorcy lub w tablicy rozdzielczej, do której podłączone jest zasilanie z falownika.



Rys. 12. Znak bezpieczeństwa informujący o obecności w obiekcie instalacji fotowoltaicznej [2].

4. Ustal, gdzie umieszczone są moduły fotowoltaiczne, inne elementy instalacji PV i skrzynka przyłączeniowa sieci elektroenergetycznej. Ustal czy instalacja wyposażona jest w magazyny energii (akumulatory) oraz ich umiejscowienie. Sprawdź, czy w obiekcie znajduje się plan urządzenia fotowoltaicznego (instalacji fotowoltaicznej) dla ekip ratowniczych.



Rys. 13. Przykładowy plan dla ekip ratowniczych [3].

5. O ile to możliwe i konieczne ustal, w jakie zabezpieczenia wyposażona jest instalacja PV.
6. Jeśli moduły fotowoltaiczne zostały zlokalizowane na dachu, zawsze zakładaj, że mogą znajdować się ze wszystkich stron, również od północy oraz na ścianach budynku. Sprawdź również, czy do obiektu nie jest przyłączona instalacja PV, która została zamontowana na gruncie, w bezpośrednim sąsiedztwie obiektu.
7. Ustal przebieg tras kablowych prądu stałego DC, od modułów fotowoltaicznych do falownika oraz od falownika do rozdzielni elektrycznej w budynku.
8. Postaraj się zweryfikować, czy moduły znajdujące się na dachu, elewacji budynku lub gruncie to instalacja fotowoltaiczna czy instalacja cieczowych kolektorów termicznych – solarnych. Kolektory termiczne, w porównaniu z modułami mają większą grubość oraz ułożone są najczęściej po 3-4 sztuki w łańcuchu oraz połączone są przewodami hydraulicznymi o średnicy 2-3 centymetrów, a nie cienkimi przewodami elektrycznymi.
9. Jeśli to możliwe, określ stan instalacji na podstawie oznak zewnętrznych (jej wyglądu oraz otoczenia). Okopanie modułów, pęknięcia, widoczne przebarwienia, uszkodzenie termiczne złączy i przewodów, świadczą o tym, że mogło dojść do uszkodzenia instalacji i może występować napięcie niebezpieczne na metalowych elementach instalacji i budynku.
10. Jeśli to nie jest konieczne, nie dotykaj elementów instalacji PV.
11. Jeżeli jakkolwiek element budynku tj. pokrycie dachu, belki, kratownice, rynny i inne, na których zamontowana jest instalacja PV, wykonany jest z materiałów przewodzących prąd elektryczny, zawsze zakładaj, że może być pod napięciem.

Rozpoznanie i działania zabezpieczające

2. Działania zabezpieczające

Sposoby redukcji zagrożenia od instalacji PV:

1. Podejmij próbę rozłączenia dopływu energii elektrycznej do obiektu (szczególną uwagę zwróć na możliwość występowania zasilania zapasowego). Brak zasilania falownika po stronie prądu przemiennego AC spowoduje jego przejście w stan czuwania (brak produkcji energii elektrycznej i jej przesyłu do sieci energetycznej). Współcześnie produkowane falowniki w standardzie posiadają szereg zabezpieczeń w tym, zabezpieczenie przed pracą wyspową (w przypadku anomalii parametrów falownik musi zawiesić pracę i rozłączyć się od sieci zgodnie z nastawami granicznych wartości napięć i częstotliwości, także w przypadku zaniku napięcia po stronie AC).
2. Jeżeli instalacja PV wyposażona jest w **magazyn energii** podejmij próbę ustawienia wyłącznika głównego falownika w pozycji „zero” lub „Off”, **niezależnie od odłączenia zasilania w budynku** (rys. 14). Brak zasilania falownika po stronie DC spowoduje jego wyłączenie. Jeśli magazyn energii posiada dodatkowe zabezpieczenia, wykorzystaj je.



Rys. 14. Przykładowa lokalizacja wyłącznika głównego falownika.
Źródło: opracowanie własne.

3. Jeżeli obiekt jest wyposażony w przeciwpożarowy wyłącznik prądu, wykorzystaj go. Jego użycie odłączy zasilanie wszystkich obwodów elektrycznych w budynku, z wyjątkiem obwodów zasilających instalacje i urządzenia, których funkcjonowanie jest niezbędne podczas pożaru. W odniesieniu do urządzenia fotowoltaicznego przeciwpożarowy wyłącznik prądu **powinien** uruchamiać kontrolowane odłączenie napięcia po stronie prądu stałego DC falownika.
4. W przypadku instalacji wyposażonych w stację transformatorową, podejmij próbę kontaktu z dyspozytorem operatora sieci dystrybucyjnej (zakładem energetycznym) i poproś o zdalne odłączenie zasilania stacji transformatorowej, podając numer znajdujący się na stacji transformatorowej i/lub jej lokalizację. (Rys.15)



Rys. 15. Widok kontenerowej stacji transformatorowej.
Źródło: opracowanie własne.

UWAGA – po wykonaniu powyższych czynności nadal może występować wysokie napięcie w instalacji PV po stronie prądu stałego (pomiędzy modułami, a rozłącznikiem/bezpiecznikami).

5. Co do zasady, **nie należy ingerować w instalacje PV po stronie prądu stałego DC**. Niemniej jednak, w przypadku konieczności demontażu modułów fotowoltaicznych należy zachować szczególne środki ostrożności, tj. **stosować sprzęt ochronny elektroizolacyjny (przede wszystkim rękawice dielektryczne)**, dedykowane klucze do rozpinania złączy oraz w miarę możliwości zabezpieczyć luźne złącza i przewody.

Uwaga! Wszelkie działania mające na celu zastąpienie modułów przed dostępem promieni słonecznych (np. zakrywanie modułów plandekami, pokrywanie pianą sprężoną) nie stanowią gwarancji zabezpieczenia przed porażeniem prądem.

Działania ratownicze

Pożar

Miejscowe zagrożenie

Karta **Z1**

Karta **Z2**

Pożar

3. Ocena sytuacji

1. Przeprowadź rozpoznanie.
2. Ustal czy podzespoły instalacji PV poddane są bezpośredniemu oddziaływaniu ognia. Jeżeli nie są objęte pożarem i nie są bezpośrednio zagrożone postępuj zgodnie ze standardową taktyką gaszenia pożarów.
3. Określ stan instalacji PV na podstawie oznak zewnętrznych (jej wyglądu) oraz otoczenia. Do obserwacji możesz użyć np. kamery termowizyjnej. Okopcenie modułów, widoczne przebarwienia, uszkodzone termicznie złącza i przewody świadczą, że mogło dojść do uszkodzenia instalacji i pojawienia się napięcia na metalowych elementach instalacji i budynku.
Pamiętaj! Detektor typu Hot Stick nie wykrywa prądu stałego, który jest generowany przez moduły fotowoltaiczne!
4. W sytuacji braku odpowiednich informacji o stanie instalacji PV, zastosuj środki ochrony indywidualnej właściwe do działań przy urządzeniach pod napięciem.

4. Działania ratownicze

1. Wyznacz strefę zagrożenia. W przypadku bezpośredniego zagrożenia życia osób znajdujących się w obiekcie, przeprowadź ich natychmiastową ewakuację.
2. Ostrzeż ratowników o występującym zagrożeniu.
3. Odłącz dopływ prądu elektrycznego do budynku.
4. Jeżeli instalacja PV wyposażona jest w **magazyn energii** wyłącz falownik.
5. Przystąp do działań mających na celu redukcję zagrożenia od instalacji fotowoltaicznej zgodnie z „Rozpoznanie i działania zabezpieczające”.
6. Zastosuj środki ochrony indywidualnej oraz sprzęt ochrony układu oddechowego.
7. Jeśli to nie jest konieczne, nie dotykaj elementów instalacji PV oraz innych elementów przewodzących prąd elektryczny.
8. W przypadku konieczności demontażu modułów fotowoltaicznych zachowaj szczególne środki ostrożności. Postaraj się zabezpieczyć luźne złącza i przewody.
9. W razie potrzeby zadysponuj odpowiednie służby.
10. Zachowaj minimalne odległości podczas podawania środków gaśniczych (patrz „gaszenie pożaru”).
11. Zapewnij bezpieczne warunki po zakończeniu działań ratowniczych poprzez uniemożliwienie ponownego uruchomienia uszkodzonej instalacji.

Gaszenie pożaru:

1. Do gaszenia pożaru lub działań w obronie można stosować następujące środki gaśnicze: **wodę w tym wodę z dodatkami np. zwilżaczami, pianę sprężoną, proszki gaśnicze, gazy gaśnicze.**

Nie należy stosować klasycznej piany ciężkiej, średniej lub lekkiej.

2. Podając **wodę lub wodę z dodatkami przy użyciu prądu rozproszonego**, przy dowolnej wydajności (tylko prądownice PWT Ø 52 – „Turbo”) należy zachować minimalny **kąt rozproszenia 30°** oraz minimalną odległość **1 m** od elementów instalacji mogących znajdować się pod napięciem.
3. Podając **wodę lub wodę z dodatkami przy użyciu prądu zwartego** (tylko prądownice PWT Ø 52 – „Turbo”) przy maksymalnej wydajności **250 l/min**, należy zachować minimalną odległość **5 m** od elementów instalacji mogących znajdować się pod napięciem. **W przypadku stosowania wydajności powyżej 250 l/min zachowaj minimalną odległość 10 m.**
4. Podając **pianę sprężoną z urządzeń CAFS**, należy stosować tylko prądownice dopuszczone przez producenta dla systemów CAFS do działań w obrębie instalacji elektrycznych znajdujących się pod napięciem (prądownice PWT „Turbo” lub inne prądownice o średnicy pyszczka do 25 mm), przy zachowaniu maksymalnej wydajności wodnej **250 l/min** i zachowaniu minimalnych odległości:
 - 1) **1 m** przy stosowaniu **prądu rozproszonego**,
 - 2) **5 m** przy stosowaniu **prądu zwartego**.

5. Podając **proszki gaśnicze** lub **gazy gaśnicze** należy zachować minimalną odległość **1 m** lub większą, jeżeli tak wskazano na urządzeniu gaśniczym lub gaśnicy.
6. Pożary akumulatorów, baterii stanowiących elementy magazynów energii, wymagają stosowania środka gaśniczego o działaniu chłodzącym (woda). W związku z tym stosowanie proszków gaśniczych oraz gazów gaśniczych może być wówczas nieskuteczne. Efekty gaszenia tego typu elementów instalacji należy kontrolować kamerą termowizyjną lub pirometrem. Ugaszone akumulatory, baterie należy zabezpieczyć i poinformować właściciela / zarządcę / użytkownika o konieczności dozorowania, przez co najmniej 24 godziny ze względu na ryzyko samoistnego nawrotu palenia.

Tabela 2. Minimalne odległości podawania środków gaśniczych w obrębie instalacji PV.

	Prąd rozproszony (min. 30°)	Prąd zwarty
Woda (≤ 250 l/min)	1 m	5 m
Woda (> 250 l/min)		10 m
Piana CAFS (max. 250 l/min)	1 m	5 m
Proszek gaśniczy	1 m	
Gazy gaśnicze	1 m	

Źródło: opracowanie własne.

Miejscowe zagrożenie

3. Ocena sytuacji

1. Przeprowadź rozpoznanie.
2. Określ stan techniczny instalacji PV na podstawie oznak zewnętrznych.
3. Określ zagrożenia ze strony uszkodzonej instalacji PV.
4. Jeżeli instalacja została uszkodzona mechanicznie, oceń możliwość ewentualnego powstania pożaru.
5. W sytuacji braku odpowiednich informacji o stanie instalacji PV, zastosuj środki ochrony indywidualnej właściwe do działań przy urządzeniach pod napięciem.

Pamiętaj! Detektor typu Hot Stick nie wykrywa prądu stałego, który jest generowany przez moduły fotowoltaiczne!

4. Działania ratownicze

1. Wyznacz strefę zagrożenia. W przypadku bezpośredniego zagrożenia życia osób znajdujących się w obiekcie, przeprowadź ich natychmiastową ewakuację.
2. Ostrzeż ratowników o występującym zagrożeniu.
3. Odłącz doptyw prądu elektrycznego do budynku.
4. Jeżeli instalacja PV wyposażona jest w **magazyn energii** wyłącz falownik.
5. Przystąp do działań mających na celu redukcję zagrożenia od instalacji fotowoltaicznej zgodnie z „Rozpoznanie i działania zabezpieczające”.
6. Zastosuj środki ochrony indywidualnej.
7. Jeśli to nie jest konieczne, nie dotykaj elementów instalacji PV oraz innych elementów przewodzących prąd elektryczny.
8. W przypadku konieczności demontażu modułów fotowoltaicznych zachowaj szczególne środki ostrożności. Postaraj się zabezpieczyć luźne złącza i przewody.
9. W razie potrzeby zadysponuj odpowiednie służby.
10. Zapewnij bezpieczne warunki po zakończeniu działań ratowniczych poprzez uniemożliwienie ponownego uruchomienia uszkodzonej instalacji poprzez jej zabezpieczenie.

Przekazanie miejsca zdarzenia

5. Przekaż miejsce zdarzenia właścicielowi / zarządcy / użytkownikowi obiektu:

Przekaż miejsce zdarzenia zgodnie z obowiązującymi zasadami, sporządzając właściwy dokument przekazania – „POTWIERDZENIE PRZEKAZANIA TERENU, OBIEKTU LUB MIENIA OBJĘTEGO DZIAŁANIEM RATOWNICZYM”.

Przekaż osobie przejmującej miejsce zdarzenia informację o fakcie prowadzenia działań ratowniczych w obrębie instalacji PV.

Poinformuj ją o potencjalnych zagrożeniach i sposobie postępowania, w tym o:

- 1) zachowaniu bezpiecznej odległości i zakazie dotykania elementów instalacji PV,
- 2) konieczności dozoru uszkodzonej instalacji PV do czasu jej sprawdzenia,
- 3) konieczności dozoru magazynów energii do czasu ich sprawdzenia (o ile występują), w związku z możliwością samoistnego nawrotu palenia,
- 4) zaleceniu sprawdzenia instalacji PV przez firmę posiadającą stosowne uprawnienia w zakresie montażu i serwisowania instalacji PV, przed powtórny załączeniem zasilania do obiektu,
- 5) możliwości wycieku elektrolitu z uszkodzonego magazynu energii (o ile występuje),
- 6) konieczności sprawdzenia instalacji elektrycznej w obiekcie przez osobę/firmę posiadającą stosowne uprawnienia przed przywróceniem zasilania do obiektu,
- 7) potrzebie utylizacji zniszczonego lub uszkodzonego magazynu energii (o ile występuje) lub modułu PV przez wyspecjalizowaną firmę,
- 8) konieczności ponownego montażu i uruchomienia elementów składowych instalacji PV przez osobę/firmę posiadającą stosowne uprawnienia w przypadku ich demontażu podczas działań ratowniczych.

Informacje dodatkowe

Środki ostrożności przy działaniach w obrębie instalacji PV:

1. Zakaz wchodzenia i poruszania się po powierzchni modułów PV.
2. Po rozłączeniu napięcia po stronie AC nadal może występować niebezpieczne napięcie w instalacji PV po stronie DC (pomiędzy modułami a falownikiem).
3. Jeżeli zachodzi konieczność rozłączenia modułów należy uprzednio wyłączyć falownik. W przeciwnym wypadku, w zamkniętym obwodzie może dojść do powstania łuku elektrycznego.
4. Jeżeli instalacja PV wyposażona jest w magazyn energii należy zawsze wyłączać falownik.
5. Detektor typu Hot Stick nie wykrywa prądu stałego, który jest generowany przez moduły fotowoltaiczne.

Zgodnie z obowiązującymi przepisami informacje o zakończeniu robót budowlanych polegających na instalowaniu urządzeń fotowoltaicznych o mocy zainstalowanej elektrycznej powyżej 6,5 kW przekazywane są, m.in. na potrzeby planowania działań ratowniczo-gaśniczych, do właściwych miejscowo KP (KM) PSP.

Uwaga! Wszelkie działania mające na celu zasłonięcie modułów przed dostępem promieni słonecznych (np. zakrywanie modułów plandekami, pokrywanie pianą sprężoną) nie stanowią gwarancji zabezpieczenia przed porażeniem prądem.

Literatura przedmiotu:

1. DIN VDE 0132 (2018-07), Brandbekämpfung und technische Hilfeleistung im Bereich elektrischer Anlagen.
2. PN-HD 60364-7-712:2016-05 – Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-712: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Fotowoltaiczne (PV) układy zasilania.
3. P. Gancarczyk, J. Kielin, T. Kołodziejczyk, M. Piasecki, J. Zboina, Ochrona przeciwpożarowa instalacji fotowoltaicznych – część 1 – wybrane zagadnienia użytkowe i bezpieczeństwa w instalacjach fotowoltaicznych, CNBOP-PIB, 2021.
4. A. Barasiński, P. Czaja, D. Polak, Ochrona przeciwpożarowa i przeciwporażeniowa instalacji fotowoltaicznych, Prace Naukowe Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie, Technika, informatyka, Inżynieria Bezpieczeństwa, 2018, VI.
5. S. Ptak, A. Barasiński, „Urządzenia i instalacje elektryczne a pożar (część 1.)” Elektro.Info 6/2019.
6. A. Barasiński, P. Czaja, „Prąd elektryczny a zagrożenia dla strażaków”, *Prace naukowe Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie, Technika, Informatyka, Inżynieria Bezpieczeństwa V Międzynarodowa Konferencja Naukowa: Inżynieria Bezpieczeństwa a Zagrożenia Cywilizacyjne – Technika w Służbie Bezpieczeństwa.*
7. Ptak S., Zagrożenia Elektroenergetyczne w środowisku pracy, SGSP, Warszawa 2020 (dostępna online).
8. Ptak S., Kustra P., Pracownia Podstaw Elektrotechniki i Elektroniki w Pożarnictwie, SGSP, Warszawa 2018 (dostępna online).
9. Barasiński A., Hajdas D., Urbańczyk M., Zeszyty Naukowe SGSP 2020, Nr 76/4/2020, „Instalacje fotowoltaiczne jako nowe wyzwanie dla straży pożarnej. Część I: Budowa i zasada działania systemów fotowoltaicznych”.
10. Markiewicz H., Instalacje elektryczne, wydanie 9 zmienione, wydawnictwo WNT, Warszawa 2018.
11. Szymański B. Instalacje fotowoltaiczne, Geosystem, Kraków 2014.
12. <https://pl.goodwe.com/>.
13. <https://www.fronius.com/pl>.
14. <https://solar.huawei.com/pl>.
15. <https://shop.europe-solar.de/Shop/Mikrowechselrichter/500W-Mikrowechselrichter-AP-Systems-2-MPP-Tracker-Fuer-Mini-PV-oder-Plug-Play-oxid-2.html>.
16. <https://www.winaico.com.au/blog/genuine-mc4-connector>.
17. <https://www.emiter.net.pl/fotowoltaika/producent-tigo.html>.
18. <https://www.fox-ess.pro/produkty/wylacznik-bezpieczenstwa/>.
19. <https://krainaoze.pl/produkt/wylacznik-przeciwpozarowy-projoy-electric-pefs-el40h-4/>.

Opracował zespół w składzie:

1. st. bryg. mgr inż. Michał Langner – przewodniczący zespołu.
2. st. bryg. w st. spocz. dr inż. Bernard Król.
3. st. kpt. dr inż. Szymon Ptak.
4. st. kpt. mgr inż. Arkadiusz Wójcik.
5. st. kpt. mgr Jacek Rus.
6. st. kpt. mgr inż. Adrian Kowalik.
7. kpt. mgr inż. Mateusz Urbańczyk.
8. mł. kpt. dr inż. Adrian Barasiński.

Konsultacje merytoryczne:

1. dr hab. inż. Maciej Sibiński, prof. PŁ – Politechnika Łódzka.
2. dr hab. inż. Albert Smalcerz, prof. PŚ – Politechnika Śląska.
3. dr hab. inż. Sławomir Bielecki – Politechnika Warszawska.
4. dr inż. Janusz Buchoski – Politechnika Warszawska.
5. mgr inż. Janusz Lipka – Politechnika Warszawska.
6. Biuro Przeciwdziałania Zagrożeniom KG PSP.
7. Komendy wojewódzkie PSP, szkoły PSP – wszystkie.
8. CNBOP-PIB.