



**Gaszenie instalacji elektroenergetycznych pod napięciem (nn, SN, WN) oraz instalacji
fotowoltaicznych (PV) – zagrożenia i zalecenia bezpieczeństwa**

ROZDZIAŁ 1: Wstęp i cele dokumentu

1.1. Cel i przeznaczenie opracowania

Dynamiczny rozwój sektora elektroenergetycznego, obejmujący m.in. coraz powszechniejsze stosowanie systemów fotowoltaicznych (PV) oraz rozbudowę i modernizację sieci średniego (SN) i wysokiego napięcia (WN), istotnie zwiększa złożoność zagrożeń występujących podczas działań ratowniczo-gaśniczych. Prowadzenie akcji w bezpośrednim sąsiedztwie urządzeń pozostających pod napięciem wiąże się z ryzykiem porażenia prądem elektrycznym, którego charakter i skala nie zawsze są w pełni rozpoznane w obowiązujących procedurach.

Ideą niniejszego dokumentu jest dostarczenie dodatkowej, specjalistycznej wiedzy dotyczącej zagrożeń elektrycznych występujących podczas gaszenia urządzeń elektroenergetycznych pod napięciem, a także wsparcie w opracowywaniu i doskonaleniu bezpieczniejszych procedur operacyjnych. Opracowanie ma charakter uzupełniający wobec obowiązujących przepisów i wytycznych, koncentrując się na praktycznych aspektach oddziaływania środków gaśniczych na instalacje elektryczne oraz na zagrożeniach istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwa ratowników.

Główne cele dokumentu:

- Zwiększenie świadomości zagrożeń dla personelu ratowniczego: Dokument omawia zjawiska związane z ryzykiem występującym podczas gaszenia urządzeń pozostających pod napięciem, w tym możliwości przepływu prądów upływu i inicjacji wyładowań elektrycznych, co pozwala ratownikom lepiej rozpoznać zagrożenia i stosować odpowiednie środki ostrożności.
- Przeniesienie wniosków z badań laboratoryjnych na procedury operacyjne: Opracowanie stara się przenieść obserwacje i wnioski z badań laboratoryjnych na grunt działań ratowniczo-gaśniczych. Na tej podstawie ratownicy otrzymują zalecenia, które mogą wykorzystać do opracowywania własnych procedur bezpieczeństwa w różnych warunkach i dla szerokiego spektrum napięć – od domowych instalacji nn 230/400 V po sieci SN i WN.
- Wsparcie procesów decyzyjnych KDR: Wytyczne mogą ułatwić Kierującemu Działaniem Ratowniczym dokonanie rzetelnej oceny ryzyka na miejscu zdarzenia. Dokument wskazuje ważne aspekty dotyczące bezpieczeństwa podczas gaszenia urządzeń pod napięciem.



- Ujęcie specyfiki zagrożeń w instalacjach PV, SN i WN: Ze względu na unikalną charakterystykę instalacji fotowoltaicznych oraz sieci średniego i wysokiego napięcia, dokument opisuje między innymi ogólne metody pracy z napięciem DC i sposoby ograniczenia ryzyka inicjacji łuku elektrycznego, co pomaga w planowaniu bezpiecznych działań ratowniczych.

Dokument ten podkreśla, że każdą instalację w fazie rozpoznania należy traktować jak pod napięciem, dopóki nie ma pewności, że została skutecznie odłączona i uziemiona. Takie podejście pozwala lepiej rozpoznać zagrożenia i stosować odpowiednie środki ostrożności, zwiększając bezpieczeństwo działań ratowniczych w pobliżu urządzeń elektroenergetycznych, w tym instalacji fotowoltaicznych, sieci średniego i wysokiego napięcia.

1.2. Podstawa normatywna i techniczna

Zalecenia zawarte w niniejszym opracowaniu zostały sformułowane w oparciu o aktualny stan wiedzy technicznej, wyniki badań laboratoryjnych oraz wymagania zawarte w polskich i międzynarodowych dokumentach technicznych.

a) Wytyczne Instytutu Energetyki – WT 1/2020: Kluczowym dokumentem odniesienia są „Warunki techniczne dla systemów ppoż. do gaszenia pożarów urządzeń elektrycznych o najwyższym napięciu powyżej 1 kV do 420 kV włącznie, znajdujących się pod napięciem”. Dokument ten, opracowany przez Laboratorium Wysokich Napięć, definiuje metodologię badań systemów gaśniczych stosowanych do gaszenia urządzeń znajdujących się pod napięciem.

b) Norma PN-EN 3-7 +A1:2008 (Gaśnice przenośne – Część 7: Charakterystyki, wymagania eksploatacyjne i metody badań): Norma określająca charakterystyki i metody badań gaśnic, w tym badania dielektryczne. Jest podstawą do znakowania urządzeń gaśniczych dopuszczonych do gaszenia urządzeń pod napięciem (zazwyczaj do 1000 V przy zachowaniu dystansu 1 m), co stanowi punkt wyjścia dla działań przy instalacjach niskiego napięcia (nn).

c) Koordynacja izolacji – seria norm PN-EN 60071: Normy (Część 1 i 2) stanowiące podstawę dla wyznaczania bezpiecznych odstępów izolacyjnych w powietrzu.

d) Wytyczne operacyjne KG PSP oraz standardy techniczne CNBOP-PIB: Zalecenia uwzględniające krajowy model ratownictwa, takie jak między innymi:

- Standardowe zasady postępowania podczas zdarzeń w obrębie instalacji fotowoltaicznych (KG PSP, 2022): Dokument KG PSP (SZP nr 6) określający taktykę działań, priorytety bezpieczeństwa ratowników oraz procedury identyfikacji i odłączania systemów PV.



- Poradnik CNBOP-PIB: Ocena ryzyka pożarowego w instalacjach fotowoltaicznych (2021): Opracowanie eksperckie dotyczące minimalizacji ryzyka, koncepcji bezpieczeństwa oraz technicznych aspektów powstawania pożarów w instalacjach PV.
- Monografia CNBOP-PIB: Wybrane zagadnienia użytkowe i bezpieczeństwa w instalacjach fotowoltaicznych (2021): Kompleksowe źródło wiedzy na temat certyfikacji komponentów, oznakowania budynków oraz statystyk zagrożeń pożarowych.

ROZDZIAŁ 2: Ogólne zagrożenia podczas gaszenia urządzeń pod napięciem

2.1. Ryzyko porażenia prądem upływu

Przyjmuje się, że natężenie prądu o wartości poniżej 1 mA jest najczęściej nieodczuwalne, natomiast zakres 1–5 mA może wywoływać lekkie mrowienie. W przedziale 5–15 mA mogą pojawić się bolesne skurcze mięśni, a powyżej 20 mA możliwa jest utrata kontroli nad ciałem i trudności w oddychaniu. Szczególnie niebezpieczny jest zakres od 50 mA wzwyż, kiedy występuje wysokie ryzyko migotania komór serca, prowadzące do zatrzymania krążenia. Krytyczny próg dla prądu przemiennego (AC) wynosi około 50–100 mA, natomiast w przypadku prądu stałego (DC) ryzyko wystąpienia migotania pojawia się przy wartościach rzędu 300–500 mA.

Prąd przemienny (AC), szczególnie o częstotliwości sieciowej 50/60 Hz, jest uważany za bardziej niebezpieczny niż prąd stały (DC) ze względu na większe prawdopodobieństwo wywołania skurczów mięśni oraz zaburzeń rytmu serca. Co więcej, prąd AC może utrudniać oderwanie się od źródła napięcia z powodu rytmicznych skurczów mięśni, w przeciwieństwie do prądu DC, który powoduje pojedynczy, silny skurcz.

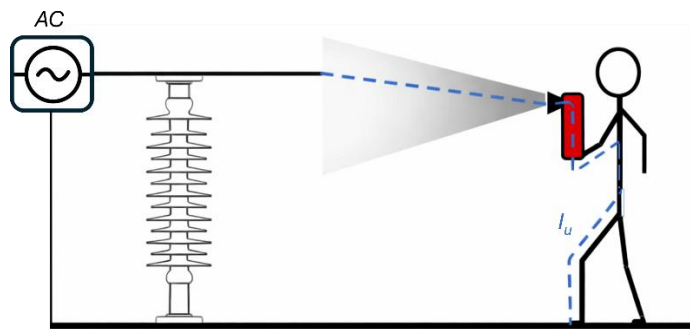
Na skutki porażenia prądem wpływa także droga przepływu prądu przez ciało – najbardziej niebezpieczne są przypadki, w których prąd przepływa przez klatkę piersiową i okolice serca (np. między dłońmi lub między dłonią a stopą). Dodatkowo, czynniki takie jak wilgotność skóry, stan zdrowia osoby porażonej oraz czas ekspozycji mogą znacząco modyfikować efekty działania prądu elektrycznego.

Zgodnie z międzynarodowymi normami bezpieczeństwa (np. IEC 60479) wartość 0,5 mA uważana jest za graniczną dla wystąpienia jakichkolwiek odczuć sensorycznych i jest stosowana jako próg w projektowaniu bezpiecznych systemów elektroenergetycznych.

2.1.1 Definicja i charakterystyka prądu upływu

Prąd upływu to niewielki przepływ prądu elektrycznego przez ciało człowieka lub przez ścieżki przewodzące w pobliżu urządzeń pod napięciem. W przypadku instalacji średniego i

wysokiego napięcia w normalnych warunkach jego wartość może być niewielka, lecz w połączeniu z niekorzystnymi warunkami środowiskowymi (wilgoć, przewodzące zabrudzenia, kontakt z rozpylonym środkiem gaśniczym) może prowadzić do poważnych skutków zdrowotnych, w tym zaburzeń funkcji mięśniowych, migotania komór serca, a w skrajnych przypadkach – zatrzymania akcji oddechowej.



Rys. 1 Ilustracja przepływu prądu elektrycznego podczas prowadzenia akcji gaśniczej

2.1.2 Czynniki wpływające na natężenie prądu upływu

Do najważniejszych czynników determinujących ryzyko porażenia należą:

- Natężenie pola elektrycznego w miejscu przebywania ratownika. Wyższe napięcie instalacji powoduje większą indukcję prądów upływu w ciele człowieka.
- Powierzchnia ciała narażona na działanie pola elektrycznego – im większa powierzchnia kontaktu z polem lub przewodzącym środowiskiem, tym wyższy prąd upływu.
- Obecność rozpylonych środków gaśniczych – woda, piana czy mgła mogą tworzyć ścieżki przewodzące, które zwiększają natężenie prądu upływu.

2.1.3 Prądy upływu w instalacjach nn, SN i WN

Instalacje niskiego napięcia (nn, 230/400 V): Pomiar laboratoryjny wskazują, że prądy upływu rzadko przekraczają wartości progowe dla wywołania objawów porażenia (50 μ A–1 mA).

Sieci średniego napięcia (SN, 15–24 kV): Prądy upływu mogą osiągać wartości kilku mA przy bezpośrednim sąsiedztwie przewodów lub innych elementów pod napięciem. W warunkach obecności wody lub wilgoci mogą powstać lokalne ścieżki przewodzące, prowadzące do ryzyka zaburzeń mięśniowych.

Sieci wysokiego napięcia (WN, >110 kV): Nawet minimalny kontakt lub zbliżenie do przewodów lub aparatów pod napięciem może indukować prądy upływu o wartościach



zagrożających życiu. Konieczne jest wyznaczenie stref bezpieczeństwa oraz stosowanie pełnego wyposażenia ochronnego.

2.2. Ryzyko związane zapłonem łuku elektrycznego

Wprowadzenie środka gaśniczego do strefy, w której znajdują się elementy instalacji elektroenergetycznej pozostające pod napięciem, prowadzi do istotnej zmiany własności układu izolacyjnego. Zagrożenie nie wynika wyłącznie z przewodności samego środka gaśniczego, lecz przede wszystkim z gwałtownego obniżenia wytrzymałości elektrycznej przerw powietrznych oraz powierzchni izolacji stałej. W efekcie nawet działania prowadzone bez bezpośredniego kontaktu z elementami instalacji mogą doprowadzić do inicjacji niekontrolowanych wyładowań elektrycznych.

2.2.1 Wyładowania międzyfazowe i doziemne w powietrzu

Obecność rozpylonych środków gaśniczych, takich jak woda, mgła wodna czy piana, powoduje, że powietrze przestaje być ośrodkiem jednorodnym. Zawieszone w nim krople i pęcherzyki znacząco obniżają jego wytrzymałość elektryczną, tworząc warunki sprzyjające lokalnym koncentracjom pola elektrycznego. W takich warunkach inicjacja wyładowań może następować przy napięciach znacznie niższych niż ma to miejsce w suchym, czystym powietrzu.

Badania laboratoryjne wykazują, że podawanie środków gaśniczych prowadzi do wyraźnego skrócenia bezpiecznych odstępów izolacyjnych. Może to skutkować nagłym zapłonem łuku elektrycznego pomiędzy elementami instalacji, na przykład pomiędzy przewodami szynowymi różnych faz (tzw. wyładowanie międzyfazowe), nawet w sytuacji, gdy przed rozpoczęciem działań gaśniczych układ izolacyjny spełniał wszystkie wymagania dotyczące własności izolacyjnych.

2.2.2 Osadzanie środka gaśniczego na izolacji stałej – przeskoki powierzchniowe

Szczególnie niebezpiecznym zjawiskiem jest osadzanie się wilgotnego środka gaśniczego na powierzchniach izolatorów wsporczych, przepustów oraz nieprzewodzących obudów urządzeń elektroenergetycznych. Krople wody lub warstwa innego rodzaju środka gaśniczego tworzą na izolacji film przewodzący, który znacząco skraca drogę upływu po powierzchni izolatora redukując jednocześnie odstęp izolacyjny.

W obecności produktów spalania, takich jak sadza czy pyły, wilgoć, której źródłem jest środek gaśniczy tworzy warstwę o zwiększonej przewodności elektrycznej. Przepływający przez nią prąd prowadzi do lokalnego nagrzewania, wysychania i powstawania wyładowań niezupełnych. Proces ten może stopniowo pogłębiać się, aż do pełnego przeskoku powierzchniowego (wyładowania zupełnego) i trwałego uszkodzenia izolacji.



2.2.3 Oddziaływanie środków gaśniczych z produktami spalania

Podczas gaszenia urządzeń elektroenergetycznych pod napięciem, istotnym czynnikiem ryzyka jest współlistnienie rozpylonego środka gaśniczego oraz produktów spalania, w szczególności dymu pożarowego. Zjonizowane gazy i cząstki zawarte w dymie wchodzi w interakcję z wilgocią pochodzącą z wody lub piany gaśniczej, tworząc środowisko o znacznie obniżonej wytrzymałości elektrycznej.

W praktyce oznacza to, że powietrze w strefie działania ratowników staje się medium niejednorodnym i przewodzącym, co drastycznie zmniejsza napięcie przebicia układu izolacyjnego. Nawet niewielka obecność zanieczyszczeń w połączeniu z wilgocią może powodować powstanie lokalnej redukcji wytrzymałości elektrycznej, prowadzącej do inicjacji wyładowań doziemnych lub międzyfazowych.

Konsekwencją tego zjawiska jest to, że standardowe odstępy izolacyjne, projektowane dla urządzeń pracujących w suchym i czystym środowisku, przestają zapewniać wymagany poziom bezpieczeństwa. W efekcie ryzyko powstania łuku elektrycznego znacząco rośnie.

2.2.4 Zagrożenia związane z oddziaływaniem łuku elektrycznego

Inicjacja łuku elektrycznego wewnątrz układu elektroenergetycznego stanowi jedno z najpoważniejszych zagrożeń dla bezpieczeństwa ratowników. Łuk elektryczny jest źródłem ekstremalnie wysokiej temperatury, sięgającej kilku tysięcy stopni Celsjusza, co prowadzi do gwałtownego odparowania metali oraz rozkładu materiałów izolacyjnych. Proces ten generuje znaczne ilości gorących gazów i par metali, powodując dynamiczny wzrost ciśnienia w przestrzeni roboczej urządzeń elektroenergetycznych.

W zamkniętych lub półzamkniętych obudowach, takich jak rozdzielnice czy stacje transformatorowe, wzrost ciśnienia może doprowadzić do ich rozerwania lub wyrzutu elementów konstrukcyjnych. Towarzyszą temu intensywne oddziaływania termiczne i mechaniczne, które mogą powodować ciężkie oparzenia, urazy mechaniczne oraz uszkodzenia słuchu u osób znajdujących się w pobliżu.

Dodatkowym zagrożeniem jest silne promieniowanie elektromagnetyczne i świetlne emitowane przez łuk elektryczny, w tym promieniowanie ultrafioletowe, które może prowadzić do uszkodzeń wzroku i skóry. Jednocześnie łuk może stać się źródłem wtórnych zapłonów, inicjując pożar materiałów znajdujących się w sąsiedztwie lub prowadząc do rozprzestrzeniania się pożaru w obrębie całej instalacji.

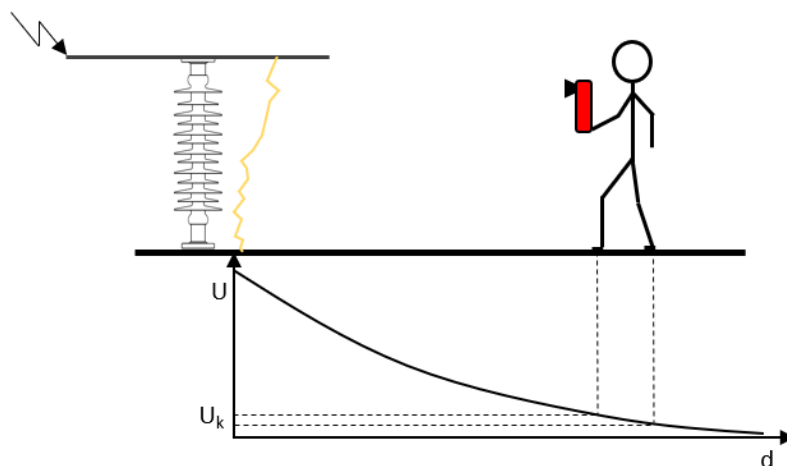
Z punktu widzenia działań ratowniczych szczególnie istotne jest to, że zapłon łuku może nastąpić nagle i bez wyraźnych sygnałów ostrzegawczych, a jego rozwój jest bardzo szybki. Oznacza to, że ratownik znajdujący się w pozornie bezpiecznej odległości może zostać

narażony na oddziaływania, których nie da się skutecznie ograniczyć środkami ochrony indywidualnej.

Podawanie środków gaśniczych w kierunku instalacji pozostających pod napięciem, w szczególności w sieciach SN i WN, może samo w sobie stać się czynnikiem inicjującym powstanie łuku elektrycznego. Ratownik powinien mieć świadomość, że nawet pozornie bezpieczne działania gaśnicze, mogą doprowadzić do powstania zwarć doziemnych lub międzyfazowego, których nie występowało przed rozpoczęciem akcji gaśniczej.

2.3. Napięcia krokowe

Napięcia krokowe są istotnym zagrożeniem w trakcie działań ratowniczo-gaśniczych przy urządzeniach pozostających pod napięciem. Powstają, gdy prąd upływu lub prąd zwarciovowy wpływa do gruntu i rozchodzi się wokół miejsca awarii. W rezultacie na powierzchni ziemi tworzy się gradient potencjałów – najwyższy w pobliżu źródła, malejący wraz z odległością (Rys. 2). Różnica potencjałów między stopami ratownika może wywołać przepływ prądu przez ciało, prowadząc do skurczów mięśni, utraty równowagi, a w skrajnych przypadkach – porażenia prądem przez klatkę piersiową.



Rys. 2 Mechanizm powstawania napięć krokowych

Podczas akcji gaśniczej środki gaśnicze (woda, mgła wodna, piana) zmieniają przewodność podłoża, zwiększając ryzyko wystąpienia napięć krokowych w miejscach, które w warunkach suchych byłyby bezpieczne. Przewodzące ścieżki mogą tworzyć się zarówno na powierzchni ziemi, jak i w kałużach wody spływającej z urządzeń, rozprzestrzeniając potencjał elektryczny dalej od źródła awarii.

W praktyce oznacza to, że każda strefa wokół instalacji pod napięciem, w której prowadzone jest gaszenie, może stać się potencjalnie niebezpieczna. Ratownicy powinni poruszać się



ostrożnie, unikać stania w kałużach lub mokrych obszarach oraz stosować techniki minimalizujące różnicę potencjałów między stopami, takie jak krok dostawny lub skoki ze złączonymi stopami.

Świadomość mechanizmu powstawania napięć krokowych oraz wpływu środków gaśniczych na rozkład potencjałów w gruncie jest kluczowa dla planowania bezpiecznej akcji gaśniczej w pobliżu urządzeń elektroenergetycznych SN i WN.

ROZDZIAŁ 3: Środki gaśnicze i ich właściwości dielektryczne

Bezpieczeństwo przeciwporażeniowe podczas gaszenia urządzeń elektroenergetycznych w dużej mierze zależy od właściwości dielektrycznych stosowanych środków gaśniczych. Ich dobór nie może być oparty wyłącznie na skuteczności gaszenia pożaru, lecz również na minimalizowaniu ryzyka przepływu prądów upływu i inicjacji wyładowań elektrycznych. W tym kontekście kluczowe znaczenie mają zarówno parametry fizyczne środka gaśniczego, takie jak przewodność i zdolność osadzania się na powierzchniach, jak i sposób jego podawania oraz interakcja z elementami instalacji.

3.1. Woda i piana

Woda, ze względu na swoją przewodność, stanowi największe zagrożenie porażeniowe w kontaktach z urządzeniami pod napięciem. Czysta destylowana woda wykazuje wysoką wytrzymałość dielektryczną, jednak w praktycznych zastosowaniach, gdzie woda zawiera sole mineralne lub reaguje z produktami pożaru, jej przewodność rośnie wielokrotnie.

Podczas gaszenia woda może tworzyć ścieżki przewodzące na powierzchni ziemi i urządzeń, a w przypadku bezpośredniego kontaktu z elementami instalacji pod napięciem powodować przepływ prądu upływu. Strumień wody o dużej intensywności zwiększa nie tylko skuteczność gaszenia, ale również prawdopodobieństwo inicjacji wyładowań powierzchniowych i międzyfazowych.

Stosowanie piany gaśniczej również może stwarzać zagrożenie. Jej struktura pozwala na osadzanie się warstwy na izolatorach, szynach i obudowach urządzeń, tworząc film przewodzący, który obniża wytrzymałość elektryczną izolacji i może prowadzić do powstania lokalnych wyładowań niezupełnych i w konsekwencji zapłonu łuku elektrycznego. Z punktu widzenia ochrony przeciwporażeniowej ważne jest, aby podczas użycia wody i piany zachowywać bezpieczne odległości od elementów pod napięciem oraz stosować techniki ograniczające kontakt środka gaśniczego z przewodzącymi częściami instalacji.

3.2. Proszki gaśnicze

Proszki gaśnicze wykorzystywane w gaszeniu urządzeń elektrycznych charakteryzują się stosunkowo dobrymi właściwościami dielektrycznymi, co sprawia, że są preferowane przy



gaszeniu instalacji SN i WN. Należy jednak zaznaczyć, że ich kontakt z powierzchniami przewodzącymi w pewnym choć ograniczonym stopniu zwiększa ryzyko przepływu prądu.

Istotnym aspektem związanym z użyciem proszków jest ich osadzanie się na elementach instalacji. Warstwa proszku może w pewnych warunkach zwiększać lokalną przewodność, zwłaszcza jeśli środowisko jest wilgotne lub obecne są produkty spalania. Dlatego w działaniach ratowniczych zaleca się minimalizowanie gromadzenia proszku na elementach napięciowych.

Z punktu widzenia ochrony przeciwporażeniowej, proszki mają przewagę nad wodą i pianą, ponieważ nie tworzą wysoko przewodzących warstw i pozwalają na ograniczenie prądów upływu. Pomimo to operator powinien zawsze zachowywać ostrożność i stosować standardowe procedury bezpiecznej odległości.

3.3. Gazy gaśnicze (CO₂)

Dwutlenek węgla jest środkiem gaśniczym o najwyższej wytrzymałości dielektrycznej spośród obecnie najczęściej stosowanych środków gaśniczych. Jako gaz suchy nie przewodzi jest nieprzewodzący a wręcz stosowany jest jako środek izolacyjny. Dodatkowo nie tworzy filmów przewodzących i nie osadza się na powierzchniach izolatorów. Dzięki tym właściwościom CO₂ jest szczególnie przydatny przy gaszeniu urządzeń pod napięciem, w tym i tych pracujących w sieciach SN i WN.

Z perspektywy ochrony przeciwporażeniowej CO₂ minimalizuje ryzyko porażenia elektrycznego, ponieważ nie zwiększa przewodności środowiska ani nie wpływa na lokalny rozkład potencjałów.

Pomimo wysokiej odporności dielektrycznej, stosowanie CO₂ wiąże się z pewnym zagrożeniem mechanicznym. Gaz gwałtownie rozpręża się podczas wypuszczania z gaśnicy i osiąga bardzo niską temperaturę. Jeśli silny i długotrwały strumień gazu trafi na izolatory lub przewody, które w trakcie pożaru nagrzały się do wysokiej temperatury, może dojść do ich nagłego schłodzenia. Takie szybkie obniżenie temperatury wywołuje naprężenia termiczne w materiale izolacyjnym (szczególnie w przypadku porcelany elektrotechnicznej, z której najczęściej wykonuje się izolatory elektroenergetyczne), co może prowadzić do uszkodzenia izolatora i opadnięcia przewodów na uziemione elementy konstrukcyjne. W konsekwencji może powstać zwarcie doziemne lub międzyfazowe, stwarzając dodatkowe zagrożenie porażeniowe dla ratowników

ROZDZIAŁ 4: Charakterystyka techniczna instalacji elektroenergetycznych i PV

Znajomość budowy i właściwości instalacji elektroenergetycznych oraz fotowoltaicznych jest kluczowa dla oceny zagrożeń porażeniowych podczas działań ratowniczo-gaśniczych. Każda instalacja pozostająca pod napięciem stanowi potencjalne źródło związanych z ryzykiem



porażania prądem elektrycznym. Rozumienie mechanizmów powstawania tych zagrożeń pozwala na przewidywanie ryzyka i dobór właściwych środków ochrony przeciwporażeniowej.

4.1. Niskie napięcie (nn – do 1 kV)

Do instalacji niskiego napięcia zalicza się przede wszystkim typowe sieci domowe o napięciu 230/400 V. Ze względu na to, że nominalna wartość napięcia w tych sieciach jest stosunkowo niska, główne zagrożenie elektryczne wynika z bezpośredniego kontaktu z elementami przewodzącymi. W trakcie pożaru, wskutek zwarć lub uszkodzeń izolacji, napięcie może pojawić się nie tylko na elementach normalnie znajdujących się pod napięciem (np. przewody instalacji elektrycznej), lecz także na obudowach urządzeń (np. na skutek przerwania połączeń uziemiających w wyniku przepalenia połączeń ochronnych) lub na sąsiednich elementach mających kontakt z uszkodzonym urządzeniem. Obecność wilgoci, produktów spalania czy pyłów przewodzących zwiększa prawdopodobieństwo przepływu prądu, a zwarcia doziemne i międzyfazowe mogą powstawać nawet w miejscach, które w normalnych warunkach pracy nie miały miejsca. W takich sytuacjach osoby przebywające w pobliżu instalacji mogą zostać narażone na porażenie zarówno poprzez bezpośredni kontakt z elementami przewodzącymi, jak i przez prądy upływu przepływające po powierzchni podłoża lub innych przewodzących częściach instalacji.

4.2. Średnie i Wysokie Napięcie (SN i WN)

Do sieci średniego napięcia przyjęto zaliczać instalacje o napięciu w zakresie od 1 kV do 110 kV. Sieci te są bardzo rozpowszechnione, ponieważ stanowią podstawowy element dystrybucji energii elektrycznej pomiędzy stacjami transformatorowymi wysokiego napięcia a odbiorcami końcowymi, zarówno w zabudowie mieszkaniowej, przemysłowej, jak i usługowej. Sieci średniego napięcia tworzą rozległą i gęstą infrastrukturę, obejmującą linie napowietrzne, stacje transformatorowe oraz rozdzielnie, co sprawia, że kontakt z nimi podczas zdarzeń pożarowych stanowi częste i istotne zagrożenie dla personelu ratowniczego.

Sieci wysokiego napięcia obejmują instalacje o napięciu powyżej 110 kV, co w polskich warunkach oznacza głównie sieci 110 kV, 220 kV i 400 kV. W przeciwieństwie do sieci średniego napięcia, sieci WN nie są tak powszechnie spotykane i zazwyczaj występują w wyznaczonych korytarzach przesyłowych oraz na terenach stacji elektroenergetycznych, które są wyposażone w systemy gaśnicze i zabezpieczenia przeciwpożarowe. Mimo że pożary w takich obiektach zdarzają się relatywnie rzadko, konieczne jest zachowanie pełnej świadomości ryzyka podczas prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych. Obecność wysokiego napięcia i relatywnie wysoka moc urządzeń pracujących w tych sieciach sprawia jakiegokolwiek oddziaływanie prądu elektrycznego niesie ze sobą bardzo wysokie ryzyko utraty zdrowia lub życia.



4.3. Instalacje Fotowoltaiczne (PV)

Instalacje fotowoltaiczne (PV) stanowią specyficzną grupę źródeł energii elektrycznej, w której głównym zagrożeniem podczas pożaru jest obecność stałego napięcia stałego (DC) w przewodach, które pozostaje aktywne nawet po odłączeniu instalacji od sieci. Napięcie w instalacjach PV może sięgać kilkuset woltów w pojedynczych łańcuchach modułów, a w przypadku większych farm fotowoltaicznych nawet kilku tysięcy woltów. Charakterystyczne dla systemów PV jest to, że poszczególne moduły i przewody wytwarzają energię elektryczną niezależnie od stanu całego układu, co oznacza, że przewody DC i szyny mogą być stale pod napięciem w trakcie pożaru. Dodatkowo, moduły PV montowane są na dachach lub konstrukcjach wsporczych, co wprowadza konieczność pracy w strefach trudnodostępnych i zwiększa ryzyko bezpośredniego kontaktu z przewodami lub elementami przewodzącymi.

W trakcie pożaru przewody łączące poszczególne moduły jak i same moduły mogą ulegać uszkodzeniu mechanicznemu lub termicznemu, co w połączeniu z wilgocią, dymem lub środkami gaśniczymi może prowadzić do zapłonu łuku elektrycznego lub przepływu prądów upływu. Łuk elektryczny powstający w sieciach prądu stałego jest szczególnie niebezpieczny. W przeciwieństwie do łuku AC, jest on trudniejszy do przerwania, a jego gaśnięcie nie następuje samoistnie przy tzw. „przejściu przez zero”. Oznacza zwiększone ryzyko przedłużonego oddziaływania prądu na elementy instalacji a także osoby znajdujące się w pobliżu miejsca wystąpienia zwarcia. W przypadku instalacji fotowoltaicznych należy zwrócić szczególną uwagę na fakt, że nawet użycie systemów awaryjnych takich jak wyłączniki oraz uziemiacze nie eliminuje całkowicie zagrożenia związanego z porażeniem prądem elektrycznym. Osoby prowadzące prace w obrębie instalacji PV, które uległy uszkodzeniu muszą zachowywać szczególną ostrożność oraz ciągle zachowywać świadomości, że wszystkie elementy instalacji w obszarze pożaru mogą stanowić potencjalne źródło napięcia.

ROZDZIAŁ 5: Badania laboratoryjne urządzeń gaśniczych

Badania laboratoryjne stanowią kluczowy element oceny zagrożeń elektrycznych związanych z gaszeniem urządzeń elektroenergetycznych pozostających pod napięciem. W warunkach laboratoryjnych możliwe jest prowadzenie badań obejmujących nie tylko wyznaczenie wartości prądów upływu i napięć probierczych prowadzących do inicjacji wyładowań, lecz także analizę wpływu takich czynników, jak odległość od elementów pod napięciem, rodzaj i sposób podawania środka gaśniczego oraz konfiguracja układu na poziom ryzyka porażeniowego. Wyniki takich badań pozwalają na formułowanie zaleceń dotyczących minimalnych odległości roboczych oraz identyfikację czynników, które w warunkach rzeczywistych mogą prowadzić do gwałtownego pogorszenia bezpieczeństwa.

5.1. Analiza prądów upływu

Badania laboratoryjne prądów upływu przeprowadzone są zarówno dla napięcia przemiennego, jak i stałego. Pomiary realizowane przy napięciu AC odnoszą się do



klasycznych instalacji elektroenergetycznych, natomiast badania dla napięcia DC wykonuje się z myślą o specyfice instalacji fotowoltaicznych. Takie podejście umożliwia ocenę ryzyka związanego z prowadzeniem działań gaśniczych w szerokim zakresie rzeczywistych konfiguracji instalacyjnych.

Prądem upływu w kontekście badań urządzeń gaśniczych nazywa się niekontrolowany przepływ prądu przez rozpylony środek gaśniczy, który może utworzyć przewodzącą ścieżkę pomiędzy elementem pod napięciem a osobą prowadzącą akcję gaśniczą. Zjawisko to wynika ze zwiększonej przewodności elektrycznej powietrza spowodowanej obecnością cząstek środka gaśniczego, aerozolu wodnego, piany lub produktów spalania. W określonych warunkach może to prowadzić do przekroczenia wartości prądu uznawanych za bezpieczne dla człowieka, skutkując odczuwalnym porażeniem elektrycznym, a w skrajnych przypadkach utratą kontroli nad mięśniami, zaburzeniami rytmu serca lub zagrożeniem życia.

Charakter prądu upływu zależy w istotnym stopniu od rodzaju napięcia zasilającego. W przypadku napięcia przemiennego prąd upływu składa się ze składowej czynnej, związanej z rezystancją ośrodka przewodzącego, oraz składowej biernej, obejmującej komponenty pojemnościowe i indukcyjne. W instalacjach o napięciach rzędu kilkudziesięciu kilowoltów dominujący udział ma prąd pojemnościowy, wynikający z obecności rozległych powierzchni przewodzących oddzielonych warstwami dielektryka oraz z geometrycznych własności układu pomiarowego. Pomiar prądu upływu w takich warunkach wymaga stosowania precyzyjnych układów pomiarowych oraz uwzględnienia przesunięć fazowych pomiędzy napięciem a prądem.

W przypadku pomiarów wykonywanych przy napięciu stałym prąd upływu ma odmienny charakter. Początkowo składa się z prądu pojemnościowego, wynikającego z ładowania dielektryka oraz prądu absorpcyjnego, który maleje w czasie w wyniku procesów polaryzacji materiału izolacyjnego. Po dłuższym czasie ustala się składowa rezystancyjna, stanowiąca główną podstawę oceny wyników badań. Pomiar w tym przypadku odbywa się metodą narastania napięcia, analizującą zależność prądu od napięcia w czasie lub metodą czasową, monitorującą stabilizację wartości prądu.

W badaniach laboratoryjnych analizowano prądy upływu występujące podczas stosowania różnych urządzeń i środków gaśniczych, obejmujących rozwiązania powszechnie stosowane w praktyce. Uwzględniono środki wodne, pianowe, mgłowe oraz CO₂, co pozwoliło na ocenę wpływu właściwości fizycznych i elektrycznych medium gaśniczego na poziom rejestrowanych prądów. Szczególną uwagę zwrócono na środki zawierające wodę jako nośnik, których przewodność elektryczna może znacząco zmieniać się w zależności od składu chemicznego, stopnia zanieczyszczenia oraz sposobu rozpylania.

Dodatkowo badania prowadzono dla wody o szerokim zakresie przewodności elektrycznej, co umożliwiło ocenę wpływu tego parametru na wartość prądu upływu. Uzyskane wyniki wykazały, że zarówno dla napięć AC, jak i DC, rejestrowane prądy upływu dla badanych



konfiguracji mieściły się wyraźnie poniżej wartości uznawanych za niebezpieczne dla człowieka (0,5 mA). Zauważono jednocześnie, że w przypadku napięcia przemiennego wartości prądów były zazwyczaj nieco wyższe niż dla napięcia stałego, co można wiązać z obecnością składowej pojemnościowej charakterystycznej dla układów AC.

Analiza wyników wskazuje na wyraźną zależność pomiędzy charakterem środka gaśniczego a poziomem prądu upływu. Najniższe wartości obserwowano dla CO₂, natomiast wyższe dla środków wodnych i pianowych, co jest konsekwencją ich właściwości przewodzących. Należy jednak podkreślić, że badania miały charakter laboratoryjny i były prowadzone w warunkach kontrolowanych. W rzeczywistych warunkach pożarowych dodatkowe czynniki, takie jak uszkodzenia izolacji, obecność zwęglonych materiałów czy nieregularne rozpręty prądu, mogą prowadzić do odmiennych wartości prądów upływu. Z tego względu uzyskane wyniki należy traktować jako istotny element oceny ryzyka, lecz nie jako jednoznaczne potwierdzenie bezpieczeństwa prowadzenia działań gaśniczych na urządzeniach znajdujących się pod napięciem.

5.2. Wytyczne dotyczące bezpiecznych odległości od elementów instalacji pod napięciem

Jednym z istotnych problemów związanych z prowadzeniem działań gaśniczych w otoczeniu instalacji elektroenergetycznych pod napięciem jest brak jednolitych i jednoznacznych procedur określających minimalne bezpieczne odległości, jakie powinna zachować osoba obsługująca sprzęt gaśniczy. Problem ten wynika zarówno z ograniczonego zakresu obowiązujących norm, jak i z braku spójnego systemu szkoleń obejmujących zagrożenia elektroenergetyczne w warunkach pożaru. Konsekwencją tego stanu rzeczy są znaczne rozbieżności w praktyce operacyjnej.

Potwierdzają to wyniki ankiet przeprowadzonych w 2023 roku wśród funkcjonariuszy Straży Pożarnej, dotyczących przyjmowanej minimalnej odległości prowadzenia działań gaśniczych w pobliżu elementów instalacji elektrycznych pod napięciem. Uzyskane odpowiedzi wskazują na bardzo duże zróżnicowanie stosowanych wartości: odległość 1 m wskazało 56% ankietowanych, 5 m – 31%, 10 m – 10%, natomiast wartości 2 m i 4 m pojawiały się sporadycznie (odpowiednio 2% i 1%). Tak duży rozrzut odpowiedzi jednoznacznie pokazuje brak wspólnego punktu odniesienia oraz trudność w ocenie rzeczywistego poziomu zagrożenia w warunkach akcji gaśniczej.

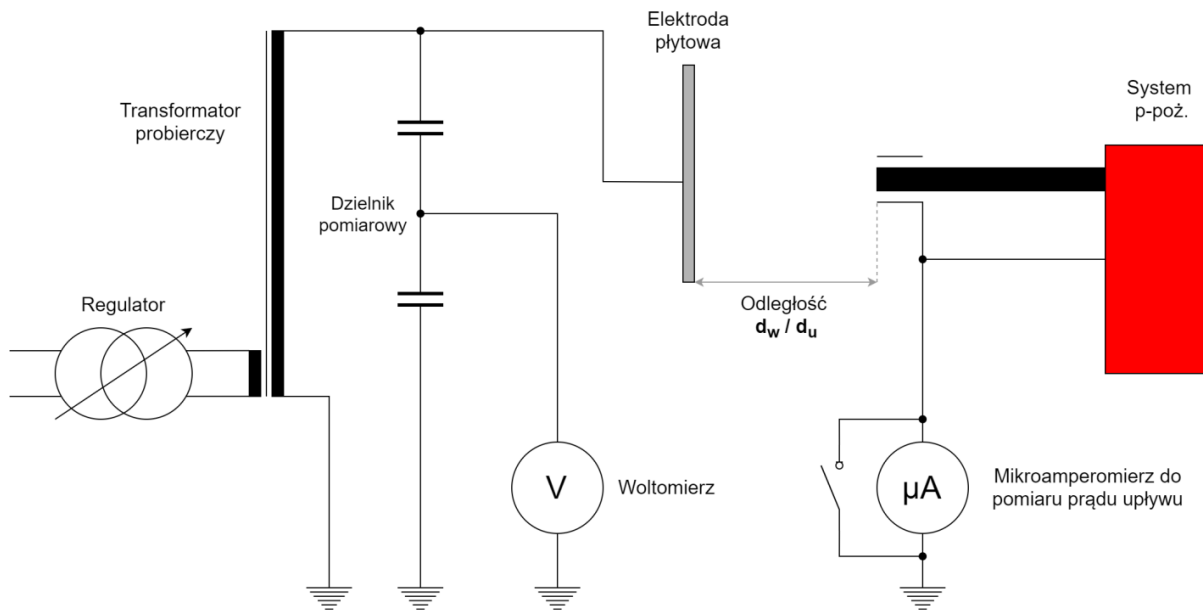
W przypadku instalacji niskiego napięcia sytuacja ta jest częściowo uporządkowana przez zapisy normy PN-EN 3-7+A1:2008, która określa wymagania dotyczące badań gaśnic i systemów gaśniczych oraz wskazuje minimalną odległość bezpieczną na poziomie 1 m. Dla tego zakresu napięć można więc mówić o relatywnie dobrze zdefiniowanych zasadach, choć i tutaj warunki pożarowe mogą istotnie wpływać na poziom zagrożenia porażeniowego. Znacznie większe problemy pojawiają się jednak w odniesieniu do instalacji elektroenergetycznych o napięciach przekraczających 1 kV AC, dla których obowiązujące normy nie określają procedur opisujących sposób badań urządzeń gaśniczych.



Dzięki pracom badawczym prowadzonym na przestrzeni ponad 20 lat w Laboratorium Wysokich Napięć Instytutu Energetyki – Państwowego Instytutu Badawczego opracowano metody badań oraz zalecenia dotyczące gaszenia pożarów instalacji elektrycznych średnich oraz wysokich napięć.

Opracowane metody badań opierają się na metodach opisanych w normie PN-EN 3-7+A1:2008, uwzględniając dodatkowe wymagania, związane ze specyficznymi warunkami pracy w otoczeniu instalacji o napięciu znamionowym przekraczającym 1 kV AC. Badania zwykle dzielą się na dwa etapy.

Pierwszy etap to badanie wytrzymałości elektrycznej na przebicie. Badanie to należy przeprowadzać w układzie jak na rys. 3, przy odległości d_w . Transformator probierczy powinien posiadać parametry umożliwiające wytworzenie odpowiedniego napięcia probierczego (Tab 1, kol. 2) oraz prąd wtórny (po stronie wysokiego napięcia) nie mniejszy niż 0,5 A. Pozostałe parametry obwodu probierczego są zgodne z Załącznikiem C normy PN-EN 3-7+A1:2008, przy czym istotne jest umieszczenie płyty probierczej na właściwej wysokości, aby zminimalizować prawdopodobieństwo wystąpienia zwarcia między płytą a punktem uziemiającym. Do prób wytrzymałości elektrycznej na przebicie należy zewrzeć bądź usunąć z obwodu mikroamperomierz w taki sposób, by system p-poż., a w szczególności jego prądownica, był bezpośrednio uziemiony. Zapewnia to ochronę urządzenia pomiarowego, które w przypadku bezpośredniego wyładowania mogłoby ulec uszkodzeniu. W przypadku gdy prądownica urządzenia gaśniczego jest wykonana z materiału izolacyjnego, należy umieścić ją w możliwie ściśle otaczającej ją elektrodzie, np. w postaci krótkiej metalowej tulei. Próba polega na przyłożeniu napięcia probierczego U_d pomiędzy elektrodę płytową oraz prądownicę systemu gaśniczego, oraz na uruchomieniu systemu gaśniczego. Napięcie probiercze U_d oraz odległość między elektrodami d_w należy dobrać w zależności od znamionowego napięcia sieci lub najwyższego napięcia urządzenia na podstawie Tab. 1, kol. 2, 3 i 4. Próba powinna trwać do momentu całkowitego opróżnienia systemu gaśniczego, lub – w przypadku systemów o ciągłym zasilaniu lub zasilanych z dużych zbiorników – przez co najmniej 2 minuty. W trakcie próby nie może wystąpić przebicie chmury rozpylonego środka gaśniczego.



Rys. 3 Schemat układu probierczego wykorzystywanego w trakcie badań urządzeń gaśniczych

Drugim etapem badań jest pomiar prądu upływu w chmurze rozpylonego środka gaśniczego. Badania te należy przeprowadzać w układzie jak na rys. 3 z mikroamperomierzem i odległością d_u . Pomiaru prądu upływu zamiast mikroamperomierzem można dokonać metodą techniczną, mierząc woltomierzem spadek napięcia na rezystorze o wartości $R = 10 \text{ k}\Omega$ wpiętym szeregowo między systemem p-poż. i ziemię. W przypadku pomiaru prądu upływu należy pamiętać o tym, aby połączenie między końcówką prądownicy a mikroamperomierzem (bocznikiem pomiarowym) było wykonane przy wykorzystaniu ekranowanych przewodów pomiarowych, gdyż w przeciwnym wypadku mierzona wartość prądu jest obciążona dużym błędem, wynikającym ze sprzężeń pojemnościowych, występujących między przewodami pomiarowymi a elementami układu znajdującymi się na wysokim potencjale. Próba polega na przyłożeniu napięcia probierczego U_d pomiędzy elektrodę płytową a prądownicę systemu gaśniczego oraz na uruchomieniu systemu gaśniczego. Napięcie probiercze U_d oraz odległość między elektrodami d_u należy dobrać w zależności od znamionowego napięcia sieci lub najwyższego napięcia urządzenia na podstawie Tab. 1, kol. 2, 3 i 4. Próba powinna trwać do momentu całkowitego opróżnienia systemu gaśniczego, lub – w przypadku systemów o ciągłym zasilaniu lub zasilanych z dużych zbiorników – przez co najmniej 2 minuty. W trakcie próby wartość zmierzonego prądu upływu nie może przekroczyć 0,5 mA.

Wartości napięć probierczych oraz odległości podane w Tablicach 1 i 2 zostały starannie dobrane, w celu zapewnienia właściwego marginesu bezpieczeństwa. Wytrzymałość elektryczna rzeczywistej przerwy powietrznej o określonej długości jest większa niż przyjęte wartości napięć probierczych. Dodatkowo, odległości przyjęte podczas próby wytrzymałości na przebicie są mniejsze niż dopuszczalne odległości zbliżenia, co minimalizuje prawdopodobieństwo wystąpienia wyładowania zupełnego podczas akcji gaśniczej w przypadku uzyskania pozytywnego wyniku badań.

Tab.1 Wartości napięć probierczych i odległości.

1	2	3	4	5
Napięcie znamionowe sieci U_n^*	Najwyższe napięcie urządzeń U_m^*	Napięcie probiercze U_d	Odległość d_w przy badaniu wytrzymałości elektrycznej na przebicie	Odległość d_u przy pomiarze prądu upływu
kV	kV	kV	m	m
3	3,6	12	0,75	1,12
6	7,2	23	0,75	1,12
10	12	32	0,77	1,15
15	17,5	45	0,77	1,16
20	24	60	0,81	1,22
30	36	80	0,88	1,32
110	123	265	1,33	2,00
220	245	530	2,00	3,00
400	420	610	2,67	4,00

* W przypadku wartości napięcia spoza powyższego szeregu należy przyjąć najbliższą wyższą wartość napięcia z kolumny 1 lub 2.

Tab. 2 Wartości maksymalnych dopuszczalnych odległości zbliżenia.

1	2	3
Napięcie znamionowe sieci U_n^*	Najwyższe napięcie urządzeń U_m^*	Maksymalna dopuszczalna odległość zbliżenia
kV	kV	m
3	3,6	1,12
6	7,2	1,12
10	12	1,15
15	17,5	1,16
20	24	1,22
30	36	1,32
110	123	2,00
220	245	3,00
400	420	4,00

* W przypadku wartości napięcia spoza powyższego szeregu należy przyjąć najbliższą wyższą wartość napięcia z kolumny 1 lub 2.

5.3. Rola uziemienia w kontekście redukcji zagrożenia związanego z prądami upływu

W kontekście działań gaśniczych prowadzonych w pobliżu urządzeń elektroenergetycznych znajdujących się pod napięciem kluczowe znaczenie ma sposób uziemienia układu zasilającego środek gaśniczy (np. pompy wodnej).



Badania laboratoryjne wskazują, że skutecznie uziemiona pompa sprzyja odprowadzeniu prądu upływu bezpośrednio do ziemi, ograniczając jego przepływ przez elementy trzymane przez operatora, takie jak wąż czy prądownica. W takiej konfiguracji większość prądu zamyka się przez wodę i elementy konstrukcyjne układu zasilania, z pominięciem ciała osoby prowadzącej akcję gaśniczą. W efekcie dochodzi do istotnej redukcji prądu, który mógłby stanowić zagrożenie porażeniowe dla ratownika.

Należy podkreślić, że w przypadku braku skutecznego uziemienia sytuacja ulega zasadniczej zmianie. Strumień wody może wówczas stać się częścią obwodu elektrycznego, w którym ciało operatora pełni rolę alternatywnej drogi rozprężu prądu. Taki scenariusz znacząco zwiększa ryzyko wystąpienia prądu rażeniowego, nawet przy stosunkowo niewielkich wartościach prądu upływu generowanego w strefie gaszenia.

Z punktu widzenia praktyki operacyjnej zasadne wydaje się rozważenie działań mających na celu poprawę warunków uziemienia całego układu gaśniczego. O ile pozwalają na to warunki terenowe i organizacyjne, korzystne może być dążenie do uziemienia wozu strażackiego, pompy lub innych metalowych elementów układu zasilania wodą. Takie rozwiązanie, choć nie zawsze łatwe do zrealizowania w warunkach dynamicznej akcji gaśniczej, może znacząco ograniczyć wartość prądu upływu przepływającego przez operatora, a tym samym zmniejszyć ryzyko porażenia prądem elektrycznym.

Należy jednak zaznaczyć, że skuteczność uziemienia zależy od wielu czynników, w tym od rezystancji uziomu, rodzaju podłoża oraz rzeczywistej konfiguracji układu elektrycznego w miejscu pożaru. Z tego względu uziemienie nie powinno być traktowane jako jedyny środek ochrony, lecz jako istotny element uzupełniający inne działania organizacyjne i techniczne, takie jak zachowanie bezpiecznych odległości, stosowanie środków ochrony indywidualnej oraz (w miarę możliwości) wcześniejsze odłączenie zasilania.

ROZDZIAŁ 6: Bezpieczeństwo i Higiena Pracy – Środki Ochrony Indywidualnej (ŚOI)

Środki Ochrony Indywidualnej (ŚOI) odgrywają kluczową rolę w ograniczaniu ryzyka porażenia prądem elektrycznym podczas prowadzenia działań gaśniczych w otoczeniu urządzeń elektroenergetycznych. Wyniki ankiety przeprowadzonej w 2023 roku wśród jednostek służb pożarniczych pokazały, że blisko 92% jednostek dysponuje dodatkowym sprzętem chroniącym przed porażeniem, co świadczy o dużej świadomości zagrożeń w środowisku operacyjnym. Najczęściej wymieniane były rękawice dielektryczne, buty elektroizolacyjne oraz bosaki i drążki izolacyjne, które umożliwiają bezpieczne wykonywanie działań w pobliżu elementów pod napięciem. Wysoki odsetek wyposażenia w ŚOI wskazuje, że strażacy zdają sobie sprawę z istotności ochrony indywidualnej, a stosowanie odpowiedniego sprzętu jest podstawowym czynnikiem minimalizującym ryzyko porażenia. Jednak samo posiadanie sprzętu nie wystarczy – równie ważne jest jego prawidłowe stosowanie, utrzymanie w dobrym stanie technicznym oraz świadomość ograniczeń poszczególnych środków ochrony.



6.1. Podstawowe wyposażenie ochronne i certyfikacja

Podstawowe środki ochrony indywidualnej obejmują przede wszystkim rękawice, obuwie oraz narzędzia izolacyjne, które wcześniej poddano podstawowym badaniom laboratoryjnym. Sprzęt powinien posiadać odpowiednie certyfikaty zgodności oraz być testowany według norm i wytycznych producenta (WTO), co gwarantuje deklarowaną wytrzymałość elektryczną oraz niezawodność w warunkach operacyjnych. Przed dopuszczeniem do użytkowania należy sprawdzić dokumentację badań, zarówno czasookresy sprawdzeń, jak i parametry techniczne sprzętu. Ważne jest, aby sprzęt wykorzystywany podczas działań ratowniczych nie tylko posiadał wymagane certyfikaty, ale również by był zgodny z typem zagrożeń, jakie mogą wystąpić w danej akcji gaśniczej. Sprzęt źle dobrany lub niewłaściwie oznakowany może wprowadzać fałszywe poczucie bezpieczeństwa i prowadzić do narażenia ratowników na niebezpieczeństwo.

6.2. Specjalistyczna ochrona dielektryczna

Jednym z najważniejszych przeciwporażeniowych środków ochrony osobistej są rękawice dielektryczne. Wykonane są z wysokiej jakości gumy izolacyjnej, często z warstwami o różnej gęstości, co zapewnia równoczesną ochronę przed porażeniem i wygodę pracy manualnej. Grubość i rodzaj materiału determinują maksymalne napięcie, przy którym rękawice mogą być stosowane bez ryzyka przebicia. Rękawice dielektryczne pozwalają na pewne chwyty przewodów, obsługę przycisków i manipulatorów w strefie zagrożenia, jednocześnie chroniąc przed przepływem prądu przez ciało w przypadku przypadkowego kontaktu z przewodzącym elementem pod napięciem. Ich skuteczność zależy od stanu materiału, dlatego regularne przeglądy i badania laboratoryjne są kluczowe w celu zapewnienia bezpieczeństwa użytkowników.

Buty elektroizolacyjne zabezpieczają dolną część ciała, w szczególności stopy i kostki, przed przepływem prądu w przypadku kontaktu z przewodzącym podłożem lub rozpryskami wody mogącej mieć kontakt z elementami przewodzącymi. Wysokość cholewek i rodzaj materiału izolacyjnego pozwalają na dostosowanie obuwia do różnych warunków pracy, zarówno w akcji w budynkach, jak i w terenie otwartym. Buty elektroizolacyjne często posiadają podeszwy o wzmocnionej izolacji oraz odporne na ścieranie, co zwiększa bezpieczeństwo i trwałość użytkowania.

Drażki i bosaki izolacyjne umożliwiają wykonywanie manipulacji na elementach pod napięciem z bezpiecznej odległości lub są stosowane w celu ewakuacji osób, które uległy porażeniu prądem elektrycznym. Ich zastosowanie minimalizuje bezpośredni kontakt operatora z przewodzącymi częściami instalacji, pozwalając na przesuwanie, podnoszenie lub odsuwanie przewodów i elementów urządzeń. Drażki mogą mieć różną długość i być wykonane z różnych materiałów izolacyjnych, a ich skuteczność zależy od zachowania minimalnej odległości od źródła napięcia oraz od stanu powierzchni izolacyjnej.



Przyłbice i osłony twarzy chronią strażaka przed skutkami oddziaływania łuku elektrycznego, odpryskami stopionych elementów oraz gorącymi gazami powstającymi podczas pożaru. W połączeniu z rękawicami i butami tworzą kompleksową barierę ochronną, zwiększając bezpieczeństwo w sytuacjach, gdy nie można całkowicie wyłączyć napięcia w instalacji. Przyłbice mają różne poziomy wytrzymałości na przebicie, odporność na temperaturę i odporność mechaniczną, co pozwala na ich stosowanie w różnych scenariuszach.

Ważnym aspektem skuteczności ŚOI jest ich właściwe dopasowanie do użytkownika i możliwość swobodnego poruszania się podczas akcji. Sprzęt musi być tak dobrany, aby nie ograniczać manualności, precyzji ruchów i widoczności, ponieważ każdy kompromis w zakresie komfortu może prowadzić do niebezpiecznych sytuacji.

Łączne stosowanie rękawic, butów, drążków, bosaków i przyłbic pozwala na stworzenie wielowarstwowej ochrony, w której każdy element uzupełnia działanie pozostałych. Skuteczność ochrony zależy od znajomości zakresu napięć, dla których sprzęt jest przeznaczony, jego stanu technicznego oraz prawidłowej procedury użytkowania. W połączeniu z innymi procedurami bezpieczeństwa, takimi jak zachowanie bezpiecznych odległości czy kontrola prądów upływu, ŚOI znacząco redukują ryzyko porażenia prądem elektrycznym podczas prowadzenia akcji gaśniczej w otoczeniu urządzeń elektroenergetycznych.

6.3. Konserwacja i badania okresowe

Niezwykle istotnym aspektem skuteczności ŚOI jest regularna konserwacja i okresowe badania laboratoryjne. Sprzęt powinien być badany w uznanych i najlepiej akredytowanych laboratoriach, które są w stanie potwierdzić zgodność z odpowiednimi normami/wymaganiami oraz deklarowane parametry elektryczne. Szczególną uwagę należy zwracać na rękawice i obuwie wykonane z gumy, które w wyniku eksploatacji ulegają zużyciu (np. pęknięcia lub rozwarstwienia materiału). Brak kontroli stanu technicznego, zabrudzenia lub pęknięcia mogą w znacznym stopniu obniżyć skuteczność sprzętu i zwiększyć ryzyko porażenia. Ważna jest również czytelność oznaczeń. Jeśli nie można jednoznacznie określić daty ważności badań oraz parametrów eksploatacyjnych (np. klasa), taki sprzęt nie powinien być wykorzystywany. Regularne przeglądy i właściwe przechowywanie ŚOI pozwalają utrzymać jego właściwości ochronne i zapewniają, że w przypadku konieczności interwencji sprzęt faktycznie ograniczy możliwość porażenia prądem elektrycznym.

Podsumowując, skuteczna ochrona przeciwporażeniowa podczas działań ratowniczych w środowisku elektroenergetycznym nie opiera się wyłącznie na stosowaniu ŚOI, lecz również na ich prawidłowej konserwacji, znajomości parametrów i świadomym doborze do rodzaju zagrożenia. Badania i certyfikacja sprzętu w połączeniu z regularnym monitorowaniem jego stanu zapewniają strażakom realne wsparcie w minimalizacji ryzyka porażenia, a wysoka świadomość i wyposażenie w ŚOI, wykazane w ankietach, stanowią dobrą podstawę dla dalszego zwiększania bezpieczeństwa operacyjnego.



PODSUMOWANIE

Opracowanie to stanowi wsparcie merytoryczne, mające na celu ułatwienie procesów decyzyjnych oraz wspomaganie tworzenia nowych, bezpieczniejszych procedur operacyjnych w straży pożarnej. Należy jednak podkreślić, że nie jest to gotowy zbiór instrukcji ani sztywne wytyczne. Jego rola ma charakter doradczy i uzupełniający wobec obowiązujących przepisów, dostarczając pogłębionej wiedzy na temat zagrożeń związanych z gaszeniem instalacji pod napięciem, w tym systemów fotowoltaicznych oraz sieci średniego i wysokiego napięcia.

Dokument kładzie nacisk na traktowanie każdej instalacji jako będącej, a ryzyka takie jak prąd upływu, łuk elektryczny czy napięcia krokowe wymagają indywidualnej oceny w zależności od zastosowanego środka gaśniczego. Autorzy podkreślają, że wybór między różnymi rodzajami środków gaśniczych wiąże się z różnymi konsekwencjami dla bezpieczeństwa ratowników i powinien być kluczowym czynnikiem przy projektowaniu własnych standardów działania. Szczególną uwagę należy zwrócić na instalacje fotowoltaiczne, które generują niebezpieczne napięcie stałe (DC) przez cały czas ekspozycji na światło, co wymaga specyficznego podejścia do stosowania środków ochrony indywidualnej.

Celem opracowania jest dostarczenie bazy teoretycznej, wspierającej formację ratownicze w lepszym zrozumieniu fizyki zjawisk towarzyszących pożarom urządzeń elektrycznych, umożliwiającej wypracowanie własnych, skutecznych metod minimalizacji ryzyka porażenia w trudnych warunkach polowych.

Numer projektu: PROJEKT NR III PN.11, UMOWA Nr PP-25/2023/PW-PN zawarta w dniu 6.10.2023 r.

Okres realizacji: 2023-2025

Opracowano na podstawie wyników programu wieloletniego „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy – VI etap, okres realizacji: lata 2023–2025, finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy.