Elektro.info.pl



# Poradnik

## OCHRONA ODGROMOWA I PRZECIWPRZEPIĘCIOWA

**Projekt instalacji piorunochronnej generatora przydomowej instalacji PV**

**Ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa systemów fotowoltaicznych**

**Problemy z przewodami o izolacji wysokonapięciowej stosowanymi w ochronie odgromowej**

# Redakcja

**Adres redakcji**
ul. Karczewska 18, 04-112 Warszawa
tel. 22 810 65 61
faks 22 810 27 42
redakcja@elektro.info.pl
www.elektro.info.pl

elektro.info.pl

**Reklama:** Karolina Rosa, krosa@medium.media.pl,
Hanna Witkowska, hwitkowska@medium.media.pl,
Monika Piekut, mpiekut@medium.media.pl

**Redakcja:** Anna Kuziemska, akuziemska@elektro.info.pl, Agnieszka Roszkowska

MEDIUM GRUPA

**Grupa MEDIUM**
Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością Sp.K.
ul. Karczewska 18, 04-112 Warszawa
tel. 22 810 21 24, faks 22 810 27 42
ISBN 978-83-64094-10-1

# Spis treści

Uproszczony projekt instalacji piorunochronnej generatora przydomowej instalacji PV . . . . . 4

Ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa systemów fotowoltaicznych . . . . . 8

Złącza odgromowe – problemy, zagrożenia i rzeczywistość dnia codziennego. . . . . 14

Instalowanie uniwersalnych ograniczników przepięć w obwodach dystrybucji zasilania, szafach automatyki jak i innych. . . . . 18

Ochrona odgromowa dachów płaskich . . . . . 20

Ochrona przed przepięciami kamer IP i sieci Ethernet . . . . . 24

Jak wykonać instalację przeciwprzepięciową, aby ubezpieczyciel zapłacił za ewentualne szkody? . . . . . 30

Problemy z przewodami o izolacji wysokonapięciowej stosowanymi w ochronie odgromowej. . . . . 34

Instalowanie uniwersalnych ograniczników przepięć w obwodach dystrybucji zasilania, które chronią też przed częściowymi prądami piorunowymi . . . . . 40

Zagrożenie pożarowe stacji ładowania samochodów elektrycznych – ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa . . 42

Wpływ sposobu przyłączenia ogranicznika przepięć na rzeczywisty poziom ochrony w instalacjach zasilających niskiego napięcia . . . . . 46

Zjawiska fizyczne zachodzące w uziemieniu podczas odprowadzania fali prądowej . . . . . 52

Ochrona odgromowa dachów z materiałów łatwo zapalnych . . . . . 56

Dlaczego należy chronić instalacje fotowoltaiczne od przepięć – zagrożenie piorunowe. . . . . 60

Katalog firm . . . . . .66



# Partnerzy publikacji

elektro.info

PHOENIX CONTACT
INSPIRING INNOVATIONS

MERSEN

RST

ETI

JEAN MÜLLER
THE NAME FOR SAFETY

Ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa

mgr inż. Julian Wiatr

# Uproszczony projekt instalacji piorunochronnej generatora przydomowej instalacji PV

Instalacje fotowoltaiczne stają się instalacjami powszechnie występującymi w różnych obiektach budowlanych. Szereg osób decydujących się na ich budowę nie zdaje sobie sprawy z kosztów takiej inwestycji oraz problemów eksploatacyjnych. W artykule prezentujemy przykładowy projekt instalacji piorunochronnej generatora PV zlokalizowanego poza budynkiem na wolnym terenie.

## Podstawa opracowania

1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (tekst jednolity: Dz.U. z 2019 roku, poz. 1065 z późniejszymi zmianami).
2. Projekt architektoniczno-budowlany wraz z projektem zagospodarowania terenu.
3. Projekt instalacji generatora fotowoltaicznego.
4. Wieloarkuszowa norma PN-EN 62305 *Ochrona odgromowa*.
5. J. Wiatr, M. Orzechowski, Poradnik projektanta elektryka. Podstawy zasilania budynków mieszkalnych, użyteczności publicznej i innych obiektów nieprzemysłowych w energię elektryczną, Grupa MEDIUM 2021, wydanie VI.
6. Uzgodnienia z inwestorem.

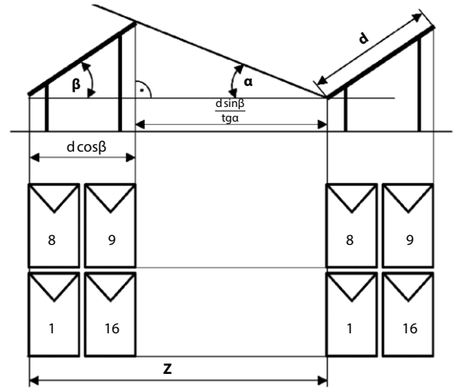
## Stan istniejący

Budynek jest zasilany z sieci elektroenergetycznej nn 3×230/400 V. W linii ogrodzenia zainstalowana jest szafka złączowo-licznikowa, wyposażona w licznik dwukierunkowy w układzie bezpośrednim. Do budynku energia elektryczna jest doprowadzona kablem YKYżo 5×10, wprowadzonym do Rozdzielnicy Głównej Budynku (RGB). Na wolnym terenie obok budynku projektowana jest instalacja generatora PV. Szerokość geograficzna, na której jest położona nieruchomość: Φ = 52°. Rezystywność gruntu zmierzona metodą Wennera: ρ = 300 [Ω·m].

## Stan projektowany

Projektowany generator PV należy chronić od wyładowań atmosferycznych. W tym celu w miejscach wskazanych na **rysunku 2.** należy zainstalować słupy odgromowe o wysokości h = 5 m, stanowiące zwody pionowe instalacji piorunochronnej. Strefa ochronna utworzona przez słupy dla II poziomu ochrony zgodnie z zaleceniami PKOO SEP została przedstawiona na **rysunku 3.**

W miejscach wskazanych na **rysunku 2.**, należy pogrążyć uziomy pionowe Φ16. Górny koniec uziomu na głębokości 1 m poniżej poziomu gruntu. Dolny koniec uziomu na głębokości 7 m poniżej poziomu gruntu. Uziomy pionowe oraz słupy stanowiące zwody pionowe należy połączyć taśmą Fe-Zn 30×4, układaną w guncie na głębokości 1 m poniżej poziomu gruntu. Uziomy pionowe z taśmą Fe-Zn 30×4 należy łączyć przez zgrzewanie termiczne oraz zabezpieczyć przed korozją. Połączenie uziomów poziomych ze słupami tworzącymi siatkę zwodów pionowych należy łączyć za pomocą śrub. Połączenie zabezpieczyć przed korozją.




Rys. 1. Metodyka rozmieszczania stringów paneli PV, gdzie: **d** – wymiar wyznaczony przez konstrukcje nośną paneli PV, β – kąt nachylenia płaszczyzny panelu PV do poziomu gruntu, α – kąt padania promieniowa słonecznego, przy którym nie następuje zacienianie paneli na sąsiednich stringach, obliczany dla najkrótszego dnia w roku, tj. 21 grudnia rys. J. Wiatr

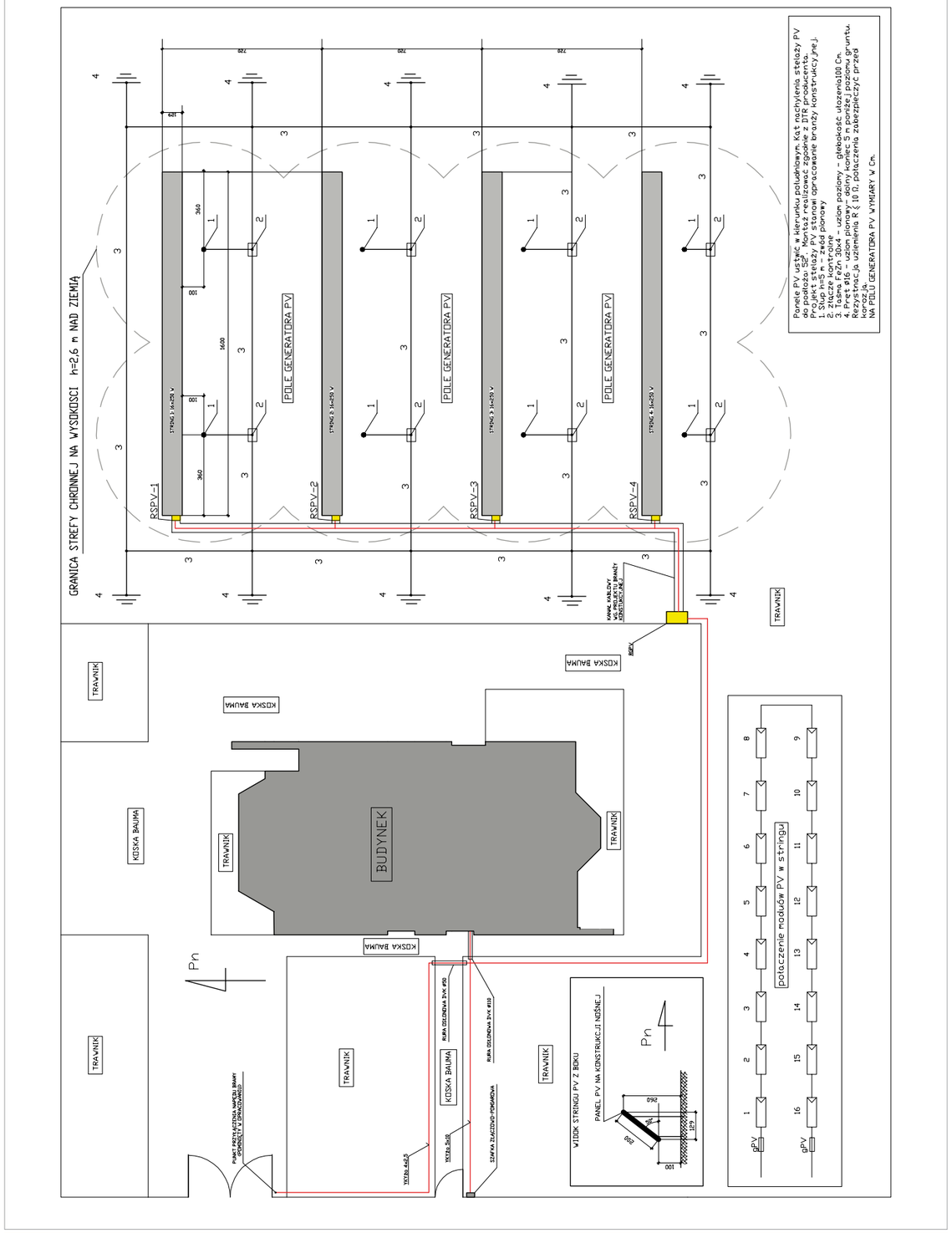
**UWAGA!**

Słupy odgromowe mogą powodować kilkuprocentowe zacienianie paneli fotowoltaicznych. Szacuje się, że strata produkcji energii elektrycznej z tego powodu nie powinna przekroczyć 2% wartości maksymalnej możliwej do wytworzenia energii elektrycznej.

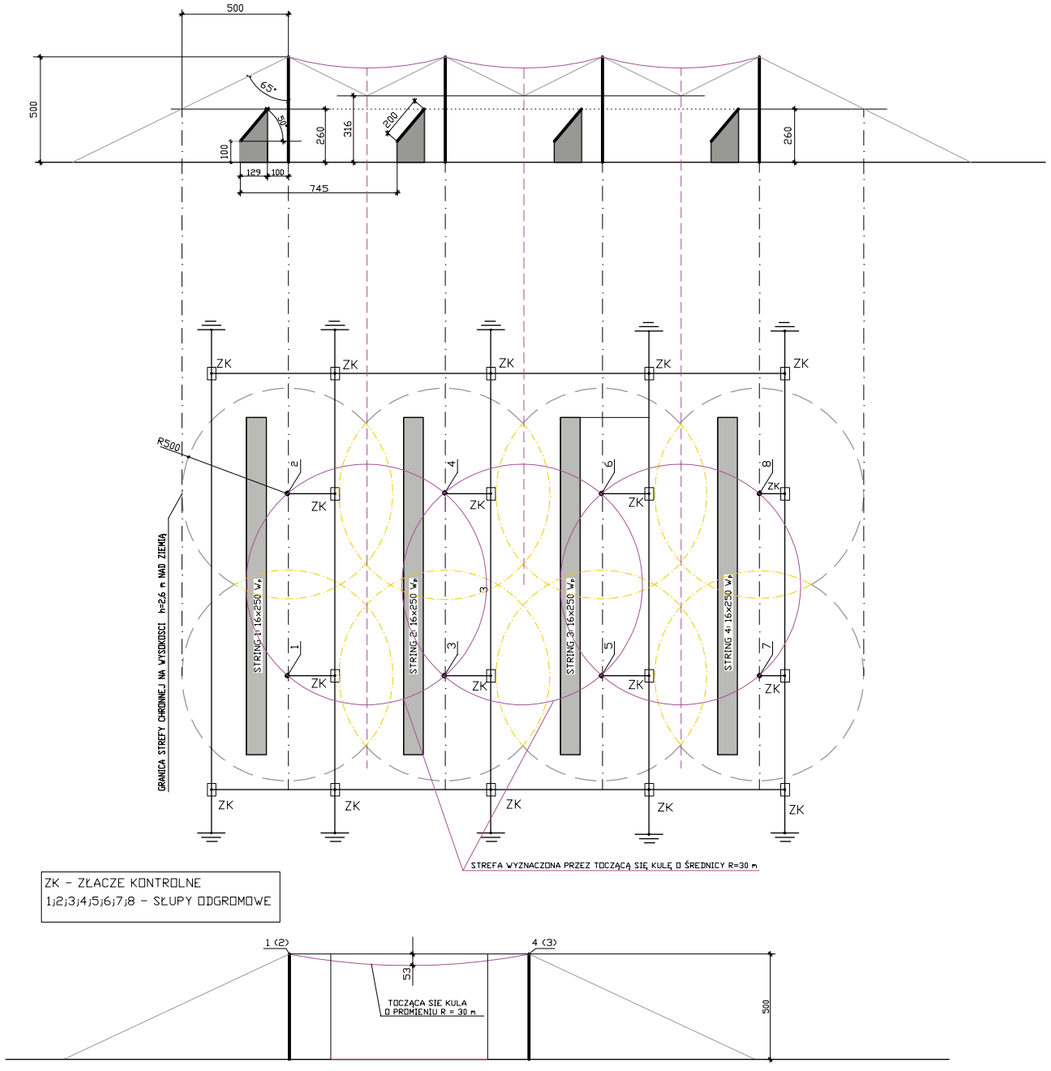
## Obliczenia

W celu zminimalizowania wpływów cienia na pracę generatora PV, należy wyznaczyć wartości określone na **rysunku 1.**

Zgodnie z opisem zawartym w „Poradniku projektanta elektryka" (J. Wiatr, M. Orzechowski, Grupa MEDIUM, wydanie VI, 2021), wymagane odległości pomiędzy gałęziami paneli, przyjęte przez projektanta generatora PV, zostały zachowane i wynoszą:




Rys. 2. Plan zagospodarowania terenu rys. J. Wiatr




Uwaga!
Uziomy pionowe ∅16 L = 6 m, dolny koniec – 7 m poniżej poziomu gruntu, górny koniec – 1 m poniżej poziomu gruntu. Uziom poziomy Fe-Zn 30x4 układać na głębokości 1 m i łączyć z uziomami pionowymi metodą zgrzewania egzotermicznego. Uziom poziomy ze zwodami pionowymi łączyć z wykorzystaniem połączenia śrubowego.

**Rys. 3.** Szkic wyznaczający strefę ochronną pola generatora PV rys. J. Wiatr

$$\alpha = 90° - \phi - 23°27' = 90° - 52° - 23°27' = 14°33'$$

gdzie:
$\phi$ – szerokość geograficzna właściwa dla miejsca instalacji generatora PV, w [°].

Optymalna wartość kąta $\beta$, pochylenia paneli PV, powinna być równa wartości szerokości geograficznej występującej w miejscu instalacji. Dopuszcza się spełnienie warunku $\beta = \phi \pm 15°$. W artykule został przyjęty kąt $\beta = 50°$.

$$Z = d \cdot \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\sin\alpha} = 2 \cdot \frac{\sin(14°33'+50°)}{\sin 14°33'} = 7{,}2\,\text{m}$$

$$d \cdot \cos\beta = 2 \cdot \cos 50° \approx\sim 1{,}29\,\text{m}$$

Wyznaczone długości odcinków d i L uwzględniają zapas niezbędny do instalacji klamer montażowych.

## Obliczenia elementów ochrony odgromowej projektowanego generatora PV

Zgodnie z wytycznymi PKOO SEP, opracowanymi na podstawie wieloarkuszowej normy PN-EN 62305, zostanie przyjęty II poziom ochrony, przy którym kąt ochronny dla zwodów pionowych o wysokości 5 m wynosi 65°. Przyjmując wysokość posadowienia najniżej położonych krawędzi paneli PV nad ziemią $h_{min} = 1$ m, wysokość najwyżej położonych krawędzi wyniesie:

$$h_{max} = 1 + \text{tg}50° \cdot d \cdot \cos 50° \approx\sim 2{,}53\,\text{m} = 2{,}6\,\text{m}$$

Zatem strefę ochrony należy wyznaczyć na wysokości min. 2,6 m nad poziomem gruntu:

$$R = \text{tg}65° \cdot (h_{sl} - h_{maxPV}) = \text{tg}65° \cdot (5 - 2{,}6) \approx 5{,}14\,\text{m} = 5\,\text{m}$$

Obszar ochrony pola wyznaczonego przez wierzchołki słupów odgromowych jest określony przez czaszę kuli o promieniu R = 30 m. Najniższy punkt strefy znajduje się na wysokości h = 4,47 m. Strefę ochrony wyznaczoną przez słupy odgromowe przedstawia **rysunek 3.**

Minimalna odległość paneli PV od konstrukcji nośnej:

$$s_p \geq \frac{k_1}{k_m} \cdot (k_{c1} \cdot h + k_{c2} \cdot x_1 + k_{c3} \cdot x_3) = \frac{0{,}06}{1} \cdot (1 \cdot 5 + 1 \cdot 2 + 0{,}5 \cdot 5) = 0{,}57\,\text{m}$$

Została przyjęta odległość $S_p \geq 1$ m **(rys. 3.)**.

Rezystancja uziemienia:

» pojedynczy uziom pionowy (górny koniec: 1 m poniżej gruntu; dolny koniec: 7 m poniżej poziomu gruntu):

$$R = \frac{0{,}84\rho}{L} = \frac{0{,}84 \cdot 300}{6} = 42\,\Omega$$

» rezystancja wypadkowa, bez uwzględniania uziomów poziomych:

$$R_w = \frac{R}{n} = \frac{42}{10} = 4{,}2\,\Omega < 10\,\Omega$$

## Uwagi końcowe

Po wykonaniu instalacji należy zmierzyć rezystancję uziemienia oraz sprawdzić wszystkie połączenia wykonanej instalacji piorunochronnej.

REKLAMA



dr inż. Jarosław Wiater – Politechnika Białostocka

# Ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa systemów fotowoltaicznych

**W Polsce tylko w roku 2020 zainstalowano ponad 321 tysięcy mikroinstalacji fotowoltaicznych (PV) o łącznej mocy przekraczającej 2151 MWp [1]. Chęć pozyskania „darmowej" energii elektrycznej oraz liczne programy wsparcia tego rodzaju inwestycji przekładają się na tzw. boom, który przekracza założone prognozy [1]. Należy przypuszczać, iż w kolejnych latach instalacje PV staną się nieodzownym składnikiem instalacji elektrycznych. Pamiętajmy jednak, że poza oczywistymi zaletami są również zagrożenia, które należy neutralizować.**

Do najważniejszych zagrożeń systemów PV zalicza się wpływ czynników zewnętrznych, takich jak wyładowania piorunowe i związane z nimi przepięcia oraz znaczne ryzyko pożaru nie tylko samych paneli PV, ale również całego obiektu budowlanego w miejscu ich instalacji [2]. Czas zwrotu inwestycji szacowany jest na 10–30 lat. Każde dodatkowe koszty ewentualnej naprawy systemu zmniejszają opłacalność, stąd też należy podjąć niezbędne działania na samym początku, aby móc przeciwstawiać się zagrożeniom przez planowane lata eksploatacji projektowanego systemu PV.

Panele PV umieszcza się najczęściej na dachu i zazwyczaj okablowanie instalacji fotowoltaicznej jest wprowadzane do wnętrza budynku. W związku z tym instalowane są długie odcinki przewodów łączące panele z falownikami i z instalacją elektryczną budynku. Wyładowania piorunowe powodują powstawanie impulsowego pola elektrycznego i magnetycznego, które indukuje w pobliskich instalacjach napięcia i prądy udarowe. Długość przewodów oraz wielkość pętli powstających z ułożonych przewodów zwiększa wartości przepięć. Szkody wywołane przez przepięcia indukowane w przewodach przez prądy piorunowe występują zarówno w panelach fotowoltaicznych, układach sterowania i przewodach. Przepięcia pojawiające się w instalacji PV oraz współpracującej z nią instalacji elektrycznej mogą również uszkodzić pracujące w domu urządzenia, takie jak falownik PV, piec grzewczy, lodówka, telewizor, pralka, komputer i wiele innych. W niesprzyjających warunkach przepięcia same w sobie mogą spowodować pożar paneli umieszczonych na dachu. W przypadku bezpośredniego wyładowania piorunowego w obiekt budowlany, na którym zamontowano instalację PV, może dojść do ich zapłonu i pożaru całego budynku. Mając to wszystko na uwadze zaleca się instalację systemu ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej w budynku, na którym są zainstalowane ogniwa PV. Osoby korzystające z kredytu powinny bezwarunkowo wyposażyć swoją instalację w stosowne rozwiązania techniczne, o których mowa poniżej.

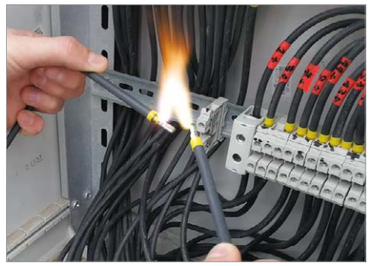

## STRESZCZENIE

Obecnie w Polsce bardzo popularne staje się instalowanie na dachu własnego domu instalacji fotowoltaicznej. Wszyscy inwestorzy są zafascynowani możliwością pozyskania energii elektrycznej „za darmo". Ze względu na miejsce montażu instalacje fotowoltaiczne w znacznym stopniu narażone są na skutki bezpośrednich i pośrednich wyładowań piorunowych oraz przepięć pochodzących z różnych źródeł. Czas zwrotu inwestycji może być znacznie przedłużony w przypadku uszkodzenia użytkowanego systemu, dlatego też prawidłowo zaprojektowana oraz dobrze wykonana instalacja odgromowa i przeciwprzepięciowa powinna być jej bardzo ważnym elementem. W skrajnym przypadku instalacja PV może być przyczyną pożaru obiektu, na którym została zainstalowana. W artykule przedstawione zostały podstawowe zasady ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej domowej instalacji fotowoltaicznej.

**Słowa kluczowe:** instalacja fotowoltaiczna, ochrona odgromowa, ograniczanie przepięć, piorun.

## Ryzyko pożaru paneli PV

Bardzo często osoby zaczynające swoją przygodę z panelami fotowoltaicznymi nie zdają sobie sprawy z zagrożenia jakie one niosą. Specyfika działania ogniw fotowoltaicznych uniemożliwia ich natychmiastowe wyłączenie. Najprościej rzecz ujmując, nie da się wyłączyć słońca, przez co również nie da się wyłączyć paneli fotowoltaicznych. Cały czas na ich zaciskach wyjściowych obecne jest napięcie – zarówno w dzień słoneczny, jak i pochmurny. Jakiekolwiek uszkodzenie paneli PV skutkujące zwarciem choćby tylko jednego ogniwa w panelu może być przyczyną pożaru. Powstałe w ten sposób zwarcie jest podtrzymywane przez pozostałe ogniwa w stringu, w pojedynczym panelu, ogniwie czy falowniku. Wykrycie i wyłączenie zwarcia jest bardzo trudne lub wręcz niemożliwe. Dostępne na rynku rozwiązania techniczne umożliwiają co najwyżej izolację uszkodzonego modułu. Samo wykrycie zwarcia jest kłopotliwe ze względu na bardzo małą różnicę między prądem znamionowym panelu/ogniwa a prądem zwarciowym. Znamienna jest również możliwość pracy panelu PV na zwarcie **(rys. 1.)**. Mając to wszystko na uwadze, przystępując do inwestycji należy wziąć pod uwagę znaczne ryzyko pożaru i podjąć stosowne środki je ograniczające.



Rys. 1. Skutki zwarcia gałęzi paneli PV zainstalowanych na dachu obiektu fot. J. Wiater



Rys. 2. Panele PV zamontowane powyżej poziomu projektowanej ochrony odgromowej fot. J. Wiater

W przypadku bezpośrednich wyładowań piorunowych uwolniona energia jest jedną z najczęstszych przyczyn powstawania pożarów. Sama instalacja paneli fotowoltaicznych nie zwiększa ryzyka uderzenia pioruna, ale potencjalne straty w obiekcie wyposażonym w panele będą zdecydowanie większe. Dlatego też zaleca się szczegółową ocenę ryzyka wystąpienia szkody spowodowanej uderzeniem pioruna. Należy tego dokonać zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 62305-2 [4]. Najczęściej popełnianym błędem jest instalacja systemu PV bez zwracania uwagi na problem ochrony odgromowej. Na **rysunku 2.** przedstawiono obiekt, w którym doinstalowano system PV nie modyfikując istniejącego systemu ochrony odgromowej (panele PV powyżej strefy ochrony odgromowej).

## Falowniki

Systemy fotowoltaiczne projektowane i instalowane zgodnie zasadami wiedzy technicznej i stosownych norm powinny być bezpieczne. Elementem składowym każdej instalacji PV jest falownik. Moduły fotowoltaiczne wytwarzają prąd stały. Sieć elektroenergetyczna, do której oddajemy produkowaną energię elektryczną, pracuje z prądem zmiennym o napięciu 3×230/400 V i częstotliwości 50 Hz. W dużym uproszczeniu zadaniem falownika jest zamiana prądu stałego na zmienny, tak aby możliwe było korzystanie z przetworzonej energii słonecznej oraz aby była możliwa odsprzedaż nadwyżek energii elektrycznej do sieci. Falowniki średnio stanowią około 20% całości poniesionych nakładów finansowych na budowę własnej instalacji PV. Każda chwila, w której możemy, a jednak nie „sprzedajemy" produkowanej energii elektrycznej, wydłuża czas zwrotu z poniesionej inwestycji. W przypadku gdy ulegnie uszkodzeniu jedno ogniwo zainstalowane na dachu, nie utracimy pełnej funkcjonalności naszej „elektrowni". Z kolei gdy uszkodzeniu ulegnie falownik, nasza „elektrownia" przestaje dostarczać nam zysków, przestaje się „zwracać", a zaczyna generować dodatkowe koszty przyjazdu wykwalifikowanego serwisu, ewentualnych napraw czy też wymiany, jednocześnie powodując niepotrzebny dyskomfort u użytkownika.

Czy falowniki PV ulegają uszkodzeniom? Wystarczy wpisać w wyszukiwarce Google hasło: „falowniki PV uszkodzenia", a natychmiast otrzymujemy kilkanaście zdjęć uszkodzeń, porad serwisowych itp. Na **rysunku 3a** widzimy uszkodzony stopień wyjściowy falownika, a dokładnie rozerwane warystory na wyjściu dwóch z faz oraz osmaloną płytkę PCB [12]. Na szczęście nie doszło do pożaru. Na **rysunku 3b** widzimy uszkodzony falownik, który zainicjował pożar poddasza [13].

## Wymagania w zakresie ochrony a ubezpieczenie

Polskie prawo nie nakłada obowiązku instalacji systemu ochrony odgromowej obiektu wyposażonego w instalację PV. Prawo budowlane zobowiązuje zaś inwestora/projektanta do analizy ryzyka. Jeśli jest ona przeprowadzona zgodnie z normą, umożliwia wybór właściwego poziomu ochrony odgromowej budynku. Bardzo często jednak ubezpieczamy swój obiekt (dom) myśląc o ewentualnym ryzyku powstania strat, które mają być pokryte z po-


REKLAMA






Rys. 3a. Uszkodzony falownik PV [1]



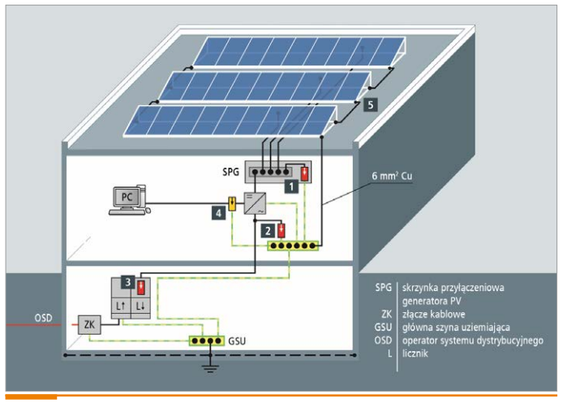
Rys. 3b. Początek pożaru domu spowodowany uszkodzeniem falownika [16]

lisy. Zawierając umowę ubezpieczenia (cywilnoprawną) z firmą ubezpieczeniową zgadzamy się na warunki zawarte w OWU (ogólne warunki ubezpieczenia). Kupując polisę rzadko sprawdzamy jej warunki. Jednak w nich możemy znaleźć bardzo ciekawe zapisy, które to *de facto* w bardziej lub mniej otwarty sposób nakładają na nas obowiązek instalacji ochrony odgromowej i przepięciowej. I tak na przykład w jednym z towarzystw ubezpieczeniowych przeglądając OWU w punkcie opisującym przedmiot ubezpieczenia napotykamy zapis: „Ochroną ubezpieczeniową może być objęta instalacja fotowoltaiczna, która spełnia łącznie następujące warunki: (…) jest wyposażona w system ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej oraz uziemienie". Analizując ten zapis musimy wyposażyć obiekt w ww. instalację, bo jak nie, to nasza instalacja nie jest objęta ubezpieczeniem – pomimo że mamy polisę. Dalej w tym samym OWU w punkcie „wyłączenia odpowiedzialności" możemy znaleźć, iż wyłączona jest całkowicie odpowiedzialność za szkody powstałe w skutek oddziaływania pola magnetycznego i elektrycznego. Należy tutaj nadmienić, iż wyładowanie piorunowe wytwarza bardzo duże wartości pola elektrycznego i magnetycznego szczegółowo opisane w normie PN-EN 62305-1 [3]. Cóż więc, zawierając umowę jesteśmy ubezpieczeni od kradzieży paneli PV, gradu, wichury itp. – ale nie od przepięć, które właśnie pole elektryczne i magnetyczne powoduje. W innym towarzystwie ubezpieczeniowym w dziale opisującym przedmiot ubezpieczenia czytamy, iż elektrownia fotowoltaiczna winna się składać z urządzenia ochrony przeciwprzepięciowej i odgromowej. Podsumowując należy podkreślić, iż wymagania polskiego prawa nie są równe wymaganiom, na które sami się zgadzamy podpisując umowę ubezpieczenia (cywilnoprawną).

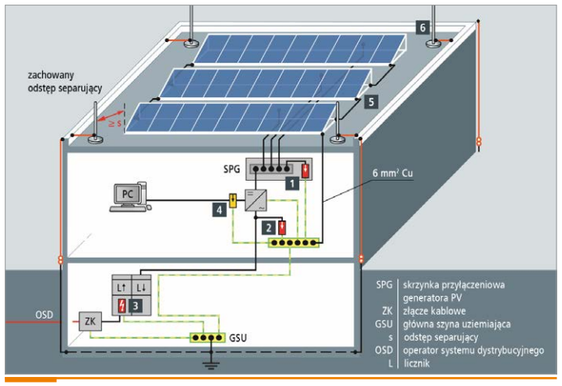
## Ochrona odgromowa małych instalacji fotowoltaicznych

Mając na uwadze przytoczone powyżej argumenty i decydując się na montaż systemu fotowoltaicznego **należy doposażyć obiekt w system ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej**. Zgodnie z polskim prawem można tego nie robić, akceptując jednocześnie straty powstałe wskutek wyładowania piorunowego, przepięcia czy pożaru.

Na wstępie, tak jak już wcześniej wspomniano, należy przeprowadzić analizę ryzyka, której wynik dostarcza informacji o wymaganym poziomie ochrony odgromowej (LPL), a co za tym idzie, jakie konkretnie rozwiązania techniczne należy zastosować, aby ryzyko ograniczyć do wymaganego normą poziomu. Dodatek 5 do niemieckiej wersji normy DIN EN 62305-3 [5] w punkcie 4.5 zawiera zapis, że urządzenie piorunochronne wykonane w III klasie LPS (LPL III) odpowiada normalnym wymaganiom dla instalacji fotowoltaicznych [2]. W polskiej edycji normy nie ma takiego uwarunkowania, niemniej jednak ubezpieczyciele wymagają co najmniej IV klasy LPS oraz ochrony przeciwprzepięciowej. Ciekawe jest również stanowisko Stowarzyszenia Niemieckich Firm Ubezpieczeniowych (*Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft* – GDV), które w swoich wytycznych VdS 2010 „Ochrona odgromowa i przepięciowa ukierunkowana na ryzyko" wymaga poziomu ochrony LPL III (III klasa LPS) [2]. Podobne stanowisko w tej kwestii mają polskie firmy ubezpieczeniowe bezpośrednio w OWU. Po przeprowadzonej analizie ryzyka można przystąpić do projektowania systemu ochrony odgromowej.




Rys. 4. Budynek pozbawiony zewnętrznej instalacji piorunochronnej, gdzie: **1** – wejście DC falownika, **2** – strona AC falownika, **3** – sieć zasilająca nn 230/400V, **4** – interfejs przesyłu danych, **5** – połączenia wyrównawcze/zaciski uziemiające [2]




Rys. 5. Budynek z zainstalowaną instalacją piorunochronną spełniającą wymagane odstępy izolacyjne: **1** – wejście DC falownika, **2** – strona AC falownika, **3** – sieć zasilająca nn 230/400V, **4** – interfejs przesyłu danych, **5** – połączenia wyrównawcze/zaciski uziemiające, **6** – układ zwodów pionowych na dachu/iglica odgromowa z podstawą betonową [2]



## Budynek bez zewnętrznej ochrony odgromowej

Jeśli analiza ryzyka nie wykazała konieczności instalowania systemu ochrony odgromowej, wówczas należy się spodziewać niebezpiecznych napięć indukowanych wskutek pobliskich wyładowań piorunowych obok instalacji PV lub w wyniku przenoszenia się przepięć z sieci elektroenergetycznej zasilającej obiekt [2]. W celu zabezpieczenia się przed skutkami przepięć należy zainstalować ograniczniki przepięć klasy T2 **(rys. 4.)**:

- w rozdzielnicy głównej budynku,
- na wyjściu AC falownika w miejscu przyłączenia sieci niskiego napięcia, jeśli długość przewodów do rozdzielnicy jest większa niż 10 m (wyposażonej w ograniczniki przepięć),
- na wejściu DC falownika w miejscu przyłączenia kabli z paneli PV,
- na wyjściu paneli PV, jeśli długość przewodów do falownika jest większa niż 10 m,
- na wejściu sterującym falownika (jeśli takie posiada i są one wykorzystywane).

W celu wyrównania potencjałów pomiędzy ogniwami PV na dachu oraz dla zapewnienia prawidłowej pracy falownika, a w szczególności układu monitorującego stan izolacji ogniw PV (najczęściej zintegrowanego z falownikiem) wymaga się skutecznego uziemienia konstrukcji nośnej ogniw PV przewodem o minimalnym przekroju 6 mm² Cu lub równoważnym [2].

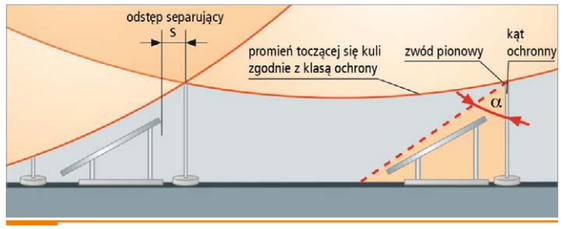
## Budynek z zewnętrzną ochroną odgromową

Najlepszym i zalecanym sposobem ochrony instalacji PV jest montaż zewnętrznego systemu ochrony odgromowej. Koncepcję ochrony pokazuje **rysunek 5.** Głównym zadaniem systemu jest przechwycenie prądu wyładowania piorunowego i wysłanie go przez projektanta obraną drogą do systemu uziomowego. W tym celu należy rozmieścić na dachu system zwodów pionowych wykorzystując do tego metodę toczącej się kuli lub kąta ochronnego zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 62305-3 [5] **(rys. 6.)**.

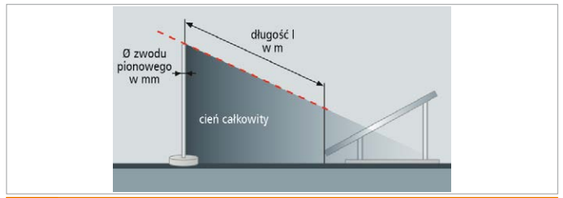
Istotną kwestią podczas rozmieszczania zwodów na dachu jest problem zacienienia ogniw PV. Cień całkowity na ogniwie PV w bardzo dużym stopniu obniża ilość generowanej energii elektrycznej. Projektując system zwodów na dachu należy przeanalizować ten problem, gdyż pominięcie tego znacząco wydłuży okres zwrotu z inwestycji. Aby uniknąć cienia całkowitego, należy odpowiednio odsunąć zwody pionowe od modułów PV. I tak przykładowo, zwód pionowy o średnicy 10 mm w odległości 1,08 m od ogniwa PV przekształca cień całkowity w półcień, co zapewnia równomierną pracę ogniw **(rys. 7.)**. Dla zwodu o średnicy 16 mm wymagana odległość to 1,76 m (L = Ø×108). Szczegółowe wytyczne w tym zakresie znajdziemy w niemieckiej wersji normy DIN EN 62305-3 (dodatek 5, załącznik A) [2, 7].

Należy w tym miejscu również wspomnieć o odstępie separującym (s), który powinniśmy zapewnić między panelami PV oraz innymi elementami i przewodami umieszczonymi na dachu a systemem zwodów. Spełnienie powyższego wymagania w znaczący sposób zmniejsza zagrożenie przepięciowe i pożarowe, gdyż izoluje system zwodów (który podczas dozwolonego wyładowania piorunowego jest źródłem m.in. wysokiego napięcia) na dachu od reszty urządzeń, zabezpiecza przed pojawieniem się niekontrolowanych przeskoków iskrowych, które bezpośrednio mogą być przyczyną pożaru. Metodę wyznaczania wymaganych odstępów separacyjnych znajdziemy w normie PN-EN 62305-3 [5]. W przypadku braku możliwości zapewnienia wymaganych odstępów należy rozważyć stosowanie przewodów o izolacji wysokonapięciowej (HVI) [2]. Dzięki temu przewody odprowadzające prąd piorunowy mogą się stykać z instalacją fotowoltaiczną nie powodując powstania zagrożenia. Przy doborze przewodów HVI należy upewnić się, czy spełniają one wymagania opisane w IEC TS 62561-8 [8] w zakresie deklarowanych odstępów separujących. Problemem jest to, że na rynku polskim często wykorzystuje się kable średniego napięcia jako przewody wysokonapięciowe bez zdefiniowanego odstępu separacyjnego przeznaczonego dla urządzeń piorunochronnych, co może znacząco pogarszać poziom planowanej ochrony.

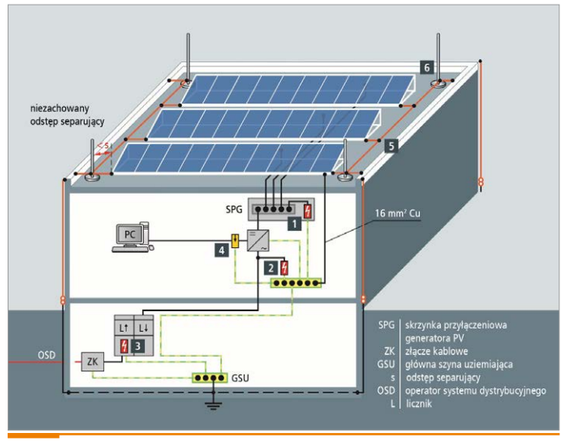
Bardzo ważną częścią systemu ochrony odgromowej i przepięciowej są także połączenia wyrównawcze. W sposób naturalny zmniejszają one względne różnice potencjałów między urządzeniami i elementami umiejscowionymi na dachu, jak i wewnątrz budynku. W przypadku instalacji PV należy połączyć wszystkie konstrukcje wsporcze umieszczone na dachu pamiętając o wymaganym odstępie separacyjnym. Jeśli na dachu będą umieszczone inne urządzenia elektryczne lub elektroniczne, należy wprowadzając okablowanie do środka budynku (na granicy strefy LPZ0 i LPZ1) zastosować ograniczniki przepięć klasy T2 – jednocześnie pamiętając



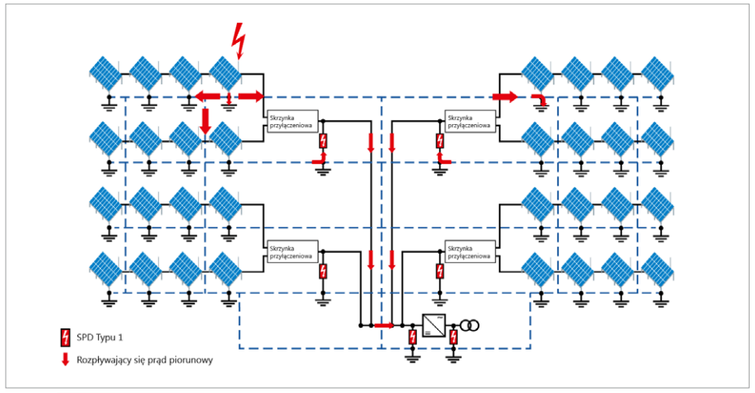

Rys. 6. Porównanie metod określenia przestrzeni chronionej metodą toczącej się kuli i kąta ochronnego [2]



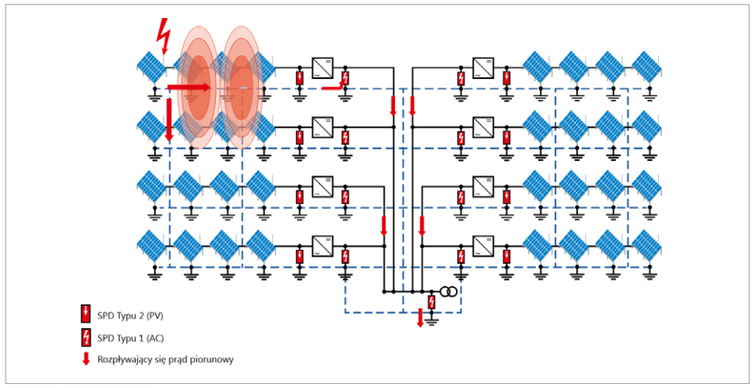

Rys. 7. Odstęp panelu PV od zwodu pionowego zapewniający eliminację cienia zupełnego [2]




Rys. 8. Budynek wyposażony w instalację piorunochronną bez spełnienia wymaganych odstępów izolacyjnych: **1** – wejście DC falownika, **2** – strona AC falownika, **3** – sieć zasilająca nn 230/400 V, **4** – interfejs przesyłu danych, **5** – połączenia wyrównawcze/zaciski uziemiające, **6** – układ zwodów pionowych na dachu/iglica odgromowa z podstawą betonową [2]



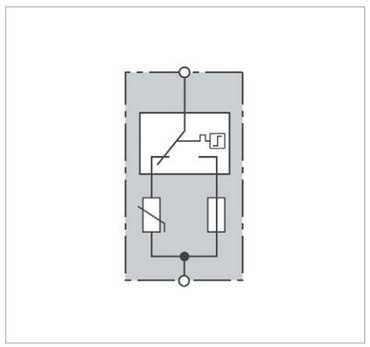

Rys. 9. Ochrona przeciwprzepięciowa farmy fotowoltaicznej z falownikiem centralnym (z oznaczonym możliwym do wystąpienia rozpływającym się prądem doziemnego wyładowania piorunowego) rys. J. Wiater




Rys. 10. Ochrona przeciwprzepięciowa farmy fotowoltaicznej z falownikami przeznaczonymi dla każdej gałęzi (z oznaczonym możliwym do wystąpienia rozpływającym się prądem doziemnego wyładowania piorunowego) rys. J. Wiater

o umieszczeniu ich w przestrzeni chronionej stworzonej przez układ zwodów umieszczonych na dachu.

W celu wyrównania potencjałów pomiędzy ogniwami PV na dachu oraz dla zapewnienia prawidłowej pracy falownika, a w szczególności układu monitorującego stan izolacji ogniw PV (najczęściej zintegrowanego z falownikiem) wymaga się skutecznego uziemienia konstrukcji nośnej ogniw PV przewodem o minimalnym przekroju 6 mm² Cu lub równoważnym.



Rys. 11. Dwustopniowy ogranicznik przepięć do ochrony generatora PV [2]

W celu zabezpieczenia się przed skutkami przepięć należy zainstalować:

- w rozdzielnicy głównej budynku ogranicznik przepięć klasy T1 kombinowany zbudowany w oparciu o iskiernik,
- na wyjściu AC falownika w miejscu przyłączenia sieci niskiego napięcia ogranicznik przepięć klasy T2, jeśli długość przewodów do rozdzielnicy jest większa niż 10 m,
- na wejściu DC falownika w miejscu przyłączenia kabli z paneli PV ogranicznik przepięć klasy T2 przeznaczony do systemów PV,
- na wyjściu paneli PV, jeśli długość przewodów do falownika jest większa niż 10 m, ogranicznik przepięć klasy T2 przeznaczony do systemów PV,
- na wejściu sterującym falownika (jeśli takie posiada i są one wykorzystywane) ogranicznik przepięć przeznaczony do torów sygnałowych klasy C2.

Jeżeli pokrycie dachu jest metalowe lub tworzy je sama instalacja PV i z punktu widzenia techniki montażu brak jest możliwości zachowania wymaganych odstępów separacyjnych (s), metalowe części konstrukcji nośnej ogniw PV muszą być połączone przewodami o przekroju min. 16 mm² Cu lub równoważnym do elementów zewnętrznego systemu ochrony odgromowej [2] **(rys. 8.)**. Należy także na wejściu przewodów DC falownika zainstalować ograniczniki przepięć klasy T1 przeznaczone do instalacji PV. Jeśli długość przewodów łączących panele PV z falownikiem od strony DC jest większa od 10 m, należy zainstalować kolejny ogranicznik przepięć klasy T1 przeznaczony do instalacji PV (na wyjściu paneli). Na wyjściu AC falownika należy również zainstalować ogranicznik przepięć klasy T1 kombinowany zbudowany w oparciu o iskiernik. Podczas układania przewodów należy zwrócić uwagę, aby nie tworzyć zbytecznych pętli, w których mogą się indukować większe wartości napięć. Dotyczy to przewodów łączących ogniwa PV z falownikiem, ogniwa między sobą (stringi). Należy unikać prowadzenia poprzecznego przewodów DC między rzędami ogniw, przewodami przesyłu danych lub czujników nasłonecznienia, monitoringu pracy instalacji – tworzą one zbędne pętle, co też zwiększa narażenie przepięciowe całego systemu PV [2].

## Farma fotowoltaiczna

Skuteczna ochrona farm fotowoltaicznych wymaga zainstalowania systemu zwodów, tak aby chronić panele PV od wyładowań piorunowych. Niezbędna jest również instalacja uziemiająca, sieć połączeń wyrównawczych i urządzenia do ograniczania przepięć.

Ochrona przed bezpośrednim wyładowaniem piorunowym wymaga umieszczania wszystkich paneli PV i innych urządzeń elektroenergetycznych w przestrzeni chronionej przez układ zwodów stosują tak jak poprzednio metodę toczącej się kuli lub kąta ochronnego. Instalacja uziemiająca winna mieć rezystancję mniejszą niż 10 Ω. Szczególną uwagę należy zwrócić na sposób prowadzenia przewodów na terenie farmy fotowoltaicznej. Należy unikać dużych pętli przewodów, w których mogą się indukować niebezpieczne przepięcia. Do ochrony urządzeń od przepięć należy stosować dedykowane ograniczniki przepięć odpowiednio rozmieszczone na terenie farmy **(rys. 9.** i **10.)**.



| Klasa ochrony odgromowej i maksymalny prąd piorunowy (10/350 µs) | | Liczba przewodów odprowadzających zewnętrznego urządzenia piorunochronnego | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | <4 | | ≥4 | |
| | | Wartości dla SPD typu 1 ograniczających napięcie lub SPD typu 1 kombinowanych (połączenie szeregowe) na podstawie doboru $I_{8/20}$ (8/20 µs) i $I_{10/350}$ (10/350 µs) | | | |
| | | $I_{SPD1}=I_{SPD2}$ $I_{8/20}$ / $I_{10/350}$ | $I_{SPD3}=I_{SPD1}+I_{SPD2}=I_{total}$ $I_{8/20}$ / $I_{10/350}$ | $I_{SPD1}=I_{SPD2}$ $I_{8/20}$ / $I_{10/350}$ | $I_{SPD3}=I_{SPD1}+I_{SPD2}=I_{total}$ $I_{8/20}$ / $I_{10/350}$ |
| I lub nieznana | 200 kA | 17/10 | 34/20 | 10/5 | 20/10 |
| II | 150 kA | 12,5/7,5 | 25/15 | 7,5/3,75 | 15/7,5 |
| III i IV | 100 kA | 8,5/5 | 17/10 | 5/2,5 | 10/5 |

Tab. 1. Dobór minimalnej wartości prądu znamionowego ($I_n$) i impulsowego ($I_{imp}$) ograniczników przepięć klasy T1 ograniczających lub kombinowanych (połączenie szeregowe warystorów i iskierników) zgodnie z PN-EN 61643-31 [2, 10]

| Klasa ochrony odgromowej i maksymalny prąd piorunowy (10/350 µs) | | Liczba przewodów odprowadzających zewnętrznego urządzenia piorunochronnego | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | <4 | | ≥4 | |
| | | Wartości dla SPD typu 1 ograniczających napięcie lub SPD typu 1 kombinowanych (połączenie równoległe) | | | |
| | | $I_{SPD1}=I_{SPD2}$ $I_{imp}$ | $I_{SPD3}=I_{SPD1}+I_{SPD2}=I_{total}$ $I_{imp}$ | $I_{SPD1}=I_{SPD2}$ $I_{imp}$ | $I_{SPD3}=I_{SPD1}+I_{SPD2}=I_{total}$ $I_{imp}$ |
| I lub nieznana | 200 kA | 25 | 50 | 12,5 | 25 |
| II | 150 kA | 18,5 | 37,5 | 9 | 18 |
| III i IV | 100 kA | 12,5 | 25 | 6,25 | 12,5 |

Tab. 2. Dobór minimalnej wartości prądu znamionowego ($I_n$) i impulsowego ($I_{imp}$) ograniczników przepięć klasy T1 ucinających (iskierników) lub kombinowanych (połączenie równoległe warystorów i iskierników) zgodnie z PN-EN 61643-31 [2, 10]

## Specjalne ograniczniki przepięć do ochrony instalacji fotowoltaicznych

Ogniwa fotowoltaiczne ze względu na swoją specyfikę (jak już wspomniano wcześniej) mogą pracować przy prądzie znamionowym bardzo zbliżonym do prądu zwarciowego. Ograniczniki przepięć dla systemów PV (DC) są inaczej budowane niż dla sieci prądu zmiennego (AC) m.in. dlatego, bo prądy następcze przy prądzie stałym trudno jest wyłączyć ze względu na nieprzechodzenie prądu przez zero. Wymusza to stosowanie specjalnych konstrukcji zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 50539-11:2013-06 [9] zastąpionej w 2019 roku przez normę PN-EN 61643-31:2019-07 [10]. Głównym problemem w budowie ogranicznika PV jest bezpieczne odłączenie SPD w przypadku jego uszkodzenia lub przegrzania. Ma to na celu zapobieganie pożarowi. Klasyczne stosowane rozwiązanie polegające na stosowaniu zgrzewanego złącza bimetalicznego nie może być bezpośrednio zastosowane dla układów DC (PV). Ograniczniki przepięć prądu stałego składają się zazwyczaj z trzech elementów ucinających, ograniczających lub kombinowanych równolegle połączonych ze specjalnymi bezpiecznikami nadprądowymi sprzężonymi z modułami ograniczającymi przepięcia i działającymi sekwencyjnie. W przypadku pojawienia się krótkotrwałego przepięcia powinien zadziałać tylko moduł ucinający lub ograniczający przepięcie. Jeśli zaburzenie trwa dłużej (czas działania zależny od budowy i własności konkretnego SPD), wówczas ogranicznik przepięć powinien mieć możliwość skutecznego przerwania płynącego prądu zwarciowego (DC) **(rys. 11.)**. Ograniczniki przepięć do paneli PV charakteryzują się również innym napięciowym poziomem ochrony $U_p$ – dobieranym w zależności od napięcia pracy stringu. Wartości prądów znamionowych ($I_n$) i impulsowych ($I_{imp}$) należy dobierać w zależności od przyjętej klasy ochrony, a co za tym idzie, maksymalnej wartości prądu piorunowego (10/350 µs), klasy probierczej ogranicznika (T1 lub T2), liczby przewodów odprowadzających zewnętrznego systemu ochrony odgromowej. Szczegóły można znaleźć w normie PN-EN 61643-31 [10]. Zestawienie wymaganych wartości minimalnych prądów znamionowych SPD zaczerpnięto z tabeli A.2 ww. normy i przedstawiono poniżej w **tabelach 1.** i **2**.

## Najczęściej popełniane błędy

1. Brak jakiejkolwiek ochrony. Dołożenie instalacji PV bez modyfikacji systemu ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej obiektu.
2. Stosowanie aktywnej ochrony odgromowej lub innej polegającej na ograniczeniu liczby zwodów lub cienia na dachu. Wyłącza to odpowiedzialność ubezpieczyciela za ewentualne straty ze względu na stosowanie rozwiązań niezgodnych z polskim prawem budowlanym. Błędem jest powoływanie się na normy francuskie, nieprzywołane w polskim rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [11].
3. Niezachowane odstępy separacyjne na dachu.
4. Brak ochrony przeciwprzepięciowej skoordynowanej energetycznie z urządzeniem końcowym (falownikiem). Ryzykujemy uszkodzenie falownika wskutek przepięć pomimo zastosowania ogranicznika przepięć.

## Podsumowanie

Własne elektrownie słoneczne stają się coraz bardziej popularne i modne w Polsce. Dostrzegając ich zalety, aktywnie z nich korzystając, nie można zapominać o zagrożeniach, które wraz z sobą one niosą. Ryzyko pożaru obiektu, na którym są zainstalowane, wzrasta znacząco. Bez skutecznej ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej okres zwrotu z inwestycji może być dłuższy lub w ekstremalnych przypadkach koszty przewyższą znacząco potencjalne zyski. W polskim prawie winien być wprowadzony zapis nakładający na użytkowników instalacji PV konieczność wyposażenia ich w urządzenia piorunochronne i przeciwprzepięciowe. Brak takiej regulacji jest wykorzystywany do zmniejszenia kosztów inwestycji. Ubezpieczenie daje tylko złudną nadzieję na pokrycie ewentualnych strat. Podsumowując: zaleca się instalację potocznie zwanej „odgromówki" i „przepięciówki".

literatura do artykułu na elektro.info.pl


## ABSTRACT

**Lightning and surge protection for photovoltaic systems**

Currently, it is becoming very popular in Poland to install solar installation on the roof of your own house. All investors are fascinated by the possibility of obtaining electricity "for free". Due to the installation location, solar installations are significantly exposed to the effects of direct and indirect lightning discharges and surges from various sources. The payback time can be significantly extended in the event of damage to the system in use, which is why a properly designed and well-made lightning and surge protection installation is very important. In extreme cases, the PV installation can cause a fire in the facility where it was installed. The article presents the basic principles of lightning and surge protection of a home photovoltaic installation.


**Keywords:** photovoltaic installation, lightning protection, surge protection, lightning strike.

dr inż. Jarosław Wiater – Politechnika Białostocka

# Złącza odgromowe

## Problemy, zagrożenia i rzeczywistość dnia codziennego

**Podstawowym zadaniem urządzenia piorunochronnego jest przechwycenie i odprowadzenie prądu piorunowego w sposób bezpieczny dla infrastruktury i ludzi. Prawidłowe wykonanie i rozmieszczenie „piorunochronów" jest kluczowe i powinno być tak dobrane przez projektanta, aby zminimalizować ryzyko powstania szkód. Dobrze wybrana droga, którą będzie się rozpływał prąd piorunowy, może w sposób naturalny zmniejszyć zagrożenie nim powodowane.**


### STRESZCZENIE

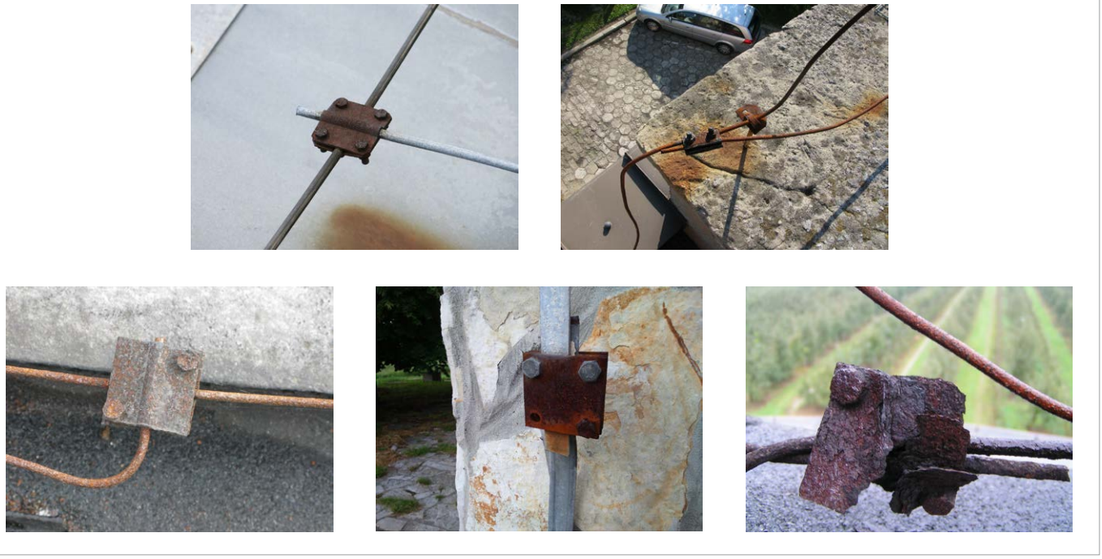
Złącza odgromowe są niezbędnym elementem każdego systemu ochrony odgromowej. Od ich jakości zależy, czy instalacja skutecznie odprowadzi prąd wyładowania piorunowego do ziemi. Złącza odgromowe powinny się cechować nienaganną jakością wykonania oraz powinny być przebadane na zgodność z normą PN-EN 62561-1. W artykule opisano problemy występujące w praktyce dnia codziennego, które są bezpośrednio związane ze złączami odgromowymi.


**Słowa kluczowe:** ochrona odgromowa, złącza odgromowe, błędy, zagrożenia.

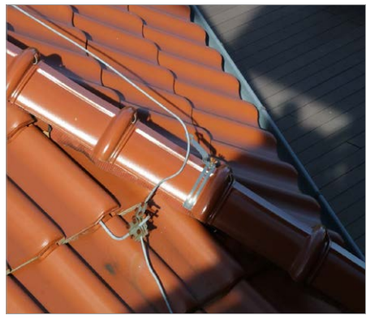
Urządzenie piorunochronne składa się ze zwodów pionowych i poziomych (elementów przechwytujących prąd piorunowy), przewodów odprowadzających prąd piorunowy w kierunku ziemi oraz systemu uziomowego. Połączenia tych elementów wykonywane są najczęściej za pomocą tzw. złączy odgromowych. Same przewody odprowadzające prąd piorunowy, jeśli są prawidłowo dobrane, nie powinny stanowić źródła zapłonu (poza miejscem wpłynięcia prądu). Zupełnie inaczej sprawa się przedstawia ze złączami odgromowymi. Stanowią one tzw. najsłabsze ogniwo, które może zawieść podczas przepływu prądu doziemnego wyładowania piorunowego przez instalację chroniącą budynek. Dlaczego? Ze względu na specyfikę wyładowań piorunowych. Każde wyładowanie, które obserwujemy na niebie, w rzeczywistości składa się z kilku, kilkunastu kolejno po sobie występujących impulsów prądowych. Czas, który upływa między poszczególnymi udarami, jest rzędu kilkunastu milisekund. Ludzkie oko uśrednia odbierane bodźce wzrokowe, co powoduje błędną interpretację poziomu zagrożenia u postronnego obserwatora. Liczba impulsów prądowych i wartość płynącego prądu nie są możliwe do przewidzenia, gdyż wyładowanie piorunowe ma charakter losowy. Mając to wszystko na względzie, należy ze zdwojoną uwagą zadbać o złącza odgromowe.

### Praktyka życia codziennego

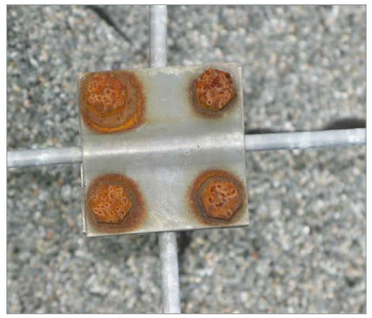
Życie codzienne dostarcza licznych przykładów wadliwych połączeń zwodów poziomych, pionowych, przewodów odprowadzających prąd piorunowy. W większości przypadków widoczna jest daleko posunięta korozja połączeń **(rys. 1.)**. W ekstremalnych przypadkach dochodzi do braku ciągłości przewodów odprowadzających prąd piorunowy, co może się przełożyć na niekontrolowany rozpływ prądu piorunowego, powstanie przeskoków iskrowych, a co za tym idzie zwiększenia zagrożenia pożarowego obiektu. Bardzo często przechodząc obok tak zaniedbanych instalacji odgromowych nie zastanawiamy się nad skutkami, które mogą się pojawić. Bardzo zastanawiające jest zdjęcie, na którym widzimy nowy dach i już skorodowane złącza odgromowe **(rys. 2.)**. W wielu przypadkach spotyka się również korozję spowodowaną niewłaściwym doborem materiałów, które sprzyjają korozji kontaktowej – spowodowanej stykaniem się dwóch rodzajów metali o różnym potencjale elektrochemicznym **(rys. 3.)**. Chcąc zapewnić wieloletnią bezproblemową eksploatację systemu ochrony odgromowej należy złącza odgromowe zabezpieczać za pomocą na przykład specjalnych taśm izolacyjnych **(rys. 4.)**. Możliwych rozwiązań technicznych w zakresie ochrony przed korozją jest dużo – niemniej jednak warto zastanowić się nad jakością, a nie tylko minimalną ceną.



Rys. 1. Przykłady skorodowanych złącz instalacji piorunochronnej [1]



Rys. 2. Skorodowane złącze na dachu nowo wybudowanego domku jednorodzinnego [1]



Rys. 3. Korozja kontaktowa powstała w wyniku niewłaściwego doboru materiałów [1]



Rys. 4. Prawidłowo zabezpieczone złącze za pomocą specjalnej taśmy izolacyjnej, odpornej na promieniowanie UV [2]

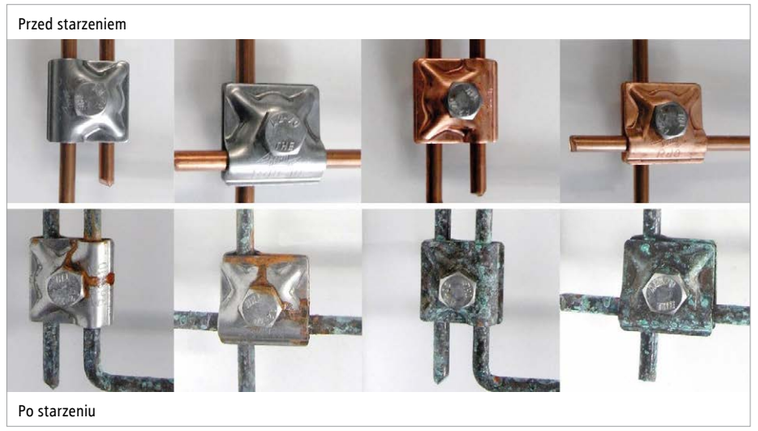
### Złączki źródłem iskrzenia

Każde złącze odgromowe powinno być przebadane na zgodność z normą PN-EN 62561-1:2017 [3]. Bardzo często spotykaną praktyką w Polsce jest badanie jednego rodzaju złącza i przypisywanie całej gamie innych złączek jakości jednego określonego i zweryfikowanego typu. Badania złączy odgromowych wykonuje się po uprzednim przeprowadzeniu opisanego szczegółowo w normie procesu starzenia **(rys. 5.)**. Każdy typ/rodzaj złącza odgromowego poddaje się działaniu prądu piorunowego ($I_{imp}$) o wartości 50 lub 100 kA, stosownie dla klasyfikacji N i H. „Element połączeniowy uważa się za spełniający wymagania badań z wynikiem pozytywnym, jeżeli:

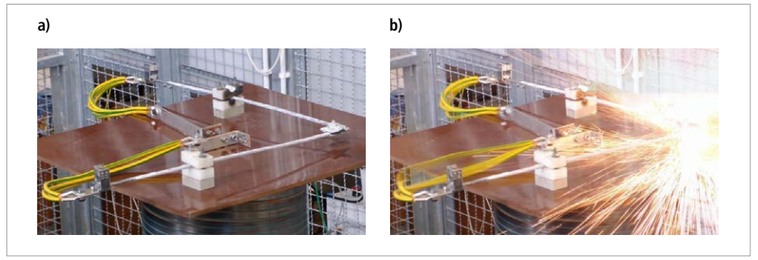
a) rezystancja styku, mierzona przy prądzie o wartości co najmniej 10 A, możliwie jak najbliżej elementu połączeniowego, jest równa lub mniejsza 1 mΩ,
b) nie wykazuje żadnych uszkodzeń zauważalnych przy normalnym lub skorygowanym wzroku, bez zastosowania powiększeni,a ani nie ma części poluzowanych lub zdeformowanych pogarszających warunki ich normalnej eksploatacji,
c) dla połączeń rozłączalnych, w których stosuje się śruby, moment obrotowy luzowania jest większy niż 0,25 i mniejszy niż 1,5 wartości momentu obrotowego stosowanego przy dokręcaniu" [3].

Na **rysunkach 6–11** zamieszczono stopklatki z filmu, który powstał w trakcie przeprowadzania badań wytrzymałości udarowej złączy odgromowych prądem o wartości szczytowej 100 kA i kształcie 10/350 µs, zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 62561-1:2017 [3].

Podczas wszystkich prób prądem udarowym 100 kA obserwowano iskrzenie termiczne, nagrzewanie rezystancyjne, znaczące siły elektrodynamiczne rozrywające badane złącza, punktowe uszkodzenia cieplne. Przeprowadzone badania laboratoryjne pozwoliły stwierdzić, iż większość dostępnych i stosowanych na rynku



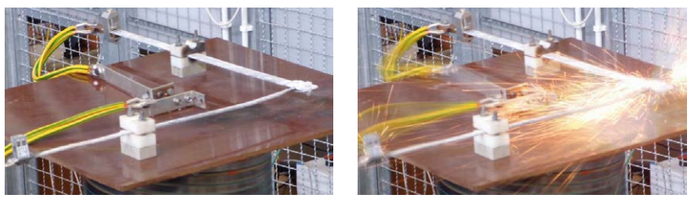

Rys. 5. Nowe złącza odgromowe przed i po starzeniu wg normy PN-EN 62561-1:2017 [2, 3]



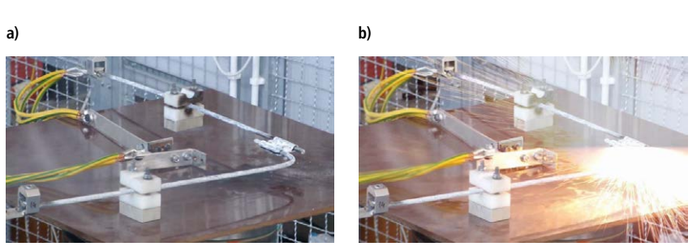

Rys. 6. Złącze krzyżowe przed **(a)** i podczas badań **(b)** prądem o wartości 100 kA i kształcie 10/350 µs fot. J. Wiater



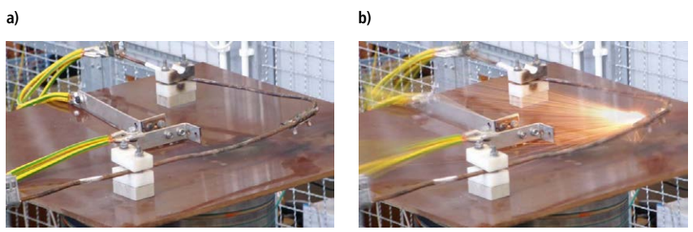

Rys. 7. Złącze przelotowe przed **(a)** i podczas badań **(b)** prądem o wartości 100 kA i kształcie 10/350 µs fot. J. Wiater




Rys. 8. Złącze krzyżowe płaskie przed **(a)** i podczas badań **(b)** prądem o wartości 100 kA i kształcie 10/350 µs fot. J. Wiater




Rys. 9. Złącze przelotowe ocynowane przed **(a)** i podczas badań **(b)** prądem o wartości 100 kA i kształcie 10/350 µs fot. J. Wiater




Rys. 10. Złącze przelotowe miedziane przed **(a)** i podczas badań **(b)** prądem o wartości 100 kA i kształcie 10/350 µs fot. J. Wiater

złącz odgromowych nie jest w pełni odpornych na bezpośrednie wyładowanie piorunowe, zaś niektóre rozwiązania mogą stanowić źródło zapłonu w odległości nawet do 1,5 metra od złącza (z powodu właśnie iskrzenia). Zjawisko iskrzenia elementów spełniających wymagania normy PN-EN 62561-1 jest bardzo niepokojące w przypadku ochrony odgromowej stref zagrożonych wybuchem.

Podczas doziemnego wyładowania piorunowego pojawia się w naszych warunkach geograficznych od kilku do kilkunastu udarów prądowych [2]. Trudno jest przewidzieć rzeczywistą liczbę kolejnych składowych wyładowania piorunowego, ale jeśli podczas badań laboratoryjnych stwierdzono iskrzenie termiczne, to w warunkach rzeczywistych każdy kolejny prąd doziemnego wyładowania piorunowego będzie niszczył w jeszcze większym stopniu połączenia, mogąc w ekstremalnej sytuacji doprowadzić do fizycznego rozpadnięcia się połączonych elementów i odpadnięcia instalacji odgromowej od obiektu lub ściany.

## Problem z normą

Zgodnie z normą PN-EN 62305-3 [5] wszystkie elementy LPS powinny być w stanie przenieść pełny prąd podczas doziemnego wyładowania piorunowego. W przypadku systemu zwodów opartego na LPL I (pierwszy poziom ochrony odgromowej), przewód odprowadzający i inne elementy połączeniowe powinny być w stanie przenosić pełne 200 kA prądu piorunowego (zdefiniowanego w PN-EN 62305 dla LPL I) – od punktu, w którym doszło do wyładowania piorunowego, do systemu uziomowego. Jeśli wszystko zrobimy zgodnie z normą, to pierwszy punkt podziału prądu, którym jest złącze odgromowe, narażony jest na uszkodzenie **(rys. 12.)**. Dlaczego? Złącza odgromowe zgodnie z normą PN-EN 62561-1 [3] poddaje się próbom prądem piorunowym o wartości szczytowej do 100 kA – klasyfikacja H. Stosując się ściśle


## ABSTRACT

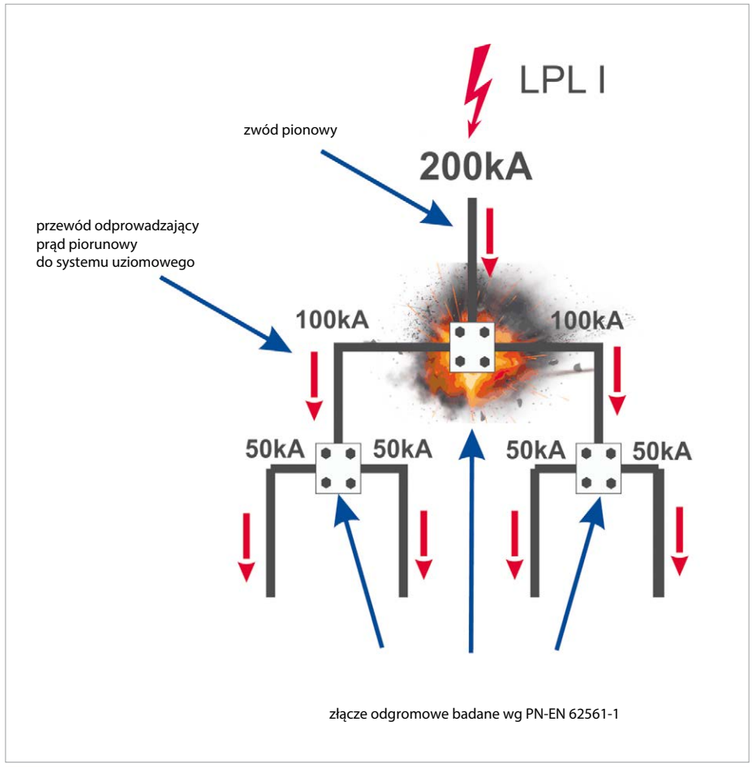
Lightning protection clamps are an indispensable element of any lightning protection system. Their quality determines whether the installation will effectively discharge the lightning current to the ground. Lightning protection connectors should be of impeccable quality and tested for compliance with the IEC 62561-1 standard. The article describes the problems that occur in everyday practice and are directly related to the lightning protection junctions.

**Keywords:** lightning protection, lightning connectors, errors, lightning hazard.






Rys. 11. Złącze krzyżowe składane przed **(a)**, podczas badań **(b)** i po badaniu **(c)** prądem o wartości 100 kA i kształcie 10/350 µs fot. J. Wiater




Rys. 12. Podział prądu piorunowego dla LPL I rys. J. Wiater

do zapisów norm w systemie ochrony odgromowej, opartym na LPL I, można zastosować złącza odgromowe zgodne z PN-EN 62561-1. W przypadku gdy w rzeczywistych warunkach zdarzy się, iż popłynie w instalacji prąd piorunowy o wartości większej niż 100 kA (a zgodnie z normą może być do 200 kA) z dopuszczoną tolerancją +/–10% i energii W/R większej niż 2500 kJ/Ω (+/–35%), zgodnie z normą pierwsze złącze odgromowe na drodze rozpływającego się prądu może ulec uszkodzeniu, pomimo że zostało dopuszczone zgodnie z PN-EN 62561-1. Zgodnie z powyższym złącza odgromowe zgodne z PN-EN 62305 i PN-EN 62561-1 zachowają w pełni swoje właściwości tylko dla LPL III i IV. W przypadku LPL I i II może dojść do ich zniszczenia – zgodnie z normą.

Co ciekawe, IEC TS 62561-8:2018 [4] w zakresie badań przewodów o izolacji wysokonapięciowej wykorzystywanych do odprowadzania prądu piorunowego koryguje już tę nieścisłość, wprowadzając klasyfikację H1 i H2 wraz z wyższymi wartościami prądów wymaganymi podczas badań, tj. odpowiednio 150 kA i 200 kA. Wobec powyższego logiczna jest konieczność wprowadzenia klasyfikacji H1 i H2 do normy PN-EN 62561-1 – czego do chwili obecnej nie zrobiono.

## Podsumowanie

Złącza odgromowe są bardzo istotnym elementem każdej instalacji chroniącej przed skutkami prądu doziemnego wyładowania piorunowego – są ich najsłabszym ogniwem. Bieżące przeglądy okresowe i konserwacja pozwolą na wieloletnią, bezpieczną z punktu widzenia wyładowań piorunowych eksploatację obiektu budowlanego. Uczciwie wykonany przegląd okresowy umożliwi wykrycie błędów polegających na przykład na niewłaściwym doborze rodzaju metali w instalacji odgromowej, który to może sprzyjać rozwojowi zjawiska korozji kontaktowej. W tym miejscu należy wspomnieć o konieczności posiadania **aktualnych przeglądów okresowych**, jeśli chcemy uzyskać wypłatę jakiegokolwiek odszkodowania od firm ubezpieczeniowych z tytułu poniesionych ewentualnych strat – gdyż wymagane są na podstawie ogólnych warunków ubezpieczenia.

## Literatura

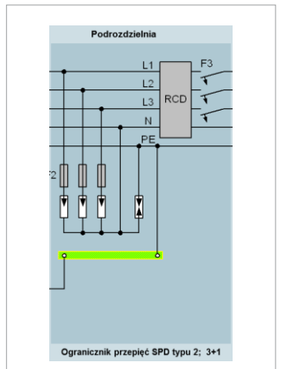

1. Zdjęcia z archiwum prywatnego Krzysztofa Wincencika.
2. DEHN – Poradnik ochrony odgromowej. DEHN SE + Co KG, Neumarkt 2019.
3. PN-EN 62561-1:2017-07 *Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC). Część 1: Wymagania dotyczące elementów połączeniowych.*
4. IEC TS 62561-8:2018 *Lightning protection system components (LPSC). Part 8: Requirements for components for isolated LPS.*
5. PN-EN 62305-3:2011 *Ochrona odgromowa. Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia.*

Mieczysław Ludwików – Phoenix Contact

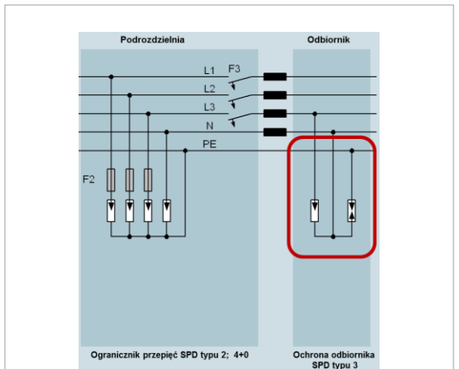
# Instalowanie uniwersalnych ograniczników przepięć w obwodach dystrybucji zasilania, szafach automatyki jak i innych

Każdy aparat czy urządzenie elektryczne posiada skończoną odporność udarową $U_w$ określoną przez swego producenta. Wartość ta jest opisywana bardzo wąską krzywą 1,2/50 µs. Oznacza to tylko tyle, że **możliwym jest zniszczenie izolacji** takich urządzeń czy systemów, jeśli na ich zaciskach pojawią się wyższe, niż producent określił, poziomy napięć przejściowych. Takie wartości odporności dla różnych poziomów napięć w instalacjach można znaleźć na przykład w normie **PH-HD 60364-5-534:2022**, tabela 534.1. Dalej, aparaty i urządzenia należy grupować w obszarach, **uwzględniając ich odporność udarową $U_w$**. Wszystko po to, aby te o podobnej czy identycznej odporności znalazły się w tym samym obszarze, co ułatwia ich zabezpieczanie przed groźnymi zjawiskami. Wszelkie aparaty i urządzenia instalowane wewnątrz szaf zasilania na napięcie 230/400 V powinny posiadać kategorię przepięciową III. Oznacza to, że poziomy przepięć nie powinny przekraczać 4 kV, 1,2/50 µs. O ile z szafami dystrybucji zasilania jest to relatywnie proste, ponieważ urządzenia tam zastosowane powinny mieć relatywnie wysoką odporność, o tyle z szafami sterowania już nie jest to oczywiste. Zdarza się, że aparaty w nich mają niższą odporność niż deklarowana. Jeśli więc w instalacji szafy sterowania istnieją źródła przepięć, jak styczniki czy przekaźniki, maszyny lub obwody, które wychodzą daleko poza szafy, ale w kubaturze budynku, to należy instalować ogranicznik testowany klasą testu II (8/20 µs). Poziom ochrony $U_p$ oferowany przez te ograniczniki przepięć powinien być nie gorszy niż 2,5 kV. To odpowiada ogranicznikowi przepięć typu 2. W tych obwodach, mając trudności z długościami przewodów, warto stosować ograniczniki o połączeniu wewnętrznym 3+1, które zapewniają istotnie lepszy poziom ochrony niż popularne aparaty, dzięki wersji w układzie 4+0. Jest to bardzo ważne dla dyspozycyjności systemu.

**Dalsze wymagania** wynikające z Dzienników Ustaw i norm: **Dz.U. z dnia 9 czerwca 2022 poz. 1225:**




Rys. 1. Ochrona przed częściowymi prądami piorunowymi opisana jest w kolejnej części




Rys. 2. Wymaganie ogranicznika typu 3, jeśli poprzedzający typu 2 jest w układzie 4+0

Rozdział 8 **Instalacja elektryczna**

**§ 180.** Instalacja i urządzenia elektryczne, przy zachowaniu przepisów rozporządzenia, przepisów odrębnych dotyczących dostarczania energii, ochrony przeciwpożarowej, ochrony środowiska oraz bezpieczeństwa i higieny pracy, a także wymagań Polskich Norm odnoszących się do tych instalacji i urządzeń, powinny zapewniać: (…)

2) ochronę przed porażeniem prądem elektrycznym, **przepięciami łączeniowymi i atmosferycznymi**, powstaniem pożaru, wybuchem i innymi szkodami.

Dziennik Ustaw z dnia 8 grudnia 2017 r. poz. 2285 zawiera niestety nieaktualny **wykaz powołanych, a interesujących norm**.

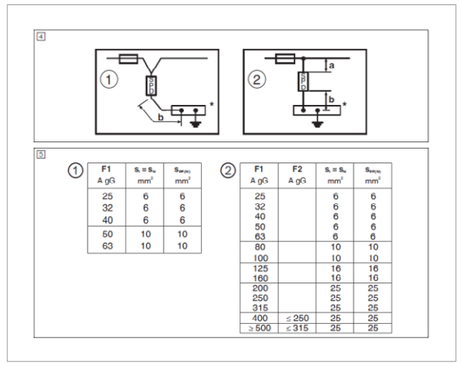
**PN-HD 60364-4-443:2016-03**: ochronę przed przepięciami należy stosować m.in. w obiektach, gdzie awaria może spowodować konsekwencje w zakresie działalności handlowej lub przemysłowej, jak i inne tam wskazane, a dalej, jeśli nie przeprowadzono analizy ryzyka, należy wyposażyć obiekt w ograniczniki przepięć;

**PH-HD 60364-5-534:2016**: ograniczniki przepięć powinny być zainstalowane tak blisko, jak to możliwe, do początku instalacji, na przykład przy wejściu do zasilania szafy lub odpływu na zewnątrz. W celu ochrony przed skutkami wyładowań atmosferycznych i przepięciami od procesów łączeniowych należy stosować ograniczniki testowane w klasie II (8/20µs) **nie słabsze niż 5 kA 8/20 µs**. Należy pamiętać, aby ostatni ogranicznik był nie dalej niż 10 metrów od chronionego aparatu. Inaczej należy powtórzyć ogranicznik, aby chronić przed ewentualnymi oscylacjami powstałymi przy wyładowaniach. **PN-EN 62305-3:2011** wskazuje, że ograniczniki przepięć **należy sprawdzać w odstępach co 12 miesięcy** oraz po każdym stwierdzonym, a nawet podejrzewanym wyładowaniu w kubaturę obiektu. Należy też **okresowo sprawdzać** instalacje piorunochronną i elementy zabezpieczające, nie rzadziej niż raz na 4 lata, oraz raportować. Dalej: ograniczniki przepięć powinny być tak instalowane, aby można było je sprawdzać. W warunkach technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie mowa jest o tym, że nie rzadziej jak raz na 5 lat należy sprawdzać instalacje zasilania. Z kolei **Prawo budowlane** mówi (**Dz.U. 1994 Nr 89 poz. 414, Art. 62.** Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r.), że kontrolą tą powinno być objęte również badanie instalacji elektrycznej i **piorunochronnej w zakresie stanu sprawności połączeń, osprzętu, zabezpieczeń** i środków ochrony od porażeń, oporności izolacji przewodów oraz uziemień instalacji i aparatów.

**Ważne dla użytkowników końcowych:** należy unikać ograniczników typu 2 połączonych w układzie 4+0, które są najchętniej kupowane, ponieważ są tańsze niż te z układem połączeń 3+1. Zaleta tych drugich to rzeczywisty poziom ochrony $U_p$, który jest połową wartości uzyskanej dla wersji 4+0, co oznacza średnio znacznie dłuższy czas pracy aparatów po ograniczniku 3+1, co może z kolei mieć istotne znaczenie przy wymaganych długich okresach gwarancji.

Ważna uwaga z normy **PH-HD 60364-5-534:2022**: jeśli jest zastosowany ogranicznik w układzie 4+0, należy rozważyć kolejny ogranicznik bezpośrednio przy chronionym urządzeniu elektronicznym, może ono wymagać ochrony wzdłużnej, jak i poprzecznej. Wskazany będzie ogranicznik typu 3, patrz **rysunek 2.**

**Ograniczenie obecności przepięć** w instalacji polega na wprowadzaniu do szaf zasilania/sterowania ogranicznika testowanego testem klasy II, czyli typu 2. Wprowadzane ograniczniki przepięć **powinny być konfrontowane** pod kątem konieczności zastosowania **dodatkowego zabezpieczenia nadprądowego** w jego obwodzie. Procedura doboru osobnego zabezpieczenia jest prosta. Jeśli od strony źródła zasilania są obecne bezpieczniki o większej wartości niż dopuszczalne dla rozważanego ogranicznika, należy go osobno zabezpieczyć, wartość ta ma być nie większa niż dopuszczalna dla tego ogranicznika. **Ta informacja jest do pozyskania z danych katalogowych ogranicznika**. Przykład poniżej **(rys. 3.)** dla VAL-SEC-T2-3S-350.. zawiera relacje przekroju przewodu PE w stosunku do wartości poprzedzającego zabezpieczenia dla dwóch różnych układów połączeń. Jeśli poprzedzający bezpiecznik ma mniejszą wartość, to nie ma obowiązku zastosowanie dodatkowego zabezpieczenia. Warto zweryfikować przy dokładaniu ograniczników przepięć, czy obecne zastosowane **przewody ochronne są poprawne** w kontekście rzeczywistych zabezpieczeń nadprądowych. Tutaj znowu pomocne mogą być instrukcje instalacyjne dołączane do ograniczników. **Długości przewodów** to kolejna **bardzo istotna sprawa** przy łączeniu ogranicznika do chronionego obwodu. Za długie przewody znoszą skuteczność ogranicznika. W przypadku ogranicznika typu 2 cenną jest możliwość włączenia się do układu chronionego poprzez **podwójne** zaciski. Tworzy się tzw. układ przelotowy lub układ zwany „V". Granicą jest **maksymalny prąd roboczy płynący poprzez te zaciski**




Rys. 3. Fragment instrukcji instalacyjnej o relacji przekroju przewodu ochronnego do zastosowanego zabezpieczenia nadprądowego



Rys. 4. Uniwersalny ogranicznik typu 2: VALSEC-T2-3S-350-FM

**ogranicznika**. Nie może być on większy niż dopuszczalny dla nich. Jest to przydatne zwłaszcza w przypadku szaf z automatyką. Jeśli to nie jest możliwe, włączamy ogranicznik dwoma przewodami poprzecznie do obwodu chronionego, a równolegle do chronionej izolacji układu zasilania czy aparatu końcowego. Istnieje ograniczenie: **suma długości takich przewodów nie powinna być większa niż 0,5 metra, patrz rysunek 3.2** odcinki a oraz b. Przy klasycznym podejściu to zadanie trudne do zrealizowania. Remedium jest wykorzystanie ściany metalowej szafy lub płyty montażowej, na której umieszczony jest taki ogranicznik przepięć. Ściana ta powinna mieć skuteczne połączenie galwaniczne z pozostałą częścią konstrukcji metalowej, połączoną elektrycznie z obwodem PE lub PEN. Połączenia do chronionych obwodów faz oraz N wykonujemy możliwie jak najkrótsze, natomiast do PE wykonujemy podwójne. Jedno połączenie prowadzimy klasycznie najkrótszą, prostoliniową drogą do lokalnej szyny wyrównania potencjałów w szafie. Drugie wykonujemy od drugiej części zacisku PE krótkim przewodem do płyty, która jest pod ogranicznikiem. Jak widać podwójne zaciski na biegunach ograniczników mają sens techniczny. Znakomitym rozwiązaniem w takiej sytuacji dla sieci pięcioprzewodowej jest ogranicznik posiadający podwójne zaciski, jak np. VAL-SEC-T2-3S-350-FM – 2905340 **(rys. 4.)**. Maksymalne dopuszczalne zabezpieczenie nadprądowe to aż 315 A gG. Maksymalny prąd roboczy podwójnych zacisków ogranicznika to 63 A. Wewnętrzny układ połączeń to 3+1. Jest o 20 mm węższy na szynie DIN od wersji standardowych. Doskonały do zastosowań **modernizacyjnych** w szafach zasilania, jak i sterowania. Zabezpieczenia nadprądowe na poziomie do 315 A gG, jak łatwo się domyśleć, nie wymagają często dodatkowych zabezpieczeń w automatyce, jak i w dystrybucji zasilania. **Wskazówki instalacyjne** zawiera (dla każdego wykonania ogranicznika jest inna) tzw. ulotka do opakowania, dostępna jest na stronach www firmy Phoenix Contact. Ważną rzeczą, jak wspomniana długość, jest relacja między przekrojem przewodu ochronnego PE a wartością prądu bezpiecznika poprzedzającego ogranicznik. Minimalny przekrój przewodu PE dla ogranicznika typu 2 to 6 mm². Może wzrosnąć dla dużych wartości tego prądu – dokładną informację zawiera wspomniana ulotka do opakowania każdego ogranicznika Phoenix Contact. Jak wcześniej pokazano, są tam umieszczone dwie tabelki relacji bezpiecznika i przekroju PE zarówno dla układu „V", jak i gałęziowego. Przekrój ten należy zawsze sprawdzić w przypadku modernizacji instalacji. Przykład: tabela na **rysunku 3.**

**Ogranicznik typu 2 to podstawowy element ochrony i służy do ograniczania poziomów przepięć w jego otoczeniu, a tym samym dla wydłużenia czasu pracy aparatów i systemów. Dlatego jeśli jest pierwszym elementem w instalacji, nie powinien być tylko tanim….**

## Użyteczne linki

1. www.phoenixcontact.com/pl-pl/produkty/ochrona-przed-przepieciami

PHOENIX CONTACT
INSPIRING INNOVATIONS

**Phoenix Contact Sp. z o.o.**
ul. Bierutowska 57-59
Budynek nr 3/A
51-317 Wrocław
tel. 71 398 04 29
**www.phoenixcontact.pl**

dr inż. Tomasz Koźbiał – Politechnika Warszawska, „Groen instalacje" sp. z o.o. sp. k.

# Ochrona odgromowa dachów płaskich

**Ochrona odgromowa dachów płaskich jest bardzo popularna, ponieważ wiele budynków, szczególnie o charakterze komercyjnym, ma konstrukcję właśnie z takim rodzajem dachu. Wynika to głównie z przeznaczenia budynków i w sumie naturalnego podejścia architekta to nadania końcowej bryły budynku. Dachy takie to niezwykle pożyteczne miejsce na lokowanie na nich urządzeń technologicznych, ponieważ urządzenia takie nie zabierają powierzchni w budynku, która może być wynajęta lub sprzedana. Ostatecznie dachy te rzadko pozostają zupełnie niezagospodarowane.**

W artykule poruszono kwestie ochrony odgromowej dachów płaskich, jak również instalowanych na ich powierzchni urządzeń.

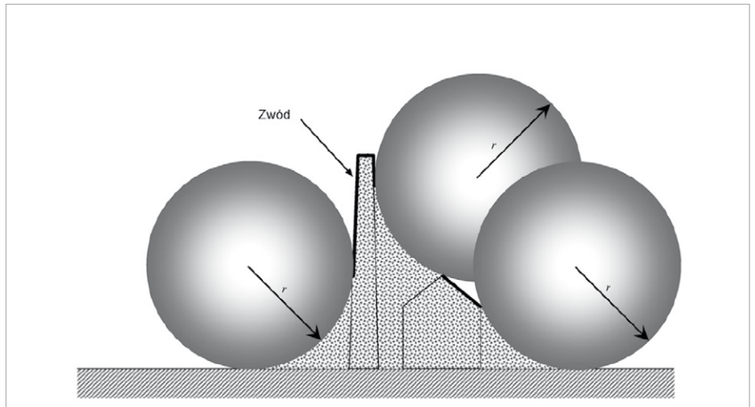

## STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z ochroną odgromową dachów płaskich. Zwrócono uwagę na aspekty związane z teoretycznym i obliczeniowym podejściem mającym za zadanie wskazać projektantowi drogę i metody rozwiązań dla ochrony odgromowej dachów, szczególnie dachów płaskich. Autor starał się przedstawić problematykę poruszanego zadania w możliwie szeroki sposób, koncentrując się na istocie sprawy. Ze względu na zakres poruszanej problematyki, zagadnienie zapewne nie jest wyczerpane, ale główne jej wątki zostały poruszone, co niewątpliwie pozwoli czytelnikowi na znalezienie drogi w poszukiwaniu rozwiązań w zakresie rozważanego tematu, szczególnie w omawianych przez artykuł normach.


**Słowa kluczowe:** ochrona odgromowa, dach płaski, zwody, środki ochrony.

## Podejście projektowe do ochrony dachów płaskich

Rozwiązanie polegające na zastosowaniu ochrony odgromowej dachów płaskich można rozpocząć od obliczeń związanych z ryzykiem, które mogą pojawić się w postaci „strat w obiekcie i urządzeniu usługowym wskutek wyładowań piorunowych, zależnie od rocznej liczby wyładowań piorunowych oddziałujących na obiekt i urządzenia usługowe, prawdopodobieństwa wywołania szkody przez jedno z oddziałujących wyładowań piorunowych, średniej wartości pośrednich strat" [1]. Zdaniem autora obliczenia te powinny być przeprowadzone w pierwszej kolejności w oparciu o wytyczne określone w normie PN-EN 62305-2. Wyznaczona wartość ryzyka pozwala w pierwszym podejściu na ocenę konieczności instalacji urządzenia piorunochronnego. Wyniki obliczeń będą pomocne przy podejmowaniu decyzji w zakresie poziomu ochrony LPL (ang. *lightning protection level*), a dalej klasy urządzeń piorunochronnych LPS (ang. *lightning protection system*). Zgodnie z wieloarkuszową normą PN-EN 62305 występują cztery poziomy ochrony zgodnie z **tabelą 1.**




Rys. 1. Sprawdzenie powierzchni przeznaczonych do ochrony odgromowej i wyznaczenie stref bezpiecznych, gdzie **r** – promień toczącej się kuli [2]

| LPL | Klasa LPS |
|---|---|
| I | I |
| II | II |
| III | III |
| IV | IV |

Tab. 1. Powiązanie poziomów ochrony odgromowej LPL z klasami urządzeń piorunochronnych LPS [1]

| Klasa LPS | Metoda ochrony | |
|---|---|---|
| | Promień toczącej kuli r, w [m] | Metoda oczkowa, wymiar siatki W, w [m] |
| I | 20 | 5×5 |
| II | 30 | 10×10 |
| III | 45 | 15×15 |
| IV | 60 | 20×20 |

Tab. 2. Maksymalne wartości promieni toczącej kuli, wymiarów siatki i kąta ochronnego odpowiadających klasom LPS

Na podstawie obliczeń ryzyka, projektant może symulować wiele rozwiązań możliwych do zastosowania w budynku, które pozwolą mu ustalić różny poziom LPL i LPS. Kwestia obliczeń ryzyka jest ujęta szeroko we wspomnianej powyżej normie, stąd te aspekty nie będą obecnie poruszane w tym artykule, ze względu na wielkość samego zagadnienia. Warto jednak wspomnieć, że projektant może symulować w takich obliczeniach np. zastosowane środki ochrony pożarowej, wielkości i lokalizacje układów zasilania, charakterystykę wbudowanej instalacji elektrycznej, prawdopodobieństwo porażenia istot żywych wskutek napięć krokowych czy dotykowych i szereg innych kwestii.

Gdy zostanie przeprowadzony proces określania poziomu ochrony odgromowej LPL oraz klasy urządzeń piorunochronnych LPS, wówczas można przystąpić do projektowania ochrony odgromowej obiektu. W naszym przypadku będą to obiekty z dachami płaskimi.

Do możliwie jak najlepszego zaprojektowania ochrony odgromowej dachu płaskiego, można posłużyć się dwoma metodami: metoda toczącej się kuli oraz metoda oczkowa. Pierwsza metoda jest uniwersalna dla każdego rodzaju dachu, zaś metoda oczkowa właściwie przeznaczona jest tylko do dachów płaskich (czyli dachów o nachyleniu nie większym niż 1/10).

Norma [2] podaje tabelę dość istotną z punktu widzenia ochrony odgromowej **(tab. 2.)**.

Tabela ta określa wielkość kuli lub wymiar siatki w zależności od przyjętej klasy LPS dla danego obiektu (klasę ochrony obiektu przyjmuje projektant w zależności od typu i przeznaczenia obiektu). Jest to punkt wyjścia do dalszych prac projektowych. Jeżeli do ochrony dachu płaskiego zostanie wybrana metoda toczącej się kuli, to w oparciu o klasę LPS wiemy, o jakim promieniu r kulę należy przetoczyć po dachu budynku – oczywiście w sposób wirtualny. Wszelkie powierzchnie dotykane taką kulą należy objąć ochroną, można to zobrazować jak na **rysunku 1**.

Na dachu płaskim będą rozmieszczane zwody poziome, mające za zadanie ochronić płaską powierzchnię dachu. Zwody te najlepiej rozmieszczać tak, aby zachować odpowiednią wielkość oka siatki, odpowiednią do klasy LPS. Odstęp od powierzchni dachu do zwodu poziomego układanej siatki zwodów, powinien być na tyle duży, aby kula wnikając przez taką siatkę, nie dotknęła powierzchni dachu, stąd istotne jest przy danym promieniu toczącej kuli zachować adekwatną siatkę zwodów poziomych zgodną z **tabelą 2.**

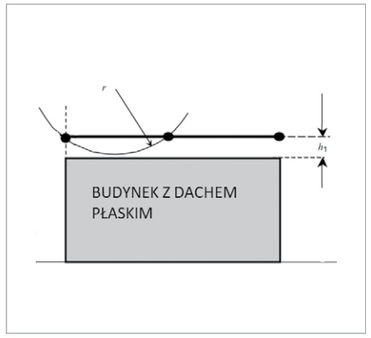
**Rysunek 2.** pokazuje wnikanie kuli przez siatkę zwodów poziomych – w tym celu należy zachować odpowiednią wysokość $h_1$ zwodów poziomych od powierzchni dachu, tak by kula nie dotknęła powierzchni dachu.

Głębokość wnikania kuli przy danym wymiarze siatki zwodów poziomych można wyznaczyć graficznie. Można to także wyznaczyć obliczeniowo, w oparciu o wzór (1), czyli:

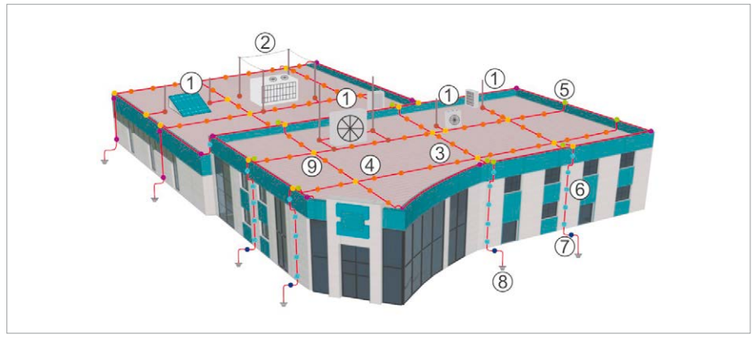
$$p = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} \qquad (1)$$

gdzie:
r – promień toczącej się kuli,
d – odległość między zwodami,
p – głębokość wnikania kuli.

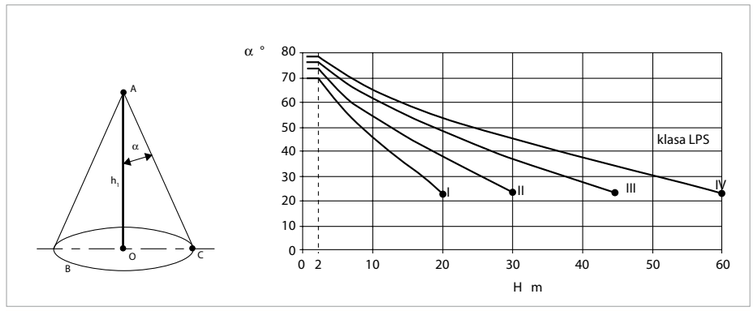
W wspomnianej wcześniej metodzie oczkowej, w przypadku ochrony dachów płaskich z wykorzystaniem zwodów poziomych należy zwrócić uwagę na wymagania co do układania przewodów zwodów, czyli konieczność ich układania na krawędziach dachu, na częściach wystających dachu, na kalenicy dachu, jeżeli nachylenie przekracza 1/10 [3]. Sieć zwodów powinna umożliwić przepływ udaru prądowego pochodzącego od pioruna przez minimum dwie różne drogi przewodzące.



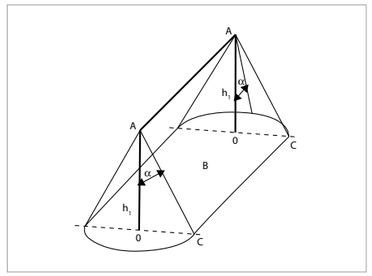

Rys. 2. Wnikanie toczącej się kuli o promieniu r, przy ochronie zwodem poziomym i wyznaczanie wysokości $h_1$ montażu zwodu nad chronionym dachem [2]



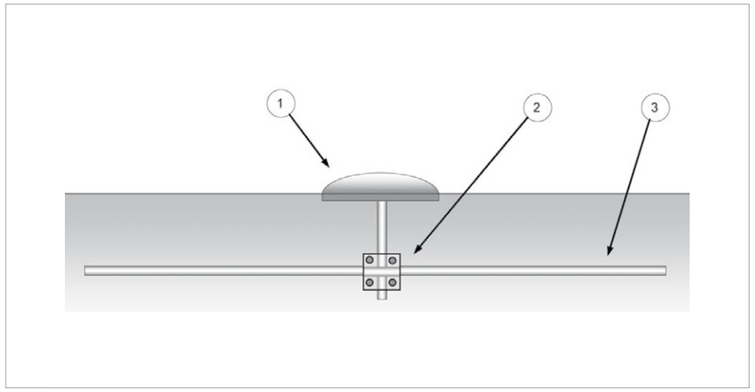

Rys. 3. Przykład zwodów poziomych oraz pionowych w ochronie dachu płaskiego budynku, gdzie: **1** – zwody pionowe, **2** – zwody poziome wysokie, **3** – zwód poziomy niski, **4** – uchwyty dachowe do zwodów poziomych, **5** – zwody poziome prowadzone wzdłuż attyki budynku, **6** – przewód odprowadzający, **7** – połączenie kontrolne, **8** – uziom, **9** – elementy łączeniowe zwody poziome [3]




Rys. 4. Pojedynczy zwód pionowy, gdzie: **A** – wierzchołek zwodu, **B** – płaszczyzna odniesienia, **OC** promień przestrzeni ochronnej, **h1**, **H** – wysokość zwodu od płaszczyzny odniesienia przestrzeni poddawanej ochronie, **α** – kąt ochrony; oraz wykres zależności klasy LPS od wysokości zwodu H w odniesieniu do kąta ochrony **α** [2]




Rys. 5. Zwód poziomy wysoki, gdzie: **A** – wierzchołek zwodu, **B** – płaszczyzna odniesienia, **OC** promień przestrzeni ochronnej, **h1** – wysokość zwodu od płaszczyzny odniesienia przestrzeni poddawanej ochronie, **α** – kąt ochrony (według **rysunku 4**.) [2]




Rys. 6. Przykład zastosowania zwodu sworzniowego z główką **(1)**, połączony do pręta zbrojeniowego lub pręta wewnętrznej sieci połączeń instalacji odgromowej **(3)** poprzez systemowy łącznik **(2)** [2]



Rys. 7. Połączenia elastyczne między obróbką metalową attyki za pomocą taśm stalowych lub aluminiowych [4]

Możemy wyobrazić sobie dach płaski, który będzie chroniony zwodami. W celu skomplikowania zagadnienia ustalmy, że powierzchnia dachu nie może pełnić funkcji zwodu naturalnego, czyli nie jest wykonana z blachy o grubości min. 0,5 mm lub inwestor nie dopuszcza, aby taka blacha pełniła rolę zwodów ze względu na możliwe perforacje blachy przez wyładowania bezpośrednie. W tej sytuacji zostaną rozmieszczone zwody poziome w myśl omówionych powyżej zasad. Dachy takie rzadko stanowią pustą przestrzeń. Rozmieszczane są na nich elementy konstrukcyjne związane głównie z wentylacją i klimatyzacją budynku oraz wyposażeniem technicznym związanym z antenami, rozprowadzeniem koryt kablowych oraz coraz częściej panelami fotowoltaicznymi. W związku z tym, same zwody poziome nie wystarczą, będą one bowiem chronić powierzchnię dachu i rozpraszać (rozdzielać) prąd udarowy w momencie wyładowania atmosferycznego w kubaturę budynku. Z kolei urządzenia techniczne należy na dachu płaskim objąć dodatkowo ochroną zwodów pionowych, starając się tym samym ograniczyć możliwość bezpośredniego oddziaływania udarów prądowych pochodzących od piorunów. Zwody pionowe mają za zadanie utworzyć strefę wokół chronionego obiektu, dzięki czemu umieszczone w tej strefie obiekty nie będą narażone na bezpośrednie oddziaływanie prądów udarowych. Mogą być też zastosowane zwody poziome wysokie dla takich elementów. **Rysunek 3.** obrazuje w sposób schematyczny wymienione rodzaje zwodów.

Pojedynczy zwód pionowy będzie obejmował ochroną obiekt na dachu poprzez przestrzeń o kształcie stożka, określoną przez kąt ochrony $\alpha$, który jest równy „połowie kąta wierzchołkowego stożka i zależy od klasy LPS oraz wysokości zwodu" [2]. Kąt $\alpha$ określa wykres zależności klasy LPS i wysokości przyjętego zwodu pionowego **(rys. 4.)**.

W przypadku zwodów poziomych wysokich (zwanych też podwyższonymi), przestrzeń chroniona powstaje poprzez minimum dwa zwody pionowe i rozciągnięty między nimi zwód poziomy. Przykład takiego rodzaju zwodu obrazuje **rysunek 5.**

Warto też zauważyć, że norma [2] dopuszcza nieobejmowanie ochroną odgromową za pomocą zwodów pionowych metalowych urządzeń dachowych, jeżeli ich wymiary nie przekraczają takich wartości jak: wysokość od poziomu dachu 0,3 m, całkowita powierzchnia nadbudówki 1,0 m$^2$ oraz długość nadbudówki 2,0 m. Z kolei nieprzewodzące urządzenia dachowe wystające ponad powierzchnię utworzoną przez układ zwodów dachu nie więcej niż 0,5 m nie potrzebują ochrony poprzez dodatkowe zwody pionowe. Dzięki takiemu podejściu, możliwe jest nieobejmowanie ochroną wszelkich urządzeń dachowych, czyli norma pozwala na zachowanie umiaru w stosowaniu ochrony odgromowej.

Dachy płaskie to nie tylko dachy, na których przebywają urządzenia do obsługi technicznej budynku. Zdarzają się także dachy, które zostały przeznaczone na parkingi samochodowe. W tym przypadku zastosowanie tradycyjnych zwodów poziomych nie zda egzaminu. Stąd norma [3] proponuje zastosowanie zwodów w postaci bolców z główkami. „Bolce te mogą być połączone ze stalą zbrojeniową betonowego dachu" [3] albo z wyprowadzonymi w betonie drutami stalowo-ocynkowanymi w ramach wewnętrznej sieci połączeń instalacji odgromowej. Dachy płaskie przeznaczone na parkingi będą chronione przed bezpośrednim oddziaływaniem wyładowań atmosferycznych poprzez punktowe wystające z betonu bolce z główkami, rozmieszczone w odstępach, tworząc siatkę o okach według **tabeli 2.** Warto zauważyć, że w tym rozwiązaniu pojazdy na dachu nie są objęte ochroną odgromową – w tym celu projektant może podjąć inne kroki, np. zastosować zwody pionowe oraz poziome wysokie – w tym przypadku takie rozwiązanie może szpecić budynek, stąd ta metoda ochrony może być bojkotowana przez architekta czy nawet inwestora. W takim przypadku pozostaje np. zastosować napisy ostrzegawcze informujące o zakazie przebywania ludzi na parkingu w czasie burzy lub zastosowanie systemów elektronicznych z wczesną detekcją burzy i głosowym/świetlnym sygnalizowaniem o konieczności opuszczenia dachu, ze względu na zbliżającą się burzę i możliwe wyładowania atmosferyczne. Wykorzystuje się także elementy wyposażenia dachu jak słupy masztów oświetleniowych, jako naturalne zwody pionowe.

## Materiały użyte do ochrony odgromowej

Norma [2] wskazuje na możliwość zastosowania wielu materiałów jako zwody. Będą to miedź, miedź ocynkowana, aluminium, stop aluminium, stal ocynkowana ogniowo oraz stal nierdzewna. Spośród wymienionych materiałów najbardziej popularna jest stal ocynkowana – decyduje o tym głównie cena, dlatego warto zatrzymać się przy tym materiale dłużej. Na dachu do utworzenia sieci zwodów poziomych wykorzystuje się stal ocynkowaną ogniowo w postaci drutów o średnicy 8 mm i minimalnym przekroju 50 mm$^2$.

Na dachach, gdzie zachodzi konieczność łączenia elementów oddzielonych dylatacją lub elementów różnie zachowujących się podczas swojego istnienia pod wpływem otaczających warunków atmosferycznych, stosuje się taśmy ocynkowane o grubości min. 2,5 mm i przekroju 50 mm$^2$, pod warunkiem, że względy mechaniczne i cieplne nie są istotne, w przeciwnym razie przekrój może zostać zwiększony do 60 mm$^2$. Zamiast taśm można zastosować także linki stalowe o średnicy każdego drutu 1,7 mm i przekroju o tych samych zasadach jak w przypadku taśm. W przypadku linek wykonawcy stosują również inne materiały niż stal ocynkowaną, np. miedź lub aluminium. Warto także zaznaczyć, że utworzona siatka zwodów poziomych, w miejscach przecinania się prętów stanowi sztywną sieć, która nie zachowuje dostatecznej elastyczności – np. dochodzi do oderwania wsporników pod pręty zwodów poziomych niskich od powierzchni pokrycia dachowego, które zamiast podtrzymywać zwody, są na nich zawieszone. Elastyczność taka potrzebna jest ze względu na zmiany długości drutów tworzących siatkę zwodów na skutek zmian temperatury. Dlatego niektórzy producenci wskazują na potrzebę stosowania elastycznych połączeń w miejscu przecinania się prętów zwodów poziomych. O ile rozwiązanie to jest pomysłowe, to ze względu na koszt jego wykonania (dodatkowe elementy plus robocizna) tego typu propozycje potrafią być często bojkotowane przez wykonawców, a także przez samych inwestorów.


## ABSTRACT

**Lightning protection of flat roofs**

The article presents issues related to the lightning protection of flat roofs. Attention was paid to aspects related to the theoretical and computational approach aimed at showing the designer the way and methods of solutions for the lightning protection of roofs, especially flat roofs. The author tried to present the problem of the discussed task as broadly as possible, focusing on the essence of the matter. Due to the scope of the issues discussed, the issue is probably not give out, but its main threads have been raised, which will undoubtedly allow the reader to find a way to find solutions to the topic under consideration, especially by standards discussed in the article.

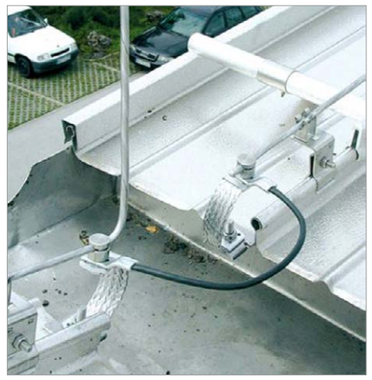
**Keywords:** lightning protection, flat roof, air-termination system, protection measures.

Przykłady takich połączeń elastycznych zobrazowano na **rysunkach 7–9.**

W ramach używanych materiałów do ochrony dachów należy stosować materiały jednorodne w ramach jednego systemu. Oznacza to, że należy unikać łączenia ze sobą różnych materiałów, jak np. elementów miedzianych z elementami stalowymi ocynkowanymi (chyba że część stalowa jest zabezpieczona przed korozją). Spowodowane jest to głównie rozpraszaniem się cząstek miedzi, które doprowadzają do korozji elementy stalowe – dotyczy to także miejsc, gdzie miedź nie dotyka bezpośrednio części stalowych [2]. Ponieważ ochrona dachów, w tym dachów płaskich, sprowadza się głównie do zastosowania zwodów pionowych i poziomych w powietrzu, stąd warto mieć na względzie wymogi normy [2] odnośnie stosowania materiałów w tym środowisku. Zwraca się uwagę, że minimalna średnica lub grubość drutu powinna być nie mniejsza niż 1,5 mm. Warstwa ocynku na elementach metalowych powinna być przeprowadzona metodą ogniową przy zapewnieniu powłoki o grubości do 50 µm (wyróżnia się ocynkowanie ogniowe metodą zanurzeniową oraz metodą Sendzimira, gdzie pierwsza metoda przewidziana do trudnych warunków atmosferycznych, wg obowiązujących klas korozyjności C3, C4, C5 – utrata roczna warstwy ochronnej od 0,7 do 8,4 µm/rok, zaś druga metoda dotyczy klas korozyjności C1, C2 z utratą roczną warstwy ochronnej od 0 do 0,7 µm/rok, wg normy PN-EN ISO 12944-2:2018-02). Należy unikać również połączeń w powietrzu miedzi lub stopów miedzi ze stalą, jeśli nie są spawane – w przeciwnym wypadku połączenia takie powinny być całkowicie pokryte cyną lub warstwą odporną wilgoć.



Rys. 8. Połączenia elastyczne za pomocą taśm stalowych lub aluminiowych między prętami zwodów poziomych w miejscu ich krzyżowania [4]



Rys. 9. Połączenia zwodów poziomych i pionowego oraz metalowego pokrycia dachowego za pomocą połączeń elastycznych: taśm stalowych lub aluminiowych i drutów stalowych izolowanych [5]

## Podsumowanie

Tematyka ochrony dachów płaskich sama w sobie jest ciekawa i bywa często trudna, ponieważ jest wielowątkowa. Z pozoru proste zagadnienie komplikuje się w miarę rozpatrywania kolejnych okoliczności. Stąd istotne jest przeprowadzanie przez projektanta analizy ryzyka dla danego obiektu i zastosowanie na tej podstawie rozwiązań głównie opierających się na zwodach poziomych i pionowych. Rzetelne zaprojektowanie ochrony odgromowej wymaga także doświadczenia ze strony projektanta, im więcej wykonanych projektów, tym więcej pojawiających się niespodzianek do rozwiązania, które często prowadzą do zastosowania niecodziennych rozwiązań lub rozwiązań hybrydowych w oparciu o utarte metody. Dlatego pojawiały się głosy, że tematyka ochrony odgromowej powinna być przeprowadzana przez projektantów specjalizujących się w tych instalacjach i koncentrujących się wyłącznie na ich projektowaniu. O ile można zgodzić się z tym, że projekt instalacji odgromowej (w tym także uziemiającej) bywa trudny i czasochłonny, to jednak realizowanie przez projektanta wyłącznie tej instalacji nie zdaje w praktyce egzaminu, ze względu na fakt, że projektant instalacji elektrycznych ma w swoich obowiązkach projektowanie także innych składowych tej instalacji, nie tylko instalację odgromową. Artykuł przedstawia w zarysie aspekty ochrony odgromowej dachów płaskich, które w sumie można rozszerzyć także na inne rodzaje dachów. W artykule przedstawiono najważniejsze elementy ochrony odgromowej budynków z dachami płaskimi. Szczegółowe wymagania w tym względzie znajdują się w wieloarkuszowej normie PN-EN 62305 *Ochrona odgromowa*.

literatura do artykułu na elektro.info.pl

Tomasz Maksimowicz – RST Sp. z o.o.

# Ochrona przed przepięciami kamer IP i sieci Ethernet

**Sieci Ethernet obecnie to już nie tylko sieci komputerowe, ale przede wszystkim uniwersalne medium dla wszelkiego rodzaju systemów transmisji. Ogromne korzyści uzyskano dzięki opracowaniu standardu zasilania Power over Ethernet (PoE), który znacząco przyczynił się do rozszerzenia obszaru zastosowań tej technologii. Doskonały przykład stanowią systemy monitoringu wizyjnego (VSS – *Video Surveilance System*, potocznie CCTV), gdzie jednym przewodem 4-parowym możliwa jest transmisja sygnału wizyjnego, sterowanie oraz zasilanie kamery. Należy jednak pamiętać, że takie systemy mogą być szczególnie wrażliwe na skutki oddziaływania wyładowań atmosferycznych.**

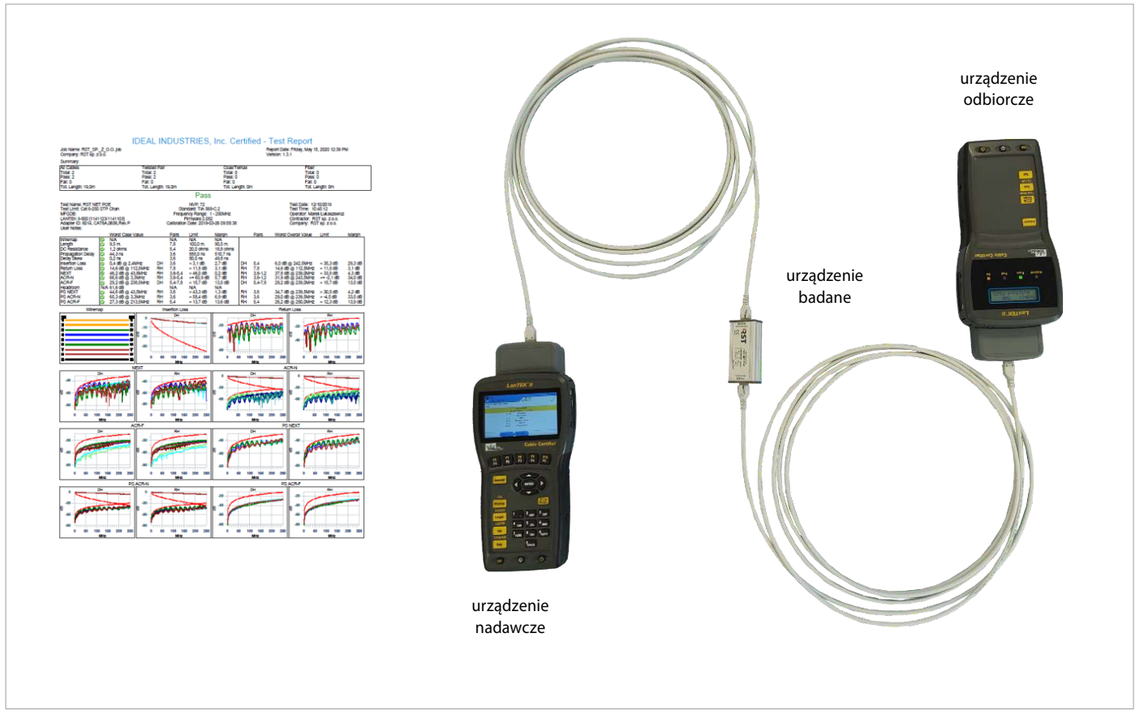
Niskie poziomy sygnałów transmisji danych oraz mała odporność na udary urządzeń elektronicznych powodują, że sieci Ethernet są szczególnie podatne na uszkodzenia w wyniku przepięć, zwłaszcza w przypadku rozległych sieci okablowania strukturalnego. Coraz wyższe klasy okablowania oraz szybkości transmisji danych powodują, że do ochrony takich systemów przed skutkami wyładowań konieczne jest stosowanie wysokiej jakości ograniczników przepięć (SPD).

## Wytrzymałość udarowa ograniczników do sieci Ethernet

Podstawowym parametrem każdego ogranicznika przepięć jest wytrzymałość udarowa. Określa ona, jakie prądy udarowe o znormalizowanych kształtach SPD jest w stanie wytrzymać bez uszkodzenia. Najczęściej stosowane w badaniach są udary: $I_n$ ($I_{max}$) o kształcie 8/20 µs oraz udar $I_{imp}$, któremu przypisuje się najczęściej kształt 10/350 µs. Pierwszy z nich odpowiada umownie prądom, jakie mogą zaindukować się w instalacji na skutek pośredniego oddziaływania pioruna, natomiast udar $I_{imp}$ charakteryzuje częściowy prąd pioruna. O wytrzymałości ogranicznika decyduje wartość szczytowa prądów udarowych. Parametry udarowe SPD powinny być potwierdzone na podstawie prób, zgodnie z normą produktową PN-EN 61643-21 [1].

## Ograniczenia standardu RJ45

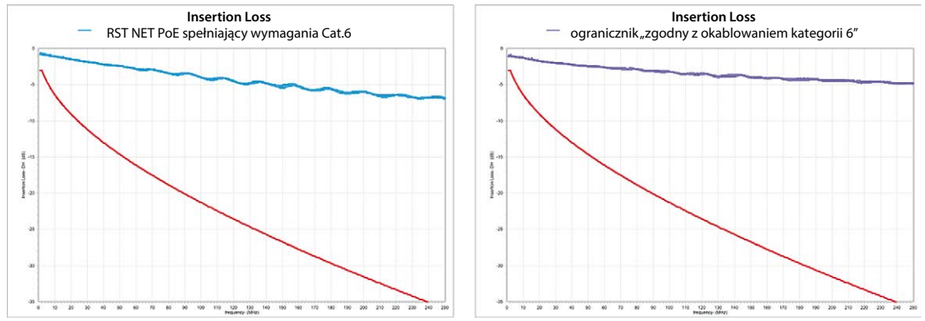
Typowe wytrzymałości profesjonalnych ograniczników przepięć do ochrony obwodów sygnałowych w obudowach z zaciskami śrubowymi wynoszą $I_{max} \approx 10 \div 20$ kA (kategoria C2) oraz $I_{imp} \approx 2{,}5 \div 5$ kA (kategoria D1). Inaczej wygląda to w przypadku ograniczników do sieci Ethernet. **Złącza RJ45 narzucają istotne ograniczenia: przy udarach o kształcie 8/20 µs maksymalna wytrzymałość kategorii C2 może wynosić 2÷2,5 kA** w zależności od jakości gniazda. Przy prądach o wyższych wartościach szczytowych następuje najczęściej uszkodzenie pinów, skutkujące przerwaniem ciągłości linii transmisyjnej. Może nastąpić także zespawanie wtyczki z gniazdem, skutkujące z kolei trwałym uszkodzeniem fizycznym pinów przy próbie rozłączenia. W przypadku wytrzymałości na częściowe prądy pioruna, **typowe wartości deklarowane przez producentów dla kategorii D1 to $I_{imp} \approx 1$ kA**. Należy tu podkreślić, że są to wartości odpowiadające wytrzymałości pojedynczej żyły względem uziemienia. Podawanie przez producentów wyższych wytrzymałości może budzić zatem pewne wątpliwości. Niektórzy deklarują wytrzymałość całego ogranicznika jako sumę prądów udarowych, jakie mogą być odprowadzone z wszystkich żył – niestety często są to wartości niepotwierdzone żadnymi badaniami.



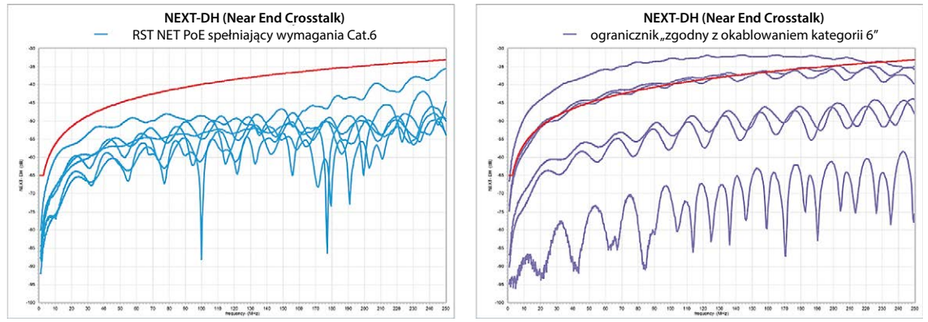

Rys. 1. Układ do pomiaru parametrów transmisyjnych na przykładzie ogranicznika przepięć RST NET PoE z zastosowaniem miernika Lantek



**a)** tłumienie (Insertion loss)




**b)** przeniki (NEXT)

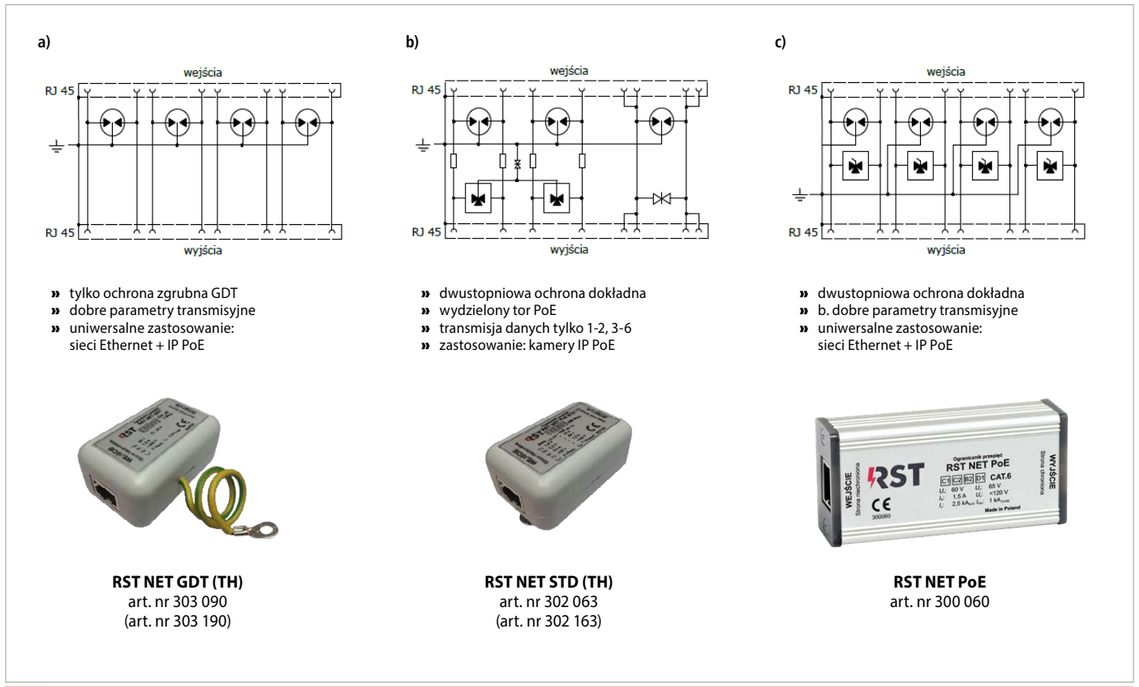



Rys. 2. Przykładowe charakterystyki transmisyjne kat. 6 wg TIA/EIA 568 ograniczników przepięć: RST NET PoE zgodny z kat. 6 (po lewej) oraz „zgodnego z okablowaniem kategorii 6” (po prawej)

Porównując wytrzymałości ograniczników do sieci Ethernet z parametrami standardowych SPD, może nasuwać się pytanie, czy $I_{max} \approx 2$ kA wystarczy. Wyższe poziomy odporności można byłoby uzyskać poprzez zastosowanie zacisków śrubowych lub LSA, mogłoby się to jednak wiązać z pogorszeniem właściwości transmisyjnych takiego ogranicznika. Należy tu zwrócić uwagę na charakterystykę przewodu wielożyłowego ze skręconymi parami, który najczęściej jest dodatkowo ekranowany: przepięcia, jakie zaindukują się w pojedynczej żyle takiego przewodu, będą znacznie mniejsze w porównaniu do zwykłego przewodu jednoparowego nieekranowanego. Zatem odporności SPD na poziomie $I_{max} \approx 2$ kA do ochrony przewodów wielożyłowych należy uznać za wystarczające.

## Zaburzenia wspólne i różnicowe

Kolejna kwestia to różnice między poziomami wytrzymałości żyła–ziemia i żyła–żyła. **Największe zagrożenie stanowią przede wszystkim przepięcia wynikające z różnicy potencjałów względem ziemi**, czyli zaburzenia wspólne, inaczej zwane asymetrycznymi. Do ochrony przed tym rodzajem przepięć konieczne jest najczęściej zastosowanie elementów iskiernikowych, które w przypadku ochrony obwodów sygnałowych stanowią miniaturowe odgromniki gazowe (GDT). Odgromniki w momencie zadziałania powodują zwarcie, umożliwiając odprowadzenie energii zaburzeń do uziemienia. Poziomy zaburzeń różnicowych (symetrycznych), jakie występują pomiędzy poszczególnymi żyłami, są znacznie mniejsze i wystarczające w tym przy-




Rys. 3. Przykłady konfiguracji ograniczników przepięć

padku będą elementy półprzewodnikowe, które są w stanie pochłonąć takie energie.

## Parametry transmisyjne

W sieciach Ethernet coraz większe znaczenie odgrywają parametry transmisyjne. Obecnie praktycznie minimum dla elementów okablowania strukturalnego stanowi kategoria 5E, która coraz powszechniej wypierana jest przez elementy kategorii 6. Dla zapewnienia odpowiedniej szybkości transmisji danych urządzeń pracujących w sieci konieczne jest dostosowanie toru między tymi urządzeniami. Ogranicznik przepięć przyłączany jest w obwód szeregowo, przez co wpływa na parametry toru między portami chronionych urządzeń.

## Kategoria czy klasa?

Na początek należy rozróżnić określenia kategorii i klas. **Kategorie (5, 5E, 6, $6_A$, 7, $7_A$) odnoszą się do pojedynczych elementów** takich jak gniazda, kable, panele krosowe. Wymagania dla poszczególnych kategorii określa amerykańska norma TIA/EIA 568 [2]. **Klasa (D, E, $E_A$, F, $F_A$) odnosi się natomiast do całego toru**, na który składają się wymienione powyżej elementy. Wymagania odnośnie do klas określają normy europejska EN 50173-1 [3] oraz międzynarodowa ISO/IEC 11801 [4]. **Odnosząc się do parametrów transmisyjnych ogranicznika przepięć, który w rezultacie stanowi element toru, powinno się mówić zatem o jego kategorii, a nie klasie**.

Spełnienie wymagań kategorii 5 czy 5E przez ogranicznik przepięć nie jest trudne do osiągnięcia, o ile transmisja danych jest możliwa wszystkimi parami. Inaczej jest w przypadku kategorii 6 i wyższych, dla których stawiane są znacznie bardziej rygorystyczne wymagania w znacznie szerszym paśmie częstotliwości (250 Mhz w stosunku do 100 Mhz). Ogranicznik przepięć jest włączany szeregowo w tor transmisyjny, w związku z czym jego parametry mogą decydować o jakości sygnału przesyłanego chronionym torem. To, że producent SPD deklaruje, że „ogranicznik jest zgodny z okablowaniem kategorii X", najczęściej niestety nie oznacza, że sam spełnia wymagania tej kategorii.

## Jak konstrukcja SPD wpływa na parametry transmisyjne?

Każde urządzenie włączane szeregowo w obwód transmisyjny wpływać będzie na przesyłany sygnał. W przypadku ograniczników przepięć znaczenie mogą mieć złącza RJ45, elementy ograniczające napięcie, komponenty szeregowe, a nawet układ ścieżek pcb. Odgromniki gazowe charakteryzują się bardzo dużą rezystancją izolacji (~GΩ) i bardzo małą pojemnością (~pF), przez co praktycznie nie wpływają na chroniony obwód. Inaczej jest z elementami półprzewodnikowymi, których pojemności mogą ograniczać pasmo użyteczne, działając jak filtr dolnoprzepustowy. Pojemności warystorów (~nF) praktycznie wykluczają ich stosowanie w sieciach Ethernet. W przypadku diod najczęściej stosuje się układy złożone z diod TVS, które zapewniają oczekiwaną odporność na udary, oraz mostków prostowniczych na bazie diod szybkich, których zadaniem jest zmniejszenie wypadkowej pojemności. Jak się okazuje, kwestie tłumienia mogą okazać się drugorzędne, jeżeli źle zostaną zaprojektowane ścieżki na płytce pcb. Na **rysunku 2a** przedstawiono przykładowe charakterystyki tłumienia ograniczników przepięć różnych producentów – jak widać w obu przypadkach jest bardzo duży margines tolerancji w stosunku do wartości granicznych określonych dla kategorii 6 wg TIA/EIA 568 [2]. Jak się okazuje, sprzężenia między poszczególnymi parami, które mają wpływ na tzw. przeniki (NEXT – *Near End Cross Talk*), mogą mieć dużo większe znaczenie pod kątem zgodności produktu z określoną kategorią okablowania. Na **rysunku 2b** przedstawiono wyniki pomiaru parametru NEXT-DH tych samych ograniczników. Jak można zauważyć, w jednym przypadku charakterystyki pomiarów przeników między poszczególnymi parami są zbliżone i znajdują się poniżej krzywej granicznej. W przypadku drugiego ogranicznika przeniki pomiędzy poszczególnymi parami są bardzo zróżnicowane i niektóre przekraczają krzywą graniczą, dyskwalifikując urządzenie z próby kategorii 6, chociaż według producenta to urządzenie jest „zgodne z okablowaniem kategorii 6". Zestawienie tłumienia i przeników określa parametr ACR (*Atenuation to Crosstalk Ratio*), który można porównać do jednego z istotniejszych parametrów w telekomunikacji: sygnał/szum (SNR).



| Rodzaj testu | Częstotliwość | Standard | RST NET GDT (TH) 303 090 (303 190) | RST NET PoE Std (TH) 302 063 (302 163) | RST NET PoE 300 060 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | ochrona zgrubna GDT, transmisja danych 4 pary kompatybilny z PoE | ochrona dwustopniowa transmisja danych 1-2, 3-6 wydzielony tor PoE 4/5-7/8 | ochrona dwustopniowa, transmisja danych 4 pary kompatybilny z PoE |
| CAT 6 STP Chan | 1 – 250 MHz | TIA 568-C.2 | – | – | + |
| CAT 5E STP Chan | 1 – 100 MHz | TIA 568-C.2 | + | – | + |
| CAT 5 STP Chan | 1 – 100 MHz | TIA/EIA-568-B.1-2001 | + | – | + |
| ISO E STP Chan | 1 – 250 MHz | ISO/IEC 11801:2002 | + | – | + |
| ISO D STP 1st Chan | 1 – 100 MHz | ISO/IEC 11801:2000 | + | – | + |
| ISO C STP 2nd Chan | 1 – 16 MHz | ISO/IEC 11801:2002 | + | – | + |
| EN50173-1 E STP Chan | 1 – 250 MHz | EN50173-1 | + | – | + |
| EN50173-1 D STP Chan | 1 – 100 MHz | EN50173-1 | + | – | + |
| 1000Base T Channel STP | 1 – 100 MHz | IEEE 802.3 | + | – | + |
| 100Base TX Channel | 1 – 100 MHz | IEEE 802.3 | + | + | + |
| Ethernet 2Pair | 1 – 300 MHz | TIA 568-B.2-10-Custom | + | + | + |
| Industrial 2Pair Ethernet | 1 – 100 MHz | TIA 568-C.2 | + | + | + |

Tab. 1. Wyniki testów parametrów transmisyjnych ograniczników przepięć

Zastosowane komponenty ogranicznika w odpowiedniej konfiguracji decydują przede wszystkim o odporności na udary. Największy wpływ na zgodność z daną kategorią ma najczęściej konfiguracja ścieżek i jakość złącz RJ45. O zgodności z jakąkolwiek kategorią okablowania decydować może także konfiguracja ochrony poszczególnych par. Niewiele osób zdaje sobie jednak sprawę, że wiele ograniczników przeznaczonych do ochrony kamer IP nie spełnia żadnej z kategorii okablowania strukturalnego.

## Ochrona sieci Ethernet a rozwiązania dla PoE

Ogranicznik przepięć do ochrony sieci Ethernet z zasilaniem PoE powinien być dostosowany przede wszystkim ze względu na zakres napięć. O ile transmisja danych odbywa się w zakresie pojedynczych woltów, to zasilanie PoE może osiągać wartości do 57 V.

Podstawowe rozwiązanie do ochrony przed przepięciami sieci Ethernet składa się z 4 odgromników trójelektrodowych, które zabezpieczają poszczególne 4 pary (**rys. 3a**; na zdjęciu wersja do montażu na przewodzie z uziemieniem przez linkę: RST NET GDT art. nr 303 090, wersja do montażu i uziemienia przez szynę 35 mm: RST NET GDT TH art. nr 303 190). Jest to rozwiązanie uniwersalne, znajdujące zastosowanie zarówno w zwykłych sieciach, jak i do obwodów z zasilaniem PoE. Typowe statyczne napięcie przebicia stosowanych odgromników wynosi 90 V (±20%), co jest wystarczające przy standardowym napięciu zasilania PoE do 57 V prądu stałego. Brak drugiego stopnia ochrony z jednej strony zapewnia na ogół małe tłumienie i dobre parametry transmisyjne, ale z drugiej strony zapewnia jedynie ochronę zgrubną. Typowy napięciowy poziom ochrony takich ograniczników wynosi kilkaset woltów (np. $U_p \leq 600$ V).

Niektóre z ograniczników przepięć posiadają wydzielone tory do obwodu zasilania PoE (**rys. 3b**; na zdjęciu wersja do montażu i uziemienia przez szynę 35 mm: RST NET PoE Std TH; art. nr 302 163, wersja do montażu na przewodzie z uziemieniem przez linkę RST NET PoE Std art. nr 302 063). Najczęściej zasilanie doprowadzane jest między zwartymi parami 4-5 oraz 7-8. W takim przypadku transmisja danych możliwa jest wyłącznie parami 1-2 i 3-6. W wielu instalacjach jest to rozwiązanie w zupełności wystarczające, ale niestety sprzeczne z jakąkolwiek kategorią czy klasą okablowania strukturalnego. Wymagania stawiane poszczególnym kategoriom czy klasom zakładają, że transmisja danych możliwa jest wszystkimi czterema parami. Wydzielenie zatem toru zasilania PoE, poprzez zwarcie par 4-5 i 7-8, dyskwalifikuje produkt ze spełnienia jakiejkolwiek kategorii. Ponadto takie rozwiązanie może powodować problemy przy stosowaniu nowoczesnych switchy, które odpytują urządzenia końcowe wszystkimi parami. Nawet jeżeli urządzenie chronione pozwala na zastosowanie takiego ogranicznika, to należy sprawdzić, czy nie spowoduje on konfliktów przy współpracy z innymi urządzeniami.

Najbardziej zaawansowane rozwiązania zapewniają zarówno możliwość transmisji danych wszystkimi parami, jak i zasilanie w standardzie PoE z jednoczesnym zapewnieniem dwustopniowej ochrony dokładnej. Takie ograniczniki wymagają zazwyczaj złożonych układów diod drugiego stopnia ochrony lub specjalnych układów scalonych, zapewniających odpowiednią przepustowość danych (**rys. 3c**; RST NET PoE art. nr 300 060).

W **tabeli 1.** przedstawiono wyniki testów parametrów transmisyjnych ograniczników prze-




**RST NET PoE**
art. nr 300 060

**RST Safe NET PoE**
art. nr 301 010

**RST Safe NET GDT**
art. nr 303 010

Rys. 4. Przykłady wykonania ograniczników przepięć: **a)** do ochrony pojedynczego toru; **b)** do ochrony zbiorczej 10 torów

pięć z **rysunku 3.** Brak zgodności z kategoriami TIA 586 [2] czy klasami ISO/IEC 11801 (EN 50173-1) [3, 4] w przypadku ogranicznika RST NET PoE Std nie wynika ze słabych właściwości, ale z konfiguracji z wydzielonym torem PoE i możliwością transmisji danych jedynie parami 1-2 i 3-6. Warto także zwrócić uwagę, że element bazujący wyłącznie na odgromnikach gazowych GDT, które charakteryzują się bardzo małymi pojemnościami, może mieć gorsze parametry transmisyjne niż złożony ogranicznik dwustopniowy z dodatkowymi elementami półprzewodnikowymi. Jak pokazano na **rysunku 2.**, decydujące znaczenie mają przeniki, a nie tłumienność elementu. Zastosowane gniazda RJ45 oraz układ ścieżek pcb mają ogromny wpływ na parametry transmisyjne ogranicznika przepięć.

## Lokalizacje ograniczników przepięć

Ogranicznik przepięć ma na celu wyrównanie potencjałów i odprowadzenie energii zaburzeń do uziemienia. Mówiąc prościej: ma zapobiec przebiciu izolacji, które w urządzeniach elektronicznych może nastąpić przede wszystkim w układzie scalonym, na ścieżce pcb lub w zaciskach przyłączeniowych. Skuteczny zasięg działania SPD jest ograniczony, dlatego istotna jest właściwa jego lokalizacja.

Ogranicznik przepięć w ogólnym przypadku lokalizowany może być bezpośrednio przy chronionym urządzeniu lub na granicy stref ochrony odgromowej (LPZ). W tym drugim przypadku SPD przykładowo ma zapobiec przeniknięciu do wnętrza budynku przepięć, jakie mogą pojawić się w liniach zewnętrznych. Energia zaburzeń odprowadzana jest wtedy do uziemienia w kontrolowany sposób i nie powoduje zakłóceń obwodów wewnętrznych i urządzeń.

Ochronę urządzeń w przypadku systemów informatycznych można podzielić na zabezpieczenia indywidualne oraz zbiorcze. Ochrona indywidualna dotyczy pojedynczych torów, np. zabezpieczenie gniazda sieciowego lub urządzenia końcowego, np. kamery IP. Ochrona zbiorcza dotyczy przede wszystkim switchy i serwerów, do których doprowadzonych może być wiele przewodów. Przy zabezpieczeniu pojedynczych torów dobrze sprawdzają się typowe ograniczniki przepięć, przystosowane najczęściej do montażu na szynach 35 mm (np.: RST NET GDT TH, RST NET PoE Std TH lub RST NET PoE) lub montowane na przewodzie i uziemiane za pomocą linki (np.: RST NET GDT lub RST NET PoE Std). Zabezpieczenia zbiorcze najczęściej wykonywane są w postaci paneli 19" (**rys. 4b**; RST Safe NET PoE art. nr 301 010 lub RST Safe NET GDT art. nr 303 010). Panele 19" mogą zawierać takie same moduły ochronne jak elementy zabezpieczające pojedyncze tory ochronne (np.: RST NET PoE i RST Safe NET PoE lub RST NET GDT i RST Safe NET GDT), co pozwala na uzyskanie takich samych parametrów transmisyjnych i udarowych.

Ochrona przed przepięciami szczególnie powinna dotyczyć rozległych instalacji i zabezpieczenia linii zewnętrznych, które są bardziej podatne na indukowanie się przepięć. O ile w przypadku urządzeń końcowych można rozpatrywać, które z urządzeń wymaga ochrony ze względu na jego znaczenie, to ochrona urządzeń centralnych, takich jak serwery, switche czy rejestratory, powinna być kompletna i obejmować wszystkie doprowadzone tory.

## Podsumowanie

Ogranicznik przepięć powinien w minimalnym stopniu wpływać na chroniony obwód. Jeżeli dla toru Ethernet wymaga się wysokich parametrów transmisyjnych, to do jego ochrony także należy stosować odpowiednie urządzenia. Jeżeli wymagana jest jakakolwiek kategoria urządzeń lub klasa dla toru transmisyjnego, to należy stosować ograniczniki umożliwiające transmisję danych wszystkimi parami. To, że ogranicznik przepięć jest „zgodny z okablowaniem kategorii 6", nie musi oznaczać, że sam charakteryzuje się parametrami transmisyjnymi spełniającymi wymagania takiej kategorii.

## Literatura


1. PN-EN 61643-21:2004 *Niskonapięciowe urządzenia ograniczające przepięcia. Część 21: Urządzenia do ograniczania przepięć w sieciach telekomunikacyjnych i sygnalizacyjnych. Wymagania eksploatacyjne i metody badań.*
2. TIA/EIA 568 Commercial Building Telecommunications Cabling Standard
3. PN-EN 50173-1:2018-07 *Technika informatyczna. Systemy okablowania strukturalnego. Część 1: Wymagania ogólne.*
4. ISO/IEC 11801-1:2017 *Information technology. Generic cabling for customer premises. Part 1: General requirements.*



**RST sp. z o.o.**
15-113 Białystok, ul. gen. W. Andersa 40a
tel. 85 307 00 85
rst@rst.pl
**www.rst.pl**





**W naszej księgarni znajdziecie Państwo książki z dziedziny:**

.e .i .b
elektrotechnika
instalacje
budownictwo

- budownictwa
- chłodnictwa
- ciepłownictwa i ogrzewnictwa
- gazownictwa
- instalacji sanitarnych
- ochrony środowiska
- wentylacji i klimatyzacji
- instalacji elektrycznych
- informatyki
- oraz programy, słowniki, poradniki




ksiegarniatechniczna.com.pl

**Księgarnia Techniczna**
**Grupa MEDIUM**
ul. Karczewska 18
04-112 Warszawa
tel.: 22 810 21 24
faks 22 810 27 42
e-mail: eib@ksiegarniatechniczna.com.pl
www.ksiegarniatechniczna.com.pl

dr inż. Jarosław Wiater – Politechnika Białostocka

# Jak wykonać instalację przeciwprzepięciową, aby ubezpieczyciel zapłacił za ewentualne szkody?

## Wymagania wobec projektanta, wykonawcy, zarządcy budynku

**W powszechnym odczuciu zawierając umowę ubezpieczenia jesteśmy przekonani i w większości wręcz pewni, że w przypadku zaistnienia sytuacji wyjątkowej powodującej powstanie start materialnych ubezpieczyciel pokryje nam poniesione straty. Niestety, w życiu jest zupełnie inaczej niż w teorii. Bardzo często okazuje się, że dopiero gdy ubezpieczony obiekt lub rzecz ulegnie uszkodzeniu zmienia się nasze postrzeganie umowy ubezpieczeniowej. Nagle przypominamy sobie ciągle aktualne przysłowie „mądry Polak po szkodzie". W artykule opisane zostaną możliwe scenariusze zdarzeń, o których dobrze wiedzieć przed, a nie po fakcie. Poniżej przeczytamy również jak zrobić, aby nie trzeba było sięgać do kieszeni ubezpieczyciela.**

Kwestie ubezpieczeń są bardzo skomplikowanym procesem formalnoprawnym. Wymagają szerokiej wiedzy prawniczej, technicznej oraz wiedzy z zakresu i sposobu orzekania w sądach powszechnych. Niedociągnięcia w tym zakresie mogą być bardzo kosztowne. Najlepszym wyjściem jest unikanie za wszelką cenę wchodzenia w spór z ubezpieczycielem poprzez stosowanie właściwie dobranych układów i urządzeń do ochrony – w omawianym przypadku przed przepięciami.

### Wymagania w zakresie ochrony a ubezpieczenie

Odrębnym problemem są wymagania w zakresie ochrony w odniesieniu do umowy ubezpieczenia. Bardzo często popełnianym błędem jest założenie, iż normy są najwyższym aktem prawnym i jeśli wykonamy instalację zgodnie z normami, to na pewno będzie dobrze. Niestety tak nie jest. Dlaczego ? Dlatego że przedmiotem sporu jest umowa ubezpieczenia, a nie zakres obowiązywania przedmiotowych norm. Tę kwestię rozstrzyga sąd w zakresie opisanym w umowie ubezpieczenia, a nie rozstrzyga, czy normy są obowiązujące, czy nie. Ogólne warunki ubezpieczenia zazwyczaj nakładają zupełnie inne uregulowania, definicje i wyłączenia, na które się zgadzamy zawierając umowę ubezpieczenia. Umowa ubezpieczenia jest umową cywilnoprawną, a nie przywołaniem polskich norm. Obowiązuje kodeks cywilny. Strony zawierające umowę mogą za obopólną zgodą ustalić dowolne warunki, które je zobowiązują. Z jednej strony, ubezpieczyciel zobowiązuje się do likwidacji szkody, a z drugiej strony ubezpieczony zobowiązuje się dotrzymać warunki określone przez ubezpieczyciela niezbędne do likwidacji szkody zgodnie z zawartą umową.

W wielu towarzystwach ubezpieczeniowych ubezpieczając się od przepięć zgadzamy się na definicje i określenia przez nie proponowane. Możemy negocjować cenę, ale nie ogólne warunki ubezpieczenia. Możemy negocjować zakres ubezpieczenia poprzez wykupienie dodatkowej opcji – zakresu szkód obejmowanych ubezpieczeniem. Niemniej jednak bardzo często w ogólnych warunkach ubezpieczenia znajdziemy w dziale definicji zapis określający „co to jest przepięcie" w rozumieniu umowy ubezpieczenia. I tak przykładowo przepięcie jest to „nagły i krótkotrwały wzrost napięcia powyżej wartości znamionowej dla danego urządzenia, urządzenia, linii sieci – pod warunkiem wyposażenia budynku w sprawną instalację odgromową i/lub sprawne ograniczniki przepięć zamontowane w budynku lub lokalu". Taka definicja nakłada na nas obowiązek posiadania instalacji odgromowej, zamontowanych i sprawnych ograniczników przepięć, aktualnych przeglądów okresowych. A co będzie, jak nie będziemy ich mieli? Brak wypłaty odszkodowania, gdyż obiekt nie posiada ww. urządzeń i instalacji. A czy podczas zawierania umowy ktoś o tym wspomina? A czy podczas zawierania umowy są czytane ogólne warunki ubezpieczenia? A czy ktoś może sprawdził, czy nasz obiekt w ogóle może być ubezpieczony lub czy takiemu ubezpieczeniu podlega? Odpowiedź na powyższe pytania jest jedna i ta sama: nie. W takiej sytuacji czujemy się oszukani. Zasięgamy rady prawnika. Często słyszymy: projekt jest wykonany zgodnie z normami. Idziemy do sądu, gdyż zostaliśmy źle potraktowani. I po kilku latach dowiadujemy się, że normy to normy, a umowa cywilnoprawna to umowa, zgodnie z którą nic nam się nie należy.

Podobna sytuacja dotyczy również zyskujących na popularności instalacji fotowoltaicznych. Polskie prawo nie nakłada obowiązku instalacji systemu ochrony odgromowej obiektu wyposażonego w instalację PV. Prawo budowlane nakłada zaś na inwestora/projektanta konieczność analizy ryzyka. Analiza ryzyka przeprowadzona zgodnie z normą umożliwia wybór właściwego poziomu ochrony odgromowej budynku. Bardzo często zapobiegawczo lub będąc zmuszonym przez bank ubezpieczamy swój obiekt (dom) myśląc o ewentualnym ryzyku powstania strat, które mają być pokryte z polisy. Podobnie jak w przypadkach opisywanych powyżej przeglądając OWU w punkcie opisującym przedmiot ubezpieczenia napotykamy zapis: „Ochroną ubezpieczeniową może być objęta instalacja fotowoltaiczna, która spełnia łącznie następujące warunki: (…) jest wyposażona w system ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej oraz uziemienie". Analizując ten zapis musimy wyposażyć obiekt w ww. instalację, bo jak nie to nasza instalacja nie jest objęta ubezpieczeniem – pomimo że mamy polisę. Podsumowując należy podkreślić, iż wymagania polskiego prawa nie są równe wymaganiom, na które sami się zgadzamy podpisując umowę ubezpieczenia (cywilnoprawną).

W praktyce życia codziennego bardzo często spotykamy się ze stwierdzeniem: „gdybym wiedział to bym zrobił inaczej". Bardzo często również inwestorzy zwracają się zapytaniem: „jak zrobić, aby w nowej inwestycji nie powtórzyła się sytuacja odmowy wypłaty odszkodowania?".

### Wymagania wobec projektanta

Poniżej przedstawione zostały zalecenia dla projektantów, wykonawców i administratorów budynków uwzględniające rzeczywistość zawartą w ogólnych warunkach ubezpieczenia.

a) Wymagana jest analiza ryzyka szkód i strat wywołanych przez wyładowania piorunowe oraz stosowny wybór poziomu ochrony projektowanego budynku (kompleksowa analiza zgodnie z normą PN-EN 62305-2 [3], nie dopuszcza się kilkuzdaniowego stwierdzenia – co sugeruje wykonanie projektu metodą kopiuj-wklej).
b) Wymaganie od producenta lub dostawcy elementów urządzeń piorunochronnych i ograniczników przepięć deklaracji zgodności z właściwą dla danego produktu normą serii PN-EN 62561 [10-16] dla elementów urządzenia piorunochronnego i serii PN-EN 61643 [5, 6, 7] dla ograniczników przepięć. Projektant powinien się upewnić, czy projektowany produkt jest zgodny z właściwymi normami, nie posiada wad materiałowych stanowiących podstawę do podważenia parametrów deklarowanych przez producenta lub czy nie jest objęty postępowaniem UOKiK. Potwierdzeniem parametrów deklarowanych przez producenta są oznaczenia jednostek certyfikujących i badawczych jednej z wymienionych jednostek: KEMA, DEKRA, VDE, VDS, PCA.
c) Należy przeprowadzić szczegółową weryfikację deklaracji CE i należy upewnić się, czy nie jest to China Export (deklarację winien wystawić europejski dystrybutor, a nie chiński producent).
d) Rozkład i gęstość zwodów odgromowych na dachu powinny być wykonane zgodnie z wytycznymi norm z zakresu ochrony odgromowej. Kategorycznie odradza się korzystanie z piorunochronów aktywnych („ESE") lub innych „nowoczesnych" rozwiązań odgromowych polegających na ograniczaniu liczby zwodów na dachu.
e) Wymagana jest konieczność instalacji ograniczników przepięć na granicach stref LPZ stosownie do wymagań przedmiotowych norm.
f) Wymagana jest na granicy stref LPZ0 i LPZ1 konieczność instalacji iskiernikowego ogranicznika przepięć o prądzie impulsowym ($I_{imp}$) nie mniejszym niż 12,5 kA na każdą fazę. Kategorycznie odradza się stosować ograniczniki typu 1, których główne elementy są wykonane w technologii warystorowej z uwagi na ich małą odporność na oddziaływanie częściowych prądów piorunowych i przenoszonych przez nie ładunków elektrycznych. Podobne kategoryczne zakazy zostały wprowadzone przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. w instrukcji Iet-120 pt. „Wymagania techniczne dla zapewnienia ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym, przed przepięciami i od wyładowań atmosferycznych w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV. Iet-120" dostępnej do pobrania na stronie internetowej https: //www.plk-sa.pl/files/public/user_upload/pdf/Akty_prawne_i_przepisy/Instrukcje/Wydruk/Iet-120.pdf (dostępność na dzień 4.01.2021 r.) [8]. Stosowanie pomimo tego ograniczników typu 1 warystorowych może stanowić podstawę do odmowy wypłaty odszkodowania przez firmy ubezpieczeniowe ze względu na wady materiałowe, o których przy zachowaniu należytej staranności ubezpieczony mógł się dowiedzieć np. poprzez lekturę artykułów prasowych czy prawomocnych decyzji UOKiK. Szczegółowe zapisy znajdziemy w ogólnych warunkach ubezpieczenia akceptowanych domyślnie przy zawieraniu umowy ubezpieczenia.
g) Konieczność instalacji na wejściu do budynku iskiernikowego ogranicznika przepięć (na każdą fazę) o prądzie impulsowym ($I_{imp}$) nie mniejszym niż 12,5 kA na fazę. Kategorycznie odradza się stosowanie na wejściu do budynku ograniczników opartych na technologii warystorowej.
h) Kategorycznie odradza się wykorzystywanie ograniczników tzw. „B+C". Nie są one zgodne z wymaganiami normy PN-EN 61643-11 [5]. Ogólne warunki ubezpieczenia zakładają stosowanie urządzeń i materiałów spełniających normy przyjęte w budownictwie (prawie budowlanym i przywołanych rozporządzeniach wykonawczych). Stosowanie urządzeń chociażby niewłaściwie nazwanych jest podstawą do odmowy wypłaty odszkodowania. **Dawniej typ B/C/D – obecnie nieobowiązujące i niepoprawne; stosowanie starych oznaczeń pochodzących z wycofanych norm VDE grozi możliwością niewypłaty odszkodowania ze względu na niezgodność nazewnictwa z normą PN-EN 61643-11 [5].*
i) Kategorycznie odradza się wykorzystywanie ograniczników przepięć typu 1 opartych na technologii warystorowej o $I_{imp} > 7$ kA. Technologia warystorowa w obudowie modułowej umożliwia zbudowanie dobrze działającego ogranicznika przepięć typu 1 o $I_{imp}$ do 7 kA. Mając na uwadze przeprowadzone przez UOKiK postępowania wskazujące na wadliwość technologii warystorowej w odniesieniu do ograniczników przepięć typu 1, stosowanie ww. technologii może stanowić podstawę do odmowy wypłaty odszkodowania przez firmy ubezpieczeniowe ze względu na wady materiałowe, o których przy zachowaniu należytej staranności – ubezpieczony mógł się dowiedzieć. Szczegółowe zapisy znajdziemy w ogólnych warunkach ubezpieczenia akceptowanych domyślnie przy zawieraniu umowy.
j) Urządzenia do ograniczenia przepięć należy dobezpieczać za pomocą wkładek topikowych dobranych zgodnie z wymaganiami producenta. Przy doborze warto-


**STRESZCZENIE**

Umowy ubezpieczenia są nieodzownym elementem codziennego życia. Bardzo często dokonując inwestycji sięgamy po kredyt bankowy, przez co zostajemy zmuszeni do zawarcia umowy ubezpieczenia. Bardzo często zawierając umowę ubezpieczenia bezpodstawnie domyślnie przypisujemy sobie, iż należy nam się odszkodowanie, bo przecież jestem ubezpieczony. W artykule omówiono praktykę życia codziennego w zakresie umów ubezpieczenia. Opisano co zrobić, aby właściwie zabezpieczyć się przed szkodami, gdyż na kształt umowy ubezpieczenia nie mamy większego wpływu i de facto musimy się dostosować do warunków oferowanych przez ubezpieczyciela.

**Słowa kluczowe:** ochrona odgromowa, ograniczanie przepięć, piorun, ubezpieczenie.

## WARTO WIEDZIEĆ!

**Najczęściej popełniane błędy**

1. Domyślne założenie „zawsze należy mi się odszkodowanie, bo jestem przecież ubezpieczony" jest błędne – patrz ogólne warunki ubezpieczenia.
2. Brak wiedzy w jakim zakresie, kiedy, pod jakimi warunkami jesteśmy ubezpieczeni – niezapoznanie się z ogólnymi warunkami ubezpieczenia.
3. Brak systemu ochrony odgromowej i/lub przeciwprzepięciowej obiektu pomimo zaakceptowanej podczas podpisywania umowy ubezpieczenia konieczności jej stosowania.
4. Dokładanie urządzeń i instalacji bez odpowiednich zmian w projekcie ubezpieczonego obiektu.
5. Zamienianie urządzeń na inne odpowiedniki bez zgody i stosownych zmian w projekcie.
6. Niezachowane odstępy separacyjne na dachu.
7. Brak ochrony przeciwprzepięciowej skoordynowanej energetycznie z urządzeniem końcowym.
8. Stosowanie aktywnej ochrony odgromowej lub innej polegającej na ograniczaniu liczby zwodów lub cienia na dachu. Wyłącza to odpowiedzialność ubezpieczyciela za ewentualne straty ze względu na stosowanie rozwiązań niezgodnych z polskim prawem budowlanym. Błędem jest powoływanie się na normy francuskie nieprzywołane w polskim rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [4].

ści prądu znamionowego wkładek topikowych należy uwzględnić ich wytrzymałość na udary prądowe o charakterystyce 10/350 µs oraz 8/20 µs. W przypadku zastosowania profesjonalnych ograniczników przepięć w budownictwie mieszkalnym i biurowym w większości przypadków nie ma konieczności dobezpieczania SPD ze względu na spodziewane wartości prądów. Stosowanie wyłączników nadmiarowych (MCB) jako dobezpieczenia może stanowić podstawę do odmowy wypłaty ubezpieczenia ze względu na popełniony błąd projektowy.

k) Wyznaczenie i sprawdzenie odstępów separujących pomiędzy urządzeniami zainstalowanymi na dachu, elewacjach budynku a urządzeniami piorunochronnymi.

l) Kategorycznie odradza się stosowanie tzw. rurek odgromowych. Norma PN-EN 62305-3 [9] wskazuje możliwość stosowania rur PCV o grubości 3 mm do izolacji dolnych części przewodów odprowadzających (pkt E.5.4.3.6). Niemniej jednak ich stosowanie zwiększa niebezpieczeństwo porażenia prądem doziemnego wyładowania piorunowego, gdyż badania rurek odgromowych udarem napięciowym 1,2/50 µs 100 kV wykazały występowanie wyładowań ślizgowych po ich powierzchni.

## Wymagania wobec wykonawcy

a) Wymaganie od producenta lub dostawcy elementów urządzeń piorunochronnych i ograniczników przepięć deklaracji zgodności z właściwą dla danego produktu normą: serii PN-EN 62561 [10–16] dla elementów urządzenia piorunochronnego i serii PN-EN 61643 [5, 6, 7] dla ograniczników przepięć. Wykonawca powinien się upewnić, czy stosowany produkt jest zgodny z właściwymi normami, nie posiada wad materiałowych, stanowiących podstawę do podważenia parametrów deklarowanych przez producenta lub czy nie jest objęty postępowaniem UOKiK. Potwierdzeniem parametrów deklarowanych przez producenta są oznaczenia jednostek certyfikujących i badawczych jednej z wymienionych jednostek: KEMA, DEKRA, VDE, VDS, PCA.

b) Szczegółowa weryfikacja deklaracji CE i upewnienie się, czy nie jest to China Export (deklarację winien wystawić europejski dystrybutor, a nie chiński producent).

c) Kategorycznie odradza się zamieniania rodzaju urządzeń podczas realizacji inwestycji bez naniesienia zmian na projekt przez projektanta. Realizacja inwestycji niezgodnie z projektem stanowi podstawę do odmowy wypłaty odszkodowania przez ubezpieczyciela.

d) Konieczna jest weryfikacja powykonawcza odstępów separujących pomiędzy urządzeniami zainstalowanymi na dachu a zwodami piorunochronnymi.

e) W postępowaniach przetargowych zaleca się wymaganie od potencjalnego wykonawcy dostarczenia deklaracji zgodności i protokołów z badań jako jednego z kryteriów oceny. Jest to zgodne z prawem o zamówieniach publicznych i nie faworyzuje żadnego dostawcy, a wykazuje, iż dołożono należytej staranności mającej na celu weryfikację jakości oferowanego sprzętu i urządzeń.

## Wymagania wobec zarządcy budynku

a) Kategorycznie odradza się samodzielne instalowanie urządzeń na dachu bez weryfikacji systemu ochrony odgromowej i przepięciowej. W szczególności: urządzeń radionadawczych, anten „internetowych" (Wi-Fi), anten telewizyjnych, kamer przemysłowych do monitoringu otoczenia, anten satelitarnych, klimatyzatorów, paneli fotowoltaicznych.

b) Każdorazowa instalacja urządzenia elektrycznego lub elektronicznego na dachu budynku wymaga sprawdzenia:
   - czy nowo zainstalowane urządzenie zostało umieszczone w strefie chronionej przez zwody odgromowe (jeśli nie, ryzyko zniszczeń jest bardzo duże),
   - czy zostały zachowane odstępy separujące pomiędzy urządzeniem a zwodami odgromowymi,
   - czy kable łączące nowo zainstalowane urządzenie zostały wyposażone w stosowne ograniczniki przepięć (jeśli nie, ryzyko zniszczeń jest bardzo duże).

   Stosowne zmiany powinny być naniesione na dokumentację projektową obiektu.

c) Wymagana jest okresowa kontrola stanu instalacji odgromowej i ograniczników przepięć (optyczna kontrola ograniczników przepięć, urządzeń piorunochronnych). W szczególności należy zwrócić uwagę, czy nie doszło do aktu wandalizmu, korozji, uszkodzenia ogranicznika przepięć.

## Stare obiekty a ubezpieczenie

Umowy ubezpieczenia podlegają pod kodeks cywilny i według jego przepisów rozstrzygane są ewentualne spory. Zawierając umowę cywilną strony mogą się umówić na dowolne, obopólnie akceptowane zapisy. Przepisy techniczne przywołane w rozporządzeniach, wymienionych w nich normach są wymaganiami minimalnymi, którym powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, bez których obiekt nie może istnieć w przestrzeni prawnej [4]. Umowy cywilne co do zasady nie muszą, ale mogą być obwarowane szczególnymi, dowolnymi i dobrowolnymi wymaganiami, m.in. technicznymi akceptowanymi przez strony. Mając powyższe na uwadze zawierając umowę ubezpieczenia należy zwrócić szczególną uwagę, na co sami się zgadzamy i akceptujemy jako stan faktyczny. Nie ma tutaj zupełnie znaczenia, kiedy obiekt został wybudowany, zgodnie z jakimi obowiązującymi wówczas przepisami i wymaganiami. Umowa ubezpieczenia może dowolnie określić nasze obowiązki, dowolnie może definiować przedmiot ubezpieczenia. Dowolnie może określać, kiedy ubezpieczający zapłaci za szkody, za jaki rodzaj zdarzenia, w jakiej wysokości. Domyślne przypisywanie przez nas umowom ubezpieczenia warunku „zawsze należy mi się odszkodowanie, bo jestem przecież ubezpieczony" jest najczęściej pobożnym życzeniem i własną, niczym nie uzasadnioną interpretacją zawartej umowy. Bardzo często również na etapie likwidacji szkody zupełnie błędnie upieramy się twierdząc „przecież normy tego nie wymagają – jakim prawem oni tego żądali, przecież nie mają prawa i teraz jeszcze nie chcą płacić". Sprawa znajduje swój finał w sądzie. A sąd orzeka – „na podstawie zawartej umowy ubezpieczenia w dniu … paragraf … ubezpieczony był zobowiązany do …, nie spełnił warunków … stąd też żądanie opisane w pozwie należało odrzucić w całości … kosztami sprawy obciążyć powoda … kosztami zastępstwa procesowego obciążyć powoda … kosztami opinii biegłego obciążyć powoda". Z rozgoryczeniem akceptujemy wyrok sądu.


## ABSTRACT

**How to make a surge protection installation to ensure compensation for lightning damage? Part 2. Requirements for the designer, contractor, building manager**

Insurance contracts are an indispensable element of everyday life. Very often, when making investments, we reach for a bank loan, which means that we are forced to conclude an insurance contract. Very often, when concluding an insurance contract, we unjustifiably assume that I am entitled to compensation, because I am insured. The article discusses the practice of everyday life in the field of insurance contracts. It was described what to do in order to properly protect ourselves against damages, because we do not have much influence on the shape of the insurance contract and in fact we have to adapt to the conditions offered by the insurer.

**Keywords:** lightning protection, surge protection, lightning strike, insurance policy.

## Podsumowanie

Umowy ubezpieczenia są nieodzownym elementem życia codziennego. Bardzo często dokonując inwestycji sięgamy po kredyt bankowy, przez co zostajemy zmuszeni do zawarcia umowy ubezpieczenia. Bardzo często zawierając umowę ubezpieczenia bezpodstawnie domyślnie przypisujemy sobie, że należy nam się odszkodowanie, bo przecież jestem ubezpieczony. W artykule omówiono praktykę życia codziennego w zakresie umów ubezpieczenia. Opisano co zrobić, aby właściwie się zabezpieczyć przed szkodami, gdyż na kształt umowy ubezpieczenia nie mamy większego wpływu i de facto musimy się dostosować do warunków oferowanych przez ubezpieczyciela. Historie z przeszłości opisywane w powieści „Ziemia obiecana" Władysława Reymonta nie mają nic wspólnego z teraźniejszością.

literatura do artykułu na elektro.info.pl

REKLAMA

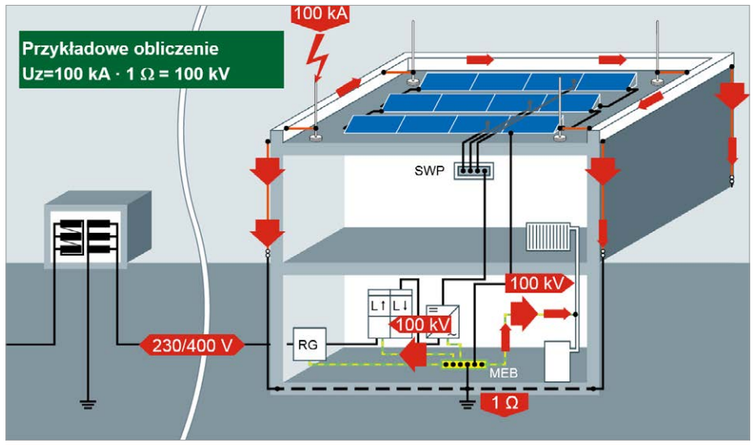


dr inż. Jarosław Wiater – Politechnika Białostocka

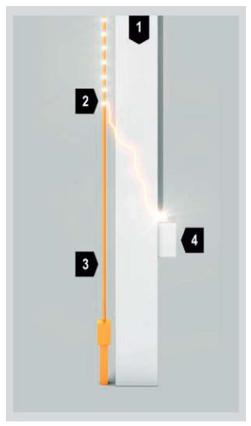
# Problemy z przewodami o izolacji wysokonapięciowej stosowanymi w ochronie odgromowej

**W dużym uproszczeniu instalacja odgromowa ma na celu przechwycenie wyładowania piorunowego i skierowanie prądów piorunowych do systemu uziomowego. Podczas wyładowań piorunowych przepływający przez system zwodów, przewodów odprowadzających i uziom prąd piorunowy wytwarza spadek napięcia, który należy utożsamiać ze źródłem wysokiego napięcia. Przy poprawnie działającej instalacji odgromowej podłączonej do systemu uziomowego możemy się na nich spodziewać napięcia o wartości równej iloczynowi przepływającego prądu i rezystancji uziemienia. W przykładowej realizacji może to być 100 kV lub więcej (rys. 1.).**

Projektując system ochrony odgromowej należy uwzględnić wyżej opisane zjawisko, które może powodować powstawanie niekontrolowanych przeskoków iskrowych między instalcją odgromową a innymi elementami/instalacjami w budynku podczas wyładowania piorunowego. Niekontrolowane przeskoki iskrowe zmieniając drogę rozpływu prądu piorunowego zwiększają zagrożenie obiektu **(rys. 2.)**. W takiej sytuacji system ochrony odgromowej zwiększa zagrożenie, zamiast je zmniejszać. Na **rysunku 3.** przedstawiono zdjęcie obiektu uszkodzonego w wyniku niekontrolowanych przeskoków iskrowych od instalacji odgromowej. W zależności od rodzaju chronionego obiektu niekontrolowane przeskoki iskrowe mogą być przyczyną pożaru – poprzez zmiany drogi rozpływu prądu piorunowego. W przypadku obiektów z wydzielonymi strefami zagrożonymi wybuchem (tzw. strefy EX) iskrzenie może być przyczyną eksplozji, co powoduje konieczność szczególnego zwrócenia na nie uwagi.




Rys. 1. Wyładowanie piorunowe źródłem wysokiego napięcia panującego na zwodach, przewodach odprowadzających i systemie uziomowym [1]




Rys. 2. Niekontrolowane przeskoki iskrowe powstające w wyniku niezachowania wymaganego odstępu separacyjnego s, gdzie: **1** – ściana w budynku, **2** – rozpływający się prąd doziemnego wyładowania piorunowego, **3** – zwykły drut odprowadzający prąd piorunowy [3]

W celu uniknięcia powstawania niekontrolowanego iskrzenia podczas doziemnych wyładowań piorunowych norma PN-EN 62305-3 [2] zaleca zachowanie odstępu separacyjnego (s). Odstęp ten jest szczególnie istotny w przypadku nowoczesnych urządzeń technicznych instalowanych na dachu chronionego budynku np.: wentylatorów, agregatów od systemów klimatyzacji, różnego rodzaju anten, połączeń kablowych i innych. Bardzo często ten aspekt ochrony odgromowej jest pomijany, bagatelizowany lub zapewniany tylko wycinkowo.

W świetle aktualnych wyników badań laboratoryjnych stosowanie elementów wsporczych lub dystansujących w zestawieniu z zanieczyszczeniem powietrza i osadami, które na nich się pojawiają nie jest skutecznym rozwiązaniem chroniącymi przed przeskokami iskrowymi powstającymi w wyniku niezachowania wymaganych odstępów separacyjnych **(rys. 3.)** [8].

## Przewody o izolacji wysokonapięciowej

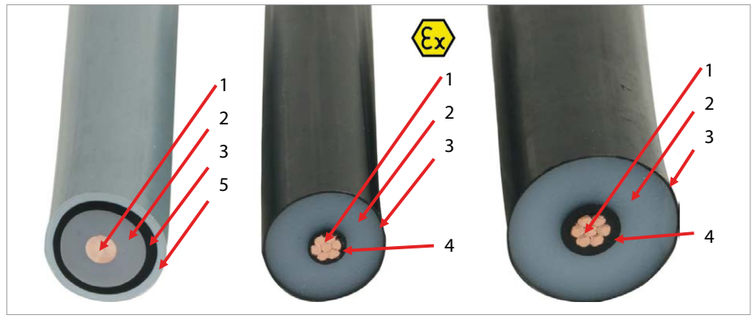
Zapewnienie estetycznego wyglądu i skutecznej ochrony przed przeskokami iskrowymi stanowi wyzwanie dla projektanta. Idealnym rozwiązaniem wydają się przewody o izolacji wysokonapięciowej HVI (ang. *High Voltage Insulation*). Zalety przewodów HVI to [3]:

- łatwe zapewnienie wymaganych odstępów separacyjnych do nawet 150 cm w materiałach stałych,
- możliwość zastosowania w każdym obiekcie poddawanym ochronie odgromowej (nawet tym z wydzielonymi strefami zagrożonymi wybuchem),
- przekroje przewodów HVI są zgodne z wymaganiami norm z serii PN-EN 62305,
- odporność na pożar,
- wodoodporność,
- maksymalny prąd odprowadzany przewodami HVI do 200 kA.

Przewód HVI różni się budową od zwykłych kabli WN stosowanych w energetyce zawodowej **(rys. 4.** i **5.)**. Kluczowym elementem przewodów HVI, kabli WN są nieliniowe materiały sterujące rozkładem pola elektrycznego wzdłuż oraz w okolicach głowicy kablowej. Właściwy ich dobór, grubość i rozmieszczenie w osi wzdłużnej i poprzecznej umożliwiają uzyskanie wymaganych parametrów i pośrednio określają ich zastosowanie. Warstwy sterujące (najczęściej oznaczane jako półprzewodzące) charakteryzują się nieliniową impedancją i wykonywane są z materiałów o podobnych właściwościach jak warystor [4].



Rys. 3. Obiekt uszkodzony w wyniku niezachowania wymaganych odstępów separacyjnych i niekontrolowanych przeskoków iskrowych od instalacji odgromowej [1]




Rys. 4. Budowa różnych rodzajów przewodów w izolacji wysokonapięciowej stosowanych w ochronie odgromowej, gdzie: **1** – miedziany przewód odprowadzający prąd piorunowy, **2** – izolacja wysokonapięciowa wewnętrznego przewodu miedzianego, **3** – zewnętrzna warstwa półprzewodząca zapobiegająca wyładowaniom ślizgowym wzdłuż powierzchni, **4** – wewnętrzna warstwa półprzewodząca, **5** – zewnętrzna powłoka izolacyjna [1]

Poza różnicami w budowie przedstawione kable różnią się deklarowanymi parametrami wynikającymi z różnic w wymaganiach przedmiotowych norm.

## Badania przewodów HVI

Głównym parametrem, który trzeba brać pod uwagę przy doborze przewodu o izolacji wysokonapięciowej stosowanego w ochronie odgromowej, jest zapewniany równoważny odstęp separujący w powietrzu lub w materiale stałym. Każdy przewód HVI stosowany w ochronie odgromowej powinien być przebadany zgodnie z wymaganiami opisanymi w IEC TS 62561-8:2018 [5].

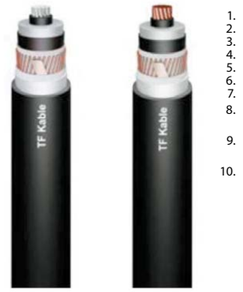
W pierwszej kolejności przewody odprowadzające prąd piorunowy należy przebadać pod kątem wytrzymałości na prąd piorunowy $I_{imp}$ o wartości odpowiednio 50, 100, 150, 200 kA (dobranej stosownie do deklaracji producenta) zgodnie z zapisami przywołanej normy PN-EN 62561-1 [9]. W zakres wymaganych badań wchodzi również test odporności na korozję (pkt 5.5.5.1 IEC TS 62561-8), na promieniowanie ultrafioletowe (pkt 5.5.5.2 IEC TS 62561-8), testy wytrzymałości mechanicznej (pkt 5.5.6 IEC TS 62561-8) [5]. Dopiero tak postarzony i przebada-

**STRESZCZENIE**

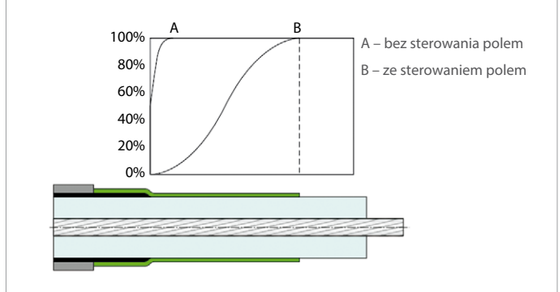
Podczas wyładowań piorunowych system zwodów i przewodów odprowadzających jest źródłem wysokiego napięcia i stanowi istotne zagrożenie dla samego obiektu, jak i pracujących w nim urządzeń elektrycznych i elektronicznych. Przewody o izolacji wysokonapięciowej coraz częściej stosowane są w ochronie odgromowej w celu zmniejszenia wymaganego odstępu separacyjnego. Niestety, bardzo często błędnie interpretowane, wyznaczane i badane parametry przewodów o izolacji wysokonapięciowej zamiast ograniczać, zwiększają zagrożenie piorunowe chronionych obiektów. W artykule przeanalizowano problemy związane z przewodami o izolacji wysokonapięciowej stosowanymi do odprowadzania prądu piorunowego.

**Słowa kluczowe:** wyładowania piorunowe, przewody wysokonapięciowe, HVI, odstęp separacyjny, ochrona odgromowa.

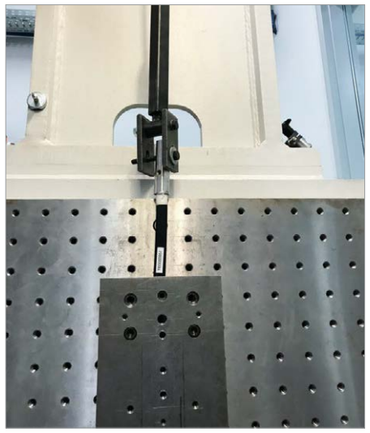
1. żyła robocza – miedziana lub aluminiowa (A)
2. ekran półprzewodzący na żyle roboczej
3. izolacja z polietylenu usieciowanego (XLPE)
4. ekran półprzewodzący na izolacji
5. taśma półprzewodząca, blokująca wodę, obwój na ekranie izolacji
6. ekran metaliczny – druty i taśmy miedziane (opcjonalnie włókna światłowodowe w tubach)
7. taśma półprzewodząca, blokująca wodę, obwój na ekranie metalicznym
8. uszczelnienie promieniowe – folia aluminiowa lub miedzina z kopolimerem polietylenu
9. powłoka zewnętrzna – kolor czarny: MDPE, HDPE, LSOH
10. powłoka półprzewodząca (opcjonalnie)



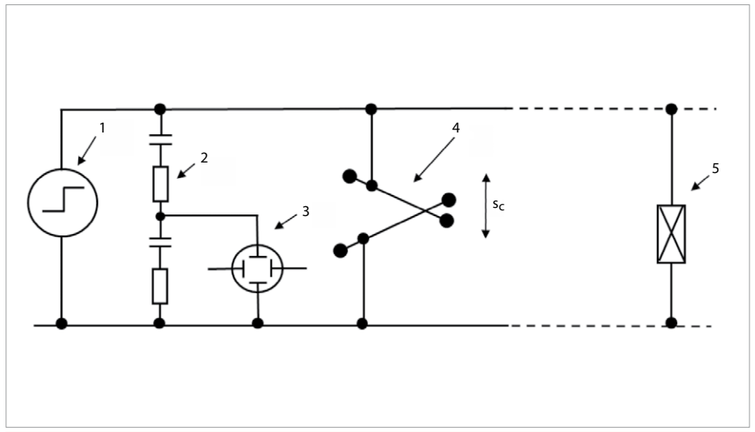

Rys. 5. Budowa typowego kabla elektroenergetycznego WN o izolacji XLPE i z ekranem z drutów miedzianych [4]



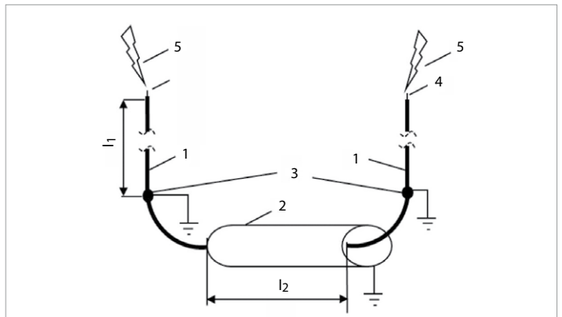

Rys. 6. Przykład rozkładu linii ekwipotencjalnych pola elektrycznego na zakończeniu kabla: **A** – bez sterowania pola, **B** – ze sterowaniem pola (technologia nieliniowych materiałów sterujących) [4]



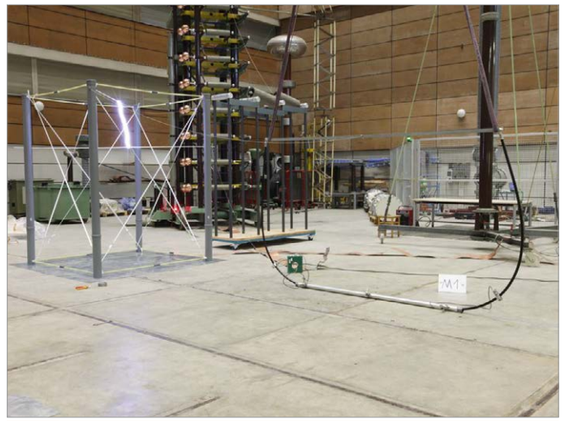
Rys. 7. Przewód o izolacji wysokonapięciowej wykorzystywany w ochronie odgromowej podczas testów mechanicznych [6]




Rys. 8. Schemat układu do badania wytrzymałości przewodów o izolacji wysokonapięciowej wykorzystywanych w ochronie odgromowej, gdzie: **1** – wysokonapięciowy generator udarów, **2** – wysokonapięciowy dzielnik napięcia, **3** – oscyloskop, **4** – układ porównawczy, **5** – przewód poddawany testom [5]




Rys. 9. Sposób podłączenia badanego przewodu do układu probierczego, gdzie: **1** – badany przewód HVI, **2** – metalowa rura o średnicy dwa razy większej niż średnica badanego przewodu i długości 2 m, **3** – wyprowadzenia uziemiające stosownie do instrukcji producenta, **4** – wewnętrzna żyła badanego przewodu HVI, **5** – podłączenia do generatora wysokiego napięcia, $l_1$ – dodatkowy odcinek przewodu HVI stosownie do instrukcji producenta, $l_2$ – długość metalowej rury oznaczonej cyfrą 2 na **rysunku 9**. [5]



Rys. 10. Zdjęcie stanowiska podczas badań przewodów o izolacji wysokonapięciowej [6]

ny przewód należy poddać testom wytrzymałości napięciowej, które opisano poniżej.

W drugim etapie należy sprawdzić równoważne odstępy separacyjne $s_e$ (pkt 5.5.7.2 IEC TS 62561-8). Typowe wartości odstępów separacyjnych zapewnianych przez przewody HVI powinny wynosić 25 cm, 50 cm, 75 cm, 100 cm lub więcej – stosownie do potrzeby dla danego obiektu poddawanego ochronie zgodnie z PN-EN 62305-3.

Do testowania równoważnego odstępu separacyjnego stosuje się wysokonapięciowy generator napięć udarowych, najczęściej pracujący w układzie Marxa, oraz specjalny układ porównawczy **(rys. 8., 9., 10.)**. Układ porównawczy wykorzystuje dedykowany iskiernik utworzony przez dwa skrzyżowane pręty nad przewodzącą płaszczyzną uziemienia o wymiarach 2×2 m. Średnica prętów tworzących iskiernik powinna wynosić (8±0,5) mm i mieć długość co najmniej 2 m. Odstęp porównawczy $s_c$ powinien odpowiadać badanemu równoważnemu odstępowi separacyjnemu z uwzględnieniem współczynnika korekcyjnego $c_{dc_st}$ zależnego od szybkości narastania udaru na wyjściu generatora i czasu do przeskoku (typowo $c_{dc_st} = 1{,}2$ dla udaru 1,2/50 µs lub szybszego) [5]:

$$s_c = \frac{s_e}{c_{dc_st}}$$

gdzie:

$s_c$ – odstęp porównawczy,

$s_e$ – równoważny odstęp separacyjny,

$c_{dc_st}$ – współczynnik korekcyjny.

Najważniejszym parametrem podczas badań przewodów HVI jest wartość szczytowa napięcia ($U_t$), od której zaczyna się przeprowadzać próby. Wyznacza się ją z następującej zależności [5]:

$$U_t = s_e \times 10\,\text{kV/cm}$$

gdzie:

$s_e$ – równoważny odstęp separacyjny,

$U_t$ – wartość szczytowa napięcia, od którego zaczyna się przeprowadzać próby.

Wyznaczone napięcie próby należy zwiększać aż do momentu, gdy czas do przeskoku $T_c$ osiągnie wartość $1{,}0\,\mu s < T_c < 1{,}4\,\mu s$ [5]. Jeśli nie uda się uzyskać wymaganego czasu $T_c$, należy zwiększyć szybkość narastania napięcia poprzez wymianę rezystorów w generatorze Marxa. Po ustawieniu wymaganego napięcia próby podłącza się badany przewód do układu porównawczego i przeprowadza trzy próby rejestrując za każdym razem kształt napięcia na oscyloskopie.

Aby móc uznać, iż przewód HVI spełnia wymagania IEC TS 62561-8 podczas testów, widoczne przeskoki iskrowe mogą występować tylko na iskierniku porównawczym dla $1{,}0\,\mu s < T_c < 1{,}4\,\mu s$. Jeśli podczas prób czas $T_c$ nie mieści się w założonych granicach, należy wartość napięcia próby zwiększać o 5%, aż do uzyskania wymaganego czasu do przeskoku $T_c$. Miejsce występowania przeskoku należy identyfikować za pomocą kamery nagrywającej testy i zarejestrowanego kształtu napięcia na oscyloskopie.

| Równoważny odstęp separacyjny przewodu o izolacji wysokonapięciowej wykorzystywanego w ochronie dgromowej $s_e$, w [cm] | Minimalne napięcie testów wg IEC TS 62561-8, w [kV] |
|---|---|
| **25** | 250 |
| **50** | 500 |
| **75** | 750 |
| **100** | 1000 |

Tab. 1. Minimalne napięcie testów wg IEC TS 62561-8 przewodu o izolacji wysokonapięciowej wykorzystywanego w ochronie odgromowej

| Napięcie znamionowe kabla, w [kV] | Próba udarem napięciowym 1,2/50 µs, w [kV] |
|---|---|
| **6** | 60 |
| **10** | 75 |
| **15** | 95 |
| **20** | 125 |
| **30** | 170 |
| **45–47** | 250 |
| **60–69** | 325 |
| **110–115** | 550 |
| **132–138** | 650 |
| **150–161** | 750 |
| **220–230** | 1050 |
| **275–287** | 1050 |
| **330–345** | 1175 |
| **380–400** | 1425 |
| **500** | 1550 |

Tab. 2. Poziomy napięć testowych kabli energetycznych wg IEC 6050-2:2014, IEC 60840:2011 i IEC 62067:2011 [10, 11, 12]

## Normy i ich błędna interpretacja

Kable energetyczne wysokich napięć są produkowane w oparciu o wymagania norm: IEC 6050-2:2014 *Kable energetyczne z izolacją wytłaczaną i ich akcesoria dla napięć od 1 kV do 30 kV. Metody badań i wymagania* [10], IEC 60840:2011 *Kable energetyczne z izolacją wytłaczaną i ich akcesoria dla napięć powyżej 30 kV do 150 kV. Metody badań i wymagania* [11], IEC 62067:2011 *Kable energetyczne z izolacją wytłaczaną i ich akcesoria dla napięć powyżej 150 kV do 500 kV. Metody badań i wymagania* [12].

W zakresie badań wytrzymałości na udary napięciowe powodowane wyładowaniami piorunowymi kable bada się napięciami od 250 kV do 1550 kV **(tab. 2.)**. Warte odnotowania jest, iż w normach IEC 6050-2:2014 [10], IEC 60840:2011 [11] i IEC 62067:2011 [12] nie wspomina się o równoważnym odstępie separacyjnym. Stąd też bezpośrednie dopuszczanie kabli elektroenergetycznych do stosowania w ochronie odgromowej jest niezgodne z IEC 6050-2:2014, IEC 60840:2011 i IEC 62067:2011.

Największą wadą przewodów HVI jest ich wyższa cena w porównaniu do zwykłego drutu odgromowego. Wyższa cena w sposób naturalny doprowadziła wśród inwestorów do poszukiwania tańszych zamienników. Często spotykamy się z „magiczną" zamianą kabli elektroenergetycznych średniego napięcia w przewody o izolacji wysokonapięciowej przeznaczone do ochrony odgromowej. Jest to spowodowane błędną interpretacją zapisów normy PN-EN 62305-3:2011 [2]. Norma PN-EN 62305-3 w punkcie 8.1 wymienia środki ochrony przed napięciami dotykowymi i wskazuje, iż można zastosować izolowanie dostępnego przewodu odprowadzającego usieciowanym polietylenem o grubości przynajmniej 3 mm zapewniającym udarowe napięcie wytrzymywane 100 kV [2]. Ten zapis nie uprawnia do stosowania takiego rozwiązania w celu zapewnienia wymaganego odstępu separacyjnego. Przewody HVI zamieniane na kable elektroenergetyczne, które pojawiają się w sprzedaży, zbudowane są w oparciu o wymieniony w normie usieciowany polietylen o grubości większej niż 3 mm i badane napięciem udarowym 1,2/50 µs 100 kV. Należy zauważyć, iż taki poziom prób odpowiada kablowi średniego napięcia wg IEC 6050-2:2014 [10]. Warto przypomnieć, iż napięcia panujące na instalacji odgromowej podczas doziemnego wyładowania piorunowego są wielokrotnie większe, co przekłada się na pojawianie niekontrolowanych przeskoków iskrowych. Ani norma PN-EN 62305-3 pkt 8.1, ani norma IEC 6050-2:2014 nie wspomina o równoważnym odstępie separacyjnym dla kabla charakteryzującego się ww. parametrami. Aby móc uznać kabel za właściwy, należałoby go przebadać napięciem co najmniej 250 kV wg IEC TS 62561-8 [5].

Brak deklaracji równoważnego odstępu separacyjnego $s_e$ (rozumianego wg IEC TS 62561-8) w parametrach przewodu o izolacji wysokonapięciowej wykorzystywanego w ochronie odgromowej jednoznacznie dyskwalifikuje taki produkt, a jego stosowanie grozi powstaniem niekontrolowanych przeskoków iskrowych – szczególnie niebezpiecznych w strefach Ex. W przypadku stref zagrożonych wybuchem należy dołożyć należytej staranności podczas doboru i wyboru przewodu HVI poprzez wymaganie od dostawcy wyników badań na zgodność z IEC TS 62561-8.

## Praktyka życia codziennego

Bardzo często minimalizując koszty inwestycji stosowane są różnego rodzaju zamienniki przewodów HVI. Skutki takiego postępowania mogą być katastrofalne oraz przyczynić się do powstania szkód o bardzo wielkich rozmiarach. Przykłady „tańszych" zamienników przewodów HVI podczas badań zamieszczono na **rysunkach 11.** i **12**.

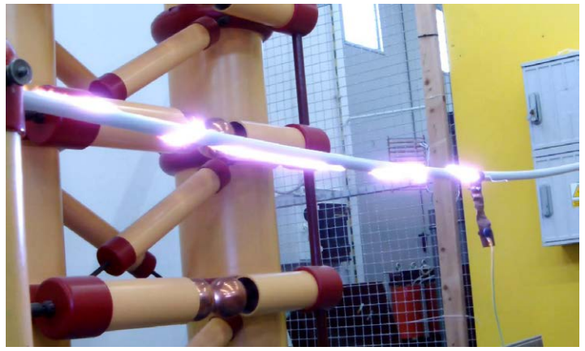
## Podsumowanie

Podczas wyładowań piorunowych system zwodów i przewodów odprowadzających jest źródłem wysokiego napięcia i stanowi istotne zagrożenie dla samego obiektu, jak i pracujących w nim urządzeń elektrycznych i elektronicznych. Przewody o izolacji wysokonapięciowej coraz częściej stosowane są w ochronie odgromowej w celu zapewnienia wymaganego odstępu se-

a)



b)

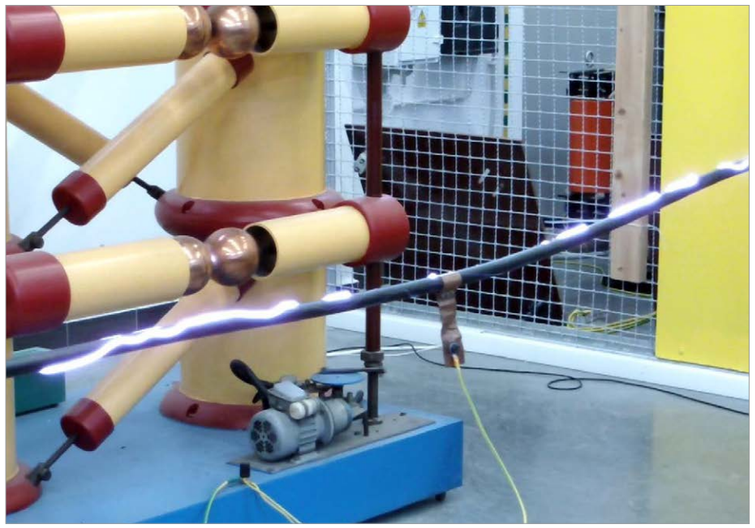


Rys. 11. Stosowanie rurek odgromowych zamiast przewodów HVI w _celu zapewnienia wymaganego odstępu separacyjnego, gdzie: **a** – obiekt z rurkami odgromowymi, **b** – rurki odgromowe podczas badań) fot. J. Wiater

paracyjnego. Niestety bardzo często błędnie interpretowane, wyznaczane i badane parametry przewodów o izolacji wysokonapięciowej zamiast ograniczać, zwiększają zagrożenie piorunowe chronionych obiektów. W przyszłości mogą powodować znaczne straty finansowe. Zaleca się zwracać uwagę na deklarowane parametry stosowanych przewodów HVI oraz bezwzględnie żądać protokołów z badań na zgodność z IEC TS 62561-8 w przypadku stosowania ich w strefach zagrożonych wybuchem.

## Literatura


1. LIGHTNING PROTECTION GUIDE from DEHN.
2. PN-EN 62305-3:2011 *Ochrona odgromowa. Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia.*
3. https://www.obo.com.tr/fileadmin/DMS/Broschueren/02_TBS/Blitzschutz-Leitfaden_en.pdf.
4. https://www.tfkable.com/download/files/upload/files/KATALOG_HV_PL__2021_08_13.pdf.
5. IEC TS 62561-8:2018 *Lightning protection system components (LPSC). Part 8: Requirements for components for isolated LPS.*
6. Jan Meppelink, Martin Bischoff. IEC 62561-8 Isolated lightning protection systems. 12. VDE ABB-Blitzschutztagung, 12. – 13. Oktober 2017 in Aschaffenburg.
7. https://pl.megger.com/firma/artykuly/badania-odbiorcze-linii-kablowych-110kv-w-swietle-wymagan-zakladow-energetycznych-oraz-miedzynarodow.
8. J.M. Wiater, Zagrożenia piorunowe i przepięciowe w strefach zagrożonych wybuchem [w:] S. Czapp (red.), Innowacje, pomiary i bezpieczeństwo w elektroenergetyce. INFOTECH; 2017, s. 76–85.
9. PN-EN 62561-1:2017 *Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC). Część 1: Wymagania dotyczące elementów połączeniowych.*
10. IEC 6050-2:2014 *Kable energetyczne z izolacją wytłaczaną i ich akcesoria dla napięć od 1 kV do 30 kV. Metody badań i wymagania.*
11. IEC 60840:2011 *Kable energetyczne z izolacją wytłaczaną i ich akcesoria dla napięć powyżej 30 kV do 150 kV. Metody badań i wymagania.*
12. IEC 62067:2011 *Kable energetyczne z izolacją wytłaczaną i ich akcesoria dla napięć powyżej 150 kV do 500 kV. Metody badań i wymagania.*

Rys. 12. Wyładowania ślizgowe podczas badań kabli średniego napięcia fot. J. Wiater


## ABSTRACT

**Problems with high voltage insulated cables used in lightning protection**

During lightning discharges, the system of air-termination rods and conductors are source of high voltage and poses a significant threat to the building itself as well as the electrical and electronic devices working in it. Cables with high voltage insulation are increasingly used in lightning protection in order to reduce the required separation distance. Unfortunately, very often, incorrectly interpreted, determined and tested parameters of high-voltage cables, instead of limiting them, increase the lightning risk of the protected objects. The article analyses the problems associated with high voltage insulated cables used to discharge lightning current.


**Keywords:** Lightning strikes, high-voltage cables, HVI, separation distance, lightning protection.







ETITEC ML
T123 300/12,5

ETITEC CM
T23 275/20

JAKOŚĆ.
PEWNOŚĆ.
NIEZAWODNOŚĆ.

/etipolam

ETI

Mieczysław Ludwików – Phoenix Contact

# Instalowanie uniwersalnych ograniczników przepięć w obwodach dystrybucji zasilania, które chronią też przed częściowymi prądami piorunowymi



Rys. 1. Uniwersalna, rzeczywista kombinacja dwóch różnych ograniczników przepięć dla pięcioprzewodowych układów sieci zasilania do ochrony obiektów od klasy ochrony IV do klasy I

Najważniejszym aparatem w instalacjach zasilania chroniącym od przepięć, zwłaszcza w instalacjach przemysłowych, jest ogranicznik typu 2. O cechach i parametrach, na które należy zwrócić uwagę przy wyborze i montażu wspomniane jest w drugim artykule. Przywołany tam **Dz.U. z dnia 9 czerwca 2022 poz. 1225** w rozdziale 8 o instalacji elektrycznej mówi w **§ 180** o tym, że instalacja i urządzenia elektryczne, przy zachowaniu przepisów rozporządzenia, przepisów odrębnych dotyczących dostarczania energii, ochrony przeciwpożarowej, ochrony środowiska oraz bezpieczeństwa i higieny pracy, a także wymagań Polskich Norm odnoszących się do tych instalacji i urządzeń, powinny zapewniać: (…)

2) ochronę przed porażeniem prądem elektrycznym, **przepięciami** łączeniowymi i **atmosferycznymi**, powstaniem pożaru, wybuchem i innymi szkodami (…).

Ponieważ w instalacjach elektrycznych może się pojawić częściowy prąd piorunowy, warto sprawdzić, czy nie zachodzą warunki do zastosowania dodatkowego elementu podnoszącego odporność instalacji i obiektu. Oto minimum wskazówek.

Jeśli obiekt jest wyposażony w instalację piorunochronną, to spełnia warunek dostateczny zastosowania ogranicznika typu 1. Dalej, jeśli góruje on nad okolicą, a może też w niewielkiej odległości (<1 km), istnieje bardzo wysoki obiekt, lub z analizy zagrożenia wg PN-EN 62305-2 to wynika, to należy wtedy zastosować ogranicznik typu 1, czyli testowany klasą testu I, impulsem o krzywej **10/350 µs**.

W tym miejscu należy mieć na uwadze pewne niebezpieczeństwo, ponieważ to producent, zgodnie z **PN-EN 61643-11**, sam wybiera amplitudę zastosowaną podczas testu klasy I, może to prowadzić do sytuacji, że ogranicznik może być zbyt słaby pomimo certyfikatu… ale za to tani. Wówczas przy doborze należy wspierać się wskazówkami z **PH-HD 60364-5-534:2022**, jak dalej jest to opisane.

Jeśli instalacja zasilająca wchodzi do obiektu lub wychodzi z obiektu, należy na granicy stref 0/I : zewnętrze (LPZ 0) – wnętrze (LPZ 1) umieścić SPD typu 1. Może to być złącze kablowe na ścianie budynku, rozdzielnia główna od wewnątrz przy tej granicy stref 0/I. Instalowanie ograniczników na granicy posesji w skrzynkach odległych o kilka czy kilkadziesiąt metrów jest z technicznego punku widzenia nieporozumieniem, nie chroni wnętrza obiektu i użytkownika, dlatego albo należałoby powtórzyć ogranicznik na wejściu, albo ekranować połączenie od złącza do rozdzielni głównej.

W **rozdzielniach głównych/złączach kablowych**, do których dociera z zewnątrz zasilanie, a obiekt wyposażony jest w zewnętrzny system ochrony odgromowej lub w inną ochronę przed skutkami bezpośredniego wyładowania atmosferycznego, według **PH-HD 60364-5-534:2022** należy stosowaćograniczniki testowane w klasie I (10/350 µs). Jest to ważne na tej granicy, ponieważ tutaj tworzymy strefę dla aparatów o kategorii IV lub niższej, zwłaszcza jeśli w bezpośredniej odległości znajdują się specjalizowane urządzenia elektroniczne. Według wskazanej powyżej normy takie ograniczniki na granicy stref 0/I powinny być nie słabsze niż **12,5 kA 10/350 µs** na jedno pole, inaczej wymagana jest analiza zagrożenia.

Ograniczniki typu 1 z prądem $\mathbf{I_{imp} \geq 25\ kA}$ **10/350 µs** w praktyce są uniwersalne, ponieważ uwalniają nas od wykonania analizy określającej zagrożenie prądem piorunowym nawet dla najważniejszych obiektów (klasa ochrony obiektu I lub II) przy obecnych tam instalacjach pięcioprzewodowych TT/TN-S. Przy okazji należy pamiętać, że w miejscach, gdzie są odpływy na zewnątrz, należy również liczyć się z obecnością częściowych prądów piorunowych. Tam również jest potrzebny ogranicznik typu 1, o czym wielu projektantów zapomina.

Nieporozumienia budzą również deklaracje i certyfikaty dla ograniczników przepięć. Należy pamiętać, że znak **CE** nie jest certyfikatem niezależnego laboratorium. Dlatego też dla własnego bezpieczeństwa, jak i instalacji, oraz potwierdzenia spełniania deklarowanych parametrów, lepiej jest wybierać rozwiązania posiadające certyfikat akredytowanego laboratorium, np. DEKRA/KEMA. Potwierdzają one zgodność deklarowanych parametrów przez producenta pozytywnym wynikiem według procedury badań z normy PN-EN 61643-11:2013. Warto korzystać z tak sprawdzanych rozwiązań, ponieważ, dla przykładu, ogranicznik typu 1 musi przejść **pozytywnie** aż 44 różne testy.



Rys. 2. Legalizowane przenośne laboratorium do elektrycznego badania ograniczników przepięć




Rys. 3. ImpulseCheck – system wczesnego ostrzegania o utracie funkcjonalności przez wkładki ogranicznika

Przepięcia są wszechobecne w instalacji zasilania, dlatego warto, aby wybrany SPD skutecznie sobie z nimi radził. Współczesne **rozdzielnie główne** zawierają często aparaty elektroniczne i tutaj znaczenie ma szybkość działania. Sugerowany aparat to podwójnie już uniwersalny aparat dla sieci pięcioprzewodowych to FLT-SEC-T1+T2-3S-350/25-FM – 2905470 **(rys. 1.)**. Dla sieci czteroprzewodowych, z PEN, będzie to FLT-SEC-T1+T2-3C-350/25-FM – 2905469.

Konstrukcje te to specjalne **rzeczywiste kombinacje dwóch ograniczników: typu 2 i typu 1**. Istotną zaletą obecności rzeczywistego ogranicznika typu 2 jest szybkość reakcji, a także odporność układu na kąt czoła impulsu. Poziom maksymalnych zabezpieczeń nadprądowych to 315 A gG. Oferowany poziom ochrony $U_p$ to nie wyżej niż 1,5 kV, czyli taki, jaki wymagany jest dla wrażliwych urządzeń elektronicznych zainstalowanych w bezpośrednim sąsiedztwie. Wszelkie wskazówki instalacyjne, podobnie jak dla SPD typu 2, można znaleźć w instrukcji instalacyjnej ogranicznika. Dodatkowo znajduje się tam wskazanie, jak połączyć ogranicznik, aby zrealizować restrykcyjne wymaganie dotyczące długości przewodów. Dla przypomnienia, suma długości przewodu od obwodu czynnego do SPD oraz z drugiej strony do lokalnej szyny ochronnej PE nie powinna przekraczać 0,5 metra.

Jeśli to tylko możliwe, to należy z poczwórnego zacisku PE na takim SPD wykonać połączenie bardzo krótkim przewodem do ściany z blachy czy płyty montażowej, która jest za ogranicznikiem. Warunkiem jest, by była ona galwanicznie i mechanicznie połączona z całością konstrukcji, przekrój przewodu powinien być w relacji do istniejącego zabezpieczenia nadprądowego. Tworzy to jakby wirtualną szynę PE. Drugim przewodem o przekroju 16 mm$^2$, patrz instrukcja wyrobu, wykonujemy prostoliniowo połączenie do lokalnej szyny PE w szafie lub głównej szyny uziemiającej w obiekcie. Jedyne ważne ograniczenie dla takiego SPD typu 1 jest takie, że przy klasie ochrony obiektu I lub II należy unikać układu „V" dla ogranicznika typu 1.

W przypadku rozdzielni głównych, w których brak jest istotnych urządzeń elektronicznych o niskiej odporności $U_w$, jak choćby zasilacze, falowniki itp., można zastosować nieco „wolniejsze" rozwiązanie. Klasyczny ogranicznik typu 1 o konstrukcji iskiernikowej to dla przykładu zespół FLT-SEC-P-T1-3S-350/25-FM – 2905421. Podobnie, jak FLT-SEC-T1+T2-3S-350/25-FM, jest on również przeznaczony do pracy w sieciach pięcioprzewodowych TT/TN-S. W niektórych krajach ograniczniki, jak 2905421, są dopuszczone również do ochrony liczników energii.

Aby obiekt i jego instalacje elektryczne zachowywały dyspozycyjność ograniczniki przepięć wg **PN-EN 62305-3** należy sprawdzać co 12 miesięcy, jak również po każdym podejrzewanym wyładowaniu w obiekt. Po takim sprawdzeniu należy przygotować raport. Warto przy tym pamiętać, że mechaniczny wskaźnik stanu ogranicznika nie gwarantuje pełnego poczucia bezpieczeństwa. Nawet codzienne oglądanie wskaźnika sprawności ogranicznika nie gwarantuje tego, że kolejnego dnia rano nadal będzie on sprawny.

Te ograniczenia mogą być istotne dla obiektów ważnych, a bezzałogowych i rzadko odwiedzanych przez obsługę, dlatego tutaj są pomocne kolejne możliwości ograniczników Phoenix Contact. Większość z nich może być **okresowo badana elektrycznie** urządzeniem o nazwie CHECKMASTER 2 **(rys. 2.)**. Jest to rozszerzenie wymagania z normy **PN-EN 62305.** Urządzenie przygotowuje też dane do raportu po badaniu. Badanie to jest wyższą formą **prewencji**, ponieważ pozwala uchwycić trzeci stan ogranicznika, na krótko przed zupełnym uszkodzeniem, kiedy pomimo statusu „zielonego" jest na granicy swej tolerancji i wkrótce może zostać odłączony.

W przypadku obiektów rzadko odwiedzanych najwyższą formą zapobiegania jest jednak **predykcja**. Specjalny **system monitorowania ograniczników przepięć ImpulseCheck (rys. 3.)** umożliwia prognozowanie tego, po jakim czasie konieczna będzie wymiana wkładek monitorowanego elektrycznie ogranicznika w układzie zasilania na nowe. Analiza zdarzeń odbywa się w chmurze i pełna funkcjonalność jest dostępna tylko dla SPD produkcji Phoenix Contact. Informacja może być widoczna na bieżąco na urządzeniach mobilnych, tak aby zaplanować na czas wymianę wkładek ograniczników.

W artykułach opisano czynniki, które mogą być bardzo istotne przy udzielaniu wieloletniej gwarancji. Zaczyna się to od układu 3+1 ogranicznika, a kończy na wyprzedzającym monitorowaniu poprzez chmurę. Ograniczniki, aby służyły jak najdłużej, muszą mieć właściwe parametry – pozwoli to także ograniczyć koszty serwisowania inwestycji.

## Użyteczne linki

1. www.phoenixcontact.com/pl-pl/produkty/ochrona-przed-przepieciami

PHOENIX CONTACT
INSPIRING INNOVATIONS

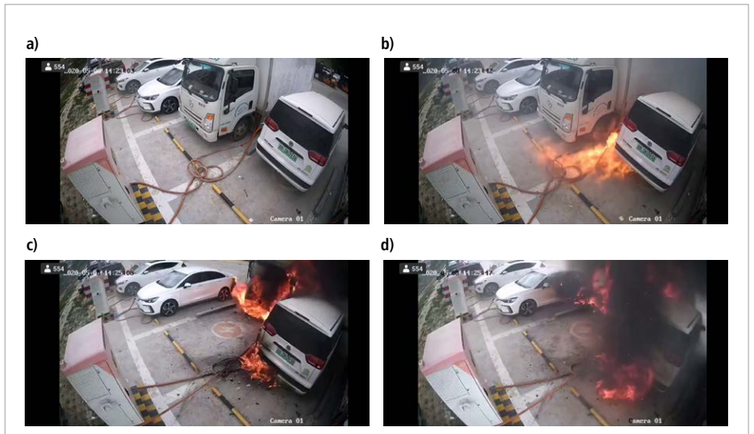
**Phoenix Contact Sp. z o.o.**
ul. Bierutowska 57-59
Budynek nr 3/A
51-317 Wrocław
tel. 71 398 04 29
**www.phoenixcontact.pl**

dr inż. Jarosław Wiater – Politechnika Białostocka

# Zagrożenie pożarowe stacji ładowania samochodów elektrycznych – ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa

**W powszechnym odczuciu samochody elektryczne są najtańszym sposobem przemieszczania się. Zdaniem władz powinniśmy dążyć do zastąpienia samochodów zasilanych paliwami płynnymi samochodami elektrycznymi. Niestety, wiele osób dostrzega tylko zalety danych rozwiązań technicznych zapominając o ich wadach.**

Krajowe media w październiku 2020 roku obiegła informacja o pożarze w garażu podziemnym w Warszawie, który spowodował wyłączenie całego budynku z eksploatacji ze względu na popękane stropy. Do chwili obecnej nie wyjaśniono przyczyny pożaru. Jedne źródła mówią o wybuchu pożaru spowodowango przez samochód elektryczny, inne o pożarze samochodu z silnikiem spalinowym. Bez względu na faktyczną przyczynę powstania pożaru, sam fakt, że spowodował on konieczność wyprowadzenia się lokatorów z całego budynku powinien dać do myślenia w zakresie zabezpieczenia przeciwpożarowego i przeciwprzepięciowego. W szczególności konieczna wydaje się ochrona układów ładowania samochodów elektrycznych, jeśli takie będą dopuszczone do parkowania/ładowania w garażu podziemnym.




Rys. 1. Kolejne etapy pożaru stacji ładowania samochodów elektrycznych [1]

Najbardziej wrażliwym elementem samochodu elektrycznego jest jego bateria. Jej uszkodzenie, przebicie izolacji, w większości przypadków powoduje pożar samochodu. Dlatego tak ważne jest właściwe zabezpieczenie od strony układu ładowania samochodu lub samej stacji ładowania pojazdów elektrycznych. Prądy zwarciowe w baterii mogą osiągnąć nawet 10 kA [4]. Przeglądając Internet można natknąć się na filmy oraz zdjęcia pokazujące pożary samochodów elektrycznych podczas ich ładowania. Najbardziej spektakularny film został nagrany w maju 2020 roku przez kamerę monitoringu – link dla chętnych, którzy chcą obejrzeć całość: https://www.youtube.com/watch?v=u2F9HKZ5VzA. Pokazuje on od samego początku rozwój, poszczególne etapy i skutki pożaru samochodu elektrycznego podczas procesu ładowania **(rys. 1.)**. Podobnych zdarzeń jest dość dużo. Bez większego problemu odnajdujemy w Internecie zdjęcia zniszczeń, jak i samych pożarów **(rys. 2.** i **3.)**. Liczba uwiecznionych zdarzeń jednoznacznie wskazuje na wagę problemu, z którym należy się zmierzyć.



Rys. 2. Pożar samochodu elektrycznego podczas ładowania w garażu podziemnym [2]



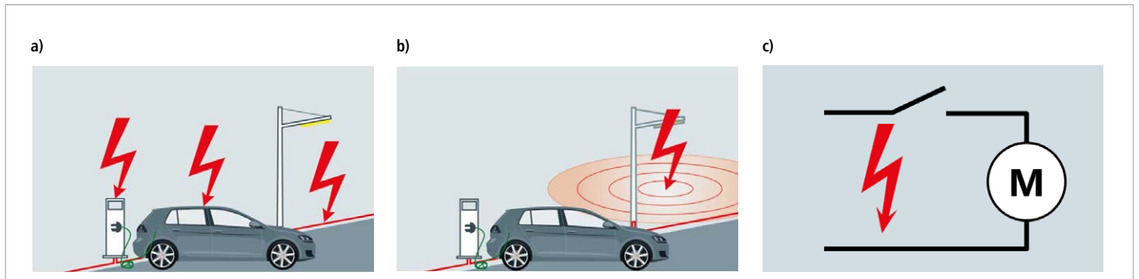

Rys. 3. Pożar samochodu elektrycznego podczas ładowania [3]


## STRESZCZENIE

W artykule zostały zaprezentowane skutki pożarów samochodów elektrycznych, które nastąpiły podczas ładowania ich akumulatorów. Mechanizmy, które do nich doprowadziły, są różne, niemniej jednak zagrożenie i potencjalnie duże straty powinny skłonić do właściwej ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej stacji ładowania samochodów elektrycznych. W artykule zaprezentowano zalecane metody ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej.

**Słowa kluczowe:** samochód elektryczny, stacja ładowania, ochrona odgromowa, ograniczanie przepięć.






Rys. 4. Źródła zagrożeń stacji ładowania pojazdów elektrycznych rys. J. Wiater

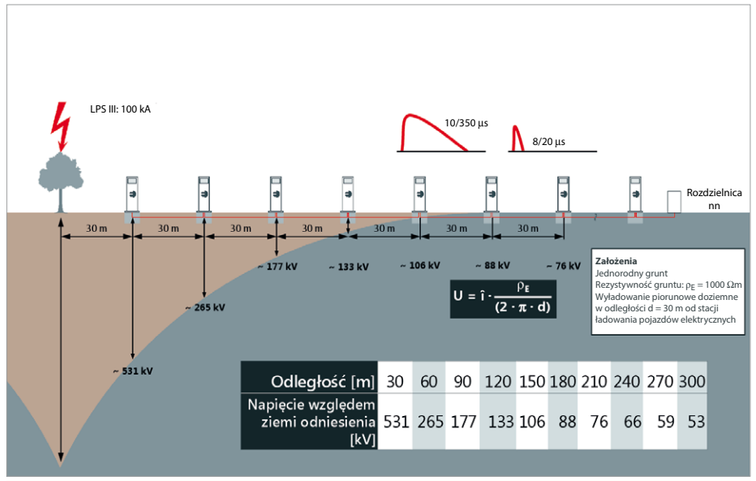
W 2018 roku weszła w życie w Polsce ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych. Zgodnie z planami rządu w najbliższych latach w największych miastach oraz wzdłuż sieci TEN-T (Transeuropejskiej Sieci Transportowej) powstanie infrastruktura do ładowania samochodów elektrycznych. Docelowo w Polsce ma powstać około 6000 punktów ładowania, które mają być zlokalizowane m.in. przy stacjach benzynowych, w sąsiedztwie galerii handlowych oraz miejscach o podobnym charakterze.

## Zagrożenie przepięciowe

Chcąc prawidłowo i skutecznie zabezpieczyć stację ładowania pojazdów elektrycznych, należy na wstępie wymienić potencjalne źródła zagrożeń, przed którymi musimy się chronić **(rys. 4.)**:

- bezpośrednie wyładowanie piorunowe w elementy instalacji ładowania pojazdów elektrycznych **(rys. 4a)**,
- wyładowanie piorunowe w sąsiadujące ze stacją ładowania instalacje, urządzenia, budynki **(rys. 4b)**,
- przepięcia łączeniowe występujące na skutek przełączeń, zwarć i innych stanów przejściowych występujących w sieci elektroenergetycznej zasilającej stację ładowania **(rys. 4c)**.

W zależności od miejsca doziemnego wyładowania piorunowego poziom zagrożenia stacji ładowania pojazdów jest inny. Inżynierskie obliczenia wykazują, iż względne różnice potencjałów pomiędzy kolejnymi przyłączami stacji mogą sięgać dziesiątek **kilowoltów (rys. 5.).**




| Odległość [m] | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Napięcie względem ziemi odniesienia [kV] | 531 | 265 | 177 | 133 | 106 | 88 | 76 | 66 | 59 | 53 |

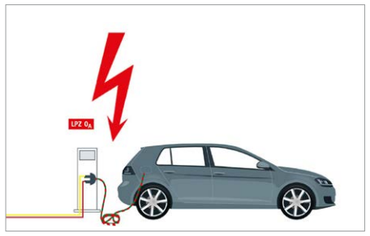
Rys. 5. Potencjały względem ziemi odniesienia dla kolejnych przyłączy stacji ładowania pojazdów elektrycznych rys. J. Wiater

Obserwując potencjalne skutki zniszczeń warto zainwestować, a nie liczyć na ubezpieczenie od szkód spowodowanych przepięciami, które zazwyczaj stanowią ułamek ogólnej kwoty ubezpieczenia w wariancie rozszerzonym. W wariancie podstawowym w ogóle nie jesteśmy ubezpieczeni od tego typu ryzyka, co jest jednoznaczne z wyłączeniem odpowiedzialności, możliwości uzyskania odszkodowania lub też zadośćuczynienia za szkody, które stacja ładowania może wyrządzić w mieniu znacznej wartości, jakim jest samochód elektryczny.

## Ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa stacji ładowania pojazdów elektrycznych

Stacje ładowania pojazdów elektrycznych mogą być zainstalowane zarówno na otwartym terenie, jak i wewnątrz budynków. W obu przypadkach należy sprawdzić, w której strefie ochrony odgromowej one się znajdują – $LPZ0_A$, $LPZ0_B$, LPZ1. Do tego celu można wykorzystać metodę toczącej się kuli, jak i metodę kątów osłonowych opisaną w normie PN-EN 62305-1 [5]. W strefie $LPZ0_A$ stacja ładowania narażona jest na bezpośrednie oddziaływanie prądu doziemnego wyładowania piorunowego o nieograniczonej (losowej) wartości szczytowej oraz bezpośrednio związane z tym bardzo duże wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego **(rys. 6.)**. W strefie $LPZ0_B$ chroniona jest przed bezpośrednim wyładowaniem piorunowym, jednak w dalszym ciągu narażona na bardzo duże wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego **(rys. 7.)**. W obu przedstawionych wypadkach stacja, a tym samym przyłączony do niej samochód elektryczny, narażone są na znaczące wartości przepięć na wejściu układu ładowania.

W zależności od lokalizacji terminala ładującego ochrona przed przepięciami realizowana jest na podstawie zapisów norm PN-EN 60364-4-443 [6], PN-EN 60364-5-534 [7]. W przypadku gdy znajduje się ona w strefie $LPZ0_A$, należy zastosować ogranicznik przepięć typu 1, dla którego prąd impulsowy ($I_{imp}$) nie powinien być mniejszy niż 12,5kA. Stosowanie ogranicznika przepięć, w którym głównym elementem jest warystor, może skutkować brakiem koordynacji energetycznej z warystorami umieszczonymi na wejściu układu ładowania. Zdecydowanie zaleca się stosować w tym miejscu ogranicznik typu 1 na bazie iskiernika, taki,




Rys. 6. Przykład pojedynczego przyłącza stacji ładowania pojazdów elektrycznych, w której brak jest ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej. Zagrożony jest samochód i sama stacja rys. J. Wiater




Rys. 7. Przykład pojedynczego przyłącza stacji ładowania pojazdów elektrycznych, w której brak jest ochrony przeciwprzepięciowej. Zagrożony jest samochód i sama stacja rys. J. Wiater

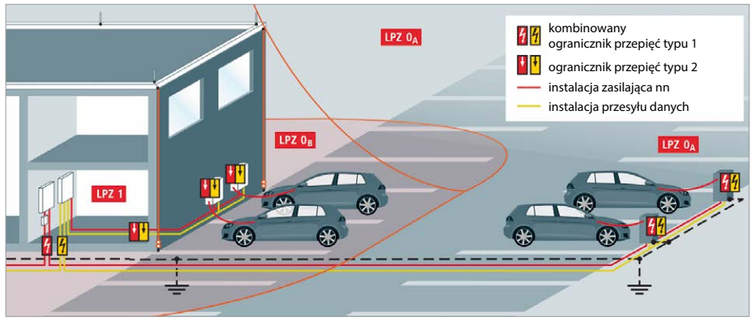



Rys. 8. Przykład prawidłowej ochrony przeciwprzepięciowej pojedynczego przyłącza stacji ładowania pojazdów elektrycznych rys. J. Wiater

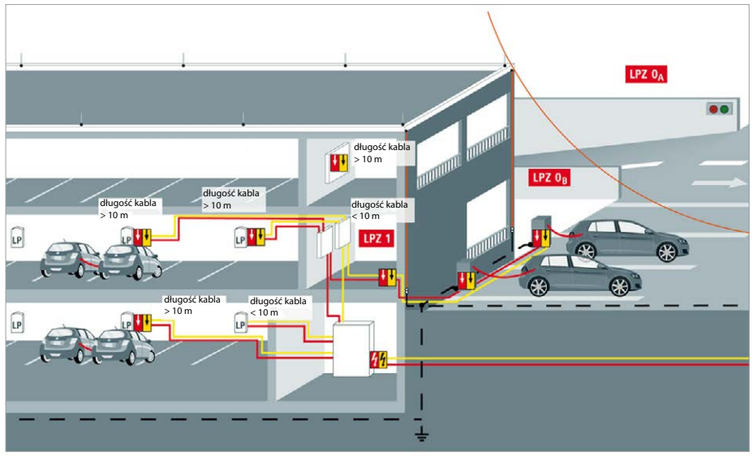
w którym producent deklaruje prawidłową koordynację z urządzeniem końcowym spełniającym wymagania normy PN-EN 61000-4-5 [8]. Niezapewnienie właściwej koordynacji może skutkować uszkodzeniem chronionego urządzenia pomimo zainstalowania na jego zaciskach ogranicznika typu 1 zbudowanego w oparciu tylko o warystor. W przypadku gdy część kabli wychodzi poza strefę $LPZ0_B$, należy je wyposażyć w ogranicznik typu 1 z zastrzeżeniami opisanymi wyżej **(rys. 9.)**. Szczegółowo problem koordynacji energetycznej opisano w artykule dotyczącym skuteczności ochrony przeciwprzepięciowej w sieciach elektroenergetycznych z równolegle łączonymi warystorowymi ogranicznikami przepięć [9]. W przypadku gdy cała stacja ładowania oraz doprowadzone do niej kable zasilające znajdują się w strefie $LPZ0_B$, należy zastosowaćograniczniki typu 2 **(rys. 10.)**.

Dobierając i rozmieszczającograniczniki przepięć należy pamiętać o zapisach normy PN-HD 60364-5-53:2016-02 [10] (pkt 534.4.9). Norma stanowi, że w przypadku gdy odległość pomiędzy ogranicznikiem przepięć a chronionym urządzeniem jest większa niż 10 metrów, należy zainstalować dodatkowy ogranicznik przepięć najbliżej jak to jest możliwe chronionego urządzenia (zachowując relację $U_p<U_w$, gdzie: $U_p$ – napięciowy poziom ochrony ogranicznika przepięć, $U_w$ – napięcie udarowe chronionego urządzenia). Takie wymaganie po raz kolejny zmusza do stosowania ogranicznika typu 1 skoordynowanego energetycznie z urządzeniem końcowym. Opisany w ww. normie warunek nie jest wystarczający do zapewnienia właściwej koordynacji zewnętrznych i wewnętrznych ograniczników przepięć (znajdujących się w module elektronicznym stacji ładowania pojazdów elektrycznych).

W większości przypadków grupy terminali do ładowania samochodów elektrycznych połączone są również ze sobą za pomocą przewodów sygnałowych. Na przedstawionych **rysunkach 9.** i **10.** linie sygnałowe oznaczono kolorem żółtym. Za ich pomocą odbywa się komunikacja z głównym terminalem rozliczeniowym. W żadnym wypadku nie należy zapominać o liniach telekomunikacyjnych projektując system ochrony przeciwprzepięciowej. Zaleca się stosowaćograniczniki przepięć kategorii D1 lub D2 dla linii przechodzących pomiędzy strefami LPZ0 i LPZ1 oraz C1 lub C2 dla obwodów sygnałowych przechodzących pomiędzy strefami LPZ1 i wyżej.




Rys. 9. Przykład prawidłowej ochrony zewnętrznej stacji ładowania pojazdów elektrycznych zgodnie ze strefową koncepcją ochrony (LPZ) rys. J. Wiater




Rys. 10. Przykład prawidłowej ochrony wewnątrzbudynkowej stacji ładowania pojazdów elektrycznych zgodnie ze strefową koncepcją ochrony (LPZ) rys. J. Wiater

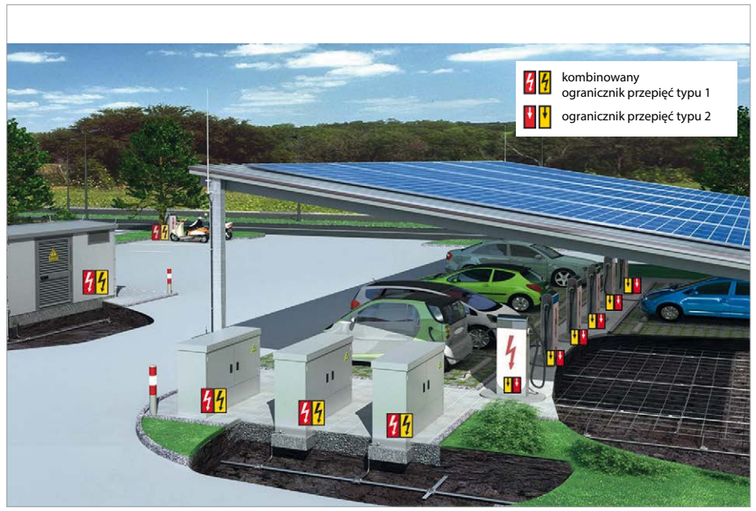

## ABSTRACT

**Electric car charging station fire hazard – lightning and surge protection**

The article will present the effects of electric car fires that occurred while charging their batteries. The mechanisms that led to them are different, but the threat and potential large losses should prompt for proper lightning protection and surge protection for electric car charging stations. The article presents the recommended lightning and surge protection methods.

**Keywords**: electric car, charging station, lightning protection, surge protection.


Dynamiczny rozwój systemów fotowoltaicznych niejako w sposób automatyczny predysponuje do połączenia ze stacjami ładowania pojazdów elektrycznych. Przykładowe rozwiązanie zamieszczono na **rysunku 11.** Z punktu widzenia ekonomicznego takie połączenie jest bardzo opłacalne, gdyż bieżąca produkcja energii elektrycznej jest na zasadzie prosumenckiej wykorzystywana na miejscu. Takich rozwiązań należy się spodziewać w niedalekiej przyszłości w kraju i na świecie.




Rys. 11. Przykład ochrony stacji ładowania pojazdów połączonej z instalacją PV rys. J. Wiater

## Podsumowanie

Zaprojektowanie i wykonanie ochrony odgromowej oraz przeciwprzepięciowej wymaga szczegółowej analizy obowiązujących norm i ścisłej ich realizacji. Ubezpieczenie nie jest gwarancją pokrycia wszystkich poniesionych strat w przypadku uszkodzenia w wyniku doziemnego wyładowania piorunowego lub przepięcia pochodzącego z innego źródła. W przypadku korzystania z kredytu bankowego warto zauważyć, iż beneficjentem polisy jest w większości przypadków bank. Problem jest szczególnie ważny, gdyż większość nowych inwestycji wyposażonych jest w urządzenia i systemy elektroniczne wrażliwe na przepięcia. Rosnące zainteresowanie samochodami elektrycznymi, rządowy plan budowy w większych aglomeracjach infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych jednoznacznie wskazuje kierunki, które będą się rozwijały w niedalekiej przyszłości. Od inżynierów i projektantów będzie się wymagało realizacji powierzonych zadań.

literatura do artykułu na elektro.info.pl


REKLAMA

JULIAN WIATR

PRAKTYCZNE ASPEKTY OBLICZANIA ZWARĆ W SIECIACH ORAZ INSTALACJACH ELEKTRYCZNYCH NISKIEGO NAPIĘCIA

NOWOŚĆ
Seria: NIEZBĘDNIK ELEKTRYKA




WYDANIE PAPIEROWE: 39 zł

WYDANIE ELEKTRONICZNE: 30 zł (EBOOK)

PDF Adobe

W książce przedstawiono metodykę prowadzenia obliczeń zwarciowych w sieciach oraz instalacjach elektrycznych niskiego napięcia, rozszerzoną o obliczanie zwarć w sieciach elektroenergetycznych średniego napięcia. Opisano wpływ silników na prądy zwarciowe, które mogą przyczyniać się do wzrostu prądu zwarciowego. Zjawisko to należy uwzględnić przy doborze odporności zwarciowej dobieranych aparatów i urządzeń elektrycznych. Pominięcie silników w obliczeniach prądów zwarciowych może skutkować doborem aparatów lub urządzeń o zbyt małej odporności zwarciowej. Uzupełnieniem publikacji jest opis metody składowych symetrycznych zawierający szczegółowe wytyczne zastosowania rachunku macierzowego będącego elementem algebry liniowej wykorzystywanej przy obliczaniu zwarć. Zawarte w książce liczne przykłady rachunkowe pozwalają na łatwe zrozumienie treści teoretycznych i stosowanie ich w praktyce projektowej.

ZAMÓW: www.wydawniczy.pl, www.ksiegarniatechniczna.com.pl

Tomasz Maksimowicz – RST Sp. z o.o.

# Wpływ sposobu przyłączenia ogranicznika przepięć na rzeczywisty poziom ochrony w instalacjach zasilających niskiego napięcia

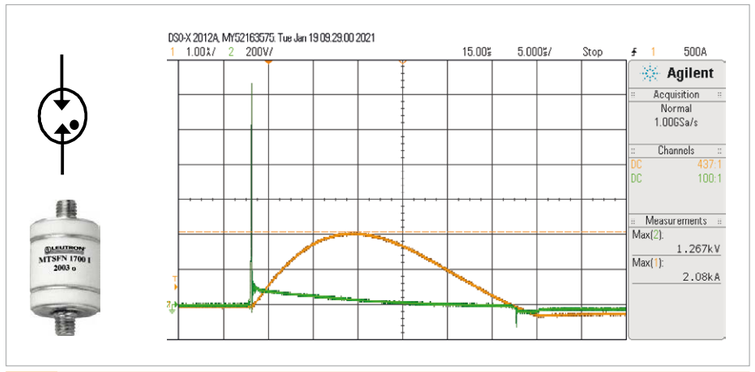
**Podstawowym zadaniem ograniczników przepięć (SPD, ang. *surge protecting device*) jest zminimalizowanie różnicy potencjałów, jaka może wystąpić na skutek oddziaływania wyładowań atmosferycznych lub operacji łączeniowych w sieci elektroenergetycznej. Wzrost potencjału w instalacji elektrycznej może prowadzić do przebicia izolacji wewnątrz urządzeń, powodując ich fizyczne uszkodzenie.**


## STRESZCZENIE

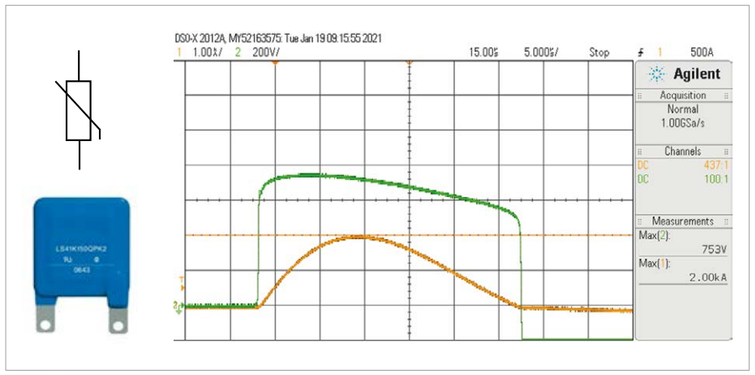
Artykuł opisuje czynniki, jakie mają wpływ na rzeczywisty poziom ochrony ograniczników przepięć w instalacjach elektrycznych. Poruszone są kwestie długości przewodów, dobezpieczenia SPD, podwójnych zacisków oraz połączeń wyrównawczych. Udowodniono, że napięcie oddziałujące na chronioną instalację może być kilkukrotnie wyższe od poziomu ochrony SPD. Przedstawiono różnice wynikające z rodzaju zastosowanego ogranicznika: iskiernikowego i warystorowego. Zawarte wnioski oparte są na przedstawionych wynikach pomiarów laboratoryjnych.


**Słowa kluczowe:** ogranicznik przepięć, napięciowy poziom ochrony, dobezpieczanie, połączenia wyrównawcze.

Jednym z parametrów określających skuteczność SPD jest napięciowy poziom ochrony ($U_p$), który definiuje maksymalną wartość napięcia, jaka może wystąpić między zaciskami ogranicznika. Wartość napięcia widziana od strony chronionej instalacji w zależności od sposobu przyłączenia SPD może być jednak znacznie wyższa od deklarowanej przez producenta wartości $U_p$. W artykule zostaną opisane czynniki wpływające na efektywny poziom ochrony instalacji niskiego napięcia, takie jak rodzaj SPD, długość przewodów przyłączeniowych, dobezpieczenie SPD oraz konfiguracja połączeń wyrównawczych. Wnioski zawarte w materiale stanowią weryfikację wytycznych norm na podstawie wyników doświadczalnych badań laboratoryjnych.




Rys. 1. Przykładowa charakterystyka zadziałania elementu ucinającego napięcie na przykładzie iskiernika (zielony – przebieg napięcia, pomarańczowy – przebieg prądu) rys. T. Maksimowicz

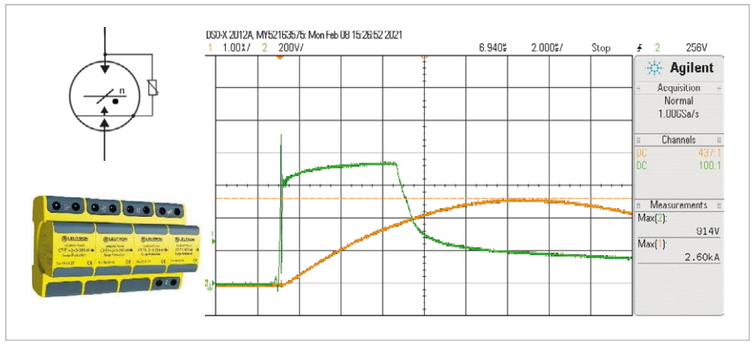



Rys. 2. Przykładowa charakterystyka zadziałania elementu ograniczającego napięcie na przykładzie warystora (zielony – przebieg napięcia, pomarańczowy – przebieg prądu) rys. T. Maksimowicz

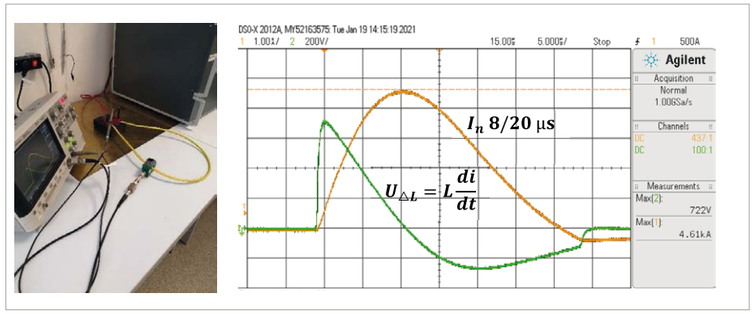
## Elementy ograniczające i ucinające napięcie

Rodzaj ogranicznika przepięć, a w zasadzie charakterystyka jego działania, decyduje o tym, jak istotny wpływ ma sposób jego przyłączenia. Każdy ogranicznik składa się z co najmniej jednego elementu nieliniowego, który w przypadku wystąpienia zbyt wysokiej różnicy potencjałów między jego zaciskami zmienia swoją impedancję z bardzo dużej w bardzo małą. Podstawowa klasyfikacja wyróżnia elementy ucinające napięcie oraz elementy ograniczające napięcie.

Elementy ucinające napięcie to wszelkiego rodzaju iskierniki (odgromniki), czyli konstrukcje składające się z układu co najmniej dwóch elektrod, odizolowanych od siebie przerwą wypełnioną gazem. Elektrody mogą być wykonane jako przeciwstawne pręty, powierzchnie płaskie lub inne odpowiednio ukształtowane elementy przewodzące. Gaz, który wypełnia przestrzeń między elektrodami, może stanowić powietrze lub gaz szlachetny (odgromniki gazowe). Napięcie zadziałania elementów iskiernikowych zależy od kształtu elektrod, odstępu między nimi, gazu oraz kształtu impulsu napięciowego. W otwartych konstrukcjach iskierników napięcie zapłonu zależy także od ciśnienia powietrza i wilgotności. Elementy iskiernikowe cechują się przede wszystkim tym, że po zadziałaniu zmiana impedancji wewnętrznej następuje w sposób gwałtowny, powodując praktycznie zwarcie. Napięcie zapłonu zależy od stromości impulsu napięciowego i jest tym wyższe, im większa jest stromość (du/dt) udaru. Po zadziałaniu wartość napięcia na zaciskach iskiernika jest równa napięciu łuku międzyelektrodowego i wynosi typowo od kilkunastu do kilkudziesięciu woltów **(rys. 1.)**. Przepływ prądu następuje dopiero po zadziałaniu iskiernika – nie występuje zjawisko prądu upływu.




Rys. 3. Przykładowa charakterystyka zadziałania ogranicznika kombinowanego na przykładzie ogranicznika LEUTRON CT-T1+2+3/3+1-350-FM (zielony – przebieg napięcia, pomarańczowy – przebieg prądu) rys. T. Maksimowicz




Rys. 4. Przebieg prądu udarowego (8/20 µs) i napięcia na odcinku 1 m przewodu LgY 6 mm² rys. T. Maksimowicz

Elementy ograniczające napięcie to półprzewodniki, takie jak warystory i diody. W ogranicznikach przepięć do ochrony obwodów zasilania stosuje się najczęściej elementy warystorowe, diody stosowane są głównie w SPD do ochrony obwodów sygnałowych. Warystor zmienia swoją impedancję w sposób bardziej łagodny w zależności od wartości napięcia między jego elektrodami. W odróżnieniu od elementów ucinających napięcie, w warunkach normalnej pracy (przy napięciu znamionowym) przez elementy ograniczające napięcie przepływa tzw. prąd upływu o małej wartości (w instalacjach nn ~kilkunastu ÷ kilkudziesięciu µA). W momencie zadziałania warystora, przy przepływie prądu udarowego na elemencie utrzymuje się napięcie o wartości zbliżonej do napięcia zadziałania – wartość maksymalna zależy nie od stromości udaru napięciowego, a od wartości szczytowej prądu **(rys. 2.)**.

Elementy iskiernikowe charakteryzują się wysoką odpornością na prądy udarowe (zarówno indukowane 8/20 µs, jak i częściowe prądy pioruna $I_{imp}$, np. 10/350 µs) oraz napięciem zadziałania zależnym od stromości zbocza impulsu napięciowego. Elementy warystorowe z kolei charakteryzują dobrą odpornością jedynie na prądy indukowane (8/20 µs), ale za to poziom zadziałania nie jest zależny od stromości napięcia udaru. Istotną różnicą jest także poziom napięcia utrzymujący się na zaciskach ogranicznika w chwili jego zadziałania: bardzo mały na elementach iskiernikowych oraz równy napięciu zadziałania na elementach ograniczających napięcie.

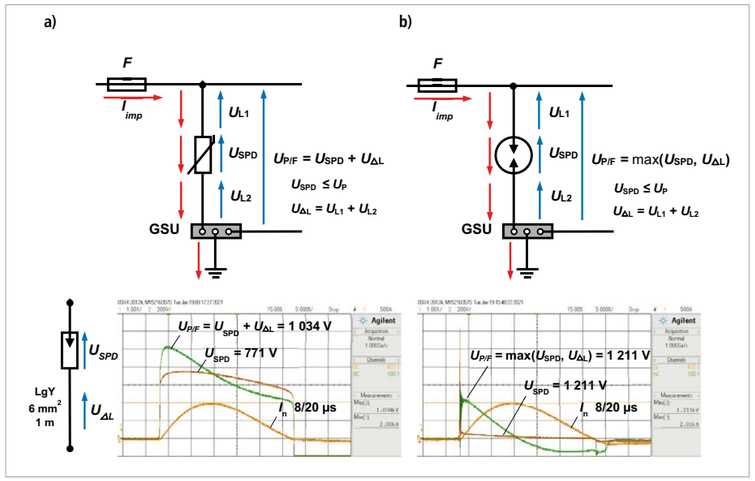
Do budowy SPD wykorzystywane są bardzo często konfiguracje obu elementów jako połączenie szeregowe, równoległe lub mieszane (**rys. 3.**). Ograniczniki zawierające zarówno elementy ucinające napięcie, jak i ograniczające napięcie nazywane są ogranicznikami kombinowanymi lub typu kombinowanego [1]. Takie kombinacje elementów wykorzystywane są np. dla uzyskania odpowiednio niskiego napięciowego poziomu ochrony (SPD typu 1) lub do wyeliminowania zjawiska prądu upływu (SPD typu 2).

## Wpływ przewodów przyłączeniowych

Powszechnie przyjęto, że dla zapewnienia skutecznej ochrony przed przepięciami należy wykonać jak najkrótsze przewody przyłączeniowe do ogranicznika przepięć. Zarówno według norm dotyczących ochrony odgromowej [2], jak i instalacji elektrycznych nn [3], całkowi-

| Przewód o długości 1 m | Maksymalna wartość napięcia $U_{\Delta L}$ przy prądzie | | |
|---|---|---|---|
| | 1 kA 8/20 µs | 2 kA 8/20 µs | 4,5 kA 8/20 µs |
| LgY 1,5 mm² | 199 V | 384 V | 842 V |
| LgY 2,5 mm² | 175 V | 336 V | 762 V |
| LgY 4 mm² | 167 V | 328 V | 760 V |
| LgY 6 mm² | 175 V | 328 V | 722 V |
| LgY 10 mm² | 161 V | 306 V | 692 V |
| LgY 16 mm² | 150 V | 294 V | 664 V |
| LgY 25 mm² | 145 V | 290 V | 644 V |
| Bednarka 30×4 mm | 110 V | 214 V | 495 V |

Tab. 1. Maksymalne wartości napięć zmierzone dla przewodów o długości 1 m i różnym przekroju




Rys. 5. Wpływ spadków napięć na przewodach przyłączeniowych na rzeczywisty poziom ochrony: **a)** element ograniczający napięcie SPD typu 2 warystorowy; **b)** element ucinający napięcie SPD typu 1 iskiernikowy
rys. T. Maksimowicz

ta długość przewodów przyłączeniowych powinna być możliwie jak najkrótsza i nie powinna przekraczać 0,5 m. Jest to związane z dodatkowymi spadkami napięć na przewodach, jakie mogą wystąpić przy przepływie prądów odprowadzanych przez SPD.

Na **rysunku 4.** przedstawiono przykładowy przebieg napięcia, zmierzony między końcami przewodu LgY 6 mm² o długości 1 m, przy przepływie prądu udarowego o kształcie 8/20 µs. Jest to typowy przewód, jaki jest zalecany do uziemienia SPD typu 2 [2, 4]. Kształt przebiegu napięcia świadczy jednoznacznie, że wynika on z indukcyjności przewodu, a nie z jego rezystancji. Maksymalna wartość napięcia występuje na początku udaru prądowego, gdy jego zmiany (di/dt) są najbardziej dynamiczne. Można zatem założyć, że przy takiej samej wartości szczytowej udarów prądowych o kształcie 8/20 µs i 10/350 µs maksymalna wartość napięcia na przewodzie będzie zbliżona. Zjawisko to dotyczy zatem zarówno prądów indukowanych, jak i prądów pioruna, a szczególnie groźne może być w przypadku częściowych prądów pioruna pierwszego i kolejnych udarów ujemnych, którym przypisuje się unormowane kształty 1/200 µs i 0,25/100 µs o znacznie większej stromości czoła impulsu [2].

W **tabeli 1.** przedstawiono wartości maksymalne napięć zmierzonych dla metrowych odcinków przewodów o różnym przekroju. Im większy przekrój, tym mniejszy spadek napięcia, co wynika z zależności indukcyjności od przekroju przewodu. Należy jednak zwrócić uwagę, że nawet w przypadku przewodu płaskiego, o przekroju 30×4 mm (120 mm²) przy udarze 4,5 kA 8/20 µs spadek napięcia wynosi $U_{\Delta L}$ = 495 V/m. Różnice między przewodami LgY 16 mm² i 6 mm², które stosowane są do uziemienia SPD odpowiednio typu 1 i typu 2, są nieznaczne. Otrzymane wartości szczytowe napięć, wynoszące od około 500 V do ponad 800 V, zmierzono przy przepływie prądów o wartości szczytowej 4,5 kA (8/20 µs), zatem biorąc pod uwagę, że SPD typu 1 i typu 2 konstruowane są na prądy znamionowe o wartościach szczytowych 20 ÷ 25 kA, to w krytycznych sytuacjach można spodziewać się spadków napięć na przewodach przekraczających wartości 2,5 kV/m.

Problem związany z długościami przewodów przyłączeniowych jest często poruszany, ale zazwyczaj pomija się, jakie znaczenie ma w tej kwestii konstrukcja ogranicznika przepięć. Wpływ spadków napięć na przewodach jest bardziej znaczący w przypadku elementów ograniczających napięcie niż dla elementów iskiernikowych. Na **rysunku 5.** przedstawiono zależności teoretyczne oraz rzeczywiste wyniki pomiarów wpływu długości przewodów dla SPD typu ograniczającego napięcie i SPD typu ucinającego napięcie. W przypadku SPD bazujących na warystorach, co dotyczy także ograniczników kombinowanych, maksymalna wartość napięcia w gałęzi ochronnej $U_{P/F}$ jest sumą spadku napięć na ograniczniku $U_{SPD}$ oraz spadku napięć na przewodach przyłączeniowych $U_{\Delta L}$. Należy tu uwzględnić połączenie z przewodem fazowym (lub neutralnym), przewód uziemiający oraz jeżeli SPD wymaga dobezpieczenia – przewód łączący SPD z zabezpieczeniem nadprądowym (OCPD). W przypadku elementów iskiernikowych wartość $U_{P/F}$ jest z kolei nie sumą, a większą z wartości $U_{SPD}$ i $U_{\Delta L}$. Wynika to z faktu, że prąd udarowy przepływa przez SPD typu ucinającego napięcie dopiero po jego zadziałaniu, kiedy spadek napięcia na elemencie jest równy napięciu łuku międzyelektrodowego. W chwili zadziałania ogranicznika, gdy występuje maksymalna wartość napięcia $U_{SPD}$, spadki napięć na przewodach nie występują. W wielu przypadkach może wystąpić zatem sytuacja, w której długości przewodów nie będą wnosiły dodatkowego zagrożenia, ponieważ napięcia $U_{\Delta L}$ będą mniejsze od napięcia zadziałania iskiernika.

## Dobezpieczenie SPD

Rzeczywista wartość napięcia w gałęzi ochronnej $U_{P/F}$ może być także zależna od spadku napięcia $U_{OCPD}$, jeżeli ogranicznik wymaga dobezpieczenia. W pierwszej kolejności należy jednak podkreślić, że w przypadku większości typowych instalacji elektrycznych, przy zastosowaniu profesjonalnych ograniczników przepięć, dobezpieczenie nie jest konieczne. Profesjonalne ograniczniki przepięć nie wymagają dobezpieczania, jeżeli prąd zabezpieczenia głównego instalacji jest nie większy niż 125 A lub nawet 250 A. Zastosowanie elementu OCPD szeregowo z SPD w gałęzi ochronnej ma dwa podstawowe zadania:

- ochrona SPD oraz
- ochrona przewodów przyłączeniowych

przed uszkodzeniem na skutek przypływu prądów zwarciowych (następczych) z instalacji, które przepływają przez ogranicznik po jego zadziałaniu. Należy zdawać sobie sprawę, że SPD typu ucinającego napięcie oraz typu kombinowanego w momencie zadziałania mogą powodować zwarcie.

W **tabeli 2.** przedstawiono wyniki pomiarów spadków napięć na elementach OCPD różnego rodzaju. Przykładowe przebiegi napięcia przy przepływie prądu o kształcie 8/20 µs przedstawiono na **rysunku 6.** Im wyższy prąd znamionowy OCPD, tym mniejsze napięcie $U_{OCPD}$ wpływające na skuteczność ochrony instalacji. Kolejna kwestia to odporność zabezpieczeń na prądy udarowe. Wyłączniki nadprądowe (MCB) o małych prądach zadziałania charakteryzują się nie tylko wyższymi spadkami napięć, ale także znacznie mniejszą wytrzymałością udarową w stosunku do bezpieczników topikowych. Przepływ prądu udarowego może powodować zadziałanie MCB lub jego fizyczne uszkodzenie (w krytycznych przypadkach eksplozję) powodując przerwę w obwodzie i pozbawienie instalacji dalszej ochrony. Producenci SPD zalecają najczęściej stosowanie bezpieczników topikowych o charakterystyce gG, które zapewniają mniejsze spadki napięć $U_{OCPD}$ oraz charakteryzują się wysoką odpornością na prądy zwarciowe. Według wyników badań opisanych w literaturze [5, 6], wkładki bezpieczników topikowych o charakterystyce gG i prądzie znamionowym 125 A zadziałają przy przepływie prądu udarowego o wartości około $I_{imp}$ = 12,1 kA (10/350 µs), natomiast wkładkom 250 A gG odpowiada prąd zadziałania $I_{imp}$ = 27,5 kA. Nie należy zatem dobezpieczać ograniczników przepięć typu 1, o wytrzymałości $I_{imp}$ = 25 kA, wkładkami o prądzie znamionowym mniejszym niż 250 A. Stosowane w starszych instalacjach wkładki topikowe, o charakterystyce gF, nawet pomimo małego prądu zadziałania zapewniają małe spadki napięcia, ale charakteryzują się najmniejszą odpornością na udary prądowe i mogą ulec uszkodzeniu już przy prądach indukowanych (8/20 µs) o wartości kilku kA.

Analizując otrzymane wyniki badania zabezpieczeń nadprądowych, należy zauważyć, że jeżeli stosowane są elementy OCPD o wyższych prądach zadziałania, to spadki napięć $U_{OCPD}$ są znacznie mniejsze w porównaniu do spadków napięć na przewodach przyłączeniowych $U_{\Delta L}$. Z punktu widzenia rodzaju SPD, wpływ napięcia $U_{OCPD}$ jest podobny jak w przypadku spadków napięć na przewodach przyłączeniowych: przy SPD warystorowych lub typu kombinowanego $U_{OCPD}$ jest dodawane do spadku napięcia na ograniczniku przepięć.

O niekorzystnym wpływie długości przewodów i doborze nieodpowiedniego dobezpieczenia (lub w przypadku nieuzasadnionego dobezpieczania SPD) jednoznacznie świadczy przykład przedstawiony na **rysunku 7.**

Przedstawiono tam porównanie spadku napięcia na ograniczniku przepięć (SPD typu 2, warystorowy) i całkowitego napięcia w gałęzi ochronnej z dodatkowym uwzględnieniem wyłącznika nadprądowego (B16) oraz przewodów o sumarycznej długości 1 m (LgY 6 mm²). Przykład ten pokazuje, że rzeczywisty poziom ochrony widziany od strony instalacji może być znacznie wyższy od napięcia na samym ograniczniku przepięć. Już przy prądzie udarowym 4 kA 8/20 µs wartość $U_{P/F}$ dwukrotnie przekroczyła poziom ograniczania SPD.

Jaki powinien być zatem prąd znamionowy dobezpieczenia? Odpowiedź jest jednoznaczna – największy z możliwych deklarowany przez producenta. Wynika to z kilku kwestii, jakie zapewnia stosowanie zabezpieczeń o większym prądzie znamionowym:

- większa wytrzymałość OCPD na prądy udarowe;
- mniejszy spadek napięcia $U_{OCPD}$ przy przepływie prądu udarowego;
- mniejsza potencjalna liczba zadziałania OCPD, które w praktyce powoduje odłączenie gałęzi z SPD i pozostawienie instalacji bez dalszej ochrony.

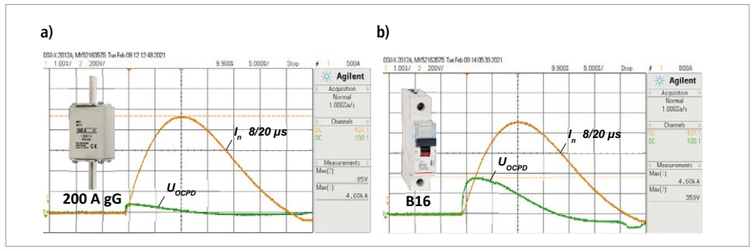
Wpływu przewodów przyłączeniowych i OCPD nie zawsze da się wyeliminować. Taka sytuacja może wystąpić przykładowo w przypadku szafy rozdzielczej z mostem szynowym, gdzie konieczne jest zarówno dobezpieczenie SPD typu 1, jak i wykonanie dłuższych połączeń ze względu na rozmiary rozdzielnicy. W takich instalacjach konieczne jest zastosowanie dodatkowych SPD typu 2 w kolejnych punktach rozdziału energii. Ogranicznik typu 1, stanowiący pierwszy stopień ochrony, będzie miał tu za zadanie wyłącznie odprowadzenie do uziemienia prądów udarowych, a do zapewnienia odpowiedniego napięciowego poziomu ochrony konieczne będzie stosowanie ograniczników typu 2 w rozdzielnicach lokalnych.

| Rodzaj zabezpieczenia nadprądowego | Maksymalna wartość napięcia ΔU przy prądzie | | |
|---|---|---|---|
| | 1 kA 8/20 µs | 2 kA 8/20 µs | 4,5 kA 8/20 µs |
| 200 A gG | 21 V | 37 V | 85 V |
| B32 | 37 V | 61 V | 126 V |
| B16 | 53 V | 93 V | 190 V |
| B10 | 110 V | 190 V | 359 V |
| B6 | 110 V | 198 V | 375 V |
| C10 | 93 V | 174 V | 351 V |
| C2 | 1 332 V @0,58 kA | 2 550 V @1,18 kA ✓ | 4 310 V @3,95 kA ✓ |
| 25 A gF | 21 V | 29 V | 61 V |
| 20 A gF | 21 V | 37 V | 383 V ✕ |

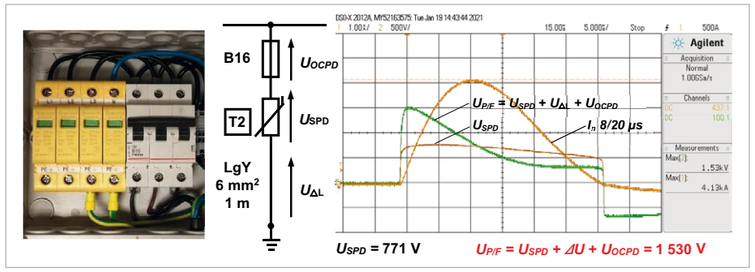
Objaśnienia: ✓ – zadziałanie zabezpieczenia nadmiarowo-prądowego, ✕ – uszkodzenie wkładki bezpiecznikowej
Tab. 2. Napięcia zmierzone dla różnych typów OCPD przy przepływie prądów indukowanych

## Połączenia wyrównawcze

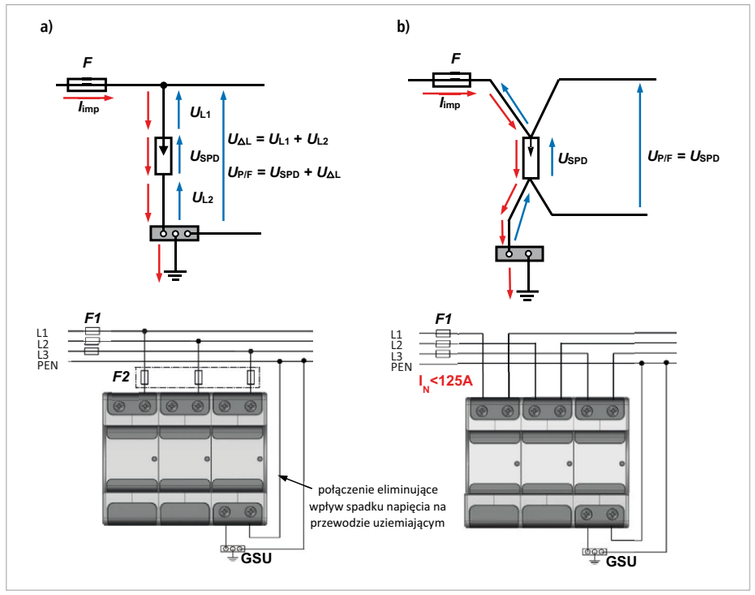
Wyniki pomiarów przedstawione powyżej jednoznacznie świadczą, że długości przewodów mają bardzo duże znaczenie. W większości przypadków problem ten można jednak zminimalizować poprzez odpowiednie połączenia wyrównawcze.



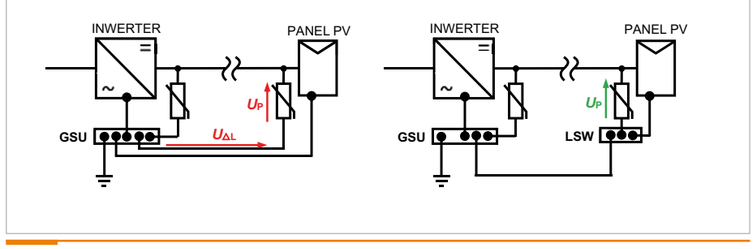

Rys. 6. Spadki napięć na elementach OCPD: **a)** wkładka bezpiecznikowa 200 A gG; **b)** wyłącznik nadprądowy B16
rys. T. Maksimowicz




Rys. 7. Porównanie całkowitego napięcia w gałęzi ochronnej $U_{P/F}$ w stosunku do napięcia na ograniczniku przepięć USPD rys. T. Maksimowicz




Rys. 8. Porównanie połączenia równoległego SPD oraz połączenia typu V na przykładzie ogranicznika typu 1 LEUTRON serii CT z podwójnymi zaciskami przyłączeniowymi: **a)** połączenie równoległe, **b)** połączenie typu V rys. T. Maksimowicz




Rys. 9. Eliminacja wpływu spadków napięć na przewodach uziemiających poprzez zastosowanie lokalnych połączeń wyrównawczych na przykładzie instalacji fotowoltaicznej rys. T. Maksimowicz

| Zastosowanie | Przekrój przewodu Cu[1)] | |
|---|---|---|
| **Szyny wyrównawcze** | 50 mm² | |
| **Przewody łączące szyny wyrównawcze z układem uziemiającym lub z innymi szynami wyrównawczymi (przewodzącymi całkowity prąd pioruna lub znaczną jego część)** | 16 mm² | |
| **Przewody łączące wewnętrzne metalowe instalacje z szynami wyrównawczymi (przewodzącymi częściowy prąd pioruna)** | 6 mm² | |
| **Przewody przyłączeniowe SPD[2)]** | Typ 1 | 6 mm² |
| | Typ 2 | 2,5 mm² |
| | Typ 3 | 1 mm² |
| **Przewody uziemiające SPD** | Typ 1 | 16 mm² |
| | Typ 2 | 6 mm² |
| | Typ 3 | 1 mm² |

Objaśnienia: [1)] – mniejsze przekroje są dopuszczalne pod warunkiem odpowiedniej wytrzymałości termicznej i mechanicznej w zależności od spodziewanych wartości prądów zakłóceniowych (udarowych lub zwarciowych) i lokalizacji połączenia, [2)] – wartości proponowane w projekcie roboczym IEC 62305-4 ed.3

Tab. 3. Minimalne przekroje przewodów, połączeń wyrównawczych i uziemiających [2]

Na **rysunku 8.** przedstawiono dwa sposoby przyłączenia SPD typu 1. Najprostszą metodą eliminacji wpływu przewodów przyłączeniowych jest zastosowanie połączeń typu V. Jest to rodzaj przyłączenia mieszanego: z punktu widzenia schematu elektrycznego element ochronny włączany jest w chroniony obwód równolegle, fizyczne przyłączenie z zastosowaniem przewodów dochodzących i odchodzących jest z kolei połączeniem szeregowym. Połączenie typu V można wykonać niemal w każdym SPD typu 1 lub typu 2. Ograniczniki typu 1 iskiernikowe lub kombinowane o wytrzymałości $I_{imp}$ = 25 kA (10/350 µs) mają zazwyczaj dwa osobne zaciski przyłączeniowe na każdy moduł ochronny (o szerokości 2TE). Jeżeli SPD nie ma osobnych zacisków umożliwiających wykonanie takiego połączenia (np. SPD typu 2 o szerokości 1TE/moduł), to przyłączenie dwóch przewodów do jednego zacisku możliwe jest z zastosowaniem specjalnych końcówek. Dzięki połączeniu typu V, spadki napięć na przewodach przyłączeniowych, wywołane przepływem prądu udarowego, nie są „widoczne" od strony chronionej instalacji. Metoda ta ma jednak ograniczenia prądowe wynikające z zacisków przyłączeniowych. W SPD typu 1 z podwójnymi zaciskami najczęściej ograniczenie stanowi wartość 125 A prądu znamionowego chronionej instalacji. Ponadto połączenia typu V nie mogą być wykonane, gdy SPD wymaga dobezpieczenia, ponieważ to ograniczałoby tym samym natężenie prądu w całej instalacji za SPD.

Kolejnym sposobem ograniczenia wpływu długości przewodów jest stosowanie lokalnych szyn wyrównawczych (LSW). Ma to zastosowanie przede wszystkim do ochrony części instalacji oddalonych od rozdzielnicy głównej lub rozdzielnic lokalnych, jak chociażby ochrona obwodów i urządzeń na dachu. Spadku napięcia na przewodach wyrównawczych i uziemiających nie da się uniknąć, ale poprzez odpowiednią konfigurację połączeń ich wpływ można wyeliminować. Ogranicznik przepięć ma za zadanie odprowadzenie energii przepięć i lokalne wyrównanie potencjałów. Jeżeli SPD jest stosowany na poddaszu lub określonym piętrze, to nie należy wymagać, aby w miejscu jego instalacji potencjały były wyrównane względem uziemienia. Wykonanie lokalnych punktów wyrównawczych, do których przyłączane są zarówno ograniczniki przepięć, jak i urządzenia chronione, zapewnia skuteczną ochronę przed przebiciem izolacji bez względu na długość przewodu uziemiającego. Lokalną szynę wyrównawczą może stanowić zarówno płaskownik w rozdzielnicy lokalnej, jak i odpowiednia listwa zaciskowa.

Połączenia wyrównawcze powinny być wykonane z zastosowaniem przewodów o przekrojach odpowiednich do spodziewanych zagrożeń. Przewód powinien wytrzymać możliwe skutki termiczne przepływu prądów zakłóceniowych – zarówno prądów udarowych (indukowanych lub częściowych prądów pioruna), jak i prądów zwarciowych. Należy jednak także uwzględnić odpowiednią wytrzymałość mechaniczną w zależności od lokalizacji – dotyczy to przede wszystkim połączeń zewnętrznych, elementów ruchomych lub połączeń wykonywanych w miejscach o dużym natężeniu ruchu. W **tabeli 3.** przywołano zalecane przekroje przewodów w zależności od ich zastosowania. Ogólnie można przyjąć, że dla połączeń, które mogą przewodzić znaczną część prądu pioruna, zaleca się stosowanie przewodu Cu o przekroju nie mniejszym niż 16 mm².

Połączenia wyrównawcze oraz przeznaczone do przewodzenia prądów indukowanych powinny być wykonane przewodem 6 mm².

## Wnioski

Przeprowadzone badania potwierdziły, że ze względu na możliwe spadki napięć na przewodach przyłączeniowych i urządzeniach ochronnych nadmiarowo-prądowych rzeczywisty poziom ochrony gałęzi z zainstalowanym ogranicznikiem przepięć może być znacznie większy niż napięciowy poziom ochrony deklarowany przez producenta. Dobezpieczanie SPD powinno być stosowane wyłącznie, gdy jest to konieczne według zaleceń producenta. Jeżeli ogranicznik wymaga takiej ochrony, to należy stosować bezpieczniki topikowe o maksymalnym dopuszczalnym prądzie znamionowymi charakterystyce gG.

Spadki napięć na przewodach przyłączeniowych i uziemiających mogą być porównywalne lub nawet większe niż napięciowy poziom ochrony SPD. Nawet zastosowanie przewodów o dużym przekroju nie eliminuje wpływu długości połączeń. Połączenia typu V i lokalne połączenia wyrównawcze powinny być stosowane tam, gdzie to możliwe, do zwiększenia skuteczności ochrony przed przepięciami.

Wpływ dodatkowych spadków napięć w gałęzi ochronnej zależy od rodzaju ogranicznika przepięć i jest bardziej znaczący w przypadku ograniczników warystorowych oraz typu kombinowanego niż w przypadku ograniczników iskiernikowych.

W sytuacjach, w których wyeliminowanie niepożądanych spadków napięć jest niemożliwe, należy stosować dodatkowe SPD dla zapewnienia odpowiednio niskiego napięciowego poziomu ochrony urządzeń.

literatura do artykułu na elektro.info.pl


## ABSTRACT

**The influence of the connections of the surge protecting device on the actual level of protection in low voltage power supply systems**

The article describes the factors that influence the actual level of protection of surge protection devices in electrical installations. The issues of cable length, SPD back-up, double connectors and equipotential bonding are discussed. It has been proven that the actual voltage acting on the protected installation can be several times higher than the voltage protection level of the SPD. Differences resulting from the type of the used arrester: spark-gap and varistor are presented. The conclusions are based on the presented results of laboratory measurements.


**Keywords:** surge protecting device, voltage protection level, back-up fuse, equipotential bonding.

REKLAMA

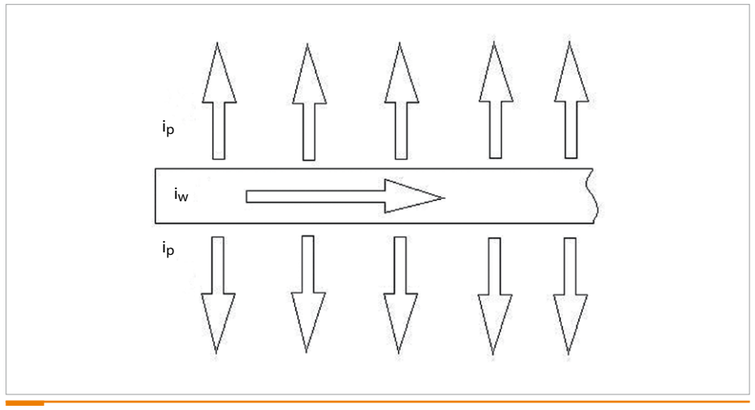


dr hab. inż. Krzysztof Walczak – Politechnika Poznańska, dr inż. Józef Jacek Zawodniak – SEP O/Gorzów Wielkopolski

# Zjawiska fizyczne zachodzące w uziemieniu podczas odprowadzania fali prądowej

**Zjawiska fizyczne przedstawiane w literaturze naukowej w sposób czysto teoretyczny, dla praktyków często bywają niezrozumiałe, a przez to nieanalizowane. Praktycy potrzebują prostych, jasno przekazanych wytycznych, najlepiej przedstawionych w postaci zbioru zaleceń czy przewodnika postępowania. Naukowcy zaś lubują się w analizie złożoności samego zjawiska fizycznego, najlepiej z wykorzystaniem zaawansowanego aparatu teoretyczno-matematycznego, operując przy tym dużym stopniem uogólnienia.**

Treść, przedstawiona w niniejszym artykule, jest próbą wyjaśnienia zjawisk fizycznych zachodzących podczas odprowadzania fali udarowej prądowej do gruntu poprzez uziemienia, w sposób bardziej przystępny dla praktyków.




Rys. 1. Składowe prądu w uziomie [1], gdzie: $i_w$ – składowa wzdłużna prądu, $i_p$ – składowa poprzeczna prądu rys. K. Walczak, J. J. Zawodniak

## Odprowadzenie fali udarowej prądowej do gruntu – analogia do układu hydraulicznego

Zjawiska fizyczne zachodzące w uziomach podczas przepływu prądu udarowego można w prosty sposób wyjaśnić poprzez analogię do układów drenażowych, których zadaniem jest odprowadzanie cieczy do otaczającego gruntu, z uwzględnieniem ciśnienia tej cieczy, jej lepkości oraz warunków geotechnicznych gruntu. Dla lepszego zobrazowania sytuacji załóżmy, że otaczający grunt jest jednorodny, a lepkość cieczy jest duża.

Ponieważ analizowana ciecz charakteryzuje się dużą lepkością, jej przepływ będzie utrudniony, z powodu występującego oporu. W praktyce droga przepływu cieczy o dużej lepkości w danym przedziale czasu zawsze będzie się ograniczać do określonej długości, tak zwanej efektywnej ($l_e$) niezależnie od długości całkowitej systemu ($l_c$). Nasuwa się więc pierwszy wniosek, że budowanie rozbudowanych systemów, przekraczających długość efektywną ($l_e$), nie jest uzasadnione technicznie i ekonomicznie. Dodatkowo, przy niskim ciśnieniu cieczy, będzie ona swobodnie absorbowana przez otaczający grunt, w przeciwieństwie do ciśnienia wysokiego, przy którym będzie wtłaczana w grunt. W drugim przypadku oznacza to, że możliwości odprowadzania cieczy przy większym ciśnieniu, przy tej samej długości efektywnej układu, są większe. Bardzo podobny efekt jak w układzie drenażowym, poprzez analogię, można uzyskać w przypadku analizy pracy uziomu przy odprowadzaniu fali udarowej prądu. Zakładając, że cieczy o określonym ciśnieniu odpowiada prąd udarowy o określonej wartości szczytowej, należy spodziewać się różnej efektywności działania uziomu, co zostanie rozwinięte w dalszej części artykułu.


## STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono zagadnienia teoretyczne związane z przepięciami powstającymi w sieciach elektroenergetycznych. Zaprezentowano w sposób uproszczony zjawiska fizyczne zachodzące w trakcie powstawania przepięć w uziomach, których zadaniem jest odprowadzanie fali prądowej do otaczającego gruntu.


**Słowa kluczowe:** uziom, przepięcia.

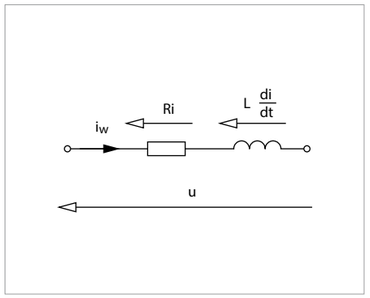
## Parametry elektryczne układu uziom-grunt

Uziom to element metalowy, o określonej długości, umieszczony w gruncie, którego zadaniem jest odprowadzanie prądu elektrycznego. Element metalowy uziomu pełni dwie funkcje: przewodzi wzdłuż siebie prąd elektryczny ($i_w$) oraz odprowadza go do gruntu – składowa poprzeczna ($i_p$), co w sposób uproszczony przedstawiono na **rysunku 1.** [1, 2].

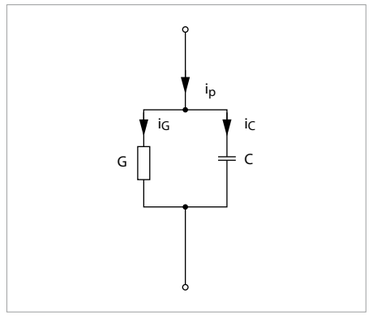
Składowa wzdłużna prądu ($i_w$), przepływająca przez element metalowy uziomu, na swojej drodze napotyka opór o charakterze rezystancyjnym (R) oraz indukcyjnym (L) **(rys. 2.)**. Powoduje to powstawanie strat energii – jej wytracanie na poszczególnych odcinkach uziomu oraz powstawanie spadków napięcia na tych elementach [1, 2]. Wobec powyższego, całkowity spadek napięcia (u) będzie określony zależnością nr 1 [3]:

$$u = Ri + L\frac{di}{dt} \qquad (1)\ [3]$$

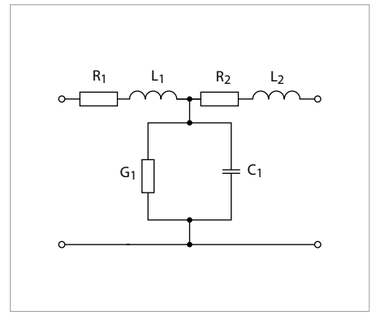
Natomiast składowa poprzeczna prądu ($i_p$), który odpływa z metalowego elementu uziemienia do otaczającego gruntu, ulega podziałowi na dwie składowe prądu o charakterze




Rys. 2. Schemat zastępczy dla materiału, z którego wykonany jest uziom [1] rys. K. Walczak, J. J. Zawodniak




Rys. 3. Schemat zastępczy dla przejścia uziom-grunt [1] rys. K. Walczak, J. J. Zawodniak




Rys. 4. Schemat zastępczy uziomu [1] rys. K. Walczak, J. J. Zawodniak

biernym pojemnościowym ($I_c$) i czynnym konduktancyjnym ($I_G$), co przedstawiono na **rysunku 3.** oraz określono za pomocą zależności 2 [1, 2]:

$$i_p = i_G = i_C \qquad (2)\ [3]$$

Skoro już wiadomo, jakimi elementami skupionymi możemy zobrazować układ uziomowy (materiał, materiał-grunt), to na ich podstawie jesteśmy w stanie zbudować schemat zastępczy **(rys. 4.)** oraz wyznaczyć impedancję falową uziomu (wzór 3) [1, 2]:

$$Z_u = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \qquad (3)\ [1]$$

## Zjawiska fizyczne w uziemieniu przy przebiegach szybkozmiennych

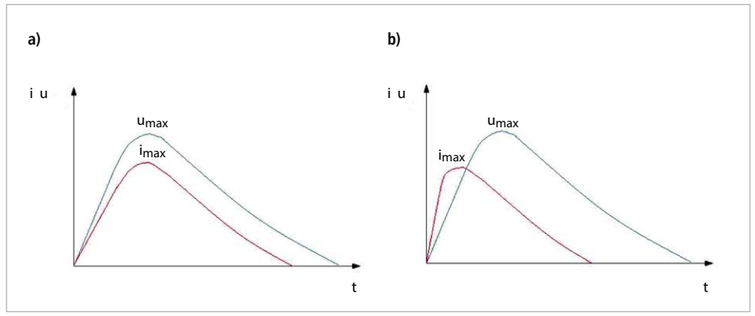
W poprzednio omawianym punkcie przedstawiono schemat zastępczy uziomu dla prądu zmiennego o bliżej nieokreślonej częstotliwości lub zmianach przebiegu. Fale prądowe przepływające oraz odprowadzane przez uziom, to fale o:

- charakterze szybkozmiennym, których czas czoła ($T_c$) najczęściej zawiera się w przedziale od 0,2 do 10 µs, przemienny, czyli można w pewnym przybliżeniu powiedzieć, że mają częstotliwość rzędu $10^6$ Hz,
- dużej wartości szczytowej,
- krótkich czasach trwania [1].

Charakter prądu przepływającego i odprowadzanego przez uziom decyduje o tym, które parametry elektryczne uziomu, z praktycznego punku widzenia, są istotne, a które bez większych obaw, przy tego typu rozważaniach, można pominąć.

Z pewnością, przy przebiegach szybkozmiennych istotną rolę będzie odgrywać indukcyjny spadek napięcia w materiale. Z kolei rezystancyjny spadek napięcia w rozważaniach inżynierskich można pominąć, ponieważ nie przekracza on z reguły 1% indukcyjnego spadku napięcia w uziomie. Jeżeli założymy, że indukcyjność odgrywa w tym przypadku pierwszoplanową rolę, to należy się również liczyć z powstawaniem przesunięcia fazowego (czasowego) pomiędzy wektorem prądu ($i_w$) a powstającym spadkiem napięcia na uziemieniu, który ulega przyrostowi wraz ze wzrostem drogi przepływu fali prądowej w materiale. Przedstawiono to na **rysunku 5.** [1].

Z kolei składowa poprzeczna prądu ($i_p$), będzie w głównej mierze o charakterze czynnym, w związku z konduktywnością gruntu, a więc ($i_G$). Jej udział w składowej poprzecznej prądu przyjmuje się na poziomie 70÷90% [1]. W rozważaniach inżynierskich składową o charakterze pojemnościowym ($i_c$) prądu odpływowego można pominąć.




Rys. 5. Przebieg fali prądowej oraz spadku napięcia w uziemieniu: **a)** w chwili początkowej (maksima w fazie), **b)** po pewnym przedziale czasowym (maksima przesunięte) rys. K. Walczak, J. J. Zawodniak

Przepływająca w metalowych elementach uziomu fala prądowa wytwarza w otaczającym gruncie pole elektryczne o określonym natężeniu. Wartość natężenia pola elektrycznego będzie ulegać zmianie w danym przedziale czasowym, zgodnie ze zmianami zachodzącymi w przebiegu fali prądowej, a więc w pierwszej fazie będzie narastać, następnie osiągnie maksimum, po czym zacznie maleć [1, 2].

Przy małych wartościach fali prądowej (poniżej natężenia pola krytycznego) przewodzenie prądu elektrycznego do gruntu ma charakter elektrolityczny. W gruntach bogatych w związki chemiczne, takie jak: chlorki, siarczany, kwaśny węglan potasu, magnez, soda, wapno, pod wpływem przepływu prądu elektrycznego zachodzi reakcja chemiczna, polegająca na przepływie ładunków elektrycznych w postaci jonów dodatnich oraz ujemnych [3]. Ponieważ elektrolity, jako związki chemiczne, ulegają rozpuszczeniu w wodzie, zatem na przewodnictwo elektrolityczne gruntu istotnie będzie wpływać zawartość wody w gruncie [2].

Podsumowując, aby przewodnictwo elektrolityczne w gruncie zaistniało, musi istnieć jednocześnie „przewodnik", czyli elektrolit, oraz „rozpuszczalnik", czyli woda. Brak jednego czynnika powoduje, że przewodnictwo elektrolityczne w gruncie jest niemożliwe.

Po przekroczeniu określonej wartości prądu przepływowego w uziomie, natężenie pola elektrycznego osiąga tak zwaną wartość krytyczną ($E_k$), która inicjuje powstawanie wyładowań łukowych w gruncie **(tab. 1.)** [1]. Wartość krytycznego natężenia pola elektrycznego, przy którym powstają wyładowania łukowe,

| Rodzaj gruntu | Rezystywność ρ, w [Ω•m] | Krytyczne natężenie pola elektrycznego $E_k$, w [kV/cm] |
|---|---|---|
| | | Zakres |
| Żwir | 130 ÷ 686 | 0,3 ÷ 1,0 |
| Glina | 93 ÷ 100 | 1,6 ÷ 5,2 |
| Piasek, żwir | 77 ÷ 99 | 0,5 ÷ 3,5 |

Tab. 1. Przykładowe wartości krytycznego natężenia pola elektrycznego w gruncie [1]

| Napięcie, w [kV] | 200 | | |
|---|---|---|---|
| Prąd, w [kA] | **10** | 7,5 | 5 |
| Impedancja w Ω | **20** | 26 | 40 |

Tab. 2. Zmiana impedancji falowej w zależności od przesunięcia czasowego pomiędzy napięciem a prądem

w głównej mierze zależy od właściwości geotechnicznych gruntu, czyli ogólnie rzecz ujmując, od wielkości i nieregularności szczelin powietrznych w gruncie [1, 2]. Efektem pozytywnym powstawania wyładowań łukowych w gruncie jest zmniejszenie się impedancji falowej uziomu, co jest następstwem pozornego zwiększenia wymiarów uziomu. Wtedy obszar gruntu objęty strefą wyładowań łukowych traktuje się wówczas jako metalowe elementy uziomu [1, 2, 3].

## Najmniejsza wartość impedancji falowej

Analizując zagadnienie, należy sobie zadać jeszcze pytanie, w jakiej sytuacji będzie występować najmniejsza wartość impedancji falowej uziemienia ($Z_{ue}$), a w konsekwencji tym samym kiedy występują najlepsze warunki do odprowadzania fali prądowej przez uziom. Taka sytuacja występuje, gdy największa wartość spadku napięcia na uziomie ($U_m$) będzie w fazie z maksymalną wartością prądu piorunowego ($I_m$), zgodnie z zależnością (4):

$$Z_{ue} = \sqrt{\frac{U_m}{I_m}} \qquad (4)\ [1]$$

co przedstawiono na **rysunku 5a** [1, 2]. Wraz ze wzrostem przesunięcia czasowego pomiędzy tymi dwiema wartościami szczytowymi ($U_m$ i $I_m$) efektywność uziemienia maleje **(rys. 5b)**.

W celu lepszego zobrazowania zjawiska fizycznego w **tabeli 2.** przedstawiono, jak się zmienia wartość hipotetycznej impedancji uziemienia, kiedy występuje przesunięcie czasowe pomiędzy maksymalną wartością napięcia na uziomie a prądem, przy czym wartość napięcia przyjęto jako stałą, natomiast dla wartości prądu przyjęto, że się zmienia wraz z upływającym czasem rejestracji.

Z powyższych rozważań można zatem wyciągnąć bardzo praktyczny wniosek. Rozbudowany system uziomowy jest nieefektywny, podobnie jak to miało miejsce w układzie drenażowym. Ciecz w systemie drenażowym, podobnie jak fala prądowa w uziomie, będzie odprowadzana do gruntu tylko przez określoną długość uziemienia – tak zwaną długość efektywną. Mechanizm odprowadzania prądu do gruntu można przyrównać do odprowadzania cieczy w drenażu o niskim ciśnieniu (przewodzenie elektronowe) lub wysokim ciśnieniu cieczy (wyładowania łukowe).

## Wnioski

W artykule przedstawiono bardzo ogólnie opis zjawiska fizycznego zachodzącego podczas przepływu fali prądowej przez uziom i konsekwencje z tym związane. Celem niniejszego artykułu było przede wszystkim omówienie w sposób jak najbardziej przystępny czynników odpowiedzialnych za wzrost i zmniejszenie się impedancji falowej uziemienia w stosunku do rezystancji statycznej.

Analiza wykazała, że impedancja falowa uziemienia będzie wzrastać, jeżeli całkowita długość uziemienia będzie przekraczać długość efektywną ($l_c > l_e$), a wartość natężenia pola elektrycznego w gruncie będzie na tyle mała, że efekty wyładowań łukowych nie zrekompensują utraconej długości uziomu – długości ponadefektywnej. Z kolei impedancja falowa uziemienia będzie maleć, jeżeli całkowita długość uziomu będzie równa lub mniejsza od długości efektywnej ($l_c \leq l_e$), a wartość natężenia pola elektrycznego w gruncie będzie na tyle duża, że efekty wyładowań łukowych przyczynią się do zwiększania pozornych wymiarów uziomu.

Kwestią, której nie rozstrzygnięto w artykule, jest to, czy za wszelką cenę należy dążyć do osiągnięcia wymaganej rezystancji statycznej uziemienia, ze względu na ochronę przed przepięciami. Czy może bardziej zasadne byłoby wprowadzenie dodatkowego kryterium związanego z długością efektywną uziomu dla poszczególnych rezystywności gruntu i czasie trwania czoła udaru np. $T_c = 10\,\mu s$, co byłoby bliższe rzeczywistości? Z pewnością jest to kwestia, którą należy wziąć pod rozwagę, chcąc projektować efektywne układy uziemień.

## Literatura


1. M. Łoboda, Udarowe właściwości uziemień ochrony odgromowej obiektów budowlanych i elektroenergetycznych, WPW, Warszawa 2000.
2. S. Szpor, H. Dzierżek, W. Winiarski, Technika wysokich napięć, WNT, Warszawa 1969.
3. S. Bolkowski, Teoria obwodów elektrycznych, WNT, Warszawa 1998.
4. K. Wołkowiński, Uziemienia urządzeń elektroenergetycznych, WNT, Warszawa 1967.



## ABSTRACT

**Physical phenomena in earthing during surge current flow**

The article presents theoretical issues related to over voltages arising in power networks. There are presented in a simplified way, the physical phenomena occurring during the generation of over voltages in earth electrodes, whose task is to dissipate the current wave to the surrounding ground.


**Keywords:** earthing, overvoltage.






dr inż. Tomasz Kożbiał

# Ochrona odgromowa dachów z materiałów łatwo zapalnych

**Ochrona odgromowa obiektów budowlanych w Polsce powinna być projektowana i wykonywana zgodnie z wytycznymi norm przedmiotowych z zakresu ochrony odgromowej. Należy mieć świadomość, że wymagania nowo powstałych norm nie dotyczą budynków wykonanych wg norm skierowanych do archiwum. Na przestrzeni minionych lat normy te ulegały modyfikacji, a zamieszczane w nich wymagania były coraz bardziej precyzyjne.**

Wiedza na temat zachodzących zjawisk fizycznych stale się poszerza, w związku z tym powstające normy, jako wyznaczniki będą ewoluować i tym samym założenia w zastosowaniu pewnych rozwiązań technicznych, także będą się zmieniać. Artykuł ma za zadanie pokazać problematykę w podejściu projektowym do zastosowania ochrony odgromowej dachów łatwo zapalnych. Autor będzie zamierzał wskazać, że pewne rozwiązania projektowe będą indywidualnym podejściem projektanta do danego zagadnienia, co będzie wynikać z jego interpretacji zapisów w normach i przepisach techniczno-prawnych. To z kolei może rzutować na kształt i rezultat zastosowanych rozwiązań, które mogą być inne lub zbliżone, zależnie od interpretacji prawa przez poszczególnych projektantów.

## Ochrona odgromowa dachów łatwo zapalnych

W procesie projektowania ochrony odgromowej dachów z materiałów łatwo zapalnych, należy przejść następującą ścieżkę:

a) wybór rozporządzenia, względnie ustawy opisującej ogólne zasady rozwiązań technicznych;

b) wybór normy do zastosowania w projektowaniu jako materiał z wytycznymi;

c) ujęcie w projekcie wiedzy technicznej i doświadczenia projektowego projektanta;

d) sporządzenie projektu.

Poniżej zostanie omówiona ścieżka postępowania w procesie projektowania.

Załącznik do Rozporządzenia Ministra Inwestycji o Rozwoju z dnia 8 kwietnia 2019 w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, zostały wyszczególnione normy, które należy brać pod uwagę w przypadku projektowania ochrony odgromowej obiektów budowlanych:

- PN-EN 62305-1:2011 *Ochrona odgromowa. Część 1: Zasady ogólne*,
- PN-EN 62305-2:2008 *Ochrona odgromowa. Część 2: Zarządzanie ryzykiem*,
- PN-EN 62305-3:2011 *Ochrona odgromowa. Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia*,
- PN-EN 62305-4:2011 *Ochrona odgromowa. Część 4: Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiektach*,
- PN-IEC 60364-4-443:1999 *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed przepięciami. Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi lub łączeniowymi.*

Pojawiają się w tym miejscu od razu dwa dylematy: czy normy te są obligatoryjne oraz czy norma podana wraz z rokiem jest możliwa do zastosowania, podczas gdy w między czasie mogła być zastąpiona innym dokumentem.

Na pierwsze pytanie możemy znaleźć odpowiedź w dokumencie zatytułowanym *Stanowisko Polskiego Komitetu Ochrony Odgromowej SEP z dnia 13 września 2017 r. w sprawie braku zwiększonej skuteczności ochrony odgromowej tzw. „zwodów aktywnych" w stosunku do określanej w serii norm PN-EN 62305*. Znajdziemy tutaj następujący zapis: *Polskie Normy serii PN-EN 62305 stały się obowiązkowe, gdyż zostały enumeratywnie powołane w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [4]. Potwierdza to również odpowiedź podsekretarza stanu w Ministerstwie Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej, działającego z upoważnienia ministra, na interpelację nr 19 761 w sprawie wyrażenia stanowiska na temat charakteru prawnego Polskich Norm (data ogłoszenia 29.08.2013 – posiedzenie nr 47). W odpowiedzi między innymi znajduje się stwierdzenie: „W konsekwencji przywołane w załączniku do rozporządzenia ministra infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU nr 75, poz. 690, z późn. zm.), normy są obowiązujące, a inwestorzy oraz pozostali uczestnicy procesu budowlanego powinni je stosować".* W związku z tym, powołane normy powinny być stosowane podczas np. projektowania instalacji w obiektach budowlanych.



Rys. 1. Ocieplenie dachu od wewnątrz pianką PUR [3]

Gorzej jest z datą dokumentu, gdyż dla przykładu norma PN-EN 62305-2 z 2008 roku jest już wycofana i zastąpiona normą z 2012 roku, a norma PN-IEC 60364-4-443 z 1999 r. zastąpiona normą z 2016 r. i to normą zharmonizowaną (PN-HD 60364-4-443). Tutaj powstaje dylemat natury prawnej, a w konsekwencji technicznej. Należy przecież zwrócić uwagę, że jeszcze kilkanaście lat temu w powołanym powyżej rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, były powołane inne normy z serii PN-E-05003 oraz normy PN-IEC 61024 (miało to miejsce w 2002 r.). Dla powstałego problemu w stosowalności odpowiedniego dokumentu, wypowiedział się Polski Komitet Ochrony Odgromowej SEP w Komunikacie z 29.11.2003 r. gdzie napisano: W wyniku opublikowania w Polsce norm serii PN-IEC 61024 i PN-IEC 61312 i wycofania spośród 4 arkuszy normy PN-86-92/E-05003 tylko arkusza drugiego, tj. arkusza PN-86/E-05003/02, powstała możliwość równoczesnego korzystania zarówno z norm PN-IEC, jak i z normy PN. Ze względu na występowanie drobnych różnic w postanowieniach tych norm (np. różnicy dotyczącej minimalnej średnicy drutu, czy też różnicy odnoszącej się do wskaźnika zagrożenia W i ryzyka zagrożenia R) należy kierować się formalną zasadą korzystania w pierwszej kolejności z norm wydanych z późniejszą datą, tj. z norm PN-IEC, ale nie wykluczać możliwości korzystania w dalszym ciągu z pozostawionych arkuszy normy PN, której słuszność merytoryczna została potwierdzona w praktyce. Decyzja dotycząca wyboru określonej normy lub jej postanowień, czy też w ogóle stosowania normy, należy do projektanta.

Na tym przykładzie widać, że projektant ma podjąć decyzję o stosowalności właściwego dokumentu, przy czym wskazuje się, że powinno się brać pod uwagę najnowszy dokument (normę), jako drogowskaz w podejmowaniu rozwiązań projektowych w zagadnieniu technicznym.

Niewątpliwie istotne znaczenie w projektowania ma wiedza techniczna i jego doświadczenie, które projektant powinien wykorzystywać w celu dobrania rozwiązań do postawionego przed nim problemu budowalnego. Dokument w postaci normy wieloarkuszowej PN-86-92/E-05003 Ochrona odgromowa obiektów budowlanych, będzie mógł być traktowany, jako wiedza techniczna i w pewnym sensie potraktowana jako konfrontacja z wymogami normy PN-EN 62305.

W przypadku ochrony odgromowej budynków z dachami łatwo zapalnymi, w normie PN-EN 62305-2 znajdujemy zapis mówiący o możliwości stosowania zwodów nieodseparowanych od chronionego obiektu, jeżeli dach jest wykonany z materiału łatwopalnego, to należytą uwagę należy poświęcić odległości pomiędzy przewodami zwodów a materiałem. Dla dachów krytych strzechą, gdzie nie stosuje się stalowych prętów do montażu trzciny, odpowiednia jest odległość 0,15 m. Dla innych materiałów palnych za odpowiednią uznawana jest odległość nie mniejsza niż 0,10 m. W przypadku dawnej normy PN-86/E-05003-1, wskazano tam, że dla dachów łatwopalnych zwody powinny być odsunięte od powierzchni takiego dachu o 0,4 m – czyli zapis ten jest bardziej wymagający niż zapis z obecnej normy. Dalej w normie PN-EN 62305-2 czytamy, że łatwopalne części obiektu poddawanego ochronie nie powinny bezpośrednio stykać się z elementami LPS (urządzeniem piorunochronnym) i nie powinny być umieszczone bezpośrednio pod jakąkolwiek metalową powłoką dachu, która może zostać przebita przez wyładowanie piorunowe. Czytając te zapisy w pierwszej kolejności można mieć na myśli dach łatwopalny pokryty np. strzechą – o ile takich dachów już prawie nie ma, to mogą wystąpić np. w skansenach, czy domach prywatnych jednorodzinnych, zajazdach (restauracje) itp.. Jednak drugi cytowany fragment normy wskazuje na aspekt materiałów, które mogą być montowane bezpośrednio pod metalową powłoką dachu.

W pożarnictwie wyróżnia się następujące rodzaje materiałów pod względem palności:

- łatwo zapalny: znormalizowana próbka materiału w określonych warunkach poddana działaniu płomienia lub promieniowania cieplnego, zapala się płomieniem i odjęciu źródła ciepła pali się dalej,
- trudno zapalny: znormalizowana próbka poddana działaniu płomienia lub promieniowania cieplnego pali sie w obszarze działania źródła ciepła, a po jego usunięciu gaśnie,
- niezapalny: znormalizowana próbka poddana badaniu w określonych warunkach w ciągu ustalonego czasu nie zapala się za pomocą płomienia umieszczonego nad powierzchnią próbki oraz nie powoduje wydzielania się gazów mogących za palić się za pomocą płomienia umieszczonego naf powierzchnią próbki oraz nie spowoduje wydzielenia ciepła umożliwiającego podniesienie temperatury do określonych wartości,

Bardzo często materiały budowlane kwalifikuje się przez podanie klasy reakcji na ogień, zdefiniowanej w normie PN-EN 13501-1-A1:2010, na podstawie której wymagań w Rozporządzeniu [4] przyjęto podział materiałów pod względem palności. W normie PN-EN 62305-2 mamy informację, że można rozważyć wykorzystanie metalowych pokryć dachu budynku i wykorzystanie jako naturalny element zwodów urządzeń piorunochronnych pod warunkiem rozpatrzenia: klasy LPS (urządzenia piorunochronnego) oraz materiału pokrycia, grubości pokrycia oraz grubości powłok metalowych pokryć. W normie wymienia się kilka materiałów, ale materiałem, który z pewnością będzie najpopularniejszy ze względu na swoją cenę, będzie stal (nierdzewna, ocynkowana). Dla takiego rodzaju materiału przyjęto grubość 4 mm, a powłoki 0,5 mm, jako wartości minimalnych do tego, aby pokrycie metalowe ze stali mogło być wykorzystane, jako naturalny element urządzenia piorunochronnego – w tym przypadku, jako naturalny zwód. Jednocześnie zaznacza się, że dopuszcza się przebicie tej warstwy lub przedziurawienie (w przypadku powłok) w konsekwencji zapalenia się materiałów łatwopalnych pod takim przykryciem lub punktowego przegrzania. Wymagania te stawiają potrzebę rozpatrzenia zagrożenia pożarowego, jakie może wystąpić wskutek przetopienia blachy układanej na podłożu palnym. Obecnie coraz częściej stosuje się, szczególnie w budownictwie domów jednorodzinnych, ocieplenia z pianki poliuretanowej PUR aplikowanej bezpośrednio na konstrukcję dachu wykonanego z materiałów palnych (**rys. 1.**).

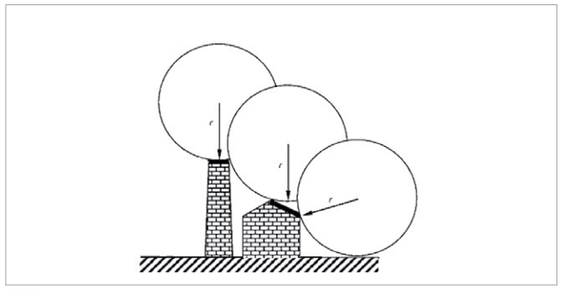
Sama pianka PUR ma deklarowaną reakcję na ogień E i nakładana jest na materiały o takiej samej lub gorszej klasie reakcji na ogień (membrana dachowa – klasa reakcji E lub F) lub zbliżone (drewno – klasa reakcji D). W związku z tym stosowanie dachów stalowych, jako naturalnego zwodu może być złym podejściem. Poza tym, ochrona odgromowa dachu w budownictwie domów jednorodzinnych i podobnej wielkości (niska zabudowa) jest traktowana lekceważąco i nie tylko przez wykonawców, lecz także projektantów, z racji wielkości budynków i spodziewanego małego niebezpieczeństwa wyładowań atmosferycznych w takie obiekty. Jednak taki kierunek myślenia, prowadzi do tego, że nieświadomi inwestorzy, głównie osoby prywatne kierując się pochopnymi poradami, mogą w niespodziewany sposób stracić dorobek całego życia.

Powyższy wywód odnoszący się do ochrony odgromowej budynków jednorodzinnych może być kwestionowany, jeżeli uzna się, że budynki takie nie powinny być objęte ochroną odgromową. Jeżeli w ramach wiedzy technicznej przyjąć zapisy z archiwalnej normy PN-86/E-05003-1,

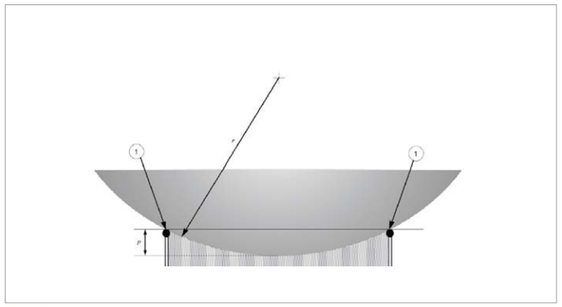

## STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z ochroną odgromową dachów łatwo zapalnych. Zwrócono uwagę na kilka aspektów natury prawnej jak i technicznej, które będą podstawą do zastosowania przez projektanta rozwiązań mających na celu skuteczne zabezpieczenie dachu i budynku przed wyładowaniami atmosferycznymi. Autor starał się przedstawić problematykę poruszanego zadania w możliwie szeroki sposób, koncentrując się na istocie sprawy. Ze względu nas zakres poruszanej problematyki, zagadnienie zapewne nie jest wyczerpane, ale główne jej wątki zostały poruszone, co niewątpliwie pozwoli czytelnikowi na znalezienie drogi w poszukiwaniu rozwiązań w zakresie rozważanego tematu.


**Słowa kluczowe:** ochrona odgromowa, udar piorunowy, materiał ławo zapalny, dach.

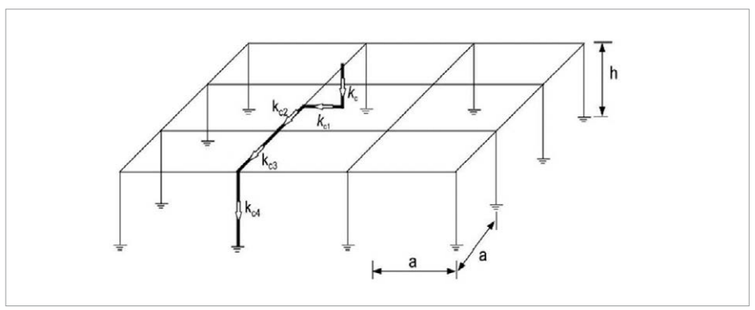


Rys. 2. Tocząca się kula i obszary oznaczone grubą linią, jako strefy zagrożone oddziaływaniem bezpośrednim wyładowań atmosferycznych [1]



Rys. 3. Głębokość p wnikania kuli (1 – zwody poziome) [1]

to, jeśli tego typu budynki znajdują się w zwartej zabudowie i mają mniejszą wysokość niż 25 m, lub są usytuowane w strefie ochronnej innych budynków lub dla których wskaźnik zagrożenia piorunowego W jest nie mniejszy niż $10^{-5}$, to nie muszą być poddane ochronie odgromowej. Zatem można rzec, że budynki jednorodzinne w większości przypadków nie wymagają ochrony odgromowej, tym samym niezależnie, jakie będzie pokrycie dachowe, nie będzie ono wymagało ochrony. Tak jednak do końca nie jest, bowiem i ta norma pokazuje, że warto zwrócić uwagę na wskaźnik zagrożenia piorunowego i na jego podstawie określić stopień zagrożenia piorunowego, gdzie określało się czy ochrona jest zbędna, zalecana czy wymagana. Z kolei norma PN-EN 62305-1 podaje bardziej skomplikowany sposób podejścia do rozwiązania tego zagadnienia. Norma ta odnosi się do obliczenia wszystkich lub wybranych rodzajów ryzyka, jak ryzyko utraty życia $R_1$ liczone prawie każdorazowo, ryzyko utraty usług publicznych $R_2$ (czyli określenie ryzyka utraty świadczenia usług zasilania energią elektryczną czy utraty usługi telekomunikacyjnej dla budynku), ryzyko utraty dziedzictwa kulturowego $R_3$ i ostatecznie ryzyko utraty dóbr materialnych $R_4$ (porażenie istot żywych, szkody fizyczne oraz awarie urządzeń elektrycznych i elektronicznych). W ocenie ochrony odgromowej określa się czy obliczone dane ryzyko R dla wyżej wymienionych grup jest większe od tolerowanego poziomu wartości ryzyka. Jeżeli jest spełniony taki warunek, należy budynek objąć ochroną odgromową zależnie od spodziewanego poziomu ochrony odgromowej, w przeciwnym razie ochrona może być zbędna. Wartości tolerowane (maksymalne) to dla: $R_1 = 10^{-5}$ (tak samo jak w normie PN-86/E-05003-1), $R_2 = 10^{-3}$, $R_3 = 10^{-3}$. Procedury doboru środków ochrony zależne będą od wybranego w trakcie obliczeń poziomu ochrony odgromowej (mamy cztery poziomy: I, II, III, IV). Na rodzaj środków będą mieć wpływ poszczególne komponenty wchodzące w skład wyznaczenia wartości ryzyka R. Może się zatem okazać, że należy zwrócić uwagę na jakiś szczególny komponent, który wpływa na wartość R i w ramach obliczeń starać się go niwelować, np. układać w budynku kable w celu uniknięcia pętli, lub zastosować napisy ostrzegawcze od zagrożeniu porażenia piorunem lub systemy ostrzegania przez burzą, czy też zastosować środki gaszące wbudowane na stałe itp., co będzie wpływać na bezpieczeństwo użytkowania budynku, a w konsekwencji na obniżenie wyliczanej wartości R. Trzeba tutaj zaznaczyć, że rolą projektanta będzie dobra znajomość całego budynku, zastosowanych systemów, materiałów, co pozwoli mu na określenie właściwej wartości ryzyka i tym samym poziomu ochrony odgromowej. Ilość tych komponentów jest niestety tak duża, że cały proces obliczeniowy jest żmudny i wymaga automatyzacji obliczeń, zaś ilość decyzji do podjęcia może wpływać na podjęcie niewłaściwego rozwiązania. Dlatego wysiłek obliczeniowy w ramach dawnej normy PN-86-92/E-05003 w stosunku do wysiłku obliczeniowego z normy PN-EN 62305 jest nieporównywalnie mniejszy i obarczony mniejszym błędem.




Rys. 4. Zobrazowanie metodyki wyznaczania wartości współczynnika $k_c$ [2]

We wcześniejszej części artykułu wskazano zalecane odległości zwodów od powierzchni łatwo zapalnej. Jak wskazano w tekście możliwe jest użycie metalowego pokrycia dachowego, które często (głównie z racji cięcia kosztów inwestycyjnych) może być użyte, jako naturalny zwód. Z kolei umieszczane pod takim pokryciem materiały izolacyjne mogą być materiałami łatwo zapalnymi. Dlatego powinno się w takich przypadkach pokusić się o wyznaczenie głębokości wnikania toczącej się kuli p oraz wyznaczenie odstępów izolacyjnych s **(rys. 2.** i **3.)**.

Gdy zostanie określony poziom ochrony odgromowej LPL (ang. lightning protection level) lub tzw. klasa ochrony odgromowej LPS (ang. lightning protection system) dla budynku, przyjmuje się, dla danego poziomu wielkość toczącej się kuli, której promień r będzie wynosić: dla I poziomu (LPS) r = 20 m; dla II poziomu (LPS) r = 30 m; dla III poziomu (LPS) r = 45 m; dla IV poziomu (LPS) r = 60 m – kulę taką wirtualnie przetacza się po budynku i tam, gdzie budynek jest przez nią dotykany, jest zagrożenie oddziaływania prądu udarowego pochodzącego od pioruna (szczególnie odziaływanie bezpośrednie). Metodykę wyznaczania strefy zagrożenia przedstawia **rysunek 2.**

Głębokość wnikania kuli wyznaczamy z zależności [1]:

$$p = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} \qquad (1)$$

gdzie:
p – głębokość wnikania kuli,
d – odległość miedzy zwodami,
r – promień kuli.





Obszar, w który wniknie kula, jest obszarem zagrożonym przez udar piorunowy. Dlatego też powołane wcześniej normy wskazują na konieczność stosowania zwodów poziomych podwyższonych, tak, aby ograniczyć głębokość wnikania kuli w chronioną strefę. Z kolei im wyższy poziom ochrony odgromowej (LPS), tym promień toczącej się kuli jest mniejszy, a zatem przy tym samym rozstawie zwodów d mamy większe wnikanie kuli w chronioną przestrzeń niż przy niższym poziomie LPS. Jeżeli wyniki obliczeń wskazują na konieczność zastosowania LPS, należy dokładnie przeanalizować wybór poziomu ochrony, który narzuca wymagania w zakresie wymiaró oczka siatki zwodów W instalowanych na dachu. Te wymiary to: dla I poziomu (LPS) W = 5×5 m; dla II poziomu (LPS) W = 10×10 m; dla III poziomu (LPS) W = 15×15 m; dla IV poziomu (LPS) W = 20×20 m.

Na dachu mogą znajdować się urządzenia lub inne obiekty metalowe, na których oddziaływanie pioruna może spowodować przeniesienie niebezpiecznego potencjału do wnętrza budynku, do instalacji jak również wpływać na otoczenie tych obiektów przez materiały łatwo zapalne – np. niebezpieczne iskrzenie może wywołać zapłon materiałów łatwo zapalnych. Jeżeli na dachu nie znajdują się urządzenia z wyposażeniem elektrycznym i elektronicznym, oraz ich wysokość jest mniejsza niż 0,3 m, powierzchnia nie większa niż 1 $m^2$ a długość nie większa niż 2 m to urządzenia te nie muszą być w chronione przez dodatkowe zwody pionowe [2]. W przeciwnym wypadku powinny być zastosowane środki zabezpieczające dany obiekt przed bezpośrednim oddziaływaniem udarów prądowych. W tym celu są stosowane zwody pionowe, pojedyncze lub występujące w grupie. Zwody te powinny być oddalone od chronionego obiektu o taką odległość d, aby zapewnić odstęp izolacyjny s, tym samym eliminując możliwość niekontrolowanego przeskoku iskier. Taki odstęp liczymy z zależności:

$$s \geq \frac{k_i}{k_m} \cdot \left(k_{c1} \cdot l_1 + k_{c2} \cdot l_2 + \ldots + k_{cm} \cdot l_m\right) \qquad (2)$$

gdzie:
$k_i$ – zależy od wybranej klasy LPS (dla I $k_i = 0{,}08$; dla II $k_i = 0{,}06$; dla III i IV $k_i = 0{,}04$),
$k_c$ – zależy od prądu pioruna płynącego w przewodach odprowadzających,
$k_m$ – zależy od materiału izolacji elektrycznej (dla powietrza $k_m$=1; dla betonu, cegły $k_m = 0{,}5$); $l_1$, $l_2$, … $l_m$ – odcinku przewodów LPS.

Największym problem stanowi obliczenie współczynników $k_c$, które w poglądowy sposób można wyznaczyć jak pokazano na **rysunku 4.**, gdzie dla zwodu pionowego połączonego do siatki zwodów poziomych wyznacza się najkrótszą drogę przepływu prądu udarowego do ziemi. Na dachu siatka zwodów będzie wymuszać rozpływ prądów zgodnie z prawem Kirchhoffa, tym samym prąd udarowy będzie dzielił się zależnie od drogi przepływu.

Dla samego zwodu pionowego $k_c = 1$; dla jednego połączenia między zwodem pionowym a poziomym nie ma jeszcze rozpływów prądu stąd $k_{c1} = 1$; w miejscu połączenia zwodu pionowego z poziomym następuje rozpływ prądu maksymalnie w dwóch kierunkach stąd $k_{c2} = 0{,}5$; dalej prąd będzie dzielony w węźle między cztery zwody poziome, stąd $k_{c3} = 0{,}25$; prąd dopływa do przewodu odprowadzającego i znowu jest dzielony w węźle między cztery przewody stąd $k_{c4} = 0{,}063$ – tutaj trzeba sprawdzić w oparciu o liczbę przewodów odprowadzających n zależność czy $k_{c4} \leq 1/n$, w naszym przypadku n = 12 stąd 1/n = 0,083, czyli $k_{c4}$ jest mniejsze niż 1/n, a taka sytuacja nie może nastąpić, stąd ostatecznie $k_{c4}$ = 0,083. Przy tak wyznaczonych współczynnika możemy wyliczyć odstęp izolacyjnych s i zbliżenia instalacji odgromowej do instalacji urządzeń na dachu.

## Podsumowanie

W przypadku opracowywania ochrony odgromowej dachów z materiałów łatwo zapalnych, należy posłużyć się szeregiem wytycznych, które są ujęte w polskich normach, zarówno skierowanych do archiwum, które możemy traktować, jako zbiór wiedzy technicznej jak aktualnych, powołanych w rozporządzeniu [4], które traktujemy, jako konieczne do stosowania. Dylematem staje się jednak, które normy stosować w tym przypadku, gdy daty w rozporządzeniu są inne od dat norm obowiązujących zgodnie z informacją Polskiego Komitetu Normalizacyjnego. Następnie projektant powinien zwrócić uwagę na typ materiałów łatwo zapalnych umieszczonych na dachu. Powinien wyznaczyć ryzyko związane z oddziaływaniem wyładowań atmosferycznych w dany obiekt. Na tej podstawie określi poziom ochrony odgromowej LPL, czyli tzw. klasę ochrony LPS. Zależnie od wybranego poziomu LPL (LPS) na dachu zostaną rozmieszczone zwody poziome, a w przypadku elementów wystających ponad dach, dodanie zwodów pionowych. Powinno się uwzględnić w obliczeniach wysokość zwodów poziomych i pionowych w oparciu o wymogi normy, jak również od wyliczenia głębokości wnikania toczącej się kuli, czyli wnikania „zagrożenia" do chronionej strefy. Należy także zadbać o unikanie iskrzeń, jakie mogą się pojawić między metalowymi elementami a zwodami, jeżeli nie zostaną zachowane bezpieczne odległości, czyli należy zastosować minimalne odstępy izolacyjne. Projektant nie powinien ignorować wielkości budynku i jego przeznaczenia, rezygnując z pokazanych obliczeń, bowiem mogą zachodzić przesłanki, że budynek może być narażony na pożar w wyniku oddziaływania prądów udarowych na konstrukcję budynku i materiały zastosowane w poszyciu dachowym. Tematyka ta jest rozległa i związana z szeregiem decyzji koniecznych do podjęcia przez projektanta w celu właściwego doboru urządzenia ochrony odgromowej – generuje to też szereg dyskusji na forum projektantów instalacji elektrycznych. Wymaga to czasu i skupienia i wiedzy o samym budynku i jego otoczeniu. Dlatego należy mieć na uwadze odpowiedzialność za tego typu rozwiązania projektowe, które w przypadku dachów z potencjalnie niebezpiecznym materiałem łatwo zapalnym potęgują ryzyko błędu projektowego i w rezultacie możliwość zagrożenia dla budynku w przypadku wyładowań atmosferycznych.

## Literatura

1. PN-EN 62305-3 *Ochrona odgromowa. Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenia życia.*
2. A. Sowa, Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Zasady tworzenia zewnętrznej i wewnętrznej instalacji piorunochronnej, www.inzynier.rzeszow.pl.
3. https://www.mgprojekt.com.pl/blog/pianka-poliuretanowa/
4. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU z 2019 r., poz. 1065).

## ABSTRACT

**Lightning protection of roofs made of easily flammable materials**

The article presents the issues related to the lightning protection of inflammable roofs. The attention was paid to several legal and technical aspects that will be the basis for the designer to apply solutions aimed at effective protection of the roof and the building against lightning. The author tried to present the problem of the discussed task as broadly as possible, focusing on the essence of the matter. Due to the scope of the issues discussed, the issue is probably not give out, but its main threads have been raised, which will undoubtedly allow the reader to find a way to find solutions to the topic under consideration.

**Keywords:** lightning protection, lightning stroke, flammable material, roof.

dr inż. Jarosław Wiater – Politechnika Białostocka

# Dlaczego należy chronić instalacje fotowoltaiczne od przepięć – zagrożenie piorunowe

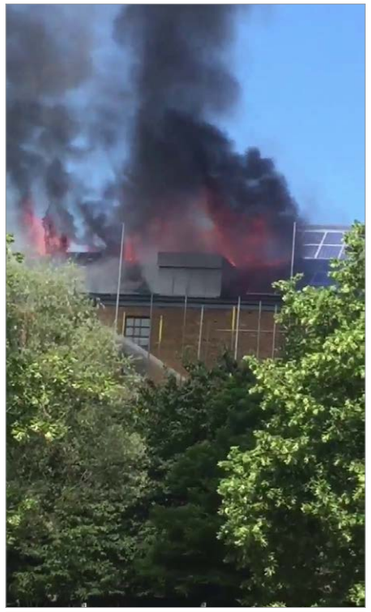
**Systemy fotowoltaiczne projektowane i instalowane zgodnie z zasadami wiedzy technicznej i wymaganiami obowiązujących norm przedmiotowych powinny być chronione przed wyładowaniami atmosferycznymi i przepięciami. Panele, które stanowią część dachu (BIPV, zintegrowane PV z budynkiem) muszą spełniać te same testy odporności ogniowej, co materiał pokrycia dachowego [1, 2].**

W praktyce rzeczywistość wykazuje stan odmienny. Należy zadać pytanie, czy instalacje PV na pewno są bezpieczne i niezawodne? Teoretycznie wszystko jest dobrze, a praktycznie? Problemy mogą się pojawić w momencie, gdy zaistnieje zdarzenie, przed którym się nie zabezpieczyliśmy lub gdy niezawodność użytkowanego systemu zostanie wystawiona na próbę i okaże się niewystarczająca. Należy zauważyć, iż brakuje zaleceń i wytycznych w zakresie badania wytrzymałości paneli PV na napięcia udarowe (1,2/50 µs). Skoro nie są wymagane, to producenci nie sprawdzają zachowania się paneli PV podczas przepięć.


## STRESZCZENIE

Obecnie w Polsce bardzo popularne staje się instalowanie instalacji fotowoltaicznych. Wszyscy inwestorzy są zafascynowani możliwością pozyskania energii elektrycznej „za darmo". Ze względu na miejsce montażu instalacje fotowoltaiczne w znacznym stopniu narażone są na skutki bezpośrednich i pośrednich wyładowań piorunowych oraz przepięć pochodzących z różnych innych źródeł. W artykule zostały zaprezentowane rzeczywiste przypadki zniszczeń spowodowanych przez prądy doziemnych wyładowań piorunowych oraz przepięć. Niektóre zjawiska udało się odtworzyć w laboratorium, dzięki czemu możliwe jest zminimalizowanie w przyszłości ryzyka strat, które w skrajnym przypadku mogą być przyczyną przedłużenia się czasu zwrotu z inwestycji.

**Słowa kluczowe:** instalacja fotowoltaiczna, ochrona odgromowa, ograniczanie przepięć, piorun.



Fot. 1. Pożar instalacji fotowoltaicznej zainstalowanej na dachu kamienicy [3]



Fot. 2. Pożar hali produkcyjnej i akcja straży pożarnej [4]



Fot. 3. Skutki pożaru przyzakładowej instalacji fotowoltaicznej [5]



Fot. 4. Skutki pożaru całego stringu w instalacji fotowoltaicznej [5]



Fot. 5. Skutki pożaru instalacji PV oraz okablowania na dachu dużej hali magazynowo-handlowej [5]





Fot. 6. Skutki pożaru spowodowanego prawdopodobnie przez przepięcie na wyjściu DC instalacji PV [5]



Fot. 7. Skutki pożaru panelu PV – widok z tyłu [5]



Fot. 8. Skutki zwarcia w panelu PV i powstałego w jego wyniku pożaru – widok z tyłu [5]



Fot. 9. Skutki niewłaściwego działania zabezpieczeń instalacji fotowoltaicznej – pożar falownika [5]



Fot. 10. Wewnętrzny pożar falownika instalacji PV (w części DC) [5]

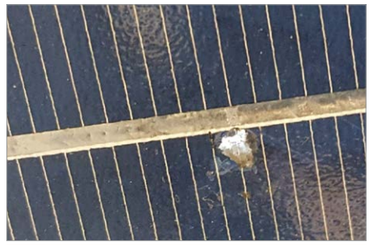



Fot. 11. Skutki przepięcia i następującego po nim zapłonu łuku po stronie DC falownika w instalacji PV – zwęglenie części płytki PCB [5]

Poniżej na zdjęciach znalezionych w Internecie pokazano skutki zdarzeń (scenariuszy), które można uznać za katastrofalne. W sposób naturalny wraz ze wzrostem liczby instalacji fotowoltaicznych rośnie ryzyko ich awarii. W większości przypadków zniszczenia i pożary są końcowym etapem pewnego łańcucha zdarzeń, którego początek niekiedy jest trudny do ustalenia. Na **fotografii 1.** widzimy rozwinięty pożar dachu kamienicy z zainstalowanymi panelami PV. Pożar jest gaszony z ziemi. Znaczniej trudniejszy do opanowania jest pożar przedstawiony na **fotografii 2.** Widzimy na nim pożar hali magazynowej z dużą elektrownią fotowoltaiczną na dachu. Ze względu na wymiary hali utrudnione jest gaszenie pożaru. Na kolejnych **fotografiach 3 – 7** widzimy skutki pożaru instalacji PV w większym i mniejszym rozmiarze. Powyższe zdarzenia nie są odosobnione. Ciekawe są skutki zwarcia w panelu PV i w jego następstwie wypalenie ścieżki na drodze przepływu prądu zwarciowego – **fot. 8**. Równie niebezpieczne są skutki awarii układów falowników i następujących w jej wyniku pożarów **(fot. 9 – 11)**. Ze względu



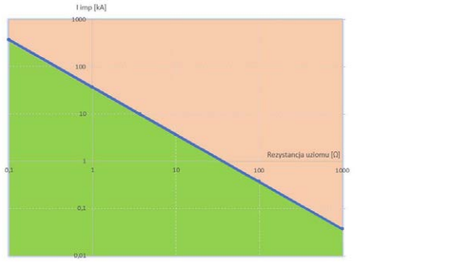
Fot. 12. Stanowisko do badań wytrzymałości udarowej (1,2/50 µs) paneli PV [zdjęcie JW]



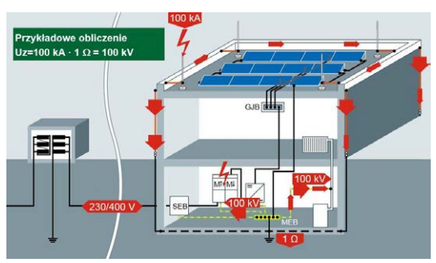
Fot. 13. Mikrouszkodzenie panelu PV w wyniku przebicia izolacji pomiędzy metalową konstrukcją nośną a ogniwem PV [zdjęcie JW]



Fot. 14. Mikrouszkodzenie panelu PV w wyniku przebicia izolacji pomiędzy metalową konstrukcją nośną a ogniwem PV – widok z tyłu [zdjęcie JW]




Rys. 1. Zależność określająca, kiedy należy stosować ograniczniki przepięć – uwzględniająca wytrzymałość udarową panelu PV w odniesieniu do rezystancji uziomu i spodziewanej wartości prądu udarowego płynącego do uziomu

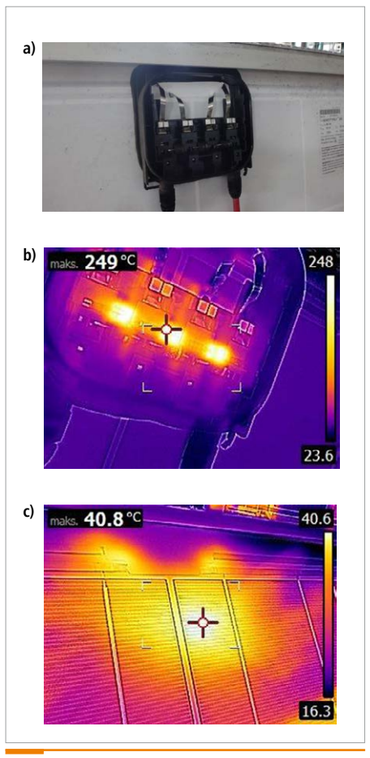



Rys. 2. Przykład opisujący zachowanie się uziomu i napięcie panujące na systemie uziomowym podczas przepływu prądu doziemnego wyładowania piorunowego o wartości 100 kA

na obecność prądu stałego (DC) bardzo utrudnione, a czasami wręcz niemożliwe jest przerwanie się palenia łuku elektrycznego. Raz przebita izolacja podczas pracy ogniw PV nie odzyskuje swoich właściwości, ze względu na brak naturalnego przejścia przez zero, jak ma to miejsce przy prądzie przemiennym **(fot. 11.)**. Przechodzenie prądu przez zero w przypadku przepięć dorywczych w układach AC ułatwia odzyskanie własności izolacyjnych przerwy powietrznej.

Podsumowując. Wbrew deklaracjom producentów panele PV są urządzeniami, które mogą się zapalić. W połączeniu z faktem generowania energii elektrycznej ze słońca i pracy przy prądzie stałym pożar może być poprzez to skutecznie podtrzymywany. Fakt instalacji ogniw na dachu utrudnia ewentualną akcję gaśniczą. Mając to na uwadze należy poważnie podchodzić do kwestii bezpieczeństwa.

Po raz kolejny zwraca się uwagę na konieczność wyposażania obiektu w instalację odgromową i przeciwprzepięciową, pomimo że analiza ryzyka według PN-EN 62305-2 może nie wykazywać takiej potrzeby. Niemniej jednak ubezpieczyciele za pośrednictwem ogólnych warunków ubezpieczenia wymagają wyposażenia instalacji fotowoltaicznej w wyżej wymienione instalacje. Szczegółowo tę kwestię omówiono w wydaniu kwietniowym „elektro.info" (nr 4/2020).




Fot. 15. Niewidoczne gołym okiem uszkodzenie diod bocznikujących ogniwa PV **(a)**. Zdjęcie wykonane kamerą termowizyjną pokazujące skutki przebicia jednego ogniwa **(c)** i następującego po nim grzania się diod bocznikujących **(b)** w panelu PV [zdjęcia JW]



Fot. 16. Uszkodzenie diod bocznikujących ogniwa PV i częściowe ich zwęglenie i nadpalenie kabla w wyniku grzania się wyjść DC panelu PV [5]



Fot. 17. Przetopiona puszka z diodami bocznikującymi – uszkodzenie powstało w wyniku bardzo silnego grzania się diod spowodowanego pracą na zwarcie części paneli PV [5]

## Badania laboratoryjne rzeczywistej wytrzymałości paneli PV na przepięcia

Teoretycznie panele PV są bezpieczne. W praktyce spotykamy się z sytuacjami, które prowadzą do pożarów. Jak jest w rzeczywistości? W tym celu przeprowadzono badania laboratoryjne wytrzymałości udarowej w laboratorium Techniki Wysokich Napięć Politechniki Białostockiej. Badania przeprowadzono celem uzyskania odpowiedzi, jaka jest rzeczywista wytrzymałość izolacji panelu PV na napięcie udarowe 1,2/50 µs. Takiej informacji nie zdobędziemy przeglądając karty katalogowe oferowanych w handlu paneli PV. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem generatora napięć udarowych. Generator podłączono pomiędzy zacisk DC+ i metalową ramę nośną panelu PV. Stanowisko badawcze przedstawiono na **fotografii 12.** Badania przeprowadzono w zakresie od 1 kV do 40 kV z krokiem 1 kV. Wytrzymałość badanego panelu PV wynosiła 37,5 kV. Wartość jest stosunkowo duża, jednak z punktu widzenia rezystancji uziomu obiektu z instalacją PV ma duże znaczenie (szczegółowa analiza w dalszej części artykułu). W wyniku przebicia izolacji zaobserwowano mały odprysk ogniwa PV o szerokości 4 mm uwidoczniony na **fotografii 13.** Z większej odległości ww. odprysk jest zupełnie niewidoczny. Dokładne oględziny wykazały również przebicie foli i elektroizolacji z tyłu panelu PV **(fot. 14.)**. Niemniej jednak z punktu widzenia panelu PV utrata izolacji pomiędzy konstrukcją wsporczą a ogniwami uniemożliwia jego bezpieczną eksploatację. Wytrzymałość samego panelu PV na przepięcia jest równa co najmniej sumie napięć wstecznych diod bocznikujących (np.: SL1515B, $V_{RRM}$ = 40 V) i przykładowo wynosi 120 V (DC+/–) (dla trzech diod). Tej wytrzymałości nie weryfikowano laboratoryjnie.

Należy zauważyć, iż wytrzymałość udarowa panelu PV na poziomie 37,5 kV może się okazać niewystarczająca dla naturalnej jego ochrony (dzięki ww. wytrzymałości), w przypadku kiedy rezystancja uziomu budynku z instalacją fotowoltaiczną będzie odpowiednio większa przy założonej (spodziewanej) wartości prądu udarowego (np. doziemnego wyładowania piorunowego). Charakterystyka zmian rezystancji uziemienia na tle spodziewanego prądu udarowego pozwala określić, kiedy wymagane jest stosowanie ograniczników przepięć (SPD) – mając na uwadze przyjęte kryterium wytrzymałości udarowej panelu PV. Zależność tę szczegółowo pokazuje charakterystyka zamieszczona na **rysunku 1.** Głównym poczynionym założeniem jest zachowanie się systemu uziomowego przy przepływie prądu doziemnego wyładowania piorunowego **(rys. 2.)** – założono, że przy normalnej pracy uziomu o rezystancji 1 Ω prąd piorunowy o wartości 100 kA spowoduje pojawienie się spadku napięcia na uziomie o wartości 100 kV, który pojawi się na wszystkich elementach i urządzeniach do niego podłączonych za pośrednictwem przewodu PE lub PEN. Poniższa charakterystyka jednoznacznie pokazuje, iż bez względu na przyjęty poziom ochrony odgromowej konieczne jest stosowanie układów ograniczających przepięcia w przypadku użytkowania instalacji fotowoltaicznej – przykładowo dla uziomu o rezystancji 37,5 Ω prąd udarowy o wartości 1 kA płynący do uziomu spowoduje przebicie niechronionego panelu PV.

Kontynuując badania laboratoryjne panel PV, który wcześniej uległ przebiciu przy napięciu 37,5 kV, wystawiono na promieniowanie słoneczne. W przeciągu kilkunastu sekund zaobserwowano bardzo znaczące nagrzewanie się diod bocznikujących. Termogram zamieszczono na **fotografii 15.** Nie chcąc doprowadzić do pożaru przerwano dalsze badania. Niemniej jednak efekty dalszego nasłonecznienia i pożaru zamieszczono na **fotografiach 16.** i **17.** pozyskanych z wyszukiwarki Google.



Fot. 18. Stanowisko do badania wytrzymałości na prąd piorunowy panelu PV – w tle generator prądu doziemnego wyładowania piorunowego [zdjęcie JW]

Ostatnim, czysto pokazowym etapem prowadzonych badań laboratoryjnych było zarejestrowanie zachowania się panelu PV przy przepływie pomiędzy zaciskami DC+ i DC– prądu odzwierciedlającego doziemne wyładowanie piorunowe (100 kA, 10/350 µs). Jak można było się spodziewać, doszło do eksplozji i częściowego zwęglenia panelu PV **(fot. 18.** i **19)**. W rzeczywistych warunkach należy się dodatkowo spodziewać przebicia poszycia dachowego –

REKLAMA

JULIAN WIATR

PODSTAWY PROJEKTOWANIA PRZYDOMOWYCH SYSTEMÓW PV

NOWOŚĆ
Seria: NIEZBĘDNIK ELEKTRYKA

WYDANIE PAPIEROWE: 45 zł

WYDANIE ELEKTRONICZNE: 35 zł (EBOOK)

PDF Adobe

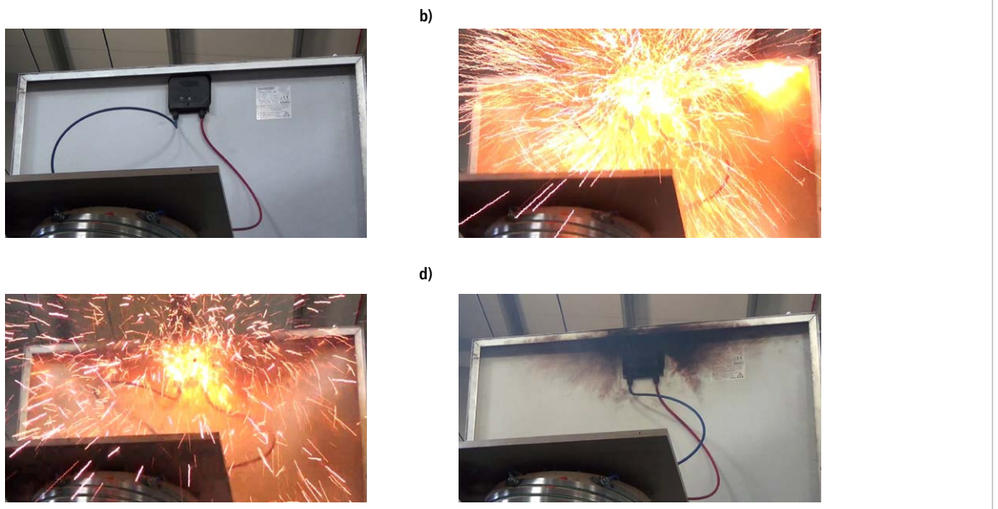
Publikacja prezentuje praktyczne podejście do projektowania systemów fotowoltaicznych w odniesieniu do wymagań wynikających z Ustawy o odnawialnych źródłach energii.

Poruszono w niej między innymi zagadnienia związane z ograniczeniem mocy generatora PV w układach współpracujących z siecią elektroenergetyczną oraz omówiono metodykę neutralizacji tych ograniczeń. Opisane zostały m.in. zasady doboru przewodów i ich zabezpieczeń, metody projektowania ochrony odgromowej oraz ochrony przeciwporażeniowej zarówno po stronie stałoprądowej, jak i przemiennoprądowej.

BONUS!

- Metodyka instalowania systemów PV na stacjach paliw płynnych i gazowych.
- Uproszczony projekt instalacji przydomowego systemu PV.
- Wykorzystanie fotowoltaiki do zasilania znaków drogowych oraz oświetlenia terenu w miejscach, gdzie doprowadzanie energii z sieci elektroenergetycznej jest ekonomicznie nieuzasadnione

ZAMÓW: www.wydawniczy.pl, www.ksiegarniatechniczna.com.pl




Fot. 19. Panel PV przed **(a)**, w trakcie **(b, c)** oraz po **(d)** przepływie prądu piorunowego o wartości szczytowej 100 kA 10/350 µs pomiędzy DC+ i DC – [zdjęcie JW]

rzeczywisty przykład pozyskany z wyszukiwarki Google przedstawiono na **fotografii 20.**

## Podsumowanie

W Polsce tylko w roku 2019 zainstalowano ponad 104 tysiące mikroinstalacji fotowoltaicznych (PV) o łącznej mocy przekraczającej 680 MWp [6]. Chęć pozyskania „darmowej" energii elektrycznej oraz liczne programy wsparcia tego rodzaju inwestycji przekładają się na tzw. boom, który przekracza założone prognozy [6]. Należy przypuszczać, iż w kolejnych latach instalacje PV staną się nieodzownym składnikiem instalacji elektrycznych. Należy jednak pamiętać, iż poza oczywistymi zaletami są również zagrożenia, z którymi trzeba się zmierzyć. Do najważniejszych zalicza się wpływ czynników zewnętrznych, takich jak m.in. wyładowania piorunowe i związane z nimi przepięcia oraz znaczne ryzyko pożaru nie tylko samych paneli PV, ale również całego obiektu budowlanego w miejscu ich instalacji [7]. Czas zwrotu inwestycji szacowany jest na 10–30 lat. Każde dodatkowe koszty ewentualnej naprawy systemu zmniejszają opłacalność, stąd też należy podjąć niezbędne działania na samym początku, aby móc przeciwstawiać się zagrożeniom przez dziesięciolecia.



Fot. 20. Przebite poszycie dachowe i przewód instalacji PV w wyniku doziemnego wyładowania piorunowego [5]

W polskim prawie winien być wprowadzony zapis nakładający na użytkowników instalacji PV konieczność wyposażenia ich w urządzenia piorunochronne i przeciwprzepięciowe. Brak takiej regulacji jest wykorzystywany do zmniejszenia kosztów inwestycji. Ubezpieczenie daje tylko złudną nadzieję na pokrycie ewentualnych strat. Podsumowując: zaleca się instalację potocznie zwanej „odgromówki" i „przepięciówki".

## Literatura

1. M. Piliński, Bezpieczeństwo instalacji fotowoltaicznych. Dodatek do magazynu „Rynek Elektryczny" nr 3/2019.
2. Fraunhofer ISE, 2017, Recent Facts about Photovoltaics in Germany. Fraunhofer ISE, Division Photovoltaic Modules, System and Reliability. Fraunhofer ISE („Najnowsze fakty dotyczące fotowoltaiki w Niemczech. Fraunhofer ISE, Podział modułów fotowoltaicznych, Systemy i niezawodność").
3. https://twitter.com/IbrahimChsTV – stan 2020.10.09.
4. https://www.youtube.com/watch?v=tprN0Ulji9w&t=1479s – stan 2020.10.09.
5. https://www.acsolarwarehouse.com/news/solar-fires-dc-arc-faults-on-solar-systems/ – stan 2020.10.09.
6. https://globenergia.pl/ponad-104-tysiace-mikroinstalacji-pv-w-2019-roku-gigantyczny-wzrost-w-fotowoltaice/ – stan 2020.03.26.
7. Poradnik ochrony odgromowej. Neumarkt DEHN, 2019.

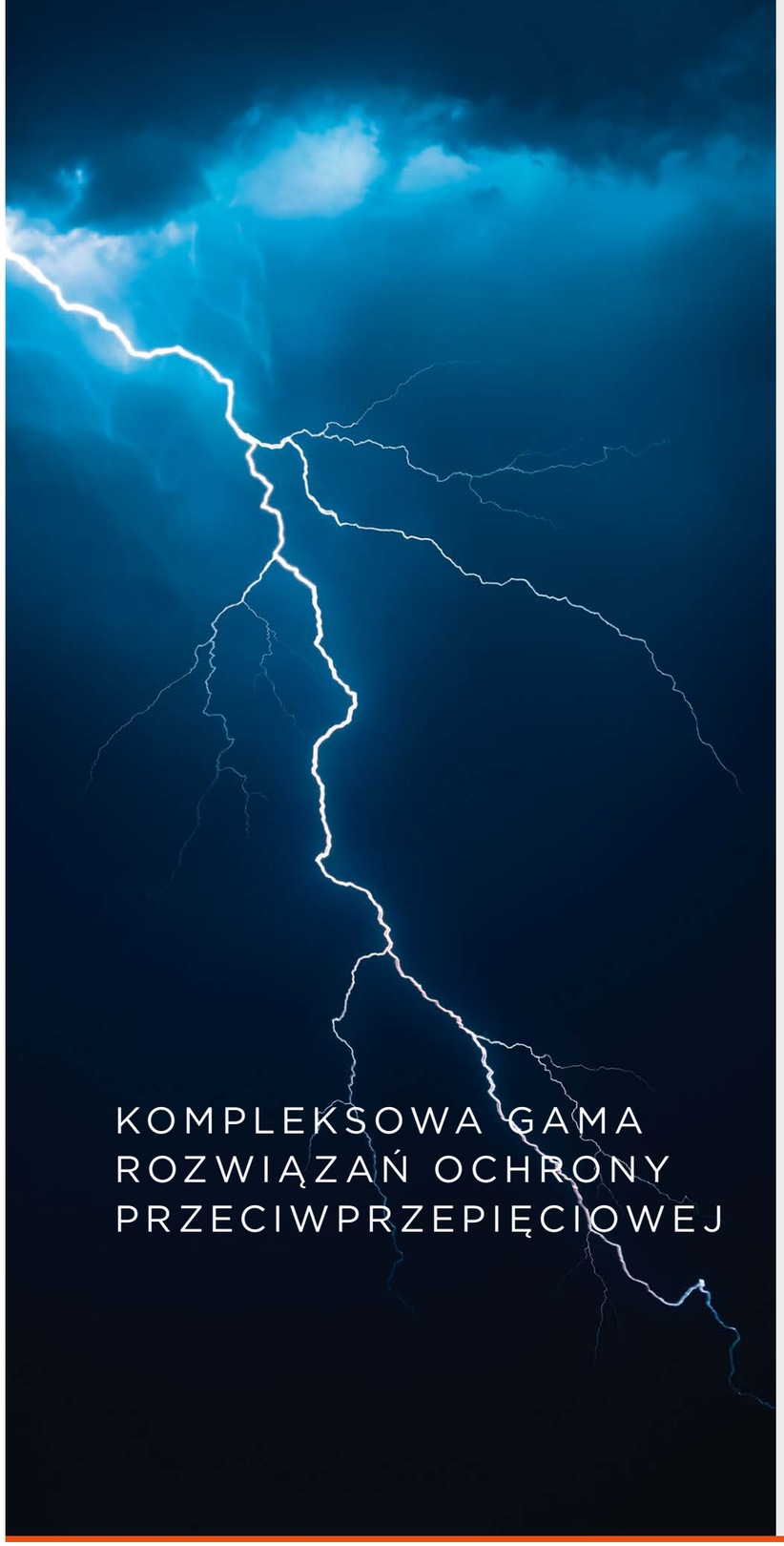
## ABSTRACT

**Why you should protect photovoltaic installations against overvoltages – PV lightning hazard**

urrently in Poland it is becoming very popular to install a photovoltaic installation. All investors are fascinated by the possibility of obtaining electricity „for free". Due to the place of installation, photovoltaic installations are significantly exposed to the effects of direct and indirect lightning discharges and surges from various sources. The article presents actual cases of damage caused by ground faults and surges. Some phenomena have been reproduced in the laboratory, thanks to which it is possible to minimize the risk of losses in the future, which in extreme cases may result in a time extension of the return on investment

**Keywords:** photovoltaic installation, lightning protection, surge protection, lightning strike.















SURGE-TRAP®

Urządzenia ochrony przeciwprzepięciowej
Ograniczniki Typu 1, Typu 1+2, Typu 2
oraz Typu 2+3 wg EN/IEC 61643

EP.MERSEN.COM

MERSEN
Expertise, our source of energy

adncom.fr - 9859 - Mersen property

**ETI Polam**
06-100 Pułtusk, ul. Jana Pawła II 18
tel. 23 691 93 00
faks 23 691 93 60
www.etipolam.com.pl

**JEAN MUELLER POLSKA Sp. z o.o.**
02-293 Warszawa, ul. Krótka 4
tel. 22 751 79 01, faks 22 751 79 03
info@jeanmueller.pl
www.jeanmueller.pl

**Mersen Polska Sp. z o.o.**
30-633 Kraków
ul. Walerego Sławka 3a
tel. 12 646 97 22
www.mersen.com

**Phoenix Contact Sp. z o.o.**
51-317 Wrocław, ul. Bierutowska 57-59
Budynek nr 3/A
tel. 71 398 04 29
www.phoenixcontact.pl

**RST sp. z o.o.**
15-113 Białystok
ul. gen. W. Andersa 40a
tel. 85 307 00 85
rst@rst.pl
www.rst.pl

**Redakcja elektro.info**
04-112 Warszawa, ul. Karczewska 18
tel. 22 810 65 61, faks 22 810 27 42
redakcja@elektro.info.pl
www.elektro.info.pl