

Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Zasady tworzenia zewnętrznej i wewnętrznej instalacji piorunochronnej

Andrzej Sowa
Politechnika Białostocka

Stworzenie warunków zapewniających poprawne i bezawaryjne działanie nowoczesnych i coraz bardziej rozbudowanych systemów elektrycznych i elektronicznych wymaga zastosowania rozwiązań chroniących te systemy przed oddziaływaniem piorunowego impulsu elektromagnetycznego.

Podstawowe informacje o nowych wymaganiach stawianych przed urządzeniem piorunochronnym obiektu budowlanego oraz zmianach w dotychczasowych zaleceniach zawarto w normach serii EN 62305, które wprowadzono w Polsce w latach 2008 – 2009 (całość około 450 stron). Nowe normy

- **PN-EN 62305-1:2008**, *Ochrona odgromowa - Część 1: Zasady ogólne.*
- **PN-EN 62305-2:2008**, *Ochrona odgromowa - Część 2: Zarządzanie ryzykiem.*
- **PN-EN 62305-3:2009**, *Ochrona odgromowa - Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia.*
- **PN-EN 62305-4:2009**, *Ochrona odgromowa - Część 4: Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiektach.*

są wynikiem restrukturyzacji norm serii PN-IEC 61024, PN-IEC 61312 oraz normy IEC 61662+A1.

W otrzymanych w ten sposób normach zawarto wcześniej obowiązujące wymagania dotyczące zewnętrznej i wewnętrznej ochrony odgromowej. Początkowo informacje o zastępowaniu dotychczasowych norm przez normy serii PN-EN 62305 przedstawiał tylko Polski Komitet Normalizacyjny.

Obecnie normy serii PN-EN 62305 zastępują dotychczasowe normy dotyczące ochrony odgromowej obiektów budowlanych, które były w wykazie Polskiej Normy w rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

W nowych normach zwrócono uwagę na konieczność profesjonalnego wykonania projektu oraz samego urządzenia piorunochronnego. W celu zaakcentowania takiego podejścia do zagadnień ochrony odgromowej w normach serii PN-EN 62305 pojawiły się stwierdzenia:

„Urządzenie piorunochronne (LPS) powinno być projektowane i wykonywane przez projektantów i wykonawców urządzeń piorunochronnych”

„Projektant i wykonawca urządzenia piorunochronnego powinien posiadać umiejętność oceny zarówno elektrycznych, jak i mechanicznych skutków wyładowania piorunowego i powinien znać dobrze ogólne zasady kompatybilności elektromagnetycznej (EMC)”

„Projektant ochrony odgromowej powinien umieć ocenić skutki korozji i decydować, kiedy istnieje konieczność zwrócenia się o pomoc do eksperta”

Oczywiście podstawowym źródłem wiedzy dla projektanta i wykonawcy urządzeń piorunochronnych są normy i od ***„wyspecjalizowanego projektanta i wykonawcy wymaga się gruntownej znajomości stosownych norm”*** oraz kilkuletniej praktyki w dziedzinie ochrony odgromowej.

Wymóg posiadania podstawowej wiedzy z dziedziny ochrony odgromowej dotyczy także wykonawcy urządzenia piorunochronnego, który ***„powinien być wyszkolony w dziedzinie prawidłowego wykonawstwa elementów urządzenia piorunochronnego, zgodnie z wymaganiami niniejszej normy (norma PN-EN 62305-3) oraz krajowych przepisów regulujących roboty budowlane i budownictwo”***.

Dodatkowo zwrócono uwagę na konieczność prowadzenia przez osoby projektujące urządzenie piorunochronne koordynacji prac wszystkich osób, których działania są związane z projektowaniem innych instalacji i mogą wymagać dodatkowych zaleceń związanych z ochroną odgromową.

Takie kompleksowe działania powinny być prowadzone podczas projektowania, realizacji obiektu i odbioru obiektu oraz obejmują określenie zakresu badań okresowych i oględzin.

Normy zawierające uzupełniające informacje dotyczące elementów urządzenia piorunochronnego

Podczas bezpośredniego wyładowania w elementy urządzenia piorunochronnego narażone są na:

- erozję termiczną w miejscu kontaktu przewodu z kanałem wyładowania piorunowego,
- rozżarzenie przewodów wywołane przez przepływ prądu piorunowego,
- działania dynamiczne pomiędzy przewodami, w których płynie prąd piorunowy.

Występowanie powyższych zagrożeń i konieczność oceny możliwości tworzonych rozwiązań ochrony odgromowej oraz fakt wprowadzania do sprzedaży coraz gorszych jakościowo elementów urządzenia piorunochronnego spowodowały wzrost zainteresowania badaniami oddziaływania prądów i napięć udarowych symulujących zagrożenia stwarzanego podczas bezpośredniego oddziaływania prądu piorunowego.

Do opracowania zakresu takich badań wykorzystano wyniki analiz teoretycznych, pomiarów laboratoryjnych oraz obserwacji prowadzone podczas bezpośrednich wyładowań w urządzenia piorunochronne.

W celu ujednolicenia standardów w zakresie elementów do budowy urządzeń piorunochronnych pojawiła się wieloarkuszowa Norma Europejska EN 50164 określająca wymagania i sposoby przeprowadzania badań różnorodnych elementów (wsporniki ścienne, uziomy, złączki, liczniki impulsów, studzienki rewizyjne itd.), która jest również sukcesywnie wprowadzana w Polsce (Tabela 1).

Tabela 1. Zestawienie norm określających zakres badań poszczególnych elementów urządzenia piorunochronnego

Zakres tematyczny	Zestawienie norm
Elementy instalacji piorunochronnej	PN-EN 50164-1:2010, Elementy urządzenia piorunochronnego (LPS) - Część 1: Wymagania stawiane elementom połączeniowym PN-EN 50164-2:2010, Elementy urządzenia piorunochronnego (LPC) - Część 2: Wymagania dotyczące przewodów i uziomów PN-EN 50164-3:2007, Elementy urządzenia piorunochronnego (LPC) - Część 3: Wymagania dotyczące iskierników izolacyjnych (oryg) PN-EN 50164-4:2009, Elementy urządzenia piorunochronnego (LPC) - Część 4: Wymagania dotyczące elementów mocujących przewody (oryg.) PN-EN 50164-5:2009, Elementy urządzenia piorunochronnego (LPC) - Część 5: Wymagania dotyczące uziomowych studzienek kontrolnych i ich uszczelnień (oryg.) PN-EN 50164-6:2009, Elementy urządzenia piorunochronnego (LPC) - Część 6: Wymagania dotyczące liczników udarów piorunowych (oryg.) PN-EN 50164-7:2009, Elementy urządzenia piorunochronnego (LPC) - Część 7: Wymagania dotyczące środków polepszających uziemienie (oryg)

Zalecane jest prowadzenie badań oddziaływania prądów udarowych na poszczególne elementy urządzenia piorunochronnego, główne szyny wyrównawcze w obiekcie budowlanym oraz iskierniki stosowane do połączeń systemów, które w normalnych warunkach powinny być izolowane.

Badaniami oddziaływania prądów udarowych symulujących zagrożenie piorunowe powinny być również objęte urządzenia to ograniczania przepięć w instalacji elektrycznej (SPD typu 1) oraz w obwodach przesyłu sygnałów (SPD kategorii D). Zakresy badań urządzeń do ograniczania przepięć zawarto w normach:

PN-EN 61643-11:2006, Niskonapięciowe urządzenia do ograniczania przepięć – Część 11: Urządzenia do ograniczania przepięć w sieciach rozdzielczych niskiego napięcia. Wymagania i próby (oraz PN-EN 61643-11:2006/A11:2007 (oryg.)).

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.

Nowe wymagania i zalecenia

W nowych normach ochrony odgromowej zawarto większość wymagań dotychczas obowiązujących. Niektóre z wymagań lub zaleceń zostały uzupełnione lub rozbudowane. Pojawiły się również nowe wymagania i zalecenia, o różnym znaczeniu, dotyczące zasad tworzenia urządzenia piorunochronnego.

Poniżej zestawiono podstawowe nowości zawarte w normie PN-EN 62305.

- Podstawowym wymaganiem stawianym przed projektantami urządzeń piorunochronnych oraz systemów ograniczających narażenia piorunowe jest konieczność przeprowadzenia analizy ryzyka oraz oceny uszkodzeń powodowanych przez wyładowanie piorunowe.
- W normie PN-EN 62305-2 przedstawiono szczegółowe zasady szacowania ryzyka powodowanego przez prądy piorunowe podczas bezpośrednich doziemnych wyładowań piorunowych w obiekty budowlane lub obok tych obiektów oraz bezpośrednio w linie lub instalacje dochodzące do analizowanych obiektów lub w bliskim sąsiedztwie tych linii lub instalacji.
Porównanie wyznaczonych wartości ryzyka z wartościami uznanymi za tolerowane pozwala ustalić potrzebę stosowania środków ochrony odgromowej i dobrać odpowiednią ich skuteczność.
- Szczegółową uwagę zwrócono na materiały wykorzystywane do budowy urządzeń piorunochronnych. Przedstawiono szczegółowe zestawienia materiałów ich kształty oraz przekroje przeznaczonych do zastosowania na zwody, przewody odprowadzające oraz uziomy.
- Dokładnie omówiono sposoby wyznaczania oddziaływania prądów piorunowych na elementy urządzenia piorunochronnego (przewody i blachę pokrycia dachowego), urządzenia ograniczające przepięcia SPD (Surge Protective Devices). Przedstawiono również skutki takich oddziaływań.
- Przedstawiono wymagania określające zakres badań elementów urządzenia piorunochronnego na działanie prądów udarowych symulujących zagrożenie stwarzane przez prąd piorunowy.
- Określono parametry prądów i napięć udarowych powstających w instalacjach niskonapięciowych (instalacje zasilające i przesyłu sygnałów) podczas doziemnych wyładowań piorunowych w obiekty lub dochodzące instalacje lub obok tych obiektów i instalacji
- Wprowadzono podstawowe wymagania dotyczące ochrony obiektów wysokich (o wysokości przekraczającej 60 m). Projektując urządzenia piorunochronne takich obiektów należy uwzględnić zagrożenie stwarzane przez wyładowania boczne i należy zwrócić szczególną uwagę na ochronę urządzeń i instalacji na ścianach takich obiektów.
- Przedstawiono zasady tworzenia urządzenia piorunochronnego, w przypadku konieczności uniknięcia układania przewodów odprowadzających na jednym z boków obiektu.
- Przedstawiono wymagania, jakie powinny spełniać połączenia stali zbrojenia, jeśli są wykorzystywane do celów ochrony odgromowej.
- Omówiono wymagania dotyczące ochrony odgromowej obiektów zawierających warstwę ziemi na dachach obiektów budowlanych o grubości dochodzącej do 50 cm.
- Przedstawiono bardziej szczegółowo zasady określania odstępów izolacyjnych pomiędzy elementami urządzenia piorunochronnego a chronionymi urządzeniami na dachach i ścianach obiektów budowlanych.
- Szczegółowo omówiono zasady strefowej koncepcji ochrony odgromowej (podział na strefy zagrożenia, zasady wyrównywania potencjałów w strefach i na ich granicach, rozmieszczenie urządzeń do ograniczania przepięć SPD) oraz powiązania tej koncepcji z wymaganiami kompatybilności elektromagnetycznej.
- Przedstawiono zasady wyznaczania bezpiecznych odległości pomiędzy SPD a chronionymi urządzeniami.
- Uwzględniono nowe, w porównaniu do istniejących w normie PN-89/E-05003/03, oznaczenia i wymagania dotyczące stref zagrożonych wybuchem. Przedstawiono ogólne zasady ochrony w obiektach zawierających strefy 0, 1, 2 oraz 20, 21 i 22.
- Przedstawiono ogólne zalecenia dotyczące uziemiania zbiorników, sposobów połączeń ścian zbiornika z pływającym dachem oraz uziemiania rurociągów.

Materiały wykorzystywane do celów ochrony odgromowej

Do wykonania LPS zalecane jest stosowanie materiałów zestawionych w tablicy 10 lub innych o równoważnych właściwościach mechanicznych, elektrycznych i chemicznych. W normie PN-EN 62305-3 zestawiono również szczegółowe wymagania dotyczące minimalnych wymiarów poszczególnych elementów urządzenia piorunochronnego w zależności od zastosowanego materiału (Tabele 2, 3, i 4).

Tabela 2. *Materiał, kształt i minimalne wymiary uziomów*

Materiał	Kształt	Minimalne wymiary			Uwagi
		Pręt Ø mm	Przewód	Płyta mm	
Miedź	Linka		50 mm ²		min. średnica każdego drutu 1,7 mm
	Okrągły lity		50 mm ²		8 mm średnica
	Taśma		50 mm ²		2 mm min. grubości
	Pręt	15			
	Rura	20			2 mm min. grubości ścianki
	Płyta lita			500 x 500	2 mm min. grubości
	Krata			600 x 600	25mm x 2mm sekcja Min. Długość kształtki kratowej 4,8m
Stal	Okrągły lity ocynkowany	16	10mm średnica		
	Rura ocynkowana	25			2 mm min. grubości
	Taśma ocynkowana		90 mm ²		3 mm grubości
	Płyta lita ocynkowana ¹			500 x 500	3 mm grubości
	Krata ocynkowana			600 x 600	30mm x 3mm sekcja
	Okrągły lity z powłoką miedzianą	14			grubość min. 250 µm promieniowej powłoki miedzianej o zawartości 99,9 % miedzi
	Okrągły lity odkryty		10 mm średnica		
	Taśma lita odkryta lub ocynkowana		75 mm ²		min. grubość 3 mm
	Linka ocynkowana		70 mm ²		min. średnica każdego drutu 1,7 mm
	Krzyżowy ocynkowany	50 x 50 x 3			
Stal nierdzewna	Okrągły lity	15	10 mm średnica		
	Taśma		100 mm ²		2 mm min, grubości

Dokładne informacje dotyczące grubości i materiałów powłok oraz uwagi szczegółowe o możliwościach stosowania poszczególnych materiałów w normie PN-EN 62305-3.

Tabela 3. *Minimalna grubość warstw metalowych lub rur metalowych w układzie zwodów*

Poziom ochrony	Materiał	Grubość ^a t mm	Grubość ^b t' mm
I do IV	Ołów	–	2,0
	Stal (nierdzewna, ocynkowana)	4	0,5
	Tytan	4	0,5
	Miedź	5	0,5
	Aluminium	7	0,65
	Cynk	–	0,7
^a t zapobiega przebiciu, gorące miejsce lub zapłon ^b t' tylko dla warstwy metalowej, jeżeli nie jest ona ważna, aby zapobiec przebiciu, gorącemu miejscu lub problemom zapłonu.			

Tabela 4. Materiał, kształt i minimalna powierzchnia przekroju przewodów i prętów na zwody oraz przewodów odprowadzających

Materiał	Kształt	Minimalna powierzchnia przekroju mm ²	Uwagi
Miedź, Miedź ocynowana	Taśma	50	min. grubość 2 mm
	Drut	50	średnica 8 mm
	Linka	50	min. średnica każdego drutu 1,7 mm
	Pręt (tylko miedź)	200	średnica 16 mm
Aluminium	Taśma	70	min. grubość 3 mm
	Drut	50	średnica 8 mm
	Linka	50	min. średnica każdego drutu 1,7 mm
Stop aluminium, Stal ocynowana ogniowo	Taśma	50	min. grubość 2,5 mm
	Drut	50	średnica 8 mm
	Linka	50	min. średnica każdego drutu 1,7 mm
	Pręt	200	średnica 16 mm
Stal nierdzewna	Taśma	50	min. grubość 2 mm
	Drut	50	średnica 8 mm
	Linka	70	min. średnica każdego drutu 1,7 mm
	Pręt	200	średnica 16 mm

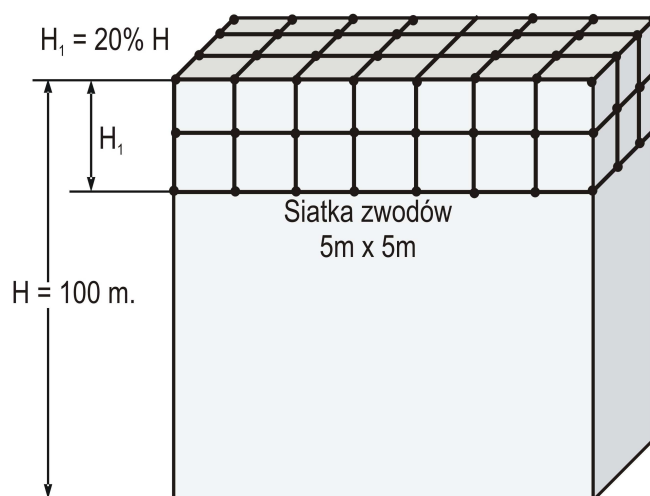
Dokładne informacje dotyczące grubości i materiałów powłok oraz uwagi szczegółowe w PN-EN 62305-3.

Podstawowe zasady montażu zwodów i przewodów odprowadzających

W tabeli 5 zestawiono podstawowe zasady montażu zwodów i przewodów odprowadzających.

Zapewnienie ochrony odgromowej obiektów wysokich (o wysokości przekraczającej 60 m) wymaga uwzględnienia zagrożenia stwarzanego przez wyładowania boczne. Należy zwrócić uwagę na ochronę urządzeń i instalacji na ścianach takich obiektów.

W obiekcie o wysokości przekraczającej 60 m należy zastosować na ścianach bocznych analogiczne sieci zwodów jak sieci na dachu tego obiektu. Ochroną przed wyładowaniem bocznym powinny być objęte najwyższe części obiektu (ściany powyżej poziomu odpowiadającego ok. 20 % wysokości obiektu, licząc od poziomu dachu w dół). W obiektach wyższych od 120 m ochrona przed wyładowaniami bocznymi powinna być zapewniona powyżej 120 m. Przykładowe rozwiązanie takiej ochrony dla obiektu o wysokości 100 m przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Przykład ochrony obiektu wysokiego przed wyładowaniami bocznymi (I poziom ochrony)

Tabela 5. Zasady montażu zwodów na dachach płaskich

Materiał dachu	Wymagania montażowe zwodów na dachach płaskich
Materiał niepalny	Siatka zwodów umieszczona na całej powierzchni dachu, na krawędziach oraz częściach wystających. Jeśli możliwe jest gromadzenie wody na dachu to zwody należy instalować nad przewidywanym poziomem wody. Jako przewód otokowy może być wykorzystana obróbka metalowa attyki.
Materiał łatwopalny	Zwody umieszczane na wysokości nie mniejszej niż 10 cm nad dachem. Jeśli nie można zapewnić wymaganego odstępu należy wstawić między przewód a materiał palny warstwę żaroodporną lub zastosować przewód o przekroju nie mniejszym od 100 mm ² . Łatwopalne elementy nie powinny pozostawać w bezpośredniej styczności z elementami stosowanymi na zwody.
Dachy żelbetowe	Do ochrony odgromowej można wykorzystać stalowe pręty w betonie, jeśli dopuszczalne jest dorywcze uszkodzenie warstwy wodoszczelnej. Jeśli uszkodzenia są niedopuszczalne należy stosować układy zwodów ułożone na dachu. Wskazane jest połączenie zwodów ze stalą zbrojenia.
Obiekty zawierające warstwę ziemi na dachu.	Sieć zwodów ułożona na ziemi o wymiarach oka wynikających z poziomu ochrony obiektu lub o wymiarach 5 m x 5 m oraz układy zwodów chroniące ludzi przed bezpośrednim wyładowaniem.
Pokrycie dachu	Wymagania montażowe zwodów na dachach wielospadowych
Materiał niepalny na niewielkim obiekcie	Zwód poziomy należy zainstalować bezpośrednio nad kalenicą. Jeśli ten zwód zapewnia przestrzeń chronioną nad całą powierzchnią dachu to należy od niego poprowadzić, co najmniej dwa przewody odprowadzające nad krawędziami szczytowymi przeciwnych narożników.
Dach wykonany z materiału niepalnego	Do ochrony odgromowej należy zastosować zwody umieszczone nad kalenicą oraz nad krawędziami dachu. Do ochrony odgromowej można wykorzystać metalowe rynny, jeśli zapewniona jest ciągłość ich połączeń a ich przekrój nie jest mniejszy od standardowych elementów zwodów.
Dachy kryte strzechą	Jeśli nie są stosowane stalowe paski do układania materiałów pokrycia, przewody zwodów powinny być umieszczone w odległości nie mniejszej niż 0,15 m od powierzchni dachu.
Kryte dachówką (niewielkie obiekty o wysokości do 20 m)	Przewody poziome, umieszczone przy kalenicy pod dachówką, do których dołączone są krótkie zwody pionowe w odstępach nie większych niż 10 m. Zamiast zwodów pionowych można zastosować płytki metalowe, ale w odstępach nie większych niż 5 m.
Dachy wykonane są z materiału łatwo zapalnego	Ochronę przed zagrożeniem stwarzanym przez prąd piorunowy zapewniają zwody poziome podwyższone, zwody nieizolowane pionowe lub poziome wysokie nieizolowane. Zwody powinny być umieszczone w odległości nie mniejszej niż 0,1 m od powierzchni dachu.

Przewody odprowadzające należy instalować wzdłuż prostych i pionowych tras po możliwie najkrótszej drodze pomiędzy zwodem a przewodem uziemiającym. Stworzony układ przewodów odprowadzających powinien zapewnić wieloprzewodową drogę dla przepływu prądu piorunowego od punktu uderzenia do ziemi.

Przyjęcie do analizy siatki zwodów poziomych o wymiarach uzależnionych od poziomu ochrony stwarza potrzebę takiego usytuowania przewodów odprowadzających, aby w możliwym stopniu tworzyły bezpośrednią kontynuację zwodów poziomych.

Zalecane jest zachowanie jednakowych odległości pomiędzy przewodami odprowadzającymi. Jeśli jest to niemożliwe należy przewody odprowadzające umieszczać w pobliżu narożników budynków.

Podstawowe informacje niezbędne przy ich montażu zestawiono w tabeli 6.

Średnie odległości pomiędzy przewodami odprowadzającymi nie powinny być większe od:

- 10 m – I i II poziom ochrony odgromowej,
- 15 m – III poziom ochrony,
- 20 m – IV poziom ochrony.

Tabela 6. Podstawowe zasady montażu przewodów odprowadzających

Układanie przewodów odprowadzających	
Materiał ściany	Sposób układania
Materiał niepalny	Przewody odprowadzające umieszczane bezpośrednio na powierzchni ściany lub w ścianie.
Materiał łatwopalny	Przewody odprowadzające mocowane w odległości nie mniejszej niż 0,1 m od powierzchni ściany.
	Jeśli zapewnienie wymaganego odstępu 0,1 m pomiędzy przewodem odprowadzającym a ścianą jest niemożliwe do wykonania należy zastosować przewody odprowadzające o przekroju nie mniejszym niż 100 mm ² .
	Przewody odprowadzające mogą być umieszczane na powierzchni ściany, jeśli przyrost ich temperatury wywołany przepływem prądu piorunowego nie stanowi zagrożenia dla materiału ściany.
Montaż przewodów odprowadzających	
Rodzaj przewodów odprowadzających	Odległości pomiędzy wspornikami
Przewody okrągłe lite	1,0 m
Taśmy i linki poziome na powierzchniach poziomych i pionowych.	0,5 m
Taśmy lub linki pionowe biegnące od ziemi do wysokości ok. 20 m.	1,0 m
Taśmy lub linki pionowe na wysokości powyżej 20 m.	0,5 m

W obiektach budowlanych, w których nie ma możliwości ułożenia przewodów odprowadzających na jednym z boków lub na części boku należy umieścić nieułożone przewody na innych bokach. W otrzymanym układzie odległości pomiędzy przewodami odprowadzającymi nie powinny być mniejsze niż 1/3 wymaganych odstępów.

Ochrona odgromowa urządzeń umieszczonych na dachach obiektów

Analizując zagrożenie występujące podczas bezpośredniego wyładowania piorunowego w obiekt budowlany należy zwrócić szczególną uwagę na możliwość bezpośredniego oddziaływania prądów piorunowych na wszelkiego rodzaju nadbudówki, urządzenia i instalacje na dachu tego obiektu.

Podstawowe zasady ochrony przed tego rodzaju zagrożeniem zawarto w normach ochrony odgromowej, w których stwierdzono, że „**wszystkie urządzenia dachowe z materiałów izolacyjnych lub przewodzących, które zawierają wyposażenie elektryczne i/lub służące przetwarzaniu informacji, powinny znajdować się w przestrzeni ochronnej układu zwodów**”.

Jeśli powyższe zalecenia nie będą spełnione to bezpośrednie wyładowanie piorunowe w nadbudówkę może doprowadzić do zniszczenia samej nadbudówki oraz zainstalowanych wewnątrz urządzeń elektrycznych i elektronicznych oraz urządzeń wewnątrz obiektu budowlanego.

Ochronę przed występującym zagrożeniem można zapewnić stosując odpowiednio dobrane układy zwodów pionowych lub poziomych (rys. 2). Należy również zachować odpowiednie odstępy izolacyjne pomiędzy urządzeniami a zwodami lub przewodami odprowadzającymi.

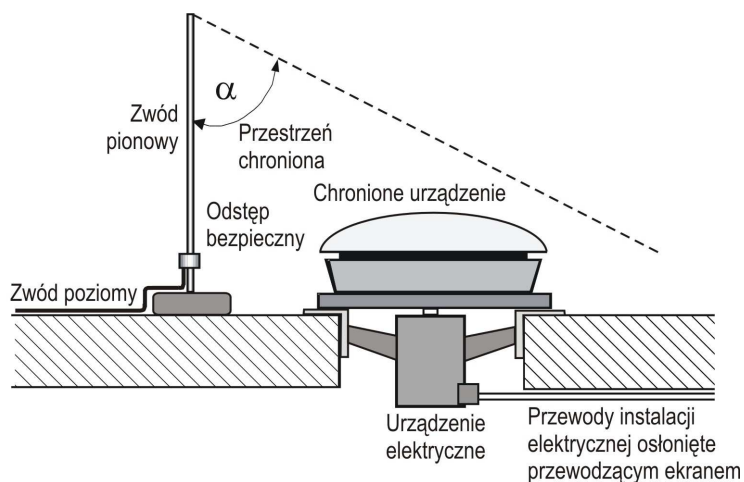
Wymaganie umieszczenia w przestrzeni chronionej nie dotyczy urządzeń, które nie zawierają wyposażenia elektrycznego lub elektronicznego a dodatkowo spełniają następujące warunki:

- wymiary nie przekraczają 0,3 m wysokości i 1,0 m² powierzchni całkowitej oraz długości 2,0 m (urządzenia metalowe),
- nie wystają więcej niż 0,5 m nad powierzchnię tworzoną przez zwody (urządzenia wykonane z materiałów izolacyjnych).



Rys. 2. Przykłady rozwiązań zwodów pionowych na dachu płaskim

Umieszczanie urządzenia w przestrzeni chronionej nie zapewnia całkowitej ochrony przed przepięciami atmosferycznymi indukowanymi w instalacji elektrycznej oraz liniach przesyłu sygnałów (jeśli takie są stosowane). Stworzenie warunków zapewniających pełną ochronę wymaga zastosowania przewodów osłoniętych przewodzącym ekranem dochodzących do chronionego urządzenia (rys. 2.).



Rys. 3. Ochrona urządzenia na dachu przed bezpośrednim wyładowaniem piorunowym

Zwody pionowe stosowane na dachach płaskich można podzielić na następujące grupy:

- zwody o wysokości do ok. 1 m mocowane bezpośrednio do elementów urządzenia piorunochronnego,
- zwody o wysokości od ok. 1 m do 3 m, wolnostojące najczęściej mocowane do betonowych podstaw,
- wolnostojące zwody o wysokości do 8 - 9 m,
- zwody mocowane przy pomocy izolacyjnych elementów dystansujących bezpośrednio do chronionych urządzeń.

W przypadku zwodów do 3 m, ochrona przed zagrożeniem stwarzanym przez podmuchy wiatru wymaga zastosowania betonowych podstaw o odpowiednim ciężarze. Do oszacowania ciężaru podstaw o różnych średnicach można wykorzystać dane zestawione w tabeli 7 lub informacje zawarte w katalogach producentów elementów urządzenia piorunochronnego.

Tabela 7. Wysokość i ciężar podstaw betonowych w zależności od wysokości zwodu pionowego (prędkość wiatru do 150 km/h)

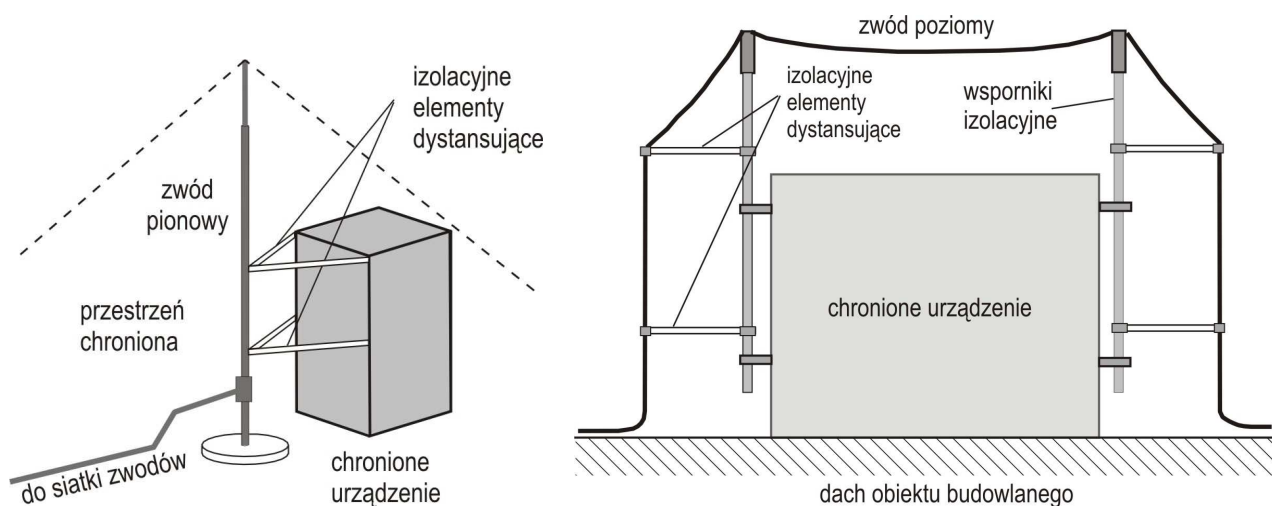
Betonowa podstawa		Wysokość zwodu				
		1,0 m	1,5 m	2,0 m	2,5 m	3,0 m
Średnica $\phi = 300$ mm	Wysokość (cm)	1,0	4,5	9,5	17	25,5
	Ciężar (kg)	2,0	8,5	17,5	31	46
Średnica $\phi = 350$ mm	Wysokość (cm)	0,5	2,5	5,5	10,0	15,5
	Ciężar (kg)	2,0	6,5	13,5	25,0	38,0

W praktyce zwiększenie ciężaru uzyskujemy łącząc ze betonowe podstawy (Rys. 4)



Rys. 4. Łączenie betonowych podstaw zwodów pionowych o wysokości 2 - 3 m

Rozwiązaniem niewymagającym stosowania ciężkich betonowych podstaw oraz zapewniającym stabilność zwodów pionowych jest ich łączenie z chronionymi urządzeniami (Rys. 5).



Rys. 5. *Zwody pionowe mocowane do chronionego urządzenia*

Do połączenia wykorzystywane są izolacyjne elementy dystansujące, których długość uzależniona jest od wymaganego odstępu izolacyjnego.

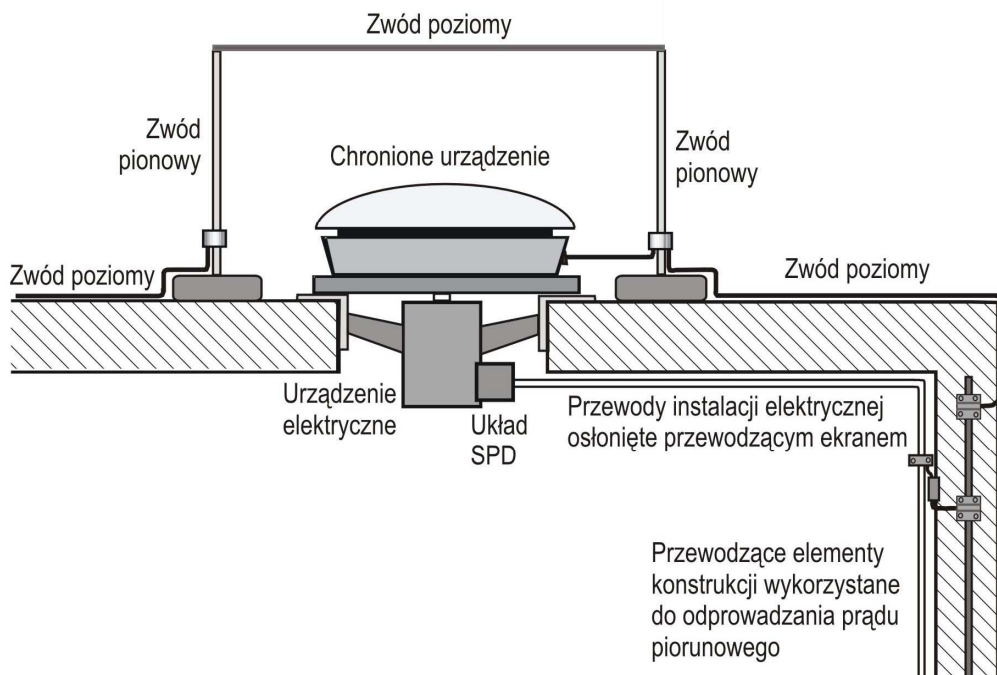
Odpowiedni montaż umożliwia wyniesienie zwodów na wysokość 3 - 4 m ponad chroniony obiekt.

Przedstawione rozwiązanie mocowania zwodów do chronionych urządzeń można także zastosować na dachach wielospadowych.

Jeśli zastosowanie takiego rozwiązania jest trudne do realizacji można rozważyć zastosowanie SPD typu 2 w instalacji elektrycznej lub SPD klasy C2 w obwodach przesyłu sygnałów.

Urządzenia zawierające wyposażenie elektryczne i elektroniczne, które nie można umieścić w dostatecznej odległości od elementów ochrony odgromowej (nie można zachować odstępu izolacyjnego np. na obiektach o konstrukcji stalowej lub posiadających metalowe pokrycia dachowe) powinny także być umieszczone w przestrzeniach chronionych tworzonych przez zwody pionowe i poziome.

W celu eliminacji przeskoków iskrowych metalowe elementy konstrukcji urządzenia należy połączyć z układem zwodów oraz z przewodzącymi elementami konstrukcji. Do tych ostatnich połączeń można wykorzystać ekrany kabli (rys. 6.).



Rys. 6. Ochrona urządzenia przed bezpośrednim wyładowaniem piorunowym, ale nie przed skutkami oddziaływania części prądu piorunowego

Stworzenie warunków zapewniających bezawaryjne działanie wymaga przeanalizowania potrzeby zainstalowania dodatkowej ochrony, jaką zapewniają układy SPD instalowane bezpośrednio przed chronionym urządzeniem.

W przypadku znacznej liczby urządzeń rozmieszczonych w różnych punktach dachu optymalnym rozwiązaniem może się okazać utworzenie sieci zwodów nad całą powierzchnią dachu.

Jeśli stworzenie ochrony odgromowej eliminującej bezpośrednie oddziaływanie prądu piorunowego na urządzenia instalowane na dachu obiektu jest niemożliwe do wykonania to można zastosować jedno w poniżej przedstawionych rozwiązaniach:

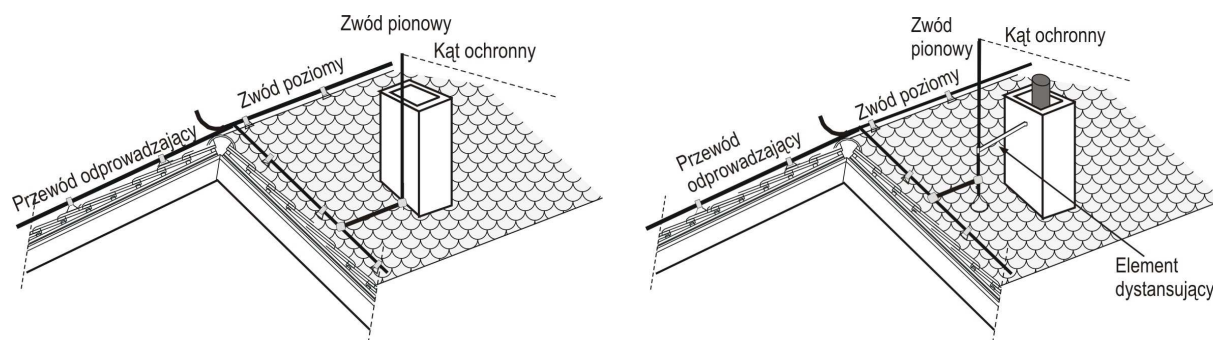
- w instalacjach przewodzących, którymi prąd piorunowy może wpłynąć do obiektu (np. rury systemu klimatyzacji i wentylacji), należy zastosować elementy izolacyjne o długości (grubości) co najmniej dwukrotnie większej od wymaganych odstępów izolacyjnych,
- w miejscach zbliżenia instalacji odgromowej i chronionego urządzenia lub systemu należy zastosować połączenia wyrównawcze bezpośrednie lub za pomocą iskierników.

Kominy na dachach obiektów budowlanych mogą być:

- łączone ze zwodami (kominy metalowe),
- chronione przed bezpośrednim wyładowaniem piorunowym (zwoły pionowe – rys. 7),
- chronione przed wyładowaniem oraz bezpośrednim oddziaływaniem prądu piorunowego.

W przypadku komina pieca gazowego lub olejowego sterowanego elektronicznie wskazane jest zastosowanie ochrony przed bezpośrednim oddziaływaniem prądu piorunowego.

Taką ochronę uzyskujemy umieszczając komin w przestrzeni chronionej tworzonej przez pojedynczy zwód lub układ zwodów odsunięte na odległość zapewniającą eliminację przeskoków iskrowych.



Rys. 7. Przykłady ochrony odgromowej komina na dachu krytym dachówką

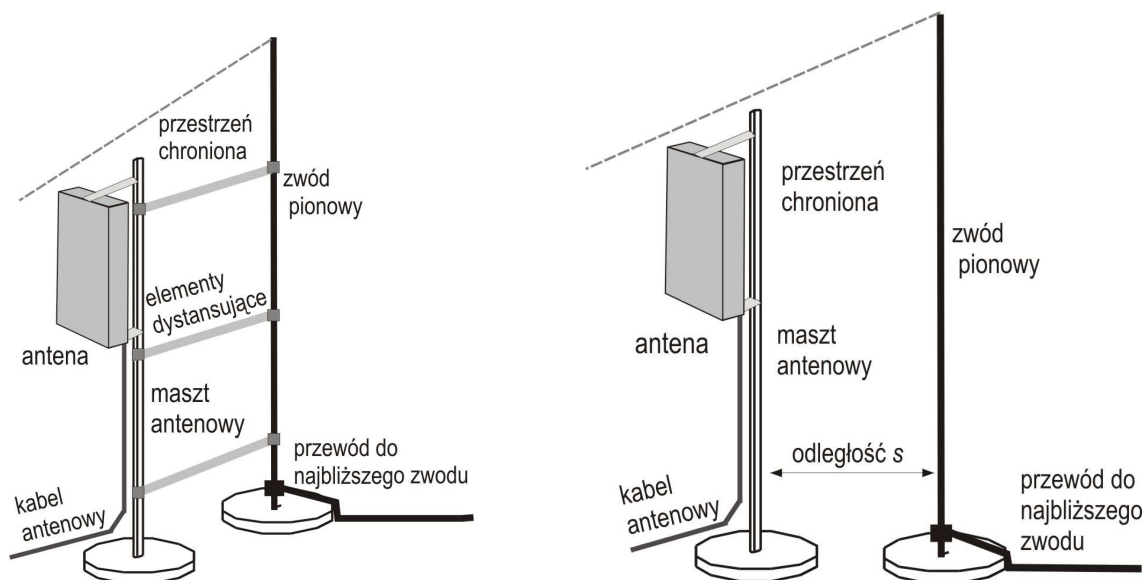
Ochrona odgromowa anten

W dotychczas obowiązujących normach zalecano ochronę samej anteny przed bezpośrednim wyładowaniem piorunowym. W takim przypadku istnieje możliwość wpłynięcia części prądu piorunowego do kabla antenowego i należy zastosować rozwiązania chroniące przed jego oddziaływaniem.

Sposób wyeliminowania takiego zagrożenia przedstawiono w normie ochrony odgromowej PN-EN 62305-3. Zgodnie z zaleceniami tej normy **„Maszty antenowe na dachu obiektu powinny być chronione przed bezpośrednimi wyładowaniami piorunowymi przez ich zainstalowanie w chronionej już strefie lub przez zainstalowanie izolowanego zewnętrznego LPS”**

Rozwiązaniem jest umieszczenie masztów antenowych w przestrzeniach chronionych tworzonych przez nadbudówki lub elementy konstrukcyjne dachu lub dodatkowe zwody.

W przypadku zastosowania izolowanego zwodu należy zachować bezpieczną odległość pomiędzy tym zwodem a masztem antenowym i anteną. Można zastosować maszt wolnostojący lub połączony z masztem antenowym odpowiednio dobranymi izolacyjnymi elementami dystansującymi (rys. 8).

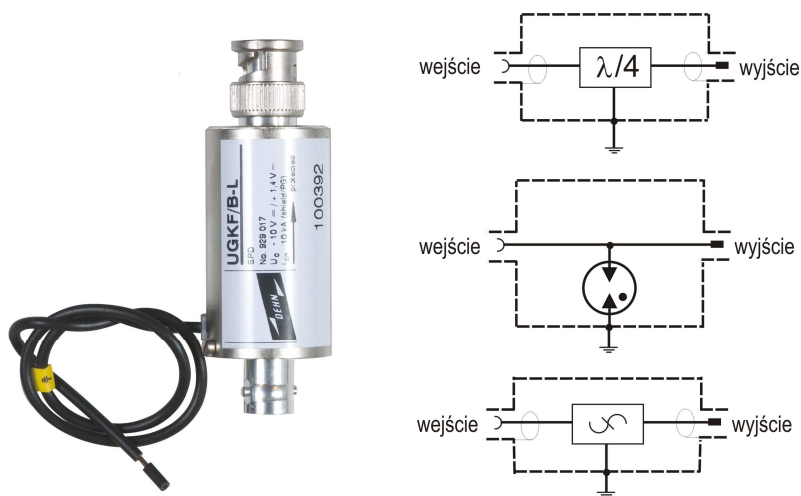


Rys. 8. Ochrona masztów antenowych przed bezpośrednim wyładowaniem piorunowym

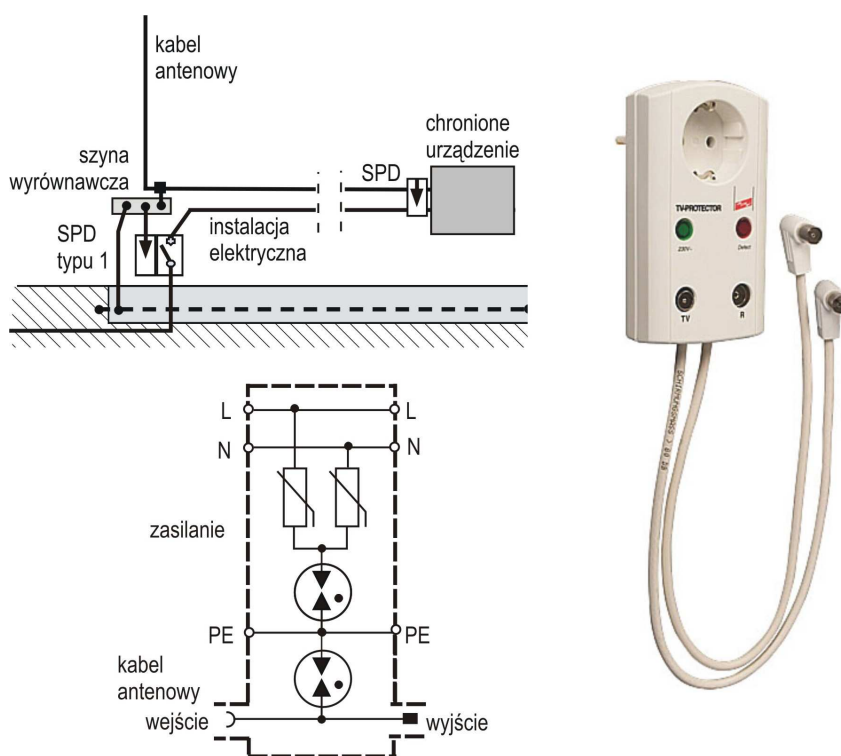
W takim rozwiązaniu maszt antenowy nie jest łączony z przewodami urządzenia piorunochronnego, ale z główną szyną wyrównawczą lub z najbliższym punktem wyrównywania potencjałów. Przykładowe rozwiązania ochrony odgromowej masztów antenowych podani na rys. 9.

Zalecane jest również połączenie ekranu kabla antenowego u podstawy masztu z samym masztem lub z przewodem łączącym maszt ze zwodem instalacji piorunochronnej.

W przedstawionych rozwiązaniach należy rozważyć potrzebę zastosowania urządzenia ograniczającego przepięcia w przewodzie antenowym lub w przewodzie antenowym (rys. 10) oraz w przewodzie antenowym oraz w instalacji elektrycznej (rys. 11.).



Rys. 10. Widok ogólny i schematy urządzeń ograniczających przepięcia dochodzące do urządzenia z przewodu antenowego



Rys. 11. Ograniczanie przepięć dochodzących do chronionego urządzenia, a) ogólny widok rozmieszczenia urządzeń ograniczających przepięcia, b), c) schemat i widok SPD umieszczanego przed chronionym urządzeniem

Dodatkowo powinny być zapewnione odstępy izolacyjne pomiędzy kablem antenowym wprowadzanym do obiektu a innymi instalacjami w tym obiekcie. Dotyczy to szczególnie sąsiedztwa miejsca wprowadzania kabla antenowego do obiektu. Maszt wykonany z materiału nieprzewodzącego powinien zostać wyposażony w zwód pionowy połączony z najbliższym przewodem sieci zwodów na dachu obiektu.

Przestrzenie chronione

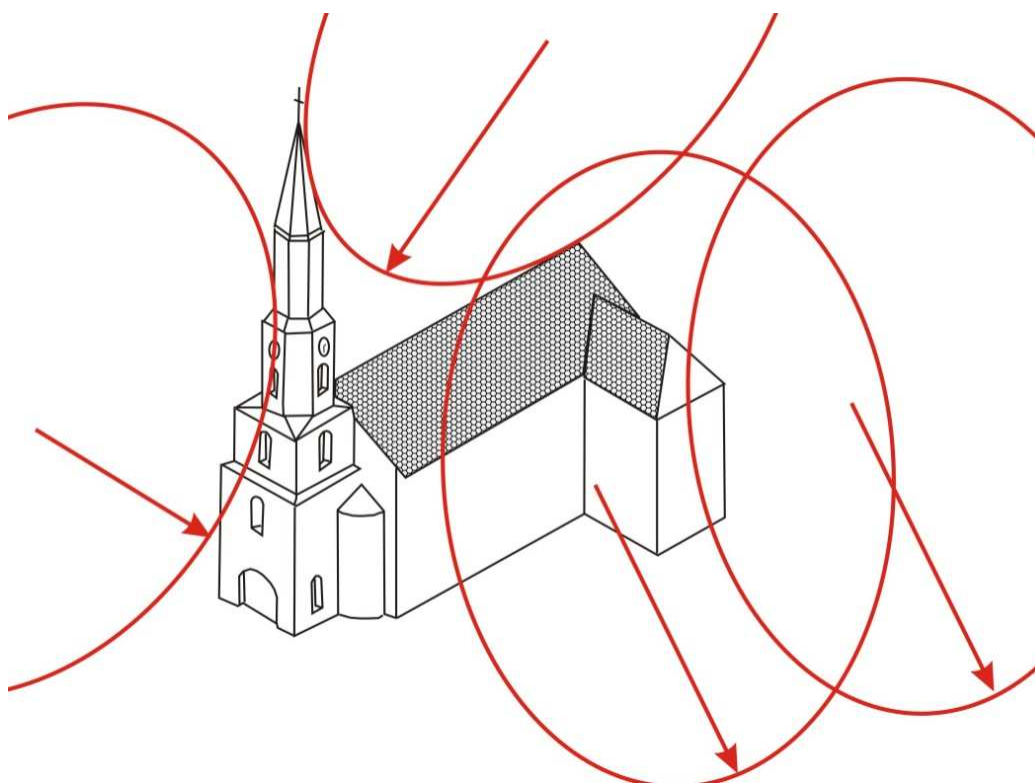
Podstawowe zasady ochrony przed tego rodzaju zagrożeniem zawarto w normie ochrony odgromowej, w której stwierdzono, że „**wszystkie urządzenia dachowe z materiałów izolacyjnych lub przewodzących, które zawierają wyposażenie elektryczne i/lub służące przetwarzaniu informacji, powinny znajdować się w przestrzeni ochronnej układu zwodów**”.

Określając obszary przestrzeni chronionych tworzonych przez naturalne elementy konstrukcyjne obiektów lub układy zwodów urządzenia piorunochronnego LPS (Lightning Protection System) należy uwzględnić wymagania dotyczące kątów ochronnych oraz odstępów izolacyjnych.

W typowych obiektach najczęściej należy zwrócić uwagę na ochronę odgromową anten, kominów współczesnych pieców oraz, coraz częściej stosowanych, kolektorów fotowoltaicznych.

Kąty ochronne

Do wyznaczania przestrzeni chronionej można wykorzystać zasadę tocznej kuli lub dobrać odpowiednie kąty ochronne. Metoda toczącej się kuli jest szczególnie przydatna, jeśli na dachu znajdują się różnorodne nadbudówki (rys. 12). W tych miejscach na powierzchni dachu, które nie są dotykane przez toczoną kulę, nie istnieje zagrożenie bezpośrednim uderzeniem pioruna.



Rys. 12. Wykorzystanie metody tocznej kuli do wyznaczania miejsc zagrożonych bezpośrednim uderzeniem pioruna

Wartości kątów α w zależności od poziomów ochrony wymaganych dla rozważanego obiektu oraz wysokości zwodów (rys. 13).

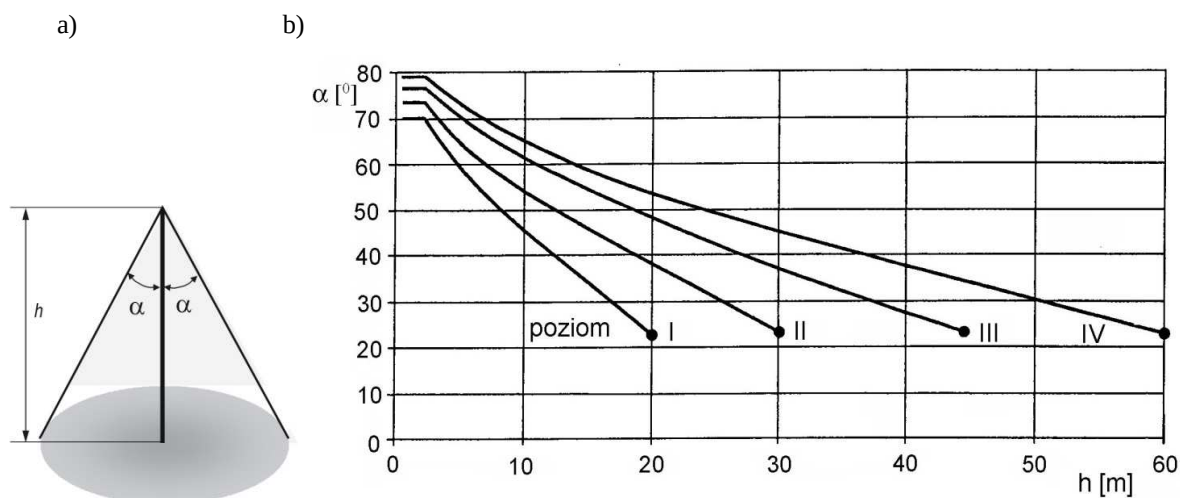
Odstępy izolacyjne

Określając obszary przestrzeni chronionych należy zachować odstępy izolacyjne eliminujące możliwości wystąpienia przeskoków iskrowych pomiędzy elementami urządzenia piorunochronnego a chronionym urządzeniem.

Wielkość odstępów izolacyjnych jest uzależniona od:

- parametrów prądu piorunowego,

- rodzaju materiału izolacyjnego, jaki występuje w miejscach zbliżeń elementów urządzenia piorunochronnego i chronionych urządzeń,
- rozptyłu prądu piorunowego w urządzeniu piorunochronnym obiektu budowlanego,
- odległości od miejsca zbliżenia, w którym może wystąpić przeskok, do najbliższego połączenia wyrównawczego lub ziemi liczona wzdłuż przewodu, w którym płynie prąd piorunowy.



Rys. 13. Wyznaczanie kątów ochronnych z zależności od wymaganego poziomu ochrony i wysokości zwodu

W normach ochrony odgromowej obiektów budowlanych do przybliżonego określania odstępu izolacyjnego s zaproponowano zależność:

$$s \geq k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} L$$

gdzie: L - długość mierzona wzdłuż przewodu odprowadzającego od punktu rozpatrywanego zbliżenia do punktu najbliższego połączenia wyrównawczego w metrach.

k_i i k_m i k_c – współczynniki, których wartości zestawiono w tabeli 8.

Tabela 8. Wartości współczynników w równaniu określającym odstęp izolacyjny

Współczynnik	Wartość	
k_i - uzależniony od klasy LPS	0,08 - I klasa LPS; 0,06 - II klasa LPS; 0,04 - III i IV klasa LPS	
k_m - uzależniony od materiału odstępu izolacyjnego	1- powietrze 0,5 - beton, cegła 0,7 – 0,8 zastosowanie elementów dystansujących *	
k_c - uzależniony od rozptyłu prądu w przewodach LPS	Układ uziemienia typu A	Układ uziemienia typu B
	1 - zwód pionowy i 1 przewód odprowadzający, 0,66 - zwód poziomy i 2 przewody odprowadzające, 0,44 - sieć zwodów oraz 4 i więcej przewodów odprowadzających	1 - zwód pionowy i 1 przewód odprowadzający, 0,5...1 - zwód poziomy i 2 przewody odprowadzające, 0,25...0,5 - sieć zwodów oraz 4 i więcej przewodów odprowadzających
* - wartości podawane przez producentów elementów dystansujących		

W rzeczywistych warunkach urządzenia wymagające ochrony przed bezpośrednim oddziaływaniem prądu piorunowego mogą znajdować się w dowolnym punkcie na powierzchni dachu.

W takich przypadkach prąd piorunowy rozplywa się w urządzeniu piorunochronnym i zmieniają się wartości współczynników k_c dla poszczególnych przewodów tego urządzenia na odcinku pomiędzy miejscem, w którym wyznaczamy odstęp izolacyjny a najbliższym połączeniem wyrównawczym.

Uwzględniając fakt rozplywu prądu piorunowego w elementach LPS odstęp izolacyjny wynosi:

$$s \geq \frac{k_i}{k_m} (k_{c1} \cdot l_1 + k_{c2} \cdot l_2 + \dots + k_{cm} \cdot l_m)$$

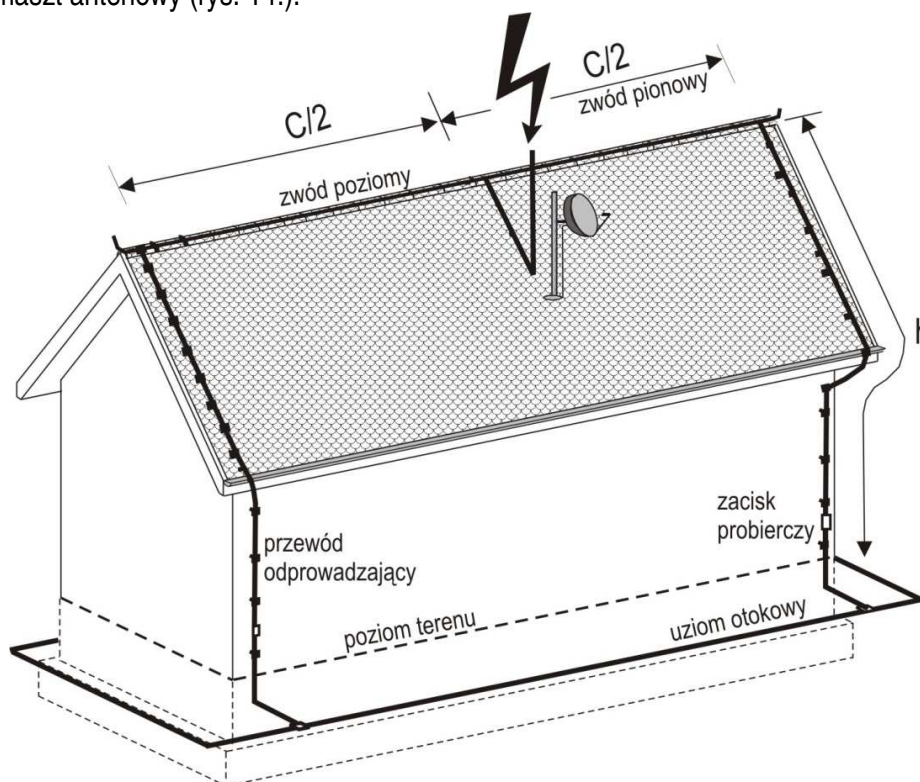
gdzie : $l_1, l_2, \dots, l_m$ - odcinki przewodów LPS w których płyną prądy o wartościach określanych przez współczynniki $k_{c1}, k_{c2}, \dots, k_{cm}$.

Wykorzystując powyższą zależność można wyznaczyć odstęp izolacyjny w układach przestrzennych urządzeń piorunochronnych obiektów budowlanych.

W przypadku typowego dachu dwuspadowego, określając odstęp izolacyjny s od zwodu pionowego do chronionego urządzenia, należy wykorzystać zależność w następującej postaci:

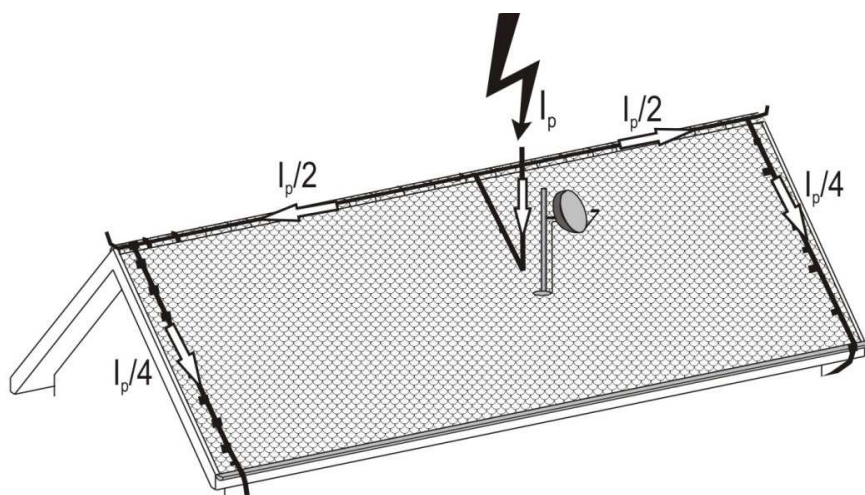
$$s \geq \frac{k_i}{k_m} \left(\frac{I_1}{I_p} \cdot L + \frac{I_2}{I_p} \cdot x + \frac{I_3}{I_p} \cdot h \right)$$

W celu przedstawienia toku postępowania przy określaniu odstępu izolacyjnego przedstawiony zostanie przykład jego wyznaczania dla prostego urządzenia piorunochronnego na wolnostojącym obiekcie budowlanym. Do ochrony masztu antenowego z anteną przed bezpośrednim wyładowaniem piorunowym wykorzystano maszt antenowy (rys. 14.).



Rys. 14. Widok ogólny analizowanego urządzenia piorunochronnego

Podział prądu piorunowego w takim urządzeniu piorunochronnym przedstawiono na rys. 15.



Rys. 15. Podział prądu piorunowego w analizowanym urządzeniu piorunochronnym

Do obliczenia odstępu izolacyjnego przyjęto następujące dane:

- poziom ochrony IV, $k_{i1} = 0,04$,
- długość $l = 5$ m
- długość $c = 30$ m,
- długość $h_1 = 14$ m,
- odstępu izolacyjnego w powietrzu $k_{m1} = 1$,

Uwzględniając przedstawiony rozptyw prądu piorunowego w przewodach uwzględnianych przy określaniu L , wymiary obiektu oraz wartości współczynników k_i i k_m , odstęp izolacyjny określany jest z zależności:

$$s \geq \frac{k_i}{k_m} \left(k_{c0} \cdot l + k_{c1} \cdot \frac{c}{2} + k_{c2} \cdot h_1 \right)$$

Uwzględniając rozptyw prądu przedstawiony na rys. 5, wartości współczynników k_c wynoszą odpowiednio:

$$k_{c0} = 1,0$$

$$k_{c1} = 1,0$$

$$k_{c2} = 1,0$$

Wymagany odstęp izolacyjny wynosi:

$$s \geq \frac{0,04}{1} \cdot (5m \cdot 1,0 + 15m \cdot 0,5 + 14m \cdot 0,25) = 0,64m$$

Zasadę postępowania przedstawiono na przykładzie prostego urządzenia piorunochronnego. W przypadkach bardziej rozbudowanych urządzeń piorunochronnych wyznaczanie odstępu izolacyjnego jest znacznie bardziej skomplikowane.

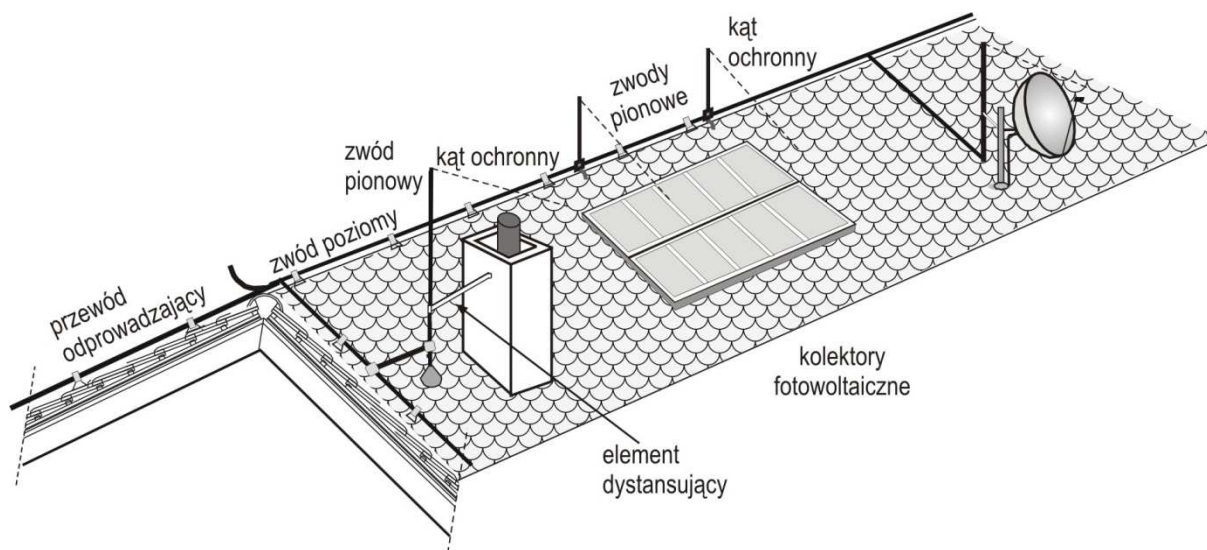
Przedstawione zasady należy zastosować do ochrony wszystkich urządzeń znajdujących się na dachu obiektu (rys. 16).

W przypadku urządzeń piorunochronnych na rozległych dachach płaskich podejmowane są próby wprowadzenia uproszczonych zależności umożliwiających określenie wartości współczynników k_c .

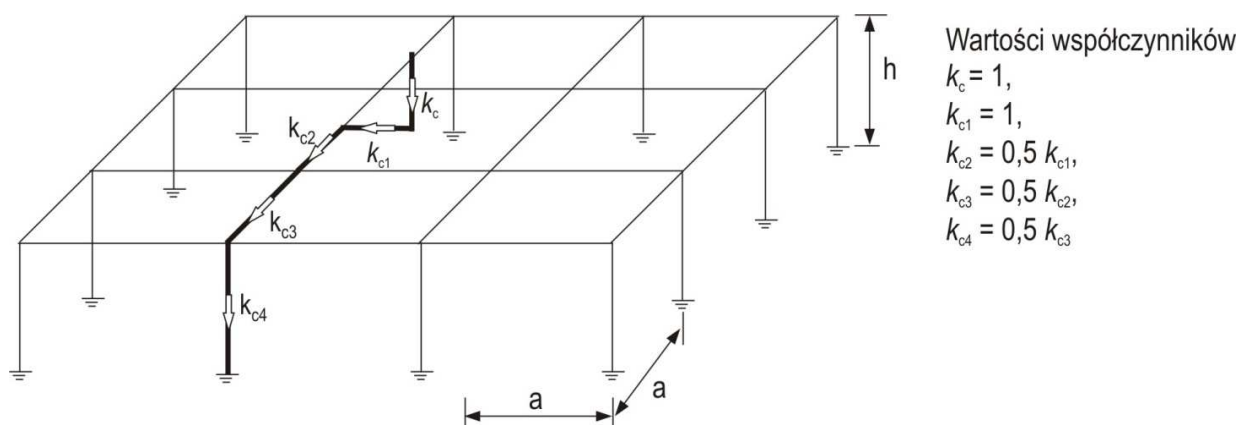
Ogólną zasadę uproszczonej analizy przedstawiono na rys. 17.

Urządzenia zawierające wyposażenie elektryczne i elektroniczne, które nie można umieścić w dostatecznej odległości od elementów urządzenia piorunochronnego (nie można zachować odstępu izolacyjnego np. na

objektach o konstrukcji stalowej lub posiadających metalowe pokrycia dachowe) powinny być również umieszczone w przestrzeniach chronionych tworzonych przez zwody pionowe i poziome. W celu wyeliminowania niekontrolowanych przeskoków iskrowych metalowe elementy konstrukcji urządzenia należy połączyć z układem zwodów.



Rys. 16. Ograniczanie przepięć w instalacji elektrycznej zasilającej urządzenie umieszczone w przestrzeni chronionej na dachu obiektu budowlanego



Rys. 17. Zasada uproszczonego wyznaczania wartości współczynników k_c

Wyznaczanie wymiarów układów uziomowych

W fazie projektowania układu uziomowego należy:

- sprawdzić możliwości wykorzystania uziomu naturalnego i potrzebę jego ewentualnego uzupełnienia o dodatkowe uziomy sztuczne,
- przypadku konieczności stosowania uziomu naturalnego należy dobrać jego rodzaj i kształt,
- oszacować wartości rezystancji opracowanego uziomu sztucznego lub układu uziom sztuczny - uziom naturalny.

Tworząc układ uziomowy należy posiadać informacje dotyczące rezystywności gruntu, w którym projektowany uziom będzie umieszczony oraz o wymaganiach, jakie nakładają na uziom inne zalecenia i funkcje jakie powinien on spełnić.

Dotyczy to szczególnie wymogach, jakie narzucają urządzenia telekomunikacyjne i teleinformatyczne. W przypadku obiektów budowlanych zalecanym rozwiązaniem jest zastosowanie poziomego uziomu otokowego. Uziomy stosowane do celów ochrony odgromowej dzielone są na następujące typy:

- **typ A**, do którego należą uziomy pionowe oraz poziome (promieniowe) dołączone do każdego z przewodów odprowadzających instalacji piorunochronnej
- **typ B**, do którego zaliczamy uziomy otokowe, kratowe i fundamentowe.

Uziomy typu A

Uziom typu A składa się z poziomych lub pionowych uziomów dołączonych do każdego z przewodów odprowadzających instalacji piorunochronnej za pomocą zacisków probierczych.

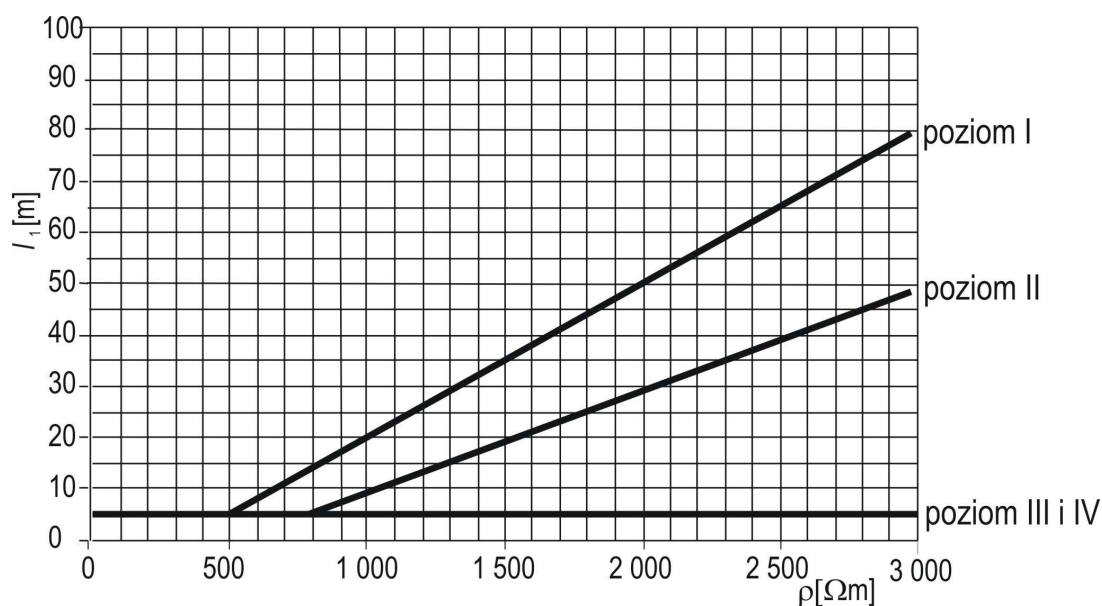
Do tego typu uziomów zaliczany jest również uziom otokowy łączący przewody odprowadzające, jeśli znajduje się w ziemi na odcinku mniejszym niż 80% całej jego długości. W przypadku urządzenia piorunochronnego zaleca się stosowanie minimum dwu uziomów typu A (pionowych lub poziomych).

Dobierając długości uziomów można przyjąć, że uziom pionowy jest w przybliżeniu 2 razy bardziej efektywny w porównaniu z uziomem poziomym.

Przyjęcie takich założeń powoduje, że tworząc uziom typu A urządzenia piorunochronnego należy zastosować minimum dwa elementy składowe, a każdy z nich powinien mieć długość równą:

- $L_{poz} \geq L$ w przypadku uziomu poziomego,
- $L_{pion} \geq L/2$ w przypadku uziomu pionowego lub nachylonego.

Minimalna długość uziomu L uzależniona jest od rezystywności gruntu oraz przyjętego poziomu ochrony. Zalecane w PN-EN 62305 długości uziomu L przedstawiono na rys. 18.



Rys. 18. Minimalne długości uziomów w zależności od poziomu (klasy) ochrony i rezystywności gruntu

W przypadku uziomów złożonych składających się z elementów poziomych i pionowych należy uwzględnić całkowitą długość zastępczą będącą sumą długości poszczególnych elementów składowych elementów.

$$L_C = L_{poz} + 2 L_{pion} \geq L$$

Układ uziomów typu A jest odpowiedni dla urządzenia piorunochronnego wyposażonego w zwody pionowe lub poziome wysokie lub dla urządzenia piorunochronnego izolowanego.

Uziomy typu B

Do uziomu typu B zaliczamy uziomy otokowe, fundamentowe oraz uziomy kratowe.

W przypadku uziomów otokowego lub fundamentowego należy określić zastępczy promień r powierzchni objętej uziomem i porównać z minimalną długością L . W wyniku porównania otrzymujemy:

- $r \geq L$ uziom fundamentowy lub otokowy obiektu jest wystarczający,
- $r < L$ uziom otokowy lub fundamentowy należy uzupełnić dodatkowymi uziomami poziomymi lub pionowymi, z których każdy powinien mieć długość L_{dot} następującą:
 - uziom poziomy $L_{dot\,poz} = L - r$
 - uziom pionowy $L_{dot\,pion} = (L - r)/2$

Przykłady określania poprawności wymiarów uziomów obiektów budowlanych przedstawiono w tabeli 9.

Tabela 9. Przykłady obliczeń wymiarów uziomów otokowych

	Promień zastępczy analizowanego uziomu $r = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$ gdzie S – powierzchnia objęta otokiem
PRZYKŁAD 1. Podstawowe dane: • poziom ochrony IV, • szerokość a = 22 m, • długość b = 12 m, • rezystywność gruntu ρ = 1300Ωm $s = a \cdot b = 22m \cdot 12m = 264m^2$ Promień zastępczy $r_1 = \sqrt{\frac{264m^2}{\pi}} = 9,17m$ Promień zastępczy analizowanego uziomu r ₁ jest większy od wymaganego L = 5 m i uziom spełnia wymagania IV poziomu ochrony.	PRZYKŁAD 2. Podstawowe dane: • poziom ochrony II, • szerokość a = 22 m, • długość b = 12 m, • rezystywność gruntu ρ = 1300Ωm $s = a \cdot b = 22m \cdot 12m = 264m^2$ Promień zastępczy $r_1 = \sqrt{\frac{264m^2}{\pi}} = 9,17m$ Dla rezystywności gruntu 1300 Ωm promień zastępczy analizowanego uziomu r ₁ jest mniejszy od wymaganego L = 15 m i uziom należy powiększyć stosując w miejscach połączeń z przewodami odprowadzającymi dodatkowe: • uziomy poziome o długości ok. 6m (15m - 9,17m), lub • uziomy pionowe o długości ok. 3 m [(15m - 9,17m)/2]

Liczba dodatkowych uziomów poziomych lub pionowych powinna być równa liczbie przewodów odprowadzających w zewnętrznym urządzeniu piorunochronnym. Liczba ta nie może być mniejsza od 2.

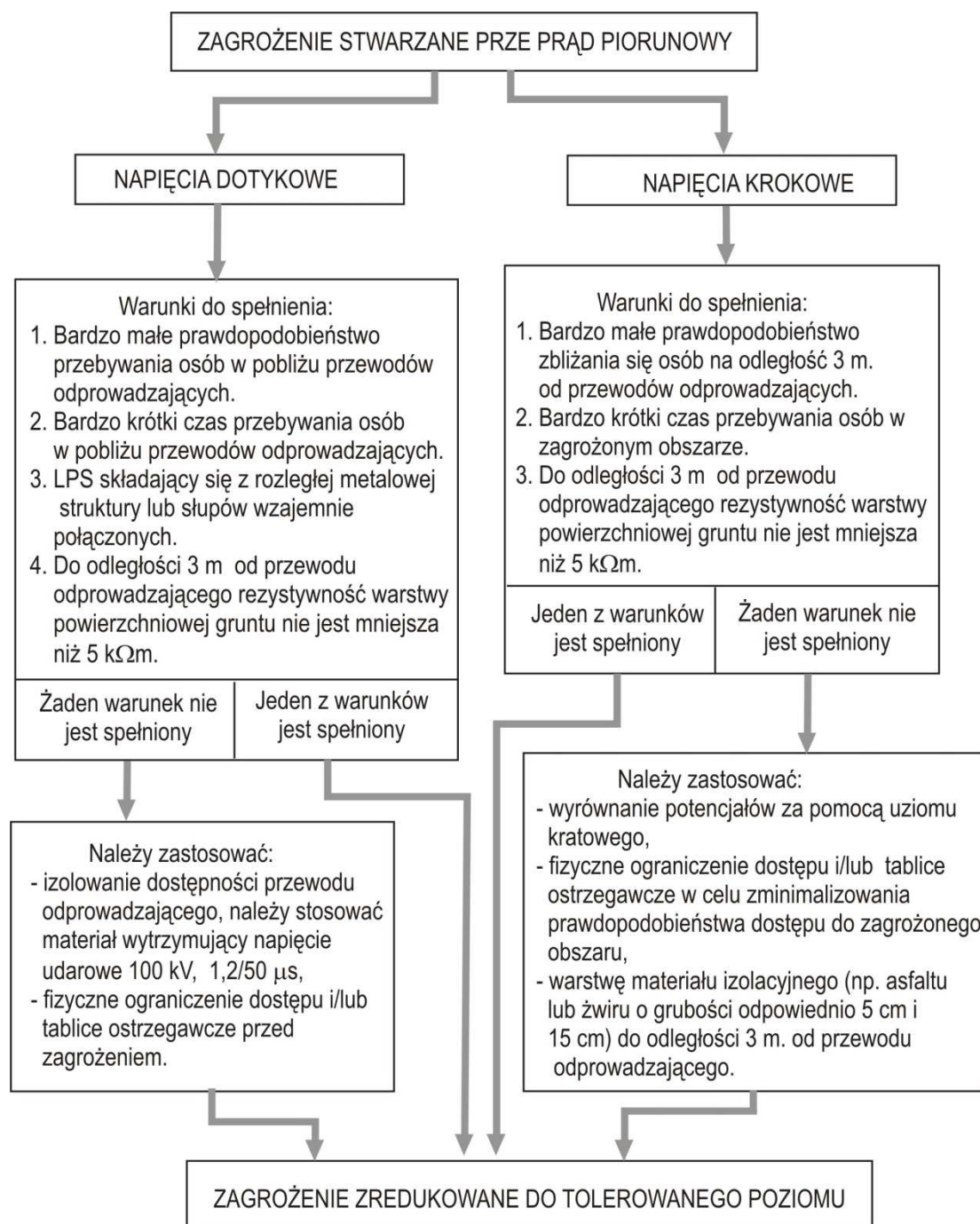
Napięcia dotykowe i krokowe

Po wykonaniu obliczeń i zaprojektowaniu uziomu należy sprawdzić, czy spełnia on wymagania wynikające z innych funkcji roboczych lub ochronnych.

Dobierając odpowiednie rozwiązania urządzenia piorunochronnego należy również zwrócić uwagę na ochronę ludzi przez porażeniem napięciem dotykowym lub krokowym.

Ochrona przed występującym zagrożeniem wymaga ograniczenia tych napięć do bezpiecznych poziomów.

Obecnie, dążąc do uproszczenia prowadzonych analiz, zaproponowano sprawdzenia kilku warunków, których spełnienie ogranicza zagrożenie piorunowe do odpowiednich poziomów (rys. 19.).

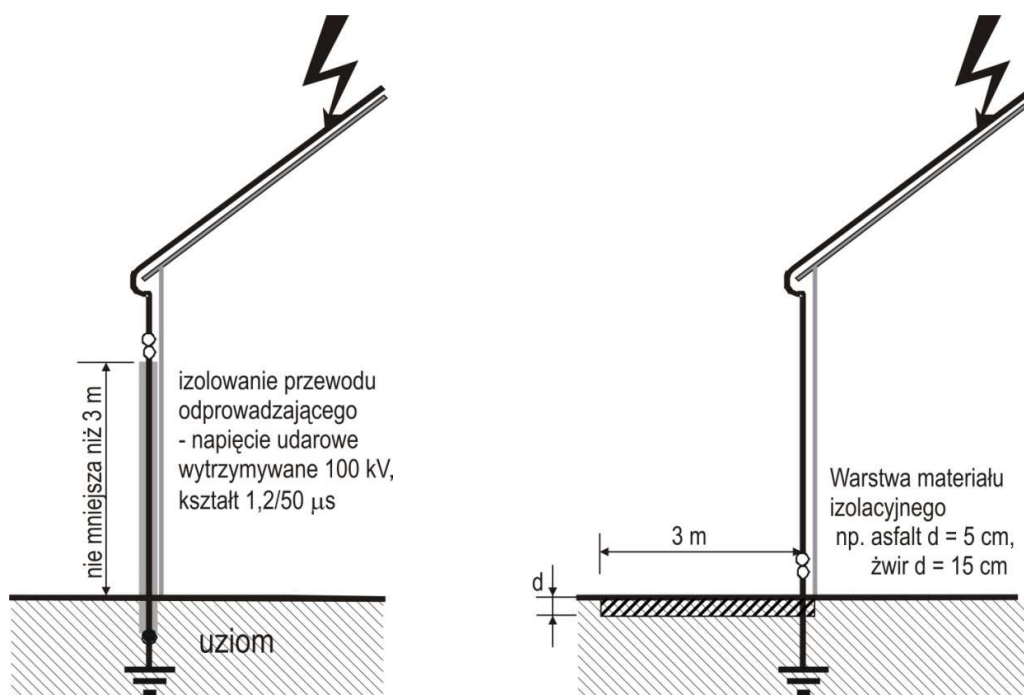


Rys. 19. Praktyczne wymagania dotyczące ochrony przed porażeniem wywołanym przez prąd piorunowy

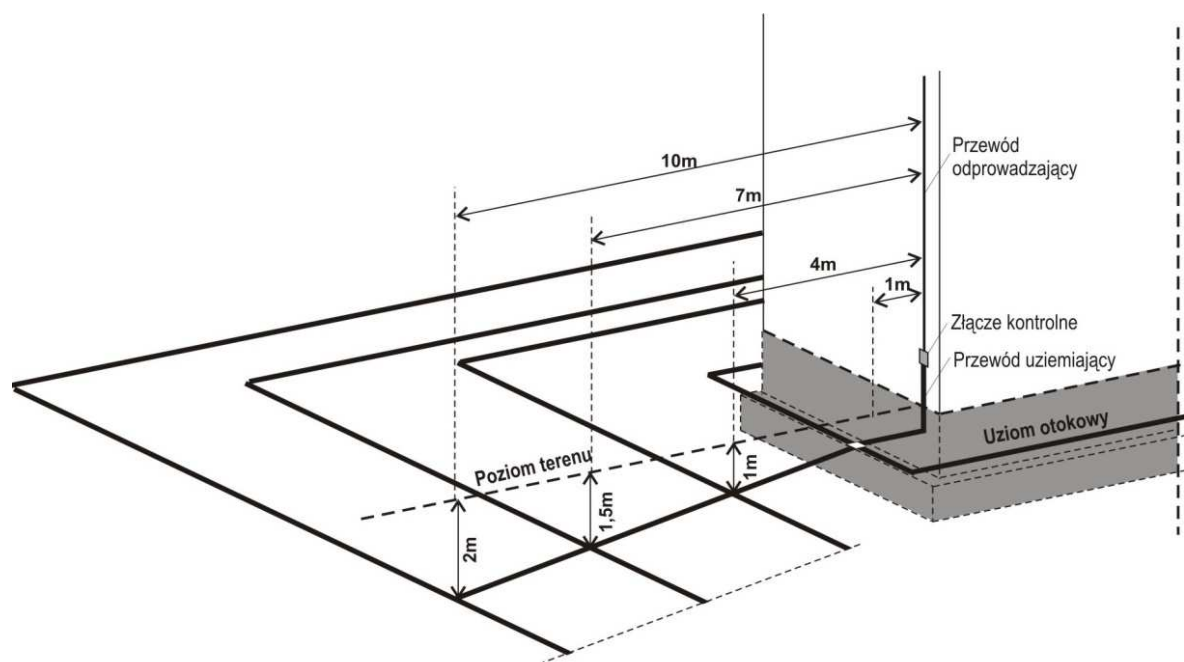
Jeśli wymagane warunki nie są spełnione to należy zastosować proste rozwiązania zapewniające ochronę przed napięciem dotykowym i krokowym wywołanymi przez rozprzyskający się prąd (rys. 20).

W zależności od wyników oceny prawdopodobieństwa przebywania ludzi w zagrożonych obszarach należy, w celu ograniczenia występującego zagrożenia, rozważyć możliwość pokrycia asfaltem lub żwirem obszaru, w którym występuje zagrożenie lub sterowania rozkładem potencjałów w sąsiedztwie przewodów odprowadzających.

W tym ostatnim przypadku należy zastosować dodatkowe uziomy otokowe w odstępach około 3 m pomiędzy nimi. W miarę oddalania się od obiektu uziomy otokowe powinny być układane coraz głębiej w gruncie (rys. 21). Zalecane głębokości zakopania otoków wynoszą 1 m, 1,5 m i 2 m odpowiednio w odległości 4 m, 7 m oraz 10 m od obiektu.



Rys. 20. Przykładowe rozwiązania ochrony przed napięciami dotykowym i krokowym



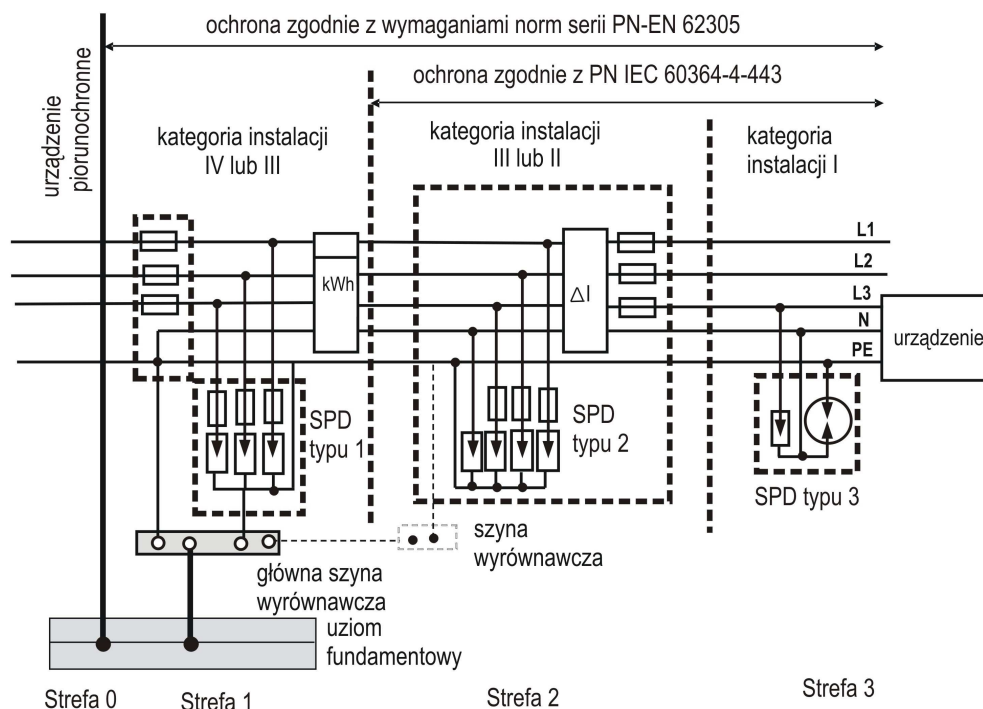
Rys. 21. Zalecane rozmieszczenie kilku otoków w rozbudowanym układzie uziemiającym

Urządzenia do ograniczania przepięć w instalacji elektrycznej

Przeznaczeniem urządzeń do ograniczania przepięć SPD jest ochrona instalacji elektrycznych i urządzeń przed działaniem przepięć atmosferycznych indukowanych, przepięć wewnętrznych oraz przed bezpośrednim oddziaływaniem na instalacje części prądu piorunowego. Urządzenia do ograniczania przepięć stosowane w sieciach rozdzielczych niskiego napięcia wewnątrz obiektów budowlanych zawierają, co najmniej, jeden element nieliniowy „ucinający przepięcie” lub ograniczający jego wartość szczytową. Podstawowe informacje o właściwościach typowych SPD zestawiono w tabeli 10. Ogólna zasadę rozmieszczania SPD różnych typów w instalacji elektrycznej w obiekcie budowlanym w zależności od strefy zagrożenia piorunowego oraz kategorii instalacji przedstawia rys. 22.

Tabela 10. Charakterystyka urządzeń do ograniczania przepięć stosowanych w sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia

Klasy prób SPD	Przeznaczenie
Klasa I	Niedopuszczanie do wnikania części prądu piorunowego i wszelkiego rodzaju przepięć do instalacji elektrycznej wewnątrz obiektu budowlanego. Ograniczanie przepięć atmosferycznych oraz wszelkiego rodzaju przepięć łączeniowych, wyrównywanie potencjałów instalacji wchodzących do obiektu budowlanego.
Klasa II	Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi indukowanymi, wszelkiego rodzaju przepięciami łączeniowymi lub przepięciami „przepuszczonymi” przez urządzenia ochrony przepięciowej badane zgodnie z wymaganiami klasy I.
Klasa III	Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi indukowanymi i przepięciami łączeniowymi powstającymi w instalacji elektrycznej wewnątrz obiektu budowlanego.
Typ SPD	Właściwości
Ucinający napięcie	Duża impedancja przy braku przepięcia, która zmniejsza się gwałtownie w odpowiedzi na występowanie uderu napięciowego. Elementy stosowane do „ucinania napięcia” - iskierniki *, rury gazowe, tyrystory i triaki.
Ograniczający napięcie	Duża impedancja przy braku przepięcia, która zmniejsza się w sposób ciągły w miarę wzrostu prądu uderowego i napięcia. Podstawowe elementy - warystory* i diody ograniczające.
Kombinowany	Zawiera zarówno element ucinający napięcie jak i element ograniczający napięcie i mogą ucinąć napięcie, ograniczać napięcie lub spełniać te obie funkcje w zależności od charakteru doprowadzonego napięcia (np. równoległe lub szeregowe połączenie iskiernika z warystorem).
* najczęściej stosowane elementy,	



Rys. 22. Wielostopniowy system ograniczania przepięć w instalacji elektrycznej w obiekcie budowlanym

W zależności od przeznaczenia, SPD powinny być poddane próbom klasy I, II lub III. Urządzenia do ograniczania przepięć badane zgodnie z wymogami poszczególnych klas będą w dalszej części opracowania nazywane SPD typu 1, 2 lub 3.

Układy poprawnie dobranych i rozmieszczonych urządzeń do ograniczania przepięć powinny zapewnić bezawaryjne działanie urządzeń, nie powodować przerw w zasilaniu oraz poprawnie współpracować z innymi urządzeniami w instalacji elektrycznej. Dobierając poziomy ograniczania przepięć przez układy SPD należy uwzględnić poziomy wytrzymałości udarowej urządzeń oraz instalacji elektrycznej.

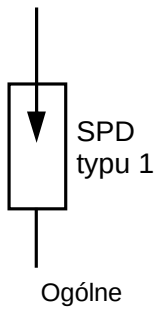
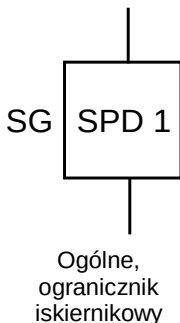
Urządzenia do ograniczania przepięć typu 1

Urządzenie do ograniczania przepięć typu 1 są zalecane do ochrony instalacji elektrycznej oraz przyłączy zasilania urządzeń przed zagrożeniami stwarzanymi przez:

- część prądu piorunowego wpływającego do głównego punktu wyrównywania potencjałów w obiekcie budowlanym podczas bezpośredniego wyładowania w urządzenie piorunochronne tego obiektu,
- rozprzyskający się prąd piorunowy podczas wyładowań w przewody linii napowietrznych lub zakopane kable niskiego napięcia,
- przepięcia atmosferyczne indukowane oraz wszelkiego rodzaju przepięcia łączeniowe dochodzące do obiektu z sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia.

W tabeli 11 zestawiono wymagany zakres badań, podstawowe dane techniczne oraz zasady montażu SPD typu 1.

Tabela 11. Podstawowe informacje o SPD typu 1

Zakres	Podstawowe dane	
Montaż	Na szynie 35 mm lub w gniazdach bezpiecznikowych za głównymi zabezpieczeniami zasilania w miejscu wprowadzania instalacji elektrycznej do obiektu. Typowe miejsca montażu: złącze, dodatkowa szafka obok złącza, rozdzielnica główna.	
Zakres badań właściwości ograniczających	Podstawowe badania właściwości ograniczających SPD obejmują próby: • znamionowym napięciem udarowym 1,2/50, • prądem udarowym I_{imp}, (symulujący prąd piorunowy), • znamionowym prądem wyładowczym 8/20.	
Podstawowe parametry	• rodzaj i poziom napięcia znamionowego (napięcie przemiennie, stałe lub obydwa napięcia), • największe trwałe napięcie pracy oraz znamionową częstotliwość, • napięciowy poziom ochrony, • największą zalecaną wartość dodatkowego zabezpieczenia nadprądowego (jeśli jest wymagane), • wytrzymałość zwarciovą, • sposób montażu (identyfikacja zacisków, określenie pozycji normalnej).	
Typowe oznaczenie		

Zapewnienie ochrony instalacji elektrycznej w obiekcie budowlanym wymaga, aby wartości szczytowe udarów „przepuszczonych” przez układy SPD typu 1 nie przekraczały wartości 4 kV, ale mogą być również niższe

wartości najczęściej poniżej 2,5 kV lub 1,5 kV.

Podstawowymi elementami SPD typu 1 są iskierniki, które najczęściej wytrzymują przepływ prądów udarowych o wartościach szczytowych 20 kA lub 25 kA i kształcie 10/350.

Stosując układy SPD typu 1 ograniczamy do dopuszczalnych wartości nie tylko napięcia i prądy udarowe dochodzące z zewnątrz do instalacji elektrycznej, ale również chronimy instalację i urządzenia przed działaniem części prądu piorunowego.

Układy połączeń

Urządzenia do ograniczania przepięć typu 1 należy instalować za głównymi zabezpieczeniami nadprądowymi w następujących układach połączeń [543, 544]:

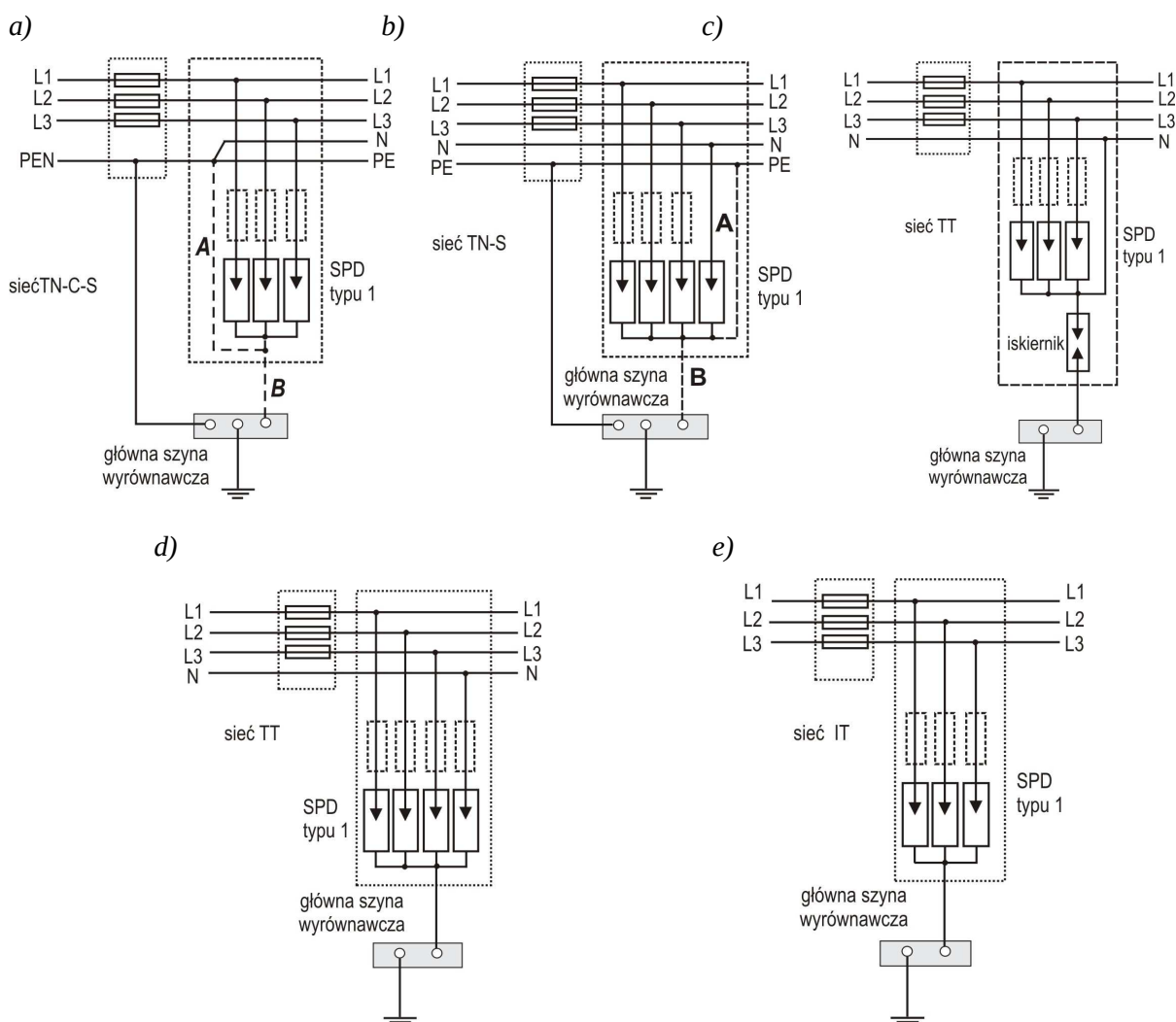
w układach sieci TN i TT

- jeżeli przewód neutralny jest uziemiony na początku instalacji, między każdy przewód fazowy a główną szynę wyrównawczą,
- jeżeli przewód neutralny nie jest uziemiony na początku instalacji, między każdy przewód fazowy oraz przewód neutralny a główną szynę wyrównawczą.

w układach sieci IT

- między każdy przewód fazowy a główną szynę wyrównawczą oraz, jeżeli występuje przewód neutralny, między przewód neutralny a główną szynę wyrównawczą.

Na rysunku 23 przedstawiono typowe układy połączeń SPD w różnych układach sieci.



W sieci TN – należy wybrać korzystniejsze, krótsze połączenie (wariant A lub B).

Rys. 23. Układy połączeń SPD typu 1 w różnych układach sieci

W układzie sieci TN, jeśli występują połączenia pomiędzy SPD a szyną wyrównawczą przekraczające wymagane długości, wskazane jest łączenie SPD z przewodem PE (alternatywne połączenia oznaczane liniami przerywanymi odpowiednio A i B na rys. 23a,b).

W układzie sieci TT istnieje możliwość zastosowania układu 4 SPD (rys. 23d) tzw. połączenie typu 1 lub układu zawierającego 3 urządzenia do ograniczania przepięć oraz iskiernik nazywany również SPD N-PE (rys. 23c). Taki układ nazwano połączeniem typu 2.

Wadą układu połączeń typu 1 jest możliwość wystąpienia napięcia na przewodzie PE w przypadku uszkodzenia jednego z SPD. W takim obwodzie należy zapewnić skuteczną ochronę przed dotykiem pośrednim. Można to osiągnąć umieszczając układ SPD za urządzeniem różnicowoprądowym.

W przedstawionym układzie połączeń urządzenia różnicowoprądowe będą narażone na działanie prądów udarowych po zadziałaniu SPD. Jeśli zagrożeniem są tylko prądy wyładowcze o kształcie $8/20 \mu s$ to istnieje możliwość doboru urządzeń różnicowoprądowych odpornych na ich działanie. Przepływ części prądu piorunowego może spowodować uszkodzenie urządzenia różnicowoprądowego.

Podsumowanie

Poprawne zaprojektowanie i wykonanie urządzenia piorunochronnego wymaga przyjęcia odpowiedniej dla chronionego obiektu koncepcji ochrony i ścisła jej realizacja. Jest to szczególnie ważne w przypadku obiektów wyposażonych w urządzenia i systemy elektroniczne wrażliwe na piorunowe impulsy elektromagnetyczne. Pojawiają się wymagania niedopuszczenia do bezpośredniego oddziaływania prądu piorunowego na urządzenia i eliminacja możliwości wnikania prądu piorunowego do obiektu.

Spełnienie powyższych wymagań można osiągnąć stosując odpowiednio dobrane układy zwodów podwyższonych oraz doprowadzając do rozplywu prądu piorunowego w przewodzących elementach ścian zewnętrznych lub odpowiednio ułożonych przewodach odprowadzających.

Zapewnienie bezawaryjnego działania urządzeń i systemów elektronicznych wymaga zwrócenia szczególnej uwagi na środki wewnętrznej ochrony odgromowej.

Pojawiają się wymagania:

- ograniczania prądów i napięć udarowych w liniach przesyłu sygnałów,
- ograniczania różnic potencjałów wewnątrz obiektów,
- ograniczania pola elektromagnetycznego wewnątrz obiektu,

Spełnienie powyższych wymagań jest możliwe, jeśli opracowanie projektu i wykonanie ochrony odgromowej będzie powierzane ekspertom w dziedzinie ochrony odgromowej, posiadającym dodatkowo niezbędną wiedzę z dziedziny kompatybilności elektromagnetycznej.