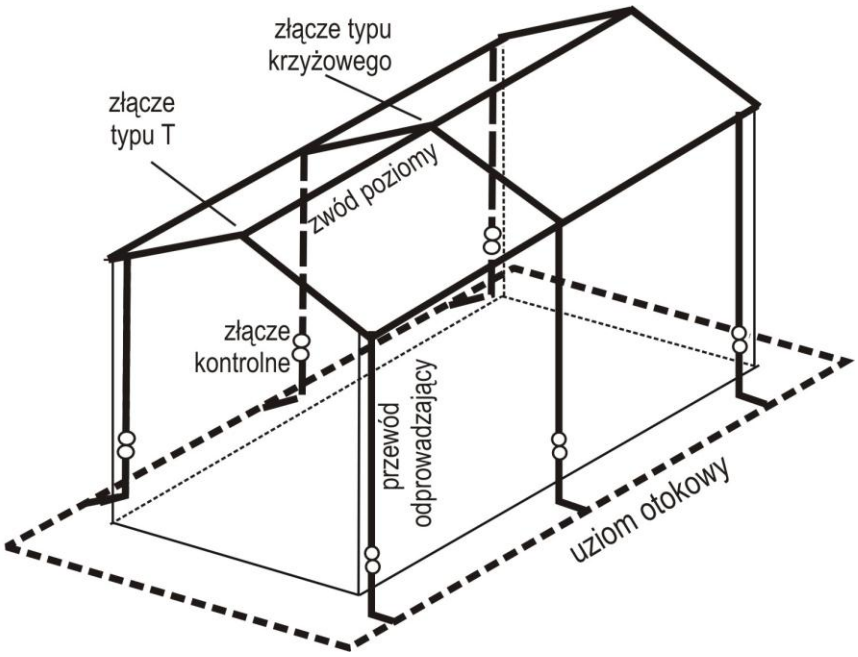
Przykładowe rozwiązania urządzenia piorunochronnego na typowych obiektach budowlanych oraz systemów ograniczania przepięć w instalacji elektrycznej

Andrzej Sowa
Politechnika Białostocka

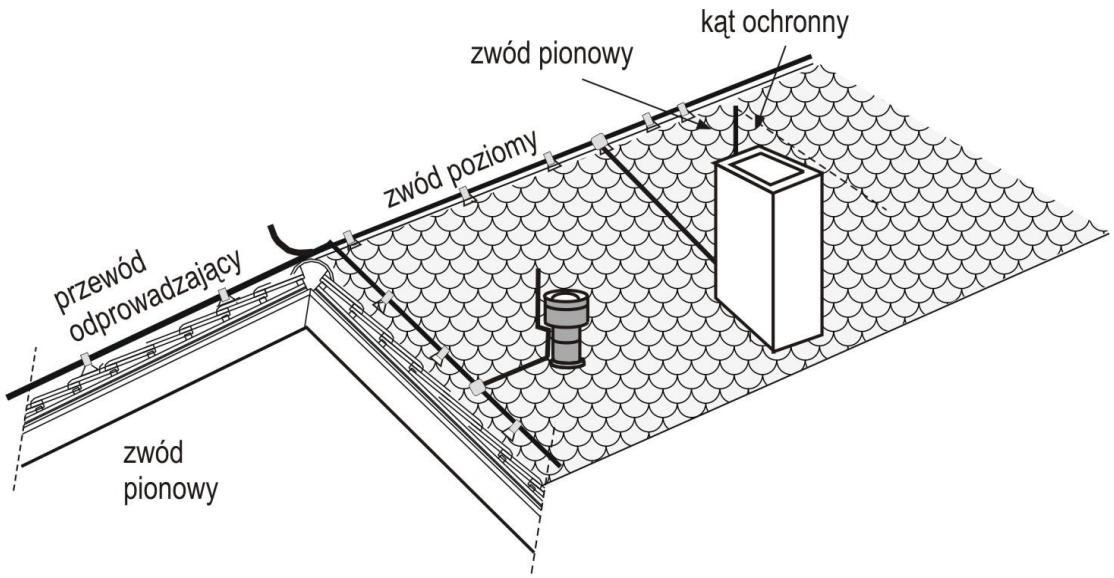
Do podstawowych części zewnętrznego urządzenia piorunochronnego (rys. 1.) należy zaliczyć:

- **zwody** przeznaczone do przechwytywania prądów piorunowych wyładowań atmosferycznych,
- **przewody odprowadzające** łączące zwody z uziomem obiektu,
- **uziomy** - elementy metalowe lub zespoły elementów metalowych zapewniające kontakt z ziemią i służą do rozpraszania prądu piorunowego



Rys. 1. *Typowe urządzenie piorunochronne na obiekcie budowlanym*

Jednym z głównych zadań poprawnie zaprojektowanego i wykonanego zewnętrznego urządzenia piorunochronnego jest ochrona urządzeń i instalacji na dachu i ścianach obiektu przed bezpośrednim oddziaływaniem prądu piorunowego.
Typowe kominy z materiałów nieprzewodzących, które nie są umieszczone w przestrzeniach chronionych tworzonych zwody umieszczone na dachu obiektu powinny być chronione przed bezpośrednim wyładowaniem piorunowy.
Do ochrony stosowane są najczęściej mocowane do kominów zwody pionowe lub pierścieniowe. Wysokość zwodu pionowego powinna zapewnić przestrzeń chronioną dla komina (Rys. 2).
Nadbudówki dachowe, do których doprowadzane są instalacje elektryczne lub obwody sygnałowe należy umieszczać w przestrzeniach chronionych.



Rys. 2. *Ochrona kominów z materiałów nieprzewodzących*

Elementy wykorzystywane do ochrony powinny:

- stworzyć odpowiednie przestrzenie chronione dla urządzeń i instalacji na dachu obiektu,
- wyeliminować możliwość powstawania przeskoków iskrowych pomiędzy elementami urządzenia piorunochronnego a chronionymi urządzeniami lub instalacjami,

Wszystkie urządzenia dachowe zawierające wyposażenie elektryczne lub elektroniczne, lub urządzenia połączone z instalacjami przewodzącymi wewnątrz obiektu budowlanego powinny się znajdować w przestrzeniach chronionych tworzonych przez układy zwodów pionowych lub poziomych. Niewielkie urządzenia metalowe, do których nie dochodzą instalacje przewodzące z wnętrza obiektu nie wymagają dodatkowej ochrony.
Jeśli te urządzenia znajdują się w sąsiedztwie zwodów i nie są zachowane niezbędne odstępy izolacyjne to powinny być połączone z elementami urządzenia piorunochronnego.
Zasada wyznaczania odstępów bezpiecznych przedstawiona zostanie dla urządzenia piorunochronnego składającego się ze zwodu poziomego ułożonego nad kalenicą oraz czterech przewodów odprowadzających.
Przy wyznaczaniu odstępów izolacyjnych *s,* należy zastosować zależność:

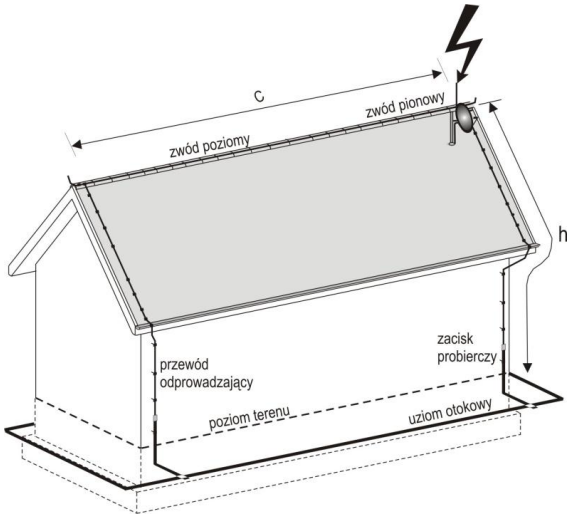
$$s \geq \frac{k_i}{k_m}\left(k_{c1} \cdot l_1 + k_{c2} \cdot l_2 + ... + k_{cm} \cdot l_m\right)$$

gdzie : l_1, l_2,… l_m - odcinki przewodów urządzenia piorunochronnego w których płyną prądy o wartościach określanych przez współczynniki k_{c1}, k_{c2}, …k_{cm}.
W przypadku typowego dachu dwuspadowego, określając odstęp izolacyjny s od zwodu pionowego do chronionego urządzenia, należy wykorzystać zależność (3) 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.
Odstęp izolacyjny będzie obliczany przy narożniku budynku – wyładowanie w narożnik (Tabela 1. i 2) oraz w zwód poziomy na środku dachu (Tabela 3).

Tabela 1. *Przykłady obliczania odstępów izolacyjnych*



Odstęp izolacyjne

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

Ochrona masztu antenowego przed bezpośrednim wyładowaniem piorunowym.

Odstęp izolacyjny pomiędzy dodatkowym zwodem pionowym a masztem antenowym.

PRZYKŁAD 1.
Podstawowe dane:

- poziom ochrony IV, $k_{i1} = 0,04$,
- długość c = 20 m,
- długość h_1 = 15 m,
- odstępu izolacyjnego w powietrzu $k_{m1} = 1$,

$$\frac{c}{h} = \frac{20m}{10m} = 2$$ z tabeli 2 $k_{c1} = 0,41$

$$s \geq k_{i1} \cdot \frac{k_{c1}}{k_{m1}} h_1$$

$$s \geq \frac{0,04}{1} \cdot 0,41 \cdot 15m = 0,164m = 24,6cm$$

Odstęp izolacyjny większy od 16,4 cm.

PRZYKŁAD 2.
Podstawowe dane:

- poziom ochrony II, $k_{i2} = 0,06$
- długość c = 20 m,
- długość h_2 = 20 m,
- odstępu izolacyjnego w betonie $k_{m2} = 0.5$,

$$\frac{c}{h} = \frac{20m}{20m} = 1$$ z tabeli 2 $k_{c2} = 0,37$

$$s \geq k_{i2} \cdot \frac{k_{c2}}{k_{m2}} h_2$$

$$s \geq \frac{0,06}{0,5} \cdot 0,37 \cdot 20m = 0,88m = 88cm$$

Odstęp izolacyjny w betonie większy od 88 cm.

Tabela 2. *Wartości współczynników k_c w zależności od liczy przewodów odprowadzających oraz wymiarów obiektu (uziemienie typu B)*

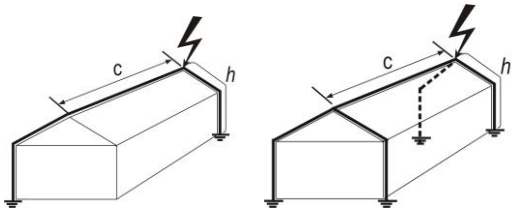
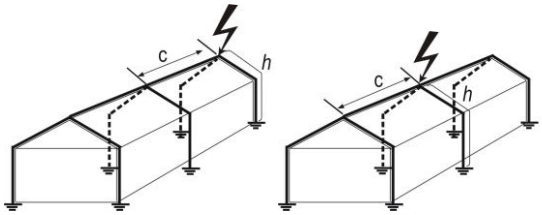
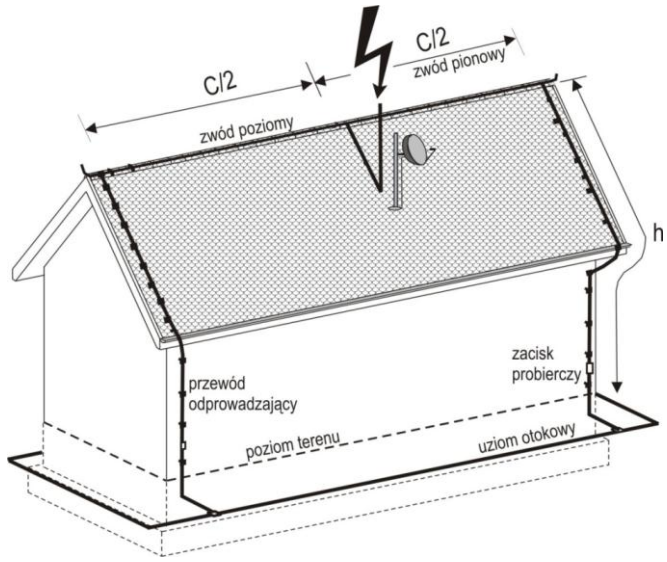
Układ przestrzenny (uziom typu A)	Układ	$\frac{C}{h} =$	0,33	0,50	1,00	2,00
 **Układ K** **układ L**	**K**	k_C	0,57	0,60	0,66	0,75
	L	k_C	0,31	0,33	0,37	0,41
 **Układ M** **Układ N**	**M**	k_C	0,28	0,33	0,37	0,41
	N	k_C	0,23	0,25	0,30	0,35

Tabela 3. *Przykłady obliczania odstępów izolacyjnych*



Odstęp izolacyjne

$$s \geq \frac{k_i}{k_m}\left(k_{c1} \cdot l_1 + k_{c2} \cdot l_2 + k_{c3} \cdot l\right)$$

Ochrona komina w przed bezpośrednim wyładowaniem piorunowym.

Prąd piorunowy płynie w zwodzie pionowym następnie rozpływa się równomiernie i w każdym z odcinków zwodu płynie połowa prądu I_p. Następnie następuje równomierny podział prądu w przewodach odprowadzających i w każdym z nich płynie 0,25 I_p.

Przy takim podziale otrzymujemy:

- $k_{c1} = 1$
- $k_{c2} = 0,5$
- $k_{c2} = 0,25$

PRZYKŁAD 3.

Podstawowe dane:

- poziom ochrony IV, $k_{i1} = 0,04$,
- długość $l_1 = 2$m
- długość c = 20 m,
- długość $h_1 = 15$ m,
- odstępu izolacyjnego w powietrzu $k_{m1} = 1$,

Odstęp izolacyjny wynosi

$$s \geq \frac{k_{i1}}{k_{m1}}\left(k_{c1} \cdot l_1 + k_{c2} \cdot \frac{c}{2} + k_{c3} \cdot h_1\right)$$

$$s \geq \frac{0,04}{1} \cdot (2m \cdot 1 + 10m \cdot 0,5 + 15m \cdot 0,25) = 0,43m$$

Odstęp izolacyjny w powietrzu powinien być większy od 43 cm.

PRZYKŁAD 4.

Podstawowe dane:

- poziom ochrony II, $k_{i2} = 0,06$,
- długość $l_1 = 2$m,
- długość c = 20 m,
- długość $h_2 = 20$ m,
- odstępu izolacyjnego w betonie $k_{m2} = 0.5$,

$$s \geq \frac{k_{i2}}{k_{m2}}\left(k_{c1} \cdot l_1 + k_{c2} \cdot \frac{c}{2} + k_{c3} \cdot h_2\right)$$

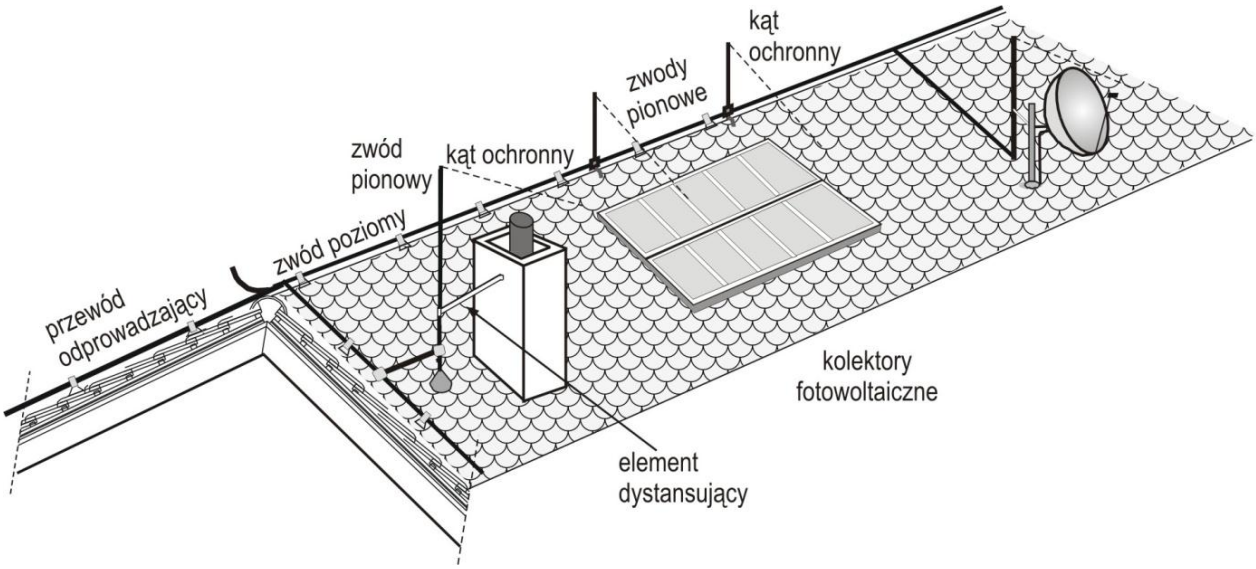
$$s \geq \frac{0,06}{0,5} \cdot (2m \cdot 1 + 10m \cdot 0,5 + 20m \cdot 0,25) = 1,44m$$

Odstęp izolacyjny w betonie powinien być większy większy od 1,44 m.

Instalując zwody na dachach obiektów budowlanych należy zwrócić uwagę na konieczność zachowania odstępów pomiędzy zwodami a instalacjami przewodzącymi (np. instalacje elektryczne, telekomunikacyjne, wentylacyjne) wewnątrz obiektów budowlanych.
W praktyce bezpieczne odstępy izolacyjne najłatwiej zachować w nowo budowanych obiektach.
W takim przypadku można zaprojektować i wykonać instalacje przewodzące w obiekcie w taki sposób, aby były dostatecznie oddalone od elementów instalacji piorunochronnej.
Sprawa jest znacznie bardziej skomplikowana w obiektach starszych, w których dokonywana jest rozbudowa lub przebudowa np. adaptacji sztychu do celów mieszkalnych lub gospodarczych. W takich przypadkach właściwe rozmieszczenie instalacji i spełnienie wymagań zachowania odstępów bezpiecznych może być bardzo kłopotliwe lub wręcz niewykonalne. Rozwiązaniem w takiej sytuacji może być zastosowanie zwodów podwyższonych lub połączeń wyrównawczych.

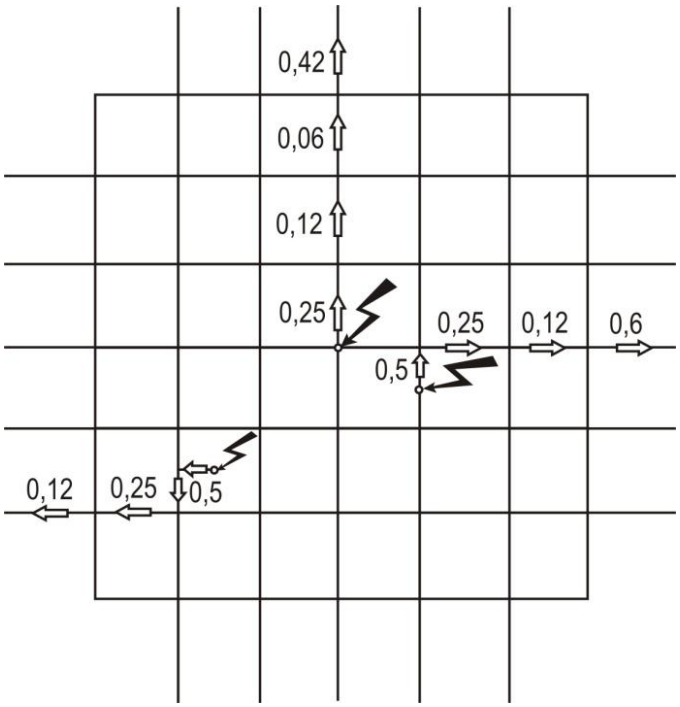
W przypadkach bardziej rozbudowanych urządzeń piorunochronnych wyznaczanie odstępu izolacyjnego jest znacznie bardziej skomplikowane.

Przedstawione zasady należy zastosować do ochrony wszystkich urządzeń znajdujących się na dachu obiektu (rys. 3).



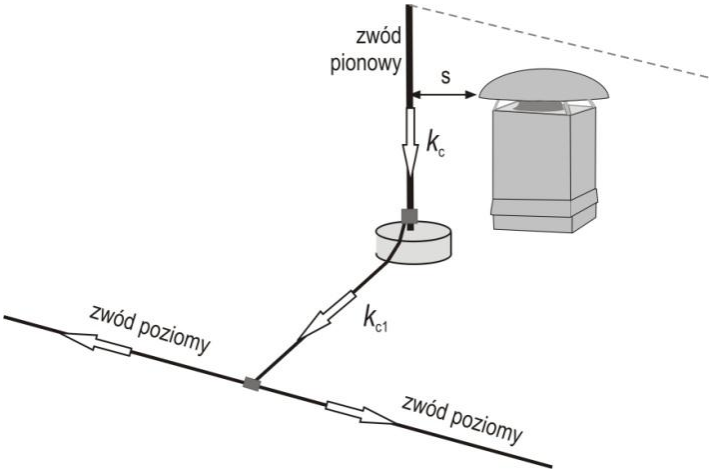
Rys. 3. Ograniczanie *przepięć w instalacji elektrycznej zasilającej urządzenie umieszczone w przestrzeni chronionej na dachu obiektu budowlanego*

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. 4.



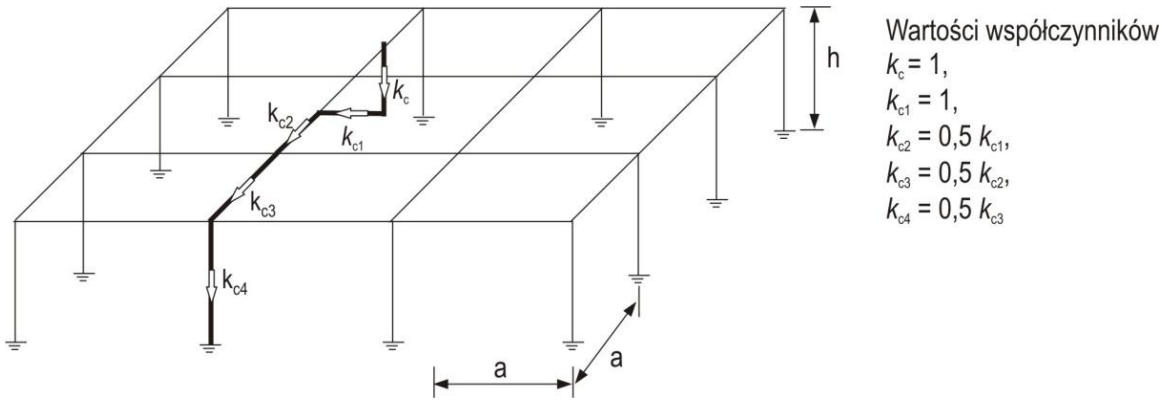
Rys. 4. *Ogólne zasady wyznaczania współczynników k_c podczas wyładowań w zwodu umieszczone w równych punktach dachu.*

W celu przedstawienia zasad wyznaczania odstępów izolacyjnych rozpatrzony zostanie przypadek ochrony odgromowej urządzenia znajdującego się w dowolnym punkcie dachu obiektu (rys. 5).



Rys. 5. *Przykład ochrony urządzenia na dachu obiektu*

Szczegółowe zasady wyznaczania odstępu izolacyjnego przedstawione zostaną na przykładzie obiektu halowego wymagającego II poziomu ochrony (rys. 6).



Rys. 6. *Przykład wyznaczania wartości współczynników k_c*

W przedstawionym przykładzie odstęp izolacyjny wynosi:

$$s > \frac{k_i}{k_m}\left(k_c \cdot h_1 + k_{c1} \cdot l + k_{c2} \cdot \frac{a}{2} + k_{c3} \cdot a + k_{c4} \cdot h\right)$$

gdzie:

h_1 - odległość od miejsca zbliżenia zwodu i urządzenia do powierzchni dachu,

l - długość przewodu łączącego zwód pionowy ze zwodem poziomym.

Zakładając następujące parametry urządzenia piorunochronnego

a = 10 m, h = 20 m, h_1 = 2 m, l = 5 m, k_i = 0,06, k_m = 1

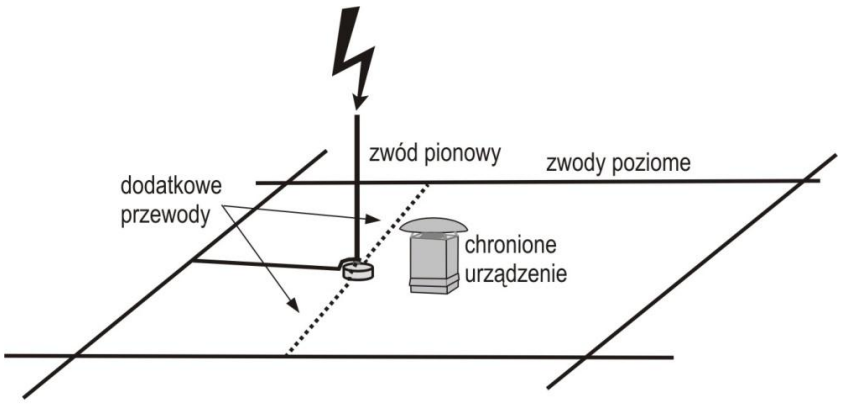
otrzymujemy

$$s > \frac{0{,}06}{1}\left(1 \cdot 2m + 1 \cdot 5m + 0{,}5 \cdot 5m + 0{,}25 \cdot 10m + 0{,}125 \cdot 20m\right) = 0{,}87m$$

Przykładowe rozwiązania ochrony odgromowej na dachach płaskich przedstawiono na rys. 7.

Rys. 7. Przykłady rozwiązań zwodów *pionowych na dachu płaskim;*

Wyznaczony odstęp izolacyjny można zmniejszyć dodając dodatkowe przewody łączące zwód pionowy ze zwodami poziomymi (rys. 8).



Rys. 8. *Urządzenie piorunochronne z dodatkowymi przewodami (linie przerywane)*

Po zastosowaniu dodatkowych przewodów otrzymujemy

$$s > \frac{0,06}{1}\left(1 \cdot 2m + 0,33 \cdot 5m + 0,165 \cdot 5m + 0,165 \cdot 10m + 0,083 \cdot 20m\right) = 0,47m$$

Przedstawione wyniki obliczeń wskazują, że zastosowanie od jednego do trzech dodatkowych przewodów łączących zwód pionowy ze zwodami poziomymi może znacznie zmniejszyć wymagane odstępy izolacyjne.

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 4.11 lub informacje zawarte w katalogach producentów elementów urządzenia piorunochronnego.

Tabela 4. *Wysokość i ciężar podstaw betonowych w zależności od wysokości zwodu pionowego (prędkość wiatru do 150 km/h)*

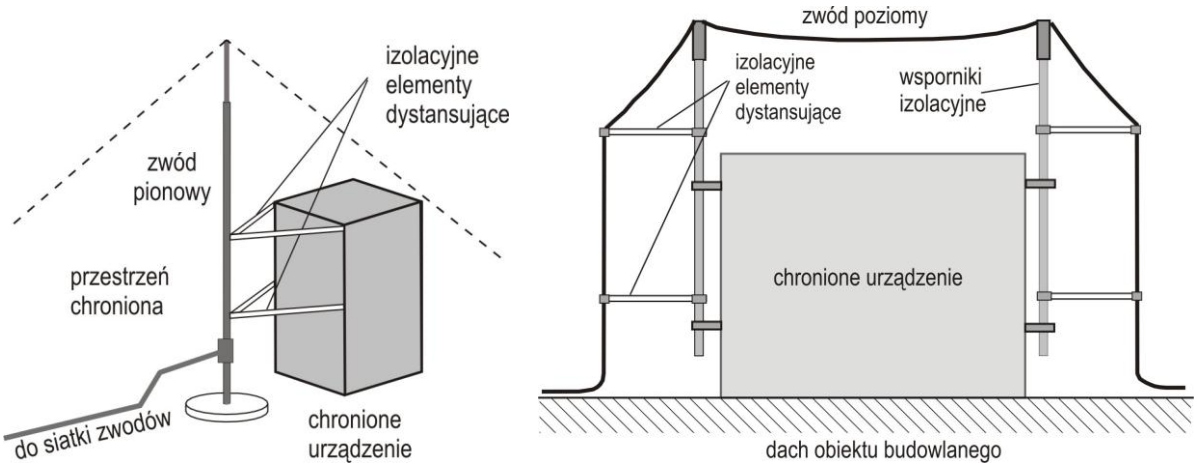
Betonowa podstawa		**Wysokość zwodu**				
		1,0 m	1,5 m	2,0 m	2,5 m	3,0 m
Średnica ϕ = 300 mm	Wysokość (cm)	1,0	4,5	9,5	17	25,5
	Ciężar (kg)	2,0	8,5	17,5	31	46
Średnica ϕ = 350 mm	Wysokość (cm)	0,5	2,5	5,5	10,0	15,5
	Ciężar (kg)	2,0	6,5	13,5	25,0	38,0

W praktyce zwiększenie ciężaru uzyskujemy łącząc ze betonowe podstawy (Rys. 9)

Rys. 9. *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. 10).

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



Rys. 10. *Zwody pionowe mocowane do chronionego urządzenia*

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.

Dodatkowo należy zwrócić uwagę na przewody instalacji elektrycznej oraz przewody przesyłu sygnałów dochodzące do chronionych urządzeń na dachach obiektów budowlanych.

Uziomy

Do celów ochrony odgromowej i przepięciowej należy w pierwszej kolejności wykorzystać uziomy naturalne obiektu, którymi mogą być:

- nieizolowane od ziemi podziemne metalowe części chronionych obiektów i urządzeń,
- żelbetowe fundamenty i podziemne części chronionych obiektów (nie izolowane od ziemi lub zamalowane warstwą przeciwwilgociową),
- metalowe rurociągi wodne oraz osłony studni artezyjskich znajdujące się w odległości nie większej niż 10 m od chronionego obiektu (pod warunkiem uzyskania zgody od właściciela),
- powłoki metalowe kabli telekomunikacyjnych i elektroenergetycznych o grubości nie mniejszej niż 1,1 mm oraz pancerze kabli ułożonych w ziemi, pod warunkiem, że kable te nie mają złączy izolujących i nie są narażone na uszkodzenia na skutek nadmiernej korozji,
- stalowe i żelbetowe podziemne części obiektów budowlanych i masztów oraz elementy wsporcze w studniach kablowych,
- uziomy sąsiednich obiektów znajdujących się w odległości nie większej niż 10 m od chronionego obiektu.

Wymagana jest jednak zgoda jednostki eksploatującej sąsiednie obiekty na wykorzystanie ich jako uziomów, a także zapewnienie, że użytkownik uziemienia będzie zawiadomiony o każdej planowanej zmianie tych obiektów, która mogłaby wpływać na ich przydatność jako uziomów.

Jako uziomy naturalne nie powinny być stosowane:

- kable i rury mające osłony przeciwkorozyjne z materiałów termoplastycznych,
- rurociągi metalowe mające wstawki izolacyjne,
- ciągi rur metalowych przeznaczonych dla palnych cieczy lub gazów oraz ogrzewania.

Powyższe elementy powinny być połączone z innymi metalowymi elementami w systemie połączeń wyrównawczych.

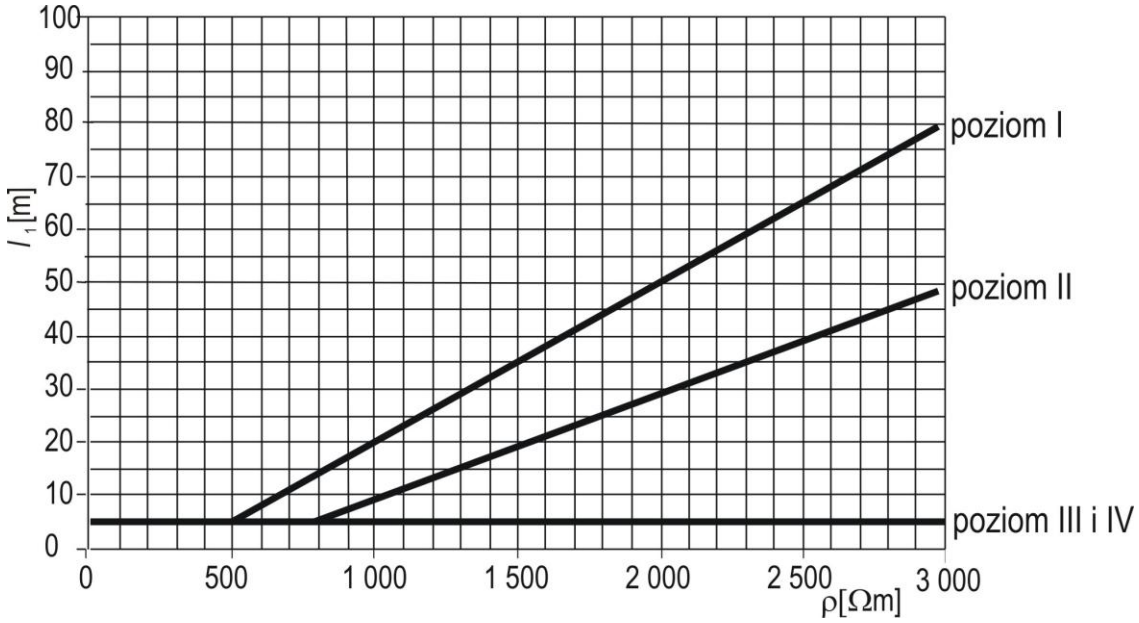
Przy budowie nowych obiektów zalecane jest wykorzystywanie uziomów fundamentowych. Połączenia uziomów naturalnych z przewodami uziemiającymi powinny być wykonane w sposób trwały za pomocą spawania lub zgrzewania. Jeśli wykonanie takich połączeń jest niemożliwe lub utrudnione dopuszczalne jest wykorzystanie obejm lub uchwytów mających zacisk lub zaciski zabezpieczone przed rozluźnieniem się.

W przypadkach obiektów, w których nie ma możliwości wykorzystania uziomów naturalnych lub ich wykorzystanie jest niecelowe, należy stosować uziomy sztuczne, które powinny być wykonane z materiałów odpornych na korozję oraz na uszkodzenia mechaniczne występujące w czasie budowy sieci uziemiającej i w czasie normalnej pracy.

W fazie projektowania układu uziomowego należy:

- sprawdzić możliwości wykorzystania uziomu naturalnego i potrzebę jego ewentualnego uzupełnienia o dodatkowe uziomy sztuczne,
- w 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 o rezystywności gruntu, w którym projektowany uziom będzie umieszczony oraz wymaganiach, jakie nakładają na uziom inne zalecenia i funkcje jakie powinien on spełnić.
Uziomy stosowane do celów ochrony odgromowej podzielono na dwa typy. Podstawową charakterystykę poszczególnych typów zestawiono w tabeli 5
Minimalna długość uziomu L uzależniona jest od rezystywności gruntu oraz przyjętego poziomu ochrony. Zalecane długości uziomu L przedstawiono na rys. 11.



Rys. 11. *Minimalne długości uziomów w zależności od klasy urządzenia piorunochronnego oraz rezystywności gruntu*

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

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

Przykłady określania poprawności wymiarów uziomów obiektów budowlanych przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 5. *Charakterystyka uziomów typu A i B*

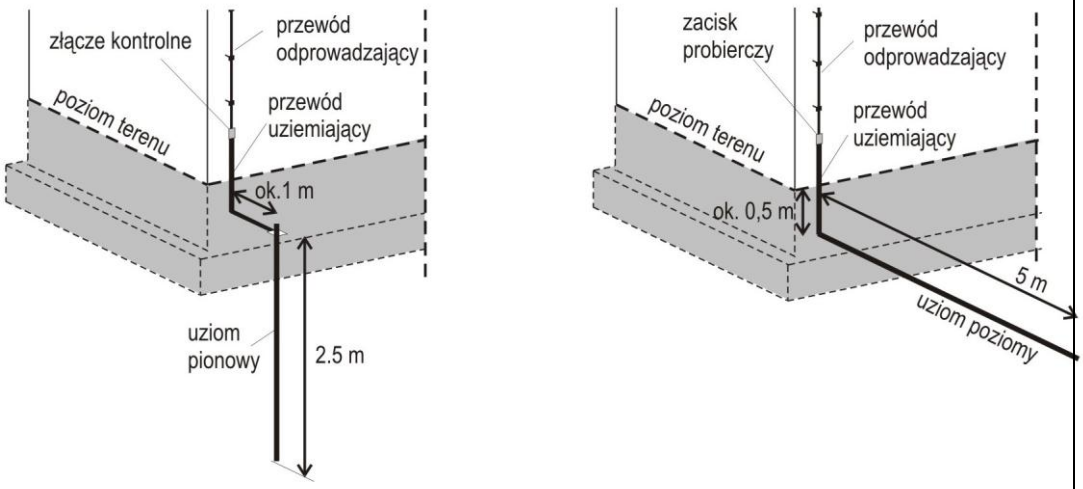
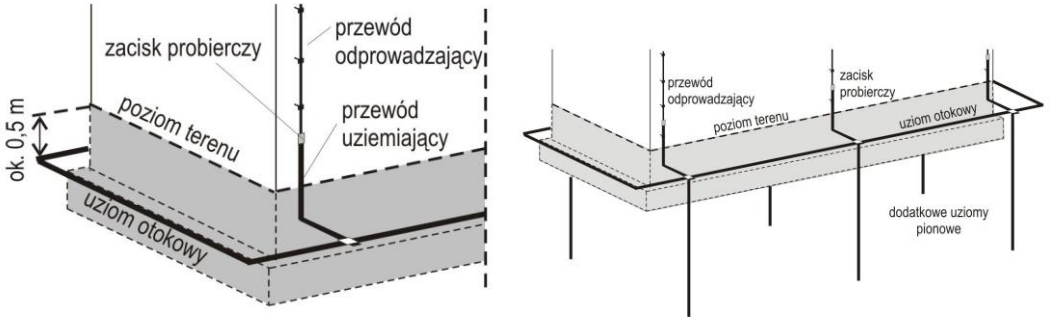
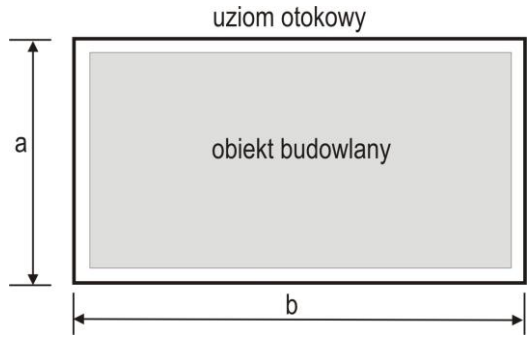
Uziom	Podstawowe wymagania
Typ A	Składa się z poziomych lub pionowych uziomów dołączonych do każdego z przewodów odprowadzających instalacji piorunochronnej za pomocą zacisków probierczych.
	Do tego typu uziomów zaliczany jest również uziom otokowy łączący przewody odprowadzające, jeśli znajduje się w on ziemi na odcinku mniejszym niż 80% całej swojej długości.
	Długość uziomu - $L_{poz} \geq L$ 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 długości uziomu *L* przedstawiono na rys.11.
	 Uziomy typu A w przypadku III i IV poziomu ochrony.
Typ B	Uziomy otokowe posiadające bezpośredni kontakt z gruntem na całej swej długości lub, wg PN-EN 62305-3, na długości powyżej 80%, uziomy fundamentowe 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 $L_{dot\,pion} = (L - r)/2$ Liczba dodatkowych uziomów poziomych lub pionowych powinna być równa liczbie przewodów odprowadzających w zewnętrznym urządzeniu piorunochronnym. Liczba ta nie może być mniejsza od 2. Dodatkowe uziomy powinny być dołączane do uziomu otokowego w miejscach połączeń przewodów odprowadzających. 

Tabela 6. *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 = 1300 Ωm

$$s = a \cdot b = 22m \cdot 12m = 264m^2$$

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 = 1300 Ωm

$$s = a \cdot b = 22m \cdot 12m = 264m^2$$

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]

Uziomy o długościach mniejszych, w porównaniu do minimalnych długości przedstawionych na rys. 11 mogą być stosowane, jeśli uzyskana zostanie rezystancja uziemienia mniejsza niż 10 Ω.

Układ uziomów typu A jest odpowiedni dla urządzenia piorunochronnego wyposażonego w zwody pionowe lub poziome wysokie lub dla urządzenia piorunochronnego izolowanego.
W przypadku konieczności wykonywania układu złożonego z kilku uziomów pionowych połączonych równolegle, odległości między poszczególnymi uziomami powinny być nie mniejsze niż ich długości, przy czym jako odległość graniczną przyjmuje się 10 m.
Uziomy poziome, w porównaniu z uziomami pionowymi, nie wymagają odpowiedniej sztywności podczas ich pogrążania i mogą być wykonywane ze stalowych lub miedzianych taśm, drutów lub nawet linek (linki miedziane). Uziomy poziome należy układać na dnie wykopów o głębokości nie mniejszej niż 0,5 m.

Ułożony uziom należy zasypać gruntem bez kamieni, żwiru, cegieł lub gruzu. Uziomów nie należy także zasypywać piaskiem lub żużlem oraz umieszczać w korytach rzek, na dnie jezior lub stawów. Należy unikać układania uziomów pod warstwami, które nie przepuszczają wody (np. asfaltu lub betonu) oraz w pobliżu urządzeń powodujących wysychanie gruntu (np. rurociągów wody gorącej lub pary).

Uziomy poziome mogą być wykonane, jako promieniowe, jeżeli długość jednego promienia jest większa niż 5 m, a kąt między gałęziami takiego uziomu jest nie mniejszy niż 60°.

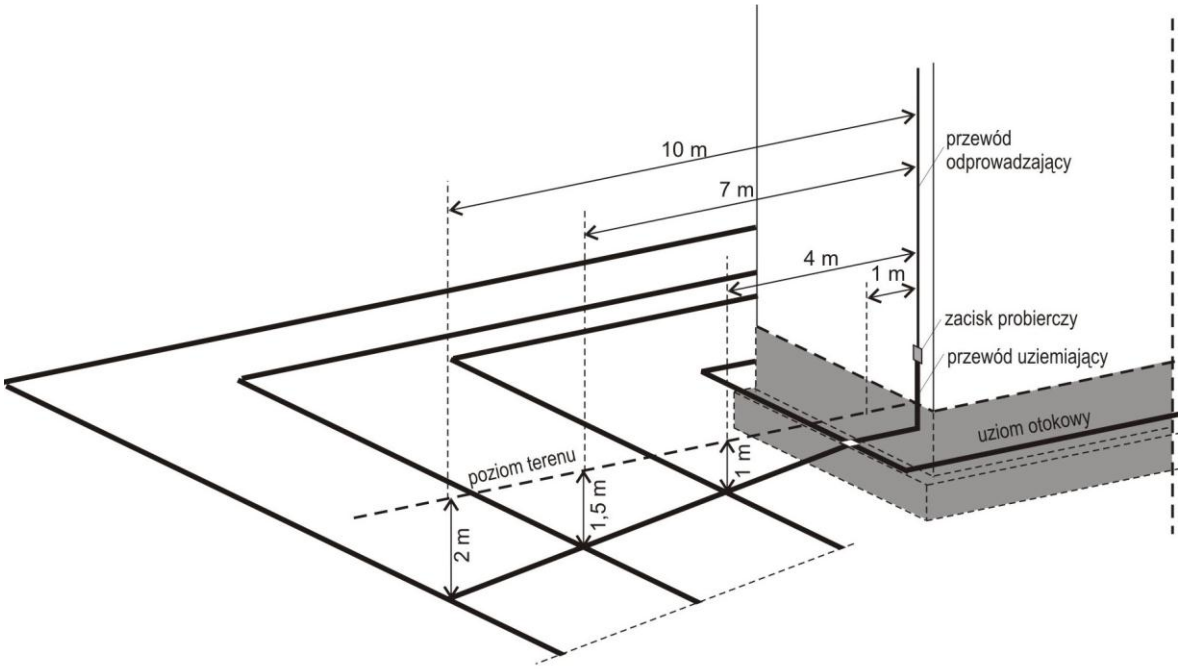
W przypadku obiektów budowlanych zalecanym rozwiązaniem jest stosowanie uziomu poziomego otokowego ułożonego w odległości nie mniejszej niż 1 m od krawędzi tego obiektu. Dotyczy to szczególnie urządzeń piorunochronnych obiektów wykonanych z takich materiałów jak cegła lub drewno ale nie posiadających zbrojowych stalą fundamentów.

Zaleca się wykonywanie pod fundamentami budynków uziomów z drutu stalowego ocynkowanego o średnicy, co najmniej 10 mm lub taśmy ocynkowanej o wymiarach zapewniających przekrój poprzeczny, co najmniej 90 mm^2.

Jeśli pojedynczy uziom otokowy nie zapewnia wymaganej rezystancji lub różnice potencjałów będą niebezpieczne dla osób przebywających w sąsiedztwie uziomu to należy rozważyć możliwość wysterowania potencjałów poprzez zastosowanie dodatkowych uziomów otokowych w odstępach około 3 m od pierwszego i następnych (rys. 12)

W miarę oddalania się od obiektu uziomy otokowe powinny być układane coraz głębiej w gruncie. Zalecane głębokości wynoszą:

- 1m - otok odległy o 4 m od obiektu,
- 1,5 m - otok 7 m od obiektu,
- 2 m – otok 10 m od obiektu.

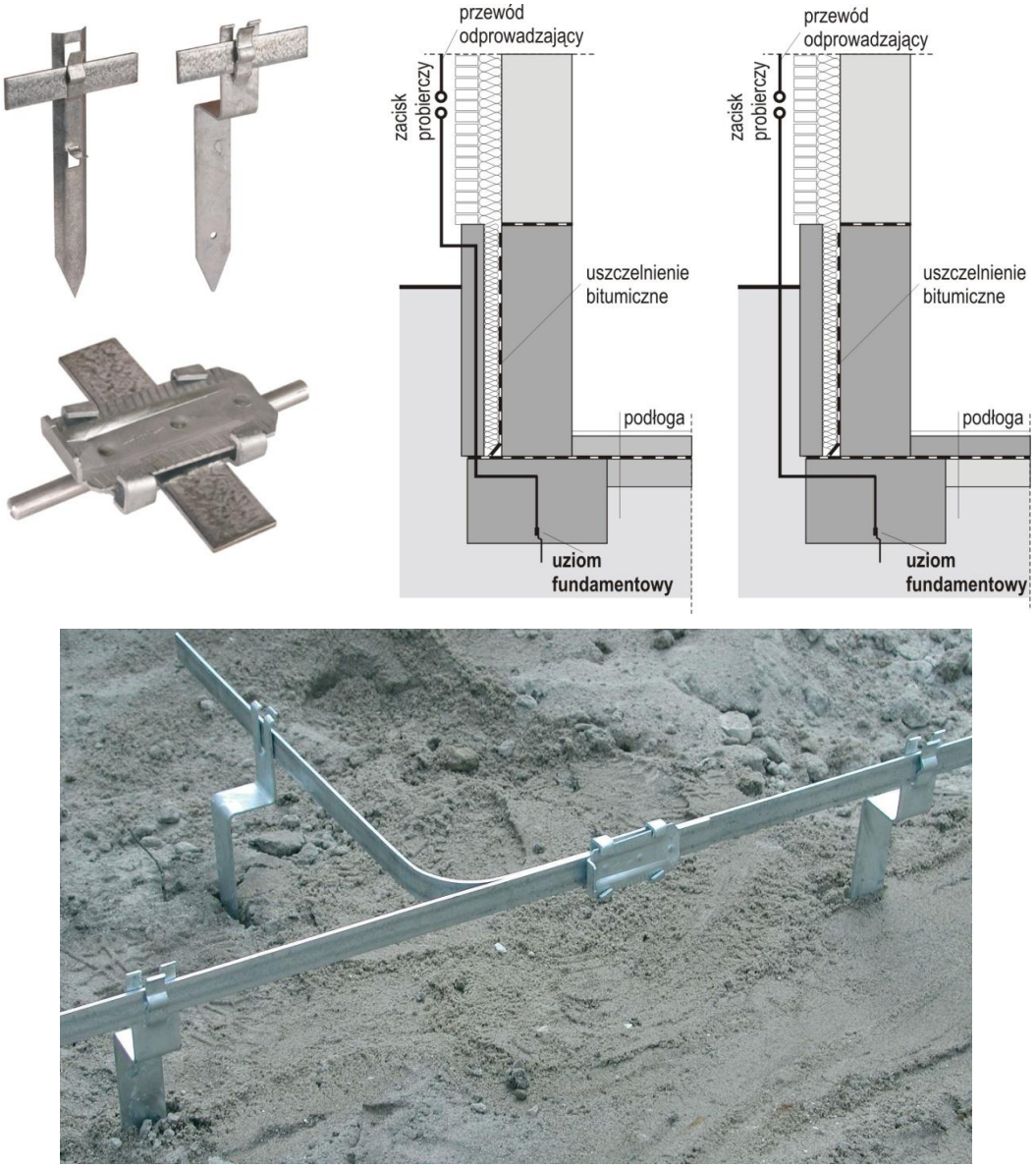


Rys. 12. *Zalecane rozmieszczenie kilku otoków w rozbudowanym układzie uziemiającym*

Uziomy fundamentowe sztuczne

Obecnie coraz częściej stosowane są tzw. **sztuczne** uziomy fundamentowe. Sztuczny uziom fundamentowy jest pewnym rodzajem uziomu otokowego. Jest on układany w dolnej warstwie ławy fundamentowej, która znajduje się bezpośrednio na gruncie podłoża.
Ochrona antykorozyjna, jaką zapewnia otulina betonowa powoduje, że na uziomy fundamentowe sztuczne mogą być stosowane pręty lub płaskowniki stalowe czarne. Przekrój poprzeczny elementów stalowych nie powinien być mniejszy niż 100 mm^2.
Zalecane jest stosowanie płaskowników stalowych 35 x 3,5 mm lub 25 x 4 mm lub drutów o średnicy nie mniejszej niż 10 mm. Zapewnienie ochrony przed korozją wymaga stosowania otuliny betonowej elementów stalowych uziomu o grubości co najmniej 50 mm.
Wykonując uziom fundamentowy sztuczny należy uwzględnić następujące zalecenia:

- elementy stalowe powinny być mocowane w taki sposób, aby przy wylewaniu betonu nie zmieniały swojego położenia,
- płaskowniki stalowe należy mocować pionowo (dłuższy bok przekroju poprzecznego prostopadły do powierzchni gruntu) stosując uchwyty co 2 – 3 m (rys. 13.).



Rys. 13. *Sztuczny uziom fundamentowy w obiekcie bez urządzenia piorunochronnego i przykłady jego mocowania*

Uziom fundamentowy należy połączyć z główną szyną uziemiającą lub głównym pierścieniem wyrównawczym i przewodami odprowadzającymi urządzenia piorunochronnego.
Uziom fundamentowy umieszczany jest pod fundamentami ścian zewnętrznych budynku. W przypadku rozległych uziomów (powierzchnia budynku przekracza 400 m^2) należy rozważyć potrzebę stosowania uziomów pod fundamentami ścian wewnętrznych.
Celowe jest również umieszczanie uziomu w fundamentach ścian wewnętrznych, jeśli powierzchnia obrysu budynku przekracza 400 m^2.
Trwałość takiego uziomu jest praktycznie nieograniczona. Żelazo w betonie ma w przybliżeniu taki sam potencjał galwaniczny szeregu elektrochemicznego, co miedz w gruncie. To powoduje, że uziomy umieszczone w gruncie i łączone z żelazem w betonie powinny być wykonane z miedzi lub stali nierdzewnej.

Ochrona przed napięciem dotykowym i krokowym

Podstawowym zadaniem urządzenia piorunochronnego jest ochrona istot żywych przed napięciami dotykowymi i krokowymi wywołanymi przez rozpływający się prąd piorunowy.

Projektując i wykonując urządzenie piorunochronne należy ocenić możliwość wystąpienia zagrożenia i zastosować środki jego redukcji. Podstawowym warunkiem redukującym zagrożenie do

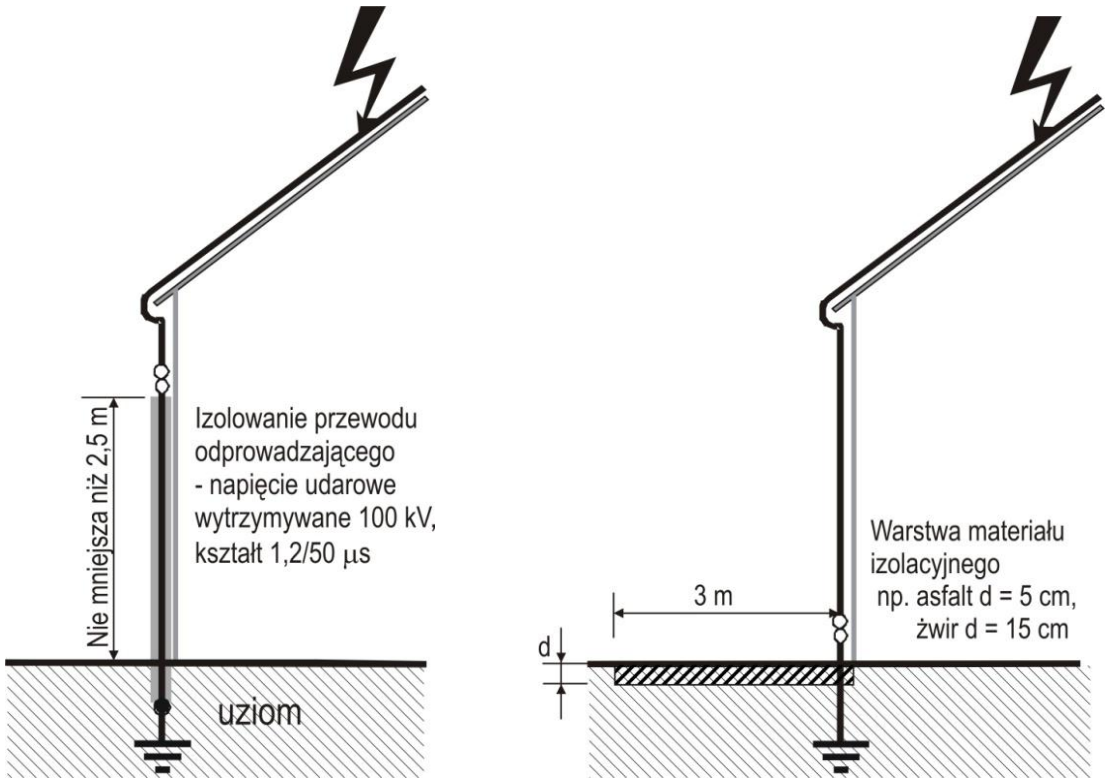
dopuszczalnych poziomów jest małe prawdopodobieństwo zbliżania się osób do przewodów odprowadzających oraz ich przebywania w zagrożonych obszarach.

Inne warunki, jakie należy spełnić w celu ograniczenia występującego zagrożenia przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. *Środki ochrony przed napięciami dotykowymi i krokowymi*

Sposoby ograniczania zagrożeń stwarzanych przez rozpływający się prąd piorunowy	
Napięcia dotykowe	Napięcia krokowe
1. Wykorzystanie rozbudowanego układu naturalnych elementów odprowadzających prąd piorunowy z zapewnioną ciągłością galwaniczną ich połączeń. 2. Izolowanie dostępnych przewodów odprowadzających przy pomocy materiałów o wytrzymałości udarowej nie mniejszej niż 100 kV (udar napięciowy o kształcie 1,2/50).	1. Wyrównanie potencjałów np. przy pomocy uziomów kratowych w obszarach, w których stwierdzono występowanie zagrożeń stwarzanych przez napięcia krokowe. 2. Sterowanie rozkładem potencjałów przez zastosowanie dodatkowych uziomów otokowych
Utworzenie wokół przewodu odprowadzającego (obszar o promieniu 3 m) przestrzeni o rezystywności warstwy powierzchniowej gruntu przekraczającej 5 kΩm (np. warstwa asfaltu lub żwiru o grubościach odpowiednio 5 cm oraz 15 cm).	
Fizyczne ograniczanie dostępu do przewodów odprowadzających lub umieszczanie widocznych informacji o występującym niebezpieczeństwie (np. tablice ostrzegawcze)	

Przykładowe rozwiązania ochrony przed napięciami dotykowym i krokowych przedstawiono na rys. 14.



Rys. 14. *Przykładowe rozwiązania ochrony przed napięciami dotykowym i krokowym*

W wyjątkowych przypadkach, w obiektach budowlanych należy chronić ludzi przed bezpośrednim wyładowaniem piorunowym. Ochrona jest wymagana w miejscach regularnego przebywania ludzi,

które są narażone na bezpośrednie wyładowania piorunowe (np. dachy pokryte warstwą ziemi, dachy wielopiętrowych parkingów).
W takich miejscach do ochrony odgromowej można wykorzystać naturalne elementy konstrukcji obiektu lub układy zwodów pionowych oraz poziomych. Określając obszar przestrzeni chronionej

Zasady tworzenia wielostopniowego systemu ograniczania przepięć

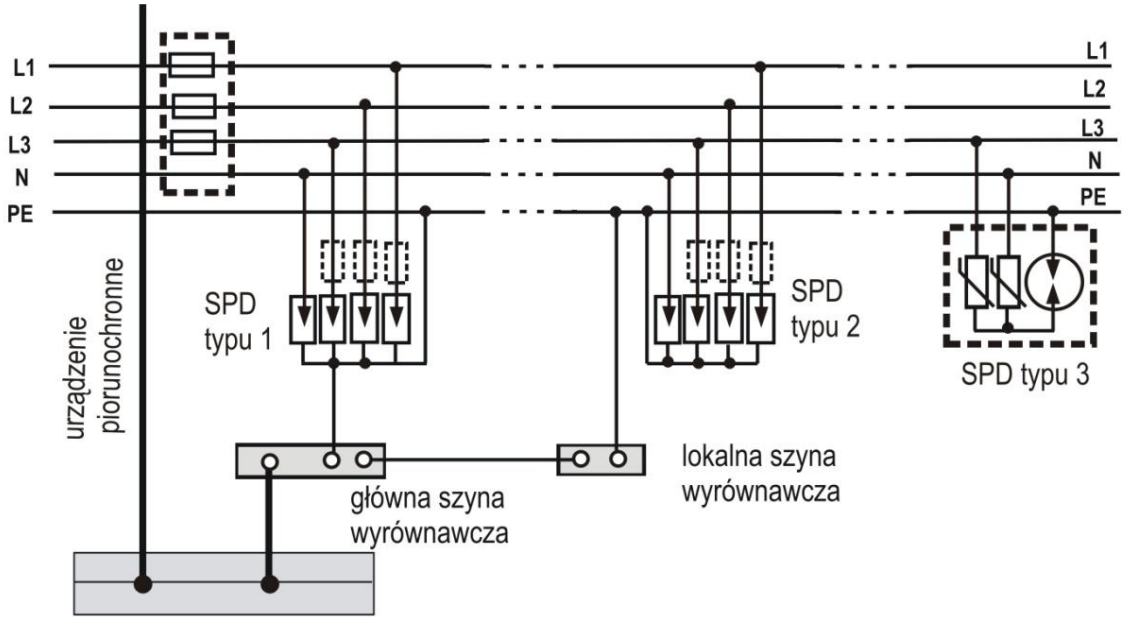
Przystępując do tworzenia w instalacji elektrycznej systemu ograniczania zagrożeń stwarzanych przez oddziaływanie części prądu piorunowego i różnego rodzaju przepięcia należy sprawdzić, jakie środki ochrony odgromowej zastosowano w obiekcie (zewnętrzna i wewnętrzna ochrona odgromowa) oraz dokonać oględzin ich stanu aktualnego. Jeśli przy tworzeniu instalacji piorunochronnej wyznaczano wymagany poziom ochrony odgromowej to, przy doborze SPD typu 1 należy przyjąć wartości szczytowe prądu piorunowego wynikające z wybranego poziomu ochrony.

Tworząc system ograniczania przepięć w instalacji elektrycznej należy uwzględnić następujące wymagania dotyczące SPD:

- Liczbę SPD i sposób ich montażu należy dostosować do systemu sieci oraz wymaganej kategorii przepięciowej.
- Układy SPD należy rozmieścić w taki sposób, aby zapewniały ograniczenie przepięć do poziomów leżących poniżej wartości wytrzymałości udarowej urządzeń.
- Wytrzymałość zwarciową SPD należy dostosować do spodziewanej wartości prądu zwarcia, jaki może wystąpić w miejscu zainstalowania SPD.
- Zachować, zgodne z zaleceniami producenta, najmniejsze dopuszczalne odległości pomiędzy:
  - SPD różnych typów,
  - SPD a chronionymi urządzeniami,
  - iskiernikowymi SPD typu 1 a innymi urządzeniami w miejscu montażu SPD (w przypadku wydmuchu gazów na zewnątrz SPD).

Dobierając SPD typu 1 i 2 i tworząc systemy ochrony zalecane jest przestrzeganie zaleceń zestawionych w tabeli 7.

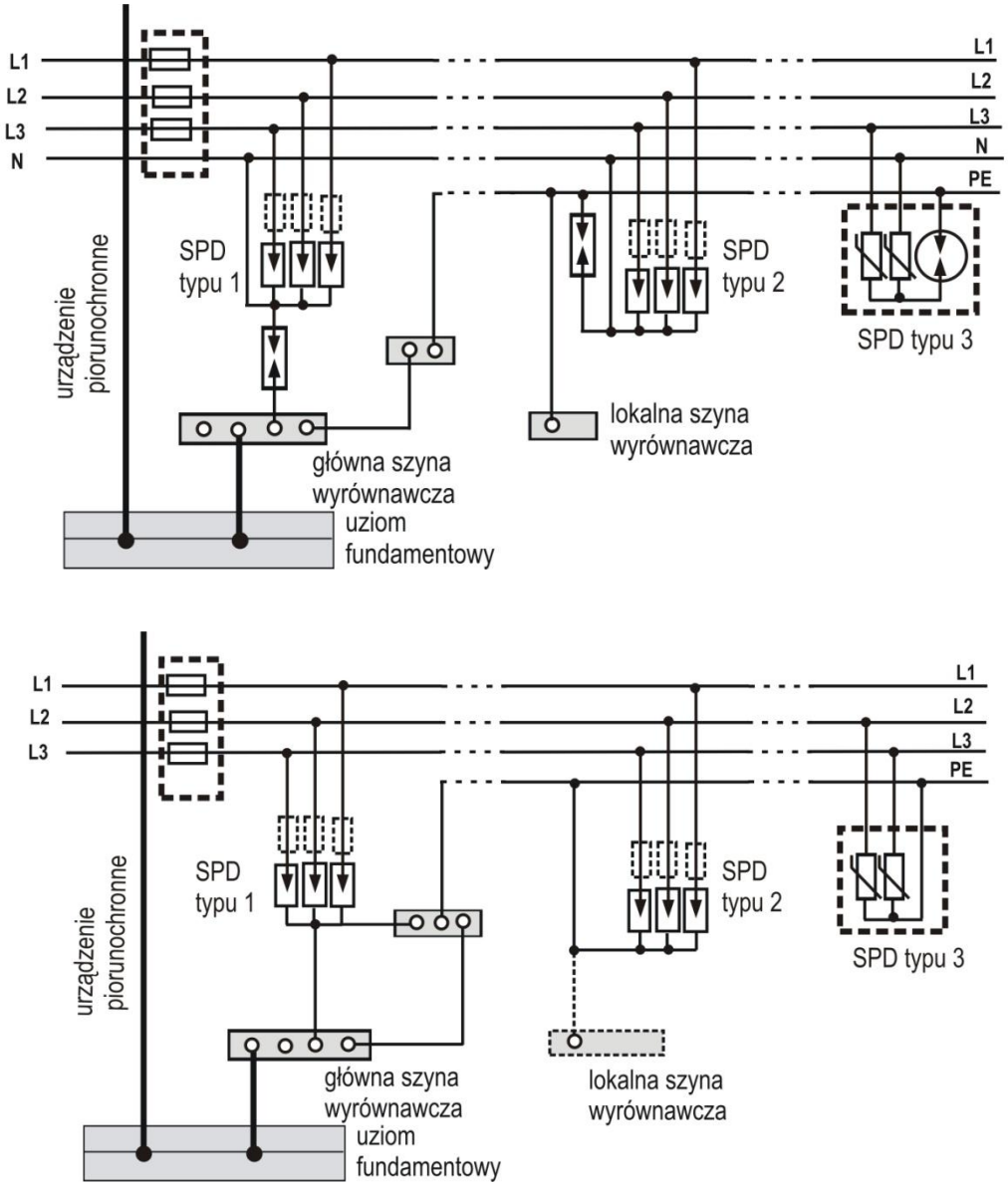
Przykładowe schematy połączeń SPD w wielostopniowych systemach ograniczania przepięć dla różnych systemów sieci niskiego napięcia przedstawiono na rys. 15 i 16.



Rys. 15. *Trójstopniowy układ połączeń SPD do ograniczania przepięć w systemie sieci TN-S*

Tabela 7. *Podstawowe zasady doboru SPD typu 1 i 2*

Typ SPD	Zasady doboru układów SPD
SPD typu 1	• Układy SPD typu 1 powinny być instalowane za zabezpieczeniami głównymi, w pobliżu miejsca wprowadzania instalacji elektrycznej do obiektu budowlanego posiadającego urządzenie piorunochronne (złącze kablowe, szafka obok złącza, rozdzielnica główna). • Układ połączeń SPD powinien być dobrany odpowiednio do systemu sieci. • Należy określić skuteczną wartość napięcia trwałej pracy SPD oraz poziom ograniczania napięć udarowych. • Przewody wykorzystywane do przyłączenia SPD powinny być możliwie najkrótsze (długość poniżej 0,5 m). W przypadku trudności z zachowaniem wymaganych długości przewodów należy zastosować SPD z podwójnymi zaciskami w układzie połączeń typu „V". • Układając przewody łączące SPD należy uwzględnić możliwości oddziaływania na nie sił dynamicznych wywołanych przez płynący prąd piorunowy. • Określić potrzebę stosowania dodatkowych zabezpieczeń nadprądowych instalowanych w szereg z SPD typu 1. • Stosując SPD z „otwartymi" iskiernikami należy uwzględnić zagrożenie stwarzane przez wydmuch gazu lub dobrać SPD z obudowanymi iskiernikami. • Dobrać SPD o ograniczonych prądach następczych w celu wyeliminowania zadziałań głównych zabezpieczeń nadprądowych. • Sprawdzić wymagania dotyczące miejsca montażu urządzeń różnicowoprądowych względem układu SPD.
SPD typu 2	• Układ połączeń SPD typu 2 powinien być dobrany odpowiednio do systemu sieci. • Miejsce montażu układu SPD typu 2 uzależnione jest od jego zadań. W przypadku układu dwustopniowego są to rozdzielnice na poszczególnych kondygnacjach, rozdzielnice oddziałowe, tablice rozdzielcze wewnątrz obiektu. Jeśli nie występuje zagrożenie oddziaływaniem prądu piorunowego to układy SPD typu 2 można instalować w miejscu wprowadzania instalacji do obiektu (zamiast SPD typu 1). • Określić potrzebę stosowania dodatkowych zabezpieczeń nadprądowych w szereg z SPD typu 2. • Przewody wykorzystywane do przyłączenia SPD powinny być możliwie najkrótsze (długość poniżej 0,5 m). • Sprawdzić wymagania dotyczące miejsca montażu urządzeń różnicowoprądowych względem układu SPD. • Należy zachować wymagane odległości pomiędzy SPD typu 1 i 2. • Jeśli zachowanie wymaganych odległości jest niemożliwe należy zastosować indukcyjności sprzęgające lub SPD typu 1 o obniżonych napięciowych poziomach ochrony. • Podczas badania izolacji instalacji elektrycznej warystorowe SPD typu 2 powinny zostać odłączone lub, jeśli istnieje taka możliwość, należy wyjąc wkładki z warystorami.



Rys. 16. *Przykłady trójstopniowych układów połączeń SPD do ograniczania przepięć w systemie sieci TT i IT*

Podsumowanie

Poprawne zaprojektowanie i wykonanie urządzenia piorunochronnego wymaga przyjęcia odpowiedniej dla chronionego obiektu koncepcji ochrony i ścisłej jej realizacji. Jest to szczególne ważne w przypadku obiektów wyposażonych w urządzenia i systemy elektroniczne wrażliwe na piorunowe impulsy elektromagnetyczne.

Zapewnienie bezawaryjnego działania takich urządzeń i systemów wymaga zwrócenia szczególnej na ochronę przed bezpośrednim oddziaływaniem prądu piorunowego urządzeń umieszczonych na dachach lub ścianach obiektu oraz uwagi na rozwiązania wewnętrznej ochrony odgromowej.