

mgr inż. Andrzej Boczkowski
Stowarzyszenie Elektryków Polskich
Sekcja Instalacji i Urządzeń Elektrycznych

Ochrona odgromowa budynków

Budynki należy chronić przed skutkami wyładowań piorunowych zgodnie z wymaganiami zawartymi w następujących przepisach technicznych:

- Polskich Normach PN-EN 62305 „Ochrona odgromowa”, PN-IEC 60364-4-443 „Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed przepięciami. Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi lub łączeniowymi” oraz PN-HD 60364-5-534 „Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 5-53. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Odłączanie izolacyjne, łączenie i sterowanie. Sekcja 534. Urządzenia do ochrony przed przepięciami.

- Warunkach Technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

- Warunkach technicznych użytkowania budynków mieszkalnych.

W rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002r., w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. nr 75 z 2002 r., poz. 690; Dz. U. nr 33 z 2003 r., poz. 270; Dz. U. nr 109 z 2004 r., poz. 1156; Dz. U. nr 201 z 2008 r., poz. 1238; Dz. U. nr 228 z 2008 r., poz. 1514; Dz. U. nr 56 z 2009 r., poz. 461; Dz. U. nr 239 z 2010 r., poz. 1597; Dz. U. z 2012 r., poz. 1289) stwierdzono, że:

- budynek należy wyposażać w instalację chroniącą od wyładowań atmosferycznych. Obowiązek ten odnosi się do budynków wyszczególnionych w Polskiej Normie dotyczącej ochrony odgromowej obiektów budowlanych (§ 53 ust. 2),
- instalacja piorunochronna, o której mowa w § 53 ust. 2, powinna być wykonana zgodnie z wymaganiami Polskich Norm dotyczących ochrony odgromowej obiektów budowlanych (§ 184 ust. 3).

1. Uszkodzenia piorunowe

Oddziałujące na obiekt pioruny mogą powodować uszkodzenie samego obiektu oraz zagrożenie znajdujących się w nim osób i zawartości włącznie z uszkodzeniami wewnętrznych systemów. Uszkodzenia i awarie mogą również rozszerzać się na otoczenie obiektu oraz lokalne środowisko. Zasięg tego rozszerzenia zależy od właściwości obiektu i wyładowania piorunowego.

Główne właściwości obiektów ze względu na skutki oddziaływania piorunowego dotyczą:

- materiałów konstrukcyjnych,
- funkcji,
- użytkowników i zawartości,
- przyłączonych linii elektroenergetycznych i telekomunikacyjnych oraz rurociągów,
- istniejących lub przewidywanych środków ochrony,
- zasięgu rozprzestrzeniania zagrożenia.

W tablicy nr 1 przedstawiono skutki oddziaływania pioruna na różne typy obiektów.

Tablica 1. Skutki oddziaływania pioruna na różne typy obiektów

	Typ obiektu wg funkcji i/lub zawartości	Skutki oddziaływania pioruna
	Dom mieszkalny	Przebicie instalacji elektrycznych, pożar i zniszczenie materiału. Uszkodzenie ograniczone zwykle do obiektów narażonych na uderzenie lub na przepływ prądu pioruna. Awaria zainstalowanych urządzeń elektrycznych i elektronicznych oraz systemów (np. odbiorniki TV, komputery, modemy, telefony, itp.)
	Budynek gospodarstwa rolnego	Główne ryzyko pożaru i niebezpiecznych napięć krokowych oraz szkód materialnych.. Wtórne ryzyko związane z utratą zasilania elektrycznego i zagrożeniem życia inwentarza w wyniku braku działania elektrycznych urządzeń wentylacji, dostawy pożywienia itp.
	Teatr; hotel; szkoła; magazyn; teren sportowy	Uszkodzenie instalacji elektrycznej (np. elektrycznego oświetlenia), możliwe spowodowanie paniki. Awaria automatycznej sygnalizacji pożarowej, powodująca opóźnienie działania technicznych środków zabezpieczenia przeciwpożarowego
	Bank; towarzystwo ubezpieczeniowe, handlowe itp.	Jak wyżej i dodatkowo problemy wynikające z przerwy w komunikacji oraz awarii komputerów i utraty danych
	Szpital; dom opieki; więzienie	Jak wyżej i dodatkowo problemy z ludźmi szczególnej troski i trudności niesienia pomocy ludziom unieruchomionym.
	Przemysł	Dodatkowe skutki zależne od zawartości fabryk, mające zasięg od drugorzędnych do nietolerowanych uszkodzeń i strat produkcyjnych
	Muzea i miejsca archeologiczne; kościoły	Utrata bezcennej spuścizny kulturowej
	Telekomunikacja; instalacje energetyczne	Niedopuszczalna utrata usług publicznych
	Fabryka sztucznych ogni i amunicji	Konsekwencje pożaru i eksplozji instalacji i jej otoczenia
	Instalacje chemiczne; rafinerie; instalacje nuklearne; laboratoria i instalacje biochemiczne	Pożar i niesprawność instalacji ze szkodliwym oddziaływaniem na lokalne i globalne środowisko

2. Rodzaje strat

Straty jakie mogą wystąpić w obiekcie są następujące:

- L1 utrata życia ludzkiego,
- L2 utrata usług publicznych,
- L3 utrata dziedzictwa kulturowego,
- L4 utrata wartości ekonomicznej obiektu i jego zawartości.

3. Potrzeba ochrony odgromowej

Aby ustalić czy ochrona odgromowa obiektu jest potrzebna, należy dokonać oceny ryzyka. Ryzyko R jest wartością prawdopodobnych średnich rocznych strat.

Następujące ryzyka powinny być brane pod uwagę:

- R_1 ryzyko utraty życia ludzkiego,
- R_2 ryzyko utraty usługi publicznej,
- R_3 ryzyko utraty dziedzictwa kulturowego.

Aby wyznaczyć wartość ryzyka R, należy obliczyć jego komponenty. Każde ryzyko R jest sumą jego komponentów.

Komponenty ryzyka dla obiektu:

- komponent związany z fizycznym uszkodzeniem obiektu,
- komponent związany z awarią wewnętrznego układu wywołaną przez piorunowy impuls elektromagnetyczny (LEMP) lub przez przepięcia indukowane w liniach wchodzących do obiektu
- komponent związany z porażeniem istot żywych napięciami dotykowymi wewnątrz obiektu i napięciami krokowymi w strefach do 3 m na zewnątrz obiektu.

Każdy komponent ryzyka może być wyrażony za pomocą następującego równania:

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X$$

w którym:

N_X jest liczbą groźnych zdarzeń w roku uzależnioną od gęstości piorunowych wyładowań doziemnych N_g oraz fizycznej charakterystyki poddawanego ochronie obiektu, jego otoczenia i gruntu,

P_X jest prawdopodobieństwem uszkodzenia obiektu zależnym od charakterystyki poddawanego ochronie obiektu i od stosowanych środków ochrony,

L_X jest stratą wynikową zależną od przeznaczenia obiektu, obecności ludzi, typu usług, wartości dóbr i od środków przeznaczonych do ograniczenia rozmiaru strat.

W celu obliczenia średniej rocznej liczby groźnych zdarzeń wskutek wyładowań w obiekt N_D należy mnożyć gęstość piorunowych wyładowań doziemnych N_g przez równoważną powierzchnię zbierania wyładowań przez obiekt A_d .

$$N_D = N_g \times A_d$$

Gęstość piorunowych wyładowań doziemnych N_g jest liczbą wyładowań piorunowych na km^2 na rok. Wartość ta jest dostępna w sieci lokalizacji wyładowań doziemnych w wielu obszarach świata. W przypadku jej niedostępności, dla umiarkowanych szerokości

geograficznych, można stosować następujący wzór:

$$N_g = 0,1 T_d$$

w którym:

T_d jest liczbą dni burzowych w roku ustaloną na podstawie map izokeraunicznych.

W Polsce, gęstość piorunowych wyładowań doziemnych N_g w rejonie usytuowania obiektu, należy przyjmować według danych zawartych w normie PN-86/E-05003/01, to jest $N_g = 1,8$ wyładowań na km^2 i na rok dla terenów o szerokości geograficznej powyżej $51^\circ 30'$ oraz $N_g = 2,5$ wyładowań na km^2 i na rok dla pozostałych terenów kraju.

Równoważna powierzchnia zbierania wyładowań przez obiekt A_d jest określana jako obszar powierzchni ziemi, na który przypada tyle samo bezpośrednich wyładowań co w obiekt. W każdym przypadku za minimalne pole równoważnej powierzchni zbierania wyładowań piorunowych uznaje się poziomy rzut samego obiektu.

W przypadku obiektów odosobnionych na płaskim terenie, powierzchnia zbierania A_d jest powierzchnią określoną przez przecięcie się powierzchni ziemi z linią prostą o nachyleniu $1/3$, przechodzącą od górnej części obiektu (dotykającą go tam) i obracającą się wokół niego. Określenie wartości A_d może być dokonane graficznie lub matematycznie.

Dla obiektu odosobnionego prostopadłościennego o długości L , szerokości W i wysokości H na płaskim terenie, powierzchnia zbierania A_d wynosi:

$$A_d = L \times W + 6 \times H \times (L + W) + 9 \times \pi \times H^2$$

Jeżeli obiekt ma kształt złożony, np. jest wyposażony w podwyższone nadbudówki dachu, powierzchnia zbierania powinna być wyznaczana metodą graficzną. Powierzchnia zbierania może być również obliczona ze wzoru::

$$A_d = 9 \times \pi \times H^2$$

w którym:

H jest wysokością nad powierzchnią ziemi najwyższej części obiektu (nadbudówki).

Prawdopodobieństwa uszkodzeń powstałych w obiekcie wskutek wyładowań piorunowych zależą od właściwości konstrukcyjnych oraz zastosowanych środków ochrony odgromowej. Wybrane wartości prawdopodobieństwa przedstawione są w tablicach nr 2, 3 i 4.

Tablica 2. Wartości prawdopodobieństwa P_A , że wyładowanie w obiekt wywoła porażenie istot żywych wskutek napięć dotykowych i krokowych

Środek ochrony	P_A
Brak środków ochrony	1
Elektryczna izolacja dostępnych przewodów odprowadzających (np. co najmniej 3 mm usieciowany polietylen)	10^{-2}

Skuteczna ekwipotencjalizacja gruntu	10^{-2}
Napisy ostrzegawcze	10^{-1}

Tablica 3. Wartości prawdopodobieństwa P_B w zależności od środków do redukcji uszkodzenia fizycznego

Charakterystyka obiektu	Klasa urządzenia piorunochronnego (LPS)	P_B
Obiekt niechroniony przez LPS	-	1
Obiekt chroniony przez LPS	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Obiekt wyposażony w zwody, dostosowane do LPS I, oraz w ciągłe metalowe lub żelbetowe konstrukcje, spełniające rolę układu naturalnych przewodów odprowadzających		0,01
Obiekt wyposażony w metalowy dach lub w układ zwodów, obejmujący możliwe elementy naturalne i zapewniający ochronę każdej instalacji dachowej przed uderzeniami pioruna, oraz w ciągłe metalowe lub żelbetowe konstrukcje spełniające rolę układu naturalnych przewodów odprowadzających		0,001

Prawdopodobieństwo P_C , że wyładowanie w obiekt spowoduje awarię układów wewnętrznych, zależy od przyjętego układu skoordynowanych urządzeń do ograniczania przepięć (SPD), zgodnie z warunkiem:

$$P_C = P_{SPD}$$

Tablica 4. Wartości prawdopodobieństwa P_{SPD} w zależności od poziomu ochrony odgromowej (LPL), któremu zostały przyporządkowane urządzenia do ograniczania przepięć (SPD)

LPL	P_{SPD}
Brak układu skoordynowanych SPD	1
III- IV	0,03
II	0,02

I	0,01
W przypadku SPD mających lepsze charakterystyki ochronne w porównaniu z wymaganymi podanymi dla LPL I i przy stosownych lokalizacjach instalacji	0,005 – 0,01

Strata L_X odnosi się do średniego rozmiaru szczególnego typu uszkodzenia, które może być spowodowane przez wyładowanie piorunowe, przy uwzględnieniu zarówno jego rozpiętości, jak i skutków.

Jej wartość zależy od:

- liczby osób i czasu, przez jaki one pozostają w zagrożonym miejscu,
- rodzaju i znaczenia świadczonych usług publicznych,
- wartości mienia naruszonego przez uszkodzenie.

Stosowane są następujące symbole:

- L_t oznacza stratę wskutek porażenia przy napięciach dotykowych i krokowych,
- L_f oznacza stratę wskutek uszkodzenia fizycznego,
- L_o oznacza stratę wskutek awarii układów wewnętrznych.

Ochrona odgromowa jest potrzebna jeżeli ryzyko $R(R_1$ do $R_3)$ jest większe od tolerowanego jego poziomu R_T

$$R > R_T$$

W takim przypadku należy zastosować środki ochrony odgromowej, aby zredukować ryzyko R do tolerowanego poziomu R_T

$$R \leq R_T$$

Oprócz ustalenia potrzeby stosowania ochrony odgromowej obiektu, może być przydatne określenie ekonomicznych korzyści ze stosowania środków ochrony w celu redukcji strat ekonomicznych L_4 . W takim przypadku należy oszacować ryzyko R_4 utraty dóbr ekonomicznych. Oszacowanie ryzyka R_4 pozwala ocenić koszty strat ekonomicznych z uwzględnieniem i bez uwzględnienia stosowanych środków ochrony.

Typowe wartości tolerowanego ryzyka podane są w tablicy nr 5.

Tablica 5. Typowe wartości tolerowanego ryzyka R_T

Rodzaj straty	R_T (rok ⁻¹)
Utrata życia ludzkiego lub trwałe kalectwo	10^{-5}
Utrata usługi publicznej	10^{-3}

Utrata dziedzictwa kulturowego	10^{-3}
--------------------------------	-----------

4. Poziom ochrony odgromowej (LPL)

Wprowadza się cztery poziomy ochrony odgromowej (od I do IV) oraz ustala się zestaw maksymalnych i minimalnych parametrów prądu pioruna.

Maksymalne wartości parametrów prądu pioruna dla różnych poziomów ochrony są podane w tablicy nr 6 natomiast minimalne wartości parametrów prądu pioruna dla różnych poziomów ochrony są podane w tablicy nr 7.

Maksymalne wartości parametrów prądu pioruna mają zastosowanie przy projektowaniu elementów ochrony odgromowej (np. przekroju przewodów, grubości blachy, zdolności prądowej urządzeń do ograniczania przepięć (SPD), odstępu izolacyjnego przeciw niebezpiecznym iskrom).

Minimalne wartości parametrów prądu pioruna mają zastosowanie przy wyznaczaniu promienia toczącej się kuli w celu określenia strefy ochrony odgromowej LPZ O_B do której nie może przedostawać się bezpośrednie uderzenie pioruna. Mają one zastosowanie przy rozmieszczaniu zwodów i przy wyznaczaniu strefy ochrony odgromowej LPZ O_B .

W tablicy nr 8 podane są prawdopodobieństwa, że parametry prądu pioruna są mniejsze niż wartości maksymalne wyznaczone dla każdego poziomu ochrony i odpowiednio większe niż wartości minimalne wyznaczone dla każdego poziomu ochrony.

Tablica 6. Maksymalne wartości parametrów prądu pioruna

Pierwszy uder krótki	Poziom ochrony odgromowej (LPL)			
Parametry charakteryzujące prąd piorunowy	I	II	III	IV
Wartość szczytowa I w kA	200	150	100	100
Ładunek udaru krótkiego Q w C	100	75	50	50
Energia właściwa W/R w MJ/Ω	10	5,6	2,5	2,5
Parametry czasu T_1/T_2 w μs/μs	10/350			
Następny uder krótki	Poziom ochrony odgromowej (LPL)			

Parametry charakteryzujące prąd piorunowy	I	II	III	IV
Wartość szczytowa I w kA	50	37,5	25	25
Średnia stromość d_i/d_t w kA/ μ s	200	150	100	100
Parametry czasu T_1/T_2 w μ s/ μ s	0,25/100			
Udar długi	Poziom ochrony odgromowej (LPL)			
Parametry charakteryzujące prąd piorunowy	I	II	III	IV
Ładunek udaru długiego Q w C	200	150	100	100
Parametry czasu T w s	0,5			
Wyladowanie	Poziom ochrony odgromowej (LPL)			
Parametry charakteryzujące prąd piorunowy	I	II	III	IV
Ładunek całkowity wyladowania Q w C	300	225	150	150

Tablica 7. Minimalne wartości parametrów prądu pioruna i odpowiadający im promień toczący się kuli

Kryteria przechwytywania	Poziom ochrony odgromowej (LPL)			
	I	II	III	IV
Minimalny prąd szczytowy I w kA	3	5	10	16
Promień toczący się kuli r w m	20	30	45	60

Tablica 8. Prawdopodobieństwa dla granic parametrów prądu pioruna

Prawdopodobieństwo,	Poziom ochrony odgromowej (LPL)
---------------------	---------------------------------

że parametry prądu pioruna:	I	II	III	IV
są mniejsze niż maksymalne wartości podane w tablicy 6	0,99	0,98	0,97	0,97
są większe niż minimalne wartości podane w tablicy 7	0,99	0,97	0,91	0,84

5. Strefy ochrony odgromowej (LPZ)

Środki ochrony, takie jak urządzenia piorunochronne (LPS), przewody osłonowe, ekrany magnetyczne i urządzenia do ograniczania przepięć (SPD) określają strefy ochrony odgromowej (LPZ).

Strefy LPZ zlokalizowane ku wnętrzu od środka ochrony charakteryzują się znaczną redukcją piorunowego impulsu elektromagnetycznego (LEMP) w stosunku do LEMP na zewnątrz LPZ.

Z uwagi na zagrożenie piorunowe zostały określone następujące strefy LPZ:

- LPZ O_A strefa, w której zagrożenie jest wywoływane bezpośrednim wyładowaniem piorunowym i całkowitym jego polem elektromagnetycznym.
- LPZ O_B strefa chroniona przed bezpośrednim wyładowaniem piorunowym ale zagrożona oddziaływaniem całkowitego piorunowego pola elektromagnetycznego.
- LPZ 1 strefa w której prąd udarowy jest ograniczony przez jego podział i przez SPD na jej granicy.
- LPZ 2...,n strefa w której prąd udarowy może być dalej ograniczony przez jego podział i dodatkowe SPD na granicy. Dodatkowe ekranowanie przestrzenne może być zastosowane w celu dalszego osłabienia piorunowego pola elektromagnetycznego.

6. Ochrona obiektów

6.1. Ochrona w celu redukcji szkody fizycznej i zagrożenia życia

Obiekt poddawany ochronie powinien znajdować się wewnątrz strefy LPZ O_B lub wyższej.

Uzyskuje się to przez zastosowanie urządzenia piorunochronnego (LPS).

LPS składa się z urządzenia zewnętrznego i urządzenia wewnętrznego.

Zadaniem zewnętrznego LPS jest:

- przejęcie wyładowania piorunowego skierowanego w obiekt za pomocą układu zwodów,
- odprowadzenie prądu pioruna bezpiecznie do ziemi za pomocą układu przewodów odprowadzających,
- rozproszenie prądu pioruna w ziemi za pomocą układu uziomowego.

Zadaniem wewnętrznego LPS jest zapobieganie niebezpiecznemu iskrzeniu w obiekcie, przy zastosowaniu:

- połączeń wyrównawczych, lub
- odstępu izolacyjnego zapewniającego elektryczną izolację pomiędzy elementami LPS a innymi przewodzącymi elektrycznie elementami wewnątrz obiektu.

6.2. Ochrona w celu redukcji awarii urządzeń wewnętrznych

Ochrona przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym (LEMP) w celu redukcji ryzyka awarii urządzeń wewnętrznych powinna ograniczać:

- przepięcia powodowane wyładowaniami piorunowymi w obiekt,
- przepięcia powodowane wyładowaniami piorunowymi obok obiektu,
- przepięcia przenoszone przez przyłączone do obiektu linie,
- bezpośrednie sprzężenia pola magnetycznego z wewnętrznymi urządzeniami.

Urządzenia poddawane ochronie powinny być umieszczone w strefie LPZ 1 lub wyższej.

Uzyskuje się to za pomocą ekranów magnetycznych osłabiających indukujące pole magnetyczne i/lub właściwego, redukującego pętle indukcyjne, wyboru tras przewodów.

Na granicach LPZ powinny być przewidziane połączenia dla części i urządzeń metalowych przekraczających te granice. Połączenia te mogą być dokonane za pomocą przewodów wyrównawczych lub za pomocą urządzeń do ograniczania przepięć (SPD).

Skuteczną ochronę od przepięć, powodujących awarie urządzeń wewnętrznych, uzyskuje się za pomocą skoordynowanych SPD, ograniczających napięcia poniżej znamionowej wytrzymałości udarowej poddawanego ochronie układu.

7. Urządzenie piorunochronne (LPS)

7.1. Klasa LPS

Zostały określone cztery klasy LPS w sposób odpowiadający poziomom ochrony odgromowej (LPL).

Tablica 9. Powiązanie poziomów ochrony odgromowej (LPL) z klasami LPS

Poziom ochrony odgromowej (LPL)	Klasa LPS
I	I
II	II
III	III
IV	IV

Każda klasa LPS jest charakteryzowana przez następujące dane:

- parametry prądu pioruna,
- promień toczącej się kuli, wymiar oka sieci, kąt ochronny,
- typowe odległości między przewodami odprowadzającymi i pomiędzy przewodami

- otokowymi,
- odstęp izolacyjny przeciwdziałający niebezpiecznemu iskrzeniu,
- minimalna długość uziomów.

7.2. Ciągłość konstrukcji stalowej w obiektach żelbetowych

Konstrukcja stalowa w obiektach żelbetowych jest uznawana za galwanicznie ciągłą, jeżeli wzajemne połączenia pionowych i poziomych prętów są w przeważającej części spawane lub w inny sposób solidnie łączone. Połączenia prętów pionowych powinny być spawane, zaciskane lub wiązane na zakładkę o długości równej co najmniej 20-krotnej ich średnicy. Całkowita rezystancja połączeń prętów zbrojenia od części najwyższej do poziomu ziemi nie powinna być większa niż $0,2 \Omega$.

8. Zewnętrzny LPS

Zewnętrzny LPS jest przeznaczony do przejmowania bezpośrednich wyładowań piorunowych w obiekt, włącznie z wyładowaniami w bok obiektu, i odprowadzenia prądu pioruna od punktu trafienia do ziemi oraz rozpraszania tego prądu w ziemi.

W większości zewnętrzny LPS może być mocowany do poddawanego ochronie obiektu. Izolowany zewnętrzny LPS powinien być brany pod uwagę, gdy cieplne i wybuchowe skutki w punkcie uderzenia lub w przewodach z prądem pioruna mogą powodować uszkodzenia obiektu lub jego zawartości. Typowe przykłady dotyczą obiektów z pokryciem palnym oraz obiektów z palnymi ścianami i obszarami zagrożonymi wybuchem lub pożarem.

Izolowany zewnętrzny LPS może być również brany pod uwagę, gdy wrażliwość zawartości obiektu zobowiązuje do redukcji pola elektromagnetycznego promieniowanego przez impuls prądu pioruna płynącego w przewodzie odprowadzającym.

Naturalne elementy wykonane z materiałów przewodzących, które występują w obiekcie, mogą być użyte jako części LPS.

Zewnętrzny LPS składa się z:

- zwodów,
- przewodów odprowadzających,
- uziemienia.

8.1. Zwody

Zwody mogą być utworzone przez dowolną kombinację następujących elementów:

- prętów (włącznie z wolnostojącymi masztami),
- przewodów zawieszonych,
- przewodów w układzie oczkowym.

Elementy układu zwodów instalowanych na dachu powinny być umieszczane w narożnikach, wystających punktach i krawędziach (szczególnie na górnym poziomie każdej fasady) zgodnie z następującymi metodami:

- metoda kąta ochronnego,
- metoda toczącej się kuli,
- metoda oczkowa.

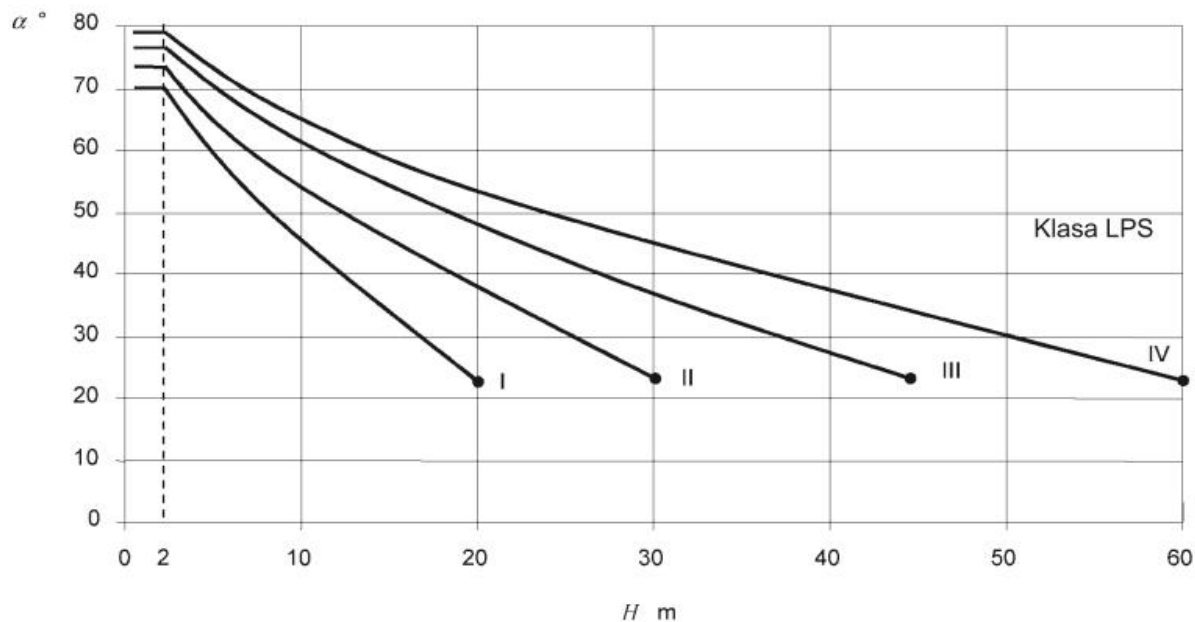
Metoda toczącej się kuli jest odpowiednia w każdym przypadku.

Metoda kąta ochronnego jest odpowiednia dla budynków o prostych kształtach, ale podlega ograniczeniom wysokości zwodu podanym w tablicy nr 10.

Metoda oczkowa jest odpowiednia tam, gdzie są poddawane ochronie płaskie powierzchnie. Wartości kąta ochronnego, promienia toczącej się kuli i wymiarów siatki zwodów, dla każdej klasy LPS, są podane w tablicy nr 10.

Tablica 10. Maksymalne wartości promienia toczącej się kuli, wymiarów siatki i kąta ochronnego odpowiadających klasom LPS

Klasa LPS	Metoda ochrony		
	Promień toczącej się kuli r m	Wymiary siatki W m	Kąt ochronny α°
I	20	5 x 5	Patrz rysunek nr 1
II	30	10 x 10	
III	45	15 x 15	
IV	60	20 x 20	

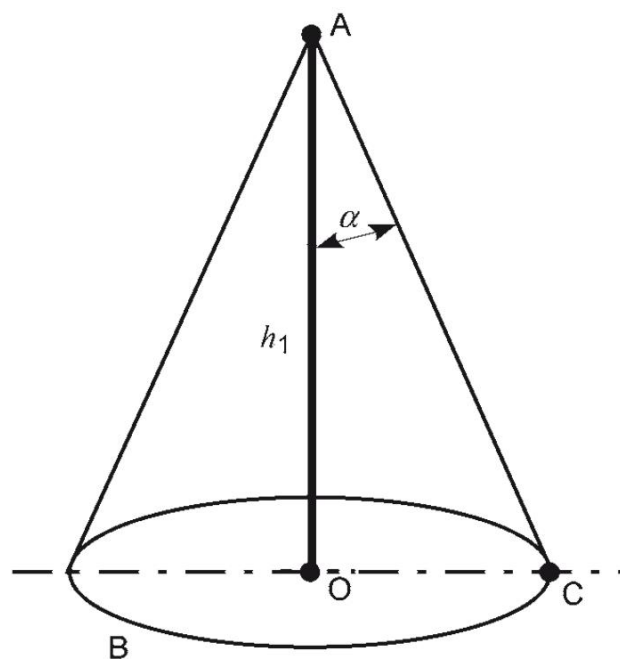


H – wysokość zwodu od płaszczyzny odniesienia przestrzeni poddawanej ochronie

Rys. 1. Wartości kąta ochronnego

8.1.1. Rozmieszczanie zwodów przy zastosowaniu metody kąta ochronnego

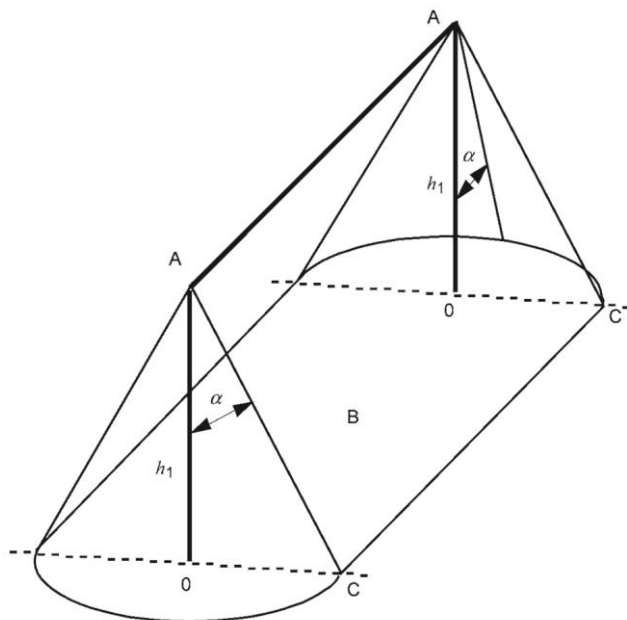
Przestrzeń chroniona przez zwód pionowy ma kształt okrągłego stożka z wierzchołkiem umieszczonym na osi zwodu. Przestrzeń tę określa kąt ochronny α , równy połowie kąta wierzchołkowego stożka i zależny od klasy LPS oraz od wysokości zwodu, jak podano w tablicy nr 10 oraz na rysunkach nr 1 i nr 2.



- A- wierzchołek zwodu
- B- płaszczyzna odniesienia
- OC- promień przestrzeni chronionej
- h_1 - wysokość zwodu od płaszczyzny odniesienia przestrzeni poddawanej ochronie
- α – kąt ochronny

Rys. 2. Przestrzeń chroniona przez zwód pionowy

Przestrzeń chroniona przez zwód poziomy wysoki wynika z nałożenia przestrzeni chronionych przez pozorne zwody pionowe, mające wierzchołki na zwodzie poziomym. Przykład przestrzeni chronionej takim zwodem jest pokazany na rysunku nr 3.

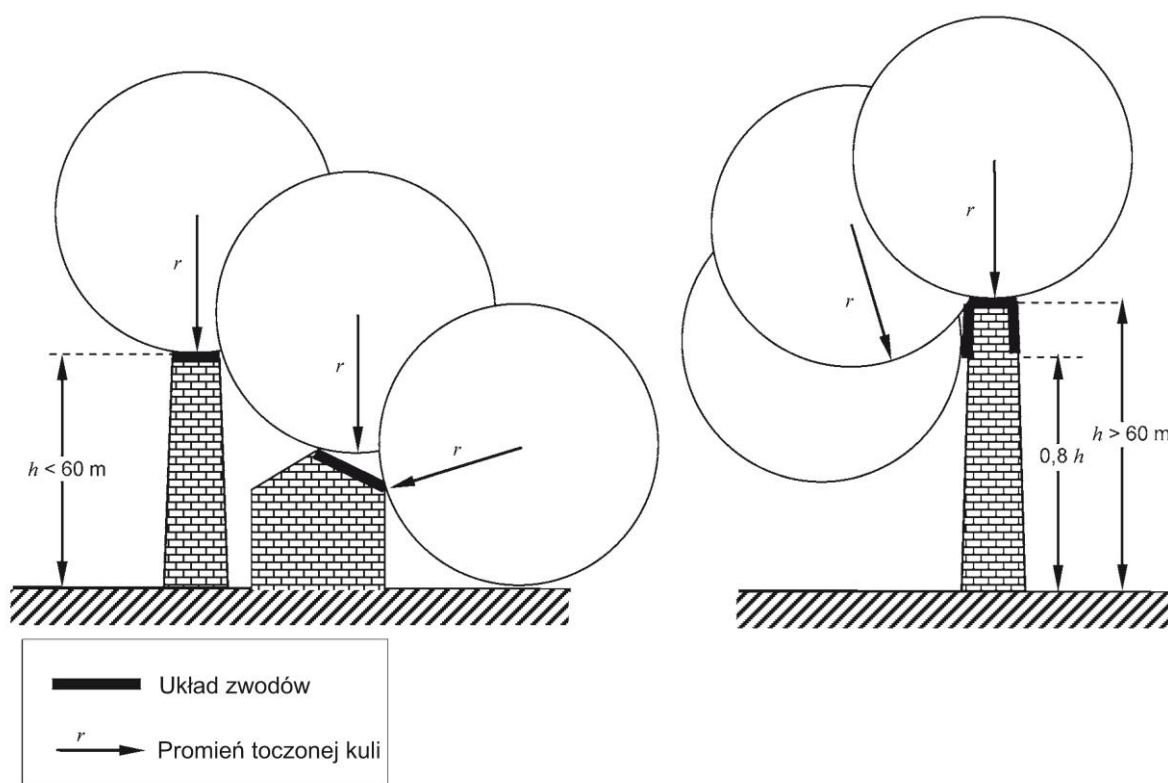


- A- wierzchołek zwodu
- B- płaszczyzna odniesienia
- OC- promień przestrzeni chronionej
- h_1 - wysokość zwodu od płaszczyzny odniesienia przestrzeni poddawanej ochronie
- α – kąt ochronny

Rys. 3. Przestrzeń chroniona przez zwód poziomy wysoki zawieszony

8.1.2. Rozmieszczanie zwodów przy zastosowaniu metody toczącej się kuli

Przy stosowaniu metody toczącej się kuli, rozmieszczenie zwodów jest właściwe, jeżeli żaden punkt obiektu poddawanego ochronie nie styka się z kulą o promieniu r , toczoną wokół i po górnej powierzchni obiektu we wszystkich możliwych kierunkach, przy czym promień r zależy od klasy LPS jak podano w tablicy nr 10. W ten sposób kula dotyka jedynie układu zwodów jak pokazano na rysunku nr 4.



Rys. 4. Układ zwodów zgodnie z metodą toczącej się kuli

8.1.3. Rozmieszczanie zwodów przy zastosowaniu metody oczkowej

Metoda oczkowa jest właściwa dla poziomych i nachylonych dachów bez krzywizny oraz do ochrony płaskich bocznych powierzchni przed wyładowaniami bocznymi.

Przy ochronie powierzchni płaskich, odpowiednia jest sieć zwodów poziomych, obejmująca całą powierzchnię z uwzględnieniem następujących postanowień:

- a) przewody zwodów są układane:
 - na krawędziach dachu,
 - na częściach wystających dachu,
 - na kalenicy dachu, jeżeli nachylenie dachu przekracza $1/10$. W tym przypadku zamiast sieci mogą być stosowane równoległe przewody zwodów, pod warunkiem, że odległość między nimi nie jest większa niż wymagana szerokość oka,
- b) wymiary oka sieci zwodów nie są większe niż podane w tablicy nr 10,
- c) sieć zwodów jest ukształtowana tak, że zawsze prąd pioruna będzie mógł odpłynąć do uziomu przez co najmniej dwie różne drogi przewodzące,
- d) żadna instalacja metalowa nie wystaje na zewnątrz przestrzeni chronionej przez układ zwodów,
- e) przewody układu zwodów przebiegają po możliwie najkrótszej i najbardziej bezpośredniej drodze.

8.1.4. Zwody do ochrony przed wyładowaniami bocznymi w wysokie obiekty

Przy obiektach wyższych niż 60 m mogą pojawiać się wyładowania boczne, zwłaszcza trafiające w narożniki i krawędzie obiektu.

Układ zwodów powinien być zainstalowany tak, aby ochronił górną część wysokich obiektów (t.j 20% wysokości obiektu od góry) i umieszczonych na niej urządzeń.

Reguły rozmieszczania zwodów na dachu mają zastosowanie do zwodów instalowanych na ścianach górnych części obiektów.

Ponadto w przypadku obiektów wyższych niż 120 m powinny być chronione wszystkie części, które mogą być zagrożone powyżej 120 m.

8.1.5. Instalowanie zwodów

Zwody nieizolowane od poddawanego ochronie obiektu mogą być instalowane jak następuje:

- jeżeli dach jest wykonany z materiału niepalnego, to zwody mogą być umieszczane na powierzchni dachu,
- jeżeli dach jest wykonany z materiału łatwopalnego, to zwody należy instalować w odległości 0,10 m od powierzchni dachu, a dla dachów krytych strzechą ta odległość powinna wynosić 0,15 m,
- łatwopalne części obiektu poddawanego ochronie nie powinny stykać się z elementami zewnętrznego LPS i nie powinny być umieszczone pod jakąkolwiek metalową powłoką dachu, która może być przebita przez wyładowanie piorunowe.

8.1.6. Wykorzystanie części przewodzących obiektu jako zwody

Następujące części przewodzące obiektu można wykorzystać jako naturalne elementy zwodów i części LPS.

- a) Metalowe warstwy pokrycia obiektu poddawanego ochronie pod warunkiem, że:
 - galwaniczna ciągłość połączeń między różnymi częściami jest trwała (np. jest wykonana za pomocą twardego lutowania, spawania, zgniatania, ząbkowania, skręcania lub śrubowania),
 - grubość metalowej warstwy jest nie mniejsza niż wartość t podana w tablicy nr 11 jeżeli jest dopuszczalne przebicie tej warstwy lub nie ma niebezpieczeństwa zapalenia pod spodem łatwopalnych substancji,
 - grubość metalowej warstwy jest nie mniejsza niż wartość t podana w tablicy nr 11, jeżeli jest konieczne przeciwdziałanie przebicciu tej warstwy lub wystąpieniu problemów związanych punktowym jej przegrzaniem,
 - nie są one pokryte materiałem izolacyjnym (cienkie pokrycie farbą ochronną lub asfaltem o grubości 1 mm lub warstwą PVC grubości 0,5 mm nie jest uznawane za izolator).
- b) Metalowe elementy konstrukcji dachu pod spodem niemetalowego pokrycia dachu, pod warunkiem, że pokrycie to może być wyłączone z obiektu poddawanego ochronie.
- c) Metalowe części takie jak: ozdoby, balustrady, rury, obróbki metalowe itp., o przekrojach nie mniejszych niż podane dla standardowych elementów zwodów.
- d) Rury i zbiorniki metalowe na dachu, pod warunkiem, że są one wykonane z materiału o grubościach i przekrojach zgodnych z tablicą nr 13.
- e) Rury i zbiorniki metalowe zawierające łatwopalne lub wybuchowe mieszaniny, pod warunkiem, że są one wykonane z materiału o grubości nie mniejszej niż odpowiednia wartość t podana w tablicy nr 11 i że wzrost temperatury wewnętrznej powierzchni w punkcie uderzenia nie stworzy zagrożenia oraz uszczelki w połączeniach kołnierzowych są metalowe lub ich strony są w inny sposób należycie złączone.

Tablica 11. Minimalna grubość warstw metalowych lub rur metalowych w układzie zwodów

Klasa LPS	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, punktowemu przegrzaniu lub zapłonowi. ^b t tylko dla warstwy metalowej, gdy nie są istotne problemy przebicia, punktowego przegrzania lub zapłonu.			

8.2. Przewody odprowadzające

Przewody odprowadzające powinny być rozmieszczone w taki sposób, aby od punktu uderzenia pioruna do ziemi:

- istniało kilka równoległych dróg prądowych,
- długość dróg prądowych była jak najmniejsza,
- wykonane były połączenia wyrównawcze z przewodzącymi częściami obiektu.

Boczne połączenia przewodów odprowadzających należy wykonywać na poziomie ziemi i w odstępach co 10 m do 20 m wysokości zgodnie z tablicą nr 12.

Zainstalowanie możliwie najwięcej przewodów odprowadzających w jednakowych odstępach wokół obwodu, wzajemnie połączonych przewodami otokowymi, redukuje prawdopodobieństwo wystąpienia niebezpiecznego iskrzenia i ułatwia ochronę wewnętrznych instalacji. Warunek ten jest spełniony w obiektach o szkieletach metalowych i w obiektach żelbetowych, w których wzajemnie połączona stal jest galwanicznie ciągła.

Typowe odległości między przewodami odprowadzającymi i między przewodami otokowymi są podane w tablicy nr 12.

Tablica 12. Typowe odległości między przewodami odprowadzającymi i pomiędzy przewodami otokowymi

Klasa LPS	Typowe odległości m
I	10
II	10
III	15

IV	20
----	----

8.2.1. Rozmieszczenie przewodów odprowadzających w izolowanym LPS

- a) Jeżeli zwody pionowe znajdują się na oddzielnych masztach (lub na jednym maszcie) niewykonanych z metalu lub z wzajemnie połączonej stali zbrojeniowej, to jest niezbędny przynajmniej jeden przewód odprowadzający dla każdego masztu.
Dla masztów wykonanych z metalu lub z wzajemnie połączonej stali zbrojeniowej nie są wymagane żadne dodatkowe przewody odprowadzające.
- b) Jeżeli zwody składają się z zawieszonych wysoko przewodów poziomych (lub jednego przewodu) to niezbędny jest przynajmniej jeden przewód odprowadzający dla każdej konstrukcji wsporczej.
- c) Jeżeli zawieszone wysoko zwody poziome tworzą sieć oczkową, to jest niezbędny przynajmniej jeden przewód odprowadzający na każdym podpartym końcu zwodu.

8.2.2. Rozmieszczenie przewodów odprowadzających w nieizolowanym LPS

Liczba przewodów odprowadzających w każdym nieizolowanym LPS nie powinna być mniejsza niż dwa. Przewody powinny być równomiernie rozmieszczone wokół obwodu obiektu poddawanego ochronie przy uwzględnieniu architektonicznych i praktycznych ograniczeń.

Typowe odległości pomiędzy przewodami odprowadzającymi są podane w tablicy nr 12. Przewód odprowadzający powinien być instalowany w miarę możliwości przy każdym odsłoniętym narożniku obiektu.

8.2.3. Instalowanie przewodów odprowadzających

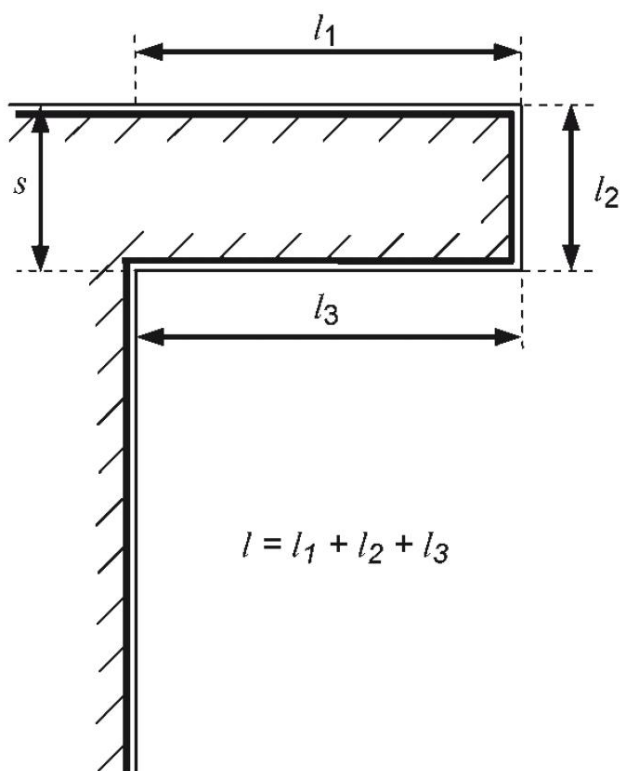
Przewody odprowadzające powinny być instalowane wzdłuż odcinków prostych i pionowych tak, aby zapewniły one najkrótszą i najbardziej bezpośrednią drogę do ziemi. Tworzenie pętli powinno być eliminowane. W przypadku sytuacji pokazanej na rysunku nr 5 odstęp S , mierzony w przerwie pomiędzy dwoma punktami przewodu, i długość l przewodu pomiędzy tymi punktami powinny odpowiadać postanowieniom podanym w punkcie 9.2.

Przewody odprowadzające nie powinny być instalowane ani w rynnach, ani w rurach spustowych nawet, jeżeli są one przykryte materiałem izolacyjnym.

Przewody odprowadzające LPS nieizolowane od obiektu poddawanego ochronie mogą być instalowane następująco:

- jeżeli ściana jest wykonana z materiału niepalnego, to przewody odprowadzające mogą być umieszczone na powierzchni ściany lub w ścianie,
- jeżeli ściana jest wykonana z materiału łatwopalnego, to przewody odprowadzające mogą być umieszczone na powierzchni ściany, pod warunkiem, że wzrost ich temperatury pod wpływem przepływu prądu pioruna nie jest niebezpieczny dla materiału ściany,
- jeżeli ściana jest wykonana z materiału łatwopalnego a wzrost temperatury przewodów odprowadzających jest niebezpieczny, to przewody odprowadzające powinny być umieszczone w taki sposób, aby odstęp między nimi a ścianą był zawsze większy niż 0,1 m. Wsporniki montażowe mogą mieć kontakt ze ścianą.

Jeżeli wymaganego odstępu przewodu odprowadzającego od palnej ściany nie można zapewnić, to przekrój przewodu nie powinien być mniejszy niż 100 mm^2 .



Rys. 5. Pętla w przewodzie odprowadzającym

8.2.4. Wykorzystanie części przewodzących obiektu jako przewody odprowadzające

Następujące części przewodzące obiektu powinny być brane pod uwagę jako naturalne przewody odprowadzające:

a) instalacje metalowe pod warunkiem, że:

- galwaniczna ciągłość pomiędzy różnymi częściami jest trwała,
- ich wymiary są przynajmniej równe wymiarom dla standardowych przewodów odprowadzających.

Rurociągi metalowe zawierające mieszaniny łatwopalne lub wybuchowe mogą być brane pod uwagę jako element naturalny przewodu odprowadzającego, jeżeli uszczelki w połączeniach kołnierzych są metalowe lub ich strony są w inny sposób należycie złączone.

b) zbrojenie stalowe w obiektach żelbetowych. Galwaniczna ciągłość prętów stalowego zbrojenia powinna być zapewniona za pomocą zacisków lub spawania.

c) wzajemnie połączony stalowy szkielet konstrukcji obiektu.

Jeżeli metalowy szkielet konstrukcji obiektów stalowych lub wzajemnie połączona stal

zbrojenia obiektu są wykorzystywane jako przewody odprowadzające, nie są konieczne przewody otokowe.

d) elementy fasady, jak: szyny profilowe i metalowe elementy konstrukcyjne fasad, pod warunkiem, że:

- ich wymiary odpowiadają wymaganiom dla przewodów odprowadzających,
- grubości warstw metalowych lub rur metalowych nie są mniejsze niż 0,5 mm,
- jest zapewniona galwaniczna ciągłość ich połączeń w kierunku pionowym.

8.2.5. Zaciski probiercze

Przy połączeniu z uziomem każdy przewód odprowadzający, z wyjątkiem naturalnych przewodów odprowadzających zespolonych z uziomami fundamentowymi, powinien być wyposażony w zacisk probierczy.

Do celów pomiarowych konstrukcja zacisku powinna zapewnić możliwość jego rozłączania za pomocą narzędzi. W normalnym użytkowaniu powinien być on zamknięty.

8.3. Uziemienie

Z punktu widzenia ochrony odgromowej jest preferowany prosty zintegrowany układ uziomów, odpowiedni do wszystkich zastosowań, tj. do ochrony odgromowej, układów elektroenergetycznych i układów telekomunikacyjnych.

Zalecana jest mała rezystancja uziemienia, mniejsza niż 10 Ω .

8.3.1. Układ uziomów w warunkach ogólnych

W układach uziomów mają zastosowanie dwa podstawowe ich typy.

8.3.1.1. Układ uziomów typu A

Ten typ układu zawiera uziomy poziome i pionowe instalowane na zewnątrz obiektu poddawanego ochronie i przyłączane do każdego przewodu odprowadzającego.

W układach typu A całkowita liczba uziomów nie powinna być mniejsza niż dwa.

Minimalna długość każdego uziomu od podstawy każdego przewodu odprowadzającego jest równa:

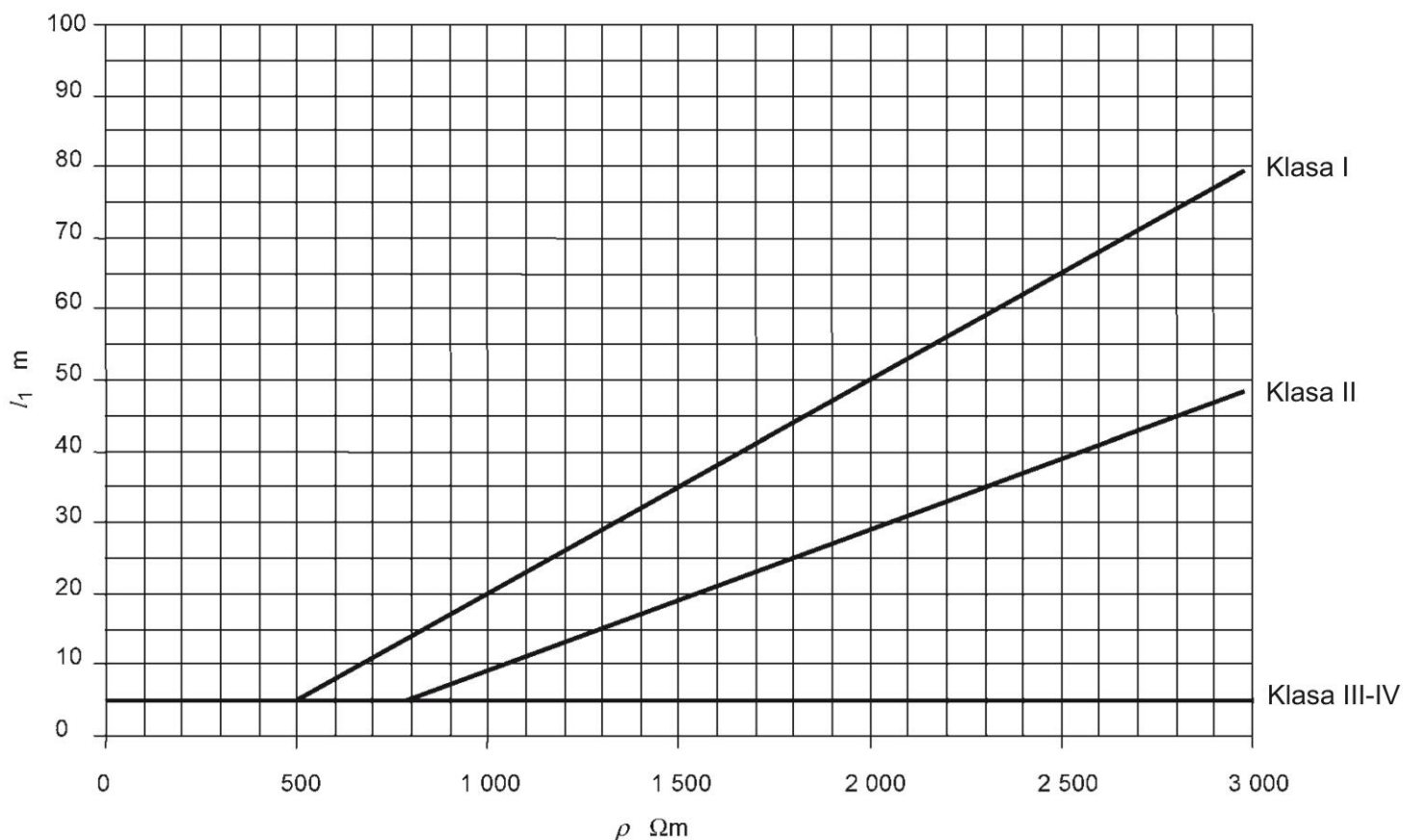
- l_1 dla uziomów poziomych, lub
- $0,5 l_1$ dla uziomów pionowych (lub nachylonych),

gdzie l_1 jest minimalną długością uziomów poziomych pokazanych na rysunku nr 6.

W przypadku uziomów złożonych składających się z uziomów poziomych i pionowych powinna być brana pod uwagę ich całkowita długość.

Zmniejszenie rezystancji uziemienia przez wydłużenie uziomów jest praktycznie możliwe do 60 m.

Minimalne długości określone na rysunku nr 6 mogą nie być brane pod uwagę pod warunkiem, że uzyskana została rezystancja uziemienia mniejsza niż 10 Ω .



Rys. 6. Minimalna długość l_1 każdego uziomu zgodnie z klasą LPS

8.3.1.2. Układ uziomów typu B

Ten typ układu zawiera albo uziom otokowy, ułożony na zewnątrz obiektu poddawanego ochronie i pozostający w kontakcie z ziemią na długości równej przynajmniej 80% całkowitej jego długości, albo uziom fundamentowy. Takie uziomy mogą również tworzyć kratę. W przypadku uziomu otokowego lub uziomu fundamentowego średni promień r_e , obszaru objętego tym uziomem nie powinien być mniejszy niż wartość l_1 , tj.:

$$r_e \geq l_1$$

8.3.2. Instalowanie uziomów

Uziom otokowy typu B powinien być zakopany wokół obiektu na głębokości nie mniejszej niż 0,6 m i w odległości 1 m od zewnętrznych ścian obiektu.

Uziomy typu A powinny być instalowane przy usytuowaniu górnego ich krańca na głębokości nie mniejszej niż 0,6 m i zachowaniu najbardziej równomiernego ich rozkładu w celu zminimalizowania skutków sprzężenia elektrycznego w ziemi.

Uziomy powinny być instalowane w sposób pozwalający na ich sprawdzanie podczas budowy.

Głębokość osadzenia i typ uziomów powinny być tak dobrane, aby zminimalizowały skutki korozji oraz wysychania i zamarzania gruntu, a przez to ustabilizowały klasyczną rezystancję

uziemienia.

8.3.3. Uziomy naturalne

Wzajemnie połączona stal zbrojeniowa w fundamentach betonowych lub inne odpowiednie metalowe struktury podziemne powinny być wykorzystywane jako uziomy. Jeżeli jako uziom jest wykorzystywane metalowe zbrojenie w betonie, to szczególną uwagę należy zwrócić na wzajemne połączenia stali zbrojeniowej, aby zapobiec mechanicznemu rozłupywaniu betonu. Preferowaną metodą do połączeń przewodzących prądy piorunów jest spawanie i łączenie zaciskowe.

Połączenia zewnętrznych obwodów ze wzajemnie połączonym zbrojeniem powinny być wykonane za pomocą zacisków lub spawania.

Spoiny w betonie powinny mieć długość równą co najmniej 30 mm. Krzyżujące się pręty powinny być wygięte przed spawaniem tak, aby na długości co najmniej 50 mm przebiegały równolegle.

8.4. Elementy LPS

Elementy LPS powinny wytrzymywać skutki elektromagnetyczne prądu pioruna i przewidywalne przypadkowe naprężenia bez ulegania uszkodzeniom.

Materiał i kształt oraz minimalne wymiary przewodów i prętów na zwody i przewody odprowadzające są podane w tablicy nr 13.

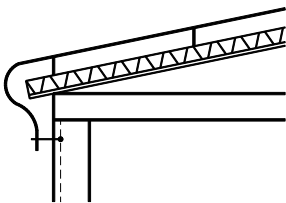
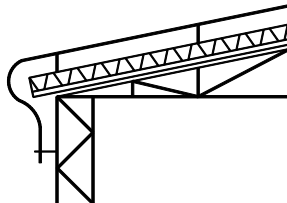
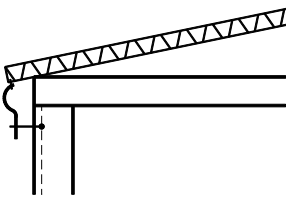
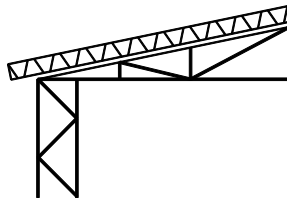
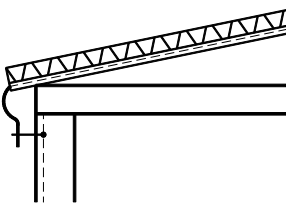
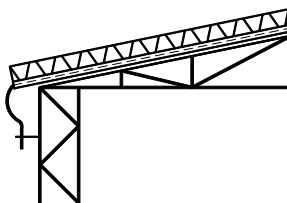
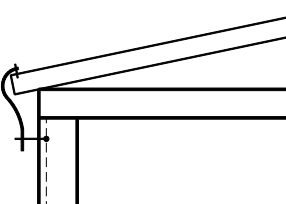
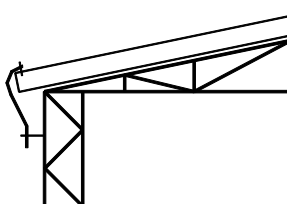
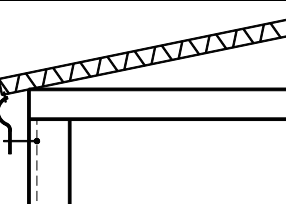
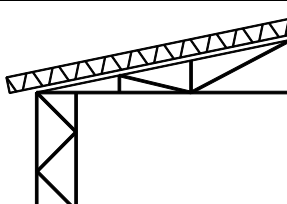
Tablica 13. Materiał, kształt i minimalne wymiary przewodów i prętów na zwody i przewody odprowadzające

Materiał	Kształt	Minimalna powierzchnia przekroju mm²	Uwagi¹⁰⁾
Miedź	Taśma Drut ⁷⁾ Linka Pręt ^{3),4)}	50 ⁸⁾ 50 ⁸⁾ 50 ⁸⁾ 200	min. grubość 2 mm średnica 8 mm min. średnica każdego drutu 1,7 mm średnica 16 mm
Miedź ocynowana ¹⁾	Taśma Drut ⁷⁾ Linka	50 ⁸⁾ 50 ⁸⁾ 50 ⁸⁾	min. grubość 2 mm średnica 8 mm min. średnica każdego drutu 1,7 mm
Aluminium	Taśma Drut Linka	70 50 ⁸⁾ 50 ⁸⁾	min. grubość 3 mm średnica 8 mm min. średnica każdego drutu 1,7 mm
Stop aluminium	Taśma Drut Linka Pręt ³⁾	50 ⁸⁾ 50 50 ⁸⁾ 200	min. grubość 2,5 mm średnica 8 mm min. średnica każdego drutu 1,7 mm średnica 16 mm
Stal ocynkowana ogniowo ²⁾	Taśma Drut ⁹⁾ Linka Pręt ^{3),4),9)}	50 ⁸⁾ 50 50 ⁸⁾ 200	min. grubość 2,5 mm średnica 8 mm min. średnica każdego drutu 1,7 mm średnica 16 mm
Stal nierdzewna ⁵⁾	Taśma ⁶⁾ Drut ⁶⁾ Linka Pręt ^{3),4)}	50 ⁸⁾ 50 50 ⁸⁾ 200	min. grubość 2 mm średnica 8 mm min. średnica każdego drutu 1,7 mm średnica 16 mm

- ¹⁾ Minimalna grubość powłoki ogniowej lub galwanicznej 1 μm .
- ²⁾ Powłoka powinna być gładka, ciągła i wolna od niejednorodności oraz mieć minimalną grubość 50 μm .
- ³⁾ Odpowiednie tylko na zwody pionowe. Tam gdzie naprężenia mechaniczne, np. powodowane wiatrem, nie są krytyczne, tam można stosować zwody pionowe o długości do 1 m z pręta o średnicy 10 mm z dodatkowym mocowaniem.
- ⁴⁾ Odpowiednie tylko na pręty wprowadzane do ziemi.
- ⁵⁾ Chrom $\geq 16\%$, nikiel $\geq 8\%$, węgiel $\leq 0,07\%$.
- ⁶⁾ Dla stali nierdzewnej osadzonej w betonie i/lub stykającej się bezpośrednio z materiałem palnym, minimalne wymiary drutów powinny być zwiększone do 78 mm^2 (średnica 10 mm), a taśm do 75 mm^2 (minimalna grubość 3 mm).
- ⁷⁾ W pewnych zastosowaniach, gdzie wytrzymałość mechaniczna nie stanowi zasadniczego wymagania, przekrój 50 mm^2 (średnica 8 mm) może być zmniejszony do 28 mm^2 (średnica 6 mm).
- ⁸⁾ Jeżeli względy cieplne i mechaniczne są ważne, to wymiary te mogą być zwiększone do 60 mm^2 dla taśm i do 78 mm^2 dla drutów i linek.
- ⁹⁾ Minimalny przekrój dla uniknięcia topnienia wynosi: 16 mm^2 (miedź), 25 mm^2 (aluminium), 50 mm^2 (stal i stal nierdzewna) przy energii właściwej równej 10000 kJ/ Ω .
- ¹⁰⁾ Grubość, szerokość i średnica są określone przy $\pm 10\%$

Przykłady wykorzystania elementów przewodzących obiektu jako naturalnych części urządzenia piorunochronnego przedstawione są w tablicy nr 14.

Tablica 14. Przykłady wykorzystania elementów przewodzących obiektu jako naturalnych części urządzenia piorunochronnego

Pokrycia dachowe	Rodzaj zwodu	Słupy nośne	
		żelbetowe	stalowe
Pokrycie izolacyjne na podłożu nie przewodzącym	poziomy niski na pokryciu niepalnym lub podwyższony na pokryciu palnym		
Izolacja cieplna niepalna na blasze wewnętrznej	wykorzystana blacha wewnętrzna		
Izolacja niepalna na płycie żelbetowej (przy dachach wylewanych)	wykorzystane zbrojenie płyty żelbetowej		
Blacha zewnętrzna na dachu nie przewodzącym z izolacją niepalną lub trudno zapalną ¹	wykorzystana blacha zewnętrzna		
Izolacja niepalna lub trudno zapalna między blachą zewnętrzną a wewnętrzną	wykorzystana blacha zewnętrzna (połączona z wewnętrzną)		
¹ w przypadku izolacji palnej należy stosować zwody podwyższone			

9. Wewnętrzny LPS

Wewnętrzny LPS powinien eliminować możliwość pojawienia się niebezpiecznego iskrzenia w poddawanych ochronie obiektach wskutek przepływu prądu w zewnętrznym LPS lub w innych częściach przewodzących obiektu.

Niebezpieczne iskrzenie między różnymi częściami może być wyeliminowane za pomocą:

- połączeń wyrównawczych,
- izolacji elektrycznej zewnętrznego LPS.

9.1. Połączenia wyrównawcze

Wyrównanie potencjałów jest uzyskiwane przez wzajemne połączenie LPS z:

- metalowymi częściami konstrukcyjnymi,
- metalowymi instalacjami,
- przyłączonymi do obiektu zewnętrznymi przewodzącymi częściami i liniami.

Środkami wzajemnych połączeń mogą być:

- przewody łączące, tam gdzie ciągłość galwaniczna połączeń nie jest zapewniona w sposób naturalny,
- urządzenia do ograniczania przepięć (SPD), tam gdzie bezpośrednie połączenie za pomocą przewodów łączących nie jest możliwe.

Urządzenia do ograniczania przepięć (SPD) powinny być instalowane w taki sposób, aby mogły być sprawdzane.

W przypadku izolowanego zewnętrznego LPS połączenie wyrównawcze powinno być wykonane jedynie na poziomie ziemi.

W przypadku zewnętrznego LPS, który nie jest izolowany, połączenie wyrównawcze powinno być instalowane w części przyziemnej obiektu oraz tam, gdzie nie są spełnione wymagania dotyczące odstępów izolacyjnych.

Dla budynków wyższych niż 30 m zaleca się stosowanie połączeń wyrównawczych na poziomie 20 m i co 20 m powyżej tego poziomu.

Galwanicznie ciągle przewodzące części obiektu mogą być użyte do realizacji połączeń wyrównawczych.

Jeżeli w rurociągach gazowych i wodnych występują wstawki izolacyjne, to powinny być one mostkowane za pomocą SPD.

9.2. Izolacja elektryczna zewnętrznego LPS

Izolacja elektryczna pomiędzy zwodem lub przewodem odprowadzającym a konstrukcyjnymi częściami metalowymi i instalacjami metalowymi może być uzyskana przez zapewnienie pomiędzy częściami odstępów większego niż wymagany odstęp izolacyjny S:

$$S = k_j \times k_c / k_m \times l$$

gdzie:

k_j zależy od wybranej klasy LPS (patrz tablica nr 15)

k_c zależy od prądu pioruna płynącego w przewodach odprowadzających (patrz tablica nr 16)

k_m zależy od materiału izolacji elektrycznej (patrz tablica nr 17)

- 1 jest długością w metrach, mierzoną wzdłuż zwodu lub przewodu odprowadzającego od punktu, w którym jest rozpatrywany odstęp izolacyjny, do punktu najbliższego połączenia wyrównawczego

Tablica 15. Wartość współczynnika k_j

Klasa LPS	k_j
I	0,08
II	0,08
III/IV	0,04

Tablica 16. Wartość współczynnika k_c

Liczba przewodów odprowadzających n	k_c
1	1
2	1 do 0,5
4 i więcej	1 do 1/n

Tablica 17. Wartość współczynnika k_m

Materiał	k_m
Powietrze	1
Beton, cegły	0,5
Uwaga: Jeżeli występuje szeregowo kilka materiałów izolacyjnych, to należy przyjąć mniejszą wartość k_m	

W obiektach z metalowym lub ciągłym galwanicznie szkieletem zbrojenia betonu odstęp izolacyjny nie jest wymagany.

9.3. Urządzenia do ograniczania przepięć SPD

Skuteczną ochronę od przepięć, powodujących awarie urządzeń wewnętrznych, uzyskuje się za pomocą skoordynowanych SPD, ograniczających napięcia poniżej znamionowej wytrzymałości udarowej poddawanego ochronie układu. Jeżeli w tym samym obwodzie są instalowane, jeden za drugim, dwa lub więcej SPD, to powinny być one skoordynowane tak, aby nastąpił między nimi podział energii zgodny z ich zdolnością do jej pochłaniania.

Dla zapewnienia skutecznej koordynacji, niezbędne jest uwzględnienie:

- właściwości poszczególnych SPD podawanych przez producenta,

- zagrożenia w miejscu zainstalowania SPD,
- charakterystyki urządzeń poddawanych ochronie.

Podstawowe zagrożenie piorunowe wiąże się z trzema typowymi udarami prądu pioruna:

- z pierwszym udarem krótkotrwałym,
- z następnymi udarami krótkotrwałymi,
- z udarem długotrwałym.

W koordynacji SPD, rozpatrywanej w kierunku odbiorów, czynnikiem dominującym przy rozważaniu podziału energii jest pierwszy удар krótkotrwały.

Prąd pierwszego udaru krótkotrwałego bezpośredniego wyładowania piorunowego może być symulowany przy użyciu fali o kształcie 10/350 μ s.

Koordynacja energetyczna jest osiągnięta, jeżeli część energii, na oddziaływanie której każdy SPD jest narażony, jest mniejsza lub równa energii przez niego wytrzymywanej.

Wytrzymywana energia powinna być ustalona na podstawie:

- badania elektrycznego,
- informacji technicznej dostarczonej przez producenta SPD.

Koordynacja pomiędzy SPD może być osiągnięta przy użyciu jednej z następujących metod:

- koordynacja charakterystyk napięciowo prądowych (bez elementów odsprzęgających),
- koordynacja wykorzystująca specjalne elementy odsprzęgające (rezystancyjne lub indukcyjne),
- koordynacja wykorzystująca wyzwalane SPD (bez elementów odsprzęgających).

Układy wewnętrzne są chronione jeżeli:

- ich udarowe napięcie wytrzymywane jest równe lub większe niż napięciowy poziom ochrony danego SPD, powiększony o przewidywany spadek napięcia na przewodach łączących,
- są one skoordynowane energetycznie z SPD od strony zasilania.

SPD powinny wytrzymywać prąd wyładowczy spodziewany w miejscu ich zainstalowania.

Powinny być zachowane odległości ochronne pomiędzy SPD a chronionym urządzeniem z uwagi na oscylacje oraz zjawiska indukcyjne.

Skoordynowany układ SPD powinien być zainstalowany jak następuje:

- na wejściu linii do obiektu należy zainstalować SPD1, którego napięciowy poziom ochrony jest mniejszy lub równy niż udarowe napięcie wytrzymywane poddawanych ochronie urządzeń wewnętrznych oraz zachowane są wymagania dotyczące odległości ochronnych,
- jeżeli powyższe warunki nie są spełnione, należy zainstalować bliżej urządzenia dodatkowe SPD2, skoordynowane energetycznie z SPD1 od strony zasilania oraz spełniające wymienione wyżej wymagania ochrony,
- jeżeli w dalszym ciągu powyższe warunki nie są spełnione należy zainstalować przy urządzeniu chronionym dodatkowe SPD3, skoordynowane energetycznie z SPD1 i SPD2 od strony zasilania.

W normie PN-IEC 60364-4-443 podane są kategorie wytrzymałości udarowej (kategorie przepięć) z uwzględnieniem miejsca zlokalizowania określonych urządzeń w instalacji. Zgodnie z powyższym wymagane znamionowe napięcia udarowe wytrzymywane urządzeń, dla sieci trójfazowej o napięciu nominalnym 230/400 V, wynoszą:

6 kV dla **IV** kategorii wytrzymałości udarowej (kategorii przepięć),

4 kV dla **III** kategorii wytrzymałości udarowej (kategorii przepięć),

2,5 kV dla **II** kategorii wytrzymałości udarowej (kategorii przepięć),

1,5 kV dla **I** kategorii wytrzymałości udarowej (kategorii przepięć).

Poszczególne kategorie wytrzymałości udarowej (kategorie przepięć) dotyczą następujących elementów instalacji:

- **kategoria IV** dotyczy urządzeń stosowanych w złączu instalacji elektrycznej budynku lub w pobliżu złącza przed główną rozdzielnicą,
- **kategoria III** dotyczy urządzeń rozdzielczych i obwodów odbiorczych, na przykład: rozdzielnic, wyłączników, oprzewodowania, a w tym kabli, przewodów szynowych, puszek łączeniowych, łączników, gniazd wtyczkowych w instalacji stałej, stacjonarnych silników przyłączonych trwale do instalacji stałej itp.,
- **kategoria II** dotyczy odbiorników, na przykład: urządzeń gospodarstwa domowego, elektrycznych narzędzi przenośnych lub podobnych odbiorników,
- **kategoria I** dotyczy urządzeń specjalnie chronionych.

9.4. Wyszczególnienie obiektów wymagających wyposażenia w wymaganej klasy urządzenie piorunochronne

Polski Komitet Ochrony Odgromowej Stowarzyszenia Elektryków Polskich przedstawił propozycję zawierającą wyszczególnienie obiektów, które powinny być wyposażone w wymaganej klasy urządzenie piorunochronne. Propozycja ta przedstawiona jest w tablicy nr 18.

Tablica 18. Wyszczególnienie obiektów wyposażonych w wymaganej klasy urządzenie piorunochronne

Charakterystyka obiektu			Klasa/poziom ochrony		
L.p.	Cecha ogólna	Rodzaj lub przeznaczenie ^{b)}	I	II	III-IV
1.1	Obiekty usług publicznych w warunkach normalnego zagrożenia ^{a)}	Budynki administracyjne			X
1.2		Kina, teatry, szkoły, przedszkola			X
1.3		Kościoły z wieżą do 20 m			X
1.4		Muzea i obiekty historyczno-kulturowe			X
1.5		Hale targowe, widowiskowe itp.			X
1.6		Bazary			X
1.7		Zamknięte obiekty sportowe			X
1.8		Baseny i hale pływackie			X
1.9		Garaże (duże i średnie)			X
2.1	Obiekty przemysłowe i rzemieślnicze w warunkach normalnego zagrożenia	Biurowe			X
2.2		Produkcyjne, magazynowe ^{a)}			X
2.3		Gastronomiczne			X
3.1	Noclegownie	Hotele, zajazdy, pensjonaty			X
3.2		Duże hotele		X	

3.3		Schroniska, hale noclegowe		X	
4.1	Obiekty kolejowe	Obiekty ekspedycyjne (dworce, perony) ^{a)}			X
4.2		Budynki administracyjne			X
4.3		Magazyny			X
5.1	Obiekty lotnicze	Części budynków ze strefami wybuchowymi	X		
5.2		Centra nadzoru i obsługi linii lotniczych	X		
5.3		Inne centra nadzoru lotniczego		X	
5.4		Budynki odpraw pasażerskich ^{a)}			X
5.5		Budynki administracyjne			X
5.6		Hangary, magazyny			X
6.1	Obiekty zdrowotne i opiekuńcze	Obiekty intensywnej terapii	X		
6.2		Domy opieki i domy starców		X	
6.3		Pawilony szpitalne			X
6.4		Budynki administracyjne			X
7.1	Obiekty wielkogabarytowe	Gmachy wyższe niż 30 m		X	
7.2		Kościóły z wieżą ponad 20 m		X	
8.1	Obiekty mieszkalne	Domy jednorodzinne			X
8.2		Domy wielorodzinne			X
9.1	Obiekty rolnicze	Budynki gospodarcze			X
10.1	Obiekty z zagrożeniem wybuchowym lub pożarowym	Wytwornie i składy materiałów wybuchowych	X		
10.2		Składy amunicji	X		
10.3		Zakłady pirotechniczne	X		
10.4		Części budynków ze strefami wybuchowymi	X		
10.5		Instalacje oczyszczalni ścieków	X		
10.6		Instalacje gazów/płynów palnych	X		
10.7		Zakłady petrochemiczne		X	
10.8		Budynki z materiałów łatwopalnych		X	
11.1	Obiekty usług technicznych	Obiekty energetyczne		X	
11.2		Obiekty telekomunikacyjne		X	
11.3		Obiekty informatyczne		X	

11.4		Centrale nadzoru technicznego		X	
------	--	-------------------------------	--	---	--

- a) W warunkach zwiększonego zagrożenia obiektów (obiekty usytuowane na wzniesieniach lub zawierające wieloosobowe pomieszczenia, nieodporne termicznie konstrukcje lub materiały itp.) należy podwyższyć ich poziom ochrony do klasy II, a w przypadku części obiektów zawierających strefy zagrożone wybuchem lub urządzenia wrażliwe na oddziaływania elektromagnetyczne – do klasy I.
- b) Wymagane jest zwrócenie szczególnej uwagi na skuteczność środków ochrony wewnętrznej (ochrony urządzeń elektrycznych i elektronicznych przed przepięciami).