

Urządzenia piorunochronne - wymagania dotyczące projektowania i instalowania

*Na podstawie PN-EN 62305-3:2011 Ochrona odgromowa
Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia*

Urządzenie piorunochronne (LPS) może być projektowane i wykonywane równoległe z projektowaniem i budową obiektu, który ma być wyposażony w taką ochronę. Możliwa jest wtedy techniczna i ekonomiczna optymalizacja projektu LPS. W projekcie samego obiektu powinno być uwzględnione wykorzystanie jego części metalowych jako części LPS. Natomiast, projekt LPS dla wybudowanego obiektu powinien uwzględniać ograniczenia wynikające z istniejącej sytuacji.

1. Urządzenie piorunochronne zewnętrzne

Zewnętrzny LPS jest przeznaczony do przyjmowania bezpośrednich wyładowań piorunowych w obiekt, włącznie z wyładowaniami w bok obiektu, i odprowadzenia prądu pioruna do ziemi.

W większości przypadków zewnętrzny LPS może być mocowany do chronionego obiektu. W przypadkach, gdy wyładowanie piorunowe do LPS lub przepływ prądu piorunowego w jego przewodach groziłby uszkodzeniami obiektu, powinien być stosowany zewnętrzny izolowany LPS. Zastosowanie izolowanego LPS może być dogodne w przypadku przewidywanych przyszłych modyfikacji obiektu. Izolowany LPS jest także korzystny, gdy podatność na zakłócenia urządzeń w obiekcie uzasadnia zmniejszenie zaburzeń elektromagnetycznych generowanych przez prąd piorunowy płynący w przewodach odprowadzających.

Metalowe elementy obiektu, odpowiednio ze sobą połączone, które nie będą w przyszłości modyfikowane, mogą być użyte jako części LPS.

1.1. Zwody odgromowe

Zwody odgromowe mogą być utworzone przez dowolną kombinację następujących elementów:

- pręty pionowe (włącznie z wolnostojącymi masztami),
- pojedyncze przewody poziome,
- przewody w układzie oczkowym.

Aby zapewnić podział prądu, poszczególne zwody pionowe powinny być połączone ze sobą na poziomie dachu. 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 (jedną lub więcej):

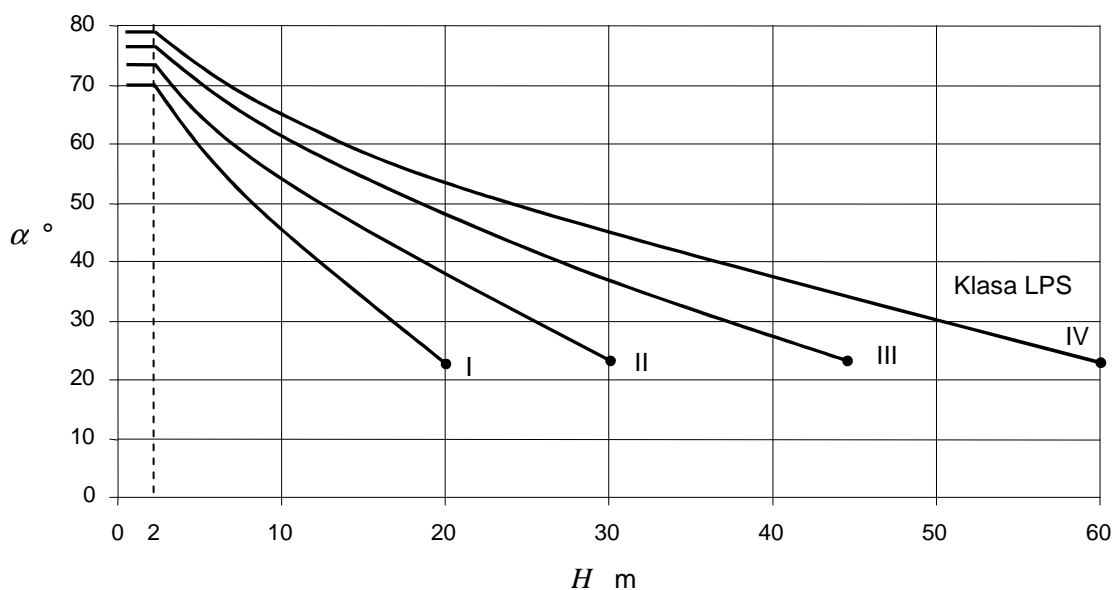
- metoda kąta ochronnego,
- metoda toczącej się kuli,
- metoda oczkowa.

Metodę toczącej się kuli można stosować w każdym przypadku. Metoda kąta ochronnego jest odpowiednia dla budynków o prostych kształtach, ale wysokość zwodów jest ograniczona (rys. 1). Metoda oczkowa jest właściwa dla obiektów o płaskich powierzchniach dachów.

Wartości promienia toczącej się kuli i wymiarów oczka sieci zwodów, dla każdej klasy LPS, podano w tablicy 1, a wartości kąta ochrony na rys. 1.

Tablica 1. Maksymalne wartości promienia toczonej się kuli oraz wymiarów oczek sieci, odpowiadających klasom LPS

Klasa LPS	Promień toczonej się kuli m	Wymiar oczka m
I	20	5 × 5
II	30	10 × 10
III	45	15 × 15
IV	60	20 × 20



Rys. 1. Kąt ochrony α w zależności od wysokości H zwodu i klasy LPS

Przy obiektach wyższych niż 60 m mogą pojawiać się wyładowania boczne, zwłaszcza trafiające w narożniki i krawędzie płaszczyzn. Na ogół ryzyko związane z tymi wyładowaniami jest małe. Układ zwodów powinien być zainstalowany tak, aby ochronił górną część wysokich obiektów (tj. 20 % wysokości obiektu od góry).

Rozmieszczanie zwodów przy wykorzystaniu metody oczkowej powinno spełniać podane niżej warunki.

- a) Przewody zwodów powinny być układane:
 - na krawędziach dachu,
 - na częściach wystających dachu,
 - na kalenicy, jeżeli nachylenie dachu przekracza 10 %.
- b) Sieć zwodów powinna umożliwiać odpływ prądu pioruna do uziemienia co najmniej dwiema drogami.
- c) Żadna instalacja metalowa nie powinna wystawać na zewnątrz przestrzeni chronionej przez układ zwodów.
- d) Zwody powinny być ułożone po możliwie najkrótszej drodze.

Przy nachyleniu dachu większym niż 10 % mogą być stosowane przewody równoległe z zachowaniem odstepu nie większego niż wymagana szerokość oczka.

Zwody LPS nie izolowanego od chronionego obiektu mogą być instalowane:

- na powierzchni dachu, jeżeli dach jest wykonany z materiału niepalnego,

- w odległości nie mniejszej niż 10 cm od powierzchni dachu, jeżeli dach jest wykonany z materiału łatwopalnego,

Łatwopalne części chronionego obiektu nie powinny pozostawać w bezpośrednim styku z elementami zewnętrznego LPS i nie powinny pozostawać bezpośrednio pod jakąkolwiek metalową powłoką dachu, która może być przebita przez wyładowanie piorunowe.

Następujące części obiektu powinny być uznane za naturalne zwody i części LPS:

- metalowe powłoki (blachy) pokrywające obiekt, pod warunkiem, że spełniają wymagania dotyczące ich grubości trwałości połączeń przewodzących,
- metalowe elementy konstrukcji znajdujące się bezpośrednio pod niemetalowym pokryciem dachu, które nie musi być chronione.
- części metalowe o przekrojach nie mniejszych niż wymagane dla zwodów standardowych,
- metalowe rury i zbiorniki na dachu, w tym zawierające mieszaniny łatwopalne lub wybuchowe, pod warunkiem, że są skonstruowane z materiału o wymaganej grubości i że wzrost temperatury ich powierzchni wewnętrznej na skutek uderzenia pioruna nie stanowi zagrożenia.

Naturalne elementy zwodów i innych części LPS

Jako części LPS mogą być użyte następujące elementy metalowe obiektu, jeśli spełniają wymagania normy (tablica 2):

- metalowe pokrycie chronionego obiektu pod warunkiem, że:
 - połączenie elektryczne elementów jest trwałe (np. uzyskane przez twarde lutowanie, spawanie, zginiatanie lub łączenie za pomocą śrub),
 - grubość metalowego pokrycia jest zgodna z wymaganiami normy,
 - nie jest pokryte materiałem izolacyjnym;
- metalowe elementy konstrukcji dachu pod niemetalowym pokryciem dachu, którego uszkodzenie jest dopuszczalne;
- metalowe części (zwieńczenia, balustrady, rury, itp.) o przekrojach nie mniejszych niż wymagane dla zwodów standardowych;
- rury i zbiorniki metalowe na dachu, pod warunkiem, że są wykonane z materiału o grubości i przekroju zgodnym z normą;
- rury i zbiorniki metalowe zawierające mieszaniny łatwopalne lub wybuchowe, wykonane z materiału o grubości nie mniejszej niż wartość t podana w normie.

Tablica 2. Minimalna grubość warstw lub rur metalowych jako zwodów

Klasa LPS	Materiał	Grubość t mm	Grubość 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

t zapobiega przebiciu,

t' tylko dla warstw metalowych, jeżeli nie jest ważna ochrona przed przebiciem, wysoką temperaturą lub zapłonem.

1.2. Przewody odprowadzające

W celu zmniejszenia prawdopodobieństwa wystąpienia szkody wskutek przepływu prądu pioruna przez LPS, należy rozmieścić przewody odprowadzające tak, żeby od punktu uderzenia pioruna do ziemi było kilka możliwie krótkich równoległych dróg prądowych.

W przypadku LPS izolowanego jest wymagany:

- przynajmniej jeden oddzielny przewód odprowadzający dla zwodu pionowego na maszcie wykonanym z elementów niemetalowych,
- przynajmniej jeden przewód odprowadzający na każdym podpartym końcu poziomego zwodu wysokiego,
- przynajmniej jeden przewód odprowadzający na każdym podpartym końcu poziomego zwodu wysokiego tworzącego sieć oczkową.

W przypadku nie izolowanego LPS, liczba przewodów odprowadzających nie powinna być mniejsza niż dwa. Przewody powinny być rozłożone wokół obwodu chronionego obiektu, przy uwzględnieniu ograniczeń architektonicznych i praktycznych. Preferowane jest równomierne rozmieszczenie przewodów odprowadzających wokół obiektu. Typowe odległości pomiędzy przewodami odprowadzającymi podano w tablicy 3.

Tablica 3. Typowe odległości między przewodami odprowadzającymi w zależności od klasy LPS

Klasa LPS	Typowe odległości m
I	10
II	10
III	15
IV	20

Przewody odprowadzające powinny być, o ile to możliwe, bezpośrednim przedłużeniem zwołów. Powinny być instalowane prosto, pionowo tak, żeby tworzyły najkrótszą drogę do ziemi. Należy unikać tworzenia pętli przez przewody odprowadzające.

Przewody odprowadzające LPS nie izolowane od obiektu mogą być instalowane:

- na powierzchni ściany lub w ścianie wykonanej z materiału niepalnego,
- na powierzchni ściany wykonanej z materiału łatwopalnego, jeżeli temperatura przewodów spowodowana przepływem prądu pioruna nie jest niebezpieczna dla materiału ściany,
- w odległości, co najmniej 10 cm od ściany wykonanej z materiału łatwopalnego, dla którego wzrost temperatury przewodów odprowadzających jest niebezpieczny.

Jeżeli wymaganego odstepu przewodu odprowadzającego od palnej ściany nie można zapewnić, to jego przekrój nie powinien być mniejszy niż 100 mm².

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

- części metalowe pod warunkiem, że połączenia przewodzące między nimi są trwałe, a ich wymiary są przynajmniej równe wymiarom wyszczególnionym w tablicy 4,
- metalowy szkielet elektrycznie ciągłej konstrukcji żelbetowej obiektu,
- wzajemnie połączone stalowy szkielet konstrukcji obiektu,
- metalowe elementy konstrukcyjne fasad pod warunkiem, że ich wymiary odpowiadają wymaganiom dla przewodów odprowadzających i że grubości powłok metalowych lub rur metalowych nie są mniejsze niż 0,5 mm.

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

Tablica 4. Materiał, kształt i minimalna powierzchnia przekroju przewodów i prętów na zwody i przewody odprowadzające

Materiał	Kształt	Minimalna powierzchnia przekroju mm ²
Miedź Miedź pokryta cyną	Taśma	50
	Drut	50
	Linka	50
	Pręt	176
Aluminium	Taśma	70
	Drut	50
	Linka	50
Stal ocynkowana ogniowo	Taśma	50
	Drut	50
	Linka	50
	Pręt	176
Stop aluminiowy	Taśma	50
	Drut	50
	Linka	50
	Pręt	176
Stop aluminiowy pokryty miedzią	Drut	50
Stal pokryta miedzią	Drut	50
	Taśma	50
Stal nierdzewna	Taśma	50
	Drut	50
	Linka	70
	Pręt	176

1.3. Uziomy

W rozważaniach nad rozpraszaniem prądu pioruna w gruncie, dla minimalizacji potencjalnie niebezpiecznych przepięć, ważnym kryterium dotyczącym uziomów jest ich kształt i wymiary. Na ogół zalecana jest mała rezystancja uziemienia (w miarę możliwości mniejsza niż 10 Ω, zmierzona przy małej częstotliwości).

Układ typu A

Układ uziomów typu A zawiera uziomy poziome lub pionowe instalowane na zewnątrz chronionego obiektu i przyłączane do każdego przewodu odprowadzającego. W układach typu A całkowita liczba uziomów nie powinna być mniejsza niż dwa.

Minimalna długość uziomu u podstawy każdego przewodu odprowadzającego jest równa:

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

gdzie l_1 jest minimalną długością uziomów poziomych według rys. 2.

Należy brać pod uwagę całkowitą długość uziomów złożonych (pionowych lub poziomych). Minimalne długości określone na rys. 2 mogą nie być respektowane, pod warunkiem, że uzyskana rezystancja uziomu jest mniejsza niż 10 Ω.

Układ typu B

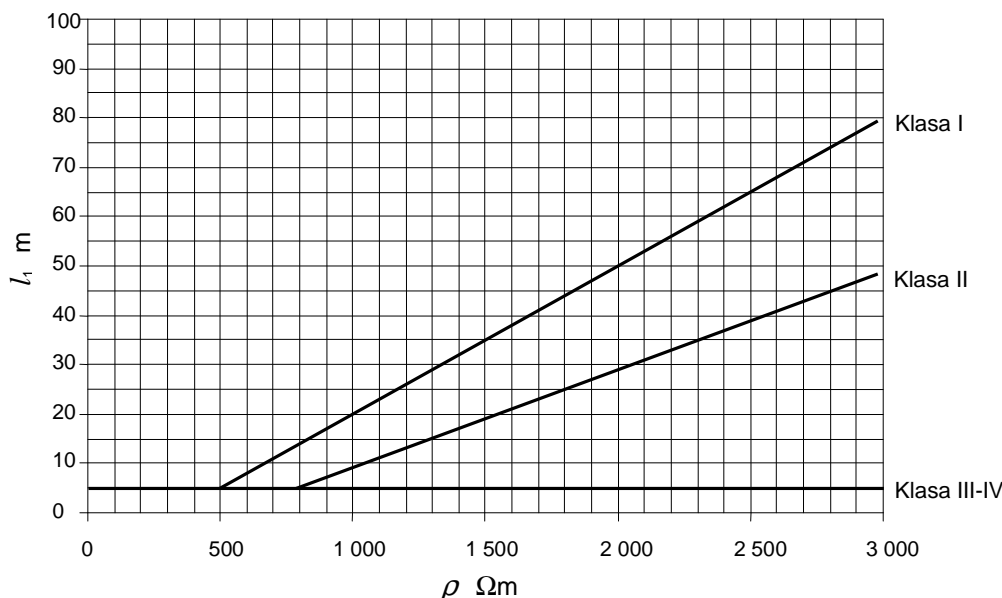
Układ uziomów typu B zawiera albo uziom otokowy, ułożony na zewnątrz chronionego obiektu i pozostający w kontakcie z ziemią na długości przynajmniej 80 % całkowitej jego długości, albo uziom fundamentowy. Takie uziomy mogą być również układane w kratę. W przypadku uziomu otokowego (lub fundamentowego) średni promień r_e obszaru objętego tym uziomem nie powinien być mniejszy niż wartość l_1 , tj.:

$$r_e \geq l_1$$

przy czym l_1 jest podane na rys. 2, stosownie do klas LPS.

Jeżeli wymagana wartość l_1 jest większa niż średnia wartość r_e , to należy dodać dodatkowy uziom poziomy lub pionowy (lub nachylony) o indywidualnej długości l_r (poziomej) lub l_v (pionowej), określonej odpowiednim równaniem:

$$l_r = l_1 - r_e \quad \text{lub} \quad l_v = (l_1 - r_e)/2$$



Rys. 2. Minimalna długość l_1 uziomu w zależności od rezystywności gruntu ρ i klasy LPS

Zaleca się, żeby liczba uziomów nie była mniejsza niż liczba przewodów odprowadzających, a w żadnym razie nie mniejsza niż dwa. Dodatkowe uziomy powinny być przyłączone do uziomu otokowego w punktach, w których są przyłączone przewody odprowadzające i w możliwie jednakowych odległościach.

Instalacja uziomów

W tabelicy 5 podano dane dotyczące materiałów, kształtów i minimalnych wymiarów uziomów.

Uziom otokowy (układu typu B) powinien być zakopany na głębokości nie mniejszej niż 0,5 m i w odległości około 1 m od zewnętrznych ścian naokoło obiektu. Uziomy układu typu A powinny być instalowane z umieszczeniem górnego krańca na głębokości nie mniejszej niż 0,5 m i z zachowaniem możliwie jednakowych odstępów.

Głębokość osadzenia i typ uziomów powinny być tak dobrane, aby minimalizować skutki korozji oraz wysychania i zamarzania gruntu. W środowisku odsłoniętych skał litych zaleca się stosowanie tylko uziomów typu B. Dla obiektów z rozległymi systemami elektronicznymi lub z dużym ryzykiem wystąpienia pożaru preferowany jest uziom typu B.

Tablica 5. Materiał, kształt i wymiary minimalne uziomów

Materiał	Kształt	Wymiary minimalne		
		Uziom prętowy, średnica mm	Uziom przewo- dowy, przekrój mm ²	Uziom płytowy, wymiary mm
Miedź Miedź pokryta cyną	Linka		50	
	Pręt	15	50	
	Taśma		50	
	Rura	20		
	Płyta			500 × 500
	Krata			600 × 600
Stal ocynkowana ogniowo	Pręt	14	78	
	Rura	25		
	Taśma		90	
	Płyta			500 × 500
	Krata			600 × 600
Stal	Linka		70	
	Pręt		78	
	Taśma		75	
Stal pokryta miedzią	Pręt	14	50	
	Taśma		90	
Stal nierdzewna	Pręt	15	78	
	Taśma		100	

Wzajemnie połączona stal zbrojeniowa w fundamentach betonowych lub inne odpowiednie metalowe struktury podziemne powinny być wykorzystywane jako uziomy.

1.4. Materiały na urządzenia piorunochronne

Elementy LPS powinny wytrzymywać skutki elektromagnetyczne prądu pioruna i przewidywalne przypadkowe naprężenia. Elementy LPS powinny być wykonywane z materiałów podanych w tablicy 6 lub z innych materiałów o równoważnych właściwościach mechanicznych, elektrycznych i chemicznych (korozyjnych).

Zwody i przewody odprowadzające powinny być mocowane tak, aby siły elektrodynamiczne lub przypadkowe siły mechaniczne nie powodowały ich przerwania lub obłuzowania. Liczba połączeń wzdłuż przewodów powinna być jak najmniejsza. Połączenia powinny być trwałe, wykonane przez:

- twarde lutowanie,
- spawanie,
- zagniatanie,
- łączenie na zakładkę,
- łączenie za pomocą śrub.

W szczególnych okolicznościach wymagane jest bardziej staranne rozpatrzenie odporności korozyjnej. Linki są bardziej wrażliwe na korozję niż przewody lite. Linki są podatne na uszkodzenia w miejscach, gdzie wchodzi lub wychodzą z ziemi lub betonu.

Stal ocynkowana może korodować w gruncie gliniastym lub wilgotnym. Stal ocynkowana nie powinna przechodzić z betonu do ziemi z powodu możliwej korozji stali tuż na zewnątrz betonu. Stal ocynkowana stykająca się ze stalą zbrojenia w betonie może powodować jego uszkodzenie.

Tablica 6. Materiały na urządzenia piorunochronne i warunki ich stosowania

Materiał	Stosowanie			Korozja		
	Na otwartym powietrzu	W ziemi	W betonie	Odporność	Zwiększona przez	Może być zniszczony przez galwaniczne sprzężenie z
Miedź	pręt linka	pręt linka powłoka	pręt linka powłoka	dobra w wielu środowiskach	związki siarki, materiały organiczne	–
Stal ocynkowana na gorąco	pręt linka	pręt	pręt linka	do przyjęcia w powietrzu, betonie i łagodnym gruncie	dużą zawartość chlorków	miedzią
Stal nierdzewna	pręt linka	pręt linka	pręt linka	dobra w wielu środowiskach	dużą zawartość chlorków	–
Aluminium	pręt linka	---	---	dobra w atmosferze z niewielką zawartością siarki i chlorków	roztwory alkaliczne	miedzią
Ołów	pręt powłoka	pręt powłoka	---	dobra w atmosferze z dużą koncentracją siarczanów	grunty kwaśne	miedzią lub stalą nierdzewną

2. Urządzenie piorunochronne wewnętrzne

Wewnętrzny LPS powinien eliminować możliwość wystąpienia wyładowań iskrowych w chronionym obiekcie, wskutek przepływu prądu w zewnętrznym LPS lub w częściach przewodzących obiektu. Niebezpiecznego iskrzenia między metalowymi elementami można uniknąć przez zastosowanie połączeń wyrównawczych lub izolacji elektrycznej.

2.1. Piorunowe połączenia wyrównawcze

Wyrównywanie potencjałów uzyskuje się przez wzajemne połączenie LPS z:

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

W przypadku stosowania piorunowych połączeń wyrównawczych z urządzeniami wewnętrznymi, część prądu pioruna może wpływać do tych urządzeń.

Połączenia wyrównawcze mogą być zrealizowane za pomocą:

- przewodów łączących, tam gdzie naturalne połączenia nie zapewniają elektrycznej ciągłości,
- urządzenia do ograniczania przepięć (SPD), tam gdzie bezpośrednie połączenie za pomocą przewodów nie jest możliwe,
- izolujących przerw iskrowych, tam gdzie nie jest dozwolone użycie przewodów łączących.

Sposób realizacji połączeń wyrównawczych jest ważny i powinien być skonsultowany z operatorami sieci przyłączonych do obiektu (elektrycznej, telekomunikacyjnej, gazowej itp.). SPD powinny być instalowane w sposób umożliwiający ich sprawdzanie.

W tablicach 7 i 8 przedstawiono wymagane minimalne przekroje przewodów, które powinny być stosowane w połączeniach wyrównawczych.

Tablica 7. Minimalne przekroje przewodów do łączenia szyn wyrównawczych między sobą i z systemem uziemienia

Klasa LPS	Materiał	Przekrój poprzeczny mm ²
I do IV	Miedź	16
	Aluminium	25
	Stal	50

Tablica 8. Minimalne przekroje przewodów, do łączenia metalowych instalacji wewnętrznych z szynami wyrównawczymi

Klasa LPS	Materiał	Przekrój poprzeczny mm ²
I do IV	Miedź	6
	Aluminium	10
	Stal	16

W przypadku izolowanego zewnętrznego LPS piorunowe połączenie wyrównawcze powinno być wykonane jedynie na poziomie ziemi. Natomiast, w przypadku nie izolowanego zewnętrznego LPS połączenie wyrównawcze powinno być instalowane w podziemiu lub przy powierzchni ziemi. Przewody łączące powinny być przyłączone do szyny wyrównawczej skonstruowanej i zainstalowanej w sposób umożliwiający łatwy dostęp do sprawdzenia. Szyna wyrównawcza powinna być połączona z systemem uziemienia.

2.2. Izolacja elektryczna zewnętrznego LPS

Wytrzymałość izolacji elektrycznej między zwodem lub przewodem odprowadzającym a metalowymi częściami obiektu, instalacjami i urządzeniami może być zapewniona przez zastosowanie odstępu izolacyjnego s między tymi elementami:

$$s = k_i \frac{k_c}{k_m} l$$

gdzie:

k_i zależy od klasy LPS - dla klas I, II oraz III i IV k_i wynosi odpowiednio: 0,008, 0,06, 0,04;

k_c zależy od liczby przewodów odprowadzających - dla liczby $n = 1, 2, 3$ i więcej, k_c wynosi odpowiednio: 1, 0,66, 0,44;

k_m zależy od rodzaju izolacji elektrycznej - dla powietrza $k_m = 1$, dla betonu i cegły $k_m = 0,5$,

l odległość w metrach, mierzona wzdłuż zwodu lub przewodu odprowadzającego od miejsca rozpatrywanego odstępu izolacyjnego, do najbliższego połączenia wyrównawczego.

3. Środki ochrony przed porażeniem istot żywych

Sąsiedztwo przewodów odprowadzających LPS, na zewnątrz obiektu, może być niebezpieczne dla ludzi i zwierząt. Zagrożenie jest zmniejszone do poziomu tolerowanego, jeżeli jest spełniony jeden z następujących warunków:

- w normalnych warunkach eksploatacji żadne osoby nie znajdują się w odległości mniejszej niż 3 m od przewodów odprowadzających,
- układ składa się z co najmniej 10 przewodów odprowadzających,
- rezystywność warstwy powierzchniowej gruntu w zasięgu 3 m od przewodu odprowadzającego nie jest mniejsza niż 100 k Ω m.

Warstwa materiału izolacyjnego, np. asfalt o grubości 5 cm (lub warstwa żwiru o grubości 15 cm), zmniejsza zwykle zagrożenie do tolerowanego poziomu.

W przypadku niespełnienia wymienionych warunków, należy zastosować środki ochrony przed porażeniem istot żywych napięciami dotykowymi:

- izolowanie dostępnego przewodu odprowadzającego, na napięcie wytrzymywane 100 kV, 1,2/50 ms, np. usieciowanym polietylenem o grubości przynajmniej 3 mm,
- stosowanie fizycznych ograniczeń lub tablic ostrzegawczych.

Dla ochrony istot żywych przed porażeniem napięciami krokowymi należy stosować:

- ekwipotencjalizację gruntu przez zastosowanie uziomu kratowego.
- fizyczne ograniczenia lub tablice ostrzegawcze.