

Wymiarowanie urządzenia piorunochronnego w zależności od klasy LPS

Opracowanie:
dr inż. Tomasz Maksimowicz
RST Sp. z o.o.

15-620 BIAŁYSTOK
ul. Elewatorska 17/1
tel.: 792 350 100
www.rst.bialystok.pl
e-mail: rst@rst.bialystok.pl

1. Wstęp

Bezpośrednie uderzenie pioruna w obiekt budowlany może prowadzić do zagrożenia życia ludzkiego, uszkodzenia fizycznego budynku, pożaru i awarii lub nawet zniszczenia urządzeń elektrycznych i elektronicznych znajdujących się w jego wnętrzu. Ochrona odgromowa ma na celu minimalizację ryzyka związanego z doziemnymi wyładowaniami atmosferycznymi. Zadaniem zewnętrznego urządzenia piorunochronnego (LPS) jest przechwycenie wyładowania za pomocą układu zwodów, odprowadzenie prądu pioruna przewodami odprowadzającymi i rozproszenie energii za pomocą układu uziomów. O skuteczności zewnętrznego LPS decyduje konfiguracja rozmieszczenia układu zwodów, która zależy od przyjętej metody i poziomu ochrony odgromowej (LPL). W niniejszym artykule zostanie przedstawiony wpływ poziomu LPL na projektowanie zewnętrznego urządzenia piorunochronnego i omówiona zależność wymiarów od przyjętej klasy LPS.

2. Konieczność stosowania ochrony odgromowej

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa [1] w zakresie ochrony odgromowej obiektów budowlanych zawiera następujące paragrafy:

§ 53

2. Budynek należy wyposażyć w instalację chroniącą od wyładowań atmosferycznych. Obowiązek ten odnosi się do budynków wyszczególnionych w Polskiej Normie dotyczącej ochrony odgromowej obiektów budowlanych.

§ 184

3. Instalacja piorunochronna, o której mowa w § 53 ust. 2, powinna być wykonana zgodnie z Polską Normą dotyczącą ochrony odgromowej obiektów budowlanych.

Jako Polskie Normy, o których mowa w powyższych zapisach, w załączniku do Rozporządzenia [1] przywołana jest seria norm PN-EN 62305. Paragraf § 53 rozporządzenia określa, kiedy ochrona odgromowa jest obowiązkowa. W tym zakresie przywołana jest norma PN-EN 62305-2 *Zarządzanie ryzykiem* [2], która zawiera algorytmy bazujące na analizie ryzyka, na podstawie których podejmowana jest decyzja o tym, czy obiekt wymaga ochrony odgromowej czy nie. Paragraf § 184 narzuca z kolei wymóg, że urządzenie piorunochronne należy wykonać zgodnie z przywołaną do tego paragrafu serią norm PN-EN 62305 – zasady projektowania i wykonania zewnętrznego LPS opisuje część trzecia PN-EN 62305-3 *Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia* [3].

Należy zatem stwierdzić, że w zakresie ochrony odgromowej obiektów budowlanych, seria norm PN-EN 62305 stanowi podstawę zarówno dla stwierdzenia potrzeby stosowania, projektowania jak i wykonania urządzenia piorunochronnego.

3. Klasa urządzenia piorunochronnego

Wynikiem przeprowadzenia przez projektanta procedury oceny zarządzania ryzykiem, opisanej w PN-EN 62305-2 [2], jest nie tylko decyzja o tym, czy konieczne jest stosowanie ochrony odgromowej, ale także to, w jaki sposób powinna być ona wykonana i jakie środki ochrony należy zastosować. W przypadku, gdy ochrona przed bezpośrednim uderzeniem pioruna okazuje się konieczna, to analiza ryzyka określa wymaganą klasę urządzenia piorunochronnego LPS. Im większe ryzyko wynikające z potencjalnych skutków uderzenia pioruna tym wyższa klasa LPS jest wymagana. Klasy powiązane są z poziomem ochrony odgromowej LPL (Tablica 1.) – przy czym LPS klasy I. stanowi najwyższy poziom ochrony. Poszczególne poziomy LPL zakładają określone zakresy spodziewanych wartości szczytowych prądu pioruna – zarówno maksymalnych, jak i minimalnych. Im szerszy zakres parametrów pioruna zostanie przyjęty, tym skuteczniejsza jest ochrona. Przy wymiarowaniu LPS istotne są bowiem nie tylko maksymalne ale i minimalne spodziewane wartości prądu wyładowania doziemnego.

Tablica 1. Spodziewany prąd pioruna i klasy urządzenia piorunochronnego w zależności od poziomu ochrony odgromowej

LPL	I_{min}	I_{max}	Klasa LPS
I	3 kA	200 kA	I
II	5 kA	150 kA	II
III	10 kA	100 kA	III
IV	16 kA	100 kA	IV

Zewnętrzne urządzenie piorunochronne, jak napisano we wstępie, składa się w ogólnym przypadku ze zwodów, przewodów odprowadzających i układu uziomów. Każdy z tych elementów jest w pewien sposób zależny od klasy LPS. Na etapie projektowania ochrony odgromowej, w zakresie zewnętrznego urządzenia piorunochronnego, klasa LPS wpływa na:

- wymiarowanie stref ochronnych LPZ 0B;
- odstępy między przewodami odprowadzającymi;
- minimalne wymiary uziomów;
- odstępy separujące.

4. Metody projektowania zwodów

Sposób rozmieszczenia zwodów na dachu budynku decyduje o skuteczności urządzenia piorunochronnego. Ogólnie rzecz biorąc: im gęstsza sieć przewodów LPS tym większe prawdopodobieństwo przechwycenia wyładowania piorunowego a więc skuteczniejsza ochrona. Rozmieszczenie zwodów wyznacza strefę ochrony odgromowej LPZ 0B, wewnątrz której uznaje się, że nie występuje ryzyko bezpośredniego uderzenia pioruna. Strefa LPZ 0B powinna obejmować cały obiekt

poddawany ochronie, łącznie z wszelkimi urządzeniami znajdującymi się na jego dachu lub elewacjach.

Zasady projektowania urządzenia piorunochronnego zawarte są w PN-EN 62305-3 [3]. Zgodnie z punktem 5.2.2 tej normy wyróżnia się trzy metody projektowania zwodów:

- metodę toczącej się kuli;
- metodę kąta ochronnego;
- metodę oczkową.

Wymiarowanie LPS za pomocą każdej z powyższych metod zależy od przyjętej klasy LPS. W tabelicy 2. przedstawiono wartości podstawowych parametrów stosowanych przy wykorzystaniu tych metod w zależności od poziomu ochrony odgromowej.

Wytyczne w zakresie odstępów między przewodami odprowadzającymi przekładają się w praktyce na ich liczbę – im wyższa klasa LPS tym więcej przewodów odprowadzających należy rozmieścić po obwodzie budynku. Zwiększenie liczby przewodów odprowadzających ma na celu podział prądu pioruna na mniejsze części, co skutkuje zmniejszeniem ryzyka wystąpienia przeskoków iskrowych oraz obniżeniem poziomów napięć krokowych i dotykowych.

Tablica 2. Podstawowe parametry wymiarowania LPS dla różnych metod projektowania urządzenia piorunochronnego

Parametr	Poziom ochrony odgromowej LPL			
	I	II	III	IV
Klasa LPS	I	II	III	IV
Promień toczącej się kuli r (m)	20	30	45	60
Wymiar siatki zwodów poziomych w (m)	5 × 5	10 × 10	15 × 15	20 × 20
Odstęp między przewodami odprowadzającymi (m)	10		15	20
Kąt ochronny α [°]				

4.1. Metoda toczącej się kuli

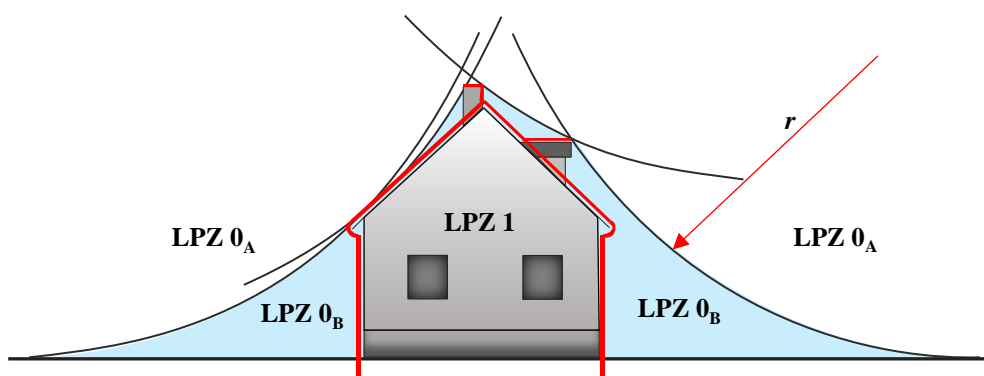
Metoda toczącej się kuli jest najbardziej dokładna i można stosować w każdym przypadku. Metoda ta opracowana została w oparciu o model elektrogeometryczny, który zakłada, że długość r ostatniego skoku lidera (wyładowania wstępnego) zależna jest od prądu wyładowania I (w kA):

$$r = 10 \cdot I^{0,65}$$

Dla zwiększenia skuteczności tej metody należy zatem brać pod uwagę, nie maksymalne, a minimalne spodziewane wartości prądu pioruna (Tablica 1.). Z tego względu dla wyznaczenia promienia toczącej kuli zakłada się najniższą spodziewaną wartość prądu pioruna. Dla poszczególnych klas LPS przyjęto promienie r toczącej się kuli 60 m, 45 m, 30 m lub 20 m (tabl. 2).

W praktyce metoda toczącej się kuli polega na rozmieszczeniu zwodów urządzenia piorunochronnego w taki sposób, aby wirtualna kula o promieniu r , przetaczana po obiekcie poddawany ochronie stykała się wyłącznie z przewodami LPS, ale nie dotykała ani konstrukcji budynku ani urządzeń zlokalizowanych na jego dachu i ścianach, o zilustrowano na rysunku 1.. Obszar znajdujący się pod przetaczaną kulą stanowi strefę ochronną LPZ 0B, w której nie występuje ryzyko bezpośredniego uderzenia pioruna. Zatem, im mniejszy będzie przyjęty promień toczącej się kuli tym bardziej gęsta będzie wymagana sieć zwodów i skuteczniejsza ochrona przed bezpośrednim wyładowaniem piorunowym.

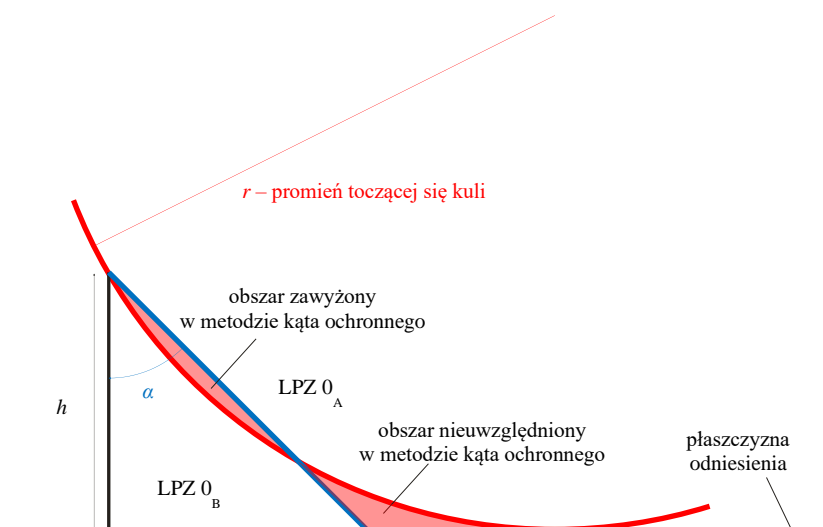
Jak wspomniano już wcześniej metoda toczącej się kuli jest metodą najdokładniejszą, ale także wymagającą od projektanta zdolności analizowania przestrzennego.



Rys. 1. Idea wyznaczania stref ochronnych LPZ 0B metodą toczącej się kuli

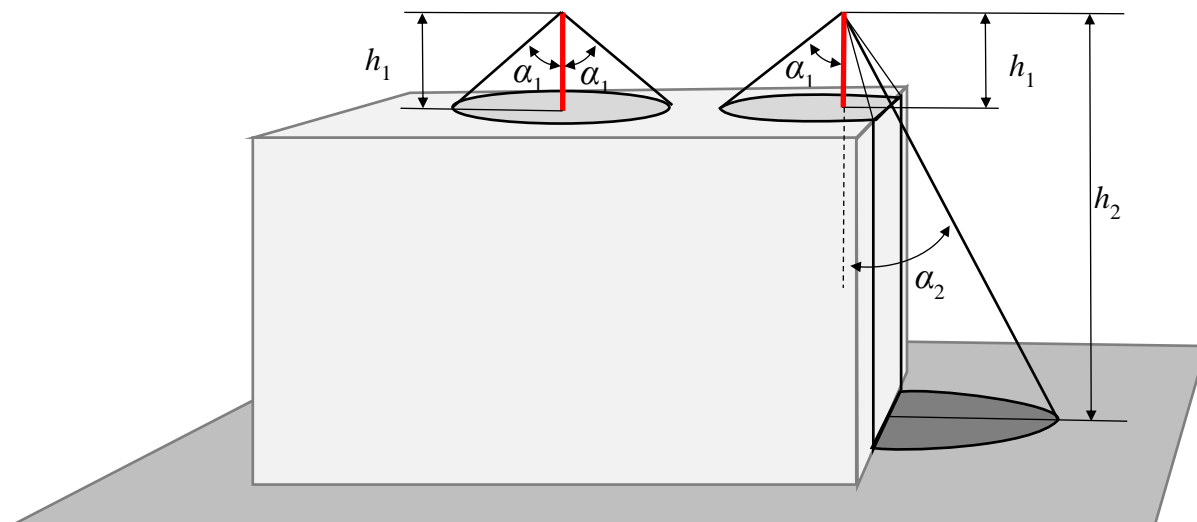
4.2. Metoda kąta ochronnego

Prostsza metodą wyznaczania stref ochronnych jest metoda kąta ochronnego, która polega na wyznaczeniu strefy LPZ 0B na podstawie wartości kąta α zależnej od wysokości zwodu względem płaszczyzny odniesienia. Stosowana jest głównie do obiektów o prostych kształtach oraz do indywidualnych zwodów pionowych. Metoda ta stanowi uproszczenie metody toczonej się kuli. Na rysunku 2. przedstawiono porównanie zasięgu stref ochronnych wyznaczonych przy użyciu obu metod. W metodzie kąta ochronnego można wyróżnić dwa obszary: obszar zawyżony względem metody toczonej się kuli oraz obszar nieuwzględniony w metodzie kąta ochronnego. Wartość kąta ochronnego α , dla danej wysokości zwodu h , odpowiada przypadkowi gdy oba te obszary mają równoważne powierzchnie.



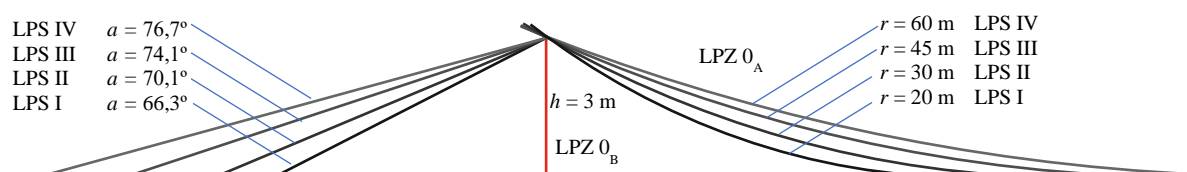
Rys. 2. Idea wyznaczania stref ochronnych LPZ 0B metodą toczonej się kuli

W praktyce projektowej wadą tej metody, jest fakt, że w normie PN-EN 62305-3 wartości kątów α przedstawione są jedynie na wykresie (Tablica 2.), w związku z czym trudno jest czasem określić dokładną wartość kąta α zatem i strefę ochrony LPZ 0B. Tablice z wartościami liczbowymi można jednak spotkać w opracowaniach niektórych producentów urządzeń z zakresu ochrony odgromowej [5]. Wartość α maleje wraz ze zwiększaniem wysokości zwodu – w przypadku zwodów pionowych, zwiększając ich wysokość zawężamy średnicę podstawy stożka strefy ochronnej LPZ 0B. Należy zwrócić uwagę, że dla wartości $h \leq 2$ m wartość kąta α jest stała. Metoda kąta ochronnego ma ograniczenie maksymalnej wysokości h do wartości równych promieniowi toczonej się kuli: 60 m, 45 m, 30 m i 20 m odpowiednio dla LPS klasy IV, III, II i I.

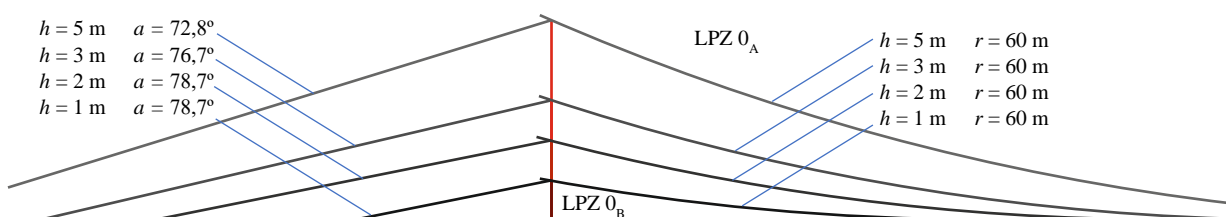


Rys. 3. Idea wyznaczania stref ochronnych LPZ 0B metodą kąta ochronnego

Na rysunku 4. przedstawiono porównanie stref LPZ 0B wyznaczonych za pomocą metody toczącej się kuli oraz metody kąta ochronnego dla różnych klas LPS oraz różnych wysokości zwodu pionowego. Dla LPS klasy IV różnice w strefach LPZ 0B wyznaczanych za pomocą obu metod są nieznaczne. Zwiększenie obszarów zawężonych w metodzie kąta ochronnego następuje wraz ze wzrostem klasy LPS.



a) zależność strefy LPZ 0B od klasy LPS

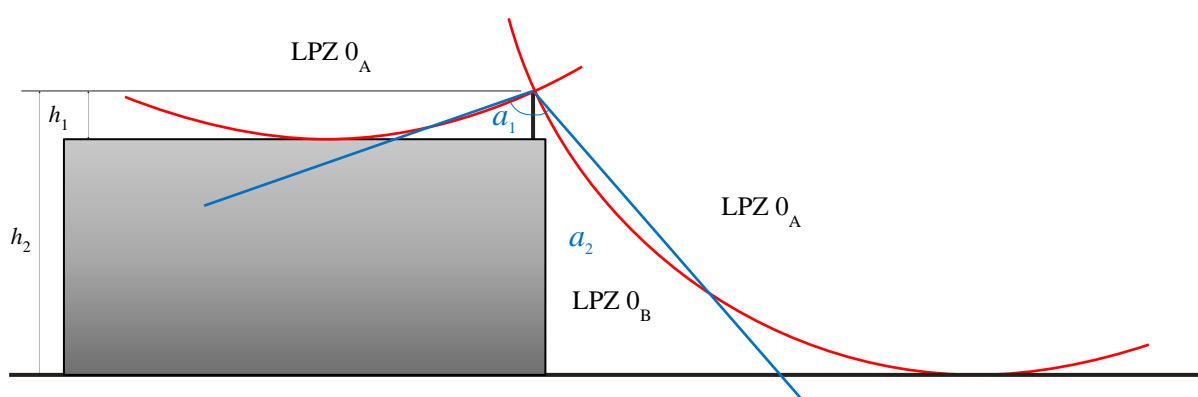


b) zależność strefy LPZ 0B od wysokości zwodu dla LPS klasy IV

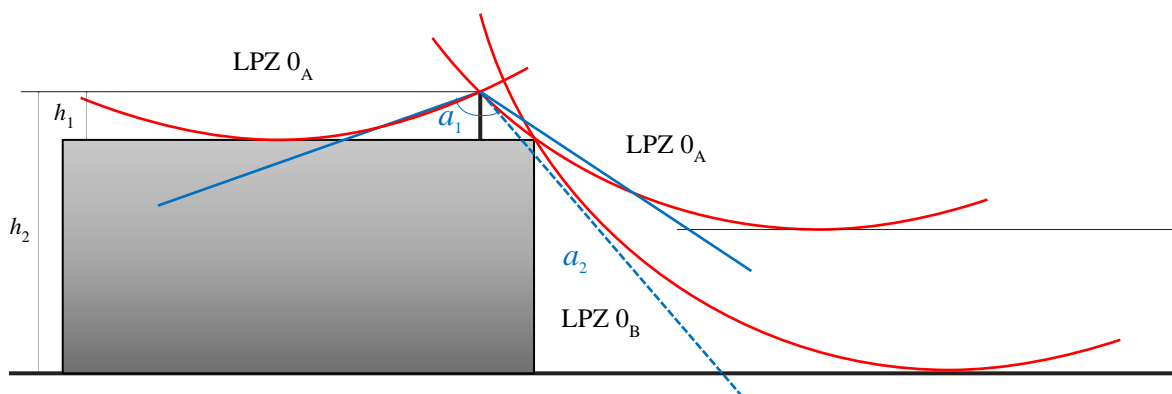
Rys. 4. Porównanie stref ochronnych LPZ 0B wyznaczonych metodą toczącej się kuli i metodą kąta ochronnego

Bardzo istotną kwestią przy projektowaniu z zastosowaniem metody kąta ochronnego jest poprawne określenie wysokości h względem płaszczyzny odniesienia. Wysokość h nie musi być wysokością zwodu pionowego lub wysokością zawieszenia zwodu poziomego nad powierzchnią dachu. Zagadnienie to zostało zobrazowane na rysunku 3. W przypadku zwodów rozmieszczonych w pobliżu krawędzi dachu wysokość h może stanowić sumę wysokości zwodu względem powierzchni dachu powiększoną o wysokość budynku. Odnosząc się do

porównania metod na rysunku 2. należy stwierdzić, że **płaszczyzną odniesienia dla określenia wysokości h w metodzie kąta ochronnego jest powierzchnia, na której opiera się tocząca się kula o odpowiednim dla danej klasy LPS promieniu r** . Zostało to przedstawione na rysunku 5. Wariant na rysunku 5a) odpowiada sytuacji, gdy tocząca się kula opiera się na powierzchni ziemi – dla wyznaczenia wartości kąta ochronnego od zewnętrznej strony budynku należałoby zatem przyjąć wysokość h_2 . Rysunek 5b) przedstawia natomiast wariant pośredni, w którym tocząca się kula stykając się ze zwodem pionowym opiera się na krawędzi dachu – w tym przypadku dla kąta a należałoby przyjąć wirtualną powierzchnię odniesienia. W przypadkach, w których mogą występować wątpliwości odnośnie określenia płaszczyzny odniesienia zaleca się stosowanie metody toczącej się kuli.



a) płaszczyzna odniesienia jako powierzchnia ziemi



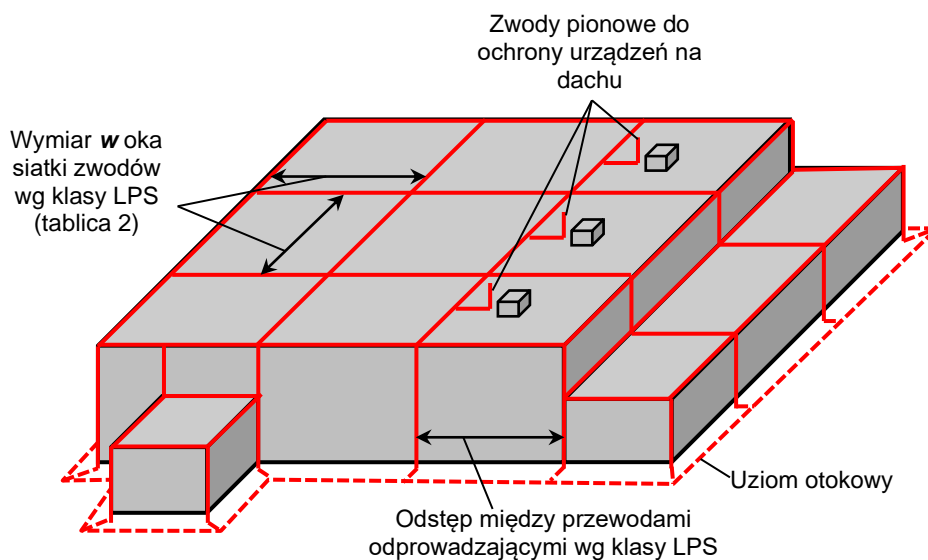
b) wirtualna płaszczyzna odniesienia

Rys. 5. Analiza płaszczyzny odniesienia dla zwodów znajdujących się w pobliżu krawędzi dachu

4.3. Metoda oczkowa

Ostatnią z metod projektowania zwodów jest metoda oczkowa. Jest to metoda najmniej dokładna i posiadająca pewne ograniczenia. Przeznaczona jest w praktyce do stosowania w rozległych budynkach z dachami płaskimi, takich jak centra logistyczne, hale magazynowe czy obiekty przemysłowe. Metoda oczkowa polega na pokryciu dachu siatką zwodów poziomych o wymiarach oka zależnych od klasy LPS: $w = 20\text{ m}$, 15 m , 10 m i 5 m odpowiednio dla LPS klasy IV, III, II i I. W takim przypadku budynek pokryty siatką zwodów i przewodów odprowadzających należy uznać za znajdujący się w strefie LPZ 0B.

W praktyce metoda ta wymaga najczęściej uzupełnienia o dodatkowe układy zwodów do ochrony nadbudówek i urządzeń znajdujących się na dachu. W tym celu urządzeniom takim jak anteny, klimatyzatory itp. należy zapewnić strefę ochronną LPZ 0B za pomocą dodatkowych zwodów (pionowych i/lub poziomych) zaprojektowanych z zastosowaniem metody toczonej się kuli lub kąta ochronnego.



Rys. 6. Idea projektowania zwodów za pomocą metody oczkowej

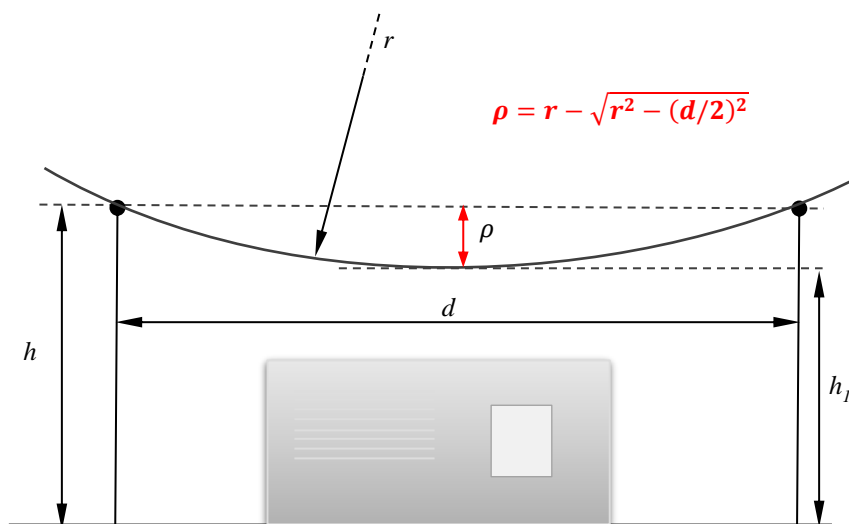
W rozległych obiektach o stosunkowo niedużej wysokości najbardziej prawdopodobny punkt dla uderzenia pioruna stanowią krawędzie dachu oraz nadbudówki i urządzenia wystające powyżej płaszczyzny dachu. Wewnętrzne połączenia siatki zwodów mają za zadanie przede wszystkim podzielić prąd pioruna wyładowania oraz umożliwić podłączenie dodatkowych zwodów chroniących urządzenia na dachu. Prawdopodobieństwo przechwycenia pioruna za pomocą siatki zwodów zależy od wysokości zawieszenia względem dachu. Podwyższenie zwodów poziomych zwiększa zatem skuteczność urządzenia piorunochronnego, ale

także ma inną istotną zaletę: ułatwia odśnieżanie dachu, w czasie którego często dochodzi do uszkodzeń mechanicznych LPS.

Należy także zwrócić uwagę, że wymiary oka siatki zwodów dla LPS klasy IV, II i II odpowiadają zalecanym odległościom między przewodami odprowadzającymi. Zalecane jest zatem aby wewnątrz zwody siatki łączyły się bezpośrednio z tymi przewodami w celu skrócenia drogi prądu pioruna do układu uziomów.

4.4. Obliczanie zasięgu stref ochronnych

Najbardziej praktycznym sposobem wyznaczenia stref LPZ 0B zarówno za pomocą metody toczonej się kuli, jak i metody kąta ochronnego jest analiza graficzna w programach typu CAD. Norma PN-EN 62305-3 [3] zawiera jedynie jeden wzór pomocniczy, który pozwala na obliczenie głębokości wnikania toczonej się kuli w przestrzeń chronioną za pomocą dwóch podwieszonych, równoległych zwodów poziomych (Rys. 7.).



Rys. 7. Zasięg strefy LPZ 0B na określonej wysokości w metodzie toczonej się kuli

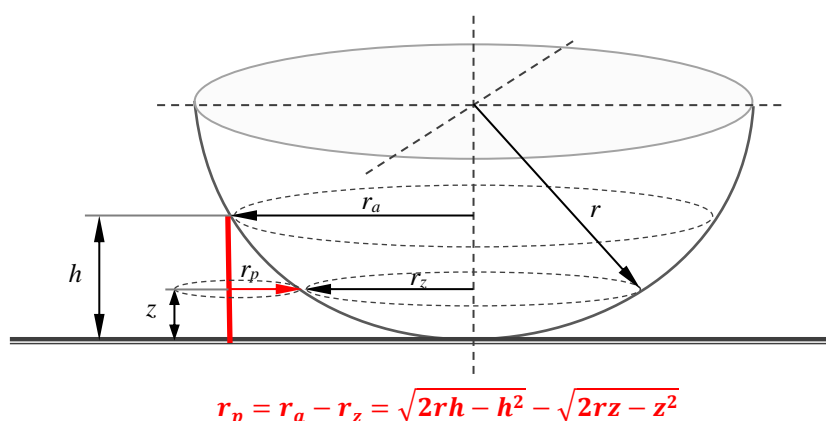
Metody toczonej się kuli oraz kąta ochronnego bazują na prostych figurach geometrycznych: kuli i stożku, które przy analizie w określonej płaszczyźnie sprowadzają się do okręgu i trójkąta prostokątnego. Dzięki temu na podstawie zależności matematycznych możliwe jest wyprowadzenie wzorów pomocniczych, które pozwalają na wyznaczenie zasięgu stref ochronnych LPZ 0B. W opracowywanym projekcie 3. edycji normy PN-EN 62305-3 przedstawiono propozycję zamieszczenia wzorów przedstawionych na rysunkach 8 i 9, która niestety została odrzucona.

Na rysunku 8. przedstawiono metodę wyznaczenia zasięgu strefy ochronnej LPZ 0B w metodzie toczonej się kuli. Przedstawiony wzór pozwala na obliczenie zasięgu (promienia) strefy chronionej r_p na wysokości z na podstawie wysokości zwodu h i przyjętego promienia toczonej się kuli r . Należy jednak pamiętać, że wzór odnosi

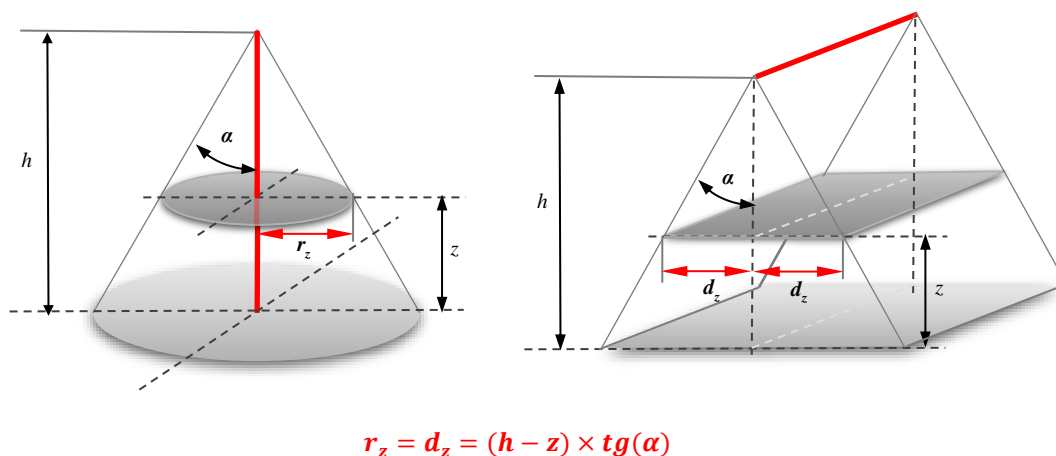
się do sytuacji, w której h odpowiada wysokości względem płaszczyzny, na której opiera się kula.

Rysunek 9 przedstawia z kolei zasięg stref LPZ 0B dla zwołu pionowego i podwyższonego zwołu poziomego, wyznaczonych metodą toczącej się kuli.

Na podstawie tych wzorów oraz wymiarów urządzenia poddawanego ochronie z uwzględnieniem wymaganego odstępu separującego możliwe jest dobranie wymaganej wysokości zwołu h , który zapewni odpowiednią przestrzeń chronioną LPZ 0B na wysokości z równej wysokości tego urządzenia.



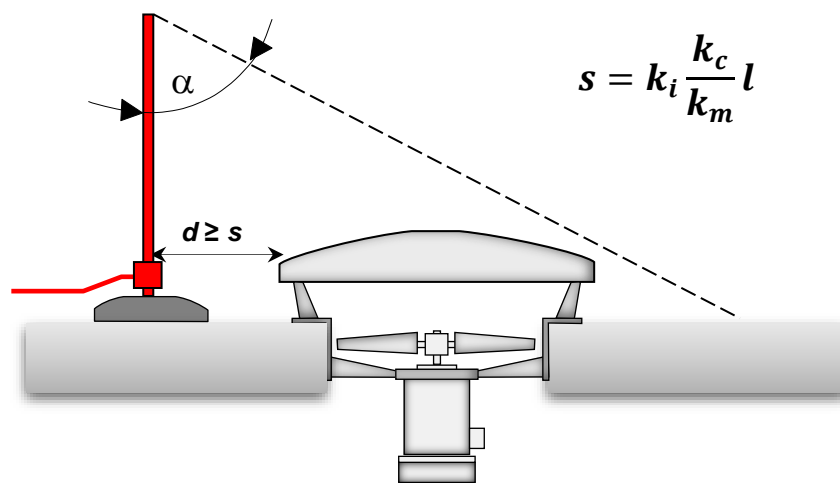
Rys. 8. Zasięg strefy LPZ 0B na określonej wysokości w metodzie toczącej się kuli



Rys. 9. Zasięg strefy LPZ 0B na określonej wysokości w metodzie kąta ochronnego

5. Odstępy separujące

Klasa urządzenia piorunochronnego ma także wpływ na odstępy separujące. Zagadnienie wymaganych odległości pomiędzy instalacjami obiektu a przewodami LPS opisane zostało szczegółowo w [6]. Odstępy bezpieczne mają na celu minimalizację ryzyka związanego z przeskokiem iskrowym prądu pioruna płynącego przewodami LPS do przewodzących instalacji obiektu w miejscach zbliżeń (Rys. 10.). Wymagany odstęp s zależy od podziału prądu pioruna (k_c), materiału izolacyjnego (k_m), długości wzdłuż zwodu lub przewodu odprowadzającego od miejsca rozpatrywanego zbliżenia do uziemienia (l) oraz od klasy urządzenia piorunochronnego (k_i) (Tablica 3.).



Rys. 10. Odstęp separujący zgodnie z PN-EN 62305-3 [3]

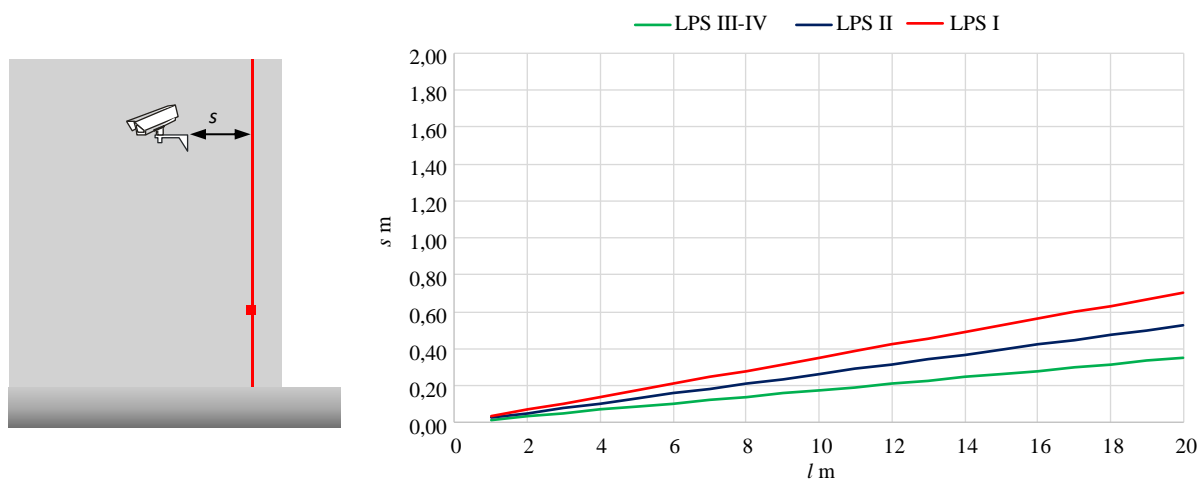
Tablica 3. Wartości współczynników do obliczeń odstępow separujących metodą uproszczoną [3]

	k_i		k_c		k_m
LPS klasy III-IV	0,04	$n = 1^*$	1	powietrze	1
LPS klasy II	0,06	$n = 2$	0,66	beton, cegły, drewno	0,5
LPS klasy I	0,08	$n > 2$	0,44		

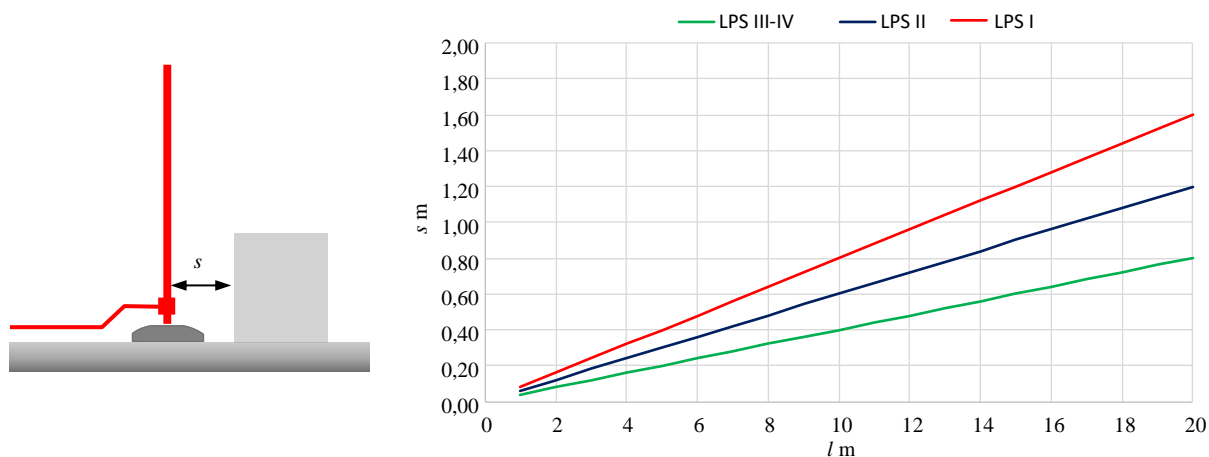
* - dotyczy LPS odseparowanego i zwodów pionowych; n - liczba przewodów odprowadzających

Odstępy separujące odpowiadające LPS klasy IV i LPS klasy III są równe, ponieważ zależne są od przyjętej maksymalnej spodziewanej wartości prądu pioruna, która dla LPL IV i LPL III jest taka sama (100 kA).

Na rysunkach 11. i 12. przedstawiono typowe wymagane odstępy separujące odpowiednio od przewodów odprowadzających i zwodów pionowych, dla różnych klas LPS.



Rys. 11. Typowe wymagane odstępy separujące s od przewodów odprowadzających w funkcji długości l dla różnych klas LPS ($k_i = \text{var}$; $k_m = 1$; $n > 2$; $k_c = 0,44$)



Rys. 12. Typowe wymagane odstępy separujące s od zwodów pionowych w funkcji długości l dla różnych klas LPS ($k_i = \text{var}$; $k_m = 1$; $n = 1$; $k_c = 1$)

6. Układ uziomowy

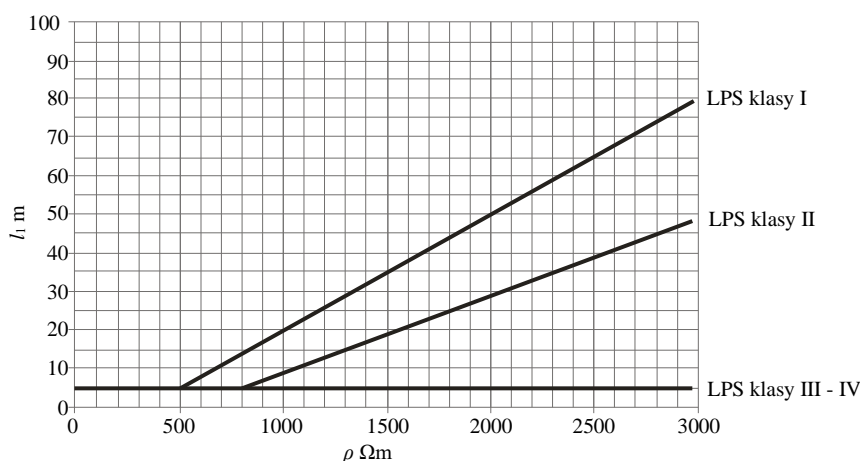
Z punktu widzenia ochrony odgromowej wymagania dla układu uziomów są bardzo ograniczone i mało rygorystyczne. Podstawowe kryterium stanowi jego wymiar geometryczny w postaci minimalnej długości uziomu l_1 . Długość l_1 zależy od rezystywności gruntu i klasy LPS (Rys. 13.).

W układach uziemiających typu A, w których każdy przewód odprowadzający wyposażony jest w indywidualny uziom pionowy lub poziomy, minimalna długość każdego uziomu od podstawy przewodu odprowadzającego powinna być równa:

- l_1 dla uziomów poziomych lub
- $0,5 l_1$ dla uziomów pionowych.

W układach uziemiających typu B: otokowych lub fundamentowych, rozpatruje się średni promień r_e obszaru objętego uziomem, który nie powinien być mniejszy niż minimalna wymagana długość uziomu ($r_e \geq l_1$).

Spełnienie tych warunków dla LPS klasy III i IV uzyskuje się już przy uziomach pionowych typu A o długości 2,5 m lub przy uziomie otokowym o powierzchni 78,5 m². Większe długości są wymagane dla LPS klasy II przy rezystywności gruntu $\rho > 800 \Omega\text{m}$ i dla LPS klasy I przy $\rho > 500 \Omega\text{m}$. W praktyce jednak najczęściej wymaga się uzyskania określonej wartości rezystancji uziemienia, co wymaga stosowania bardziej złożonych układów uziemiających.



Rys. 13. Minimalna długość l_1 w zależności od rezystywności gruntu ρ i klasy LPS

7. Podsumowanie

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury i Budownictwa ochrona odgromowa obiektów budowlanych powinna być projektowana i wykonywana zgodnie z serią norm PN-EN 62305. Projekt powinien być oparty o analizę ryzyka, na podstawie której należy określić wymagany poziom ochrony odgromowej i klasę urządzenia piorunochronnego. Przyjmowana na etapie projektowania klasa LPS ma decydujące znaczenie odnośnie:

- rozmieszczenia zwodów (promień toczonej się kuli/kąt ochronny/wymiar oka siatki zwodów);
- liczby przewodów odprowadzających;
- odstępów separujących i
- minimalnej długości uziomu.

Skuteczność zewnętrznego urządzenia piorunochronnego zależy od przyjętej klasy LPS. W praktyce wyższa klasa LPS wymaga większego zagęszczenia przewodów LPS (zarówno zwodów, jak i przewodów odprowadzających) co skutkuje większym prawdopodobieństwem przechwycenia wyładowania i podziałem prądu pioruna na mniejsze części.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 14 listopada 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2017 poz. 2285)
- [2] PN-EN 62305-2:2008 Ochrona odgromowa -- Część 2: Zarządzanie ryzykiem
- [3] PN-EN 62305-3:2011 Ochrona odgromowa -- Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia
- [4] PN-EN 62305-1:2011 Ochrona odgromowa -- Część 1: Zasady ogólne
- [5] Guide to BS EN 62305:2006 Protection Against Lightning, Furse, 2015
- [6] T. Maksimowicz, "Odstępy separujące jako środek ochrony odgromowej". Elektro.info, marzec 2019 r.