



## OCHRONA ODGROMOWA OBIEKTÓW BUDOWLANYCH. ODSTĘPY IZOLACYJNE W POWIETRZU

Andrzej Sowa  
Politechnika Białostocka

Jednym z podstawowych zadań urządzenia piorunochronnego jest ochrona urządzeń umieszczonych na dachu obiektu budowlanego przed bezpośrednim oddziaływaniem prądu piorunowego. Podstawowe zasady ochrony przed tego rodzaju zagrożeniem zawarto w normie ochrony odgromowej [1], w której stwierdzono, że „wszystkie urządzenia dachowe z materiałów izolacyjnych lub przewodzących, które zawierają wyposażenie elektryczne i/lub służące przetwarzaniu informacji, powinny znajdować się w przestrzeni ochronnej układu zwodów”.

Jeśli powyższe zalecenie nie będzie spełnione to podczas bezpośredniego wyładowania piorunowego w urządzenie lub wyładowania w jego sąsiedztwie rozprzyskujący się prąd piorunowy może spowodować:

- zniszczenie samego urządzenia oraz doprowadzonych do niego instalacji,
- zniszczenie instalacji i urządzeń wewnątrz obiektu budowlanego,
- porażenie ludzi przebywających wewnątrz obiektów budowlanych.

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

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

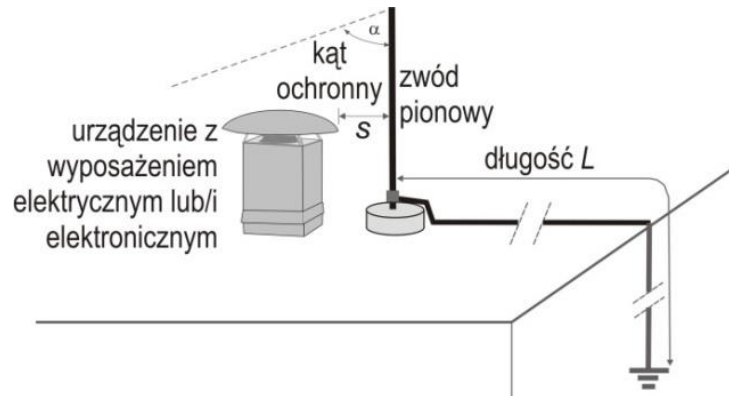
Określając przestrzenie chronione tworzone przez pojedyncze zwody lub układy zwodów należy określić kąty ochronne oraz odstępy izolacyjne. Dokładny sposób określania kątów ochronnych przedstawiono w normach ochrony odgromowej obiektów budowlanych [1, 2]. Niestety zasady wyznaczania odstępów izolacyjnych omówiono w sposób niedostateczny.

### Wyznaczanie odstępów izolacyjnych

Oceniając możliwość wystąpienia przeskoków iskrowych pomiędzy elementami urządzenia piorunochronnego a chronionym urządzeniem (rys. 1), do którego doprowadzono przewody instalacji elektrycznej lub przesyłu sygnałów należy uwzględnić:

- parametry prądu piorunowego,
- rodzaj materiału izolacyjnego, jaki występuje w miejscach zbliżeń elementów urządzenia piorunochronnego i chronionych urządzeń,

- rozptyw prądu piorunowego w urządzeniu piorunochronnym obiektu budowlanego,
- odległość od miejsca zbliżenia, w którym może wystąpić przeskok, do najbliższego połączenia wyrównawczego lub ziemi liczona wzdłuż przewodu, w którym płynie prąd piorunowy.



**Rys. 1.** Wykorzystanie zwodu do ochrony urządzenia na dachu obiektu budowlanego

Tworzony odstęp powinien być większy od wymaganego odstępu izolacyjnego [1, 2] określonego zależnością:

$$s \geq k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} L \quad (1)$$

gdzie:

- $k_i$  współczynniki uzależnione od klasy urządzenia piorunochronnego,
- $k_m$  współczynnik uzależniony od materiału odstępu izolacyjnego,
- $k_c$  współczynnik uzależniony od rozptywu prądu w przewodach urządzenia piorunochronnego,
- $L$  długość w metrach mierzona wzdłuż przewodu odprowadzającego od punktu rozpatrywanego zbliżenia do punktu najbliższego połączenia wyrównawczego.

W tabeli 1 zestawiono wartości współczynników występujących w równaniu (1), zaproponowane w normie ochrony odgromowej [1].

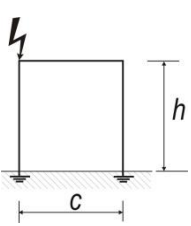
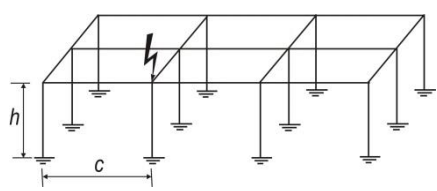
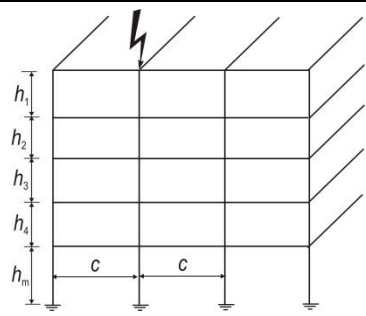
Dodatkowa w załącznikach informacyjnych (Załącznik C i E) tej normy przedstawiono zasadę określania wartości współczynnika  $k_c$  dla przypadków wyładowań piorunowych w krawędzie boczne elementów urządzeń piorunochronnych, bezpośrednio nad przewodami odprowadzającymi, obiektów wysokich lub typu halowego (tabela 2) oraz narożniki i środki dachów dwuspadowych (tabela 3).

W rzeczywistych warunkach urządzenia wymagające ochrony przed bezpośrednim oddziaływaniem prądu piorunowego mogą znajdować się w dowolnym punkcie na powierzchni dachu. W takich przypadkach prąd piorunowy rozptywa się w urządzeniu piorunochronnym i zmieniają się wartości współczynników  $k_c$  dla poszczególnych przewodów urządzenia piorunochronnego na odcinku pomiędzy miejscem, w którym wyznaczamy odstęp izolacyjny a najbliższym połączeniem wyrównawczym.

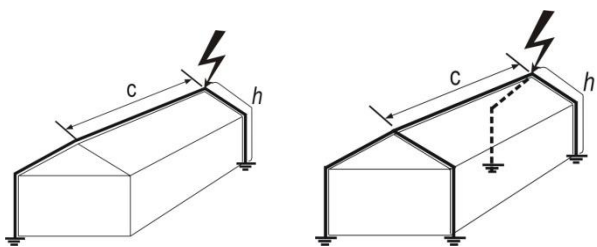
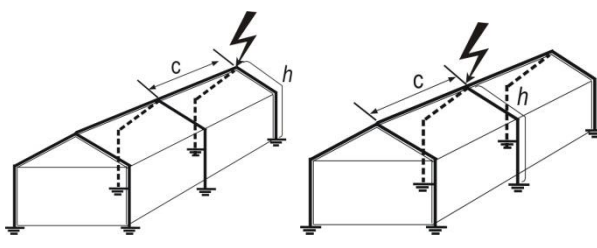
**Tabela 1.** Zestawienie zalecanych [1] wartości współczynników występujących w równaniu określającym odstęp izolacyjny (1)

Współczynniki	Wartość	
$k_i$ - uzależniony od klasy LPS	0,08 - I klasa LPS; 0,06 - II klasa LPS; 0,04 - III i IV klasa LPS	
$k_m$ - uzależniony od materiału odstępu izolacyjnego	1- powietrze 0,5 - beton, cegła	
$k_c$ - uzależniony od rozplywu prądu w przewodach LPS	Układ uzziemienia typu A	Układ uzziemienia typu B
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 - zwód pionowy i 1 przewód odprowadzający,</li> <li>• 0,66 - zwód poziomy i 2 przewody odprowadzające,</li> <li>• 0,44 - sieć zwodów oraz 4 i więcej przewodów odprowadzających,</li> <li>• 0,44 - sieć zwodów oraz 4 i więcej przewodów odprowadzających połączonych poziomymi przewodami otokowymi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 - zwód pionowy i 1 przewód odprowadzający,</li> <li>• 0,5...1 - zwód poziomy i 2 przewody odprowadzające,</li> <li>• 0,25...0,5 - sieć zwodów oraz 4 i więcej przewodów odprowadzających,</li> <li>• <math>1/n \dots 0,5</math> - sieć zwodów oraz 4 i więcej przewodów odprowadzających połączonych poziomymi przewodami otokowymi (n liczba przewodów odprowadzających).</li> </ul>

**Tabela 2.** Wartości współczynników  $k_c$  w zależności od liczby przewodów odprowadzających oraz typu uziomu [1]

Ogólny charakter instalacji		
		
System uziomowy typu A		
0,66	0,44	0,44
System uziomowy typu B		
$k_c = \frac{h+c}{2h+c} \quad (2)$	$k_c = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{c}{h}} \quad (2)$  n – liczba przewodów odprowadzających	$k_{c1} = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{c}{h_1}}$  $k_{c2} = \frac{1}{n} + 0,1, \quad k_{c3} = \frac{1}{n} + 0,01$  $k_{c4} = \frac{1}{n}, \quad k_{cm} = k_{c4} = \frac{1}{n}$

**Tabela 3.** Przykładowe wartości współczynników  $k_c$  w zależności od liczby przewodów odprowadzających oraz wymiarów obiektu (uziemiaenie typu B)

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

Próby zasygnalizowania tego problemu przedstawiono w załączniku E wspomnianej normy ochrony odgromowej [1].

Informacje zawarte w tym załączniku zestawiono w tabeli 4.

**Tabela 4.** Uzupełniające informacje dotyczące zasad wyznaczania odstępów izolacyjnych

Informacje o rozplywie prądu piorunowego	Odstęp izolacyjny
Prąd płynący w przewodzie od punktu rozpatrywanego zbliżenia do punktu najbliższego połączenia wyrównawczego (droga L) nie zmienia swojej wartości na całej jego długości.	$s \geq k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} L$
Podział prądu piorunowego w urządzeniu piorunochronnym powoduje, że prądy płynące w poszczególnych przewodach tworzących drogę L mają różne wartości. Określając s należy uwzględnić różne zredukowane prądy płynące wzdłuż każdego odcinka przewodu.	$s \geq \frac{k_i}{k_m} (k_{c1} \cdot l_1 + k_{c2} \cdot l_2 + \dots + k_{cm} \cdot l_m) \quad (3)$

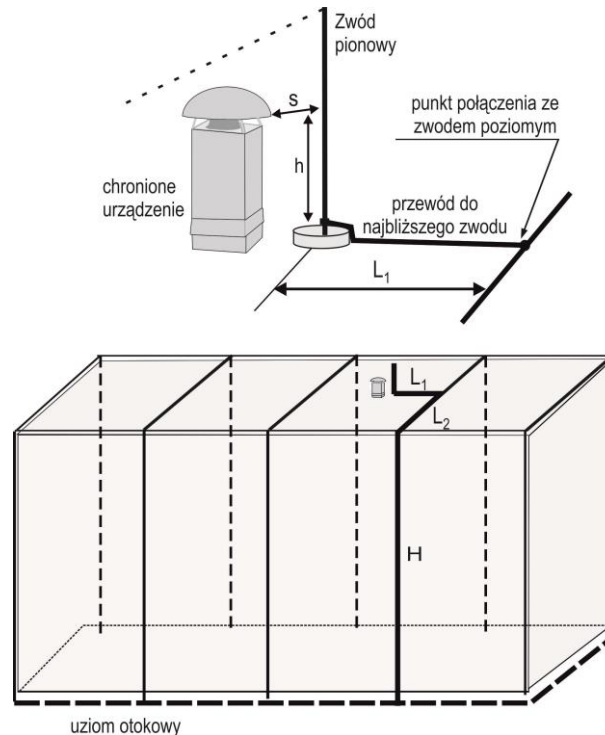
Informacje zawarte w tabelach 1 – 4 stanowią punkt wyjścia do obliczeń odstępów izolacyjnych. Niestety są one przedstawione z sposób niejasny oraz niepełny, co często powoduje błędną ich interpretację i w publikacjach omawiających rozwiązania ochrony odgromowej oraz w projektach urządzeń piorunochronnych, pojawiają się błędne rozwiązania

Najczęściej występujące błędy wynikają z przyjęcie jednego z poniższych zestawionych założeń:

- występowania jednakowych odstępów izolacyjnych s niezależnie od miejsca umieszczenia zwodów pionowych na powierzchni dachu,

- przepływu prądu o tej samej wartości w przewodach tworzących najkrótsze połączenie  $L$  od punktu rozpatrywanego zbliżenia do punktu wyrównania potencjałów.

Błędne sposoby wyznaczania odstępów izolacyjnych przedstawione zostaną na przykładzie ochrony odgromowej urządzenia umieszczonego na dachu obiektu budowlanego (rys. 2).



**Rys. 2.** *Analizowany przypadek ochrony odgromowej urządzenia na dachu obiektu budowlanego z urządzeniem piorunochronnym*

Poniżej zestawiono podstawowe informacje dotyczące analizowanego przypadku.

- Wysokość obiektu  $H = 30$  m, 10 przewodów odprowadzających  $n = 10$ ,
- III poziom ochrony odgromowej, współczynnik  $k_i = 0,04$ , siatka zwodów na dachu o wymiarze  $15 \text{ m} \times 15 \text{ m}$ ,
- Odstęp izolacyjny w powietrzu, współczynnik  $k_m = 1$ ,
- Odstęp izolacyjny wyznaczany jest na wysokości  $h = 2$  m, długość przewodu łączącego zwód pionowy ze zwodem poziomym  $L_1 = 7$  m.

Zestawienie błędnych sposobów wyznaczania wymaganych odstępów izolacyjnych przedstawiono w tabeli 5.

Przedstawione wyniki obliczeń wskazują, że wyznaczone odstępów izolacyjne zmieniają się od 12 cm do 56 cm. Niestety nawet największy wyznaczony odstęp izolacyjny nie jest wystarczający.

Próbie wskazania sposobu wyznaczania wymaganych wartości współczynnika  $k_c$  podjęto w nowym wydaniu normy ochrony odgromowej [2]. W przyjętym toku postępowania można wyodrębnić zestawione poniżej założenia.

**Tabela 5.** Podstawowe błędy popełniane przy wyznaczaniu odstępów izolacyjnych

Założenia do obliczeń	Wyznaczanie odstępów izolacyjnych
<p><b>Wariant 1.</b></p> <p>W tym wariantcie przyjmowane są następujące założenia:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>występowania jednakowych odstępów izolacyjnych niezależnie od miejsca umieszczenia zwodu na powierzchni dachu.</li> <li>do obliczeń odstępów izolacyjnego wykorzystywana jest zależność (1),</li> <li>długość L równa się wysokości obiektu budowlanego niezależnie od miejsca umieszczenia zwodu,</li> <li>do obliczenia współczynnika <math>k_c</math> wykorzystuje zależność <math>1/n</math> (tabela 1) lub zależność (2) z tabeli 2.</li> </ul>	<p><b>Wariant 1A</b></p> <p>Założenia: <math>k_c = 1/n = 0,1</math> , <math>L = H = 30</math> m,</p> $s \geq k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} L = 0,04 \cdot \frac{0,1}{1} \cdot 30m \cong 0,12m$ <p><b>S ≥ 12 cm</b></p>
	<p><b>Wariant 1B</b></p> <p>Założenia: <math>L = H = 30</math> m</p> $k_c = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{c}{h}} = \frac{1}{2 \cdot 10} + 0,1 + 0,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{15m}{30m}} \cong 0,309$ $s \geq k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} L = 0,04 \cdot \frac{0,309}{1} \cdot 30m \cong 0,37m$ <p><b>S ≥ 37 cm</b></p>
<p><b>Wariant 2.</b></p> <p>W tym wariantcie przyjmowane są następujące założenia:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>nieuwzględnianie podziału prądu w elementach urządzenia piorunochronnego na drodze L,</li> <li>do obliczeń odstępów izolacyjnego wykorzystywana jest zależność (1),</li> <li>długość L liczona od punktu rozpatrywanego zbliżenia do punktu najbliższego połączenia wyrównawczego,</li> <li>do obliczenia współczynnika <math>k_c</math> wykorzystuje zależność <math>1/n</math> (tabela 1) lub (2) z tabeli 2.</li> </ul>	<p><b>Wariant 2A</b></p> <p>Założenia: <math>k_c = 1/n = 0,1</math> ,</p> $L = L_1 + L_2 + H = 9 \text{ m} + 7 \text{ m} + 30 \text{ m} = 46 \text{ m}$ $s \geq k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} L = 0,04 \cdot \frac{0,1}{1} \cdot 46m \cong 0,184m$ <p><b>S ≥ 18,4 cm</b></p>
	<p><b>Wariant 2B</b></p> <p>Założenia: <math>L = L_1 + L_2 + H = 9 \text{ m} + 7 \text{ m} + 30 \text{ m} = 46 \text{ m}</math></p> $k_c = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{c}{h}} = \frac{1}{2 \cdot 10} + 0,1 + 0,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{15m}{30m}} \cong 0,309$ $s \geq k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} L = 0,04 \cdot \frac{0,309}{1} \cdot 46m \cong 0,568m$ <p><b>S ≥ 56,8 cm</b></p>

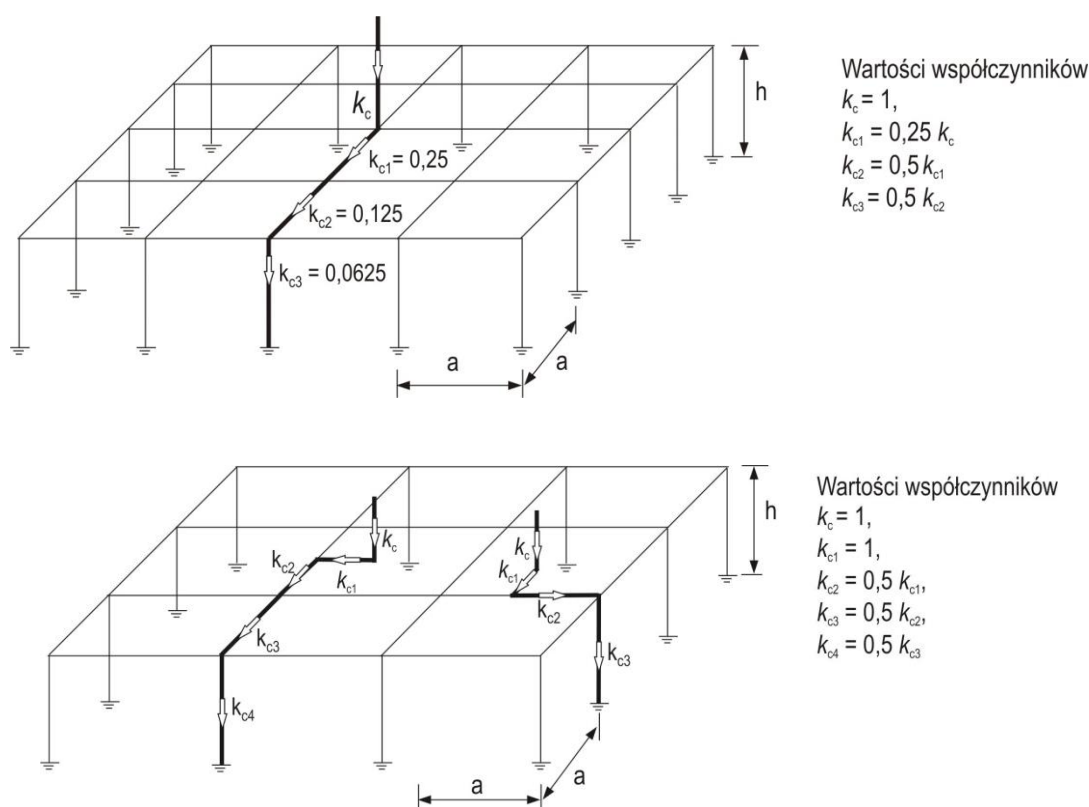
1. Dla dowolnego przewodu, który jest elementem drogi L, wartość współczynnika  $k_c$  określa zależność

$$k_c = \frac{I_{1x}}{I_p} \quad (3)$$

gdzie :  $I_{1x}$  i  $I_p$  odpowiednio wartości szczytowe prądu płynącego w dowolnym przewodzie urządzenia piorunochronnego (stanowiącego część drogi L) oraz prądu piorunowego.

- Analizując wartości prądów płynących w poszczególnych elementach tworzących drogę L należy przyjąć, że po przejściu przez punkt krzyżowania się zwodów prąd płynący w kolejnym elemencie, wzdłuż drogi L, jest równy połowie prądu wpływającego do tego punktu.
- Łącząc przewód idący od zwodu pionowego ze zwodem poziomym urządzenia piorunochronnego zakłada się równomierny podział prądu w tym zwodzie.
- W przypadku przewodów odprowadzających należy porównać wartości współczynników  $k_c$  wyznaczonych przy pomocy punktów 2 i 3 oraz zależności  $k_c = 1/n$  (gdzie n jest liczba przewodów odprowadzających).

Ogólną zasadę uproszczonej analizy przedstawiono na rys. 3.



**Rys. 3** Uproszczony sposób wyznaczania współczynników  $k_c$  na drodze L od zwodu do miejsca wyrównywania potencjału

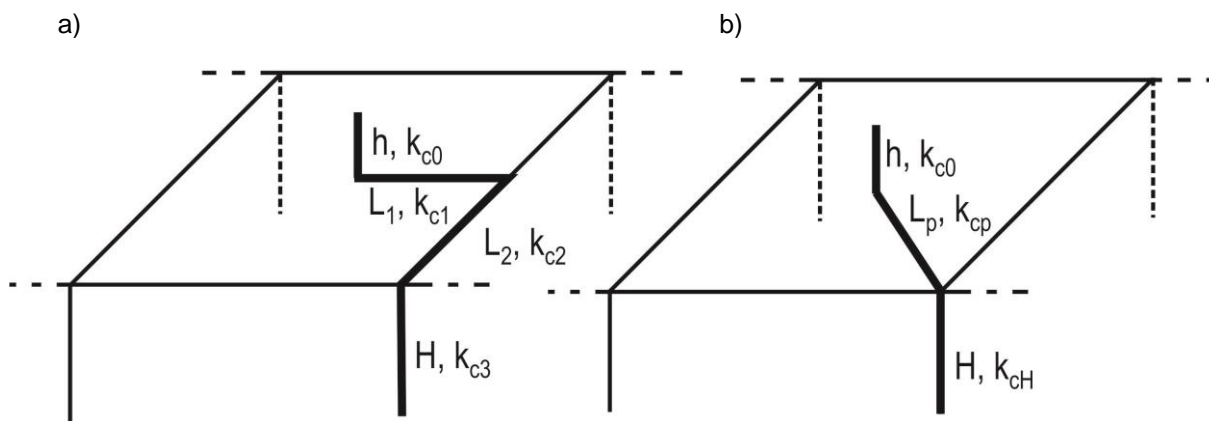
W analizowanym przykładzie (rys. 2), uwzględniając zasady przedstawione na rys. 3, należy określić prądy płynące w poszczególnych przewodach na długości L od zwodu do punktu wyrównania potencjałów a następnie wartości współczynników  $k_c$  (rys. 4a).

W analizowanym przykładzie odstęp izolacyjny s określa zależność (zgodnie z (2) tabela 4):

$$s \geq \frac{k_i}{k_m} (k_{c0} \cdot h + k_{c1} \cdot L_1 + k_{c2} \cdot L_2 + k_{c3} \cdot H) \quad (4)$$

Wartości współczynników  $k_c$  w równaniu (4) są następujące (rys. 4a)

$$k_{c0} = k_{c1} = \frac{I_p}{I_p} = 1 \quad k_{c2} = \frac{0,5 \cdot I_p}{I_p} = 0,5 \quad k_{c3} = \frac{0,25 \cdot I_p}{I_p} = 0,25$$



**Rys. 4.** Uwzględnienie zmian współczynników  $k_c$  na odcinku  $L$

Uwzględniając długości poszczególnych odcinków przewodów na drodze  $L$  oraz powyższe wartości współczynników  $k_c$  otrzymujemy

$$s \geq \frac{0,04}{1} (1 \cdot 2m + 1 \cdot 7m + 0,5 \cdot 7m + 0,25 \cdot 30m) = 0,8m$$

Wyznaczony odstęp izolacyjny jest znacznie większy w porównaniu z wynikami obliczeń zestawionych w tabeli 2.

Należy zauważyć, że wyznaczony odstęp izolacyjny jest poprawny tylko dla przedstawionego układu połączenia zwodu pionowego z układem zwodów poziomych.

Odstęp ten może ulec zmianie jeśli zwód pionowy połączymy z innym punktem urządzenia piorunochronnego.

Przykładowo, łącząc zwód pionowy bezpośrednio do przewodu odprowadzającego (rys. 4b) otrzymujemy:

$$s \geq \frac{k_i}{k_m} (k_{c0} \cdot h + k_{cp} \cdot L_p + k_{cH} \cdot H) \quad (4)$$

gdzie:

$$k_{c0} = k_{cp} = 1, \quad k_{cH} = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{c}{h}} = \frac{1}{2 \cdot 10} + 0,1 + 0,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{15m}{30m}} \cong 0,309$$

$$L_p = 9,9 \text{ m.}$$

Odstęp izolacyjny wynosi:

$$s \geq \frac{0,04}{1} (1 \cdot 2m + 1 \cdot 9,9m + 0,309 \cdot 30m) \cong 0,85m$$

Należy zauważyć, że przedstawiony sposób analizy podziału prądu, wyznaczania współczynników  $k_c$  a następnie wymaganych odstępów izolacyjnych należy zastosować do każdego ze zwodów, które znajdują się na powierzchni dachu.



## Podsumowanie

Przedstawione zasady określania podziału prądu piorunowego w elementach urządzenia piorunochronnego mogą ułatwić przeprowadzenie obliczeń odstępów izolacyjnych. Niestety nie rozwiązują problemu w przypadku innych układów połączeń zwodów i przewodów odprowadzających.

Dodatkowym problemem, najczęściej pomijanym przy projektowaniu urządzeń piorunochronnych, jest określanie odstępów izolacyjnych pomiędzy zwodami i przewodami odprowadzającymi a urządzeniami i instalacjami wewnątrz obiektu budowlanego.

## Literatura

- [1] PN-EN 62305-3:2009, *Ochrona odgromowa - Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia.*
- [2] PN-EN 62305-3:2011, *Ochrona odgromowa - Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia.*