

# **OCHRONA ODGROMOWA**

## **OBIEKTÓW BUDOWLANYCH**



# **JAKOŚĆ I BEZPIECZEŃSTWO**

## **URZĄDZENIA PIORUNOCHRONNEGO**

Andrzej Sowa  
Politechnika Białostocka

*Zapewnienie ochrony przed zagrożeniem występującym podczas bezpośredniego wyładowania piorunowego w obiekt budowlany wymaga zastosowania urządzenia piorunochronnego. Część elementów tego urządzenia powinna zostać przebadana na działanie prądów udarowych symulujących oddziaływanie rozptywającego się prądu piorunowego. Informacje o zakresie wymaganych badań zostaną przedstawione w niniejszej publikacji.*

### **Wprowadzenie**

Zadaniem zewnętrznego urządzenia piorunochronnego jest przejście prądu piorunowego i jego odprowadzenie do ziemi bez szkody dla chronionego obiektu, w sposób bezpieczny dla przebywających wewnątrz ludzi oraz bez powodowania uszkodzeń urządzeń elektrycznych i elektronicznych zainstalowanych wewnątrz obiektu. Spełnienie powyższego zadania wymaga zastosowania elementów zewnętrznego i wewnętrznego urządzenia piorunochronnego, które przeszły badania odporności na działanie prądu udarowego symulującego zagrożenie stwarzane przez prąd piorunowy.

### **Zagrożenie piorunowe**

Do oceny zagrożenia stwarzanego przez prąd piorunowy i doboru elementów urządzenia piorunochronnego należy przyjąć prądy udarowe o parametrach zestawionych w tabeli 1.

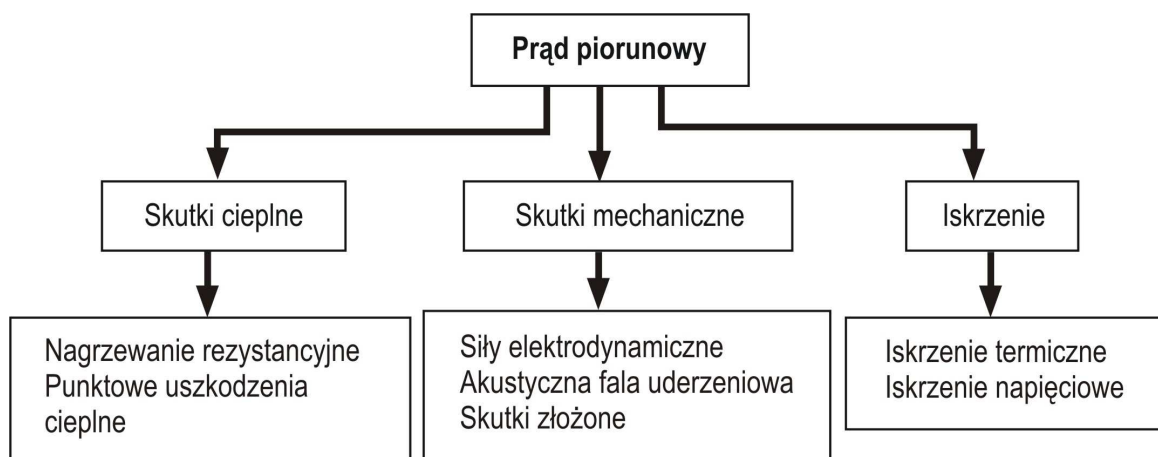
Na działanie prądów udarowych o przedstawionych wartościach szczytowych i kształtach narażone są urządzenia lub elementy konstrukcji obiektu, w które może nastąpić bezpośrednie wyładowanie piorunowe lub są one częścią obwodu, w którym rozplywa się prąd piorunowy.

Podstawowe zagrożenia wywołane przez prąd piorunowy przedstawiono na rys. 1.

Wymagania zapewnienia pewnej i niezawodnej ochrony przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym powodują wzrost znaczenia badań laboratoryjnych oraz terenowych symulujących zagrożenia występujące podczas wyładowań doziemnych.

Zalecane jest prowadzenie badań laboratoryjnych oddziaływania prądów udarowych na:

- poszczególne elementy zewnętrznego urządzenia piorunochronnego,
- główne szyny wyrównawcze w obiekcie budowlanym,
- iskierniki izolacyjne stosowane do połączeń wyrównawczych.



Rys. 1. Zagrożenie wywołane przez prąd piorunowy

Tabela 1. Wartości podstawowych parametrów charakteryzujących prądy piorunowe

Parametry charakteryzujące prąd piorunowy	Pierwsza składowa			Kolejna składowa		
	Poziom ochrony			Poziom ochrony		
	I	II	III i IV	I	II	III i IV
Wartości szczytowe [kA]	200	150	100	50	37,5	25
Stromość narastania [kA/μs]	20	15	10	200	150	100
Kształt						
Czasy $T_1$ i $T_2$	$T_1 = 10 \mu s, T_2 = 350 \mu s$			$T_1 = 0,25 \mu s, T_2 = 100 \mu s$		
Ładunek impulsowy [C] *	100	75	50	--	--	--
Całkowity ładunek [C] **	300	225	150	--	--	--
Energia właściwa [kJ/Ω]	10 000	5600	2500	--	--	--
Składowa wyładowania	Poziom ochrony	Wartość szczytowa	Kształt	Całkowity ładunek $C^{**}$		
Długotrwała składowa prądu	I	400A	Czas trwania 0,5 s	200		
	II	300A		150		
	III i IV	200A		100		
<p>Przebieg czasowy długotrwałej składowej prądu piorunowego</p>						

- urządzenia do ograniczania przepięć w sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia oraz w obwodach przesyłu sygnałów dochodzących do obiektu budowlanego z urządzeniem piorunochronnym,

W prowadzonych badaniach podstawowa sprawą jest wytworzenie prądów udarowych o określonych kształtach oraz wartościach szczytowych.

W normach ochrony odgromowej oraz ochrony przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym przedstawiono propozycje schematów zastępczych obwodów generatorów wykorzystywanych do symulacji zagrożeń stwarzanych przez:

- prąd piorunowy pierwszego doziemnego wyładowania głównego,
- stromość narastania prądu piorunowego pierwszego doziemnego wyładowania głównego,
- stromość narastania prądu kolejnego doziemnego wyładowania głównego.

Opracowując zakres badań bezpośredniego oddziaływania prądu piorunowego należy określić, która składowa stwarza największe zagrożenie dla analizowanego obiektu, urządzenia lub elementu instalacji piorunochronnej.

W zależności dokonanego wyboru prowadzone są badania oddziaływania prądu udarowego symulującego:

- wybraną składową piorunowego prądu udarowego (najczęściej jest to prąd pierwszej składowej wyładowania o kształcie 10/350  $\mu$ s i wartościach szczytowych uzależnionych od poziomu ochrony),
- składową udarową prądu piorunowego nałożoną na przebieg składowej długotrwałej,
- sekwencyjnie występujące prądy udarowe pierwszego i kolejnych wyładowań w kanale nałożone na przebieg składowej długotrwałej (symulacja pełnego zagrożenia występującego podczas wielokrotnego wyładowania piorunowego, sekwencja prądów udarowych stosowana np. do badań zagrożenia piorunowego obiektów latających).

W prowadzonych pomiarach do badanego obiektu dołączany jest generator lub generatory prądu udarowego oraz źródło prądu stałego.

### **Badania elementów urządzenia piorunochronnego**

W zależności od przeznaczenia, poszczególne elementy urządzenia piorunochronnego powinny wytrzymać bezpośrednie wyładowanie oraz przepływ całego lub części prądu piorunowego.

W normach zalecano laboratoryjne badania oddziaływania na elementy połączeniowe urządzenia piorunochronnego prądów udarowych o wartościach podstawowych parametrów przedstawionych w tabeli 2.

**Badany element powinien być narażony na trzykrotny przepływ prądu udarowego. Czas pomiędzy poszczególnymi próbami powinien być na tyle długi, żeby było możliwe ostygnięcie badanego elementu do temperatury otoczenia przed kolejną próbą.**

**Dodatkowo należy przeprowadzić pomiary rezystancji styku elementów instalacji piorunochronnej, przy przepływie prądu 10 A.**

**Pomiary powinny być wykonane możliwie najbliżej badanego styku, a zmierzona wartość powinna być mniejsza lub równa 1 m $\Omega$ , tylko w szczególnym przypadku dla stali nierdzewnej 2,5 m $\Omega$ .**

W normach bardzo szczegółowo opisano układy połączeń, w jakich powinny być prowadzone pomiary oddziaływania prądu udarowego na badane elementy.

W zależności od występującego zagrożenia oraz wymaganego poziomu ochrony, badając poszczególne elementy urządzenia piorunochronnego należy uwzględnić następujące parametry prądu udarowego:

- Zwody (metalowe pokrycia dachowe) -  $Q_{long}$ ,  $T < 1$  s,

- Zwody i przewody odprowadzające -  $W/R$ ,  $I_{pmax}$ ,
- Elementy połączeniowe -  $I_{pmax}$ ,  $W/R$ ,  $T < 2 \text{ ms}$ ,
- Elementy uziemienia -  $Q_{long}$ ,  $T < 1 \text{ s}$ .

**Tabela 2.** Podstawowe parametry prądu udarowego stosowanego do badań elementów urządzenia piorunochronnego

Klasa	$I_{max}$	$W/R$	$t_d$
Wysoka	100 kA $\pm$ 10%	2,5MJ/ $\Omega$ $\pm$ 20%	$\leq 2 \text{ ms}$
Niska	50 kA $\pm$ 10%	0,63MJ/ $\Omega$ $\pm$ 20%	$\leq 2 \text{ ms}$

W podanym zakresie prób  $Q_{long}$  jest całkowitym ładunkiem długotrwałej składowej prądu

$$Q_{long} = Q_{całk} - Q_{imp}$$

gdzie:  $Q_{całk}$  - ładunek całkowity (tabela 1),

$Q_{imp}$  - ładunek impulsowy przenoszony przez prąd pierwszego wyładowania piorunowego.

W przypadku badań iskierników izolacyjnych, w proponowanym zakresie badań, uwzględniono zróżnicowane zagrożenie piorunowe, wprowadzono możliwość wykorzystania prądów udarowych o wartościach szczytowych od 5 kA do 100 kA (tabela 3).

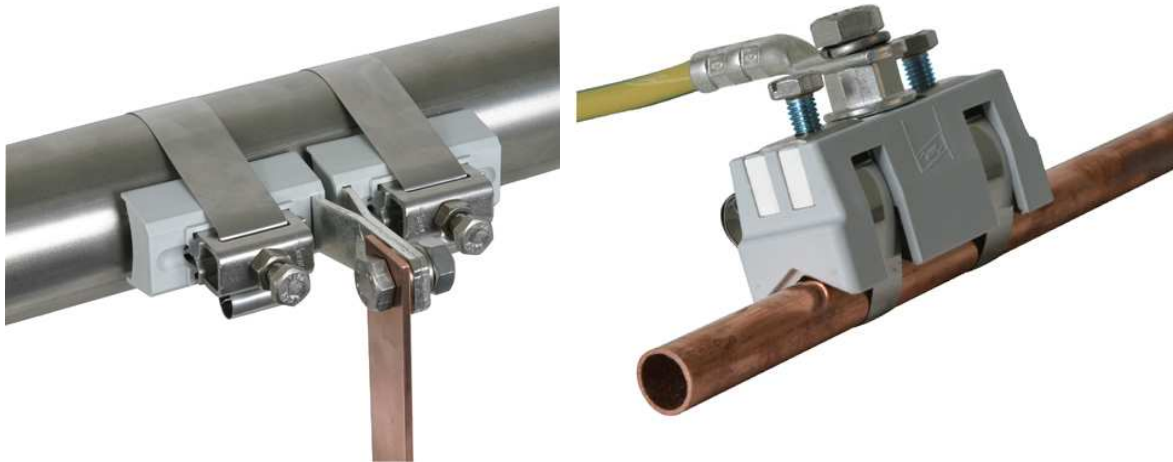
**Tabela 3.** Wartości podstawowych parametrów charakteryzujących prądy udarowe stosowane do badania iskierników izolacyjnych

Klasyfikacja	$I_{max}$	$Q$	$W/R$	$T_1$	$t_d$
H	100 kA $\pm$ 10%	50 As $\pm$ 10%	2,5MJ/ $\Omega$ $\pm$ 20%	$\leq 50 \mu\text{s}$	$\leq 2 \text{ ms}$
N	50 kA $\pm$ 10%	25 As $\pm$ 10%	0,63MJ/ $\Omega$ $\pm$ 20%	$\leq 50 \mu\text{s}$	$\leq 2 \text{ ms}$
1L	25 kA $\pm$ 10%	12,5 As $\pm$ 10%	0,16MJ/ $\Omega$ $\pm$ 20%	$\leq 50 \mu\text{s}$	$\leq 2 \text{ ms}$
2L	10 kA $\pm$ 10%	5 As $\pm$ 10%	25 kJ/ $\Omega$ $\pm$ 20%	$\leq 50 \mu\text{s}$	$\leq 2 \text{ ms}$
3L	5 kA $\pm$ 10%	2,5 As $\pm$ 10%	6,3 kJ/ $\Omega$ $\pm$ 20%	$\leq 50 \mu\text{s}$	$\leq 2 \text{ ms}$

Główne szyny wyrównawcze, podobnie jak elementy zewnętrznej instalacji piorunochronnej powinny także przejść badania odporności na bezpośrednie oddziaływania prądów udarowych.

Prądy udarowe symulujące oddziaływanie rozptylającego się prądu piorunowego wykorzystywane są także do badań właściwości ochronnych urządzeń do ograniczania przepięć w instalacji elektrycznej oraz w systemach przesyłu sygnałów.

Należy zauważyć, że badania oddziaływania prądu udarowego powinny również przejść połączenia stosowane w strefach zagrożonych wybuchem (rys. 2). Badania powinny potwierdzić możliwości ich stosowania w takich obszarach.



**Rys 2.** Połączenia wyrównawcze stosowane w strefach zagrożonych wybuchem

## Urządzenia do ograniczania przepięć typu 1

W obiekcie budowlanym zadaniem układów SPD (Surge Protective Device) typu 1 jest ograniczanie do poziomów bezpiecznych dla instalacji elektrycznej i zasilanych urządzeń zagrożeń stwarzanych przez część prądu piorunowego oddziałującego bezpośrednio na instalację elektryczną podczas bezpośredniego wyładowania w elementy urządzenia piorunochronnego obiektu.

Podstawowymi elementami SPD typu 1 są iskierniki, które najczęściej wytrzymują przepływ prądów udarowych o wartościach szczytowych 20 kA, 25 kA lub nawet 50 kA i kształcie 10/350  $\mu$ s lub warystory zapewniające ochronę przed prądami piorunowymi o wartościach szczytowych kilka – kilkanaście kiloamperów.

Zapewnienie ochrony instalacji elektrycznej w obiekcie budowlanym wymaga, aby wartości szczytowe udarów „przepuszczonych” przez układy SPD typu 1 nie przekraczały 4 kV.

W przypadku ograniczania zagrożeń piorunowych w niewielkich obiektach (np. kontenery) lub stosowania urządzeń elektronicznych w rozdzielniach głównych należy stosować SPD typu 1 o niskich napięciowych poziomach ochrony np. 2500 V lub nawet 1500 V.

Możliwości SPD typu 1 w zakresie ograniczania zagrożeń stwarzanych przez rozplywający się prąd piorunowy określane są na podstawie wyników badań ich odporności na działanie prądów udarowych „impulsowych”, które scharakteryzowano następującymi parametrami:

- wartością szczytową -  $I_{imp}$  (kA),
- czasem do osiągnięcia wartości szczytowej -  $t_{imp}$  ( $\mu$ s)
- przenoszonym ładunkiem -  $Q$  (As)
- energią właściwą -  $W/R$  (kJ/ $\Omega$ ),
- czasami do osiągnięcia wymaganych wartości  $Q$  i  $W/R$  -  $t_{Q,W/R}$  (ms)

Zalecane wartości podstawowych parametrów charakteryzujących prądy impulsowe stosowane do badań SPD typu 1 zestawiono tabeli 4.

**Tabela 4.** Podstawowe parametry charakteryzujące prądy „impulsowe” stosowane do badań SPD typu 1

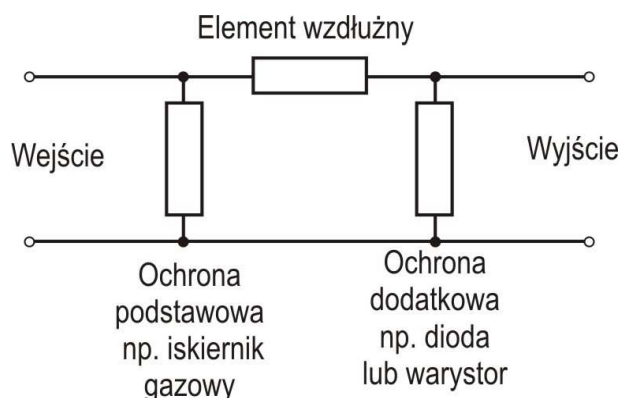
PN EN 61643-11			DIN VDE 0675 Teil 6/A1			
$I_{imp}$ (kA)	$Q$ (As) w 10 ms	$W/R$ (kJ/ $\Omega$ ) w 10 ms	$I_{imp}$ (kA)	$Q$ (As)	$W/R$ (kJ/ $\Omega$ )	Kształt udaru
20	10	100	50	25	625	10/350 $\mu$ s
10	5	25	20	10	100	
5	2,5	6,25	10	5	25	
2	1	1	5	2,5	6,3	
1	0,5	0,25	2	1	1	
			1	0,5	0,25	
			0,5	0,25	0,063	

W normie PN EN 61643-11 nie określono dokładnie kształtu prądowego udaru probierczego. Wymagane jest jedynie stosowanie prądu udarowego o czasie narastania czoła poniżej 50  $\mu$ s i czasie trwania do 10 ms.

W normach ochrony odgromowej obiektów budowlanych oraz niemieckich normach dotyczących SPD pojawiają się zalecenia stosowania do badań SPD typu 1 prądu udarowego o kształcie 10/350  $\mu$ s (tabela 4).

### Urządzenia ograniczające przepięcia kategorii D

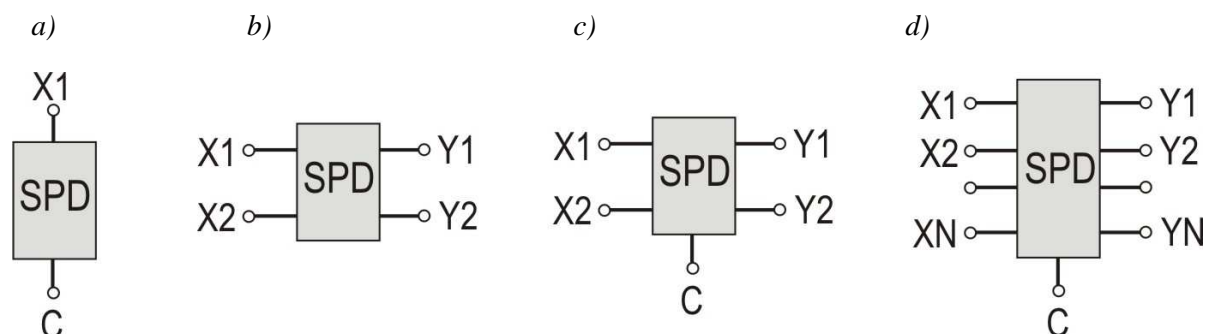
Typowy wielostopniowy układ ograniczający przepięcia, który będzie nazywany urządzeniem ograniczającym przepięcia SPD, składa się z pojedynczych elementów połączonych elementami wzdłużnymi, nazywanymi również elementami odprężającymi (rys. 3.).



**Rys. 3.** Przykładowy układ połączeń urządzenia ograniczającego przepięcia

Jako elementy wzdluzne moga byc stosowane sa rezystancje, indukcyjnosci, pojemnosci lub filtry. W zaleznosci od ukkladu polaczen elementow ograniczajacych przepiecia oraz od wymagan chronionego urzadzenia mozna wyodrzednic nastepujace rozwiazania SPD (rys. 4.):

- z jednym przylaczem (bramka), wlaczone rownolegle do chronionego obwodu (rys. 4a),
- z dwoma parami przylaczy (pary wejsciowa i wyjsciowa), pomiedzy ktorymi wlaczona jest okreslana impedancja, wlaczone szeregowo do obwodu chronionego (rys.4b),
- z dwoma parami przylaczy (pary wejsciowa i wyjsciowa) oraz przylacza do polaczenia z lokalnym systemem wyrównywania potencjalow (rys.4c.),
- z dwoma kompletami przylaczy wejsciowych i wyjsciowych oraz przylacza do polaczenia z lokalnym systemem wyrównywania potencjalow (rys.4.d).



Rys. 4. Ogólne schematy typowych urządzeń ograniczających przepięcia; a) z jednym przyłączem, b) z dwoma parami przyłączy, c) z dwoma parami przyłączy i przyłączem „uziemiającym”, d) z dwoma kompletami przyłączy i przyłączem „uziemiającym”

## Badania właściwości

Zestawienie zakresu badań właściwości ochronnych urządzeń ograniczających przepięcia w systemach przesyłu sygnałów przedstawiono w tabeli 5. W celu ułatwienia opisu, w dalszej części opracowania SPD badany zgodnie z wymaganiami danej kategorii badań nazywany będzie SPD tej kategorii np. SPD kategorii D1 lub SPD kategorii C2.

Tabela 5. Zakres badań różnych kategorii urządzeń do ograniczania przepięć

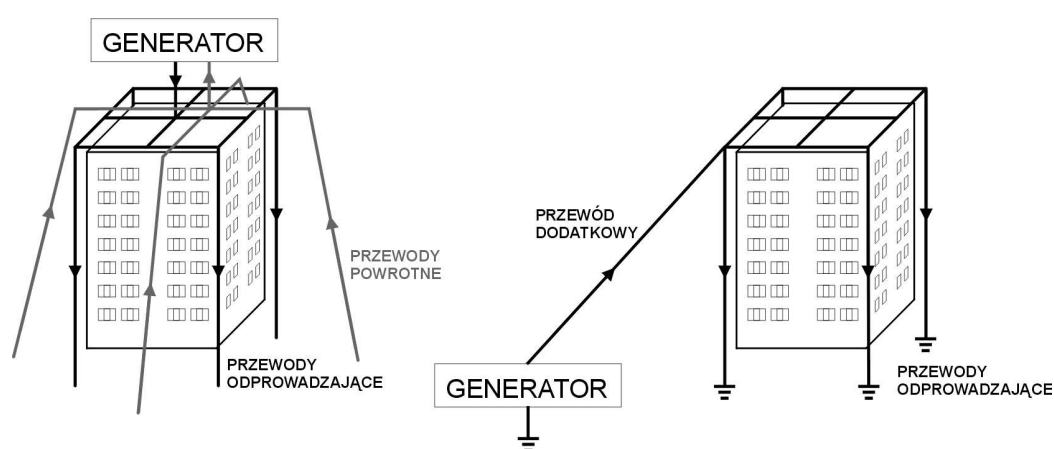
Kategoria	Typ testu	Napięcie w obwodzie otwartym	Prąd płynący po zwarcu
A1	Bardzo wolno narastający AC	$\geq 1$ kV	10 A
A2		Szybkość narastania od 0,1 kV/s do 100 kV/s	0,1 A/ $\mu$ s do 2 A/ $\mu$ s $\geq 1$ 000 $\mu$ s (czas trwania)
B1	Wolno narastający	1 kV, 10/1 000 $\mu$ s	100 A, 10/1 000 $\mu$ s
B2		1 kV lub 4 kV, 10/1 000 $\mu$ s	25 A lub 100 A, 5/300 $\mu$ s
B3		$\geq 1$ kV, 100 V/ $\mu$ s	10 A, 25 A lub 100 A, 10/1000 $\mu$ s
C1	Szybko narastający	0,5 kV lub 1 kV, 1,2/50 $\mu$ s	0,25 kA lub 0,5 kA, 8/20 $\mu$ s
C2		2 kV, 4 kV lub 10 kV, 1,2/50 $\mu$ s	1 kA, 2 kA lub 5 kA, 8/20 $\mu$ s
C3		$\geq 1$ kV, 1 kV/ $\mu$ s	10 A, 25 A lub 100 A, 10/1000 $\mu$ s
D1	Dużej energii	$\geq 1$ kV	0,5kA, 1 kA lub 2,5 kA, 10/350 $\mu$ s
D2		$\geq 1$ kV	1 kA, 2,5 kA, 10/250 $\mu$ s

SPD kategorii D1 należy wykorzystywać w obwodach sygnałowych, w których może wystąpić część prądu piorunowego. Dotyczy to szczególnie obwodów wprowadzanych z zewnątrz do obiektów budowlanych posiadających urządzenia piorunochronne.

## Badania symulujące zagrożenie piorunowe w obiektach budowlanych

Do badań wymagających wykorzystania specjalistycznego sprzętu oraz pewnego doświadczenia w dziedzinie pomiarów wysokonapięciowych należy zaliczyć badania symulujące zagrożenie piorunowe występujące w rzeczywistych obiektach. Takie pomiary wykorzystywane są do przybliżonej oceny zagrożenia piorunowego urządzeń i instalacji w obiekcie oraz sprawdzenia rozwiązań ochrony odgromowej.

Podczas pomiarów do instalacji piorunochronnej lub przewodzących elementów konstrukcyjnych budynków wprowadzane są prądy udarowe symulujące prądy piorunowe wpływające do obiektu. Źródłem prądu jest generator udarowy umieszczony na dachu lub obok obiektu (rys. 5.).



**Rys. 5.** Układy do symulacyjnych badań zagrożenia piorunowego występującego w czasie bezpośrednich uderzeń w obiekt

Normy wskazują na potrzebę prowadzenia takich badań w przypadku konieczności oceny parametrów impulsowego pola elektromagnetycznego wywołanego wewnątrz obiektu przez rozprzyskający się prąd piorunowy. Dotyczy to obiektów, w których będą instalowane rozległe i czułe systemy elektroniczne. Praktycznie takie pomiary mogą być prowadzone np. w niektórych obiektach telekomunikacyjnych, centrach komputerowych, lotniskach, elektrowniach. Prowadzenie takich badań sugeruje norma zawierająca zasady ekranowania i wyrównywania potencjałów wewnątrz obiektów oraz norma dotycząca ochrony odgromowej centrów telekomunikacyjnych.

## Podsumowanie

Stworzenie pewnej i niezawodnej ochrony odgromowej obiektów budowlanych wymaga stosowania zewnętrznych i wewnętrznych elementów urządzenia piorunochronnego, które przeszły badania odporności na działanie prądów udarowych. Uwzględniając ten fakt w normach dotyczących ochrony odgromowej określono wartości szczytowe i kształty prądów piorunowych, które zostały uwzględnione w normach określających zasady badań elementów



urządzenia piorunochronnego oraz urządzeń do ograniczania przepięć w instalacji elektrycznej oraz w obwodach sygnałowych.

## LITERATURA

1. PN-EN 62305-1:2008, Ochrona odgromowa - Część 1: Wymagania ogólne.
2. PN-EN 62305-3:2009, Ochrona odgromowa - Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów budowlanych i zagrożenie życia.
3. PN-EN 62305-4:2009, Ochrona odgromowa - Część 4: Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiektach budowlanych.
4. PN-EN 50164-1:09, 2010, Elementy urządzenia piorunochronnego (LPS) - Część 1: Wymagania stawiane elementom połączeniowym.
5. PN-EN 50164-2: 09, 2010, Elementy urządzenia piorunochronnego (LPC) - Część 2: Wymagania dotyczące przewodów i uziomów-
6. PN-EN 50164-3:2007, Elementy urządzenia piorunochronnego (LPC) - Część 3: Wymagania dotyczące iskierników izolacyjnych (oryg).
7. PN-EN 50164-4:2009, Elementy urządzenia piorunochronnego (LPC) - Część 4: Wymagania dotyczące elementów mocujących przewody (oryg.).
8. PN EN 61643-21, Niskonapięciowe urządzenia ograniczające przepięcia. Część 21: Urządzenia do ograniczania przepięć w sieciach telekomunikacyjnych i sygnalizacyjnych. Wymagania eksploatacyjne i metody badań.
9. PN-EN 61643-11:2006, Niskonapięciowe urządzenia do ograniczania przepięć – Część 11. Urządzenia do ograniczania przepięć w sieciach rozdzielczych niskiego napięcia – Wymagania i próby