

## Ochrona odgromowa stacjonarnych obiektów kolejowych. Część 1. Ochrona zewnętrzna – ogólne zasady projektowania

Łukasz JOHN<sup>1</sup>, Artur DŁUŻNIEWSKI<sup>2</sup>

### Streszczenie

W artykule opisano problematykę projektowania zewnętrznej instalacji odgromowej instalowanej na budynkach obiektów o przeznaczeniu kolejowym, w których mogą być zainstalowane urządzenia elektryczne i elektroniczne. Ochrona polega na wyposażeniu obiektu w zewnętrzną instalację odgromową, obejmującą również instalacje radiowe umieszczone na zewnątrz budynku. Kompleksowemu zabezpieczeniu powinny podlegać wszystkie urządzenia elektroniczne zainstalowane wewnątrz obiektu, zarówno po stronie zasilania, jak i po stronie przesyłania sygnałów. Jako przykład wymieniono stacjonarne obiekty typu kolejowego. Opisano najistotniejsze źródło zaburzeń elektromagnetycznych w postaci wyładowań atmosferycznych oraz potencjalne zagrożenie pożarowe, jakie może mieć miejsce podczas wyładowania atmosferycznego. Przedstawiono elementy składowe zewnętrznej instalacji odgromowej oraz zasady jej doboru. Opisano sposób projektowania zewnętrznej instalacji odgromowej na tle obecnie obowiązujących norm przedmiotowych. Uwzględniono również problematykę ochrony obiektów przed pożarami powstałymi w wyniku wyładowań atmosferycznych.

**Słowa kluczowe:** ochrona odgromowa, prąd udarowy, źródło zaburzeń, wyładowanie piorunowe w obiekt, obiekt kolejowy poddany ochronie

### 1. Wstęp

W ostatnim okresie obserwuje się wzrost nakładów finansowych ponoszonych na modernizację lub budowę nowych stacjonarnych obiektów kolejowych, takich jak: posterunki, nastawnie lub lokalne centra sterowania ruchem (LCS). W każdym przypadku należy sprawdzić zgodność parametrów istniejącej lub projektowanej instalacji odgromowej z wymaganiami dla tego typu obiektów, ponieważ w tych obiektach coraz częściej są instalowane bardzo złożone elektroniczne systemy i urządzenia sterowania ruchem kolejowym.

Urządzenia elektromechaniczne, przekaźnikowe, a przede wszystkim elektroniczne są niezwykle wrażliwe na zaburzenia elektromagnetyczne o dużej energii. Niewłaściwie zaprojektowana instalacja odgromowa, jej brak lub zły stan techniczny, mogą doprowadzić nie tylko do uszkodzenia lub zniszczenia urządzeń znajdujących się w obiekcie, ale również do zagrożenia personelu obsługi i nawet zniszczenia całego obiektu wskutek pożaru. Obiekty poddawane przebudowie i modernizacji wymagają nowego podejścia do tematyki kompleksowej ochrony przed zaburzeniami elektromagnetycznym o dużej energii.

Tematyka jest niezwykle trudna z powodu specyficznej lokalizacji niektórych obiektów, w związku z ich rozmieszczeniem na rozległym terenie i wzajemnym powiązaniu sieciami zasilania i sieciami sygnałowymi oraz teleinformatycznymi, co zwiększa dodatkowo narażenie na bezpośrednie wyładowanie atmosferyczne [6]. Podczas modernizacji takich obiektów dodatkowo należy zapewnić warunki dla niezawodnego działania systemów elektronicznych tam zainstalowanych.

### 2. Zagrożenia piorunowe

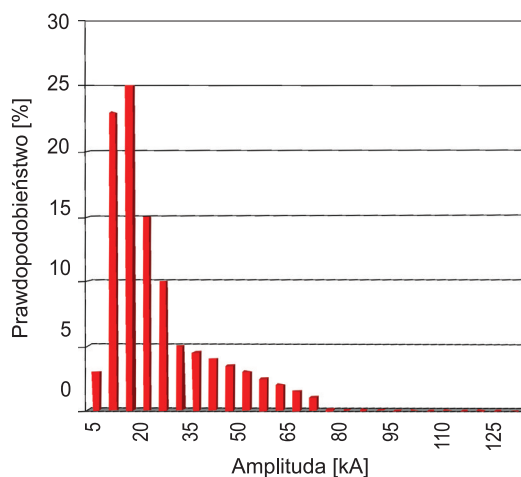
Wyładowania atmosferyczne zalicza się do najgroźniejszych zaburzeń elektromagnetycznych, ponieważ energia towarzysząca wyładowaniom ma charakter niszczący i dlatego jest niebezpieczna dla urządzeń elektronicznych nawet w promieniu 1 km od miejsca udaru [5]. Wyładowanie w niezabezpieczony obwód może spowodować między innymi: przerwy w pracy urządzeń łączności, a także uszkodzenia systemów sterowania ruchem kolejowym, alarmowych oraz informatycznych. Błędne działanie systemów

<sup>1</sup> Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji; e-mail: ljohn@ikolej.pl.

<sup>2</sup> Mgr inż.; Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia w Zielonce, Laboratorium Badań Kompatybilności Elektromagnetycznej i Pomiarów Pól Elektromagnetycznych; e-mail: dluzniewskia@witu.mil.pl.

alarmowych w obiekcie lub ich uszkodzenie może spowodować zagrożenie życia ludzkiego w przypadku powstania pożaru, który nie będzie sygnalizowany. W kanale wyładowania atmosferycznego może wystąpić kilka wyładowań w odstępach czasu od kilku do kilkunastu milisekund. Wartości natężenia impulsowego pola elektromagnetycznego maleją przy kolejnych wyładowaniach.

Wyładowania atmosferyczne mogą mieć charakter dodatni lub ujemny, w zależności od ładunku gromadzonego w chmurach. Około 90% wszystkich wyładowań ma charakter ujemny, natomiast wyładowania dodatnie charakteryzują się dużo większym natężeniem prądu [5]. Szczytowa wartość prądu może wynosić nawet do 300 kA, a napięcie w kanale wyładowania wstępnego może przekroczyć 10 milionów woltów. W zależności od wielkości prądu płynącego w kanale wyładowania, rozróżnia się cztery poziomy ochrony odgromowej. Najwyższy, pierwszy poziom ochrony zapewnia jej efektywność tylko w 98%, natomiast czwarty poziom ochrony zapewnia efektywność ochrony na poziomie 80%. W budownictwie powszechnym, zgodnie z obowiązującymi normami w zakresie ochrony odgromowej, stosowany jest zwykle IV poziom ochrony. Zakres wielkości prądów płynących podczas wyładowań zawiera się w przedziale od 10 kA do 200 kA, a najczęściej podczas wyładowań występujących na terenie Polski ich poziom amplitudy wynosi około 30 kA, co przedstawiono na rysunku 1.



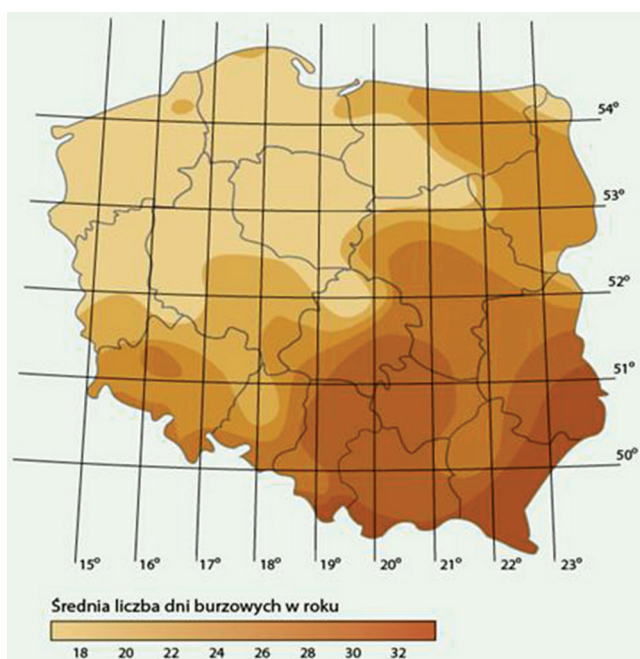
Rys. 1. Histogram prawdopodobieństwa wyładowania w funkcji amplitudy [opracowanie A. Dłużniewski]

Wyładowanie atmosferyczne o amplitudzie nawet 10 kA spowoduje pożar jeżeli obiekt nie jest wyposażony w instalację odgromową. Chcąc ocenić stopień zagrożenia piorunowego urządzeń elektrycznych i elektronicznych, należy wziąć pod uwagę następujące możliwości:

- bezpośrednie wyładowanie piorunowe w obiekt budowlany oraz w dochodzące do niego instalacje elektryczne; takie wyładowanie w większości przypadków może być źródłem pożaru,
- wyładowanie w sąsiedztwie obiektu,

- wyładowanie w sąsiedztwie linii zasilających i sygnałowych dochodzących do obiektu,
- bezpośrednie wyładowanie do instalacji odgromowej obiektu.

Analizując każde z tych zagrożeń, należy uwzględnić podstawowe informacje o intensywności burzowej na danym terenie, w którym znajdują się obiekty. Intensywność burzową określają tzw. mapy burzowe, na których są podawane poziomy izokerauniczne – przeciętne liczby dni burzowych w roku. Do prawidłowego oszacowania izokerauniczności danego terenu może być pomocna mapa (rys. 2).



Rys. 2. Intensywność burzowa w Polsce [1]

### 3. Zewnętrzna ochrona odgromowa

Zewnętrzna instalacja odgromowa jest podstawowym elementem zabezpieczającym obiekt przed pożarem. Dla tego typu stacjonarnych obiektów budowlanych opracowano rodzinę czterech norm przedmiotowych serii PN-EN 62305-X [6–9], dotyczących zarówno zewnętrznej, jak i wewnętrznej ochrony odgromowej. Do zastosowań kolejowych stosuje się wymienione normy oraz inne regulacje prawne obowiązujące w budownictwie, jak również przepisy Zarządcy Infrastruktury kolejowej PKP PLK S.A. w postaci odpowiednich instrukcji kolejowych, np. Ie-13 (E-25) [2], Ie-120 [1], Ie-6 (WOT-e12) [3], Ie-7 (E-14) [4], które w swojej treści odnoszą się do zapisów norm dotyczących zewnętrznej ochrony odgromowej, przeznaczonych do urządzeń sterowania ruchem kolejowym, łączności i dSAT.

Urządzenie piorunochronne stanowią elementy zainstalowane na obiekcie lub na zespole elementów konstruk-

cyjnych obiektu, odpowiednio połączone ze sobą i wykorzystywane do odprowadzenia prądu piorunowego do ziemi. Składa się ono z następujących części:

- zwodów (elementów instalacji odgromowej w postaci dowolnej kombinacji prętów, rozpiętych przewodów lub sieci składających się z przewodów) przeznaczonych do bezpośredniego przyjmowania prądów piorunowych wyładowań atmosferycznych,
- przewodów odprowadzających, łączących zwody z przewodami uziemiającymi lub uziomem fundamentowym,
- przewodów uziemiających łączących przewody odprowadzające z uziomami,
- uziomów, którymi są elementy metalowe zakopane w ziemi lub zespół elementów metalowych umieszczonych w gruncie i zapewniających połączenie elektryczne z gruntem.

Zadaniem zewnętrznej ochrony odgromowej jest zabezpieczenie obiektu budowlanego przed bezpośrednim wyładowaniem atmosferycznym. Uderzenie piorunu w obiekt pozbawiony instalacji odgromowej spowoduje najczęściej:

- uszkodzenie pokrycia dachowego, jednej ze ścian budynku oraz powstanie pożaru,
- uszkodzenie instalacji elektrycznej i zniszczenie aparatury przyłączonej do niej w rozdzielni (popalone i wyrwane ze ścian gniazda),
- zniszczenie urządzeń elektrycznych i elektronicznych zainstalowanych w obiekcie, zasilanych z tej sieci elektrycznej,
- zniszczenie lub uszkodzenie obwodów przesyłania informacji wskutek oddziaływania impulsowego pola elektromagnetycznego w wyniku zaindukowania się przepięć o znacznych amplitudach.

Zewnętrzna instalacja odgromowa może występować jako instalacja naturalna lub sztuczna. Naturalną instalacją odgromową mogą stanowić odpowiednio połączone ze sobą elementy konstrukcji żelbetowej budynku. Tego typu instalacje mogą być wykorzystywane w nowo budowanych obiektach o konstrukcji żelbetowej przy założeniu, że ta konstrukcja ma zapewnioną ciągłość elektryczną wszystkich jej elementów. Takie rozwiązanie może poprawić walory estetyczne zabezpieczonego budynku i być dodatkowym elementem ekranującym znajdujące się tam urządzenia elektroniczne przed oddziaływaniem impulsowego pola elektromagnetycznego, wywołanego wyładowaniem atmosferycznym np. w sąsiedni obiekt. W większości przypadków jednak stosuje się sztuczną instalację odgromową lub niekiedy kombinację obydwu instalacji.

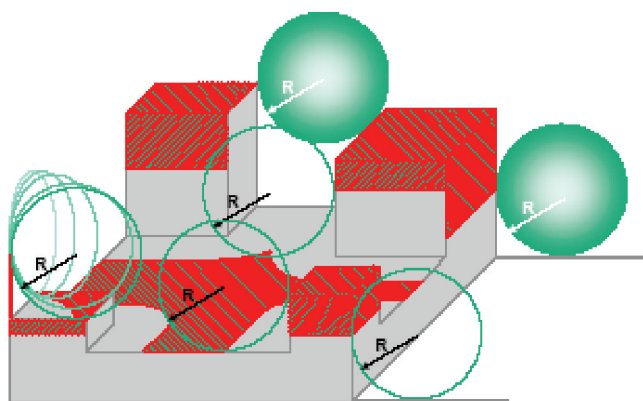
Wybór rodzaju instalacji odgromowej jest uzależniony od charakteru i przeznaczenia obiektu. Decyzja o rodzaju rozwiązania ochrony odgromowej powinna być podjęta podczas wstępnego projektowania danego obiektu. Na tym etapie należy koniecznie uwzględnić poziom izokerauniczności terenu, przeznaczenie obiektu oraz stopień nasycenia urządzeniami elektronicznymi w przyszłości. Natomiast

w przypadku adaptacji starych obiektów należy tak zaprojektować zewnętrzną instalację odgromową, aby nie kolidowała z walorami estetycznymi obiektu i jednocześnie zapewniła maksymalny poziom ochrony przeciwprzebiegowej.

#### 4. Wybór rodzaju instalacji odgromowej

Do oceny ryzyka bezpośredniego uderzenia piorunu w stacjonarny obiekt budowlany, z uwzględnieniem jego parametrów technicznych i konfiguracji dachu, zalecana jest opisana w normach [7, 8] metoda toczącej się kuli.

Jak ilustruje rysunek 3, wirtualna kula o promieniu  $R$  jest toczona po dachu obiektu. Jej promień jest bezpośrednio uzależniony od poziomu ochrony, im promień wirtualnej kuli będzie mniejszy, tym wyższy będzie poziom ochrony, ponieważ ochrona będzie wtedy dokładniejsza. O wartości promienia kuli będzie decydować również charakter obiektu i rodzaj instalowanej aparatury elektronicznej. W przypadku rozbudowanej struktury dachu, w wyniku występowania dodatkowych instalacji, np. urządzeń klimatyzacji i wentylacji lub takich, jak np. kominy, należy zapewnić całkowitą ochronę obiektu przez zainstalowanie dodatkowych zwodów prętowych. Metoda toczącej się kuli zakłada, że na powierzchni dachu, w miejscach, które nie są dotykane przez kulę, nie ma zagrożenia bezpośrednim uderzeniem piorunu, co przedstawia rysunek nr 3. W zależności od konfiguracji dachu, można wyróżnić na nim strefy ochronne, powstające w wyniku toczenia wirtualnej kuli po dachu.



Rys. 3. Tworzenie stref ochronnych przy pomocy toczącej się kuli [rys. A. Dłużniewski]

Głównym elementem przyjmującym prąd piorunowy wyładowania atmosferycznego jest zwód. W zależności od konfiguracji dachu obiektu, stosuje się zwody:

- pionowe, o kącie ochronnym uzależnionym od wysokości zwodu,
- poziome, w formie siatki o okach związanych bezpośrednio z poziomem ochrony,
- konstrukcji mieszanej zwodów pionowych i poziomych, która jest uzależniona od konfiguracji dachu.

## 5. Rozwiązania konstrukcyjne elementów zewnętrznej instalacji odgromowej

### 5.1. Zwody

Podstawowym zadaniem zwodów jest zapewnienie bezawaryjnego przepływu prądu piorunowego. Zwodami naturalnymi mogą być przewodzące elementy konstrukcyjne obiektu, natomiast zwodami sztucznymi są elementy służące tylko i wyłącznie do ochrony odgromowej. Zwody sztuczne mogą składać się z dowolnej kombinacji prętów, rozpiętych przewodów lub siatki, złożonej z wielu przewodów.

Niezależnie od rodzaju, zwód jest tym elementem, który jako pierwszy ma bezpośredni kontakt z wyładowaniem atmosferycznym. W wyniku udaru prądowego, przez element sieci zwodu nastąpi przepływ prądu piorunowego do ziemi w obwodzie o najniższej rezystancji, a zatem nie nastąpi równomierny rozptył prądu w całej siatce zwodów. Ta część, przez którą popłynie największa część prądu, będzie narażona na znaczne podwyższenie temperatury w przewodzie. Zwody mogą być wykonane z przewodów stalowych, miedzianych lub aluminiowych. W tabelicy 1 zamieszczono spodziewane przyrosty temperatury przewodów w wyniku przepływu prądu piorunowego o kształcie impulsu i parametrach 10/350  $\mu$ s (stosunek czasu narastania czoła impulsu  $t_c$  do czasu trwania impulsu  $t_p$   $\mu$ s), w zależności od rodzaju materiału i jego średnicy oraz od przyjętego poziomu ochrony. Biorąc po uwagę fakt, że ponad 90% wyładowań atmosferycznych ma charakter ujemny i maksymalny prąd wyładowania nie przekracza 20 kA, jako podstawowy, przyjęto IV stopień ochrony dla obiektów budowlanych bez instalacji wrażliwej aparatury elektronicznej. W przypadkach szczególnych zalecana jest ochrona obostrzona lub specjalistyczna. W obiektach kolejowych, w przeważającej liczbie przypadków, powinna być zastosowana ochrona obostrzona, ze względu na coraz większe nasycenie obiektów urządzeniami elektronicznymi.

Tabela 1

Przyrost temperatury przewodów [°C] wywołany przepływem prądu piorunowego w zależności od średnicy i materiału

Przekrój [mm <sup>2</sup> ]	Miedź			Stal			Aluminium		
	Przyjęty poziom ochrony								
	III+IV	II	I	III+IV	II	I	III+IV	II	I
4	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	169 <sup>1)</sup>	542	*	*	*	*	564	*	*
16	56	143	309	1120	*	*	146	454	*
25	22	51	98	211	913	*	52	132	283
50	5	12	22	37	96	211	12	28	52
100	1	2	5	9	20	37	3	7	12

\* uszkodzenie przewodu w postaci stopienia lub eksplozji,

<sup>1)</sup> przyrost temperatury przewodu w [°C],

[Opracowanie Ł. John].

Jak wynika z danych zamieszczonych w tabelicy 1, zastosowanie jako zwodów przewodów o nieodpowiednim przekroju spowoduje nadmierne podwyższenie temperatury zastosowanego przewodu nawet przy czwartym stopniu ochrony (dla prądu udarowego około 20 kA). W skrajnym przypadku, źle dobrany przekrój przewodu może doprowadzić do stopienia lub eksplozji materiału przewodu, co oczywiście może przyczynić się do powstania pożaru przy nieprawidłowo ułożonej instalacji. Roztopiony metal, upadając na powierzchnię dachową pokrytą papą, może spowodować pożar obiektu. W obiektach kolejowych, przy przyjętym stopniu ochrony obostrzonej, należy bardzo starannie dobierać przekroje przewodów, z których mają być wykonane zwody.

Jak wynika z rysunku 1, przedstawiającego histogram prawdopodobieństwa wyładowania, wystąpienie wyładowania o skrajnie wysokiej amplitudzie około 200 kA, może mieć miejsce nawet raz na kilkadziesiąt lat. W czasie takiego wyładowania, dla najczęściej projektowanych instalacji odgromowych składających się z drutów o przekroju 50 mm<sup>2</sup>, może wystąpić znaczne przekroczenie temperatury przewodu, powyżej temperatury podanej w tabelicy 1. Biorąc po uwagę fakt, że wyładowania atmosferyczne występują w okresie wiosenno-letnim, kiedy temperatura otoczenia waha się od kilkunastu do ponad 30°C, należy liczyć się z tym, że temperatura przewodów instalacji odgromowej może przekroczyć wartość podaną w tabelicy 1 dla pierwszego stopnia ochrony. Przy wadliwie wykonanej instalacji odgromowej należy liczyć się z wystąpieniem zagrożenia pożarowego.

W obiektach budowlanych najczęściej są stosowane zwody poziome niskie. Niedawno w normach była określona minimalna odległość zwodu od dachu niepalnego lub trudno zapalnego, wynosząca 2 cm. Obecnie obowiązująca norma [6] zmienia ten wymóg, nie określając wymaganej odległości, co stwarza możliwość pewnej dowolności interpretacji bezpieczeństwa przeciwpożarowego. Umożliwia to zatem bezpośrednie ułożenie zwodu na powierzchni dachu lub w bardzo niewielkiej odległości od niego, co nie zawsze jest korzystnym rozwiązaniem. Musi być jednak spełniony warunek, że przepływ prądu piorunowego nie spowoduje termicznego uszkodzenia pokrycia dachowego, gdyż grozi to powstaniem pożaru obiektu. Jeżeli projektant zdecyduje się zastosować zwody naturalne, to muszą one spełniać podstawowe wymagania dotyczące przekroju poprzecznego, podane w tabelicy 2.

Tabela 2

Minimalne wymiary przewodów [mm] stosowanych do odprowadzenia prądu piorunowego

Rodzaj wyrobu	Materiał		
	miedź	stal ocynkowana	aluminium
Linka	7×3	7×2,5	–
Drut	6	6	10
Taśma	20×3	20×3	20×4

[Opracowanie Ł. John].

Podane w tablicy 2 minimalne przekroje drutów stosowanych na zwody dotyczą tylko III i IV stopnia ochrony.

Poziom ochrony jest ściśle związany z wymiarami oka siatki zwodu. W tablicy 3 pokazano zalecenia zawarte w normie [8], które dotyczą wymiarów oka siatki zwodów w zależności od stopnia ochrony odgromowej. W przypadku stacjonarnych obiektów kolejowych, w których znajdują się urządzenia elektryczne i elektroniczne, powinien być wymagany, co najmniej III stopień ochrony.

Tablica 3  
Wymiary oka siatki w zależności od stopnia ochrony odgromowej

Charakterystyka obiektu	Poziom ochrony	Oko siatki [mm]	Efektywność ochrony [%]
Obiekty z ochroną podstawową	IV	20×20	80
<b>Obiekty z ochroną obostrzoną</b>	<b>III</b>	<b>15×15</b>	<b>90</b>
Obiekty z ochroną specjalistyczną	II	10×10	95
Brak odpowiednika	I	5×5	98

[Opracowanie Ł. John].

Łatwy, szybki oraz niezawodny montaż przewodów stanowiących zwody oraz przewody odprowadzające umożliwiają odpowiednie wsporniki, przeznaczone do różnych typów dachów, oferowane na polskim rynku przez wiele firm. Innego rodzaju wsporniki są stosowane na dachy płaskie, a innego rodzaju na dachy spadziste.

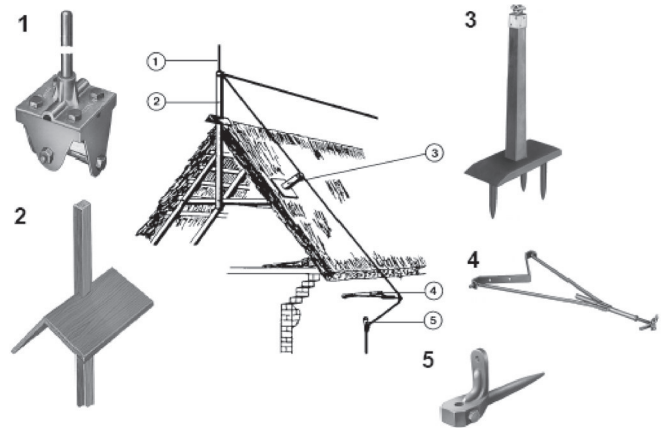
W przypadku dachów wykonanych z materiałów łatwopalnych istnieje niebezpieczeństwo wystąpienia pożaru w wyniku przepływu prądu piorunowego wskutek:

- erozji termicznej metalu w miejscu jego bezpośredniego kontaktu z kanałem piorunowym (miejsce wpływu prądu piorunowego),
- nagrzewania się przewodów pod wpływem przepływającego przez nie prądu piorunowego,
- zapłonu materiałów palnych w bezpośrednim sąsiedztwie kanału piorunowego lub w wyniku przeskoku iskrowego.

Charakterystyka wyładowania atmosferycznego oraz charakter obiektu określają stopień zagrożenia pożarowego. Długotrwały przepływ prądu udarowego jest szczególnie niebezpieczny. Możliwość nagrzewania się metalu (przewody, blacha) może być niebezpieczna, jeśli w bliskim sąsiedztwie znajdują się materiały łatwopalne. Ochroną przed tego typu zagrożeniem jest zastosowanie na obiektach zwodów poziomych podwyższonych. Przykładowe rozwiązanie instalacji piorunochronnej na dachu krytym materiałem łatwopalnym przedstawia rysunek 4. Zwody podwyższone stosowane są na dachach pokrytych:

- materiałami łatwo zapalnymi,

- blachami metalowymi, jeśli ich grubość nie spełnia zalecanych wymagań (grubość minimalna 0,5 mm dla blachy stalowej i cynkowej oraz 1 mm dla blach aluminiowych).

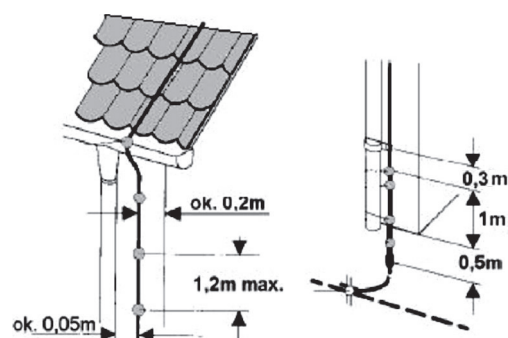


Rys. 4. Zwody na dachu krytym materiałem łatwopalnym; 1-5 różnego typu wsporniki do układania zwodów [rys. Ł. John]

W przypadku dachów z gontów lub drewnianych, istnieje możliwość układania zwodów bezpośrednio na dachach z zastrzeżeniem, że zostanie zachowana odległość 2 cm od powierzchni dachu. Jeżeli odległość ta jest mniejsza, to w momencie przepływu prądu udarowego w wyniku zjawisk termicznych może dojść do pożaru. Takie elementy jak klimatyzacja, urządzenia pomiarowe bądź inne elementy mechaniczne lub elektryczne zainstalowane na dachu, nie powinny być łączone ze zwodami na dachu obiektu, ponieważ mogą zostać uszkodzone przez przepływający prąd piorunowy.

## 5.2. Przewody odprowadzające prąd piorunowy

Jak wspomniano, w celu odprowadzenia prądu piorunowego można wykorzystać naturalne przewody odprowadzające, będące elementami konstrukcyjnymi obiektów budowlanych lub przewody sztuczne odprowadzające, których zadaniem jest odprowadzenie prądu piorunowego. Przewody odprowadzające powinny być tak układane, aby była zapewniona najkrótsza i wieloprzewodowa droga przepływu prądu piorunowego od punktu udaru do ziemi. Przewody powinny być ułożone w odpowiedniej odległości od ściany oraz zainstalowane wzdłuż prostych i pionowych tras, co ilustruje rysunek 5.



Rys. 5. Prowadzenie przewodów odprowadzających [rys. A. Dłużniewski]

Odległość od ściany jest również uzależniona od rodzaju materiału, z jakiego jest wykonana ściana. Niewłaściwy dobór odległości od ściany obiektu, w przypadku zbyt dużego podwyższenia temperatury przewodu odprowadzającego, może spowodować pożar. Wartości zalecanych odległości podano w tabelicy 4, zgodnie z normą [10].

Tablica 4  
Odległości przewodów odprowadzających od ścian obiektów budowlanych [10]

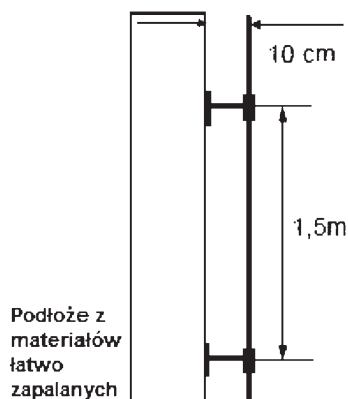
Ściana	Minimalna odległość od ściany budynku
Materiał niepalny lub trudno zapalny	Ułożenie bezpośrednio na powierzchni ściany*
Materiał łatwo zapalny	10 cm**

\* przyrost temperatury przewodu przy przepływie prądu piorunowego nie jest groźny dla ściany obiektu,

\*\* przyrost temperatury może spowodować uszkodzenie powłoki ściany.

[Opracowanie Ł. John].

Przy montażu przewodów odprowadzających na wspornikach, wskazane jest zachowanie pomiędzy nimi odległości nieprzekraczającej 1,5 m. Przykład rozwiązania przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Układanie przewodów odprowadzających na ścianie budynku [rys. Ł. John]

Przy układaniu przewodu odprowadzającego należy zachować odległość nie mniejszą niż 2 m pomiędzy przewodem odprowadzającym, a:

- wejściami do budynku, ze względu na bezpieczeństwo ludzi,
- ogrodzeniami metalowymi przylegającymi do dróg publicznych,
- przejściami dla pieszych.

Liczba przewodów odprowadzających jest ściśle określona jako iloraz długości obwodu obiektu wyrażonej w metrach i długości oka siatki zwodu. Zalecana minimalna liczba przewodów odprowadzających wynosi 2. Liczba przewodów odprowadzających na obiektach o obwodzie

przekraczającym 30 m i zagrożonych wybuchem, nie może być mniejsza niż 4. Taka konstrukcja zewnętrznej instalacji odgromowej zapewni wielodrogowość rozprywu prądu udarowego i tym samym spowoduje zmniejszenie wartości natężenia impulsowego pola elektromagnetycznego, które może negatywnie oddziaływać na urządzenia wewnątrz budynku. To oddziaływanie powstaje w wyniku istnienia sprzężenia magnetycznego między obwodem instalacji odgromowej, a instalacjami ułożonymi wewnątrz budynku zbyt blisko instalacji odgromowej. Przy zbyt silnym sprzężeniu tych obwodów ze sobą i dużej wartości prądu piorunowego, w obwodzie elektrycznym może pojawić się przepięcie o amplitudzie uszkadzającej urządzenie. W takim przypadku występuje również duże zagrożenie pożarowe. Maksymalne odległości pomiędzy przewodami odprowadzającymi zestawiono w tabelicy 5 i są one konsekwencją przyjętego stopnia ochrony obiektu. Dla obiektów kolejowych zastosowany będzie II poziom ochrony, zatem przewody odprowadzające powinny być oddalone od siebie o 10 m.

Tablica 5  
Odległości pomiędzy przewodami odprowadzającymi

Poziom ochrony	Średnia odległość [m]
I	10
II	10
III	15
IV	20

[Opracowanie Ł. John].

### 5.3. Charakterystyka i rodzaje uziomów

Uziomem nazywa się celowo wykonane połączenie odpowiednich części urządzenia lub instalacji elektrycznej z przedmiotem metalowym znajdującym się w ziemi. Zadaniem uziomu urządzenia piorunochronnego jest zapewnienie niskoimpedancyjnej drogi przepływu prądów piorunowych do ziemi. Z punktu widzenia ochrony odgromowej, uziom powinien być wspólny dla wszystkich instalacji i urządzeń znajdujących się w danym obiekcie, a tym samym powinien spełniać wymagania stawiane uziomom roboczym urządzeń elektrycznych i elektronicznych, zapewniając nie tylko właściwą ochronę odgromową, ale również przeciwprzepięciową i przeciwporażeniową.

Do budowy zewnętrznej ochrony odgromowej można wykorzystać kilka rodzajów uziomów. Najczęściej stosowanym uziomem jest uziom otokowy, który musi spełniać następujące wymagania:

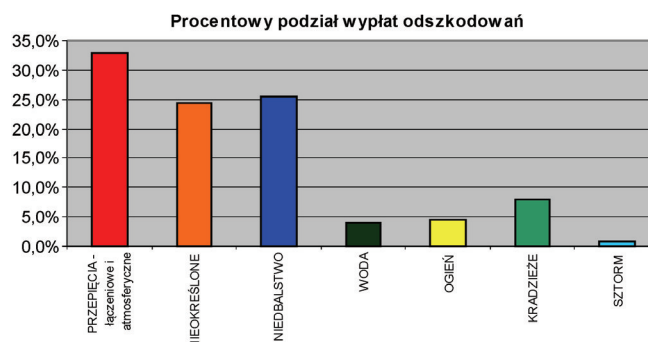
- minimalna głębokość, na jaką można zakopać uziom wynosi 0,6 m,
- minimalna odległość uziomu otokowego od obiektu wynosi 1 m,
- odległość uziomu otokowego od kabli energetycznych nie powinna być mniejsza niż 1 m,

- jeżeli rezystancja uziemienia otokowego jest mniejsza niż  $10 \Omega$ , możliwe jest zmniejszenie odległości od kabla energetycznego,
- jeżeli zastosowane uziomy będą wykonane ze stalowych drutów lub taśm i będą miały średnicę większą o 30%, można je ułożyć bezpośrednio na dnie wykopów fundamentowych tuż pod fundamentem lub obok niego,
- w sytuacji, gdy nie można wykonać uziomu otokowego w całości, zaleca się połączenie go z uziomem pionowym nie krótszym niż 2,5 m w miejscu jego przerwania,
- uziom wykonany z przewodów uziemiających miedzianych i stalowych pokrytych miedzią jest bardziej trwały i niezawodny w działaniu,
- iskiernik powinien być wykorzystywany do połączeń uziomu otokowego z uziomem wydzielonym,
- postronne urządzenia technologiczne oraz podziemne metalowe elementy zakopane w ziemi, powinny być umieszczone w odległości nie mniejszej niż 2 m od uziomu otokowego i należy łączyć je z uziomem bezpośrednim lub za pomocą iskierników.

Zewnętrzna instalacja odgromowa może również składać się z kombinacji uziomów poziomych i pionowych. Tego typu uziomy powinny spełniać następujące wymagania:

- minimalna głębokość umieszczenia górnej części uziomu w ziemi powinna być nie mniejsza niż 0,5 m, natomiast dolna część uziomu powinna znajdować się na głębokości 4 m,
- odległość uziomu pionowego od krawędzi budynku powinna wynosić nie mniej niż 1 m,
- w przypadku niespełnienia przez uziom wymaganej rezystancji, należy połączyć ze sobą kilka uziomów, tworząc układ uziomów zapewniający wymaganą rezystancję; w celu minimalizacji wzajemnego oddziaływania poszczególnych uziomów na siebie, zaleca się umieszczenie ich w odległości około 1,5-krotnej długości uziomu pionowego,
- minimalna odległość, w jakiej może znajdować się uziom od przejść dla pieszych, wejść do budynku lub metalowych ogrodzeń, powinna wynosić 1,5 m.

Pomimo powszechności stosowania instalacji odgromowej oraz przepisów normalizacyjnych, które w sposób precyzyjny zalecają budowę i montaż instalacji odgromowych, notowane są jednak przypadki wystąpienia szkód spowodowanych wyładowaniami atmosferycznymi. Dotyczą one przede wszystkim uszkodzeń w urządzeniach elektronicznych, jako następstwo wadliwej instalacji odgromowej lub braku stosownej ochrony przeciwprzebieciowej, która powinna występować łącznie z ochroną odgromową. Jak widać z rysunku 7, około 5% uszkodzeń urządzeń elektronicznych powstało na skutek wystąpienia pożaru w obiekcie. Należy jednak liczyć się z tym, że faktyczna liczba powstałych szkód może być spowodowana przepięciami w wyniku wyładowań atmosferycznych.



Rys. 7. Procentowy podział nakładów finansowych ponoszonych na pokrycie powstałych strat sprzętu elektronicznego; opracowanie własne na podstawie [11]

## 6. Podsumowanie

Należy pamiętać o tym, że maksymalny poziom zabezpieczenia obiektu przed wyładowaniami atmosferycznymi wynosi 98%. Należy wówczas stosować dodatkowe rozwiązania konstrukcyjne, które powinny wykorzystywać inne techniki umożliwiające uniknięcie pożaru obiektu przy wystąpieniu nieszczęśliwego zbiegu okoliczności, wynikającego z 2% marginesu ryzyka. Zewnętrzna ochrona odgromowa jest podstawowym, wymaganym elementem ochrony obiektu przed wyładowaniami atmosferycznymi oraz stanowi element systemu zabezpieczeń obiektu przed pożarem zgodnie z zaleceniami norm [2].

Dodatkowym rozwiązaniem konstrukcyjnym jest ochrona przeciwprzebieciowa nazywana często w literaturze wewnętrzną ochroną odgromową. Prawidłowo zaprojektowana ochrona przeciwprzebieciowa stwarza możliwość uniknięcia niszczących skutków wyładowań atmosferycznych w wyniku np. nieprawidłowego prowadzenia instalacji elektrycznej w obiekcie, umożliwiającego indukowanie się przepięć. Jest to szczególnie ważne, ponieważ w ostatnich latach obserwuje się wzrost gwałtowności zjawisk atmosferycznych.

Wykonanie instalacji piorunochronnej wymaga dużo mniejszych nakładów finansowych niż pokrycie ewentualnych kosztów naprawiania szkód wywołanych bezpośrednim uderzeniem piorunu, o czym zbyt często zapominają inwestorzy ograniczając koszty na zabezpieczenie obiektu. Straty mogą być różne: począwszy od uszkodzenia całych fragmentów instalacji i urządzeń elektronicznych (np. alarmowych), na pożarze skończywszy. Szczególnie zagrożone są wszelkiego typu obiekty zabytkowe, które są bardzo często wykonane w technologii ceglano-drewnianej. Do tych obiektów można zaliczyć na przykład zabytkowe obiekty kolejowe.

## Bibliografia

1. Instrukcja kolejowa Ie-120 „Wymagania techniczne dla zapewnienia ochrony przed przepięciami i od wyładowań atmosferycznych urządzeń sterowania ruchem kolejowym, łączności i dSAT”. Załącznik do uchwały

- nr 1247/2017 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 21 grudnia 2017 r.
2. Instrukcja kolejowa le-13 (E-25) „Instrukcja o zasadach wykonywania obsługi technicznej urządzeń telekomunikacji kolejowej”. Załącznik do uchwały nr 554/2008 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 05 listopada 2008 r.
3. Instrukcja kolejowa le-6 (WOT-E12) „Wytyczne odbioru technicznego oraz przekazywania do eksploatacji urządzeń sterowania ruchem kolejowym”, Załącznik nr 5 do uchwały nr 373 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 27 grudnia 2004 r.
4. Instrukcja kolejowa le-7 (E-14) „Instrukcja diagnostyki technicznej i kontroli okresowych urządzeń sterowania ruchem kolejowym” Załącznik do uchwały nr 78/2018 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 30 stycznia 2018 r.
5. Lorenc H.: *Atlas klimatu Polski*, Wydawnictwo Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, 2005.
6. PN-EN 62305-1:2011: Ochrona odgromowa – Część 1: Zasady ogólne. Polski Komitet Normalizacyjny 2011 r.
7. PN-EN 62305-2:2012: Ochrona odgromowa – Część 2: Zarządzanie ryzykiem. Polski Komitet Normalizacyjny 2012 r.
8. PN-EN 62305-3:2011: Ochrona odgromowa – Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia. Polski Komitet Normalizacyjny 2011 r.
9. PN-EN 62305-4:2011: Ochrona odgromowa – Część 4: Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiektach. Polski Komitet Normalizacyjny 2011 r.
10. PN-HD 60364-1:2010 + A11:2017: Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Część 1: Wymagania podstawowe, ustalanie ogólnych charakterystyk i definicje. Polski Komitet Normalizacyjny 2010 r.
11. Sowa A.: *Ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa*. Wydawnictwo PPHU SPINPOL H.T., Kielce, 1998.