

mgr inż. Artur **DŁUŻNIEWSKI**

mgr inż. Łukasz **JOHN**

Instytut Kolejnictwa

WEWNĘTRZNA OCHRONA ODGROMOWA OBIEKTÓW ZABYTKOWYCH

Internal lightning protection in the monumental buildings

Streszczenie

W artykule omówiono zasady ochrony urządzeń elektrycznych i elektronicznych znajdujących się w obiektach zabytkowych przed przepięciami. Ochrona przeciwprzebieciowa polega na zastosowaniu strefowej koncepcji ochrony urządzeń i systemów. Opisano podstawowe zasady ekranowania i prowadzenia instalacji elektrycznej i transmisji sygnałów w celu uniknięcia sprzężeń pomiędzy instalacjami znajdującymi się w zabytkowym obiekcie.

Podano przykłady ochrony urządzeń elektronicznych znajdujących się w starych dworach ze względu na ich znaczenie kulturalne. Pokazano również przykłady zabezpieczenia przed przepięciami systemów i urządzeń znajdujących się w zabytkowym obiekcie kolejowym na przykładzie nastawni dyspozytorskiej, które przystosowano do instalowania nowoczesnych urządzeń elektronicznych.

Summary

The article discusses the principle of protection of electrical and electronic equipment located in monumental buildings before the surge. Surge Protection is the partition using the concept of security devices and systems. Describes the basic principles of screening and conduct electrical signals and to avoid linkage between installations located in the monumental building.

Protection are examples of electronic devices located in the old manor monumental because of their cultural significance. Showing examples of surge protection systems and equipment located in a historic building on the example of railway control room dispatcher, which is adapted to the installation of modern electronic devices.

Słowa kluczowe: ochrona przeciwprzebieciowa, strefowa ochrona przeciwprzebieciowa, udar elektryczny

Keywords: surge protectors, lightning protection zone, electric surge

Wstęp

Wyposażenie obiektu zabytkowego w zewnętrzną instalację odgromową stanowi tylko połowę całości problemu zabezpieczenia odgromowego, ponieważ instalacja odgromowa ochroni obiekt przed zniszczeniem wyłącznie w 98%. Obiekty zabytkowe obecnie zawierają cenne zbiory kultury narodowej i światowej. W takich obiektach jak stare dwory znajdują się meble posiadające status antyku oraz cenne obrazy. Ze względu na ochronę takich obiektów instaluje się w nich również elektroniczne urządzenia ochrony przeciwpożarowej i przeciwwłamaniowej. W takich obiektach jak stare dwory system zabezpieczeń przeciwpożarowych powinien być rozbudowany ze względu na ich konstrukcję budowlaną opartą w większości przypadków na materiale budowlanym takim jak drewno, które jest materiałem bardzo łatwo palnym.

Zewnętrzna ochrona odgromowa nie stanowi żadnego zabezpieczenia dla urządzeń elektronicznych znajdujących się w zabytkowym obiekcie. Zewnętrzna instalacja odgromowa wręcz przeciwnie może wpłynąć nie korzystnie na rozbudowaną sieć czujników rozmieszczonych w obiekcie będąc jednocześnie źródłem impulsowego pola elektromagnetycznego podczas wyładowania atmosferycznego i w wyniku sprzężenia indukcyjnego z instalacjami alarmowymi stanowić poważne dla nich zagrożenie. Podczas takiego wyładowania znaczna część energii od wyładowania atmosferycznego może przeniknąć do wewnętrznej instalacji elektrycznej i przesyłu sygnałów powodując jej uszkodzenie. Prawidłowe zabezpieczenie obiektu i urządzeń elektronicznych polega na zainstalowaniu zewnętrznej i wewnętrznej ochrony odgromowej zwanej ochroną przeciwprzebieciową.

Koncepcja budowy wewnętrznej ochrony odgromowej (przeciwprzebieciowej)

Obiekty zabytkowe takie jak (zabytkowy dworek, dworzec kolejowy, kolejowa nastawnia dyspozytorska) charakteryzują się zróżnicowaną zabudową wewnętrzną. Konsekwencją zróżnicowanej zabudowy np. zabytkowego dworku lub pałacu powoduje, że instalacja czujników przeciwwłamaniowych nie tylko wewnątrz obiektu, ale i na zewnątrz. Czujniki te mogą być zatem narażone na impulsowe pole elektromagnetyczne pochodzące od wyładowania atmosferycznego.

Jako przykład można zilustrować taką sytuację, gdy przez przewód odprowadzający instalacji odgromowej płynie prąd piorunowy o amplitudzie $18\text{kA}/2\mu\text{s}$. Przenikalność

magnetyczna powietrza $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am. Wartość napięcia, jakie się indukuje w pętli o wymiarach 1m/1m w odległości 1m pokazuje przykład (1). Taką pętlę mogą stworzyć przewody dowolnej instalacji np. komputerowej.

$$U = \mu \cdot s \frac{dl}{dt} \cdot \frac{1}{2\pi r} = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot \frac{1,8 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{1}{2\pi \cdot 1} = 1,69kV \quad (1)$$

Jak widać z przedstawionego przykładu wartość napięcia, zaindukowanego w takiej pętli może spowodować uszkodzenie urządzeń znajdujących się w pobliżu instalacji odgromowej.

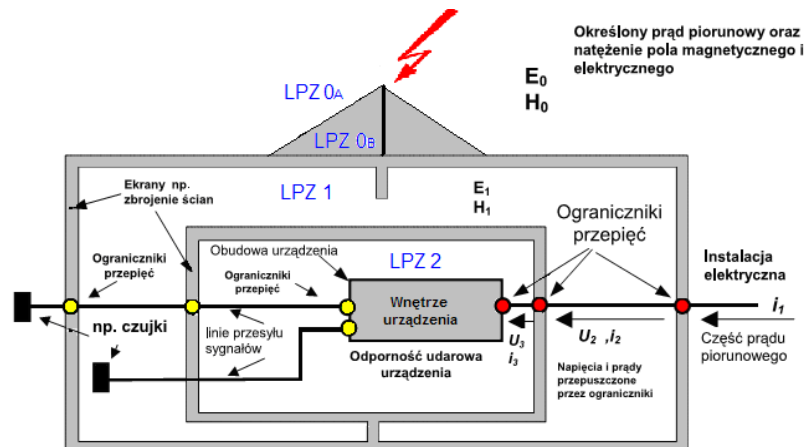
Zatem najlepszą metodą uniknięcia zagrożenia jest zastosowanie ochrony przeciwprzebieciowej a właściwie zastosowanie koncepcji strefowej ochrony ze względu na różnorodny poziom narażenia urządzeń elektronicznych w zależności od lokalizacji w poszczególnych pomieszczeniach obiektu. Z punktu widzenia metodyki ich ochrony można rozróżnić kilka zróżnicowanych stref ochrony.

Przyjęto, że najbardziej zagrożona strefa będzie oznaczona jako LPZ 0 (*Lightning Protection Zone*) natomiast strefę o największym stopniu bezpieczeństwa jako LPZ 4. Na rycinie 1 przedstawiono zasady podziału budynku na strefy bezpieczeństwa oraz lokalizacje elementów i układów ochronnych na granicy stref.

Parametry takie jak natężenie impulsowego pola elektromagnetycznego, przetężenia i aktualny poziom przepięcia stanowią składowe charakteryzujące każdą ze stref.

- Strefa LPZ 0_A

Systemy i urządzenia umiejscowione w tej strefie są narażone na bezpośrednie oddziaływanie impulsowego pola elektromagnetycznego oraz na przepływ prądu piorunowego o maksymalnej amplitudzie który może wystąpić podczas wyładowania atmosferycznego. Systemy oraz urządzenia te najczęściej znajdują się poza budynkiem i bez ekranowania są poddawane przepływowi prądu udarowego lub zaindukowanemu udarowi napięciowemu. Do urządzeń instalowanych najczęściej w strefie LPZ 0_A należą wszelkiego rodzaju anteny. W tej strefie przyjmuje się, że kształt udaru testującego odporność udarową odpowiada impulsowi o kształcie 10/350 μ s.



Ryc. 1. Podział budynku na strefy bezpieczeństwa

Źródło: opracowanie własne

Wartość amplitudy udaru napięciowego zawiera się w granicy od dziesiątek do setek kV i z nią jest ściśle związana wytrzymałość izolatorów lub kabli. W tej strefie ważnymi parametrami są również:

- wartość szczytowa natężenia pola magnetycznego - 10 kA/m,
- wartość szczytowa natężenia pola elektrycznego - 400 kV/m

W obiektach zabytkowych typu dworek najczęściej występującymi elektronicznymi urządzeniami są mikrofalowe czujniki przeciw włamaniom oraz czujniki przeciwpożarowe. Natomiast w zabytkowych obiektach typu kolejowego sytuacja jest bardziej skomplikowana. W tej strefie na dachach obiektów takich jak dworce kolejowe lub nastawnie dyspozytorskie zainstalowane są również urządzenia nadawczo-odbiorcze kolejowej łączności radiowej.

- Strefa LPZ 0_B

Cechą charakterystyczną tej strefy jest to, że urządzenia i systemy narażone są na bezpośrednie oddziaływanie impulsowego pola elektromagnetycznego powstałego wskutek przepływu prądu piorunowego przez instalację odgromową. W wyniku sprzężenia magnetycznego obwodów urządzenia z instalacją odgromową może powstać udar napięciowy i prądowy podobnie jak w strefie LPZ 0_A. W strefie LPZ 0_B nie może jednak wystąpić bezpośrednie oddziaływanie prądu piorunowego na urządzenie lub system. Systemami, jakie mogą znaleźć się w tej strefie są najczęściej układy anten nadawczo-odbiorczych kolejowej łączności radiowej. Inne urządzenia instalowane w obiektach najczęściej nie są ekranowane oraz nie posiadają własnego systemu minimalizacji wpływu udarów napięciowych i prądowych, które w tej strefie wynoszą:

- w sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia - 10 kV,
- w linii transmisji sygnałów - 6 kV.

Do oceny udaru prądowego w strefie 0_B przyjmuje się impuls o kształcie 8/20μs.

Strefa LPZ 1

Ochrona urządzeń znajdujących się w tej strefie, polega na zabezpieczeniu ich przed bezpośrednim oddziaływaniem impulsowego pola elektromagnetycznego np. poprzez zastosowanie ekranów, które tworzą na przykład elementy konstrukcyjne budynku. Można również zastosować odpowiednie układy zabezpieczające przed udarami prądowymi i napięciowymi pełniące zadanie pierwszego stopnia ochrony danego urządzenia.. W tej strefie mogą się znajdować różnego rodzaju systemy łączności oraz urządzenia sterowania ruchem kolejowym, które posiadają własne zabezpieczenia przeciwprzeięciowe pozwalające pracować w sposób bezawaryjny w tej strefie. Istotnym parametrem, który należy wziąć pod uwagę w strefie 1 jest wartość szczytowa napięcia udarowego w:

- instalacji elektrycznej - 6 kV,
- liniach transmisji sygnałów - 4 kV.

Wartości amplitudy natężenia pola magnetycznego i elektrycznego w strefie LPZ1 wynoszą odpowiednio kilka A/m i kilkanaście kV/m. Kształt udaru prądowego jest taki sam jak w strefie LPZ 0_B.

Kolejne strefy ochrony

Kolejne strefy wewnętrznej ochrony odgromowej (przeciwprzeięciowej) tworzone są poprzez wykorzystywanie następnych stopni ochrony.

W praktyce do ochrony urządzeń elektrycznych i elektronicznych w obiektach budowlanych przed przeięciami stosuje się dwu- lub trzystopniową ochronę. W tabeli 1 zestawiano dopuszczalne wartości cechujące udary napięciowe w kolejnych strefach.

Tabela. 1.

Dopuszczalne wartości amplitudy udarów elektrycznych w poszczególnych strefach

Parametr	LPZ 2	LPZ 3	LPZ 4
przeięcia w instalacji elektrycznej	4 kV	2,5 kV	1,5 kV
przeięcia w liniach przesyłu sygnałów (przewód-ziemia)	2 kV	1 kV	0,5 kV
natężenie pola elektrycznego	5 kV/m	50 V/m	5 V/m

natężenie pola magnetycznego ¹	100 A/m	1 A/m	0,1 A/m
---	---------	-------	---------

Źródło: A. Sowa - „Ochrona odgromowa i przeciwprzebieciowa”

Ocena zagrożenia piorunowego obiekcie zabytkowym

Projektując instalację przeciwprzebieciową zakłada się, że w przypadku bezpośredniego wyładowania atmosferycznego w budynek prąd piorunowy popłynie bezpośrednio do uziomu obiektu. Część tego prądu w wyniku istniejącego sprzężenia indukcyjnego pomiędzy instalacjami elektrycznymi w budynku przeniknie do sieci elektroenergetycznej i linii transmisji sygnałów.

Odgromniki instalowane w pierwszym stopniu ochrony powinny być tak dobrane, aby wytrzymały przepływ prądu udarowego o kształcie 10/350µs i amplitudzie co najmniej 20kA.

Ekwipotencjalizacja w obiektach budowlanych

Podstawowym zadaniem ekwipotencjalizacji (wyrównywania potencjałów) jest zapobieganie możliwości powstania różnic potencjałów pomiędzy uziemionymi urządzeniami wewnątrz obiektu. Zapewni to przede wszystkim bezpieczeństwo ludzi znajdujących się w obiekcie.

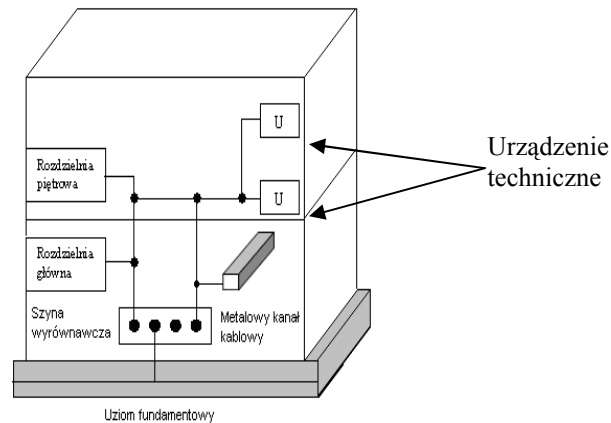
W obiektach zabytkowych takich jak stare dworki, w których znajduje się tylko sieć czujników instalacji alarmowej, wykonanie prawidłowej instalacji wyrównywania potencjałów nie jest zadaniem trudnym do wykonania. Zadanie to spełnia jednocześnie przewód PE sieci elektroenergetycznej systemu TNS, do której podłączone są systemy antywłamaniowe i przeciwprzebieciowe. Jeżeli w obiekcie występuje instalacja elektryczna typu TNC to przewód N pełni wtedy również rolę przewodu PE.

Ekwipotencjalizacja w zabytkowych obiektach kolejowych jest znacznie bardziej złożona. Problem pojawia się w chwili, jeśli w takim obiekcie jak nastawnia będą instalowane elektroniczne urządzenia łączności. Ekwipotencjalizacja powinna być wykonana wówczas dla wszystkich znajdujących się w obiekcie instalacji zarówno wprowadzanych do budynku jak i wszystkich instalacji wewnętrznych. Prawidłowo wykonane wyrównywanie potencjałów powinno być zrealizowane za pomocą niskoimpedancyjnych połączeń bezpośrednich lub niekiedy poprzez odpowiednio dobrane iskierniki, jeśli bezpośrednie połączenie jest niemożliwe. Połączenia bezpośrednie wykonywane są w instalacjach, w których nie występuje trwale jakikolwiek potencjał. Połączenia ochronników wykonywane są pomiędzy obwodami urządzenia a uziomem oraz pomiędzy izolowanymi od ziemi i znajdującymi się

¹ Wstępne wartości natężenia impulsowego pola elektromagnetycznego.

pod napięciem przewodami urządzeń elektrycznych. Dzięki temu nie powstanie różnica potencjałów pomiędzy poszczególnymi instalacjami oraz poprawi się bezpieczeństwo osób przebywających w obiekcie. Urządzenia i systemy przeciwprzepięciowe i odgromowe będą wtedy prawidłowo działały. Zapewniona będzie również bezawaryjna praca urządzeń elektronicznych znajdujących się w zabytkowym obiekcie.

Na rycinie 2 przedstawiono ogólną zasadę tworzenia systemu wyrównywania potencjałów dla obiektu, w którym instalowane są systemy łączności.



Ryc. 2. Wyrównywanie potencjałów w budynku

Źródło: A. Sowa - „Ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa”

Z ryciny 2 wynika, że do zrealizowania ekwipotencjalizacji wykorzystać można ekran kanału kablowego oraz inne uziemione elementy przewodzące występujące w budynku. Dodatkowo na każdym piętrze budynku należy zastosować szynę lub przewód wyrównujący potencjał.

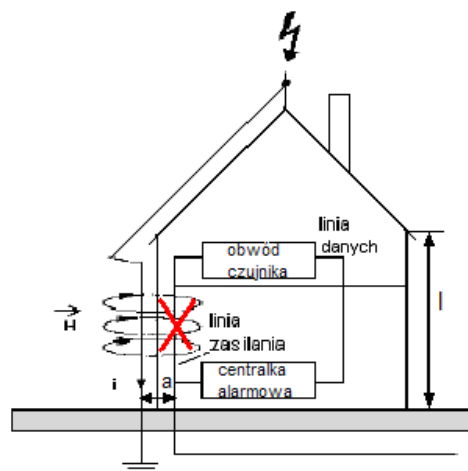
Podczas modernizacji zabytkowego obiektu kolejowego znajdującego się w pobliżu toru należy uwzględnić jego ewentualne położenie w strefie trakcji elektrycznej. Polega to na tym, że jeżeli obiekt będzie się znajdował w odległości 5m od osi toru, to wówczas instalacja wyrównywania potencjałów w obiekcie musi być połączona z obwodem uczynienia a nie z uziomem. Błędne wykonanie ekwipotencjalizacji w takim przypadku może być przyczyną wystąpienia różnicy potencjałów powodującej porażenie personelu oraz uszkodzenie urządzeń łącznie z możliwością wystąpienia pożaru.

Sposób układania przewodów wewnątrz budynków

W zabytkowych budynkach prawidłowo zaprojektowana instalacja elektryczna, transmisji sygnałów oraz inne instalacje znajdujące się w obiekcie umożliwią ograniczenie wpływu takich zjawisk jak:

- oddziaływanie przepięć indukowanych powstających podczas wyładowań atmosferycznych,
- sprzężeń wzajemnych pomiędzy poszczególnymi instalacjami.

W przypadku prowadzonej instalacji teletechnicznej między kondygnacjami nie zaleca się instalowanie jej na przy zewnętrznych ścianach obiektu jeśli w pobliżu prowadzone są na zewnętrznej ścianie przewody odprowadzające instalacji odgromowej. Instalacja ta powinna być prowadzona w ekranowanych kanałach biegnących w środku budynku. W ten sposób zostaje zapewniona odpowiednia odległość instalacji teletechnicznej od instalacji odgromowej. Taką sytuację ilustruje rycina, 3 na której pokazano błędne ułożenie przewodów zasilających. Błąd polega na poprowadzeniu przewodów zasilających na ścianie, na której po drugiej stronie ułożony jest przewód odprowadzający instalacji odgromowej. Prawidłowo natomiast poprowadzony jest przewód transmisji sygnałów pomiędzy centralką alarmową a obwodami czujnika.



Ryc. 3. Przykład złego poprowadzenia instalacji elektrycznej

Źródło: praca własna

Nieprawidłowe ułożenie przewodów zasilających spowoduje zaindukowanie przepięć w chwili przepływu prądu udarowego płynącego przez przewód instalacji odgromowej. Wartość zaindukowanego przepięcia może być tak duża, że spowoduje uszkodzenie systemu znajdującego się wewnątrz zabytkowego obiektu.

W sytuacji, gdy ułożenie instalacji elektrycznej i teletechnicznej nie jest możliwe w kanale ekranującym należy je układać jak najbliżej siebie. Ma to na celu uniknięcie

powstania w tej instalacji dużej pętli, w której możliwe jest indukowanie się przepięć o znacznych wartościach i jednocześnie nie wpłynie na wygląd wewnętrzny obiektu.

Ochrona przeciw przepięciowa

Ochrona przed przepięciami w instalacji elektrycznej

W starych obiektach zabytkowych często spotykanym układem sieci elektrycznej jest sieci typu TNC oraz TNC-S. Jeżeli dla danego obiektu planuje się przeprowadzenie prac adaptacyjnych do nowych warunków eksploatacyjnych należy wówczas przeprowadzić również prace modernizacyjne sieci energetycznej z typu TNC-S na sieci typu TNS. Jest to spowodowane tym, że przewód N pełniący funkcję przewodu PE w sieci typu TNC-S nie może być wykorzystywany jako przewód ochronny dla urządzeń elektrycznych i elektronicznych typu centralka alarmowa i przeciwpożarowa.

Właściwy dobór systemów przeciwprzepięciowych jest uzależniony od przewidywanej wielkości prądu udarowego i miejsca montażu urządzeń oraz sposobu doprowadzenia instalacji elektroenergetycznej do obiektu. Ograniczniki przepięć wykorzystywane w instalacji elektrycznej można zatem podzielić na cztery kategorie, co przedstawia tabela nr 2.

Tabela. 2.

Podział ograniczników przepięć w sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia

Nazwa ogranicznika	Klasa*	Przeznaczenie	Miejsce montażu
Ograniczniki wykorzystywane w liniach napowietrznych	A	Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi i łączeniowymi.	Linie energetyczne niskiego napięcia.
Odgromnik	B(I)	Ochrona przed bezpośrednim oddziaływaniem prądu (wyrównywanie potencjałów w obiektach budowlanych), przepięciami atmosferycznymi oraz łączeniowymi wszelkiego rodzaju.	Miejsce wprowadzenia instalacji do obiektu budowlanego posiadającego instalację odgromową. Złącze, rozdzielnica główna, podrozdzielnia.
Ochronnik przeciwprzepięciowy	C(II)	Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi indukowanymi, przepięciami łączeniowymi wszelkiego rodzaju, przepięciami „przepuszczonymi” przez odgromniki	Rozdzielnia instalacji elektrycznej w obiekcie budowlanym, rozdzielnica główna, oddziałowa, tablica rozdzielcza.
	D(III)	Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi indukowanymi i łączeniowymi	Gniazda wtykowe lub puszkę w instalacji oraz bezpośrednio w urządzeniach

* urządzenia ochrony przepięciowej badane zgodnie z wymaganiami klasy I, II, III [7]

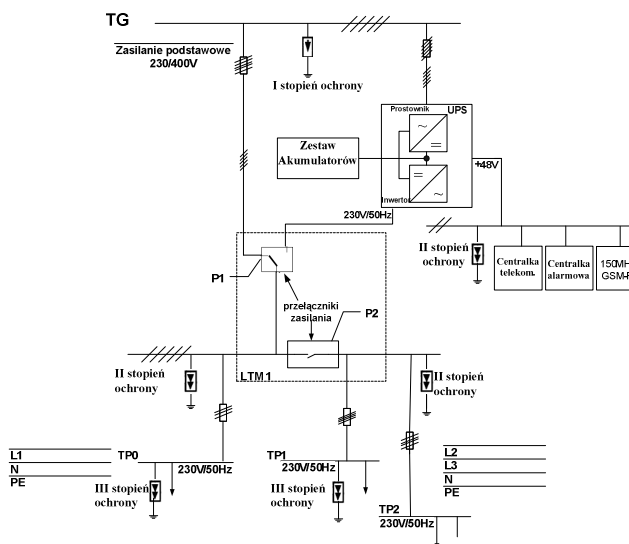
Źródło: A. Sowa - „Ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa

Lokalizacja obiektów zabytkowych takich jak stare dworki lub dworce kolejowe w większości przypadków wymusza doprowadzenie energii elektrycznej za pomocą linii

napowietrznych. Konsekwencją takiego rozwiązania jest konieczność zastosowania w punkcie dołączenia napowietrznej instalacji elektrycznej do obiektu ogranicznika klasy A.

Odgromniki tego typu mają chronić urządzenia elektryczne i elektroniczne przed prądami udarowymi o kształcie $8/20\mu s$ i amplitudzie o wartości 20 kA. Są to wartości prądu udarowego w przypadku niewielkiego bezpośredniego wyładowania atmosferycznego lub w pobliżu linii elektroenergetycznej, która stanowi doskonale medium przenoszące prądy udarowe nawet na kilkadziesiąt kilometrów. W sytuacji, gdy nastąpi wyładowanie atmosferyczne o dużej amplitudzie bezpośrednio w linię poprzez odgromnik popłynie praktycznie nieograniczony prąd udarowy, który powoduje jego uszkodzenie. Jeżeli układ nie zostanie wymieniony, to w instalacji elektrycznej obiektu podczas następnego wyładowania popłynie prąd udarowy, który spowoduje zniszczenie urządzeń elektronicznych lub nawet powstanie pożaru, który może doprowadzić do całkowitego zniszczenia obiektu.

Natomiast wewnątrz obiektu ochronę przed przepięciami zapewniają ograniczniki przepięć klasy B (I), C (II) i D (III). Na rycinie 4 przedstawiono schemat instalacji ograniczników przepięć poszczególnych klas w przykładowym zabytkowym obiekcie kolejowym o schemacie sieci TNS. Układ sieci TNS jest obecnie wymaganym układem sieci elektroenergetycznej obiektów budowlanych.



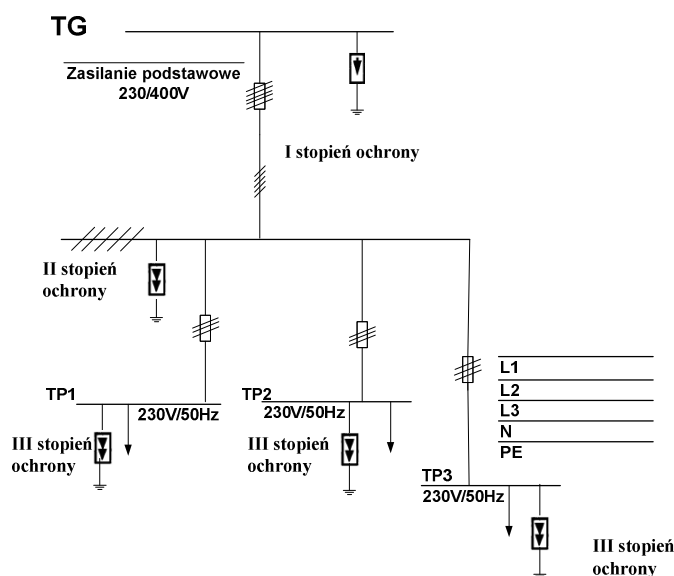
Ryc. 4. Przykład ograniczników przepięć dla obiektu kolejowego typu nastawnia

Źródło: opracowanie własne

Ochrona urządzeń w sieci elektrycznej w zabytkowej nastawni kolejowej oparta jest na trójstopniowym systemie zabezpieczeń. Jest to wymagane ze względu na usytuowanie w tego typu obiekcie urządzeń takich jak centralka telekomunikacyjna, system kolejowej łączności radiowej oraz centralka alarmowa i przeciwpożarowa. Przy projektowaniu, jako

pierwszy stopień ochrony stosuje się ogranicznik przepięć klasy B. Zakłada się, że maksymalny prąd udarowy jaki może popłynąć w strefie B wynosi 100kA. Najczęściej jest to ogranicznik iskiernikowy, który jest powszechnie stosowany w niskonapięciowych szafach rozdzielczych. Stosowane rozwiązania konstrukcyjne umożliwiają koordynację ochrony z innymi typami ograniczników w następnych stopniach ochrony. Ochronniki tego typu są przystosowane do montażu na szynie 35 mm i są wyposażone w zaciski, które umożliwiają łączenie przewodów i szyn grzbietowych z innymi aparatami w technice modułowej.

W przypadku obiektów zabytkowych takich jak stare dworki schemat jest znacznie prostszy ze względu na brak urządzeń technicznych takich jak centralka telekomunikacyjna oraz systemów łączności radiowej.



Ryc. 5. Przykład ograniczników przepięć dla zabytkowego dworku.

Źródło: praca własna

W obiekcie zabytkowym takim jak stary dworek czy dworzec kolejowy, nie wyposażonym w systemy telekomunikacyjne, zarówno pierwszy jak i drugi stopień ochrony przeciwprzepięciowej może być umieszczony w szafie rozdzielczej niskiego napięcia. Schemat przykładowego systemu zabezpieczeń w sieci elektroenergetycznej przedstawiono na rycinie 5.

W układzie sieci TNS, odgromniki należy włączyć pomiędzy przewody niskonapięciowe sieci zasilającej a ziemię w następujący sposób:

- między każdy przewód fazowy i ziemię oraz jeżeli jest przewód neutralny między przewód neutralny a ziemię,

- jeżeli przewód neutralny nie jest uziemiony na początku instalacji, między każdy przewód fazowy i ziemię oraz przewód neutralny a ziemię,
- jeśli przewód neutralny jest uziemiony na początku instalacji, między każdy nieuziemiony przewód fazowy a ziemię.

Połączenia pomiędzy odgromnikami a przewodami fazowymi i neutralnymi zaleca się wykonywać za pomocą przewodów o przekroju min. 16 mm^2 Cu. Przewód o takiej średnicy można również wykorzystać do połączenia odgromnika z szyną wyrównawczą. Jednakże dla podniesienia bezpieczeństwa warto zastosować przewód o średnicy 25 mm^2 Cu lub nawet 35 mm^2 .

W drugim stopniu ochrony przeciwprzebiegowej zadaniem ochronników jest obniżenie amplitudy przebiegów do wartości w praktyce od 1 kV do 1,5 kV. Znamionowa wartość prądu wyładowczego w drugim stopniu ochrony przeciwprzebiegowej mieści się zazwyczaj w zakresie od 2 do 15 kA, a niekiedy nawet do 40 kA. Jest to wartość prądu wyładowczego jaki może ograniczoną liczbę razy przepłynąć przez odgromnik. Przyjmuje się, że kształt prądu wyładowczego ma czas narastania czoła $8 \mu\text{s}$ i czas trwania do półszczytu $20 \mu\text{s}$.

Ograniczniki przebiegów tego typu mogą czasami pełnić funkcję pierwszego stopnia (B), o ile spełnione są następujące warunki:

- brak możliwości bezpośredniego uderzenia piorunu w obiekt oraz w sieć elektroenergetyczną niskiego napięcia dochodzącą do budynku,
- istnieje małe prawdopodobieństwo uderzenia piorunu w sieć energetyczną niskiego napięcia dochodzącą do budynku,
- istnieje małe prawdopodobieństwo uderzenia piorunu w obiekt, do którego doprowadzona jest zabezpieczona przeciwprzebiegowo sieć energetyczna.

W zabytkowym budynku wyposażonym w instalację odgromową najczęściej pierwszy stopień ochrony należy umieścić w rozdzielnicy zlokalizowanej możliwie jak najbliżej przyłącza energetycznego. W zależności od zastosowanych rodzajów ograniczników przebiegów i wzajemnych odległości między nimi, zalecane jest zastosowanie indukcyjności odsprzęgających, których zadaniem jest wzajemna koordynacja ich działania. Jest to spowodowane tym, że zastosowane ograniczniki różnią się między sobą szybkością reakcji na impuls udarowy. W chwili pojawienia się impulsu udarowego na wejściu instalacji

elektrycznej w pierwszej kolejności otwiera się ogranicznik przepięć klasy drugiej i zaczyna przez niego płynąć prąd. Powoduje on powstanie spadku napięcia na indukcyjności. Spadek ten przyspiesza zadziałanie ograniczników klasy pierwszej z powodu przekroczenia ich progu zadziałania. W momencie zadziałania ograniczników klasy pierwszej następuje odciążenie ograniczników drugiego stopnia.

Indukcyjność odsprzęgająca jest wymagana w sytuacji, gdy odległość między pierwszym i drugim stopniem jest mniejsza niż zalecana przez producenta dla danego typu ograniczników. Wówczas należy stosować dławiki o indukcyjności wynoszącej zwykle $5\mu\text{H}$. Przeciętna odległość pomiędzy pierwszym i drugim stopniem, zalecana przez producentów powinna wynosić nie mniej niż 15 m, ponieważ taka długość kabla odpowiada wartości indukcyjności odsprzęgającej. W praktyce zastosowanie indukcyjności odsprzedających jest coraz rzadziej spotykane, ponieważ odległość pomiędzy I i II stopniem ochrony jest coraz częściej większa niż 15 m. Obecnie najnowocześniejsze ograniczniki przepięć produkowane przez niektóre firmy nie wymagają do ogranicznika stosowania separacji indukcyjności odsprzęgających.

Projektując instalację elektryczną w obiekcie zaleca się umieszczenie w niej bezpieczników różnicowoprądowych zabezpieczających personel przed porażeniem. Współdziałają one z ogranicznikami klasy II.

Kolejny III stopień ochrony przeciwprzepięciowej ma za zadanie ochronić urządzenia przed przepięciami atmosferycznymi oddalonymi od obiektu o około kilkadziesiąt metrów i przepięciami łączeniowymi występującymi w sieci elektroenergetycznej (np. czujniki instalacji antywłamaniowe w bramie ogrodzenia). Trzeci stopień ochrony przeciwprzepięciowej nie może w żadnym przypadku występować jako jedyne zabezpieczenie urządzeń.

W wielostopniowym systemie ochrony urządzeń trzeci stopień stanowi tylko i wyłącznie uzupełnienie. Stopień III powinien być zastosowany w przypadku, gdy urządzenie znajduje się w dużej odległości od urządzeń ograniczających drugiego stopnia. Odległość ta jest uzależniona od poziomu odporności poszczególnych urządzeń oraz sposobu prowadzenia instalacji elektrycznej. W praktyce wynosi ona od kilkunastu do kilkadziesiąt metrów. Ograniczniki III stopnia najczęściej instalowane są w:

- puszkach,
- kanałach kablowych,
- bezpośrednio w gniazdkach,

- lub jako układy przenośne wtykane do gniazdek.

W trzecim stopniu ochrony przeciwprzepięciowej wykorzystuje się warystory lub diody lawinowe włączone pomiędzy przewód fazowy PE, a niekiedy pomiędzy fazowy i neutralny w układzie sieciowym TNC i TNC-S. Ochronniki klasy D montowane są najczęściej za bezpiecznikami różnicowoprądowymi. Takie umiejscowienie zapewnia zmniejszenie prawdopodobieństwa nieuzasadnionego zadziałania wyłączników różnicowoprądowych przy przepływie prądu udarowego. Zastosowanie ochronnika o takim rozwiązaniu uniemożliwi przepływ prądu pomiędzy przewodem fazowym L i neutralnym N a ochronnym PE. Jeżeli ochronnik klasy III jest prawidłowo podłączony to zapewnia on również ochronę kilku sąsiednich gniazdek tej samej instalacji jednofazowej.

Należy zaznaczyć, że prawidłowy dobór urządzeń wewnętrznej ochrony przed przepięciami jest procesem skomplikowanym i ważnym. Niewłaściwy dobór urządzeń ochronnych może spowodować w konsekwencji uszkodzenie urządzeń np. centralę alarmową, przeciwpożarową lub zainstalowanych urządzeń telekomunikacyjnych wewnątrz zabytkowego budynku oraz w przypadku udaru o dużej amplitudzie może spowodować również konieczność wymiany uszkodzonych fragmentów instalacji elektrycznej obiektu.

Ogólne zasady ochrony przeciwprzepięciowej w torach sygnałowych

Kolejowe obiekty zabytkowe zabezpieczane są również przeciwprzepięciowo w obwodach transmisji sygnałów co wymaga nowego spojrzenia na problem. W chwili, gdy obiekty były budowane nie przewidywano, że będą w nich pracować skomplikowane systemy i urządzenia elektroniczne.

Ograniczniki przepięć w torach przesyłu sygnałów powinny zapewnić bezawaryjną pracę urządzeń teleinformatycznych oraz systemów automatyki i kontroli. Zastosowane ograniczniki przepięć powinny być tak dobrane, aby ograniczały amplitudę przepięcia do dopuszczalnych wartości i jednocześnie nie wprowadzały zniekształceń sygnału. W praktyce stosowane są ograniczniki umieszczane w różnych miejscach sieci teleinformatycznej. Jest to uzależnione od występującego zagrożenia i rozmieszczenia systemu przesyłu sygnałów w obiekcie. Ograniczniki przepięć mogą być, zatem instalowane:

- w miejscu wprowadzenia linii przesyłu sygnałów do obiektu,
- w miejscu pomiędzy poszczególnymi strefami,
- bezpośrednio przed urządzeniem.

Dobierając ochronniki przepięć należy brać pod uwagę następujące parametry:

- maksymalny prąd występujący w liniach przesyłu sygnału,
- maksymalne i znamionowe dopuszczalne napięcie przesyłanych sygnałów,
- sposób przesyłu sygnałów (układy niesymetryczne lub symetryczne),
- częstotliwość graniczna,
- rodzaje elementów lub układów ochronnych zastosowanych bezpośrednio w urządzeniu.

Określając stopień zagrożenia udarowego w torach przesyłu sygnałów należy brać pod uwagę podobnie jak przy instalacji elektrycznej sposób doprowadzenia instalacji do obiektu budowlanego. Wybór systemu ochrony przeciwprzebieciowej zależy od tego, czy instalacja przesyłu sygnałów doprowadzona jest linią napowietrzną czy kablową oraz od sposobu prowadzenia instalacji odgromowej budynku, w tym również dla istniejącej instalacji.

Urządzenia stosowane w ochronie przeciwprzebieciowej w torach przesyłu sygnału powinny zapewniać wielokrotne ich zadziałanie nie zmieniając przy tym swoich parametrów. Najczęściej wykorzystywanym elementem chroniącymi urządzenia przed udarami prądowo-napięciowymi w obwodach sygnałowych jest odgromnik.

Ochrona urządzeń tele- i radiokomunikacyjnych

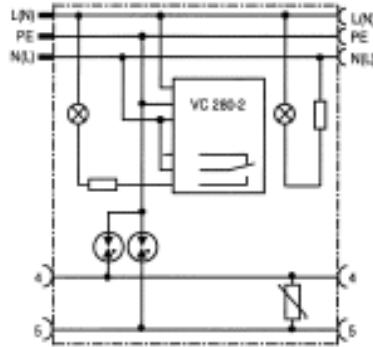
Ochronniki wykorzystywane do ochrony analogowych urządzeń telefonicznych muszą spełniać wymagania zapisane w normie [7]. Dotyczy ona ochrony urządzeń końcowych sieci telekomunikacyjnych i przebieciami pochodzącymi z linii abonenckiej.

Jeżeli urządzenia telekomunikacyjne posiadają odporność udarową powyżej 1 kV stosowane są ochronniki jednostopniowe instalowane w krosownicy centralowej.

W sytuacji, gdy występuje konieczność zachowania kilkucentymetrowej odległości pomiędzy centralą a krosownicą dla urządzeń posiadających odporność udarową poniżej 1kV, należy stosować dodatkowe układy zabezpieczające lub wielostopniowe ochronniki. Jest to spowodowane zbyt małą wartością indukcyjności separującej. Składają się one z odgromnika gazowego i warystora lub odgromnika gazowego i diody lawinowej.

Natomiast, jeżeli stosowany jest pojedynczy układ wielostopniowy, to powinien ograniczać poziom udarów do wartości mniejszej niż odporność udarowa urządzeń. Jeżeli nie jest znany dokładny poziom odporności udarowej zabezpieczanego systemu to stosuje się ograniczniki obniżające przepięcie do wartości od 1,5 do 2 wartości amplitudy napięć

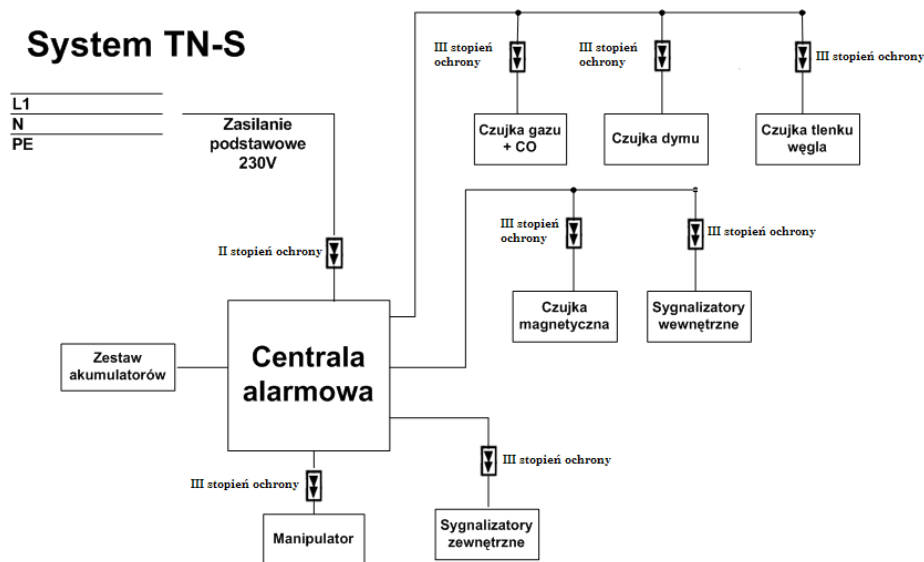
przesyłanych sygnałów. System telekomunikacyjny może być chroniony również za pomocą dwóch układów jednostopniowych. Pierwszy z nich instalowany jest tuż przy wejściu instalacji sygnałowej do obiektu. Stopień ten jednak nie chroni w pełni przed udarami i dlatego na wejściu urządzenia powinien być instalowany drugi stopień ochrony. Schemat przykładowego układu zabezpieczającego pokazano na rycinie 6.



Ryc. 6. Schemat ogranicznika przepięć w torach sygnałowych

Źródło: A. Sowa - „Ochrona odgromowa i przeciwprzebieciowa”

W obiektach zabytkowych bardzo ważne jest zabezpieczenie przed przepięciami centrali alarmowej, która stanowi istotny element ochrony obiektu przed zniszczeniem. Schemat zabezpieczenia takiej centrali pokazano na rycinie 7.



Ryc. 7. Schemat zabezpieczenia centrali alarmowej

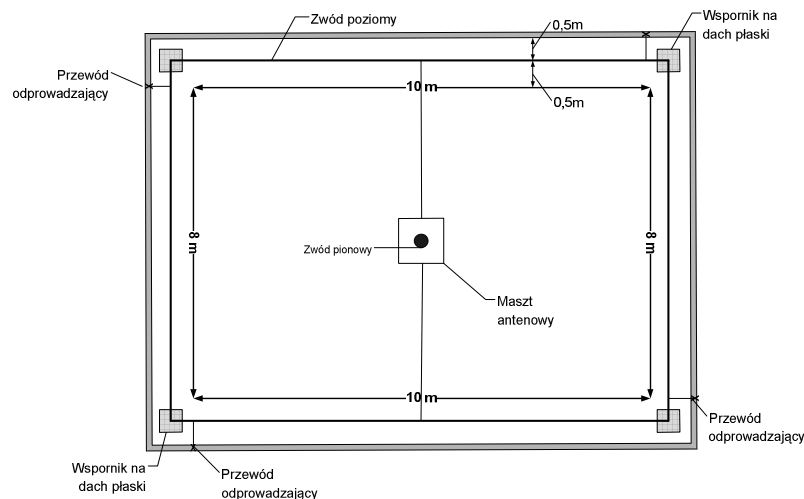
Źródło: praca własna

W celu zabezpieczenia centralki alarmowej należy zastosować ochronę nie tylko od strony zasilania, ale również w torach transmisji sygnału pomiędzy centralką a wszystkimi czujnikami zainstalowanymi w budynku. Zainstalowane zabezpieczenia mają uchronić czujki przed uszkodzeniem w przypadku zaindukowania udaru napięciowego w przewodach transmisyjnych.

Zabezpieczenie systemów przeciwwłamaniowych realizowany jest w sposób analogiczny jak zabezpieczenie centralki alarmowej przed przepięciami.

W zwykłych obiektach kolejowych takich jak nastawnie dyspozytorskie instalowane są również na dachach systemy nadawczo-odbiorcze kolejowej łączności radiowej. Systemy te są urządzeniami najbardziej narażonymi na bezpośrednie wyładowanie atmosferyczne oraz na oddziaływanie impulsowego pola elektromagnetycznego. Wynika to z umiejscowienia anten lub masztów antenowych w strefie LPZ 0_A i LPZ 0_B. Zaleca się, aby maszty antenowe instalowane na dachach obiektów budowlanych, posiadających zewnętrzną ochronę odgromową były połączone z najbliższym przewodem odprowadzającym lub zwodem.

Natomiast, jeżeli maszty antenowe są wykonane z materiałów nieprzewodzących, to powinny być wyposażone w zwody pionowe i powinny być one połączone z siatką zwodów na dachu obiektu. Odciągi masztów antenowych (druć, linka) należy połączyć z najbliższym zwodem. Przykład ochrony instalacji antenowych przedstawiono na rycinie 8.



Ryc. 8. Zabezpieczenie odgromowe masztu antenowego

Źródło: praca własna

Instalacja anteny w strefie ochronnej powinna być wykonana w taki sposób, aby nie wpływała na pracę systemu nadawczo-odbiorczego. Pomiedzy anteną a systemem zwodów należy zachować odstęp izolacyjny.

Zabezpieczenie w układach antenowych realizowane jest również poprzez instalowanie w fiderach kablowych antenowych ograniczników przepięć. Instalowane ograniczniki przepięć są tak dobierane, aby zabezpieczyły układy nadawczo-odbiorcze w przypadku udaru prądowego o najczęściej występującej wartości 20 kA.

Jeżeli obiekt na dachu, którego zainstalowano maszt antenowy nie posiada zewnętrznej instalacji odgromowej należy połączyć go z:

- uziomem naturalnym,
- uziomem sztucznym.

Zabezpieczając urządzenia nadawczo-odbiorcze przed przepięciami należy pamiętać o przepięciach pochodzących z:

- wejść antenowych,
- powstałych różnic potencjałów,
- zasilającej instalacji elektrycznej.

Niekiedy na obiektach zabytkowych ze względów komercyjnych instalowane są stacje bazowe pracujące w układach:

- stacja bazowa w obiekcie – maszt z anteną poza obiektem,
- stacja bazowa w obiekcie – antena umocowana do ściany lub na dachu budynku,
- stacja bazowa w wysokim obiekcie na jednej z ostatnich kondygnacji – antena umieszczona na dachu budynku.

Stacje bazowe zasilane są z sieci napięcia gwarantowanego. Wymagają one również wielostopniowego zabezpieczenia przepięciowego.

Jeżeli maszt antenowy z zamontowaną na nim anteną oddalony jest od obiektu konieczne jest zastosowanie ograniczników w torze antenowym przy maszcie. W przypadku, gdy maszt znajduje się na dachu wysokiego obiektu, konieczne jest przestrzeganie następujących zasad:

- w obiekcie posiadającym zewnętrzną instalację kable antenowe powinny być układane w strefie ochronnej w metalowych rurkach lub kanałach unikając w ten sposób przenikania do niego indukowanych prądów udarowych,
- rurki lub kanały metalowe w zależności od zastosowania muszą być połączone z instalacją odgromową.

Podsumowanie

Problematyka dotycząca projektowania i budowy układów ochrony przeciwprzebiegowej jest złożona i wielowątkowa i wymagająca uwzględnienia stosowania rozwiązań z wielu dziedzin techniki, w tym techniki wyrównywania potencjałów, prowadzenia kabli w instalacjach elektrycznych.

Nowoczesne urządzenia znajdujące się w zabytkowych obiektach takich jak stare dworki, dworce kolejowe lub nastawnie dyspozytorskie muszą spełniać wymagane poziomy odporności określone w aktualnie obowiązujących normach.

Porównując koszty poniesione na kompleksowe zabezpieczenie obiektów zabytkowych okazuje się, że są one niewspółmierne niskie w porównaniu z kosztami poniesionymi na likwidację szkód powstałych w wyniku powstałych przebiegów pochodzenia atmosferycznego lub komutacyjnego. W przypadku bezpośredniego wyładowania atmosferycznego w urządzenie należy jednak się liczyć, że zagwarantowany poziom ochrony urządzenia wynosi tylko w 98%. Uszkodzenie np. urządzeń sterowania ruchem kolejowym znajdujących się w obiektach zabytkowych takich jak nastawnie dyspozytorskie na skutek przebiegu pochodzącego od wyładowania atmosferycznego lub komutacyjnego może w konsekwencji spowodować utrudnienia w systemie prowadzenia ruchu kolejowego.

Literatura

1. Sowa A., *Ochrona odgromowa i przeciwprzebiegowa*, KONTEKST 1997;
2. Charoy A., *Zakłócenia w urządzeniach elektronicznych. Zasady i porady instalacyjne, Tom 4* – WNT, Warszawa 2000;
3. Białoń A., Dłużniewski A., Laskowski M., *Kompleksowe zabezpieczenie stacjonarnych obiektów kolejowych przed zaburzeniami elektromagnetycznymi o dużej energii*, i konferencja Semtrak 2008;

4. Białoń A., Dłużniewski A., Laskowski M., *Stan środowiska elektromagnetycznego na terenie kolejowym*, konferencja MET 2009;
5. PN-EN 61000-4-5:2010 - Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) Część 4-5: Metody badań i pomiarów - Badanie odporności na udary;
6. PN-EN 61643-11:2006 - Niskonapięciowe urządzenia do ograniczania przepięć - Część 11: Urządzenia do ograniczania przepięć w sieciach rozdzielczych niskiego napięcia - Wymagania i próby;
7. PN-T-83020:1996 - Ochronnik telefoniczny abonencki - Ogólne wymagania i badania.

Recenzenci:

dr inż. Andrzej Białoń

dr inż. Mieczysław Laskowski