

Ochrona odgromowa stacjonarnych obiektów kolejowych. Część 2. Ochrona wewnętrzna – ogólne zasady projektowania

Łukasz JOHN¹, Artur DŁUŻNIEWSKI²

Streszczenie

W artykule opisano zasady ochrony urządzeń elektrycznych i elektronicznych przed przepięciami w stacjonarnych obiektach kolejowych. Ochrona przeciwprzebieciowa polega na zastosowaniu strefowej ochrony systemów i urządzeń. Opisano podstawowe zasady ekranowania oraz prowadzenia instalacji elektrycznej, a także transmisji sygnałów, w celu uniknięcia sprzężeń pomiędzy instalacjami znajdującymi się w stacjonarnych obiektach kolejowych, takich jak: posterunki, nastawnie lub lokalne centra sterowania ruchem (LCS). Na przykładzie lokalnego centrum sterowania ruchem (LCS) i posterunku pokazano również przykłady zabezpieczenia przed przepięciami nowoczesnych systemów i urządzeń elektronicznych znajdujących się w stacjonarnym obiekcie kolejowym.

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

1. Wstęp

Stacjonarne obiekty kolejowe wyposażone w zewnętrzną ochronę odgromową w 98% są zabezpieczone przed zniszczeniem w wyniku wystąpienia pożaru podczas wyładowania atmosferycznego [14]. Na kompleksowe zabezpieczenie danego typu obiektu przed wyładowaniami atmosferycznymi oraz ochronę przeciwprzebieciową składa się zewnętrzna i wewnętrzna instalacja odgromowa. Ogólne zasady projektowania zewnętrznej ochrony odgromowej stacjonarnych obiektów kolejowych opisano w artykule [6].

Zewnętrzna instalacja odgromowa, nawet bardzo rozbudowana, nie jest wystarczającym zabezpieczeniem dla rozbudowanych elektronicznych systemów zainstalowanych w obiekcie. Jest ona jednocześnie zagrożeniem dla złożonych instalacji kablowych z powodu możliwości wystąpienia impulsowego pola elektromagnetycznego, które przez oddziaływanie na instalacje kablowe indukuje przepięcia o znacznych amplitudach. Podczas wyładowania atmosferycznego w odgromową instalację obiektu, impulsowe pole elektromagnetyczne przenika do obwodów zasilania zarówno prądu stałego, jak i przemiennego oraz do rozbudowanej sieci przesyłania informacji.

Obiekt wyposażony w rozbudowane urządzenia elektroniczne jest w pełni zabezpieczony, jeżeli oprócz pra-

widlowo zaprojektowanej i konserwowanej zewnętrznej ochrony odgromowej jest wyposażony w wewnętrzną, co najmniej dwustopniową, ochronę przeciwprzebieciową.

Dla tego typu stacjonarnych obiektów budowlanych, wyposażonych w urządzenia elektryczne i elektroniczne, opracowano serię czterech norm przedmiotowych PN-EN 62305-X [9–12] dotyczącą zarówno zewnętrznej, jak i wewnętrznej ochrony odgromowej. W kolejnictwie stosuje się wymienione normy oraz 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) [3], Ie-120 [2], Ie-6 (WOT-E12) [4], Ie-7 (E-14) [5], które odnoszą się do zapisów zawartych w normach wewnętrznej ochrony odgromowej dotyczących urządzeń sterowania ruchem kolejowym, łączności kolejowej i dSAT.

2. Projektowanie wewnętrznej ochrony odgromowej

Stacjonarne obiekty kolejowe, które zmodernizowano lub nowe obiekty, takie jak: posterunki, nastawnie lub lokalne centra sterowania ruchem (LCS) pełniące funkcje sterowania ruchem kolejowym, charakteryzują się róż-

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

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

nicowaną oraz indywidualną zabudową wewnętrzną. Ze względu na pełnione funkcje, wymagają one nie tylko podejścia indywidualnego do tego typu obiektów, ale również zastosowania specjalnych rozwiązań konstrukcyjnych, na które niekiedy musi wyrazić zgodę konserwator zabytków. Zróżnicowana zabudowa powoduje, że wykonuje się na przykład instalacje czujników przeciwwłamaniowych nie tylko wewnątrz obiektu, ale i na zewnątrz. Czujniki te mogą być zatem narażone na oddziaływanie impulsowego pola elektromagnetycznego, pochodzącego od wyładowania atmosferycznego.

Taką sytuację można zilustrować na przykładzie, kiedy przez przewód odprowadzający instalacji odgromowej płynie prąd piorunowy o amplitudzie 18 kA o czasie trwania 2 μ s. Przyjmując przenikalność magnetyczną powietrza $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am, ze wzoru (1) można obliczyć wartość napięcia indukowanego w pętli o wymiarach 1 m \times 1 m w odległości 1 m. Taką pętlę mogą stworzyć przewody dowolnej instalacji, np. przeciwwłamaniowej lub teleinformatycznej, zainstalowanej w dowolnym pomieszczeniu obiektu.

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

Z przedstawionego obliczenia wynika, że wartość napięcia zaindukowanego w takiej pętli może spowodować uszkodzenie obwodów przesyłania sygnałów urządzeń znajdujących się w pobliżu instalacji odgromowej, pomimo iż powinny one spełniać wymagania w tym zakresie.

W celu uniknięcia zagrożenia, niezbędne jest zastosowanie ochrony przeciwprzebiegowej w wersji rozbudowanej, kilkustrefowej, 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.

Zgodnie z normą [9], przyjmuje się następujące oznaczenia poszczególnych stref: najbardziej zagrożoną strefę oznacza się jako LPZ 0 (Lightning Protection Zone), natomiast strefę o największym zapewnionym stopniu bezpieczeństwa jako strefę LPZ 4. Na rysunku 1 przedstawiono zasady podziału budynku na poszczególne strefy bezpieczeństwa oraz lokalizacje elementów i układów ochronnych na granicy przejścia z jednej strefy do drugiej.

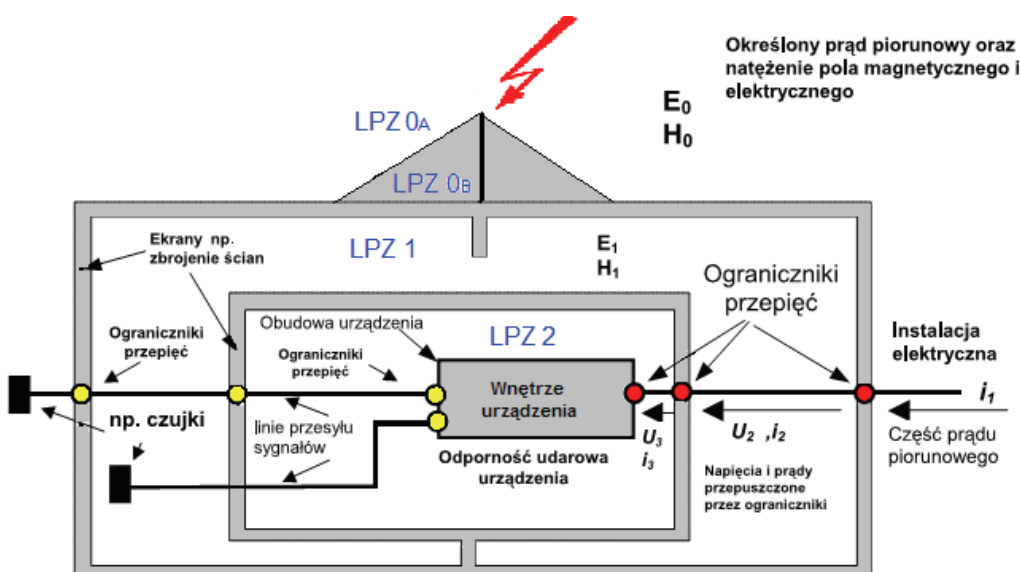
Takie parametry, jak natężenie impulsowego pola magnetycznego H_0 i elektrycznego E_0 , przetężenia oraz aktualny poziom napięcia, stanowią składowe parametrów, charakteryzujące każdą ze stref.

2.1. Strefa LPZ 0_A

Systemy i urządzenia umiejscowione w tej strefie są narażone na bezpośrednie oddziaływanie impulsowego pola elektromagnetycznego oraz na przepływ prądu piorunowego w instalacji odgromowej o maksymalnej amplitudzie, który może wystąpić podczas wyładowania atmosferycznego. Systemy oraz urządzenia zainstalowane w tej strefie najczęściej znajdują się poza budynkiem i bez ekranowania są poddawane przepływowi prądu udarowego lub zaindukowanemu udarowi napięciowemu w przewodach instalacji elektrycznej. Do urządzeń instalowanych najczęściej w strefie LPZ 0_A (rys. 1) należą wszelkiego rodzaju anteny. Przyjmuje się, że w tej strefie, kształt udaru testującego odporność udarową odpowiada impulsowi o kształcie i parametrach 10/350 μ s (stosunek czasu narastania czoła impulsu t_c do czasu trwania impulsu t_p μ s).

Wartość amplitudy udaru napięciowego zawiera się w granicy od dziesiątek do setek tysięcy woltów i z nią jest ściśle związana wytrzymałość izolatorów lub kabli na ewentualne przebiecie. W tej strefie ważnymi parametrami są również [12]:

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



Rys. 1. Podział budynku na strefy bezpieczeństwa [rys. A. Dłużniewski]

W obiektach stacjonarnych, eksploatowanych na terenie PKP, najczęściej występującymi elektronicznymi urządzeniami są urządzenia sterowania ruchem kolejowym, urządzenia teleinformatyczne, urządzenia telekomunikacyjne, mikrofalowe czujniki przeciwwłamaniowe oraz czujniki przeciwpożarowe. W tego typu obiektach są również zainstalowane urządzenia nadawczo-odbiorcze radiolączności kolejowej i wówczas sytuacja jest zdecydowanie bardziej skomplikowana.

2.2. Strefa LPZ 0_B

Cechą charakterystyczną tej strefy jest to, że urządzenia i systemy są narażone 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 (nie jest dopuszczalne) bezpośrednie oddziaływanie prądu piorunowego na urządzenie lub zainstalowany system. Systemami, które mogą znaleźć się w tej strefie, są najczęściej układy anten nadawczo-odbiorczych radiowej łączności kolejowej. Inne urządzenia instalowane w obiektach w tej strefie, najczęściej nie są ekranowane oraz nie mają własnego systemu minimalizacji wpływu udarów napięciowych i prądowych, które w tej strefie wynoszą [12]:

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

Do oceny udaru prądowego w strefie LPZ 0_B przyjmuje się impuls udarowy o kształcie i parametrach 8/20 μ s (stosunek czasu narastania czoła impulsu t_c do czasu trwania półszczytu impulsu t_p μ s) [7].

2.3. Strefa LPZ 1

Ochrona urządzeń znajdujących się w tej strefie (rys. 1), polega na ich zabezpieczeniu przed bezpośrednim oddziaływaniem impulsowego pola elektromagnetycznego za pomocą ekranów, które tworzą na przykład elementy konstrukcyjne budynku. Można również zastosować odpowiednie układy zabezpieczające przed udarami prądowymi i napięciowymi, pełniące rolę pierwszego stopnia ochrony danego urządzenia. W tej strefie mogą się znajdować różnego rodzaju systemy łączności z własnymi zabezpieczeniami przeciwprzebiegowymi, umożliwiającymi bezawaryjną pracę w tej strefie. Istotnym parametrem, który należy brać pod uwagę w strefie LPZ 1 jest wartość szczytowa napięcia udarowego [12]:

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

Wartości amplitudy natężenia pola magnetycznego i elektrycznego w strefie LPZ 1 wynoszą odpowiednio kilka A/m i kilkanaście kV/m. Kształt udaru prądowego jest taki sam, jak dla strefy LPZ 0_B.

2.4. Kolejne strefy ochrony

Kolejne strefy wewnętrznej, przeciwprzebiegowej ochrony odgromowej są tworzone przez budowanie dalszych stopni ochrony. W tablicy 1 zestawiono dopuszczalne wartości parametrów napięciowych udarów elektrycznych w kolejnych strefach.

Tablica 1

Dopuszczalne wartości parametrów amplitudy udarów elektrycznych w strefach LPZ2–LPZ4

Parametr	LPZ 2	LPZ 3	LPZ 4
Przebiecia w instalacji elektrycznej [kV]	4	2,5	1,5
Przebiecia w liniach przesyłu sygnałów (przewód – ziemia) [kV]	2	1	0,5
Natężenie pola elektrycznego [V/m]	5000	50	5
Natężenie pola magnetycznego ¹ [A/m]	100	1	0,1

¹ Wstępne wartości natężenia impulsowego pola elektromagnetycznego.

[Opracowanie własne Ł. John].

Do ochrony przed przebiegami urządzeń elektrycznych i elektronicznych w obiektach budowlanych, stosuje się w praktyce dwu- lub trzystopniową ochronę.

Przy projektowaniu instalacji przeciwprzebiegowej 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 obwodów linii transmisji sygnałów.

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

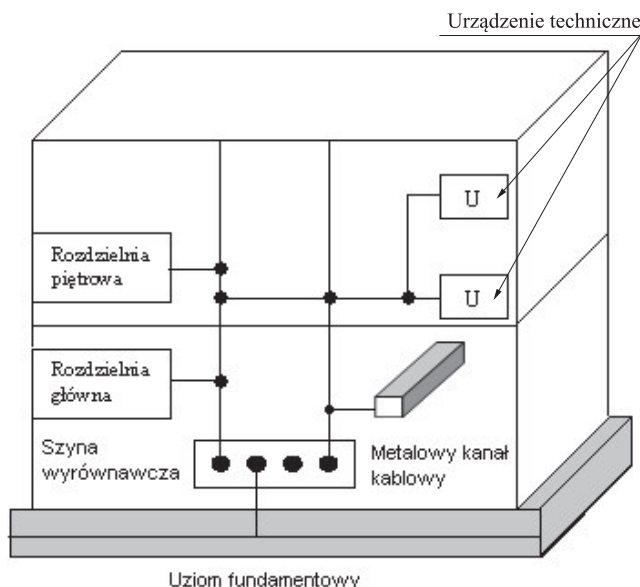
3. Ekwipotencjalizacja w obiektach budowlanych

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

W obiektach zabytkowych, takich jak stare dworce, 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 uziemiający PE sieci elektroenergetycznej systemu TNS (układ uziemiony, części normalnie nieprzewodzące połączone z punktem neutralnym transformatora, rozdział przewodu uziemienia PE i neutralnego N), do której są podłączone systemy antywłamaniowe i przeciwprzebiegowe. Jeżeli w obiekcie występuje instalacja

cja elektryczna typu TNC (układ uziemiony, części normalnie nieprzewodzące połączone z punktem neutralnym transformatora, wspólny przewód uziemienia PE i neutralny N), to przewód neutralny N pełni wtedy również rolę przewodu PE.

Ekwipotencjalizacja w modernizowanych stacjonarnych obiektach kolejowych jest znacznie bardziej złożona. Problem pojawia się, gdy w takim obiekcie będą instalowane elektroniczne urządzenia łączności. Wyrównanie potencjałów powinno być wykonane wówczas dla wszystkich znajdujących się w obiekcie instalacji, zarówno wprowadzanych do budynku, jak i wszystkich instalacji wewnętrznych. Prawidłowe wyrównywanie potencjałów powinno być wykonane za pomocą niskoimpedancyjnych połączeń bezpośrednich lub niekiedy przez odpowiednio dobrane iskierniki, jeśli bezpośrednie połączenie jest niemożliwe. Połączenia bezpośrednie są wykonywane w instalacjach, w których nie występuje trwale jakakolwiek różnica potencjału. Połączenia ochronników wykonywane są pomiędzy obwodami urządzenia i uziomem oraz między izolowanymi od ziemi i znajdującymi się 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 przeciwprzebiegowe i odgromowe będą wtedy działały prawidłowo. Zapewniona będzie również bezawaryjna praca urządzeń elektronicznych znajdujących się w zabytkowym obiekcie. Na rysunku 2 przedstawiono ogólną zasadę tworzenia systemu wyrównywania potencjałów w obiekcie, w którym są instalowane systemy sterowania ruchem kolejowym i radiołączności kolejowej.



Rys. 2. Wyrównywanie potencjałów w budynku [rys. Ł. John]

Do wykonania ekwipotencjalizacji można wykorzystać ekran kanału kablowego oraz inne uziemione elementy przewodzące, występujące w budynku. Dodatkowo, na każdym piętrze budynku należy zastosować szynę lub przewód wyrównujący potencjał. Błędne wykonanie insta-

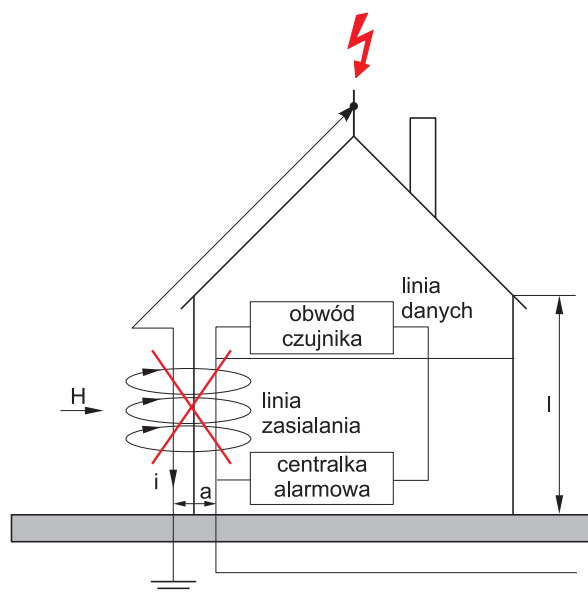
lacji służącej wyrównaniu potencjałów może być przyczyną wystąpienia różnicy potencjałów powodującej porażenie personelu oraz uszkodzenie urządzeń, łącznie z możliwością wystąpienia pożaru.

4. Sposób układania przewodów wewnątrz budynków

Prawidłowo zaprojektowana instalacja elektryczna, instalacja transmisji sygnałów oraz inne instalacje znajdujące się w obiekcie umożliwią ograniczanie wpływu takich zjawisk jak:

- oddziaływanie przepięć indukowanych powstających podczas wyładowań atmosferycznych,
- sprzężenia wzajemne pomiędzy poszczególnymi instalacjami.

W przypadku instalacji teletechnicznej prowadzonej między kondygnacjami, nie zaleca się instalowania jej na zewnętrznych ścianach obiektu, jeśli w pobliżu, na zewnętrznej ścianie, są prowadzone przewody odprowadzające instalacji odgromowej. Ta instalacja 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 rysunek 3, na którym pokazano błędne ułożenie przewodów zasilających. Błąd polega na poprowadzeniu przewodów zasilających na ścianie, na której po drugiej stronie jest ułożony przewód odprowadzający instalacji odgromowej. Prawidłowo natomiast jest poprowadzony przewód transmisji sygnałów pomiędzy centralką alarmową i obwodami czujnika.



Rys. 3. Przykład złego poprowadzenia instalacji elektrycznej [rys. A. Dłużniewski]

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 obiektu. W sytuacji, gdy ułożenie instalacji elektrycznej i teletechnicznej w kanale ekranującym jest niemożliwe, należy układać ją jak najbliżej siebie. Zapobiegnie to utworzeniu się w instalacji dużej pętli, w której możliwe jest indukowanie się przepięć o znacznych wartościach i jednocześnie nie wpłynie na wygląd wewnętrzny obiektu.

5. Ochrona przeciwprzebieciowa

5.1. Ogólne zasady ochrony przeciwprzebieciowej w instalacji elektrycznej

W starych obiektach poddawanych modernizacji często spotykanym układem sieci elektrycznej jest sieć typu TNC oraz TNC-S (uziemiony, części normalnie nieprzewodzące połączone z punktem neutralnym transformatora, częściowo przewód PEN, później następuje rozdział na przewód PE i N). Jeżeli dla danego obiektu planuje się przeprowadzenie prac adaptacyjnych do nowych warunków eksploatacji, należy przeprowadzić również prace modernizacyjne sieci energetycznej z typu TNC-S na sieci typu TNS. Jest to spowodowane tym, że przewód neutralny N pełniący funkcję przewodu uziemiającego PE w sieci typu TNC-S nie może być wykorzystywany jako przewód ochronny dla urządzeń elektrycznych i elektronicznych typu centralka alarmowa i przeciwpożarowa, jak również dla urządzeń sterowania ruchem kolejowym czy radiołączności kolejowej.

Właściwy dobór systemów przeciwprzebieciowych jest uzależniony od przewidywanej wielkości prądu udarowego i miejsca montażu urządzeń oraz sposobu doprowadzenia instalacji elektroenergetycznej do obiektu. Rozróżnia się kilka kategorii i klas przeciwprzebieciowych elementów zabezpieczających wykorzystywanych w instalacjach elektrycznych (tablica 2).

W większości przypadków, lokalizacja stacjonarnych obiektów kolejowych na terenie PKP 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.

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

Wewnątrz obiektu, do ochrony przed przepięciami stosuje się elementy zabezpieczające w postaci odgromników klasy B (I) oraz ochronników przepięciowych klasy C (II) i D (III),

Tablica 2

Podział elementów przeciwprzebieciowych w sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia [8]

Nazwa elementu zabezpieczającego	Klasa*	Przeznaczenie	Miejsce montażu
Ogranicznik	A	Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi i łączeniowymi.	Linie energetyczne napowietrzne 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 przeciwprzebieciowy	C (II)	Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi indukowanymi, przepięciami łączeniowymi wszelkiego rodzaju, przepięciami przepuszczonymi przez odgromniki.	Rozdzielnia instalacji elektrycznej w obiekcie budowlanym, rozdzielnica główna, odziałowa, tablica rozdzielcza.
	D (III)	Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi indukowanymi i łączeniowymi.	Gniazda wtykowe lub puszkę w instalacji oraz bezpośrednie w urządzeniach.

* Urządzenie ochrony przepięciowej badane zgodnie z wymaganiami klasy I, II lub III normy [12].

zgodnie z wymaganiami normy [8]. Na rysunku 4 przedstawiono schemat instalacji elementów przeciwprzepięciowych dla poszczególnych klas w przykładowym obiekcie (Lokalne Centrum Sterowania) w układzie sieci TNS. Układ taki jest obecnie wymagany układem sieci elektroenergetycznej dla obiektów budowlanych.

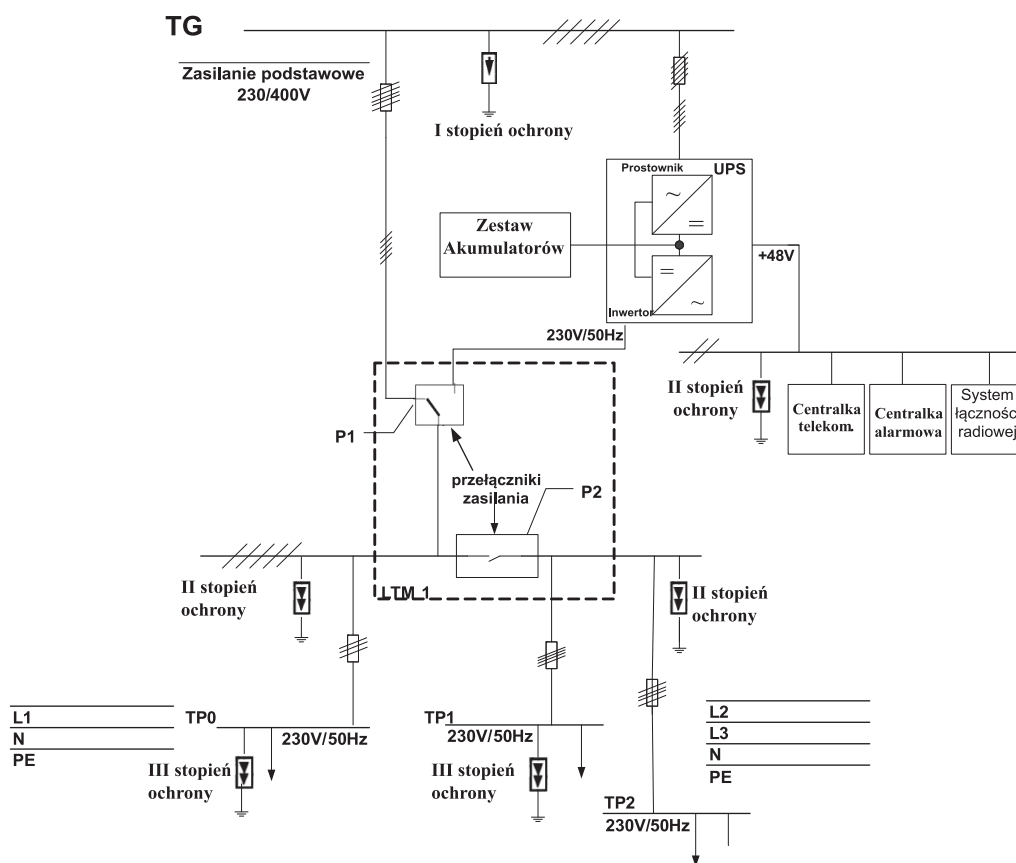
Ochronę urządzeń w sieci energetycznej oparto na trójstopniowym systemie zabezpieczeń. Jest to wymagane ze względu na usytuowanie w tego typu obiekcie urządzeń takich, jak: urządzenia sterowania ruchem kolejowym, pulpit nastawczy, centralka telekomunikacyjna dla systemu kolejowej łączności radiowej oraz centralka alarmowa i przeciwpożarowa. Przy projektowaniu, jako pierwszy stopień ochrony, stosuje się odgromnik przepięć klasy B. Zakłada się, że maksymalny prąd udarowy, jaki może popłynąć w strefie B wynosi 100 kA. Najczęściej jest to odgromnik iskiernikowy, który jest powszechnie stosowany w niskonapięciowych szafach rozdzielczych. Stosowane rozwiązanie konstrukcyjne umożliwi koordynację ochrony z innymi rodzajami i typami elementów przeciwprzepięciowych w następnym stopniu ochrony. Elementy zabezpieczające przed przepięciami tego typu są przystosowane do montażu na szynie DIN 35 mm i są wyposażone w zaciski, które umożliwiają łączenie przewodów i szyn grzbietowych z innymi aparatami w technice modułowej. W starych, modernizowanych dworcach kolejowych schemat jest znacznie prostszy ze względu na brak urządzeń technicznych, takich jak centralka telekomunikacyjna oraz systemów łączności radiowej.

W obiekcie kolejowym niewyposażonym 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 modernizowanego dworca kolejowego przedstawiono na rysunku 5.

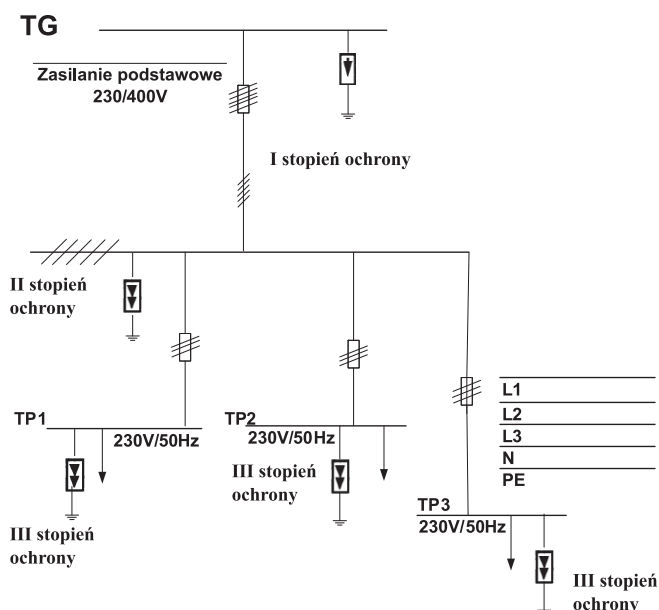
W układzie sieci TNS, odgromnik należy włączyć pomiędzy przewody niskonapięciowe sieci zasilającej i ziemię w następujący sposób:

- między każdy przewód fazowy L_1, L_2, L_3 i ziemię oraz jeżeli jest to przewód neutralny N, między przewód neutralny i ziemię,
- jeżeli przewód neutralny N nie jest uziemiony na początku instalacji, między każdy przewód fazowy L_1, L_2, L_3 i ziemię oraz przewód neutralny N i ziemię,
- jeśli przewód neutralny N jest uziemiony na początku instalacji, między każdy nieuziemiony przewód fazowy L_1, L_2, L_3 i ziemię.

Połączenia pomiędzy odgromnikami i przewodami fazowymi i neutralnymi zaleca się wykonywać za pomocą przewodów miedzianych o przekroju minimum 16 mm². Przewód o takiej średnicy można również wykorzystać do połączenia odgromnika z szyną wyrównawczą, jednak w celu zwiększenia bezpieczeństwa warto zastosować przewód miedziany o przekroju 25 mm² lub nawet 35 mm².



Rys. 4. Przykład ograniczników przepięć dla obiektu kolejowego typu LCS [rys. A. Dłużniewski]



Rys. 5. Przykład elementów przeciwprzebiegowej w modernizowanym dworcu kolejowym [rys. A. Dłużniewski]

W drugim stopniu ochrony przeciwprzebiegowej zadaniem ograniczników i ochronników przeciwprzebiegowej jest obniżenie amplitudy przepięć 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 kA do 15 kA, a niekiedy nawet do 40 kA. Jest to wartość prądu wyładowczego, który ograniczoną liczbę razy może przepłynąć przez ogranicznik lub ochronnik. Ograniczniki przepięć tego typu czasami mogą pełnić funkcję pierwszego stopnia, o ile są spełnione 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 modernizowanym budynku wyposażonym w instalację odgromową, najczęściej pierwszy stopień ochrony należy umieścić w rozdzielnicę zlokalizowanej możliwie jak najbliżej przyłącza energetycznego. W zależności od zastosowanych rodzajów elementów zabezpieczających przed przepięciami i wzajemnych odległości między nimi, jest zalecane zastosowanie indukcyjności odsprężających, których zadaniem jest wzajemna koordynacja ich działania. Jest to spowodowane tym, że zastosowane elementy przeciwprzebiegowe 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 drugiej klasy,

przez który zaczyna płynąć prąd. Powoduje on powstanie spadku napięcia na indukcyjności. Spadek ten przyspiesza zadziałanie odgromników klasy pierwszej z powodu przekroczenia ich progu zadziałania. W momencie zadziałania odgromników klasy pierwszej, następuje odciążenie ograniczników lub ochronników przeciwprzebiegowej drugiego stopnia.

Indukcyjność odsprężająca jest wymagana w sytuacji, gdy odległość między pierwszym i drugim stopniem jest mniejsza niż zalecana przez producenta dla danego typu elementu zabezpieczającego. Należy wówczas stosować dławiki o indukcyjności wynoszącej zwykle 5 μH . Przeciętna odległość pomiędzy pierwszym i drugim stopniem, zalecana przez producentów, powinna wynosić nie mniej niż 15 m, ponieważ taka długość kabla odpowiada wartości indukcyjności odsprężającej. W praktyce zastosowanie indukcyjności odsprężających 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 od ogranicznika stosowania separacji indukcyjności odsprężających.

W projekcie instalacji elektrycznej w obiekcie zaleca się umieszczenie bezpieczników różnicowoprądowych, zabezpieczających personel przed porażeniem. Współdziałają one z ogranicznikami klasy II.

Kolejny, III stopień ochrony przeciwprzebiegowej ma za zadanie ochronić urządzenia przed przepięciami atmosferycznymi, oddalonymi od obiektu o kilkadziesiąt metrów i przepięciami łączeniowymi występującymi w sieci elektroenergetycznej (np. czujniki instalacji antywłamaniowej w bramie ogrodzenia). Trzeci stopień ochrony przeciwprzebiegowej w żadnym przypadku nie może być jedynym zabezpieczeniem urządzeń.

W wielostopniowym systemie ochrony urządzeń, trzeci stopień jest tylko i wyłącznie uzupełnieniem. Powinien być zastosowany w przypadku, gdy chronione 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 kilkudziesięciu metrów. Ograniczniki i ochronniki stopnia III najczęściej są instalowane w:

- puszkach,
- kanałach kablowych,
- bezpośrednio w gniazdkach,
- jako układy przenośne wtykane do gniazdek.

W trzecim stopniu ochrony przeciwprzebiegowej wykorzystuje się warystory lub diody lawinowe, włączone pomiędzy przewód fazowy i przewód uziemiający PE, a niekiedy pomiędzy fazowy i neutralny w układzie sieciowym TNC i TNC-S. Ochronniki klasy D (III) najczęściej są montowane 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 D (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 w konsekwencji może spowodować uszkodzenie urządzeń, np. sterowania ruchem kolejowym, centrali alarmowej, centrali przeciwpożarowej lub zainstalowanych urządzeń telekomunikacyjnych wewnątrz budynku. W przypadku udaru o dużej amplitudzie może spowodować również konieczność wymiany uszkodzonych fragmentów instalacji elektrycznej obiektu.

5.2. Ogólne zasady ochrony przeciwprzepięciowej w torach sygnałowych

Obiekty kolejowe zabezpieczane są również przeciwprzepięciowo w obwodach transmisji sygnałów, co wymaga nowego spojrzenia na problem. Dotyczy to zwłaszcza obiektów modernizowanych, przy budowie których zazwyczaj nie przewidywano, że będą w nich pracować skomplikowane systemy i urządzenia elektroniczne służące do sterowania ruchem kolejowym oraz radiołączności kolejowej.

Elementy zabezpieczające w postaci odgromników, ograniczników oraz ochronników przepięć w torach przesyłania 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 przesyłania sygnałów w obiekcie. Ograniczniki oraz ochronniki przepięć mogą być zatem instalowane:

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

Dobierając ochronniki i ograniczniki przepięć należy brać pod uwagę następujące parametry:

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

Określając stopień zagrożenia udarowego w torach przesyłania sygnałów, należy brać pod uwagę, podobnie jak przy instalacji elektrycznej, sposób doprowadzenia instalacji do obiektu budowlanego. Wybór systemu ochrony przeciwprzepięciowej zależy od tego, czy instalacja przesyłania sygnałów doprowadzona jest linią napowietrzną czy kablową oraz od sposobu prowadzenia instalacji odgromowej budynku, w tym również istniejącej instalacji. Urządzenia stosowane w ochronie przeciwprzepięciowej w torach przesyłania sygnału powinny zapewniać wielokrotne ich zadziałanie bez zmian swoich parametrów. Najczęściej wykorzystywanym elementem chroniącym urządzenia przed udarami prądowo-napięciowymi w obwodach sygnałowych jest odgromnik.

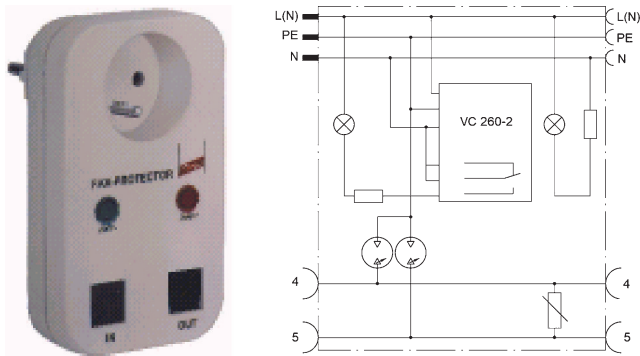
5.3. Ogólne zasady ochrony przeciwprzepięciowej dla urządzeń telekomunikacyjnych i radiokomunikacyjnych

Ochronniki wykorzystywane do ochrony analogowych urządzeń telefonicznych muszą spełniać wymagania zapisane w normie [13]. Dotyczy ona ochrony urządzeń końcowych sieci telekomunikacyjnych przed przepięciami pochodzącymi z linii abonenckiej. Jeżeli urządzenia telekomunikacyjne mają odporność udarową powyżej 1 kV, stosowane są ochronniki jednostopniowe, instalowane w poszczególnych obwodach krosownicy centralowej.

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

Jeżeli stosowany jest pojedynczy układ wielostopniowy, to powinien ograniczać poziom udarów do wartości znacznie 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 jest instalowany 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 rysunku 6.

W obiektach kolejowych bardzo ważne jest również zabezpieczenie przed przepięciami centrali alarmowej, która jest istotnym elementem ochrony obiektu przed zniszczeniem. Schemat zabezpieczenia takiej centrali pokazano na rysunku 7.



Rys. 6. Ogranicznik II stopnia firmy DEHN wykorzystywany do ochrony urządzeń telekomunikacyjnych [1]

W celu zabezpieczenia centralki alarmowej, należy zastosować ochronę nie tylko od strony zasilania, ale również w torach transmisji sygnału pomiędzy centralką i wszystkimi kolejnymi czujnikami zainstalowanymi w budynku. Zainstalowane zabezpieczenia mają uchronić czujki przed uszkodzeniem w przypadku zaindukowania udaru napięciowego w przewodach transmisyjnych. Zabezpieczenie systemów przeciwwłamaniowych jest realizowane w analogiczny sposób, jak zabezpieczenie centralki alarmowej przed przepięciami.

W obiektach kolejowych takich, jak: posterunki, nastawnie wykonawcze, dysponujące, manewrowe lub dyspozytorskie, instalowane są również na dachach systemy nadawczo-odbiorcze łączności radiowej. Systemy te są

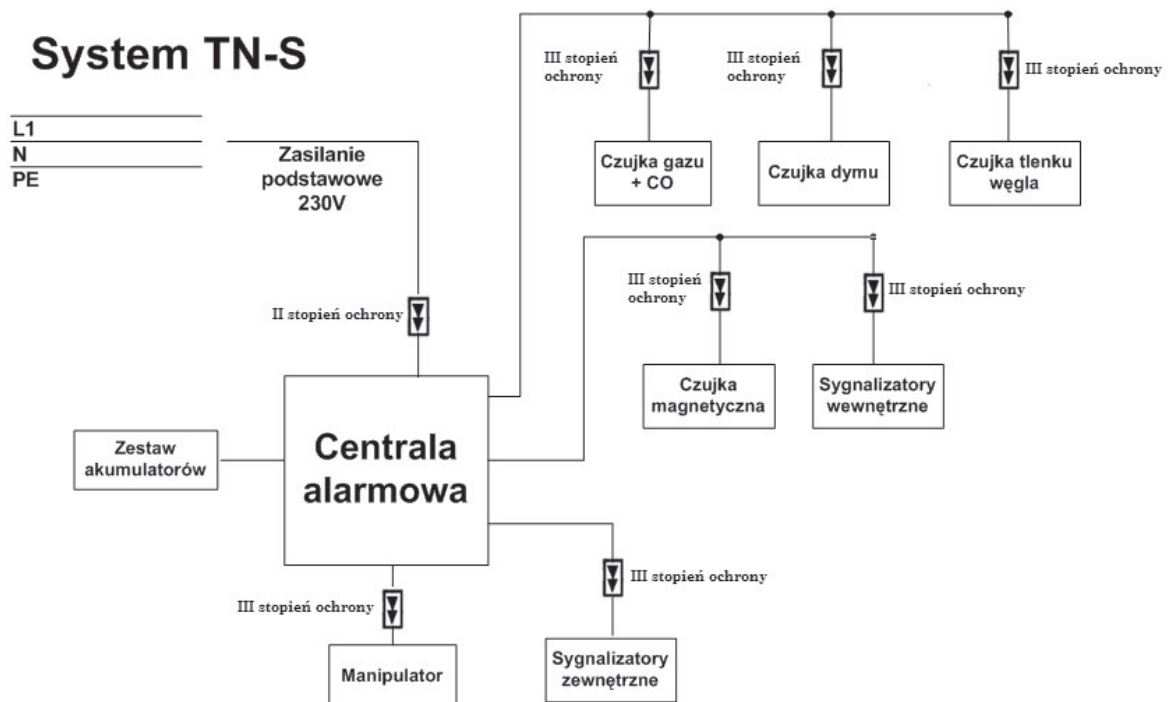
urządzeniami najbardziej narażonymi na bezpośrednie wyładowanie atmosferyczne oraz na oddziaływanie impulsowego pola elektromagnetycznego. Wynika to z umiejscowienia anten lub masztów antenowych w strefie LPZ 0_A i LPZ 0_B. Zaleca się, aby maszty antenowe instalowane na dachach obiektów budowlanych z zewnętrzną ochroną odgromową były połączone z najbliższym przewodem odprowadzającym lub zwodem.

Jeżeli maszty antenowe są wykonane z materiałów nieprzewodzących, to należy je wyposażyć w zwody pionowe i muszą one być połączone z siatką zwodów na dachu obiektu. Odciągi masztów antenowych w postaci drutu lub linki należy połączyć z najbliższym zwodem. Przykład ochrony instalacji antenowych przedstawiono na rysunku 8.

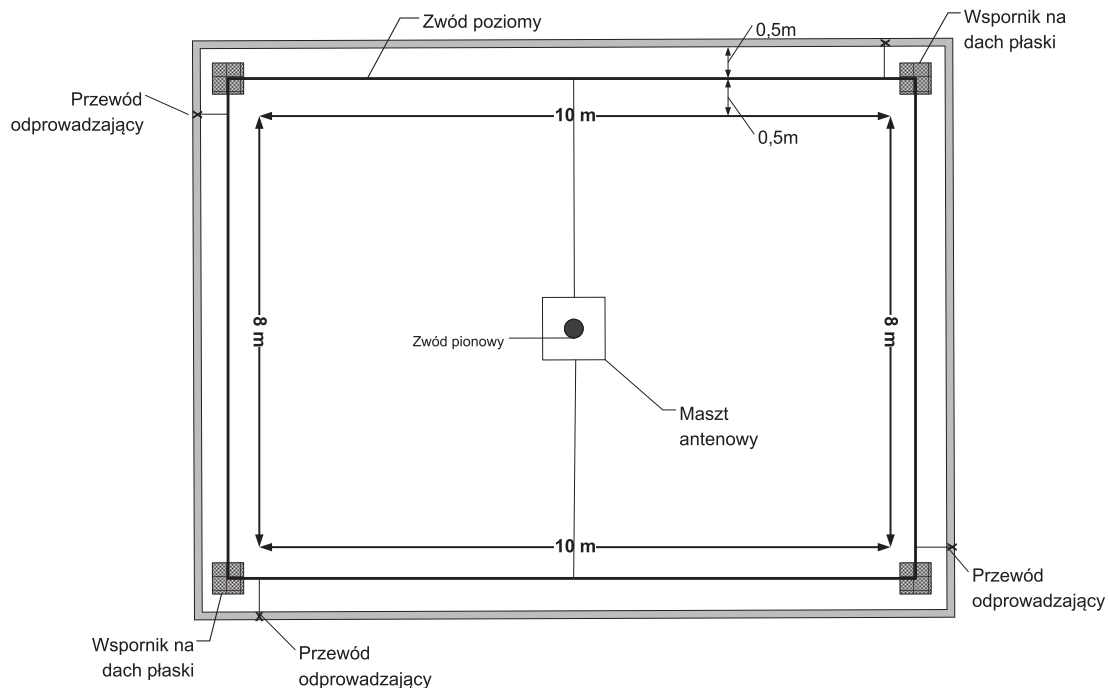
Instalacja anteny w strefie ochronnej powinna być wykonana w taki sposób, aby nie wpływała na pracę systemu nadawczo-odbiorczego. Pomiedzy anteną a systemem zwodów należy zachować odpowiednie odstępy izolacyjne.

Zabezpieczenie w układach antenowych jest również wykonywane przez zainstalowanie w fiderach kablowych antenowych ograniczników przepięć, dobieranych do zakresu częstotliwości urządzenia radiowego. 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 ma zewnętrznej instalacji odgromowej, należy połączyć go z:

- uziomem naturalnym,
- uziomem sztucznym.



Rys. 7. Przykładowy schemat zabezpieczenia centrali alarmowej [rys. Ł. John]



Rys. 8. Zabezpieczenie odgromowe masztu antenowego [rys. A. Dłużniewski]

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

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

Niekiedy, ze względów komercyjnych, w obiektach kolejowych są instalowane 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 są zasilane z sieci napięcia gwarantowanego. Wymagają one również wielostopniowego zabezpieczenia przepięciowego. Jeżeli maszt antenowy z zamontowaną na nim anteną jest oddalony od obiektu, konieczne jest zastosowanie ograniczników w torze antenowym przy maszcie i wprost do urządzenia. Gdy maszt znajduje się na dachu wysokiego obiektu, konieczne jest przestrzeganie następujących zasad:

- w obiekcie z zewnętrzną instalacją, kabel antenowy powinien być układany w strefie ochronnej w metalowych rurkach lub kanałach, aby uniknąć w ten sposób przenikania do niego indukowanych prądów udarowych,
- rurki lub kanały metalowe, w zależności od zastosowania, muszą być połączone z instalacją odgromową jak najbliższej uziomu.

6. Podsumowanie

Problematyka dotycząca zabezpieczenia (projektowania) i instalacji układów ochrony przeciwprzepięciowej z założenia jest wielowątkowa i wymagająca uwzględnienia stosowania rozwiązań w wielu pokrewnych dziedzinach techniki, w tym techniki wyrównywania potencjałów, prowadzenia kabli w instalacjach elektrycznych oraz przesyłania sygnałów i przede wszystkim z dziedziny ochrony odgromowej [1].

Nowoczesne urządzenia znajdujące się w nowych lub modernizowanych obiektach kolejowych, w których zlokalizowano na przykład centra sterowania ruchem kolejowym (LCS) lub węzły łączności, muszą spełniać wymagane poziomy odporności, określone w aktualnie obowiązujących normach.

Porównując koszty poniesione na kompleksowe zabezpieczenie obiektów okazuje się, że są one niewspółmiernie niskie w porównaniu z kosztami poniesionymi na likwidację szkód powstałych w wyniku przepięć pochodzenia atmosferycznego lub komutacyjnego. Jeżeli z nieznanых powodów wystąpiłoby bezpośrednie wyładowanie atmosferyczne w zainstalowane urządzenie na przykład w strefie LPZ 0_A , to pomimo zainstalowanych ograniczników przepięć należy jednak się liczyć z tym, że zagwarantowany poziom ochrony urządzenia wynosi tylko 98%. Uszkodzenie np. urządzeń sterowania ruchem kolejowym lub radiołączności kolejowej znajdujących się w obiektach nowych lub modernizowanych na skutek przepięcia pochodzącego od wyładowania atmosferycznego lub komutacyjnego może w konsekwencji utrudnić poprawne sterowanie ruchem ko-

lejewym oraz spowodować utrudnienia w systemie radiokomunikacyjnym na tym terenie do czasu usunięcia awarii.

Bibliografia

1. Charoy A.: *Zakłócenia w urządzeniach elektronicznych. Zasady i porady instalacyjne*. Tom 4. Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa, 2000.
2. 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.
3. Ie-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.
4. Ie-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.
5. Ie-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.
6. John Ł., Dłużniewski A.: *Ochrona odgromowa stacjonarnych obiektów kolejowych. Część 1. Ochrona zewnętrzna – ogólne zasady projektowania*. Prace Instytutu Kolejnictwa, 2018, z. 160, s. 5–12.
7. PN-EN 61000-4-5:2014-10 + A1:2018-01: *Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 4-5: Metody badań i pomiarów – Badanie odporności na udary*. Polski Komitet Normalizacyjny, 2014 r.
8. PN-EN 61643-11:2013-06 + A11:2018-06: *Niskonapięciowe urządzenia ograniczające przepięcia – Część 11: Urządzenia ograniczające przepięcia w sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia – Wymagania i metody badań*. Polski Komitet Normalizacyjny 2013 r.
9. PN-EN 62305-1:2011: *Ochrona odgromowa – Część 1: Zasady ogólne*. Polski Komitet Normalizacyjny, 2011 r.
10. PN-EN 62305-2:2012: *Ochrona odgromowa – Część 2: Zarządzanie ryzykiem*. Polski Komitet Normalizacyjny, 2012 r.
11. PN-EN 62305-3:2011: *Ochrona odgromowa – Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia*. Polski Komitet Normalizacyjny, 2011 r.
12. PN-EN 62305-4:2011: *Ochrona odgromowa – Część 4: Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiektach*. Polski Komitet Normalizacyjny, 2011 r.
13. PN-T-83020:1996: *Ochronnik telefoniczny abonencki – Ogólne wymagania i badania*. Polski Komitet Normalizacyjny 1996 r.
14. Sowa A.: *Ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa*. Wydawnictwo PPHU SPINPOL H.T., Kielce, 1998.