

Radosław Burak-Romanowski, Mirosław Zielenkiewicz

# Rzeczywiste środowisko elektromagnetyczne pracy urządzeń kolejowych w otoczeniu sieci trakcyjnej DC 3 kV – dobór środków ochrony przed wyładowaniami atmosferycznymi

*Rosnący poziom szkód w urządzeniach przytorowych w trakcie nasilających się w ostatnich latach nawałnic burzowych stał się przyczyną rozpoczęcia prac badawczych nad możliwymi sposobami ich istotnego ograniczenia. W efekcie prowadzonych badań wypracowany został system ochrony, który w postaci zasad realizacji ochrony przed wyładowaniami atmosferycznymi i przepięciami w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV w połączeniu z wymaganiami ochrony przeciwporażeniowej zamieszczonymi w opracowaniu [11] jest wprowadzany do stosowania przez PKP PLK S.A. Zagadnienia te są przedmiotem niniejszego artykułu.*

Wprowadzenie ograniczników przepięć do ochrony polskiej sieci trakcyjnej DC 3 kV miało miejsce w latach 1950–1970, w czasach, gdy urządzenia sterowania ruchem kolejowym (zwanego wówczas zabezpieczeniem ruchu kolejowego – zrk) były w przeważającej części mechaniczne (urządzenia zewnętrzne nastawiane były ręcznie, a uzależnienia realizowano głównie na drodze mechanicznej). Niewiele później wprowadzono urządzenia elektromechaniczne, w których elektryczne były napędy zwrotnic i sygnalizatorów kształtowych, a realizacja zależności odbywała się nadal głównie mechanicznie. Również w latach 50. i 60. XX w. pracowano nad przekaźnikowymi urządzeniami zabezpieczenia ruchu pociągów, w których wszystkie urządzenia zewnętrzne posiadają napędy elektryczne, stosowana jest wyłącznie sygnalizacja świetlna, a do tworzenia zależności zastosowane zostały rozmaite obwody elektryczne powiązane ze sobą przekaźnikami. Z oczywistych względów odporność takich systemów na udary przepięciowe pochodzenia piorunowego była nieporównywalnie większa w stosunku do dzisiejszych rozwiązań sterowania ruchem kolejowym wykorzystujących technikę mikroprocesorową, a opracowane wówczas zabezpieczenia były w większości przypadków adekwatne do spodziewanego zagrożenia przepięciowego.

## Problemy związane ze stosowaniem ochrony przed przepięciami w sieci trakcyjnej DC 3 kV

System zasilania trakcji elektrycznej ze względu na rozległość charakterystyczną dla sieci trakcyjnej oraz linii elektroenergetycznych zasilających podstacje trakcyjne podlega, w naturalnych warunkach pracy, wielu czynnikom zmieniającym się w funkcji czasu. Wiadomo, iż każda napowietrzna sieć zasilająca zagrożona jest oddziaływaniem wyładowań piorunowych i przepięć. Dotyczy to również sieci trakcyjnej DC 3 kV. W takich systemach częstotliwość występowania przepięć, jak również ich parametry szacuje się w zasadzie głównie w oparciu o dane statystyczne.

Z praktyki eksploatacyjnej napowietrznych linii elektroenergetycznych wynika, że największym zagrożeniem dla izolacji podstawowej i urządzeń stacyjnych są przepięcia spowodowane wyładowaniem piorunowym bezpośrednio na linię (przepięcia

przewodzone) lub pośrednim w pobliżu linii (przepięcia indukowane). Analogicznie jest w przypadku sieci trakcyjnej. Jej główne elementy są z założenia przewodzące, więc przepięcia piorunowe rozprzestrzeniają się wzdłuż sieci trakcyjnej na znaczne odległości w postaci fal napięciowych określanych falami wędrownymi lub udarowymi.

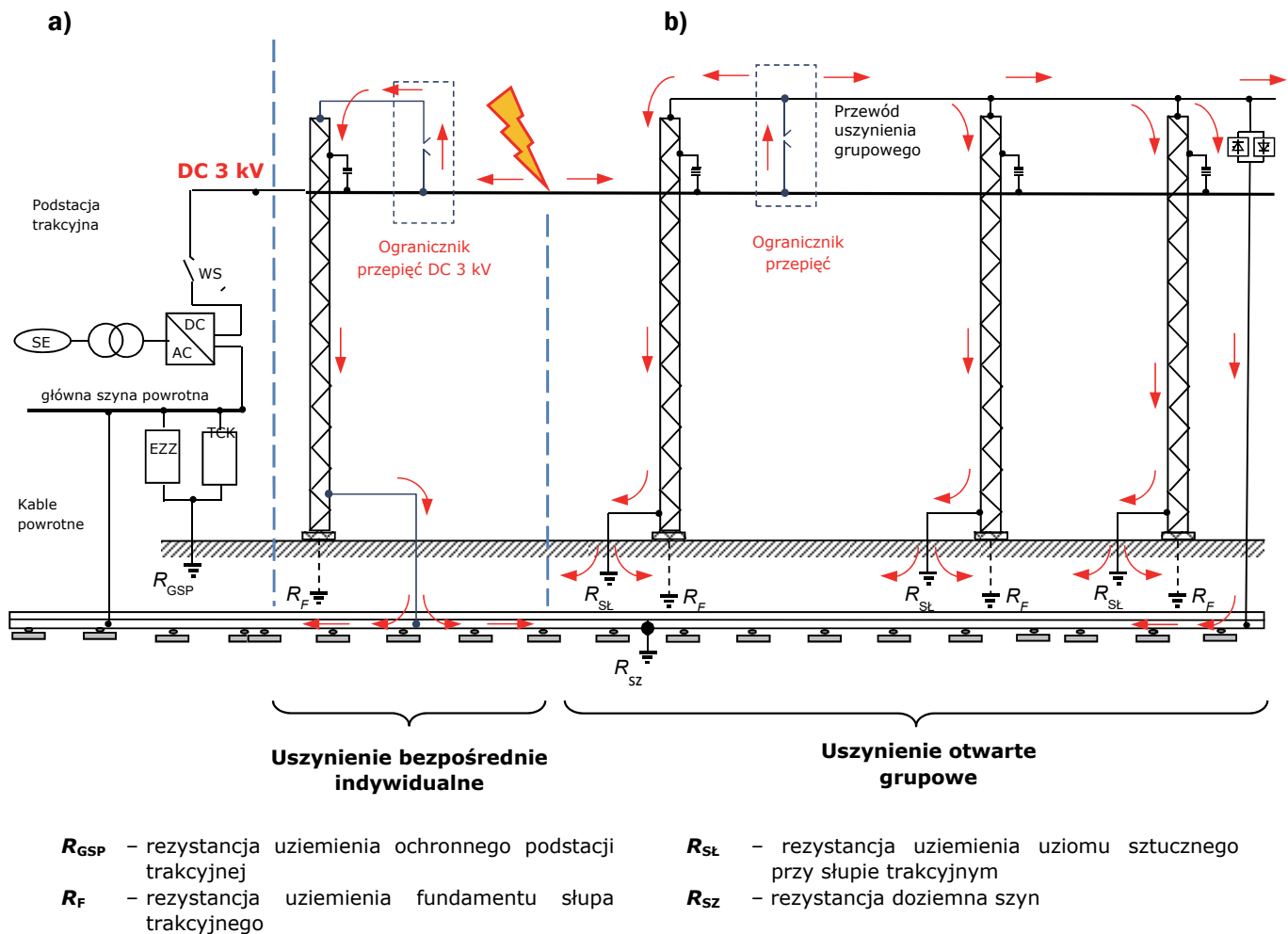
Udary napięciowe wpływają destrukcyjnie na izolację sieci zasilania elektroenergetycznego, jak również podłączonych do niego urządzeń odbiorczych, a udary prądowe powodują przekroczenie wytrzymałości termicznej urządzeń m.in. w wyniku przegrzania aktywnych przestrzeni urządzeń: półprzewodnikowych, rezystancyjnych lub indukcyjnych. Potrzeba ochrony sieci trakcyjnej przed przepięciami wynika przede wszystkim z dużego prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzeń zarówno jej elementów (np. izolatory), jak i poruszających się wzdłuż niej pojazdów trakcyjnych, a także elementów systemu zasilania sieci trakcyjnej oraz urządzeń systemu sterowania ruchem kolejowym. Przykładowo ocenia się, że w skali jednego roku na sieci trakcyjnej PKP występuje 600 przeskoków na izolatorach czystych. Z badań wynika [12], że wytrzymałość zabrudzonych izolatorów przy udarach piorunowych może obniżyć się znacznie poniżej 50% wartości mierzonych przy czystym izolatorze.

Aktualnie znaczna część urządzeń i szaf srk na sieci objętej systemem uszyniania bezpośredniego posiada galwaniczne połączenie z obwodem powrotnym prądu (z szyną) poprzez przewód uszyniający. Należy zdawać sobie sprawę, że w takiej sytuacji wszelkie wzrosty potencjałów w obwodzie powrotnym spowodowane np. wyładowaniem piorunowym, przeniosą się przez te galwaniczne połączenia na metalowe obudowy uszynionych urządzeń lub szaf aparaturowych oraz wszelkie metalowe elementy w ich wnętrzu z nimi połączone. W takim przypadku należy również spodziewać się zdecydowanie większych wartości przepięć przenikających do szafy srk niż, gdyby szafa była tylko uziemiona. Przekroczenie granicznych wartości napięć udarowych wytrzymywanych w obwodach urządzeń uszynionych jest w takim przypadku tylko kwestią niekorzystnego zbiegu okoliczności i zależy od:

- ♦ wartości prądu w kanale piorunowym,
- ♦ odległości wyładowania piorunowego od uszynionego urządzenia,
- ♦ włączenia się lub nie ograniczników zamontowanych na sieci trakcyjnej w celu ograniczania przepięć wędrujących wzdłuż przewodu jezdnego,
- ♦ odległości ograniczników przepięć od rozpatrywanego urządzenia.

## Rzeczywiste środowisko elektromagnetyczne funkcjonowania urządzeń kolejowych w otoczeniu sieci trakcyjnej DC 3 kV

Do dziś, pomimo ewidentnego występowania zagrożenia piorunowego dla urządzeń kolejowych w otoczeniu sieci trakcyjnej DC



**Rys. 1.** Sposoby włączenia ograniczników przepięć do ochrony systemu zasilania trakcji elektrycznej o napięciu DC 3 kV z uszynieniem bezpośrednim i uszynieniem otwartym grupowym sieci kolejowej zarządzanej przez PKP PLK SA: a) uszynienie bezpośrednie – między przewód górnej sieci jezdnej a przewód powrotny, b) uszynienie otwarte grupowe – między przewód górnej sieci jezdnej a uziemiony przewód uszynienia grupowego

3 kV, brak jest odniesień do aktów normatywnych w zakresie ochrony odgromowej w dokumentach regulujących zasady eksploatacji elementów infrastruktury kolejowej zarządców sieci kolejowych, w tym również w instrukcjach wydawanych przez PKP PLK S.A. W związku z tym konieczne jest podjęcie zdecydowanych kroków do wprowadzenia niezbędnych uregulowań w tym zakresie, z uwzględnieniem nie tylko ochrony przed bezpośrednim oddziaływaniem prądów piorunowych na sieć trakcyjną, ale również odnośnie do potrzeby ich ochrony przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym (LEMP).

Ze względu na charakterystyczną dla współczesnych systemów elektronicznych niewysoką odporność na udary elektromagnetyczne ochrona przed LEMP powinna obejmować oddziaływanie na infrastrukturę kolejową zarówno od strony udarów przewodzonych, jak i wypromieniowywanych podczas wyładowań atmosferycznych.

Istotny wpływ na określenie cech rzeczywistego środowiska elektromagnetycznego w otoczeniu sieci trakcyjnej ma zastosowany w niej sposób uszynienia indywidualnego i grupowego jako środka ochrony przeciwporażeniowej na parametry środowiska elektromagnetycznego przy odprowadzaniu rzeczywistych prądów bezpośrednich wyładowań piorunowych w sieć trakcyjną. Na rysunku 1 pokazano rzeczywisty rozptył prądów pioruno-

wych w obydwu przypadkach stosowanego obecnie uszynienia, przy zastosowaniu ograniczników przepięć w postaci odgromników rozładowanych stosowanych aktualnie na liniach kolejowych zarządzanych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. wyposażonych w sieć trakcyjną o napięciu 3 kV prądu stałego.

Ze względu na sposób włączenia ograniczników przepięć do ochrony sieci trakcyjnej, czyli:

- ♦ dla uszynienia indywidualnego – między przewód sieci jezdnej a szynę stanowiącą element obwodu powrotnego,
- ♦ dla uszynienia grupowego – między przewód sieci jezdnej a uziemioną, przy każdym słupie trakcyjnym, linię uszynienia.

Łatwo sobie uzmysłowić, że w przypadku uszynienia indywidualnego odprowadzany przez ograniczniki prąd przepięć pochodzących od bezpośredniego wyładowania atmosferycznego zostanie rozproszony głównie w sieci trakcyjnej, a dla uszynienia grupowego prąd ten zostanie odprowadzony do układu uziomów poszczególnych słupów trakcyjnych.

### Dobór środków ochrony sieci trakcyjnej przed zagrożeniem bezpośrednim wyładowaniem piorunowym

Przyjmując do wiadomości, iż sieć trakcyjna podlega takim samym zagrożeniom jak te, które zostały szczegółowo opisane w serii norm odgromowych PN-EN 62305 [6] w stosunku do

obiektów budowlanych, dojdziemy do wniosku, że zastosowanie kompleksu środków ochrony opisanych w arkuszach tej normy będzie skutecznie chronić również urządzenia kolejowe w otoczeniu sieci trakcyjnej DC 3 kV. Oznacza to w rzeczywistości, że do ochrony sieci trakcyjnej przed bezpośrednim wyładowaniem piorunowym musimy podejść tak jak i do ochrony obiektów budowlanych, a w związku z tym powinniśmy rozpatrywać zastosowanie zewnętrznego urządzenia piorunochronnego oraz skoordynowanego układu ograniczników przepięć w sieci trakcyjnej. Wiadomo, iż sieć jezdną stanowi system przewodów do zasilania energią elektryczną jednostek trakcyjnych za pomocą odbieraka prądu.

## Zewnętrzna ochrona odgromowa sieci trakcyjnej

Przy analizie oddziaływania bezpośrednich wyładowań piorunowych na sieć trakcyjną brak obecnie odpowiednich środków zewnętrznej ochrony odgromowej, zdolnych do przechwycenia wyładowania piorunowego i bezpiecznego odprowadzenia jego prądu do ziemi, w celu rozproszenia go w ziemi, jest znaczącą kwestią. Idea zewnętrznej ochrony odgromowej sieci trakcyjnej nie była dotychczas dyskutowana z uwagi na przewidywane znaczne koszty, jakie trzeba by było przeznaczyć na jej ewentualne wykonanie.

Zgodnie z aktualnie obowiązującymi standardami technicznymi PKP PLK (pkt 3.7.8 w opracowaniu [8]) wymagana jest ochrona odgromowa sieci jezdnej i polega ona wyłącznie na ograniczaniu pośrednich skutków wyładowań atmosferycznych bez stosowania środków przechwytyjących prądy bezpośrednich wyładowań atmosferycznych na sieć trakcyjną. Za ochronę odgromową uznaje się w tym przypadku stosowanie ograniczników przepięć w postaci odgromników różkowych lub ograniczników przepięć zaworowych oraz półprzewodnikowych. Pomimo zastosowania pojęcia ochrony odgromowej w najnowszych standardach technicznych PKP PLK, znacznie szerszego niż termin „ochrona przed przepięciami”, użycia środków ochrony bezpośredniej w postaci zewnętrznego urządzenia piorunochronnego (zwołów odgromowych) w stosunku do górnych elementów sieci jezdnej, nie przewiduje się.

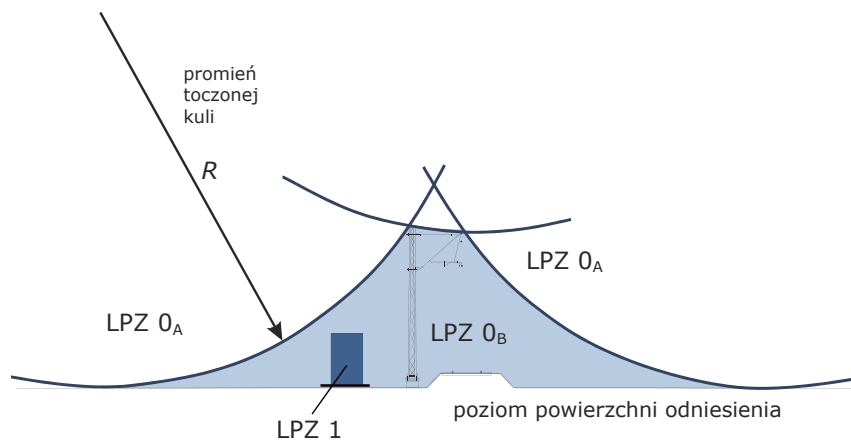
Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, iż wprowadzeniu systemu ochrony przeciwporażeniowej w postaci uszynienia grupowego w układzie otwartym towarzyszy zmiana konfiguracji sieci trakcyjnej, w wyniku dodania napowietrznego przewodu uszynienia grupowego w postaci liny zawieszanej na specjalnych wysięgnikach nad górną siecią jezdną, montowanej bezpośrednio do słupów trakcyjnych, co przedstawiono na rysunku 1. Przewód uszynienia grupowego umieszczany jest obecnie nad siecią jezdną, więc może pełnić rolę zwołu poziomego zewnętrznego urządzenia piorunochronnego tej sieci, a przewody uziemiające linę uszynienia grupowego na każdym słupie trakcyjnym mogą pełnić rolę przewodów odprowadzających, gdyż spełniają wymogi norm odgromowych PN-EN 62305-3 pod względem wymaganego

minimalnego przekroju poprzecznego. Przewód ten nie występuje jednak w systemie uszynienia bezpośredniego (rys. 1).

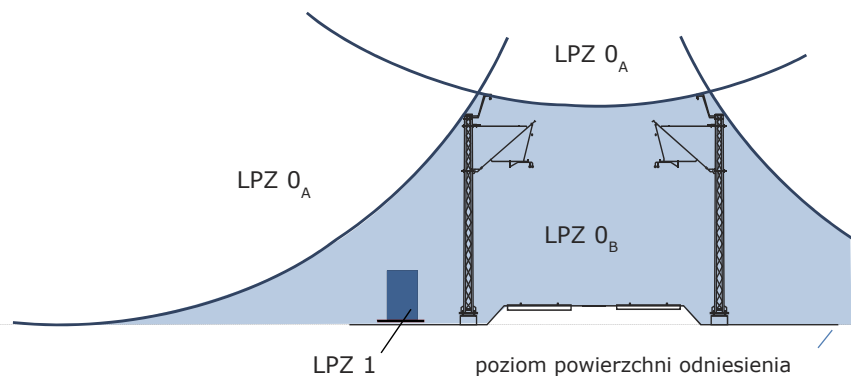
Wykorzystanie napowietrznej sieci uszynienia grupowego jako urządzenia ochrony odgromowej pozwoli na radykalne zmniejszenie zagrożenia wyładowaniami atmosferycznymi w wyniku odprowadzania prądów bezpośrednich wyładowań piorunowych za pośrednictwem lin uszynienia otwartego grupowego i ich przewodów uziemiających, które łączą przewód uszynienia z uziomem każdego słupa trakcyjnego. W tej sytuacji nastąpi znaczne zmniejszenie obciążenia prądowego układów kaskadowej ochrony przed przepięciami sieci trakcyjnej w wyniku korzystnego podziału prądu pioruna między uziomy słupów i obwody ograniczników przepięć [12]. Idea wyznaczania stref ochrony odgromowej sieci trakcyjnej została przedstawiona na rysunku 2.

W przypadku istniejących wielotorowych linii kolejowych przewód uszynienia grupowego jest najczęściej tak zamontowany, że skutecznie spełnia funkcję naturalnego zwołu poziomego do ochrony przewodów sieci jezdnej, zapewniając poziom ochrony odgromowej LPL I (rys. 3).

Poziom terenu otaczającego linię wielotorową w takim przypadku nie ma wpływu na skuteczność ochrony przewodów trakcyjnych. Dla istniejących linii jednotorowych z uszynieniem grupowym strefy ochronne mogą być rozpatrywane jedynie tak jak w przypadku sieci z uszynieniem bezpośrednim do ochrony urządzeń przytorowych. Zakłada się, że dla zapewnienia skutecznej ochrony odgromowej przewodów trakcyjnych nowych lub modernizowanych linii kolejowych jednotorowych niezbędne



Rys. 2. Idea wyznaczania stref ochrony odgromowej sieci trakcyjnej



Rys. 3. Strefy ochrony odgromowej (LPZ) linii wielotorowej z uszynieniem otwartym grupowym

jest umieszczenie przewodu uszynienia grupowego jako zwodu odgromowego poziomego w odległości nie mniejszej niż 1 m bezpośrednio nad linią nośną, co jest związane z koniecznością zaprojektowania odpowiedniej konstrukcji podwieszenia przewodu uszynienia grupowego.

### Ograniczniki prądów w sieci jezdnej

Obecny system ograniczania prądów zbudowany na bazie iskierników różkowych, to klasyczny przykład realizacji ograniczania inherentnego, czyli systemu elektrycznego, którego własna charakterystyka powoduje ograniczenie spodziewanych prądów do założonego poziomu. Zastosowanie dodatkowych, specjalnych środków ograniczających prąd, np. ograniczników warystorowych, w celu ograniczenia poziomu spodziewanych prądów do określonego poziomu, to przykład ograniczania ochronnego.

Zastosowanie systemu ochrony przed prądami w sieci trakcyjnej DC 3 kV w swoim założeniu, oprócz ograniczania prądów do poziomów bezpiecznych, ma na celu odprowadzenie energii prądów piorunowych z obwodów sieci trakcyjnej. W obydwu systemach ograniczania: inherentnego i ochronnego dla ograniczenia poziomu prądów zastosowano ograniczniki, których głównym zadaniem jest lokalne skupienie energii fal prądowych, przemieszczających się wzdłuż zelektryfikowanych szlaków kolejowych, z dala od wrażliwych urządzeń przytorowych.

Należy zauważyć, że z punktu widzenia idei ograniczania prądów istniejący system zbudowany na odgromnikach różkowych nie różni się od rozbudowanego o ograniczniki warystorowe, z uwagi na trasę odprowadzania energii prądów z sieci trakcyjnej. W obu przypadkach ograniczniki prądów włączone są podobnie (rys. 1):

- a) dla uszynienia bezpośredniego – między przewód górnej sieci jezdnej a przewód powrotny,
- b) dla uszynienia grupowego – między przewód górnej sieci jezdnej a uziomiony przewód uszynienia grupowego.

W rezultacie, w wyniku takiego zastosowania ograniczników prądów:

- a) dla uszynienia bezpośredniego – energia prądów rozpraszana jest bezpośrednio w sieci trakcyjnej, między punktem zainstalowania ograniczników prądów, a zaciskami zasilaczy kablowych za pośrednictwem przewodów zasilaczy oraz kabli powrotnych, co należy uznać za przypadek najbardziej niekorzystny m.in. dla urządzeń przytorowych,
- b) dla uszynienia grupowego – dzięki podłączeniu jednego zacisku ogranicznika do uziomionego przewodu uszynienia grupowego energia prądów jest odprowadzana z sieci trakcyjnej do układu uziomów słupów trakcyjnych, dzieląc się między kilka najbliższych słupów za pośrednictwem przewodu uszynienia grupowego, co w efekcie bardzo korzystnie wpływa na złagodzenie środowiska elektromagnetycznego w otoczeniu urządzeń przytorowych.

Stosunkowo nieznaczna część tej energii prądów wydzieli się w roboczych objętościach ograniczników (iskiernikowych oraz beziskiernikowych) oraz w obwodach zasilaczy w stosunku do energii niesionej wyładowaniem piorunowym, która wydzieli się na impedancji obwodu powrotnego lub uziomach słupów trakcyjnych spiętych wzajemnie przewodem uszynienia grupowego.

Ze względu na oczywistą niedoskonałość odizolowania elektrycznego sieci trakcyjnej od otaczającego środowiska (jej części napowietrznej oraz szynowego obwodu powrotnego) część prądu

bezpośrednich wyładowań atmosferycznych spłynie w sposób niekontrolowany do gruntu poprzez przewody uszyniające, obwód powrotny szynowy (szyny jezdne) i fundamenty konstrukcji wsporczych sieci, po przekroczeniu w tych miejscach wartości udarowych napięć przebicia izolacji. W wyniku tego stanu występują pośrednie zjawiska oddziałujące na inne elementy infrastruktury linii kolejowych:

- ♦ sprzężenia pola elektromagnetycznego z kablami urządzeń przytorowych i portami tych urządzeń, będące wynikiem przepływu prądu ograniczanych prądów w obwodzie: przewód sieci jezdnej – ogranicznik – obwód powrotny szynowy – zasilacz (w systemie uszynienia bezpośredniego) lub przewód sieci jezdnej – ogranicznik – przewód uszynienia grupowego – uziom słupa trakcyjnego (w systemie uszynienia grupowego);
- ♦ wynoszenia wysokich potencjałów na porty urządzeń przytorowych podłączonych galwanicznie (bezpośrednio) do szyny, będące wynikiem odkładania się napięć na impedancjach obwodu powrotnego wskutek przepływu szybko narastających prądów udarowych przez indukcyjności elementów obwodu powrotnego.

Funkcjonujący obecnie system inherentnego ograniczania prądów zbudowany na bazie iskierników różkowych funkcjonuje w sieci trakcyjnej PKP PLK S.A. od lat 50. XX wieku. Długoletnia praktyka eksploatacyjna potwierdziła jego skuteczność w dobie automatyki kolejowej opartej na przekaźnikach. Dopiero wprowadzenie do szerszego stosowania w latach 80./90. XX wieku systemów sterowania ruchem kolejowym na bazie technologii półprzewodnikowej wykazało istotny stopień jej niedopasowania do poziomu napięciowego ochrony oferowanego przez odgromniki różkowe. Sytuacja radykalnie pogorszyła się w ostatniej dekadzie, gdy w modernizowanych liniach kolejowych na szeroką skalę rozpoczęło się wdrażanie nowoczesnych systemów automatyki kolejowej opartych na układach mikroprocesorowych. Skala i rozległość uszkodzeń tych systemów, objawiających się, jak się wydaje głównie po przejściu nawałnic burzowych z wyładowaniami piorunowymi, zdecydowanie przekracza odporności współczesnych systemów sterowania ruchem kolejowym w środowisku sieci trakcyjnej DC 3 kV z ograniczeniem inherentnym (tylko z udziałem odgromników różkowych) i skłania do szukania nowych rozwiązań ochronnych, które pozwolą wykorzystać doskonałe cechy nowych systemów mikroprocesorowych nawet w warunkach zagrożenia piorunowego w postaci bezpośrednich wyładowań na sieć trakcyjną.

Z oczywistych powodów rozwiązaniem polepszającym warunki środowiska elektromagnetycznego dla urządzeń w otoczeniu sieci trakcyjnej jest z pewnością zastosowanie ograniczania ochronnego opartego na ogranicznikach warystorowych, które charakteryzuje znacznie niższy poziom napięcia ograniczania w stosunku do odgromników różkowych. Wadą tego rozwiązania jest jednak brak odporności ograniczników warystorowych na oddziaływanie częściowych prądów piorunowych, które w obecnej konfiguracji przewodów sieci trakcyjnej zawsze będą płynęły przez ograniczniki prądów sieci trakcyjnej podczas ograniczania skutków bezpośredniego wyładowania piorunowego w sieć trakcyjną.

Podobne doświadczenia z ogranicznikami warystorowymi obserwuje się również ostatnio w sieciach zasilanych napięciem mniejszym niż 1 000 V, gdzie nieuprawnione próby stosowania ograniczników warystorowych w obiektach zagrożonych bezpośrednimi wyładowaniami piorunowymi, niezgodne z zaleceniami norm PN-EN 62305, skutkują ich uszkodzeniem, gdyż nie są

one zdolne bezpiecznie odprowadzić energię przepięć piorunowych. Prowadzi to do poważnych strat finansowych w sprzęcie, powodując jednocześnie długotrwałe i kosztowne w skutkach unieruchomienie chronionych instalacji lub systemów.

W związku z tym w sieci trakcyjnej konieczne jest zastosowanie skoordynowanych układów ograniczników przepięć, w których niski poziom ograniczania przepięć reprezentowany przez ograniczniki warystorowe zostanie połączony ze zdolnością do odprowadzania częściowych (a nawet całkowitych prądów piorunowych) oferowaną przez ograniczniki iskiernikowe (obecnie są to odgromniki różkowe). Odpowiednio dobrane układy tych ograniczników powinny znacząco ograniczyć energię przepięć piorunowych (ale również i łączeniowych) przenikających z sieci jezdnej do obwodu powrotnego, zmniejszając w rezultacie zagrożenie w stosunku do przytorowych systemów sterowania i bezpieczeństwa ruchu kolejowego znajdujących się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej.

### **Dobór ogranicznika przepięć w sieci trakcyjnej DC 3 kV do rzeczywistego środowiska elektromagnetycznego jej pracy**

W celu ochrony izolacji głównej sieci trakcyjnej przed uszkodzeniem przez udary piorunowe i przepięcia trakcyjne stosuje się obecnie odgromniki różkowe, montowane typowo w odstępach od 1 000 do 1 200 m. Do ochrony bezpośredniej kabli i zasilaczy od strony sieci trakcyjnej pojazdów zasilanych z tej sieci używa się odgromników zaworowych i ograniczników warystorowych. Na podstawie wyników wcześniej prowadzonych prac należy stwierdzić, iż:

- z powodu rozwoju elektronizacji i automatyzacji kolei konieczne staje się ograniczenie przepięć do poziomów znacznie niższych niż zapewnia to odgromnik różkowy;
- nie ustalono parametrów ograniczania energii przepięć przez stosowane dotychczas ograniczniki, w związku z czym nie jest możliwe ich odpowiednie skoordynowanie z wymagającymi ochroną punktami sieci trakcyjnej: punktami podłączenia zasilaczy oraz urządzeń sterowania ruchem podłączonych do obwodów prądów powrotnych.

Dla przykładu: przyjmowana we wcześniejszych rozważaniach [4] wartość napięcia ograniczania odgromnika różkowego w granicach 12–14 kV jest zaniżona i w rzeczywistości osiąga wartość rzędu 30 kV [11], a występujący przy tym brak szczegółowych informacji o parametrach ograniczników warystorowych stosowanych do ochrony nowych i modernizowanych podstacji oraz o zasadach ich doboru nie pozwalała na podjęcie racjonalnych decyzji o możliwości ich zastosowania oraz o potrzebie i sposobie ich skoordynowania z innymi elementami sieci trakcyjnej.

Zmierając do wyboru odpowiednich parametrów ograniczników przepięć do ochrony sieci trakcyjnej, uwzględniając przy tym oczywistą możliwość wystąpienia w niej prądów bezpośrednich wyładowań piorunowych, należy zauważyć, że ze znanych aktualnie rozwiązań ograniczników przepięć jedynie odgromnik różkowy może być zdolny do odprowadzenia częściowego prądu piorunowego o wartości 100 kA dla udaru o kształcie 10/350  $\mu$ s przyjęto w normach odgromowych dla opisanego rzeczywistej charakterystyki prądu płynącego w kanale doziemnego wyładowania atmosferycznego.

Należy przy tym pamiętać, że choć słusznym jest stwierdzenie, że odgromnik różkowy ogranicza częściowe prądy piorunowe jako urządzenie gazowyładowcze, to ze sposobu jego włączenia w sieć trakcyjną wynika w rzeczywistości, iż odprowadzany przez to urządzenie prąd udarowy będzie zawsze mniejszy od

wartości 200 kA, przyjętej w normach ochrony odgromowej obiektów budowlanych za maksymalną wartość prądu w kanale piorunowym, przed którą należy chronić obiekty wymagające zastosowania pierwszej, najskuteczniejszej kategorii instalacji odgromowej.

Podkreślenia wymaga fakt, iż prąd wyładowania piorunowego opisuje się kształtem 10/350  $\mu$ s [6], a nie 8/20  $\mu$ s – przeznaczonym dla udarów znormalizowanych do badań ograniczników przepięć w systemach zasilania o napięciu powyżej 1 kV. Oznacza to, że przy prawie równym czasie narastania obu impulsów i 17,5-krotnie dłuższym czasie do półszczytu energia udaru piorunowego jest wielokrotnie większa. W związku z tym porównywanie udaru prądowego 100 kA o kształcie 4/10  $\mu$ s, którym testuje się graniczną wartość prądu wyładowczego ograniczników warystorowych z udarem 10/350  $\mu$ s jest nieuprawnione. Ogranicznik wytrzymujący udar 100 kA 4/10  $\mu$ s przy oddziaływaniu udaru o takiej samej wartości szczytowej, ale o kształcie 10/350  $\mu$ s, musi ulec uszkodzeniu i to przy znacznie mniejszej wartości prądu niż 100 kA.

Ze względu na rosnące w ostatnich latach straty w urządzeniach kolejowych w otoczeniu sieci trakcyjnej DC 3 kV powodowane wyładowaniami piorunowymi na zlecenie PKP PLK S.A. pod nadzorem Biura Energetyki prowadzone były prace badawcze zmierzające do ograniczenia skali tego zjawiska [4, 7, 11]. Jednym z pomysłów na rozwiązanie tego problemu było między innymi rozważanie, czy możliwe i korzystne byłoby zastąpienie istniejącego systemu ochrony sieci trakcyjnej przed przepięciami opartego o odgromniki różkowe [4]. Praca ta zakończyła się wnioskiem, iż: „Najlepszym rozwiązaniem przy obecnym stanie wiedzy i bez wykonywania dodatkowych badań jest rozmieszczenie ograniczników warystorowych w odległości 1 200 m, jak ograniczniki różkowe. Warystorowe ograniczniki przepięć nie wymagają zabiegów konserwacyjnych jedynie utrzymania sprawnych połączeń z siecią trakcyjną i torem”.

Analizy prowadzone w dalszych pracach badawczych [7, 11] wykazały jednakże, iż wariant ten wydaje się być nie w pełni skuteczny, gdyż jednocześnie w tejże pracy [4] słusznie napisano, iż ogranicznik warystorowy nie wytrzymuje energii prądów bezpośrednich wyładowań piorunowych. Trudno jest jednak wykluczyć możliwość występowania takich przypadków biorąc pod uwagę tylko fakt, iż gęstość wyładowań piorunowych w Polsce dochodzi do 3,5 na km<sup>2</sup> w ciągu roku, a sama sieć trakcyjna wymaga stosowania zewnętrznej ochrony odgromowej. Należy zatem spodziewać się częstych awarii tych urządzeń przy bezpośrednich wyładowaniach atmosferycznych na sieć trakcyjną w wyniku przeciążenia warystorowych ograniczników przepięć podczas odprowadzania prądów piorunowych.

Warto zaznaczyć, iż zgodnie z zapisami normatywnymi stosowanie beziskiernikowych ograniczników z tlenków metali (warystorowych) jest pożądane tam, gdzie występują przepięcia o wolnym czasie zadziałania [5] (np. w sieciach z punktem neutralnym uziemionym) i istnieje tendencja do projektowania w takich przypadkach wyłącznie ograniczników warystorowych. Jednak tam, gdzie przepięcia dorywcze wynikające ze zwarć doziemnych mogą mieć długie czasy trwania, korzystnie jest stosować iskiernikowe ograniczniki przepięć, gdy wymagane są niskie poziomy ochrony. Takie środowisko elektromagnetyczne jest charakterystyczne właśnie dla sieci trakcyjnej. Stosowanie tradycyjnych ograniczników iskiernikowych rozpatruje się głównie w odniesieniu do sieci zakresu I (powyżej 1 kV do 245 kV włącznie), szczególnie dla niższych poziomów napięć.

Dodatkowo należy odnieść się do przytoczonego w cytacie powyżej argumentu, iż warystorowe ograniczniki przepięć nie wymagają zabiegów konserwacyjnych. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż badane ograniczniki warystorowe [4] nie były wyposażone we wskaźniki ich stanu. W przypadku uszkodzenia stosu warystorowego ogranicznika na rzeczywistym szlaku kolejowym trudno będzie ustalić lokatę uszkodzonego elementu, co podkreślają przedstawiciele energetycznych służb utrzymania sieci trakcyjnej. W takim przypadku wystąpią poważne kłopoty z ponownym załączeniem zasilania sieci trakcyjnej, gdy ogranicznik warystorowy będzie zwierzał przewód jezdny z przewodem powrotnym. Konieczne jest zatem zastosowanie specjalnych środków sygnalizacji takiego stanu awaryjnego, co będzie wymagało konkretnych zabiegów eksploatacyjnych, takich jak okresowa kontrola stanu wskaźników uszkodzenia powodujących odłączenie urządzenia od sieci. Zastosowanie na przykład warystorów z odłącznikami pirotechnicznymi może w samej swojej istocie być rozwiązaniem tego problemu i chociaż drogie, to skoordynowanie go z odgromnikiem rożkowym może się okazać na chwilę obecną nieuniknione.

### Wnioski

Przy analizie rzeczywistego środowiska elektromagnetycznego pracy urządzeń kolejowych w otoczeniu sieci trakcyjnej DC 3 kV musimy uwzględnić występowanie prądów bezpośrednich i pośrednich wyładowań piorunowych na sieć trakcyjną. Oznacza to w rzeczywistości, że dobierając środki ochrony sieci trakcyjnej powinniśmy rozpatrywać zastosowanie zewnętrznego urządzenia piorunochronnego oraz skoordynowanego układu ograniczników przepięć w sieci trakcyjnej.

Wykorzystanie napowietrznej sieci uszynienia grupowego jako urządzenia ochrony odgromowej pozwoli na radykalne zmniejszenie zagrożenia wyładowaniami atmosferycznymi w wyniku odprowadzania prądów bezpośrednich wyładowań piorunowych za pośrednictwem lin uszynienia otwartego grupowego i ich przewodów uziemiających, które łączą przewód uszynienia z uziomem każdego słupa trakcyjnego.

Układy skoordynowanych ograniczników przepięć sieci jezdnej powinny zawierać elementy zdolne do odprowadzenia częściowych prądów piorunowych. W oparciu o istniejącą bazę ograniczników przepięć sieci trakcyjnej DC 3 kV konieczne jest zastosowanie skoordynowanych układów ograniczników przepięć, w których niski poziom ograniczania przepięć reprezentowany przez ograniczniki warystorowe zostanie połączony ze zdolnością do odprowadzania częściowych (a nawet całkowitych prądów piorunowych) oferowaną przez odgromniki rożkowe.

### Bibliografia

1. Białoń A., Dłużniewski A., John Ł., *Ochrona odgromowa obiektów kolejowych*, „Technika Transportu Szynowego” 2010, nr 10.
2. Chrzan K. L., *Wytrzymałość izolatorów trakcyjnych przy udarach piorunowych*, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, nr 24, 2008.
3. Maksimowicz T., Zielenkiewicz M., *Lightning protection zones created by traction construction of railways*, XXIII International Conference on Electromagnetic Disturbances, September 9–11, Białystok 2015.
4. *Opracowanie nowego systemu ochrony sieci przed przepięciami, badania eksploatacyjne nowego systemu, określenie lokalizacji podłączenia ochrony przeciwprzebieciowej od*

*urządzeń sterowania trakcją i urządzeń sterowania ruchem*, Praca badawcza, Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa, Warszawa 2007–2008.

5. PN-EN 60099-5:1999+A1:2004 – *Ograniczniki przepięć. Część 5: Zalecenia wyboru i stosowania*.
6. PN-EN 62305-1 – *Ochrona odgromowa. Seria norm*.
7. *Poligonowe badania ochrony przeciwprzebieciowej z ogranicznikami warystorowymi*, Praca rozwojowa, Politechnika Białostocka przy współpracy z RST sp. j., Białystok 2009–2010.
8. Standardy Techniczne PKP PLK, szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości  $V_{max} \leq 200$  km/h (dla taboru konwencjonalnego)/250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem), t. IV – *Urządzenia trakcji elektrycznej i elektroenergetyki trakcyjnej*, Wersja 1.1, 2009.
9. Wróbel Z., *Możliwości stosowania wybranych modeli generatorów udarowych w analizie zagrożeń urządzeń sterowania ruchem kolejowym*, „Technika Transportu Szynowego” 2010, nr 7–8.
10. Wróbel Z., Ziemia R., *Modelowanie elementów sieci trakcyjnej w analizie zagrożeń urządzeń sterowania ruchem kolejowym powodowanych przepięciami atmosferycznymi*, „Technika Transportu Szynowego” 2008, nr 4.
11. *Zasady realizacji ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym, wyładowaniami atmosferycznymi i przepięciami w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV*, Praca badawcza, RST sp.j. przy współpracy z EXCENTO sp. z o.o., spółką celową Politechniki Gdańskiej, Białystok 2014–2015.
12. Zielenkiewicz M., Maksimowicz T., Burak-Romanowski R., *Coordination of surge arresters in DC 3 kV railway traction system – field tests*, 33rd International Conference of Lightning Protection, September 25–30, Estoril, Portugalia 2016 (w publikacji).

### Autorzy:

mgr inż. **Radosław Burak-Romanowski** – PKP PLK SA  
**Mirosław Zielenkiewicz**

### The actual electromagnetic environment of railway trackside equipment in the background of 3 kV DC traction system – selection of lightning protection measures

Implementation of modern railway traffic control systems, based on sensitive electronic trackside equipment, causes necessity of modernization of lightning protection measures. Although currently used horn air spark gaps, which were developed in the 50's of last century, are capable to withstand impact of direct lightning strike currents, however cannot provide properly low voltage protection level required by electronic trackside systems. Development of group open connection system provided by itself protection against direct lightning strikes by application of an overhead group connection wire which acts as a natural horizontal air termination wire. Required voltage protection level can be provided by application of arresters based on varistors. However varistors are not capable to withstand surge currents of direct lightning strikes. Therefore the optimal solution is overvoltage protection system based on coordinated horn air spark gaps – capable of conducting lightning currents, and varistors – providing low voltage protection level. Coordination of such system was successfully proven during field tests conducted in 2015.