Obowiązujące normy i związane z tym bezpieczeństwo ruchu kolejowego

Opracował: mgr inż. Zygmunt Kulhawik
mgr inż. Jacek Turkowski

Streszczenie

Artykuł dotyczy problemu występującego w zelektryfikowanym transporcie szynowym, polegającego na wzajemnym oddziaływaniu układów uziomowych systemu zasilania prądu stałego oraz układów uziomowych systemu elektroenergetycznego prądu przemiennego. Rozwiązanie tego problemu jest zawarte w normach kolejowych przedstawiających ogólne zasady budowy instalacji uziemiających w strefie trakcji elektrycznej i sposobu zasilania z systemu energetycznego zapewniające bezpieczeństwo elektryczne i ograniczenie prądów błądzących. Warunkiem bezpieczeństwa jest też zachowanie ciągłości w sieci powrotnej poprzez połączenia międzytokowe i międzytorowe oraz wykonywanie połączeń obejściowych podczas remontu torów.
Według obowiązujących norm układy uziomowe systemu trakcyjnego nie mogą mieć żadnych połączeń z układami uziomowymi systemu energetycznego prądu przemiennego.
W rzeczywistości takie połączenia występują zarówno na poziomie niskiego jak i wysokiego napięcia prądu przemiennego. Połączenia takie powodują kilkukrotny wzrost prądów błądzących, możliwość uszkodzeń instalacji srk oraz innych instalacji elektrycznych nn na stacjach itp. czy też zakłóceń w pracy podstacji trakcyjnych prądu stałego.

Obowiązujące normy kolejowe

- PN-EN 50122-1:2011E - Zastosowanie kolejowe. Urządzenia stacjonarne. Bezpieczeństwo elektryczne, uziemianie i sieć powrotna Część 1: Środki ochrony przed porażeniem elektrycznym,
- PN-EN 50122-2:2011E - Zastosowanie kolejowe. Urządzenia stacjonarne. Bezpieczeństwo elektryczne, uziemianie i sieć powrotna Część 2: Środki ochrony przed skutkami prądów błądzących powodowanych przez systemy trakcji prądu stałego,
- PN-EN 50526-1:2012E - Zastosowanie kolejowe. Urządzenia stacjonarne. Ograniczniki przepięć prądu stałego i urządzenia ograniczające napięcie. Część 1: Ograniczniki przepięć prądu stałego,
- PN-EN 50526-2:2014E - Zastosowanie kolejowe. Urządzenia stacjonarne. Ograniczniki przepięć prądu stałego i urządzenia ograniczające napięcie. Część 2: Urządzenia ograniczające napięcie.
- PN-EN 50122-3:2011 – Zastosowania kolejowe - Urządzenia stacjonarne. Bezpieczeństwo elektryczne, uziemianie i sieć powrotna. Część 3: Oddziaływanie wzajemne systemów trakcji prądu przemiennego i stałego.

Normy te dotyczą budowy torów, instalacji energetycznych oraz urządzeń zapewniających bezpieczeństwo.

Układy torowe

Projektowanie, budowa i utrzymanie torów kolejowych powinny spełniać wszystkie wymagania mechaniczne związane z ruchem pojazdów, a ponadto spełniać wymagania normy PN-EN 50122-2:2011E w zakresie ciągłości elektrycznej i izolacji szyn od ziemi.

Ochrona ziemnozwarciowa i przeciwporażeniowa w sieci trakcyjnej

System ochrony ziemnozwarciowej i przeciwporażeniowej w sieci trakcyjnej funkcjonuje już od ponad dwudziestu lat z wykorzystaniem tyrystorowych urządzeń ograniczających napięcie VLD wykonywanych zgodnie z normą PN-EN 50526-2:2014E.
Przyjęty został system uszynień grupowych polegający na połączeniu wszystkich konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej na odcinku o długości do 3,5 km liną uszynienia grupowego i na końcu tego odcinka połączoną do jednej szyny toru lub do środka dławika torowego przez urządzenie ograniczające napięcie VLD.
Wszystkie zakłócenia (przebicie izolatora, wyładowanie atmosferyczne) przenoszą się na wszystkie konstrukcje wsporcze połączone liną uszynienia grupowego. Konstrukcje te są niejednokrotnie usytuowane w obrębie przystanków, które powinny mieć swój indywidualny system uszynienia.
Dotychczasowe doświadczenia i związane z tym problemysą podstawą do opracowania nowej wersji wytycznych do projektowania budowy i eksploatacji systemu ochrony ziemnozwarciowej i przeciwporażeniowej.
Nowa wersja polegająca na rozdzieleniu instalacji uziemiającej peronów stacji od systemu uszynień grupowych na szlaku. Pozwoli to na ekwipotencjalizację wszystkich obwodów na danym peronie takich jak srk, informację, oświetlenie, konstrukcje wsporcze wydzielone z systemu uszynień grupowych, semafory, windy itp.

Ochrona przepięciowa w sieci trakcyjnej

Zastosowanie beziskiernikowych ograniczników przepięć eliminuje wpływ ładunku od zwarcia w obwodach 3 kV podczas wyładowań atmosferycznych. Ogranicznik przepięć podczas wyładowania atmosferycznego i odprowadzeniu jego ładunku do ziemi przechodzi w stan wysokiej rezystancji nie powodując zwarcia w obwodach 3 kV. W związku z tym zastosowanie beziskiernikowych ograniczników przepięć znacząco obniży wymagania prądowe dla ochronników stosowanych na wejściu szaf srk jak też innych obiektów przytorowych, gdyż nie ma dodatkowego obciążenia wynikającego z prądu zwarciowego w obwodzie 3 kV prądu stałego. Ograniczniki przepięć zapewniają prawidłową ochronę na poziomie 6500-7500 V i pozbawione są w/w wad odgromników rożkowych powodujących zwarcie w obwodzie 3 kV po ich zadziałaniu. Od kilkunastu lat do ochrony urządzeń podstacji trakcyjnych i kabin sekcyjnych od wyładowań atmosferycznych i eksploatacyjnych stosowane są beziskiernikowe ograniczniki przepięć. Od kilku lat są to beziskiernikowe ograniczniki przepięć typu PROXAR-IVN4,5 DC. W/w ograniczniki przepięć montowane są w miejscu przyłączenia zasilacza do sieci trakcyjnej i w celce zasilacza w podstacji trakcyjnej. Charakteryzując się poziomem zadziałania już przy przepięciach o wartości około 6500 V oraz skutecznie zapewniają poziom ochrony przepięciowej, ograniczając go do

wymaganych 12 kV przy znamionowym prądzie udarowym o wartości 20 kA. Ograniczniki te pomyślnie przeszły testy wytrzymałość na prądy graniczne o wartości 200 kA i klasyfikują się według nowej obowiązującej normy w klasie DC-B. Aktualnie eksploatowanych jest systemach trakcyjnych w Polsce i za granicą około 18000 takich ograniczników, bez zgłoszonych problemów eksploatacyjnych. Producent opracował dodatkowe wyposażenie w/w ograniczników w postaci wspornika izolacyjnego z odłącznikiem, które eliminują pojawienie się w sieci trakcyjnej prądu zwarciowego w przypadku np. bezpośredniego uszkodzenia piorunowego z wyładowania atmosferycznego i wizualizują uszkodzenie ogranicznika, co ułatwia jego identyfikację i wymianę.

Podstacja trakcyjna

Podstacja trakcyjna powinna spełniać wszystkie wymagania dotyczące mocy oraz wymaganych parametrów zasilania związanych z jakością zasilania sieci trakcyjnej.
Uziom podstacji nie powinien mieć żadnych połączeń metalicznych z innymi uziomami a w szczególności z systemem uziemiającym Energetyki publicznej. Uziom podstacji powinien mieć rezystancję doziemną nie większą niż 2 Ω, pod warunkiem zastosowania ochrony ziemnozwarciowej. Jeżeli ze względu na dużą rezystywność gruntu trudno jest uzyskać taką wartość, należy wykonać obliczenia i uzasadnić technicznie większą wartość tej rezystancji.
Podstacja powinna być wyposażona w ochronę ziemnozwarciową w obwodzie prądu stałego, włączoną między szyną minusową a uziomem podstacji, np. typu EZZ.
Z podstacji trakcyjnej nie powinno się zasilać napięciem 230/400 V innych obiektów usytuowanych poza terenem podstacji. Dotyczy to również zasilania obiektów komercyjnych wysokim napięciem z podstacji, jeżeli żyły powrotne kabli są bezpośrednio uziemione w podstacji (wynoszenie potencjałów i przepływ prądów błądzących).
Żyły powrotne kabli SN zasilające podstację trakcyjną nie powinny powodować połączenia uziomu podstacji z systemem uziomowym Energetyki publicznej. Wszystkie żyły powrotne kabli SN wchodzące i wychodzące z podstacji powinny być połączone między sobą i uziemione przez odpowiednie urządzenie ograniczające napięcie VLD.
Kabel zasilacza powinien posiadać żyłę powrotną o przekroju zastępczym min 25 mm^2 Cu połączoną z uziomem podstacji, a izolowaną na słupie trakcyjnym w miejscu połączenia zasilacza z siecią trakcyjną.
Zwarcia w kablach zasilacza powinny być zabezpieczone urządzeniem ograniczającym napięcie spełniającym normę PN-EN 50526-1.

Sterowanie ruchem kolejowym

Sterowanie ruchem kolejowym powinno być realizowane w oparciu o ujednolicone przepisy unijne, zoptymalizowane specyfikacje techniczne i zharmonizowane z tym normy, zapewniając kompatybilność z innymi systemami.
Nastawnie zdalnego sterowania, szafy przytorowe, urządzenia przejazdowe itp., niezależnie od ich usytuowania względem torów, mają połączenia kablowe (przewodowe) z elementami układu torowego bezpośrednio lub przez transformatory separacyjne czy też przez izolację podwójną. Izolacja podwójna dla napięć powyżej 1,5 kV DC nie jest środkiem ochrony.

Dlatego też wszystkie uziomy urządzeń srk, w tym urządzeń na przejazdach, powinny być połączone z torem przez odpowiednie urządzenie ograniczające napięcie VLD.
Zasilanie urządzeń srk na poziomie nn powinno być wykonane w układzie TT lub przez transformator separacyjny.
Na sieci PKP PLK S.A. są powszechnie stosowane odgromniki rożkowe, które powodują zwarcie w obwodzie 3 kV trwające nawet kilkaset milisekund (prąd piorunowy trwa nawet do 1000 razy krócej), a stosowane ochronniki do ochrony urządzeń srk nie są przystosowane do tak długich obciążeń. Zastosowane dodatkowo odpowiednie urządzenie ograniczające napięcie VLD jest przystosowane do tego typu obciążeń.

Konstrukcje i urządzenia w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej wymagające uszynienia

Wszystkie przewodzące konstrukcje i urządzenia znajdujące się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej powinny być uszynione w celu zapewnienia wyłączalności zwarć doziemnych w sieci trakcyjnej. Dla trakcji prądu stałego nie może być to uszynienie bezpośrednie ale przez urządzenie ograniczające napięcie (VLD).
Uszynienie indywidualne jest to pojedyncza konstrukcja (urządzenie) lub szereg konstrukcji i urządzeń na terenie danego obszaru uziomowego (np. peronu) połączonych między sobą przewodem wyrównawczym o odpowiednim przekroju elektrycznym.
Jeżeli na danym obszarze połączonych urządzeń i konstrukcji, zasilanych z tego samego źródła, przynajmniej jedna konstrukcja lub urządzenie jest w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej, wszystkie połączone między sobą obiekty podlegają uszynieniu przez jedno urządzenie VLD.
Przewód wyrównawczy łączący wszystkie konstrukcje i urządzenia znajdujące się w strefie oddziaływania sieci powinien mieć odpowiedni przekrój o rezystancji zastępczej 120 mm2 Al. Przewód wyrównawczy może mieć mniejszy przekrój w zależności od wielkości obszaru oraz lokalizacji podstacji i wymaga obliczeń z uwzględnieniem, że najbliższa podstacja może być wyłączona. Konstrukcje w danym obszarze znajdujące się poza strefą oddziaływania sieci trakcyjnej mogą być przyłączone przewodem wyrównawczym o mniejszym przekrojem zgodnie z ogólnymi przepisami.
Konstrukcje i urządzenia znajdujące się w obszarze publicznym nie powinny być uszyniane z wykorzystaniem uszynienia grupowego w sieci trakcyjnej. Takie uszynienie powoduje przenoszenie się wszystkich zakłóceń wywołanych przebiciem izolacji bądź wyładowaniami atmosferycznymi w sieci trakcyjnej na całej sekcji uszynienia grupowego o długości nawet powyżej 3 km.
Konstrukcje i urządzenia znajdujące się w obszarze niepublicznym mogą być uszyniane z wykorzystaniem uszynienia grupowego w sieci trakcyjnej. Nie dotyczy to kładek dla pieszych i wiaduktów publicznie dostępnych.
Semafory w obszarach niepublicznych mogą być uszyniane z wykorzystaniem uszynienia grupowego w sieci trakcyjnej.

Uziomy (instalacje uziemiające)

Uziomy różnego rodzaju konstrukcji lub urządzeń i instalacji będących w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej nie powinny mieć metalicznych połączeń z innymi uziomami,

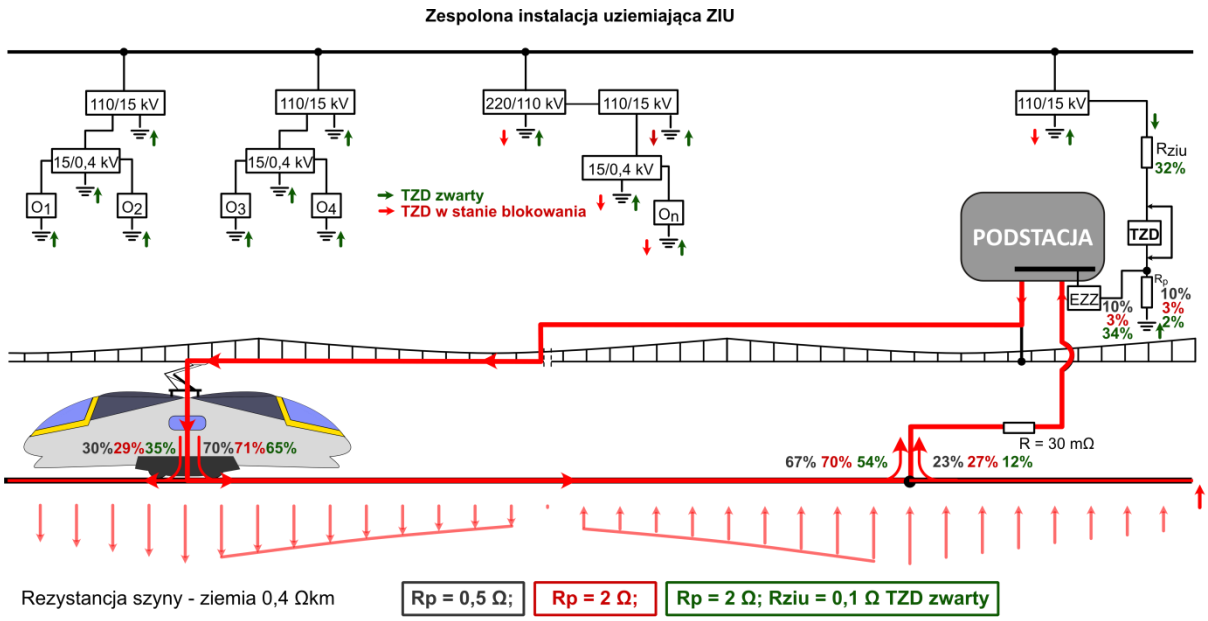
a w szczególności z uziomami energetyki publicznej. Indywidualne uziomy konstrukcji i urządzeń znajdujących się w zamkniętym obszarze uziomowym objętym wspólną ochroną (np. hale napraw, przystanki osobowe itp.) powinny być połączone między sobą dla uzyskania ekwipotencjalizaci, a taki obszar uziomowy nie powinien się łączyć z żadnymi uziomami poza tym obszarem.
Wartość rezystancji uziomów naturalnych i/lub sztucznych różnego rodzaju konstrukcji i urządzeń czy też obszarów uziomowych i sekcji uszynienia grupowego, nie ma praktycznie żadnego znaczenia na poprawne działanie ochrony ziemnozwarciowej. Nie ma potrzeby wykonywania z tego powodu jakichkolwiek uziomów sztucznych dla potrzeb poprawnego działania ochrony ziemnozwarciowej.
Na poprawne działanie ochrony ziemnozwarciowej bardzo duże znaczenie ma ciągłość instalacji uziemiającej (przewodu wyrównawczego) oraz rezystancja wzdłużna tej instalacji. Na podstawie dopuszczonego do stosowania systemu uszynień grupowych rezystancja od najdalszego punku, gdzie może pojawić się napięcie 3 kV, do miejsca przyłączenia do szyn, nie powinna przekraczać 0,3 Ω.
Wartość rezystancji uziomów naturalnych i/lub sztucznych różnego rodzaju konstrukcji i urządzeń powinna spełniać wymagania dotyczące uziomów roboczych i ochronnych w instalacji elektrycznej, instalacji odgromowej oraz do rozkładu napięcia uziomowego wokół danej konstrukcji, zgodnie z ogólnymi przepisami w tym zakresie.
Hale obsługi i napraw powinny mieć swój obszar uziomowy na całym terenie. Wszystkie urządzenia i konstrukcja hali powinny być połączone przewodem wyrównawczym. Nie ma konkretnych wymagań odnośnie rezystancji doziemnej takiego obszaru uziomowego. Zaleca się aby rezystancja ta nie była większa od 2 Ω. Zasilanie hali po stronie wysokiego napięcia powinno zapewniać rozdział obszaru uziomowego hali od instalacji uziemiającej energetyki. Należy zastosować odpowiednie urządzenia VLD w żyłach powrotnych kabli. Połączenie wszystkich żył kabli wchodzących i wychodzących i połączenie ich z uziomem hali przez VLD zapewnia rozdział uziomów oraz nie wprowadza zakłóceń w zabezpieczeniach ziemnozwarciowych energetyki.
Zasilanie na poziomie niskiego napięcia powinno być w układzie TT.
Niskim napięciem nie można zasilać obiektów poza obszarem uziomowym hali.

Którędy płyną prądy błądzące i co z tego wynika

Poniżej przedstawiono kilka schematów obrazujących którędy płyną prądy błądzące podczas normalnej eksploatacji oraz warunkach zwarciowych i zakłóceniowych (np. zadziałanie VLD od przepięć łączeniowych w trakcji elektrycznej lub wyładowań atmosferycznych).
Podczas normalnej eksploatacji prądy błądzące wypływają z szyn w rejonie pojazdu i muszą wrócić do podstacji wpływając do szyn w tym rejonie. Sytuacja taka występuje jeżeli uziomy związane z trakcją elektryczną są rozdzielone od instalacji uziemiającej energetyki publicznej na każdym poziomie napięcia, Jeżeli instalacje uziomowe trakcji elektrycznej są połączone z instalacją uziemiającą energetyki publicznej prądy błądzące w normalnych warunkach są kilkakrotnie większe.
W warunkach zwarciowych lub zakłóceniowych przy uszynieniach otwartych (VLD) sytuacja ta w przypadku rozdzielonych instalacjach uziemiających trakcji elektrycznej i energetyki

publicznej jest podobna, prądy błądzące mogą być kilkukrotnie większe ale ich czas trwania jest krótki, do momentu wyłączenie zwarcia lub czasu rozładowania się energii wyładowania atmosferycznego.

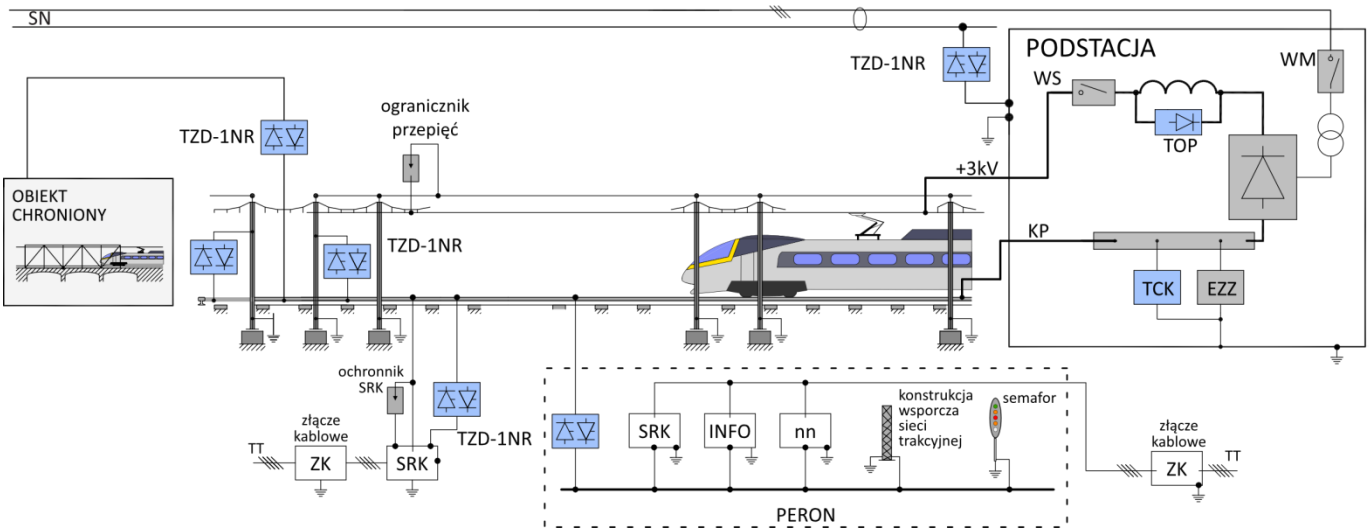
W przypadku połączonych instalacji uziemiających trakcji elektrycznej i energetyki publicznej prądy błądzące płynące przez te instalacje (przewody N, PE, PEN) mogą wzrosnąć kilkudziesięciokrotnie zarówno w normalnej eksploatacji a tym bardziej w warunkach zakłóceniowych. Jednym z czynników wzrostu tych prądów jest przerwa w sieci powrotnej (szyny) np. podczas wymiany rozjazdu bez wykonania połączeń obejściowych. Prądy te są przyczyną występujących „niewytłumaczalnych" uszkodzeń instalacji nn napięcia na stacjach, przystankach, urządzeniach srk itp.



Rys. 4. Pojazd w odległości 4 km a kabel powrotny ok 1,3 km od podstacji

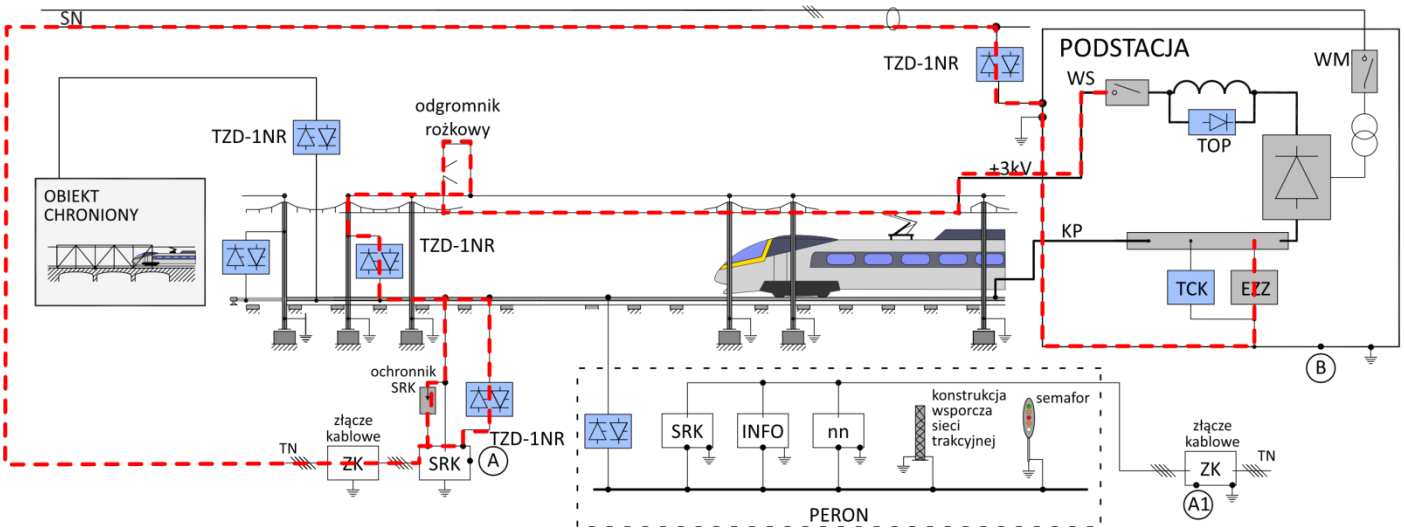
Rys. 1. Którędy płyną prądy błądzące

Na rysunku nr 1 pokazane są wyniki obliczeń symulacyjnych którędy płynie prąd powrotny od pojazdu do podstacji, przez szyny i ziemię w tym instalacje uziemiające (prąd błądzący). W przypadku gdy uziom podstacji jest zwarty z instalacją uziemiającą energetyki żyłą powrotną kabla, udział prądu powrotnego płynącego przez tą instalację jest znaczący. Pokazane na powyższym schemacie wartości prądu były wyliczane dla trakcji tramwajowej gdzie jednostkowa rezystancja doziemna szyn jest zdecydowanie mniejsza (0,4 Ωkm). W takim przypadku udział prądu płynącego przez instalację energetyki wynosił aż 32% (kolor zielony), co powodowało częste wyłączanie podstacji przez ochronę ziemnozwarciową EZZ po jej zadziałaniu. Po włączeniu TZD (VLD) w żyłę powrotną kabla zasilającego (rozdzieleniu uziomów trakcji elektrycznej i energetyki publicznej) zakłócenia w pracy podstacji z tego powodu całkowicie ustały. Po rozdzieleniu uziomów zmniejszyły się prądy błądzące płynące ziemią i przez instalacje uziemiające energetyki 46% do 30%.



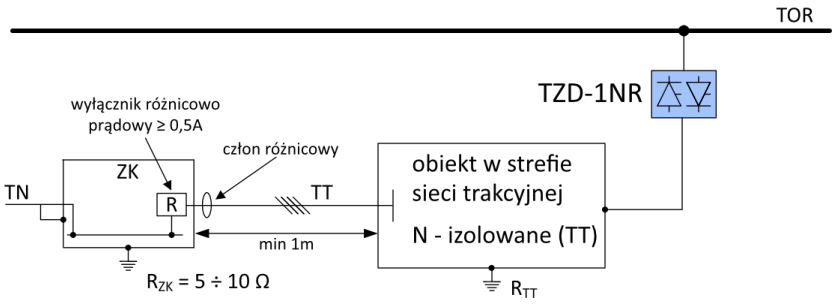
Rys. 2. Układ zasilania sieci trakcyjnej oraz innych urządzeń w tym srk zasilanych niskim napięciem zapewniający rozdzielenie uziomów związanych z trakcją elektryczną a instalacją uziemiającą energetyki publicznej

Przedstawione rozwiązanie są zgodne z wymaganiami obowiązujących norm kolejowych.
Zastosowanie beziskiernikowych ograniczników przepięć nie powoduje zwarcia w sieci trakcyjnej. Prąd piorunowy wpływa do ziemi poprzez uziomy konstrukcji wsporczych oraz szyny po zadziałaniu ogranicznika TZD.
Część prądu piorunowego wpływa przez ochronnik urządzeń SRK do uziomu, ale przy zasilaniu SRK w układzie TT prąd ten jest bardzo ograniczony (rozdzielone uziomy) i po kilkuset mikrosekundach zanika nie powodując uszkodzenia ochronnika.
W takim układzie szafy SRK zlokalizowanie poza strefą oddziaływania sieci trakcyjnej nie muszą być dodatkowo uszyniane przez ogranicznik TZD.
W przypadku zwarć doziemnych w sieci trakcyjnej bądź zakłóceń od przepięć komutacyjnych lub przerwy (częściowej przerwy np. przy wymianie rozjazdu) w torze może zadziałać ochronnik urządzeń SRK. Wówczas niezależnie od usytuowana szafy SRK, część prądu trakcyjnego popłynie do uziomu szafy, co może trwać od kilkudziesięciu sekund do kilkunastu minut (zwarcie lub obciążenie od zakłóceń w obwodzie trakcyjnym). Jeżeli szafa SRK będzie zasilana w układzie TN, prąd ten może być kilkadziesiąt razy większy. W takim przypadku powinien być ogranicznik TZD, który przejmie to obciążenie i jest do tego przystosowany.
Przedstawione rozwiązanie zasilania urządzeń na peronie umożliwia wykonanie wspólnej magistrali uziemiającej zapewniając ochronę ziemnozwarciową w sieci trakcyjnej przez jeden ogranicznik oraz eliminując zakłócenia od zwarć i wyładowań atmosferycznych na szlaku, pod warunkiem wydzielenia konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej z uszynień grupowych.



Rys. 3. Układ zasilania sieci trakcyjnej oraz innych urządzeń w tym srk zasilanych niskim napięciem nie zapewniający rozdzielenie uziomów związanych z trakcją elektryczną a instalacją uziemiającą energetyki publicznej

Na rys. 3. pokazany jest układ, gdy urządzenia są zasilane w układzie TN i następuje zadziałanie odgromnika rożkowego, który powoduje zwarcie w obwodzie 3 kV.
Prąd piorunowy płynie zgodnie z opisem pod rys. nr 2. Prąd zwarciowy pokazany jest na rys.3. Oczywiście prąd wraca szynami do podstacji, ale w takim układzie pokazany prąd zwarciowy w instalacjach uziemiających może wynosić nawet kilkadziesiąt procent prądu zwarcia.
W rzeczywistości praktycznie prawie zawsze brak jest ograniczników TZD przy podstacji i szafie SRK.
Przy zasilaniu obiektów w układzie TN rezystancja pętli zwarcia między punktami A (SRK) i B (podstacja) wynosi ok. 0,2 ÷ 0,5 Ω. To samo dotyczy peronu (pkt. A1 i B). Przy zasilaniu w układzie TT rezystancja ta przeważnie jest powyżej 5 Ω.
Zasilaniu obiektów w układzie TN stwarza zagrożenie uszkadzania się instalacji niskiego napięcia w tym ochronników SRK nie przystosowanych do długich obciążeń.



Rys. 4. Przejście z układu zasilania TN na układ TT

Energetyka niechętnie wydaje warunki na zasilanie w układzie TT.
Na rys. 4. Podany przykład przejścia z układu TN na TT. Złącze kablowe musi być poza strefą oddziaływania sieci trakcyjnej lub wykonane w odpowiedniej obudowie izolacyjnej bez wystających instalacji przewodzących.
W układzie TT rezystancja pętli zwarcia między punktami A i B wynosząca dla układu TN 0,2 ÷ 0,5 Ω będzie większa o R_{ZK} + R_{TT}.

Rezystancja R_{ZK} według wymagań energetyki publicznej powinna wynosić 5 ÷ 10 Ω.
Rezystancja R_{TT} powinna spełniać wymagania poprawnego działania wyłącznika różnicowo prądowego i/lub członu różnicowego w przyłączu kablowym ZK.
Obwody w obiekcie znajdującym się w strefie sieci powinny być dodatkowo zabezpieczone wyłącznikami różnicowymi, najlepiej o działaniu bezpośrednim, o prądzie różnicowym nie mniejszym 30 mA.

Wnioski

1. Wszystkie rozwiązania przedstawione w niniejszym artykule są zgodne z przytoczonymi w nim normami kolejowymi.
2. Przytaczane konkretne wartości rezystancji opierają się na obliczeniach symulacyjnych, pomiarach w terenie oraz wymaganiach norm i przepisów ogólnych.