

Józef Dąbrowski; Zygmunt Kulhawik

OGRANICZENIE PRĄDÓW BŁĄDZĄCYCH PRZEZ ROZDZIELENIE UZIOMÓW SYSTEMU ENERGETYKI ZAWODOWEJ OD ENERGETYKI KOLEJOWEJ TRAMWAJOWEJ I METRA

STRESZCZENIE: Aktualnie stosowane standardy zasilania urządzeń kolejowych, tramwajowych i metra przez energetykę zawodową powodują metaliczne połączenie wszystkich tych uziomów między sobą przez żyły powrotne kabli SN lub przewodem PE lub PEN kabli niskiego napięcia. Takie połączenia umożliwiają przepływ prądów błędnych między systemem kolejowym, tramwajowym i metra przez system uziomów energetyki zawodowej. Stwarza to możliwość pojawiania się prądów błędnych na terenie całych aglomeracji, stwarzając zagrożenie elektrokorozją podziemnych instalacji metalowych. W prezentowanym materiale przedstawiony jest sposób zasilania eliminujący takie połączenia.

1. Wprowadzenie

Uziom to metalowa elektroda lub ich zespół umieszczony w gruncie i mające styk z elektrolitem glebowym zapewniający równomierność rozkładu potencjału w stanach dynamicznego przepływu prądu związanego z wyładowaniem atmosferycznym lub zwarcie doziemnym w systemie zasilania zwłaszcza prądem przemiennym. Minimalizowanie rezystancji uziomu i dobór rozkładu zespołu elektrod zapewnia bezpieczeństwo porażeniowe. Trakcja kolejowa, tramwajowa i metro z zasady generują prądy błędne, co jest nierozdzielnie związane z siecią powrotną systemu zasilania prądem stałym. Współczesne układy zasilania trakcji elektrycznej prądu stałego są wyposażone w transformatory i zespoły prostownikowe. Dzięki temu zasilane są napięciem przemiennym na poziomie SN lub WN z systemów energetyki zawodowej (trójfazowym prądem przemiennym 50 Hz).

Kolej i tramwaje jak i metro mają również dużo punktów zasilania z energetyki zawodowej na poziomie sieci niskiego napięcia (0,4 kV) do zasilania potrzeb nietrakcyjnych takich jak przystanki, oświetlenie terenów, schody ruchome, czy przejazdy itp.

Energetyka zawodowa ma swoje normy odnośnie układów zasilania, które dopuszczają różne rozwiązania układów zasilania w tym, układy sieciowe TN, TT i IT.

Energetyka zawodowa praktycznie realizuje tylko układy TN, gdzie punkt neutralny sieci połączony jest z uziomem, a u odbiorcy punkt neutralny musi być połączony z ziemią –

uziomem. Ponadto połączenie między tymi uziomami musi być wykonane przewodem neutralno – ochronnym PEN lub przewodem ochronnym PE. Dotyczy to również układów zasilania na poziomie SN i WN, gdzie żyła powrotna kabli SN jest uziemiona w punkcie zasilania i odbioru energii, a w sieci WN uziomy te łączy linka odgromowa łącząc jednocześnie wszystkie uziomy konstrukcji wsporczych linii napowietrznej WN.

Od kilkunastu lat zostały w Polsce wprowadzone europejskie normy kolejowe, które z racji tego, że deklarowane są dla zelektryfikowanego transportu szynowego dotyczą również trakcji tramwajowej i metra. Normy te [1, 2] ze względu na ograniczenie prądów błędzących, nie zezwalają na zasilanie urządzeń w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej prądu stałego, w układzie zasilania TN i to na każdym poziomie zasilania.

Normy kolejowe jak też normy powszechnego stosowania z których korzysta energetyka zawodowa są wydane przez tą samą instytucję: dla Europy CENELEK, a dla naszego kraju przez Polski Komitet Normalizacyjny a to oznacza, że mają taki sam status prawny.

Po wprowadzeniu norm kolejowych, kolej jak też tramwaje wprowadziły szereg rozwiązań technicznych wymaganych przez te normy, w tym normę [2] ograniczającą prądy błędzące. Jednym z większych problemów uniemożliwiających pełne zrealizowanie wymagań norm kolejowych jest brak możliwości uzyskania od energetyki zawodowej warunków zasilania urządzeń kolejowych w układzie sieci TT (gdzie każde urządzenie na własne połączenie z ziemią – uziom) lub przy kablowym zasilaniu napięciem SN pośredniego uziemiania żył powrotnych kablowej linii zasilającej. Kolej ma rozwiązania techniczne umożliwiające pośrednie uziemianie żył powrotnych kabli SN [3].

Należy tu postawić pytanie: dlaczego materialnie za uszkodzenia podziemnych instalacji spowodowanych przez prądy błędzące odpowiada tylko użytkownik podziemnej instalacji, a nie energetyka zawodowa nie wydając warunków zasilania w układzie sieci TT lub nie wyrażając zgody na pośrednie uziemienie żył powrotnych w kablowych liniach zasilających SN, jeżeli kolej (tramwaje), mają wszystkie instalacje spełniające wymagania norm kolejowych? W przypadku torowisk tramwajowych budowy zamkniętej należy w przyszłości oczekiwać korozji od prądów błędzących podziemnych część szyn, nawet pomimo spełniania wymagań norm [2], czemu dodatkowo sprzyjać będą połączenia uziomów energetyki i zasilanie trakcyjnych podstacji tramwajowych kablami linii SN przyłączonymi bezpośrednio do uziomów podstacji ekranami kabli SN.

2. Systemy uziemień energetyki zawodowej, kolei, tramwajów i metra

Energetyka zawodowa

W energetyce zawodowej uziomy wszystkich stacji transformatorowo-rozdzielczych na poziomie WN i SN są połączone między sobą tworząc globalny uziom na terenie aglomeracji a za pośrednictwem linii przesyłowych globalny uziom na terenie całej Rzeczypospolitej Polskiej.

Na poziomie WN jest to połączenie linkami odgromowymi linii WN, które łączą wszystkie uziemione konstrukcje wsporcze i są przyłączone do uziomów sąsiednich stacji WN. Na poziomie SN jest to połączenie za pośrednictwem żył powrotnych w liniach kablowych również uziemianych na obu końcach. Linie napowietrzne SN spełniają wymagania norm kolejowych, gdyż nie łączą metalicznie między sobą sąsiednich uziomów.

Do takiego globalnego uziomu są przyłączone uziomy wszystkich odbiorców energii elektrycznej w tym odbiorców kolejowych. Na poziomie SN jest to połączenie uziomu energetyki z uziomem odbiorcy za pomocą żył powrotnych kablowych linii zasilających, a na poziomie nn przewodem PE lub PEN. Wynika to z wydawanych warunków przyłączenia energetyki zawodowej, gdzie na poziomie SN żyła powrotna ma być u odbiorcy bezpośrednio

uziemiona a na poziomie nn wydawane są warunki zasilania w układzie TN – jego rozmaitych odmianach.

Rezystancja doziemna globalnego uziomu na terenie dużych aglomeracji miejskich wynosi $0,1 \div 0,2 \Omega$ a na pozostałym obszarze RP $0,2 \div 0,5 \Omega$. Rezystancji takiego uziomu nie da się w prosty sposób zmierzyć z uwagi na swoją rozległość.

Kolej

Kolej teoretycznie nie ma globalnego uziomu. Należy jednak zauważyć, że tory kolejowe mają ciągłość elektryczną na terenie całej RP a długość zelektryfikowanych linii kolejowych jest powyżej 20 tysięcy kilometrów. Rezystancja wzdłużna torów dla szyn kolejowych jest poniżej $20 \text{ m}\Omega/\text{km}$ [4]. Każde torowisko charakteryzuje się upływnością jego izolacji od otaczającego gruntu. Można zatem traktować torowisko jako uziom, gdyż rezystancja doziemna jednego kilometra toru zgodnie z wymaganiami norm [2] powinna być nie mniejsza niż $2 \Omega\text{km}$. Należy przy tym zauważyć, że w normie [2] operuje się pojęciem konduktancja przejścia szyny ziemia dla pojedynczego toru i dla torowiska budowy otwartej jakiej przeważa na kolei, podana została dopuszczalna jednostkowa konduktancja przejścia nie większa niż ($0,5 \text{ S}/\text{km}$). Wartość ta odpowiada $2 \Omega\text{km}$ rezystancji przejścia szyny-ziemia. Na nowych torach wartość rezystancji doziemnej jest większa od $2 \Omega\text{km}$ a na torach starych jest zdecydowanie mniejsza.

W szczególności przy bezpośrednich uszynieniach indywidualnych konstrukcji wsporczych na których zawieszona jest sieć górna, wypadkowa rezystancja doziemna może wynosić nawet poniżej $0,5 \Omega\text{km}$. Z prostych obliczeń wynika, że wypadkowa rezystancja szyn względem ziemi praktycznie w każdym miejscu torów jest w granicach $0,1 \div 0,2 \Omega$. Rezystancji doziemnej torów nie da się w prosty sposób zmierzyć z uwagi na rozległość takiego „uziomu” chociaż w normie [2] z 2011 r. zaproponowany jest układ pomiarowy do wyznaczenia lokalnej jednostkowej konduktancji przejścia szyny ziemia. Można stwierdzić, że kolej ma też swój globalny „uziom” na terenie całej RP o wypadkowej rezystancji doziemnej $0,1 \div 0,2 \Omega$.

Tramwaje

Tramwaje tak jak kolej ma ciągłość elektryczną torów w całej aglomeracji o długości od kilkudziesięciu do kilkuset kilometrów. Na większości sieci tramwajowych w Polsce torowisko zbudowane jest z lżejszych szyn kolejowych (o większej rezystancji) lub szyn rowkowych zwanych tramwajowymi, które mają nieco mniejszą rezystancję wzdłużną od cięższych szyn kolejowych. W przypadku torowiska tramwajowego systemu sterowania ruchem nie ograniczają zastosowania poprzecznych łączników szynowych [4]. Dzięki temu rezystancja torowiska jest poniżej $10 \text{ m}\Omega/\text{km}$. Tory tramwajowe na znacznej długości są wykonane w układzie zamkniętej szyny co oznacza, że główka szyny jest na poziomie jezdni [2]. Stwarza to problemy z zachowaniem odpowiedniej rezystancji szyny od ziemi mimo stosowania różnego rodzaju izolacji generalnie przeznaczanych do tłumienia drgań mechanicznych w tym i akustycznych [5]. Norma [2] przewiduje też pięciokrotnie mniejsze wymagania odnośnie rezystancji doziemnej dla toru budowy zamkniętej. Według [3] jednostkowa konduktancja przejścia szyna ziemia pojedynczego toru nie powinna być większa niż $2,5 \text{ S}/\text{km}$. Zatem wypadkowa rezystancja doziemna torowiska budowy zamkniętej nie powinna być mniejsza niż $0,4 \Omega\text{km}$. W przypadku torowisk tramwajowych stosuje się uszynianie słupów trakcyjnych znajdujących się w pobliżu torów.

Od kilku lat na nowych i remontowanych sieciach tramwajowych uszynia się jedynie słupy trakcyjne stojące w torowiskach na których znajduje się aparatura trakcyjna i kable

zasilające sieć górną, co powoduje zmniejszanie wypadkowej rezystancji doziemnej torowiska i nie jest to zgodne z obowiązującymi normami [1, 2]. Zgodnie z tymi normami, przy napięciu do 1,5 kV prądu stałego bezpieczeństwo zapewnia podwójna izolacja zawieszenia sieci górnej.

Można oszacować z dużym prawdopodobieństwem, że wypadkowa rezystancja doziemna torów tramwajowych mieści się w granicach $0,1 \div 0,5 \Omega$ w zależności od długości i wieku torów w danej aglomeracji.

Mamy więc do czynienia z kolejnym „uziomem” o małej rezystancji.

Metro

Wprawdzie długość I linii metra w Polsce jest niewielka, w porównaniu do kolei i tramwajów, niemniej z uwagi na duże obciążenia oraz obudowę tunelu z czym wiąże się „ziemia tunelu”, wypadkowa rezystancja doziemna związana z metrem powinna być brana pod uwagę.

Wypadkowa rezystancja szyn całej pierwszej linii metra względem ziemi (ziemi tunelu) wynosi ok. $1,2 \Omega$, ale bez torów zajezdni Kabaty [6].

W normalnym układzie tory Stacji Techniczno-Postojowej Kabaty są przyłączone do torów szlakowych rezystancja przejścia szyny ziemia wynosi ok. $0,3 \Omega$.

Rezystancja obudowy tunelu względem ziemi odniesienia wynosi już mniej i zawiera się w granicach $0,1 \div 0,2 \Omega$ [7].

Podstacje trakcyjne zasilające metro są wybudowane w podziemnych konstrukcjach stacji pasażerskich, a to oznacza, że ich uziom ma bezpośrednie połączenie z ziemią tunelu. Z drugiej strony podstacja jest zasilana linią kablową SN z energetyki zawodowej co oznacza, że przy obecnych rozwiązaniach globalny uziom energetyki zawodowej jest połączony bezpośrednio z ziemią tunelu. Na pierwszej linii metra zbudowano w korpusie stacji Rejonowy Punkt Zasilania (110/15kV). Uziomem dla tego RPZ jest podziemna konstrukcja metra. Przeprowadzone na ekranach kabli przyłączonych do RPZ-tu pomiary przepływających prądów o częstotliwości poniżej 30 Hz wykazały występowanie makroogniwa na tle którego widoczne są oddziaływania tramwajowe i kolejowe [8]. Wnioskiem z tych badań jest spostrzeżenie, że wprowadzenie pomiędzy ekrany kabli SN i WN a uziom RPZ urządzenia zwierającego te elementy tylko w sytuacjach zagrożenia – tj. pojawianie się nadmiernej różnicy napięcia pomiędzy nimi – eliminuje przepływ prądów błędnych (ziemnych wyrównawczych) pomiędzy konstrukcją metra a uziomami energetyki zawodowej.

3. Zagrożenia wynikające z aktualnych połączeń między wyżej wymienionymi uziomami

Uziom globalny sieci publicznej dotyczy zarówno energetyki zawodowej jak też energetyki kolejowej jako dystrybutora energii elektrycznej działającego jako jeden z wielu zakładów. Uziomy obu tych właścicieli są połączone między sobą przez linie przesyłowe lub zasilające na poziomie WN i kablowe SN. Energetyka kolejowa zasila też odbiorców publicznych w tym dworce i inne obiekty użyteczności publicznej.

Normy kolejowe wymagają, aby uziomy znajdujące się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej wynoszącej 5 m od osi torów (wymagające uszynienia) nie miały żadnych połączeń elektrycznych z innymi uziomami a przede wszystkim z globalnym uziomem sieci publicznej. Dotyczy to również wszystkich podstacji trakcyjnych zasilających sieć jezdnią niezależnie od odległości od torów, gdyż szyna minusowa podstacji trakcyjnej jest połączona kablami powrotnymi bezpośrednio z torem kolejowym (tramwajowym, czy metra).

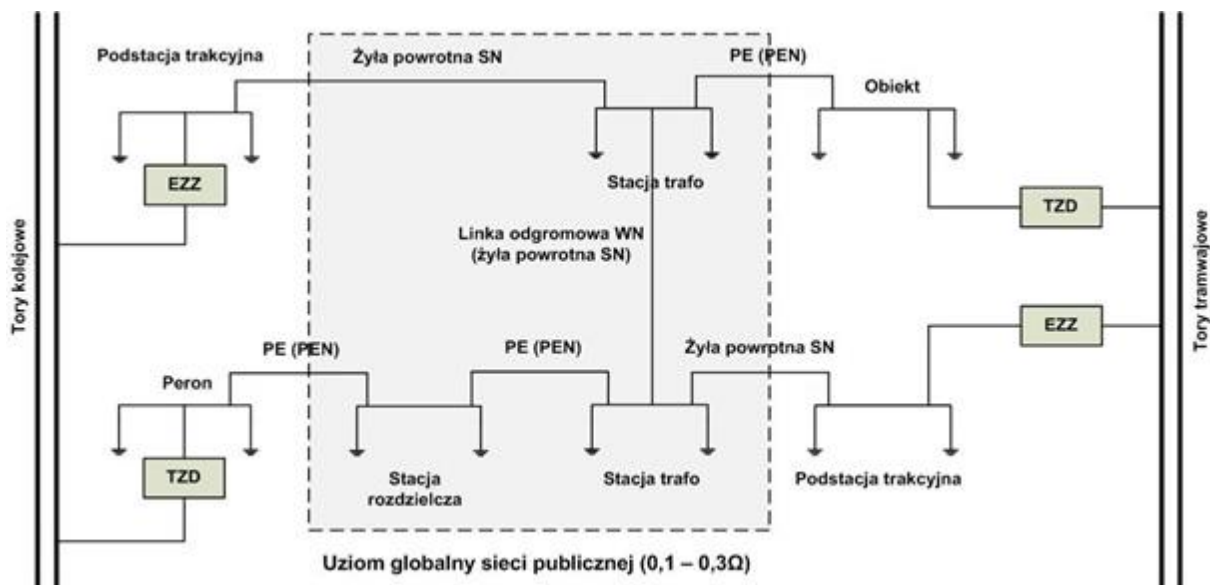
W aktualnym standardzie zasilania z energetyki zawodowej lub kolejowej, urządzeń znajdujących się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej kolejowej lub tramwajowej wymagających uszynienia otwartego dla zapewnienia wyłączalności zwarć doziemnych, istnieje realna możliwość połączenia metalicznego między torami kolejowymi a tramwajowymi przez uziom globalny energetyki zawodowej. Połączenia takie występują w momencie zadziałania urządzeń ochrony ziemnozwarciowej EZZ lub ograniczników niskonapięciowych TZD w warunkach zwarciovych lub zakłóceńowych.

Na rys. 1 pokazany jest schemat takich połączeń.

Wszystkie kolejowe podstacje trakcyjne wyposażone są w urządzenie ochrony ziemnozwarciowej EZZ nadzorujące napięcie między szyną minusową a uziomem. W przypadku przekroczenia napięcia progowego szyna minusowa jest łączona z uziomem. Podczas prac konserwacyjnych w podstacji ze względów bezpieczeństwa szyna minusowa jest celowo uziemiana.

Inne obiekty znajdujące się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej (mosty, wiadukty, szafy przytorowe itp.) są uszyniane przez ograniczniki niskonapięciowe TZD. W przypadku zwarć doziemnych, przepięć łączeniowych czy też zakłóceń w sieci powrotnej ogranicznik przechodzi w stan przewodzenia i łączy szyny kolejowe z uziomem obiektu chronionego, do czasu ustąpienia przyczyny (ograniczniki nie mają obwodu komutacyjnego).

Identyczne rozwiązania techniczne są coraz powszechniej stosowane w trakcji tramwajowej, a w szczególności podczas modernizacji lub budowy nowych układów zasilania gdzie rozwiązanie z EZZ jest uznane za standardowe.



Rys. 1 Schemat połączeń uziomów przez linki odgromowe, żyły powrotne oraz przewody PE (PEN).

W metrze żyły powrotne kabli SN są bezpośrednio uziemione, czyli mają połączenie z ziemią tunelu. Między ziemią tunelu a szynami metra na każdej stacji pasażerskiej są urządzenia ciągłej kontroli napięcia rażenia (UCKNR) i w przypadku przekroczenia napięcia progowego [1] szyny są zwierane z ziemią tunelu. Oznacza to, że tory metra mogą mieć również być metaliczne połączenie z uziomem globalnym.

Istnieje kilka grup zagrożeń wynikających z takich połączeń.

1. Występują momenty kiedy szyny kolejowe, tramwajowe i metra są połączone między sobą przez system połączonych uziemień oraz systemy zabezpieczeń typu EZZ, TZD lub UCKNR, co stwarza możliwość przepływu prądów powrotnych (np. kolejowych) przez

szyny tramwajowe (metra) i następnie powrót przez instalacje połączonych uziomów do podstacji zasilającej. Prądy te będą przepływać przez instalacje systemu energetyki zawodowej oraz innych odbiorców przyłączonych do tej instalacji. Część tych prądów płynie ziemią.

2. Uziomy urządzeń lub budowli znajdujących się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej kolejowej lub tramwajowej (5 m od osi toru) znajdują się w stożku potencjału szyn i są bezpośrednio połączenie z systemem uziomu globalnego energetyki, powoduje wzrost prądów błędnych na terenie całej aglomeracji i zwiększa zagrożenie korozyjne urządzeń podziemnych.
3. Prądy błędzące wypływające z szyn kolejowych lub tramwajowych oraz przez uziomy znajdujące się w stożku potencjału szyn, wpływają do uziomu globalnego i mogą bezpośrednio wracać do uziomu podstacji zasilającej.
4. Obecność prądów błędzących w instalacji uziomu globalnego (spowodowana szczególnie dla przypadku opisanego w pkt. 1 i 3), powoduje wzrost potencjału uziomu w podstacji trakcyjnej i zadziałanie ochrony EZZ łączącej uziom podstacji z szyną minusową. Prąd błędzący nie musi wracać do szyn, tylko bezpośrednio wpływa do szyny minusowej podstacji. Prądy te mają znaczące wartości, gdyż często powodują wyłączenia podstacji, a to oznacza, że przekraczają wartość 600 A w trakcji kolejowej lub 400 A w trakcji tramwajowej.

Przypadki wyżej opisane są szczególnie niebezpieczne w sytuacjach awaryjnych, np. podczas zwarć doziemnych w sieci trakcyjnej lub podczas wystąpienia przerwy w sieci powrotnej. W obu tych przypadkach następuje zadziałanie ogranicznika TZD co spowoduje wprowadzenie części prądu zwarcia lub obciążenia do instalacji uziomu globalnego. W pierwszym przypadku może to spowodować zagrożenie porażeniowe u innych odbiorców przyłączonych do globalnej sieci uziomowej.

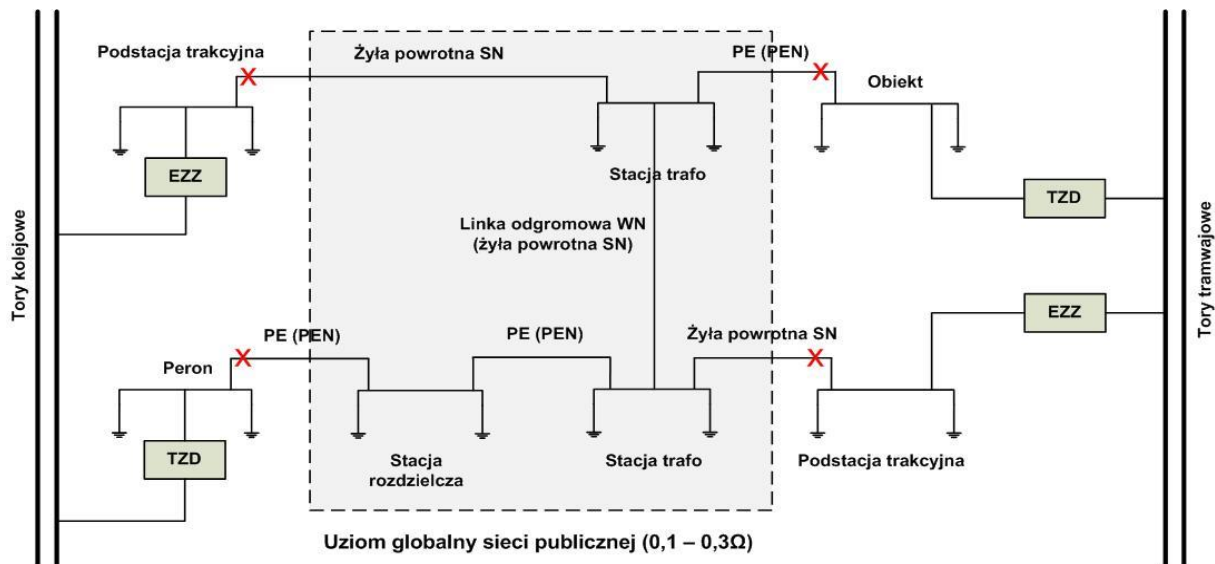
W drugim przypadku może nastąpić uszkodzenie instalacji nn polegającej na uszkodzeniu przewodów PE (PEN) na obiekcie w którym zadziałał TZD. Dotyczy to w szczególności instalacji na przystankach (stacjach) oraz mostach (wiaduktach) gdzie instalacja nn ma metaliczne połączenia z konstrukcją mostu. Dotyczy to zarówno trakcji kolejowej jak i tramwajowej i przypadki termicznego uszkodzenia przewodów zerowych (neutralnych) miały już miejsce.

W stanach awaryjnych (zwarcia, przerwa w sieci powrotnej) z uwagi na stosunkowo krótkie czasy występuje tylko zagrożenie porażeniowe (wynoszenie potencjałów) lub uszkodzenie instalacji nn przez część prądów zwarciovych lub obciążeniowych.

W normalnych warunkach pracy systemów trakcyjnych prądu stałego metaliczne połączenie uziomów w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej z uziomem globalnym zwiększa korozyjne zagrożenia metalowych instalacji podziemnych.

4. Rozwiązania eliminujące połączenia uziomów w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej od globalnego uziomu sieci publicznej

Na rys.2 pokazane są miejsca oznaczone znakiem **X**, gdzie należy stworzyć przerwę pomiędzy uziomem danego obiektu wymagającego uszynienia a uziomem globalnym sieci publicznej. To samo dotyczy metra, ale nie zostało pokazane na rysunku.



Rys. 2. Miejsca wykonania przerw między uziomami

Sieć niskiego napięcia

W sieci niskiego napięcia najprostszym rozwiązaniem zapewniającym przerwę elektryczną między uziomem globalnym obiektem uszynianym, jest zasilanie danego obiektu w układzie TT. Do zabezpieczeń zwarciovych w kablu zasilającym oraz przyłączy kablowym wystarczy wyłącznik (stycznik) wyposażony w człon różnicowy o czułości $1 \div 5$ A. Poprawne działanie takiego członu różnicowego powinien zapewnić uziom obiektu zasilanego o rezystancji na poziomie $10 \div 20 \Omega$. Rozwiązanie jest proste, zgodne z normami ogólnymi oraz kolejowymi i nie wymaga specjalnych nakładów inwestycyjnych. Wyłącznik nadmiarowy wyposażony w człon różnicowy jest niewiele droższy od zwykłego wyłącznika. Stosowanie innych rozwiązań jest droższe i bardziej kłopotliwe. Na przykład zastosowanie transformatora separacyjnego w obiekcie zasilanym nie zapewnia wyłączalności zwarć doziemnych w linii zasilającej.

Sieć średniego i wysokiego napięcia

W sieci SN najprostszym rozwiązaniem byłoby izolowanie żył powrotnych od uziomu zasilanego obiektu, np. podstacji trakcyjnej lub innej stacji transformatorowo-rozdzielczej zasilanej kablami SN. Rozwiązanie takie stwarzałoby jednak zagrożenie porażeniowe w przypadku zwarć doziemnych w obwodach SN na terenie stacji oraz brak ciągłości żył powrotnych w przypadku zasilania z tej stacji innych obiektów na poziomie SN. W celu zapewnienia bezpieczeństwa oraz ciągłości żył powrotnych proponuje się następujące rozwiązanie.

Wszystkie żyły powrotne kabli SN wchodzących i wychodzących do danej rozdzielni należy odizolować od ziemi i połączyć między sobą. Odizolowane i połączone żyły należy połączyć z uziomem danej stacji przez ogranicznik niskonapięciowy. Połączenie wszystkich żył powrotnych kabli SN wchodzących i wychodzących z danej stacji SN zapewnia wyłączalność zwarć w kablach SN (ciągłość żył powrotnych) niezależnie od układu zasilania (promienisty, gwiazdowy), jak też dowolnej zmiany kierunku zasilania w warunkach awaryjnych. Pod względem wyłączalności zwarć w kablach jest to układ równoważny do układu jakby wszystkie te żyły były uziemione (instalacja uziemiająca łączy wszystkie żyły kabli wchodzących i wychodzących). Szczególnie w trakcji tramwajowej zasilanie podstacji

trakcyjnych jest dość skomplikowane. Podstacje zasilane są szeregowo, rezerwują się nawzajem itp.

W przypadku zwarć doziemnych w obwodach SN na terenie danej rozdzielni, następuje wzrost napięcia uziomowego, co spowoduje zadziałania ogranicznika niskonapięciowego, a tym samym zamknięcie obwodu zwarciovego do wszystkich żył powrotnych stanowiących metaliczną drogę powrotną dla prądu zwarciovego do źródła zasilania. Charakterystyka czasowo – napięciowa ogranicznika leży poniżej napięć dopuszczalnych związanych z ochroną porażeniową czyli nie stanowi zagrożenia porażeniowego.

Rozwiązanie takie zostało przebadane przez obecny Instytut Kolejnictwa i dopuszczone do stosowania w kolejowych podstacjach trakcyjnych [3]. Rozwiązanie to może być z powodzeniem stosowane w podstacjach tramwajowych i metra oraz innych stacjach rozdzielczych SN gdzie jest zagrożenie przepływu prądów błądzących żyłami powrotnymi kabli SN.

Teoretycznie powyższe rozwiązanie może być stosowane w liniach zasilających na poziomie WN, np. w linie odgromowej lub żył powrotnej linii kablowej WN. Stosowane ograniczniki TZD z powodzeniem wytrzymują spodziewane prądy zwarciovowe, jednak do tej pory nie przeprowadzono takich badań.

5. Wnioski

1. Podane w artykule szacunkowe wartości globalnej rezystancji energetyki zawodowej, kolei czy tramwajów są częściowo poparte wynikami pomiarów. Wielokrotnie były wykonywane pomiary rezystancji między torami kolejowymi a uziomem podstacji trakcyjnej połączonej żyłą powrotną kabla SN z uziomem globalnym, odpowiednim miernikiem impulsowym mierzącym sumę tych rezystancji. Uzyskano następujące wyniki:
 - $0,2 \div 0,5 \Omega$ dla podstacji zasilanych linią kablową z uziemionymi żyłami powrotnymi w tej podstacji (połączenie uziomu podstacji z uziomem globalnym),
 - $0,5 \div 2,0 \Omega$ dla podstacji zasilanych linią napowietrzną (brak połączenia uziomu podstacji z uziomem globalnym).
2. Przywołane normy kolejowe [1, 2] wydane przez PKN, powinny obowiązywać wszystkie podmioty gospodarcze, w tym przede wszystkim energetykę zawodową i kolejową. Zaproponowane w artykule rozwiązania nie są sprzeczne z normami ogólnego stosowania a jedynie je zawężają. Rozwiązania techniczne (EZZ, TZD) są na kolei stosowane z powodzeniem od wielu lat, i były wdrażane jeszcze przed wprowadzeniem przywołanych norm kolejowych. Przedstawione w artykule rozwiązania ograniczają zdecydowanie prądy błądzące oraz zapewniają bezpieczeństwo porażeniowe. Podmioty nie tylko kolejowe, nie przestrzegające tych norm kolejowych powinny ponosić odpowiedzialność, w tym finansową, za uszkodzanie się podziemnych instalacji metalowych spowodowanych przez prądy błądzące.
3. Urządzenia ochrony ziemnozwarciowej typu EZZ są dedykowane dla podstacji trakcyjnych kolejowych, tramwajowych i metra dla zapewnienia wyłączalności zwarć doziemnych w obwodach prądu stałego. Dwukierunkowe ograniczniki niskonapięciowe typu TZD są dedykowane do zapewnienia wyłączalności zwarć doziemnych w sieci trakcyjnej w przypadku przebicia izolacji głównej lub opadnięcia sieci na urządzenia montowane w odległości do 5 m od osi toru. W obu tych rozwiązaniach podstawowym elementem jest urządzenie ograniczające napięcie, zdefiniowane przez normę kolejową PN-EN 50526-2:2014E [10]. Oznacza to, że w normalnym układzie urządzenia te są w stanie wysokiej rezystancji (prąd upływu nie większy niż 50 mA) a w przypadku zwarcia

doziemnego lub innych zakłóceń napięciowych przechodzą w stan przewodzenia ograniczając napięcie do dopuszczalnego poziomu.

4. Ograniczniki TZD mogą być z powodzeniem stosowane w obwodach ziemnozwarciowych prądu przemiennego, co zostało potwierdzone badaniami [3]. Zaproponowany w artykule układ łączenia między sobą żył powrotnych kabli SN i połączenie przez ogranicznik TZD do uziomu danego obiektu, może być stosowany nie tylko w podstacjach trakcyjnych, ale również w dowolnych stacjach transformatorowo-rozdzielczych, gdzie występuje zagrożenie przepływu znaczących prądów błędnych żyłą powrotną kabli SN. Podany sposób łączenia między sobą żył powrotnych wszystkich linii wchodzących i wychodzących z danego obiektu, zapewnia ciągłość tych żył niezależnie od układu zasilania, co gwarantuje wyłączalność zwarć doziemnych w tych kablach niezależnie od konfiguracji układu zasilania.
5. W przypadkach zasilania sieci tramwajowych bezwzględnie zaleca się stosowanie ograniczników TZD na ekranach wchodzących i wychodzących kabli SN do podstacji tramwajowej aby izolować uziom podstacji trakcyjnej od uziomów energetyki w mieście. Zalecenie to wynika z faktu, że doświadczenia z prac badawczo odbiorowych prowadzonych na torowiskach budowy zamkniętej [9] wykazują duże rozrzuty w mierzonych wartościach jednostkowych konduktancji przejścia szyny ziemia co przy metalicznie zwartych uziomach sprzyja zjawisku prądów błędnych.

Literatura

- [1] *PN-EN 50122-1 - Zastosowanie kolejowe. Urządzenia stacjonarne. Część 1: Środki ochrony dotyczące bezpieczeństwa elektrycznego i uziemień,*
- [2] *PN-EN 50122-2 - Zastosowanie kolejowe. Urządzenia stacjonarne. Część 1: Środki ochrony przed oddziaływaniem prądów błędnych wywołanych przez trakcję elektryczną prądu stałego,*
- [3] *Praca nr 3244/12 pn.: „Zastosowanie ograniczników niskonapięciowych w żyłach powrotnych kabli zasilających PT Warszawa Wschodnia i PT Warszawa Praga” – CNTK, Listopad 2005 r.*
- [4] Dziuba Władysław: *“Sieć powrotna i prądy błędne”*. Wydawnictwo Książkowe Instytutu Elektrotechniki, Warszawa 1995 r.
- [5] Dąbrowski J. Dziuba W.: *Badania jednostkowej konduktancji przejścia torów tramwajowych w Warszawie SEMTRAK 2002 s. 417-426*
- [6] Dąbrowski J., Magdalińska A.: *Jednostkowa konduktancja przejścia szyny-tunel w okresie siedmioletniej eksploatacji metra warszawskiego SEMTRAK 2002 s. 437-442*
- [7] Dziuba W., Dąbrowski J.: *Rezystancje w obwodach prądów powrotnych Warszawskiego Metra SEMTRAK 1996 s.*
- [8] Dąbrowski J., Dziuba W.: *Wpływ kabli RPZ „Pałac” na prądy błędne w tunelach metra warszawskiego SEMTRAK 2002 s. 427-436*
- [9] Dąbrowski J.: *Współczesne miejskie torowiska tramwajowe budowy zamkniętej – czyżby koniec korozyjnych problemów wywołanych przez prądy błędne. Ochrona przed Korozją nr 8/2013.*
- [10] *PN-EN 50526-2:2014E - Zastosowanie kolejowe. Urządzenia stacjonarne. Ograniczniki przepięć prądu stałego i urządzenia ograniczające napięcie. Część 2: Urządzenia ograniczające napięcie.*

LIMITATION OF STRAY CURRENTS BY SPILITTING THE EARTHING SYSTEM PROFESSIONAL POWER FROM THE POWER TRAIN, TRAM AND SUBWAY

SUMMARY

Currently used standards for supply of railway, tram and subway by the power industry make metal combination of all these earths with each other through the veins return MV cables or PE conductor or PEN low-voltage cables. Such connections allow the flow of stray currents between the system of rail, tram and subway system earthing power plants. This creates the possibility of the occurrence of stray currents throughout the whole agglomeration, threatening electrochemical corrosion underground installation of metal. In our material, a method of eliminating a power connection.