

Prądy błędzące – system ochrony i monitoringu, rozwiązania stosowane w metrze i próba ich przeniesienia do kolei

Jarosław Kalemba

Omówiono genezę pojawiania się prądów błędzących, jako źródła korozji elektrochemicznej. Na przykładzie metra w Panamie i metra w Warszawie przedstawiono metodę ich ograniczenia oraz metodę ich monitoringu. Dwa omawiane przykłady są obecnie w trakcie realizacji i są obrazem najnowszych osiągnięć związanych z ochroną przed oddziaływaniem prądów błędzących. Artykuł jest próbą dyskusji podjętą w celu ochrony obiektów przed szkodliwym działaniem prądów błędzących. Prądów, których obecność jest również przy sieci tramwajowej i kolejowej.

Artykuł recenzowany zgodnie z wytycznymi MNiSW

data zgłoszenia do redakcji: 23.09.2013

data akceptacji do druku: 23.12.2013



mgr inż. Jarosław Kalemba
SYSTRA S.A.
Oddział w Polsce, Wrocław
jkalemba@systra.com

Prądy błędzące – geneza i skutki

Prądy błędzące, wypływają do ziemi z niedostatecznie odizolowanego przewodu lub urządzenia zwłaszcza przy zasilaniu prądem stałym. Torowisko tak jak przewód charakteryzuje się jednostkową rezystancją wzdłużną (rezystywność $Fe > 0$) co określa na jaki opór napotyka prąd przepływający przez torowisko trakcyjne.

Jednostkowa konduktancja przejścia szyny – ziemia. Określa ona upływność prądu z/do torowiska i jest drugim parametrem charakterystycznym każdego torowiska dla prądów błędzących. Wartość konduktancji przejścia w dużej mierze zależy od warunków atmosferycznych, czystości podłoża, odległości podsypki od stopki szyny.

Prądy błędzące, przyczyniają się do intensyfikacji korozji elektrochemicznej. Poniżej na rys. 1 przedstawiony jest schemat działania korozji elektrochemicznej z depolaryzacją tlenową.

Korozja elektrochemiczna spowodowana jest procesami elektrochemicznymi, zachodzącymi wskutek występowania różnych potencjałów na powierzchni korodującego obiektu, znajdującego się w środowisku elektrolitu. Fragment powierzchni metalu o niższym potencjale jest anodą – zachodzi na nim utlenianie metalu, przechodzącego do roztworu. Na katodach ogniw korozyjnych zachodzą reakcje redukcji tzw. de-

polaryzatora, którym jest często cząsteczkowy tlen z powietrza (depolaryzacja tlenowa) lub jony wodorowe (depolaryzacja wodorowa), ulegające redukcji do wodoru gazowego.

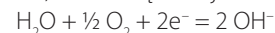
Prąd błędzący jest wynikiem ubocznym rezystancji torowiska czyli braku możliwości powrotu w 100% prądu trakcyjnego zasilającego tabor poprzez sieć torową i kable powrotne. Upływ prądu z jego przewidzianych (zamierzonych) dróg przepływu w torowisku wynika z braku możliwości odizolowania szyn w 100 % od ziemi. Praktycznie zawsze pojawia się droga, która umożliwia przenikanie elektronów, jonów do ziemi, następnie przejście na metalowe konstrukcje uzbrojenia terenu o innym potencjale (rurociąg, ciepłociąg, kabel energetyczny, uzbrojenie wiaduktu). By następnie przy odpowiedniej róż-

nicy potencjałów wypłynąć, bliżej punktu powrotnego. W przypadku wystąpienia różnicy między potencjałami fragmentów powierzchni metalu powstają ogniwa galwaniczne, nazywane ogniwami korozyjnymi, w których [6]:

- na fragmentach o niższym potencjale (anodach) zachodzą reakcje utleniania, np:

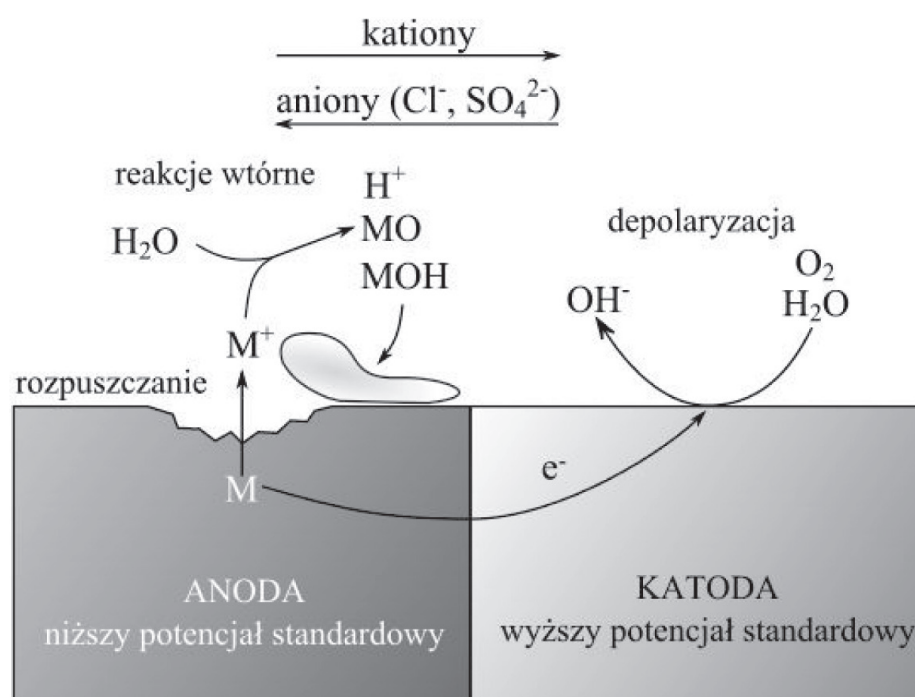


- na fragmentach o wyższym potencjale (katodach) zachodzą reakcje redukcji, np.:



- elektrony przemieszczają się od anody w kierunku katody (przewodnictwo elektronowe, I rodzaju)

- aniony przenoszą odpowiednią ilość ujemnych ładunków w kierunku od katody do anody (przewodnictwo jonowe, elektrolityczne, II rodzaju)



1. Schemat ogniwa korozyjnego z depolaryzacją tlenową

Na rysunkach: **2 i 3** przedstawiono schemat powstawania prądów błędzących. [4]

Na fotografii 4 została przedstawiona szyna tramwajowa, odkopana po kilkudziesięciu eksploatacji (miasta Łódź). [4]

Na proces korozji tych szyny znajdujących się w ziemi wpływ miała obecność prą-

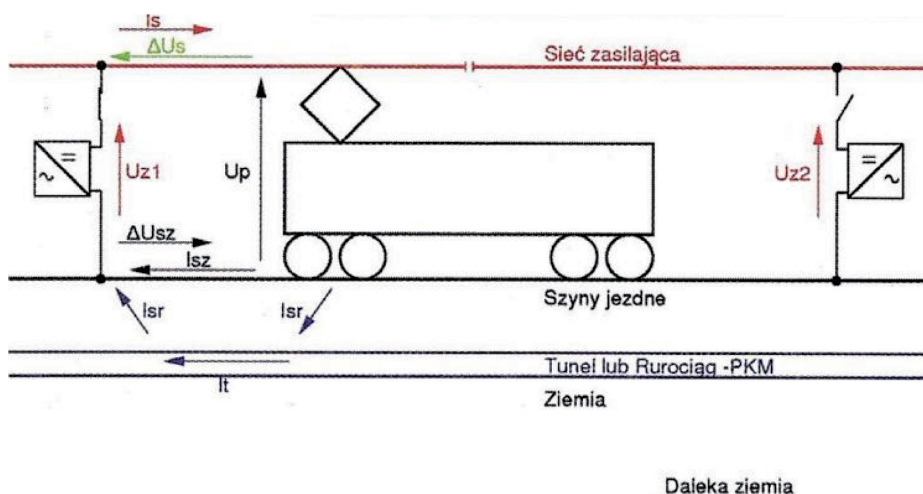
dów błędzących, ponieważ szyny te były przez cały czas połączone z eksploatowanym torowiskiem. W końcowym okresie ten odstawczy tor nie był wykorzystywany przez tabor. Możemy stwierdzić, że korozja elektrochemiczna podziemnych konstrukcji metalowych w infrastrukturze miejskiej ma bar-

dzo istotne destrukcyjne znaczenie. Z punktu widzenia źródła prądów błędzących możemy próbować ograniczyć ich występowanie, ukierunkować ich przepływ na elementy przez nas specjalnie w tym celu zabudowane (kolektory, drenaże), możemy je monitorować i analizować jak i czy degradujący wpływ mają na chroniony przez nas element (szyny, sieci, zbrojenia).

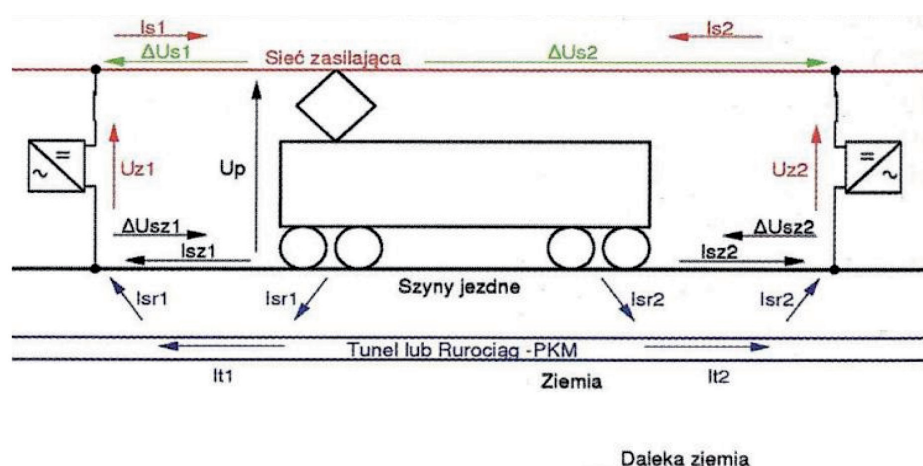
Kolektor na prądy błędzące – rozwiązanie wykorzystywane na metrze w Panamie

Metro w Panamie, którego budowa jest obecnie realizowana, posiada charakter napowietrzno – podziemny. Ochrona przed prądami błądzącymi w całości oparta jest o ideę odpowiedniego „wyłapania” i ukierunkowywania pojawiających się prądów błądzących. Prądy upływające z szyn torowiska poprzez odpowiednią konstrukcję podtorza i dodatkową jego izolację są odprowadzane do podstacji trakcyjnej. Jest to ściśle powiązane z siecią pionowych i poziomych uziemień (rys. 6).

Globalny system uziemienia, poprzez odpowiedni układ połączeń systemów uziemień części podziemnej i na estakadach zapewnia, że nawet w awaryjnych stanach zasilania nie występują żadne niebezpieczne napięcia dotykowe. Systemy te pozwalają na podział uziemienia w sposób, który prowadzi do zmniejszenia wzrostu potencjału ziemi w lokalnym systemem uziemienia. System taki, można powiedzieć tworzy quasi-wyrównane powierzchnie ekwipotencjalne. To znacznie ogranicza wartości napięcia dotykowego i krokowego. Wspólna Ziemia obejmuje wszystkie uziomy w gruncie, zbrojenie wszystkich konstrukcji betonowych, w tym płyty do utworzenia podtorza, korytka kablowe, ekrany kabli, rury przenikające przez konstrukcje podziemną. Należy zwrócić uwagę, że segmenty zbrojenia tunelu nie muszą być ze sobą połączone. Całość budowanego uziemienia połączona jest miedzianym kablem o przekroju 95 mm². Przekrój tego kabla dobrano do następujących parametrów napięcia faza – ziemia 13,2 kV (napięcia fazowego zasilania prądem przemiennym), prądu zwarcia 12,5 kA, i skutecznym zadziałaniem zabezpieczenia w czasie 0,45 s. Izolacja szyn w torowisku spełnia wymagania EN 50122-2, tj. prąd upływu z pojedynczej ścieżki nie powinien przekraczać 2,5 mA/m w ciągu 24 godzin. Można to zaprezentować na poniższym rysunku.



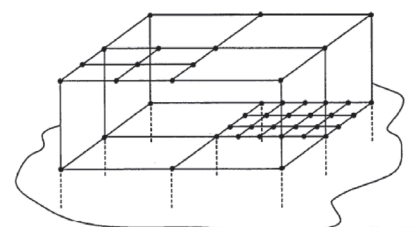
2. Mechanizm powstawania prądów błędzących w sieci trakcyjnej przy jednostronnym zasilaniu, gdy plus podawany jest na sieć zasilającą.



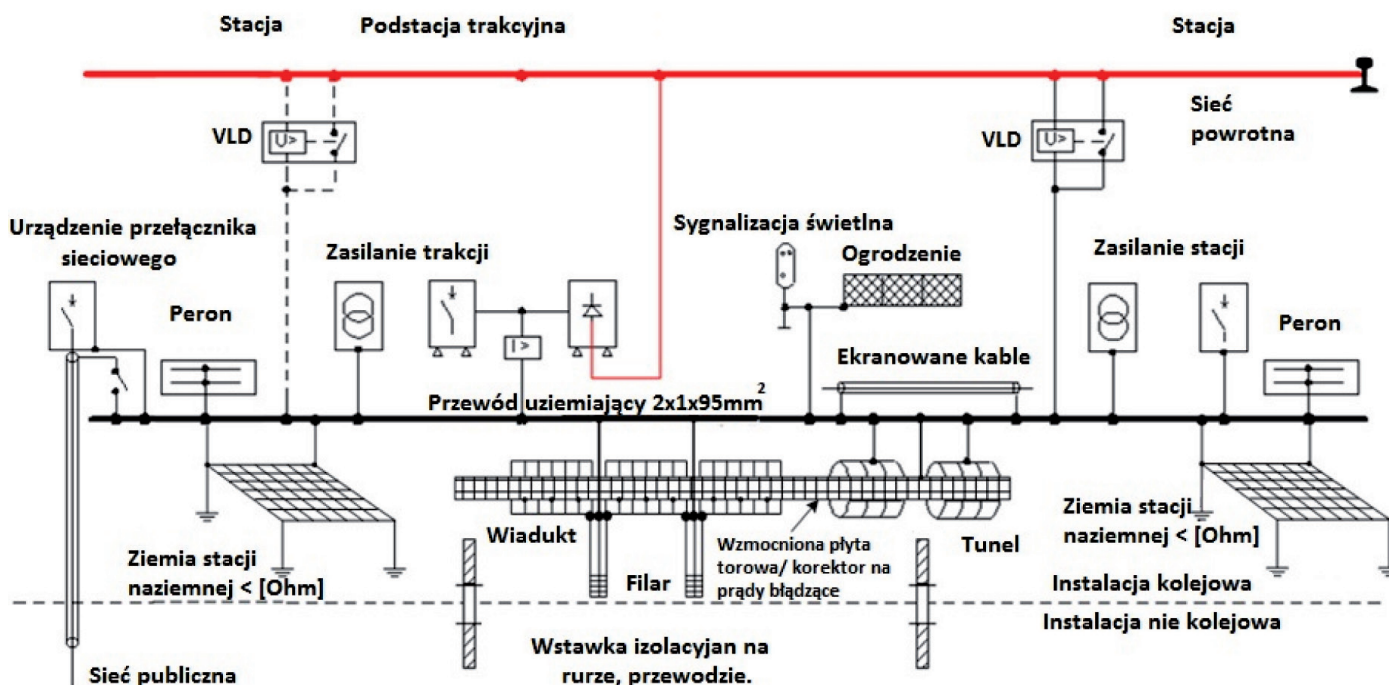
3. Mechanizm powstawania prądów błędzących w sieci trakcyjnej przy dwustronnym zasilaniu, gdy plus podawany jest na sieć zasilającą (przypadek sieci kolejowej oraz metra przed modernizacją systemu zasilania).



4. Korozja uszkodzenia szyjki szyny tramwajowej po odkopaniu otaczającej szynę ziemi (pseudo zielone torowisko).



6. Schemat rozkładu przestrzennego uziemienia pionowego i poziomego.

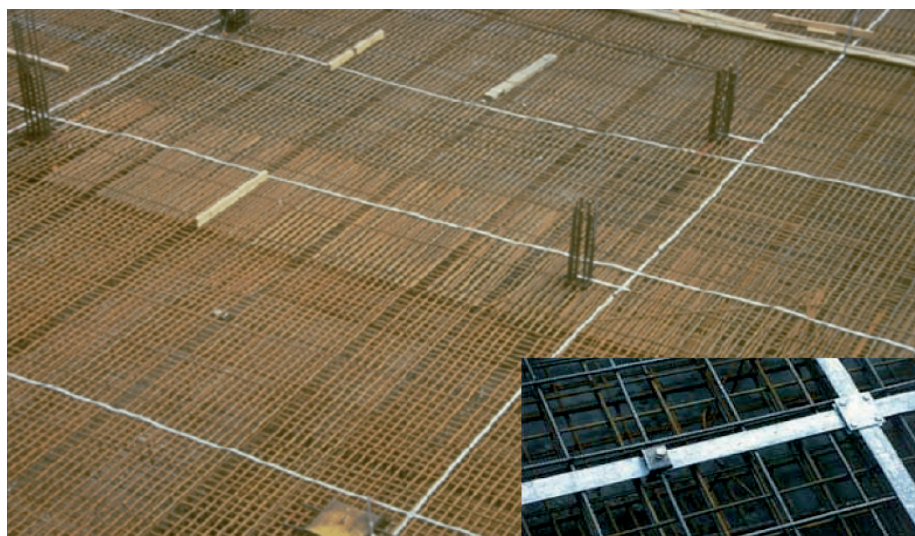


5. Połączenia uziemiające dla wszystkich elementów przewodzących zgodnie z IEC 61000-5-2 (kompatybilność elektromagnetyczna).

Prawidłowo wykonane uziemienia i okablowanie zasilania urządzeń elektrycznych/elektronicznych chronią te urządzenia od przenikania prądów błądzących i oddziaływania korozyjnego na konstrukcje ale również chronią aparaturę przed oddziaływaniami elektromagnetycznymi w tym również przed wyładowaniami atmosferycznymi (piorunami) oraz od wyładowań elektrostatycznych. Poniżej na zdjęciu prezentujemy, jak powyższy system uziemień wygląda w rzeczywistości podczas montażu. [5] Na zbrojeniu układane są taśmy z ocynkowanej bednarki i punktowo łączone ze zbrojeniem (rys. 7).

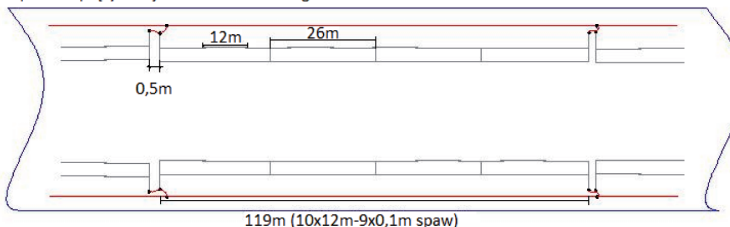
W celu zmniejszenia wartości prądów błądzących w konstrukcji tunelu, budowane są przerwy z izolacją elektryczną. W miejscu tym wszystkie elementy umożliwiające przewodzenie prądu elektrycznego powinny posiadać przerwę izolacyjną (wstawkę). Dla kolektorów na prądy błądzące przyjęto następujące rozwiązanie (rys. 8).

Prądy błądzące opuszczając szynę wchodzi w kolektor (zbrojenie dodatkowe podtorza) lub w strukturę ziemi, aby gdy potencjał szyny jest mniejszy wpłynąć z powrotem do szyny (głównie w okolicach podstacji trakcyjnej). Prądy błądzące rozpraszane poprzez kabel Cu 95 mm² a zbrojeniem, umożliwiają utrzymanie spadku napięcia na zbrojeniu na poziomie poniżej 200mV co jest zgodne z EN 50162 [3] na ochronę stali w betonie.

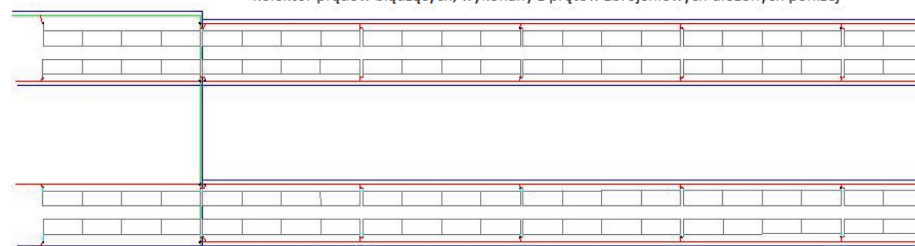


7. Elektrody uziemienia połączone z zbrojeniem budynku.

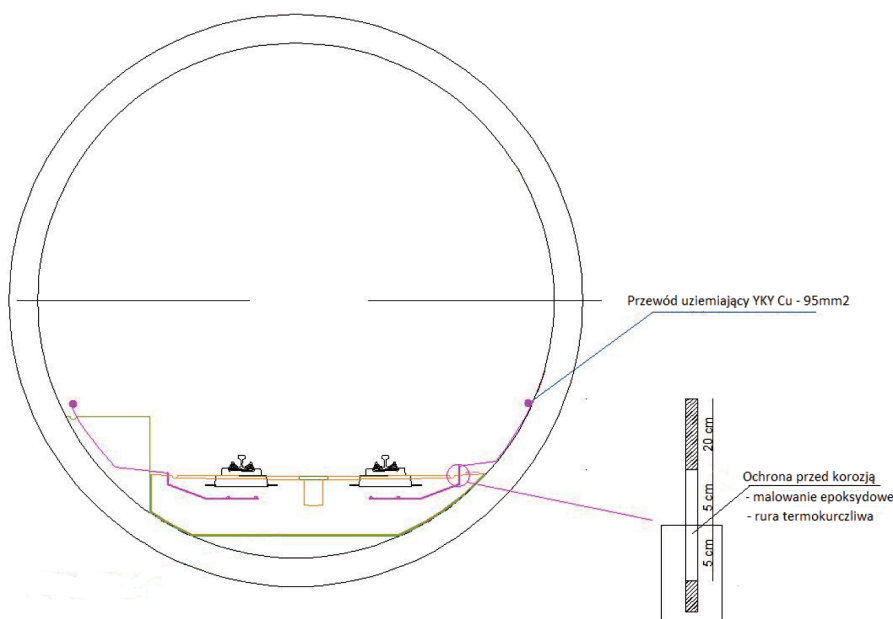
spawane pręty zbrojenia Ø 20mm na długości 10



kolektor prądów błądzących, wykonany z prętów zbrojeniowych ułożonych poniżej



8. Kolektor na prądy błądzące – układ z góry.



9. Kolektor na prądy błędne – przekrój poprzeczny ze szczegółem.

Monitoring prądów błędnych – – rozwiązanie wykorzystywane na metrze w Warszawie

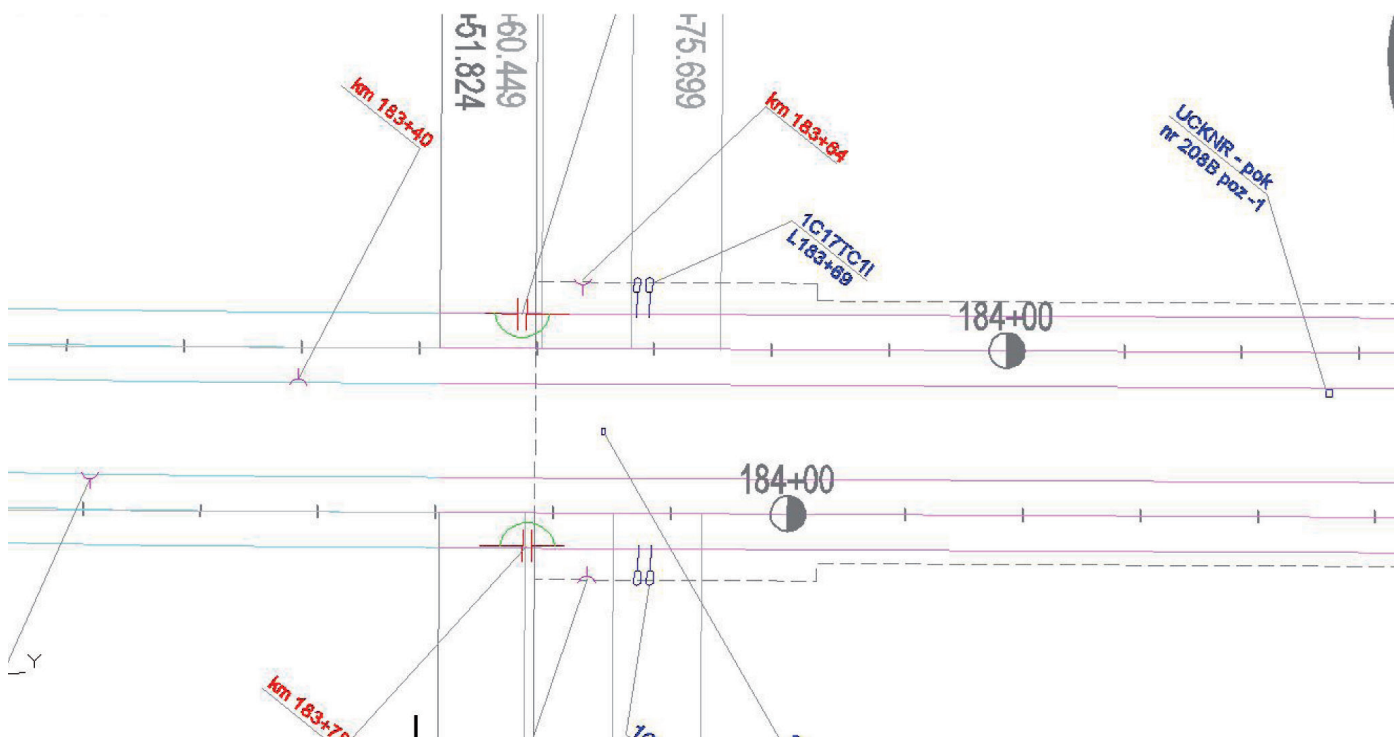
Ochrona przed prądami błędymi na Metrze w Warszawie dotyczy podziemnej konstrukcji metra, którą chroni się przed oddziaływaniem własnych prądów błędnych pochodzących od pojazdów metra oraz przed obcymi zewnętrznymi źródłami takimi jak tramwaje czy kolej. Ponieważ przy projektowaniu i budowie I linii metra w Warszawie założono, że konstrukcje podziemne metra nie będą skutecznie izolowane od ziemi zewnętrznej to pozostały do dyspozycji dwa środki ograniczające prądy błędne w sa-

mej konstrukcji metra. Jednym z tych środków są dylatacje z izolacją elektryczną zwiększającą rezystancję wzdłużną całej konstrukcji, a drugi to max odizolowania układu torowego metra od otoczenia. Ze względu, że metro w Warszawie jest obiektem zamkniętym na bezpośrednie oddziaływanie czynników atmosferycznych to jest przewidywalna względnie stabilna wartość jednostkowej konduktancji przejścia szyny metra-tunel metra. Tylko w przypadkach występowania zwarć pomiędzy szynami metra, a jego zbrojeniem, konduktancja torowiska ulega drastycznej zmianie i część prądu trakcyjnego metra płynie zbrojeniem i otaczającym to zbrojenie ziemią. Nastąpi tak ponieważ tune-

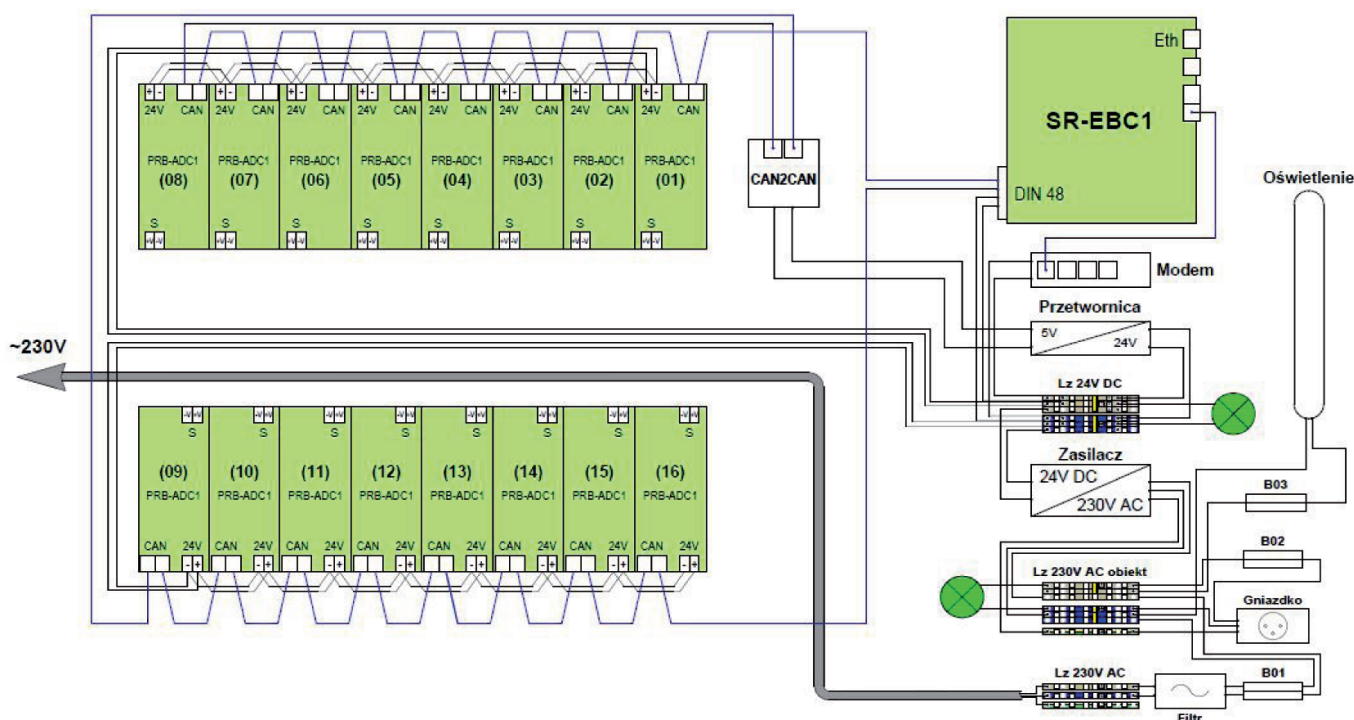
le metra i konstrukcje stacji stanowią swojego rodzaju wydrążony przewód bez dobrej izolacji znajdujący się w ziemi, którym płyną prądy zwarcia metra. Część prądu zwarcia szyny metra z konstrukcją metra staje się prądem błędym ponieważ ta część nie będzie płynąć poprzez zbrojenie, konstrukcje wsporcze, magistrale uziemiające, lecz na dylatacjach z izolacją wpłynie do ziemi zewnętrznej. W czasie zwarcia sieci torowej metra z jego podziemną konstrukcją dylatacje ograniczające oddziaływanie Z zewnątrz wpływających prądów błędnych - wypływające z szlaków torów kolejowych i tramwajowych, czy ewentualnej ochrony katodowej innych obiektów - stają się za słabym środkiem ochrony. Dlatego system Monitoringu Prądów Błędnych sygnalizuje wystąpienie zwarcia, a zdobyte doświadczenie pozwala jednoznacznie zlokalizować miejsce, a następnie przyczynę takiego zwarcia.

W obu prezentowanych metrach występują przerwy izolacyjne oraz magistrale uziemiające. W Panamie jest to miedziany kabel o przekroju 95 mm², zaś w Warszawie jest to bednarka 4x50 mm poprowadzona po obu ścianach każdego tunelu. W przypadku Metra Warszawskiego o stanie pracy przerw izolacyjnych decydują wyniki rejestracji MPB uzyskane w normalnych (przeciętnych) warunkach eksploatacji taboru metra, tramwajów i kolei.

W Metrze Warszawskim zastosowane zostały sondy odniesienia Zn/ZnSO₄ są źródłem informacji o potencjale konstrukcji metalowej względem w ziemi na zewnątrz tunelu. Montowane są w ścianach tuneli, jak i korpusach stacji. Na przykład w przypadku okrągłych tuneli sondy ułożone są pomiędzy



10. Metro Warszawskie – lokalizacja sond odniesienia, przerw izolacyjnych, punktów pomiarowych, szafek przetwarzania danych.



11. Metro Warszawskie – schemat szafki pomiaru i przetwarzania danych [7].

godz. 10.00 a 14.00 poprzecznego przekroju. Punkty pomiarowe rejestrują wartości potencjału konstrukcji w odpowiednim kilometrażu oraz różnice napięć pomiędzy szyną szyny jezdnej, na konstrukcja tunelu, jak również różnice napięć pomiędzy szynami tramwajowymi, a tunelem i szynami kolejowymi a tunelem metra. Punkty pomiarowe umożliwiają rejestrację spadku napięcia w szynach metra jak i na konstrukcji metra. Po przetworzeniu wszystkich wielkości rejestrowanych w danym punkcie pomiarowym na wartości cyfrowe zostają przesłane do dyspozytorni metra za pomocą światłowodu. Tam następuje analiza otrzymanej wartości z zastosowaniem wiedzy informatycznej i matematycznej, opartej zdecydowanie na procesach stochastycznych.

Rys. 10. przedstawia fragment projektu monitoringu przed prądami błądzącymi. Przedstawione są na nim cynkowe sądy odniesienia (niebieski opis), przerwy izolacyjne – obejmujące jeden tubing, punkty pomiarowe zlokalizowane na szynie, konstrukcji tunelu.

W momencie gdy komputer systemu MPB zarejestruje przekroczenie wartości prądów błądzących w tunelach metra, zespół zajmujący się eksploatacją tej sieci otrzymuje stosowną informację i lokalizuje źródło tych prądów oraz niezwłocznie usuwa przyczynę zwarcia. Poniżej przedstawiono schemat takiej szafki pomiarowej służącej do zbierania, przetwarzania i wysyłania danych.

Szczegóły lokalizacji przerw izolacyjnych, sond odniesienia, punktów pomiarowych, szafek przetwarzania danych są ustalane przez ekspertów zajmujących się na co dzień zjawiskiem prądów błądzących, ich pomiarem i ochroną przed nimi.

Próba przetransponowania rozwiązań z metra na linie kolejowe

Przedsiębiorstwa związane z utrzymaniem infrastruktury kolejowej lub tramwajowej wypracowały własne systemy ochrony przed prądami błądzącymi, który mniej lub bardziej sprawdza się w rzeczywistości. Wskazane jest wypracowanie jednego systemu ochrony w różnych konfiguracjach w zależności od chronionego obiektu czy sieci. Czy to będzie wspólne uziemienie, czy idealne wyizolowanie, czy inne rozwiązanie wszędzie wskazane jest sprzężenie tego systemu z systemem monitoringu. Umożliwiającym stałe nadzorowanie czy ochrona jest skuteczna (sprawna) i czy proces degradacji korozji nie naruszył konstrukcji chronionych obiektów. Pozwoli to na zautomatyzowanie wyników pomiarów i przeprowadzenia optymalnej analizy wyników – odczytywane przez 24h na dobę i przechowywane dowolny okres czasu. Wskazany jest w szczególności system monitoringu w miejscach o znacznym oddziaływaniu prądów błądzących i ich różnorodnym źródle (inne linie kolejowe czy tramwajowe, ochronna katodowa innych obiektów czy sieci, linia metra). W szczególności taką zespólną ochronę z monitoringiem proponowałbym w tunelach tramwajowych czy kolejowych znajdujących się na terenie miast. Przy dobrze zaprojektowanej instalacji ochrony przed prądami błądzącymi poprzedzonej ekspertyzami z pomiarami mamy gwarancję kontrolowania i odpowiedniej reakcji na zachodzące procesy związane z prądami błądzącymi.

Konieczna jest debata naukowa ekspertów zajmujących się ochroną przed prąda-

mi błądzącymi w jak, najszerszym rozumieniu tego zjawiska. Po co?

Aby wymienić się doświadczeniem, spostrzeżeniami, sprzeczać się i wyjaśniać. Aby wypracować rozwiązania, optymalne w swoim funkcjonowaniu, pozyskiwaniu i przesyłaniu informacji. Aby obiekty, które obecnie nie są chronione a podlegają niszczącemu działaniu prądów błądzących zostały objęte ochroną. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Kortüm G.: Elektrochemia. Warszawa, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1970
- [2] PN-EN 50162: 2006 Ochrona przed korozją powodowaną przez prądy błądzące z układów prądu stałego.
- [3] Ziemendorf J.: Uziemienie i ekwipotentjalizacja budynków – zasady np. metra w Panamie.
- [4] Dziuba W.: Sieć powrotna i prądy błądzące, wyd. Instytut Elektrotechniki, Warszawa 1995.
- [5] Firma KONTRON - Schemat szafki pomiaru i przetwarzania danych.
- [6] Dąbrowski J.: Współczesne miejskie torowiska tramwajowe budowy zamkniętej – czyżby koniec korozyjnych problemów wywołanych przez prądy błądzące, Ochrona przed Korozją nr 8/2013
- [7] PN-EN 50122-2 Zastosowania kolejowe. Urządzenia stacyjne. Środki ochrony przed oddziaływaniem prądów błądzących wywołanych przez trakcję elektryczną prądu stałego.