

**WPLYW KONDUKTANCJI SYSTEMU SZYNOWEJ TRAKCJI ELEKTRYCZNEJ  
PRĄDU STAŁEGO NA PODZIEMNE KONSTRUKCJE METALOWE**

**INFLUENCE RAIL SYSTEM CONDUKTANCE DC ELECTRIC TRATION ON THE  
UNDERGROUND METAL STRUKTURES**

Józef Dąbrowski

Instytut Elektrotechniki, Zakład Trakcji Elektrycznej, Warszawa

Słowa kluczowe: system trakcji szynowej prądu stałego, konduktancja systemu trakcji szynowej prądu stałego, podziemne konstrukcje metalowe, prądy błądzące, korozja

Keywords: rail system conductance DC electric traction, tramway system DC, underground metal structures, stray current, corrosion

**Streszczenie**

System trakcji elektrycznej prądu stałego zawiera niez izolowane elementy sieci zasilającej i powrotnej. O konduktancje sieci jezdnej zasilającej pojazdy trakcyjne dba właściciel systemu trakcyjnego ze względu na bezpieczeństwo porażeniowe osób oraz straty energii w systemie. Niestety, ale konduktancja sieci powrotnej nie jest już tak istotna (ważna) dla właściciela systemu trakcyjnego. W pracy zwrócono uwagę, że w danym systemie prądu stałego zwiększenie napięcia zasilania pozwala na zmniejszenie prądów błądzących przy eksploatacji tego samego taboru. Z tego powodu w normie PN-EN 50163 na przełomie XX i XXI w usunięto z systemów trakcji prądu stałego znamionowe napięcie 600 V.

**Abstract**

The DC electric tration Has none of the Power supply and back. The conductance catenary traction power supply system owner takes care of traction for safety reasons and electric shock people because of losses in the system. Unfortunately, the network conductance back is not as important for the owner of the traction system. The study pointed out in the DC system to increase power supply you to reduce leakage currents in the operation of the same stock. For this reason, the standard EN 50163 at the turn of the twentieth and twenty-first century, is removed from the DC traction system rated voltage of 600 V.

## **Wstęp**

Według współczesnej terminologii kompatybilności elektromagnetycznej jednym z trzech oddziaływań na środowisko systemu (urządzenia lub aparatu) elektro- energoelektroniczno - mechanicznego jest oddziaływanie konduktancyjne (galwaniczne). Zgodnie z definicją tego oddziaływania występuje ono w obwodach elektrycznych mających wspólny odcinek na którym występuje nakładanie się prądów i powstawanie spadków napięć oddziaływujących na sprzężone obwody. W trakcji elektrycznej typowym przykładem są obwody torowe w których prądy trakcyjne i prądy systemu zabezpieczania ruchu nakładają się w szynach jezdnych. Znane zjawisko prądów błędzących wpływających z szyn jezdnych także należy traktować jako efekt sprzężenia konduktancyjnego szyn z ziemią i podziemną metalową infrastrukturą [1].

## **System trakcji prądu stałego**

Przez system szynowej trakcji elektrycznej rozumie się zestaw urządzeń rozłożony w przestrzeni, w którego skład wchodzi: podstacje trakcyjne, sieć trakcyjna zasilająca, tabor oraz sieć powrotna wraz z szynami [2, 3]. Podstacja trakcyjna służy do przetworzenia energii elektrycznej z rozdzielczej sieci 15 kV elektroenergetycznego systemu prądu przemiennego na energię prądu stałego z reguły o obniżonym napięciu [4] znamionowo do 600, 750 lub 3000 V [6]. Zapewnia to odpowiednio dobrany zespół transformatora i prostowników diodowych. Na podstacji znajduje się rozdzielnia prądu stałego umożliwiająca bezpieczne zasilanie poszczególnych odcinków trakcyjnej sieci zasilającej. Owo zasilanie realizowane jest za pomocą wyłączników zainstalowanych w specjalnych odpływowych (wyłącznikowych) polach rozdzielni. W trakcji miejskiej pola te zwane są zasilaczami, a energia prądu stałego z tego pola dostarczana jest kablami do poszczególnych odcinków sieci trakcyjnej. W trakcji kolejowej zasilaczem jest zwany kabel energetyczny łączący wyłącznikowe pole podstacji z odcinkiem przewodu jezdnej sieci trakcyjnej. Podstacja trakcyjna tramwajowa zasila jednostronnie od kilku do kilkunastu poszczególnych odcinków sieci. Każdy z takich odcinków sieci zasilającej wydzielony jest izolatorem sekcyjnym. Odcinki te tworzą obszar zasilania danej podstacji. Takimi samymi izolatorami sekcyjnymi jak poszczególne odcinki wydzielone w sieci są wydzielone obszary zasilania sąsiadujących ze sobą podstacji trakcyjnych. W przypadku metra i kolei ze względu na szlakowy charakter tych linii zdecydowanie częściej występują odcinki dwustronnie zasilane. Oznacza to, że odcinek sieci trakcyjnej zasilany jest jednocześnie z dwóch podstacji. Na kolei występują kabiny sekcyjne, które umożliwiają podział na odcinki jednostronnie zasilane, co ułatwia przeglądy i naprawy sieci trakcyjnej. Rejony zelektryfikowanych stacji kolejowych zasilane są z kolejowych podstacji trakcyjnych w identyczny sposób jak sieć tramwajowa. Powyższe wynika z faktu, że w obrębie stacji kolejowej występują równoległe ułożone tory szlakowe i postojowe oraz bocznicę kolejową (tory odstawcze). W każdym systemie trakcyjnym (kolejowym i tramwajowym oraz metra) szynowa sieć powrotna z założenia stanowi układ metalicznie połączonych elementów. Wstawienie dławików torowych w systemach kolejowych i metra wydziela jedynie obszary zasilania układów sterowania ruchem kolejowym, które są zasilane prądem przemiennym. Prąd trakcyjny wraca na podstację kablami powrotnymi. Z każdego obszaru zasilania kable powrotne zbiegają się w szafie kabli powrotnych, która w trakcji miejskiej najczęściej bywa elementem składowym rozdzielni prądu stałego, zaś w systemach kolejowych i metra stanowi oddzielną szafę. Odcinki sieci trakcyjnej zasilającej zarówno systemu kolejowego jak i trakcji miejskiej – tramwajowej – są rozwieszane nad torowiskiem [7]. W przypadku metra odcinki te znajdują się w pobliżu

torowiska w obrębie tzw. skrajni pojazdów na wysokości związanej z zastosowaną nominalną średnicą kół tych pojazdów.

### **Sieć zasilająca**

Pomiędzy przewodami jezdny sieci zasilającej a szynami sieci powrotnej znajduje się tabor - czyli pojazdy elektryczne korzystające z energii elektrycznej i dlatego zarówno przewód jezdny jak i szyny (elementy sieci górnej jak i powrotnej) w systemie muszą być częściowo odizolowane, aby umożliwić przepływ prądu. Wszystkie pozostałe elementy systemu trakcyjnego są izolowane elektrycznie tak, aby zapewnić niezawodność pracy systemu oraz bezpieczeństwo obsługi oraz pasażerów.

Rozwieszane nad torowiskiem przewody jezdne [7] znajdują się na wysokościach zalecanych w normie [8], a wszelkie mosty i wiadukty nad trakcją elektryczną mają zgodnie z [8] odpowiednie osłony uniemożliwiające postronnym bezpośredni dotyk do przewodów będących z reguły pod napięciem. Do zawieszenia przewodu jezdno wykorzystuje się najczęściej słupy trakcyjne o różnorodnych konstrukcjach umieszczone wewnątrz pomiędzy torami (to częściej w trakcji miejskiej) lub na zewnątrz torowiska [7]. W warunkach miejskich wykorzystywana jest zabudowa, czyli sąsiadujące z jednią i torowiskiem budynki. Pomiędzy frontowymi ścianami budynków znajdujących się po obu stronach torowiska rozpinane są nośne liny, do których podwieszane były przewody jezdne. Nad równoległe ułożonymi kilkoma torowiskami stosowane są słupy trakcyjne konstrukcji bramowej. Umożliwiają one jednoczesne rozmieszczenie większej liczby przewodów jezdnych tak, aby nad każdym torem znajdował się jeden z nich. Pomiędzy przewodem jezdny a słupem trakcyjnym, lub liną nośną występują izolatory. W czasie rozwoju techniki postać (kształt) samych izolatorów oraz materiałów, z którego zostały one wytworzone ulegała szeregu modyfikacjom. Współcześnie materiały keflarowe umożliwiają budowę sieci zawieszanej na keflarowych odcciągach [7]. Problemem sieci górnej (zasilającej) zawsze były naprężenia mechaniczne od zestyku ślizgowego pantografu pojazdu oraz warunki atmosferyczne, takie jak szadź, mgła oraz opady deszczu w tym mżawka. Szron osadzający się na przewodzie jezdny testował i jeszcze nadal testuje odporność mechaniczną rozwiązań konstrukcyjnych pantografów. Brak bezpośredniego styku pantografu z przewodem jezdny skutkuje iskrzeniem, które wpływa niekorzystnie na przewód jezdny i powierzchnię stykową pantografu. Nadtapianie materiału przewodu jezdno zmienia geometrię tego przewodu utrudniając prawidłową współpracę tego fragmentu sieci z kolejnymi pantografami następnymi pojazdów. Zmiana geometrii sprzyja mechanicznemu osłabieniu przewodu, co grozi zerwaniem sieci.

O izolację sieci zasilającej w tym i przewodów jezdnych użytkownik systemu trakcyjnego dbać będzie z dwóch różnych powodów, chociaż oba związane są z konduktancyjnym oddziaływaniem sieci jezdnej. Upływność izolacji sieci górnej dodatkowo zmniejsza sprawność systemu zasilania o straty upływu i jednocześnie zwiększa zagrożenie porażeniowe osób, które dotkną się do słupa z uszkodzonym układem izolacyjnym. Dodatkowo, aby zwiększyć bezpieczeństwo postronnych stosowano powszechnie uszynienie każdego słupa do szyn torowiska, co jak zostanie poniżej wykazane zwiększa konduktancyjne oddziaływanie sieci powrotnej. Obecnie na torach kolejowych wprowadzane jest uszynienie grupowe, którego działanie uwarunkowane występującym napięciem pomiędzy połączonymi metalicznie kilkunastoma słupami trakcyjnymi a torowiskiem [9]. Izolacja współczesnych materiałów do zawieszenia sieci przewodów jezdnych sieci tramwajowych powoduje, że uszyniane są jednie te słupy trakcyjne, na których zamontowana jest aparatura łączeniowa

(odłączniki) i wprowadzane są kable zasilające z podstacji. Zawilgocenie sieci górnej zwiększa upływność izolatorów sieci górnej. Szacuje się, że upływność przewodów jezdnych trakcyjnych sieci zasilających nie przekracza 5 mA/km. Taka wartość prądu upływu z punktu widzenia oddziaływania na podziemne konstrukcje nie stanowi zagrożenia dla tych konstrukcji. Z tego też powodu załączenie napięcia zasilania sieci trakcyjnej, które jest przyczyną prądu upływu, z technicznego punktu widzenia nie ma znaczenia w rozwoju zjawisk korozyjnych podziemnej metalowej infrastruktury.

### **Sieć powrotna**

Szyny wyznaczają drogę pojazdom szynowym, a w przypadku ich zelektryfikowania za pomocą sieci zasilającej z podstacji stanowią drogę powrotu prądu trakcyjnego do podstacji. Według normy [10] rozróżnia się torowiska budowy otwartej i zamkniętej. W przypadku torowisk budowy otwartej szyna jest widoczna w całości i można zobaczyć mocowanie stopki szyny do podłoża lub podkładu umieszczonego w podsypce tłuczniowej. Rozwiązanie to jest częściej spotykane na kolei. W przypadku przejazdów przez tory oraz w miastach stosowane jest torowisko budowy zamkniętej – główka szyny nie wystaje ponad poziom gruntu (jezdni). Współcześnie spotyka się szereg różnych konstrukcji torowisk zwłaszcza w miastach. Popularność tych rozwiązań wynika z faktu, że torowiska te umożliwiają tłumienie drgań mechanicznych rozchodzących się w ziemi i przy odpowiedniej konstrukcji taboru umożliwiają również tłumienie hałasu emitowanego powodowanych ruchem pojazdów. Ponieważ torowiska zamknięte charakteryzują się tym, że główka szyny nie wystaje ponad poziom otoczenia to w stanie eksploatacji nie można jednoznacznie ocenić sposobu mocowania szyny do podłoża. Budowa zamknięta powoduje również trudności z eksploatacyjną oceną stanu technicznego zabudowanych szyn. Wspomniana norma [9] narzuca wymagania na wartość jednostkowej konduktancji przejścia pojedynczego toru składającego się z dwóch szyn. Dla torowiska otwartego jednostkowa konduktancja powinna być nie większa niż 0,5 S/km, zaś dla torowiska o budowie zamkniętej nie większa niż 2,5 S/km. Uwzględniając dostępne rozważania teoretyczne nad rozptyłem prądów błądzących z sieci powrotnej np. w [11], które prowadzone są przy założeniu jednorodności (stałości) parametrów elektrycznych sieci powrotnej tj. rezystancji wzdłużnej torowiska i jego konduktancji łatwo można wyprowadzić, że oczekiwany jednostkowy upływ sieci trakcyjnej kolejowej lub wybiegowej jest na poziomie 5 A/km przy przeciętnym obciążeniu pojazdami i spadkach napięć w szynach zalecanych przez normę [12]. W przeciwieństwie do sieci jezdnej prądu upływu z sieci powrotnej pojawiają się dopiero wraz z występowaniem ruchu pojazdów trakcyjnych pobierających energię z podstacji. Intensywność zjawiska upływu związana jest wartością prądu trakcyjnego oraz warunkami atmosferycznymi panującymi nad torowiskiem. Opady deszczu, mgła, mżawka, mgła oraz temperatura szyn równa temperaturze punktu rosy sprzyjają zwiększeniu jednostkowej konduktancji torowiska i są związane z pogodą i klimatem miejscowości wyposażonej w zelektryfikowany transport szynowy. Te ostatnie czynniki powodują, że w miastach z powierzchniowym szynowym transportem elektryfikowanym prądem stałym występuje większa awaryjność podziemnej infrastruktury metalowej niż w miastach bez takiego środka transportu.

### **Sposób zmniejszenia prądów błądzących**

Z większość dostępnych i stosowanych środków ograniczania prądów upływu z systemu szynowej trakcji prądu stałego związanych jest z procesem jego projektowania. Rozwój techniki obliczeniowej związanej z rozwojem mikroelektroniki i komputerów umożliwił rozbudowę modelu sieci zasilającej i analizę większych ilości wariantów rozkładów jazdy

rozmaitego taboru. Pozwala to na szybsze sprawdzenie proponowanego rozłożenia punktów kabli powrotnych w sieci szynowej umożliwiając tym samym minimalizację spadków napięć w sieci powrotnej [13, 14]. W fazie wykonawczej pozostaje jedynie jak najdokładniej zrealizować poszczególne elementy systemu, aby między innymi zminimalizować rezystancje występujących styków na poszczególnych łączeniach. Dotyczy to zarówno sieci jezdnej jak i sieci powrotnej. Wprowadzenie łączników między szynowych i między torowych zalecanych w [12], a w [10] jedynie wspomnianych, jako dostępny środek od ograniczania prądów upływu, przyczynia się do zmniejszenia rezystancji torowiska i odporności jego na elektryczne skutki pęknięcia szyn pod wpływem taboru i czynników termicznych. Łączniki powinny być wykonywane, jako elementy izolowane od otaczającej ziemi, aby nie zwiększać jednostkowej konduktancji szyn. Podobnie przyłączanie do szyn słupów trakcyjnych powoduje zwiększanie jednostkowej konduktancji torowiska o konduktancję uziomu słupów. W praktyce technicznej stosowane jest pojęcie rezystancji uziomu (zamiast konduktancji uziomu) i tej wartości rezystancji przypisywana jest wartość napięcia dotykowego z ochrony przeciwporażeniowej. Wspomniane wyżej uszynienie grupowe oraz uszynianie jedynie słupów trakcyjnych z aparaturą łączeniową i kablami zasilającymi sprzyja ograniczeniu wypadkowej jednostkowej konduktancji przejścia szyny ziemia. Przyłączana lokalnie do torowiska (szyn) wszelka infrastruktura przyczynia się do zaburzania jednorodności parametrów konduktancyjnych szyn. Z doświadczenia autora prezentowanego na forum Polskiego Komitetu Ochrony Elektrochemicznej przed Korozją SEP w ramach krajowych konferencji „Pomiary korozyjne w ochronie elektrochemicznej” dotyczących jednostkowych konduktancji przejścia szyny ziemia nowoczesnych torowisk tramwajowych wynika jednoznacznie, że po pierwsze trudno jest uzyskiwać parametry jednostkowej konduktancji przejścia wymagane przez normę [10]. A po drugie z reguły występują też znaczne rozbieżności w pomierzonych jednostkowych konduktancjach przejścia kolejnych odcinków torowiska wykonywanych w tej samej konstrukcji. Dodatkowo przejściom torowisk o różnej konstrukcji towarzyszy nieciągłość izolacji. Wystarczająca dokładność nakładania na szynę warstw tłumiących drgania wzdłuż torowiska jest zbyt mała z elektrycznego punktu widzenia.

W istniejących i eksploatowanych już tramwajowych systemach trakcyjnych zwłaszcza w Polsce istnieje jeszcze jeden sposób zmniejszenia prądów upływu z systemu. W naszym kraju wszystkie systemy tramwajowe pracują na znamionowym napięciu trakcyjnym 600 V. Napięcie to w połowie lat 90-tych XX w normie [6] podawane było jako wycofywane w Europie. Nowe systemy tramwajowe realizowane były już na napięcie znamionowe 750 V. Podniesienie napięcia znamionowego o 25% powoduje przy tej samej mocy taboru zmniejszenie prądu trakcyjnego w tej samej proporcji. Z tego też powodu spadki napięć w sieci powrotnej przy zmniejszonym prądzie trakcyjnym będą o ok. 25% niższe, co przy stałych wartościach rezystancji i konduktancji torowiska spowoduje zmniejszenie w takim samym stopniu prądów upływu z sieci powrotnej. Oczywiście nie należy zapominać o tym, że zwiększenie napięcia sieci zasilania spowoduje w takim samym stopniu upływ prądu z sieci jezdnej, ale ten prąd upływu nadal nie będzie stanowił korozyjnego zagrożenia dla podziemnych konstrukcji metalowych.

## Podsumowanie

Zrealizowany i pracujący system trakcyjny tramwajowy może generować mniejsze prądy upływu (prądy błądzące) po zwiększeniu napięcia biegu jałowego transformatorów prostownikowych zainstalowanych na podstacjach tramwajowych. Proces ten jest możliwy, jeżeli uzwojenia transformatorów wyposażone są w odpowiednie zaczepty regulacyjne. Decyzja o zwiększeniu napięcia w systemie tramwajowym musi być poprzedzona analizą możliwości całego systemu trakcyjnego do podjęcia pracy przy zwiększonej wartości napięcia. Wstępną taką analizę zaprezentowano na Komisji Zasilnia Izby Gospodarczej Komunikacji Miejskiej odbywającej się w dn. 29-30.11.2012 w Zawierciu/Częstochowie [15].

## Literatura

- 1 Machczyński W.: *Wprowadzenie do kompatybilności elektromagnetycznej* WPP 2010
- 2 Podoski R.: *Trakcja elektryczna* cz. 1 i cz. 2 WKiŁ 1954
- 3 Podoski J.: *Zasady trakcji elektrycznej* WKiŁ 1967
- 4 Wdowiak J., Mierzejewski L., Szelaż A.: *Projektowanie układów zasilania trakcji elektrycznej systemu prądu stałego* WPW 1993
- 5 Hanasz M., Ostaszewicz J., Wdowiak J.: *Sieci i podstacje trakcji elektrycznej* WKiŁ 1965
- 6 PN-EN 50163:2006 *Zastosowania kolejowe. Napięcia zasilania systemów trakcyjnych*
- 7 Grzegorzewski A.: *Nowoczesne systemy i urządzenia dla zasilania trakcji tramwajowej* Seminarium IGKM Gdańsk 09-10-2007r
- 8 PN-EN 50122-1 *Zastosowania kolejowe. Urządzenia stacjonarne. Bezpieczeństwo elektryczne, uziemianie i sieć powrotna Część 1 Środki ochrony przed porażeniem elektrycznym*
- 9 Białoń A., Furman J., Kazimierczak A.: *System ochrony ziemnozwarciowej i przeciwporażeniowej – doświadczenia eksploatacyjne* MET'2005 29 września 1 października 2005r str. 239 – 247
- 10 PN-EN 50122-2 *Zastosowania kolejowe. Urządzenia stacjonarne. Część 2 Środki ochrony przed oddziaływaniem prądów błądzących wywołanych przez trakcję elektryczną prądu stałego*
- 11 Dziuba W.: *Sieć powrotna i prądy błądzące* Warszawa 1995
- 12 PN-92/E055024 *Ochrona przed korozją. Ograniczanie upływu prądów błądzących z sieci trakcyjnych prądu stałego*
- 13 Szelaż A.: *Obliczanie tramwajowej sieci powrotnej w celu zmniejszenia upływu z szyn jezdnych prądów błądzących* TRAM'96
- 14 Chrabąszcz I., Kaniewski A., Prusak J.: *Rozpływ prądów błądzących trakcyjnych w tramwajowej sieci powrotnej – ocena w aspekcie zagrożeń prądami błądzącymi* SEMTRAK'2010
- 15 [www.igkm.pl/site/wiadomosci,3327,zzyciaizby.html](http://www.igkm.pl/site/wiadomosci,3327,zzyciaizby.html)