

# Wpływ uszynień grupowych na ograniczenie prądów błędzących

eksploatacja

**W artykule przedstawione są działania PKP zmierzające do ograniczenia prądów błędzących poprzez zastosowanie systemu uszynień grupowych w układzie otwartym. Opisano kilkuletnie doświadczenia eksploatacyjne ze stosowania tego systemu w warunkach PKP, wpływ tego systemu na prądy błędzące, jak też inne wymagania i uwarunkowania z tym związane.**

Trakcja elektryczna prądu stałego, niezależnie od stopnia izolacji torów od ziemi, jest źródłem prądów błędzących stanowiących część powrotnego prądu trakcyjnego. Prądy błędzące napotykając po drodze różnego rodzaju konstrukcje przewodzące powodują ich elektrokorozję, co skraca czas życia tych konstrukcji i w konsekwencji może doprowadzić do awarii, nawet o zagrożeniu ekologicznym (awarie gazociągów, ropociągów itp.). Wielkość prądów błędzących zależy od wielu czynników, takich jak: rezystancja przejścia szyny – ziemia, rezystancja wzdłużna szyn, system uszynień, stan techniczny torów, warunki atmosferyczne, konfiguracja torów, odległość między punktami zasilania, sposób zasilania sieci trakcyjnej – jednostronnie lub dwustronnie, itp.

Stosowane są różne metody ochrony podziemnych konstrukcji przed skutkami elektrokorozji wywoływanej przez prądy błędzące, takie jak: drenaż elektryczny, izolowanie od ziemi i sekcjonowanie konstrukcji, odpowiedni wybór trasy, itp. Wydaje się, że znacznie skuteczniejszym środkiem byłoby ograniczenie prądów błędzących. Można to osiągnąć stosując system uszynień grupowych w układzie otwartym, co powoduje znaczący wzrost rezystancji przejścia szyny – ziemia. Drugim czynnikiem, mającym wpływ na zmniejszenie prądów błędzących, jest jak najmniejsza rezystancja wzdłużna torów, co można uzyskać przez stosowanie połączeń poprzecznych międzytokowych i międzytorowych.

Pozostałe czynniki zmniejszające wartość prądów błędzących są technicznie niezależne (np. warunki atmosferyczne) lub bardzo kosztowne w zastosowaniu i ich realizacja nie ma uzasadnienia techniczno-ekonomicznego. Dotyczy to

w szczególności odległości między podstacjami trakcyjnymi, które są budowane w odstępach wynikających z zapotrzebowania na energię dla przewidywanych obciążeń, jak też konfiguracji układu torowego wynikającej z potrzeb ruchowych i topografii terenu.

Wymagania związane z ograniczeniem prądów błędzących są przeważnie sprzeczne z wymaganiami ochrony przeciwporażeniowej – np. ze względu na ochronę przeciwporażeniową rezystancja przejścia szyny – ziemia powinna być jak najmniejsza, a ze względu na prądy błędzące – jak największa. Przyjęte rozwiązania są przeważnie kompromisowe lub wymagają stosowania nowoczesnych rozwiązań technicznych, jak to ma miejsce przy stosowaniu systemu uszynień grupowych w układzie otwartym.

Tak więc realnymi do wykonania czynnikami mającymi wpływ na ograniczenie prądów błędzących jest zwiększanie rezystancji przejścia szyny – ziemia i utrzymanie jak najmniejszej rezystancji wzdłużnej toru.

## Rezystancja przejścia szyny – ziemia

Rezystancja sieci szynowej (szyny toru kolejowego wraz z łącznikami podłużnymi i poprzecznymi) względem ziemi zależy od wielu czynników, w tym: stanu technicznego toru, warunków atmosferycznych, sposobu uszynienia konstrukcji wsporczych sieci jezdnej itp. W warunkach PKP rezystancja przejścia szyny – ziemia dla jednego toru zawiera się najczęściej w granicach 0,5–2  $\Omega$ km [1]. Tak mała rezystancja wynika przede wszystkim z dużej powierzchni styku szyn z ziemią (ok. 150 m<sup>2</sup> na 1 km toru) oraz „zanieczyszczenia izolacji”, w tym opiłkami z klocków hamulcowych. Dla torów nowych rezystancja ta osiąga wartości kilkudziesięciu  $\Omega$ km, jednak w ciągu krótkiego czasu (ok. 1 miesiąca) zbliża się do wartości eksploatacyjnych podanych wyżej. Uzynienia indywidualne konstrukcji wsporczych sieci jezdnej powodują znaczne zmniejszenie rezystancji przejścia szyny – ziemia. Dla torów w dobrym stanie technicznym (czysty tłuczeń, przekładki izolacyjne między podkładem a szyną, poziom tłucznia poniżej stopki szyny) o rezystancji przejścia szyny – ziemia na poziomie kilku  $\Omega$ km zastosowanie bezpośredniego indywidualnego uszynienia konstrukcji wsporczych sieci jezdnej może spowodować kilkukrotne zmniejszenie tej rezystancji, nawet do poziomu znacznie mniejszego od 0,5  $\Omega$ km. Jak widać bezpośrednio uszynienia indywidualne mają zasadniczy wpływ na wartość rezystancji przejścia szyny – ziemia, powodując wzrost prądów błędzących przy zachowaniu innych uwarunkowań na tym samym poziomie. Rezystancja doziemna metalowej konstrukcji wsporczej sieci jezdnej w fundamencie tradycyjnym zawiera się od 20  $\Omega$  do 50  $\Omega$ , dla konstrukcji wsporczej betonowej ok. kilkuset  $\Omega$ , a fundamentu palowego od 5  $\Omega$  do 20  $\Omega$  (są to wartości najczęściej występujące). Mała rezystancja przejścia szyny – ziemia, poza wzrostem prądów błędzących, może powodować zakłócenia w pracy obwodów torowych sterowania ruchem kolejowym. Zastosowanie systemu uszynień grupowych w układzie otwartym eliminuje wpływ uszynień konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej na wartość rezystancji przejścia szyny – ziemia. Należy zauważyć,

że norma europejska wymaga rezystancji przejścia szyny – ziemia na poziomie  $2 \Omega/\text{km}$ , co jest nierealne do uzyskania przy stosowaniu uszynień indywidualnych.

Zakładając jednostkową rezystancję przejścia szyny – ziemia dla jednego toru na poziomie  $2 \Omega/\text{km}$  całkowita rezystancja sieci szynowej składającej się z dwóch torów z szynami S60 na długości 20 km widziana ze środka tego odcinka wynosi ok.  $60 \text{ m}\Omega$ .

### Rezystancja wzdłużna szyn

Rezystancja wzdłużna szyn jest istotnym parametrem mającym wpływ na:

- wartość prądów błędzących – większa rezystancja powoduje wzrost napięcia szyn względem ziemi, a tym samym wzrost prądów błędzących,
- zagrożenie porażeniowe – prąd obciążenia może powodować wzrost napięcia szyn i uszynionych konstrukcji względem ziemi powyżej wartości napięć dopuszczalnych w przypadku nadmiernego wzrostu rezystancji wzdłużnej szyn,
- straty energii – szyny stanowią część obwodu dla prądu trakcyjnego, tak więc wzrost rezystancji wzdłużnej szyn powoduje wzrost strat energii trakcyjnej.

Wszystkie te czynniki wymagają aby rezystancja wzdłużna sieci szynowej była jak najmniejsza.

Zmniejszenie rezystancji wzdłużnej można uzyskać stosując większy przekrój szyn lub poprzez ułożenie dodatkowego kabla wzdłuż toru, co jednak jest uwarunkowane czynnikami ekonomicznymi. Na liniach głównych i magistralnych stosuje się szyny S60 o jednostkowej rezystancji ok.  $0,018 \Omega/\text{km}$  dla jednego toru. Zastosowanie połączeń poprzecznych międzytokowych i międzytorowych powoduje zmniejszenie tej rezystancji o połowę. Utrzymanie takiej rezystancji byłoby w zupełności wystarczające do ograniczenia prądów błędzących, jak też strat energii i ochrony przeciwporażeniowej. Udział rezystancji sieci powrotnej przy stosowaniu połączeń międzytorowych, w stosunku do całkowitej rezystancji obwodu zasilania pojazdu trakcyjnego, wynosi nieco powyżej 10%. Brak połączeń międzytorowych powoduje, że udział rezystancji sieci powrotnej wzrasta do ponad 20%, co skutkuje wzrostem prądów błędzących, jak też stratami energii doprowadzanej do pojazdu trakcyjnego i większym zagrożeniem porażeniowym.

Połączenia międzytorowe mają szczególne znaczenie w sytuacjach awaryjnych, np. uszkodzenie lub kradzież dławika w jednym z torów, wymiana rozjazdu lub szyn bez wykonania połączeń obejściowych, co w wyniku powoduje powstanie przerwy elektrycznej w danym torze. W takim przypadku, w wyniku powstania przerwy w danym torze, prąd trakcyjny płynie w kierunku przeciwnym do podstacji zasilającej, przepływa w najbliższym możliwym miejscu do toru sąsiedniego i wraca do podstacji zasilającej. Wydłuża to drogę przepływu dla prądu powrotnego, powodując w miejscu odbioru prądu przez pojazd trakcyjny, podwyższenie napięcia szyn względem ziemi do wartości nawet kilkuset woltów i to w stosunkowo długim czasie, w zależności

od długości trwania rozruchu lub jazdy pod prądem pojazdu trakcyjnego.

Jak widać długość drogi przepływu prądu powrotnego nie zawsze zależy od odległości pojazdu trakcyjnego od podstacji trakcyjnej zasilającej ten pojazd. Dla przypadku odbioru prądu w pobliżu podstacji trakcyjnej, zasilającej jednostronnie sieć trakcyjną (np. wyłączenie kabiny sekcyjnej), powstanie przerwy w torze między tą podstacją a pojazdem trakcyjnym powoduje, że droga dla prądu powrotnego może wydłużyć się nawet do 40 km (zamknięcie obwodu przez sąsiednią podstację trakcyjną) w przypadku braku łączników międzytorowych.

Brak łączników jest niezgodny z wymaganiami normy PN-92/E-05024, jednak w rzeczywistości występujący, czego przykładem może być modernizowana linia E-20 na odcinku Warszawa – Poznań – Kunowice. Niezależnie od systemu uszynień nie należy dopuszczać do eksploatacji linii dwutorowej bez połączeń międzytorowych. Brak połączeń powoduje w niekorzystnym układzie (przerwa w torze), że rezystancja wzdłużna sieci szynowej wzrasta z kilkunastu do kilkuset miliomów. Sytuacja powstania przerwy w torze nie musi być regułą jednak jest możliwa. Wystarczy, że sytuacja taka zdarzy się raz w ciągu kilku (kilkunastu) godzin na rok (wymiana rozjazdu, kradzież dławika, itp.), może to spowodować porażenie ludzi lub uszkodzenie urządzeń związanych z siecią szynową, np. w obwodach torowych. Stosowanie połączeń międzytorowych eliminuje powstanie takiej sytuacji praktycznie do zera, a ponadto zmniejsza rezystancję zastępczą sieci szynowej, co ogranicza wartość prądów błędzących i strat energii elektrycznej.

### System uszynień grupowych w układzie otwartym

System uszynień grupowych odnosi się zasadniczo do konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej na fundamentach palowych. Fundamenty palowe mają małą rezystancję względem ziemi, dlatego też między fundamentem palowym a konstrukcją wsporczą stosowane są przekładki izolacyjne, stanowiące izolację dla prądów błędzących, jak też zapewniające poprawną pracę obwodów torowych. Bezpośrednie uszynienie konstrukcji wsporczych sieci jezdnej, nie izolowanych od fundamentów palowych, powodowałoby zakłócenia w pracy obwodów torowych, jak też elektrokorozję fundamentu palowego wywołaną prądami błędzącymi. Zastosowanie bezpośrednich uszynień indywidualnych, przy stosowaniu izolacji między fundamentem a konstrukcją wsporczą stwarzałyby duże zagrożenie porażeniowe, polegające na długotrwałym utrzymywaniu się napięcia 3 kV na konstrukcji wsporczej w przypadku przerwania się uszynienia i uszkodzenia izolacji głównej sieci trakcyjnej.

System uszynień grupowych w układzie otwartym polega na połączeniu między sobą konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej za pośrednictwem liny napowietrznej (o długości najczęściej występującej 2 do 2,5 km) i połączeniu tej liny (na jej końcach) do szyn przez zwierniki napięciowe. W normalnym układzie między połączonymi między sobą konstrukcjami wsporczymi a szynami jest rezystancja rzędu  $\text{k}\Omega$  (rezystancja wewnętrzna zwiernika napięciowego), natomiast

w momencie wystąpienia zwarcia doziemnego następuje połączenie konstrukcji wsporczych z szynami przez zwiernik napięciowy, powodując powstanie zwarcia międzybiegunowego i wyłączenie go przez odpowiedni wyłącznik szybki zasilacza w podstacji trakcyjnej lub kabinie sekcyjnej. Po wyłączeniu prądu zwarcia zwiernik odzyskuje własności za-worowe.

Dla zwiększenia niezawodności układu odizolowane od fundamentu konstrukcje wsporcze są uziemione za pomocą uziomów szpilkowych o wymaganej rezystancji nie większej niż  $50 \Omega$ . Całkowita rezystancja zastępcza uziemienia całego odcinka uszynienia grupowego nie powinna przekraczać  $2 \Omega$ . Rozwiązanie to zapewnia właściwą ochronę przeciwporażeniową i umożliwia wyłączenie zwarcia doziemnego nawet w przypadku nie zadziałania zwiernika napięciowego lub zerwania połączenia uszyniającego od szyn, przez układ ochrony ziemnozwarciowej w podstacji trakcyjnej. Połączenie uszyniające może być przyłączone do szyn w sposób bezpośredni lub za pośrednictwem dławika torowego. Dla linii z bezłączkowymi obwodami torowymi do połączeń poprzecznych i przyłączenia zwierników do szyn stosowane są specjalne dławiki powietrzne [2].

### Doświadczenia eksploatacyjne stosowanego w PKP systemu uszynień grupowych w układzie otwartym

System uszynień grupowych w układzie otwartym jest stosowany w PKP od 1996 r., został on wdrożony w związku z wprowadzeniem do stosowania fundamentów palowych, w odniesieniu do których zastosowanie dotychczas stosowanego w PKP systemu uszynień indywidualnych nie spełnia wymagań normy PN-92/E-05024 (rezystancja uszynianych bezpośrednio konstrukcji nie może być mniejsza niż  $20 \Omega$ ) lub wymagań ochrony przeciwporażeniowej dla przypadku odizolowania konstrukcji wsporczej od fundamentu palowego.

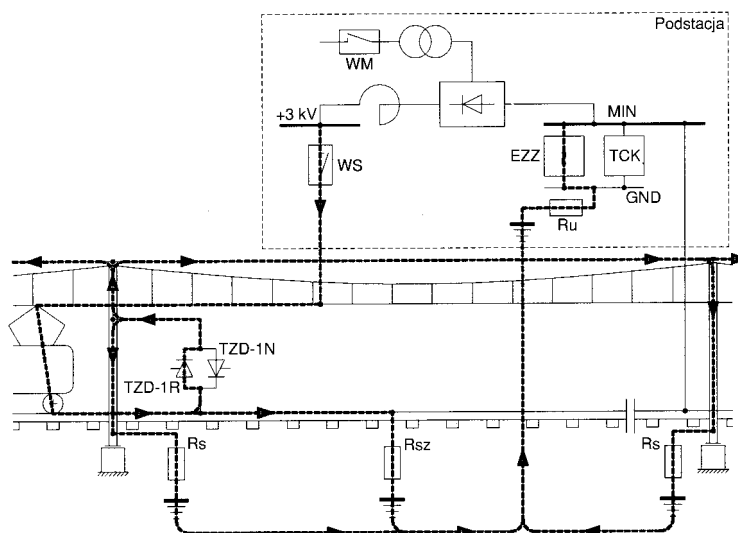
Na podstawie badań laboratoryjnych i terenowych przeprowadzonych przez CNTK [2] do systemu zostały wytypowane tyrystorowe zwierniki napięciowe typu TZD. Zwierniki te są przystosowane do przewodzenia prądu w jednym kierunku i są spolaryzowane w kierunku od ziemi do szyn, tj. dla przypadku wystąpienia zwarcia doziemnego w obwodzie  $3 \text{ kV}$  prądu stałego. Założenia takie są prawidłowe przy założeniu wykonania sieci powrotnej zgodnie z normą PN-92/E-05024 i zachowaniu ciągłości tej sieci w każdych warunkach. Kilkuletnie doświadczenia wskazują, że warunki te nie zawsze są spełnione. W praktyce występuje (świadomy lub nieświadomy) brak łączników międzytorowych, i to na całych liniach lub szlakach kolejowych. Sporadycznie występują też przerwy w ciągłości sieci szynowej (uszkodzenie lub kradzież dławika torowego, wymiana szyn lub rozjazdów bez wykonania połączeń obejściowych, itp.). Sytuacja taka wymaga zastosowania

zwierników przystosowanych również do przewodzenia prądu od szyn do ziemi, i to w sposób długotrwały, jako części prądu obciążenia. Przykład takiego rozwiązania przedstawiono na rysunku 1.

Powstanie przerwy w sieci szynowej powoduje wzrost potencjału szyn względem ziemi powodując zadziałanie zwiernika TZD-1R, którego napięcie zadziałania ustawione jest na poziom  $120 \text{ V}$ . Część prądu obciążenia płynie przez ten zwiernik do liny uszynienia grupowego i poprzez uziomy ( $R_s$ ) konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej do ziemi. Część prądu wypływa do ziemi bezpośrednio z sieci szynowej poprzez rezystancję przejścia szyny – ziemia ( $R_{sz}$ ). Powoduje to wzrost potencjału ziemi w pobliżu podstacji trakcyjnej i zadziałanie ochrony ziemnozwarciowej (EZZ). W przypadku gdy prąd ten przekroczy wartość  $600 \text{ A}$  następuje wyłączenie podstacji trakcyjnej przez EZZ. Podczas aktualnie prowadzonych przez CNTK badań systemu uszynień grupowych w układzie otwartym pomierzona wartość prądu płynącego przez zwiernik TZD-1R dla takich przypadków wynosiła ponad  $200 \text{ A}$ . Pomiar wykonano na szlaku Kraski – Ponętów, wykonując przerwę w sieci powrotnej danego toru w odległości  $1,5 \text{ km}$  od podstacji trakcyjnej w Ponętowie i przy braku łączników międzytorowych na długości ok.  $4 \text{ km}$  przed przerwą w torze. W ciągu ok.  $6$  godzin pomiarów stwierdzono sześciokrotne działanie zwiernika TZD-1R. Nie stwierdzono wyłączenia podstacji przez EZZ. Część prądu trakcyjnego wraca z ziemi do sieci szynowej za przerwą i kablami powrotnymi do szyny minusowej podstacji trakcyjnej, co nie zostało zaznaczone na rysunku.

Na rysunku 2 zaznaczono obwód prądu podczas wystąpienia zwarcia doziemnego w sieci trakcyjnej.

W przypadku wystąpienia zwarcia doziemnego w sieci trakcyjnej (przebiecie izolacji), podwyższony potencjał uziemionej konstrukcji wsporczej sieci trakcyjnej powoduje zadziałanie zwiernika TZD-1N, zamykając obwód pętli dla zwarcia międzybiegunowego, powodując przepływ dużego prądu zwarcia wymuszającego zadziałanie odpowiedniego wyłącz-



Rys. 1. Rozpyły prądu obciążenia w przypadku przerwy w sieci szynowej

nika szybkiego zabezpieczającego dany odcinek sieci trakcyjnej.

Na rysunku 3 przedstawiono obwód nadzorowany przez urządzenie do kontroli ciągłości kabli powrotnych (TCK) kontrolujące ciągłość połączeń mających bezpośredni wpływ na poprawne działanie systemu ochrony ziemnozwarciowej w podstacji trakcyjnej, elementy systemu uszynień grupowych, jak też graniczną dopuszczalną wartość rezystancji uziomu podstacji. Co kilkanaście minut jest wysyłany impuls prądowy o czasie trwania ok. 1 ms, w obwodzie pokazanym na rysunku, podczas którego mierzona jest rezystancja tego obwodu. Wzrost rezystancji uziomu podstacji ( $R_u$ ) lub wystąpienie przerwy w sieci szynowej w pobliżu podstacji trakcyjnej, a tym samym wzrost rezystancji przejścia szyny – ziemi  $R_{sz}$  (przy zachowaniu ciągłości sieci szynowej rezystancja ta nie przekracza wartości  $0,1 \Omega$ ) powyżej nastawionego progu jest sygnalizowane. W przypadku powstania przerwy w tym obwodzie (np. przerwanie kabli powrotnych

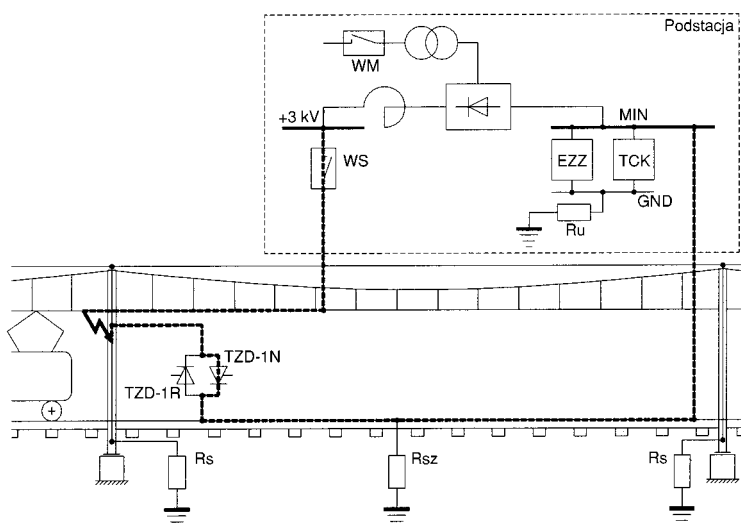
lub przerwa w obwodzie uziemiającym podstację trakcyjną) urządzenie powoduje wyłączenie podstacji trakcyjnej.

Dotychczas system uszynień grupowych w układzie otwartym z zastosowaniem zwierników tyrystorowych został wdrożony na długości ok. 400 km sieci trakcyjnej, przeważnie w odniesieniu do konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej na fundamentach palowych. Ostatnio system jest wdrażany również dla konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej na fundamentach tradycyjnych oraz na stacjach. Eksploatowanych jest ok. 450 zwierników. Podczas kilkuletniej eksploatacji zwierników tyrystorowych typu TZD stwierdzono kilkanaście przypadków uszkodzenia się warystora (w żadnym przypadku nie miało to wpływu na podstawowe funkcjonowanie zwiernika) stosowanego w TZD do ochrony od przepięć zakłócających i atmosferycznych. Uszkodzenia miały miejsce w wyniku powstania przerwy w sieci szynowej (układ pokazany na rys. 1) bez stosowania zwiernika spolaryzowanego od szyn do ziemi (TZD-1R). Po zastosowaniu zwierników TZD-1R w każdej z sekcji uszynień grupowego nie stwierdzono uszkodzeń warystorów, jak też samych zwierników.

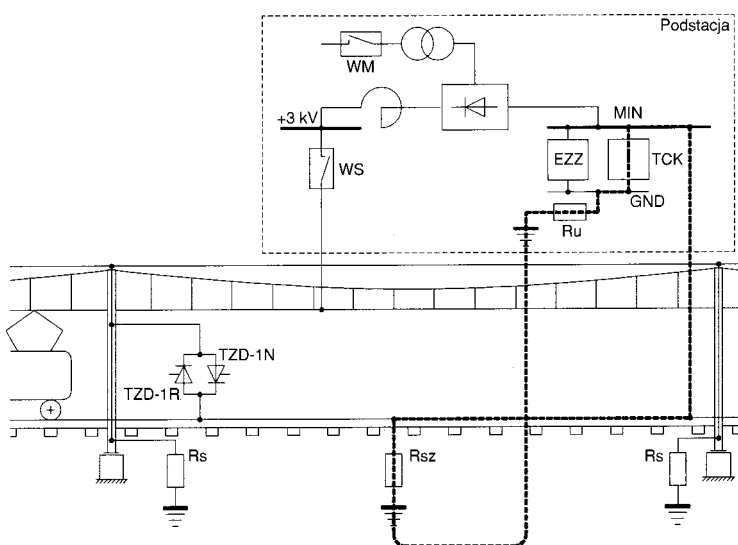
Aktualnie prowadzony jest przez CNTK drugi etap badań systemu uszynień grupowych w układzie otwartym (pierwszy etap zakończono w 1996 r.), obejmujący badania laboratoryjne zwierników oraz badania w terenie całego systemu dla potwierdzenia dotychczasowych doświadczeń i sprawdzenia zaistniałych wątpliwości. Badania mają na celu określenie ostatecznych wymagań dla systemu, w tym dla samych zwierników stosowanych w systemie uszynień grupowych konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej, jak też dla uszynień budowli i innych urządzeń technicznych wymagających uszynień, w stosunku do których nie można stosować uszynień bezpośrednich. Wyniki badań powinny dać jednoznaczną odpowiedź odnośnie zakresu i sposobu projektowania systemu w zależności od stosowanych rozwiązań w obwodach srk, wykonywania badań pomontażowych systemu oraz zakresu i sposobu wykonywania badań kontrolnych podczas eksploatacji. Przewiduje się zakończenie badań w grudniu br., co powinno skutkować opracowaniem ostatecznych wytycznych projektowania, konserwacji i utrzymania systemu uszynień grupowych konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej w układzie otwartym.

## Wnioski

**1.** Zastosowanie systemu uszynień grupowych konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej w układzie otwartym oraz systemu ochrony ziemnozwarciowej w podstacjach



Rys. 2. Rozplływ prądu podczas zwarcia w sieci trakcyjnej



Rys. 3. Obwód prądu kontrolnego urządzenia TCK

trakcyjnych (wyposażone wszystkie podstacje na sieci PKP) zdecydowanie ogranicza wartość prądów błądzących co wynika ze wzrostu rezystancji przejścia szyny – ziemia przy niezmiennych innych parametrach obwodu oraz uniemożliwia przepływ prądu z ziemi bezpośrednio do szyny minusowej podstacji trakcyjnej (poza celowym uziemieniem szyny minusowej podstacji trakcyjnej do konserwacji i w warunkach awaryjnych). Urządzenie do kontroli ciągłości kabli powrotnych kontroluje w sposób ciągły elementy obwodu ochrony ziemnozwarciowej i ciągłość sieci powrotnej, zapewniając właściwy poziom bezpieczeństwa. Skuteczność systemu jest uzależniona od poprawnego działania i niezawodności zwierników napięciowych. Na podstawie kilkuletnich doświadczeń należy ocenić, że zastosowane zwierniki tyrystorowe typu TZD spełniają te wymagania.

2. Zastosowanie zwierników TZD do uszynień budowli inżynierskich (mosty, wiadukty, itp.) poza ograniczeniem prądów błądzących zapewnia ochronę tych obiektów przed elektrokorozją wywołaną przepływem prądu od szyn do ziemi. Stosowane dotychczas w tym celu iskierniki niskonapięciowe są przeważnie w stanie trwałego zwarcia. Występujące między siecią szynową a ziemią szpilkowe napięcia zakłócające rzędu kilkuset woltów (na podstawie pomiarów w trakcie wdrażania systemu ochrony przeciwporażeniowej i uszynień grupowych), jak też wyładowania atmosferyczne

powodują w krótkim czasie przebicie iskiernika, który pozostaje w takim stanie do czasu jego regeneracji lub wymiany.

3. Jednym z ważniejszych wymagań mających wpływ na ograniczenie prądów błądzących oraz ochronę przeciwporażeniową jest stosowanie i właściwe utrzymanie połączeń poprzecznych międzytokowych i międzytorowych. Brak połączeń międzytokowych powoduje dodatkowo wzrost strat energii elektrycznej dostarczanej do pojazdów trakcyjnych.

□

#### Literatura

- [1] Dziuba W.: *Sieć powrotna i prądy błądzące*. Wydawnictwo Książkowe Instytutu Elektrotechniki, Warszawa 1995.
- [2] Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa: *Nowy system ochrony przeciwporażeniowej i ziemnozwarciowej dla urządzeń sieci trakcyjnej – badania w warunkach eksploatacyjnych*. Praca nr 3016/23, Warszawa 1996.
- [3] Politechnika Warszawska: *Analiza rozwiązań ochrony ziemnozwarciowej i przeciwporażeniowej urządzeń sieci trakcyjnej 3 kV prądu stałego – uszynienia i uziemienia konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej*. Praca studialna. Warszawa 1995.
- [4] Kulhawik Z., Kaleta J.: *Wpływ uszynień grupowych na ograniczenie prądów błądzących*. Konferencja Naukowo-Techniczna. Zakopane 14–16 październik 1999.

Autor

mgr inż. Zygmunt Kulhawik

PKP Dyrekcja Elektroenergetyki Kolejowej

# VI

## Ogólnopolska Wystawa

# Kolej na Kolej

**Zduńska Wola Karsznice, 20–21 września 2000 r.**

- Budowa, utrzymanie i naprawa urządzeń taborowych
- Elektrotechnika kolejowa
- Osprzęt trakcyjny i kablowy
- Oświetlenie terenów kolejowych
- Wyroby produkowane dla zaplecza warsztatowego
- Komputery i oprogramowanie
- Systemy łączności radiowej
- Sprzęt ochronny i BHP
- Chemia przemysłowa
- Meble i materiały biurowe

Organizator:

**Fundacja „Semafor”, Oddział Zduńska Wola Karsznice**

98-250 Zduńska Wola, ul. 1. Maja 7, tel./fax (0-43) 823 07 10

pod patronatem **Dyrektora Naczelnego Dyrekcji Przewozów Towarowych CARGO**