

Ireneusz Chrabąszcz, Jacek Lech, Janusz Prusak

Tory kolejowe linii zelektryfikowanych napięciem stałym, jako źródło ewentualnych zagrożeń porażeniem elektrycznym

W Polsce koleje, w porównaniu z transportem samochodowym pod względem liczby wypadków śmiertelnych można uważać za wyraźnie bardziej bezpieczny środek przewozu pasażerów. Ponieważ życie i zdrowie ludzkie są wartościami bezcennymi, należy stale mieć na uwadze zagadnienia związane z bezpieczną eksploatacją tego środka transportu, pomimo zadowalających w tym zakresie statystyk.

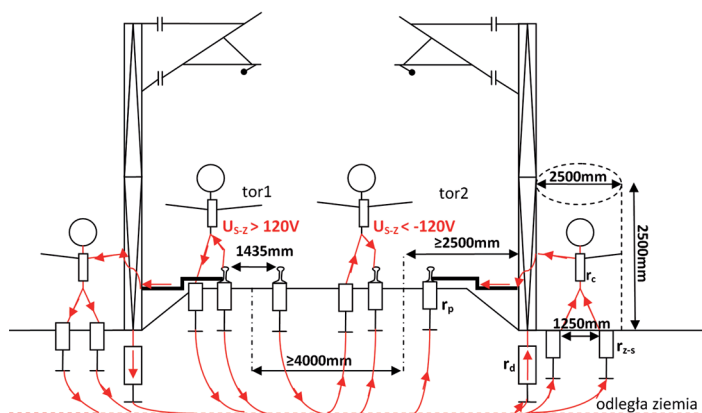
Według stanu na 31.12.2010 r. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. eksploatowały 19 276 km linii kolejowych, z czego 11 830,6 km to linie zelektryfikowane napięciem stałym 3 kV, na których wykonywane jest ponad 90% pracy przewozowej [1]. Stan techniczny torów, które na odcinkach zelektryfikowanych są jednocześnie istotnym fragmentem obwodu zasilania pojazdów trakcyjnych, bywa różny. Z powodu niewystarczających środków finansowych na naprawę infrastruktury kolejowej, stan dróg ulega systematycznemu pogorszeniu. Według kryteriów PKP S.A. tylko 36% torów w Polsce można ocenić jako tory w dobrym stanie technicznym [1]. Są to linie, które wymagają jedynie robót konserwacyjnych i są eksploatowane z założonymi prędkościami eksploatacyjnymi. Pozostała część użytkowanych dróg odbiega od tego stanu. Na wielu odcinkach dróg kolejowych z powodu złego stanu technicznego występują znaczne ograniczenia prędkości pociągów spowodowane wymogami bezpieczeństwa ruchu. Takie ograniczenia prędkości nie wzbudzają oczywiście zadowolenia pasażerów pociągów, zapewniają jednak, bezpieczny przejazd. Jak widać można znaleźć jakiś (bezinwestycyjny) sposób, aby sobie poradzić z problemem złego stanu technicznego torowiska. Sprawa dla linii zelektryfikowanych jest bardziej złożona. Nie da się uniknąć przepływu prądu trakcyjnego przez torowisko bez względu na jego stan techniczny, jak również prędkość pojazdów.

Przyczyny porażen elektrycznych

Przyczyny wszelkich nieszczęśliwych zdarzeń mają przeważnie złożony charakter i są wypadkową losowego zbiegu niekorzystnych czynników. Różnie można oceniać wagi wspomnianych czynników, ale w przypadku porażen elektrycznych dominujące znaczenie ma występowanie podwyższonych napięć w miejscach, które można określić jako łatwo dostępne. Linie kolejowe nie są w jakiś szczególny sposób ogradzane i chociażby z tego powodu dostępność do nich nie jest zbyt trudna.

Niedocenianie problemu utrzymania dobrego stanu technicznego torowisk linii zelektryfikowanych według zaleceń obowiązujących norm i przepisów kolejowych może sprzyjać zwiększeniu

stopnia zagrożenia porażeniem prądem w strefie sieci szynowej. Powodują to podwyższone potencjały, które mogą pojawiać się na szynach oraz na dostępnych częściach przewodzących, mających bezpośrednie połączenie z obwodem szynowym (rys. 1.), np. na skutek zastosowania uszynień indywidualnych metalowych konstrukcji wsporczych.



Rys. 1. Schematy drogi przepływu prądu rażeniowego przez ciało człowieka w sytuacjach pojawienia się niebezpiecznego potencjału na częściach przewodzących znajdujących się w obszarze sieci szynowej

U_{s-z} – napięcie szyna–ziemia, r_p – rezystancja przejścia szyna–ziemia, r_d – rezystancja doziemna konstrukcji wsporczej, r_c – rezystancja ciała człowieka względem ziemi, r_{z-s} – rezystancja przejścia ziemia–stopa; na rysunku oznaczono również „zasięg ręki” i zwymiarowano odległości poszczególnych elementów linii dwutorowej

Aktualnie obowiązujące przepisy ochrony przeciwporażeniowej (norma PN-IEC 60364) przyjmują, że napięcie jest bezpieczne, jeśli nie przekracza wartości podanych w tabeli 1. Napięcie bezpieczne U_L definiowane jest jako największa wartość napięcia roboczego lub dotykowego, którego długotrwałe utrzymywanie się nie stanowi zagrożenia dla życia i zdrowia człowieka w danych warunkach otoczenia.

Tabela 1

Wartości napięć bezpiecznych według normy PN-IEC 60364

Rodzaj prądu	Napięcie bezpieczne U_L [V] w warunkach		
	normalnych	szczególnych	ekstremalnego zagrożenia
Prąd przemienny	50	25	12
Prąd stały	120	60	30

Należy jednak zaznaczyć, że skutki rażenia prądem dla każdego człowieka mogą być różne. Zasadniczo skutki fizjologiczne rażenia człowieka prądem zależą od [8, 9]:

- drogi przepływu prądu przez ciało człowieka,
- wartości prądu rażeniowego,
- czasu przepływu prądu.

Duży wpływ na reakcję organizmu człowieka rażonego prądem ma jego aktualny stan zdrowia. Może okazać się, w pewnych okolicznościach, że nawet napięcia z zakresu napięć bezpiecznych mogą wywołać negatywne skutki u takiej osoby.

W artykule podjęto próbę wskazania wpływu stanu technicznego torowisk zelektryfikowanych prądem stałym 3 kV DC na możliwość pojawiania się podwyższonych potencjałów (przekraczających wartości normatywne podane w tab. 1) w obszarze trakcyjnych obwodów powrotnych.

Sieć powrotna i jej zadania

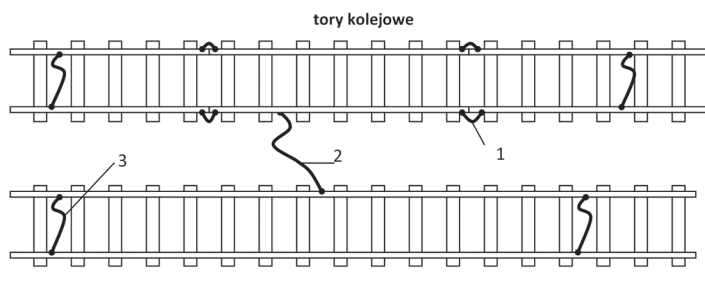
Ponieważ w artykule opisano zagrożenia, jakie może stwarzać sieć powrotna, krótko scharakteryzowano jej budowę w aspekcie rozptyłu prądów trakcyjnych [2].

Sieć powrotną stanowi zespół elementów nawierzchni torowej, to jest szyny i rozjazdy wraz z łączącymi te elementy połączeniami elektrycznymi. Jako część układu zasilania sieć może stwarzać wiele problemów, związanych z oddziaływaniem prądów w jej obszarze. Ze względu na to, że często przebiega w miejscach stosunkowo dostępnych, a osoby poruszające się w jej strefie (rys. 1.) mogą mieć kontakt z częściami przewodzącymi prąd elektryczny (tj. szyny jezdne, trakcyjne konstrukcje wsporcze lub inne elementy przewodzące, połączone z torami), powinna zapewniać bezpieczeństwo elektryczne. Niewłaściwy stan techniczny sieci powrotnej może mieć istotny wpływ nie tylko na jakość zasilania, ale może prowadzić do pojawienia się niebezpiecznych napięć w obszarze torów kolejowych [2].

Głównym zadaniem sieci powrotnej jest niskorezystancyjne odprowadzanie prądów trakcyjnych, które zapewnia [2]:

- szybką wyłączalność zwarc w przypadkach awaryjnych,
- zmniejszenie spadków napięć w sieci szynowej,
- poprawę jakości i pewności zasilania,
- zmniejszenie zjawiska prądów błądzących,
- prawidłowe działanie urządzeń SRK.

Kolejnym wymogiem, dotyczącym parametrów elektrycznych sieci powrotnej, jest odpowiednia izolacja szyn względem ziemi. Sieć powrotna musi mieć właściwą rezystancję szyna–ziemia (zalecana przez normę PN-EN 50122-2 wartość jednostkowej rezystancji przejścia w trakcji kolejowej wynosi $2 \Omega\text{km}$), wiąże się to z wymogami ochrony przed oddziaływaniem prądów błądzących. Zjawisko prądów błądzących jest niepożądane ze względu na działalność korozyjną. Przy zbyt małej rezystancji przejścia zagrożenie prądami błądzącymi może być niedopuszczalnie duże.



Rys. 2. Połączenia elektryczne w sieci powrotnej

1 – łączniki podłużne, 2 – łączniki międzytorowe, 3 – łączniki międzytokowe

Stan techniczny torowiska i parametry elektryczne

W celu poprawy przewodności wzdłużnej obwodu powrotnego, w torowisku stosuje się dodatkowe połączenia elektryczne (rys. 2), do których należą łączniki szynowe podłużne oraz łączniki szynowe poprzeczne (międzytorowe, międzytokowe) [2].

Przewody elektryczne o odpowiednim przekroju łączą części obwodu szynowego, a tym samym pozwalają zachować ciągłość obwodu powrotnego oraz zmniejszyć wypadkową rezystancję wzdłużną sieci szynowej. Łączniki poprzeczne zwierają równoległe toki sąsiadujących szyn i torów, dzięki czemu mogą niemal dwukrotnie zmniejszyć wypadkową rezystancję wzdłużną sieci szynowej. Stosowanie połączeń poprzecznych w normalnych warunkach użytkowania sieci może zmniejszyć jej potencjał o połowę, poprawiając tym samym bezpieczeństwo elektryczne. W przypadku awarii torów kolejowych (pęknięcia szyn) zapewniają ciągłość obwodu powrotnego. Łączniki szynowe podłużne stosowane w klasycznej budowie torowiska poprawiają przewodność wzdłużną szyn na połączeniach łukowych. Rezystancja połączenia sąsiednich odcinków szyn za pomocą łącznika szynowego podłużnego nie powinna przekraczać wartości rezystancji jednego metra bieżącego szyny [2]. Według instrukcji utrzymania sieci powrotnej ET2 [3]: „§39 pkt. 5 Na zelektryfikowanych torach, w przypadku, gdy nie są stosowane urządzenia blokady samoczynnej, powinny być stosowane łączniki szynowe poprzeczne międzytokowe co ok. 300 m i międzytorowe co ok. 600 m”.

Na skutek dokonywanych kradzieży i dewastacji oraz braku wystarczającego nadzoru dość łatwo można znaleźć odcinki zelektryfikowanych tras kolejowych pozbawione tych podstawowych połączeń elektrycznych (fot. 1a i b), jakże ważnych z punktu widzenia bezpieczeństwa elektrycznego. Dodatkowo kradzieże dławików torowych, niewykonywanie połączeń obejściowych w trakcie prac naprawczych nawierzchni torowej oraz pęknięcia szyn mogą spowodować brak ciągłości w obwodzie powrotnym, co może również przekładać się na zwiększenie zagrożenia porażeniowego.

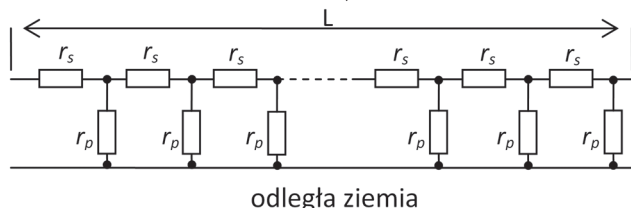
Specyficznym zagadnieniem jest wartość rezystancji (konduktancji) przejścia szyna–ziemia w aspekcie porażenia elektrycznych. Z porażeniowego punktu widzenia korzystne jest aby jednostkowa rezystancja przejścia szyna–ziemia nie była zbyt duża. W przypadku ochrony przed prądami błądzącymi wskazane jest, aby jak najmniejsza część prądów trakcyjnych upływała do ziemi. W związku z tym jednostkowa rezystancja szyn względem ziemi powinna być możliwie duża, co określa norma PN-EN 50122-2. Na rezystancję przejścia szyna–ziemia w dużym stopniu wpływa m.in. zastosowany rodzaj uszynień. W przypadku uszynień indywidualnych jednostkowa rezystancja przejścia szyna–ziemia dla jednego toru zawiera się w granicach $0,2\text{--}0,5 \Omega\text{km}$, natomiast dla uszynień grupowych dla nowych torów rezystancja ta osiąga wartości kilkudziesięciu Ωkm . Dopiero po około miesiącu użytkowania torów zbliża się do wartości eksploatacyjnych $2\text{--}10 \Omega\text{km}$ [4]. Dodatkowo należy zaznaczyć, że spotykany jeszcze w warunkach PKP system uszynień indywidualnych, który już obecnie nie spełnia wymogów norm PN-EN 50122-1 oraz PN-EN 50122-2 powoduje, że przewodzące części konstrukcji wsporczych mają potencjał szyn wyniesiony na znaczną odległość od torowiska (rys. 1.). W przypadku awarii i pojawienia się niebezpiecznych napięć w sieci szynowej, takie same napięcia pojawią się na konstrukcjach wsporczych, co w razie ich bezpośredniego dotyku grozi przepływem prądu rażeniowego przez ciało człowieka na

drodze „ręce–nogi”. W systemie uszynień grupowych przewodzące części konstrukcji wsporczych powinny teoretycznie posiadać potencjał ziemi.

Rozkład potencjału i pojawianie się napięć niebezpiecznych w sieci szynowej

Przypadek linii jednotorowej zasilanej jednostronnie

Obwód szynowy można przedstawić w postaci pewnej liczby elementarnych rezystancji wzdłużnych szyn r_s mających połączenie z ziemią za pomocą równomiernie rozłożonych rezystancji (konduktancji) przejścia szyna–ziemia r_p (rys. 3) [5].

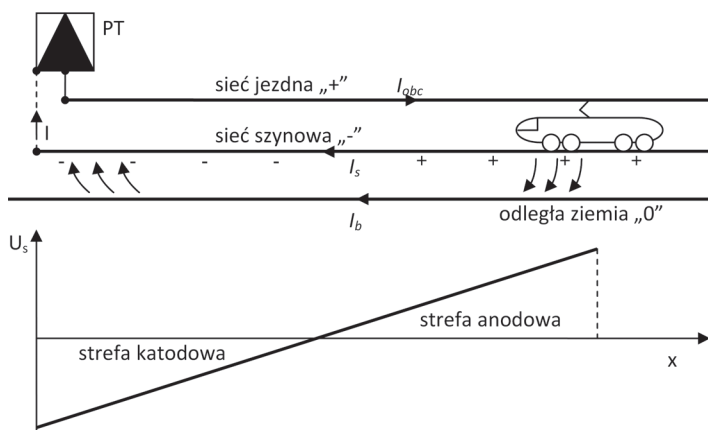


Rys. 3. Elektryczny schemat zastępczy odcinka obwodu sieci szynowej o długości L

r_p – rezystancja przejścia szyna–ziemia, r_s – rezystancja wzdłużna szyn

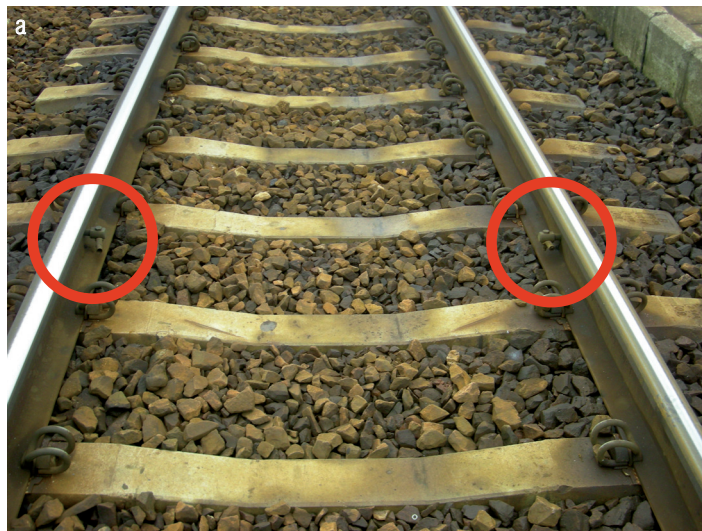
Aby zorientować się w specyfice rozkładu potencjałów i rozprywie prądów w sieci szynowej, czasu wygodnie jest na wstępie posłużyć się prostym przypadkiem, przedstawionym na rysunku 4 [5]. Jest to odcinek jednotorowy, długości L , zasilany jednostronnie, z jednym punktem powrotnym na początku i z jednym pociągiem (pobierającym określony prąd), znajdującym się na końcu odcinka. Parametry jednostkowych rezystancji wzdłużnych szyn i rezystancji (konduktancji) przejścia szyna–ziemia są stałe. Przyjęcie takiego uproszczonego modelu pozwala wstępnie poznać wpływ rozmaitych czynników na wartości pojawiających się napięć szyn i prądów błądzących.

W miejscu, w którym prąd pobierany przez pociąg wpływa do szyn tworzy się strefa anodowa. Szyny mają dodatni potencjał względem ziemi. Część prądu na skutek braku idealnej izolacji toru wpływa do ziemi i wraca z powrotem do szyn w miejscu przyłączenia kabli powrotnych. Prąd przepływający z ziemi do szyn powoduje, że tor ma potencjał ujemny, a ziemia dodatni i jest to strefa katodowa obwodu szynowego (rys. 5) [5].



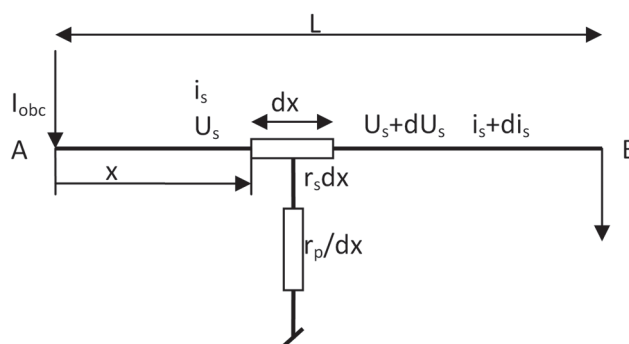
Rys. 4. Uproszczony schemat sieci szynowej przy zasilaniu pojedynczego odbioru jednostronnie z podstawy trakcyjnej

I_{obc} – prąd obciążenia, I_s – prąd płynący szynami, I_b – prądy błądzące, U_s – potencjał szyn względem ziemi, x – odległość względem początku układu zasilania



Fot. 1. Pozostałość po skradzionym łączniku
a – międzytorowym, b – międzytorowym (połączenia kółkowe)

Na podstawie przyjętego na rysunku 5 modelu symulacyjnego odcinka sieci szynowej długości L można w dość prosty sposób dokonać analizy napięć szyn oraz prądów błądzących w zależności od zmiany parametrów jednostkowych (rezystancji) tego



Rys. 5. Układ połączeń elementarnych rezystancji w obwodzie szyny-ziemia dla odcinka toru AB, długości L , z punktem powrotnym w B i z obciążeniem skupionym w A [5]

U_s – napięcie szyn względem ziemi; i_s – prąd płynący szynami; I_{obc} – prąd pobierany przez lokomotywę; r_s – rezystancja wzdłużna szyn; r_p – rezystancja przejścia szyna–ziemia; dx – elementarny odcinek długości toru; x – współrzędna odległości od początku układu; L – długość odcinka

obwodu. Obciążenie I_{obc} umieszczone jest w początku układu współrzędnych ($x = 0$), a punkt powrotny na końcu odcinka L (rys. 5), ziemia, ma zerową rezystancję ze względu na jej wielki przekrój. Dla takich założeń początkowych można sformułować równania na potencjał szyn względem ziemi U_s oraz prąd płynący w szynach i_s [5].

$$du_s = -i_s r_s dx$$

$$di_s = -\frac{U_s}{r_p} dx$$

gdzie $r_p \neq 0$

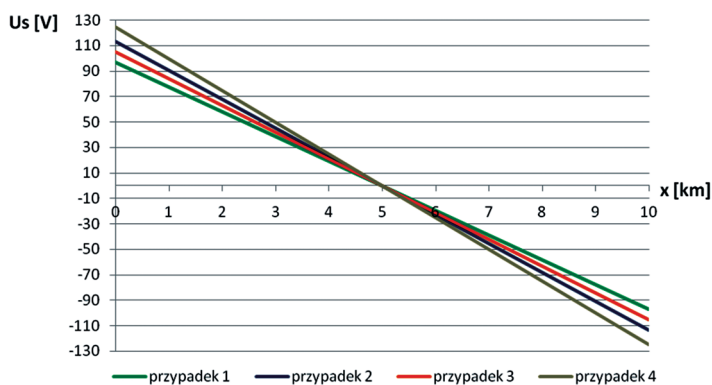
Rozwiązując te równania można uzyskać między innymi zależność na przebieg wartości potencjału szyny U_s (względem ziemi) wzdłuż badanego odcinka linii kolejowej.

Na rysunku 6 przedstawiono wartości potencjałów wzdłuż sieci szynowej (długości $L = 10$ km), obciążonej prądem $I_{obc} = 1800$ A przy dwóch różnych rezystancjach wzdłużnych i dwóch rezystancjach przejścia szyna–ziemia dla następujących przypadków:

- 1) $r_s = 11,80$ m Ω /km; $r_p = 1$ Ω km,
- 2) $r_s = 14,16$ m Ω /km; $r_p = 1$ Ω km,
- 3) $r_s = 11,80$ m Ω /km; $r_p = 10$ Ω km,
- 4) $r_s = 14,16$ m Ω /km; $r_p = 10$ Ω km.

Na podstawie rozważonych przypadków można stwierdzić, w jakim stopniu wartość potencjału szyn względem ziemi zależy od rezystancji wzdłużnej r_s toru. Zwiększenie się jednostkowej rezystancji r_s o 2,36 m Ω /km skutkuje zwiększeniem napięcia U_s z 97 V do 114 V dla $r_p = 1$ Ω km. Przy pogorszonej przewodności wzdłużnej szyn niekorzystny wpływ na zwiększenie potencjału szyn przy przepływie prądów trakcyjnych wywiera również zwiększona rezystancja przejścia r_p . Dla $r_p = 10$ Ω km zwiększenie rezystancji wzdłużnej r_s z 11,8 m Ω /km do 14,16 m Ω /km powoduje, że różnice potencjału szyna–ziemia zwiększają się ze 105 V do 126 V, a więc osiągają już wartości przekraczające graniczny poziom 120 V (tab. 1).

Podsumowując te wyniki można również zauważyć, że radykalne (dziesięciokrotne) zwiększenie rezystancji szyna–ziemia r_p nie powoduje na szczęście zbyt dużego zwiększenia potencjału szyn U_s . Porównując przypadek nr 1 i nr 3 ($r_s = 11,8$ m Ω /km) widzimy, że $\Delta U_s = 8$ V; a dla przypadku nr 2 i nr 4 ($r_s = 14,16$ m Ω /km) $\Delta U_s = 12$ V. Chociaż, jak to już wspomniano, może dojść do przekroczeń bezpiecznego poziomu napięcia (tab. 1), szczególnie przy dużych wartościach obciążenia trakcyjnego I_{obc} .



Rys. 6. Rozkład potencjału szyn względem ziemi

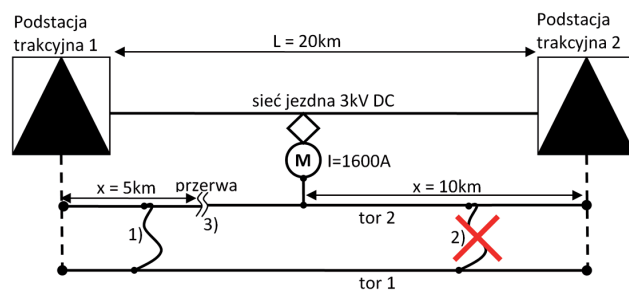
Największe różnice potencjałów szyn względem ziemi mogą występować w strefie poboru prądu przez pojazd trakcyjny oraz w strefie przyłączenia kabli powrotnych (rys. 6). Należy również zwrócić uwagę na polaryzację szyn i ziemi, gdyż w przypadku wystąpienia napięć rażeniowych kierunek drogi przepływu prądu przez ciało człowieka ma inny zwrot w strefie katodowej oraz inny w strefie anodowej. Ma to istotny wpływ na skutki oddziaływania prądu rażeniowego na organizm ludzki. Z porażeniowego punktu widzenia prąd wstępujący od nóg do rąk jest bardziej niebezpieczny dla człowieka [7].

Przypadek linii dwutorowej zasilanej dwustronnie (rys. 7) z pojedynczym odbiorem zlokalizowanym pośrodku

Uwagę zwrócono na wpływ wartości rezystancji (konduktancji) przejścia szyna–ziemia na pojawiające się spadki napięć w sieci powrotnej dla trzech przypadków, związanych z jej stanem technicznym. W rozpatrywanym przykładzie najwyższe napięcia w sieci powrotnej pojawiają się przeważnie w miejscu znajdowania się lokomotywy elektrycznej, a więc pośrodku odcinka zasilania. Poniżej przedstawiono przeanalizowane warianty.

- 1) Sieć trakcyjna dwutorowa zasilana dwustronnie w dobrym stanie technicznym, a więc utrzymana zgodnie z zaleceniami przepisów i norm, z zastosowanymi połączeniami elektrycznymi poprzecznymi i podłużnymi.
- 2) Sieć trakcyjna dwutorowa zasilana dwustronnie, pozbawiona połączeń międzytorowych na całym odcinku między podstacjami trakcyjnymi „1” i „2”.
- 3) Sieć trakcyjna dwutorowa zasilana dwustronnie, pozbawiona połączeń międzytorowych między podstacjami trakcyjnymi z przerwą jednostronną w torze, znajdującą się w odległości 5 km od podstacji trakcyjnej „1” (rys. 7).

W analizowanym układzie zasilania (rys. 7) uwzględniono nie tylko parametry elektryczne torowiska ($r_p = 0,2; 0,5; 1; 2; 4; 10; 20$ Ω km, $r_s = 12,5$ m Ω /km), ale również rezystancje wewnętrzne podstacji $R_{podst} = 186$ m Ω i sieci trakcyjnej jezdnej $r_{sj} = 68,8$ m Ω /km. Aby uwzględnić możliwość wpływu napięcia sieci jezdnej na potencjał sieci powrotnej, przyjęto rezystancyjny model lokomotywy elektrycznej.



Rys. 7. Uproszczony schemat zasilania kolejowej sieci trakcyjnej zasilanej obustronnie dla rozważanych przypadków awaryjnych sieci powrotnej

Z wykresów słupkowych, przedstawionych na rysunku 8, wiadać, że wspomniana na wstępie artykułu teza o potrzebie utrzymania trakcyjnych sieci powrotnych w stanie zgodnym z przepisami jest jak najbardziej słuszna (przypadek 1). Dla szerokiego spektrum zmian rezystancji przejścia (konduktancji przejścia) szyna–ziemia, pojawiające się potencjały są niskie i nie stwarzają żadnych zagrożeń typu porażeniowego (tab. 1). Zauważalnie inaczej przedstawia się sytuacja (rys. 2) przy braku połączeń między

torowych (przypadek 2). Potencjały szyn i konstrukcji uszynionych (uszynienie indywidualne) mogą osiągać wartości z zakresu poziomów, które w warunkach szczególnych (tab. 1) można uznać za niebezpieczne. Bardzo niebezpieczna sytuacja może być spowodowana brakiem ciągłości elektrycznej w obwodzie powrotnym wskutek np. pęknięcia szyn (przypadek 3). Dla normatywnej (ze względu na ograniczenie prądów błędzących) rezystancji przejścia $r_p = 2 \Omega\text{km}$ napięcie szyn przekracza graniczną wartość 120 V (tab. 1).

Wystąpienie porażenia elektrycznego od napięcia stałego, jak już wcześniej wspomniano, zależy od kilku podstawowych czynników. Przedstawiono bardziej szczegółowo wartości napięć (potencjałów), które w pewnych przypadkach mogły osiągać zbyt wysokie wartości z punktu bezpieczeństwa elektrycznego.

Uwagi końcowe

Przestrzeganie obowiązujących przepisów, dotyczących stanu technicznego torowisk dla linii zelektryfikowanych, wydaje się (na chwilę obecną) wystarczającym warunkiem zapewniającym ich bezpieczną eksploatację w sensie zagrożeń elektrycznych. Uzasadnione jest więc dokonywanie regularnych przeglądów sieci powrotnej w celu monitorowania stanu technicznego torowisk zarówno pod względem budowlanym, jak i elektrycznym [6].

Należy mieć na uwadze, że na torowiskach wyremontowanych (w dobrym stanie technicznym), a więc jednocześnie o wysokiej wartości rezystancji przejścia szyna–ziemia zagrożenie porażeniowe może być znaczne w sytuacji kradzieży łączników podłużnych i poprzecznych, czyli w sytuacji niedotrzymania normatywnych wymagań dotyczących zachowania ciągłości elektrycznej sieci trakcyjnej powrotnej.

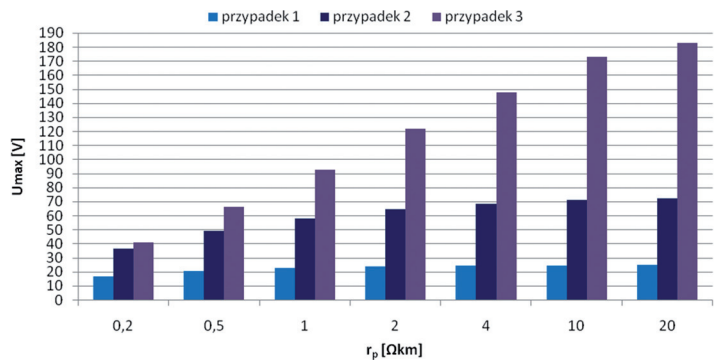
Szczególnie wysokie zagrożenie porażeniowe może powodować pęknięcie szyn, związane z powstaniem przerwy izolacyjnej w obwodzie powrotnym.

Stosowanie lokomotyw elektrycznych o coraz większych mocach jest kolejnym czynnikiem, który powoduje, że należy ze szczególną uwagą odnosić się do stanu technicznego trakcyjnych sieci powrotnych.



Literatura

- [1] <http://www.pkp.pl>
- [2] Głowacki K., Onderka E.: *Sieci trakcyjne*. Emtrak 2002.
- [3] *Instrukcja utrzymania sieci trakcyjnej Et-2*. Biuletyn PKP Warszawa 1997r.



Rys. 8. Wpływ rezystancji przejścia na poziom pojawiających się napięć (w strefie odbioru prądu przez pojazd trakcyjny dla przypadków 1, 2 i 3)

- [4] Kulhawik Z.: *Budowa i utrzymanie sieci powrotnej w świetle norm europejskich*. Technika Transportu Szynowego 1-2/2005.
- [5] Dziuba W.: *Sieci powrotne i prądy błędzące*. Instytut Elektrotechniki Warszawa 1995.
- [6] Kobielski A., Lech J., Prusak J.: *Kolejowa sieć trakcyjna powrotna, a kwestia zagrożeń porażeniem elektrycznym*. QSET 2011 XIII Międzynarodowa Konferencja Naukowa Kraków – Niepołomice 2011.
- [7] Musiał E.: *Ochrona przeciwporażeniowa w obwodach prądu stałego*. Katedra Elektroenergetyki, Politechnika Gdańska, <http://www.edward-musial.info/>.
- [8] IEC/TR2 604791-1:1993 *Effects of current on human beings and live Stock – Part1: General aspects*.
- [9] Gierlotka S.: *Skutki rażenia prądem stałym*. Bezpieczeństwo Pracy 9/2006, s. 31–32.

dr inż. Ireneusz Chrabąszcz

Katedra Trakcji i Sterowania Ruchem
Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej
Politechnika Krakowska

mgr inż. Jacek Lech

PKP PLK S.A. Zakład Linii Kolejowych w Krakowie

dr inż. Janusz Prusak

Katedra Trakcji i Sterowania Ruchem
Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej
Politechnika Krakowska

➤ *Dokończenie ze s. 68*

- [4] Sitarz M., Mańka I., Janowska-Bucka E.: *Systemy zarządzania bezpieczeństwem w zakładach naprawczych taboru kolejowego w oparciu o standard IRIS*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Transport, z. 62, nr kolejny 1803, Gliwice 2008.
- [5] Sitarz M., Raczyński J., Mańka A., Mańka I., Janowska-Bucka E., Chrużik K., Wachnik R.: *Badania symulacyjne oceny ryzyka w transporcie szynowym*. Monografia: Zintegrowany System Bezpieczeństwa Transportu, tom I, rozdział 4: Rozwój i integracja systemu bezpieczeństwa transportu kolejowego, Warszawa 2009.
- [6] Sitarz M., Chrużik K., Jabłoński M.: *Ocena i monitorowanie ryzyka w transporcie kolejowym*. Materiały z XVIII Konferencji Naukowej „Pojazdy Szynowe 2008”, t. 2, Politechnika Śląska, Katowice 2008.

- [7] Norma PN-EN 50126:2006 *Zastosowania kolejowe – Specyfikacja niezawodności, dostępności, podatności utrzymaniowej i bezpieczeństwa*.
- [8] *IRIS Railway Industry Standard*, rev. 02. UNIFE, Bruxelles, Belgium, 2009.

dr hab. inż. Marek Sitarz, prof. Politechniki Śląskiej

dr inż. Adam Mańka

dr inż. Ilona Mańka

Katedra Transportu Szynowego
Wydział Transportu Politechniki Śląskiej