



**KOLEN.PL**

SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ SPÓŁKA KOMANDYTOWA  
05-091 Ząbki, ul. Bratnia 8a

NIP: 952 00 02 116

BDO: 000320689



## **Którędy płynie prąd powrotny i co z tego wynika**

Opracował: dr inż. Dariusz Pieńkowski

mgr inż. Zygmunt Kulhawik

**Ząbki, sierpień 2020**

W materiale dotyczącym wypadkowej rezystancji szyny-ziemia analizowaliśmy wartość rezystancji doziemnej szyn, biorąc pod uwagę, że tory kolejowe są ciągłe na całym obszarze Polski. Według obliczeń rezystancja ta wynosi około 0,1-0,2  $\Omega$ , w zależności od stanu technicznego torów [1].

Powyższa analiza dotyczy również torów tramwajowych. Tory tramwajowe są zdecydowanie krótsze i równocześnie jednostkowa rezystancja doziemna jest mniejsza. W wyniku, już kilka kilometrów od końca torowiska wypadkowa rezystancja doziemna torów jest praktycznie stała na całym obszarze danej aglomeracji i z reguły nie przekracza 0,1  $\Omega$ .

W tym materiale skupimy się na analizie drogi prądu powrotnego. W często idealizowanym przypadku prąd płynie z podstacji siecią zasilającą do pantografu pojazdu, dalej poprzez jego urządzenia i koła trafia do szyn, a do podstacji wraca układem torowym. W rzeczywistości, jest jednak inaczej. Przedstawiona w materiale analiza dotyczy zarówno środowiska kolejowego jak i tramwajowego, gdyż zachodzące zjawiska fizyczne są w obu przypadkach jednakowe.

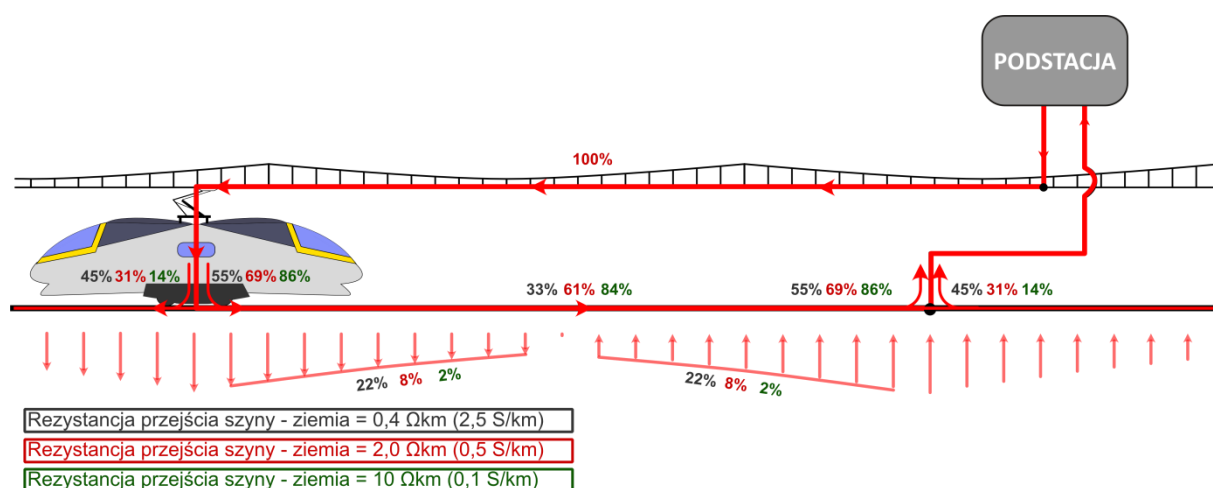
Obliczenia wykonano przyjmując różne jednostkowe rezystancje doziemne torów. Wybrano trzy wartości tej rezystancji: 0,4  $\Omega$ km będącą minimalną dopuszczoną przez normę PN-EN 50122-1 [2] rezystancję dla układu tramwajowego, 2,0  $\Omega$ km będącą minimalną dopuszczoną przez normę PN-EN 50122-1 [2] rezystancję dla układu kolejowego oraz 10,0  $\Omega$ km jako rezystancję dla układu torowego w bardzo dobrym stanie technicznym. Rezystancję doziemną o wartości 10,0  $\Omega$ km można również uznać za rezystancję typową dla układu torowego występującego w metrze.

We wszystkich analizowanych w niniejszej pracy przypadkach analizowano tylko i wyłącznie zasilanie jednostronne odcinka sieci trakcyjnej. Zwracamy na to uwagę, ponieważ jest to kluczowe dla poprawnej interpretacji wyników analizy rozptyłu prądu powrotnego prezentowanych w dalszej części tego materiału.

Analizy rozpoczynamy od przypadku, w którym zachowana jest izolacja doziemna szyny minusowej w podstacji. Następnie, analizujemy przypadki, w których szyna minusowa jest uziemiona (połączona celowo z uziomem podstacji podczas prac konserwacyjnych lub przez ochronę ziemnozwarciową EZZ). Rezystancja uziomu podstacji trakcyjnej wynosi przeważnie 0,5  $\Omega$  ÷ 2,0  $\Omega$ , gdzie 2,0  $\Omega$  jest rezystancją dopuszczalną przepisami.

Analizę kończymy dla przypadku, w którym uziom podstacji jest połączony z zespoloną instalacją uziemiającą (ZIU) [3] żyłami powrotnymi kabli SN lub przewodem N instalacji nn. Połączenie uziomu podstacji z zespoloną instalacją uziemiającą w myśl normy PN-EN 50122-1 [2] nie powinno mieć miejsca, ale niestety występuje w zdecydowanej większości istniejących układów zasilania. W szczególności, połączenie przewodem N instalacji nn dotyczy podstacji tramwajowych.

## Rozpływ prądu powrotnego, odcinek o długości 10 km



Rys. 1. Rozpływ prądów powrotnych dla pojazdu w odległości 10 km od podstacji

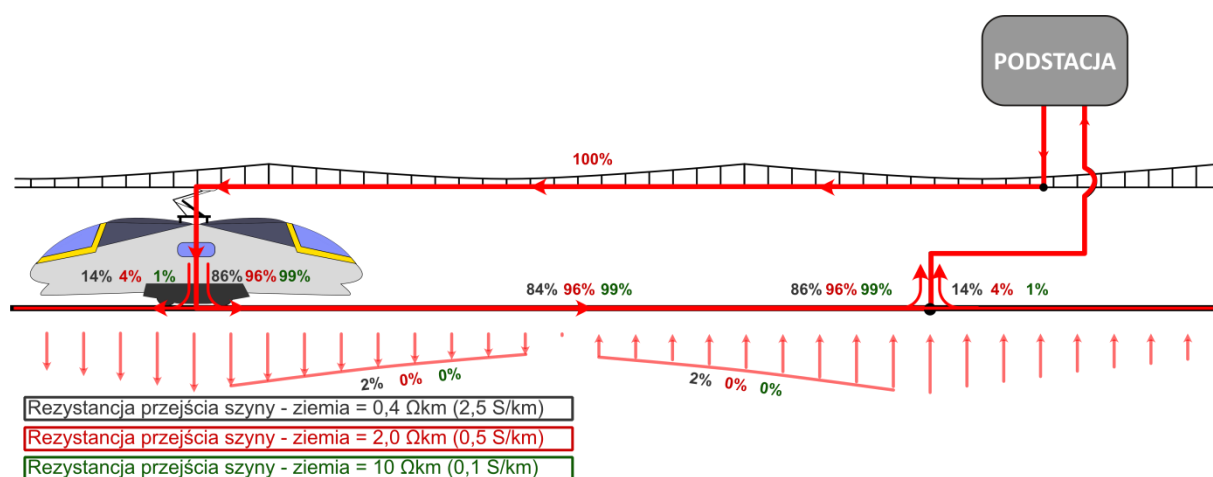
Na rys. 1 pokazany jest rozpływ prądów powrotnych przy izolowanej szynie minusowej w podstacji trakcyjnej dla różnych jednostkowych rezystancji doziemnych torów zaznaczonych odpowiednim kolorem. Analizowano przypadek, w którym pojazd trakcyjny znajduje się w odległości 10 km od podstacji. Na rysunku podano wartości procentowe prądu płynącego szynami w poszczególnych punktach oraz ziemią ze wskazaniem kierunku płynącego prądu.

Jak widać, prąd wypływający z kół pojazdu rozpływa się na dwie składowe. Pierwszą, która płynie w kierunku podstacji oraz drugą, która płynie w kierunku przeciwnym. Prąd w kierunku podstacji płynący torami początkowo zmniejsza swoją wartość ze względu na składowe tego prądu wypływające do ziemi, w środku odcinka osiąga wartość minimalną, a następnie jego wartość rośnie wspomagana składowymi wpływającymi z ziemi. Warto zauważyć, że wartość prądu płynącego w kierunku podstacji przy kołach pojazdu i w punkcie podłączenia kabla powrotnego jest identyczna.

Druga składowa prądu wypływającego z kół pojazdu (ta płynąca w kierunku przeciwnym) sukcesywnie wypływa z torów do ziemi, i w torach w pewnej odległości za pojazdem zupełnie zanika. Prąd ten wraca do podstacji jako składowa płynąca torami z kierunku przeciwnego niż pojazd. Ten sam prąd, który z pewnego odcinka torów za pojazdem wypłynął do ziemi, jest wychwytywany z ziemi przez tory znajdujące się po drugiej stronie punktu podłączenia kabla powrotnego.

W analizowanym przypadku, w środku odległości między pojazdem a podstacją w szynach płynie tylko od 33 % do 84 % prądu powrotnego. W okolicach pojazdu wypływa z szyn do ziemi od 67 % (45 % + 22 %) do 16 % (14 % + 2 %) prądu powrotnego. Prąd ten wraca z ziemi do szyn w rejonie podstacji. Widać tu wyraźną zależność stanu technicznego toru na wartość prądów błędnych płynących ziemią. Analizowany przykład dotyczy raczej typowego przypadku w trakcji kolejowej. Zdarza się, szczególnie na liniach jeszcze nie zmodernizowanych, że odległości między podstacją a pojazdem mogą być nawet dwukrotnie większe. W trakcji tramwajowej analizowana w tym przypadku odległość raczej nie występuje.

## Rozpływ prądu powrotnego, odcinek o długości 2 km



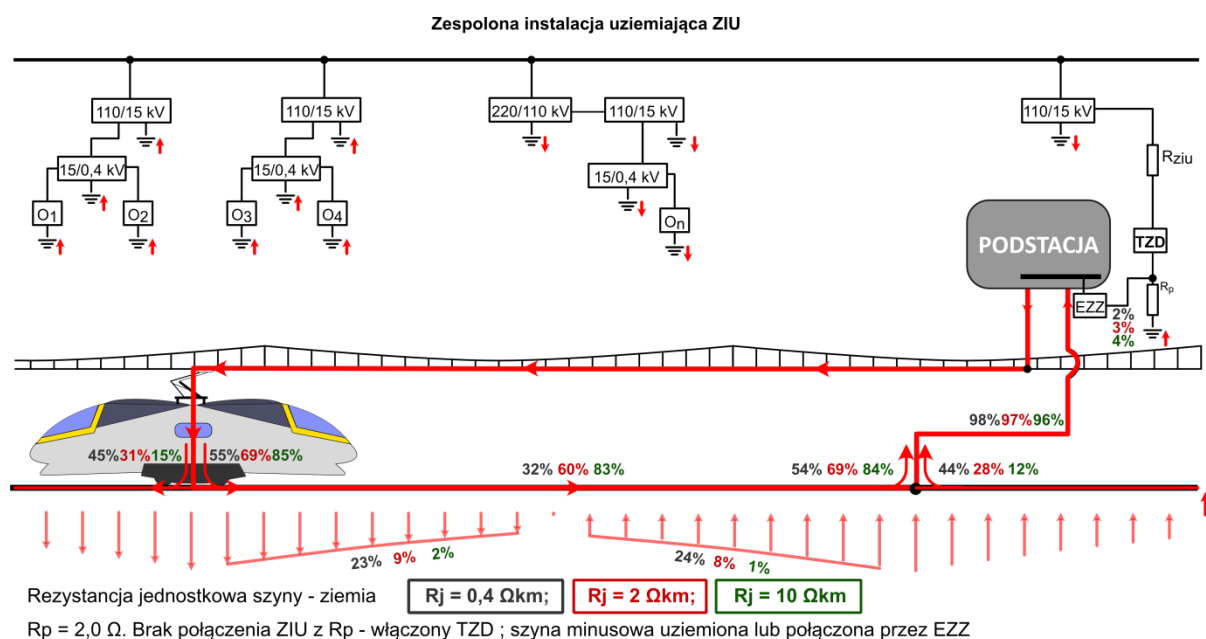
Rys. 2. Rozpływ prądów powrotnych dla pojazdu w odległości 2 km od podstacji

Na rys.2 pokazano taki sam przypadek jak poprzednio tyle, że pojazd trakcyjny znajduje się w odległości 2 km od podstacji. Jest to przypadek, który można spotkać zarówno w trakcji kolejowej jak i tramwajowej.

Na rysunku podano wartości procentowe prądu płynącego szynami w poszczególnych punktach oraz ziemią ze wskazaniem kierunku płynącego prądu. W środku odległości między pojazdem a podstacją w szynach płynie od 84 % do 99 % prądu powrotnego a w okolicach pojazdu wypływa z szyn do ziemi od 16 % do 1 %.

W analizowanym przypadku prądy płynące ziemią są zdecydowanie mniejsze. Wyniki wskazują również, że stan techniczny toru ma mniejszy wpływ na wartość prądów błędzających płynących ziemią.

## Rozptył prądu powrotnego, odcinek o długości 10 km, uziemiona szyna minusowa, $R_p=2\ \Omega$



Rys. 3. Pojazd w odległości 10 km od podstacji.

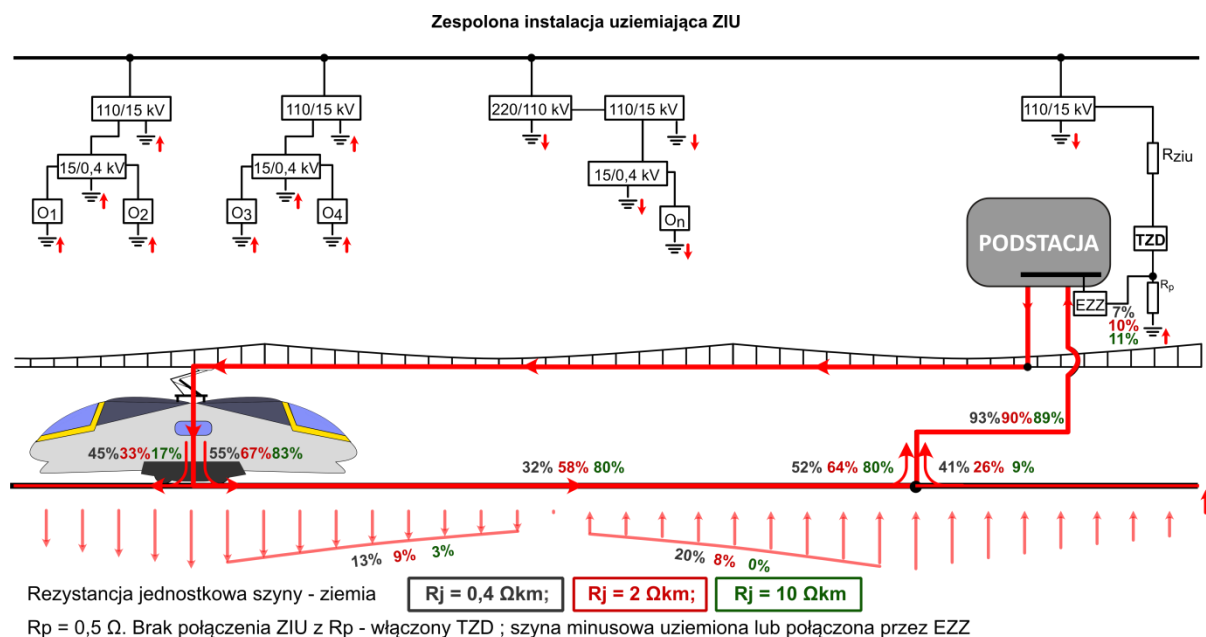
Poprzednio analizowano sytuacje, w których szyna minusowa podstacji była odizolowana od ziemi. Tym razem zajmiemy się przypadkiem, w którym szyna minusowa w podstacji jest uziemiona lub połączona z uziemem podstacji przez EZZ, a uziem podstacji jest oddzielony od zespolonej instalacji uziemiającej (ZIU) przez urządzenie ograniczające napięcie TZD. Przypomnijmy, że takie rozdzielanie uziem podstacji od ZIU jest wymaganiem normy PN-EN 50122-1 [2]. W analizowanym przypadku rezystancja uziem podstacji wynosi  $2,0\ \Omega$ .

Rozptył prądów w tym przypadku pokazano na rys.3. Prąd wypływający z szyn do ziemi w rejonie pojazdu trakcyjnego wynosi od 68% (45+23) dla rezystancji doziemnej szyn na poziomie  $0,4\ \Omega\text{km}$  do 17 % (15+2) dla rezystancji doziemnej szyn o wartości  $10,0\ \Omega\text{km}$ . Prąd wpływający do szyn w rejonie podstacji jest na porównywalnym poziomie. Zasadniczo rozkłady prądów w tym przypadku, zarówno w rejonie pojazdu jak i podstacji są bardzo zbliżone do analizowanego przypadku na rys.1., w którym szyna minusowa podstacji była izolowana. Nieznaczna część prądu wypływającego z szyn w rejonie pojazdu może wpływać do ZIU a wypływać z niej w rejonie podstacji.

Prąd płynący z uziem podstacji o rezystancji  $2,0\ \Omega$  do szyny minusowej przez EZZ zwiększa się wraz z poprawą stanu technicznego toru (większa rezystancja przejścia szyna ziemia). Jednak nawet dla najwyższej wartości rezystancji doziemnej torów nie przekracza 4 % wartości całkowitego prądu powrotnego. Nie ma więc możliwości wyłączania podstacji przez EZZ podczas normalnej eksploatacji.

Prąd wypływający z szyn do ziemi dla rezystancji jednostkowej szyn na poziomie  $0,4\ \Omega\text{km}$  w obszarze pojazdu może powodować elektrokorozję szyn. Obszar wypływania prądu jest jednak duży (ok. 5 km [1]) więc gęstość prądu jest stosunkowo mała. Dla większej rezystancji jednostkowej prąd wypływający z szyn jest mniejszy, a obszar jego wypływania większy, czyli gęstość prądu wypływającego z szyn jest jeszcze mniejsza [1].

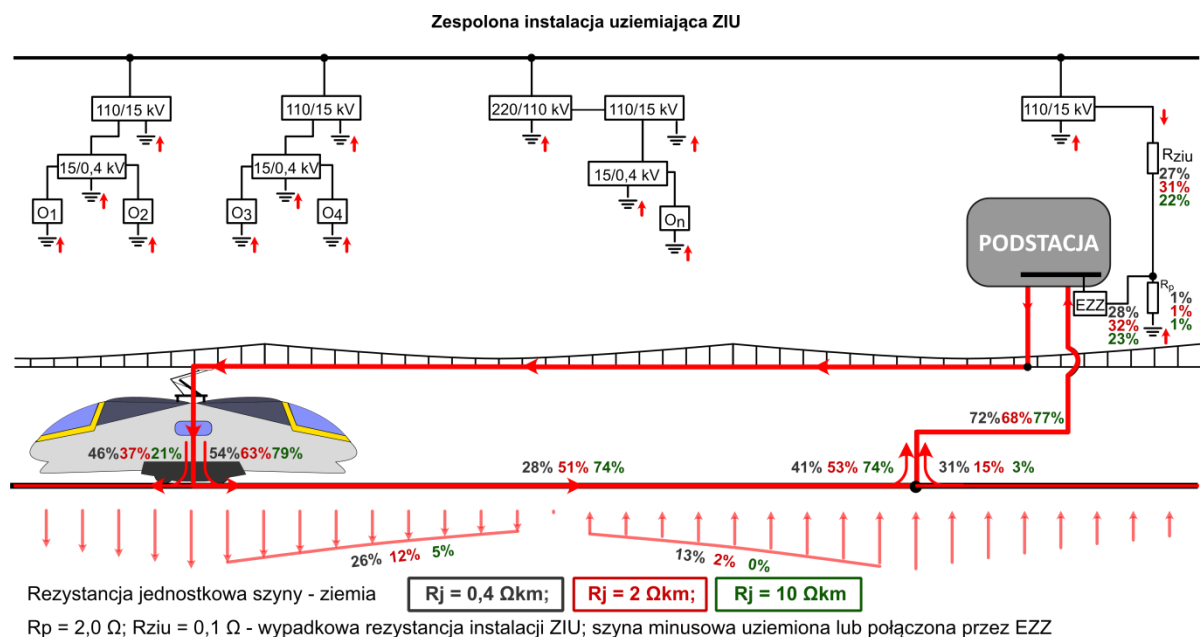
## Rozpływ prądu powrotnego, odcinek 10 km, uziemiona szyna minusowa, $R_p=0.5 \Omega$



**Rys. 4. Pojazd w odległości 10 km od podstacji.**

Na rys.4 pokazano taki sam przypadek jak analizowany poprzednio tyle, że rezystancja uziomu podstacji wynosi  $0,5 \Omega$ , a nie  $2,0 \Omega$ . Spowodowało to wyraźny wzrost, bo około 3-krotny, prądu płynącego do szyny minusowej podstacji przez EZZ. Tak jak w poprzednim przypadku wartość prądu rośnie wraz ze wzrostem rezystancji doziemnej torów i wynosi od 7 % do 11 % całkowitego prądu powrotnego. Jest to już na tyle duży prąd, że występuje realna możliwość wyłączenia podstacji przez EZZ podczas normalnej eksploatacji.

## Rozpływ prądu powrotnego, odcinek o długości 10 km, $R_p=2\ \Omega$ , $R_{ziu}=0,1\ \Omega$



Rys. 5. Pojazd w odległości 10 km od podstacji.

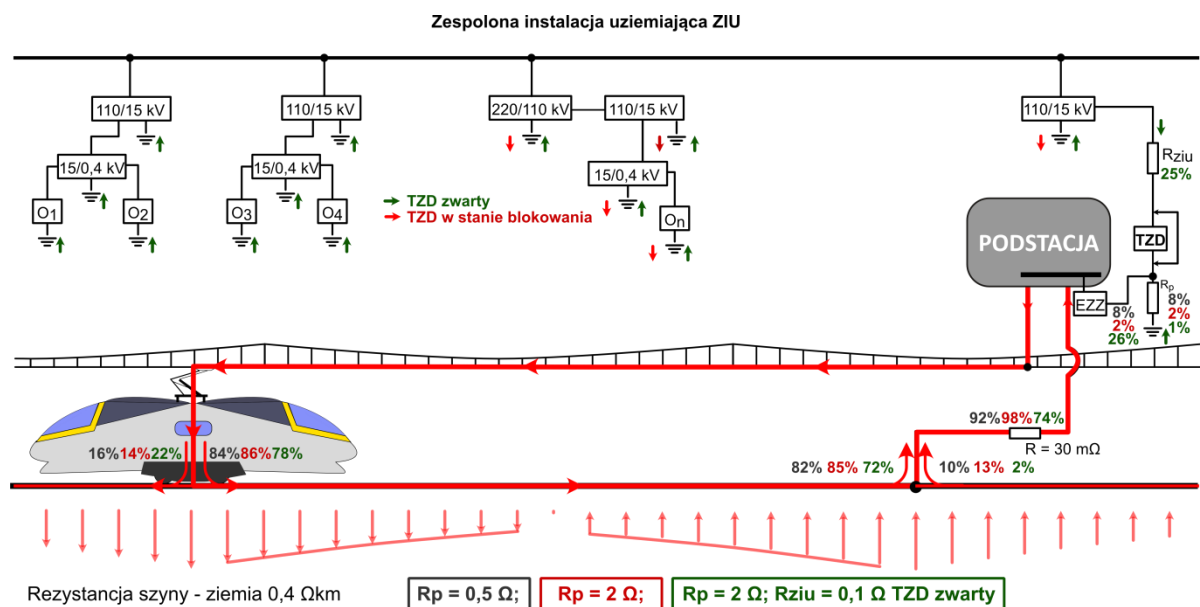
W tym przypadku analizowana jest sytuacja, w której uziom podstacji o rezystancji równej  $2\ \Omega$  jest bezpośrednio połączony z ZIU o rezystancji doziemnej  $0,1\ \Omega$ . Dla przypomnienia, dla rezystancji uziomu podstacji o wartości  $2\ \Omega$ , którą analizowano na rys. 3. Prądy płynące przez urządzenie EZZ nie stwarzały możliwości wyłączenia przez to urządzenie podstacji.

Na rys.5 pokazano rozpływu prądów w analizowanym przypadku. Jak widać, część prądu wypływającego z szyn w obszarze pojazdu, wpływa do ZIU przez wszystkie uziomy końcowych odbiorców, stacji SN/nn i WN/SN, a następnie przez żyłę powrotną kabla SN przez EZZ do szyny minusowej podstacji. Część prądu wpływa do szyn w rejonie podstacji, a część przez uziom podstacji przez EZZ do szyny minusowej.

W zależności od jednostkowej rezystancji doziemnej szyn, do szyny minusowej przez EZZ płynie od 23 % do 32 % prądu obciążenia. Zgodnie z rys.5 jest to prawie wyłącznie prąd wpływający z ZIU, gdyż prąd przez uziom podstacji jest bardzo mały. Tak duży prąd płynący przez EZZ zwiększa znacząco prawdopodobieństwo zadziałania ochrony ziemnozwarciowej EZZ i wyłączenia podstacji.

Gdyby obniżyć rezystancję uziomu podstacji do wartości  $0,5\ \Omega$  prąd płynący przez EZZ wzrośnie do 31 % i 35 % dla rezystancji doziemnej szyn odpowiednio  $0,4\ \Omega\text{km}$  oraz  $2,0\ \Omega\text{km}$ . W przypadku rezystancji doziemnej szyn o wartości  $10,0\ \Omega\text{km}$  prąd płynący przez EZZ wynosi 23 % prądu obciążenia, a więc nawet dla szyn w bardzo dobrym stanie technicznym, połączenie uziomu podstacji z ZIU stwarza możliwości wyłączenia podstacji przez EZZ.

## Rozpływ prądu powrotnego, odcinek o długości 2 km, $R_p=2/0,5 \Omega$ , $R_{ziu}=0,1 \Omega$



Rys. 6. Pojazd w odległości 2 km a kabel powrotny ok 1,3 km od podstacji

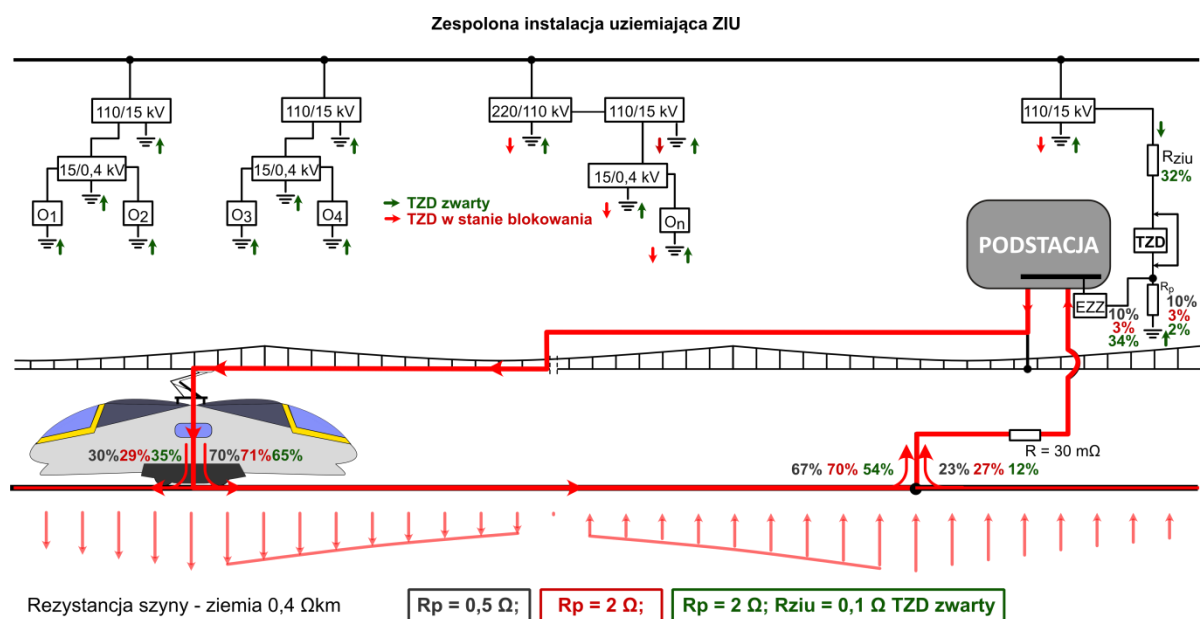
W dotychczasowych rozważaniach zakładano, że kabel powrotny znajduje się tuż przy podstacji i jest krótki, więc jego rezystancję pomijano. W rzeczywistości, szczególnie w trakcji tramwajowej rzadko można spotkać taką sytuację. Przeanalizowano więc przypadek, w którym kabel powrotny ma długość około 1,3 km, a pojazd trakcyjny znajduje się 2 km od podstacji trakcyjnej. Rezystancję kabla powrotnego przyjęto jako 30 mΩ, zakładając typowe dla trakcji tramwajowej przekroje, oraz przyjęto najniższą możliwą wartość rezystancji doziemnej.

Rozpływ prądu pokazano na rys.6. Analizowano w sumie trzy przypadki, dla których rozpływ prądu oznaczono odpowiednimi kolorami. Dwa przypadki dla uziomu podstacji oddzielnego od ZIU o rezystancji 0,5 Ω (kolor czarny) oraz o rezystancji 2,0 Ω (kolor czerwony). W trzecim przypadku uziom podstacji podłączony jest bezpośrednio do ZIU (kolor zielony).

Jak widać, w przypadku, gdy uziom podstacji jest oddzielony od ZIU prąd płynący od ziemi do szyny minusowej przez EZZ nie przekracza 8 % prądu obciążenia. Jest więc mała możliwość zadziałania ochrony ziemnozwarciowej i wyłączenia podstacji podczas normalnej eksploatacji. Jednak, kiedy uziom podstacji jest połączony z ZIU prąd płynący od ziemi do szyny minusowej przez EZZ wynosi aż 26 % prądu obciążenia. Występuje więc realna możliwość zadziałania ochrony ziemnozwarciowej i wyłączenia podstacji.

Jeśli uziom podstacji jest połączony z ZIU, to ułożenie dodatkowego kabla powrotnego w bliskiej odległości od podstacji spowoduje, że prąd płynący przez EZZ zmniejszy się z 26 % do 15 % prądu obciążenia. Z pewnością zmniejszy to prawdopodobieństwo wyłączenia podstacji przez EZZ, ale go nie wyeliminuje.

## Rozptył prądu powrotnego, odcinek o długości 4 km, $R_p=2/0.5 \Omega$ , $R_{ziu}=0,1 \Omega$



Rys. 7. Pojazd w odległości 4 km a kabel powrotny ok 1,3 km od podstacji

W ostatnim analizowanym w tym materiale przypadku obserwujemy rozptył prądów w tych samych warunkach co w poprzednim przypadku, tyle że odległość pojazdu trakcyjnego od podstacji wynosi 4 km (a nie 2 km jak poprzednio). Rozptył prądów pokazano na rys.7.

W przypadku, w którym uziom podstacji jest oddzielony od ZIU prąd płynący od ziemi do szyny minusowej przez EZZ nie przekracza 10 % prądu obciążenia. A więc prawdopodobieństwo zadziałania ochrony ziemnozwarciowej i wyłączenia podstacji podczas normalnej eksploatacji nie jest duże.

W sytuacji, w której uziom podstacji jest połączony z ZIU, prąd płynący od ziemi do szyny minusowej przez EZZ wynosi aż 34 % prądu obciążenia. Istnieje więc realna możliwość zadziałania ochrony ziemnozwarciowej i wyłączenia podstacji.

Podobnie jak w poprzednim przypadku, przy połączeniu uziomu podstacji z ZIU, ułożenie dodatkowego kabla powrotnego w bliskiej odległości od podstacji spowoduje zmniejszenie prądu płynącego przez EZZ z 34 % do 24 %. To znacząca poprawa, ale nie tyle duża by znacznie zmniejszyć prawdopodobieństwo wyłączenia podstacji przez EZZ.

Na rys. 1 i 2 pokazany jest rozptyw prądów powrotnych płynących szynami i ziemią w zależności od jednostkowej rezystancji doziemnej szyn dla przypadków pojazdu znajdujących się w odległości 10 km i 2 km od podstacji, w której szyna minusowa nie ma żadnych połączeń z uziomem. Należy zauważyć, że obszar zewnętrzny poza pojazdem, gdzie prąd wypływa z szyn do ziemi i poza podstacją, gdzie prąd wpływa do szyn jest zawsze taki sam niezależnie od odległości pociągu od podstacji. Długość tego obszaru zależy od jednostkowej rezystancji doziemnej szyn i może wynosić od 5 do 50 km [1].

Na rys. 3÷5 pokazana jest zależność prądu płynącego bezpośrednio z ziemi do szyny minusowej w zależności od rezystancji uziomu podstacji oraz jednostkowej rezystancji doziemnej szyn dla przypadku, gdy pojazd znajduje się w odległości 10 km od podstacji. Sytuacja ta dotyczy raczej trakcji kolejowej. Przyjęte do obliczeń założenia pozwalają zauważyć występujące zjawisko rozptywu prądów w zależności od stanu technicznego torów oraz rezystancji uziomu podstacji. Szczególnie duży wpływ na wartość prądu wpływającego z ziemi do szyny minusowej ma połączenie uziomu podstacji z zespoloną instalacją uziemiającą. W rzeczywistości w trakcji kolejowej jest zasilanie dwustronne, linie są przeważnie dwutorowe a przyjęta rezystancja doziemna instalacji ZIU na poziomie  $0,1 \Omega$  występuje tylko w dużych aglomeracjach. Na pozostałych obszarach może osiągać wartości do  $0,3 \Omega$  a nawet więcej przy liniach zasilających o długości powyżej 1 km. Potwierdzeniem przedstawionych symulacji są dwie kolejowe podstacje w których kilkanaście lat temu zainstalowano ograniczniki TZD w żyłach powrotnych kabli zasilających. Przed zainstalowaniem ograniczników podstacje często były wyłączane przez ochronę EZZ. Oznacza to, że prąd płynący z uziomu podstacji połączonego z ZIU przez EZZ do szyny minusowej osiągał wartości powyżej 600 A.

Na rys. 6÷7 pokazana jest zależność prądu płynącego bezpośrednio z ziemi do szyny minusowej w zależności od rezystancji uziomu podstacji, odległości pojazdu od podstacji dla jednostkowej rezystancji doziemnej szyn  $0,4 \Omega/\text{km}$ . Sytuacja ta dotyczy raczej trakcji tramwajowej. Szczególnie duży wpływ na wartość prądu wpływającego z ziemi do szyny minusowej ma połączenie uziomu podstacji z zespoloną instalacją uziemiającą.

## Wnioski

1. Niezależnie od stanu technicznego torów prąd powrotny zawsze będzie wypływać z szyn do ziemi w rejonie pojazdu trakcyjnego i wpływać z ziemi do szyn w rejonie podstacji. Wartość tego prądu zależy od stanu technicznego torów oraz odległości pojazdu od podstacji. Prąd wypływający z szyn do ziemi powoduje ich elektrokorozję. Dla torów o jednakowym stanie technicznym nie stanowi to większego zagrożenia, ponieważ strefa wypływania prądu jest duża [1], a zatem mała gęstość prądu od której zależy elektrokorozja. Jeżeli na krótkim odcinku tor ma zdecydowanie mniejszą jednostkową rezystancję doziemną (np. długi tunel) to istnieje duże zagrożenie elektrokorozi stopki szyny i konieczności jej wymiany przed zużyciem mechanicznym.
2. Przy izolowanej szynie minusowej (stan normalny) wartość prądu wpływającego z szyn i wpływającego do szyn jest taka sama i zależy tylko od stanu technicznego toru. Jest to przypadek, kiedy prąd wypływający z szyn jest najmniejszy, gdyż musi dwukrotnie pokonać rezystancję przejścia szyny ziemia podczas wypływania do ziemi i wpływania do szyn w

rejonie podstacji. Należy zauważyć, że wypadkowa rezystancja wypływania i wpływania do szyn jest dwukrotnie większa od wypadkowej rezystancji przejścia szyny ziemia [1].

3. Przy uziemionej szynie minusowej wartość prądu wypływającego z szyn jest tym większa im mniejsza jest rezystancja uziomu podstacji. Uziemianie szyny minusowej powoduje zwiększenie zagrożenia elektrokorozją szyn. Szczególnie niebezpieczne jest, kiedy uziom podstacji jest połączony z zespoloną instalacją uziemiającą ZIU żyłami powrotnymi kabli zasilających SN.
4. Przy uziemionej szynie minusowej przez EZZ, prąd płynący przez przekaźnik nadprądowy może osiągać wartości od kilkunastu do nawet kilkudziesięciu procent prądu obciążenia i powodować wyłączenia podstacji. Przy połączeniu uziomu podstacji z ZIU, stan przewodzenia prądu przez EZZ może być stosunkowo długi. W takim przypadku prąd płynący przez EZZ o wartości powyżej 100 A nie pozwala na załączenie obwodu komutacyjnego i wyłączenie prądu do momentu przekroczenia prądu nastawy (600 lub 400 A) lub zmniejszenia się prądu poniżej 100 A.
5. Podstawowym warunkiem wyeliminowania wyłączeń podstacji trakcyjnych przez ochronę ziemnozwarciową jest odizolowanie uziomu podstacji od innych uziomów, w tym przede wszystkim od zespolonej instalacji uziemiającej (ZIU). Aktualnie jest powszechnie stosowane połączenie uziomu podstacji z ZIU poprzez żyły powrotne kabli SN. W celu rozdzielenia uziomu podstacji od ZIU należy w żyłach powrotnych kabli zasilających SN zainstalować ogranicznik niskonapięciowy TZD. Rozwiązanie takie jest z powodzeniem stosowane na niektórych podstacjach kolejowych jak i tramwajowych.
6. W podstacjach tramwajowych rozdzielenie uziomu podstacji od ZIU na poziomie SN może być niewystarczające. Takie połączenie może występować również na poziomie niskiego napięcia przy rezerwowym zasilaniu podstacji napięciem nn w układzie TN, co jest często stosowane. Tu rozwiązaniem jest zasilanie w układzie TT. Dodatkowo kable powrotne są projektowane w różnych odległościach od podstacji i nie ma ich bezpośrednio przy podstacji (rys.7). Lokalizacja tych kabli prawdopodobnie jest obliczana bez uwzględnienia prądów powrotnych płynących ziemią, które zawsze występują. Kable powrotne o największym przekroju powinny być zawsze projektowane jak najbliżej podstacji trakcyjnej. Pozostałe kable powrotne powinny być przyłączane w takich miejscach, aby zminimalizować rezystancję sieci powrotnej.
7. Przedstawione obliczenia mają na celu zaprezentowanie zjawiska płynięcia prądów powrotnych ziemią (prądy błędzące) w zależności od stanu technicznego torów oraz sposobu zasilania podstacji trakcyjnych. Prezentowane wyniki dotyczą prostego układu zasilania sieci trakcyjnej i nie mogą być bezpośrednio wykorzystane dla celów projektowania rzeczywistego układu zasilania.

#### **Literatura**

1. **Rezystancja doziemna szyn na liniach zelektryfikowanych prądem stałym** – materiał własny zamieszczony na stronie [WWW.kolen.pl](http://WWW.kolen.pl).
2. **PN-EN 50122-2:2011** Zastosowanie Kolejowe. Urządzenia stacyjne. Bezpieczeństwo elektryczne, uziemienia i sieć powrotna – Część 2: Środki ochrony przed skutkami prądów błędzących powodowanych przez systemy trakcji prądu stałego.
3. **PN-EN 50522:2010** Uziemienia instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.
4. **Doświadczenia i badania własne**