



**KOLEN.PL**

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

NIP: 952 00 02 116

BDO: 000320689



## **Rezystancja doziemna szyn na liniach zelektryfikowanych prądem stałym**

Opracował: dr inż. Dariusz Pieńkowski

mgr inż. Zygmunt Kulhawik

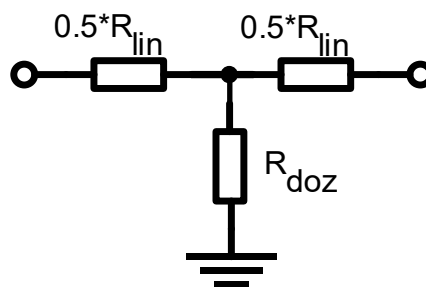
**Ząbki, lipiec 2020**

W systemie trakcji elektrycznej zasilanej prądem stałym sieć powrotna, czyli w skrócie tory kolejowe (tramwajowe, metra) powinny być odizolowane od ziemi. Wymaganie to wiąże się ograniczeniem prądów błędnych pochodzących od trakcji elektrycznej prądu stałego i ich szkodliwego wpływu na podziemne konstrukcje metalowe. Prąd powrotny powinien wracać do podstacji, czyli punktu zasilania, szynami a nie ziemią.

Zgodnie z normą PN-EN 50122-2 konduktancja doziemna jednego kilometra toru powinna wynosić nie więcej niż 0,5 S/km (Siemens) dla torów kolejowych i nie więcej niż 2,5 S/km dla torów tramwajowych, które są przeważnie budowane w układzie zamkniętym. Ponieważ konduktancja to odwrotność rezystancji, łatwo można policzyć, że minimalna dopuszczalna przez normę rezystancja doziemna jednego kilometra torów kolejowych to 2,0  $\Omega$  a torów tramwajowych 0,4  $\Omega$ . Wartości te mogą wydawać się na pierwszy rzut oka zaskakujące i sprzeczne z wspomnianym wcześniej wymaganie izolowania torów od ziemi. Jeśli jednak porównamy te wartości z rezystancją wzdłużną szyn (ok. 20 m $\Omega$  na kilometr) wymaganie normy stanie się bardziej zrozumiałe.

Kolejowa sieć powrotna jest ciągła na terenie całego kraju. Łączna długość zelektryfikowanych linii wynosi prawie 20 000 km. Nasuwa się więc pytanie, ile wynosi wypadkowa rezystancja doziemna całej sieci powrotnej w Polsce. Spróbujmy ją policzyć.

Założmy, że rezystancję jednokilometrowego odcinka toru zamodelujemy czwórnikami „T”, gdzie  $R_{doz}$  to rezystancja doziemna, a  $R_{lin}$  to rezystancja wzdłużna szyn, tak jak pokazano to na rysunku poniżej. Obliczenia zastępczej rezystancji kaskadowego połączenia takich elementów pominiemy, a skupimy się na prezentacji wyników.

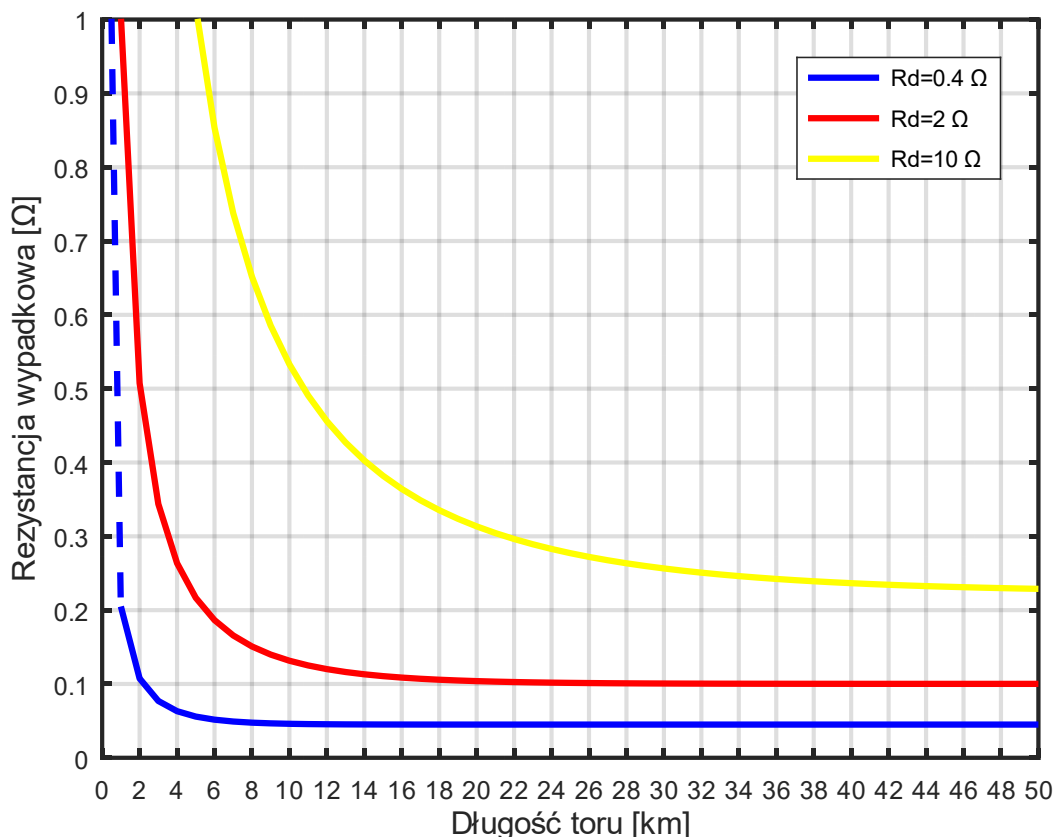


W obliczeniach przyjmujemy, że rezystancja doziemna szyn jednego toru wynosi:

- 0,4  $\Omega$ km dla linii tramwajowych lub w przypadku linii kolejowych z bezpośrednimi uszynieniami indywidualnymi,
- 2,0  $\Omega$ km zgodnie z wymaganiami normy,
- 10,0  $\Omega$ km dla torów w bardzo dobrym stanie technicznym.

W każdym przypadku rezystancja wzdłużna szyn wynosi 20 m $\Omega$ /km.

Wyniki obliczeń w zależności od jednostkowej rezystancji doziemnej szyn jednego toru pokazano na załączonym wykresie.



Rys.1. Wypadkowa rezystancja doziemna jednego toru w zależności od rezystancji jednostkowej i długości toru.

1. Na osi „y” wykresu podana jest wartość wypadkowej rezystancji doziemnej pojedynczego toru
2. Na osi „x” podana jest odległość od punktu pomiarowego co oznacza, że do obliczeń przyjęto dwukrotnie dłuższy odcinek toru znajdujący się po obu stronach punktu pomiarowego.
3. Obliczenia zostały wykonane dla trzech różnych jednostkowych rezystancji doziemnych 0,4; 2,0 i 10 Ωkm.
4. W zależności od jednostkowej rezystancji doziemnej toru, długość odcinka toru mająca znaczący wpływ na rezystancję wypadkową wynosi około:
  - 10 km dla rezystancji 0,4 Ωkm, po 5 km w każdą stronę od punktu pomiarowego,
  - 30 km dla rezystancji 2,0 Ωkm, po 15 km w każdą stronę od punktu pomiarowego,
  - 100 km dla rezystancji 10,0 Ωkm, po 50 km w każdą stronę od punktu pomiarowego.

Podane na wykresie wartości wypadkowej rezystancji doziemnej są podane dla linii jednotorowych. W przypadku linii dwutorowych wypadkowa rezystancja będzie prawie dwukrotnie mniejsza, co zależy od odległości występowania połączeń międzytorowych. Z obliczeń wynika, że w zależności od jednostkowej rezystancji doziemnej toru zmienia się

długość odcinka toru mającego znaczący wpływ na wynik wypadkowej rezystancji doziemnej (rys.1) Oznacza to, że podane wyniki dotyczą torów całości linii poza odcinkami końcowymi linii. Na końcach linii, w odległości odcinka toru mającego znaczący wpływ na wynik wypadkowej rezystancji doziemnej w jedną stronę od punktu pomiarowego, rezystancja ta będzie się zwiększać, a na końcu linii uzyska wartość dwukrotnie większą. Można przyjąć, że rezystancja podana na wykresie dla długości odcinka toru od 10 do 100 km, w zależności od rezystancji jednostkowej, jest jednakowa na całej sieci kolejowej lub tramwajowej poza odcinkami końcowymi poszczególnych linii.

### **Tory kolejowe**

Tory kolejowe zgodnie z normą PN-EN 50122-2 powinny być budowane w układzie otwartym, co oznacza, że szyny nie powinny mieć kontaktu z tłuczniem. Powinno to zapewniać, że w okresie „życia” toru jednostkowa rezystancja doziemna jednego kilometra toru nie powinna być mniejsza od 2  $\Omega$ km. Nowy tor może przez krótki okres mieć rezystancją rzędu k $\Omega$ km, jednak w krótkim czasie po rozpoczęciu eksploatacji rezystancja ta spada. Do eksploatacji oddawane są przeważnie odcinki kilkunasto, rzadziej kilkudziesięciokilometrowe, które są połączone z torami istniejącymi. Przy dużej rezystancji jednostkowej, długość toru mającego wpływ na wypadkową rezystancję doziemną, może wynosić ponad 100 km (rys.1.). Można stwierdzić, że w praktyce w każdym punkcie toru na terenie RP wypadkowa rezystancja doziemna nie powinna ona być większa niż obliczona dla jednostkowej rezystancji doziemnej wynoszącej 10,0  $\Omega$ km.

Tory kolejowe budowane dawniej były przeważnie w układzie zamkniętym co oznacza, że tłużeń był powyżej stopki szyn, a więc rezystancja jednostkowa takiego toru była zdecydowanie mniejsza. Dla takiego układu norma wymaga rezystancji 0,4  $\Omega$ km. Dodatkowo było stosowane bezpośrednie uszynienie konstrukcji wsporczych o rezystancji doziemnej 50÷100  $\Omega$ , co jeszcze obniżało doziemną rezystancję szyn. Takie rozwiązanie jest dotychczas eksploatowane przynajmniej w 50%, z czego wynika, że na połowie terenu kraju wypadkowa doziemna rezystancja szyn jest znacznie poniżej 0,1  $\Omega$ .

### **Tory tramwajowe**

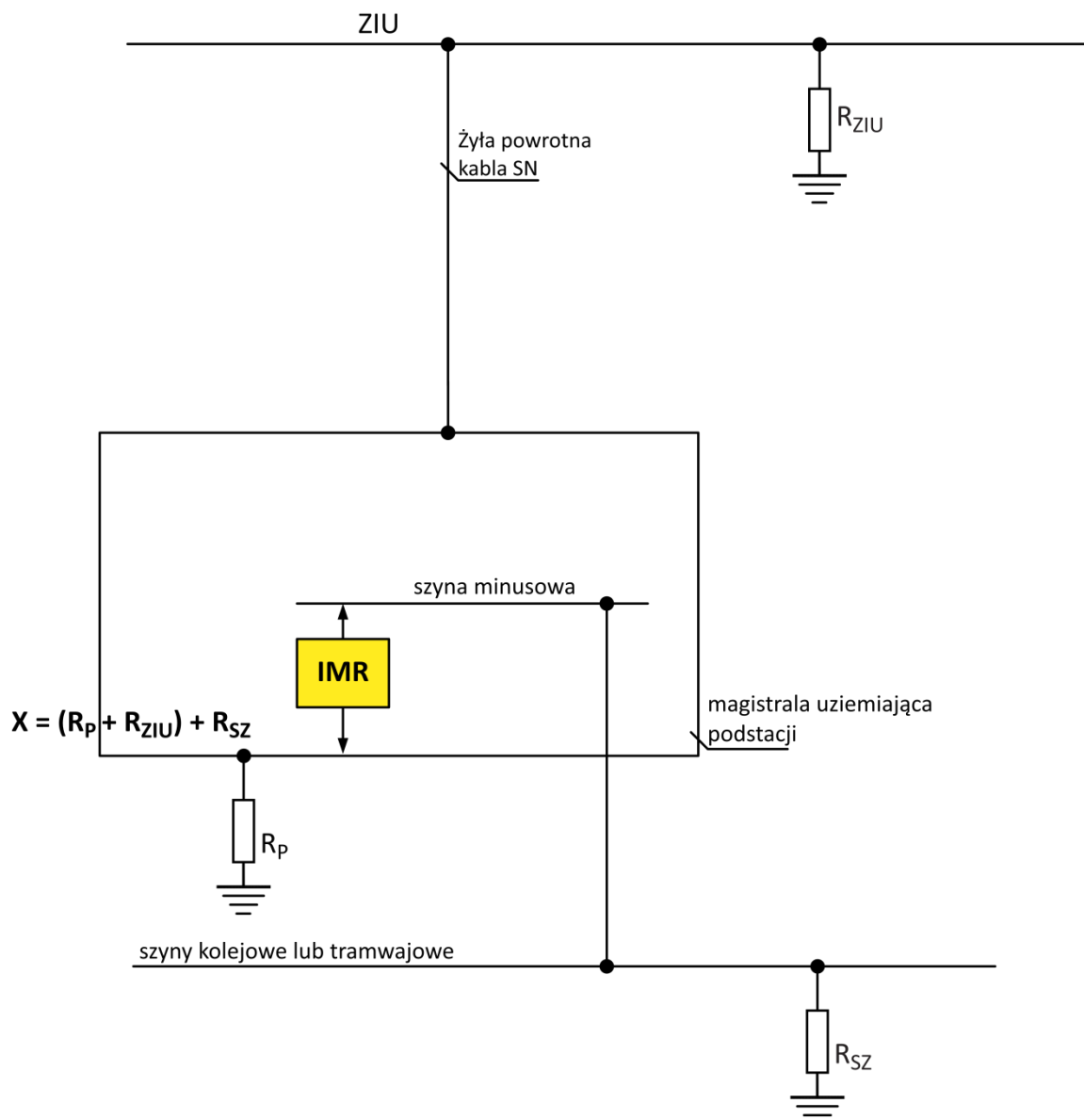
Tory tramwajowe budowane są przeważnie w układzie zamkniętym co oznacza, że tłużeń dotyka główki szyny, tory zielone, tory w jezdni, tory w „obudowie” izolacyjnej, skrzyżowania torów z jezdniami itp. Norma wymaga jednostkowej rezystancji doziemnej na poziomie 0,4  $\Omega$ km. Przy takiej rezystancji już na długości ok. 10 km (rys.1.) jest już prawie ustalona wypadkowa rezystancja szyn względem ziemi. Oznacza to, że na całej sieci torów tramwajowych wypadkowa rezystancja doziemna nie przekracza 0,1  $\Omega$ . Na końcach poszczególnych linii rezystancja ta wzrasta do 0,2  $\Omega$ . Długość torów tramwajowych w zależności od aglomeracji wynosi od kilkudziesięciu do kilkuset kilometrów.

## Tory metra

Dla metra norma wymaga jednostkowej rezystancji doziemnej na poziomie 10  $\Omega$ km. Pierwsza linia metra warszawskiego ma długość ok. 23 km. Dla takiej długości torów (rys.1.) wypadkowa rezystancja doziemna powinna wynosić ok. 0,4  $\Omega$ . W rzeczywistości rezystancja ta według pomiarów wykonywanych przez Instytut Elektrotechniki jest mniejsza. Wynika to z tego, że część torów od strony Kabat jest naziemna i jest dużo torów w stacji postojowej Kabaty.

## Wnioski

1. Z powyższej analizy wynika, że rezystancja wypadkowa toru kolejowego względem ziemi jest zależna od jednostkowej rezystancji wzdłużnej toru oraz jednostkowej rezystancji doziemnej. Zmniejsza się wraz ze wzrostem długości analizowanego odcinka toru, ale tylko do pewnej relatywnie krótkiej odległości wynoszącej około 10 km dla jednostkowej rezystancji doziemnej 0,4  $\Omega$ km i około 30 km dla jednostkowej rezystancji doziemnej 2,0  $\Omega$ km. Dalszy wzrost długości toru nie powoduje już znaczących zmian rezystancji. Zakładając 2,0  $\Omega$ km jednostkowej rezystancji doziemnej (minimalna wartość graniczna z normy) oraz 20 m $\Omega$  rezystancji wzdłużnej na kilometr rezystancja wypadkowa przejścia szyna-ziemia wynosi 0,125  $\Omega$  dla pojedynczego toru o długości co najmniej 30 km. Z tego względu, że w Polsce co najmniej 2 tory prowadzone są równoległe i łączone między sobą możemy uznać, że wypadkowa rezystancja szyna ziemia wynosi poniżej 0,1  $\Omega$ . Zakładając jednostkową rezystancję doziemną na poziomie 10,0  $\Omega$ km dla linii nowo zmodernizowanej, gdzie na wypadkową rezystancję doziemną wpływa ok. 100 km toru, rezystancja ta dla linii dwutorowej wyniesie ok. 0,125  $\Omega$ .
2. Na jednym kilometrze toru jest ok. 1650 podkładów i na każdym z nich dwie przekładki izolacyjne między podkładem a szynami, czyli w sumie 3300 podkładek izolacyjnych. Zakładając rezystancję takiej podkładki na poziomie 10 k $\Omega$  (takie wymagania są dla podkładek między konstrukcją wsporczą sieci trakcyjnej a fundamentem) wypadkowa rezystancja szyn względem podkładu będzie wynosić  $10000 \Omega / 3300 = 3,03 \Omega$ . Należy zauważyć, że podkładka ta jest narażona na warunki atmosferyczne w szczególności opłuki metalowe od hamowania. Rezystancja będzie się zmniejszać w czasie. Uzyskany wynik potwierdza wyniki obliczeń.
3. Potwierdzeniem wyników obliczeń są również wyniki z pomiarów wykonywane od wielu lat miernikiem IMR na kolejowych podstacjach trakcyjnych a ostatnio na podstacji tramwajowej. Pomiar był wykonywany miernikiem IMR włączonym między szynę minusową (wypadkowa rezystancja doziemna szyn  $R_{sz}$ ) a uziom podstacji połączony równoległe żyłą powrotną kabli SN z zespoloną instalacją uziemiającą ( $R_p + R_{ziu}$ ) zgodnie ze schematem pokazanym na rysunku 2.



Rys.2. Schemat pomiarowy do pomiaru wypadkowej rezystancji doziemnej szyn  $R_{sz}$  i wykorzystaniu zespolonej instalacji uziemiającej.

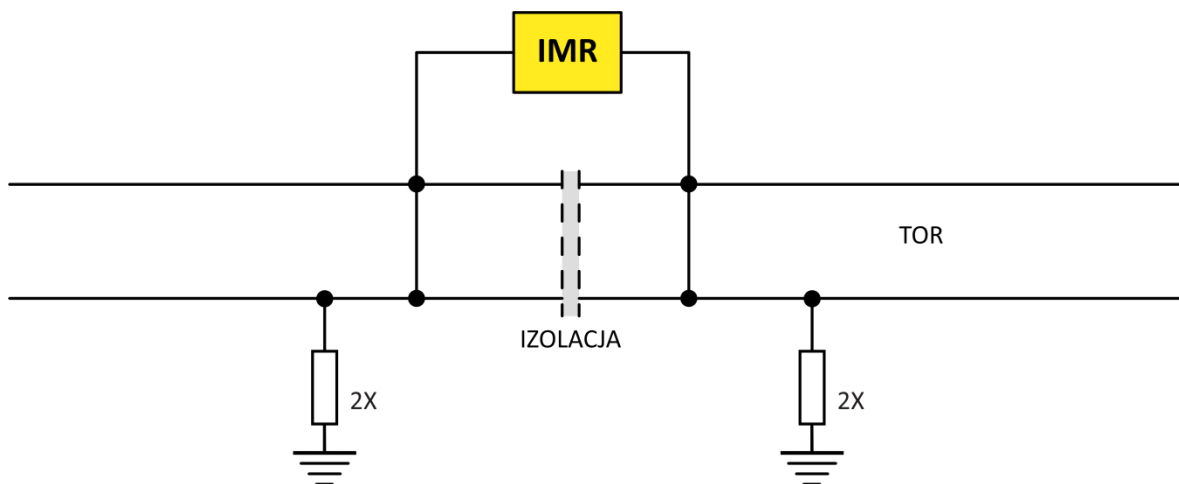
Uzyskano następujące wyniki pomiaru rezystancji:

- Na kilkunastu kolejowych podstacjach trakcyjnych zmierzona rezystancja wynosiła od  $0,2 \Omega$  do  $0,4 \Omega$ . Większe rezystancje dotyczą dłuższych kabli SN zasilających, gdzie powinna być uwzględniona rezystancja żył powrotnych jak też rezystancja podstacji. Rezystancja żył powrotnych o przekroju  $35 \text{ mm}^2$  linii trójkablowej o długości  $1 \text{ km}$  wynosi  $0,16 \Omega$ . Rezystancja uziomu podstacji  $0,5 \div 2,0 \Omega$ .
- W podstacji trakcyjnej tramwajowej uzyskano wynik  $0,12 \Omega$ .

Miernik IMR został opracowany z założeniem wykorzystania szyn kolejowych bądź tramwajowych do pomiaru rezystancji uziomów w otoczeniu trakcji elektrycznej prądu stałego. Uzyskane wyniki pomiarów wskazują jednoznacznie, że miernik ten może być z powodzeniem stosowany do pomiarów metodą dwupunktową uziomów na terenie

całego kraju, wykorzystując do tego celu zespoloną rezystancję uziemiającą (ZIU), do której mamy dostęp przez żyły powrotne kabli SN lub przewód neutralny N instalacji nn.

4. Należy zauważyć, że wypadkowa rezystancja doziemna szyn dla torów w złym stanie technicznym lub w układzie zamkniętym wynosi poniżej  $0,1 \Omega$  i taką wartość osiąga już na odcinku o długości 10 km toru. Rezystancja wzdłużna toru długości 10 km to wartość  $0,2 \Omega$ . Oznacza to, że prąd powrotny w dużej części płynie ziemią. Wartość prądu płynącego ziemią (prądy błędzące) zależy jeszcze od wielu innych czynników takich jak, odległość pojazdu trakcyjnego od podstacji, sposobu zasilania i rezystancji uziomu podstacji itp. Szczegółowa analiza tego tematu z wykorzystaniem opisanych tu wyników obliczeń zostanie przedstawiona w oddzielnym materiale.
5. Pomiar rezystancji doziemnej szyn można wykonać miernikiem IMR w układzie przedstawionym na rysunku 3.



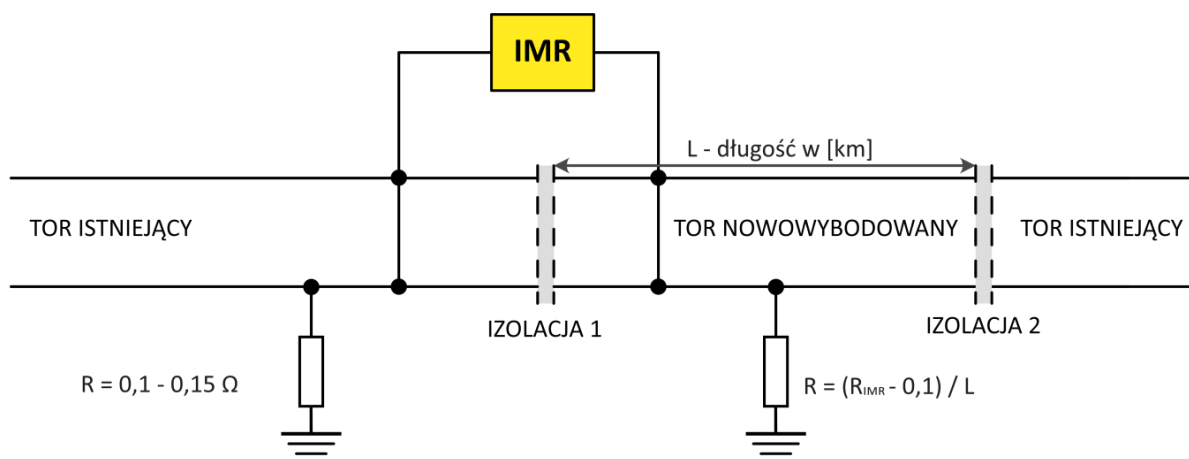
Rys.3. Schemat pomiarowy do pomiaru wypadkowej rezystancji doziemnej szyn  $R_{sz}$ .

Rezystancja doziemna szyn danego toru wynosi  $R_{sz} = X \Omega$ , a rezystancja doziemna każdego odcinka toru od miejsca odizolowania (przecięcia), będzie wynosić dla toru o jednakowym stanie technicznym dwa razy więcej, czyli  $2X \Omega$ . Miernik IMR mierzy więc rezystancję  $4X$  – prąd pomiarowy wypływa z szyn przez rezystancję  $2X$  do ziemi z jednej strony a wpływa do szyn przez rezystancję  $2X$  z drugiej strony przerwy w szynach, co oznacza, że rezystancja zmierzona przez IMR wynosi  $4X$ .

$$4X/4 = X = R_{sz}.$$

Dla linii dwutorowej należałoby wykonać przerwę izolacyjną w obu torach.

Pomiary takie najlepiej wykonywać podczas kapitalnego remontu torów (wymiana szyn). Przed włączeniem nowych szyn do istniejącego toru należy zmierzyć rezystancję doziemną wybudowanego odcinka szyn wg rysunku 4. Pomiary takie wykonuje się podczas budowy torów metra w celu sprawdzenia parametrów technicznych (jednostkowej rezystancji doziemnej) i wykonywane są one miernikiem IMR.



Rys.4. Schemat pomiarowy do pomiaru jednostkowej rezystancji doziemnej.

Miernik IMR należy włączyć między tor istniejący a tor nowo wybudowany wykorzystując izolację 1 lub 2. Od wyniku wskazanego na IMR należy odjąć 0,1- 0,15  $\Omega$  i ewentualne rezystancję kabli pomiarowych, jeżeli ich łączna długość przekracza 5 m. Uzyskany wynik należy podzielić przez długość nowego toru w km. Uzyskamy jednostkową rezystancję doziemną toru w  $\Omega\text{km}$ . Może to być wartość rzędu kilkuset  $\Omega\text{km}$ . Jeżeli wynik wyjdzie poniżej kilku  $\Omega\text{km}$  należy domniemywać niewłaściwe wykonanie np. źle zamontowane przekładki, jakieś połączenia uziemiające, tłuczeń powyżej stopki szyny itp.

Po zespawaniu lub połączeniu izolacji 1 lub 2 można wykonać pomiar wypadkowej rezystancji doziemnej szyn według rys. 3.

#### Literatura:

1. **PN-EN 50122-2:2011** Zastosowanie Kolejowe. Urządzenia stacjonarne. Bezpieczeństwo elektryczne, uziemienia i sieć powrotna – Część 2: Środki ochrony przed skutkami prądów błędzących powodowanych przez systemy trakcji prądu stałego.
2. **PN-EN 50522:2010** Uziemienia instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.
3. **Impulsowy miernik rezystancji IMR** strona [www.kolen.pl](http://www.kolen.pl)
4. **Doświadczenia i badania własne oraz udział w pomiarach wykonywanych przez IEL**