



**POMIARY OPORNOŚCI UKŁADU: SZYNY TRAMWAJOWE - ZIEMIA, DLA  
TORÓW WYKONANYCH W TECHNOLOGII PŁYT MONOLITYCZNYCH**

**THE MEASUREMENTS OF ELECTRICAL RESISTANCE OF THE SYSTEM:  
TRAM RAILS - EARTH OF THE TRACKS ARE MADE FROM A NEW  
TECHNOLOGY OF MONOLITHIC PANELS**

Marek Popczyk, Janusz Prusak, Waldemar Zając

Politechnika Krakowska  
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków

Słowa kluczowe: szyny trakcyjne, trakcyjny prąd powrotny  
Keywords: tram rails, electric return traction current

**Streszczenie**

Modernizacja torów tramwajowych przy wykorzystaniu nowych technologii ma zapewnić ich większą trwałość, zmniejszyć hałas emitowany do otoczenia, poprawić komfort podróżowania oraz poprawić estetykę ulicy. W artykule zwrócono uwagę, że zmodernizowane tory tramwajowe stanowią element sieci dla prądów trakcyjnych powrotnych. Przedstawiono pomiary parametrów elektrycznych układu: szyny tramwajowe - ziemia. Omówiono uzyskane wyniki.

**Summary**

The modernization of tram rails by the using of new technology must assure their higher durability, reduce noise emitted to the environment, improve comfort of the journey and improve the aesthetic appearance of the streets. The paper pays attention to the modernized tram tracks as an element of the circuit of the electric return traction current. Presented are the measurements of electrical parameters of the system: tram rails - earth. The results of the measurements are given and discussed.

## 1. Wstęp.

W zelektryfikowanych systemach transportu miejskiego zasilanego z sieci prądu stałego na skutek niskiej wartości rezystancji przejścia szyny - podtorze ziemia stanowi znaczący element przepływu powrotnych prądów trakcyjnych (tzw. prądy upływu lub prądy błądzące). Prąd przenika do metalowych konstrukcji podziemnych, które stanowią elektrody, przy wilgotnej ziemi tworzącej elektrolit. Punkty wpływu do struktur podziemnych stanowią strefę katodową, a punkty wypływu z danej konstrukcji podziemnej (do innej konstrukcji podziemnej lub z powrotem do szyn jezdnych) - strefę anodową. Prądy błądzące wypływające z konstrukcji metalowych w strefach anodowych stanowią zagrożenie korozyjne tych konstrukcji.

Problem prądów błądzących znany jest od początków istnienia trakcji elektrycznej. W systemach transportu tramwajowego wprowadzono szereg modyfikacji strukturalnych w celu zmniejszenia korozji elektrolitycznej w otaczającym linie tramwajowe środowisku.

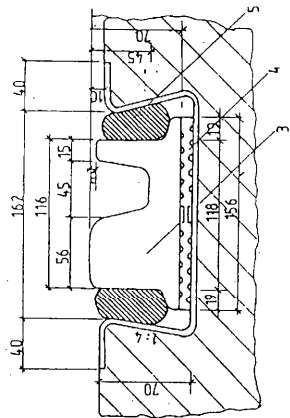
W 1907r. powstała jedna z pierwszych w Europie komisja VDE (Verein Deutscher Elektriķen) [4], powołana do rozwiązania problemu korozji elektrolitycznej, która w trzy lata później opublikowała „Przepisy ochrony gazo- i wodociągów przed szkodliwym oddziaływaniem prądów błądzących”. W Polsce pierwsze zalecenia dotyczące ochrony przed prądami błądzącymi opracował prof. Roman Podolski. Zalecenia te były ujęte w normę PNE-27-1932 pt.: „Wskazówki ochrony urządzeń metalowych znajdujących się w ziemi od działania elektrolitycznego prądów błądzących”.

## 2. Torowiska tramwajowe wykonane w technologii płyt monolitycznych.

Budowa i eksploatacja nowoczesnych torowisk tramwajowych jest złożonym zagadnieniem konstrukcyjno-technologicznym. Jednym z rozwiązań, które można spotkać na obszarach polskich miast z komunikacją tramwajową, są torowiska tramwajowe wykonane z zastosowaniem wielkowymiarowych płyt torowych i szyn blokowych utwardzanych wstęgami gumowymi. Zdaniem firm realizujących ten typ torowisk rozwiązanie to ma charakter ekologiczny i posiada wiele zalet w porównaniu z technologiami tradycyjnymi. Do najważniejszych należą: prostota montażu oraz znaczne skrócenie czasu wykonywania remontu; zmniejszenie hałasu emitowanego w otoczenie (3 do 10 dB), minimalizacja nakładów na konserwację i bieżące utrzymanie nawierzchni; estetyczna nawierzchnia, łatwa do utrzymania w zimie; trwałość nie mniejsza niż 25 lat oraz eliminacja prądów błądzących.

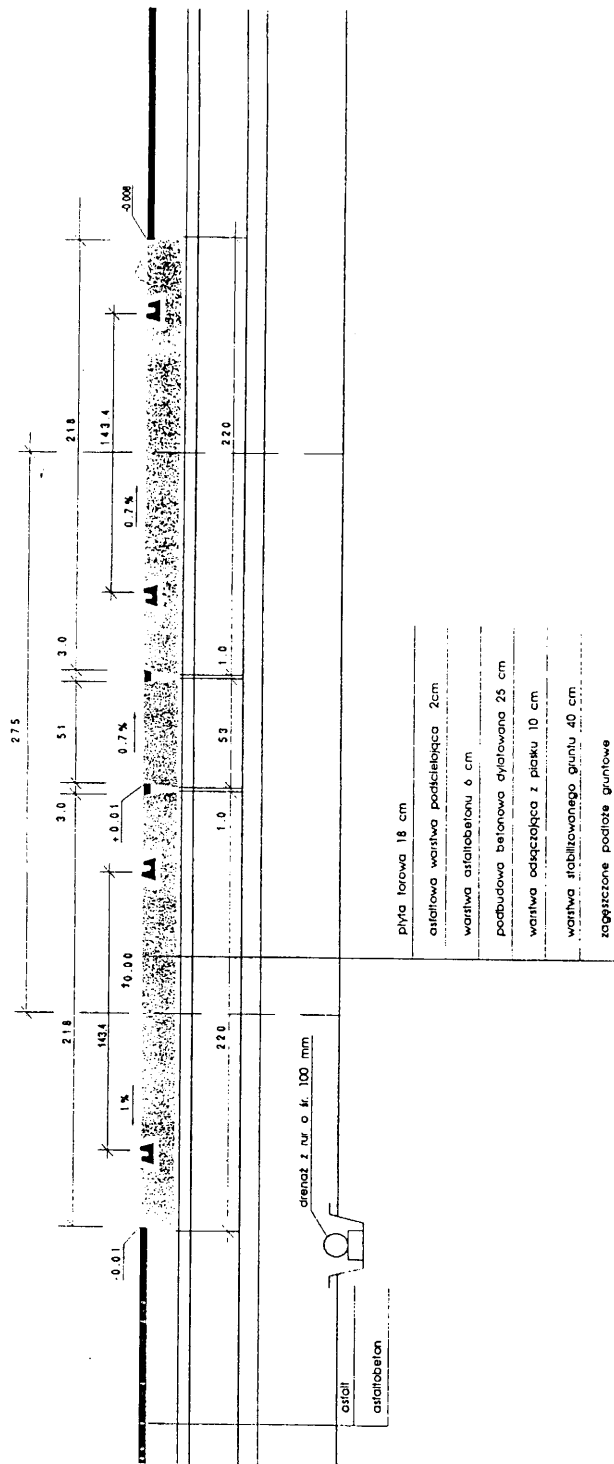
Typowy przekrój poprzeczny torowiska tramwajowego wykonanego w nowej technologii płyt monolitycznych przedstawia rys. 1. Uwagę zwracają specjalnie uformowane warstwy różnego typu gruntu pod płytami torowymi. Z punktu widzenia roli szyn tramwajowych również jako elementu obwodu elektrycznego dla trakcyjnych prądów powrotnych istotne jest ich ułożenie (zainstalowanie) w płytach żelbetonowych oraz sposób połączenia z podstawowymi kablami powrotnymi. W torowiskach co kilkadziesiąt metrów umieszczone są skrzynki kablowe. Właśnie w tych skrzynkach kablowych realizowane są galwaniczne połączenia szyn (za pomocą przewodów LgY 120) ze sobą i z kablami wyrównawczymi YAKY (dwa kable jednożyłowe po 625 mm<sup>2</sup>). Z niektórych skrzynek wyprowadzone są połączenia do punktów powrotnych sieci trakcyjnej lub do uszynionych konstrukcji (wybrane słupy sieci trakcyjnej jezdnej).

Kable powrotne przeważnie układane są w specjalnych wyźłobieniach pod płytami międzytorowymi. W przypadku braku miejsca na ich ułożenie między torami, zachodzi



# TYPOWY PRZĘKRÓJ POPRZECZNY

SKALA 1 : 20



Rys. 1.

potrzeba ich innego usytuowania, co komplikuje proces inwestycyjny i stosownie wpływa na jego koszty.

### 3. Pomiary rezystancji przejścia szyny - ziemia.

Jedną z wielkości istotną dla oceny torów tramwajowych z punktu widzenia ograniczenia wartości prądów błądzących jest rezystancja przejścia. Jak już wcześniej wspomniano szyny stykają się z płytami jezdni wyłącznie za pośrednictwem elementów gumowych, co oprócz ograniczenia hałasu, powinno zapewniać ich bardzo dobrą izolację elektryczną z ziemią [2]. Trzeba jednak mieć na uwadze fakt, że w celu wytworzenia kanałów szynowych (tzw. „ $\Omega$ ” lub „jaskółczy ogon”) wbetonowano do płyty torowej blachę wyprofilowaną o grubości 4 mm z odpowiednimi połączeniami stalowymi do zbrojenia betonu [3]. Można się niestety spodziewać, że pewne niedokładności związane z montażem szyn oraz wpływy atmosferyczne i eksploatacyjne spowodują, że nie w pełni spełnione będą oczekiwania odnośnie odpowiednio dużej rezystancji układu szyny - ziemia. W związku z tym podjęto próbę pomiarowego określenia tej rezystancji i na podstawie tego sformułowania uwag w szczególności odnośnie roli kabli wyrównawczych.

W trakcie pomiarów dysponowano w pełni wyizolowanymi odcinkami torów (Wykorzystano proces inwestycyjno-remontowy linii tramwajowej), co pozwoliło na zastosowanie metody pomiaru oporności podtorza za pomocą miernika uziemień IMU. Wg. [4] metoda ta daje najdokładniejsze wyniki pomiarów rezystancji przejścia szyny - ziemia. Miernik uziemień łączy się między wyizolowany odcinek toru a odległy uziom pomiarowy. Szukaną rezystancję przejścia wylicza się ze wzoru:

$$r_p = \frac{R \cdot L}{1000} \quad [\Omega \text{ km}]$$

gdzie:

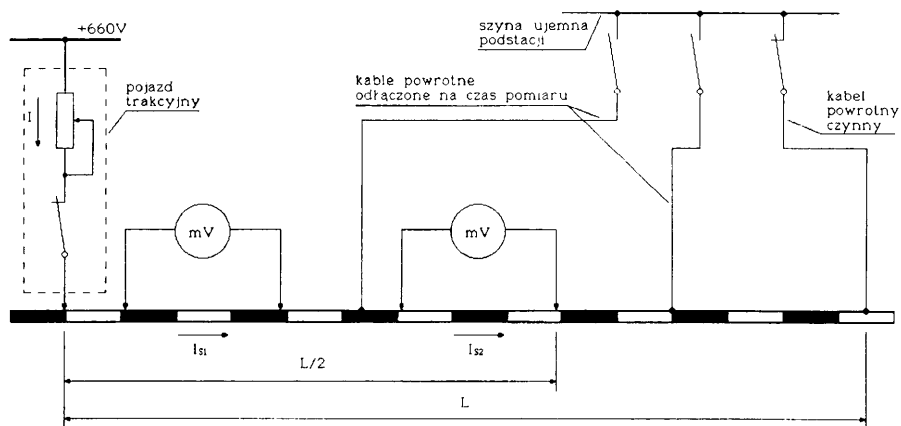
R - wskazanie przyrządu w  $[\Omega]$ ,

L - długość odizolowanego odcinka toru w [m].

Pomiary na nowoułożonym odcinku torowiska o długości 122 m dały następujące wyniki:

- dla jednej szyny  $r_p = 1,5 \text{ } [\Omega \text{ km}]$ ;
- dla dwóch szyn jednego toru połączonych na końcach  $r_p = 1,16 \text{ } [\Omega \text{ km}]$ ;
- dla dwóch torów (czterech szyn) połączonych na końcach  $r_p = 0,65 \text{ } [\Omega \text{ km}]$ .

W celu pełnej oceny upływu prądów błądzących w sieci trakcyjnej tramwajowej powrotnej wykonano pomiary na torach będących w normalnej eksploatacji. Pomiary były oczywiście przeprowadzane nocą po ustaniu ruchu tramwajów. Wymuszenie przepływu prądu w szynach stanowił odpowiednio przystosowany pojazd tramwajowy. Schemat układu pomiarowego przedstawia rys. 2. Pomiary wykonano dwukrotnie.



Rys. 2. Pomiar rezystancji przejścia torów dla odcinka włączonego do ruchu.

Poniżej przedstawiono równanie opisujące przebieg prądu płynącego w ziemi ( $I_z$ ) w funkcji odległości  $x$  pomiędzy punktem zasilania i punktem przyłączenia kabla powrotnego (odcinek o długości  $L$ ) [1].

$$I_z = I \left[ 1 - \frac{\cosh \alpha \left( x - \frac{L}{2} \right)}{\cosh \frac{\alpha L}{2}} \right]$$

gdzie:

$I_z$  - prąd doziemny,

$I$  - prąd doprowadzany do szyn jezdnych,

$L$  - długość odcinka zasilanego,

$\alpha = \sqrt{R_s G_p}$  - tłumienność jednostkowa,

$G_p = \frac{1}{r_p}$  - konduktancja przejścia szyny - ziemia,

W rozpatrywanym układzie pomiarowym maksymalna wartość prądu  $I_z$  [1] występuje w połowie badanego odcinka torów tramwajowych i jest opisana zależnością:

$$I_z = I \left( 1 - \frac{1}{\cosh \frac{L \sqrt{R_s G_p}}{2}} \right)$$

gdzie:

$R_s$  - rezystancja szyn,

$G_p$  - konduktancja przejścia szyny - ziemia.

Po zmierzeniu prądu doprowadzonego do szyn jezdnych ( $I$ ) i po wyznaczeniu prądu w ziemi ( $I_z$ ) można wyliczyć konduktancję przejścia ( $G_p$ ) szyny - ziemia wg. wzoru:

$$G_p = \frac{4}{L^2 R_s} a \cosh^2 \left( \frac{I}{I - I_z} \right)$$

W oparciu o wyniki pomiarów oraz przedstawione wyżej wzory uzyskano następujące wartości oporności przejścia ( $r_p$ ) szyny - ziemia:

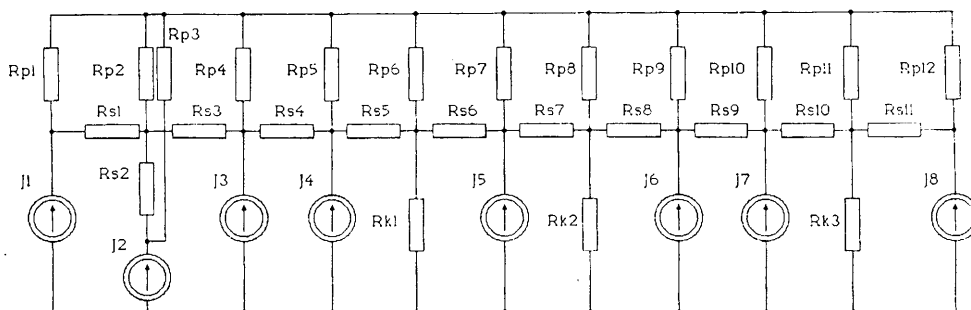
1-szy dzień pomiarów: 1,692  $\Omega$ km,

2-gi dzień pomiarów: 1,616  $\Omega$ km.

Średnia wartość  $r_p$  (dla jednej szyny) w tym przypadku wynosi: 1,654  $\Omega$ km.

Rezystancja przejścia  $r_p$  dla czterech szyn połączonych równolegle wynosi: 0,4135  $\Omega$ km.

Wyliczenie tych parametrów pozwala na obliczenie średniorocznych spadków napięcia wg. schematu jak na rys. 3. czyli z uwzględnieniem oporności kabla powrotnego ( $R_k$ ) i rezystancji przejścia szyny - ziemia ( $R_p$ ).



$R_s$  - rezystancje odcinków szynowych,

$R_p$  - rezystancje przejścia,

$R_k$  - rezystancje kabli powrotnych,

$J$  - obciążenia średnioroczne sieci trakcyjnej.

Rys. 3. Schemat zastępczy sieci powrotnej.

Według normy TGL 18790 [6] głównym parametrem stosowanym do oceny sieci trakcyjnej powrotnej jako źródła prądów błądzących jest współczynnik upływu „ $k$ ”. Jest to wielkość charakteryzująca zdolność toru do odgałęziania prądów błądzących.

$$k = \sqrt{\frac{r'_s}{r_p}}$$

gdzie:

$r_s$  - jednostkowa rezystancja wzdłużna toru w [ $\Omega \text{ km}^{-1}$ ],  
 $r_p$  - jednostkowa rezystancja przejścia toru w [ $\Omega \text{ km}$ ].

W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymano następujące wyniki:

- dla torów z kablem wyrównawczym i oporności podtorza zmierzonej IMU  
 $r_s=0.0071 \text{ } [\Omega \text{ km}^{-1}]$   
 $r_p=0.60 \text{ } [\Omega \text{ km}]$   
 $k=0.1 \text{ } [\text{km}^{-1}]$
- dla torów bez kabla wyrównawczego i oporności podtorza zmierzonej IMU  
 $r_s=0.0101 \text{ } [\Omega \text{ km}^{-1}]$   
 $r_p=0.60 \text{ } [\Omega \text{ km}]$   
 $k=0.13 \text{ } [\text{km}^{-1}]$
- dla torów z kablem wyrównawczym i oporności podtorza wyliczonej wg. [1]  
 $r_s=0.0071 \text{ } [\Omega \text{ km}^{-1}]$   
 $r_p=0.4235 \text{ } [\Omega \text{ km}]$   
 $k=0.131 \text{ } [\text{km}^{-1}]$
- dla torów bez kabla wyrównawczego i oporności podtorza wyliczonej wg. [1]  
 $r_s=0.0101 \text{ } [\Omega \text{ km}^{-1}]$   
 $r_p=0.4135 \text{ } [\Omega \text{ km}]$   
 $k=0,156 \text{ } [\text{km}^{-1}]$

Jak wynika z przeprowadzonych pomiarów i obliczeń oporność przejścia szyny - ziemia, dla podtorza wykonanego w opisanej wyżej technologii, jest większa niż dla innych typów podtorzy tramwajowych [2]. Wartości te nie są jednak na tyle duże jakby sugerowała to konstrukcja podtorza. Pomiary na odcinku eksploatowanym wykazały mniejszą rezystancję przejścia niż na odcinku wyizolowanym (w budowie) i można się spodziewać, że rezystancja ta będzie się zmniejszała z upływem czasu eksploatacji torowiska.

Zastosowany w sieci powrotnej kabel wyrównawczy ma wpływ na poprawienie współczynnika upływności oraz na średnioroczne spadki napięcia w sieci powrotnej.

#### 4. Literatura.

1. v. Baeckmann W., Schwenk W.: Katodowa ochrona metali. WNT Warszawa 1976.
2. Dziuba W.: Kryteria oceny tramwajowej sieci powrotnej jako źródła prądów błądzących. Prace IEL, 157/1989.
3. Konstrukcje torów stosowane w miejskiej komunikacji szynowej. PK - praca nie publikowana.
4. Ochrona elektrochemiczna przed korozją. Praca zbiorowa, WNT Warszawa 1991.
5. Szelaż A.: Obliczanie tramwajowej sieci powrotnej w celu zmniejszenia upływu z szyn jezdnych prądów błądzących. Konferencja N-T „Trakcja elektryczna w komunikacji miejskiej”, TRAM'96. Gdańsk 9-11. 05. 1996.
6. Norma niemiecka TGL 18790, Gruppe 921040, Korrosionsschutz, Metallen Objekte, Schutz vor Korrosion durch Streustrome aus Gleichspannungsanlagen.
7. PN-92/E-05024 Ochrona przed korozją. Ograniczenie upływu prądów błądzących z trakcyjnych sieci powrotnych prądu stałego.