



BADANIE I OCENA TOROWISKA Z PODKŁADAMI STAŁOWYMI JAKO ŹRÓDŁA PRĄDÓW BŁĄDZĄCYCH

INVESTIGATION AND APPRAISAL OF RAILS ON THE MATALLIC SLEEPERS AS A SOURCE OF STRAY CURRENTS

Marek Popczyk, Janusz Prusak, Waldemar Zając

Politechnika Krakowska, Zakład Trakcji i Sterowania Ruchem

Słowa kluczowe: prądy błędzące, podkłady stalowe, oporność elektryczna układu szyny – ziemia.
Keywords: stray currents, metallic sleepers, electrical resistance of system railway – earth.

Streszczenie

Zastosowanie podkładów stalowych do budowy torowisk kolejowych ma za zadanie poprawę ich parametrów mechanicznych. W przypadku każdego nowego rozwiązania technicznego należy również sprawdzić, czy nie pojawi się zwiększone zagrożenie prądami błędzącymi. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów przeprowadzonych na zelektryfikowanym odcinku linii kolejowej z podkładami stalowymi. Określono aktualną oporność elektryczną układu szyny – ziemia. Wyniki pomiarów porównano z wymaganiami normy europejskiej EN 50122.

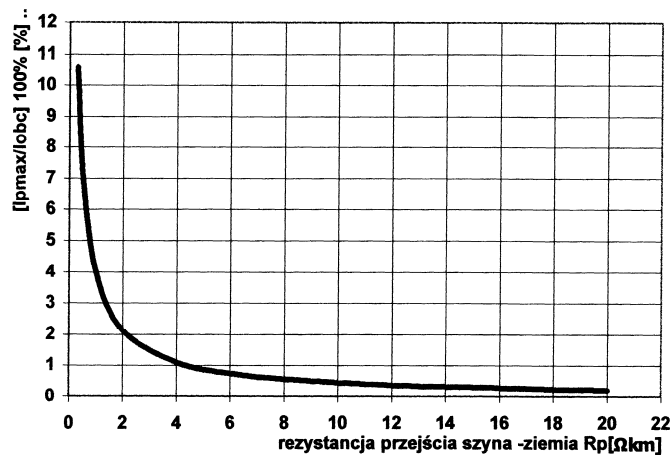
Summary

The use of metallic sleepers for rail construction, improves rail's mechanical parameters. As in the case of any new technical development in rails structure, it is necessary to check if the increased stray currents caused by proposed sleepers are not going to occur. This paper gives the results of the measurements done at the part of rail with electric traction on the metallic sleepers. The electrical resistance of rail – ground system is derived. The results of the measurements are compared with EU standard nr EN 10122.

1. Wprowadzenie

Jednym z głównych źródeł prądów błędnych jest sieć szynowa tramwajowa i kolejowa prądu stałego [2]. W większości przypadków sieć jezdna jest połączona z dodatnim biegunem podstacji a szyny z ujemnym. Wówczas strefa największego upływu znajduje się pod osiami pociągu lub w rejonie uszkodzonych złączy szynowych. Strefa najbardziej intensywnego powrotu prądu do szyn znajduje się w pobliżu punktu powrotnego, czyli połączenia szyn z podstacją trakcyjną. Prądy odgałęziane z szyn mogą osiągać nawet kilkadziesiąt procent całkowitego prądu w szynach. Należy jednak zaznaczyć, że do urządzeń metalowych, obiektów inżynierskich, które mają styczność z ziemią nie wpływa całkowity prąd odgałęziony z szyn.

Jednym z głównych parametrów, które decydują o wartości prądu upływającego do ziemi prądu jest rezystancja przejścia układu szyny-ziemia [3], [4], [5]. Na rys. 1 przedstawiono zależność maksymalnej wartości prądu w ziemi I_{pmax} , wyrażonej w procentach całkowitego prądu obciążenia odcinka I_{obc} , od rezystancji przejścia szyny-ziemia R_p .



Rys.1. Zależność prądu w ziemi I_{pmax} wyrażonego w procentach całkowitego obciążenia odcinka I_{obc} od rezystancji przejścia szyny-ziemia R_p .

2. Opis torowiska

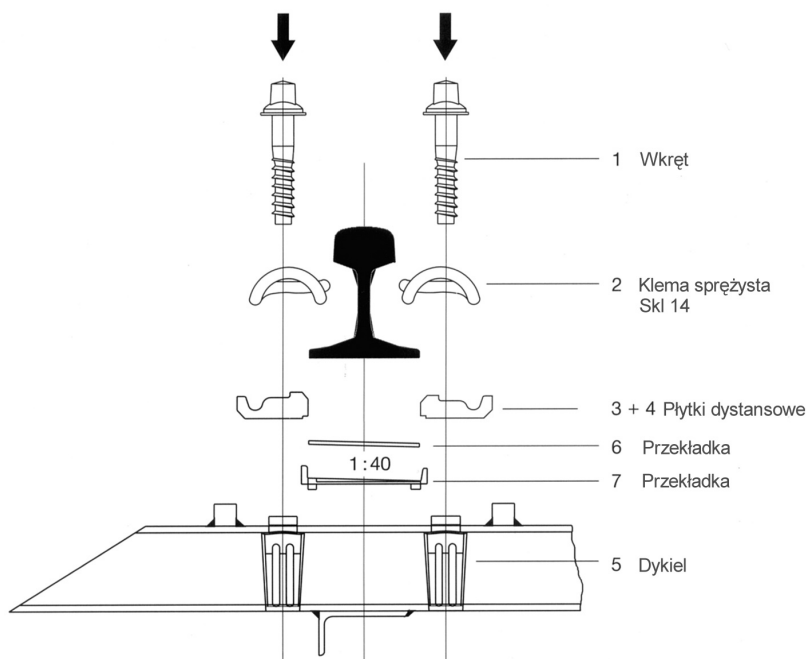
Zapomniany w wielu krajach, w tym w Polsce, podkład stalowy staje się na nowo atrakcyjnym elementem nawierzchni kolejowej. W zmienionej formie, w kształcie litery Y, dając bardzo wysoką stabilność położenia toru, układany jest na liniach kolejowych w Niemczech, Szwajcarii i innych krajach europejskich [1]. W Polsce podkłady stalowe traktowane są jako przestarzałe, a przepisy [8] pozwalają, w odniesieniu do nawierzchni kolejowych, na stosowanie jedynie podkładów drewnianych i betonowych.

Głównym elementem torowiska na podkładach stalowych typu Y (rys. 2.) są dwuteowniki typu B 100 S-1 [8]. W części podszynowej elementem nośnym podkładu są dwa dwuteowniki, rozmieszczone w odstępnie 190 mm. Całkowita długość podkładu przeznaczony dla toru o szerokości 1435 mm wynosi 2300 mm. Końce dwuteowni-

ków są ścięte pod kątem 32° (jest on zbliżony do nachylenia stoku przymy podsypki). Przy tym pochyleniu długość górnej części podkładu wynosi niecałe 2 m. Rozstaw osi przytwierdzeń wynosi 830 mm, a rozstaw osi podkładów w torze —1245 mm. Elementy przytwierdzenia pokazano na rys. 3.



Rys. 2. Widok ogólny torowiska z podkładami stalowymi typu Y



Rys. 3. Elementy przytwierdzeń typu S15/Skl 14

Producent podkładów typu Y deklaruje następujące parametry elektryczne torowiska zbudowanego z zastosowaniem podkładów stalowych [9]:

- Oporność izolacji przytwierdzeń typu S-15

Wyniki uzyskano na podstawie pomiaru podkładu z 2 przytwierdzeniami po całkowitym zamoczeniu w wodzie i następnie wyjęciu z wody, wykonując pomiar bezpośrednio po wyjęciu z wody i po czasie schnięcia 120 minut

- a) pomiar wykonywany w warunkach mokrych bezpośrednio po wyjęciu z wody
Wynik pomiaru: $R = 270 \text{ k}\Omega$
- b) Pomiar po 120 minutach czasu schnięcia
Wynik pomiaru: $R = 3,6 \text{ M}\Omega$

- Oporność podtorza

Warunki pomiaru: próba terenowa długookresowa (od lipca do października) na odcinku testowym o długości 230 m

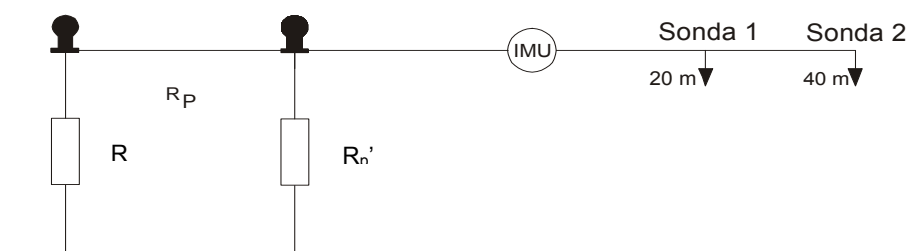
- wartość maks. w warunkach suchej pogody $73 [\Omega\text{km}]$
- wartość min. w warunkach obfitych opadów deszczu $6 [\Omega\text{km}]$

3. Metody pomiarowe

Pomiary przeprowadzono dwiema metodami: induktorowym miernikiem uziemień (IMU), a także za pomocą układu pomiarowego przedstawionego w europejskiej normie PN – EN 50122-2 [6].

Pomiary przyrządem IMU względem odległej sondy przedstawia rys. 4. Pomiar dotyczył dwóch toków (szyn) jednego toru. Szyny były połączone ze sobą galwanicznie na obu końcach. Szukaną wartość oporności przejścia R_p oblicza się ze wzoru:

$$R_p = \frac{R \cdot L}{1000} \quad (1)$$



Rys. 4. Zastępczy schemat pomiarowy przyrządem IMU.

Rysunek 5 przedstawia schemat pomiarowy rezystancji przejścia szyny-ziemia według normy PN-EN 50122-2. Celem określenia wartości rezystancji, należy pomierzyć napięcie względem odpowiednio zlokalizowanej sondy siarczano-miedzianej (Cu-CuSO_4) U_{REzal} w czasie przepływu prądu I o znanej wartości, oraz po odłączeniu układu zasilającego (tzw. napięcie spoczynkowe U_{REwyt}). Konduktywność, w oparciu o uzyskane wyniki, oblicza się ze wzoru:

$$G_{RE} = \frac{1}{L} \cdot \frac{I}{U_{REza} - U_{REwy}} \quad (2)$$

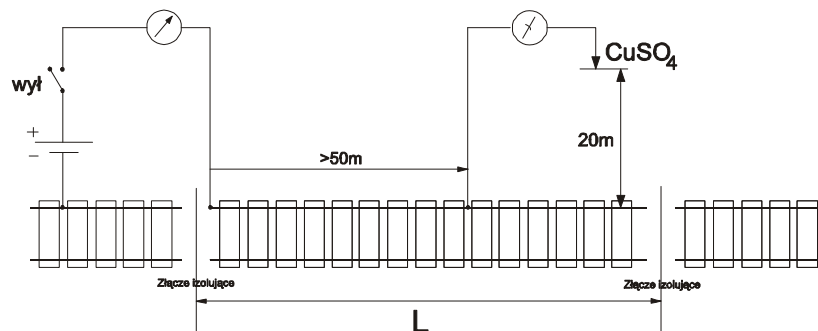
gdzie:

G_{RE} – konduktywność przejścia między torem a ziemią, w simensach na kilometr,

I – prąd zasilania w amperach,

L – długość badanego odcinka w kilometrach,

ΔU_{RE} – napięcie pomiędzy szynami jezdnyymi a ziemią, w woltach.



Rys. 5. Schemat pomiaru rezystancji przejścia szyny – ziemia wg normy PN-EN 50122-2.

4. Wyniki pomiarów

Pomiary terenowe zostały przeprowadzone na odcinku eksperymentalnym linii kolejowej zbudowanym we współpracy z Politechniką Krakowską na terenie PLK Kraków. Długość odcinka pomiarowego, na którym zastosowane były stalowe podkłady typu Y wynosiła 333,4 m i wynikała z długości odcinka izolowanego pomiędzy sąsiednimi dławikami torowymi.

Pomiary przeprowadzono w dwóch terminach, pierwsze pomiary przeprowadzono przy słonecznej pogodzie po długim bezdeszczowym okresie, natomiast drugie pomiary były prowadzone po opadach deszczu a nawet w trakcie mżawki (torowisko i podtorze mokre).

Uzyskane wyniki przedstawiono poniżej.

Pomiar miernikiem IMU

Tabl.1. Pomiary w pierwszym terminie

Lp.	Długość odcinka pomiarowego L [m]	Wskazanie przyrządu R [Ω]	Jednostkowa rezystancja przejścia R_p [Ω km]
1	333,4	39,25	13,08
2	333,4	38,2	12,73
3	333,4	38,3	12,77
4	333,4	38,0	12,67
średnio			12,81

Tabl. 2. Pomiary w drugim terminie

Lp.	Długość odcinka pomiarowego L [m]	Wskazanie przyrządu R [Ω]	Jednostkowa rezystancja przejścia R _p [Ω km]
1	333,4	28,2	9,4
2	333,4	26,0	8,67
3	333,4	29,6	9,87
4	333,4	27,3	9,1
5	333,4	26,3	8,77
średnio			9,16

Pomiar wg normy europejskiej [1]

Tabl. 3. Pomiary w pierwszym terminie

Lp.	Długość badanego odcinka L [km]	Prąd zasilania I [A]	Napięcie w stanie załączenia U _{REzał} [V]	Napięcie spoczynkowe U _{REwyl} [V]	Jednostkowa konduktancja przejścia G _{RE} [S/km]	Rezystancja przejścia R [Ω]	Jednostkowa rezystancja przejścia R _p [Ω km]
1	0,3334	5	105	7,0	0,153	19,63	6,54
2	0,3334	7	145	5,5	0,15	20,0	6,67
3	0,3334	10	198	1,7	0,153	19,63	6,54
4	0,3334	11	215	2,6	0,155	19,3	6,44
5	0,3334	5	102	2,1	0,15	20,0	6,67
6	0,3334	5	105	2,1	0,146	20,58	6,86
7	0,3334	6	125	2,2	0,146	20,58	6,86
8	0,3334	7	135	2,15	0,158	18,98	6,33
9	0,3334	10	195	2,3	0,156	19,27	6,42
10	0,3334	11	215	2,35	0,155	19,33	6,44
średnio							6,577

Tabl. 4. Pomiary w drugim terminie

Lp.	Długość badanego odcinka L [km]	Prąd zasilania I [A]	Napięcie w stanie załączenia U _{REzał} [V]	Napięcie spoczynkowe U _{REwyl} [V]	Jednostkowa konduktancja przejścia G _{RE} [S/km]	Rezystancja przejścia R [Ω]	Jednostkowa rezystancja przejścia R _p [Ω km]
1	0,3334	6	113	0,5	0,16	18,75	6,25
2	0,3334	8	150,3	1,5	0,16	18,6	6,2
3	0,3334	8,8	165	1,3	0,16	18,6	6,2
4	0,3334	6	115	1,5	0,159	18,9	6,3
5	0,3334	7	132	1,3	0,16	18,67	6,225
6	0,3334	6	112,5	1,25	0,162	18,54	6,18
średnio							6,226

Oprócz pomiarów rezystancji przejścia układu szyny-ziemia, zmierzono również samą rezystancję pomiędzy szyną kolejową a podkładem stalowym, czyli rezystancję przekładki izolacyjnej. Pomiar ten wykonano indukcyjnym miernikiem izolacji IMI. Średnia wartość z kilku pomiarów wyniosła 0,2 MΩ, czyli była trochę mniejsza niż deklarowana przez producenta jako wynik pomiarów laboratoryjnych po wyjęciu z wody.

W literaturze do oceny torowisk w aspekcie prądów błędnych stosuje się współczynnik upływu k obliczany wg wzoru [2]:

$$k = \sqrt{\frac{r_s}{r_p}} \quad [1/\text{km}] \quad (3)$$

gdzie:

r_s – rezystancja wzdłużna szyn w Ω,

r_p – rezystancja przejścia szyny-ziemia w Ωkm.

Dla badanego torowiska współczynnik ten wynosi: $k = 0,00195$ [1/km] i jest dużo lepszy od zalecanych, tak więc badane torowisko nie wymaga zmniejszania oporności wzdłużnej szyn.

5. Główne wymagania normy EN 50122-2

Dla obszarów, gdzie istnieje ryzyko poważnych skutków prądów błędnych powinny być utrzymywane podczas eksploatacji wartości rezystancji przejścia szyn nie mniejsze niż podano w tabeli 5. Oznacza to, że przed oddaniem nowego lub wyremontowanego odcinka toru do eksploatacji wartości te powinny być wyraźnie większe, gdyż w miarę upływu czasu należy się liczyć z ich stopniowym zmniejszaniem.

Tabl 5. Zalecane według norm EN 50122-2 wartości jednostkowej rezystancji przejścia R_p toru pojedynczego

Rodzaj trakcji	Teren otwarty [Ωkm]	Tunel [Ωkm]
Kolej	2,0	2,0
Transport masowy (tramwaj, kolej naziemna lub podziemna) - szyny nad poziomem jezdni	2,0	10,0
Transport masowy (tramwaj, kolej naziemna lub podziemna) – powierzchnia toczna szyn na poziomie jezdni	0,4	-

Podane w tabeli 5 wartości rezystancji przejścia można osiągnąć stosując czystą podsypkę, podkłady drewniane lub betonowe z systemem mocowania zapewniającym izolację, dostateczny odstęp między szynami i tłuczniem, skuteczne odprowadzenie wody z torowiska.

Należy stosować spawanie szyn lub łączniki wzdłużne, takie aby nie zwiększały rezystancji wzdłużnej szyn bardziej niż o 5%; można również przyłączać równolegle do szyn jezdnych dodatkowe kable w celu zmniejszenia rezystancji wzdłużnej torów, jeżeli nie koliduje to z wymaganiami sygnalizacji i zabezpieczenia ruchu pociągów.

6. Wnioski

Pomiary przeprowadzone za pomocą miernika IMU dały średnią wartość rezystancji przejścia szyny-ziemia dla badanego odcinka na poziomie: $R_p = 12,81 \Omega\text{km}$ – w pierwszym terminie pomiarów, oraz $R_p = 9,16 \Omega\text{km}$ – w drugim terminie pomiarów.

Przy pomiarach według normy europejskiej uzyskano następujące wartości:

$R_p = 6,577 \Omega\text{km}$ – w pierwszym terminie pomiarów,

$R_p = 6,226 \Omega\text{km}$ – w drugim terminie pomiarów,

gdyminimalna wartość $R_p = 2 \Omega\text{km}$ wg [6].

Zarówno metoda IMU jak i wg normy EN [6] wykazały zmniejszenie wartości jednostkowej rezystancji przejścia szyny-ziemia dla badanego odcinka co mogło być spowodowane znacznie gorszymi warunkami atmosferycznymi podczas przeprowadzania drugiej serii pomiarów oraz kilka dni wcześniej (opady deszczu).

Metoda pomiarowa przy zastosowaniu miernika IMU wykazała większy rozrzut mierzonej wartości (12,81 – 9,16), oraz wartości te odbiegają nieco od wyników otrzymanych z metody wg normy EN 50122-2 [6], co może być spowodowane tym, że w metodzie IMU do pomiaru wykorzystuje się prąd przemienny o częstotliwości około 60 Hz i na wynik mogą mieć wpływ pojemności układu szyny-ziemia.

Otrzymane wyniki mieszczą się w granicach podanych przez producenta ale są bliskie dolnej granicy deklarowanej dla bardzo złych warunków atmosferycznych. Należy się liczyć ze spadkiem wartości rezystancji przejścia wraz z okresem eksploatacji za sprawą zanieczyszczenia podtorza np. opiłkami z klocków hamulcowych itp.

Badany odcinek linii kolejowej z podkładami typu Y został wykonany w ten sposób, że nie zachowano odpowiedniego odstępu między stopką szyny a podsypką tłuczniową. Pozytywne wyniki pomiarów czynią powyższe wymaganie w pewnym stopniu dyskusyjnym.

Ponadto norma [6] zaleca izolowanie uszynionych konstrukcji wsporczych od ich fundamentów co w przypadku badanego odcinka nie było stosowane.

Po zapoznaniu się ze sposobem przytwierdzenia szyny do podkładu (rys. 3.) można zauważyć, że głównym elementem stanowiącym izolację elektryczną jest kołek (dybel) mocujący. Wszelkie pogorszenie własności izolacyjnych tego elementu, w trakcie eksploatacji torowiska, może prowadzić do istotnego pogorszenia jego parametrów elektrycznych (zmniejszenia rezystancji przejścia szyny-ziemia), szczególnie z tego względu, że podkłady są stalowe. Pozostaje mieć nadzieję, że materiały izolacyjne charakteryzują się odpowiednią trwałością. Niewątpliwie warto prowadzić w miarę systematyczne pomiary kontrolne tego typu torowisk w celu oceny stopnia zagrożenia prądami błądzącymi.

Literatura

- [1] Czyczyła W.: *Powrót podkładów stalowych*, Technika Transportu Szynowego nr 5-6/2002.
- [2] Dziuba W.: *Sieć powrotna i prądy błądzące*, Instytut Elektrotechniki Warszawa, 1995.

- [3] Popczyk M., Prusak J., Zajac W.: *Pomiary oporności układu: szyny tramwajowe-ziemia, dla torów wykonanych w technologii płyt monolitycznych*, V Krajowa Konferencja Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej, 2-4. 06. 1998, Jurata.
- [4] Prusak J., Syguła S., Zajac W.: *Próba oceny zagrożenia korozyjnego wiaduktów żelbetowych wywołanego prądami błędzającymi w świetle przeprowadzonych pomiarów*, VI Krajowa Konferencja Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej, 14-16. 06. 2000, Jurata.
- [5] Popczyk M., Prusak J., Zajac W.: *Porównanie metod pomiaru rezystancji przejścia szyny-ziemia dla nowoczesnych torowisk tramwajowych*, X Jubileuszowa Ogólnopolska Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej i II Szkoła Kompatybilności Elektromagnetycznej w Transporcie SEMTRAK 2002, 24-26 października 2002, Zakopane.
- [6] Norma EN 50122-2 *Zastosowania kolejowe. Urządzenia stacjonarne. Środki ochrony przed oddziaływaniem prądów błędzających wywołanych przez trakcję elektryczną prądu stałego.*
- [7] Norma PN-92/E-05024 *Ograniczanie upływu prądów błędzających z trakcyjnych sieci powrotnych prądu stałego.*
- [8] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie. (Dz. U. nr 151, poz. 987 z 1998 r.)
- [9] Materiały reklamowe i informacyjne firmy ThyssenKrupp, Krup GfT oraz Peiner-Trager.