

Artur Rojek¹
Wiesław Majewski²

KONSTRUKCJE I MATERIAŁY W KOLEJOWEJ SIECI TRAKCYJNEJ

W artykule omówiono założenia konstrukcyjne i uwarunkowania w budowie sieci trakcyjnej. Zwrócono uwagę na różnice w porównaniu do 3-fazowych sieci energetycznych. Podano jako przykład parametry nowej sieci trakcyjnej zaprojektowanej do dużych prędkości pociągów. Omówiono konstrukcje i materiały do budowy osprzętu sieci trakcyjnej.

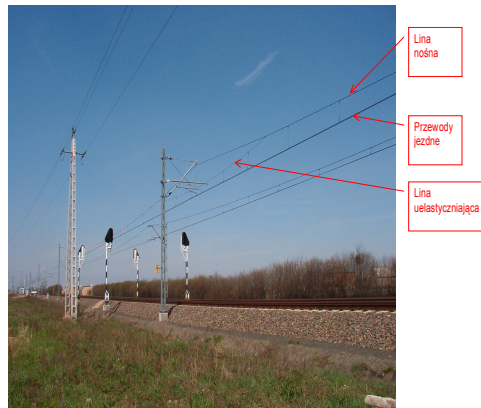
1. WSTĘP

Zadaniem sieci trakcyjnych jest doprowadzenie energii elektrycznej do ruchomego odbioru, jakim jest tabor trakcyjny. Energia dostarczana jest z podstacji trakcyjnych, usytuowanych przy torach. Do podstacji energia dopływa z krajowego systemu sieci 3-fazowych w większości przypadków o napięciu 15 kV. Najnowsze typy podstacji trakcyjne zasilane są z sieci 110 kV. W podstacjach następuje przekształcenie napięcia przemiennego na stałe o wartości 3 kV. System zasilania trakcji w Polsce opracowany i przyjęty został na początku lat 30-tych. W ówczesnych warunkach był systemem nowoczesnym, spełniającym wszystkie wymagania trakcyjne.

W porównaniu do napowietrznych, energetycznych sieci przesyłowych, sieć trakcyjna różni się w sposób zasadniczy – stanowi w rzeczywistości odmienne, nieporównywalne urządzenie elektryczne. Inna przy tym jest zarówno konstrukcja sieci, miejsce jej wybudowania jak i użyte części składowe [4]. Różnice te wynikają z odmiennego sposobu odbioru energii z sieci trakcyjnej (w odniesieniu do sieci 3-fazowej energetycznej), gdzie odbiornik względem sieci jest ruchomy. Odbiór energii z sieci następuje za pomocą pantografu zwanego również odbierakiem prądu, sporadycznie spotykanego w innych zastosowaniach. Odbieraki prądu umieszczone na dachu lokomotyw są charakterystycznym, wyróżniającym się elementem sylwetki elektrycznego pojazdu kolejowego. Sieci trakcyjne na szlakach kolejowych, choć wizualnie wyglądają podobnie, różnią się między sobą konstrukcją, a więc własnościami mechanicznymi oraz elektrycznymi. Konstrukcja sieci (fot. 1.) dostosowana jest do obciążenia trakcyjnego występującego na danym odcinku linii kolejowej tj.: rodzaju pociągów, ich prędkości i masy całkowitej, następstwa w czasie, a także ukształtowania trasy w terenie.

¹ Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa, 04-275 Warszawa, ul. Chłopickiego 50, tel.0224731040, e-mail: arojek@cntk.pl

² Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa, 04-275 Warszawa, ul. Chłopickiego 50, tel.0224731335, e-mail: wmajewski@cntk.pl



Fot. 1. Sieć trakcyjna C150-2CS150 oraz z lewej strony linia energetyczna 15kV

Problemem w zasilaniu trakcji elektrycznej jest jakość energii dostarczonej do lokomotywy, zależnej istotnie od jakości współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną. Jakość współpracy zależy od warunków technicznych, występujących w elektrycznym połączeniu przewodów jezdnych z nakładkami ślizgowymi odbieraka podczas jazdy taboru. Rozważając warunki właściwej współpracy pomocne będzie odwołanie się do teorii budowy i analizy „klasycznych” zestyków, występujących przy połączeniach szyn prądowych w rozdzielniach albo w konstrukcji wyłączników i odłączników energetycznych [2]. Parametrem wskazującym na jakość zestyków jest ich rezystancja przejścia. Rezystancja ta zależy od materiału styku, jakości stykających się powierzchni i siły docisku. Jej wartość powinna być minimalna. Zależność matematyczna wymienionych wielkości wyraża się wzorem:

$$R_p = \frac{\rho}{2} \cdot \sqrt{\frac{\pi \sigma}{k}} \cdot \frac{1}{F} \quad (1)$$

gdzie:

ρ – rezystywność materiału,

σ – średnie naprężenie w rzeczywistej powierzchni przejścia przy odkształceniu plastycznym,

k – współczynnik materiałowy,

F – siła docisku.

Analizując powyższy wzór nasuwa się wniosek, że rezystancja połączenia zależy od kilku parametrów, z których tylko dwa mogą być praktycznie dobierane podczas projektowania i eksploatacji sieci trakcyjnych. Jest to materiał styków tworzących zestyk i ich wzajemny docisk mechaniczny. Wynika stąd, że ślizgacz pantografu i przewody jezdne powinny być wykonane z materiałów o dużej przewodności, a ich docisk powinien być duży. Ich spełnienie jest warunkiem wstępnym prawidłowej konstrukcji sieci trakcyjnych.

2. KONSTRUKCJA SIECI TRAKCYJNEJ

Z przedstawionej analizy zestyków prądowych wynika, że sieć trakcyjna pod względem elektrycznym jest stykiem stałym po którym ślizgają się styki ruchome – ślizgacze pantografów.

Sieć trakcyjna musi więc cechować się stałym położeniem względem toru w każdych warunkach eksploatacyjnych i pogodowych. Stąd wynikają następujące założenia konstrukcyjne sieci:

- przewody jezdne bezpośrednio stykające się z ślizgaczem muszą być naprężone mechanicznie siłą o znacznej wartości, ograniczonej wytrzymałością na zerwanie przewodu,
- przewody jezdne nie powinny ulegać wywianiu z nad toru wskutek bocznych wiatrów. Warunek ten powoduje, że rozstawienie konstrukcji wsporczych wzdłuż szlaku nie może być dowolne,
- przewody jezdne powinny być wywieszane na szlaku wzdłuż linii łamanej, tworząc tzw. „zygzak”, aby ścieranie nakładek ślizgowych pantografów nie następowało w jednym miejscu,
- oprócz przewodów jezdnych sieci trakcyjne łańcuchowe posiadają liny nośne, których zadaniem jest podtrzymywanie w przestrzeni między słupami przewodów jezdnych ograniczając ich zwisy i polepszając współpracę ze ślizgaczami pantografów,
- liny nośne i przewody jezdne naciągane są za pomocą specjalnych urządzeń naprężających. Urządzenia te składają się z zespołu rolek linowych o przełożeniu 1:4, zwielfokratniającym naprężenie wywołane stosem obciążników (ciężarów naprężających),
- urządzenia naprężające montowane są na obu końcach odcinka naprężenia sieci trakcyjnej o przeciętnej długości 1200 m. Długość ta bezpośrednio wynika z obliczeń wydłużenia cieplnego przewodów jezdnych i lin nośnych oraz wysokości przemieszczenia ciężarów naprężających wzdłuż słupa,
- końce kolejnych odcinków naprężenia sieci trakcyjnej montowane są równolegle obok siebie tworząc tzw. „przęsło naprężenia”, które pozwala na bezwstrząsowe prześlizgnięcie się pantografu jadącej lokomotywy z jednego na drugi odcinek. W przęsle naprężenia następuje też elektryczne połączenie kolejnych odcinków naprężenia sieci lub ich separacja (izolowane przęsło naprężenia),
- sieci trakcyjne (głównie przewody jezdne) ulegają uniesieniu pod wpływem sił wyporu odbieraka prądu. Wartość uniesienia odniesiona do wartości siły jest cechą charakterystyczną dla określonej odmiany sieci i określana jest mianem elastyczności. Aby wyrównać elastyczność sieci szlakowej pod każdą konstrukcją wsporczą wmontowywane są dodatkowe przewody tzw. „linki uelastyczniające”,
- sieć trakcyjna powinna posiadać minimalną rezystancję wzdłużną, celem ograniczenia spadków napięć od zasilającej podstacji do pantografu lokomotyw,
- sieć trakcyjna powinna być odporna na korozyjne oddziaływanie atmosfery,
- przed wyjazdem lokomotyw z lokomotywni kontroli podlega wartość siły docisku odbieraka prądu. Wartość siły powinna wynosić przeciętnie 90 N. Na każdym ślizgaczu pantografu umieszcza się porcję smaru grafitowego zmniejszającego współczynnik tarcia pomiędzy przewodem i ślizgiem,

- do chwili obecnej w taborze PKP dominującym rodzajem nakładek stykowych na ślizgaczach pantografów są płaskowniki miedziane. Eksploatowanie tego rodzaju nakładek wynika z minimalnej rezystywności miedzi, nie powodującej przegrzania przewodów jezdnych, szczególnie w momencie ruszania ciężkich pociągów - zwiększając w ten sposób pewność bezawaryjnej współpracy z przewodami jezdnymi. Trwają jednak próby zastosowania w miejsce nakładek miedzianych nakładek z kompozytów grafitowych, które mogą wydatnie zmniejszyć zużycie przewodów jezdnych. Kompozyty węglowe zawierają ok. 80% C + 18% Cu + 2% Sn.

3. MATERIAŁ DO BUDOWY SIECI

Materiałem konstrukcyjnym używanym w budowie sieci trakcyjnej jest głównie ocynkowana stal oraz miedź i jej stopy.

Ze stali (S235JRG1) wykonane są konstrukcje wsporcze (słupy i bramki) oraz większość osprzętu montowanego samodzielnie (wsporniki, uchwyty, śruby, drobny osprzęt łączący) lub w podzespołach (np. urządzenia naprężające przewody trakcyjne i mocujące je do słupów).

Z miedzi elektrolitycznej (Cu-ETP) i ostatnio z miedzi z dodatkiem srebra (CuAg0,1) produkowane są przewody jezdne, przewody gołe wielodrutowe.

Z brązów (BA1032, BK331) wykonywane są złączki i zaciski prądowe łączące przewody i przenoszące naprężenia mechaniczne.

4. OSPRZĘT SIECI TRAKCYJNEJ

Osprzętem sieci trakcyjnej nazywa się ogólnie zestaw w większości drobnych (do kilku kg) wyrobów głównie metalowych służących do budowy sieci trakcyjnych. Konstrukcja i najważniejsze własności osprzętu były ujęte w normach branżowych o numerach BN-rok/9317-nn. Obecnie normy te nie są aktualne. W użyciu pozostał natomiast katalog osprzętu opracowany i uaktualniany przez CBP-BBK „KOLPROJEKT” w Warszawie. Karty katalogowe nie podają jednak wymagań technicznych osprzętu. Uporządkowaniem wymagań jakie powinien spełniać osprzęt zajmuje się CNTK. Ogólne wymagania i zakres badań osprzętu zawarty został w normie PN-K-91002 [3].

Osprzęt, przyjmując kryterium materiałowe, podzielić można na kilka grup:

- osprzęt ze stali ocynkowanej,
- osprzęt z brązu,
- osprzęt z miedzi,
- izolatory,
- osprzęt z żeliwa, aluminium, kompozytów z tworzyw sztucznych.

Osprzęt ze stali ocynkowanej stanowi najliczniejszą grupę wyrobów. Najczęściej łączony jest w podzespoły spełniające określone zadanie w konstrukcji sieci. Takim podzespołami są np. urządzenia do naprężania przewodów trakcyjnych, komplety elementów do podwieszenia przewodów do konstrukcji wsporczych, komplety

elementów do zamocowania na słupach odłączników i ich napędów oraz kabli zasilających 3 kV.

Osprzęt ze stali produkowany jest głównie z półfabrykatów (kątowników, ceowników, rur), które po obróbce wiórowej łączone są technologią spawania, a następnie jest zabezpieczany przed korozyjnymi wpływami atmosferycznymi warstwą cynku nakładaną metodą ogniową. Połączenia mechaniczne osprzętu są rozłączalne, celem wymiany zużytych elementów. Osprzęt ze stali spełnia funkcje wsporników, uchwytów, łączników, odciągów, wysięgników, śrub naprężających, wyrównywaczy naprężeń. Osprzęt ten poddawany jest naprężeniom mechanicznym o wartościach zależnych od spełnianego zadania.

Osprzęt z brązu stanowi grupę elementów montowanych na przewodach trakcyjnych. Są to zaciski i złączki prądowe, uchwyty ustalające położenie przewodów jezdnych, uchwyty łączące dwa lub trzy przewody. Osprzęt ten z założenia przenosi naprężenia mechaniczne przewodów i przewodzi prądy trakcyjne.

Osprzęt z miedzi służy głównie do podwieszania przewodów jezdnych do lin nośnych. Z miedzi wykonywane są uchwyty do przewodów. Wraz z linką miedzianą wielodrutową L10 osprzęt ten jest elementem składowym „wieszaków”. Osprzęt miedziany przenosi naprężenia mechaniczne wynikające z masy przewodów oraz przewodzi w określonych sytuacjach część prądów trakcyjnych.

Izolatory trakcyjne zapewniają izolację elektryczną pomiędzy konstrukcją sieci jezdnej będącą pod napięciem 3 kV DC a uszynionymi słupami i bramkami. Przenoszą obciążenia mechaniczne wynikające z masy sieci. Produkowane są zgodnie z PN-87/E-91112. Okucia izolatorów odlewane są z żeliwa i cynkowane, część izolacyjna wykonywana jest z masy ceramicznej. Osobne wyroby stanowią izolatory ciągnowe i sekcyjne. Izolatory ciągnowe są przedłużeniem przewodów jezdnych i lin nośnych. Oprócz funkcji izolowania poddane są też siłom naciągu przewodów. Ich częścią izolacyjną jest pręt szklano-epoksydowy.

Izolatory sekcyjne wbudowywane są w ciąg przewodów jezdnych. Służą do elektrycznego podziału sieci trakcyjnej, zapewniając jednocześnie płynne przejście pantografu lokomotyw. Konstrukcja izolatorów sekcyjnych składa się z wyżej wymienionych izolatorów ciągnowych oraz pozostałych części stalowych i miedzianych: uchwytów, prowadnic, styków opalnych.

Z aluminium wykonywane są ramiona odciągowe do przewodów jezdnych. Zastosowanie aluminium podyktowane jest to potrzebą zmniejszenia masy ramion, aby ich umiejscowienie na przewodach nie pogarszało jakości współpracy z pantografami.

Z żeliwa, a ostatnio też z kompozytów tworzyw sztucznych wykonywane są obciążniki sieci trakcyjnych tzw. „ciężary”.

Badania laboratoryjne osprzętu i przewodów wykonywane są w Centrum Naukowo-Technicznym Kolejnictwa w Warszawie [1]. CNTK prowadzi również badania terenowe czynnej sieci trakcyjnej, w tym też badania współpracy pantografów z modernizowanymi lub nowymi odmianami sieci trakcyjnych. Wyniki tych badań najczęściej prezentowane są na konferencjach branżowych i czasopismach technicznych. Stanowią one również materiał niezbędny w procesie certyfikacji nowych rozwiązań sieci trakcyjnej i pantografów.

5. PARAMETRY SIECI TRAKCYJNEJ YC150-2CS150

Tab. 1. Parametry sieci trakcyjnej do dużych prędkości pociągów

Lp.	Parametr	Wartość
1	Naciąg w przewodach jezdnych	$F_p = 2 \times 14,83 \text{ kN}$
2	Naciąg w linie nośnej	$F_{LN} = 19,07 \text{ kN}$
3	Naciąg w linie pomocniczej	$F_{LP} = 2,50 \text{ kN}$
4	Normalna długość przęsła	$L = 65 \text{ m}$
5	Długość uelastycznienia	$L_U = 17 \text{ m}$
6	Wysokość konstrukcyjna	$L_K = 1,70 \text{ m}$
7	Odległość między dwoma kolejnymi wieszakami	$L_W = 3,0 \text{ m}$
8	Elastyczność sieci	$e_{\min} = 2,56 \text{ mm/daN}$ $e_{\max} = 3,63 \text{ mm/daN}$
9	Obciążalność prądowa ciągła	$I = 2700 \text{ A}$
10	Prędkość konstrukcyjna	$V_k = 200 \text{ km}$

6. PODSUMOWANIE

Konstrukcja sieci trakcyjnych różni się od konstrukcji sieci energetycznych. Różnice wynikają m.in. z odmiennego sposobu odbioru energii z sieci trakcyjnych. Oprócz konstrukcji również inne jest wyposażenie: stosuje się miedziane przewody jezdne i wielodrutowe oraz osprzęt ze stali, brązu, miedzi. W zależności od warunków ruchowych opracowano i eksploatuje się kilka odmian sieci trakcyjnych.

7. LITERATURA

- [1] Majewski W., Rojek A. i inni Wpływ naprężeń ściskających i rozwiązań konstrukcyjnych na poziom temperatur zacisków w sieci trakcyjnej. Konferencja SEMTRAK 2006 w Krakowie
- [2] Maksymiuk J. Aparaty elektryczne WNT Warszawa, 1992
- [3] PN-K-91002:1997 Sieć trakcyjna kolejowa. Osprzęt. Ogólne wymagania i badania.
- [4] PN-EN 50119:2002(U) Zastosowania kolejowe. Urządzenia stacjonarne. Sieć jezdna górna trakcji elektrycznej.

CONSTRUCTION AND MATERIALS OF RAILWAY OVERHEAD CONTACT LINE (OCL)

The paper presents constructional foundations and requirements of OCL construction. Differences between OCL and 3-phase power line were accentuated. There are given parameters of the new type of OCL designed for high speeds. Constructions and materials of elements of OCL are talked over.