

Artur Rojek, Wiesław Majewski

Górna sztywna sieć trakcyjna

Szczególnym rozwiązaniem górnej sieci trakcyjnej jest sieć sztywna, zwana siecią tunelową. Jej cechą charakterystyczną jest zwarta konstrukcja, nie wymagająca dużej przestrzeni. W artykule przedstawiono konstrukcję i właściwości aluminiowej szynie prądowej oraz wyniki badań jakości współpracy sieci sztywnej z pantografami.

Sieć trakcyjna jest bezrezerwowym elementem infrastruktury kolejowej, której zadaniem jest dostarczenie energii elektrycznej do pojazdów trakcyjnych. Jest to złożony układ mechaniczno-elektryczny, którego parametry muszą zapewniać prawidłowy styk elektryczny przewodów jezdnych z pantografem przy dopuszczalnych prędkościach jazdy pojazdów szynowych na wybranej linii kolejowej. Sieć trakcyjna składa się dwóch oddzielnych systemów: z górnej sieci jezdnej (współpracującej z pantografami) i z dolnej sieci powrotnej (której podstawowym elementem są stalowe szyny kolejowe).

Szczególnym rozwiązaniem górnej sieci jezdnej jest sieć sztywna, często zwana siecią tunelową, gdyż została ona specjalnie opracowana do zastosowań w tunelach. Charakteryzuje się zwartą konstrukcją, nie wymagającą dużej przestrzeni. Zasadniczym elementem tej sieci jest aluminiowy kształtownik. Wysokość kształtownika wraz z wciśniętym przewodem nie przekracza 120 mm, dzięki czemu wysokość całej konstrukcji sieci sztywnej, doliczając jej mocowanie, jest znacznie mniejsza od klasycznej linowej sieci łańcuchowej.

Mimo że koszt budowy sieci sztywnej znacznie przekracza koszt budowy sieci łańcuchowej, dzięki możliwości obniżenia tunelu cała inwestycja jest tańsza. Sieć sztywna, oprócz tuneli, eksploatowana jest pod szerokimi wiaduktami, na mostach zwodzonych oraz na terenie zaplecza technicznego dla pojazdów szynowych.

W Europie znajduje się kilka firm specjalizujących się w projektowaniu, produkcji i montażu sieci sztywnych. W referacie korzystano z materiałów firmy: Siemens AG (sieć Sicat SR), Furrer+Frey AG (sieć CR2 i CR3HS) i Electren SA (sieć GSST). Każda z wymienionych firm posiada własne rozwiązania konstrukcyjne sieci sztywnej. Ze względu na zastosowanie sieci w każdym rozwiązaniu występuje kształtownik aluminiowy z przewodem jezdny i komplet mocowań do ścian i stropu tunelu (lub innych nośników).

Szyna prądowa

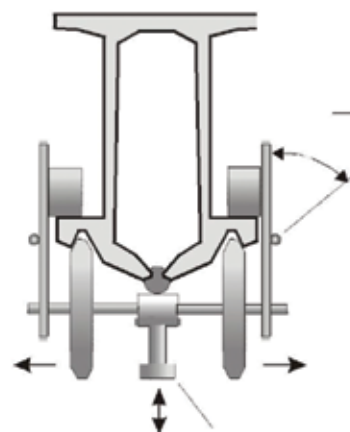
Konstrukcja sieci sztywnej bazuje na aluminiowej szynie prądowej w postaci kształtownika o profilu zaprojektowanym specjalnie dla zastosowania kolejowego. Technologia produkcji polega na wyciskaniu na gorąco gotowych profili. Wymaganiem zasadniczym stawianym szynie prądowej jest posiadanie dużej przewodności elektrycznej, odporności na korozyjne wpływy otoczenia oraz znacznej mechanicznej sztywności wzdłużnej, jak i możliwość prostego montażu podczas budowy sieci. Przekrój opracowanego kształtownika o tych właściwościach pokazany został na rysunku 1. Górny fragment profilu służy do mocowania osprzętu połączeniowego. Dolny fragment profilu, zaprojektowany w postaci dwóch równoległych chwytnych szczęk, przeznaczony jest do utrzymywania przewodu jezdnego. Aluminium jako materiał szyn prądowych wykazuje niską odporność na procesy tarcia mechanicznego, z tego powodu nie kwalifikuje się do bezpośredniej współpracy z węglowymi nakładkami ślizgowymi pantografów lokomotyw. Dlatego w szynach aluminiowych instaluje się miedziane przewody jezdne, które wykazują większą odporność na zjawisko tarcia, znane w eksploatacji sieci łańcuchowej. Zaznaczone są fragmenty profilu, które służą jako prowadnice dla urządzenia do wkładania i wyjmowania przewodu jezdnego. W zależności od wymagań inwestora stosowany może być przewód jezdny rodzaju AC, BC o przekroju minimum 100 mm² [9]. Przewód ten wciskany jest w szczęki profilu w końcowej fazie montażu sieci sztywnej w terenie. Przewód jezdny współpracuje bezpośrednio z nakładkami ślizgowymi pantografów pojazdów elektrycznych.

Typowe długości fabrykacyjne kształtowników nie przekraczają 15 m. Łączenie kolejno kształtowników w celu budowania dłuższych odcinków sieci odbywa się za pomocą płaskowników aluminiowych dociskanych do bocznych powierzchni śrubami stalowymi. Mocowanie profili do stropu tunelu lub jego ścian wykonuje się przy użyciu stalowych ocynkowanych elementów łączonych śrubami stalowymi.

Z powodu występujących różnic w budowie poszczególnych tuneli montaż sieci za każdym razem odbywa się na podstawie indywidualnych projektów. Instalowanie przewodu jezdnego do profili aluminiowych przeprowadzane jest z pomostu pociągu roboczego. Proces instalowania odbywa się przy użyciu specjalnego narzędzia,



Rys. 1. Przekrój poprzeczny szyni prądowej firmy Siemens AG
Źródło: oprac. własne na podst. [4].



Rys. 2. Schemat montażu przewodu jezdnego do aluminiowego profilu
Źródło: oprac. własne na podst. [4].

które rozchyła szczęki profilu i wciska przewód jezdny. Na rysunku 2 przedstawiono szkic zasady montażu przewodu jezdnego do szyny prądowej. Dwie rolki rozchylają szczęki wg zaznaczonych strzałek, w które wsuwany zostaje przewód jezdny. Przewód utrzymywany jest w szczękach profilu tylko dzięki siłom sprężystości. W tych warunkach łatwa jest wymiana przewodu jezdnego w przypadku jego nadmiernego zużycia. W celu zapobieżenia korozji elektrochemicznej pomiędzy aluminium i miedzią ten drugi przed zaciśnięciem pokrywany jest smarem.

Przewód jezdny, jak i profil aluminiowy, nie jest w sieci sztywnej obciążany mechaniczną siłą rozciągającą (w porównaniu do naprężania przewodów w sieci przewodowej łańcuchowej). Odpada więc potrzeba instalowania urządzeń naprężających.

Części składowe sieci sztywnej

Sieć sztywna składa się z 11 podstawowych elementów. Są nimi:

- 1) aluminiowa szyna prądowa o długości fabrykacyjnej 15 m i specyficznym kształcie przekroju poprzecznego. Kształt szyny umożliwia jej bezproblemowe mocowanie do konstrukcji wsporczych, jak i proste przyłączenie przewodu jezdnego;
- 2) łączniki do mechanicznego (i jednocześnie elektrycznego) łączenia dwóch kolejnych odcinków szyn prądowych. Łącznik składa się z kompletu aluminiowych płaskowników dociskanych śrubami do bocznych powierzchni szyn. Łączniki w niektórych wykonaniach posiadają miniaturowe wgłębienia wzdłuż powierzchni montażowych, ułatwiające dopasowanie łączników do szyn;
- 3) uchwyt do kotwienia środkowego sekcji szyn prądowych, mający na celu zapobieganie samoistnemu przemieszczaniu się szyn wzdłuż toru, a jednocześnie zachowanie możliwości ich swobodnego wydłużania wywołanego wzrostem temperatur. Dobór punktu mocowania ustalany jest w fazie projektowania;
- 4) wślizg szyny prądowej – łagodne wygięcie końcówki pojedynczej szyny, zapewniające płynne przejście pantografu z przewodów jezdnych (sieci konwencjonalnej) na szynę sztywną lub podczas przejścia na rozjazdach sieci sztywnej;



Fot. 1. Wlot do tunelu na linii kolejowej Kozłów-Tunel (strefa przejściowa: sieć łańcuchowa-sieć sztywna). Fot. W. Majewski

Tab. 1. Parametry techniczne sieci sztywnych

Parametr	Producent		
	ELECTREN SA [3]	SIEMENS AG [4]	FURRER+FREY AG [2]
Napięcia znamionowe	3 000 V DC	750–3 000 V DC; 15–25 kV AC	750–3 000 V DC; 11–25 kV AC
Prąd ciągły (przyrost temperatury 50 K)	2 400 A	2 900 A	3 500 A
Prąd zwarciaowy	45 kA	45 kA	40 kA (60 ms)
Temperatura otoczenia	40°C	Maks. 40°C	Nie określono
Maks. temperatura przewodu (szyna prądowa)	Nie określono	90°C	90°C
Rozstaw wsporników mocujących	8–12 m	Maks. 12 m	7–12 (15) m
Maks. dopuszczalna długość połowy sekcji	250 m	500 m	800 m
Maksymalne przemieszczenie poziome przewodu jezdnego od osi toru (odsuw)	±250 mm	Nie określono	±250 mm
Maks. prędkość przejazdu	250 km/h	140 km/h	250 km/h
Przekrój szyny prądowej bez przewodu jezdnego	2 220 mm ²	2 300 mm ²	2 100 mm ²
Wysokość szyny prądowej	110 mm	110 mm	110 mm
Materiał szyny prądowej profilowej	Stop aluminium	Stop aluminium	Stop aluminium
Masa właściwa szyny prądowej bez przewodu jezdnego	6,1 kg/m	6,2 kg/m	6,1 kg/m
Przewód jezdny EN 50149	AC lub BF od 100 do 150 mm ²	Wersja AC i BC o przekroju 100 i 150 mm ²	Przekrój 100–161 mm ²
Maksymalne zużycie przewodu jezdnego	35%	Nie określono	50%

Źródło: oprac. własne na podst. [5].

- 5) zacisk zasilający – służy do elektrycznego połączenia miedzianych przewodów zasilacza z szyną prądową sztywnej sieci trakcyjnej;
- 6) zacisk uziemiający z uchem uziemiającym – służy do podłączenia osprzętu uziemiającego w celu zapewnienia bezpieczeństwa podczas prac konserwacyjnych elementów systemu;
- 7) złącze kompensacyjne – kompensuje skutki wydłużenia termicznego profili aluminiowych sieci sztywnych, zapobiega zniekształceniom połączeń i powstawaniu zakłóceń we współpracy z pantografem;
- 8) stopniowanie szyny przewodzącej – specjalne wykonanie końcówki szyny w strefie połączenia z siecią konwencjonalną, zmniejszającą stopniowo różnicę sztywności szyny z sztywnością sieci konwencjonalnej;
- 9) podwieszenia szyny przewodzącej – komplet metalowych elementów (łącznie z izolatorami) do budowy konstrukcji mocującej szynę prądową do stropu tunelu lub do innego stałego obiektu;



Fot. 2. Strefa przejściowa sieć łańcuchowa-sieć sztywna, widok „od dołu” wlotu z fot. 1. Fot. W. Majewski

- 10) izolatory do podwieszenia sieci sztywnej – elementy izolacyjno-konstrukcyjne ceramiczne lub kompozytowe do izolowania i mocowania szyny prądowej do stałego obiektu;
- 11) izolatory sekcyjne – urządzenia do elektrycznego podziału sieci sztywnej, współpracujące z pantografem.

Właściwości sieci sztywnej

W Europie istnieje kilku znaczących producentów aluminiowych profili do sieci sztywnych, będących jednocześnie budowniczymi tych sieci. Podane w poniższej tabeli parametry górnych sieci sztywnych zestawiono na podstawie dostępnych katalogów firm: Siemens AG (sieć Sicat SR), Furrer+Frey AG (sieć CR2 i CR3HS) lub Electren SA (sieć GSST).

Najbardziej newralgicznym miejscem konstrukcyjnym jest strefa połączenia sieci sztywnej z siecią łańcuchową (przewodową). Ze względu na różną elastyczność obydwu typów sieci strefa przejściowa powinna być tak konstruowana i wykonana, aby przesuwający się pantograf nie tracił styczności z siecią. Podczas przejazdu nie powinno występować iskrzenie lub powstawanie łuku elektrycznego. Badania wykazały, że główne parametry tej strefy decydują o maksymalnej prędkości eksploatacyjnej sieci sztywnej. Przykłady strefy przejściowej pokazane są na fotografiach 1, 2 i 3.

Na fot. 1 widoczny jest wlot do tunelu wybudowanego na linii kolejowej nr 8 Warszawa–Kielce–Kraków. Strefa przejściowa wykonana została w tunelu. Sieć łańcuchowa typu C120-2C została zakotwiona w stropie tunelu. Równoległe do niej rozpoczyna się kotwienie sieci sztywnej firmy Electren SA.

Na fot. 2 pokazano strefę przejściową z fot. 1, widok „od dołu”. Od prawej strony widać przewody jezdne sieci łańcuchowej, zaś od strony lewej kształtownik aluminiowy sieci sztywnej.

Na fot. 3 pokazano widok strefy przejściowej z poziomu pomostu pociągu. Oprócz przewodów jezdnych i kształtownika widoczne są izolatory ceramiczne i miedziane połączenie prądowe.

Badania jakości współpracy sieci sztywnej z pantografami

Sieć jezdna sztywna, jako dość nowe rozwiązanie konstrukcyjne, poddana była wszechstronnym badaniom eksploatacyjnym według wymagań normy [7] i TSI „Energia” [1]; dokumenty te nie wymieniają wprost sieci sztywnych. Badania prowadzone były zarówno w kraju, jak i w innych zarządkach kolejowych. W warunkach krajowych badano sieć sztywną firmy Electren SA typu GSST, zamontowaną w tunelu kolejowym na odcinku linii Kozłów–Tunel. Sprawdzone były parametry statyczne sieci – głównie wysokość zawieszenia sieci nad poziomem szyn i odsuw profilu od osi toru (zygzakowanie). Sprawdzone też dynamiczne oddziaływanie pantografu i sieci przy dopuszczalnej prędkości jazdy dla tej linii, wynoszącej 110 km/h. Wyniki badań były pozytywne. Potwierdziły się natomiast wcześniejsze spostrzeżenia, że należy dokładnie zmontować strefę przejścia pomiędzy siecią łańcuchową a sztywną, uwzględniając typy pantografów i prędkość przejazdu.

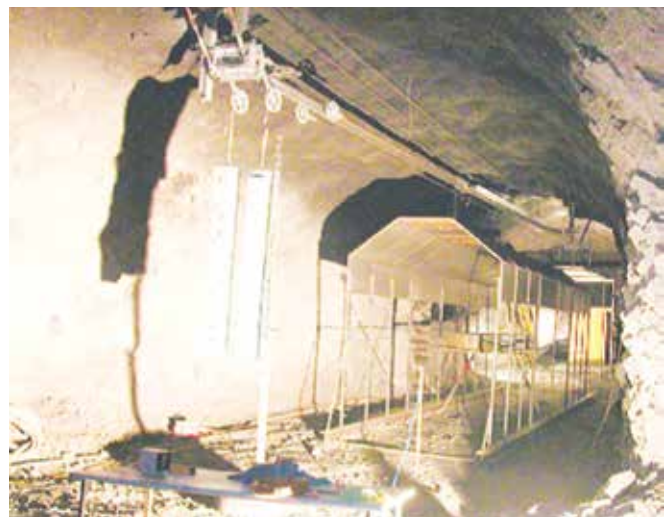
Według sprawozdania DB [11] również w Austrii prowadzone były badania z wynikiem pozytywnym współpracy sztywnej sieci firmy Furrer+Frey AG z prędkościami przejazdów do 256 km/h. Interesujące były badania porównawcze odporności na płomienie z stojącego taboru sieci sztywnej i sieci przewodowej łańcuchowej, prowadzone w przygotowanym specjalnie do tego tunelu. Stan początkowy stanowiska do badań odporności pokazano na fot. 5, zaś przebieg – na fot. 6. Były to testy nieobjęte normą [7], mające umotywowanie w rzeczywistym przypadku. Wykazały, że sieć sztywna była najbardziej odporna na tego rodzaju zdarzenie, co uzasadnia jej stosowanie szczególnie w tunelach.



Fot. 3. Strefa przejściowa sieć łańcuchowa–sieć sztywna, widok z pomostu pociągu z fot. 1. Fot. W. Majewski



Fot. 4. Widok tunelu z siecią sztywną z fot. 1. Fot. W. Majewski



Fot. 5. Stanowisko badawcze w tunelu do badań porównawczych odporności na płomienie sieci łańcuchowych i sztywnej firmy Furrer+Frey AG [2]

Zalety sieci sztywnej predysponują ją też do zastosowań w obiektach naziemnych, np. w halach napraw taboru. Są to często konstrukcje ruchome, składane na boczne ściany, pozwalające na



Fot. 6. Badanie odporności na płomień według opisu z fot. 5 [2]

bezpieczną pracę na dachu pojazdu szynowego. Ten rodzaj sieci poza kontrolą techniczną nie podlega badaniom wymagany na szlakach kolejowych.

Zalety sieci sztywnej

Opisując sieć sztywną, można wyróżnić jej 8 podstawowych zalet.

1. Sieć sztywna przy współpracy z typowymi pantografami pojazdów szynowych wymaga mniejszej wysokości konstrukcyjnej instalacji. Z tego powodu kwalifikuje się do zabudowy w niskich tunelach.
2. Sieć sztywna nie wymaga w budowie urządzeń naprężających przewody i kształtownik profilowy. Wylimitowane są urządzenia naprężające ciężarowe.
3. Możliwa jest eliminacja strefy górnej sieci jezdnej [8].
4. Sieć sztywna cechuje się wysoką obciążalnością prądową w odniesieniu do sieci łańcuchowej.
5. Sieć sztywna ma wysoką wytrzymałość zwarciovą w odniesieniu do sieci łańcuchowej.
6. Prosta konstrukcja sieci wykorzystuje małą liczbę detali montażowych w odniesieniu do sieci łańcuchowej. Możliwa jest łatwiejsza regulacja w pionie wysokości profilu.
7. Dopuszczalne zużycie przewodów jezdnych wynosi do 43+50%; oznacza to dłuższą żywotność przewodów jezdnych.
8. Sieć sztywna jest bardziej odporna na płomień w tunelach niż sieć łańcuchowa, z tego powodu jest bezpieczniejsza w użyciu.

Wnioski

Sieć sztywna ze względu na zwartą konstrukcję kwalifikuje się szczególnie do instalowania w niskich tunelach bez potrzeby ich podwyższania. Może być ponadto wykorzystana w pomieszczeniach zaplecza technicznego do obsługi pojazdów szynowych. W tym przypadku sieć sztywna może być usuwana z torów, np. przemieszczana do bocznych ścian, umożliwiając bezpieczną pracę na dachu pojazdu. Ze względu na umieszczenie przewodu jezdnego w kształtowniku i brak jego naciągu można dopuścić jego większe zużycie mechaniczne, bez poważnych skutków, np. zerwania. Sieć sztywna ze względu na jej większą liczbę punktów podwieszenia do konstrukcji wsporczych (maks. 12 m) nie służy do instalowania na liniach powietrznych.

Bibliografia:

1. Decyzja Komisji z dnia 26.04.2011 r. dotycząca TSI podsystemu „Energia” transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych.

2. Dokumentacja Techniczno-Ruchowa dla górnej sztywnej sieci trakcyjnej produkcji Furrer+Frey typu CR2 oraz CR3HS, 2014.
3. Dokumentacja Techniczno-Ruchowa dla rodziny sztywnych górnych sieci trakcyjnych Electren SA, 2011.
4. Instrukcja montażu, wersja 1.0.0. System szyny sztywnej Sicat SR. Sieć jezdna dla linii kolejowych wykorzystywanych w publicznym transporcie zbiorowym oraz magistrali kolejowych Siemens AG, 2011.
5. Katalogi firm Siemens AG, Furrer+Frey AG, Electren SA.
6. Kurzweil F., Furrer B., *Deckenstromschienen für hohe Fahrgeschwindigkeiten*, „Elektrische Bahnen“ 2011, Nr. 8.
7. PN-EN 50119:2009E Zastosowania kolejowe – Urządzenia stacyjne – Sieć jezdna górna trakcji elektrycznej.
8. PN-EN 50122-1:2011 Zastosowania kolejowe – Urządzenia stacyjne – Bezpieczeństwo elektryczne, uziemianie i sieć powrotna – Część 1: środki ochrony przed porażeniem elektrycznym.
9. PN-EN 50149:2012E Zastosowania kolejowe – Urządzenia stacyjne – Trakcja elektryczna – Profilowane przewody jezdne z miedzi i jej stopów.
10. PN-EN 50317:2012E Zastosowania kolejowe – Systemy odbioru prądu – Wymagania dotyczące walidacji wyników pomiarów oddziaływania dynamicznego pomiędzy pantografem a siecią jezdnią górną.
11. Sprawozdanie DB: 090909_DB_pilot_1.pdf (dostęp z dnia 12.12.2014 r.).

Artykuł został przygotowany na XVI Ogólnopolską Konferencję Naukową Trakcji Elektrycznej SEMTRAK 2014, zorganizowaną przez Politechnikę Krakowską w październiku 2014 r.

SEMTRAK 2014

Autorzy:

dr inż. **Artur Rojek** – Instytut Kolejnictwa Warszawa
mgr inż. **Wiesław Majewski** – Instytut Kolejnictwa Warszawa

Upper stiff system of overhead catenary

The overhead contact system is an element of the railway infrastructure without reserve. Its task is to provide electricity to the traction vehicles. A particular solution to the overhead contact line is overhead conductor rail, often called overhead tunnel line. It is characterized by compact design, it does not require a large space. The essential element of this solution is aluminium hollow section. Although the cost of building a overhead conductor rail exceeds the cost of building the overhead contact line with catenary suspension, due to the possibility of decreased height of a tunnel the entire investment is cheaper. Overhead conductor rail, in addition to the tunnels, it is operated under wide viaducts, bridges bascule and complex technical facilities for rail vehicles. The paper shows the properties of the aluminium conductor rail as the profile of the section, its construction, mounting, described transition area from catenary to overhead conductor rail.

In Europe, there are several companies that specialize in the design, manufacture and installation of overhead conductor rails. In the paper have been used materials of company: Siemens AG (conductor rail Sicat SR), Furrer+Frey AG (CR2 and CR3HS conductor rail) and Electren SA (conductor rail GSST) and experience with IK's research in the field. Each of these companies has its own solutions of overhead conductor rail structures.