

# Tramwaje w Bordeaux zasilane z trzeciej szyny

**Przy okazji budowy sieci tramwajowej w Bordeaux, Francja, na częściach wszystkich trzech budowanych linii – A, B i C, zastosowano innowacyjny system układu zasilania dla tramwajów. Nowy system umożliwi zasilanie pojazdu z szyny wbudowanej w ziemię, co wykorzystano zwłaszcza na ulicach historycznego centrum miasta, aby nie zakłócać architektury górną siecią zasilającą.**

Pierwsza faza budowy sieci tramwajowej, oddana do użytku w grudniu 2003 r., o długości 25 km, będzie wyposażona w system zasilania o nazwie Inno rail na długości 10,5 km. Będzie to odcinek przebiegający ulicami centrum miasta, przez historyczny most kamienny nad rzeką Garonne i dalej do dzielnicy Talence na linii B. Wykonano też dwa 500-metrowe odcinki zasilania systemu Inno rail w dzielnicach Lormont i Cenon.

W drugiej fazie przewiduje się zbudowanie 18,7 km linii, z czego ok. 5 km będzie wyposażone w Inno rail. Te proporcje mogą się jeszcze zmienić, w zależności od tego, czy Zarząd Miasta Bordeaux - Communauté Urbaine de Bordeaux (CUB) będzie zadowolony z nowej inwestycji.

## Sieć tramwajowa w Bordeaux

Bordeaux planowało początkowo zbudowanie automatycznego metra VAL, ale pomysł ten zarzucono i zbudowano sieć tramwajową, jako bardziej uniwersalną. Umowa na wybudowanie sieci tramwajowej w fazie I została podpisana przez CUB z konsorcjum pod przewodnictwem Alstoma w czerwcu 2000 r. Do konsorcjum weszły ponadto Spie Enertrans i Cogifer. Roboty inżynierskie zostały powierzone konsorcjum GET, złożonym z firm: Systra, Thales i Ingerop. Sieć tramwajowa będzie eksploatowana i utrzymywana przez firmę Connex, z wyjątkiem systemu Inno rail, który będzie utrzymywany przez Alstoma. Umowę na to zadanie podpisano na 10 lat.

Ogólny koszt całego projektu wyniesie 1032 mln euro, z czego na fazę I przypadnie 630 mln euro; obejmuje to także zakup taboru. Faza II ma kosztować dalsze 560 mln euro. CUB ma po-

kryć 60% kosztów tej inwestycji, w większości z funduszy zgromadzonych na zaniechany projekt metra VAL. Pozostała część zostanie sfinansowana z dotacji i pożyczek.

Po zakończeniu całej budowy linia A będzie miała 19,9 km i łączyła przedmieście Mérignac na zachodzie z Lormont i Cenon na wschodzie. W środkowej części będzie przebiegała przez centrum miasta i most na rzece Garonne. Linia B będzie miała 15,4 km i biegła z północnego wschodu na południowy zachód, wzdłuż lewego brzegu Garonne, przez centrum miasta i dalej przez teren uniwersytetu w Talence do przedmieścia Pessac. Linia C będzie prowadziła z Place Ravezies na północnych granicach miasta prawie linią prostą przez 8 km do bulwaru JJ Bosc na krańcach południowych.

W fazie I zbudowane zostanie 12,4 km linii A, 9,3 km linii B i tylko 2,8 km linii C.

Wszystkie trzy linie będą krzyżowały się w centrum miasta. Na pięciu przystankach będą możliwe przesiadki na pociągi SNCF, a na trzech na autobusy. Przy 14 przystankach zbudowano parkingi samochodowe dla zachęcenia przyjeżdżających do miasta do pozostawienia swoich samochodów i przesiadki na tramwaj. Dla pasażerów tramwajów parking będzie bezpłatny. CUB spodziewa się, że 25% przyjeżdżających samochodami przesiądzie się na tramwaje.

Tramwaje będą kursowały w godzinach szczytu co 4 min, a poza szczytem co 8 min. Ruch będzie się odbywał od godz. 5.00 rano do 1.00 w nocy, zatem przerwa na konserwację sieci i taboru będzie trwała tylko 4 godz.

Linie A i B mają przewozić do 4,5 tys. pasażerów/godzinę/kierunek, a linia C – 3,5 tys. pasażerów/godzinę/kierunek. Aby przewieźć tylu pasażerów tramwaje będą musiały kursować co 4 min, a prędkość handlowa ma wynosić 20 km/h, licząc między



Citadis 402

Fot. Alstom.



Nowo budowana sieć linii tramwajowych w Bordeaux (odcinki wyposażone w system Inno rail są zaznaczone kolorem brązowym) [1]



Citadis na Ponte de Pierre

Fot. Alstom

końcowymi przystankami. Zajeżdźnia dla tramwajów, warsztaty naprawcze i centrum sterowania ruchem (PCC) będą zbudowane w La Bastide, na prawym brzegu Garonny. Zajeżdźnia będzie połączona z linią A odgałęzieniem z przystanku Thiers-Benaugue.

Linia A w fazie I została uruchomiona w grudniu 2003 r., a linie B i C w 2004 r. Prace przy fazie II mają być rozpoczęte w 2005 r. i zakończone na początku 2007 r.

Jedna z linii ma też być poprowadzona przez most zwodzony, który jest otwierany dla statków. Zainstalowana tam sieć trakcyjna będzie działała podobnie jak drzwi odskokowo-przesuwne. Będzie także skrzyżowanie w poziomie linii tramwajowej z linią kolejową, towarową.

## Tabor

Alstom dostarczy 70 niskopodłogowych tramwajów Citadis, z których 44 potrzebnych będzie już w I fazie. Na liniach A i B będą kursowały pojemniejsze tramwaje niż na linii C. Będą to tramwaje Citadis 402, długości 44 m, mogące zabrać do 300 pasażerów, przy wypełnieniu 4 osoby/m<sup>2</sup>, a w tym 90 na miejscach do siedzenia – tramwajów tych będzie 56. Na linii C natomiast będzie kursowało 14 pojazdów Citadis 302, długości 33 m, które będą zabierały do 218 pasażerów (przy wypełnieniu 4 osoby/ m<sup>2</sup>), w tym 48 na miejscach do siedzenia.

Podobnie jak inne tramwaje rodziny Citadis, tramwaje dla Bordeaux będą miały napęd poprzez falowniki typu ONIX i sterowanie za pomocą urządzeń AGATE. Zastosowane zostaną wózki silnikowe typu Aprège 350 o prędkości do 60 km/h.

Tramwaje będą wyposażone w pełną klimatyzację, diagnostykę pokładową opartą na komputerze oraz kamery TV przekazujące motorniczemu obrazy wybranych części wnętrza pojazdu. Pudła wagonów będą zbudowane ze stalowej ramy, do której zostaną dołączone panele z wytłaczanego aluminium. Końce wagonów będą miały urządzenia przeciw wspinaniu się wagonu na wagon i pochłaniacze energii zderzeń, zdolne pochłonąć energię dojazdu jednego pojazdu do drugiego z prędkością do 3 km/h. Wózki będą miały smarowanie obrzeży kół dla zminimalizowania zużycia i zmniejszenia hałasu. Hamulce będą elektrodynamiczne odzyskowe, uzupełnione hamulcami szynowymi, uruchamianymi w przypadku hamowania nagłego, oraz hamulcami ciernymi, tarczowymi do zatrzymywania pojazdu.



Citadis w centrum miasta na Place Pey Berland

Fot. Alstom

## Infrastruktura

Zależnie od odległości toru od budynków stosowane są trzy różne metody konstrukcji toru. W odległości większej niż 12 m układa się standardowy lekki tor, posadowiony na betonowym podłożu; w odległości 7–12 m stosowane jest ułożenie szyn na elastycznym podłożu, co zmniejsza hałas o 10 dB w stosunku do toru standardowego, natomiast gdy tor znajduje się w odległości

mniejszej niż 7 m stosowane jest elastyczne podłoże na pływającej płytce, co zmniejsza hałas o kolejne 10 dB.

Nawierzchnia toru standardowego składa się z szyn GPU 35 przytwierdzonych do podkładów betonowych i osadzonych na wzmocnionym betonowym podłożu. Pozostała przestrzeń między podłożem a powierzchnią szyn jest wypełniana asfaltem lub też w zależności od wymagań architektonicznych i komunikacyjnych zostanie obsiana na wierzchu trawą lub nawet pokryta elastycznym dywanem. Jedynie tory w pobliżu warsztatów naprawczych zostaną zbudowane na podsypce tłuczniowej, której grubość wyniesie 20 cm. Minimalny promień łuku toru na ulicach starego miasta ustalono na 18 m, natomiast największe pochylenie wyniesie 55% i wystąpi na odcinku Côte des Quatre Pavillons, gdzie linia wspina się z mostu na rzecze w kierunku śródmieścia. Dla złagodzenia tego podjazdu zostaną zbudowane trzy krótkie wiadukty o łącznej długości 640 m. Będą one miały fundamenty palowe, na których osadzona zostanie ława torowiska o szerokości 6,5 m i chodnik dla pieszych. Tory na wszystkich odcinkach będą ułożone bez przechyłki, a przechyłkę planuje się jedynie na tych trzech wiaduktach, gdzie wynosić ona będzie 12,5 mm.

Przed łukami będą zastosowane urządzenia do smarowania obrzeży kół dla zminimalizowania hałasu. Wynika to z postawienia bardzo ostrych wymagań w zakresie dopuszczalnych emisji hałasu i drgań powodowanych przez tramwaje. Wymagania te są ostrzejsze niż przewiduje francuska norma, gdyż zażądano obniżenia hałasu do 74 dB, wobec 78 dB dopuszczanych przez normę. Dla ograniczenia hałasu wózki wagonów mają osłony, a koła wagonów są wyposażone we wkładki izolacyjne wbudowane między obręczą a tarczą koła, które tłumią hałas i drgania.



Torowisko wyłożone murawą w alei Thier

Fot. Alstom

## Centrum sterowania ruchem

Wszystkie trzy linie tramwajowe będą sterowane z centrum PCC przy zastosowaniu własnych linii łączności. Będą to wieloczynnościowe linie światłowodowe typu ATM, zainstalowane wzdłuż każdej z tras. Dzięki nim możliwa będzie łączność głosowa oraz przesyłanie danych i obrazów wideo między centrum PCC a poszczególnymi przystankami. Jeśli chodzi o łączność głosową i przesyłanie danych między tramwajami lub tramwajami a innymi pojazdami, to przewiduje się korzystanie z sieci prywatnego radia cyfrowego TETRA.

Centrum PCC za pomocą środków łączności będzie mogło wprowadzać do ruchu pojazdy wraz z ich obsługą, nadzorować na ekranie poruszanie się wszystkich tramwajów po mieście i regulować ich ruch. Będzie mogło także poprzez kamery wideo nadzorować zapewnienie przystanków pasażerami. PCC będzie sprawowało także nadzór nad informacją pasażerską, wyświetlając komunikaty na panelach świetlnych, zainstalowanych na przystankach, a także informować przez głośniki zarówno na przystankach, jak i w tramwajach. PCC będzie nadzorowało także zasilanie sieci w energię elektryczną. Zbierane elektronicznie dane będą stanowiły zarówno dokumentację eksploatacyjną, jak i materiał dowodowy w przypadku ewentualnych zdarzeń i wypadków.

85% sieci będzie wyposażona w system dla zapewnienia pierwszeństwa przejazdu dla tramwajów na skrzyżowaniach, poprzez wbudowanie układu reagującego na sygnał dawany przez zbliżający się pojazd. W czasie zbliżania się tramwaju do skrzyżowania wysyłany będzie sygnał przez radio zmieniający światło na sygnalizatorze na zezwalające dla tramwaju. Opłaty za przejazd będą ujednocnione z opłatami w autobusach. Stosowane będą te same bilety w obu środkach lokomocji i można będzie na ten sam bilet przebyć część trasy tramwajem, a pozostałą autobu-



Ułożenie szyn w jezdni

Źr. [1]

sem, lub odwrotnie. Dostawcą automatów do sprzedaży biletów, kart zbliżeniowych i urządzeń do ładowania biletów została wybrana w połowie 2001 r. firma Schlumberger/ERG. Automaty biletowe będą zainstalowane na wszystkich przystankach, a kasowniki w pojazdach. Wymieniona firma dostarczy także urządzenia do przekazywania do PCC przez radio danych o liczbie sprzedanych i skasowanych biletów. Bilety zbliżeniowe mają być zastosowane w autobusach jeszcze w tym roku, a po uruchomieniu sieci tramwajowej, rozszerzone na tramwaje. Wprowadzenie nowoczesnego systemu biletowego podniesie koszt projektu Misson tramway o dalsze 17 mln euro.

## Zasada działania systemu Innorail

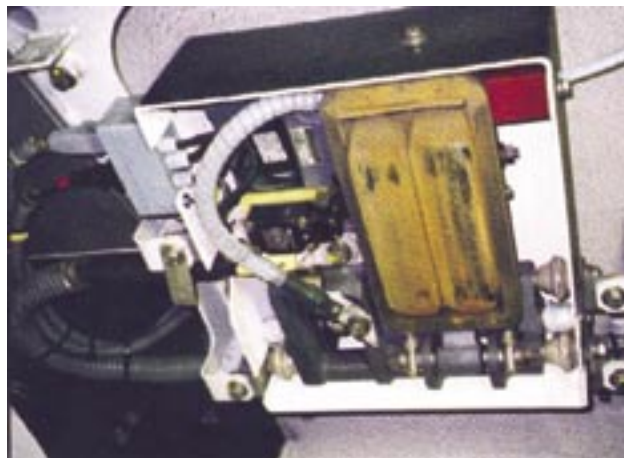
Zainstalowanie konwencjonalnej szyny zasilającej, wbudowanej w ziemię na ulicach miasta byłoby oczywiście bardzo niebezpieczne, jednak system Innorail rozwiązuje ten problem poprzez zasilanie tylko krótkiego odcinka szyny znajdującej się pod znajdującym się nad nim pojazdem. Załączanie napięcia następuje po otrzymaniu przez obwód indukcyjny układu sterującego sygnału od anteny wbudowanej w rejonie środka pojazdu, w pobliżu klocków ślizgowych odbierających prąd.

Szyna zasilająca zbudowana jest z włókna szklanego, a zatem z materiału nie przewodzącego prądu i jest w kształcie litery „I”. Na jej powierzchni są umocowane dwie metaliczne nakładki połączone z kablem zasilającym o napięciu 750 V dc. W środkowej części szyny, która ma 17 cm wysokości, poprowadzone są cztery kanały, w których ułożone są przewody. Poza miedzianym przewodem zasilającym znajduje się tam zerowy przewód powrotny, przewody do celów łączności i zasilania urządzeń pomocniczych. Odcinki pod napięciem mają po 8 m długości i są poprzedzielane odcinkami izolacyjnymi długości 3 m. Odcinki izolacyjne mają nakładki wykonane z plastiku takiej samej wysokości, jak nakładki na odcinkach zasilających, tak więc utworzony jest jeden ciąg dla klocków ślizgowych. Czujniki sterujące załączaniem i wyłączaniem napięcia z odcinków, kiedy pojazd zbliży się do nich i następnie je opuszcza, rozmieszczone są co 22 m.

Zmiana zasilania z górnej sieci trakcyjnej na dolną szynę, i odwrotnie, odbywa się przez motorniczego w czasie postoju pojazdu na przystanku. Zdecydowano się na taki sposób zmiany zasilania ze względu na jego prostotę. Jednak system Innorail może być także dostosowany do zmiany zasilania w czasie jazdy. Maksymalna prędkość, przy jakiej system Innorail może działać, wynosi 70 km/h.

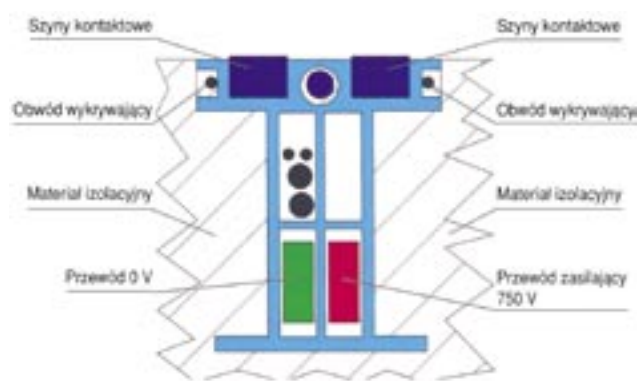
Klockowe odbieraki prądu mają nakładki grafitowe i naciskają na szynę zasilającą z siłą 100 N. Odbieraki dolne są unoszone, gdy włączany jest górny pantograf. Na wypadek uszkodzenia systemu Innorail, pojazd wyposażony jest w baterię 11 akumulatorów znajdującą się na jego dachu, dzięki którym można przejechać z małą prędkością na odległość do 1 km. Zasilanie – zarówno z sieci dolnej, jak i górnej – odbywa się napięciem 750 V dc.

Próby zbudowania systemu zasilania pojazdu z szyny znajdującej się pod pojazdem były w przeszłości podejmowane już wielokrotnie. W latach 1900–1910 stosowano system z klockami



System odbieraka prądu na podwoziu wagonu

Źr. [1]



Przekrój szyny zasilającej

Źr. [1]

ślizgowymi zbliżonymi do obecnej konstrukcji. W 1994 r. Ansaldo rozpoczął badania nad systemem Stream przypominającym wczesne systemy rowkowe. Wzdłuż osi jazdy są rozciągnięte 3-metrowe segmenty, w których znajduje się giętka taśma metalowa będąca linią styku. Pojazd zbudowany na bazie trolejbusu, jest wyposażony w umieszczony w podwoziu odbierak. Pole magnetyczne indukowane z pojazdu podciąga w kierunku odbieraka giętką, przewodzącą taśmę metaliczną, która po przejechaniu pojazdu opada grawitacyjnie na poprzednie miejsce. Podczas badań prowadzonych przez Ansaldo eksperymentalna linia kontaktowa została położona w Trieście zimą 1998–1999. Rozwiązanie to opisano w *tts* 9/2001

□

Opracowali

Marek Rabsztyń i Michał Dembowski na podstawie:

- [1] Briginshaw D.: *Wireless light rail comes to Bordeaux*. International Railway Journal 7/2003.
- [2] *Metro report*. 2002
- [3] *Les tramways se mettent un fil à las patte*. La Vie du rail. 14.06.2002.