

Rozwój nisko- i średnio- podłogowych pojazdów tramwajowych

W artykule opublikowanym w Stadtverkehr nr 1/2001, autor – wybitny specjalista w dziedzinie taboru miejskiego – omawia tendencje rozwojowe w konstrukcji tramwajów i pojazdów dla kolejek miejskich. Pierwsza część artykułu ukazała się w tts 6/2001.

Niniejsza część artykułu poświęcona jest pojazdom tzw. 100% niskopodłogowym. Z ogólnej liczby 3154 pojazdów nisko- i średniopodłogowych (3108+46) do kategorii tej należy 1749 pojazdów, czyli 55%.

GTN

Berliński tramwaj dwukierunkowy typu GT6N, po dostawie oznaczony symbolem GTN 98, wyróżnia się dobrymi własnościami trakcyjnymi. Ma także dobre własności dynamiczne podczas jazdy po łuku.

Po kilku latach eksploatacji okazało się, że praca napędów tych pojazdów jest stosunkowo głośnie, przy jednocześnie cichej pracy układu sterowania IGBT.

W zajezdni Lichterfelde wprowadzono codzienne pomiary nierówności kół wagonów i profilaktyczne ich przetoczenia.



Rys. 1. GT6N typ 98, BVG Berlin. Pierwszy GT6N w wykonaniu ZR



Rys. 2. GT8N2, VAG, Norymberga



Rys. 3. GT8N2, VAG, wnętrze

W pojazdach w Bremie zarówno praca układów energetycznych, jak i napędów jest głośnie, w przeciwieństwie do pojazdów w Zwickau, gdzie hałas emitowany przez pojazdy jest umiarkowany. Czy głośność pojazdów berlińskich i bremeńskich to skutek stałej eksploatacji przy pełnym obciążeniu?

Norymberskie pojazdy GT8N2 (rys. 2, 3) mają bardzo dobre własności trakcyjne, dobrze zachowują się na łukach – dzięki amortyzatorom hydraulicznym (rys. 7) pokonują je bez szarpnięć. Tramwaj przestronną kabinę motorniczego (rys. 5). Pojazdy te, podobnie jak w Monachium, poddawane są bardzo intensywnej eksploatacji z dużymi wartościami opóźnień przy hamowaniu. Mimo podwójnych ścian harmonii przegubów (rys. 6), w pojazdach tych jest „głośno” we wnętrzu. Trudno sobie wyobrazić, że w pojazdach, gdzie silnik mocowany jest wprost do nadwozia – co jest rozwiązaniem bardzo dobrym – tak trudno zredukować hałas. Można postawić pytanie, czy przy umieszczeniu silników napędowych w środkowej części wozu, gdzie źródło hałasu toczących się kół jest odległe od przegubów, podwójne ściany harmonii mają negatywny wpływ na poziom hałasu we wnętrzu pojazdu? W pojazdach, gdzie harmonie przegubów znajdują się w pobliżu kół, hałas jest znacznie mniejszy.

Po zamówieniu przez INVG Jena 14 pojazdów ZR oraz jednego pojazdu GT4N w wersji 1047 mm dla Okayama, Japonia, liczba zamówionych pojazdów typu GTN wzrosła do 459. Pojazd GTN4K może być również budowany w wersji

z wydłużonym przodem, jak Incentro. Obecnie prowadzi się badania i może do Norrköping zostanie wysłany z Monachium trzeci prototyp z osprzętem AEG.

Vario

W Chemnitz kursuje 18 pojazdów ER oraz 5ZR, a ich dyspozycyjność jest zadowalająca. Dalszych 6 pojazdów ZR zamówiono dla kolei regionalnej w Stollberg, gdzie będą pracować przy napięciu sieci trakcyjnej 750 V. Zgodnie z przepisami EBO zostaną one wyposażone w system zabezpieczenia ruchu Indusi.

W Helsinkach, gdzie eksploatowane są pojazdy typu Vario, planowane są dalsze ich zakupy.

Eurotram

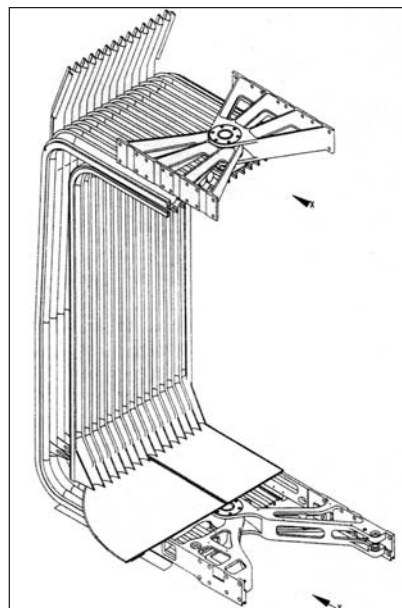
Po 5 latach intensywnej eksploatacji najstarsze pojazdy Eurotram eksploatowane w Strasburgu są w dobrym stanie technicznym. Utrzymywana jest maksymalna prędkość 50 km/h. Poziom hałasu napędów się nie zwiększył, a wewnątrz pojazdu – dzięki podwójnym ściankom harmonii – jest on relatywnie niski. Z klimatyzacją kabiny motorniczego poradzono sobie pokrywając szklane powierzchnie folią. Problemy stwarzają drzwi, które często ulegają uszkodzeniom. „Obwarzanki” na platformach członów przeszkadzają w godzinach szczytu, a słabą stroną projektu jest też brak uchwytów i poręczy. Jednak żaden tramwaj na świecie nie jest tak hołubiony! Goście ze wszystkich zakątków świata, odwiedzający Strasburg, zachwycają się jego pięknymi tram-



Rys. 4. GT6N, Berlin, wykonanie ZR



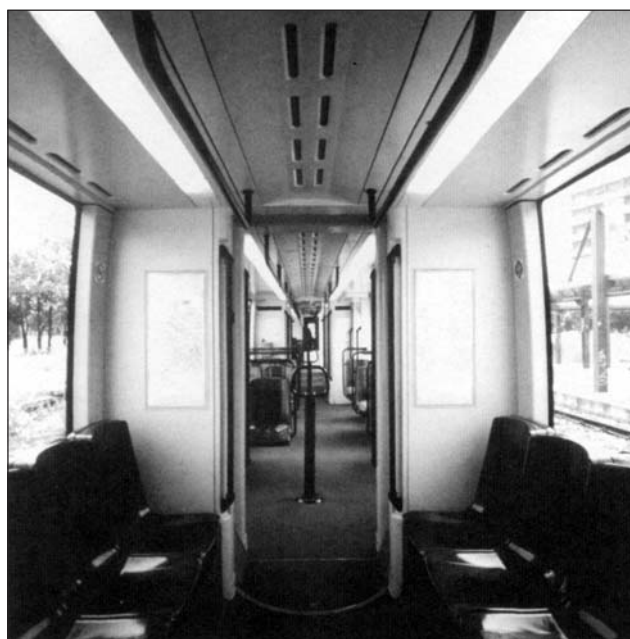
Rys. 5. GT8N2, VAG. Kabina motorniczego



Rys. 6. GT8N2. Harmonia przegubu typu Huebner o podwójnej ściance



Rys. 7. GT8N2. Hydraulika Liebherr amortyzująca przechyły na łukach



Rys. 8. Eurotram. Wnętrze o charakterystycznych cechach wzorniczych



Rys. 9. Eurotram. Pomost wysuwający się przy wsiadaniu i wysiadaniu



Rys. 10. Eurotram. Mediolan



Rys. 11. Eurotram. Widok tyłu pojazdu

wajami. Trwają obecnie prace nad wydłużeniem linii miejskich. Wysokie obecnie koszty utrzymania taboru nie pozwalają myśleć o zakupie nowego. Nie będzie więc łatwo zachować ten utrwalony w odbiorze społecznym obraz popularnych i pięknych pojazdów. Wątpliwość budzi także, czy krzywizny łuków strasburskich linii będą odpowiadać nowym pojazdom innych typów.

Kolejnych 6 pojazdów zamówił Mediolan. Dotychczas dostarczono dopiero jeden pojazd. Kształt przodu pojazdu uległ małej zmianie (rys. 10), a tył został poddany rekonstrukcji (rys. 11). We wnętrzu można zauważyć to samo wzornictwo, co w pojazdach strasburskich. Ponieważ w systemie komunikacyjnym Mediolanu nie ma peronów (wysepek), przewidziano wysuwaną rampę (rys. 9).

Cobra

Pierwszy pojazd typu Cobra-tram (rys. 15) Adtranz dostarczył w 2000 r., a pozostałe 5 pojazdów, zamówionych 3 października 1996 r., dostarczył jesienią 2001 r. Zostaną one wyprodukowane całkowicie w Pratteln. Po 12-miesięcznym okresie próbnym, w latach 2004–2005 nastąpi dostawa 7–17 pojazdów, a od 2005 r. dalszych 58 pojazdów, co potrwa do 2010 r. Pojazdy te mają zastąpić 4-osiove pojazdy Be 4/4 1416-1430 (1959/1960 r.) oraz zestawy przegubowe Be 4/6 1601-90, jak również



Rys. 12. ATM Mediolan. Ponad 70 lat rozwoju tramwaju. Od lewej do prawej: przegubowy tramwaj 8-osiowy (1973), Eurotram 2000, Peter Witt Car (1928)



Rys. 13. Konstrukcja hybrydowa produkcji Alusuisse, zastosowana w zakładach Cobra – człon przedni

1691-1726 (z lat 1966–1969) z 30 wagonami doczepnymi z lat 60. Jeśli wszystko będzie przebiegać planowo, i do 2010 r. pojazdy te będą mogły być produkowane w Szwajcarii, to do dyspozycji może być 75 pojazdów Cobra oraz 136 Tram 2000 Be 4/6 2001-2121, jak również B 4/6 2301-15 i napędzane 4-osiowe człony doczepne 2401-2435, ewentualnie nieznaną jeszcze liczbą Be 4/6 dla pojazdów niskopodłogowych.

Nadwozie produkowane przez Alusuisse to konstrukcja hybrydowa (rys. 13, 16). W jej skład wchodzi spawana płyta podstawy, przykręcone do niej profile ścian bocznych tłoczono metodą alugrip, dach warstwowy wykonany z Airex-alu oraz przód pojazdu wykonany z Airex-Gfk-Nase. Pojazd jest 5-członowy, przy czym dwa człony skrajne i człon środkowy spoczywają na wózkach napędowych, a między nimi zawieszono dwa człony „lektyki”; ma 7 dobrze rozmieszczonych drzwi (255 mm szerokości/1m długości pojazdu). Wózki jezdne są dwuosiove (rys. 14) i pochodzą z dawnego SIG, lecz mają napędy po obu stronach.

Ponieważ SIG sprzedał swoje 40% udziałów w Fiat-SIG Pojazdy Szynowe firmie Alstom Fiat Industrie Ferroviarie, z dniem 31 grudnia 2000 r. zniknął z wykazu firm.

Podwozia pojazdów sterowane są przez przeguby, co ma zapewnić ich cichą jazdę bez pisków na łukach torów. Wózek środkowy ma napęd tylko po stronie przeciwległej do drzwi. Odstęp między osiami wózków wynosi 3,25 m.

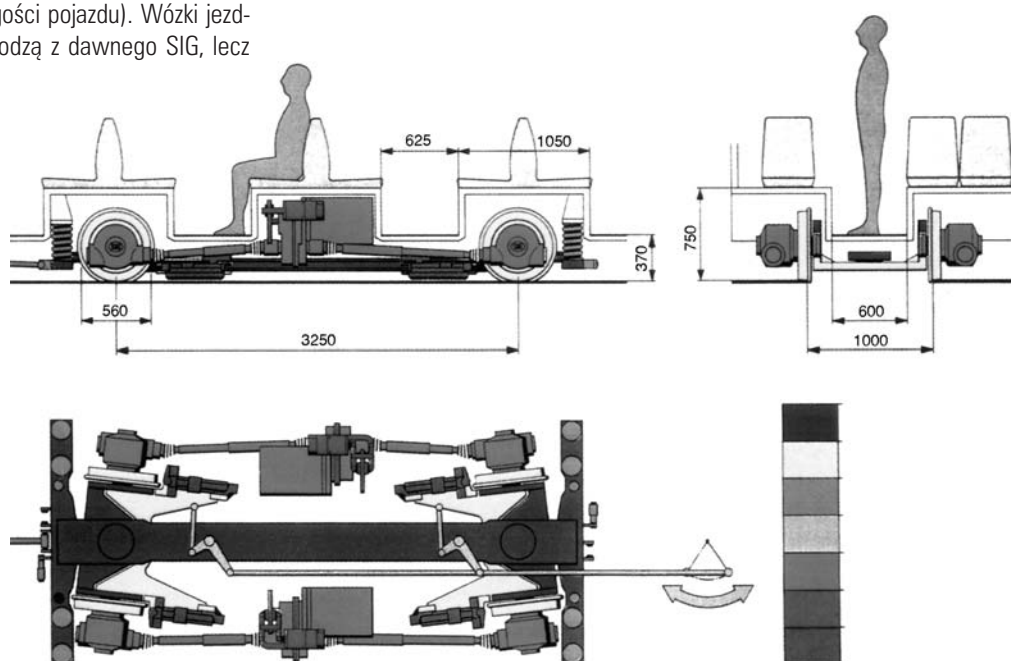
Cityrunner

Pojazd z Grazu (rys. 25) rozpoczyna właśnie pierwsze jazdy. Na targach InnoTrans wystawiono pierwszy model, który

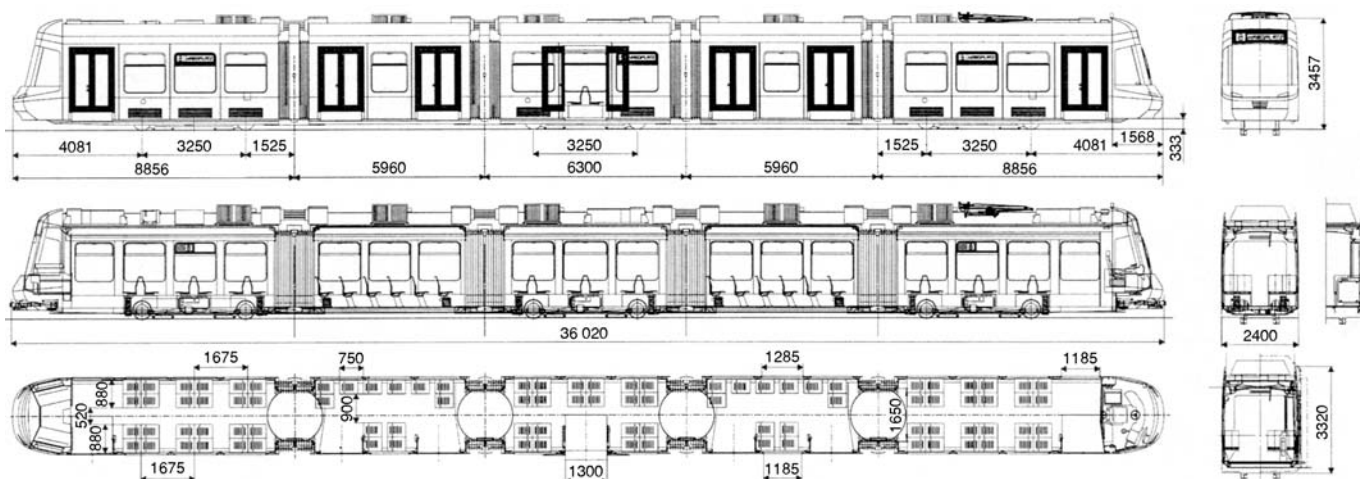
Bombardier ma wysłać do Łodzi (rys. 18). Jest to skrócona o dwa człony wersja modelu z Linzu o długości 29,5 m i metrowym rozstawie kół. Dostawa do Łodzi wyniesie 15 pojazdów. Jeden ma być dostarczony jako kompletny, pozostałe zaś w stanie surowym, a wózki podwoziowe osobno. Montaż finalny odbywałby się w Łodzi.

NF-10

Pierwszy NF-10 dla Reńskiego Towarzystwa Kolejowego w Düsseldorfie został szczegółowo przetestowany w Wildenrath i 27 lipca 2000 r. przedstawiony prasie. W międzyczasie wpłynęło zamówienie na 36 pojazdów. Pojazd zaprojektowany z udziałem Biura prof. Staubacha z Berlina ma bardzo estetyczny wygląd (rys. 26). Dominują tu, wewnątrz i zewnątrz, zdecydowane linie proste. Królewska kabina motor-



Rys. 14. Schemat podwozia pojazdu Cobra, sprzężone wzdłużnie osie kół swobodnych sterowane promieniowo przez przegub



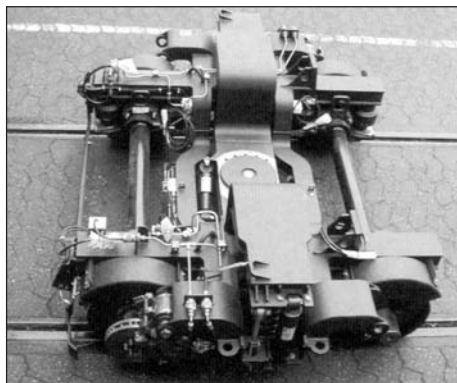
Rys. 15. Cobra, szkice wymiarowe



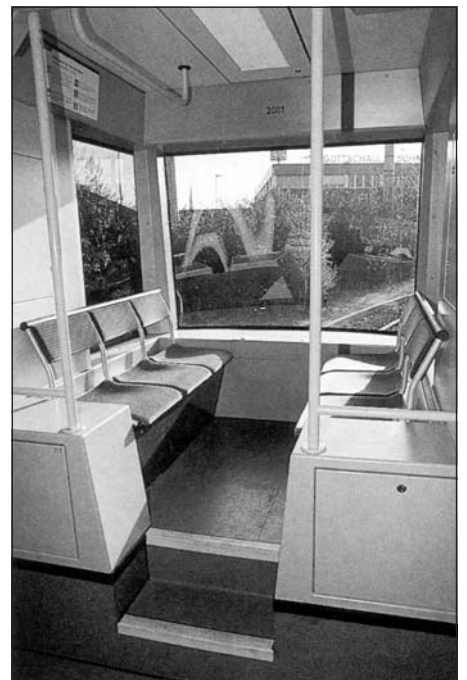
Rys. 16. Cobra – ostatni człon od strony „lektyki”; konstrukcja skręcana śrubami – Alugrip, zmontowany dach warstwowy; na pierwszym planie pierścień nośny „lektyki”, pod obudowami napędy



Rys. 19. NF-10 – kabina motorniczego



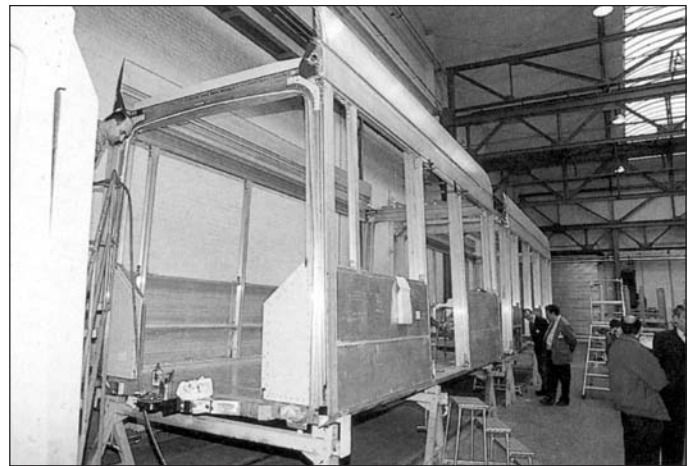
Rys. 17. NF-10. Ostatni wózek o małych kołach, główne resory łożysk wzdłużnego prowadzenia osi, resory sprężynowe, dwa amortyzatory pionowe i jeden poziomy, obrotnica pierścieniowa, dwie prowadnice wzdłużne między belką bujawkową a ramą



Rys. 20. NF-20 – tylna grupa siedzeń na poziomie kabiny motorniczego



Rys. 18. Model Bombardier-BWS-City Runner, skrócony typ Lipski dla Łodzi



Rys. 21. Moduł nadwozia dla NF-10 o ukośnych ścianach bocznych (z przodu) i Combino o ścianach prostych (z tyłu)

niczego (rys. 19) ma niestety ograniczoną widoczność do przodu. Równie piękna jest platforma do wsiadania. „Felzino” jest zmniejszoną wersją Combino. Zastosowano tu wiele nowatorskich rozwiązań i wprowadzono nowoczesną technikę, także w szczegółach, co można stwierdzić jadąc koleją reńską (w najbliższym czasie dokładniej opiszemy ten pojazd). Wszystkie człony zmieniono pochylając ściany boczne (rys. 21). Oba wózki wyposażono w silniki Siemens z urządzeniami energoelektronicznymi IGBT firmy Kiepe.

Aparatura Kiepe nadaje się szczególnie do standardowych pojazdów Combino z uwagi na małe rozmiary. Dotyczy to pokładowych falowników trakcyjnych oraz dwóch akumulatorów.

Elektroniczny sygnał dźwiękowy ma niski ton. Wózki skrajne (rys. 17) zostały skonstruowane specjalnie dla tych pojazdów, przy czym wykorzystano tu doświadczenia z Lip-



Rys. 22. NF-10. Elegancka grupa siedzeń nad napędami

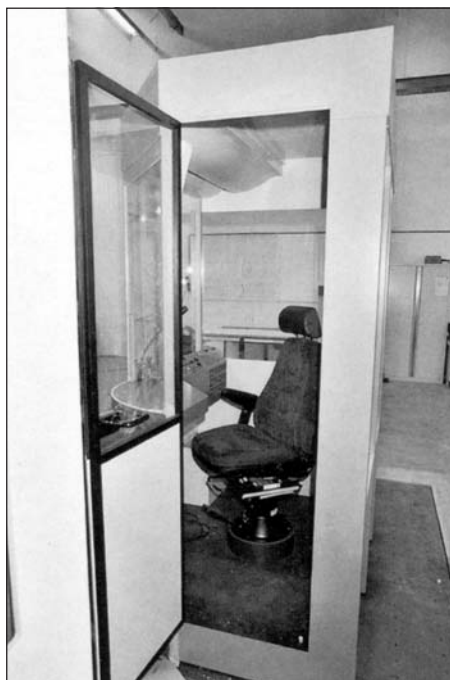
ska. Koła przezornie osłonięte przed zanieczyszczeniem mają średnicę 430 mm, a odstęp między osiami wynosi 1100 mm. Każde koło będzie wyposażone w hamulec tarczowy. Grupy siedzeń na obudowach wózków rozmieszczono funkcjonalnie (rys. 22). Do części wysokopodłogowej, z 10 siedzeniami umieszczonymi na obudowach wózków o małych kołach, prowadzą dwa stopnie (rys. 20). Przeprowadzone w Düsseldorfie jazdy próbne na różnych torowiskach wykazały, że pojazd swobodnie wchodzi w łuki, ma dobre własności trakcyjne i jest stosunkowo cichy. Zamówienie na 86 pojazdów poprzedziły negocjacje cenowe. Dotychczas wykonano 36 szt., a planowane jest wykonanie dalszych 15 pojazdów NF. Podczas negocjacji cenowych dostawcy są przeczorni, gdyż wiedzą, że zamówienie często wiąże się z trudnościami finansowymi, a nawet ze zmianą polityki komunalnej i zamówione ilości nie zawsze są do zrealizowania. Chodzi tu o zamówienie z Lipska na 120 szt., które skończyło się na 56, z Halle na 120 szt. – na 60, z Magdeburga na 125 szt. – na 53, kolei reńskiej na 138 pojazdów NF8 – na 48. Natomiast WVB z Wiednia dąży usilnie do zrealizowania zamówienia na 150 pojazdów ULF, a Amsterdam na realizację 95 + 60 pojazdów.

ULF

Ilostan pojazdów ULF w Wiedniu typu A wynosi 49 szt., a typu B – 75 szt. Zatem do zamówionych 150 sztuk brakuje jeszcze 26 pojazdów. Dyrektor Lehotsky wydaje się być zadowolony z transakcji. Czynnikiem energicznym staraniem u wykonawcy, aby pojazdy miały odpowiednio niski poziom emisji hałasu, określony w zamówieniu, a zgodny z normami. Dostęp do urządzeń elektrycznych (Elin) jest łatwy. Należałoby przeprowadzić dokładną analizę porównawczą kosztów



Rys. 23. Combino. Amsterdam. Duvedec, Veldhoven zbudował makietę kabiny motorniczego na zlecenie Siemens



Rys. 24. Combino. Amsterdam. Makietę klimatyzowanej kabiny motorniczego

LCC pojazdów kolejowych E2+C5 w stosunku do pojazdów ULF. Wyniki wskazują wyraźnie, że lepiej wypadają tu pojazdy ULF, co jest dziwne zważywszy techniczną prostotę kombinacji E2+C5.

Podczas eksploatacji w okresie zimowym pojazdy ULF nie wykazywały żadnych usterek. Brak stopni wejściowych jest sporym udogodnieniem. Przednia część pojazdu jest bardziej narażona na karambole.

Pojazdy systemowe

Pojazdy systemowe to pojazdy o specjalnej konstrukcji, będącej wynikiem międzyproducentckiej standaryzacji. Główne komponenty, takie jak nadwozia, wózki, osprzęt elektryczny pochodzą z zakładów własnych. Czyni się starania aby osiągnąć również standaryzację ważniejszych podzespołów. W ten sposób eliminuje się problemy handlowe i administracyjne, które mogą występować u użytkowników. Ideą jest produkcja pojazdów po korzystnych cenach, standaryzacja zaś pozwala osiągnąć niskie koszty eksploatacji. Produkcja większych serii pojazdów pozwala też wykorzystywać doświadczenie produkcyjne.

Dostosowanie pojazdu do poszczególnych systemów komunikacyjnych polega na dobraniu odpowiedniej jego długości i kształtu przodu. Koncepcjom tym najbardziej sprze-

ciwiają się zakłady komunikacyjne, które z uporem dążą do posiadania własnego, wyróżniającego się typu pojazdu. Jeśli wśród producentów nie zapanuje żelazna dyscyplina, to sprawa będzie przegrana i wkrótce będziemy mieli wiele odmian pojazdów uznanych za niezbędne w danym systemie. Dawniej nie było tylu odmian pojazdów. Chodzi tu o Variobahn i Eurotram, pojazdy ABB i wagony kolei miejskiej Siemens dla Sheffield. Koncentrowano się wówczas na tych typach pojazdów. Obecnie jednak u niektórych fachowców tej branży panuje przekonanie, że biorąc część mechaniczną od jednego wykonawcy, a część elektryczną od innego, można wyprodukować pojazd, który będzie lepiej odpowiadał wymaganiom komunikacyjnym, choć niekoniecznie musi być droższy. Wydziały elektryczne niektórych dużych zakładów traktowane są jako oddzielne jednostki, także finansowe.

Dla większości pojazdów systemowych, takich jak: Citadis, Cityway, Combino, Incentro, czy Sirio wybrano model wieloprzegubowy. Jego zalety to znaczna długość, przy stosunkowo małej liczbie kół. Wózki i podwozia są drogie, znacznie droższe od przegubów. Pojazd o długości 30 m przeważnie ma 3 dwuosiowe człony, połączone za pomocą przegubów z dwoma „lektykami”. Zachowanie się pojazdu na łukach można porównać raczej do starego tramwaju 2-osioowego, niż do obecnego nowoczesnego pojazdu z wózkami obrotowymi. Na łukach niewykluczone jest uderzenie o szyny i szarpnięcia, zależnie od tego, w jakim stopniu ruchome są względem siebie poszczególne elementy, napędy, koła swobodne oraz prowadzenie nadwozia; jak również od zastosowania amortyzatorów. Pojazd taki jest idealnym „pomieszczeniem dla pasażera”, bowiem nie ma żadnych podestów i ma szerokie przeguby.

Combino

Decyzja o produkcji Combino zapadła w 1994 r., a w lipcu 1996 r. prototyp wyruszył na trasy w Düsseldorfie, Poczdamie* 2-krotnie, Wiedniu, Barcelonie, Alicante, La Coruni, Bazylei* 2-krotnie, Erfurcie*, Augsburgu*, Fryburgu*, Zurychu, Bernie* 2-krotnie, Mannheim, Heidelbergu, Amsterdamie*, Rotterdamie i Genewie (w miastach oznaczonych * został zakupiony).

Do dziś wpłynęły zamówienia na 95 szt. pojazdów Combino Mk-1 [4, 5] (*tts* 6/2001, tabl. 8, s. 31). Z wyjątkiem



Rys. 25. GVB Graz. Pierwszy City Runner z zakładów Bombardier BWS wyposażony w napędy z silników Skoda na piasty kół oraz falowniki IGBT Kiepe



Rys. 26. NF-10 kolei reńskiej. Wyrób Duewag/Kiepe z Lierenfeld



Rys. 27. SLTC Lyon. Jeden z pierwszych pojazdów Citadis 302 z całkowicie osłoniętym podwoziem na dziedzińcu fabrycznym

Bazylei wszyscy zamawiający otrzymali już Combino, razem 54 szt. W Poczdamie pierwsze 4 pojazdy przejechały już po 140 tys. km.

Własności trakcyjne tych pojazdów nadal są dobre. Brak dwóch amortyzatorów pod przegubem – zdaniem autora – nie pogorszył specjalnie własności trakcyjnych, lecz nieznacznie skrócił żywotność pojazdu i spowodował większe szarpnięcia na łukach. Siemens spodziewa się z tego powodu mniejszego zużycia kół. Pojazdy te ostrzej reagują na jakość torowiska, niż pojazdy TK4D. Na małych łukach trzeba je prowadzić tak, jak wcześniejsze pojazdy 2-osiowe. Dyspozycyjność tych pojazdów nadal jest dobra. Na 8 pojazdów 7 zawsze było w ruchu. Dwa dni po dostawie wszystkie pojazdy włączono do przewozu pasażerów. Przez dłuższy czas nie było przedstawiciela Siemens. Awaryjne występujące w komunikacji nie miały nic wspólnego z samym pojazdem. Wymieniano rozpórki gumowych amortyzatorów kół, z niektórych przekładni wyciekał olej. Wszystkie usterki usunięto. Siemens reagował na każdy sygnał o nieprawidłowościach, aby unikać ich w następnych seriach pojazdów.

Stwierdzono, że zużycie kół ma ścisły związek z zachowaniem prawidłowego, równoległego ustawienia podwozia. Znalaziono sposób i na to. W warunkach rzeczywistych prototyp się sprawdził. Pojazdy Mk-1 przejechały dotychczas 1,5 mln km, lecz nadal mogą się pojawiać „słabe punkty”. Zaletą tego konceptu mogłaby polegać na standaryzacji komponentów, co umożliwiłoby naprawy serwisowe w ciągu 24 godzin.

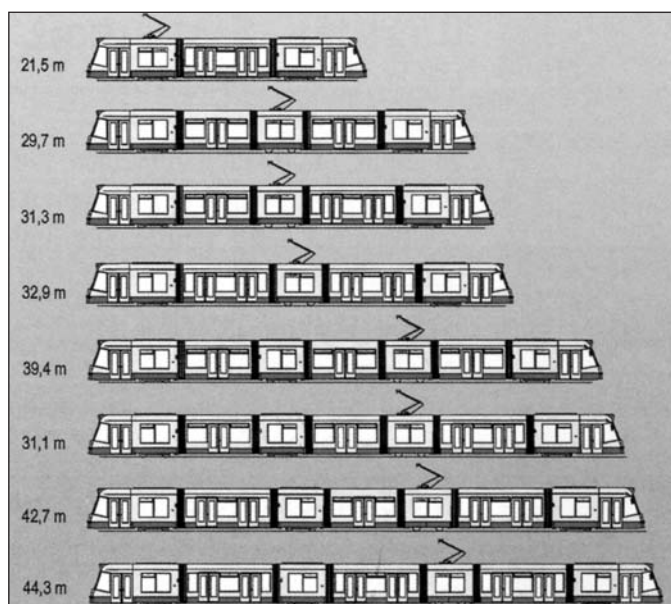
Na spotkaniach z użytkownikami, które odbywają się często, wymienia się doświadczenia wynikające z eksploatacji tych samych komponentów. Tylko w taki sposób można doprowadzić do ulepszeń w kolejnych pojazdach Combino. Duże zamówienie z Amsterdamu na 95 pojazdów (rys. 29) oraz z Melbourne na 59 pojazdów znacząco podnoszą ogólną liczbę zamówionych Combino, szczególnie typu Mk II (Mk I – 95 + Mk II – 154 = 249 potwierdzonych zamówień na te pojazdy).

Kabina motorniczego Combino Mk II (rys. 23) została nieco wydłużona, układ grzewczy gruntownie przekonstruowano na wydajny i oszczędny w zużyciu prądu. Nadwozia są nieco sztywniejsze, siedzenia zgrupowane nad wózkami oraz z tyłu pojazdu nad sprzęgłami zostały przerobione. Dla ułatwienia czyszczenia wymieniono pokrycia siedzeń.

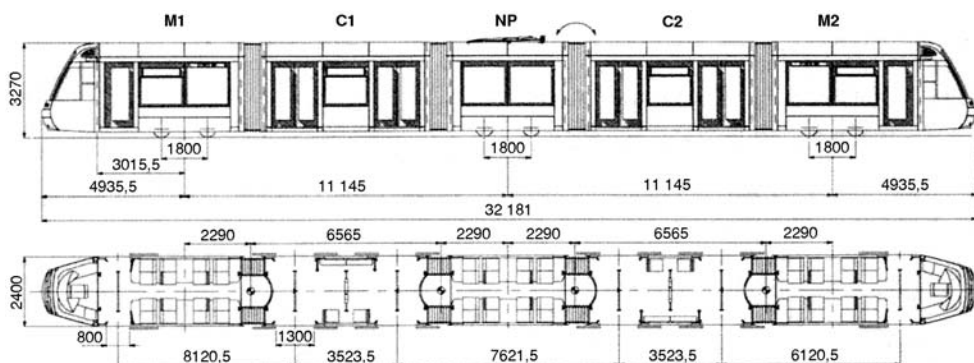
Sporo uwagi poświęcono wytłumieniu wnętrza pojazdu. Poziom hałasu we wnętrzu mieści się w granicach norm. Należy jeszcze poświęcić uwagę urządzeniom elektrycznym i wyeliminować denerwujący gwizd towarzyszący ruszaniu i hamowaniu pojazdu.



Rys. 29. GVB Amsterdam – tak będzie wyglądał nowy Combino; kabinę wydłużono o 30 cm



Rys. 30. Typoszereg Combino z podwójnymi drzwiami na końcach



Rys. 28. RATP Paryż – Citadis 302

Amsterdam chce mieć swoją własną oryginalną kabinę motorniczego (rys. 24). Wydaje się, że Siemensowi udało się zbudować prosty i wartościowy pojazd o lekkiej konstrukcji, zapewniający bardzo dobrą dyspozycyjność.

Pojazdy typu ULF, Vario, Eurotram, AEG, Cobra, Incentro itp. mają podwójne drzwi wejściowe z przodu. Z okazji przetargu w Rotterdamie Siemens w swoich wypowiedziach przyznał, że podwójne drzwi z przodu wymagają zbyt dużego wysięgu dachu. Zgodzono się, że wysięg w granicach 5 m jest do zaakceptowania. Motorniczy na małych łukach odczuwa, że wysięg jest zbyt duży. Zaprojektowano zatem drugą serię pojazdów (rys. 30) z podwójnymi drzwiami z przodu, lecz o mniejszym wysięgu, który poprawia także właściwości trakcyjne pojazdu.

Citadis(r)

Dotychczas zaprezentowano 4 modele 100% niskopodłogowych tramwajów Citadis z zakładów Alstom:

- Citadis 302/402 z wózkami Arpege bez amortyzatorów podstawowych: Lyon (39), Bordeaux (6) i typ 402 (32) (rys. 31);
- Citadis 302 (13) dla RATP Paryż (rys. 28), skonstruowany na ramie o wytrzymałości wzdłużnej 400 kN;
- Citadis 202 (31) Melbourne (rys. 34) na wózkach Solfege z amortyzatorami podstawowymi oraz całkowicie stalową płytą podłogową; jest to nowy standard;
- Citadis 300 (60) Rotterdam; napęd uproszczono – silnik napędza każde koło poprzez przekładnię kątową.

Gdy pierwsze pojazdy 302 przechodziły w Lyonie jazdy próbne, pojawiły się już trzy nowe rodzaje nadwozi oraz trzy nowo zaprojektowane wózki: Arpege, Solfege oraz Corege.

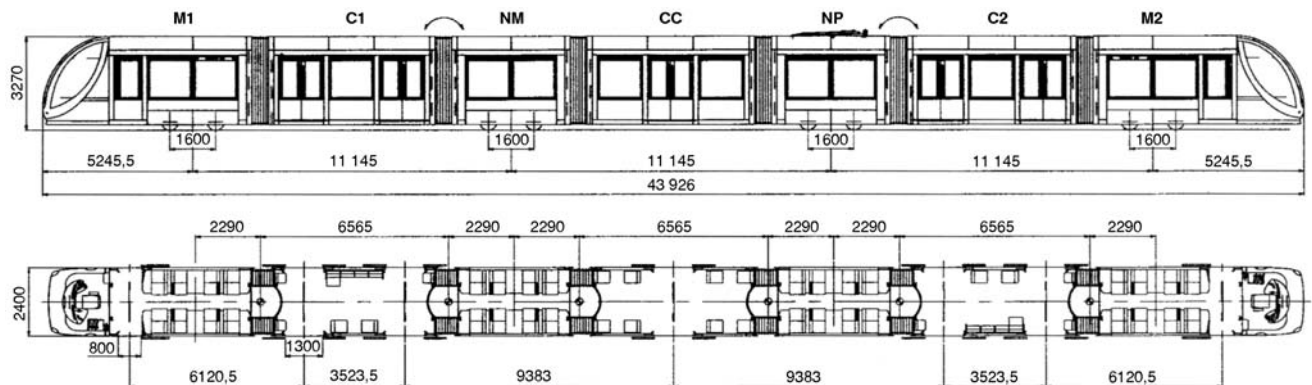
Citadis 302 dla Lyonu (rys. 27) zwraca uwagę kształtem przodu, zaprojektowanym przez stylistów z Renault.

Nowa, standardowa szerokość pojazdów Citadis wynosi 2,4 m. Umożliwia ona urządzenie przejścia przez środek pojazdu oraz ulokowanie w jego szerokości rzędów po 4 siedzenia. Na rysunku 39 pokazano pojazd z Lyonu bez siedzeń. Można na nim rozpoznać obudowy nad wózkami podwozia. „Lektyka” ma płaską podłogę. Kabina motorniczego zaprojektowana jest tak samo, jak w pojeździe z Montpellier. Taka sama jest również platforma z miejscami stojącymi (rys. 40).

Również tutaj mamy niewielki wysuwany pomost (rys. 41), likwidujący 300 mm szczelinę między podłogą wagonu a wysepką przystanku.

Rama podwozia oraz wszystko, co jest bezpośrednio na niej zamontowane, czyli np. silniki i przekładnie, nie jest amortyzowana. Zastosowane koła tarczowe z Valdunes mają amortyzację gumową. Każdy silnik napędza koło zębate pośredniczące, połączone wspólnym wałem z drugim kołem o tej samej liczbie zębów. Koło to napędza z kolei, za pośrednictwem drugiego koła zębatego, wałek napędowy wózka umieszczony w osi bramowej. Wał ten, poprzez dalsze koło zębate napędza oba koła swobodne. Wszystkie koła zębate mają zęby skośne. Całkowite przełożenie wynosi 1:6,88. Wał napędowy jest swojego rodzaju „osią kół swobodnych”. Tarcza hamulcowa jest umocowana na kole przeciwnym względem silnika i obraca się wraz z kołem. Wózek napędowy (rys. 32), jak również wózek toczny (rys. 33) połączone są centralną prowadnicą (rys. 35) z WT1, WT5 lub WT3. Umożliwia to skręt podwozia o 2°. Obrót ograniczają 4 gumowe zderzaki (rys. 35) przymocowane do nadwozia. Spotykamy tu prowadzenie bardzo podobne do wózka AEG. Osie napędowe kół swobodnych działają jako osie przelotowe, co daje ruch wężykowy. Nie zastosowano tu żadnych tłumików ruchu skrętnego. Dwie uwagi: ruch wężykowy może, jak wiadomo, prowadzić do kołysania i dlatego wózki o kołach swobodnych muszą być ustawione względem nadwozia tak, aby ich osie były ustawione równoległe do siebie, oraz pod kątem 90° względem nadwozia, gdyż inaczej dochodziłoby do jednostronnego ścierania się kół. Między członami (WT1–WT5) znajdują się przeguby, umożliwiające ich skręt poziomy (rys. 40). Każdy przegub został wyposażony w amortyzator. Przegub między członami WT3 i WT4 umożliwia dodatkowo skręt wokół osi pionowej. Nie zastosowano tu amortyzatorów. Między nadwoziem a ramą zastosowano z obu stron amortyzatory pionowe, a pośrodku amortyzator poziomy. Oprócz tego zamontowano wspornik ograniczający kołysanie (rys. 35).

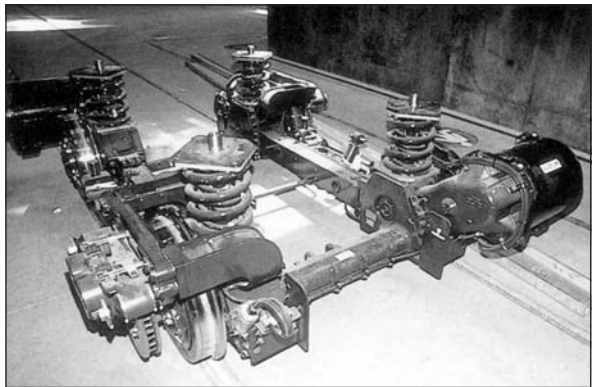
Autor uczestniczył w kilku jazdach, gdzie na prostych odcinkach toru, przy prędkości 70 km/h przeprowadzano próby hamowania. Stateczność wzdłużna pojazdu była bardzo dobra. Poziom hałasu od kół był wysoki, lecz szyny rowkowe ułożone tak, aby mogły zarosnąć trawą, były jeszcze



Rys. 31. Communaute Urbaine de Bordeaux, Citadis 402

mało używane. Również w Lyonie torowiska zbudowano w 100% z szyn rowkowych.

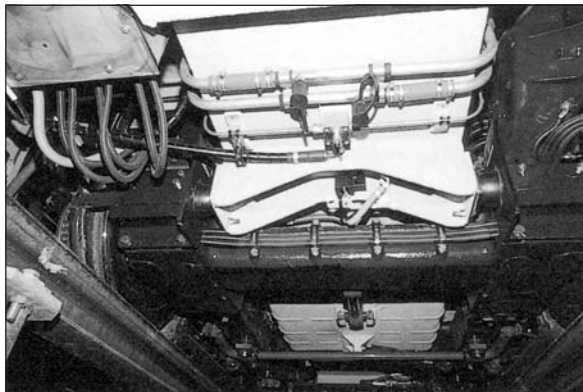
Na przedpolu placu fabrycznego wykonuje się jazdy po łukach z prędkością 15 km/h, a jeden z łuków pokonuje się z prędkością 25 km/h. Odnosi się wrażenie, że pojazd pokonuje te łuki miękko. Ciekawe jaka będzie emisja hałasu w pojeździe bez amortyzatorów podstawowych i pneumatycznych między ramą podwozia a elementami wagonu przy



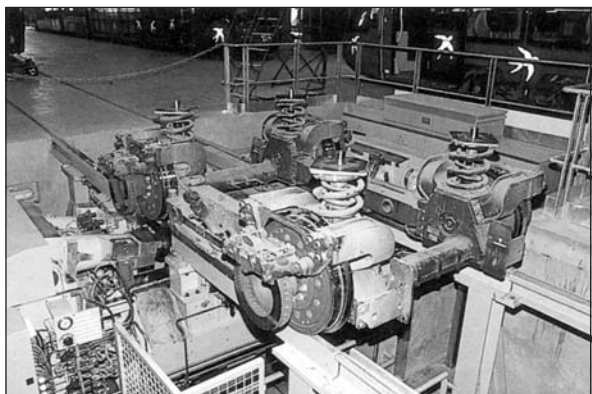
Rys. 32. Citadis 302, Lyon – wózek napędowy bez amortyzatorów podstawowych, silnik i przekładnia przymocowane do ramy pojazdu, koła tarczowe z wkładkami gumowymi pochodzą z Valdunes

większych prędkościach i większym obciążeniu? Napęd kontrolowany elektronicznie pracował bardzo cicho, lecz podobnie jak w pojeździe z Montpellier słychać było syczenie pochodzące od silników. Bezstopniowe hamowanie kół realizuje elektrohydrauliczny hamulec akumulacyjny Knorr.

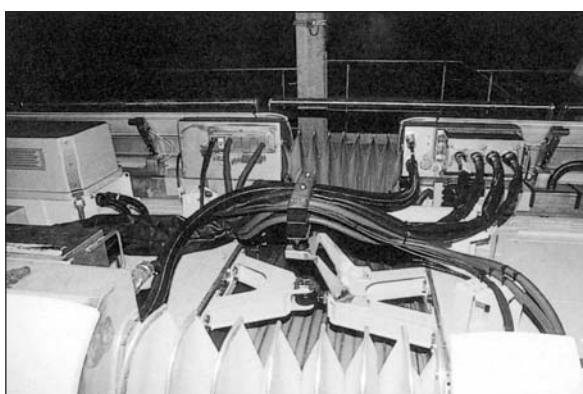
Pojazd z Melbourne (rys. 34) ma dwa wózki napędowe Solfege (rys. 37). Zastosowano tu tylko jeden typ przegubu – skręcany poziomo. Każdy przegub ma jeden amortyzator.



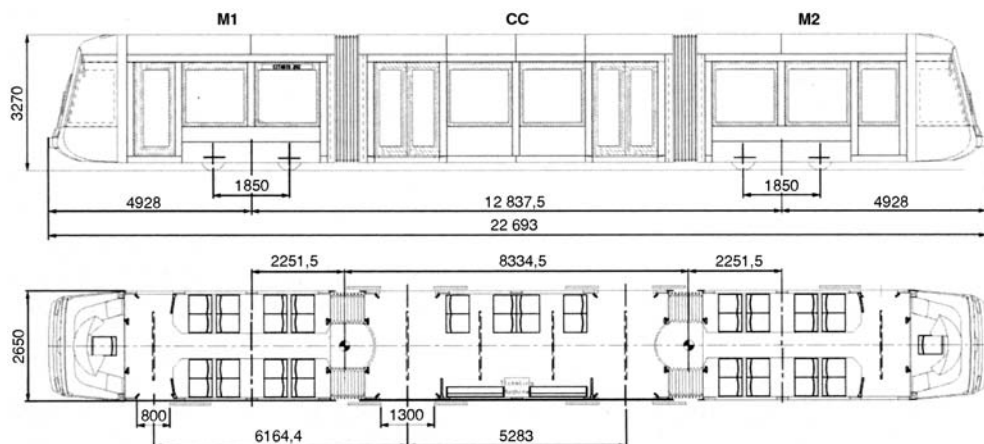
Rys. 35. Citadis 302, Lyon – bufony zderzaków wózka napędowego ograniczają ruch wskutek uderzenia w nadwozie; w tle wspornik, ograniczający kołysanie boczne, oraz prowadnica centralna między nadwoziem a wózkiem napędowym



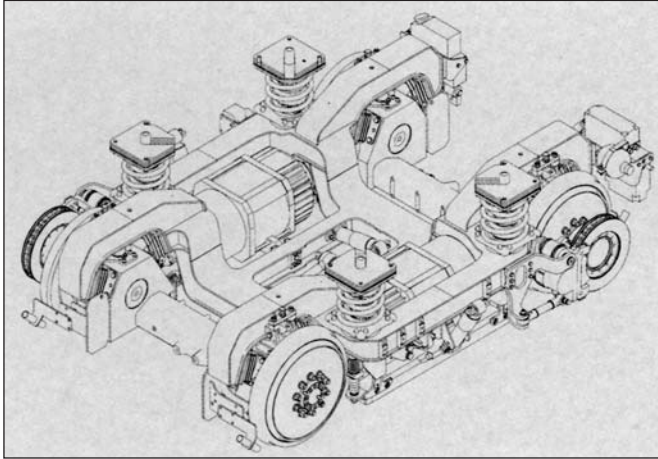
Rys. 33. Citadis 302, Lyon; wózek toczny identyczny z wózkiem napędowym, brak jedynie wału osiowego zestawu, wszystkie 4 koła są swobodne



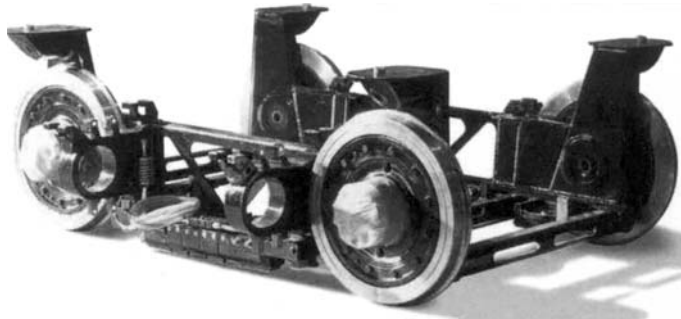
Rys. 36. Citadis, Lyon – przegub z amortyzatorem, umożliwiający przechył poziomy



Rys. 34. Melbourne, system Yarra, Citadis 202



Rys. 37. Yarra Trams, Melbourne – wózek napędowy solfege pojazdu Citadis 202; osie są takie same, jak w wózku tocznym Arpege; wszystko pozostałe zmieniono



Rys. 38. Roma II – wózek napędowy; rama jest wrażliwa na skręcanie, brak amortyzatorów podstawowych, pierścienie zabezpieczają przed ewentualnym pęknięciem wału kardana; człon przegubowy, amortyzowany pneumatycznie, oparty jest na 4 wspornikach, nie widać tu prowadnic wzdluznych członu przegubowego, ani jego dwu amortyzatorów poziomych

Wózek Solfege ma taką samą oś bramową z napędami kół swobodnych, jak wózek Arpege, jedynie rama oraz zawieszenie silnika są zupełnie inne. Rama, amortyzowana przez dwa duże resory sprężynowe, spoczywa na skrzyni przekładni napędu kół, która wraz z osią bramową tworzy zwarty zespół. Każda oś bramowa jest połączona z ramą dwoma prowadnicami wzdluznymi, przymocowanymi do korpusu przekładni. Silnik trójfazowy jest umocowany elastycznie w 4 punktach, wzdluz ramy i poprzez sprzęgło kłowe z regulacją odstępów napędza stożkowe koło zębate, które z kolei napędza wał obu kół swobodnych. Wszystkie pozostałe komponenty są identyczne, jak w wózku tocznym Arpege, mianowicie amortyzatory: jeden poziomy i dwa ustawione skośnie między ramą a nadwoziem. Również tu zastosowano centralny sworzeń przegubu. Ponieważ amortyzatory odchylone są na zewnątrz bardziej niż nadwozie, wspornik zabezpieczający przed kołysaniem jest niepotrzebny.

Cityway

Wersja rzymska

Alstom po wykupieniu 51% akcji firmy Fiat Ferroviaria SA zmienił jego nazwę na Alstom Fiat Industrie Ferroviarie SA. Grupa ta, łącznie z Parizzi, zatrudnia ok. 1400 osób.

Liczba zamówionych pojazdów Roma II (rys. 42, 46) wzrosła do 45, a dodatkowo zamówiono 2 w wersji wydłużonej o jeden wagon silnikowy i człon-lektykę, o łącznej długości 41,5 m (rys. 52). Dotychczas Fiat przeprowadził próby 30 pojazdów, z czego sprzedanych zostało tylko 18.

Pierwszy pojazd przeszedł już próby w Turynie. Wagony są spawane z aluminium, zaprojektowane na obciążenia ściskające (zderzenia) 500 kN. Podwozia nie mają amortyzatorów podstawowych, a cały napęd nie jest umocowany w członie przegubowym (rys. 43), lecz bezpośrednio na



Rys. 39. Citadis 302, Lyon – wnętrze pojazdu jeszcze bez siedzeń



Rys. 40. Citadis 302, Lyon – kabina motorniczego i platforma miejsc do stania



Rys. 41. Citadis 302, Lyon – wysuwany pomost wypełnia szczelinę między pojazdem a wyspą przystanku

wózku podwozia (rys. 38). Podobnie, jak w wózkach Arpege, brak jest resorowania. Zdolność przechylenia się ramy podwozia uzyskano przez jej ukształtowanie (rys. 38), odmienne od klasycznej ramy typu L tak, jak w Roma I.

Wnętrze pojazdu (rys. 44, 49), zaprojektowane przez Giugiaro, wyposażono w siedzenia Cantilever. Kabina motorniczego jest obszerna i ma własne drzwi. Cztery ekrany umożliwiają obserwowanie wsiadających pasażerów i wnętrza pojazdu. Gdyby autor artykułu miał nagradzać za najlepsze wzornictwo tramwaju niskopodłogowego, to ten byłby poważnym kandydatem.

Mając do dyspozycji przestrzeń zaledwie 2,4 m szerokości, zagospodarowano ją bardzo korzystnie, montując po 3 siedzenia w rzędzie. Ta wersja Cityway będzie wykonywana przez ATAC tylko dla Rzymu. Podwozia mają amortyzatory pneumatyczne (rys. 50) z tłumieniem wewnętrznym. Tylko kabina motorniczego, po przedniej stronie wózka tocznego, ma amortyzator hydrauliczny.

Prawie wszystkie torowiska w Rzymie mają szyny rowkowe. Wiele tras ma podtorze zatopione w asfalcie. Na nowych trasach między główki szyn a nawierzchnię wsta-

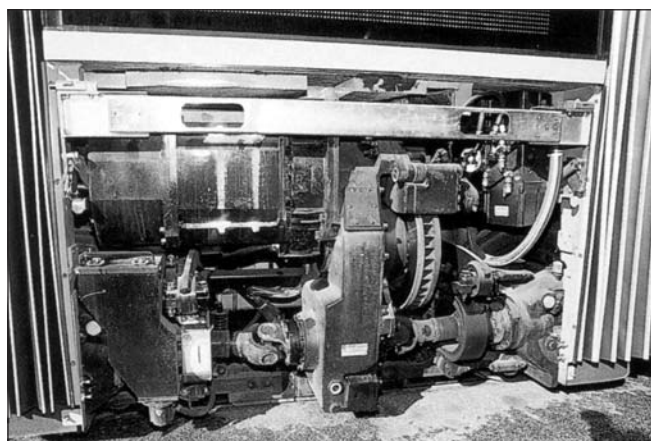
wia się gumową taśmę. Po takich torowiskach z powodzeniem jeżdżą także autobusy, taksówki oraz pojazdy specjalne. Często oglądane z daleka torowisko wydaje się być w dobrym stanie, choć w rzeczywistości ma ono liczne wylobienia, a miejsca spawania szyn mają popękania i odpryski. Torowiska takie wymagają kół tarczowych z amortyzacją gumową i amortyzacji podstawowej takiej, jaką posiadały pojazdy przegubowe Stanga/TIBB serii 7100 z początku lat 50-tych (rys. 51). Przy prędkości ok. 45 km/h poziom hałasu we wnętrzu (wyłączony kompresor) wynosi 76 dB (A). Pojazd 9200 porusza się bardzo stabilnie, a dzięki amortyzatorom pneumatycznym dobrze znosi wszelkie uderzenia oraz zanieczyszczenie torowiska. Poziom hałasu emitowany przez koła, badany na trasie Prenestina (ATAC) - Palermo Togliatti (SL 14) przy prędkości 47 km/h, z uwagi na zły stan torowiska, był przeważnie bardzo wysoki: 84-85 dB (A). Już przy prędkości 30 km/h wynosił 80 dB (A). Pojazd wchodził w łuki bardzo miękko, z lekkim piskiem. Ma on harmonię przegubu typu Huebnera o ścianie pojedynczej. Jakość wykonania jest dobra, a hałas pochodzący od urządzeń elektrycznych jest minimalny.



Rys. 42. Fiat Cityway, Roma II



Rys. 44. Roma II. Widok wnętrza w kierunku kabiny motorniczego



Rys. 43. Fiat Cityway – napęd 3. i 7. członu; silnik Elin z samowentylacją napędza za pomocą koła pośredniego mechanizm rozdzielczy Hygate-Bath, dalej wałkami kardana, poprzez przekładnię kątową, napędzane są oba koła swobodne (odległość osi 1750 mm); tarcza hamulcowa znajduje się na wale pośrednim; po lewej widoczny układ hydrauliczny



Rys. 45. Roma II. Bardzo obszerna kabina motorniczego z osobnymi drzwiami

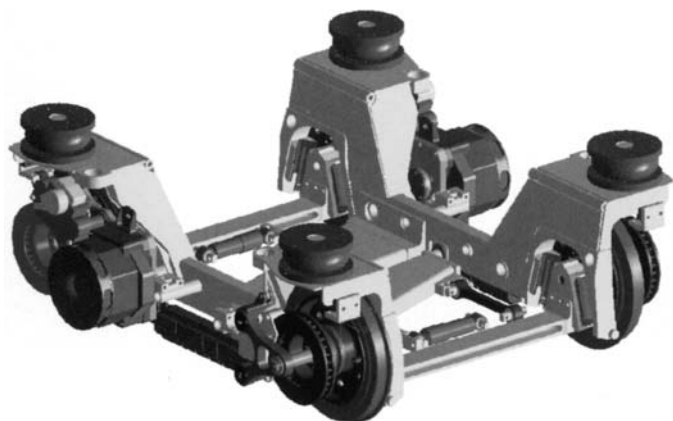
Każdy silnik ma swój falownik IGBT o mocy 188 kVA. Silniki Elin mają maksymalną moc 178 kVA, maksymalną moc hamowania 195 kVA, a moc znamionową 150 kW. Na dachach członów pojazdu znajdują się następujące urządzenia: WT1 i WT5 klimatyzator kabiny motorniczego, akumulatory, rozdzielnia niskiego napięcia i rezystor hamowania; WT2 i WT6 klimatyzatory, falownik IGBT, falownik pomocniczy i transformator niskiego napięcia; WT3 i WT5 – puste; WT4 klimatyzator, sprężarka powietrza, wyłącznik niskiego napięcia i pantograf.



Rys. 46. ATAC; od sześćdziesięciu lat produkuje się w Rzymie tramwaje – dwa tramwaje z 1933 r., Roma I i Roma II z serii 2200 przerebiono na pojazdy VIP; stoją na placu fabrycznym ATAC Prenestina



Rys. 47. Cityway II – projekt dla Turynu



Rys. 48. Cityway II, wózek napędowy z silnikami o magnesach trwałych, resorowanym napędzie, amortyzatorach podstawowych, amortyzatorach pneumatycznych oraz ramie przegubowej; prowadnik wzdłużny i dwa amortyzatory poprzeczne, hamulce tarczowe na kołach nie napędzanych

Klimatyzator zapewnia cichy nawiew chłodnego lub ciepłego powietrza przez sufit, odsysanie zaś odbywa się przez ściany boczne. Pod siedzeniami nie ma żadnych grzejników.

Hamowanie odbywa się za pomocą 7-stopniowych hamulców sprężynowo-akumulacyjnych SAB-WABCO działających na koła pierścieniowe Lucchini. Zagadkowe jest dłączenie ATAC nie wyposażył w amortyzację podstawową



Rys. 49. Roma II, piękne wnętrze – widok miejsc nad silnikami w członie silnikowym



Rys. 50. Roma II – amortyzatory pneumatyczne; amortyzowany człon przegubowy umieszczono na ramie „lektyka”, poprzez przegub kulowy, posadowiona jest na członie przegubowym

wszystkich wózków napędowych Roma I tak, jak to uczynił w przypadku Roma II. Czyżby nie wzięto pod uwagę pozytywnych wyników uzyskanych w przypadku 22 wagonów PCC serii 8000 wyposażonych w wózki B3 i półautomatyczne układy złączne GE?

Cityway II

Ledwie postawiono go na tory, a już Turyn zamówił 55 pojazdów, lecz o długości 34 m, zamiast 33 m, tzn. o innych długościach modułów i zupełnie innej koncepcji napędu oraz przednich i tylnych drzwiach, a także większym wysięgu dachu. Pierwszy prototyp został pokazany w grudniu 2000 r., a dostarczony w marcu 2001 r. – w 10 miesięcy od złożenia zamówienia. Próby 5 prototypów poprzedzą dostawę dalszych 50 szt.

Po raz pierwszy zostanie wprowadzony indywidualny napęd kół (rys. 48) z pełną amortyzacją. Silnik z kołnierzową przekładnią czołową zawieszono poprzecznie względem koła, na amortyzowanej ramie. Napędza on mały wał drążony, który poprzez sprzęgło z „pierścieniem tańczącym” napędza swoje koło. Wózek ma obecnie wszelkie wyposażenie, takie jak resorowanie podstawowe, przegub ramowy, oraz wtórną amortyzację pneumatyczną. Silniki o magnesach trwałych pochodzą z firmy Parizzi.

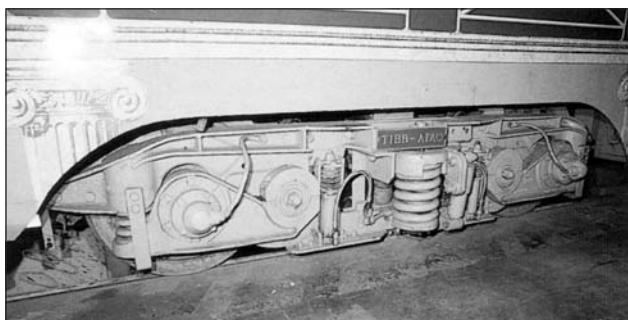
Turyn oraz Messyna otrzymają więc pojazd w wersji Junior, o rozstawie kół 1435 mm (rys. 57) i układzie osi

(1A)-Bo-Bo-(A1). Zamówiono 15 pojazdów o układzie osi (1A)-Bo-(A1). Powstał również nowy pojazd Cityway-Standard. Pozostałe elementy konstrukcji nie uległy zmianie.

Incentro

Tramwaje Incentro z Adtranu zostały zamówione dla Nantes. Podczas prób był obciążony betonowymi blokami i przechodził próby hamowania na wyłączonym z ruchu odcinku torowiska z szerokostopkowymi szynami Vignolesa. Do masy własnej 38,8 t dodano jeszcze 23 t. Wrażenia z tej jazdy, przy prędkości 60 km/h, można ująć następująco: środki obniżające poziom hałasu, zaproponowane przez ODS Kopenhaga, zostały sprawdzone w praktyce. W członie WT3, gdzie panował spory hałas, poziom hałasu zmierzony podczas jazdy przekraczał 73 dB (A). Przyczyniła się to tego harmonia przegubu o podwójnej ściance (rys. 55). Przekładnie pracują przyjemnie cicho, podobnie jak elektronika. Na zewnątrz pojazdu słychać było syczenie falownika. Poziom hałasu mierzono we wnętrzu pojazdu (rys. 56) oraz w kabinie motorniczego. Potencjalny klient określiłby go, jako „BMW wśród tramwajów”.

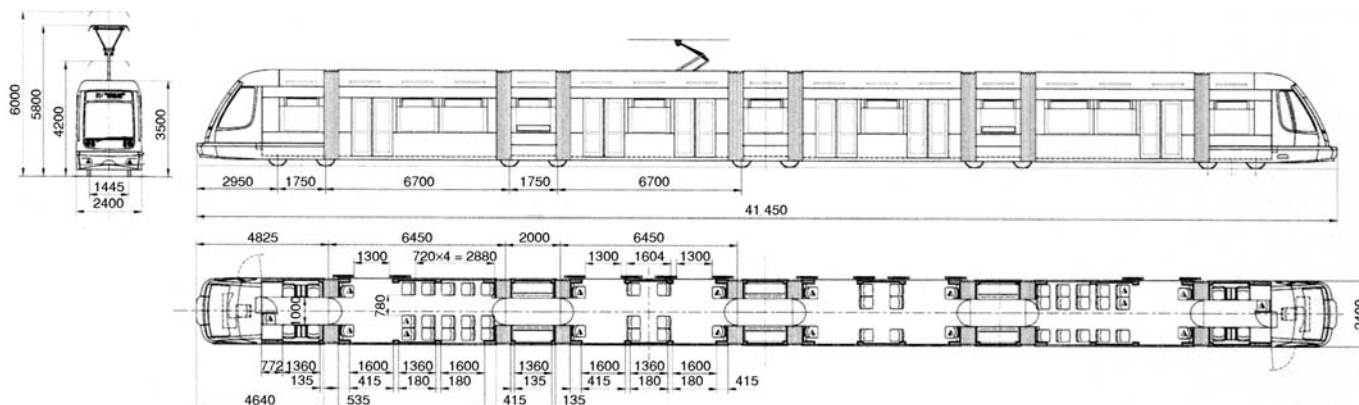
Należy mieć nadzieję, że tak będzie również z liczbą przejechanych kilometrów i byłoby dobrze, aby ten pojazd



Rys. 51. ATAC, przegubowy człon silnikowy ATAC, Stanga/TIBB z lat 1947-1950, wózek z tamtych czasów niemal w idealnym stanie; prowadnik osi z resorowaniem sprężynowym, pierścieniowa bieżnia bujaka ze sprężyną stalową, amortyzator pionowy, gumowe amortyzatory kół tarczowych; po pięćdziesięciu latach, co godne uwagi, jeździ dobrze



Rys. 53. TAN Nantes, Incentro MI 352

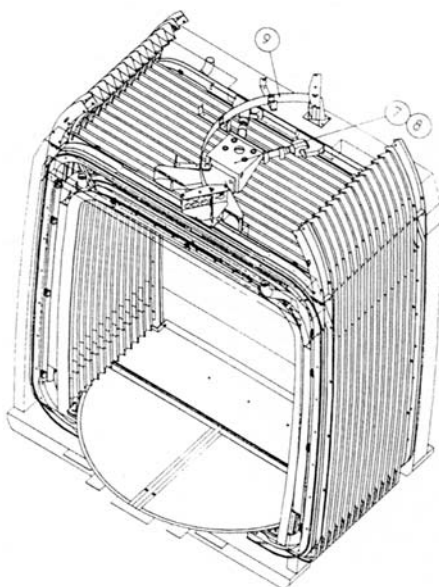


Rys. 52. Fiat Cityway, Roma II; wersja 41,45 m z trzema modułami napędowymi i dwoma wózkami tocznymi w skrajnych członach pojazdu

znalazł swoje miejsce w koncernie Bombardiera. Pierwszy pojazd dla Nantes pozostanie w Atranz jako pojazd wzorcowy.



Rys. 54. Incentro – kabina motorniczego



Rys. 55. Incentro – harmonia przegubu typu Huebner o podwójnej ściance



Rys. 56. Incentro – projekt prostego, przestronnego wnętrza

Sirio

Jakkolwiek Ansaldo i Breda pracują w Pistoria razem i na zewnątrz występują jako Ansaldo Breda, to są to dwa oddzielne przedsiębiorstwa, obydwa w posiadaniu IRI, do której należy jeszcze 49% udziałów Firena + Marcelli. Ogólnie zatrudnionych jest tutaj 5000 + 1400 pracowników. Bombardier Transportation w rozmowach o przejęciu Ansaldo Breda był już tak daleko zaangażowany, że odbywały się już rozmowy o strategii współpracy.

Na rysunku 64 pokazano wymiary trzech zamówionych pojazdów, prototyp oraz zestawienie pojazdów z różnych modułów. Widać z tego, że można tworzyć odpowiednią liczbę odmian pojazdów.

Prototyp (rys. 58) ma przechodzić próbne jazdy w Mailand, najpierw jako eksponat, ponieważ zaprojektowany napęd nie został na czas wykonany i trzeba było sobie pomóc dwoma napędami typu AEG z silnikami Metro z Kopenhagi. Napędzane są dwa koła, jedno na stronę. Wnętrze pojazdu już w listopadzie 2000 było na ukończeniu (rys. 59).

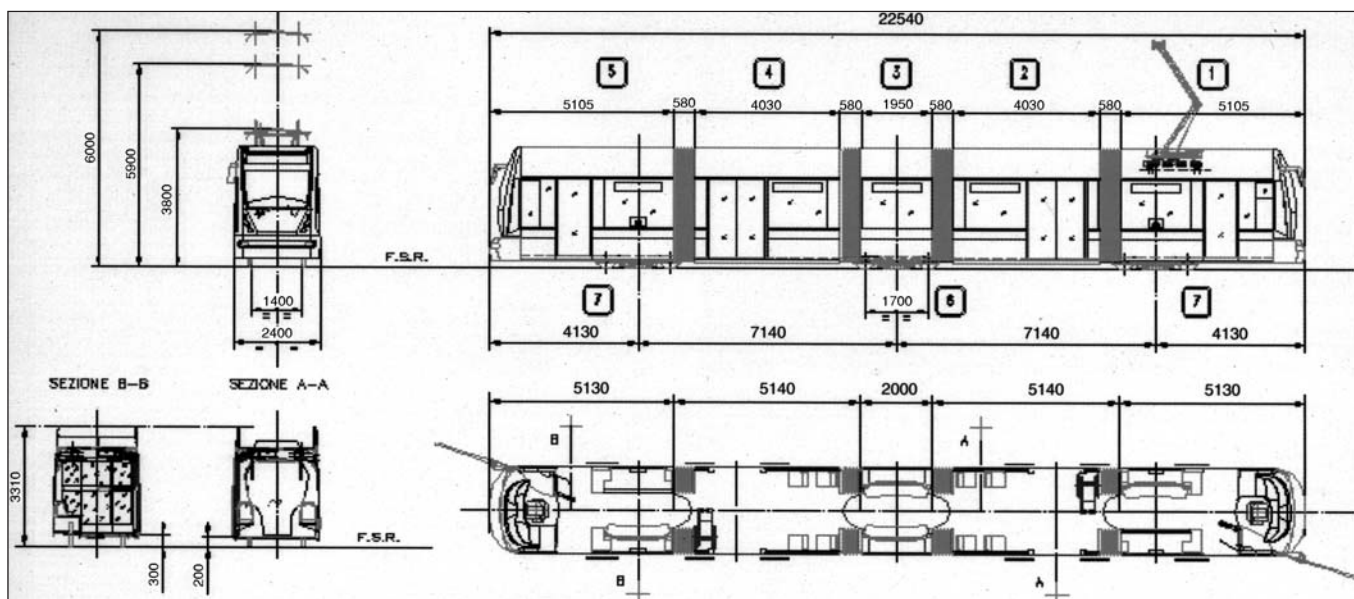
Wózek toczny ma cztery bezstopniowe hamulce tarczowe, sprężynowo-akumulacyjne Knorra (rys. 60), natomiast wózek napędowy, według życzenia, dwa lub cztery hamulce.

Wózek napędowy może mieć osiem amortyzatorów hydraulicznych, dwa amortyzatory antyrotacyjne, dwa poziomo ustawione amortyzatory poprzeczne, jak również dwa amortyzatory w układzie poziomym (rys. 61), które za pośrednictwem dźwigni tłumią ruchy amortyzatorów drugich. Przeniesienie siły pociągowej jak i hamowania ma się odbywać w zasadzie przez cztery krótkie sprężyny śrubowe, aby pozostawić miejsce na różne systemy odbierania prądu w układzie podziemnego zasilania.

Na dachu wagonu WT1 znajduje się kontener z dwoma falownikami IGBT, falownikiem pomocniczym oraz intensywnie chłodzonymi opornikami hamowania. Przegub (rys. 62) umożliwi ruch w płaszczyźnie pionowej (oś Z). Na WT2 znajdują się urządzenia grzewcze oraz klimatyzacyjne z kompresorami oraz urządzeniami chłodniczymi (własna produkcja Ansaldo). Dach WT3 jest praktycznie pusty. Napęd ZF-Hurt jest oparty na napędzie AEG (rys. 63), ale napędzane są obydwie osie wózka.

Podsumowanie

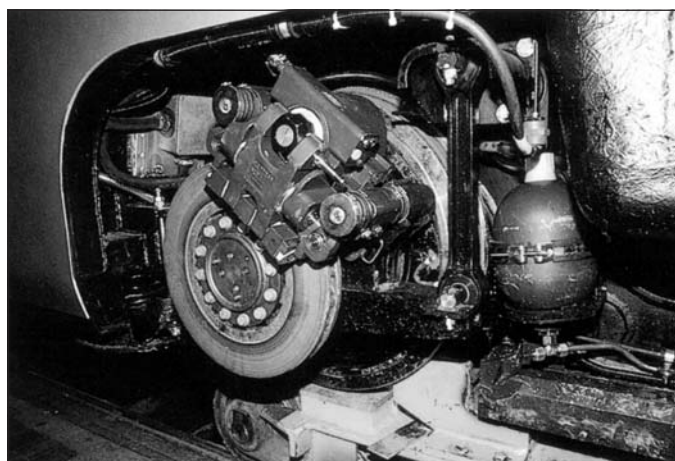
- Wiele milionów marek włożono w rozwój systemów komunikacji tramwajowej. Według ostrożnych szacunków wdrożenie jednego pojazdu powinno kosztować od 20 do 25 mln DM.
- Ciągłe jeszcze są wprowadzane nowe rodzaje napędów.
- Z wyjątkiem Fiata pozostali producenci wolą stosować sprężyny stalowe. Żadnemu z nich nie zrodził się pomysł, aby skonstruować optymalny amortyzator pneumatyczny – mały, zwarty i atrakcyjny cenowo. Każdy autobus, który został wyprodukowany po 1980 r. ma amortyzatory pneumatyczne.
- Nowe pojazdy (z wyjątkiem Fiata) mają przeważnie o jeden wózek mniej niż to było wcześniej. Pojazdy wieloprzegubowe są bardziej wrażliwe na stan torów niż pojazdy z wózkami skrętnymi.



Rys. 57. Cityway II, Messina, szkic wymiarowy; w 7-członowym pojeździe, długości 34 m dla Turynu, zewnętrzne „lektyki” wydłużono o jeden segment okienny, w środek pojazdu wstawiono jedną „lektykę” o podwójnych drzwiach i jednym oknie; również tu w szerokości pojazdu umieszczono po dwa siedzenia



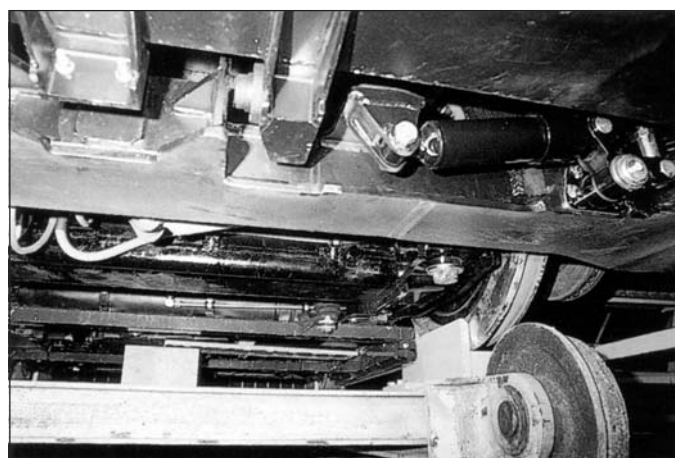
Rys. 58. Prototyp Sirio obok pojazdu Boston typ 8, nr 3800, przenaczonego do badań naukowych Uniwersytetu Mediolańskiego, Pistoia 21.11.2000 r.



Rys. 60. Wózek toczny Sirio. Urządzenia hamujące dla każdego koła zawieszono na ramie wózka



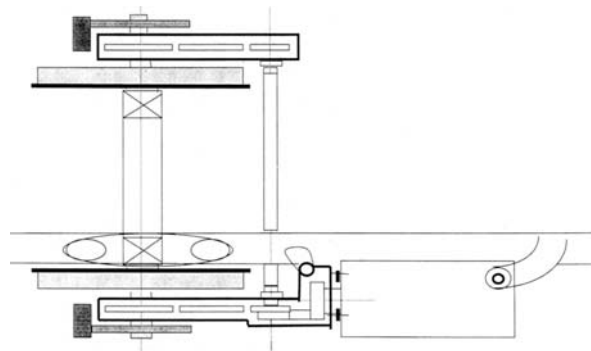
Rys. 59. Wnętrze Sirio, ławy nad wózkiem napędowym



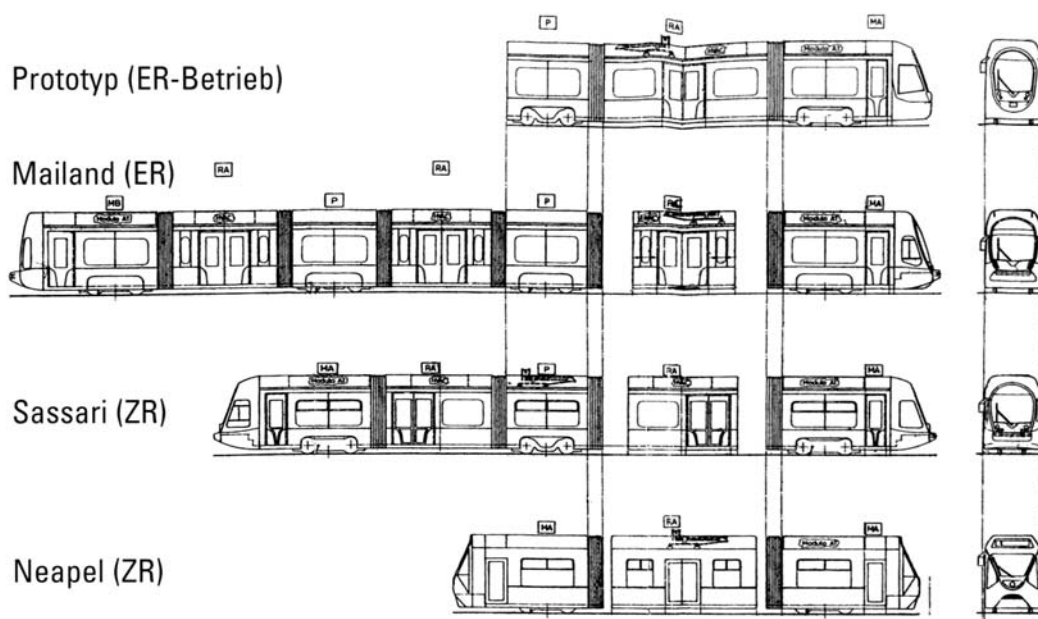
Rys. 61. Belka czołowa wózka tocznego z dwoma amortyzatorami, które za pośrednictwem dźwigni tłumią ruchy pionowe drugich amortyzatorów. Dwa poziomo zabudowane zderzaki poprzeczne oraz jeden zderzak podłużny



Rys. 62. Sirio, przegub na dachu z dwoma amortyzatorami Koni, może wykonywać ruchy poziome



Rys. 64. Sirio. Schemat napędu. Silnik za pośrednictwem gumowego bufora jest umocowany do ramy wózka podwozia, na niej zawieszony jest również drąg przegubowy napędzający obie osie. Między silnikiem a pierwszą przekładnią różnicowo-zapadkową wstawione jest sprzęgło kłowe z regulacją odstępu. Wał poprzeczny nie obraca się, może jednak za pośrednictwem sprzęgieł zębatych na obu swoich końcach przyjmować ruchy kół wózka. Przekładnie kołowe są takie same, jak przy typach AEG. Wszystkie cztery koła mogą zostać wyposażone w hamulce tarczowe



Rys. 63. Sirio – paleta modułów na dzisiaj. Pojazdy z różnymi modułami zgodnie z zamówieniem na cztery typy takich pojazdów

- Przeważnie, wypowiadając się o podwoziach pojazdów, uważa się, że torowiska są dobrze utrzymywane, odnawiane i regularnie szlifowane. W codziennej rzeczywistości coraz bardziej powiększa się różnica w dbałości o pojazdy i torry. Bruksela (na drodze do uzdrowienia sytuacji), Rzym, Toronto, St. Denis-Bobigny (Paryż) są tego przykładem.

- Powoli zaczyna się w projektach konstrukcyjnych zwracać uwagę na obniżenie poziomów emisji hałasu.

- Nie ma jednak specjalnego sensu przestrzegać tych norm dopuszczalnego poziomu hałasu, których w praktyce nie da się zastosować. Jeżeli cała sieć tramwajowa wykonana jest z szyn rowkowych, a między szynami nie ma tłucznia, to wykonywanie prób w celu obniżenia poziomu hałasu na torach szerokostopowych na podłożu z tłucznia nie ma w praktyce większego znaczenia.

Należy mieć nadzieję, że przyszły użytkownik z dość bogatego, w obecnym czasie, zakresu podanych informacji

może dokonać trafnego wyboru. Jeżeli chcemy wybrać niższe ogólne koszty, nie ma innej drogi jak ograniczenie typów pojazdów oraz wprowadzenie u wykonawców wewnętrznej standaryzacji produktów. Najważniejsze jest jednak, aby koszty wprowadzenia do eksploatacji oraz koszty gwarancyjne były niskie.

□

Na podstawie
Stadtverkehr, 1/2001

Die Entwicklung der Niederflur- und Mittelflur -Straßen -und
Stadtbahnen

Autor

mgr inż. Harry Hondius – ETHZ, Beaufays (Belgia)

Wykaz literatury oraz szczegółowe dane techniczne tramwajów
podane są w Stadtverkehr 1/2001.