

# COMBINO

## – nowoczesny tramwaj niskopodłogowy o konstrukcji modułowej



oferty

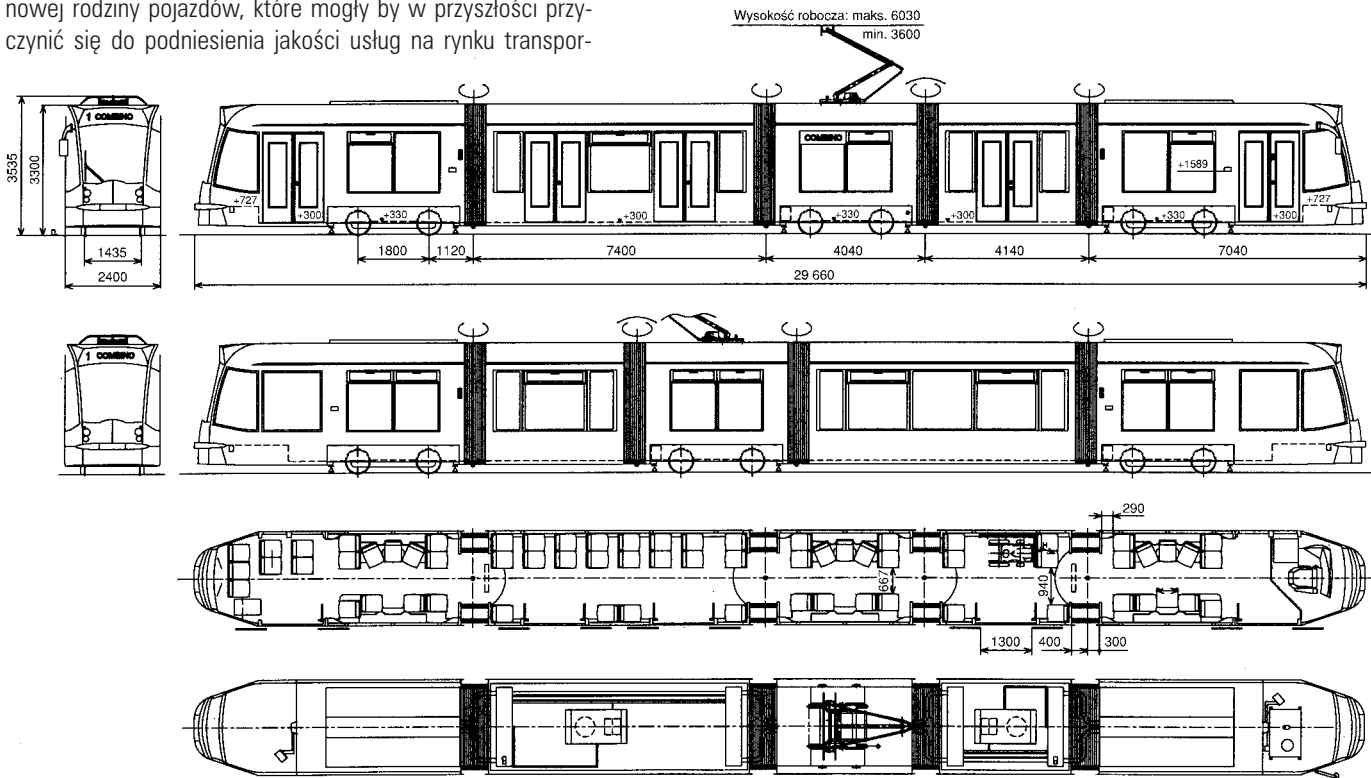
**Od 1990 r. datuje się światowy rozwój taboru tramwajowego, zaprojektowanego z częścią niskiej podłogi. Proces ten rozpoczął się od opracowania konstrukcji tramwajów z 70% udziałem niskiej podłogi do pojazdów całkowicie niskopodłogowych.**

**Opracowanie tego rodzaju konstrukcji było podyktowane chęcią sprostania zapotrzebowaniu na tramwaj o bardzo dobrych parametrach technicznych, będący jednocześnie tramwajem wygodnym w użytkowaniu dla pasażerów.**

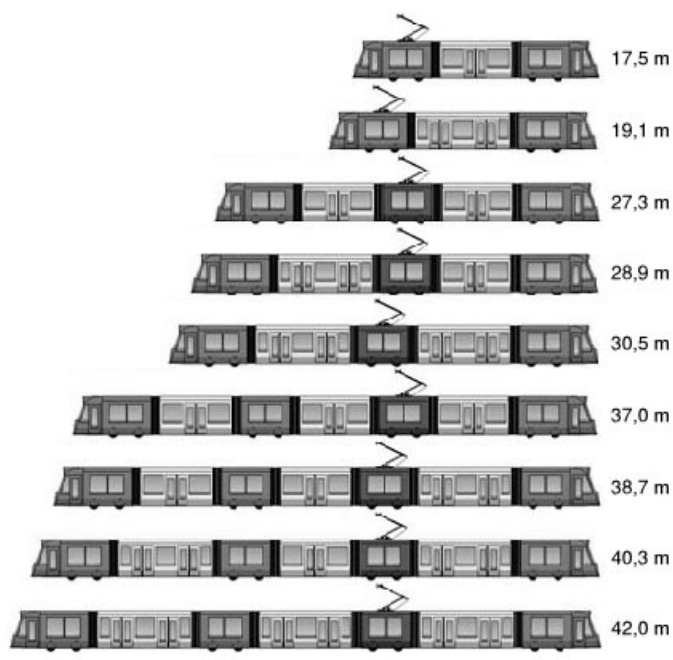
W 1994 r. firma Siemens zdecydowała się na opracowanie nowej rodziny pojazdów, które mogły by w przyszłości przyczynić się do podniesienia jakości usług na rynku transpor-

towym. W ten sposób powstała nowa linia pojazdów Combino, rodzina pojazdów ze 100% udziałem niskiej podłogi, wykonanych z wykorzystaniem rozwiązań stosowanych w technice kolejowej.

Po analizie najważniejszych wymagań rynku, które określone są zasadniczo przez skrajnie kinematyczną, szerokość toru i napięcie trakcji elektrycznej, został zaprojektowany system konstrukcji modułowej. Dzięki przyjęciu takiego rozwiązania można było opracować projekt pojazdu o różnych długościach pojazdu (lub liczbie przewożonych osób), szerokościach pojazdu (2300 mm, 2400 mm, 2650 mm), sze-



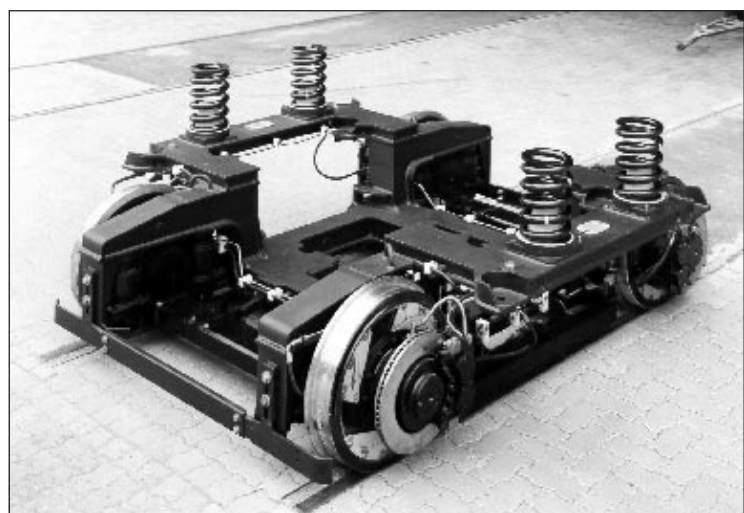
Rys. 1. Przekrój tramwaju w wersji o długości 30 m



Rys. 2. Rodzina tramwajów Combino – możliwe konfiguracje



Rys. 3. Wózek kołowy napędny



Rys. 4. Wózek kołowy toczny

rokościach toru (1000 mm, 1435 mm) i napięciach znamionowych trakcji elektrycznej (600 V DC, 750 V DC).

Na rysunku 1 przedstawiono tramwaj w wersji o długości 30 m, a na rysunku 2 – możliwości konfiguracji tramwaju.

### Moduły pojazdu Combino

#### Moduł czołowy

Moduł czołowy z przednimi drzwiami zaprojektowano z uwzględnieniem bezpieczeństwa biernego obsługi pojazdu. Szczególną uwagę zwrócono na zapewnienie:

- bardzo dobrej widoczności z kabiny motorniczego pojazdu,
- uzyskanie kontrolowanej strefy zgniotu czoła pojazdu podczas kolizji.

Szafa elektroniczna i pulpit motorniczego nie mają połączenia z elementami konstrukcji wewnętrznej pojazdu. Dzięki temu dają się one szybciej zamontować lub wymienić, ponadto dużo rzadziej ulegają uszkodzeniu podczas lżejszych wypadków. Kabina motorniczego jest oddzielona ścianą od przedziału pasażerskiego. Czoło pojazdu jest wykonane z tworzywa TWS, zapewniającego wysoką wytrzymałość mechaniczną. Na końcu pojazdu znajduje się pomocnicze stanowisko motorniczego, ułatwiające manewry pojazdem.

#### Moduł napędowy z wózkiem napędnym i tocznym

Budowa pudła wagonu z wózkiem napędnym i wózkiem tocznym jest taka sama. W dach pudła wagonu jest wbudowany kontener dachowy. Moduły z napędnym wózkiem kołowym wyposażone są w kontenery napędowe, które zawierają zespoły systemu napędowego. Moduły umieszczone są nad wózkami napędowymi, a ich masa pozwala na zwiększenie nacisku kół napędnych na szyny. Na module pojazdu z wózkiem tocznym znajduje się odbierak prądu z należącymi do niego komponentami. Wytrzymałość kontenerów dachowych umożliwia przenoszenie obciążeń chodzących po nim ludzi. Kontenery dachowe dają się łatwo konserwować, a ich zwarta budowa wyeliminowała długie połączenia elektryczne. Dzięki temu jest ułatwiona wymiana poszczególnych podzespołów, co wpływa na zmniejszenie kosztów napraw, a w konsekwencji redukcję kosztów eksploatacji pojazdu (kosztów życia pojazdu – LCC).

#### Wózki

Pojazdy ze 100% udziałem niskiej podłogi wymagają wózków o specjalnej konstrukcji.

Wózek napędny ma w pełni usprężynowane zespoły napędowe z asynchronicznymi silnikami prądu przemiennego. Podzespoły napędowe i hamulców są umieszczone po stronie bocznej wózka, co zapewnia bardzo łatwy dostęp. W zasadzie wszystkie prace konserwacyjne mogą być wykonane bez kanału roboczego. Rama wózka ma konstrukcję spawaną. Na ramie wózka oparta jest oś z elementami usprężynowania pierwszego stopnia zestawów kołowych. Usprężynowanie drugiego stopnia jest zapewnione przez umieszczone z boku wózka sprężyny śrubowe i tłumiki. Dzięki temu osiągnięto bardzo dobre parametry dynamiczne i wy-

soki komfort jazdy we wszystkich stanach obciążenia. Całkowita masa nieusprężynowana pojazdu Combino wynosi 1700 kg.

Napęd wzdłużny dwóch niezależnych kół, sprzężonych mechanicznie, zapewnia bardzo dobre prowadzenie kół podczas przejazdu przez łuki. Hamulce, połączenia elektryczne i urządzenia smarowania obrzeży obręczy zestawów kołowych umieszczone są za kłapami ochronnymi. Wszystkie kłapy ochronne są wyposażone w gazowe sprężyny naciskowe.

Wózek toczny ma taką samą ramę, jak wózek napędny, co pozwala na zunifikowanie części zamiennych i uzyskanie ich pełnej zamienności. Wózki – napędny i toczny – przedstawiono na rysunkach 3 i 4.

Combino jest pojazdem wieloprzegubowym, w związku z czym wózki są połączone z pudłem wagonu bez możliwości skrętu. Rozwiązanie takie umożliwia uzyskanie maksymalnej szerokości przejścia w module pojazdu z wózkiem kołowym, co przedstawiono na rysunku 5.

### Moduł środkowy

Moduły środkowe pojazdu zawieszane są między modułami z wózkami kołowymi. Podłoga zbudowana jest ze zespawanych profili aluminiowych. Te puste profile wraz z izolacją podpodłogową zapewniają dobrą izolację cieplną i akustyczną wnętrza pojazdu. Na suficie zamocowany jest kanał sufitowy, w którym bieżą kanały powietrzne, okablowanie i pas światła z głośnikami.

### Systemy pojazdu

#### Napęd tramwaju Combino

Schemat ideowy obwodu napędowego przedstawiono na rysunku 6. Obwód zasilania silników trakcyjnych składa się z dwóch dwupunktowych falowników, zbudowanych na elementach IGBT, chłodzonych powietrzem. Układ obwodu umożliwia hamowanie z odzyskiem energii. W technologii IGBT jest wykonana przetwornica statyczna, zasilająca obwody pomocnicze. Wykresy trakcyjne, przedstawione na rysunkach 7–12, odnoszą się do przejazdów po torach o nachyleniu 6% i 9,3%. Dane trakcyjne przedstawione są jako funkcje prędkości.

#### Ogrzewanie, wentylacja, klimatyzacja

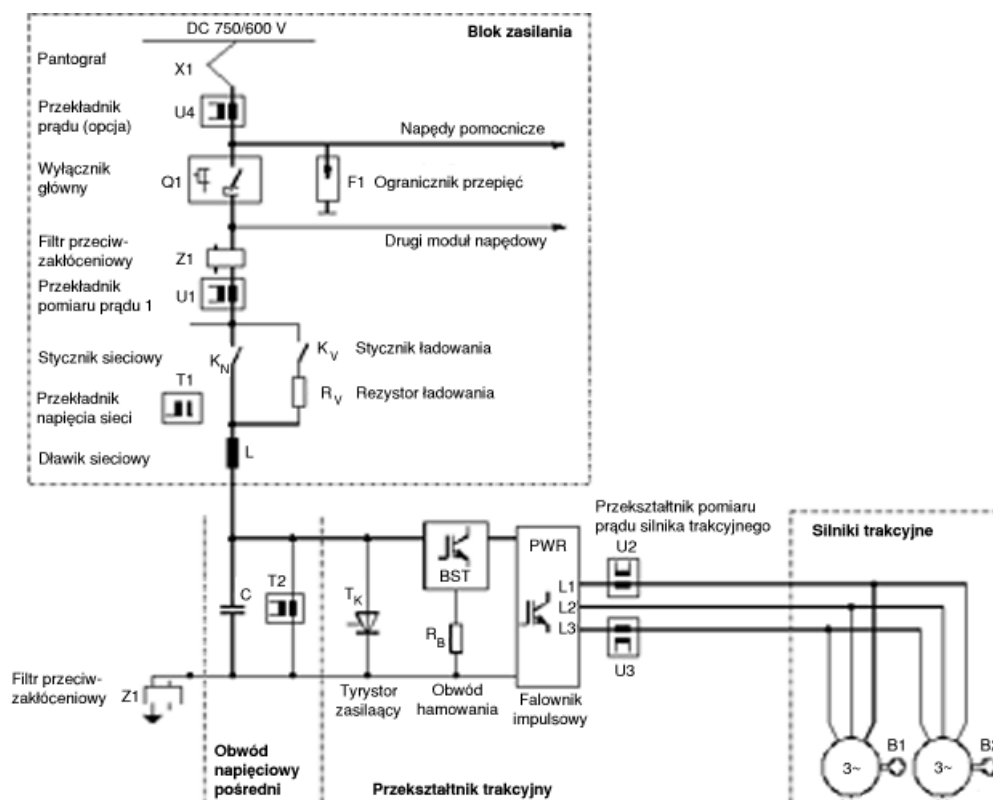
System ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji jest rozdzielony na kabinę motorniczego i wnętrze pojazdu. Kabina motorniczego jest ogrzewana i wentylowana niezależnie od przedziału pasażerskiego.



Rys. 5. Szerokie przejście w module z wózkiem kołowym

Urządzenie klimatyzacyjne kabiny motorniczego znajduje się na dachu modułu czołowego.

W przedziale pasażerskim urządzenia grzewcze, każde o mocy 3 kW, rozmieszczone są w przedziałach środkowych



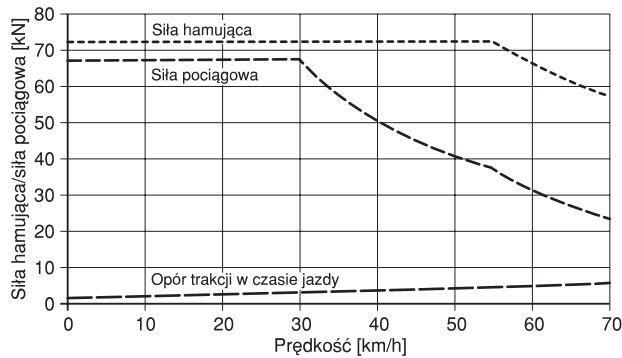
Rys. 6. Schemat ideowy obwodu tramwaju Combino

pod siedzeniami pasażerów w taki sposób, że jednocześnie ogrzewają sąsiednie przeguby i moduły z wózkami kołowymi. Urządzenie wentylacyjno-grzewcze o mocy 20 kW znajduje się na dachu każdego modułu środkowego. Prędkość obrotowa wentylatorów jest uzależniona od temperatury i prędkości jazdy. Dzięki tym agregatom uzyskuje się ciągły dopływ świeżego powietrza do przedziału. Urządzenia grzewcze podsiedzeniowe i dachowe zasilane są przede wszystkim energią rekuperowaną podczas hamowania. Przy temperaturze otoczenia do 0°C, do ogrzewania nie jest

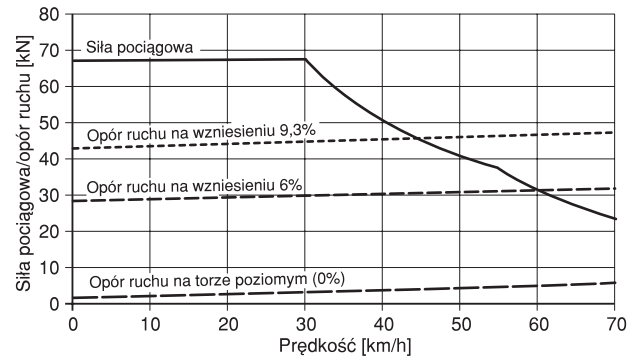
potrzebna energia zewnętrzna. Dodatkowo pojazd wyposażony jest w okna dzielone z uchylną częścią górną, dostępną dla pasażerów. Szczegółowe dane techniczne pojazdu podano w tablicy 1.

### Wejście do pojazdu

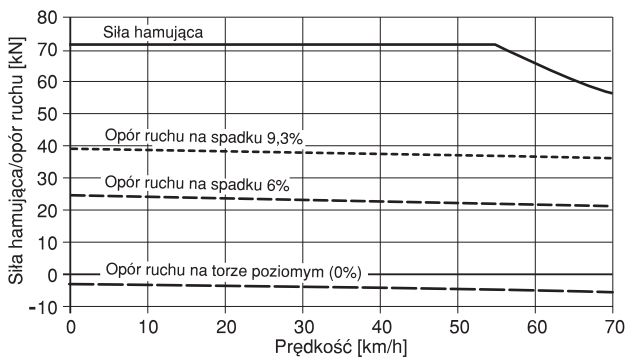
Drzwi w pojeździe wykonane są jako drzwi odskokowo-przesuwne i wyposażone są, obok czujnika prądu w silniku, w fotokomórkę w celu ochrony przed przypadkowym przytraśnięciem pasażera. Wszystkie drzwi mają mechanicz-



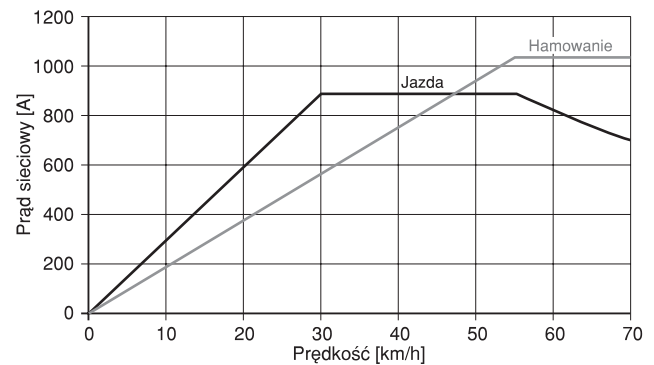
Rys. 7. Siła pociągowa i charakterystyka siły hamującej w zależności od prędkości; masa własna 32,5 t;  $\frac{2}{3}$  obciążenia – 13,1 t; tor poziomy; hamowanie podstawowe



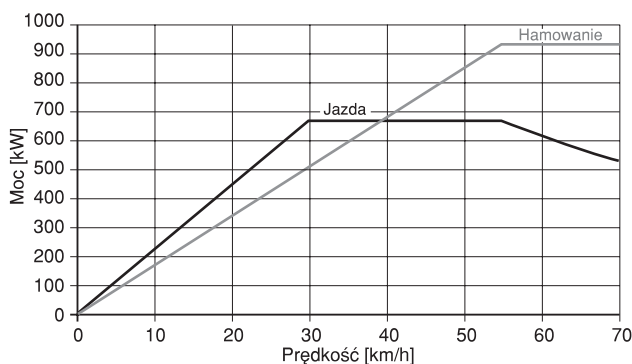
Rys. 8. Siła pociągowa w zależności od prędkości w przypadku jazdy na wzniesieniu; masa własna 32,5 t;  $\frac{2}{3}$  obciążenia – 13,1 t; hamowanie podstawowe



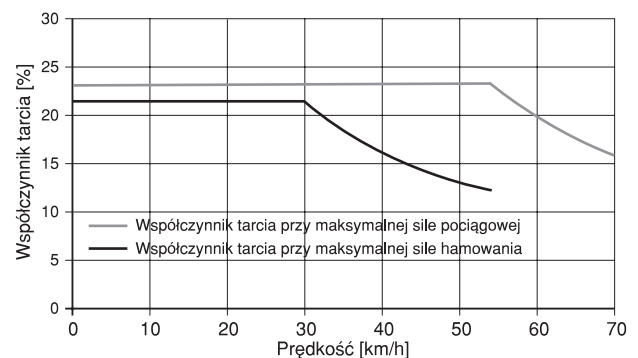
Rys. 9. Siła hamowania w zależności od prędkości w przypadku jazdy na spadku; masa własna 32,5 t;  $\frac{2}{3}$  obciążenia – 13,1 t; hamowanie podstawowe



Rys. 10. Prąd sieciowy w zależności od prędkości dla traktacji (750 V) i hamowania (900 V); masa własna 32,5 t;  $\frac{2}{3}$  obciążenia – 13,1 t; tor poziomy; hamowanie podstawowe



Rys. 11. Moc w zależności od prędkości dla traktacji i hamowania; masa własna 32,5 t;  $\frac{2}{3}$  obciążenia – 13,1 t; tor poziomy; hamowanie podstawowe



Rys. 12. Wymagany współczynnik tarcia w zależności od prędkości dla traktacji i hamowania; masa własna 32,5 t;  $\frac{2}{3}$  obciążenia – 13,1 t; tor poziomy; hamowanie podstawowe

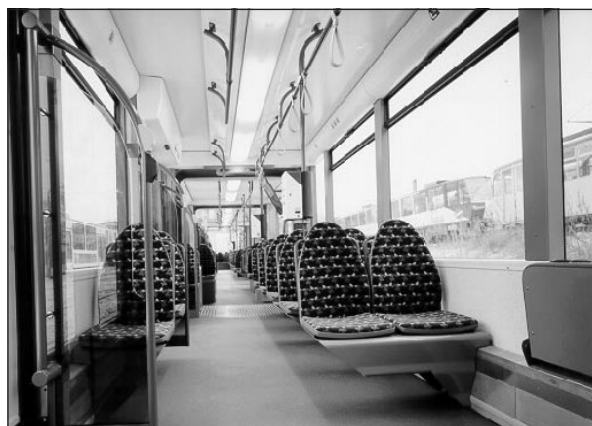
na blokadę bezpieczeństwa od wewnątrz, a jedne drzwi mają również mechaniczną blokadę od zewnątrz.

Prześwit drzwi podwójnych wynosi 1300 mm, wysokość 2100 mm. W przypadku drzwi pojedynczych przy tej samej wysokości, szerokość wynosi 650 mm.

Tramwaj Combino na całej długości pojazdu ma niską podłogę. Wysokość wejścia nad główką szyny wynosi 300 mm. Dodatkowe stopnie i podesty nie są przeszkodą w szybkiej wymianie pasażerów pojazdu.

### Wygląd wewnętrzny pojazdu

Projektując wnętrze tramwaju Combino starano się zapewnić przyjemną i przyjazną atmosferę. Dzięki dużym powierzchniom okiennym (wysokość pola widzenia wynosi od 750 mm do 2150 mm) uzyskano nie tylko jasność i przejrzystość przedziału, ale także duże poczucie bezpieczeństwa. Okna wykonano ze szkła hartowanego grubości 5 mm w tonacji „50% parsol szary”, pokrytych od wewnątrz folią chroniącą przed porysowaniem o klasie przeciwpożarowej S3. Całe wnętrze Combino – od czoła do końca pojazdu – jest przestronne, bez stopni, podestów, czy innych przeszkód. Szerokość przejścia wynosi do 600 mm do 820 mm. Nowo zaprojektowane siedzenia pasażerskie ze zintegrowanymi poręczami oferują wygodę i komfort siedzenia. System zamocowania siedzeń, wandaloodporne pokrycie, jak i odporna na niszczenie wykładzina podłogowa ułatwiają szybkie i dokładne oczyszczenie podłogi. W konstrukcji przewidziano miejsce dla wózków inwalidzkich i wózków dziecińczych.



Rys. 13. Wnętrze pojazdu

### Podsumowanie

Rozwiązania techniczne tramwaju Combino opierają się nie tylko na sprawdzonej i wypróbowanej technice. Przy wyborze rozwiązań technicznych były brane także czynniki ekonomiczne, bowiem nie tylko cena zakupu jest ważna przy określaniu ekonomiczności tramwaju. Równie istotne są koszty życia pojazdu (Life Cycle Costs – LCC), atrakcyjność dla podróżnych, a co za tym idzie stopień wykorzystania pojazdów.

Atrakcyjność Combino określają między innymi:

- ekonomiczna produkcja pojazdu,
- małe koszty eksploatacji,

### Dane techniczne przykładowej konfiguracji pojazdu Combino

<b>Pudło wagonu</b>	
Typ pojazdu	Przegubowy wagon motorowy, pięcioczęściowy, przeznaczony do ruchu w jednym kierunku
Sprzęg	2 × sprzęg holowniczy z główką Alberta, główką SCHAKU i w opcji ze sprzęgiem elektrycznym
Stan surowy – podwozie – nadwozie	Aluminium, spawane Aluminiowa konstrukcja skręcana
Moduł czołowy – podwozie – nadwozie	Aluminium, spawane Wysokojakościowe włókniaste tworzywo wielowarstwowe
Wymiary pudła wagonu – długość – szerokość	30 520 mm 2300 mm
Wysokość środka sprzęgu ponad główką szyny	455 mm
Wysokość do górnej krawędzi kontenera dachowego	3430 mm
Wysokość podłogi ponad główką szyny	300 mm
Maksymalna/minimalna wysokość robocza ponad główką szyny (z odbierakiem prądu)	6030 mm/3600 mm
Wysokość ponad główką szyny przy złożonym odbieraku prądu	3510 mm
Stopnie/podesty w pojeździe	nie ma
Wysokość wejścia nad główką szyny	300 mm
Udział części niskopodłogowej	100%
Pojemność – liczba miejsc do siedzenia – liczba miejsc stojących (4 osoby/m <sup>2</sup> ) – liczba pasażerów ogółem (4 osoby/m <sup>2</sup> )	74 101 175
<b>Dynamika jazdy</b>	
Prędkość maksymalna (zużyte koła)	70 km/h
Przyspieszenie rozruchu	1,30 m/s <sup>2</sup>
Maksymalne opóźnienie hamulca podstawowego	1,55 m/s <sup>2</sup>
Opóźnienie hamulca awaryjnego	Według normy BOSTrab
<b>Masa</b>	
Masa własna pojazdu	31,7 t
Masa przy 2/3 obciążenia pojazdu	44,0 t
Ciężar przy pełnym obciążeniu pojazdu	50,2 t
Maksymalny nacisk osi (6,7 osoby/m <sup>2</sup> + wszystkie miejsca do siedzenia zajęte)	9,0 t
Warunki adhezyjne – pojazd pusty – pojazd w pełni obciążony	71% 64%
<b>Drzwi</b>	
Liczba drzwi po jednej stronie – podwójnych – pojedynczych	4 0
Rodzaj drzwi	Odskokowo-przesuwne
Rozpiętość drzwi podwójnych/pojedynczych	1300 mm/650 mm
Minimalna szerokość przejścia (w zależności od umiejscowienia siedzeń)	750 mm
Szerokość siedzeń	430 mm
Odległość między siedzeniami	800 mm
<b>Napędne wózki kołowe</b>	
Układ osi	Bo'2'Bo'
Odstęp między zestawami kół	1800 mm
Odstęp między środkami wózków	11 440 mm
Średnica kół nowe/stare	600 mm/520 mm
Szerokość obręczy kół	95 mm
<b>Silniki</b> – liczba	4
Typ	1 TB 1422-OG A03
Rodzaj napędu	Napęd podłużny dwukolowy

cd. tab. 1

Zawieszenie	Poprzez elementy gumowe w ramie wózka
Chłodzenie	Powietrzem
Przekładnia	Jednostopniowa przekładnia z kołami stożkowymi
Sprzęgło silnik – przekładnia	Sprzęgło kłowe
Sprzęgło przekładnia – koło	Wał drążony z podwójnym klinowym sprzęgłem płytkowym
Przełożenie przekładni	5,444
Moc znamionowa każdego silnika przy prędkości obrotowej 1580 min, napięciu 380 V, natężeniu 221 A	100 kW
Maksymalna prędkość obrotowa	ok. 4500 obr./min
Masa silnika (z 4 łożyskami osiowymi i tarczą hamulcową)	472 kg
Masa napędu w komplecie (z 2 przekładniami, z 2 sprzęgłami wału drążonego)	917 kg
<b>System napędowy</b>	Dwupunktowy falownik IGBT
Liczba falowników napędowych	2
Chłodzenie	Powietrzem
Liczba statycznych przetwornic IGBT	1
Moc – AC 400 V	12 kVA
– DC 24 V	8 kW
<b>System hamulcowy</b>	
Hamowanie odzyskowe/oporowe	tak
Hamulec elektrohydrauliczny	
– napędny wózek kołowy	2-stopniowy akumulator sprężynowy bezstopniowy, elektroniczne zabezpieczenie przed poślizgiem
– wózek kołowy toczny	
Liczba hamulec szynowych	6
Siła hamowania	po 60 kN
<b>Bateria</b>	
Typ	24 V żel ołowiowy, bezobsługowa
Ilość	1
Pojemność	173 Ah
<b>Ogrzewanie, wentylacja, klimatyzacja</b>	
Liczba dachowych urządzeń grzewczych, 2100 m <sup>3</sup> /h/1400 m <sup>3</sup> /h	2
Liczba urządzeń grzewczych pod siedzeniami	10 × 3 kW
Moc grzejna w kabinie motorniczego	5 kW
Moc chłodzenia w kabinie motorniczego	4,35 kW
Wentylacja w kabinie motorniczego	500 m <sup>3</sup> /h

- spełnienie wymagań norm europejskich,
- atrakcyjność dla podróżnych – wysoki komfort i bezpieczeństwo:
  - 100% udział niskiej podłogi – bezstopniowy poziom podłogi,
  - dobra widoczność z wnętrza pojazdu (ponad 90% widoczności),
  - szerokie przejście,
  - ciągły system poręczy,
  - niski poziom hałasu,
  - wysoki komfort cieplny.

Combino jest technicznie i ekonomicznie szczególnie atrakcyjnym pojazdem dla komunikacji miejskiej. Dotychczas zostało sprzedanych ponad 290 tramwajów Combino do Poczdamu, Augsburga, Freiburga, Hiroszimy, Bazylei, Erfurtu, Nordhausen, Berna, Amsterdamu i Melbourne, co jest potwierdzeniem zalet tego pojazdu.

□ R-26/2000

Autorzy  
mgr inż. Katarzyna von Witzleben  
Siemens AG, Erlangen

dr inż. Janusz Biliński  
Siemens Sp. z o.o., Warszawa

Siemens Sp. z o.o.  
Biuro Technikum Transportowej  
ul. Żupnicza 11  
03-821 Warszawa  
tel. +48 (22) 870 83 57  
fax +48 (22) 879 83 48

# SIEMENS