

Wagony typu METROPOLIS warszawskiego metra – konstrukcja i badania

6 października 2000 r. oddany został do eksploatacji pierwszy z pociągów typu METROPOLIS zamówiony do znajdującego się w rozbudowie warszawskiego metra.

Artykuł przedstawia zasadnicze charakterystyki tego nowego taboru produkowanego przez firmę Alstom i omawia najważniejsze badania techniczne, które były przeprowadzone przed oddaniem go do eksploatacji.

Zasadnicze charakterystyki taboru

Wagony typu METROPOLIS są projektowane przy wykorzystaniu standardowych modułów i podzespołów. Umożliwia to zaproponowanie każdemu zarządowi metra pociągu odpowiadającego jego potrzebom, przy zachowaniu unifikacji podzespołów i optymalizacji kosztów produkcji.

Pociągi METROPOLIS eksploatowane przez metro warszawskie składają się z 6 wagonów: 4 wagonów silnikowych – wewnętrznych (nazywanych wagonami M) i 2 wagonów krańcowych z kabinami sterowniczymi (nazywanych wago-

namy Tc). Skład pociągu jest zatem następujący: Tc-M-M-M-M-Tc.

Dane techniczne wagonów i pociągu przedstawiono w tablicy 1.

Budowa pudła

Na pudło wagonów sterowniczych (Tc) składają się z następujące podzespoły:

- główna część pudła, zbudowana z tłoczonych profili aluminiowych,
- dwie spawane stalowe belki skrętowe, zapewniające połączenie pudła z wózkiem poprzez czop skrętu,
- tylna, spawana stalowa czołownica ramy, przeznaczona do połączenia ramy pudła z belką mocowania sprzęgów dla połączenia z pozostałymi wagonami składu,
- spawany, stalowy moduł kabinowy, umożliwiający również sprzężenie z przodu składu,
- stalowa tylna strefa zgniotu.

Budowa wagonów typu M podobna jest do budowy części tylnych wagonu typu Tc.

Wytrzymałość struktury pudła została obliczona metodą elementów skończonych za pomocą oprogramowania ANSYS. W obliczeniach uwzględniono ponad 100 tys. elementów modelujących różne części struktury. Obliczenia wykazały, że:

- obliczone naprężenia nie przekraczają wartości dopuszczalnych dla zastosowanych materiałów,
- odkształcenia struktury, w szczególności strzałka ugięcia i odkształcenia na poziomie okien i drzwi, były do przyjęcia,
- wytrzymałość zmęczeniowa struktury pudła oraz w szczególności belek skrętowych mieści się w dopuszczalnych granicach,
- częstotliwość drgań struktury pudła była kompatybilna z częstotliwością drgań wózka.

Następnie producent przystąpił do badań, które potwierdziły wyniki obliczeń, a zarazem dobre własności struktury pudła.

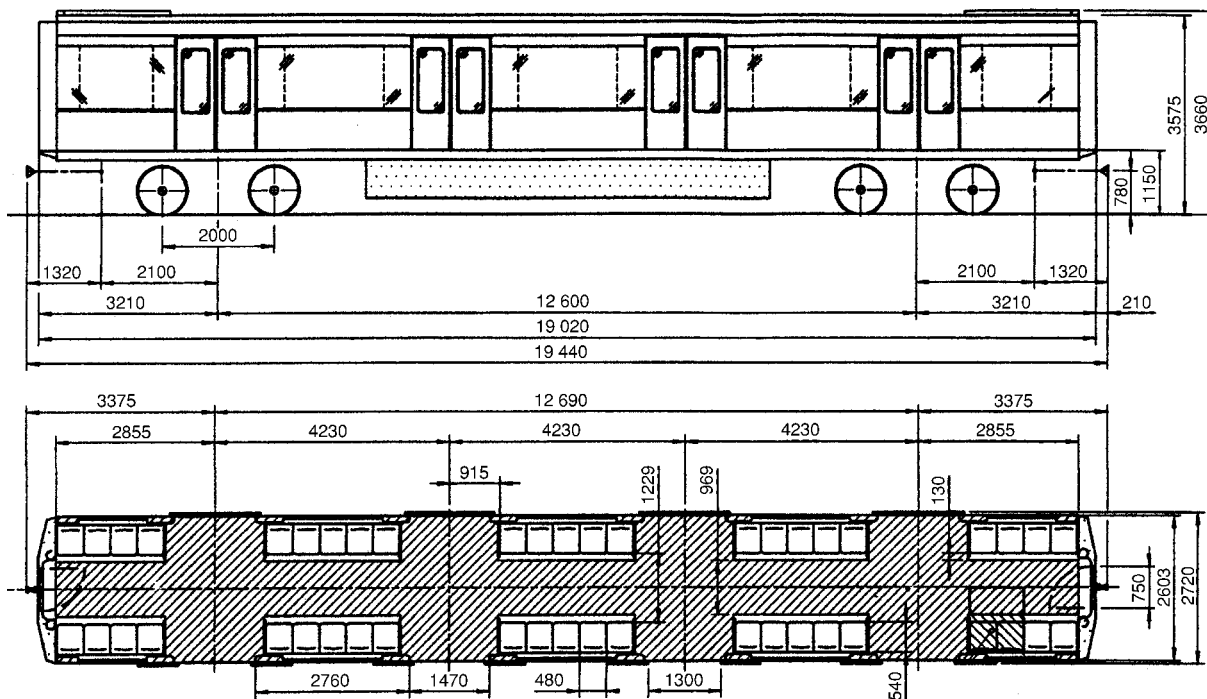
Stanowisko do badań pudła wagonu oraz wybrane jego badania przedstawiono na fotografiach 2, 3, 4, 5.



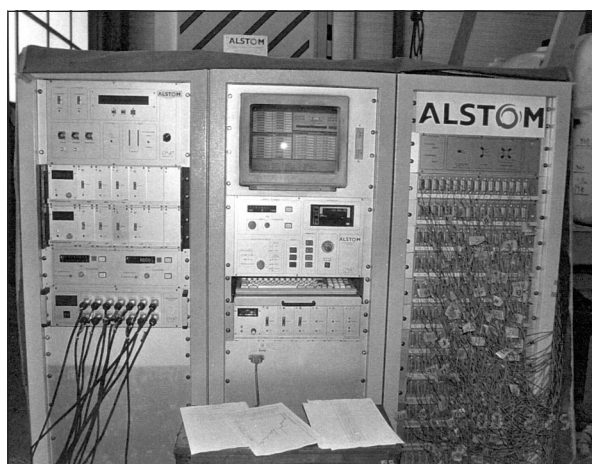
Fot. 1. Wagony METROPOLIS w lokomotywowni Kabaty



Fot. 2. Widok stanowiska badania pudła



Rys. 1. Widok ogólny i zasadnicze wymiary wagonu typu M



Fot. 3. Wyposażenie pomiarowe stanowiska badawczego

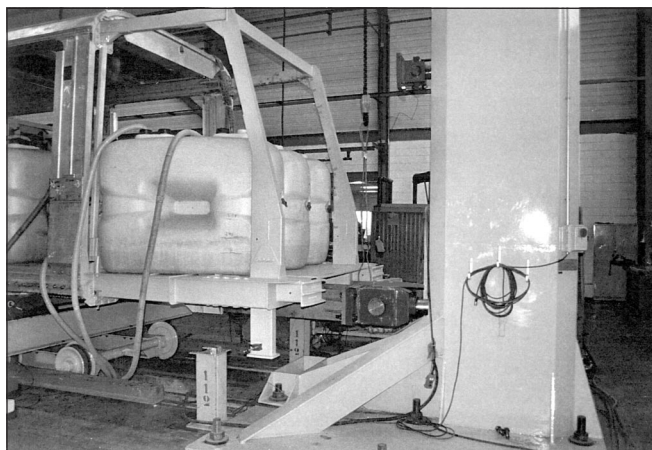
Tablica 1

Podstawowe dane techniczne taboru metra warszawskiego

		Wagon M	Wagon Tc	Cały pociąg
Długość ze zderzakami	[mm]	19 440	19 490	116 740
Szerokość całkowita	[mm]	2720	2720	2720
Wysokość całkowita (od szyny, koła nowe, wagon obciążony)	[mm]	3660	3660	3660
Wysokość podłogi (od szyny, koła nowe, wagon obciążony)	[mm]	1150	1150	1150
Masa brutto	[t]	30,6	28,1	178,6
Liczba pasażerów maksymalna słuźbowa		249	229	1454
Masa całkowita z pasażerami	[t]	48,0	44,1	280,4



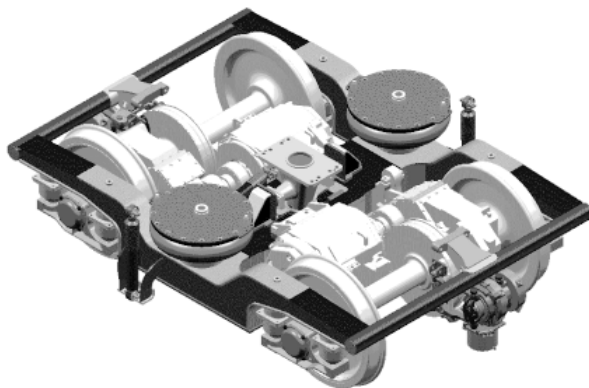
Fot. 4. Wzbudnica – widok ogólny



Fot. 5. Próby wytrzymałości sprzęgu – widok ogólny

Wózek

Widok wózka wagonu przedstawiono na fotografii 6, a jego główne parametry w tablicy 2.



Fot. 6. Ogólny widok modelu przestrzennego wózka silnikowego

Tablica 2

Podstawowe parametry wózków wagonów metra warszawskiego

		Wózek	
		napędny	nośny
Rozstaw szyn	[mm]	1435	1435
Skrajnia dolna	[mm]	50	50
Rozstaw osi	[mm]	2000	2000
Średnica koła nowego	[mm]	860	860
Średnica minimalna koła	[mm]	790	790
Obciążenie osi maksymalne	[t]	13	13
Liczba silników trakcyjnych		2	–
Przekładnia		6,94	–
Prędkość maksymalna	[km/h]	90	90
Masa wózka (bez silników)	[kg]	5743	5178



Fot. 7. Wnętrze wagonu METROPOLIS

Konstrukcja wózka, podobnie jak konstrukcja pudła, stanowiła przedmiot obliczeń metodą elementów skończonych, a następnie potwierdzona badaniami statycznymi i zmęczeniowymi.

Napęd

Każdy wagon typu M wyposażony jest w urządzenia napędu, których najważniejszymi elementami są:

- 4 odbieraki prądu (2 na wózek) odbierające prąd z trzeciej szyny,
- 2 falowniki napięcia, z których każdy zasila dwa połączone równolegle silniki asynchroniczne,
- 2 rezystory do hamowania oporowego.

Hamowanie służbowe realizowane jest w pierwszej kolejności jako elektryczne z rekuperacją, następnie jako hamowanie elektryczne oporowe, a w końcu jako hamowanie pneumatyczne.

Hamowanie nagłe jest tylko pneumatyczne.

Zespół napędowy został przetestowany na stanowisku prób firmy Alstom w Preston w Wielkiej Brytanii.

Kabina maszynisty

Kabina maszynisty była obiektem szczególnej troski z punktu widzenia warunków pracy maszynisty.

Testowane i sprawdzane były następujące czynniki:

- ogólna ergonomia prowadzenia (zwłaszcza analiza pulpitu maszynisty),
- poziom natężenia oświetlenia wewnętrznego,
- poziom natężenia pola magnetycznego wewnątrz kabiny.

Ochrona przed ogniem

Wyposażenie taboru metra zostało dobrane tak, aby maksymalnie zmniejszyć ryzyko pożarowe. Zostało ono przeanalizowane pod względem ochrony przed ogniem. Wzięto tu pod uwagę następujące kryteria:

- maksymalne zredukowanie obciążenia ogniowego,
- właściwy dobór materiałów niemetalowych,
- certyfikacja materiałów,
- rozmieszczenie elementów elektrycznych w skrzyniach metalowych, zamocowanych pod ramą wagonów, z zapewnieniem 15-centymetrowej izolacji powietrznej między skrzyniami a ramą,
- kontrola temperatury wewnętrznej w skrzyniach metalowych zawierających elementy elektroniki mocy.

Próby pociągu

□ Próby w firmie Alstom w Barcelonie

Początkowo, bezpośrednio po sprzęgnięciu wagonów przeprowadzone zostały badania statyczne (pojedyncze wagony sprawdzane były już wcześniej), które pozwoliły dopracować i potwierdzić słuszność doboru zasadniczych parametrów statycznych pociągu (drzwi wejściowe dla pasażerów, itp.).

Następnie przeprowadzone zostały na torze próbnym badania dynamiczne, przy zmniejszonej do 30 km/h prędkości pociągu, mające na celu sprawdzenie prawidłowości jego funkcjonowania w zakresie dynamiki układu napędowo-

-hamującego (badania nie miały na celu sprawdzenia osiągnięć pociągu).

□ Próby w Warszawie

Po wykonaniu prób w firmie Alstom w Barcelonie, po przetransportowaniu pociągów do Warszawy, zostały przeprowadzone główne próby na linii metra w celu potwierdzenia jego parametrów technicznych. Przeprowadzono między innymi następujące badania:

- skrajni,
- współpracy z sygnalizacją,
- napędu i hamowania,
- łączności radiowej,
- układu automatycznej kontroli prędkości (ATP).

Badania skrajni

Próby te polegały na sprawdzeniu istnienia bezpiecznej odległości między pociągiem a urządzeniami stałymi tunelu. Przetestowane zostały wszystkie następujące przypadki:

- pociąg próżny i obciążony znamionowo maksymalnie (obciążenie maksymalną liczbą pasażerów zastąpiono workami z piaskiem),
- prędkość minimalna i maksymalna,
- zawieszenie w stanie normalnym i w stanie uszkodzonym,
- koła nowe i zużyte (podłożono podkładki w miejscach krytycznych pociągu w celu symulowania obniżenia się pojazdu będącego wynikiem zużycia obręczy kół).

Badania współpracy z sygnalizacją

Badania te polegały na sprawdzeniu czy pociąg nie generuje szkodliwych prądów mogących zakłócać układ sygnalizacji metra warszawskiego.

W praktyce mierzone były prądy (amplituda i częstotliwość) pobierane z trzeciej szyny przez układ napędowy. Nie stwierdzono szkodliwego wpływu na obwody torowe.

Badania napędu i hamowania

Celem tych badań było sprawdzenie właściwości dynamicznych pociągu, to znaczy:

- przyspieszenia maksymalnego i osiągnięcia prędkości maksymalnej dla pociągu nieobciążonego i dla pociągu obciążonego maksymalną liczbą pasażerów w warunkach normalnej eksploatacji,
- drogi hamowania przy maksymalnej sile hamowania służbowego od prędkości początkowych 90, 60 i 30 km/h dla pociągu nieobciążonego i obciążonego maksymalnie,
- drogi hamowania nagłego dla tych samych przypadków, jak dla hamowania służbowego,

Główne parametry napędu wagonu metra warszawskiego

Napięcie zasilające	[V]	750 (500–950)
Prędkość maksymalna	[km/h]	90
Przyspieszenie maksymalne	[m/s ²]	1,2 (do 25 km/h)
Opóźnienie maksymalne hamowania służbowego	[m/s ²]	1,18 (tylko elektryczne) 1,3 (elektryczne i pneumatyczne)
Opóźnienie hamowania nagłego	[m/s ²]	1,4 (tylko pneumatyczne)
Zmiana przyspieszenia/opóźnienia	[m/s ³]	1,0
Moc silnika	[kW]	180
Moc rezystora	[kW]	88

- sprawdzenie ograniczenia zmian przyspieszenia i opóźnienia,
- sprawdzenie systemów przeciwpoślizgowych i zapobiegających blokowaniu kół podczas hamowania (w celu znacznego zmniejszenia przyczepności powierzchnię szyn zwilżono wodą z mydłem).

Badania łączności radiowej

Badania te sprowadzały się praktycznie do sprawdzenia dobrego działania radia (moc i częstotliwość), niezbędnego dla maszynisty i dla punktu centralnego sterowania w celu utrzymania łączności podczas jazdy pociągu.

Badania układu automatycznej kontroli prędkości (ATP)

Metro warszawskie wyposażone jest w system automatycznej kontroli prędkości ATP (typ SOP-2), zapewniający następujące główne funkcje:

- sygnalizacja w kabinie maszynisty zajęcia linii oraz maksymalnej dopuszczalnej prędkości,
- włączanie hamowania służbowego w przypadku przekroczenia dopuszczalnej prędkości,
- włączanie hamowania nagłego w przypadku niezadziałania w przeciągu 5 s hamowania służbowego.

Funkcje te były testowane na linii metra w Warszawie.

□

Autor

Laurent Fromont

w firmie Alstom główny projektant wagonów METROPOLIS dla warszawskiego metra

Tłum. W. Lewandowski