

Wagony typu Metropolis dla warszawskiego metra

W październiku 2000 r. rozpoczęto w warszawskim metrze eksploatację pierwszych pociągów złożonych z wagonów z rodziny Metropolis, dostarczonych przez ALSTOM Konstal S.A. Informacje dotyczące przetargu na dostawę wagonów, transportu na trasie Gdańsk – Warszawa oraz niektóre szczegóły techniczne znalazły się w artykule „Nowe wagony dla metra warszawskiego”, zamieszczonym w wakacyjnym numerze *tts*. Poniżej przedstawiamy opis budowy tych wagonów.

Dostarczane w ramach umowy podpisanej 22.07.1998 r. wagony są w pełni zgodne z warunkami technicznymi jakie postawiło Metro Warszawskie rozpisując przetarg na dostawę nowego typu taboru. Konstruktorzy wagonów typu Metropolis musieli spełnić warunki dostosowania ich do wymagań Metra Warszawskiego, takie jak np. obowiązująca skrajnia, parametry układu zasilania, geometria torów i linii metra, a nawet zakresy temperatur pracy elementów taboru.

W pociągach są dwa typy wagonów: z kabiną sterowniczą i bez napędu oznaczane jako – Tc, oraz napędowe oznaczane jako – M. Konfiguracja wagonów w pociągu jest następująca: Tc-M-M-M-M-Tc. Pociąg może być eksploatowany tylko jako całość, bez możliwości zmiany długości lub ustawienia wagonów. Całkowita długość pociągu wynosi 116,7 m.

Wagony są przystosowane do peronu o wysokości 1100 mm. Wymiary przedstawiono na rysunkach 1 i 2.

Układ mechaniczny Wózki wagonów

Ze względu na dwa typy wagonów konieczne było zastosowanie dwóch typów wózków – niewymienialnych między sobą. Każdy z wagonów Tc i M ma dwa wózki o zbliżonych charakterystykach (rys. 3 i 4).

Zestawy kołowe wózków wyposażone są w koła monoblokowe o profilu obręczy 28ACO-135. Między kołami w wózku napędowym zamocowane jest koło zębate prze-

kładni i wentylowana tarcza hamulcowa. W wózku tocznym nie ma koła zębatego przekładni, natomiast zamontowane są dwie tarcze hamulcowe. W każdej żeliwnej maźnicy znajdują się dwurzędowe łożyska baryłkowe, smarowane smarem stałym. Na dwóch wspornikach z obu stron maźnic opierają się metalowo-gumowe „sprężyny stożkowe” stanowiące zawieszenie I stopnia. Ich konstrukcja umożliwia poprzeczne ustawienie zestawów kołowych. Nie wymagane są dodatkowe elementy tłumiące w tym stopniu zawieszenia. Zapewniona jest też izolacja elektryczna łożysk maźniczych.

Rama każdego z wózków ma kształt litery „H”. Jest to konstrukcja spawana, składająca się z dwóch podłużnic połączonych środkową poprzecznicą. Dwie pomocnicze poprzecznicę końcowe (przyspawane do końców podłużnic) przeznaczone są do zamontowania cylindrów hamulcowych (dwa na każdej poprzecznicę końcowej w wózku Tc, jeden w wózku M).

Do poprzecznicę środkowej wózka M zamocowane są dwa silniki trakcyjne.

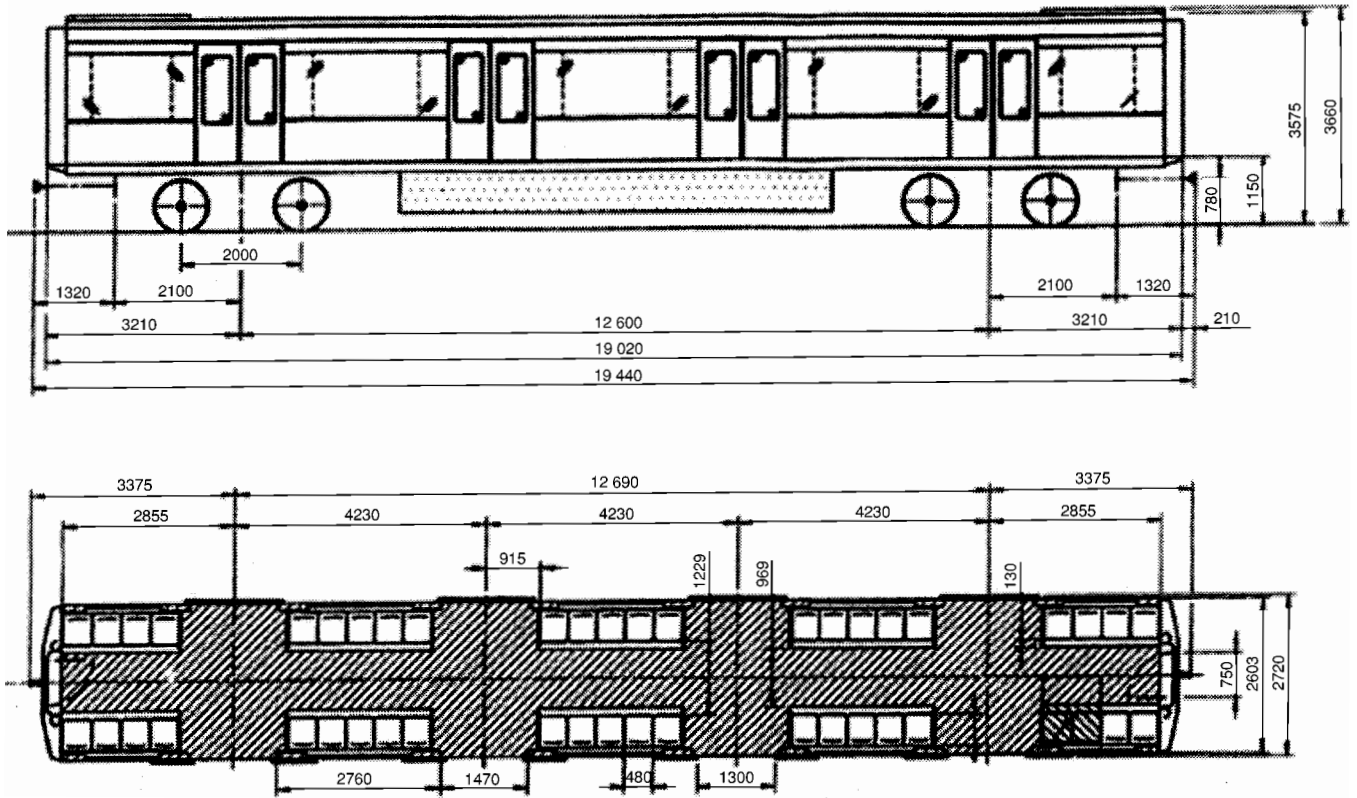
Moment obrotowy silnika jest przekazywany do dwustopniowej przekładni za pomocą zewnętrznego sprzęgła zębatego. Przekładnia z jednej strony oparta jest na osi zestawu kołowego, z drugiej za pomocą drążka reakcyjnego i elementów metalowo-gumowych, podwieszona do środkowej poprzecznicę ramy wózka. Walcowe koła zębate przekładni mają zęby skośne i razem z łożyskami smarowane są olejem przekładni.

Zawieszenie II stopnia zbudowane jest ze sprężyn (poduszek) pneumatycznych (po dwie na każdy wózek) znajdujących się między ramą wózka a pudłem wagonu. Stała wysokość podłogi wagonu jest regulowana przez dwa zawory ważące (poziomujące) umieszczone na każdym wózku. W przypadku awarii poduszek pudło wagonu będzie się opierać na specjalnych odbojach, co umożliwi awaryjny zjazd pociągu z linii.

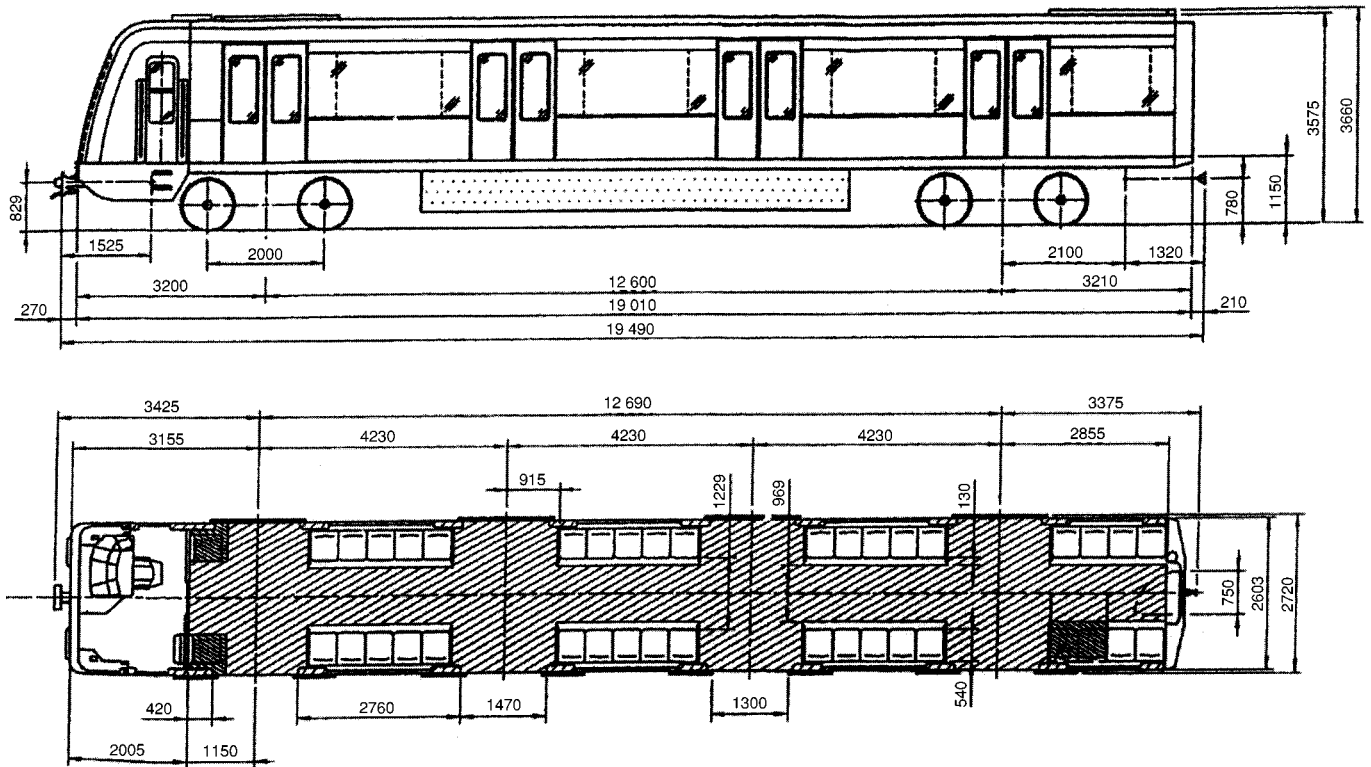


Fot. 1. Wagon dla warszawskiego metra

Fot. J. Raczyński



Rys. 1. Wymiary wagonu napędowego M



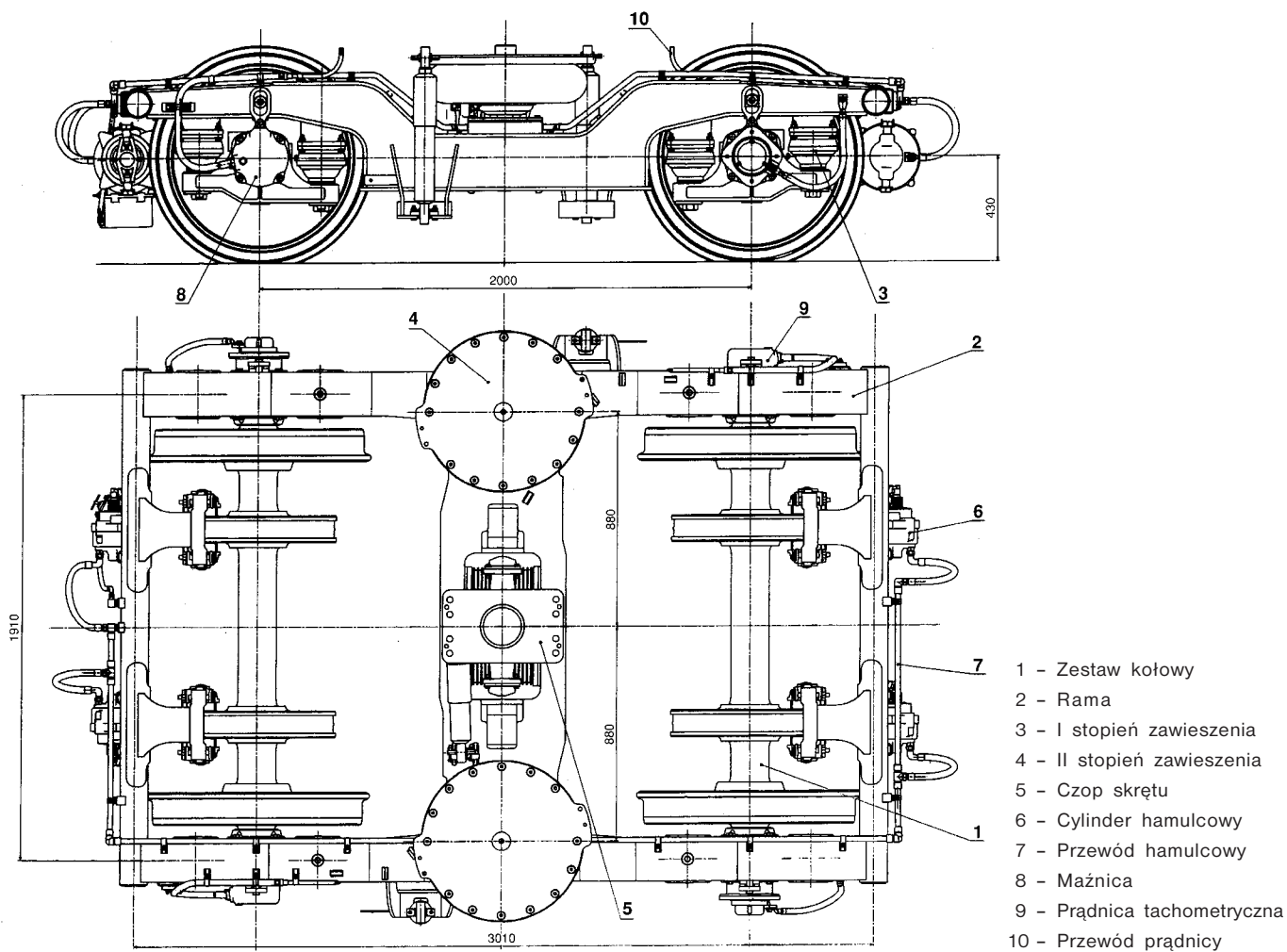
Rys. 2. Wymiary wagonu sterowniczego Tc

Wybrane parametry techniczne wagonów metra typu Metroplis

Parametr		Wagon Tc	Wagon M
Masa próżnego wagonu	[kg]	28 200	31 800
Maksymalna prędkość	[km/h]	90	
Średnie przyspieszenie do prędkości 25 km/h (przy pociągu nominalnie obciążonym)	[m/s ²]	1,2	
Czas osiągnięcia prędkości 90 km/h	[s]	46,3	
Maksymalne opóźnienia hamowania wagon nominalnie obciążony, hamowanie:			
– elektrodynamiczne	[m/s ²]	1,18	
– służbowe	[m/s ²]	1,30	
– awaryjne (pneumatyczne)	[m/s ²]	1,40	
Minimalny promień łuku			
– na szlaku	[m]	300	
– na stacji techniczno-postojowej	[m]	70	
Nominalne napięcie zasilania (prądu stałego) [V]		—	750
Dopuszczalne wahania napięcia zasilającego [V]		—	500 ÷ 950
Zakres wahań temperatur			
– w tunelu	[°C]	5 ÷ 35	
– na powierzchni (eksploatacja do 10 min)	[°C]	-35 ÷ +40	
Liczba miejsc do siedzenia		36 + 4	44 + 2
Maksymalna pojemność wagonu przy 6,7[os./m ²]		229	249

Podstawowe parametry wózków wagonów Metroplis

Parametr		Wózek napędowy toczny	
Baza wózka	[mm]	2000	
Liczba osi		2	
Średnica koła nowego	[mm]	860	
Średnica koła maksymalnie zużytego	[mm]	790	
Maksymalny nacisk zestawu kołowego na tor	[kN]	127,5	
Liczba silników trakcyjnych		2	—
Liczba przekładni		2	—
Przełożenie przekładni		6,94	—
Liczba tarcz hamulcowych		1	2
Masa wózka	[kg]	6900	5160

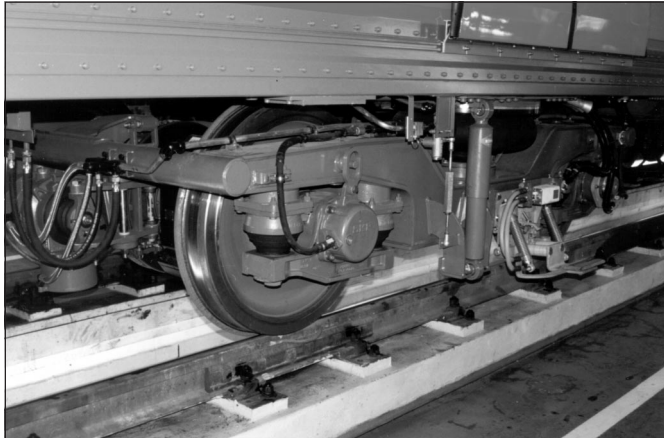


Rys. 3. Wózek toczny

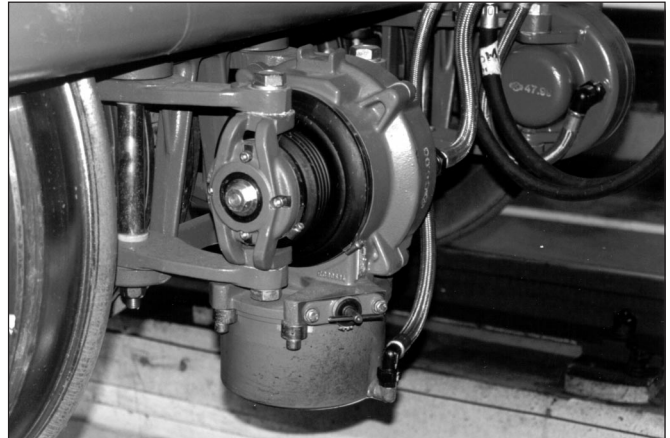
Przemieszczenia pudła wagonu są tłumione przez dwa pionowe i jeden poziomy amortyzator hydrauliczny.

Połączenie wózka wagonu z pudłem jest zapewnione przez czop skrzętu zamontowany do pudła i gniazdo czopa skrzętu, zamocowane w poprzecznicy środkowej wózka, z wykorzystaniem czterech gumowych pakietów. Dodatkowym elementem tłumiącym jest elastomerowa tuleja w gnieździe czopa.

Z każdej strony wózka napędowego do jego ramy zamocowany jest odbierak prądu. Docisk ślizgu odbieraka do dolnej powierzchni trzeciej szyny zapewniają sprężyny śrubowe. Odbierak jest wyposażony w blokadę mechaniczną, unieruchamiającą ślizg w dolnym położeniu – przy braku styku z trzecią szyną. W pobliżu każdego odbieraka znajduje się skrzynka z bezpiecznikiem chroniącym układ elektryczny wagonu.

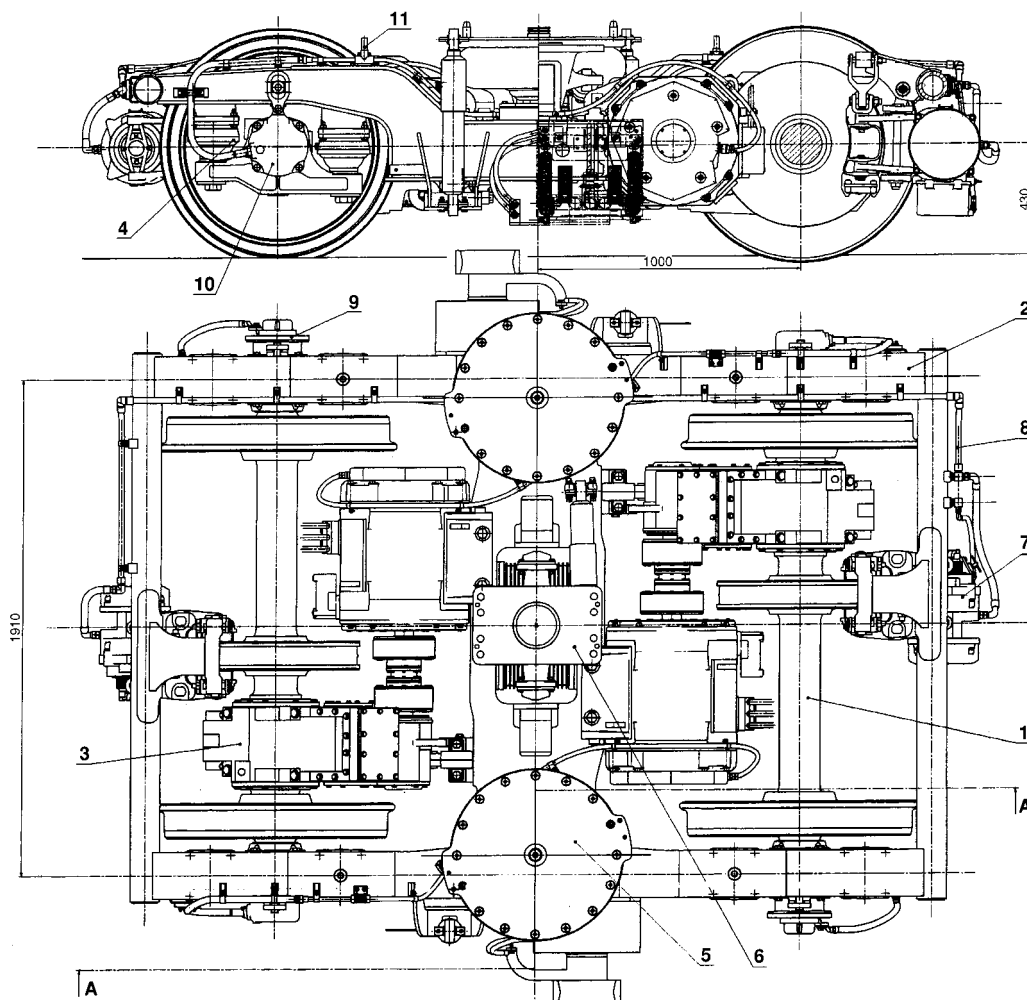


Fot. 2. Wózek napędowy



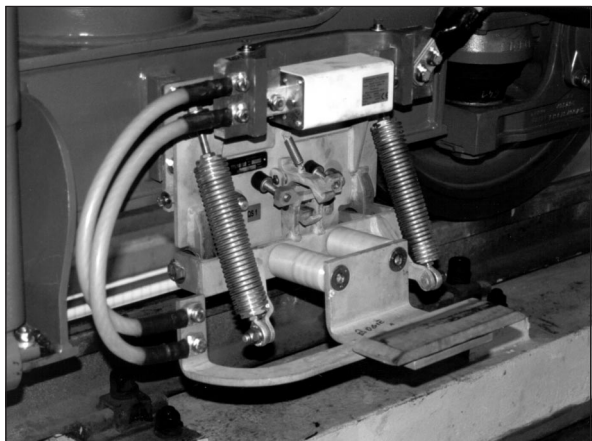
Fot. 3. Wózek toczny – cylinder hamulcowy

Fot. J. Raczyński



- 1 - Zestaw kołowy
- 2 - Rama
- 3 - Przekładnia
- 4 - I stopień zawieszenia
- 5 - II stopień zawieszenia
- 6 - Czop skrzętu
- 7 - Cylinder hamulcowy
- 8 - Przewód hamulcowy
- 9 - Prądnica tachometryczna
- 10 - Maźnica
- 11 - Przewód prądnic

Rys. 4. Wózek napędowy



Fot. 4. Wózek napędowy – odbierak prądu Fot. J. Raczyński

Wózki toczne wyposażone są dodatkowo w montowane na pokrywach maźniczych czujniki prędkości, urządzenia prądu powrotnego, a skrajne wózki w umieszczone na specjalnych wspornikach anteny systemu ograniczenia prędkości (SOP-2), smarownice obrzeży kół i autostop.

Pudło i wyposażenie wnętrza wagonu

Pudło wagonów Metropolis jest spawano-nitowaną konstrukcją aluminiowo-stalową. Ze spawanych profili aluminiowych wykonane jest podwozie, ściany boczne i dach pudła. Elementy te są łączone ze sobą za pomocą specjalnych, zrywalnych nitów. Wzdłuż belki bocznej podwozia i belki bocznej dachu wykonane są cztery rzędy nitów. Ściany końcowe, belki skrętowe, czołownice przednia i tylna, wzmocnienie kabiny maszynisty są spawanymi konstrukcjami stalowymi. Elementy te mocowane są do podwozia, ścian i dachu również za pomocą zrywalnych nitów.

W miejscach styku elementy stalowe i aluminiowe są odizolowane od siebie warstwą specjalnej farby.

Pudła wagonów Tc i M są podobne, jedyne różnice wynikają z tego, że w wagonie Tc jest kabina maszynisty. Wykonana z żywicy fenolowej kabina zamocowana jest do podwozia wagonu na specjalnym, stalowym wzmocnieniu.

Pudła wagonów zostały pomalowane z zewnątrz farbami poliuretanowymi zgodnie z uzgodnionym z Metrem Warszawskim projektem kolorystyki. Trwałość powłok jest zakładana na co najmniej 5 lat.

Rozplanowanie wnętrza wagonu przedstawiono na rysunkach 1 i 2.

Podłoga przedziału pasażerskiego wykonana jest z wlewanej żywicy poliuretanowej z granulatami z elastomeru. Dzięki temu uzyskano gładką i równą powierzchnię, łatwą w utrzymaniu czystości. Wytrzymałość podłogi na nacisk wynosi ok. 6,8 kN/m². Trwałość jest oceniana na nie mniej niż 10 lat eksploatacji.

Z każdej strony wagonu znajduje się czworo rozsuwanych drzwi, każde o szerokości 1300 mm, których skrzydła przemieszczają się po prowadnicach umieszczonych na ścianach zewnętrznych wagonu. Napęd drzwi zapewnia silnik elektryczny prądu stałego. Od strony przedziału pasażerskiego drzwi są pokryte polerowaną blachą nierdzewną, co uła-



Fot. 5. Wnętrze wagonu

Fot. M. Prochownik

twi utrzymanie czystości i usuwanie graffiti. Sterowanie drzwiami odbywa się z pulpitu maszynisty. W sytuacjach awaryjnych można każde z drzwi odblokować ręcznie przez pociągnięcie do dołu specjalnej, pomalowanej na czerwono dźwigni.

W górnej części każdego skrzydła drzwiowego zamontowana jest szyba wykonana ze szkła hartowanego o grubości 8 mm.

Konstrukcja drzwi zapewnia dużą wytrzymałość mechaniczną, dobrą szczelność i izolację akustyczną.

Odchylane drzwi umieszczone w ścianach końcowych wagonów (szerokość w świetle 750 mm) są w czasie normalnej eksploatacji zamknięte – nie są przeznaczone dla podróżnych.

Wszystkie okna boczne wagonu Metropolis są nieotwieralne. Do pudła wagonu są montowane za pomocą profili elastomerowych, co gwarantuje dobrą szczelność. Szyby o grubości 8 mm są wykonane z hartowanego, wzmocnionego bezodpryskowego szkła.

Ściany przedziału pasażerskiego są wyłożone panelami poliwęglanowymi i aluminiowymi. Panele są zamontowane do poszycia pudła za pomocą zatrzasków i dwustronnych taśm klejących. Osłony napędów drzwiowych wykonane są z poliestru i zamykane zamkami otwieranymi kluczem trójkątnym.

Wentylacja przedziału pasażerskiego jest zapewniona przez dwa zespoły wentylacyjne zamontowane na dachu każdego wagonu. Przefiltrowane powietrze jest rozprowadza-



Fot. 6. Odchylane drzwi awaryjne – widok otwartych drzwi z zewnątrz
Fot. J. Raczyński



Fot. 7. Odchylane drzwi awaryjne – widok z wnętrza wagonu
Fot. J. Raczyński

ne we wnętrzu pociągu przez dwa kanały umieszczone pod sufitem i wprowadzane do przedziału pasażerskiego przez specjalne kratki wentylacyjne. Taki system zapewnia równomierną wentylację wagonu, niezależną od prędkości jazdy i minimalizuje hałas. Wydajność systemu wentylacyjnego zapewnia, przy czystych filtrach, przepływ powietrza w każdym wagonie co najmniej 7900 m³/h. Zastosowany system zasilania zespołu wentylatorów zapewnia normalne przewietrzanie wagonów przez co najmniej 30 min w przypadku braku napięcia w szynie zasilającej pociąg. Przyjęcie wymuszonego systemu wentylacji umożliwiło zastosowanie w przedziałach pasażerskich nieotwieranych okien.

Przy konstruowaniu wagonu Metropolis zrezygnowano z umieszczania jakichkolwiek podzespołów obwodów pociągu we wnętrzu przedziału pasażerskiego. Dało to możliwość przymocowania siedzeń dla pasażerów bezpośrednio do ścian, co znacznie poprawiło estetykę i ułatwiło sprzątnięcie wagonu.

Ze względu na dużą liczbę podróżnych, którzy w godzinach szczytu korzystają z warszawskiego metra, przyjęto wzdłużny układ siedzeń. Zastosowano siedzenia pokryte tkaniną, z wandaloodporną wkładką typu NAPPE 2000, w których sprężynami są pręty z włókna szklanego. W miejscach przewidzianych dla osób niepełnosprawnych i wózków dziecięcych zamocowano siedzenia odchylane.

Poręcze i słupki wykonane są ze stali nierdzewnej, co powinno zapewnić ich trwałość. W wagonach Metropolis poręcze zamontowane są do siedzeń przy każdych drzwiach wejściowych oraz pod sufitem, mocowane do pionowych słupków ustawionych w osi wagonu.

Oświetlenie przedziału pasażerskiego zapewniają dwa rzędy lamp luminescencyjnych, umieszczonych pod sufitem. Natężenie oświetlenia, mierzone w odległości 800 mm od podłogi i 600 mm od oparcia siedzenia, jest nie mniejsze niż 150 lx. W przypadku braku zasilania załączane są jedynie cztery świetlówki, równomiernie rozmieszczone w wagonie, co daje oświetlenie awaryjne o natężeniu 5 lx. Czas pracy zasilanego z baterii oświetlenia awaryjnego nie jest krótszy niż 30 min.

Informacja dla pasażerów ogłaszana jest przez sześć głośników umieszczonych w wagonie i wyświetlana na wyświetlaczach zamontowanych na końcowych ścianach przedziału pasażerskiego. Wyświetlacze zbudowane są z monochromatycznych diod elektroluminescencyjnych (LED) w kolorze czerwonym. Sterowanie systemem informacji odbywa się z pulpitu maszynisty.

W wagonach Metropolis zastosowano system łączności pasażer – maszynista umożliwiającą głosową komunikację podróżnego z prowadzącym pociąg. Po naciśnięciu przycisku urządzenia, zamontowanego przy drzwiach wejściowych do

przedziału pasażerskiego, pasażer może porozumieć się z maszynistą w systemie „full duplex”.

Konstruktorzy wagonów starali się zapewnić dobre warunki pracy dla maszynistów. Kabina jest przestronna, wyposażona w drzwi umożliwiające wyjście na perony znajdujące się z obu stron pociągu. W tylnej ścianie kabiny znajdują się drzwi do przedziału pasażerskiego. Regulowany fotel umieszczony jest z prawej strony wagonu. Przed fotelem znajduje się ergonomiczny pulpit, na którym rozmieszczone są urządzenia niezbędne do bezpiecznego i wygodnego prowadzenia pociągu.

W lewej części pulpitu znajduje się konsola COMET-1 (fot. 8). Jest to wyświetlacz systemu diagnostyki, na którym w czasie rzeczywistym podawane są maszyniście informacje o niektórych parametrach pociągu, wykrytych nieprawidłowościach i awariach.

W prawej części pulpitu znajduje się sześciopozycyjny wybierak trybu jazdy oraz suwakowy nastawnik jazdy, w którego rękojeści umieszczono przycisk aktywnego czuwaka.

Szyba czołowa kabiny wykonana jest z bezodpryskowego, warstwowego szkła, wzmocnionego za pomocą płyt z butyralu. Na zewnątrz szyby czołowej znajduje się wycieraczka z napędem elektrycznym i spryskiwacz. W górnej części szyby czołowej znajduje się wyświetlacz, na którym wyświetlana jest nazwa stacji docelowej. Budowa wyświetlacza czołowego jest taka sama, jak zamontowanych w przedziale pasażerskim – tylko litery są większe.

Obserwację peronu, oprócz luster i monitorów umieszczonych na stacjach, zapewniają chowane lusterka zewnętrzne z napędem pneumatycznym, uruchamiane przyciskami na pulpicie maszynisty.

Z lewej strony ściany czołowej znajdują się, otwierane do góry, drzwi ewakuacyjne. Drzwi te, o wymiarach w świetle 922×2121 mm, pozwalają na wyjście z kabiny maszynisty w sytuacjach awaryjnych. Krawędź drzwi umieszczona jest na wysokości 1400 mm od poziomu główki szyny. Zejście na torowisko jest możliwe przy użyciu specjalnej aluminiowej drabinki, która zamocowana jest w czasie normalnej eksploatacji na ścianie za fotelem maszynisty.

Kabina może być ogrzewana grzejnikiem elektrycznym i wentylowana przez wentylatory z napędem elektrycznym.

Bezpieczeństwo ruchu pociągów gwarantuje, sprawdzony w eksploatacji metra warszawskiego, system SOP-2. Działanie systemu SOP-2 opisano w *tts* 10/1995. W konstrukcji wagonów Metropolis przewidziano możliwość uruchamiania dodatkowych funkcji tego systemu, które obecnie nie są wykorzystywane (automatyczne zawracanie, zdalne wyprowadzanie pociągu z tunelu, jazda „docelowa”).

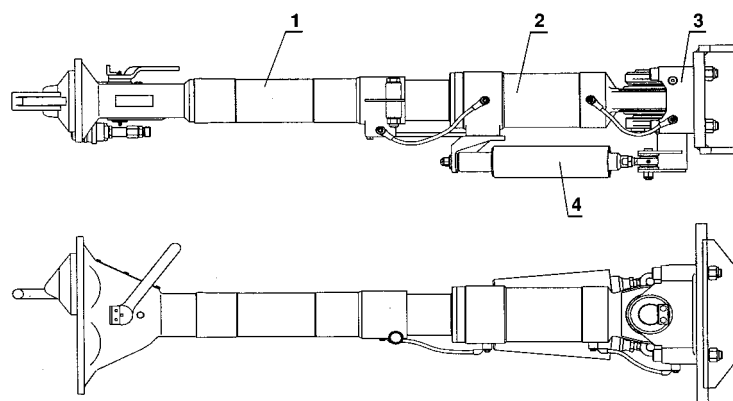
W kabinie znajduje się system rejestracji zdarzeń firmy ATM oraz radiotelefon Motorola.

Sprzęgi wagonowe

W konstrukcji wagonów zastosowano dwa typy sprzęgów – półautomatyczny (rys. 5, fot. 9), umieszczony z przodu wagonów z kabiną (Tc), oraz międzywagonowy (rys. 6, fot. 10) do połączenia wagonów między sobą.

Sprzęg półautomatyczny pozwala na mechaniczne połączenie dwóch pojazdów bez konieczności ręcznej obsługi. Rozprzęganie odbywa się ręcznie. Zastosowany w wagonach Metropolis sprzęg półautomatyczny wyposażony jest w taką samą głowicę, jak w wagonach produkcji rosyjskiej. Pozwala to w sytuacjach awaryjnych na mechaniczne połączenie obu typów wagonów.

Podstawowymi podzespołami sprzęgu jest połączona na stałe z trzpieniem głowica, aparat pociągowo-zderzny oraz



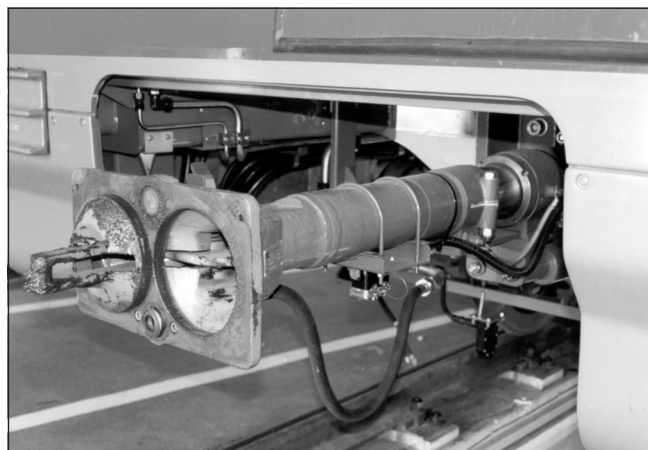
Rys. 5. Sprzęg półautomatyczny

1 - głowica z trzpieniem, 2 - aparat pociągowo-zderzny, 3 - wspornik czołownicy wagonu, 4 - cylinder centrujący



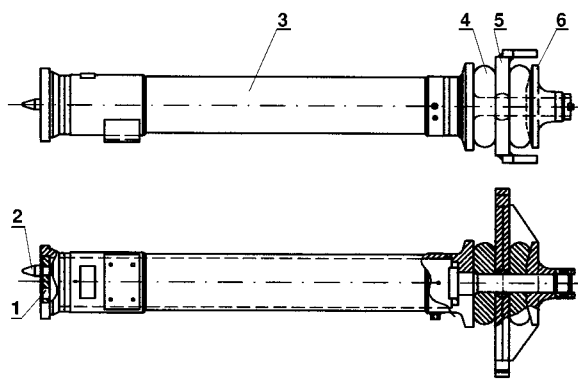
Fot. 8. Pulpit maszynisty

Fot. J. Raczyński

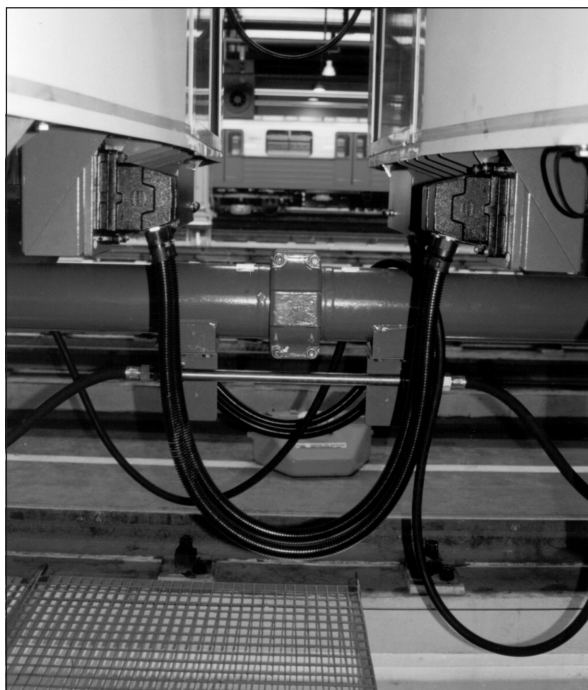


Fot. 9. Sprzęg czołowy

Fot. J. Raczyński



Rys. 6. Sprzęg międzywagonowy
1 - sworznię centrujący, 2 - gniazdo sworzni, 3 - trzpień sprzęgu, 4 - amortyzator gumowy, 5 - czołownica wagonu, 6 - tarcza mocująca



Fot. 10. Sprzęg międzywagonowy

Fot. J. Raczyński

sprężynowe cylindry centrujące. Głowica sprzęgu wraz z trzpieniem połączona jest z aparatem pociągowo-zderznym przez skręcaną śrubą obejmę. Wewnątrz aparatu pociągowo-zderznego znajduje się olejowo-gazowy amortyzator. Za pomocą przegubu i sworzni sprzęg połączony jest z czołownicą przednią wagonu Tc. Centrowanie sprzęgu zapewniają dwa sprężynowe cylindry umieszczone od dołu.

Z tyłu wagonów Tc i na obu końcach wagonów M zamontowane są sprzęgi stałe. Dwa sprzęgi łączą się ze sobą specjalnymi obejmami i śrubami.

Układ elektryczny

Układ napędowy

System napędowy pociągu składa się z niezależnych systemów dla każdego wagonu M. Jeden system napędowy jest przypisany do każdego wózka.

Każdy z wagonów M jest wyposażony w następujące urządzenia:

- skrzynię falownika, zawierającą dwa falowniki trakcyjne ONIX 800 wraz z elektroniką sterowania napędem (system AGATE);
- cztery silniki trakcyjne i przekładnie mechaniczne;
- dwa dławiki wejściowe (na wspólnej ramie);
- dwa rezystory hamowania zamontowane we wspólnej obudowie i chłodzone w sposób wymuszony.

Każdy z wagonów Tc ma następujące podstawowe urządzenia:

- nastawnik jazdy;
- urządzenie kodujące (koder), zamieniające położenie (wychylenie) nastawnika na sygnał elektryczny.

Nastawnik jazdy jest sterownikiem napędu i hamowania złożonym z trzech głównych podzespołów:

- 1) obrotowego wybieraka kierunku jazdy i jej trybu;
- 2) liniowego nastawnika rozruchu i hamowania, w którego dźwigni umieszczono przycisk czuwaka aktywnego;
- 3) stacyjki z kluczykiem do załączania i wyłączania pociągu.

Pokrętło wybieraka kierunku jazdy i jej trybu ma sześć położeń: jazda manewrowa do tyłu (JMT), neutralne, wyłączony (0), jazda manewrowa do przodu – przejazd przez myjnię (JM1), jazda manewrowa do przodu (JM2), jazda pociągowa (JP), automatyczna jazda pociągu (AJP).

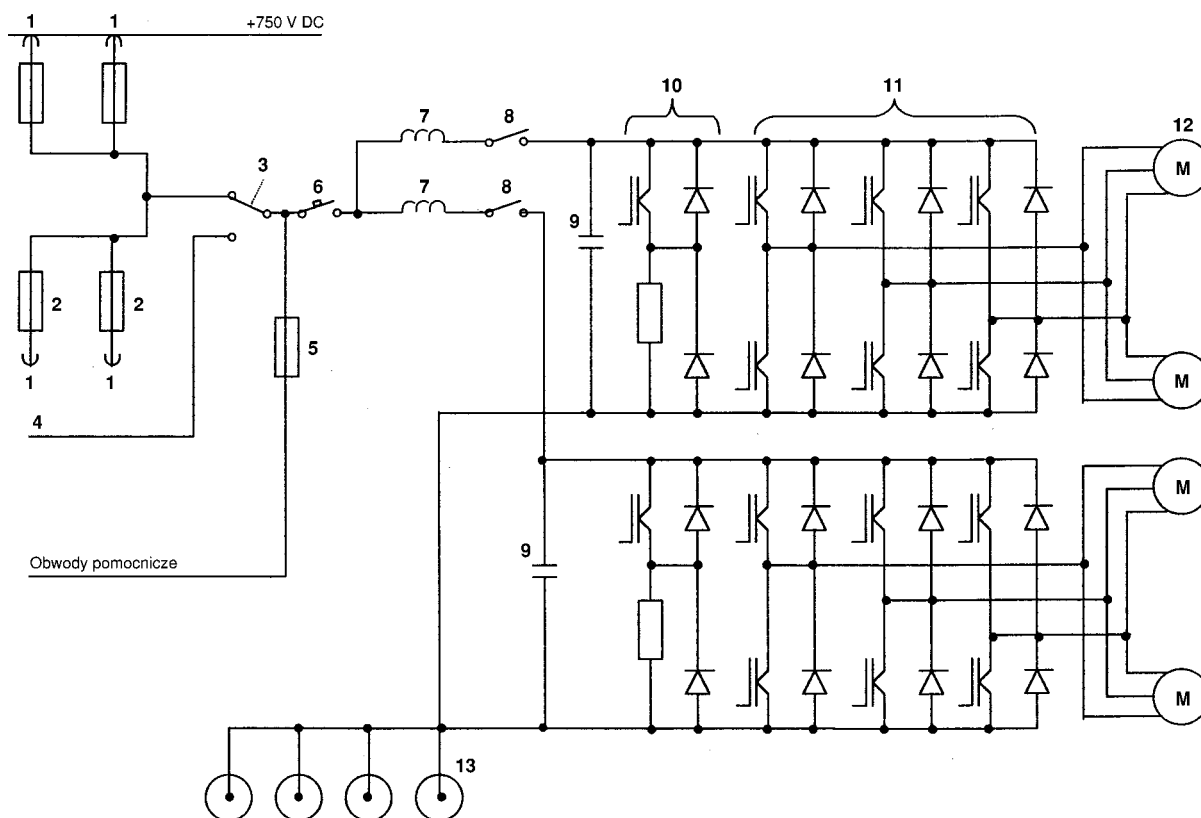
Na liniowym nastawniku rozruchu i hamowania zaznaczono następujące położenia: hamowanie awaryjne, pełne hamowanie służbowe, wybieg, maksymalny rozruch.

Dźwignia nastawnika jest podłączona do potencjometru, z którego koder odbiera analogowy sygnał napięciowy proporcjonalny do jej położenia. Sygnał ten jest przetwarzany przez układ elektryczny wagonu na sygnał PWM (modulacji szerokości impulsu) i przesyłany ekranowaną parą przewodów do elektronicznego układu sterowania napędem (sterownika rozruchu i hamowania).

W wagonach Metroplis do sterowania napędem wykorzystuje się system AGATE (Advanced GEC ALSTHOM Traction Electronics). Jest to 32-bitowy system najnowszej generacji. Do systemu sterowania napędem, oprócz sygnałów z kodera nastawnika jazdy, trafiają informacje od systemu SOP-2, o masie wagonów, zamknięciu i zablokowaniu drzwi, bocznikowaniu drzwi, poślizgu kół lub ich „büksowaniu” przy rozruchu.

Informacja na temat obciążenia wagonu pasażerami jest przekazywana do układu sterowania napędem przez przetwornik ciśnienia połączony z poduszkami powietrznymi II stopnia zawieszenia. Na tej podstawie regulowana jest przez układ siła rozruchu i hamowania.

Każdy z falowników wagonów M zasila dwa połączone równolegle asynchroniczne silniki trakcyjne. Podstawowe elementy obwodu głównego falownika to: filtr wejściowy z dławikiem, układ zabezpieczeń nadnapięciowych, klucze złożone z trzech modułów IGBT połączonych równolegle, choper hamowania, moduł sterowania wyłącznikiem szybkim, czujniki i przekaźniki zabezpieczeniowe, styczniki (wejściowe, ładowania kondensatora), przełącznik warsztatowy i wentylator chłodzący wraz ze sterowaniem. Wszystkie ele-



Rys. 7. Schemat obwodu głównego

1 - odbierak prądowy, 2 - bezpiecznik topikowy, 3 - odłącznik/przełącznik ręczny, 4 - gniazdo zasilania warsztatowego 750 V, 5 - bezpiecznik topikowy obwodów pomocniczych, 6 - wyłącznik szybki, 7 - dławik filtra, 8 - styczniki liniowe, 9 - kondensator filtra, 10 - choper hamowania, 11 - falownik, 12 - silnik trakcyjny, 13 - urządzenie prądu powrotnego

menty, z wyjątkiem dławika sieciowego i rezystorów hamowania, znajdują się w skrzyni falownika umieszczonej pod wagonem.

Układ napędowy steruje w sposób ciągły siłą napędową i hamowaniem elektrycznym tak, aby pojazd spełniał parametry trakcyjne. Oprócz tego układ napędowy komunikuje się ze sterownikiem hamowania pneumatycznego aby zapewnić prawidłowe hamowanie mieszane (jednocześnie elektryczne i pneumatyczne). Konstrukcja układu napędowego przewiduje hamowanie odzyskowe (rekuperację). W przypadku, gdy sieć trakcyjna nie jest w stanie odebrać całej energii elektrycznej powstałej przy hamowaniu lub gdy w trakcie hamowania pociąg trafia na przerwę sekcyjną w trzeciej szynie automatycznie załącza się hamowanie oporowe. Rekuperacja nie jest też możliwa, gdy napięcie przekroczy 950 V.

Każda z osi wagonu M jest napędzana trójfazowym asynchronicznym silnikiem trakcyjnym typu 4 EXA 2130. Jest to silnik klatkowy (zwarty), z wentylatorem zamontowanym na wale, co zapewnia samoczynne przewietrzanie, z dynamicznym systemem wytrącania pyłu i wody.

Każdy z falowników jest zasilany poprzez dławik własnego filtra sieciowego. Dławik tworzy część filtra LC, który jest wykorzystywany do tłumienia harmonicznych prądu o wysokich częstotliwościach i zapewnia niską impedancję źródła

zasilania falownika. Jest to dławik umieszczony w wodoszczelnej budowie z wymuszonym chłodzeniem powietrzem.

Rezystory hamowania zbudowane są z połączonych szeregowo-równolegle elementów ze stali nierdzewnej. Dwa rezystory zabudowane są we wspólnej obudowie i zamontowane pod podłogą wagonu (zamocowane do ramy pudła). Chłodzenie rezystorów zapewniają wentylatory zasilane z obwodów pomocniczych z sieci trójfazowej 400 V 50 Hz. Rezystory zostały specjalnie zaprojektowane do pracy w wilgotnym i zanieczyszczonym środowisku.

Obwody pomocnicze

W każdym wagonie Tc zamontowana jest jedna przetwornica statyczna, zasilająca urządzenia znajdujące się w obwodach pomocniczych pociągu. Przetwornica pomocnicza zasilana jest napięciem „z trzeciej szyny”, które może mieć minimalną wartość 500 V, a maksymalną 1000 V prądu stałego. Przetwornica ma dwa wyjścia – jedno prądu stałego 110 V, drugie – trójfazowego prądu przemiennego 400 V 50 Hz.

W celu ochrony przetwornicy przed skutkami stanów nie ustalonych, mogących wystąpić w obwodach wejściowych, zastosowano filtr wejściowy LC. Dla uniknięcia przechodzenia wyższych harmonicznych do linii zasilających, w obwodzie wejściowym umieszczono również filtr dolnoprzepustowy.

wy. Napięcie na filtrze jest monitorowane i sygnał wyjściowy z miernika sygnału wykorzystywany jest przez układ sterowania przetwornicą do jej uruchamiania.

Parametry techniczne silnika trakcyjnego typu 4 EXA 2130

Nominalne napięcie prądu stałego na szynie zasilającej	[V]	750
Maksymalne napięcie prądu stałego na szynie zasilającej	[V]	1050
Nominalne napięcie fazowe/międzyfazowe na silniku przy pracy silnikowej	[V]	290/500
Nominalne napięcie fazowe/międzyfazowe na silniku przy hamowaniu	[V]	320/550
Ciągłe wartości znamionowe (wg normy IEC)		
Napięcie	[V]	290/500
Częstotliwość	[Hz]	63
Prąd fazowy	[A]	259
Prędkość obrotowa	[obr./min]	1839
Moc na wale	[kW]	180
Sprawność	[%]	94
Klasa izolacji		200
Masa	[kg]	630



Fot. 11. Zespół przekształtników ONIX

Fot. J. Raczyński



Fot. 12. Zespół przetwornicy

Fot. J. Raczyński

Falownik trójfazowy zbudowany jest z wykorzystaniem tranzystorów bipolarnych z izolowaną bramką (IGBT). Prąd z falownika przechodzi przez filtr wyjściowy LC. Trójfazowy transformator służy do izolacji galwanicznej między wysokonapięciowym wejściem prądu stałego a wyjściem trójfazowym prądu przemiennego.

Prąd stały 110 V jest generowany przez przetwornicę, do budowy której wykorzystano tranzystory IGBT. Przetwornica składa się z falownika jednofazowego, transformatora i prostownika diodowego oraz filtru wyjściowego. Schemat blokowy przetwornicy przedstawiono na rysunku 8.

Przetwornica zasila następujące urządzenia pociągu:

- napięcie 400 V 50 Hz prądu przemiennego:
 - sprężarki,
 - grzejniki i wentylatory kabin maszynisty,
 - wentylatory oporników hamowania,
 - wentylatory skrzyń ONIX,
 - wentylatory dławików i przetwornic pomocniczych,
- napięcie 110 V prądu stałego:
 - ładowanie baterii akumulatorów,
 - wentylatory przedziałów pasażerskich,
 - oświetlenie awaryjne przedziałów pasażerskich,
 - oświetlenie zewnętrzne pociągu,
 - silniki napędu drzwi rozsuwanych,
 - elektroniczne urządzenia kontrolne,
 - urządzenia łączności pasażer – maszynista,
 - radiotelefon,
 - urządzenia zabezpieczenia ruchu pociągów,
 - inne urządzenia kabiny maszynisty.

Pod pudłem każdego wagonu Tc zamontowana jest bezobsługowa niklowo-kadmowa bateria akumulatorów o pojemności 90 Ah, składająca się z 82 elementów. Bateria znajduje się w wentylowanej skrzyni, zamocowanej do podwozia wagonu. Obsługa baterii sprowadza się do kontroli i uzupełnienia elektrolitu.

System hamowania pociągu

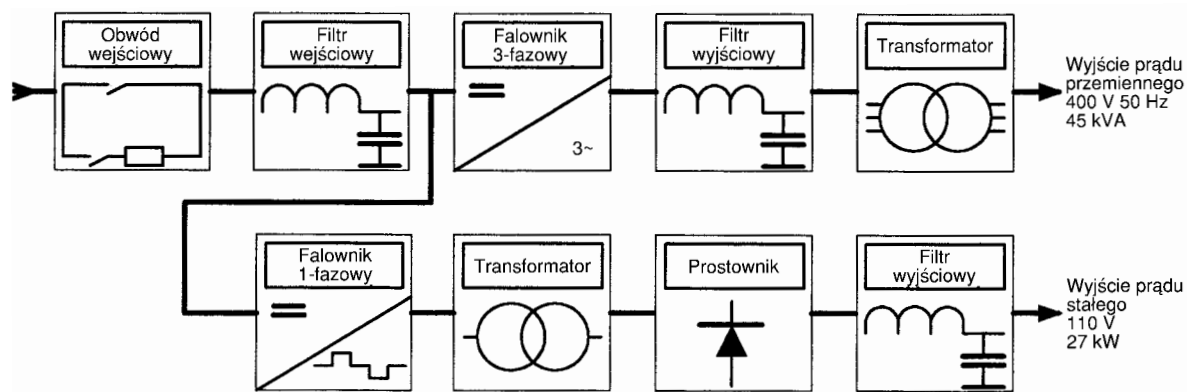
Opis ogólny

Zgodnie z zasadami obowiązującymi w budowie taboru szynowego system hamowania realizuje podstawowe rodzaje hamowań, tj.:

□ Hamowanie służbowe (zasadnicze)

Podstawowym hamulcem służbowym jest hamulec elektrodynamiczny, wykorzystujący przy hamowaniu silniki trakcyjne jako prądnice, ze wspomaganie, w zakresie dużych i małych prędkości, hamulcem pneumatycznym. Rozpraszanie energii elektrycznej następuje w pierwszej kolejności przez rekuperację do sieci zasilającej, a przy braku odbiornika przez zamianę w ciepło w rezystorach.

W przypadku niemożliwości realizacji zadanego opóźnienia ($\max 1,3 \text{ m/s}^2$) przez hamulec elektrodynamiczny, niedobór siły hamowania uzupełniany jest przez zadziałanie hamulca pneumatycznego na wózkach napędowych, w dalszej kolejności, również na wózkach tocznych. Algorytm realizacji hamowania służbowego umożliwi w razie usterki praktycznie bezwłoczne zastąpienie hamulca elektrodynamicznego hamulcem pneumatycznym, pracującym w trybie



Rys. 8. Schemat blokowy przetwornicy

„służbowym”, oraz pracę pociągu z uszkodzonym hamulcem elektrodynamicznym (przy ograniczeniu prędkości maksymalnej do 57 km/h).

□ Hamowanie awaryjne

Hamulec awaryjny jest hamulcem pneumatycznym uruchamianym sygnałem elektrycznym i działającym do momentu zatrzymania pociągu. Opóźnienie hamowania wynosi maksymalnie 1,4 m/s² i może być zmniejszone jedynie w wyniku poleceń układu antypoślizgowego.

□ Zahamowanie pociągu na postoju (hamulec postojowy)

Hamulec postojowy jest hamulcem mechanicznym, działającym na jedną oś w każdym wózku. Przez nacisk sprężyny na tłok cylindra hamulcowego możliwe jest utrzymanie zahamowanego pociągu na pochyleniu $i = 45\text{‰}$. Luzowanie hamulca odbywa się automatycznie po podaniu ciśnienia do przewodu głównego. W przypadku braku ciśnienia w przewodzie głównym możliwe jest ręczne luzowanie hamulca postojowego.

□ Hamulec zatrzymania związany ze specyfiką pracy metra
Hamulec zatrzymania przejmuje rolę hamulca postojowego po zatrzymaniu pociągu i występowaniu ciśnienia w przewodzie głównym, co zabezpiecza pociąg przed stacjami. Dodatkowo hamulec ten powiązany jest z procesem hamowania służbowego w zakresie prędkości poniżej 10 km/h i układem rozruchu, zapobiegając nagłym zmianom opóźnień lub przyspieszeń (szarpnięciom). Hamulec zatrzymania realizowany jest przez układ pneumatyczny pracujący w osobnym trybie, różnym od hamowania służbowego. Po zatrzymaniu ciśnienie w cylindrach jest automatycznie utrzymywane. Luzowanie hamulca następuje po przestawieniu dźwigni nastawnika jazdy w pozycję rozruchu lub wyboru trybu jazdy manewrowej.

Sterowanie hamulcem

Hamulec służbowy zostaje uruchomiony przez postawienie dźwigni nastawnika jazdy w odpowiednie położenie lub przez sygnały od systemu ograniczenia prędkości SOP-2. W obu przypadkach zewnętrznie zadawane jest żądane opóźnienie hamowania. Możliwe jest utrzymanie stałego opóźnienia, jak i jego zmiana w procesie hamowania.

Hamulec awaryjny może zostać uruchomiony przez:

- maszynistę,

- pasażera,
- czuwak aktywny,
- system SOP-2,
- przytorowe urządzenia zabezpieczenia ruchu,
- układ diagnostyczny pociągu, w tym także przypadek utraty ciśnienia w przewodzie głównym i otwarcia przynajmniej jednej drzwi pasażerskich.

Do chwili osiągnięcia przez pociąg prędkości 3 km/h hamowania awaryjne nie może być przerwane.

Hamulec postojowy działa automatycznie po zaniku ciśnienia w przewodzie głównym.

Hamulec zatrzymania uruchomiony zostaje automatycznie w trybach pracy hamowanie służbowe lub postój. Po przestawieniu dźwigni nastawnika jazdy w pozycję rozruchu, zostaje on luzowany pod nadzorem elektronicznego układu sterującego, który wiąże charakterystykę luzowania z siłą pociągową silników.

Wszystkie polecenia zewnętrzne, oraz sygnały i informacje wewnętrzne między sterownikami, przekazywane są w postaci sygnałów elektrycznych lub informatycznych. Uszkodzenie magistrali przesyłowych (zanik sygnału) natychmiast wzbudza hamulec awaryjny pociągu.

Budowa układu hamulcowego

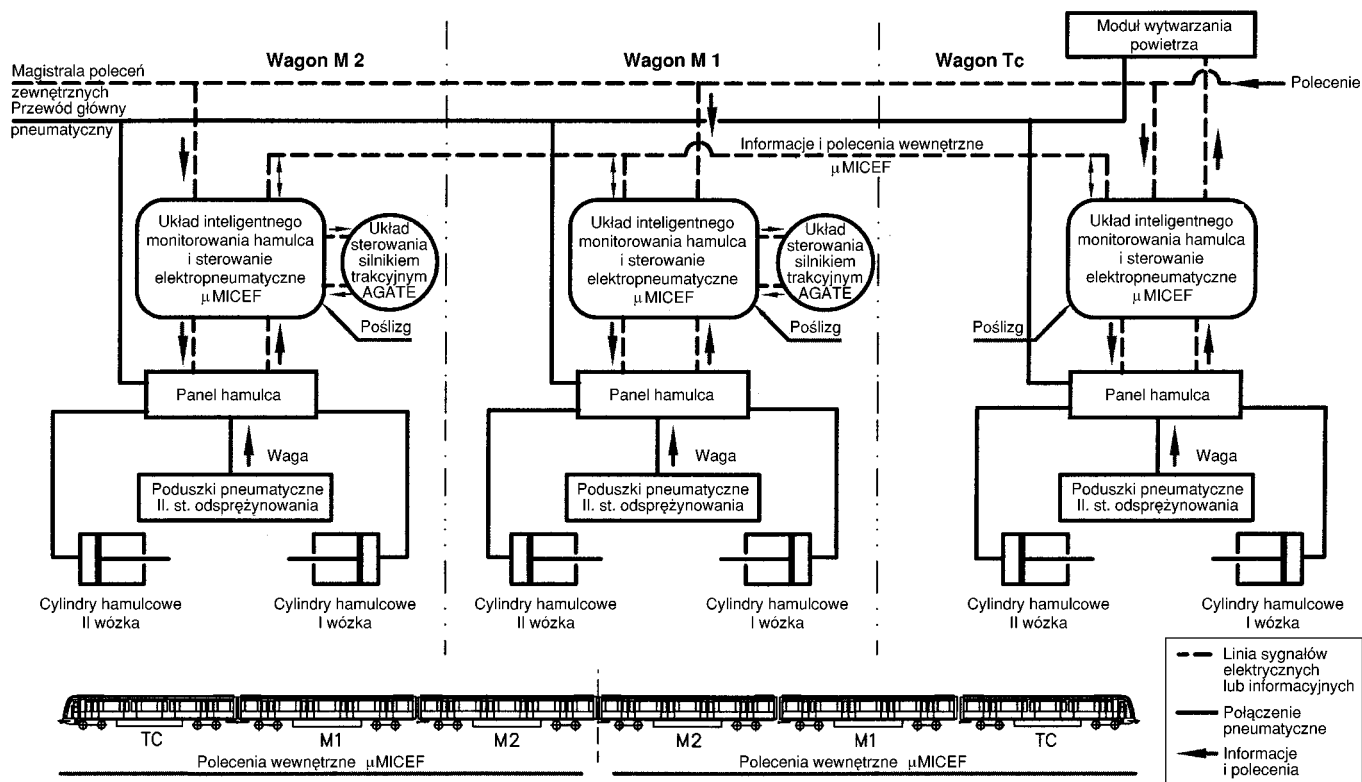
Istotę budowy i działania układu hamulcowego przedstawiono na schemacie blokowym (rys. 9).

Zasadniczo układ hamulcowy składa się z trzech podstawowych elementów:

- 1) elektronicznego systemu sterowania hamulcem;
- 2) układu pneumatycznego, fizycznie realizującego proces hamowania;
- 3) peryferyjnych urządzeń kontrolno-pomiarowych.

Do układu hamowania systemowo nie zalicza się urządzeń realizujących polecenia hamowania elektrodynamicznego, gdyż wykonywane jest to przez odrębny układ elektroniczny sterowania silnikami trakcyjnymi (AGATE), który realizuje nie tylko funkcje hamowania.

Elektroniczny system sterowania hamulcem składa się z sześciu jednakowych mikroprocesorów, nazwanych przez wytwórcę *Układem Inteligentnego Monitorowania Hamulca i Sterowania Elektro-Pneumatycznego* (w skrócie μ MICEF), zamontowanych po jednym w każdym wagonie. Po załącze-



Rys. 9. Schemat blokowy układu hamulcowego

niu pociągu mikroprocesory automatycznie wykrywają rodzaj wagonu, w którym zostały zamontowane (M i lub Tc) i związane z tym funkcje, które będą realizowały. Każdy procesor niezależnie wykonuje funkcje, otrzymując polecenia zewnętrzne i wzajemnie wymieniając informacje. Wymiana informacji następuje między trzema wagonami (połowa pociągu), co zwiększa bezpieczeństwo ruchu. Dodatkowo w każdym panelu zamontowany jest analogowy przetwornik elektropneumatyczny mogący w razie potrzeby przejąć rolę sterowania hamulcem pneumatycznym. Podstawowe różnice funkcyjne między sterownikami w zależności od rodzaju wagonu, w którym zostały zamontowane, polegają na sterowaniu sprężarką przez μ MICEF w wagonie Tc i braku funkcji przekazywania informacji do systemu sterowania silnikami (sterowanie hamulcem elektrodynamicznym).

Każdy procesor wyposażony jest w moduł sterowania przeciwoślizgowego zarówno dla hamulca elektrodynamicznego, jak i pneumatycznego, oraz system monitorowania i diagnostyki stanu hamulca. Możliwy jest odczyt podstawowych parametrów bezpośrednio z tablicy lub dokładny, z analizą danych, po podłączeniu zewnętrznego, specjalnie oprogramowanego komputera PC.

Układ mikroprocesorowy umieszczony jest w standardowej skrzynce 19" – w przypadku uszkodzenia jego wymiana jest bardzo prosta.

Układ pneumatyczny pociągu Urządzenia wytwarzania powietrza

Źródłem sprężonego powietrza jest sprężarka śrubowa typu SL 20-5-66 zamontowana pod pudłem każdego wagonu Tc.

Sprężarka napędzana jest trójfazowym silnikiem prądu przemiennego o mocy 11 kW. W czasie jazdy pociągu uruchamiana jest tylko jedna sprężarka, znajdująca się w ostatnim wagonie, co zapewnia pełne pokrycie zapotrzebowania na sprężone powietrze. W przypadku awarii i spadku ciśnienia poniżej 7,5 bara uaktywniona zostaje druga sprężarka. Sprężarki normalnie pracują w przedziale ciśnień 8,5 ÷ 10 bar. Sprężarka chroniona jest przez zawór bezpieczeństwa o ciśnieniu zadziałania 11 bar. Agregat wyposażony jest w chłodnicę sprężonego powietrza, dwukomorowy odwadniacz absorbcyjny działający naprzemiennie (regeneracja) oraz włókninowy filtr dokładnego oczyszczania.

Agregat podwieszony jest do pudła za pośrednictwem ramy i stanowi łatwo demontowalny moduł.

W stanach awaryjnych lub przy czynnościach obsługowo-naprawczych istnieje możliwość zasilenia układu sprężonym powietrzem z obcego źródła (przez przyłącza w sprzęgach czołowych).

Panel hamulca

Panel hamulca jest układem elektryczno-pneumatycznym, zapewniającym realizację poleceń sterowania przez zmianę sygnałów elektrycznych μ MICEF na ciśnienie powietrza i dalsze przekazanie go do cylindrów hamulcowych. Parametry hamulca pneumatycznego przekazywane są zwrótnie do sterownika.

W każdym wagonie znajduje się jeden panel hamulca. Zadane sygnały elektryczne przekształcane są przez przekształtniki napięcie-ciśnienie na żądane ciśnienie o małym

wydatku, które to z kolei steruje zaworami popelniającymi i upustowymi o dużej przepustowości. Rozwiązanie to zapewnia liniową charakterystykę układu, bardzo dużą czułość zmian, dużą szybkość działania i praktyczny brak histerezy.

Panel wyposażony jest w zbiornik powietrza 75 l chroniony zaworem bezpieczeństwa oraz układ zapewniający realizację hamowania w przypadku zaniku ciśnienia w przewodzie głównym, a także moduł hamulca postojowego. Całość stanowi łatwy do wymiany moduł, do którego przewody pneumatyczne podłączono za pośrednictwem listwy przyłączeniowej.

Układ można testować i regulować po zamontowaniu w wagonie, jak też na specjalnym stole probierczym (znaczenie skrócenie czasu).

Urządzenia peryferyjne

□ Układ ważący

Wartość ciśnienia w obu poduszkach powietrznych zawieszenia drugiego stopnia zostaje uśredniona i przez przekształtnik ciśnienie–napięcie przekazana do sterownika. Pomiar ten wykorzystywany jest do obliczenia wymaganej siły hamowania (realizuje μ MICEF).

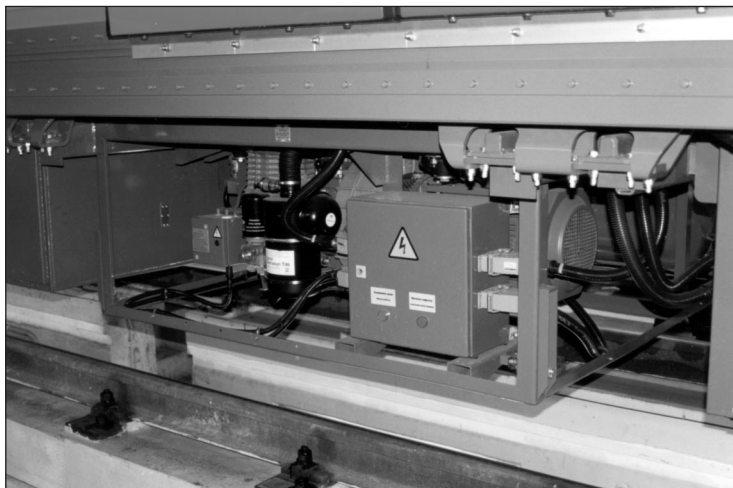
□ Układ antypoślizgowy

Każda oś zestawu wyposażona jest w miernik obrotów, z którego dane przekazywane są do μ MICEF. Sterownik wylicza prędkość referencyjną i w przypadku wykrycia poślizgu koryguje siłę hamowania. Jeśli nie ma możliwości skorygowania poślizgu dla hamowania elektrodynamicznego, sterownik zastąpi je hamowaniem pneumatycznym o większym zakresie korekcji.

Zabezpieczenie przeciwpożarowe i spełnienie wymagań odnośnie bezpieczeństwa podróży i personelu obsługi

Konstrukcja wagonów spełnia obowiązujące normy i przepisy pod względem bezpieczeństwa i przepisów przeciwpożarowych. Pudło wagonów zostało poddane niezbędnym testom w wyspecjalizowanym laboratorium w Belgii, a do budowy zastosowano materiały spełniające Polskie Normy pod względem palności, toksyczności i dymienia. W skrzyniach z aparaturą elektryczną, umieszczonych pod pudłem wagonu, zamontowano czujniki temperatury. Zgodnie z obowiązującymi przepisami, w każdym z wagonów zamontowano gaśnicę proszkową.

Konstruktorzy wagonów zadbali też o bezpieczeństwo personelu obsługującego tabor. Niemal wszystkie prace naprawcze wykonywane są bez zasilania pociągu wysokim napięciem. Dodatkowo dla bezpieczeństwa pracujących, w przypadku konieczności zasilenia wagonów wysokim napięciem, zastosowano wyłącznik warsztatowy. Konstrukcja tego urządzenia uniemożliwia, przy zasilaniu pociągu stoją-



Fot. 13. Agregat sprężarkowy

Fot. J. Raczyński

cego na hali w elektrowozowni, podanie wysokiego napięcia na odbieraki prądowe. Dodatkowo ustawienie tego przełącznika w położenie „neutralne” powoduje natychmiastowe rozładowanie kondensatorów.

Konstrukcja podzespołów wagonów jest modułowa, co w połączeniu z nowoczesnymi systemami diagnostycznymi minimalizuje czas usuwania usterek. Ze względu na dużą niezawodność przyjętych rozwiązań przewidziano następujące cykle obsługi wagonów:

- Przegląd kontrolny *PK* – co dwa tygodnie;
- Przegląd okresowy *PO* – co 3 miesiące lub 25 000 km,
- Naprawa rewizyjna *R-1* – co 1 rok lub 100 000 km,
- Naprawa rewizyjna *R-2* – co 2 lata lub 200 000 km,
- Naprawa rewizyjna *R-3* – co 4 lata lub 400 000 km,
- Remont średni *G-1* – co 8 lat lub 800 000 km,
- Remint kapitalny *G-2* – co 16 lat lub 1 600 000 km.

* * *

Niniejszy artykuł zawiera opis wybranych układów wagonów Metropolis. Ze względu na to, że po raz pierwszy w takim zakresie jest prezentowany ten typ wagonów oraz ograniczone ramy publikacji, konieczne stało się przeprowadzenie selekcji materiału, a więc zrezygnowanie z opisu niektórych z elementów. Są to głównie systemy sterowania silnikami trakcyjnymi (AGATE Control), system diagnostyczny (AGATE Link), system informatyczny (SIE), system sterowania informacją dla pasażera (AGATE Media) i inne. Są to rozwiązania autorstwa firmy ALSTOM.

Ze względu na krótki czas eksploatacji tego taboru na linii warszawskiego metra, trudno jest dokonać szczegółowej oceny rozwiązań technicznych. Wiadomo już, że Warszawa jest kolejnym z miast dysponującym nowoczesnym taborom metra.

□