

Marek Graff

Metro w Warszawie

Pierwsze plany budowy metra w Warszawie powstały w połowie lat 20. XX w., gdy liczba mieszkańców miasta (zamieszkałych na 120 km²) przekroczyła 1 mln osób. W 1927 r. powstał pierwszy projekt przewidujący budowę dwóch linii: pl. Unii Lubelskiej – Muranów (linia A) i Wola – Praga (przez most na Wiśle – linia B). Na wybranych kierunkach wykonano wstępne wiercenia, zaś przy Dyrekcji Tramwajów powstało biuro, zajmujące się budową kolei podziemnej. W omawianym okresie znaczenie podstawowe dla systemu komunikacji miejskiej w Warszawie miały tramwaje i częściowo drożki oraz – pojawiające się coraz liczniej – taksówki. Jednak możliwości komunikacji tramwajowej, mimo dużej częstotliwości kursowania tramwajów (ok. 2 min), powoli się wyczerpywały.

Kryzys gospodarczy, zapoczątkowany przez krach na giełdzie nowojorskiej (1929 r.), spowodował, że potencjalne projekty budowy kolei podziemnej w Warszawie zostały zawieszono i dopiero w 1938 r. nabrały realnych kształtów, gdy prezydent miasta S. Starzyński, powołał Biuro Studiów Kolei Podziemnej. Przewidywano budowę dwóch linii (była to modyfikacja planu poprzedniego): Mokotów – Żoliborz, 7,5 km, o przebiegu: ul. Puławska, Marszałkowska, pl. Piłsudskiego, pl. Teatralny, pl. Wilsona, z jednoczesnym uwzględnieniem możliwości wydłużenia linii w obu kierunkach. Ze względu na znaczne koszty finansowe, zamierzano zaprosić do realizacji inwestycji konsorcja zagraniczne. Planowano budowę około 46 km linii metra (biegnących w tunelach i na powierzchni ziemi) w ciągu 35 lat. Jednak wybuch wojny w 1939 r. znacznie przesunął w czasie realizację tych planów.

Do pomysłu budowy metra powrócono po 1945 r., gdy Biuro Odbudowy Stolicy (BOS) zaakceptowało plany przedwojenne. Istotny był fakt, że większa część Warszawy była dopiero w fazie odbudowy po zniszczeniach wojennych, zatem budowa metra nie zakłócałaby odbudowy miasta. Do końca lat 40. XX w. opracowano plan budowy 64 km linii metra, w tym 26 km w płytkim tunelu. Niestety, zależność Polski od wschodniego sąsiada, objawiająca się obecnością niemal na każdym ważniejszym szczeblu decyzyjnym „doradców” i „inspektorów”, którzy wskazali na konieczność budowy metra głębokiego (40–60 m pod powierzchnią ziemi), z dodatkowym przekroczeniem Wisły tunelem (przebieg linii miał w założeniu kształt litery Y), co znacznie skomplikowało cały projekt. Postawiony także został warunek, że specyfikacja linii metra musi uwzględniać możliwość przejazdu przezeń wagonów kolejowych, a zwłaszcza przez tunel pod Wisłą, co sugerowało militarny charakter projektu, zaś znaczenie sieci metra dla komunikacji Warszawy byłoby drugorzędne. Zatem dotychczasowe plany budowy należało porzucić.

W grudniu 1950 r. rząd polski zatwierdził nowy projekt budowy metra, zaś rok później rozpoczęły się prace. W ciągu dwóch lat wykopano kilkanaście sztolni (otworów o promieniu 6 m i głębokości 40–60 m w żelbetonowej obudowie). Jednak budowa metra głębokiego okazała się bardzo kosztowna, zatem po wydrążeniu ok. 1 km, przerwano ją w październiku 1953 r. Śladem po

tej budowie jest tunel długości 1 km, położony w dzielnicy Targówek i wykorzystywany obecnie jako magazyn. Oficjalny komunikat głosił, że powodem jest kurzawka (piaszczysty grunt, łatwo podchodzący wodą). Biuro budowy metra (Metroprojekt) działało od tego momentu wręcz w konspiracji, jednak porzucenie idei budowy metra głębokiego spowodowało powrót do wcześniejszych planów budowy kolei podziemnej. Używanie nazwy metro stało się oficjalnie zakazane.

Nadzieją dla projektantów metra warszawskiego okazały się lata 70. XX w. i ogłoszona przez władze centralne *Strategia dynamicznego rozwoju*. Dodatkowo, następował rozwój Warszawy w kierunku południowym i północnym, co komplikowało i tak już trudną sytuację komunikacyjną. W 1975 r. opracowano założenia techniczno-ekonomiczne I linii metra warszawskiego. Jednak już w drugiej połowie lat 70., wskutek załamania gospodarczego Polski, plany te pozostały tylko projektem. Ostatecznie decyzja władz centralnych PRL z 1982 r., w porozumieniu ze Związkiem Radzieckim, który zaoferował (bezpłatną) dostawę 90 wagonów metra, spowodowała, że budowa kolei podziemnej w Warszawie stała się faktem (kwiecień 1983 r.). Była to decyzja polityczna, o czym świadczy fakt, że sytuacja gospodarcza Polski na początku lat 80. była dużo trudniejsza niż w latach 70. XX w.

Rusza budowa kolei podziemnej

Początki były bardzo trudne, ponieważ decyzja władz centralnych kraju była bardziej listą życzeń, niż racjonalnym planem budowy metra. Ponadto poważne trudności gospodarcze, w jakich znalazła się Polska tuż na początku lat 80. XX w., oraz wprowadzenie stanu wojennego (grudzień 1981 r.) wykluczały zakup jakichkolwiek technologii w krajach zachodnich i skazywały Polskę na współpracę tylko z krajami RWPG. Jednak determinacja projektantów i budowniczych spowodowała, że budowa metra warszawskiego, wprawdzie powoli, ale sukcesywnie postępowała. Opanowano praktycznie od podstaw technologię budowy linii podpowierzchniowych i używanej przy tym tzw. ścianki berlińskiej, ścianki szczelinowej czy też kotwi iniekcyjnych.

Budowa metra nie byłaby możliwa bez szerokiej współpracy z licznymi fabrykami, instytucjami badawczymi, czy projektantami. Pierwsze kłopoty pojawiły się już 1985 r. – dla ratowania finansów państwa rząd dokonywał licznych cięć w wydatkach budżetowych i budowa metra, jako inwestycja kosztowna i nieprzynosząca bezpośrednich zysków, znacznie na tym ucierpiała. Spowodowało to wydłużenie czasu budowy o kolejne 2 lata, a daty otwarcia pierwszego odcinka o rok. Wraz z upływem czasu kłopoty te zaczęły się pogłębiać – otrzymywano nieregularne i mniejsze niż zakładano środki budżetowe, co zaowocowało stopniowym zadłużaniem się Generalnej Dyrekcji Budowy Metra u wykonawców oraz decyzją o wstrzymaniu budowy linii metra na północ od stacji Politechnika. Należy dodać, że tempo budowy było dwukrotnie mniejsze od zakładanego, co było spowodowane faktem, że ciężar finansowania budowy musiało pokrywać miasto. Z drugiej strony, kłopoty finansowe powodowały, że prace były kilkakrotnie całkowicie wstrzymywane, co tylko zwiększało koszty. Postulowano także budowę systemu szybkiego tramwaju, który miał

był korzystniejszym (i tańszym) rozwiązaniem. Jednak wyspowy charakter ukształtowania miasta (dzielnice – sypialnie Warszawy, znacznie oddalone od siebie), powoduje, że to właśnie metro może najlepiej wypełnić rolę środka transportu.

Budowa I linii metra rozpoczęła się w rejonie przyszłych stacji A4 i A5. Pierwszy odcinek metra Kabaty – Wilanowska zbudowano metodą odkrywkową: w wykopie umieszczono ściany oporowe, rozpierane 2–3 rzędami rur. Po ułożeniu torów tunel był zasypywany ziemią (ok. 5 m grubości). Drugi odcinek I linii –

Wilanowska – Politechnika, wykonano już metodą tunelową, po dwa równoległe tunele. Tarcza średnicy 5,5 m, drążąca hydraulicznie w ziemi otwór, usuwała urobek i stopniowo się przesuwała. Ściany tunelu były zabezpieczane segmentami żeliwnymi lub żelbetonowymi, uszczelniane dodatkowo warstwą cementu. Drążenie obu tuneli odbywało się z prędkością 2 m na dobę na głębokości 9–12 m. Pewnym problemem były głazy polodowcowe, o masie niekiedy powyżej 1 t, które musiały być usuwane sprzed tarczy. Budowano wyłącznie stacje z peronami wyspowymi, o długości maksymalnej 120 m (całkowita długość stacji to ok. 300 m). Zwiększona długość stacji miała znaczenie militarne – stacje metra miały służyć jako schrony dla ludności cywilnej podczas działań wojennych. Przy budowie odcinka północnego I linii założenia te zmieniono i długość stacji skrócono do 150 m. Budowa odcinka południowego pierwszej linii zakończyła się w 1994 r., z 5-letnim opóźnieniem. Dostarczony tabor pozwolił na zestawienie 14 trójwagony pociągów, kursujących z częstotliwością 5 min. Zróżnicowanie wyglądu stacji, jakie zastosowano, ma na celu łatwe ich rozpoznawanie przez pasażerów. Pierwsza linia metra, prowadząca ze stacji Kabaty do stacji Politechnika, licząca 11,3 km i 11 stacji, została otwarta w kwietniu 1995 r.



Stacja Wilanowska, 1.11.2006 r.



Stacja Stodowiec, 12.04.2008 r.



Stacja Stodowiec, 26.04.2008 r.

Odcinki metra budowane metodą odkrywkową powstawały w następujący sposób: montowano tymczasowe zabezpieczenia, tzw. ściankę berlińską, na którą składały się pionowe pale dwuteowników, ustawionych co 1,8–2,0 m, za które założona jest pozioma opinka podtrzymująca grunt. Ściankę za pośrednictwem oczepów rozparto za pomocą stalowych rozpór rurowych na kilku poziomach, a następnie kotwiono gruntowymi kotwiami iniekcyjnymi (o długości 14–18 m, kącie nachylenia 15–30°, nośności 250–700 kN). Średnia szerokość wykopu przy budowie stacji wynosiła 23,5–24,5 m.

Wystrój stacji zaprojektowali architekci z PP Pracowni Sztuk Plastycznych: Jasna Strzałkowska-Ryszka, Lech Kłosiewicz, Andrzej Pańkowski, Jerzy Blancard. Stacje metra warszawskiego, ze względu na sposób wystroju wnętrza, można podzielić na kilka grup, w obrębie których występują pewne powtarzalne elementy. Stacje Ursynów – Natolin mają jeden rząd słupów w osi stacji i płaski strop oraz oświetlenie nad krawędziami peronów. Zastosowano kombinację kolorów (opcjonalnie) – niebieskiego, zielonego, żółtego, pomarańczowego, przechodzących w czerwień i brąz. Odmienny wystrój ma stacja Wilanowska – jest to stacja jednoprzestrzenna z galeriami bocznymi, zlokalizowanymi nad torami. Kolejne trzy stacje (Wierzbno – Pole Mokotowskie) są jednoprzestrzenne, z łukowym sklepieniem i użytymi barwami – żółtą, czerwoną, bordową i niebieską. Odmienny wystrój mają dwie kolejne stacje – Politechnika i Centrum, o dużej przestrzeni wnętrza.

Zmiany ekonomiczno-polityczne, jakie nastąpiły w Polsce po 1989 r., okazały się dla metra na dłuższą metę korzystne, gdyż umożliwiły dostęp do nowoczesnych technologii na światowym poziomie, a także stworzyły możliwość wyboru najlepszych oferentów, czy odwołanie wykonawców mniej solidnych technologicznie lub finansowo. Stacje Centrum, Świętokrzyska i Ratusz

oraz odpowiednie, kolejne odcinki metra, powstały w oparciu o zdobyte wcześniej doświadczenia. Dodatkowo uzyskano dostęp do nowoczesnych technologii budowy, przez co ich budowa była tańsza niż odcinków wcześniejszych, a także pozwoliła na podniesienia jakości wykonawstwa prac. Wspomniany odcinek został zbudowany metodą tunelową. Podobnie powstawały odcinki linii metra i stacje: Dw. Gdański, Pl. Wilsona i Marymont. Planowane jest uruchomienie dwóch dodatkowych stacji Murańów i Pl. Konstytucji, odpowiednio między stacjami Dworzec Gdański i Ratusz Arsenał oraz Politechnika i Centrum. W kwietniu 2006 r. uzyskano zgodę na proponowaną lokalizację obu stacji.

Ostatni odcinek I linii metra (północny), prowadzący od stacji Słodowiec do stacji Młociny, powstał z częściowym współfinansowaniem UE (Sektorowego Programu Operacyjnego Transport, tzw. SPOT). Zbudowano także – przy końcowej stacji Młociny – węzeł komunikacyjny o tej samej nazwie. Powstały dwie dodatkowe stacje – Stare Bielany i Wawrzyszew. Wykonawców prac wyłanianiano w drodze przetargów (trzy postępowania). Do stacji Słodowiec linia metra przebiega w tunelu zbudowanym metodą drążenia, zaś dalej – metodą odkrywkową, co było możliwe ze względu na niski poziom wód. Stację Marymont zbudowano jako dwukondygnacyjną ze względu na zagłębienie torów odstawczych stacji Pl. Wilsona oraz znajdujący się ponad linią metra kolektor (w ul. Popieluszki). Pozostałe stacje budowano już jako płytkie. Ostatni odcinek – od stacji Słodowiec do stacji Młociny jest poprowadzony w ul. Kasprzowicza, przy czym ze względu na znaczną szerokość jezdni (27 m) – przy potrzebnych do budowy stacji i linii 12 m – nie musiano wstrzymywać ruchu kołowego. Na tych stacjach zdecydowano się na perony boczne, a nie wyspowe, jak w pierwszym odcinku linii metra (południowym). Ostatni odcinek metra wykonywano w ten sposób, że ściany wykopu były zabezpieczane ścianką szczelinową rozpartą rozporami rurowymi, przy głębokości wykopu od 7 do 13 m. Stacje Kabaty, Wilanowska, Politechnika i Pl. Wilsona są wyposażone w tory odstawcze, natomiast Stokłosy, Politechnika, Centrum, Dw. Gdański i Słodowiec – w przejście zwrotnicowe, umożliwiające przejazd z jednego toru na drugi. Parametry techniczno-eksploatacyjne metra warszawskiego zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Parametry techniczne metra warszawskiego

Długość linii	23,9 km
Liczba stacji	22
Długość peronów	120 m
Zagłębienie peronu poniżej poziomu terenu	6,2–12,2 m
Średnia odległość między stacjami	> 1000 m
Szerokość toru	1435 mm
Minimalny promień łuku toru	300 m
Maksymalne nachylenie	3,1%
Typ nawierzchni torowej	betonowa
System zasilania: trzecia szyna	750 V
Zabezpieczenie ruchu pociągów	system zdalnego sterowania i kontroli dyspozytorskiej
Zabezpieczenie ruchu pociągów	system automatycznego ograniczania prędkości z sygnalizacją kabinową
Częstotliwość kursowania	3–4 min w godzinach szczytu
Prędkość komunikacyjna	36 km/h



Wejście do stacji Służew, 18.11.2006 r.



Stacja Wierzbno, 30.11.2006 r.



Stacja Centrum, 1.11.2006 r.



Stacja Centrum, 6.05.2006 r.

Dopuszczalna prędkość maksymalna 60 km/h

Tabela 2

Daty uruchomienia poszczególnych odcinków i stacji metra

Od Kabaty do Politechnika	kwiecień 1995 r.
Centrum	maj 1998 r.
Ratusz (ob. Ratusz Arsenal)	maj 2001 r.
Dw. Gdański	grudzień 2003 r.
Pl. Wilsona	kwiecień 2005 r.
Marymont	grudzień 2006 r.
Słodowiec	kwiecień 2008 r.
Młociny	październik 2008 r.

Specyfikacja techniczna linii metra

Na każdej stacji metra znajduje się podstacja elektryczna, zasilana dwustronnie z miejskiej sieci WN. Na stacjach o numerach nieparzystych zamontowano podstacje trakcyjne (15 kV, 10 MVA), zaś na nieparzystych – energetyczne (650 kW). Napięcie zasilania wynosi 825 V i jest realizowane za pomocą stalowej, trzeciej szyny, biegnącej wzdłuż torów (napięcie robocze wynosi 750 V). Podstacje zasilające dostarczają napięcie 750 V oraz 380/220 V poprzez konwersję napięcia 15 kV, pobieranego z rejonowych punktów zasilających (RPZ). Z każdej podstacji wyprowadzone są dwie linie kablowe biegnące do szyn, natomiast w przypadku awarii jednej z linii następuje zamknięcie łącznika szyn i druga

linia przejmuje w całości zasilanie od podstacji. Gdy zdefektują obie linie zasilające lub podstacja, wówczas zasilanie przejmuje podstacja (podstacje) sąsiednia. Dodatkowo, oprócz zasilania podstawowego, istnieje rezerwowe.

Sieć trakcyjną tworzą sieci:

- zasilająca (prądowa),
- powrotna (minus).

W obrębie sieci trakcyjnej znajdują się sekcje, oddzielone od siebie przerwami 15 m (aby uniknąć zwarcia dwóch sąsiednich sekcji odbierakami jednego wagonu). Szyna prądowa na obu końcach ma ślizgi o skosie 1:25, umożliwiające płynne wejście odbieraków i jest ustawiona w odległości 1,4 m od osi toru oraz 0,2 m ponad główką szyny. Odbiór prądu odbywa się z dolnej części szyny prądowej poprzez ślizgowe łapy odbieraków. Włączenie i wyłączenie napięcia następuje poprzez odłączniki sieci trakcyjnej RST (wyposażone w napęd silnikowy). Sieć powrotną tworzą szyny oraz – połączone z nimi do dtawików torowych – kable powrotne do szyny minus w podstacji trakcyjnej. Szyna prądowa jest odizolowana izolatorem porcelanowym od węzła zamocowania.

Linia metra ma przekaźnikowy system zabezpieczenia ruchu pociągów typu E, dostosowany do panujących warunków ruchu. Kontrola zajętości torów jest regulowana przez obwody torowe ze złączami izolowanymi, dtawikami i przekaźnikami indukcyjnymi dwuuzwojeniowymi. Pociągi w metrze warszawskim mogą poruszać się z częstotliwością maksymalną 90 s, przy postoju na stacji 30 s. Prędkość maksymalna wynosi 80–90 km/h, zaś system bezpieczeństwa wprowadza 5 stopni prędkości: 0, 37, 60, 76, 87 km/h (podczas regularnej jazdy), zaś przy zjeździe na tory odstawcze – 40, 20 i 0 km/h. Sterowanie ruchem pociągów odbywa się z centralnej dyspozytorni, zlokalizowanej pod ziemią w pobliżu stacji Politechnika. Ze względu na bezpieczeństwo, stanowisko dyspozytora ruchu jest zdublowane. Za bezpieczeństwo ruchu pociągów odpowiada system typu ATP (*Automatic Train Protection*) SOP-2, opracowany wspólnie przez Politechnikę Łódzką, Metro Warszawskie i koncern ABB.

W metrze warszawskim zastosowano torowisko bezpodsypkowe (betonowe) i bezpodkładowe. W podbudowie betonowej (pełni rolę podsyпки) użyto betonu klasy B25, odpowiednio uformowanego za pomocą kanałów i kanalików. Zastosowano szyny S60 wraz z węzłem przytwierdzenia szyny. Obie części są połączone



Stacja Marymont, 12.04.2008 r.



Bramki biletowe na stacji Dworzec Gdański, 12.04.2008 r.



Stacja Młociny, inauguracja ostatniego odcinka metra I linii, 25.10.2008 r.

śrubami kotwiącymi, mocowanymi (klejonymi) w podbudowie betonowej za pomocą betonu epoksydowego. Na odcinku Kabaty – Wilanowska nawierzchnia torowa jest mocowana przytwierdzeniem typu K z pierścieniem potrójnym i łapką Łpa2. Na północ od stacji Wilanowska zastosowano łapki sprężyste Skl–3, podkładki wibroizolacyjne typu FC104 (z elastomeru korkowego) i przekładki podszynowe typu FC585. Dzięki tym zabiegom torowisko jest bardziej elastyczne.

Użyte zwrotnice są modyfikacją rozjazdów kolejowych zwykłych S60–1:9–190 i skrzyżowań S60–1:4,444, mocowane śrubami kotwiącymi 24/30 mm. Ponadto, wraz ze zdobywaniem doświadczeń z budowy i badań nowych rozwiązań, zgrzewanie torów bezстыkowych zgrzewarką torową zastąpiono spawaniem termitymowym, zaś złącze klejono-sprężone wspawane w tor – złączem wykonywanym na miejscu w torze. Wprowadzono także prewencyjne szlifowanie szyn, polegające na usunięciu warstwy odwęglonej i poprawieniu profilu główki szyny na powierzchni toczenia się kół. Zabiegi te nie tylko zmniejszają hałas czy poprawiają komfort podróży, ale także umożliwiają wydłużenie okresu eksploatacji i oszczędność zużycia energii. Szyny użyte do budowy torowiska mają masę 51,7 kg/m i zawartość manganu na poziomie 0,8% (pierwiastek ten znacznie zwiększa twardość stali) oraz węgla – 0,08%.

W pobliżu stacji Kabaty znajduje się stacja techniczno-postojowa (STP; 30 ha), wraz z zajezdnią dla całej linii. STP jest połączona torem kolejowym ze stacją PLK Okęcie. Dzięki porozumieniu się z zakładami remontującymi tabor kolejowy, przy budowie STP można było zrezygnować z budowy obiektów przeznaczonych na serwis i naprawy taboru, a także – niezbyt przyjaznych środowisku naturalnemu – np. lakierni. Obecnie (2008 r.) wagony metra serii 81 są remontowane w bydgoskiej Pesie, gdzie poddawane są niewielkim modyfikacjom – demontowane są np. zewnętrzne listwy ozdobne, wymieniana jest podłoga oraz wyciszana kabina maszynisty. Ochrona środowiska naturalnego była powodem, dla którego między sąsiadujących z STP rezerwatem leśnym w Kabatach, wzniesiono wysoki na 6 m mur (minimalizacja hałasu emitowanego do rezerwatu przez pociągi metra). Wokół STP znajduje się tor prób o długości 1,2 km, na którym są testowane wagony przed skierowaniem do regularnej eksploatacji, czy też po wykonanych naprawach. W lokomotywni znajdują się 22 tory o następującym przeznaczeniu:

- 4 tory postojowe,
- 1 tor ze stanowiskiem do sprzątnięcia wagonów,
- 12 torów przeglądowo-postojowych (wyposażone w kanały rewizyjne i obniżone międzytorza) – przeglądy wagonów,
- 2 tory wyposażone w podnośniki (do wykonywania napraw wymagających podniesienia wagonu),
- 3 tory dodatkowe.

Tory postojowe i postojowo-naprawcze umożliwiają postój pociągów 6-wagonowych i wyposażone są w górną szynę zasilającą, umożliwiającą samodzielny wyjazd wagonów z hali oraz wykonanie prób wagonu pod napięciem. Napięcie w szynie górnej jest realizowane z wózków zasilających. Obecność przyłączy pneumatycznych umożliwia utrzymanie stałego ciśnienia w układzie pneumatycznym wagonów. STP ma także myjnię, pracującą w zamkniętym obiegu wody.

Plany, czyli II linia metra

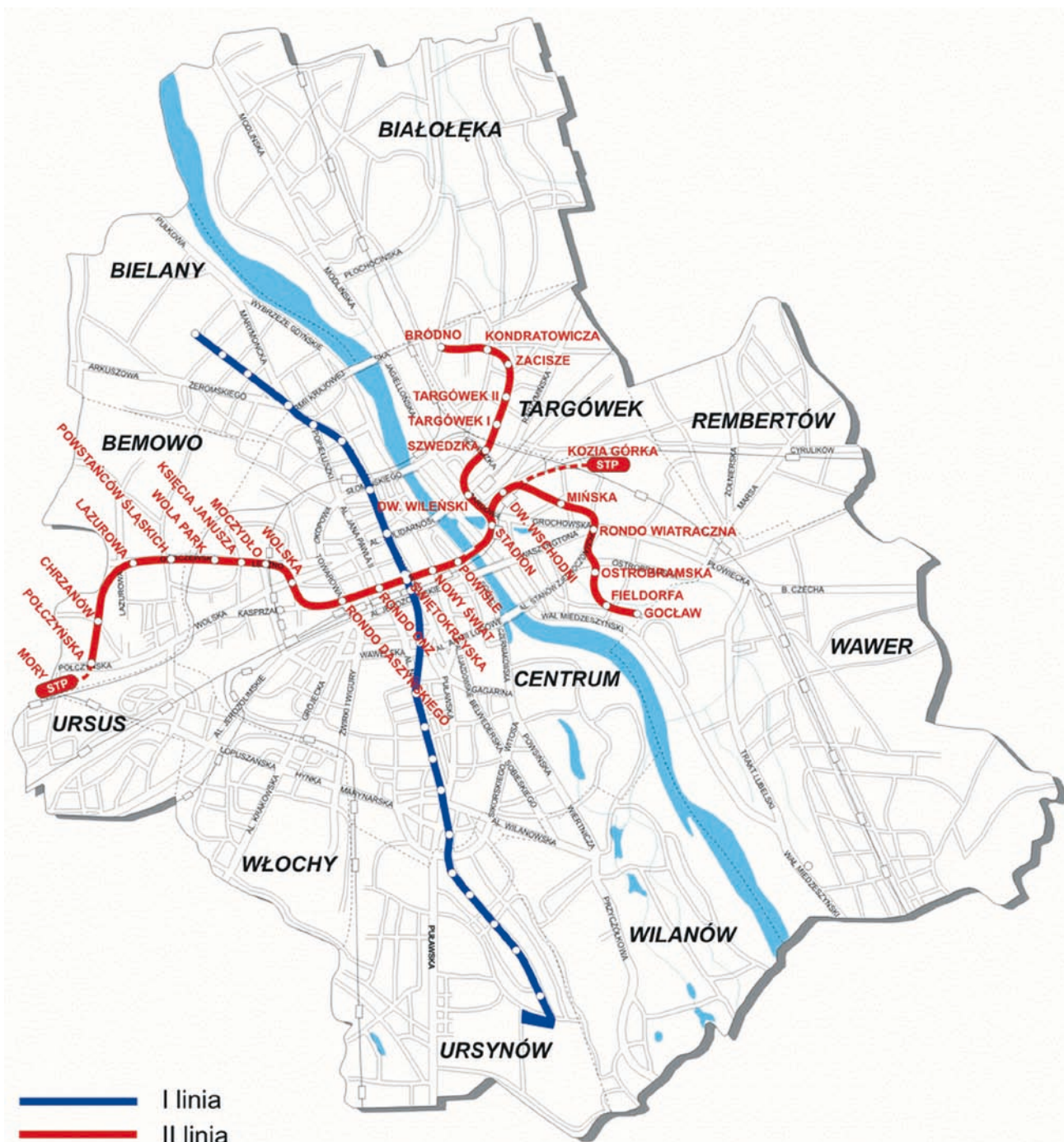


STP Kabaty, w tle widoczny wjazd do tunelu metra (3 tory), 23.09.2006 r.



STP Kabaty, 23.09.2006 r.

Projekt II linii metra nawiązuje do planów przedwojennych i zakłada poprowadzenie linii z Mor (dzielnica Wola) na prawobrzeżną część Warszawy (Praga), przy czym linia w części wschodniej będzie się rozgałęziać na stacji Stadion na odcinek północny (do osiedla Bródno) oraz południowy (do osiedla Goław). Powstaną dwie stacje techniczno-postojowe: Mory (w pobliżu lokomotywni Odolany) i Kozia Górka (Praga, w pobliżu lokomotywni



Olszynka Grochowska), zaś długość linii metra wyniesie około 31 km. Planowana jest budowa następujących stacji:

- odcinek zachodni: Połczyńska, Chrzanów, Lazurowa, Powstańców Śląskich, Wola Park, Księcia Janusza, Moczydło, Wolska;
- odcinek centralny: Rondo Daszyńskiego, Rondo ONZ, Świętokrzyska, Nowy Świat, Powiśle, Stadion, Dw. Wileński;
- odcinek północno-wschodni: Szwedzka, Targówek I, Targówek II, Zacisze, Kondratowicza, Bródno;
- odcinek południowo-wschodni: Dw. Wschodni, Mińska, Rondo Wiatraczna, Ostrobramska, Fieldorfa, Goław.

Obie linie będą się krzyżować na stacji Świętokrzyska. W pierwszym etapie powstanie odcinek centralny: Dworzec Wileński – Rondo Daszyńskiego (6 km, 7 stacji), metodą drążenia tunelu. Metro przekroczy linię Wisły przez tunel poprowadzony

pod dnem rzeki, zlokalizowany na południe od mostu Świętokrzyskiego. Linia II zostanie zbudowana według nowej technologii, a tempo drążenia tunelu wyniesie 25 m na dobę (dla pierwszej linii metra – 2 m na dobę).

Tabor Wagony serii 81

Początkowo zakładano, że wagony dla metra warszawskiego zostaną dostarczone na mocy umowy pomiędzy Polską i ZSRR (90 wagonów, jako „dar dla Warszawy”). W lutym 1990 r. przekazano bezpłatnie 10 wagonów serii 81, wyprodukowane przez fabrykę w Mytiszczach pod Moskwą. Dostawa kolejnych wagonów na podobnych warunkach nie była jednak możliwa z powodu sprzeciwu dostawcy. Strona polska próbowała zamówić tabor u innych (zachodnich) producentów metra oraz firm krajowych. Postanowiono

warunki, że wagony dla metra warszawskiego powinny spełniać kryteria nowoczesności, tj. mieć:

- aluminiowe poszycie pudła,
- wózki o nowoczesnej konstrukcji,
- trakcyjne silniki asynchroniczne, zasilane falownikami tyrystorowymi GTO.

Kontrahentem zagranicznym postawiono warunek, że produkcja wagonów musi odbywać się z udziałem polskich podwykonawców. Wydelegowana firma PHZ Kolmex oraz Generalna Dyrekcja Budowy Metra, po zebraniu ofert zdecydowały, że zebrane między marcem a październikiem 1991 r. oferty prezentują zbliżony (wysoki) poziom techniczny oraz równie wysoki poziom cen. Równocześnie oferty złożone przez dwie firmy z Rosji (fabryki z Mytiszczy i St Petersburga) wprawdzie nie spełniają kryteriów nowoczesności, ale koszt zakupu taboru rosyjskiej produkcji jest ok. 5-krotnie niższy niż producentów zachodnich. Na niekorzyść Dyrekcji Metra działały dwa czynniki – odmowa współfinansowania zakupu nowoczesnego taboru z budżetu państwa, a także krótki czas realizacji zamówienia przez potencjalnego producenta (24 miesiące). Zmiany, jakie zaszły w Polsce po 1989 r. (w tym początkowy kryzys gospodarczy) spowodowały korektę planów budowy metra (cięcia w wydatkach budżetowych), i tym samym zmniejszenie liczby potrzebnych wagonów z 80 do 32 szt. Podejmowane wysiłki o wypożyczenie wagonów z metra praskiego czy nieuruchomionego sofijskiego zakończyły się niepowodzeniem. Rozpisano zatem przetarg między producentami z Rosji i ostatecznie wybrano ofertę firmy APO Wagonmasz z St Petersburga (zakupiono 32 wagony). Należy dodać, że propozycje obu oferentów były bardzo zbliżone (parametry techniczne, komfort jazdy, design, itp.).

Wagony produkcji rosyjskiej są 4-osiowe, z wszystkimi osiami napędzonymi, przy czym różnice dotyczą zabudowania bądź nie kabiny sterowniczej. Dyrekcja Metra Warszawskiego zakupiła ostatecznie wagony (z kabiną sterowniczą/bez kabiny sterowniczej) serii 81–7173/81–7143 (Mytiszcze, 1990 r.) oraz 81–572/81–573 (St Petersburg, 1994 r.). Wagony te można zestawiać w pociągi 3- do 8-wagonowe. Perony warszawskiego metra mogą przyjmować pociągi zestawione do 6 wagonów. Temperatura eksploatacji wagonów wynosi od -40°C do $+40^{\circ}\text{C}$.

Rama wózka ma kształt litery H i wykonana jest ze stalowych ceowników (grubość blachy 20 mm). Wózki mają podwójne zawieszenie – pierwszy i drugi stopień stanowią sprężyny cylindryczne, plus tłumik hydrauliczny. W każdej maźnicy znajdują się po 2 łożyska walcowe i przekładki dystansowe. Zestawy kołowe mają koła monoblokowe. Moment obrotowy silnika jest przenoszony przez jednostopniową przekładnię (walcową, ze skośnymi zębami). Każdy zestaw kołowy ma po dwie pary klocków hamulcowych, wykonanych z tworzywa sztucznego.

Pudło wagonu jest konstrukcją stalową, całkowicie spawaną. Do ramy, wykonanej z ceowników są przymocowane ściany (boczne i czołowe) i podłoga, zaś do ścian – dach wagonu. Układ siedzeń w wagonie jest wzdłużny, siedzenia są miękkie, obite tkaniną. Po każdej stronie wagonu znajdują się po cztery pary drzwi



Wagony serii 81, STP Kabaty, 23.09.2006 r.



Wagony serii 81 na stacji Wierzbno, 16.06.2006 r.



Wnętrze wagonu serii 81, STP Kabaty, 23.09.2006 r.

(kieszeniowych). Oświetlenie wagonu stanowią lampy luminescencyjne. Wagony są wyposażone w półautomatyczny sprzęg samoczynny, zaś połączenia elektryczne są realizowane za pomocą umiejscowionej pod sprzęgiem skrzynki połączeń elektrycznych, łączonej pneumatycznie.

Każdy wagon jest wyposażony w cztery silniki trakcyjne prądu stałego, z oporową regulacją. Ich prędkość obrotową reguluje się przez zmianę napięcia zasilania i prądu wzbudzenia. Służą do tego odpowiednie sekcje rezystorów rozruchowych, przy szerego-

wym i szeregowo-równoległym połączeniu silników (poprzez zmianę napięcia zasilania). Osłabienie wzbudzenia polega na bocznikowaniu uzwojenia wzbudzenia za pomocą rezystorów wzbudzenia. W każdym wagonie zamontowany jest hamulec elektrodynamiczny (oporowy), który działa następująco: w przedziale

90–55 km/h stosuje się impulsową regulację wzbudzenia silników, zaś w zakresie 55–8 km/h następuje odłączanie kolejnych rezystorów rozruchowych w układzie hamowania. W przedziale 8–0 km/h (dohamowanie pociągu) stosuje się hamulec pneumatyczny (klockowy). Maszynista reguluje prędkość pociągu poprzez wychylenie nastawnika krzywkowego (wału kutakowego), który ma 7 pozycji. Odbiór prądu następuje poprzez ślizgacz pobierający prąd z trzeciej szyny (po dwa ślizgacze na wózek, po jednym z każdej strony).



Pulpit sterowania w wagonie serii 81, STP Kabaty, 23.09.2006 r.



Wózek wagonów serii 81, STP Kabaty, 23.09.2006 r.



Połączenie między wagonami serii 81, STP Kabaty, 23.09.2006 r.

Wagon ma obwody niskiego i wysokiego napięcia. Oprócz silników, napięcie w wagonie służy do zasilania: sprężarki, drzwi, oświetlenia podstawowego i awaryjnego, systemu informacji i tęczności, przetwornicy tyrystorowej, ogrzewania oraz wentylacji kabiny maszynisty. Rezerwowa instalacja elektryczna umożliwia zjazd pociągu w przypadku awarii układu podstawowego. Układ pneumatyczny, zamontowany w pociągu, umożliwia zamykanie i otwieranie drzwi, reguluje pracę aparatury elektro-pneumatycznej, hamowania pneumatycznego, a także pracę wycieraczek czy sygnału dźwiękowego.

Maszynista komunikuje się z dyspozytorem ruchu poprzez radiostację UKF (producent – firma ASCOM). Każdy z pociągów ma zamontowany system rejestracji 12 parametrów analogowych (np. prędkość, zmiany napięcia) i 32 cyfrowe (np. otwarcie drzwi, włączenie sprężarki). Możliwy jest zapis 50 godz. pracy wagonu, natomiast odczytywanie sygnałów odbywa się za pomocą programu komputerowego MDS.

Wnętrze wagonu, zwłaszcza siedzenia, wykonano z zastosowaniem materiałów niepalnych i nietoksycznych, spełniających polskie normy bezpieczeństwa. Specjaliści, wydelegowani przez Kolejowy Dozór Techniczny, we współpracy z Pracownią i Laboratorium Zastosowań Chemicznych CNTK, kilkakrotnie zdyskwalifikowali materiały proponowane przez producenta. Ostatecznie dopuszczone zostały tkaniny i siedzenia (elastyczne i wandaloodporne) wyprodukowane przez polską firmę TAPS, z wykorzystaniem komponentów francuskich.

W latach 1995–1997 wagony serii 81 kursowały w składach 3-wagonowych, 1998–2007 4-wagonowych, zaś w od 2007 r. kursują wyłącznie jako 6-wagonowe (w połowie 2003 r. i 2005 r. kursował także jeden pociąg 6-wagonowy). Po zakupieniu wagonów środkowych długość pociągów została zwiększona do 6 wagonów. Koszt zakupu jednego wagonu serii 81 waha się w granicach 0,9 mln USD, a pociągu 6-wagonowego – 5,4 mln USD (na podstawie cen z 2008 r., do ceny należy dodać cło i podatki w wysokości 24%).

Wagony z rodziny Metropolis

W lipcu 1998 r. w koncernie Alstom zamówiono wagony z rodziny Metropolis. Są to wagony nowoczesne, wykonane na światowym poziomie technicznym. Eksploatacja pierwszych wagonów z tej rodziny rozpoczęła się w październiku 2000 r.

Każdy pociąg Metropolis składa się w dwóch skrajnych wagonów sterowniczych bez napędu oraz czterech środkowych wagonów z napędem. Konfiguracja pociągu

to Tc-M-M-M-M-Tc, zaś skład może być eksploatowany tylko w tej konfiguracji.

Pociąg jest wyposażony w koła monoblokowe oraz tarcze hamulcowe (dwie tarcze w wózku tocznym i jedna w napędym). Rama wózka każdego wagonu w kształcie litery H jest zbudowana z dwóch podłużnic i połączona środkową, poprzeczną. Na obu końcach ramy zamontowane są dodatkowe dwie poprzecznice, na których są zamontowane cylindry hamulcowe. Aluminiowe maźnice mieszczą dwurzędowe łożyska barytkowe, smarowane smarem stałym. Na ramie każdego wózka są zamontowane po 2 silniki trakcyjne, przekazujące moment obrotowy silnika na koła przez elastyczne sprzęgło i dwustopniową przekładnię zębatą (walcową ze skośnymi zębami). Zawieszenie wagonu jest dwustopniowe – pierwszy stopień stanowią metalowo-gumowe tzw. sprężyny stożkowe, zaś drugi stopień – poduszki powietrzne (po dwie na każdy wózek), znajdujące się między ramą wózka i pudłem wagonu. Dodatkowo, między wózkiem i pudłem znajdują się dwa pionowe amortyzatory i jeden poziomy. Połączenie wózka z pudłem jest realizowane przez belkę skrętową, czop skrętu (pudło) i gniazdo czopa skrętu (wózek), plus cztery gumowe pakiety i elastomero-wą tuleję. Z każdej strony wózka znajduje się odbierak prądu (ślizgacz), służący do odbioru prądu z trzeciej szyny. Ślizgacz jest dociskany przez sprężyny śrubowe oraz ma blokadę mechaniczną, działającą przy braku kontaktu z trzecią szyną (unieruchamiając odbieraka w dolnym położeniu).

Pudło wagonu jest wykonane z blach aluminiowych i stalowych, odpowiednio: dach, podwozie i ściany boczne oraz ściany końcowe, belki skrętowe, przednia plus tylna czołownica i wzmocnienie kabiny. Elementy stalowe i aluminiowe połączone są nitami, przy czym elementy te (Al/Fe) są oddzielone od siebie powłoką specjalnej farby. Optywowy kształt kabiny maszynisty uzyskano przez zastosowanie żywic fenolowych. Kabina maszynisty ma drzwi po obu stronach, plus wejście do przedziału pasażerskiego. Maszynista ma do dyspozycji ergonomiczny pulpit z konsolą COMET-1 (wyświetlacz systemu diagnostyki) oraz sześciopozycyjny, suwakowy nastawnik jazdy. Dodatkowo po lewej stronie na ścianie czołowej znajdują się drzwi ewakuacyjne (stanowisko maszynisty znajduje się po prawej stronie).

Wnętrze wagonu jest wyłożone panelami poliwęglanowymi i aluminiowymi. Okna wagonów, zamontowane jako nieotwieralne, są mocowane do pudeł profilami elastomerowymi. Grubość użytego szkła bezodpryskowego wynosi 8 mm. Pociągi są całkowicie klimatyzowane (2 zespoły na wagon), zaś system może funkcjonować do 30 min po wyłączeniu napięcia w szynie zasilającej. Siedzenia dla pasażerów mocowane są do ścian wagonów, a nie podłóg, co ułatwia sprzątanie. Wnętrze wagonu jest oświetlane lampami luminescencyjnymi. W każdym wagonie znajdują się po 4 pary drzwi, otwieranych elektrycznie. Maszynista ma do dyspozycji system rejestracji zdarzeń ATM i radiotelefon Motorola. W pociągu zastosowano 2 typy sprzęgów: międzywagonowy (łączenie za pomocą obejm i śrub) oraz półautomatyczny, kompatybilny ze sprzęgiem wagonów serii 81.

Część elektryczna wagonu silnikowego składa się z dwóch falowników tranzystorowych IGBT (Alstom Onix 800), układu elektronicznego sterującego napędem, dwóch dławików oraz dwóch rezystorów hamulcowych (stalowych). Sterowanie pociągiem odbywa się z nastawnika jazdy oraz urządzenia kodującego. Tryby jazdy są następujące:

- JMT, jazda manewrowa do tyłu,



Wagony z rodziny Metropolis, STP Kabaty, 23.09.2006 r.



Wagony Metropolis na stacji Dworzec Gdański, 1.11.2006 r.



Wnętrze wagonu Metropolis, 15.06.2006 r.



Wózek silnikowy wagonów Metropolis, STP Kabaty, 23.09.2006 r.



Wózek toczny wagonów Metropolis, STP Kabaty, 23.09.2006 r.



Połączenie między wagonami Metropolis, STP Kabaty, 23.09.2006 r.



Aparatura elektryczna w wagonie Metropolis, STP Kabaty, 23.09.2006 r.

- 0, neutralne,
- JMP1, jazda manewrowa do przodu, przejazd przez myjnię,
- JMP2, jazda manewrowa do przodu,
- JP, jazda pociągowa,
- AJP, automatyczna jazda pociągu.

Sterowanie pociągiem odbywa się za pomocą systemu AGATE (*Advanced GEC Alstom Traction Electronic*), 32-bitowego systemu (informacje o otwieraniu drzwi, masie wagonów, itp.), współpracującego z systemem SOP-2. Każdy z falowników, zbudowanego na bazie tranzystorów IGBT, steruje parą asynchronicznych trójfazowych silników trakcyjnych (klatkowych). Falowniki, wraz z pozostałą aparaturą elektroniczną, znajdują się pod wagonem. Falowniki są zbudowane jako dwukierunkowe, tj. możliwe jest hamowanie odzyskowe, jednak gdy napięcie w szynie zasilającej przekracza 900 V, nadmiar energii jest wytracany w rezystorach hamulcowych. Silniki trakcyjne mają wentylację wymuszoną. Urządzenia te są przystosowane do pracy w środowisku o dużym zapyleniu i wilgotności. Do zasilania obwodów pomocniczych służy falownik pomocniczy, wytwarzający napięcie 110 V DC i 3×400 V 50 Hz. Pierwsze z nich służy do zasilania akumulatorów, przedziałów pasażerskich, wentylatorów, oświetlenia zewnętrznego pociągu oraz układu sterowania pociągiem, natomiast drugie – sprężarki, układu ogrzewania i chłodzenia układu elektrycznego. Wagony są zasilane napięciem 750 V, choć napięcie zasilające może wahać się w przedziale 500–900 V.

W pociągu są zamontowane 3 rodzaje hamulców:

- elektrodynamiczny:
 - odzyskowy, będący hamulcem podstawowym, przy czym w przypadku jego uszkodzenia, prędkość maksymalna pociągu jest ograniczona do 57 km/h;
 - oporowy;
- pneumatyczny (tarczowy), stosowany w zakresie małych prędkości;
- mechaniczny (postojowy), działający na jedną osł w każdym wózku.

Hamulec może być uruchomiony, oprócz maszynisty, przez: pasażera, CA, system SOP-2, przytorowe urządzenia zabezpieczenia ruchu i układ diagnostyczny (np. reakcja na otwarcie drzwi pasażerskich lub utratę ciśnienia w przewodzie paliwowym). Za sterowanie hamulcem odpowiada także system AGATE. W pociągu są zamontowane dwie sprężarki, przy czym praca jednej wystarcza na pokrycie potrzeb wagonu, a druga pracuje w trybie awaryjnym. Wyposażenie wagonów spełnia polskie normy w zakresie niepalności i nietoksyczności oraz emisji dymu, zaś pod podłogą wagonów pasażerskich zamontowano czujniki temperatury.

Wagony mają następujący cykl serwisowania:

- PK, przegląd kontrolny, co 14 dni;
- PO, przegląd okresowy, co 3 miesiące lub 25 tys. km;
- R-1, naprawa rewizyjna 1, 1 rok lub 100 tys. km;
- R-2, naprawa rewizyjna 2, 2 lata lub 200 tys. km;
- R-3, naprawa rewizyjna 3, 4 lata lub 400 tys. km;

Dane techniczne wagonów eksploatowanych w metrze w Warszawie

Typ wagonu	81	Metropolis
Producent	Fabryka Maszyn w Mytyzyczach (Rosja) Wagonmasz St Petersburg	Alstom (Konstal Chorzów, CAF Barcelona)
Lata dostaw	1990: 81-7173, 81-7143; 4 + 6 szt. 1994: 81-572, 81-573; 24 + 8 szt. 1997: 81-572, 81-573, 2 + 16 szt. 2007: 81-7143, 81-7143M; 4 + 26 szt. 2008: 81-573.2, 81-572.2 : 20 + 10 szt.	2000: 4 pociągi 2001: 4 pociągi 2002: 5 pociągów 2004: 3 pociągi 2005: 2 pociągi
Numeracja wagonów	001-040, 400-479	M: 1001-1072, Tc: 2001-2036
Układ wagonów w pociągu	81-7173 + 4×(81-7143) + 81-7173 81-572 + 4×(81-573/81-7143M) + 81-572 81-572.2 + 4×(81-573/81-7143M) + 81-572.2	Tc + 4M + Tc
Liczba dostarczonych pociągów/wagonów	15 + 5/90 + 30	18/108
Liczba wagonów w pociągu	6	4+2
Moc silnika trakcyjnego [kW]	110	180
Moc sumaryczna pociągu [kW]	2640	2880
Rodzaj silników trakcyjnych	DC	AC 3~
Typ silników trakcyjnych	DK 117 WM	4 EXA 2130
Poszycie pudła wagonu	stal	aluminium + stal
Rozruch silników	R	IGBT
Układ osi wagonu	Bo'Bo'	Bo'Bo'
Prędkość eksploacyjna [km/h]	80	90
Całkowita długość wagonu [mm]	19 206	19 440/19 490
Baza wagonu [mm]	12 600	12 600
Baza wózka [mm]	2100	2000
Szerokość wózka [mm]	2100	1910
Szerokość wagonu [mm]	2712	2720
Wysokość wagonu [mm]	3662	3600
Liczba drzwi	2×4	2×4
Szerokość drzwi [mm]	1300	1300
Średnica kół nowych/zużytych [mm]	780/bd.	860/790
Maksymalne przyspieszenie [m/s ²]	1,2	1,2
Przeładnia	5,33	6,94
Zamontowane hamulce	elektrodynamiczny oporowy, klockowy	elektrodynamiczny odzyskowy i oporowy, tarczowy, postojowy
Masa wagonu [t]	81-717.1: 34,0; 81-714.1: 33,0	M: 30,6; Tc: 27,1
Liczba miejsc do siedzenia w wagonie	81-717.1: 40; 81-714.1: 44	M: 44+2; Tc: 36+4
Liczba miejsc do stania w wagonie	81-717.1: 220; 81-714.1: 238	M: 249; Tc: 229
Całkowita liczba miejsc w pociągu	1648	1718
Całkowita długość pociągu [mm]	115 236	116 740
Roczny przebieg [km]	80-100 tys.	100-120 tys.
Uwagi	Wagony z ostatniej dostawy mają zmieniony design kabiny maszynisty	

- G-1, remont średni, 8 lat lub 800 tys. km;
- G-2, remont średni, 16 lat lub 1 600 000 km.

Wagony metra przetestowano na stanowiskach próbnych koncernu Alstom w Preston (UK), Barcelonie oraz Warszawie (STP Kabaty). Wykonano badania zarówno statyczne, jak i dynamiczne, plus obliczeniowe (program ANSYS, 100 tys. elementów modelujących poszczególne fragmenty pudła). Wagony Metropolis zbudowano z myślą o 30 latach eksploatacji lub 3 mln km przebiegu. Dostarczono 108 wagonów, składających się na 18 pociągów. Jeden skład Metropolis kosztuje ok. 6 mln euro. Pierwsze cztery pociągi wyprodukowano w hiszpańskiej fabryce Alstom w Barcelonie (prowincja Katalonia) i przetransportowano je do Polski drogą morską – do portu w Gdańsku, a do punktu docelowego – STP Kabaty – pociągiem towarowym, z użyciem wagonów ochronnych, z prędkością maksymalną 60 km/h. Kolejne pociągi, wyprodukowane już w Konstalu, przewożono do Warszawy także pociągiem towarowym. Pociągi w ramach testów przejechały 600 km, w tym 100 km na torze próbnym i 500 km w tunelu, po czym UTK wydał certyfikat dopuszczenia ich do eksploatacji.

Tabor wyprodukowany przez francuski Alstom jest nie tylko nowocześniejszy od rosyjskiego, co przedkłada się na znacznie mniejsze koszty eksploatacji (serwis i naprawy), jest mniej energochłonny, a dodatkowo został wyprodukowany w Polsce z użyciem polskich komponentów (nie można tego stwierdzić o wagonach rosyjskich). Wagony Metropolis oferują także znacznie większy komfort podróży (bardziej elastyczne zawieszenie, dużo niższy poziom hałasu, itp.) w porównaniu z wagonami serii 81. Przy porównywalnej cenie pociągów obu producentów, bardziej korzystny wydaje się zakup wagonów dla budowanej II linii metra wyprodukowanych w chorzowskim Alstomie – Konstalu lub z innej polskiej fabryki, która zdecyduje się na produkcję wagonów metra we współpracy z koncernami zachodnimi.



Literatura

- [1] Raporty roczne Metra Warszawskiego 2004 -2008.
- [2] Świat kolei: 9/2000, 4/2001, 5/2001, 5/2002, roczniki 2000-2008 r. (Aktualności). EmiPress Łódź.
- [3] Technika Transportu Szynowego: 4/1995, 10/1995, 3/1998, 12/2000, 1-2/2001. EmiPress Łódź.