

HENRYK KARBOWIAK

prof. zw. dr hab. inż., emeryt.
prof. zw. Politechniki Łódzkiej,
prof. zw. Akademii Humanistyczno-
-Ekonomicznej w Łodzi, 90-222
Łódź, ul. Rewolucji 1905 r. nr 52
i 64, tel. 42-680-0549,
e-mail: h.karbowiak@interia.pl

ANDRZEJ J. ZAJĄCZKOWSKI

mgr inż., Stowarzyszenie Inżynierów
i Techników Komunikacji oddz.
Warszawa 00-043 Warszawa,
ul. Czackiego 3/5, tel. 22-610-29-11,
e-mail: a.jot.zet@neostrada.pl

150-LECIE METRA ŚWIATOWEGO I 18-LECIE METRA W WARSZAWIE¹

Streszczenie. W styczniu 2013 roku minęła 150. rocznica otwarcia pierwszego odcinka linii metra na świecie – w Londynie, a w kwietniu 2013 roku – minie 18 lat od oddania do eksploatacji pierwszego odcinka I linii metra w Warszawie. Autorzy określają metro jako system kolei głównie podziemnej, o stosunkowo dużej prędkości, przeznaczony do bezpiecznej obsługi bardzo dużego ruchu pasażerskiego w wielkich ośrodkach miejskich. W artykule przedstawiono rozwój linii i systemów metra w świecie i opisano budowę metra w Warszawie. Obecnie ocenia się, że w około 145 miastach świata istnieją linie metra (nie liczone tzw. premetro, chociaż w niektórych przypadkach trudno rozróżnić premetro od właściwego metra).

Systemy metra współpracują z innymi systemami transportu miejskiego, np. w Paryżu z systemem RATP, w Berlinie z S-Bahnem. Najdłuższa sieć metra przekracza 400 kilometrów w Londynie, a liczba linii metra w wielkich metropoliach osiąga liczbę kilkunastu. Najmniejsze średnie odległości między stacjami występują w Paryżu – około 560 metrów.

Współczesne systemy metra charakteryzują się wysokim stopniem bezpieczeństwa ruchu, osiąganego przez separację linii metra od innych dróg transportu oraz zastosowanie automatyki w prowadzeniu pociągu metra. Najważniejszą zaletą systemu metra jest zdolność przewozowa, która dla typowych parametrów ruchu wynosi około 500 tysięcy pasażerów dziennie dla jednego kierunku ruchu i prędkości podróżowania około 36 km/h.

W Warszawie pierwszy odcinek I linii metra uruchomiono w 1995 roku, a całą pierwszą linię o długości 22 kilometrów z 21 stacjami oddano do eksploatacji w 2008 roku. Podano również informacje o planach budowy drugiej linii oraz o realizacji jej centralnego odcinka. Ocenia się, że całkowita długość linii metra w Warszawie będzie wynosiła około 70 kilometrów.

Słowa kluczowe: transport pasażerski, metro, zdolność przewozowa, czas następstwa, bezpieczeństwo

Metro w świecie

Metro jest to system kolei, głównie podziemnej, przeznaczony do obsługi bardzo dużego ruchu pasażerskiego w wielkich ośrodkach miejskich, tj. centrach miast oraz punktach generujących duże natężenie ruchu (dworce, centra handlowe, zespoły akademickie, osiedla mieszkaniowe itp.). System metra charakteryzuje się wysokim stopniem bezpieczeństwa ruchu, dobrą dostępnością do pojazdów wzdłuż linii metra i możliwością przewozu pasażerów, ze stosunkowo dużą prędkością, zdeterminowaną odległością między przystankami

mi. Wysoki stopień bezpieczeństwa ruchu osiąga się przez separację linii metra od innych dróg transportowych oraz powszechne stosowanie systemów automatycznego sterowania ruchem i prowadzenia pociągu. Systemy przewozowe metra praktycznie są dostępne dla pasażerów przez około 18 do 19 godzin w ciągu doby. Okres nocy jest przeznaczony na konserwację technicznych urządzeń metra – wówczas zapotrzebowanie na przewozy pasażerskie jest znikome.

Pierwsza na świecie linia metra została zbudowana w Londynie [1] i przekazana do eksploatacji 150 lat temu, dokładnie 10 stycznia 1863 roku. Linia liczyła około sześciu kilometrów oraz siedem stacji i obecnie stanowi ona fragment jednej z eksploatowanych linii. W tym czasie Polska walczyła o niepodległość (powstanie styczniowe). Następne linie metra zostały uruchomione w 1896 roku w Budapeszcie (obecna linia żółta) i Glasgow, a w 1897 roku w USA – Boston oraz Chicago. Kolejno, patrząc chronologicznie, wyposażono w linie metra Paryż (1900) i Berlin (1902). W pierwszych pięćdziesięciu latach istnienia metra, tj. do 1933 roku, pierwsze linie metra [2] wybudowano w Nowym Jorku (1904), w Filadelfii (1907), w Hamburgu (1912) i Buenos Aires (1913). W latach 1914–1935 wybudowano linie metra w Madrycie (1919), Barcelonie (1924), Tokio (1927), Osace (1933) i w Moskwie (1935). W poniższym opracowaniu wykorzystano głównie z dat podanych w pracy [2], w której jednoznacznie określono, że daty dotyczą otwarcia pierwszego odcinka metra (*first section opened*), opracowanie [3] podaje inną datę, dotyczącą Chicago (1892).

W tabeli 1 podano chronologicznie wykaz miast, w których od 1863 roku do II wojny światowej (1939) wybudowano pierwsze linie metra. Z tabeli 1 wynika, że w latach 1863–1938 wybudowano systemy lub linie metra w szesnastu miastach. W większości miast, szczególnie w Londynie, Nowym Jorku, Moskwie, Paryżu i Berlinie następował ciągły rozwój sieci metra. W Budapeszcie drugą linię metra uruchomiono dopiero w 1970 roku. W niektórych miastach sieć metra ściśle współpracuje z siecią kolei miejskich, np. w Berlinie metro (U-bahn) współpracuje w obsłudze pasażerów z rozwiniętą w tym samym czasie siecią szybkiej kolei miejskiej S-bahn.

Urządzenia techniczne metra na pierwszych liniach były bardzo zbliżone do rozwiązań kolejowych, poczynając od toru i sygnalizacji, a kończąc na parowozach (do 1890 r.)

¹ © Transport Miejski i Regionalny, 2013. Wkład autorów w publikację: H. Karbowiak 50%, A.J. Zajączkowski 50%

Tabela 1

Miasta, w których uruchomiono pierwsze odcinki linii metra w latach 1863–1935	
Pierwsze 50-lecie metra (11 miast)	Kolejne 25-lecie metra (5 miast)
1863 – Londyn 1896 – Budapeszt Glasgow 1897 – Boston Chicago 2 1900 – Paryż 1902 – Berlin 1904 – Nowy Jork 1907 – Filadelfia 1912 – Hamburg 1913 – Buenos Aires	1919 – Madryt 1924 – Barcelona 1927 – Tokio 1933 – Osaka 1935 – Moskwa

Opracowanie własne, daty wg [2] (2 praca [3] podaje inną datę)

i wagonach. Dopiero wraz z upływem lat następowała specjalizacja rozwiązań technicznych, uwzględniających specyfikę systemów metra.

Drugie 75-lecie historii rozwoju metra światowego obejmuje lata 1939–2013, w tym światowy kryzys gospodarczy i II wojnę światową, która zdecydowanie ograniczyła lub znacznie spowolniła inwestycje pozamilitarne, w tym rozwój metra.

Pierwszym miastem europejskim po II wojnie światowej, w którym oddano do eksploatacji pierwszy odcinek metra był Sztokholm (1950 r.). W latach 50. uruchomiono m.in. w 1955 roku pierwsze odcinki metra w St. Petersburgu (Leningrad) i Rzymie, a w 1957 roku w Atenach i Nagoi, a w 1960 roku w Kijowie. Łącznie w okresie po II wojnie światowej do 1960 roku pierwsze linie metra wybudowano w ośmiu krajach.

W tabeli 2 podano liczby miast, w których uruchomiono pierwsze odcinki metra z podziałem na kolejne dekady i ostatnie dwunastolecie 2001–2012 oraz wymieniono niektóre z tych miast. Dane liczbowe w tekście i tabelach 1 i 2 pochodzą z opracowania [2]. W poszczególnych dekadach liczbę miast podano w przybliżeniu z tendencją do zaniżania, ponieważ w dostępnych materiałach nie zawsze można jednoznacznie ustalić, czy jest to typowe metro, czy premetro (lekka kolej, tramwaj w tunelu).

Łącznie w ciągu 150 lat sieci, linie lub odcinki metra zostały wybudowane w około 145 miastach świata. W około 40 miastach eksploatowane jest premetro, tj. kolej lekka lub tramwaj. W około 20 realizowane są budowy, opraco-

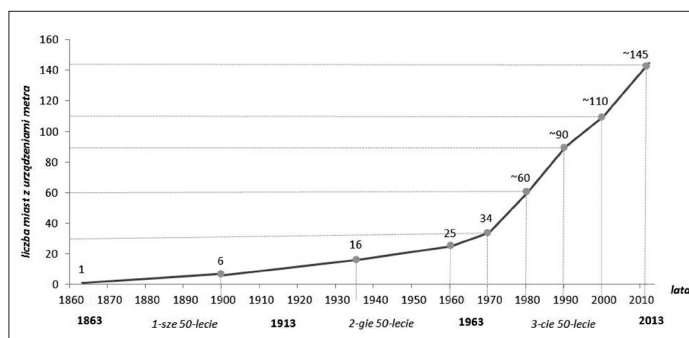
wywane projekty lub prowadzone prace planistyczne nad systemami metra, m.in. w Odessie (Igrzyska Olimpijskie – IO 2014). W wielu miastach posiadających już linie metra następuje ich rozbudowa. Szczególnie to widać na przykładzie Pekinu – IO 2008.

Na poszczególnych kontynentach pierwsze linie metra uruchomiono kolejno: Europa – Londyn (1863), Ameryka Północna – Boston, Chicago (1897), Ameryka Południowa – Buenos Aires (1913), Azja – Tokio (1927), Afryka – Kair (1987) oraz Australia – Sydney (1926), kolej elektryczna, której około 26 kilometrów prowadzone jest w tunelu pod miastem.

Zawarte w tabelach 1 i 2 dane o liczbie miast, w których uruchomiono linie metra w kolejnych latach lub dekadach, poczynając od 1863 roku, przedstawiono graficznie na rysunku 1.

Z rysunku 1 wynika, że dopiero po przeszło stu latach od uruchomienia pierwszego odcinka metra w Londynie nastąpił zdecydowany wzrost liczby miast, w których oddawano do eksploatacji nowe linie.

Budowa i rozbudowa sieci metra jest zdeterminowana liczbą mieszkańców dużych ośrodków miejskich, a ściślej, potrzebami przewozowymi oraz możliwościami finansowymi miasta. Budowa metra jest procesem inwestycyjnym złożonym, trudnym technicznie w realizacji i wymagającym dużych nakładów finansowych. Dlatego budowa metra jest dzielona na etapy z reguły o długości kilku do kilkunastu kilometrów. Budowa pierwszej linii metra musi być prowadzona równocześnie z budową pierwszej stacji techniczno-postojowej, która powinna być zlokalizowana



Rys. 1. Liczba miast z liniami metra w okresie 150-lecia metra światowego
Opracowanie własne, wg tabel 1 i 2, część danych przybliżona.

Tabela 2

Miasta, w których uruchomiono pierwsze odcinki linii metra w latach 1939–2012						
Lata	1939–1960	1961–1970	1971–1980	1981–1990	1991–2000	2001–2012
Liczba miast	9	9	~25 (niektóre miasta)	~30	~20	~35
Nazwy miast	1950 – Sztokholm 1954 – Toronto 1955 – St. Petersburg (Leningrad) Rzym Cleveland 1957 – Ateny (ok. 3 km linii pod ziemią) Nagoja 1959 – Lizbona 1960 – Kijów	1964 – Mediolan 1966 – Montreal Oslo Tbilisi 1967 – Baku 1968 – Frankfurt/Men Rotterdam 1969 – Pekin Meksyk	1972 – Monachium San Francisco 1974 – Praga Seul Sao Paulo 1976 – Waszyngton Bruksela 1978 – Lyon (1997 – linia D pierwsza w świecie w pełni zautomatyzowana) 1979 – Rio de Janerio Bukareszt Hongkong	1982 – Helsinki 1983 – Lille 1984 – Mińsk Kalkuta 1986 – Vancouver 1987 – Kair Singapur 1988 – Wiedeń 1990 – Los Angeles	1993 – Szanghaj 1995 – Warszawa Bilbao 1996 – Tajpej Dallas Kuala Lumpur 1998 – Sofia 1999 – Bangkok Teheran	2002 – Delhi Kopenhaga 2003 – Houston 2004 – Gwangju 2005 – Nankin 2009 – Dubaj Seattle 2011 – Atmata (Atma Ata) 2012 – Mumbai (Bombay) (planowany)

Opracowanie własne, daty wg [2]

na obrzeżach dużych ośrodków miejskich. Następne linie metra rozpoczyna się budować w centrum miasta, ponieważ tam, z roku na rok, najbardziej zwiększa się natężenie ruchu. Zatem im wcześniej rozpocznie się budowę metra w centrum, tym mniejsze utrudnienia występują w czasie jej realizacji.

Właściwości (parametry) systemów metra

W końcu 2012 roku długość ponad 400 kilometrów osiągnęły sieci metra w Londynie, a także w Pekinie, Szanghaju i Seulu². Poza tym najdłuższe systemy (powyżej 200 kilometrów) występują w miastach: Nowy Jork – 368 km, Tokio – 290 km, Moskwa – 269 km, Madryt – 230 km, Paryż – 212 km, Meksyk – 201 km

Linie metra są z zasady prowadzone pod ziemią, procent linii prowadzonych pod ziemią wynosi [2] : w Buenos Aires – 100%, Warszawa – 100%, Paryż – 95%, Moskwa – 92%, Berlin – 90%. Jednak w Chicago tylko 15%, Nowym Jorku – 40%, Londynie – 44%.

Liczba linii metra w mieście wynosi od kilku do kilkunastu, np. w Londynie dziewięć linii było już w 1906 roku, obecnie jest ich jedenaście oraz często uznawana za metro linia East London. Obserwuje się, że liczba linii metra w dużych ośrodkach miejskich po osiągnięciu liczby kilku do kilkunastu, dalej nie wzrasta, ale następuje ich rozwój przez wydłużanie, rozgałęzienia na końcach linii, budowanie dodatkowych stacji itp. W Londynie, mimo że od lat istniało dziesięć linii, to dopiero w 1977 roku jedną z nich wydłużono do części centralnej najważniejszego portu lotniczego Heathrow [1].

Ważną dla pasażerów właściwością (parametrem) linii metra jest odległość między stacjami. W obszarach centralnych wielkich miast odległości są mniejsze i wynoszą na ogół 600–700 metrów, natomiast dla linii wychodzących poza centra, odległości te się zwiększają.

Na podstawie danych [2] o długościach linii metra i liczbie stacji wyliczono średnie odległości między stacjami dla wybranych miast i zestawiono je w tabeli 4.

Najmniejsze średnie odległości między stacjami występują wówczas, gdy sieć metra obsługuje głównie centralne dzielnice miasta, a ruch między centrum a obrzeżami i terenem poza obszarami miejskimi jest obsługiwany przez inny niż metro system transportowy. Przykładowo w Paryżu system metra obsługuje ruch w centralnych dzielnicach metropolii, a RATP (Régie Autonome des Transports Parisiens)

realizuje przewozy pasażerów między centrum a obrzeżami i terenami poza metropolią. Pociągi RATP (jeżdżące po własnych torach i zasilane z sieci górnej) w dzielnicach centralnych metropolii zatrzymują się głównie na stacjach przesiadkowych, zlokalizowanych na skrzyżowaniach z liniami systemu metra. W Pradze wprowadzono linie autobusowe, łączące dwie sąsiednie stacje metra i przejeżdżające przez przyległe osiedla. W St. Petersburgu i Moskwie średnie odległości między stacjami wynoszą odpowiednio 1833 metry i 1630 metrów i są jednymi z największych, ponieważ metro obok dzielnic miejskich obsługuje również ruch na peryferiach wielkich miast, gdzie odległości między stacjami są znacznie większe od odległości w centrum aglomeracji.

W sieciach metra poszczególne linie są od siebie oddzielone (odseparowane), a skrzyżowania linii wykonywane w różnych poziomach. Przejazd z jednej linii na drugą jest technicznie możliwy, ale w zasadzie wykorzystywany tylko dla potrzeb doraźnych (awarie, przejazdy techniczne). Pasażerowie przy przejściu (przesiadaniu) z jednej linii na drugą mogą korzystać z ruchomych chodników i schodów.

Linia metra, dla potrzeb technicznych, posiada, z reguły na jednym z końców stację techniczno-postojową. Część stacji pośrednich jest wyposażona w tory postojowe, na które odstawia się w ciągu dnia uszkodzone lub rezerwowe składki, aby ograniczyć utrudnienia w ciągłości ruchu. Tory te w nocy służą do rozstawienia pociągów tak, aby rano po uruchomieniu systemu przewozowego względnie równoczesny był dostęp do pociągów na całej długości linii. Gdyby pociągi rano wyjeżdżały tylko z jednego końca linii dla jednego kierunku ruchu i z drugiego końca linii dla drugiego kierunku ruchu, to dostęp pasażerów znajdujących się na dalszych stacjach dla danego kierunku ruchu, byłby przesunięty w czasie nawet do godziny.

Pociągi metra najczęściej składają się z pięciu wagonów, każdy o długości około 20 metrów. Wagony czołowe są wyposażone w urządzenia sterownicze, które umożliwiają maszyniście prowadzenie pociągu. Każdy wagon z reguły jest wyposażony w czworo szerokich drzwi, które zapewniają szybkie wysiadanie i wsiadanie pasażerów. Każdy z wagonów pociągu najczęściej jest wyposażony we własny zestaw silników elektrycznych zapewniających rozruch, jazdę i hamowanie pociągu. Pociągi metra są zasilane prądem stałym o napięciu $750V \pm 10\%$ poprzez, tzw. trzecią szynę umieszczoną z boku toru.

Bezpieczeństwo ruchu pociągów [4,5,6,7] metra zapewniają urządzenia sterowania ruchem pojazdów – srp, które wykluczają możliwość skierowania pociągu na zajęty tor lub przeznaczony już dla innego pociągu oraz zapewniają bezpieczny przejazd pociągu po zwrotnicach. Dla wykluczenia możliwości przejechania przez maszynistę obok semafora wskazującego sygnał „stój” stosuje się systemy automatycznego ograniczania prędkości ATP – określenie międzynarodowe (*automatic train protection*). Systemy srp i ATP, pozwalają w sposób bezpieczny osiągać w systemach metra czas następstwa między pociągami $\tau = 90s$, przy założeniu czasu postoju na stacji równym 30 sekund. Dla osiągnięcia precyzyjnego zatrzymania pociągu przy peronie

Tabela 4

Średnie odległości między stacjami	
Miasto	Długość [m]
Paryż	557
Buenos Aires	608
Barcelona	728
Nowy Jork	786
Mediolan	843
Boston	863
Berlin	966
Praga	980

Opracowanie własne, dane pierwotne wg [2]

² Wikipedia (system metra w Szanghaju wraz z kolejkami miejskimi)

(długość peronu jest tego samego rzędu co długość pociągu), a także umożliwienia energooszczędnych przejazdów między stacjami, stosuje się systemy automatycznego prowadzenia pociągu ATO (*automatic train operation*). Stosowanie układów automatycznych umożliwia zatrzymanie pociągu z dokładnością do $\pm(30-50\text{cm})$. Stosowanie systemu ATO umożliwia także automatyzację innych czynności wykonywanych przez maszynistę, aż do jego całkowitego zastąpienia (np. linia „D” w Lyonie). Nowoczesne urządzenia techniczne, szczególnie w zakresie automatyki sterowania i prowadzenia pociągu, są znacznie częściej stosowane na liniach metra niż na kolei.

Najistotniejszym parametrem charakteryzującym każdy system transportowy jest jego zdolność przewozowa [8]. Przy założeniu, że czas następstwa pociągów metra wynosi 90 sekund, czas postoju na stacji – 30 sekund, przy liczbie około 200 miejsc w wagonie (siedzących i stojących) i pociągu pięciowagonowym, zdolność przewozowa metra dla każdego kierunku ruchu wynosi około 40 tysięcy pasażerów w ciągu godziny. Przy założeniu, że metro pracuje około 18 godzin w ciągu doby, przy różnych czasach następstwa pociągów, zależnych od pory dnia (dwa szczyty przewozowe), jego zdolność przewozowa wynosi około 500 tysięcy pasażerów dziennie dla każdego kierunku ruchu.

System przewozowy metra doskonale rozwiązuje problem transportu miejskiego, w szczególności w dużych aglomeracjach. Jego budowa wymaga jednak bardzo wysokich nakładów finansowych i jest niezwykle uciążliwa dla otoczenia. Po 100–150 latach poszukiwań nie pojawiły się, jak dotychczas, inne rozwiązania techniczne, które mogłyby skutecznie zastąpić ten ogromnie kosztowny i kłopotliwy w budowie, ale jak na razie najlepszy, środek transportu miejskiego jakim jest metro.

Metro w Warszawie

Historia projektowania i budowy metra

Historia metra warszawskiego rozpoczęła się w 1925 roku kiedy to na skutek narastania trudności komunikacyjnych w gęsto zaludnionym już mieście ówczesny Zarząd Tramwajów powziął uchwałę dotyczącą potrzeby opracowania pierwszego projektu kolei podziemnej dla Warszawy.

Od tego czasu powstawały różne dokumenty, które stanowiły kolejne etapy podjętego przedsięwzięcia, by dopiero po upływie 75 lat rozpocząć budowę, a po dalszych 12 latach zrealizować wreszcie cel – rozpoczęcie eksploatacji tego nowoczesnego i szybkiego oraz dogodnego dla pasażerów systemu transportu komunikacji zbiorowej, czyli metra [8,9,10,11,12].

Etap I liczący 25 lat (od roku 1925 do 1950, rozdzielony okresem II wojny światowej) – poświęcony był na opracowanie licznych koncepcji sieci, tras i ich sposobu zagłębienia, a także na przygotowanie mniej lub bardziej szczegółowych projektów budowy. Dla realizacji tego celu powołano kilka zespołów lub instytucji, jak działająca od 1927 roku – Komisja do Budowy Kolei Podziemnych przy Warszawskim Zarządzie Miejskim, a następnie Referat

Kolei Podziemnej przy Biurze Budowy Dyrekcji Tramwajów. W listopadzie 1938 roku utworzone zostało przez prezydenta Warszawy, Stefana Starzyńskiego, Biuro Studiów Kolei Podziemnej przy Dyrekcji Tramwajów. Wtedy to również na Politechnice Warszawskiej, w Katedrze Kolei Miejskich, wykonano szereg opracowań studialnych dotyczących planowanej przyszłej sieci metra dla stolicy Polski. Prace te jednak nie mogły zostać zrealizowane na skutek trwającego wówczas światowego kryzysu gospodarczego, a także wybuchu wojny.

Po II wojnie światowej, w 1945 roku, w powstałym Biurze Odbudowy Stolicy przewidywano budowę w Warszawie szybkiej kolei miejskiej, i w tym celu w 1948 roku utworzono specjalistyczne Biuro Projektów Szybkiej Kolei Miejskiej przekształcone następnie w 1951 roku w Państwowe Przedsiębiorstwo „Metroprojekt”.

Zgodnie z ostatnim projektem z tego okresu płytko zagłębiona linia metra miała być prowadzona od Młocin przez Śródmieście na Służewiec.

W 1947 roku na przewidywanym przebiegu trasy rozpoczęto pierwsze geologiczne wiercenia próbne.

Etap II (lata 1951–1958) rozpoczął się od tego, że zgodnie z życzeniem konsultantów sowieckich, wstrzymane zostały wszystkie prace (projekty i wiercenia geologiczne) prowadzone w latach poprzednich. Usankcjonowane to zostało uchwałą Rządu PRL (z 14.12.1950 roku), która postanawiała, że metro w Warszawie, ze względów strategicznych, ma być budowane jako głębokie i, w pierwszej kolejności, ze względów militarnych, budowana będzie odnoga od przyjętej trasy północ-południe, przebiegając tunelem pod Wisłą, łącząc Pragę Północną ze Śródmieściem. Dopiero w drugiej kolejności miały być zaspokojone potrzeby miasta przez budowę właściwej linii metra.

„Metroprojekt” rozpoczął opracowywanie nowych projektów, a „Metrobudowa” rozpoczęła budowę kilku sztolni i fragmenty chodników podziemnych i tuneli.

Prowadzone prace na nakazanej głębokości 30–50 metrów okazały się tak trudne i kosztowne, przy jednocześnie pogarszającej się sytuacji gospodarczej kraju, że nową decyzją rządową, w październiku 1953 roku, roboty zostały wstrzymane (z wyjątkiem tzw. odcinka doświadczalnego). Wprowadzono jednocześnie kuriozalny zapis ówczesnego Głównego Urzędu Kontroli Prasy, Publikacji i Widowisk zakazujący używania słowa „metro” – co trwało do lat 80.

Etap III (lata 1958–1981). Pomimo tego zakazu, prawie w „konspiracji” rozpoczęto stosownie do aktualnych warunków miasta i przewidywanych potoków pasażerskich, urealniać pierwotną koncepcję przyszłej sieci metra (3 lub 4 linie) oraz przygotowywać dokumentację dla budowy metra płytkiego.

W 1974 roku powołano Dyrekcję Budowy Metra jako jednostkę inwestorską przygotowującą przyszłą eksploatację metra. W wyniku współpracy z „Metroprojektem” i innymi biurami powstały: „Koncepcja wstępna”, „Założenia techniczno-ekonomiczne I linii metra”, a następnie pierwsze projekty zaktualizowanej trasy I linii metra płytkiego z Kabat do Młocin.

Etap IV (1982–1994). W czerwcu 1982 roku została podpisana umowa między rządami PRL i ZSRR o pomocy i współpracy gospodarczej przy budowie metra w Warszawie. W sierpniu 1982 roku władze miasta zaakceptowały zaktualizowane ZTE, a 23 grudnia 1982 roku podjęta została przez Radę Ministrów PRL uchwała o budowie I linii metra w Warszawie. W lutym 1983 roku powołano Generalną Dyрекcyję Budowy Metra wraz z Radą Naukowo-Konsultacyjną pod przewodnictwem znakomitego znawcy problematyki komunikacji miejskiej i entuzjasty budowy metra – profesora Jana Podolskiego.

W marcu 1983 roku rozpoczęto prace przy budowie linii, a 15 kwietnia tegoż roku wbito symboliczny pierwszy pał na trasie przyszłej trasy metra. W 1985 roku rozpoczęto budowę stacji techniczno-postojowej na Kabatach, a następnie 7-kilometrową bocznice kolejową. W 1994 roku zakupiono pierwsze wagony niezbędne do rozpoczęcia prób i eksploatacji.

Po 12 latach budowy – 7 kwietnia 1995 roku i zakończeniu etapu prób, odbyło się uroczyste otwarcie zbudowanego pierwszego odcinka, z 11 stacjami, i od tej daty liczy się eksploatacja pierwszej linii metra w Warszawie. Odcinek ten, o długości 11,2 kilometra, połączył południowe dzielnice miasta, to jest Kabaty, Natolin i Ursynów, z centrum miasta – Śródmieściem. Tym samym, w roku 1995, stolica Polski dołączyła do grona około 100 miast na świecie, w tym około 50 w Europie, które zbudowały i eksploatują metro.

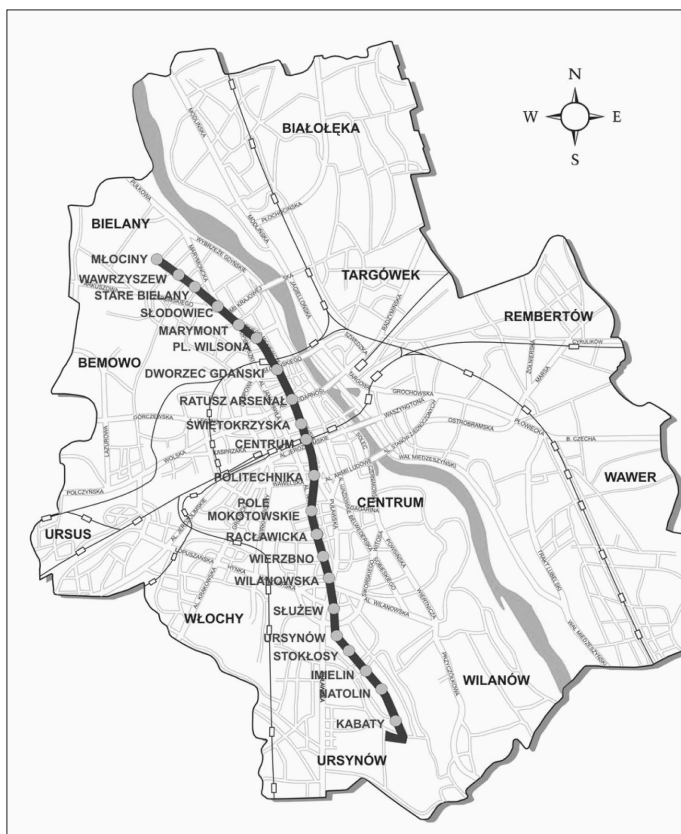
Rozpoczął się teraz kolejny etap, etap eksploatacji, a jednocześnie budowy dalszych odcinków I linii metra w Warszawie.

Następne odcinki metra w Warszawie przekazywano sukcesywnie co około 2–3 lata (tabela 5), by wreszcie, po dalszych 13 latach i 6 miesiącach, w 25 października 2008 roku oddać do eksploatacji całą pierwszą linię metra wraz ze znajdującymi się na obu jej krańcach znacznie rozbudowaną stacją techniczno-postojową na Kabatach oraz duży węzeł komunikacyjny na Młocinach (rys. 2).

Tabela 5

Etapy uruchamiania kolejnych odcinków I linii metra w Warszawie				
Odcinek	Data uruchomienia odcinka	Długość odcinka km	Liczba stacji i nazwa stacji końcowych odcinka	Sumaryczna liczba stacji i długość uruchomionych odcinków
I	07. 04.1995	11,20	11 Kabaty – Politechnika	11 stacji, 11,20 km
II	26. 05.1998	1,45	1 Politechnika – Centrum	12 stacji, 12,65 km
III	11. 05. 2001	1,70	2 Centrum – Ratusz	14 stacji, 14,35 km
IV	20. 12. 2003	1,50	1 Ratusz – Dworzec Gdański	15 stacji, 15,85 km
V	08. 04. 2005	1,50	1 Dworzec Gdański–Pl. Wilsona	16 stacji, 17,35 km
VI	29.12.2006	1,10	1 Pl. Wilsona – Marymont	17 stacji, 18,45 km
VII	23.04.2008	1,65	1 Marymont – Słodowiec	18 stacji, 20,10 km
VIII	25.10.2008	2,60	3 Słodowiec – Młociny	21 stacji, 22,70 km

Opracowanie własne wg [11]



Rys. 2. Pierwsza linia metra w Warszawie

Niektóre rozwiązania techniczne

Aktualnie pierwsza linia metra warszawskiego składa się z 21 stacji, z 20 peronami bocznymi i jednym peronem wyspowym, których długość wynosi średnio 120 metrów, a szerokość od 10 do 15 metrów. Sześć stacji pośrednich i obie stacje końcowe mają dodatkowe tory dla postoju lub zawracania pociągów.

Metro warszawskie jest metrem płytkim, prowadzonym w tunelu zamkniętym, z zagłębieniem liczącym od poziomu terenu do poziomu główki szyny wynoszącym od 9 do 15,5 metra. Całkowita długość linii wynosi 22,7 kilometra, a średnia odległość między osiami stacji ma 1083 metry. Szerokość torów wynosi 1435 milimetra z minimalnym promieniem łuku torów 300 metrów i nachyleniem do 3,1%. Pociągi są zasilane prądem stałym o napięciu 750 V za pośrednictwem trzeciej szyny.

Po uruchomieniu pierwszego odcinka metro posiadało tylko tabor rosyjski typu 81, a pociągi, z racji małej liczby wagonów, kursowały w składach trzywagonowych. Obecnie metro eksploatuje wagony rosyjskie i nowocześniejsze typu Alstom, a pociągi składają się z sześciu wagonów. Pociągi kursują co 3–4 minuty w godzinie szczytu z prędkością maksymalną do 90 km/h i z prędkością komunikacyjną około 36 km/h. Czas przejazdu całej linii wynosi 38 minut.

Wysoki stopień bezpieczeństwa ruchu pociągów metra warszawskiego zapewniają systemy sterowania ruchem pojazdów (odpowiednik kolejowego systemu srk [4]) oraz system automatycznego ograniczania prędkości typu SOP, należący do grupy systemów ATP. Systemy

tego typu, w tym SOP, [5,6,7] w sposób ciągły kontrolują prędkość rzeczywistą pociągu i niezależnie od ewentualnej nieuwagi lub błędnej pracy maszynisty, automatycznie wykluczają możliwość jazdy z prędkością większą od prędkości wynikającej z sytuacji ruchowej (wskazania semaforów) i parametrów toru. System automatycznego ograniczania prędkości SOP jest w całości opracowany w Polsce i eksploatowany w metrze w Warszawie od otwarcia pierwszego odcinka w 1995 roku jako system wspomagający maszynistę. System ten, po przystosowaniu do warunków miejscowych, od ponad 10 lat pracuje również na linii A metra w Pradze.

Istotną rolę w procesie eksploatacji metra pełni nowoczesna Centralna Dyspozytornia, której wyposażenie pozwala na wysoce zautomatyzowane i bezpieczne kierowanie ruchem pociągów oraz działanie całej infrastruktury na obszarze całej linii metra.

Warto stwierdzić, że ponieważ metro w Warszawie zostało zbudowane z tak wielkim opóźnieniem w stosunku do innych miast na świecie, dało to wiele pozytywnych skutków: wykorzystano szereg zagranicznych doświadczeń pod względem technologii budowy, jak również wykorzystano szereg różnych rozwiązań technicznych zaczerpniętych z doświadczeń innych. Olbrzymi skok technologiczny ostatnich lat na świecie pozwolił zastosować najnowocześniejsze światowe technologie, ale i uwzględnić własne nowoczesne rozwiązania, jak na przykład wspomniany polski system sterowania ruchem i prowadzenia pociągu metra. Obecnie metro w Warszawie wyposażone jest w szereg nowoczesnych, ciągle modernizowanych systemów pozwalających na automatyzowanie szeregu procesów zapewniających sprawną, punktualną i bezpieczną eksploatację tego uznanego już przez pasażerów Warszawy środka komunikacji miejskiej. Dowodzą tego, między innymi, dane statystyczne donoszące, że w 2011 roku pociągi metra w Warszawie przewiozły powyżej 140 milionów pasażerów (około 550 tysięcy pasażerów dziennie, w dni powszednie).

Dalszy rozwój sieci metra w Warszawie

Obecnie realizowane jest projektowanie i zaawansowana budowa centralnego odcinka II linii metra w Warszawie, w ramach którego, na długości 6,3 kilometra wybudowanych zostanie 7 stacji i tunel łącznikowy między I oraz II linią metra.

Linia II łączyć będzie w przyszłości zachodnie dzielnice miasta z północną częścią prawobrzeżnej Warszawy (Praga – Północ), z przejściem pod Wisłą (o długości 600 metrów).

Na rysunku 3 pokazano przebieg drugiej linii metra w Warszawie. Po wybudowaniu części centralnej od Ronda Daszyńskiego do Dworca Wileńskiego będą stopniowo realizowane linie w kierunku zachodnim, aż do stacji postojowej Połczyńska/Lazurowa. W kierunku wschodnim, rozbudowa drugiej linii będzie przebiegać na północ do Targówka. W następnym etapie będzie budowane odgańlenie w kierunku południowym od stacji „Warszawa Wileńska” aż do Gocławka.



Rys. 3. Plan drugiej linii metra w Warszawie

Na początku 2013 roku rozpocznie się etap projektowania 6 kolejnych odcinków, z 6 stacjami, po 3 z każdej strony odcinka centralnego, w kierunku Bemowa i Targówka. W przyszłości przewidywana jest również odnoga tej linii po stronie Pragi w kierunku południowym, na Gocławek.

Prace badawcze nad rozbudową sieci metra w Warszawie przewidują, że cały system tego środka komunikacji miejskiej składać się będzie z trzech linii o długości około 70 kilometrów z 70 stacjami.

Literatura

1. *The Spread of London's Underground*, Capital Transport, 2011.
2. Ovenden M., *Metro Maps of the World*, Capital Transport 2005.
3. Ostaszewicz J., *Rozwój metra na świecie*, Instytut Kształtowania Środowiska, Warszawa 1998.
4. Dąbrowa-Bajon M., *Podstawy sterowania ruchem kolejowym*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.
5. Bergiel K., Karbowski H., *Automatyzacja prowadzenia pociągu*, Łódź 2005.
6. Karbowski H., *Podstawy infrastruktury transportu*, Łódź, 2009.
7. Karbowski H., Barański Sł., *Bezpieczeństwo ruchu w transporcie*, wyd. Monografie Politechniki Łódzkiej, Łódź 2011.
8. Podoski J., *Transport w miastach*, Warszawa 1991.
9. Ostaszewicz J., Rataj M., *Szybka komunikacja miejska*, Warszawa 1979.
10. Zajczkowski A., *Metro – nowoczesny środek komunikacji miejskiej*, „Przegląd Kolejowy Elektrotechniczny”, 1997, nr 12, Warszawa.
11. Zajczkowski A., *Historyczna dokumentacja metra warszawskiego i jej losy*, Zeszyt Naukowo-Techniczny SITK Oddział Krakowski, nr 37, Kraków 2000.
12. Czasopisma: „International Railway Journal” – JRJ, „Technika Transportu Szynowego” – TTS, Ratusz – Warszawa Raporty Metra Warszawskiego, Encyklopedie.