



Marek Graff

Metro w Bukareszcie

Pociąg metra BM3 (producent – CAF) na stacji Piața Victoriei na linii M2

Sieć metra w Bukareszcie składa się obecnie z 4 linii, z których pierwsza została uruchomiona w 1979 r. Bukaresztańska sieć kolei podziemnej jest jedynym w Rumunii systemem metra. Do obsługi zaprojektowano oraz wyprodukowano w krajowej firmie w Arad tabor kolei podziemnej. Metro zostało zbudowane w oparciu o wzorce zachodnie – unikano stosowania marmurów czy ozdób na większą skalę na rzecz prostoty czy funkcjonalności. Skutkowało to także większym tempem budowy sieci metra. Wraz z przystąpieniem Rumunii do UE w 2007 r. oraz możliwością pozyskania dofinansowania, zakupiono tabor pochodzący od renomowanych producentów – Bombardiera i CAF.

Słowa kluczowe: Bukareszt, Rumunia, metro, Astra, Bombardier Mo-
via, CAF.

Budowę metra w Bukareszcie rozpoczęto w latach 70. XX w., a ostateczny przebieg sieci uformował się w latach 80. i 90. Mimo raczej szczupłych funduszy, budowa sukcesywnie postępowała, a urzędnicy do budowy tuneli czy taboru zbudowano wysiłkiem przemysłu krajowego, choć prawdopodobnie korzystano z pomocy zachodnich myśli technicznej oraz kredytów, ponieważ Rumunia była wówczas krajem bardziej otwartym niż większość państw należących do tzw. bloku wschodniego, w tym Polska. Rozbudowa metra jest kontynuowana, przy czym powstają obecnie krótkie odcinki będące przedłużeniem istniejących linii (całkowicie nowe linie nie są budowane). Ponieważ budowa kolei podziemnej jest dość kosztowna, zatem pozyskano dofinansowanie zewnętrzne – z funduszy UE.

Budowa metra

Pierwsze koncepcje budowy sieci metra w Bukareszcie pojawiły się na początku XX w. [3, 5]. Wówczas tematem pracy licencjackiej Dimitrie Leonida, później specjalisty w radzie miasta, stała się budowa kolei podziemnej w stolicy Rumunii, gdy władze miasta podjęły negocjacje z firmą Siemens & Halske w zakresie budowy sieci tramwajowej. Jednak koszty przedstawione przez niemiecką firmę okazały się na tyle wysokie, iż dwóch inżynierów z rady miasta – Dimitrie Leonida i Elie Radu zaproponowali budowę kolei podziemnej, co było finansowo porównywalne. Choć nie zostało to zaakceptowane, jednak do planów budowy metra powrócono w latach 1929–1930. Jednakże okazało się, iż z powodów finansowych władze miejskie preferują transport naziemny z prędkością handlową 20–30 km/h. Innymi słowy, budowę metra odłożono ostatecznie na czas późniejszy. Należy dodać, iż szerokie ulice Bukaresztu, liczącego wówczas 1 mln mieszkańców, pozwalały na wybudowanie kolei podziemnej np. tańszą metodą odkrywkową. Do pomysłu budowy kolei podziemnej powrócono po 1940 r. wraz z rozpoczętą modernizacją stolicy Rumunii, w tym regulacją rzek przepływających przez Bukareszt – Colentina i Dâmbovița. Wtedy także zaproponowano budowę trzech linii:

- ❖ Hipodrom – Piața Unirii (8,2 km);
- ❖ Gara București Est (Dworzec Wschodni) – Șoseaua Academiei z odgałęzieniem do Știrbei Vodă (5,5 km);
- ❖ Gara de Nord – Piața Victoriei (1,3 km).

Przegrana Rumunii podczas drugiej wojny światowej przekreśliła te plany (Rumunia była sojusznikiem nazistowskich Niemiec, a w 1945 r. trafiła do strefy wpływów Związku Radzieckiego).

Pomysł kolei podziemnej reaktywowano w 1952 r., przy czym strona radziecka oferowała pomoc z zastrzeżeniem, iż metro powinno mieć także funkcje obronne, co oznaczało konieczność budowy tuneli na głębokości 20–40 m, zatem metodą głębinną, a nie odkrywkową [1, 2, 4, 7]. To znacznie podnosiło koszty i spowodowało zarzucenie pomysłu budowy metra. Równocześnie forsowana z przyczyn politycznych industrializacja (zwłaszcza rozbudowa przemysłu ciężkiego), objawiająca się szybkim przyrostem liczby mieszkańców Bukaresztu i wchłonięciem licznych podstołecznych wsi, których mieszkańcy przeprowadzali się do osiedli złożonych z prefabrykowanych budynków (tzw. wielka płyta) powodowały, iż dotychczasowy transport bazujący na tramwajach i autobusach stawał się niewystarczający. Zatem władze centralne oraz miejskie zdecydowały na przełomie 1970/1971 r. o konieczności budowy metra. W latach 1972–1973 opracowano szczegółowy budowy oraz najważniejsze założenia techniczne, po czym przedstawiono całość do zatwierdzenia najwyższym władzom państwowym. W latach 1974–1975 opracowano szczegółową dokumentację techniczną oraz zdecydowano o budowie trzech linii:

- ❖ linia nr 1 (Stăvilăru Ciurel – Titan) o przebiegu wschód – zachód: Semănătoarea – Timpuri Noi; Timpuri Noi – Republica z odgałęzieniem Eroilor – I.R.E.M.O.A.S. (ob. Preciziei); odcinek Semănătoarea – Podul Grant (ostatecznie stacja Crângași);
- ❖ linia nr 2 (Pipera – Berceni) o przebiegu północ – południe;
- ❖ linia nr 3 o przebiegu okrężnym łącząca wszystkie przedmieścia Bukaresztu o długości sumarycznej 40 km, wyposażona w stacje przesiadkowe z liniami nr 1 i nr 2, zapewniając dojazd do centrum miasta.

Ze względu na wysoki poziom wód gruntowych w Bukareszcie, a także szczupłe środki finansowe, tunele były budowane przez drążenie metodą kopalnianą, a także metodą odkrywkową na głębokości ok. 15 m. Stosowano również zamrażanie gruntu ciekłym azotem w miejscach, gdzie podłoże było piaszczyste. Zdecydowano się na budowę w zakładach 23 August (ob. Faur) tarczy drążącej, tzw. TBM (a nie na import podobnego urządzenia u bardziej doświadczonych producentów), czy poprowadzenie rzeki Dâmbovița w 3 rurach o średnicy 1600 mm w pobliżu Piața Unirii w lutym 1985 r.

Stacje urządzało w zachodnim stylu - proste, bez ozdób czy marmurowych płyt na ścianach stacji, preferując aranżację poszczególnych stacji z użyciem jednego koloru (dla ułatwienia orientacji dla pasażerów): biało-szary – Piața Unirii 2, Universitate, Politehnica i Armata Poporului; niebieski – Obor i Gara de Nord; pomarańczowy – Tineretului i in. Stacje metra były projektowane przez: Manuela Antip, Gheorghe Beznilă, Adriana Bunu, Dan Costinescu i Viorica Cu.

Tabor także wyprodukowano w całości w Rumunii, choć wiele wskazuje, iż korzystano z licencji zachodnich.

Osobnym problemem było niedostateczne oświetlenie stacji, spowodowane częstymi włączeniami prądu pod koniec lat 80. (ówczesny nasilający się głęboki kryzys gospodarczy). Choć stacje w obrębie stacji przesiadkowych stanowią jedną całość, to jednak zdarzają się wyjątki: stacje Gara de Nord 1 i Gara de Nord 2 są de facto dwoma stacjami – przejście z jednej do drugiej wymaga ponownego pokonania bramek biletowych.

Pierwszy odcinek metra otwarto w połowie listopada 1979 r. – czyli Timpuri Noi – Semănătoarea (ob. Petrache Poenaru) o długości 8,63 km i 6 stacjach. Kolejne odcinki przekazano do eksploatacji:

- ❖ grudzień 1981: M1 Timpuri Noi – Republica; 10,1 km, 6 stacji;

- ❖ sierpień 1983: M1 (ob. M3) Eroilor – Industriilor (ob. Preciziei); 8,63 km, 4 stacje (później dodano stację Gorjului);
- ❖ grudzień 1984: M1 Semănătoarea – Crângași; 0,97 km, 1 stacja;
- ❖ styczeń 1986: M2 Piața Unirii 2 – Depoul I.M.G.B. (ob. Berceni); 9,96 km, 6 stacji (później dodano stacje Tineretului i Constantin Brâncoveanu);
- ❖ kwiecień 1986: M2 Tineretului; 0,0 km, 1 stacja;
- ❖ październik 1987: M2 Piața Unirii 2 – Pipera; 8,72 km, 5 stacji (później dodano stację Piața Romană);
- ❖ grudzień 1987: M1 Crângași – Gara de Nord 1; 2,83 km, 1 stacja (później dodano stację Basarab);
- ❖ listopad 1988: M2 Piața Romană; 0,0 km, 1 stacja;
- ❖ grudzień 1988: M2 Constantin Brâncoveanu; 0,0 km, 1 stacja;
- ❖ sierpień 1989: M3 (ob. M1) Gara de Nord 1 – Dristor 2; 7,8 km, 6 stacji.

Jako druga linia została zbudowana linia M3 – odcinek Eroilor – Industriilor otwarto w sierpniu 1983 r. jako fragment linii M1. Ostatecznie fragment Eroilor – Industriilor przekazano do linii M3. W styczniu 1984 r. otwarto odcinek Semănătoarea – Crângași, będący także pierwszym fragmentem M2 oraz nową zajezdnię (STP). W październiku 1987 r. linia M2 została wydłużona do stacji Pipera, uzyskując obecny przebieg. W sierpniu 1989 r. linię M1 wydłużono do Dristor. Kolejne odcinki powstały w nowej – niekomunistycznej rzeczywistości, przy czym w latach 90. zbudowano głównie nowe stacje na istniejących odcinkach i tylko ok. 1,5 km nowego tunelu:

- ❖ styczeń 1990 r. (ew. maj 1991): M1 Republica – Pantelimon; 1,43 km, 1 stacja;
- ❖ sierpień 1992 r. M1 Basarab; 0,0 km, 1 stacja;
- ❖ sierpień 1994 r. M3 Gorjului; 0,0 km, 1 stacja (faktycznie powstała tylko połowa stacji, druga połowa w 1998 r.).

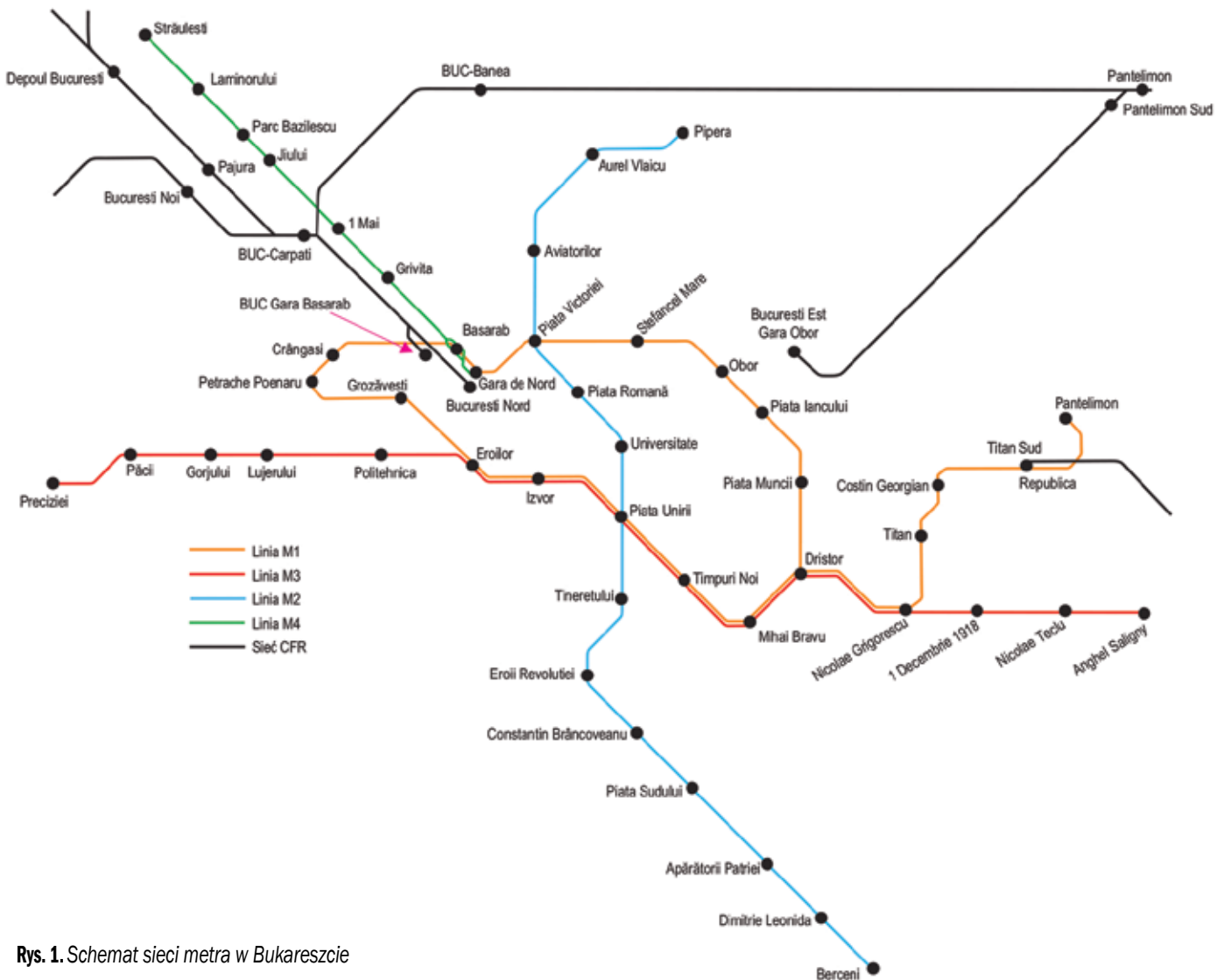
Równocześnie rozpoczęto budowę linii M4, której pierwszy fragment przekazano do eksploatacji w marcu 2000 r. (Gara de Nord 2 - 1 Mai; 3,6 km, 4 stacje). W lipcu 2011 r. dodano fragment 1 Mai – Jiului – Parc Bazilescu (2,3 km), a w marcu 2017 r. odcinek Bazilescu – Straulesti o długości 2,1 km i 2 stacjach. Na linii M3 powstał odcinek o długości 4,75 km oraz 4 stacje: Nicolae Grigorescu, 1 Decembrie 1918, Nicolae Teclu i Anghel Saligny w listopadzie 2008 r. W lipcu 2009 r. ustalono przebieg ostateczny linii M3 pomiędzy stacjami skrajnymi Preciziei - Anghel Saligny. Obecnie trwa budowa linii M5, a planowana jest budowa linii M6.

Choć Rumunia, należąca do UE od 2007 r. ma dostęp do funduszy UE, to wysoki poziom nieprawidłowości w gospodarowaniu funduszami powoduje, iż wykorzystanie środków unijnych z programów pomocowych oscyluje na poziomie 20% (dla porównania, Polska – 80-90%). Problemem jest także niedostateczne finansowanie krajowe (dofinansowanie UE następuje po zakończeniu inwestycji, zatem konieczny jest własny wkład).

Po 2000 r. zdecydowano się na pozyskanie taboru produkcji zachodniej. Wybrano ofertę Bombardiera, a nowy tabor miał zastąpić pociągi krajowej produkcji. W 2011 r. zamówiono w koncernie CAF kolejne pociągi (8 egzemplarzy) z terminem dostawy w latach 2014-2015. Hiszpański producent będzie prawdopodobnym dostawcą taboru dla linii M5 (CAF wygrał przetarg, jednak umowa nie została podpisana).

Sieć metra

Obecnie sieć metra w Bukareszcie ma długość 71,35 km długości i składa się z 4 linii (rys. 1), których charakterystykę zamieszczono w tab. 1.



Rys. 1. Schemat sieci metra w Bukareszcie

Tab. 1. Charakterystyka sieci metra w Bukareszcie

Nr linii	Przebieg	Liczba stacji	Rok otwarcia	Rok zakończenia budowy	Obsługa taborowa	Długość linii [km]	Liczba pasażerów rocznie (2016 r.) [mln]	Częstotliwość kursowania poza szczytem / w szczycie [min]	Uwagi
M1	Dristor – Pantelimon	22	1979	1990	Movia 346	31,01	77,291	8* (4) / 6–7	linie M1 i M3 mają częściowo wspólny przebieg
M3	Preciziei – Anghel Saligny	15	1983	2008	Movia 346	18,68	69,041	8** (4) / 6–7	
M2	Pipera – Berceni	14	1986	1988	BM3, Movia 346	22,2	26,507	9 / 3–5	
M4	Gara de Nord – Lac Străulești	8	2000	2017	Astra IVA	7,64	6,281	10 / 7	

* 4 min pomiędzy stacjami Eroilor i Nicolae Grigorescu, ** 3–3,5 min pomiędzy stacjami Eroilor i Nicolae Grigorescu

Tunele metra przebiegają średnio na głębokości 12,00 m, przy czym powyższa wartość waha się w granicach 7,80 – 19,60 m (wody gruntowe występują na głębokości ok. 25 m). Różnica poziomów, jakie pokonują pasażerowie na poszczególnych stacjach po schodach (klasycznych lub automatycznych) to 5,00–10,30 m. Zdolność przewozowa metra to szacunkowo 50 tys. osób na godzinę.

Wnętrza stacji urządzone z użyciem paneli mocowanych do ścian, podłogi wykonano z granitu lub marmuru, ew. piaskowca, a schody z granitu. Filary i ściany wyłożono płytami wykonanymi z trawertynu lub marmuru, ew. elementami ceramicznymi i meta-

lowymi. Pod sufitymi umieszczono metalowe płyty. System wentylacyjny zamontowany na stacjach pozwala na wymianę powietrza w ilości 300 tys. m³/h, przy czym ów system może działać dwukierunkowo i pozwala na utrzymanie temperatury na stacji maksymalnie 27 °C.

Sieć elektryczna jest zasilana z sieci WN o wartości 20 kV lub z sieci miejskiej – 10 kV, przy czym z powodu konieczności zapewnienia zasilania ciągłego, opracowano także postępowanie w przypadku zakłóceń w dostawach energii poprzez zapewnienie możliwości dostaw z krajowego systemu energetycznego w sytu-

acjach nagłych. Zatem zasilanie w energię elektryczną jest scentralizowane i monitorowane na bieżąco przez centrum kontroli ruchu indywidualnie dla każdej linii metra, gdzie są odbierane informacje i wyświetlane na monitorach.

Linia M1 o obecnej długości 31 km została przekazana do eksploatacji w połowie listopada 1979 r. i łączy stacje Dristor 2 i Pantelimon plus 19 stacji pośrednich. M1 jest poprowadzona częściowo po okręgu – stacja Dristor jest jednocześnie stacją końcową oraz pośrednią. Dodatkowo, fragment linii M1 jest wspólny z linią M3 – pomiędzy stacjami Nicolae Grigorescu i Eroilor. Odcinek Nicolae Grigorescu – Pantelimon jest jednotorowy – pociągi korzystają także z jednego peronu, a częstotliwość kursowania jest również niższa (o 75%) z powodu mniejszej przepustowości linii z porównaniem z odcinkiem dwutorowym. Budowa linii M1 wiązała się z powołaniem komitetu budowy metra w 1975 r. przez najwyższe władze państwowe. Wybrano trasę przebiegu wzdłuż rzeki Dâmbovița, od Timpuri Noi do Semănătoarea (obecnie Petrache Poenaru), a zajezdnię taboru zlokalizowano w dzielnicy Ciurel. Stacje końcowe łączyły 2 duże zakłady przemysłowe, zatrudniających licznych pracowników i bazujących głównie na prostej pracy fizycznej, a w zamyśle władz państwowych celem budowy linii było zapewnienie transportu osób do obu fabryk. Drugi odcinek linii M1 otwarto pod koniec grudnia 1981 r. – Timpuri Noi – Republica, a długość sieci zwiększyła się do 10,1 km. Wraz z otwarciem odcinka Gara de Nord – Dristor 2 oraz uzyskaniem linii okrężnej zdecydowano się przekazać odcinek Eroilor – Industriilor (ob. Preciziei) do linii M3. Obecnie obsługa taborowa na linii M1 jest realizowana z użyciem taboru dostarczonego przez Bombardiera – pociągów Movia 346, począwszy od 2010 r. (wcześniej były eksploatowane pociągi Astra IVA produkcji krajowej). Jest to najbardziej obciążona przewozami linia metra bukańska.

Linia M3 o przebiegu wschód – zachód łączy stacje Anghel Saligny – Preciziei oraz 13 stacji pośrednich. Wraz z budową linii M1 rozważano różne warianty ostatecznego przebiegu linii M1 i M3. Zdecydowano się także zbudować stację Gorjului pomiędzy Păcii i Lujerului (wtedy Armata Poporului), przy czym z powodu kryzysu gospodarczego lat 90. jeden z peronów otwarto w 1994 r. (w kierunku zachodnim), a drugi w 1998 r. (w kierunku wschodnim). Zdecydowano się skrócić kursowanie pociągów ze stacji Pantelimon do stacji Nicolae Grigorescu ok. 2000 r., a ww. odcinek pozostawić tylko dla linii M1.

Ostatni odcinek linii M3 Nicolae Grigorescu – Anghel Saligny przekazano do eksploatacji w 2008 r. Obsługa taborowa linii M3 jest realizowana zespołami Movia 346, począwszy od 2009 r., a do 2014 r. używano również taboru produkcji krajowej – serii Astra IVA. Stało się to możliwe wraz z dostawami zespołów metra wyprodukowanymi przez hiszpański koncern CAF, przeznaczonymi docelowo linii M2, a zespoły Movia 346 skoncentrowano na liniach M1 i M3.

Linia M2 o przebiegu północ – południe łączy stacje Pipera i Berceni oraz 12 stacji pośrednich. Linia została zbudowana w latach 80. celem dowozu osób do licznych zakładów przemysłowych, gdy ówczesna komunikacja miejska (naziemna) stawała się coraz mniej wydolna, a samochody prywatne nie były powszechne. Linia M2 powstała w dwóch etapach:

- ❖ Berceni – Piața Unirii w styczniu 1986 r.
- ❖ Piața Unirii – Pipera w październiku 1987 r.

W szczególny sposób powstała stacja Piața Romana, którą zbudowano w listopadzie 1988 r. można określić to, w sposób doraźny – bez pierwotnego planu, zatem perony nań są bardzo

wąskie, a filary wyjątkowo masywne. Obsługa taborowa jest realizowana pociągami dostarczonymi przez CAF od 2014 r. (wtedy także wycofano pociągi Astra IVA).

Linia M4 jest najmłodszą i najkrótszą linią metra bukańska – ma 8,3 km długości, a pierwszy odcinek został zbudowany w 2000 r. (ostatni w 2017 r.). Linia biegnie z Gara de Nord do Lac Străulești wzdłuż alei Griviței i Bucureștii Noi oraz ma 6 stacji pośrednich. Budowa linii rozpoczęła się w 1989 r., krótko przed wybuchem rewolucji rumuńskiej¹. Prace zainaugurowano przy parku Bazilescu, jednak wskutek kryzysu lat 90. budowa została wstrzymana. Prace wznowiono po utrzymaniu kredytu z EBOR w 1997 r. Pierwszy odcinek przekazano do eksploatacji w marcu 2000 r. – Gara de Nord – 1 Mai, a kolejny 1 Mai – Parc Bazilescu w lipcu 2011 r. Ostatni odcinek o długości 1,6 km do stacji Străulești otwarto w marcu 2017 r. (tunele wydrążono w latach 2013–2015 z użyciem TBM-ów, wykonawcą była firma Astaldi), a przy ww. stacji urządzono także zajezdnię taboru. Linia M4 jest jedyną linią metra, na której jest eksploatowany tabor Astra IVA.

Regularnie są wykonywane prace związane z utrzymaniem infrastruktury. Przykładowo, w 2017 r. wykonano remonty sieci metra, a szyny, zwrotnice, złączki i in. zamówiono producenta austriackiego. Sumarycznie pozyskano [6]:

- ❖ 296,4 t szyn typu 49E1 i 607 t typu 60E1, o długości jednostkowej 120 m;
- ❖ 8 zwrotnic;
- ❖ mocowania trzeciej szyny (397 szt.);
- ❖ listwy ochronnej trzeciej szyny (8370 m);
- ❖ izolatory trzeciej szyny (1020 szt.);
- ❖ 10 krzyżownic zwyczajnych;
- ❖ 285 łączników do trzeciej szyny;
- ❖ 26 łączników odcinków szyn;
- ❖ 480 zacisków (klamer) izolacyjnych do trzeciej szyny;
- ❖ 366 nakrętek ochronnych do izolacji trzeciej szyny;
- ❖ 1166 podkładek żebrowych (przekładki pod podkładkę żebrową, tj. blaszane elementy przytwierdzenia szyny do podkładu kolejowego);
- ❖ 397 metalowych listew stabilizujących, tj. wyrównujących do powierzchni kontaktowej na szynie;
- ❖ 3 szt. szyn ochronnych przy zwrotnicy.

Zakupiono także 2 maszyny do cięcia szyn oraz wiercenia otworów, plus urządzenia do gięcia szyn i in. Poza tym, wykonano prace na sieci metra – bieżące na długości sumarycznej 129,786 km oraz okresowe - 37,721 km.

System bezpieczeństwa ruchu

Pierwszy nowoczesny system bezpieczeństwa ruchu został zamontowany na linii M2 po wykonanej modernizacji infrastruktury. Zdecydowano się na wdrożenie zaprojektowanego i wyprodukowanego przez Bombardiera systemu z rodziny ATC (*Automatic Train Control*), łączącego 2 systemy: typu ATP (*Automatic Train Protection*) i ATO (*Automatic Train Operation*). Wpływ na wybór systemu Bombardiera miało także tabor Movia 346 dostarczony dla metra bukańska i wyprodukowany przez kanadyjskiego producenta. System ATC składa się z jednostki IPU (ang. *Interlocking processing unit*), obwodów torowych TI21-M i komputerów pokładowych wraz z ekranami EbiScreen, plus systemu PSM (ang. *precision stop marker*), złożonego z tzw. auto turnback i grupy balis, sumarycznie odpowiadających za precyzyjne zatrzymanie danego pociągu przy peronie. Ww. operacja następuje automatycznie, a rola maszynisty sprowadza się do otwierania i zamykania drzwi



Pociąg metra Astra IVA na stacji Basarab na linii M4



oraz ogólnego nadzoru nad jazdą pociągu (innymi słowy, teoretycznie możliwa jest jazda bez maszynisty). Dodatkowo, sygnały są nadawane tam, gdzie znajdują się balisy, jednak tylko wyświetlenie białego światła powoduje, iż droga zostaje przypisana i maszynista może użyć sygnalizacji kabinowej. Systemy bezpieczeństwa Bombardiera są zamontowane na linii M4 (Dimetronic) i w przyszłości będą także używane na M5 (ATC).

Na linii M3 zdecydowano się na zamontowanie systemu ATC zintegrowanego wraz systemem Indusi. Zatem sygnały są wyświetlane w tunelach oraz na końcach peronów, a do świateł w sygnalizatorach dodano – oprócz czerwonego, żółtego i zielonego, także biały. Światło zielone dla danego pociągu jest wtedy wyświetlane, gdy poprzedzający odcinek blokowy został zwolniony i poprzedzający pociąg minął odpowiedni sygnał. W przypadku jazdy ze zmniejszoną prędkością, wyświetlany jest sygnał żółty. Przed montażem systemu ATC + Indusi na linii M3 używano systemu typu Automatic Block signals. Należy dodać, iż część urządzeń kontroli ruchu wyprodukowano jeszcze w latach 80. XX w., zatem niezbędna jest ich stopniowa wymiana, jednak jak dotychczas nie zanotowano poważniejszych awarii.

Na całej sieci metra obowiązuje ograniczenie prędkości do 80 km/h, co jest monitorowane przez system ATO typu Westrace, kontrolujący miejsce zatrzymania się pociągu na stacji (Indusi), otwarcie drzwi po właściwej stronie oraz aktualną prędkość w sposób ciągły. System ATC wraz z ATP na bieżąco monitorują ruch pociągów (każdy z nich ma przypisany numer AVI), w tym ich prędkość poprzez powtarzanie sygnałów. Każdy prowadzący pociąg ma zapewnioną łączność bezprzewodową (radiową ew. telefoniczną) z centrum kontroli ruchu. Przewidziano także w sytuacjach awaryjnych możliwość powiadomienia przez maszynistę lub obsługę również centrum kryzysowego ew. policji.

Tabor

Metro bukaresztańskie eksploatuje 3 rodzaje pociągów – produkcji krajowej oraz pochodzące od renomowanych producentów. Odbiór prądu odbywa się poprzez trzecią szynę (dolną powierzchnię) o napięciu 750 V DC (w zajezdni – z powodów bezpieczeństwa – poprzez pantograf). Eksploatowany jest tabor:

- ❖ Astra IVA produkcji krajowej;
- ❖ Movia 346 dostarczony przez Bombardiera, sumarycznie 44 pociągi 6-wagonowe (264 wagony), zbudowane w latach 2002–2008;



Pociąg metra BM3 (producent – CAF) na stacji Piața Romană na linii M2



Stacja Basarab na linii M4



Stacja Lujerului na linii M3



Wejście do stacji Lujerului na linii M3

❖ wyprodukowany przez CAF, 24 pociągi 6-wagonowe (144 wagony), dostarczone w latach 2013–2016.

Charakterystykę taboru metra w Bukareszcie zamieszczono w tab. 2.

Pierwsza seria **Astra IVA** została wyprodukowana w liczbie 504 pojedynczych wagonów (126 pociągów 4-wagonowych) przez zakłady ASTRA Vagoane S.A. w Aradzie w latach 1976–1992, przy czym obecnie ww. seria jest używana tylko na linii M4 (15 pociągów, tj. 60 wagonów; stan na styczeń 2017 r.). Jednostką podstawową jest skład dwuwagonowy (wspólna jest część elektryczna). Prototyp został opracowany w 1976 r., a produkcja seryjna rozpoczęła się w 1978 r. Pociągi są przystosowane do odbioru prądu z trzeciej szyny (750 V DC) oraz przez pantograf w zajezdni (wówczas prędkość jest ograniczona do 15 km/h). Powstały 3 podserie w latach 1978–1980, 1980–1985 i 1985–1992, różniące się nieznacznie stylistyką nadwozia, parametrami technicznymi czy wyposażeniem wnętrza. Pociągi otrzymały stalowe poszycie pudła wzmocnione stalowymi kształtownikami. W latach 1994–1996, sumarycznie 42 wagony (21 jednostek) planowano zmodernizować w celu przystosowania do eksploatacji na linii M3 (jako wykonawców wybrano zakłady Faur i Electroputere). Jednak sam proces nie został zrealizowany, a tabor ten obecnie jest

przechowywany w zajezdni Berceni. Wagoni miały otrzymać nowe wyposażenie elektryczne oraz niebieską kolorystykę zewnętrzną. Zamierzano dodać 1 wagon doczepny do 2-wagonowej jednostki, tworząc 3-wagonową jednostkę podstawową (na linii M3 planowano eksploatować pociągi 6-wagonowe). Koncepcje te zostały ostatecznie zarzucone w 1995 r. Seria Astra IVA została zmodernizowana w 2000 r. (zamontowano systemy bezpieczeństwa ATO/ATP Dimetronic) z pomocą koncernu Alstom – przebudowano sumarycznie 90 wagonów (15 pociągów) w 2011 r. Dodatkowo, ww. seria jest sukcesywnie wycofywana z eksploatacji na rzecz młodszeo i nowocześniejszego taboru. Ponieważ Rumunia przed 1989 r. miała znacznie bardziej zaawansowane kontakty z krajami zachodnimi (zwłaszcza z Francją, ale także z USA czy Kanadą) w porównaniu z innymi krajami bloku wschodniego, zatem dostęp do technologii zachodnich był znacznie szerszy. Przykładem obcych wpływów jest wybrany układ osi w wagonach serii Astra IVA – B'B'–B'B', czyli wózki monosilnikowe², które w pojazdach z napędem elektrycznym były stosowane praktycznie tylko przez producentów francuskich³.

Pociągi **Movia 346** wyprodukowane przez Bombardiera to pociągi 6-wagonowe przechodnie, które otrzymały stalowe pudło oraz poszycie ze stali nierdzewnej [8]. Zastosowano lekkie wózki FLEXX Metro 3000, pozwalające na rozwijanie prędkości do 85 km/h, pneumatyczne zawieszenie drugiego stopnia oraz kolumnowe prowadzenie zestawów kołowych. Zamontowano system MITRAC (Modular Integrated TRACtion system) sterujący pracą przekształtników i pozwalający na oszczędne zużycie energii oraz odzyskowy hamulec elektrodynamiczny. System sterowania pociągiem pełni także rolę systemu diagnostycznego. Projekt pociągów metra Movia jest autorstwa koncernu Adtranz, przejętego przez Bombardiera w 2001 r.

Pociągi z rodziny Movia są eksploatowane w systemach kolei podziemnej w Chinach: Guangzhou (linia nr 1), Szanghaju (linia nr 9) i Shenzhen (linia nr 1) – pojazdy serii 456. Dodatkowo, modyfikacja pociągów została zamówiona przez metro w Londynie i jest używana jako seria S na liniach: Metropolitan, Hammersmith & City i Circle (podpowierzchniowe) oraz jako seria 2009 na linii Victoria (głębinowa), a także przez systemy kolei podziemnej w Toronto (linia nr 1) i Dehli czy Singapurze – zamówiono 92 składy serii C951. Pociągi Movia są produkowane w technice modułowej, pozwalającej na adaptację do bardzo indywidualnych wymagań

Tab. 2. Charakterystyka taboru metra w Bukareszcie [6]

Typ		Astra IVA	BM2 i BM21	BM3
Nazwa handlowa		–	Movia 346	–
Producent		ASTRA Vagoane S.A.	Bombardier	CAF
Liczba wagonów w pociągu		2	6	6
Układ osi		2 × B'B'+B'B'	2'2' + 4 × Bo'Bo' + 2'2'	2'2' + 4 × Bo'Bo' + 2'2'
Rozpoczęcie eksploatacji		1979	2009	2014
Lata budowy		1976 1978–1992	2002–2008	2013–2016
Modernizacja		1994-1996 (Faur) 2003 2009	–	–
Kasacja		2007-	–	–
Liczba zbudowanych pociągów 2* / 4** - wagonowych		504* / 252**	26	24
Pojemność (8 os./m ²)		2 × 166	1968	2178
Numerы inwentarzowe		001-252 (001* i 002* prototypy)	bd.	bd.
Długość całkowita	mm	2 × 19 000	112 610	113 610
Szerokość maksymalna	mm	3100	3100	3200
Maksymalny nacisk osi	t	9	14	14
Wysokość maksymalna od główki szyny	mm	3590	3460	3550
Wysokość podłogi od główki szyny	mm	1165 ± 10	1120	1130
Rozstaw kół	mm	1432	1432	1432
Masa bez pasażerów	t	2 × 36	173,5	172,5
Liczba miejsc siedzących		34	216	222
Liczba miejsc stojących (8 pas./m ²)		166	984	978
Całkowita liczba miejsc (8 pas./m ²)		264	1968	1956
Napięcie zasilania		750 V DC (-30%, +20%)	750 V DC	750 V DC
Sposób zasilania		trzecia szyna na szlaku + pantograf w zajezdni	trzecia szyna na szlaku + pantograf w zajezdni	trzecia szyna na szlaku + pantograf w zajezdni
Liczba silników trakcyjnych		4	16	16
Moc jednostkowa silnika trakcyjnego		215	125	145
Przekształtniki główne		bd.	IGBT, 1 przekształtnik zasila 2 silniki	IGBT, 1 przekształtnik zasila 2 silniki
Przekształtniki pomocnicze		110 V DC ± 20%, 24 V DC ± 20%	2 szt. oraz akumulator; 400 V 3~ 50 Hz, 110 V DC	2 szt. oraz akumulator; 400 V 3~ 50 Hz, 110 V DC
Rodzaj silników trakcyjnych		AC (po modernizacji)	asynchroniczne	asynchroniczne
Maksymalne przyspieszenie	m/s ²	1,3	1,25	1,25
Maksymalne opóźnienie	m/s ²	1,3	1,2	1,24
Hamowanie nagłe	m/s ²	2,0	1,3	1,6
System hamowania		ED i elektropneumatyczny, sprężynowy postojowy pneumatyczny	ED, klockowe, kontrolowane mikroprocesorowo	tarczowe, kontrolowane mikro- procesorowo (zasadniczy), elektromagnetyczny (wspomagający i nagły)
Prędkość maksymalna	km/h	80		
System bezpieczeństwa ruchu		SACVAM (ruszanie i hamowanie)	MITRAC	MITRAC
Sprężarki		bd.	2 szt., tłokowe	2 szt., tłokowe
Obsługa linii		M4	M1, M2, M3	M2

odbiorcy, jednocześnie pozwalając zachować nowoczesne rozwiązania przeznaczone dla podobnego taboru (część elektryczna czy mechaniczna pozostaje niezmienną). Zatem możliwe jest zasilanie napięciem:

- ❖ DC: 0,75 kV; 1,5 kV; 3 kV;
- ❖ AC: 15 kV 16,7 Hz; 25 kV 50 Hz.

Pociągi Movia 346 zamówione przez metro w Bukareszcie są zestawione z 4 wagonów silnikowych środkowych oraz dwóch skrajnych, będących jednocześnie wagonami sterowniczymi. W latach 2003-2004 koncern Bombardier dostarczył 18 pociągów typu BM2, a zakończenie realizacji kontraktu nastąpiło w czerwcu 2008 r. po przekazaniu sumarycznie 26 pociągów serii BM2

i BM21 (umowa przewidywała dostawę 20 pociągów plus 6 opcjonalnie). Obecnie 22 pociągi typu BM2 i BM21 są eksploatowane na liniach 1 i 3, a pozostałe 4 – typu BM21 kursują na linii nr 2 (starsze pojazdy zostały wycofane z eksploatacji). Wobec taboru typu Astra nowe pociągi zużywają o 25% mniej energii, mają wyższą gotowość eksploatacyjną, utrzymanie wymaga znacznie niższych nakładów finansowych, a ich jazda jest cichsza (kontakt koło-szyna). Zamontowany system bezpieczeństwa ruchu (ATP i ATO) pozwala na obsługę jednoosobową, a wyprodukowanie taboru typu BM2/BM21 jako przechodniego umożliwi bardziej równomierne rozłożenie pasażerów w pociągu w porównaniu z pociągiem zestawionym z osobnych wagonów. Pociągi są kli-



Pociąg metra BM2 (producent – Bombardier) na stacji Eroilor na linii M1/M3



Pociąg metra BM2 (producent – Bombardier) na stacji Gara de Nord na linii M1/M3

matyzowane, a drzwi wyposażono w fotokomórki zapobiegające przytrzaśnięciu pasażera.

Tabor metra typu BM3 wyprodukowany przez CAF został dostarczony na mocy kontraktu podpisanego w listopadzie 2011 r. na dostawę 16 pociągów (96 wagonów) o wartości 97 mln euro, z opcją na kolejne 8 pociągów (48 wagonów) [9]. Montaż pociągów był częściowo zrealizowany przez rumuńskiego podwykonawcę. Podobnie jak pociągi Movia 346, pociągi CAF składają się z 6 wagonów przechodnich, a których skrajne są pozbawione napędu. Poszycie pudła wykonano jako stalowe, zastosowano pneumatyczne zawieszenie drugiego stopnia oraz kolumnowe prowadzenie zestawów kołowych. Nowe pociągi otrzymały hamulce tarczowe, a przedniej części także umieszczono strefy zgniotu. Oprogramowanie pociągu wykonano jako tzw. HMI (Human Machine Interface) wraz z ekranem dotykowym. Przekazanie wszystkich pociągów dostarczonych przez hiszpańskiego producenta zakończono w listopadzie 2014 r., wówczas także wycofano pociągi Movia z eksploatacji z linii M2, która jest docelową linią dla taboru CAF. Wtedy również skorzystano z opcji na zamówienie dodatkowych 8 pociągów za sumę 47 mln euro, które odebrano w 2018 r. Wraz z pozyskaniem taboru CAF, wycofano część pociągów Astra IVA.

Obecnie metro w Bukareszcie eksploatuje:

- ❖ 15 pociągów typu IVA pociągów typu (90 wagonów);
- ❖ 26 pociągów typu BM2/BM21 (264 wagony);
- ❖ 24 pociągi typu BM3 (144 wagony);
- ❖ 8 lokomotyw spalinowych z przekładnią hydrauliczną;
- ❖ 4 pojazdy elektryczne do kontroli stanu infrastruktury;
- ❖ 11 pojazdów silnikowych, w tym 2 interwencyjne.

Rocznie pociągi metra pokonują 8,17-8,47 mln km (lata 2016-2017), przy zużyciu energii elektrycznej 85,6-90,9 MWh (sumarycznie metro zużywa 159,0-173,2 MWh).

Przypisy

¹ wówczas obalono dotychczasowe władze komunistyczne, a rządzący przywódca wraz z małżonką (Nicolaie i Elena Ceaușescu) zostali straceni w pokazowym procesie.

² silnik zamontowany w wózku napędza wszystkie zestawy kołowe (2 lub 3) poprzez odpowiednio ukształtowaną przekładnię.

³ wagony metra z wózkami monosilnikowymi są stosowane m.in. w metrze paryskim i brukselskim, tabor został wyprodukowany przez Alstom. Lokomotywy z wózkami monosilnikowymi były stosowane także tylko przez SNCF i SNCB (był to tabor produkcji francuskiej).

Współpraca (i podziękowania) – dr inż. Aleksander Drzewiecki, UTK.

Literatura

1. Ianaș D. *Amintiri din tunelurile metroului bucureștean*. Editura Meronia 2015.
2. Iordănescu D., Georgescu C. *Construcții pentru transporturi în România*. 2. Lucrare editată de Centrala Construcții Căi Ferate București. 1986.
3. Ministerul Căilor Ferate *Memoriul Tehnico-Economic asupra construcției metroului în orașul București 1953*.
4. Moroșanu G. *Metroul fără Ceaușescu*. Editura Cetatea Doamnei 2008.
5. Petculescu N., Viitorul I. *Metropolitan al Bucureștilor* Buletinul Soc. Politecnice. Monitorul Oficial și Imprimeriile Statului. Imprimeria Națională. LVI (3) 1942.
6. *Raport de activitate pe anul 2015, 2017* AL Metrorex S.A. 2015, 2017.
7. Tănăsache I. *Metroul românesc și metrourele Terrei*. Editura Vox 2000. 2009.
8. *Metro Bucharest CEE/1SG Bombardier BM 20, 21 44 x 6 car trains delivered in 2002-2008* Bombardier 2018.
9. *Metro Bucharest – description and technical data sheet* CAF 2018.

Zdjęcia nieoznaczone – Marek Graff (6.05.2018 r.)

Metro in Bucharest

The Bucharest metro network currently consists of 4 lines, the first of which was launched in 1979. This underground rail network is the only metro system in Romania. The underground rolling stock was designed and manufactured by the national company in Arad. The metro was built in Western-style - the use of marbles or decorations on a larger scale was avoided for simplicity and functionality. It also resulted in faster construction of the metro network. With the accession of Romania to the EU in 2007 and the possibility of obtaining funding, rolling stock from well-known manufacturers - Bombardier and CAF - was purchased. The metro uses the 1435 mm rail gauge and right-hand traffic.

Keywords: Bucharest, Romania, metro, Astra, Bombardier Movia, CAF.