

Nowoczesne rozwiązania w zakresie infrastruktury i taboru w szynowym transporcie aglomeracyjnym na przykładzie II. linii Metra Warszawskiego

Marek GRAFF¹

Streszczenie

Obecnie jest realizowana rozbudowa drugiej linii metra warszawskiego (M2), przebiegającej od wschodu na zachód. Otwarcie odcinków w części wschodniej i zachodniej linii zrealizowano w 4 etapach, sukcesywnie przekazując fragmenty liczące po 2–3 stacje. Obecnie budowanym odcinkiem jest ostatni fragment II. linii w południowo-zachodniej części, co obejmuje także wybudowanie stacji techniczno-postojowej Karolin (STP Karolin). Do obsługi taborowej linii pozyskano pociągi Varsovia dostarczone przez Škodę, których stylistyka jest zbliżona do pociągów Inspiro od Siemens, od kilku lat eksploatowanych w warszawskim metrze. Budowa metra została zakłócona przez pandemię koronawirusa SARS-Cov-2 (2020–2022), gdyż oprócz opóźnienia w terminie ukończenia budowy czy dostarczenia taboru spowodowała wzrost cen materiałów i kosztów pracy, co zmusiło strony (UM Warszawa, wykonawcy) do rewaloryzacji kontraktu.

Słowa kluczowe: metro, Warszawa, druga linia, Škoda

1. Wstęp

Wzrastająca liczba mieszkańców w poszczególnych metropoliach powoduje, iż kluczowy jest wybór środka komunikacji publicznej, na który należy zdecydować się, aby uczynić przewozy pasażerów efektywnymi. Z powodu promowania przez UE transportu ekologicznego, komunikacja publiczna powinna wykorzystywać pojazdy z napędem elektrycznym, ew. poruszane za pomocą silnika elektrycznego. Dodatkowo, komunikacja autobusowa, choć elastyczna (wykorzystująca praktycznie tylko już istniejącą infrastrukturę drogową), z powodu stosowania silników napędzanych paliwami kopalnymi, obecnie jest w odwrocie (polityka UE nie przewiduje dofinansowania do zakupu pojazdów spalinowych). Zatem obecnie promowany jest rozwój:

- tramwajów,
- elektrobusesów,
- trolejbusów,
- metra,
- kolei wiszącej (jednoszynowej) czy z unoszeniem magnetycznym,

- kolei miejskiej.

Każde z rozwiązań ma wady i zalety, przy czym wybór jest uzależniony od liczby pasażerów, która powinna zostać przewieziona w umownej jednostce czasu, a także od dostępnych środków finansowych (tabl. 1).

Komunikację tramwajową cechuje stosunkowo duża prostota – budowa infrastruktury nie jest ani skomplikowana ani kosztowna, podobnie jak budowa taboru (rys. 1). Choć obecnie wdrażane są kolejne rozwiązania techniczne (np. akumulatory w pojazdach zasilanie systemem APS itp.), to jednak istota ww. środka transportu pozostaje tania i nieskomplikowana, co warunkuje duże rozpowszechnienie na świecie. Zaletą komunikacji tramwajowej w porównaniu z autobusową jest większa zdolność przewozowa, co ma duże znaczenie w miastach z historyczną (wąską) zabudową w centrum i niemożnością rozwijania komunikacji autobusowej z powodu ograniczonej przepustowości ulic (casus Krakowa). Minusem jest znacznie wyższy koszt zakupu pojazdów (> 5–6 razy), a nie rekompensuje tego nawet znacznie dłuższy czas ich eksploatacji (2–3 razy).

¹ Dr; Instytut Chemii i Techniki Jądrowej; e-mail: marek.graff@infotransport.pl.

Tablica 1

Porównanie poszczególnych środków transportu publicznego wykorzystującego napęd elektryczny

Środek transportu	Zalety	Wady	Koszt budowy i eksploatacji	Zdolność przewozowa	Rozpowszechnienie
Tramwaj	relatywnie duża zdolność przewozowa, w tym w miastach z historyczną zabudową (wąskie ulice), niezależność od infrastruktury drogowej	konieczność budowy infrastruktury, w tym rozwieszania sieci trakcyjnej	niski	średnia	duże
Trolejbus	niższe koszty budowy infrastruktury w porównaniu z tramwajami	konieczność rozwieszania sieci trakcyjnej i zależność od infrastruktury drogowej	niski	średnia	duże
Elektrobus	wyposażenie pojazdów w akumulatory eliminuje konieczność rozwieszania sieci trakcyjnej	duży koszt zakupu pojazdów	średni	niska	małe
Metro	duża zdolność przewozowa	wysoki koszt budowy infrastruktury	wysoki	duża	ograniczone do dużych lub bardzo dużych ośrodków miejskich
Kolej jednoszynowa / wisząca / z unoszeniem magnetycznym	niewielkie potrzeby przestrzenne pod budowę infrastruktury	nietypowe rozwiązania techniczne wymagają relatywnie wysokiej kultury technicznej	średni	od niskiej po średnią	małe
Kolej miejska (konwencjonalna)	możliwość wykorzystania istniejącej infrastruktury kolejowej	znaczne oddalenie przystanków (> 2–3 km), zależność od infrastruktury kolejowej	średni	duża	średnie

[Opracowanie własne].



Rys. 1. Tramwaj Hyundai Rotem 140N nr 4218, al. Jana Pawła II (18.03.2023 r.) [fot. M. Graff]

Elektrobus może być traktowany jako odmiana trolejbusu wyposażonego w akumulator, zatem nie wymagającego budowy sieci trakcyjnej, co także umożliwia elastyczne kształtowanie linii, których brakuje w przypadku trolejbusów lub tramwajów (rys. 2 i 3). Rozwój elektrobusów przypada na ostatnie 10–15 lat, co wynika z wdrożenia wydajnych akumulatorów (podobne zjawisko jest obserwowane dla samochodów elektrycznych). Interesującym rozwiązaniem są trolejbusy wyposażone w akumulatory, co pozwala wykorzystać zalety zarówno

elektrobusu, jak i trolejbusu, a w porównaniu z pierwszym – zwiększyć zasięg. Zaletą elektrobusu / trolejbusu w porównaniu z tramwajem jest większa przyczepność do podłoża, co preferuje budowę linii trolejbusowych w miastach położonych na terenach górskich czy pagórkowatych (np. Gdynia), wadą jest mniejsza zdolność przewozowa. Ten czynnik powoduje, iż komunikacja tramwajowa funkcjonuje w miastach o wielkości od średnich do dużych, trolejbusowa – w średnich, a elektrobusowa – w małych lub średnich, co także pozwala na uniknięcie kosztów rozwieszania sieci trakcyjnej.



Rys. 2. Trolejbus Solaris Trollino 12T I. generacji, pl. Konstytucji, Gdynia (13.11.2010 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 3. Elektrobuse Solaris Urbino 12 electric, ul. Pawia, Kraków (29.10.2016 r.) [fot. M. Graff]

Budowa metra jest realizowana wówczas, gdy liczba mieszkańców zamieszkujących miasto czy aglomerację przewyższa 1 mln, ponieważ tylko wtedy duża zdolność przewozowa warunkuje efektywność kolei podziemnej, pomimo dużych kosztów budowy infrastruktury (drażenie tuneli). Metro jest także niezależne od infrastruktury miejskiej czy kolejowej, ponieważ wykorzystuje własną (poza nielicznymi wyjątkami, jak np. wybrane odcinki metra w Londynie). W kilkumilionowych metropoliach (Londyn, Paryż, Seul, Tokio), metro jest podstawowym środkiem komunikacji, a wyłączenie nawet 2–3 linii powoduje niekiedy paraliż miasta. Jednym ze sposobów obniżenia kosztów budowy sieci metra, jest budowa odcinków naziemnych, co jest szeroko praktykowane np. w Londynie z powodu niskiej zabudowy przedmieść (w innych miastach odcinki naziemne należą raczej do wyjątków).

Kolej jednoszynowa, w tym wisząca lub z unoszeniem magnetycznym ma zastosowanie w miastach, gdzie wysokie ceny gruntów czy brak miejsca nie pozwalają na budowę innego środka transportu (rys. 4 i 5). Z tego powodu kolej jednoszynowa jest popularna w Japonii, w Europie natomiast należy raczej do wyjątków (np. Wuppertal w Niemczech). Niewielkie rozpowszechnienie powoduje, iż poszczególni producenci stosują własne rozwiązania techniczne, co powoduje także dużą niekompatybilność systemów.

Kolej miejska umożliwia uruchamianie pociągów po istniejącej infrastrukturze kolejowej oraz przewóz osób z przedmieść czy miast satelickich do centrum (rys. 6). Jednak znaczne wzajemne oddalenie przystanków (> 2–3 km) powoduje, iż jest to uzupełnienie komunikacji miejskiej, ale nie substytut. Ciekawym przykładem jest komunikacja miejska Berlina – metro (U-Bahn) służy do podróży w obrębie miasta na średnie odległości, kolej miejska (S-Bahn) – na średnie lub duże, ewentualnie w obrębie aglomeracji. Dodatkowo, berlińska S-Bahn korzysta z własnej infrastruktury, zatem jest niezależna od infrastruktury

kolejowej. Ponieważ oba systemy są rozbudowane (większość dzielnic ma dostęp przynajmniej do jednego z systemów), poruszanie się po stolicy Niemiec nie jest problemem.



Rys. 4. Kolej wisząca w pobliżu ul. Ufer (Uferstraße), Wuppertal, (8.05.2010 r.) [fot. Mbdortmund / Wikimedia Commons]



Rys. 5. Kolej z unoszeniem magnetycznym zbudowana z wykorzystaniem technologii Siemens, Moskwa (18.06.2007 r.) [fot. P. Czech]



Rys. 6. Zespół Impuls 31WEb-005 / 605 przewoźnika SKM Warszawa na stacji Warszawa Zachodnia (20.04.2022 r.) [fot. M. Graff]

Systemy kolei miejskiej Warszawy czy Krakowa wykorzystują istniejącą sieć kolejową i zapewniają komunikację miast satelickich, ewentualnie przedmieść z centrum oraz uzupełniają istniejącą ofertę przewozową świadczoną przez przewoźników samorządowych (Koleje Mazowieckie / Małopolskie)

2015 r., gdy został otwarty środkowy odcinek II. linii, liczba pasażerów na II. linii była niewielka z powodu znacznego oddalenia od osiedli mieszkalnych. Dopiero przekazanie do eksploatacji fragmentów przebiegających przez dzielnice takie, jak Wola czy Bródno, które są swoistymi sypialniami Warszawy, spowodowało znaczny wzrost liczby pasażerów. Do obsługi linii w koncernie Škoda zakupiono nowoczesne pociągi Varsovia, zbliżone do eksploatowanych w metrze warszawskim pociągów Inspiro dostarczonych przez Siemens. Wraz z odbiorem kolejnych pociągów Varsovia, będzie wycofywany nienowoczesny tabor wschodniej produkcji serii 81, na który znaleziono nabywcę – kolej podziemną w Kijowie. Ostatnim etapem rozbudowy II. linii będzie odcinek w południowo-zachodniej części, co obejmuje także budowę STP Karolin, która będzie zapleczem naprawczo-utrzymawczym dla II. linii i wydatnie odciążą STP Kabaty, gdzie stacjonują obecnie oraz są serwisowane wszystkie pociągi metra. Najbardziej wymowną różnicą pomiędzy budową I. i II. linii metra jest nie tylko sposób budowy (I. linię budowano z południa na północ, II. linię – najpierw środkowy odcinek, później odgałęzienia w obu kierunkach), ale także zastosowanej technologii – odpowiednio drążenie ręczne / z użyciem tarcz TBM, dla I. / II. linii z wydajnością 3 / 20–30 m na dobę [1]. Budowa II. linii jest współfinansowana z funduszy pomocowych UE [2–4].

2. Odcinek wschodni II. linii

Pierwszy etap realizacji odcinka wschodnio-północnego II linii metra w Warszawie, jest zlokalizowany na terenie dwóch dzielnic (Pragi Północ i Targówka) we wschodnio-północnej części Warszawy. W połowie września 2019 r. przekazano do eksploatacji północno-wschodni odcinek drugiej linii metra w Warszawie, o długości 3,2 km, na którym znajdują się 3 stacje: Szwedzka, Targówek Mieszkaniowy i Trocka, zatem wówczas druga linia metra miała 9,7 km długości oraz 10 stacji (rys. 8). Fundusze na budowę (w wysokości około 1,07 mld PLN) w 75% pochodziły z dofinansowania UE. Nowe stacje zostały zbudowane: Szwedzka / C16 – w rejonie ulic Szwedzkiej i Strzeleckiej, Targówek Mieszkaniowy / C17 – w rejonie ulic Pratulińskiej i Ossowskiego, a ostatnia stacja Trocka / C18 – przy skrzyżowaniu ulic Pratulińskiej i Trockiej. Za stacją C17 powstała komora rozjazdowa, a za C18 znajdują się tory odstawcze. Wystrój stacji jest uproszczony, wręcz surowy – zastosowano barwy białe, czarne i szare. Do wykończenia ścian i sufitów na stacjach użyto zaokrąglonych paneli z dodatkiem perforowanej blachy, na posadzki zastosowano jasny granit, a kolumny wykonano z betonu architektonicznego. Do urządzenia ścian antresol zastosowano panele

z betonu architektonicznego o ciemnoszarej barwie. Różnicą w aranżacji poszczególnych stacji są wzory paneli betonowych, a dodatkowo na stacji C16 zastosowano cegłę klinkierową. Wykonawcą była firma Astaldi, która w połowie marca 2016 r. podpisała kontrakt na budowę z władzami miasta. Prace rozpoczęły się już w miesiąc po podpisaniu umowy, a drążenie tuneli – w maju 2017 r. z szybu startowego przy stacji C18. Wykorzystano dwie tarcze TBM (ang. *tunnel boring machine*), których wcześniej użyto do drążenia centralnego odcinka drugiej linii metra. Kończąc drążenie w styczniu 2018 r. sumarycznie wydrążono 2,2 km tuneli (nie licząc odcinków stacyjnych). Pierwszy pociąg testowy wjechał na nowy odcinek drugiej linii w styczniu 2019 r. Choć firma Astaldi ma kłopoty z realizacją kontraktów w Polsce (np. przy modernizacji LK 7), to jednak nie dotyczy to rozbudowy warszawskiego metra. Zezwolenie na użytkowanie wszystkich obiektów odcinka północno-wschodniego do stacji C18 wydał Wojewódzki Inspektor Nadzoru Budowlanego na początku września 2019 r. Obsługa trakcyjna drugiej linii metra wymagała 3 pociągów więcej niż przed przekazaniem nowego odcinka (15 zamiast 12).

Drążenie tuneli na północno-wschodnim odcinku II. linii metra rozpoczęło się w maju 2020 r. na stacji C21 Bródno do torów odstawczych stacji C18 Trocka [5]. Koszt budowy odcinka wynosił 1,398 mld PLN, a jako wykonawców wybrano konsorcjum firm Gülermak i Astaldi. W obrębie stacji C21 Bródno przewidziano budowę komory z 11 torami odstawczymi i do zawracania. Na wykonanie prac zarezerwowano 3 lata, z terminem ukończenia we wrześniu 2021 r. jednak z powodu pandemii koronawirusa, wykonawca – firma Gülermak wystąpiła o przesunięcie terminu o 9 miesięcy. Zatem tarcze drążące TBM Anna i Maria przewieziono na budowę odcinka północno-wschodniego, gdzie TBM Anna rozpoczęła pracę na stacji C21 Bródno → C18 Trocka z imponującą wydajnością 30 m na dobę [6].



Rys. 8. Stacja Trocka (15.09.2019 r.) [fot. M. Graff]
Jazdy testowe pociągów rozpoczęły się na

początku sierpnia 2022 r., a na stacjach realizowano ostatnie prace wykończeniowe i odbiory [7]. Otwarcie odcinka do stacji Bródno nastąpiło pod koniec września 2022 r. [8]. Projekt wystroju stacji wykonała firma ILF, podobnie jak poprzedniego wschodniego fragmentu II. linii. Stacje mają skromny, wręcz surowy wygląd utrzymany w biało-szarych barwach podobnych do kolorystyki poprzedniego odcinka, choć zastosowano inne rozwiązania i materiały. Zatem do wyłożenia bocznych ścian użyto białych płytek lastryko, granitu do posadzek, a do sufitów – formę rusztu z kratki podwieszanych na antresoli. Stropy na peronach mają kształt żyletek. Do wykończenia kolumn użyto betonu architektonicznego. Na ścianach zatworowych umieszczono panele z barwnymi grafikami autorstwa P. Młodożeńca. Aranżacja każdej ze stacji jest wykonana z odmiennymi motywami plam, złożonych z kwadratów, kropek i linii, przy czym na każdej ze stacji użyto innych barw (rys. 9–13):

- Bródno – fiolet i granat,
- Kondratowicza – tygrysie pasy z ciepłymi deseniami – żółtym, pomarańczowym i czerwonym,
- Zacisze – zieleń.



Rys. 9. Wejście do stacji Bródno (18.03.2023 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 10. Stacja Bródno (18.03.2023 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 11. Stacja Zacisze (01.10.2023 r.) [fot. A. Grycuk / Wikimedia Commons]



Rys. 12. Stacja Kondratowicza (18.03.2023 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 13. Stacja Bródno (01.10.2022 r.) [fot. A. Grycuk / Wikimedia Commons]

Na stacji Bródno wcześniej wspomniany układ torowy jest bardzo rozbudowany, a rozwidlanie się torów rozpoczyna się jeszcze przed dojazdem pociągów na perony (od strony stacji Kondratowicza). Stacja zajmuje aż 3 ha oraz około 250 pomieszczeń. Po raz pierwszy w metrze zastosowano 2 ruchome chodniki o długości 50 i 36 m oraz szerokości 1 m w tunelu prowadzącym

w części pieszej w kierunku ul. św. Wincentego do przyszłego tramwaju na Zieloną Białołąkę.

3. Odcinek zachodni II. linii

Odcinek zachodni II. linii metra w Warszawie, stanowiący II etap jej realizacji w tym rejonie miasta, jest usytuowany na terenie dzielnic Wola i Bemowo. Na przeważającym fragmencie odcinka trasa metra przebiega pod ulicą Górczewską, w części wschodniej odcinka pod jezdnią północną, później pod jezdnią południową z niewielkim odchyleniem na południe przy skrzyżowaniu ulicy z linią kolejową.

Nakłady inwestycyjne na budowę ww. odcinka to 1,148 mld PLN brutto. Prace rozpoczęły się pod koniec listopada 2016 r., a drażnienie tuneli wykonano od lutego do września 2018 r. od komory startowej na stacji Księcia Janusza w kierunku wschodnim (tarcza TBM Maria), ze średnią prędkością 18 m na dobę (tunel południowy). W przeciwnym kierunku pracowała tarcza TBM Krystyna, przy prędkości 22 m na dobę (tunel północny), przy rekordowych 36,5 m na dobę. Układanie torów i montaż urządzeń w tunelach wykonano od stycznia do listopada 2019 r. Długość peronów wynosi 120 m, a najdłuższą stacją jest stacja Księcia Janusza – 606,1 m z powodu obecności komory torów odstawczych dla maksymalnie 8 pociągów (stacje Płocka i Młynów – odpowiednio 163,6 m i 168,2 m). W marcu 2020 r. przeprowadzono odbiory 3 nowych stacji na zachodnim odcinku II. linii metra – C8 Płocka, C7 Młynów i C6 Księcia Janusza, przy planowanym terminie przekazania stacji do eksploatacji na początku kwietnia 2020 r. [9–11]. Zanim to nastąpiło, konieczne było zamknięcie na 7 dni stacji Rondo Daszyńskiego, aby podłączyć systemy zasilania i sterowania nowego odcinka z istniejącą siecią metra. Stacje urządzono w następujący sposób (autorstwo – Biuro Projektowe Kazimierski i Ryba):

- C8 Płocka – zastosowano panele z miedzi w jednolitej barwie (na antresoli), ew. w odcieniach (na peronie), co jest nawiązaniem do przemysłowej historii Woli i charakterystycznej geometrii układów scalonych (dawne zakłady elektroniki użytkowej)⁴; schody na peron zostały obudowane mlecznymi panelami, ławki corianowe, a na posadzce peronowej umieszczono jasne lastryko;
- C7 Młynów – wystrój stacji, ze specyficznymi oczkami jest odniesieniem do basenów i stawów znajdujących się w pobliskim parku Moczydło;
- C6 Księcia Janusza – nawiązanie do ogrodów Ulrychów, gdzie zachowano dawne zabudowania i niektóre specyficzne gatunki roślin.

Nowy odcinek przebiega od szlaku za stacją C9 Rondo Daszyńskiego do torów odstawczych za stacją C6 Księcia Janusza. Odcinek zachodni II linii metra w Warszawie stanowiący I. etap jej realizacji w tym rejonie miasta, w całości jest usytuowany na terenie dzielnicy Wola (rys. 14–17). Od szlaku za torami odstawczymi stacji C9 Rondo Daszyńskiego linia metra przebiega początkowo pod ul. Kasprzaka, a następnie, przechodząc pod terenem zabudowanym, skręca na północ w ulicę Płocką. Na północ od ulicy Wolskiej linia metra skręca na zachód, przechodząc pod istniejącą zabudową mieszkaniową i biegnie pod ulicą Górczewską. Linia metra przechodzi pod istniejącym wiaduktem PKP oraz pod estakadą Al. Prymasa Tysiąclecia. Biegąc dalej na zachód pod ulicą Górczewską, linia metra przechodzi przez rejon zielone (Park im. E. Szymańskiego, Park Moczydło), a następnie za skrzyżowaniem z ul. Deotymy przez tereny z pobliską zabudową mieszkaniową i handlowo-usługową. Ówczesne zakończenie linii wraz torami odstawczymi zlokalizowano w rejonie wschodniego wjazdu na teren Centrum Handlowego „Wola Park” na wysokości ul. Krępowieckiego.

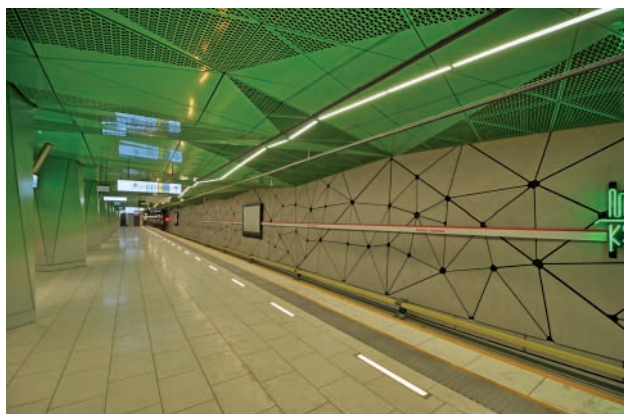


Rys. 14. Bramki biletowe na stacji Księcia Janusza (04.04.2020 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 15. Wejście do stacji Księcia Janusza (04.04.2020 r.) [fot. M. Graff]

⁴ W dzielnicy Wola funkcjonowała także m.in. Warszawska Spółka Akcyjna Budowy Parowozów.



Rys. 16. Stacja Książca Janusza (04.04.2020 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 17. Stacja Płocka (04.04.2020 r.) [fot. M. Graff]

Wraz z otwarciem odcinka do stacji Książca Janusza, rozpoczęto prace nad kolejnym odcinkiem zachodnim II. linii [12, 13]. W połowie maja 2020 r. rozpoczęto transport tarcz TBM Krystyna i Elisabetta o masie 650 t, długości 100 m i średnicy 6 m (Metro zamówiło 4 podobne tarcze), które zostały rozebrane w celu przewiezienia. Złożenie tarczy i przygotowanie do pracy trwa około 1 miesiąca. Tarczę TBM obsługuje 12 osób na 4 zmiany, przy czym praca urządzenia jest całkowicie zautomatyzowana. Napęd TBM zapewnia 16 par siłowników hydraulicznych. TBM pracuje w sposób ciągły, a praca tarczy jest przerywana podczas np. konieczności wymiany ostrzy tnących, ewentualnie problemów z podłożem. Startowy szyb wybrano w miejscu torów odstawczych na przyszłej stacji C4 Powstańców Śląskich po zbudowaniu około 150 m płyty fundamentowej. W wydrążonych tunelach o długości około 1370 m ułożono 1824 tubingi (elementy konstrukcyjne tunelu) po 1,5 m długości każdy. Koszt budowy tuneli oraz 2 stacji: C5 Ulrychów i C4 Powstańców Śląskich to 959 mln PLN, z wykorzystaniem funduszy pomocowych UE. Budowa odcinka powinna zakończyć się w listopadzie 2021 r., ale nastąpiło opóźnienie z powodu pandemii (wykonawca wystąpił o przesunięcie terminu o 8 miesięcy).

Otwarcie odcinka od stacji Książca Janusza do stacji Bemowo nastąpiło pod koniec czerwca 2022 r. [14–16]. Według władz Warszawy, UE przekazała wsparcie finansowe

dla II. linii metra w wysokości 7 mld PLN, obecnie problematyczne jest uzyskanie kolejnych środków z powodu zablokowanych funduszy z KPO. Wystrój obu stacji – Ulrychów i Bemowo zaprojektował architekt A. Chołdziński z firmą Metroprojekt (rys. 18–21). Do aranżacji stacji użyto elementów uformowanych w fale, korten, tynki akustyczne o strukturze baranka, czy znajdujące się przy schodach kamienne i kolorowe mozaiki. Do wyłożenia posadzek użyto granitu, ścian zatorowych (paneli z perforowanej blachy ułożonych w formie ostro zakończonych fal), przy czym na stacji C5 Ulrychów użyto blachy miedzianej o zielonkawym odcieniu, a na stacji C4 Bemowo – kortenu (ww. materiał z czasem będzie miał charakterystyczną rdzawą barwę). Sufity na obu stacjach zaaranżowano kwadratowymi kasetonami o czekoladowym odcieniu, przy czym na stacji Bemowo są ułożone skośnie, a na stacji Ulrychów – równoległe względem toru. Klinkierowe okładziny ścienne zamontowano na antresolach. Wydłużenie II. linii metra spowoduje zwiększenie liczby pociągów z 18 do 21 potrzebnych do obsługi linii przy niezmiętej częstotliwości kursowania wynoszącej 2 min 50 s. (na I. linii metra kursuje 36 pociągów). Po ostatniej rozbudowie, II. linia ma 18,9 km długości oraz 18 stacji, rozmieszczonych średnio co 1,0 km. W celu porównania: analogiczne wskaźniki dla I. linii wynoszą 22,7 km oraz 21 stacji, przy rozmieszczeniu stacji średnio co 1,1 km. Charakterystykę nowych odcinków i stacji na II. linii metra zamieszczono w tablicach 2–5 (odcinek wschodni) i tablicach 6–9 (odcinek zachodni).



Rys. 18. TBM Elisabetta na terenie przyszłej stacji Bemowo (13.06.2020 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 19. Wejście do stacji Bemowo (11.03.2023 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 20. Stacja Bemowo (11.03.2023 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 21. Stacja Bemowo (21.06.2022 r.) [fot. A. Grycuk / Wikimedia Commons]

Tablica 2

Odcinek wschodni [17, 18]

Obiekt lub proces	I. etap	II. etap
Rozbudowa II linii metra obejmuje	budowę odcinka wschodniego-północnego od szlaku za stacją C15 Dworzec Wileński do torów odstawczych za stacją C18 Trocka	budowę odcinka wschodniego-północnego od szlaku za stacją C18 Trocka do torów odstawczych za stacją C21
Liczba stacji	3	3
Stacje	C16 – Szwedzka, C17 – Targówek, C18 – Trocka wraz z tunelami szlakowymi	C19 – Zacisze, C20 – Kondratowicza, C21 – Bródno wraz z tunelami szlakowymi
Liczba wentylatorni szlakowych	3	3
Wentylatornie szlakowe	V16, V17, V18	V19, V20, V21
Liczba tuneli szlakowych	3	3
Tunele szlakowe	D16, D17, D18	D19, D20, D21
Komora demontażowa	(brak nazwy)	C18 (KD C18)
Długość odcinka [km]	3,2	3,9
Całkowita długość tuneli [m]	6290,7	5785
Całkowita kubatura obiektów (stacje i wentylatornie) [m ³]	422 800	672 179
Przekazanie do eksploatacji	wrzesień 2019	wrzesień 2022

Tablica 3

Lokalizacja stacji na odcinku wschodnim [17, 18]

Stacja	Lokalizacja
C16 Szwedzka	pod ulicą Strzelecką opodal skrzyżowania z ulicą Szwedzką, w obszarze pomiędzy budynkiem Strzelecka 46 a terenem Zajezdni Autobusowej Stalowa MZA
C17 Targówek	pod skrzyżowaniem ulic Pratulińskiej i Ossowskiego na terenie dzielnicy Targówek. Po północnej stronie ulicy Ossowskiego pod terenem zielonym zlokalizowano jednokondygnacyjny obiekt podziemny komory rozjazdów łączący się ze stacją
C18 Trocka	wzdłuż ulicy Pratulińskiej, pod skrzyżowaniem ulic Pratulińskiej i Trockiej, a także wzdłuż nowoprojektowanej ulicy na przedłużeniu ulicy Pratulińskiej
C19 Zacisze	wzdłuż ulicy Figara przy skrzyżowaniu z ulicami Codzienna, Rolanda i Spójni
C20 Kondratowicza	wzdłuż ulicy Kondratowicza między skrzyżowaniami z ulicami Malborską i 20 Dywizji Piechoty PW a skrzyżowaniem ulicy Św. Wincentego z ulicą Kondratowicza; projektowany łącznik ze stacji metra do projektowanych przystanków tramwajowych w ulicy Św. Wincentego
C21 Bródno	Zlokalizowana jest wzdłuż ulicy Kondratowicza pomiędzy skrzyżowaniami ulic Bazyliańska/Rembielińska i Łabiszyńska; stacja z dwiema komorami rozjazdów oraz torami odstawczymi

Tablica 4

Dane techniczne tuneli – odcinek wschodni [17, 18]

Długość obiektu [m]	I. etap	II. etap
Długość tunelu toru prawego	4020,6	3135,4
Długość tunelu toru lewego	3993,2	3155,3
Długość stacji	176,0 – C19 314,0 – C20 697,5* – C21	135,3 – C16 299,0 – C17 KR 450,0 – C18 TO
Długość stacji komory demontażowej	31,0 (przy C18)	~ 20,0 (przy C15)
Całkowita długość tuneli	5785,0	6290,7
Poziom główki szyny (PGS) pod poziomem terenu	9,0 – 13,9	11,9 – 16, 2
Średni poziom główki szyny (PGS) pod poziomem terenu	11,5	14,0

* stacji i torów odstawczych.

Tablica 5

Dane techniczne obiektów kubaturowych – odcinek wschodni [17, 18]

Kubatura obiektu [m ³]	I.etap	II.etap
Stacje [m ³]	62 674,0 – C16 105 553,0 – C17 227 372,0 – C18	74 199,0 – C19 93 420,0 – C20 469 891,0 – C21
Wentylatornie szlakowe [m ³]	6455,0 – V16 7761,0 – V17 5267,0 – V18	9158,0 – V19 8817,0 – V20 8875,0 – V21
Komora demontażowa [m ³]	7718,0 (przy C15)	7819,0 – KD C18
Całkowita kubatura obiektów [m ³]	422 800,0	672 179,0

* stacji i torów odstawczych.

Tablica 6

Dane techniczne obiektów kubaturowych – odcinek zachodni [17, 18]

Obiekt lub proces	I. etap	II. etap
Rozbudowa II linii metra obejmuje	budowę odcinka zachodniego od szlaku za stacją C9 Rondo Daszyńskiego do torów odstawczych za stacją C6 Księcia Janusza	budowę odcinka zachodniego od szlaku za stacją C6 Księcia Janusza do torów odstawczych za stacją C4 Bemowo
Liczba stacji	3	2
Stacje	C6 – Księcia Janusza, C7 – Młynów, C8 – Płocka wraz z tunelami szlakowymi	C4 – Bemowo, C5 – Ulrychów wraz z tunelami szlakowymi
Liczba wentylatorni szlakowych	3	1
Wentylatornie szlakowe	V9, V8, V7	V5
Liczba tuneli szlakowych	3	2
Tunele szlakowe	D9, D8, D7	D5, D6
Komora demontażowa	V9A	S6
Długość odcinka [km]	3,4	2
Całkowita długość tuneli [m]	5047	2 664
Całkowita kubatura obiektów (stacje i wentylatornie) [m ³]	341 330	295 602
Przekazanie do eksploatacji	04.2020	06.2022

Tablica 7

Lokalizacja stacji na odcinku zachodnim [17, 18]

Stacja	Lokalizacja
C8 Płocka	pod ul. Płocką, w rejonie skrzyżowania z ul. Wolską
C7 Młynów	pod ul. Górczewską, zlokalizowana pomiędzy wiaduktem linii kolejowej (LK 20) a ul. Syreny
C6 Księcia Janusza	pod ul. Górczewską, w rejonie skrzyżowania z ul. Księcia Janusza, po wschodniej stronie skrzyżowania
C4 Ulrychów	wzdłuż ulicy Górczewskiej pod jej południową jezdnią
C5 Bemowo	wzdłuż ulicy Górczewskiej pod jej południową jezdnią, w rejonie skrzyżowania z ulicą Powstańców Śląskich

Tablica 8

Dane techniczne tuneli – odcinek zachodni [17, 18]

Długość obiektu [m]	I. etap	II. etap
Długość tunelu toru prawego	3481,6	1986
Długość tunelu toru lewego	3477,7	1988
Długość stacji	606,1 – C6* 168,2 – C7 163,6 – C8	459** – C4 160 – C5
Długość stacji komory demontażowej	18,3	18
Całkowita długość tuneli	5047,0	2664
Poziom główki szyny (PGS) pod poziomem terenu	12,3 – 18, 2	13,7 – 14,7
Średni poziom główki szyny (PGS) pod poziomem terenu	15,2	14,2

* stacji i torów odstawczych.

** komory rozjazdów i torów odstawczych.

4. Ostatni odcinek II. linii metra (w budowie)

W maju 2020 r. wojewoda mazowiecki wydał pierwsze decyzje lokalizacyjne dla ostatniego odcinka II. linii metra (C4 Powstańców Śląskich – C1 Karolin wraz z STP Karolin) [19]. Ponieważ w listopadzie 2017 r., oferty obu podmiotów uczestniczących w przetargu były wyższe o 0,4 mld PLN niż pierwotnie przeznaczony środki (1,2 mld PLN), władze miasta zdecydowały się zwiększyć budżet. Wartość umowy to 1,623 mld PLN brutto. Umowę na budowę odcinka podpisało w listopadzie 2018 r. z konsorcjum firm Gülermak i Astaldi, z czasem wykonania 4 lata [20]. Projekt odcinka realizuje firma ILF Consulting Engineers. Napotkano na liczne przeszkody dotyczące uzyskania:

- nowej decyzji środowiskowej,
- decyzji lokalizacyjnej (tzw. dulk – decyzja o lokalizacji linii kolejowej),
- a także konieczność rozwiązania problemów wskutek protestów właścicieli gruntów.

Wymagane jest uzyskanie 6 decyzji lokalizacyjnych (3 stacje, 2 wentylatornie i 1 STP). Na nowym odcinku powstaną 3 stacje: C3 Lazurowa, C2 Chrzanów i C1 Połczyńska, w pobliżu której zostanie zlokalizowana także STP Karolin, ograniczona torami kolejowymi na obszarze o powierzchni 26 ha. W obrębie nowej STP powstaną:

- budynek administracji,
- pętla zwrotna dla pociągów,
- tor testowy,
- elektrowozownia,
- hala napraw taboru,
- myjnia,
- nastawnia,
- podstacja trakcyjna,

Tablica 9

Dane techniczne obiektów kubaturowych – odcinek zachodni [17, 18]

Obiekt [m ³]	I. etap	II. etap
Stacje	188 480,9 – C6 56 636,6 – C7 59 198,0 – C8	224 586 – C4 60 272 – C5
Wentylatornie szlakowe	11 228,4 – V7* 6 459,2 – V8 9 674,5 – V9	4 302 – V5
Komora demontażowa	9 652,4 – V9a	6442 – S6
Całkowita kubatura obiektów	341 330,0	295 602

- zajezdnia taboru specjalnego,
- budynek straży pożarnej,
- magazyn materiałów łatwopalnych i gazów technicznych,
- oczyszczalnia ścieków,
- warsztaty służby infrastruktury,
- hala tokarki podtorowej i lakierni,
- zajezdnia lokomotyw spalinowych,
- stacja paliw.

W połowie lipca 2022 roku wojewoda mazowiecki wydał pozwolenie na budowę 2 z 3 stacji [21, 22]. Sumarycznie musi zostać wydanych 9 pozwoleń, oddzielnie dla każdej ze stacji, wentylatorni szlakowych, STP, szybu startowego dla tarczy TBM i ekspedycji ZTM przy pętli os. Górczewska. Szacuje się, iż szerokość tych stacji to > 10 m, które zostaną urządzone w następujący sposób:

- ściany boczne – z barwionego betonu architektonicznego,
- posadzki – marmurowe, ze sztucznego kamienia o strukturze lastryka,
- sufit – podwieszany, wykonany z perforowanej blachy (30%), o strukturze siatki, przy jasnoszarej kolorystyce,
- ściany zatorowe – z paneli, wykonane podobnie jak sufity,
- oświetlenie – LED,
- połączenie antresoli do peronów – schody (ruchome i zwykłe) i windy.

Znaczącym problemem jest również zmiana warunków rynkowych – wzrost cen materiałów (np. stali o 73%, miedzi o 37%), wyższej inflacji (3,5% w styczniu 2021 roku), średniego wynagrodzenia (z 2100 PLN do 3010 PLN) itp., a także konieczności

zmiany dokumentacji projektowej oraz oceny oddziaływania na środowisko. Zatem dotychczasowa umowa z 2018 r. o wartości 1,6 mld PLN podpisana w formule „Projektuj i buduj” wymaga modyfikacji, tj. waloryzacji. W 2019 r. różnica wynosiła już kilkaset mln PLN, a przerwa z budowie i upływający czas tę kwotę podwyższa, a nie zmniejsza. Początkowo zakładano realizację budowy w czasie 4 lat i zakończenie w listopadzie 2022 r. [23]. Choć podpisano aneks w 2020 r. (władze miasta i wykonawca) przewidujący wydłużenie terminu o 18 miesięcy, tj. do maja 2024 r., również ów termin nie wydaje się możliwy do spełnienia. Sumarycznie, gwarancje bankowe (75 mln PLN) stały się niższe niż sumaryczny wzrost cen materiałów oraz wykonawstwa. Ponieważ zarówno władze miasta, jak i wykonawca są zainteresowani dalszą współpracą, spór sądowy jest mało prawdopodobny. Ostatecznie celem władz Warszawy jest dokończenie budowy II. linii metra, w tym STP Karolin, zatem konieczne będzie wygospodarowanie dodatkowych środków finansowych pomimo twardych negocjacji, jakie zapowiedział prezes tureckiej firmy Gülermak, realizującej również inne kontrakty budowlane na terenie Warszawy. Charakterystykę stacji na ostatnim odcinku II. linii metra zamieszczono w tablicy 10.

5. Technologie zastosowane podczas rozbudowy II. linii metra

Podczas rozbudowy II. linii metra w większości zastosowano te same technologie, co podczas budowy odcinka centralnego II. linii [2].

Budowa stacji

Stacje były wykonane tzw. metodą podstropową. W pierwszym etapie wznoszono pionowe ściany szczelinowe, w konsekwencji tworząc docelowy strop (przez nasunięcie poziome pomiędzy ścianami), spod którego wybierano grunt [25]. Ww. ściany stanowiły obudowę głębokich wykopów i posadowienia obiektów budowlanych. Ich celem było przenoszenie obciążeń wywoływanych, np. parciem bocznym gruntu, ciśnieniem hydrostatycznym czy ruchem pojazdów na powierzchnię terenu. Ściany szczelinowe powstają etapami o długości kilku metrów, a pomiędzy nimi są stosowane elementy rozdzielcze w kształcie rur lub płaskich elementów z dodatkowymi uszczelnkami. Głębokość ściany to przeważnie < 0,3 m. Budowę ścian wykonano w kilku etapach:

- usunięcie przeszkód (np. uzbrojenia terenu),
- montaż murków prowadzących, np. z żelbetonu,
- podczas drążenia szczelina jest wypełniana zawieszoną betonitową, co zapewnia stateczność pionowych powierzchni otworu,
- oczyszczanie zawiesziny po osiągnięciu żądanej głębokości,
- montaż zbrojenia na murkach prowadzących,
- betonowanie ścian z użyciem kontraktorów i rur wlewowych.

Mieszanka betonowa z powodu większej gęstości (ciężaru właściwego) wypiera ku górze zanieczyszczenia i zawiesziny ze szczeliny. Podstawowymi zaletami ścian szczelinowych są:

- szczelność obudowy,
- duża nośność pionowa,
- znaczna sztywność na zginanie,

Tablica 10

Charakterystyka stacji na ostatnim odcinku II. linii metra [24]

Stacja	Lokalizacja	Uwagi
C3 Lazurowa	w rejonie skrzyżowania ulic Lazurowej i Górczewskiej oraz pętli autobusowej	będzie elementem węzła komunikacyjnego, w skład którego wejdą: pętla autobusowa, pętla tramwajowa oraz parking w systemie P&R Lokalizacja węzła umożliwi przejmowanie ruchu do Warszawy z kierunku zachodniego
C2 Chrzańców	pod ul. Rayskiego w rejonie skrzyżowania ulic Rayskiego i Szeligowskiej	planowany parking dla rowerów
C1 Karolin	pod ul. Sochaczewską w rejonie skrzyżowania ulic Sochaczewskiej i Połczyńskiej	będzie elementem węzła komunikacyjnego z parkingiem P&R, umożliwi przejmowanie ruchu do Warszawy z kierunku zachodniego
STP Karolin	obszar stacji techniczno-postojowej Karolin jest ograniczony infrastrukturą kolejową PKP od strony południowej, Instytutem Energetyki od strony północnej, al. 4 Czerwca 1989 r. (ul. Nowolazurową) od strony wschodniej, ul. Gierdziejewskiego od strony zachodniej (gmina Ożarów Mazowiecki)	-

- pełniona rola czasowej obudowy wykopu oraz równolegle konstrukcji docelowej,
- nieobecność drgań podczas ich wykonywania;
- stosunkowo wysoka prostota pokonywania przeszkód gruntowych,
- możliwość budowy ściany na dużej głębokości.

Drażenie tunelu tarczami TBM

Tarcze TBM były wyposażone w wodoszczelne osłony, umieszczone na głowicy skrawającej oraz w tylnej części. Tarcza odizolowana jest od wpływu ciśnienia gruntu i wód gruntowych. Natomiast urobek gromadzony w komorze wytwarza od strony tarczy ciśnienie, które równoważy parcie gruntu i wód gruntowych. Stamtąd, za pomocą przenośnika ślimakowego urobek jest transportowany na taśmociąg i usuwany z tunelu. Po wydrążeniu odpowiedniej odległości tarcza drążąca i przenośnik ślimakowy zatrzymują się, a uruchamia się moduł układający pierścienie tunelu (tubingi). Każdy prefabrykat układany jest tak, by ściśle przylegał do poprzedniego pierścienia i elementów nowego pierścienia. Przerwa powstająca pomiędzy zewnętrzną ścianą tunelu a gruntem, jest wypełniana zaprawą, wstrzykiwaną za pomocą wysokociśnieniowych dysz.

Jet-grouting, czyli iniekcja strumieniowa jest metodą wzmocnienia i stabilizacji gruntu. Zawiesina cementowa jest włączana pod wysokim ciśnieniem, zatem w obrębie gruntu powstaje kolumna w kształcie walca wzmocniająca grunt – zarówno w miejscu wykonania iniekcji, jak i sąsiedztwie prowadzonych prac.

6. Tabor metra – pociągi Varsovia

Umowa na dostawę pociągów metra dla kolei podziemnej w Warszawie została podpisana ze Škodą w styczniu 2020 r. na 37 jednoprzestrzennych 6-wagonych pociągów metra, z opcją na dostawę kolejnych 8 egzemplarzy. Wartość umowy to 1,308 mld PLN netto. Z powodu wybuchu pandemii Covid-19 w marcu 2020 r. terminy dostaw czy dopuszczenia do eksploatacji ostatecznie zmieniono [26]. Pierwszy pociąg Varsovia dostarczono do odbiorcy w kwietniu 2022 r. Jazdy próbne na sieci metra były wykonywane w porze nocnej. Po ich zakończeniu, wyniki z prób techniczno-ruchowych oraz wniosków w celu otrzymania świadectwa dopuszczenia typu i decyzji zatwierdzającej dokumentację systemu utrzymania (DSU) wysłano do UTK w połowie sierpnia 2022 r. [27, 28]. Pod koniec września UTK wydał dopuszczenie do eksploatacji typu pojazdu na czas określony, co pozwoliło na przeprowadzenie prób eksploatacyjnych. W październiku 2022 r. przedstawiciele metra w Warszawie poinformowali, iż Škoda otrzymała od UTK komplet dokumentów (m.in. konieczne było uszczegółowienie DSU), co umożliwiło rozpoczęcie

eksploatacji pociągów Varsovia z pasażerami. W listopadzie 2022 r. władze metra w Warszawie poinformowały, iż w eksploatacji znajdowały się 3 pociągi Varsovia [29]. Nowych pociągów nie ominęły „choroby wieku dziecięcego”, a najczęstszymi powodami zjazdu z linii były awarie paneli TFT, działanie interkomu, zabezpieczenie drugiej kabiny, ewentualnie awarie pochylni. Osobnym problemem był fakt, iż jedynie 1/5–1/6 zatrudnionych maszynistów metra miało uprawnienia do prowadzenia nowych pociągów. W styczniu 2023 r. eksploatowano 7 pociągów Varsovia, a kolejny był dostarczony na stację Warszawa Okęcie, skąd został przetransportowany do STP Kabaty [30]. Poza tym, władze metra podpisały umowę z producentem w zakresie realizacji opcji na kolejne 8 pociągów – strony zdecydowały, iż ostateczna decyzja miała być podjęta do końca marca 2023 r. Škoda przyjęła jednak argumentację, iż w tym czasie nowy tabor był eksploatowany zaledwie od 2,5 miesiąca, zatem wynegocjowano potrzebny dodatkowy czas, do poznania specyfiki eksploatacji Varsovia oraz zebrania opinii pasażerów.

7. Opis techniczny pociągów Varsovia

Pudła pociągów wykonano ze stopu aluminium, z wyjątkiem kabin maszynisty, wykonanych z elementów laminatowych [31] (rys. 22–25). Wózki są połączone z pudłem przez czop skrętu zamocowany do nadwozia oraz odbojniki stałe i podatne, zamocowane zarówno do czopa, jak i do ramy wózka. Prowadzenie zestawów kołowych jest kolumnowe. Usprężynowanie jest dwustopniowe:

- I. stopień usprężynowania stanowią sprężyny metalowo-gumowe, sumarycznie 4 elementy na zestaw kołowy, tłumiki pionowe 1. stopnia usprężynowania (2 tłumiki na zestaw kołowy),
- II. stopień usprężynowania – sprężyny pneumatyczne, sumarycznie 2 elementy na wózek, plus tłumiki pionowe 2. stopnia (po 2 przy każdym wózku) oraz tłumiki poprzeczne (po 1 na każdy wózek).



Rys. 22. Pulpit sterowania w pociągu Varsovia [fot. Škoda]



Rys. 23. Część pasażerska w pociągu Varsovia [fot. Škoda]



Rys. 24. Pociąg Varsovia na terenie zakładu producenta [fot. Škoda]



Rys. 25. Pociąg Varsovia na terenie zakładu producenta [fot. Škoda]

W każdym wagonie napędowym, pod ostoją jest zamontowany kontener trakcyjny zawierający 2 przekształtniki trakcyjne wykonane w technologii IGBT. Każdy przekształtnik trakcyjny zasila 2 silniki w jednym wózku (podłączenie równoległe). Przekształtniki pomocnicze są zamontowane pod ostoją wagonu w obu wagonach tocznych. Oprócz zasilania pokładowego 110 V DC zapewniają również zasilanie 400 V 3~, przy czym eksploatacja pojazdu jest możliwa przy jednej sprawnej przetwornicy. Pod ostoją wagonów tocznych są zamontowane skrzynie baterii akumulatorów. Sumarycznie, w pociągu znajdują się 2 baterie akumulatorów Ni-Cd z elektrodami o strukturze włóknistej. Hamulcem zasadniczym jest hamulec elektrodynamiczny odzyskowy i rezystory hamowania w celu umożliwienia hamowania elektrodynamicznego w przypadku braku możliwości oddania energii do sieci trakcyjnej. Hamulcem pomocniczym jest hamulec elektro-pneumatyczny i postojowy – sprężynowy. Na każdym zestawie kołowym (napędowym i tocznym) zamontowano po 1 tarczy hamulcowej. Eksploatacja w trakcji wielokrotnej jest możliwa, ale niezaimplementowana. Ze względu na długość peronów wynoszącą 120 m, stosowanie trakcji wielokrotnej w metrze warszawskim nie jest możliwe. Pokładowy system sterowania pociągiem jest oparty na platformie Škoda Hypex i jest zintegrowany z urządzeniami pokładowymi, stosowanego w metrze warszawskim systemu SOP-3. Obecnie na II. linii metra warszawskiego maszynista odpowiada za rozruch pojazdu (przejazd poza peron stacji) oraz zamykanie drzwi. Pozostałe czynności na II. linii (rozruch, utrzymywanie prędkości, hamowanie, w tym hamowanie docelowe na peronie oraz otwieranie drzwi) są wykonywane automatycznie, bez udziału maszynisty. System SOP-3 stosowany na II. linii w metrze warszawskim umożliwia jazdę całkowicie autonomiczną, jednak nie jest w stanie reagować na sytuacje nieprzewidziane (np. człowiek na torach). Zatem w celu umożliwienia jazdy w pełni autonomicznej, należałoby zamontować na peronach przeszklone ściany z drzwiami, które otwierałyby się dopiero po przyjeździe i otwarciu drzwi w pojeździe. Oprócz dostosowania technicznego, należałoby dostosować również przepisy prawne. Nie jest znany cykl serwisowania pociągów metra (nie jest to informacja ujawniona przez zamawiającego). Aranżacja części pasażerskiej jest podobna do analogicznej z Inspiro – pociągi są przechodnie, a siedzenia dla pasażerów są umieszczone wzdłuż ścian bocznych. Zbliżona jest także kolorystyka wewnętrzna – białe panele wyłożone na ścianach bocznych i suficie, czerwone siedzenia oraz żółte poręcze. Szczegółowe dane techniczne pociągów Varsovia zamieszczono w tabelicy 11.

Tablica 11
Dane techniczne pociągów Varsovia [31]

Producent	Škoda Transportation a.s.
Nazwa handlowa	Varsovia
Typ	59WE
Liczba zamówionych pociągów	37+8
Lata produkcji	2021–
Rozpoczęcie eksploatacji	2022
Zestawienie pociągu	St–S–D–D–S–St
Układ osi	2·(Bo'Bo') + 2·(2'2') + 2·(Bo'Bo')
Pudło	aluminiowe
Zasilanie	750 V DC
Maksymalna moc ciągła silników trakcyjnych [kW]	2400
Długość całkowita [mm]	119 010
Długość wagonów skrajnych/środkowych [mm]	20 305 / 19 600
Baza wagonu [mm]	12 600
Baza wózka [mm]	2100
Maksymalna szerokość [mm]	2710
Wysokość [mm]	3665
Wysokość podłogi ponad główkę szyny [mm]	1140
Średnica kół nowych / zużytych [mm]	850 / 770
Maksymalna siła pociągowa [kN]	432
Maksymalne przyspieszenie / opóźnienie [m/s ²]	1,2 / 1,3
Odporność pudeł na ściskanie [kN]	800
Maksymalny nacisk osi [kN]	125
Maksymalne pochylenie [‰]	45
Minimalny promień łuku poziomego [m]	70
Prędkość maksymalna [km/h]	90
Masa pociągu bez pasażerów [t]	160,4
Masa pociągu z pasażerami (siedzący + 7 osób/m ²) [t]	265,4
Liczba miejsc siedzących	230
Liczba miejsc stojących (7 osób/m ²)	1270

8. Dalsze losy serii 81 w metrze warszawskim

Metro w Warszawie od kilku lat przygotowuje się do zakończenia eksploatacji serii 81 z powodu konieczności ponoszenia znacznych nakładów na utrzymanie i naprawy, co kontrastuje z taborem nowej generacji, odpowiednio wyposażonym w silniki komutatorowe oraz bezobsługowe trójfazowe (DC vs. AC 3~)⁵. Obrazowo, seria 81 przechodzi przeglądy P1 codziennie, Metropolis – co 2 tygodnie, a Inspiro – 2 miesiące [32]. W maju 2021 r. dla ostatnich wyprodukowanych pociągów serii 81 w liczbie 28 wagonów (8 wagonów czołowych serii 81-572.2 oraz 20 wagonów pośrednich serii 81-573.1 i 81-573.2) został ogłoszony przetarg na wykonanie naprawy P5, która obejmuje [33]:

- naprawę i wymianę okien,
- malowanie pudła,
- usunięcie ognisk korozji,
- regenerację pulpitu maszynisty,
- wymianę wykładziny i sklejki podłogi,
- malowanie osłon pod siedzeniami,
- naprawę kłap w podłodze,
- wymianę listew przypodłogowych, rolek drzwiowych, magistrali drzwiowych i zużytych poręczy.

Poza tym, konieczne jest wykonanie kontroli spoin elementów konstrukcyjnych, pomiary geometrii i próby szczelności. Kryterium wyboru jest następujące:

- cena (60%),
- przedłużenie okresu gwarancji (24%),
- skrócenie czasu wykonania naprawy każdej pojedynczej 6- lub 4-wagonowej partii wagonów (16%).

Ostatnie wagony serii 81 na naprawę P5 zostaną wysłane w 2023 r., przy czym naprawa 4–6 wagonów zabiera maksymalnie 60 dni (rys. 26). Przetarg został rozstrzygnięty pod koniec czerwca 2021 r., a zamówienie skierowano do ZNTK Mińsk Mazowiecki (od 2008 r. własność Pesy), przy czym był to jedyny oferent. Wartość zamówienia określono na 7,742 mln PLN brutto, co jest niższą wartością w porównaniu z budżetem, jaki przygotowało metro (9,694 mln PLN brutto) [34].

Równocześnie dostawy nowych pociągów metra Varsovia umożliwią wycofanie najstarszego taboru, czyli wagonów serii 81 wschodniej produkcji, których pozyskaniem są zainteresowane władze metra kijowskiego. W tej sprawie Międzynarodowe Stowarzyszenie Przedsiębiorców Polskich na Ukrainie, grupujące m.in. polskie podmioty prowadzące działalność

⁵ Jednym z pomysłów władz metra w Warszawie przy opracowaniu warunków przetargu był zamiar wpisania obowiązku zabrania starszego taboru (tj. serii 81) przez producenta wraz z dostawami fabrycznie nowych pociągów. Z powyższego zapisu ostatecznie zrezygnowano.

w kolejnictwie na Ukrainie oraz przedstawiciele 2 podmiotów ukraińskich, złożyli wizytę u władz metra warszawskiego, gdzie omówiono wykonalność przystosowania taboru z Warszawy dla metra kijowskiego [35]. Choć wagony metra serii 81 eksploatowane w obu stolicach są technicznie bardzo zbliżone, to różnicą jest nie tylko rozstaw szyn (1435 mm vs. 1520 mm), ale także m.in. system bezpieczeństwa ruchu. Istotnym problemem jest także zapewnienie odpowiedniej liczby części zamiennych. Sumarycznie, metro warszawskie eksploatuje 22 pociągów serii 81 (15 starego typu i 7 nowego typu), a 10 najstarszych pociągów / 60 wagonów miało być wysłanych do Kijowa, jeszcze w I kwartale 2023 r. Uzgodniono, iż organizacja transportu wagonów metra na Ukrainę, w tym ich ubezpieczenie, spoczywa na stronie ukraińskiej [36]. Pierwsze wagony wschodniej produkcji – zakłady MMZ Mytiszcz pod Moskwą oraz Wagonmasz ze St. Petersburga zostały dostarczone do Polski na początku lat 90. XX wieku w liczbie 10 egzemplarzy oraz 32 wagonów w 1994 r., które po inauguracji metra na południowym odcinku I. linii (Politechnika – Kabaty) w kwietniu 1995 r. kursowały jako pociągi 3-wagonowe (możliwe było zestawienie 14 pociągów 3-wagonowych). Adaptacja wagonów przed wysłaniem do Kijowa polega m.in. na konieczności demontażu urządzeń systemu ograniczenia prędkości i radiołączności, rejestratorów zdarzeń oraz innych. Zdecydowano się przekazać ww. wagony o wartości ponad 40 mln PLN bezpłatnie [37]. Są to pociągi o numerach: 01, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 13, 14 i 15, o przebiegu 1,0–2,5 mln km, przy czym wszystkie mają aktualne świadectwa sprawności technicznej, a ich ostatnie naprawy zostały wykonane w latach 2017–2022.



Rys. 26. Pociąg serii 81 na terenie STP Kabaty (23.09.2006 r.) [fot. M. Graff]

9. Rozbudowa STP Kabaty

W lutym 2020 r. Metro Warszawskie ogłosiło przetarg na zaprojektowanie rozbudowanego układu torowego STP Kabaty (rys. 27), którego celem jest zapewnienie płynnego ruchu pociągów w przypadku

większej liczby kursujących pociągów. Cele przebudowy są następujące [38]:

- zwiększenie liczby torów zapewniających możliwość nawrotu pociągów,
- sprawniejszy wyjazd pociągów z STP Kabaty na I. linię metra dzięki dodatkowym zwrotnicom.



Rys. 27. STP Kabaty (23.09.2006 r.) [fot. M. Graff]

Celem przebudowy jest również skrócenie czasu, który jest niezbędny do wykonania poszczególnych czynności przy zachowanej płynności ruchu. Obecnie na terenie STP Kabaty znajdują się 4 tory:

- tor nr 1 (wschodni) – z kozłem oporowym, wykorzystywany jako rezerwa tunelowa,
- tor nr 2 (zachodni) – zjazd do/z STP Kabaty,
- tory nr 3 i 4 (środkowe) – zjazd oraz wyjazd z/do STP Kabaty, a także do zawracania.

Ten układ powoli wyczerpuje swoją przepustowość, co jest szczególnie widoczne w szczycie kursowania, choć – jak należy przyznać – był projektowany w celu zapewnienia ruchu na jednej linii, a obecnie obsługuje praktycznie 2 linie. Zatem zaplanowano przebudowę, ewentualnie montaż nowych zwrotnic:

- tory nr 1 i nr 3 zostałyby połączone na końcu komory torów odstawczych, co pozwoli wykorzystać tor nr 1 jako wyjazdowy z STP,
- tor nr 2 i nr 4 także byłyby połączone, zatem byłoby możliwe zawracanie na torze nr 2.

Potencjalna przebudowa obejmowałaby:

- demontaż części torów czy nawierzchni bezpodsypkowej,
- wyburzenie muru oporowego,
- demontażu stropu i obudowy tunelu przy wjeździe weń.

Od oferenta projektanta i jednocześnie wykonawcy prac budowlanych) wymagane było także uzyskanie wszelkich zezwoleń (w tym środowiskowego) oraz

nadzór nad inwestycją, przy czym na całość przeznaczono 22 miesiące, łącznie z zaprojektowaniem przebudowy. Jedynym kryterium wyboru była cena.

10. Perspektywa budowy stacji Plac Konstytucji i Muranów

W grudniu 2022 r. władze metra przedstawiły główne założenia projektowe dotyczące dwóch stacji na I. linii metra, które nie zostały dotychczas zbudowane (głównie z przyczyn ekonomicznych) [39]:

- A12 Plac Konstytucji (pomiędzy stacjami A11 Politechnika i A13 Centrum),
- A16 Muranów (pomiędzy stacjami A15 Ratusz i A17 Dworzec Gdański).

Celem budowy obu stacji było zmniejszenie odległości pomiędzy dotychczasowymi stacjami A11 – A13 i A15 – A17 z 1,5 km, przy czym średnia odległość pomiędzy stacjami dla obszaru Śródmieścia powinna wynosić 0,8–0,9 km, aby zapewnić obsługę pasażerów metrem na tym obszarze. Stacje mogą być zlokalizowane:

- A12 Plac Konstytucji – pomiędzy ul. Wilczą i pl. Konstytucji, stacja dwukondygnacyjna, z 2 rzędami słupów, konstrukcja trójnawowa; wejście do/wyjście ze stacji przez schody, bez wyjść na przystanki tramwajowe;
- A16 Muranów – pomiędzy ul. Anielewicza i al. Andersa, podobna aranżacja, jak dla A12.

Ponieważ budowa stacji nie powinna zakłócać obecnego ruchu po I. linii metra, zatem konieczne będzie:

- zbudowanie trzeciego tunelu pomiędzy stacjami Politechnika i Centrum oraz Ratusz i Dworzec Gdański, po którym byłby prowadzony ruch w czasie budowy stacji A12 i A16;

- przyjęcie podobnego rozwiązania wymagałoby jazdy po torze niewłaściwym podczas zamknięcia jednego z dotychczasowych tuneli, co nie jest obecnie możliwe z powodu specyfiki systemu bezpieczeństwa ruchu zamontowanego na I. linii metra;
- zorganizowanie od 2 do 6 placów budowy, co umożliwiłoby budowę rozjazdów z połączeniami pomiędzy tunelami oraz komory dla TBM;
- korekta układu torowego i ruchu na I. linii:
 - dopuszczenia przejazdu pomiędzy torami szlakowymi na stacji A13 Centrum do ruchu pasażerskiego (w kierunku stacji A14 Świętokrzyska),
 - odbudowa połączenia torów odstawczych położonych na południe od stacji A11 Politechnika z torem nr 2,
 - odbudowa rozjazdu na stacji A15 Ratusz w celu zapewnienia przejazdu z toru nr 1 na tor nr 2 bez konieczności zmiany kierunku jazdy.

Budowa stacji byłaby realizowana metodą podstropową, wzdłuż osi peronu, początkowo dla jednego toru (po drugim byłby prowadzony ruch), a po zakończeniu nastąpiłaby zmiana (budowa drugiego peronu, a ruch prowadziłby po pierwszym torze). Wiązałoby się to z wprowadzeniem ruchu dwukierunkowego, zatem byłoby konieczne zmniejszenie częstotliwości kursowania, co także określa czas budowy – okres wakacyjny oraz 2 miesiące (wrzesień i październik). Realizacja budowy byłaby prowadzona w 6 etapach (tabl. 12).

Wyłączenie każdego z tuneli potrwa wstępnie 13 miesięcy. Rozważano 3 warianty realizacji:

- równoległa budowa stacji A12 i A16,
- budowa A12, po zakończeniu A16,
- budowa A16, po zakończeniu A12.

Za najkorzystniejszy uznano wariant 3, ponieważ przy zamknięciu jednego toru na dwóch odcinkach, przy częstotliwości kursowania równej 10 min.

Tablica 12

Charakterystyka potencjalnej budowy stacji Plac Konstytucji i Muranów [39]

Etap	Opis prac inwestycyjnych	Czas [miesiące]
1	prace przygotowawcze, likwidacja kolizji	4
2	budowa przejść podziemnych po stronie wschodniej oraz tymczasowego torowiska dla tramwajów	9
3	budowa 3 ścian szczelinowych w obrębie zachodniej i środkowej nawy, a także stropu nad nawą zachodnią oraz schodów do przejść podziemnych po stronie zachodniej	6
4	budowa korpusu stacji: ścian szczelinowych wschodniej i poprzecznych oraz pozostałej części stropu*	8
5	budowa stacji po stronie zachodniej (analogicznie jak w etapie 4.), ruch pociągów będzie prowadzony w tunelu wschodnim*	8
6	prace instalacyjne i wykończeniowe	3

* W etapie 4. / 5. w czasie budowy stacji, dotychczasowy tunel wschodni / zachodni zostałby zamknięty, a odcinek pokrywający się z nową stacją przebudowany – byłyby zdemontowane tubingi tunelowe i urządzenia w tunelu oraz zbudowane podłoże, strop nad tunelem, ściany zatorowe oraz peron.

na każdym z nich, pociąg wahadłowy kursowałyby co około 20 min. Poza tym, do czasu budowy stacji STP Karolin, II. linia korzystałaby z zaplecza I. linii (dojazd, stacjonowanie taboru na STP Kabaty), zatem budowa stacji A16 Muranów w pierwszej kolejności jest wariantem optymalnym organizacyjnie lub ruchowo. Prace projektowe, uzyskanie zgód na budowę oraz decyzji środowiskowej powinny być zakończone do końca grudnia 2023 r., przy czasie budowy około 3 lat na każdą stację. W celu zachowania obecnej częstotliwości kursowania, po zakończeniu budowy A12 i A16 konieczne jest dodatnie kolejnego pociągu.

11. Liczba pasażerów metra

Od czasu inauguracji metra w 1995 r. i oddawaniem do eksploatacji kolejnych odcinków, liczba pasażerów kolei podziemnej w Warszawie sukcesywnie rośnie (rys. 28). W 2008 r. po przekazaniu ostatniego odcinka I. linii do użytku i jednocześnie przed inauguracją w 2014 r. ruchu na II. linii, liczba pasażerów ustabilizowała się na poziomie 140–150 mln rocznie. Wraz z uruchomieniem II. linii oraz oddawaniem do eksploatacji kolejnych odcinków, po zwiększeniu się liczby pasażerów do około 200 mln rocznie, wzrost był mniejszy, z jednoczesną tendencją do stabilizacji na poziomie 230–240 mln. Pandemia koronawirusa SARS-Cov-2, która rozpoczęła się w Europie około marca 2020 r.⁶ i związane z tym obostrzenia: konieczność zasłania twarzy maseczką, dystans wobec innych osób w miejscach publicznych, w tym w środkach transportu publicznego, a także rozpowszechnienie

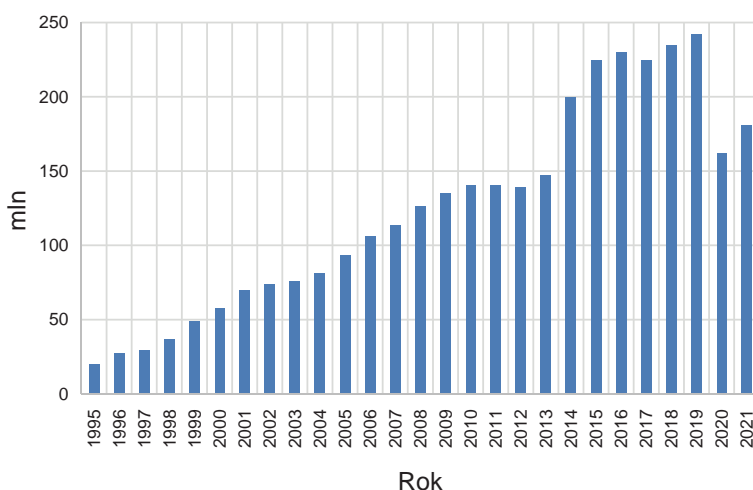
pracy zdalnej, spowodował spadek liczby pasażerów do około 170 mln.

Nie są jeszcze dostępne dane z 2022 r., które uwzględniły wzrost liczby pasażerów spowodowany przekazaniem nowych odcinków do eksploatacji, przebiegających przez osiedla zabudowy wielorodzinnej, a także znoszenie obostrzeń pandemicznych począwszy od pierwszej połowy 2021 r. spowodowanych rozpoczęciem powszechnej akcji szczepień przeciw SARS-Cov-2 w krajach UE, w tym w Polsce. Należy jednak założyć, iż podobny wzrost może być mniejszy, niż np. dla I. linii w podobnym okresie, spowodowany upowszechnieniem się pracy zdalnej, co oznacza m.in. mniejszą frekwencję w środkach transportu publicznego, w tym w metrze.

W tablicy 13 zamieszczono liczbę pasażerów korzystających z poszczególnych stacji. Informacje uzyskano na podstawie danych z liczników przejść w bramkach Systemu Pobierania Opłat za Przejazdy (SPOzP) oraz z Systemu Zliczania Pasażerów (SZP) w łączniku pomiędzy liniami M1 i M2. Natomiast liczba szacunkowa określa liczbę przewiezionych pasażerów na podstawie:

- danych z liczników przejść w bramkach biletowych oraz pasażerów korzystających z wind,
- przeskakujących przez bramki biletowe,
- korzystających z łącznika pomiędzy linią metra M1 i M2,
- zdecydowanej większości pasażerów korzystających z wyjść ewakuacyjnych na linii metra M1.

Stacje z najwyższą liczbą pasażerów (według SPOzP) na I. linii, to: Świętokrzyska, Politechnika, Centrum



Rys. 28. Liczba pasażerów kolei podziemnej w Warszawie w 1995 latach–2021 [31]

⁶ W Chinach, skąd prawdopodobnie pochodził wirus, pierwsze zachorowania pojawiły się pod koniec 2019 r.

Tablica 13

Statystyka roczna pasażerów metra w 2019 r. [40]

Linia	Oznaczenie stacji	Stacja	Liczba pasażerów korzystających z metra [mln]			
			wg SPOzP (A)	szacunkowa (B)	(B - A)/A·100%	
M1	A1	Kabaty	5,75	5,93	3,1	
	A2	Natolin	4,75	4,88	2,7	
	A3	Imielin	5,13	5,23	1,9	
	A4	Stokłosy	4,59	4,69	2,2	
	A5	Ursynów	3,36	3,46	3,0	
	A6	Służew	5,59	6,88	23,1	
	A7	Wilanowska	8,43	11,01	30,6	
	A8	Wierzbno	6,11	9,40	53,8	
	A9	Raławicka	3,68	4,83	31,3	
	A10	Pole Mokotowskie	5,88	8,08	37,4	
	A11	Politechnika	11,65	13,22	13,5	
	A13	Centrum	9,96	19,79	98,7	
	A14	Świętokrzyska	12,62	12,96	2,7	
	A15	Ratusz Arsenal	8,99	9,75	8,5	
	A17	Dworzec Gdański	5,27	5,84	10,8	
	A18	Plac Wilsona	3,24	3,89	20,1	
	A19	Marymont	3,13	3,28	4,8	
	A20	Słodowiec	3,11	3,23	3,9	
	A21	Stare Bielany	2,19	2,26	3,2	
	A22	Wawrzyszew	3,67	3,75	2,2	
	A23	Młociny	6,37	8,11	27,3	
			Sumarycznie dla M1	123,47	150,47	21,9
	M2	C09	Rondo Daszyńskiego	6,64	6,7	0,9
C10		Rondo ONZ	4,60	4,64	0,9	
C11		Świętokrzyska	12,49	12,54	0,4	
C12		Nowy Świat – Uniwersytet	4,59	4,65	1,3	
C13		Centrum Nauki Kopernik	2,72	2,76	1,5	
C14		Stadion Narodowy	3,15	3,19	1,3	
C15		Dworzec Wileński	8,46	8,56	1,2	
C16		Szwedzka	0,24	0,24	0,0	
C17		Targówek Mieszkaniowy	0,49	0,49	0,0	
C18		Trocka	1,12	1,12	0,0	
		Sumarycznie dla M2	44,5	44,89	0,9	
M1 i M2		Sumarycznie M1 i M2	167,97	195,36	16,3	

i Ratusz Arsenal (8,5–12,5 mln pasażerów), leżące w ścisłym centrum miasta, z których pierwsza jest stacją przesiadkową z II. linią oraz stacją Wilanowska znajdująca się przy centrum przesiadkowym, podobnie jak stacja Młociny (6,4 mln), ewentualnie w centrum miasta – stacje Wierzbno i Pole Mokotowskie (~6 mln). Kolejne stacje są położone w obrębie osiedli z zabudową wielorodzinną: Kabaty, Służew, Imielin, Natolin i Stokłosy (południowy

odcinek I. linii), ewentualnie przy dworcu kolejowym (Dworzec Gdański), przy liczbie pasażerów 4,6–5,8 mln. Kolejna grupa stacji z najniższą liczbą pasażerów to w większości stacje położone na północnym odcinku I. linii – Wawrzyszew, Plac Wilsona, Marymont, Słodowiec i Stare Bielany, przy liczbie pasażerów 2,2–3,7 mln. Natomiast na II. linii frekwencja jest zdecydowanie niższa w porównaniu z I. linią, poza stacją Świętokrzyska

Tablica 14

Statystyka dzienna pasażerów metra [41]

Linie	Osoby wchodzące [tys.]	Osoby wychodzące [tys.]
Pierwsza	393,2–415,0	388,9–418,0
Druga	241,0–261,5	253,7–271,3
Stacje	Osoby wchodzące (średnio)	Osoby wychodzące (średnio)
Centrum	43 697	47 281
Politechnika	40 569	39 987
Młociny	26 498	bd.
Ratusz	bd.	24 359
Dworzec Wileński	25 109	27 573
Rondo Daszyńskiego	21 993	22 142
Rondo ONZ	21 724	22 661
Świętokrzyska łącznik / bramki	31 040 / 18 389	26 815 / 23 171
Bemowo	14 664	20 188
Kondratowicza	13 538	11 781
Bródno	8219	8762
Ulrychów	5751	6757
Zacisze	2083	2097

(12,5 mln) i oscyluje w granicach 6,6–8,5 mln dla stacji Dworzec Wileński i Rondo Daszyńskiego czy 2,7–4,6 mln dla stacji: Rondo ONZ, Nowy Świat – Uniwersytet, Stadion Narodowy i Centrum Nauki Kopernik, znajdujących się w centralnym odcinku II. linii. Liczba pasażerów na pozostałych stacjach nie przekracza 1,1 mln (Troccka, Targówek Mieszkaniowy i Szwedzka)⁷ i są to stacje znajdujące się na nowo otwartym wówczas odcinku we wschodniej części II. linii metra. Podobne dane (frekwencja dzienna dla wybranych stacji) zamieszczono w tablicy 14. Zwraca uwagę wysoka liczba pasażerów korzystających z nowych stacji Bemowo i Kondratowicza, położonych odpowiednio na zachodnim i północno-wschodnim odcinku II. linii, co należy tłumaczyć lokalizacją obu stacji w obrębie dużych osiedli mieszkaniowych.

Analizując dane z tablicy 13 w zakresie szacunkowej liczby pasażerów można zauważyć, iż na I. linii znacznie więcej osób nie korzysta m.in. z bramek biletowych w porównaniu z II. linią (22% wobec 1%), przy czym na stacji Centrum jest to aż połowa pasażerów. Wysokie wartości są uzyskane także dla stacji: Wilanowska, Wierzbno, Raclawicka i Pole Mokotowskie. Na II. linii – z powodu odmiennej konstrukcji bramek biletowych przeskakiwanie przezeń jest praktycznie niemożliwe.

12. Wnioski

Metro w Warszawie, budowane od około 40 lat o przebiegu bliskim docelowego, składa się obecnie z dwóch linii, przecinających się w jednym miejscu. Mimo trudnych początków w latach 80. XX w. (kryzys gospodarczy, brak dostępu do nowoczesnych technologii itp.) początkowe trudności zostały pokonane, a budowa znacznie przyspieszyła w maju 2004 r., po wstąpieniu Polski do UE. Oznaczało to m.in. dostęp do funduszy pomocowych (POIiŚ), które przeznaczone nie tylko na budowę linii (np. zakup tarcz TBM), czy wyposażenie stacji, ale także na pozyskanie nowoczesnego taboru. Przyspieszenie budowy jest widoczne, gdy porównuje się lata budowy I. linii (1983–2008) i II. linii (około 2009–2026), czyli 25 lat i 17 lat, przy porównywalnej długości obu linii (około 20–22 km). Dodatkowo należy uwzględnić to, że II. linia przebiega na większej głębokości niż I. linia, zatem budowa była trudniejsza. Budowę drugiej linii wydatnie przyspieszyło zastosowanie nowoczesnych tarcz TBM, podczas gdy linię pierwszą (odcinki południowy i północny) zbudowano metodą odkrywkową, środkowy zaś głębinową. Systematycznie rosnąca liczba pasażerów pokazuje, iż kolej miejska w Warszawie zyskała uznanie

⁷ Stacje znajdują się w jednej z uboższych części Warszawy, zatem niższy poziom życia powoduje obniżenie mobilności znacznej części mieszkańców.

mieszkańców, a także osób przyjezdnych, w tym dojeżdżających do pracy z przedmieść.

Literatura

1. Graff M.: *Metro w Warszawie*, TTS Technika Transportu Szynowego, Instytut Naukowo-Wydawniczy TTS Radom, 12/2008.
2. Graff M.: *Druga linia metra warszawskiego*, Technika Transportu, Instytut Naukowo-Wydawniczy TTS Radom, 12/2015.
3. Graff M.: *Pociągi Inspiro na drugiej linii metra warszawskiego*, TTS Technika Transportu Szynowego, Instytut Naukowo-Wydawniczy TTS Radom, 9/2016.
4. Metro Warszawskie – historia budowy <https://metro.waw.pl/o-firmie/historia-budowy-metra/> [dostęp: 13.03.2023].
5. Urbanowicz W.: *Metro na Bródno: Druga tarcza przebija się na Zacisze*, 2020.12.04.
6. Metro na Bródno: Trwają prace na poziomie 2, powstają wyjścia 2020.12.04.
7. Urbanowicz W.: *Metro na Bródno: Ruszają jazdy testowe*, 03.08.2022.
8. Urbanowicz W.: *Metro jedzie na Bródno. Trzy nowe stacje otwarte*, 28.09.2022.
9. Urbanowicz W.: *Metro na Wolę: Nowe stacje w odbiorach. Płocka robi wrażenie*, 2020.03.06.
10. Urbanowicz W.: *Metro pojedzie na Wolę w sobotę 4 kwietnia. Ratusz potwierdza termin otwarcia nowych stacji*, 2020.04.03.
11. Urbanowicz W.: *Metro pojechało na Wolę. Trzy nowe stacje otwarte!*, 2020.04.04.
12. Urbanowicz W.: *Metro na Bemowo: Rozpoczął się transport tarcz TBM*, 2020.05.15.
13. *Metro na Bemowo: Budowa już na poziomie 2*, 2020.04.30.
14. Urbanowicz W.: *Metro jedzie na Bemowo. Dwie nowe stacje otwarte*, 30.06.2022.
15. Urbanowicz W.: *Metro na Bemowo: Na II linii pojedą o trzy pociągi więcej*, 2022.06.28.
16. Urbanowicz W.: *Metro na Bemowo: Otwarcie zbliża się wielkimi krokami*, 10.06.2022.
17. Budowa II. linii metra. I. etap realizacji odcinka zachodniego i wschodniego-północnego (3+3), Metro Warszawskie Sp. z o.o.
18. Budowa II. linii metra, II. etap realizacji odcinka zachodniego i wschodniego-północnego (2+3), Metro Warszawskie Sp. z o.o.
19. Urbanowicz W.: *Metro na Karolin: Są pierwsze decyzje lokalizacyjne przed budową*, 25.05.2020.
20. Urbanowicz W.: *Metro przez Bemowo na Karolin: Umowa podpisana, finisz prac w 2022 r.*, 11.09.2018.
21. Metro na Karolin: Jest pozwolenie na budowę drugiej z trzech stacji, 12.07.2022.
22. Urbanowicz W.: *Metro na Karolin: Wreszcie jest pierwsze pozwolenie na budowę [wizualizacje]*, 24.06.2022.
23. Urbanowicz W.: *Brakuje kilkuset mln zł na metro na Karolin. Co dalej z budową?* 15.09.2021.
24. Budowa II. linii metra. III. etap realizacji odcinka zachodniego (3+STP), Metro Warszawskie Sp. z o.o.
25. Rychlewski P.: *Ściany szczelinowe*, Inżynier budownictwa, 30.03.2012 r.
26. Urbanowicz W.: *Metro: Varsovia z czasowym świadectwem dopuszczenia. Ale pasażerów jeszcze wozić nie może*, 03.10.2022.
27. Urbanowicz W.: *Metro: Varsovia może już wozić pasażerów. Wyjedzie w tym tygodniu*, 25.10.2022.
28. Urbanowicz W.: *Metro: Varsovia w oczekiwaniu na pasażerów. Składy rosyjskie do Kijowa?* 25.10.2022.
29. Urbanowicz W.: *Metro chce, by czwarta Škoda Varsovia wyjechała do końca miesiąca*, 15.11.2022.
30. Urbanowicz W.: *Warszawa: Dotarła ósma Varsovia. Więcej czasu na decyzję ws. opcji*, 20.01.2023.
31. Varsovia – opis techniczny pociągów (materiały przekazane przez producenta), Škoda Transportation, 2023.
32. Raport Roczny Metra Warszawskiego, 2021.
33. Urbanowicz W.: *Metro: Ostatnie pociągi rosyjskie do naprawy głównej*, 20.05.2021.
34. Urbanowicz W.: *Metro zaakceptowało ofertę na naprawę główną ostatniej partii wagonów rosyjskich*, 29.06.2021.
35. Warszawskie metro wesprze kolej podziemną w Kijowie, 13.10.2022.
36. Urbanowicz W.: *Warszawa: Pierwszy pociąg metra dla Kijowa – jeszcze w tym kwartale*, 12.01.2023.
37. Metro: Skład nr 07 wyrusza w ostatnią podróż, 28.03.2023 inf. pras. Metro Warszawskie.
38. Urbanowicz W.: *Metro przymierza się do rozbudowy układu torowego stacji Kabaty*, 24.02.2020.
39. Urbanowicz W.: *Metro: Główne założenia dla stacji Plac Konstytucji i Muranów gotowe [wizualizacje]*, 05.12.2022.
40. Raport Roczny Metra Warszawskiego, 2019.
41. Urbanowicz W.: *Metro: 670 tys. pasażerów na dwóch liniach*, 06.10.2022.