Transport Miejski i Regionalny (skrót TMiR)
Czasopismo wydawane od 2004 roku jako kontynuacja tytułu „Transport Miejski", wydawanego od 1982 r.

Redaktor naczelny
Prof. PK dr hab. inż. Wiesław Starowicz (Politechnika Krakowska)
starowicz@sitk.org.pl

Sekretarz redakcji
Mgr Janina Mrowińska (Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Oddział w Krakowie)
mrowinska@sitk.org.pl

Rada naukowo-programowa
Prof. dr hab.Wojciech Bąkowski (Uniwersytet Szczeciński), mgr inż. Alina Giedryś (niezależny konsultant), prof. dr hab. inż. Andrzej Rudnicki (Politechnika Krakowska), prof. dr inż. Wojciech Suchorzewski (Politechnika Warszawska), prof. dr hab. inż. Antoni Szydło (Politechnika Wrocławska), prof. dr hab., inż. Marian Tracz (Politechnika Krakowska), prof. dr hab. Olgierd Wyszomirski (Uniwersytet Gdański), mgr inż. Barbara Żmidzińska (niezależny konsultant)

Redaktorzy tematyczni
Prof. UTH dr hab. Tadeusz Dyr (Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu – zarządzanie transportem), prof. dr hab. inż. Stanisław Gaca (Politechnika Krakowska – inżynieria ruchu), dr inż. Ryszard Janecki (Politechnika Śląska – transport regionalny), mgr inż. Mariusz Szałkowski (Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne SA w Krakowie – transport miejski), prof. UE dr hab. Robert Tomanek (Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach – ekonomika transportu)

Redaktor statystyczny
Dr inż. Jolanta Żurowska (Politechnika Krakowska)

Redaktor językowy i streszczenia w języku angielskim
Mgr Agata Mierzyńska (Urząd Miasta Krakowa)

Projekt graficzny okładki
Mgr inż. arch. Lucyna Starowicz

Adres redakcji
ul. Siostrzana 11, 30-804 Kraków
tel./fax 12 658 93 74
e-mail: tmir@sitk.org
strona w Internecie: http://tmir.sitk.org

Wydawca
Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej
ul. Czackiego 3/5, 00-043 Warszawa
www.sitk.org

Nakład
800 egzemplarzy

Skład
Tomasz Wojtanowicz

Druk
Wydawnictwo PiT Kraków
ul. Ułanów 54/51, 31-455 Kraków, tel.: 12 290-32-10

Deklaracja o wersji pierwotnej czasopisma
Główną wersją czasopisma jest wersja papierowa
Artykuły w wersji elektronicznej są dostępne na stronie czasopisma z rocznym opóźnieniem

Bazy indeksujące artykuły TMiR
Baza BAZTECH – http://baztech.icm.edu.pl/
Baza Index Copernicus – http://indexcopernicus.com/

Wyszukiwarka autorów i artykułów TMiR
http://www.transport.miejski.info

Prawa autorskie
Copyright © Transport Miejski i Regionalny, 2015

Informacje dodatkowe
Za wydrukowanie artykułu autorzy nie otrzymują honorarium.
Za treść i formę ogłoszeń oraz reklam redakcja nie odpowiada.

Spis treści

Iwona Żygowska, Piotr Czech, Szczepan Gapiński, Adam Łosiński, Kinga Smolibowska, Agnieszka Templin **4**
Analiza i ocena przebiegu realizacji tunelu drogowego pod Martwą Wisłą w Gdańsku
Analysis and evaluation of progress in the implementation of a road tunnel under the Martwa Wisła river in Gdańsk, Poland

Mieczysław Szczepański, Stanisław Pęski, Grzegorz Miros **13**
Problematyka projektowania metra na przykładzie Warszawy
Issues on designing subway on the example of Warsaw

Stanisław Albricht, Maciej Górnikiewicz **21**
Metro w dokumencie „Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Krakowa"
Subway in the Study of conditions and directions for the spatial development of the City of Cracow

Stanisław Albricht, Maciej Górnikiewicz **27**
Wstępna analiza możliwości budowy I linii metra w Krakowie na kierunku wschód–zachód
Preliminary analysis of possibilities to construct the 1st subway's line in an east-west direction in Cracow

Wiesław Starowicz, Zofia Bryniarska **37**
Analiza zmian liczby przewożonych pasażerów w transporcie zbiorowym w Krakowie w latach 2004–2014
Analysis of changes in the number of public transport's passengers in Cracow in the years 2004–2014

Reklama w „Transporcie Miejskim i Regionalnym"
Koszt reklamy w czasopiśmie wynosi:

4. strona okładki (kolor)	5000 zł + VAT
2., 3. strona okładki (kolor)	3500 zł + VAT
jedna strona wewnątrz numeru (cz.-b.)	1500 zł + VAT
jedna strona wewnątrz numeru (kolor)	2500 zł + VAT

Cena tekstów sponsorowanych oraz wkładek tematycznych do uzgodnienia.
W przypadku reklam w kilku kolejnych numerach możliwy upust do 20%.
Zgłoszenia w sekretariacie redakcji – Janina Mrowińska, tel. (12) 658-93-74

Punktacja artykułów
Każda publikacja w czasopiśmie „Transport Miejski i Regionalny" zgodnie z aktualnym wykazem czasopism punktowanych opublikowanym przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w dniu 31 grudnia 2014 roku (część B) posiada **4 punkty**.

Prenumerata TMiR w 2015 roku
Cena egzemplarza – 20 zł +Vat (zagraniczna – 8 euro +Vat)
Koszt prenumeraty półrocznej – 120 zł +Vat (zagraniczna – 48 euro +Vat)
Koszt prenumeraty rocznej – 240 zł +Vat (zagraniczna – 96 euro +Vat)
Studenci – 50% zniżki
Zamówienia: Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie
Adres: 30-804 Kraków, ul. Siostrzana 11
tel./fax 12 658 93 74, e-mail: tmir@sitk.org
Płatność: konto: 43 1240 4722 1111 0000 4859 0666

Streszczenia angielskie – Abstracts in English

Iwona Żygowska, Piotr Czech, Szczepan Gapiński, Adam Łosiński, Kinga Smolibowska, Agnieszka Templin
Analysis and evaluation of progress in the implementation of a road tunnel under the Martwa Wisła river in Gdańsk, Poland
Abstract: Road tunnel under the Martwa Wisła river is the part of the Słowacki Route, providing convenient connection between the Gdansk Lech Walesa Airport and the Port of Gdansk. The tunnel together with the Marynarki Polskiej junction is an engineering object with the total length of 2,155 meters. Length of the tunnel section is 1,377.5 meters including the TBM tunnel length of 1,072.5 meters. The dimension of the two tunnel tubes is 12.5 meters each. The study "Analysis and evaluation of progress in the implementation of the road tunnel under the Martwa Wisła river in Gdańsk, Poland" proves the importance of the tunnel for the improvement of traffic condition in Gdańsk and in the development of the city. This article presents an economic analysis of the project as well as technical analysis concerning the choice of TBM method of the crossing the river. It also widely presents the geological and hydrogeological conditions, the methodology of surveys on these conditions. The article describes installation of the TBM, separation plant to clear slurry, principle of operations, boring advance of TBM, assessment of the cutter head and replacement of the damaged tools. Also fabrication of the tubing precast elements in the study as well as the process of building the cross-passages between the tubes of the tunnel are presented in the article. Finally the study provides the summary of the effects achieved during tunnelling under the Martwa Wisła river.
Keywords: road tunnel, tunnel under a river, TBM method

Mieczysław Szczepański, Stanisław Pęski, Grzegorz Miros
Issues on designing subway on the example of Warsaw
Abstract: Issues on designing the subway in Warsaw have been discussing since the Twenties of the 20th century as a result of quick development of the city connected to the growing problems of the public transport. This is why, 22nd September 1925 the Tram Company took resolution on the designing project of the underground train which – on basis of the experiences of other countries – was supposed to solve transport problems of the capital city. In the article – on the background of the calendar of development of the subway project, requirements for the preparation of the suggested route of the underground as well as the staging of the 1st and the 2nd subway line and construction and its methodology for both lines have been presented. Among discussed constructions there are stations, tunnels implemented with an opencast method as well as with a shield method and surface of railway tracks.
Keywords: subway, construction of the subway, tunnels, designing the subway

Stanisław Albricht, Maciej Górnikiewicz
Subway in the Study of conditions and directions for the spatial development of the City of Cracow
Abstract: Study of conditions and directions for the spatial development of the City of Cracow accepted by the Cracow City Council in July 2014 assumes dynamic development of the city as an European metropolis, center of modern economy and high technologies, science, culture, tourism, friendly towards its inhabitants, attractive to live and stay. The Study defines four significant: „Strategic projects of the City of Cracow". It is assumed that only those project are able – in next 20 years – generate around 100 thousand workplaces and, simultaneously growth of 150 thousand inhabitants in Cracow and 50 thousand in the suburbs. One of the basic conditions necessary to fulfill accepted goals is development and sustainability of transport system aimed at – the most beneficial in the respect of the quality of environment and the vision of city development – modal split. It includes preference for the public transport and pedestrian's and cyclist's traffic as well as monitoring of the individual transport through implementation of the limited access to the restricted areas of the city, with the special respect to the city center.At the same time intensive activities have to be undertaken to rise attractiveness of public transport and pedestrian's and cyclists' traffic. Taking under consideration of the Cracow's and other cities experiences as well as economy development together with growth of inhabitant's mobility and necessary change in modal split, public transport's needs may be increased even twice. Capacity of existing, radial-bypass model of tram network is nowadays – in the key nodes of the 1st and 2nd ring roads (bypass) – almost filled up. The situation will reach critical mass when construction of tram lines planned for next coming years is completed. With the presumed scenario of city' and suburbs' development it is necessary to launch a new transport mode, independent from construction and conditions of ground transport, providing effective transport service in the developed areas – the subway.
Keywords: passenger transport, public transport, subway, city development

Stanisław Albricht, Maciej Górnikiewicz
Preliminary analysis of possibilities to construct the 1st subway's line in an east-west direction in Cracow
Abstract: The article is based on the paper: "Preliminary analysis of possibilities to construct the 1st subway's line in an east-west direction in Cracow". Route of 1st subway's line is determined in an east-west direction, in the north part of the city, from Bronowice through the Old City to Nowa Huta. Along the 1st subway's line there are around 280 thousand inhabitants, 180 thousand working people and 160 thousand students in the 8 biggest public universities. 4 shopping centres and 2 commodity exchanges with the area of 300 thousand square meters as well as 5 biggest sport facilities: "Wisła", "Cracovia", "Hutnik" and "Wawel" stadiums and sport – exhibition hall Krakow Arena, all together for 75 thousand spectators. There is also around 180 square meters of the office space in 5 office centres, 6 hospitals, 6 public administration buildings and the area of the highest accumulation of Cracow commercial and public services – the north part of the Old Town. In the corridor of the 1st subway's line there are around 100 hectares which – according to the Study of conditions and directions for the spatial development of the City of Cracow – are to be devoted for the high intensity development. Preliminary analysis is prepared for 3 alternatives routes: A, B, C. Each route takes under consideration monuments conservator's, geological and hydrogeological conditions as well studies on current motion generating

potentials together with possibilities to locate new investments in the area of subway's influence. Analysis and working discussions undertaken during preparatory works enable to define problem areas that need much more detailed working out (multi branch concept) than it is elaborated in the current Analysis. Aspects to be considered that have to be listed are: location (final route of the 1st line, locations of subway stations, development of the ground above the stations, locations of ventilator's facilities) and construction technology (methods of construction stations and sections of railway tracks). This "Preliminary analysis of possibilities to construct the 1st subway's line in an east-west direction in Cracow" leads to the general conclusion about necessity to prepare Multi Branch Concept of the 1st subway's line which would answer different questions and issues that are not decided yet. The Concept should be elaborated prior or simultaneously with the Feasibility Study.

Keywords: passenger transport, public transport, subway, city development

Wiesław Starowicz, Zofia Bryniarska

Analysis of changes in the number of public transport's passengers in Cracow in the years 2004–2014

Abstract: Knowledge of the number of urban public transport's passengers is significant in the reference to the planning of proper adjustment supply to the demand. The article is to evaluate the change in the number of public transport 's passengers in Cracow from 2004 to 2014 in connection with preparatory works before decision on the implementation of the first line of subway. The number of conveyed passengers has been assessed with three methods: the GUS method; method of research on the structure of purchased tickets and method of calculating of the number of passengers travelling by public transport in selected days. The article has been completed with characteristics of travels on the basis of researches on real number of transported passengers in 2014 (inequality of transport Saturday-working day, Sunday-working day, inequality of travels in twenty four hours). The analysis results with the information that 351 million of passengers were transported in Cracow in 2014 which is 16% increase comparing to 2004 (method of research on the structure of purchased tickets) or 5% (method of real measurement). Those numbers show the need to search for more effective transport means. Finally, having received detailed results of the research on the number of subway's passengers (getting on at all stations of the planned 1st subway-'s line) the prospective number of subway's passengers has been presented.

Keywords: passenger transport, public transport, passenger's carriages

XII KONFERENCJA
NAUKOWO-TECHNICZNA
SYSTEMY TRANSPORTOWE
TEORIA I PRAKTYKA
12-13 października 2015

Patronat Honorowy
WOJEWODA ŚLĄSKI

Temat przewodni konferencji
Zarządzanie, telematyka i sterowanie
rozważany w następujących obszarach:
- modelowanie systemów transportowych
- transport w miastach i regionach
- logistyka i rozwój systemów transportowych
- systemy transportowe w Unii Europejskiej

Patronat Medialny

Organizator konferencji
Katedra Systemów Transportowych i Inżynierii Ruchu
Wydział Transportu Politechniki Śląskiej,
40-019 Katowice, ul. Krasińskiego 8

http://www.SystemyTransportowe.polsl.pl

IWONA ŻYGOWSKA
mgr inż. arch., Gdańskie Inwestycje Komunalne Sp. z o.o., ul. Żaglowa 11, 80-560 Gdańsk, tel. 58 722 01 49, e-mail: iwona.zygowska@gik.gda.pl
PIOTR CZECH
mgr inż., Gdańskie Inwestycje Komunalne Sp. z o.o., ul. Żaglowa 11, 80-560 Gdańsk, tel. 609 696 356, e-mail: piotr.czech@gik.gda.pl
SZCZEPAN GAPIŃSKI
mgr inż., Gdańskie Inwestycje Komunalne Sp. z o.o., ul. Żaglowa 11, 80-560 Gdańsk, tel. 58 722 01 06, e-mail: szczepan.gapinski@gik.gda.pl
ADAM ŁOSIŃSKI
mgr inż., Gdańskie Inwestycje Komunalne Sp. z o.o., ul. Żaglowa 11, 80-560 Gdańsk, tel. 668 044 737, e-mail: adam.losinski@gik.gda.pl
KINGA SMOLIBOWSKA
inż., Gdańskie Inwestycje Komunalne Sp. z o.o., ul. Żaglowa 11, 80-560 Gdańsk, tel. 668 863 325, e-mail: kinga.smolibowska@gik.gda.pl
AGNIESZKA TEMPLIN
mgr, Gdańskie Inwestycje Komunalne Sp. z o.o., ul. Żaglowa 11, 80-560 Gdańsk, tel. 58 722 01 13, e-mail: agnieszka.templin@gik.gda.pl

Analiza i ocena przebiegu realizacji tunelu drogowego pod Martwą Wisłą w Gdańsku[1]

Streszczenie. Budowa tunelu drogowego pod Martwą Wisłą jest częścią przedsięwzięcia inwestycyjnego „Połączenie Portu Lotniczego z Portem Morskim Gdańsk–Trasa Słowackiego". Tunel drogowy pod Martwą Wisłą w Gdańsku wraz z węzłem Marynarki Polskiej jest obiektem inżynierskim o całkowitej długości 2.155 metrów. Połączy on wschodnie tereny portowe z zachodnimi w rejonie nabrzeży „Dworzec Drzewny" oraz „Nabrzeże Wiślane". Długość sekcji tunelowej to 1.377,5 metra, w tym tunel drążony metodą TBM o długości 1.072,5 metra i średnicy 12,5 metra. W artykule zaprezentowana została analiza ekonomiczna projektu, jak również analiza techniczna, która doprowadziła do wyboru metody wykonania tunelu w technologii TBM. Szeroko zostały również omówione warunki gruntowo-wodne w rejonie inwestycji oraz metody ich badania. Artykuł opisuje instalację maszyny TBM, zakładu separacji urobku z płuczki wiertniczej, drążenie tunelu, wymianę narzędzi tnących tarczy w czasie drążenia tunelu, produkcję tubingów oraz budowę przejść poprzecznych między rurami tunelu. Artykuł podsumowuje również osiągnięte efekty w czasie drążenia tunelu pod Martwą Wisłą.
Słowa kluczowe: tunel drogowy, tunel pod rzeką, metoda TBM

Wprowadzenie

Najtrudniejszym i jednocześnie najważniejszym elementem zadania IV, realizowanego od 2011 roku, przedsięwzięcia inwestycyjnego „Połączenie Portu Lotniczego z Portem Morskim Gdańsk–Trasa Słowackiego" jest budowa tunelu drogowego pod Martwą Wisłą.

Mówiąc o budowie tunelu, należy wspomnieć, iż budowa Trasy Słowackiego ma strategiczne znaczenie dla poprawy warunków ruchu w Gdańsku i dalszego harmonijnego rozwoju miasta: zapewni dogodne połączenie Portu Lotniczego im. Lecha Wałęsy z Portem Morskim Gdańsk, a także z siecią dróg wojewódzkich, krajowych i tras międzynarodowych, usprawni komunikację pomiędzy dzielnicami Gdańska, ułatwi turystyczny ruch drogowy na Pojezierze Kaszubskie oraz stworzy nowe połączenie drogowe przez Martwą Wisłę, mające niezwykle istotne znaczenie dla podniesienia konkurencyjności Portu Morskiego w Gdańsku, jak i regionu.

W ramach realizacji czterech zadań składających się na Trasę Słowackiego, równolegle z budową nowych jezdni (około 10 kilometrów dwujezdniowych i dwupasmowych odcinków jezdni), wykonywane były gruntowne przebudowy istniejących skrzyżowań, budowa nowych dróg dojazdowych, chodników i ścieżek rowerowych, powstały nowe obiekty inżynierskie, w tym będący przedmiotem niniejszego opracowania – tunel drogowy pod Martwą Wisłą.

Realizacja projektu nie byłaby możliwa bez finansowego wsparcia ze strony Unii Europejskiej. Projekt jest współfinansowany (poziom dofinansowania wynosi 85% kosztów kwalifikowanych) ze środków Funduszu Spójności, w ramach Programu Infrastruktura i Środowisko, Priorytet VII Transport przyjazny środowisku, Działanie 7.2 Rozwój transportu morskiego.

Jako zadanie inżynieryjne budowa tunelu pod Martwą Wisłą przełamuje próg techniczny wprowadzania wielkich obiektów inżynierskich, na których odbywa się ruch drogowy, pod ziemię. Jest to kierunek rozwoju wszystkich wielkich miast w Europie i na świecie. Ograniczona przestrzeń miast zderza się z wciąż nieograniczonym rozwojem ruchu kołowego drogowego oraz kolejowego. Istotą działań inżynierskich winna być zatem eliminacja progów, łagodzenie barier, poprawa dostępności.

Wybrana w wyniku wielu analiz (zarówno technicznych, społecznych jak i ekonomicznych) metoda drążenia jako metoda realizacji tunelu zapewniła tunelowi w Gdańsku status pierwszego w Polsce tunelu drogowego wykony-

[1] ©Transport Miejski i Regionalny, 2015. Wkład autorów w publikację: I. Żygowska 17%, P. Czech 17%, Sz. Gapiński 17%, A. Łosiński 17%, K. Smolibowska 16%, A. Templin 16%.

wanego przy użyciu Tunnel Boring Machine (maszyny TBM). Jednak realizacja tunelu metodą drążoną nie od początku procesu inwestycyjnego była oczywistą. Pierwsze studia projektowe rozpatrywały rozwiązania konstrukcyjne przeprawy w postaci mostów wysokowodnych i ruchomych oraz w postaci tunelu zatapianego, w wykopie otwartym i drążonego. W latach 2008–2010 szczegółowo rozważano wykonanie przeprawy mostowej lub tunelowej w każdym możliwym wariancie.

Analiza ekonomiczna projektu budowy tunelu drogowego pod Martwą Wisłą z racji swojego infrastrukturalnego charakteru różni się znacząco od analizy ekonomicznej prowadzonej w przypadku inwestycji „produkcyjnych". Wobec powyższego analiza takiej inwestycji musi uwzględniać koszty i korzyści ciągnione – czyli nie tylko związane bezpośrednio z realizacją danego przedsięwzięcia, ale także efekty zewnętrzne dla ludzi i podmiotów gospodarczych nie zaangażowanych bezpośrednio w proces inwestycyjny. W pierwszej kolejności urbaniści i specjaliści od transportu kołowego ocenili zasadność realizacji przeprawy przez Martwą Wisłę. Ich analiza nie pozostawiała wątpliwości, iż korzyści z takiej przeprawy nie tylko ułatwią życie okolicznym mieszkańcom i obniżą koszty funkcjonowania firm zlokalizowanych wzdłuż nowej trasy, ale też udrożnią cały system komunikacyjny Trójmiasta, zmniejszą korki, zużycie paliwa, liczbę wypadków itp.

Kolejny etap analizy dotyczył wyboru rozwiązania technicznego przeprawy, przy czym argumenty ekonomiczne i społeczne realizacji inwestycji były w tym względzie równie istotne jak techniczne. Przy analizach brano pod uwagę wszystkie uwarunkowania realizacji przeprawy, m.in.:

- występujące dla lokalizacji przeprawy warunki hydrogeologiczne, geologiczno-inżynierskie i geotechniczne;
- umożliwienie użytkowania Martwej Wisły, jako jedynej żeglownej drogi wodnej, łączącej Motławę i Martwą Wisłę z Zatoką Gdańską, a następnie z pełnym morzem, z uwzględnieniem parametrów jednostek pływających, korzystających z kanału żeglownego Martwej Wisły, w tym wyniki konsultacji z kluczowymi użytkownikami (Zarząd Morskiego Portu Gdańsk SA, Gdańska Stocznia Remontowa SA, Stocznia Gdańsk SA itd.);
- konieczność umożliwienia korzystania z instalacji energetycznych i wodno-kanalizacyjnych, przebiegających poniżej poziomu dna Martwej Wisły w sąsiedztwie przeprawy oraz zachowania istniejącej infrastruktury portowej i zabudowy kubaturowej eksploatowanej dotychczas w Porcie Gdańsk, a więc umożliwienie w pełni użytkowania terytorium i akwarium portu łącznie z istniejącymi nabrzeżami, znajdującymi się po obu stronach Martwej Wisły i Motławy;
- połączenie płynności transportu lądowego i wodnego.

Wnioski z przeprowadzonych analiz doprowadziły do podjęcia decyzji o realizacji przeprawy w postaci tunelu drogowego, realizowanego metodą drążenia. Choć realizacja tunelu przy użyciu maszyny TBM jest droższa na etapie prowadzenia prac budowlanych uznano, iż z punktu widzenia budowlanego i eksploatacyjnego przeprawa tunelowa w postaci tunelu drążonego jest najkorzystniejsza. Za wyborem tej metody przemówiły między innymi następujące argumenty:

- tunel drążony nie ingeruje w jakikolwiek sposób w drogę wodną. Nie ma więc żadnych przeszkód w eksploatacji drogi wodnej przez Port Gdański i podmioty gospodarcze w nim działające;
- podczas realizacji tunelu metodą drążoną nie występują żadne prace mające na celu przebudowę istniejących nabrzeży po obu stronach Martwej Wisły;
- z punktu widzenia trwałości i szczelności tunel drążony, ze względu na przekrój kołowy, zwiększa gwarancję szczelności w porównaniu z tunelem o przekroju prostokątnym;
- drążenie tunelu jest korzystne dla wód podziemnych, gdyż odkrycie poziomu wodonośnego jest mniejsze niż dla tuneli wykonywanych w otwartym wykopie, jak i zatapianych. Oznacza to, że mniejsze jest zagrożenie bezpośredniego wprowadzenia do warstwy wodonośnej zanieczyszczeń technicznych związanych z budową;
- budowa tunelu metodą drążoną nie oddziałuje negatywnie na naturalne środowisko wodne;
- czas budowy tunelu metodą drążoną jest zbliżony do czasu realizacji tunelu metodą zatapialną lub w wykopie otwartym.

Realizacja projektu „Połączenie Portu Lotniczego z Portem Morskim Gdańsk–Trasa Słowackiego", którego całkowity koszt wynosi 1 420 000 000 zł, rozpoczęła się w 2011 roku. 14 października 2011 roku podpisano umowę na wykonanie ostatniego etapu – zadania IV Trasy Słowackiego, w skład którego wychodzi budowa tunelu wraz z trzypoziomowym węzłem drogowym Marynarki Polskiej. Generalnym Wykonawcą zadania jest konsorcjum, którego liderem jest hiszpańska firma Obrascon Huarte Lain SA Wielkość podpisanego kontraktu wynosi 885 600 000 złotych.

Tunel drogowy pod Martwą Wisłą, w Gdańsku wraz z węzłem Marynarki Polskiej, jest obiektem inżynierskim o całkowitej długości 2.155 metrów. Połączy on wschodnie tereny portowe z zachodnimi w rejonie nabrzeży „Dworzec Drzewny" oraz „Nabrzeże Wiślane". Długość trasy, na którą składa się tunel i wanny dojazdowe, wynosi 1.700 metrów. Długość sekcji tunelowej to 1.377,5 metra, w tym tunel drążony metodą TBM o długości 1.072,5 metra i średnicy 12,5 metra. W miejscu przeprawy tunelowej aktualna szerokość Martwej Wisły wynosi około 210 metrów, a głębokość około 12,5 metra. Tunel składać się będzie z dwóch rur tunelowych, po jednej dla każdego kierunku ruchu. Rozstaw rur tunelowych wynosi 25 metrów. Tunel w swoim najgłębszym punkcie znajdzie się 34,25 metra poniżej zwierciadła wody Martwej Wisły, natomiast minimalne zagłębienie tunelu pod dnem Martwej Wisły

wyniesie około 9 metrów. Część wejściowa do tunelu, w formie wykopu otwartego, obejmuje ściany szczelinowe, uszczelnienie dna metodą iniekcji strumieniowej oraz wykonanie pali kotwiących. Wykop w najgłębszym miejscu sięga około 22 metrów poniżej powierzchni terenu.

Warunki geotechniczne

Badania geologiczno-inżynierskie i hydrogeologiczne związane z projektowaniem tej budowli wykonano na podstawie zatwierdzonych projektów prac geologicznych w dwóch zasadniczych etapach. Pierwszy dotyczył projektowanego tunelu zatapianego, a drugi – realizowanego tunelu drążonego. Ponadto przeprowadzono badania uzupełniające i kontrolne związane z realizacją tunelu drążonego. W sumie wykonano badania następujących rodzajów: wiercenia badawcze, wiercenia do celów hydrogeologicznych (studnie badawcze i piezometry w węzłach hydrogeologicznych), sondowania DPSH, CPT, CPTU i BDP, badania dylatometryczne DMT, badania presjometryczne PMT oraz badanie modelowe przepływu wód.

Z wymienionych badań na potrzeby dwóch zasadniczych etapów wykonano 136 wierceń rurowanych z lądu i wody oraz 75 sondowań CPT i CPTU. Inne badania wykonano w mniejszym zakresie.

Najgłębszy odwiert sięgał 70,0 metrów poniżej powierzchni terenu. Podczas wierceń pomiary zwierciadła wody gruntowej i pobieranie prób gruntu wykonywano zgodnie z normą.

Badania laboratoryjne obejmowały ustalenie fizycznych i mechanicznych właściwości gruntów, ze szczególnym uwzględnieniem uziarnienia, gdyż decyduje ono o przepuszczalności gruntu. Ponadto zbadano adhezję i wykonano badanie abrazyjności oraz badania mineralogiczne. Wody poddano analizie chemicznej. Wykonano też badania gruntów na zawartość węglowodorów gazowych.

Budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne

Tunel pod Martwą Wisłą jest usytuowany w obrębie czwartorzędowego poziomu wodonośnego Żuław Gdańskich. Holoceńskie osady tej części delty Wisły składają się głównie z drobnoziarnistych piasków rzecznych, mułków (pyłów) i iłów z domieszką szczątków organicznych, namułów organiczno-mineralnych oraz torfów. Czwartorzędowa warstwa wodonośna jest zbudowana zatem z piaszczysto-żwirowych serii wodnolodowcowych i rzecznych oraz przepuszczalnych osadów holocenu należących do serii deltowej, a bliżej zatoki do holoceńskich piasków morskich. Średnia miąższość tego wodonośnego kompleksu piaszczystego wynosi 40 metrów. Wody podziemne stwierdza się również w zalegających powyżej holoceńskich namułach i torfach. W warunkach naturalnych wody warstw plejstoceńskich zasilały wody gruntowe holoceńskiej serii deltowej. Taki układ ciśnień jest obserwowany również obecnie. Należy podkreślić, że w warunkach naturalnych obszar Żuław Wiślanych był terenem podmokłym, częściowo zalanym wodą, a odmienna obecnie sytuacja jest związana z eksploatacją wód podziemnych i melioracją tego obszaru deltowego.

Zagrożenia hydrogeologiczne związane z realizacją tunelu

Istotnym czynnikiem wpływającym na kształtowanie reżimu przepływu wód podziemnych na analizowanym obszarze jest Martwa Wisła. Wyniki obserwacji wahań zwierciadła wody w piezometrach, przedstawione w dokumentacji geologiczno-inżynierskiej, wykazały bezpośredni wpływ poziomów zwierciadła wody w rzece na położenie poziomu zwierciadła wody w czwartorzędowej warstwie wodonośnej. Silny wpływ rzeki, stabilizujący zwierciadło wody podczas próbnych pompowań, stwierdzano nawet w piezometrach odległych kilkaset metrów od brzegu. Ten niemal bezpośredni kontakt między warstwą wodonośną i Martwą Wisłą przyczynił się w latach osiemdziesiątych XX wieku do znacznej degradacji zasobów wód podziemnych. Wskutek intensywnej eksploatacji doszło do intruzji zasolonych wód Martwej Wisły i Zatoki Gdańskiej do czwartorzędowej warstwy wodonośnej. Do lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku pobór wód z poziomu czwartorzędowego nie przekraczał 1000 m^3/h, natomiast w latach osiemdziesiątych zwiększył się do ponad 4500 m^3/h. W efekcie doszło do pogłębienia i rozprzestrzenienia się regionalnego leja depresji.

Obniżenie zwierciadła wody spowodowało zmianę kierunku przepływu i do warstwy wodonośnej napłynęły zasolone wody Martwej Wisły. Zawartość jonu chlorkowego w rejonie Starego Miasta przekroczyła 300 mg/dm^3, a na ujęciu Grodza Kamienna osiągnęła ponad 2000 mg/dm^3. Pod koniec lat dziewięćdziesiątych, gdy eksploatacja ustabilizowała się na poziomie 1500 m^3/h, zaobserwowano stopniowe zmniejszanie koncentracji jonu chlorkowego. Intensywność wysładzania wód okazała się szybsza, niż można było oczekiwać. Według badań prowadzonych w 2010 roku zasolenie dotyczy kilkusetmetrowego pasa wzdłuż brzegu Martwej Wisły. W piezometrach położonych najbliżej brzegu rzeki stwierdzano stężenia chlorków nawet powyżej 3000 mg/dm^3. Jest to dowód na niemal bezpośredni kontakt wód podziemnych z zasolonymi wodami Martwej Wisły. Zjawiska sztormowe, a w ich efekcie tworząca się cofka powodują, że poziomy zwierciadła wody w Martwej Wiśle wahają się od 0,93 do 1,37 metra n.p.m.

Obliczenia modelowe przepływu wód podziemnych wykazały, że tunel w najmniejszym stopniu nie zaznacza się w bilansie przepływu wód, a na układ hydroizohips wpływa bardzo nieznacznie, powodując wygięcie hydroizohips o zaledwie 0,03 metra. Podobne wyniki uzyskano w innych badaniach modelowych wykonanych przy założeniu, że kierunek przepływu wód podziemnych jest równoległy do Martwej Wisły. Parametry filtracyjne warstwy wodonośnej są zatem wystarczające do wyeliminowania zmian poziomu zwierciadła wód podziemnych, jakie mogłyby powstać w wyniku budowy tunelu. Wartości współczynnika filtracji wynoszą od $1{,}1 \cdot 10^{-4}$ do $0{,}3 \cdot 10^{-3}$ m/s, w zależności od zastosowanej metody obliczeń. Utwory wodonośne można określić jako dobrze i bardzo dobrze przepuszczalne. Najlepsze parametry filtracyjne dotyczą plejstoceńskiego przewarstwienia

żwirów wodnolodowcowych występujących na głębokości około 30 metrów, czyli w miejscu, gdzie tunel przebiega bezpośrednio pod Martwą Wisłą.

Warunki geologiczno inżynierskie i parametry geotechniczne

W ramach dokumentacji wydzielono liczne warstwy geotechniczne. Ich podział i opis przedstawiono niżej, z tym, że I_D i I_L są wartościami charakterystycznymi:

I – torfy i miękkoplastyczne namuły organiczne
II – gliny próchniczne i iły próchniczne, miękkoplastyczne i plastyczne, $I_L = 0{,}51$
III – piaski drobne i średnie luźne, $I_D = 0{,}27$
IVa – piaski drobne i lokalnie pylaste średnio zagęszczone, $I_D = 0{,}49$
IVb – piaski drobne lokalnie pylaste, zagęszczone i średnio zagęszczone, $I_D = 0{,}68$
IVc – piaski drobne bardzo zagęszczone, $I_D = 0{,}89$
Va – piaski średnie i grube, średnio zagęszczone, $I_D = 0{,}51$
Vb – piaski średnie i grube, zagęszczone, $I_D = 0{,}69$
Vc – piaski średnie i grube, bardzo zagęszczone, $I_D = 0{,}85$
VIa – piaski średnie i grube, bardzo zagęszczone, $I_D = 0{,}85$
VIb – iły przewarstwione pyłami, twardoplastyczne, $I_L = 0{,}11$
VII – pospółki i żwiry, bardzo zagęszczone, $I_D = 0{,}82$
VIII – pyły półzwarte, $I_L = 0{,}00$
IX – gliny piaszczyste półzwarte, $I_L = 0{,}00$
Xa – iły lokalnie gliny pylaste zwięzłe, twardoplastyczne, $I_L = 0{,}1$
Xb – iły i gliny pylaste zwięzłe, półzwarte, $I_L = 0{,}00$.

Warstwy od I do VIb są gruntami holoceńskimi, VII do IX – plejstoceńskimi, a Xa do Xb – mioceńskimi.

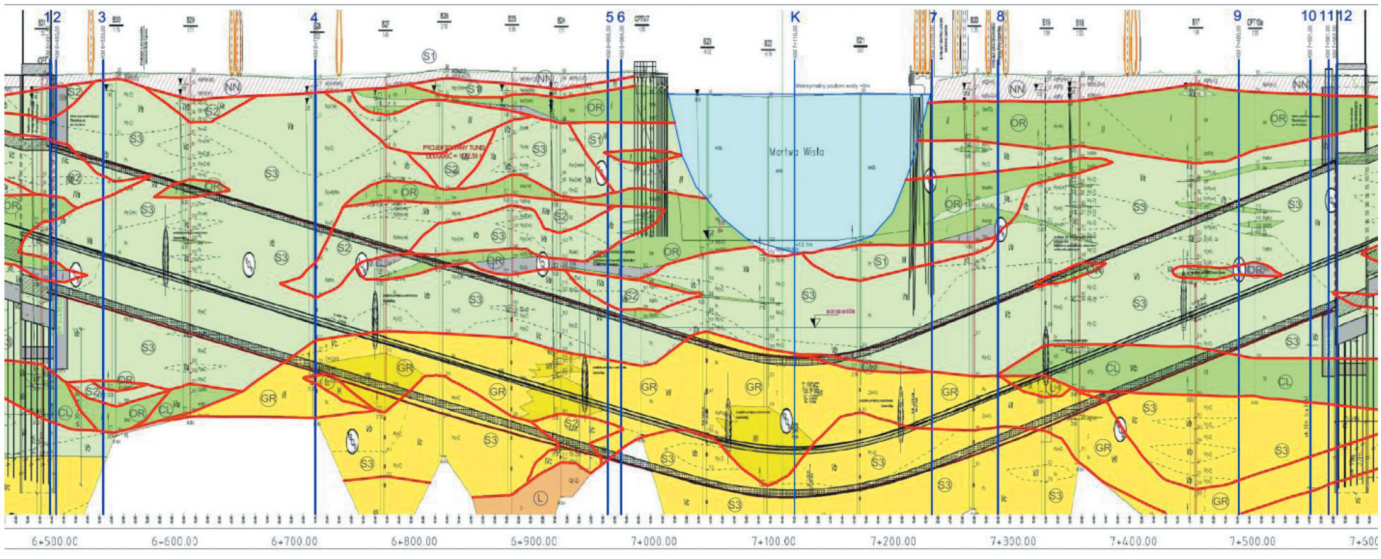
Przy drążeniu tunelu istotną rolę odgrywa adhezja i abrazja gruntów. Adhezyjność gruntów zależy od wskaźnika plastyczności i wskaźnika konsystencji. Z przeprowadzonych badań wynika, że iły charakteryzują się wysoką adhezyjnością, natomiast namuły umiarkowaną. Test abrazyjności LCPC wykazał, że piaski nie odznaczały się ścieralnością lub ich ścieralność była niewielka, natomiast bardzo duża ścieralność dotyczy pospółek i żwirów zalegających w rejonie największego przegłębienia tunelu pod Martwą Wisłą. Jest to związane z ich dużym zagęszczeniem, wymiarem ziaren i zawartością kwarcu.

Wnioski wynikające z rozpoznania geologicznego i hydrogeologicznego

W odniesieniu do warunków geotechnicznych należy podkreślić fakt, iż wyniki wszystkich przeprowadzonych badań geotechnicznych zostały, tak w zakresie rodzajów gruntów, jak również układu warstw, potwierdzone podczas drążenia tunelu. Istotne różnice zaobserwowano jedynie w odniesieniu do występowania kamieni i głazów. Ponadto nie stwierdzono abrazyjności i adhezyjności przekraczającej wartości określone na podstawie zrealizowanych badań geotechnicznych.

Analiza warunków hydrologicznych wykazała, iż parametry filtracyjne warstwy wodonośnej okazały się wystarczające dla wyeliminowania zmian poziomu zwierciadła wód gruntowych, jakie powstawały w wyniku drążenia tunelu. Rezygnacja z syfonów wyrównujących ciśnienie wód gruntowych po obu stronach konstrukcji tunelu znalazła podczas realizacji drążenia pierwszej rury swoje pełne uzasadnienie. Przy realizacji przejść poprzecznych z zastosowaniem mrożenia gruntu istnieje bezwzględna potrzeba prowadzenia stałego monitoringu jakości wód podziemnych, a w szczególności badań zawartości chlorków i mineralizacji. Sprawa jest niezwykle ważna ze względu na to, iż zasolenie wód gruntowych może w sposób znaczny utrudnić zamrażanie nawodnionego gruntu.

Już po wykonaniu pierwszej linii tunelu uznano, że wybór tarczy z płuczkowym systemem transportu urobku był prawidłowy. Rozwiązanie to pozwoliło na bezproblemowe wykonanie drążenia również drugiej rury tunelu, szczególnie w miejscach, gdzie występowały kamienie i głazy.



Rys. 1. Warstwy geotechniczne
Źródło:[10]

Realizacja tunelu w wykopie otwartym komory startowej i wyjściowej dla TBM

Pierwotnie przewidziano wykonanie wykopu fundamentowego metodą „na mokro", czyli pod wodą. Rozwiązanie to obejmowało zarówno wybieranie gruntu z wykopu pod wodą, jak i wykonanie uszczelnienia dna za pomocą korka betonowego, wykonanego metodą betonowania podwodnego. Dodatkowo pod wodą należało także połączyć konstrukcyjnie korek betonowy z mikropalami kotwiącymi, zabezpieczającymi korek przed wyparciem pod działaniem siły wyporu. Należy podkreślić, że roboty pod wodą, zwłaszcza głęboko i na dużej powierzchni dna, są trudne do wykonania i charakteryzują się, w porównaniu do prac prowadzonych w suchym wykopie, gorszą jakością i niższym poziomem kontroli. Do najważniejszych utrudnień technologii wykonywania robót „na mokro" można zaliczyć:

- niekontrolowane gromadzenie się pylastych osadów dennych na dnie wykopu w czasie kopania podwodnego (sedymentacja), utrudniające wykonanie betonu podwodnego (ryzyko jakości i załamywania się warstw betonu podwodnego);
- trudność uszczelnienia styku korka betonowego ze ścianą szczelinową (duże ryzyko nieszczelności połączenia);
- technologiczne problemy zapewnienia ciągłości betonowania na dużej powierzchni dna wykopu oraz jakości betonu podwodnego;
- problemy związane z wykonywaniem mikropali i montażem zakotwień pod wodą;
- konieczność, w przypadku najgłębszych sekcji wykopu, montażu rozpór stalowych pod wodą (założenie rozpór w takich warunkach jest bardzo ryzykowne);
- potrzebę zainstalowania złożonego systemu gospodarki wodą w wykopie podczas głębienia pod wodą, obejmującego napełnianie wykopu oraz opróżnianie i zrzut wody w celu zapewnienia stałego nadciśnienia hydrostatycznego wody w wykopie oraz budowy odstojników o powierzchni co najmniej 10 000 m^2 i wysokości obwałowania 3 metry.

Finalnie wdrożono technologię wykonania robót „na sucho", opartą na wykonaniu ścian obwodowych i poziomych ekranów uszczelniających Soilcrete w rejonach pozbawionych naturalnego uszczelnienia dna, która ma niżej podane zalety techniczne.

- Głębienie wykopu na sucho zapewnia bieżącą kontrolę stopniowo odsłanianych styków sekcji ściany szczelinowej oraz umożliwia natychmiastową lokalizację i likwidację ewentualnych przecieków.
- Zapewnia kontrolowane warunki wykonania szczelnego połączenia płyty dennej tunelu ze ścianą szczelinową, łącznie z zabezpieczeniem zbrojenia przed korozją, co ma duże znaczenie ze względu na bezpieczeństwo i prawidłowe funkcjonowanie tunelu.
- Dzięki wykonaniu poziomych uszczelnień poniżej dna wykopu oraz dodatkowych pionowych przegród przeciwfiltracyjnych uzyskano możliwość wczesnego sprawdzenia szczelności wydzielonych sekcji wykopu w czasie odpompowywania wody, co zwiększa bezpieczeństwo realizacji robót oraz umożliwia szybszą lokalizację ewentualnych przecieków.
- W najgłębszych sekcjach wykopu masywne ekrany Soilcrete, grubości około 3,5 m (zwiększonej w stosunku do projektowanej grubości korka podwodnego 1,5 m), pełnią rolę dodatkowej rozpory poziomej i znacząco redukują przemieszczenia ściany szczelinowej w fazie budowlanej, co istotnie zmniejsza ryzyko wystąpienia spękań ściany i nieszczelności na połączeniach sekcji.
- Wykonywanie mikropali kotwiących w suchym wykopie, z poziomu spodu płyty fundamentowej, znacząco zwiększa jakość wykonania elementów zakotwienia w porównaniu do robót pod wodą.Wykonywanie mikropali jest kontrolowane, co umożliwia na bieżąco korektę parametrów technologicznych wiercenia i podawania zaczynu. Zmniejsza się także ryzyko odchyłek w poziomie zakotwienia oraz odchyłek od pionu, które mogą niebezpiecznie zwiększyć naprężenia w żerdzi kotwiącej wskutek dodatkowego zginania podczas wyciągania.
- Montaż oraz odbiór elementów kotwiących na głowicach mikropali odbywa się w sposób kontrolowany, w korzystniejszych warunkach niż pod wodą. Jakość połączenia zwiększa się i wpływa tym samym korzystnie na poziom bezpieczeństwa realizowanych robót.
- Możliwość sprawdzenia nośności mikropali na palach produkcyjnych. Technologia wykonania robót na mokro eliminowała taką możliwość sprawdzenia pali, gdyż ze względu na kolejność robót mikropale musiały być zakotwione w betonie podwodnym. Tym samym zastosowanie metody na sucho w istotny sposób zwiększa poziom kontroli wykonania elementów kotwiących, które mają podstawowe znaczenie ze względu na stateczność wykopu i tunelu. Ponadto w warunkach „na sucho" mikropale mogą być kontrolowane zgodnie z odpowiednią normą.
- Dostosowano sposób rozparcia ścian szczelinowych, nie rozwiązany szczegółowo w projektach pierwotnych, do całego układu zabezpieczenia wykopu fundamentowego. Uwzględniono przy tym geometrię i sztywność poszczególnych segmentów tunelu i obudowy oraz odpowiednich sekcji ściany szczelinowej.

Tunel w otwartym wykopie wraz z węzłem drogowym

Doświadczenia uzyskane podczas budowy tunelu w otwartym wykopie pozwalają na stwierdzenie, iż dzięki zastosowaniu stalowych ścianek szczelnych, ścian szczelinowych o grubości od 80 do 120 centymetrów, rozparcia ścian szczelinowych między innymi metodą podstropową, zakotwienia za pomocą mikropali żelbetowych i stalowych płyty fundamentowej tunelu przy wykorzystaniu warstw nieprzepuszczalnych lub ekranów przeciwfiltracyjnych dla zredukowania działającego wyporu na płytę fundamentową, zrealizowano szczelną obudowę tunelu, która w końcowej fazie będzie ściśle powiązana z drążoną częścią tunelu.

Bardzo szczegółowa analiza realizacji tej części tunelu pozwala również na stwierdzenie, że o sukcesie zadecydowały najnowsze technologie, tak w zakresie wykonawstwa ścian szczelinowych, jak i wykonawstwa różnego rodzaju pali oraz ekranów przeciwfiltracyjnych. Pomijając technologię całej budowy, wymagającej przykładowo wykonania 11 przegród technologicznych, zwrócić należy uwagę na szeroko zakrojoną kontrolę jakości, polegającą między innymi na przeprowadzeniu szeregu badań na poletkach doświadczalnych oraz sprawdzanie wszystkich elementów konstrukcyjnych tunelu w trakcie realizacji i po wykonaniu poszczególnych robót. Można zatem wyciągnąć istotny wniosek, iż podczas realizacji odpowiedzialnych budowli w nawodnionym podłożu, sprawa skutecznej kontroli niezależnie od zastosowanej technologii, wybija się na pierwsze miejsce. Możemy dzisiaj powiedzieć, że omawiane obiekty tunelu w otwartym wykopie zostały wykonane w sposób wzorcowy i z tego względu powinny być przedmiotem dalszych szczegółowych rozważań oraz analiz, szczególnie dla przeprowadzenia szkoleń z realizacji takich obiektów.

Przy omawianiu realizacji tunelu w otwartym wykopie należy zwrócić uwagę na konieczność bardzo ścisłej współpracy między wykonawcą i projektantem, szczególnie wobec konieczności optymalizowania rozwiązań technologicznych i ich dostosowania do możliwości materiałowych i sprzętowych wykonawcy. W odniesieniu do omawianego tunelu można z pełnym przekonaniem stwierdzić, że nadzór autorski w sposób profesjonalny rozpatrywał na bieżąco schematy pracy konstrukcji w jej stanie bieżącym i docelowym oraz podejmował decyzje mające na celu pełne wykorzystanie potencjału technologicznego dla bezpiecznego prowadzenia budowy oraz osiągnięcia założonego celu w postaci gotowego tunelu. Należy założyć, że działanie nadzoru autorskiego będzie w dalszym ciągu skuteczne, przy czym będzie wymagało bardzo dużego zintensyfikowania, szczególnie podczas realizacji przejść poprzecznych. W każdym przypadku należy wyciągnąć wniosek, oparty również na doświadczeniach zdobytych podczas drążenia tunelu, iż zapewnienie dobrego funkcjonowania nadzoru autorskiego jest zadaniem podstawowym podczas dalszych etapów realizacji omawianej inwestycji.

Komora startowa i wyjściowa maszyny TBM

Rozpatrując przebieg realizacji komór umożliwiających wprowadzenie i wyprowadzenie maszyny TBM, można stwierdzić, iż niezwykle istotną i decydującą o przyjętym rozwiązaniu obudowy i dna głębokich wykopów była bardzo szczegółowa analiza stratygrafii podłoża, w którym dany wykop był realizowany. Chodzi głównie o identyfikację warstw gruntów o małej przepuszczalności, łącznie z określeniem ich miąższości.

Dla ustalenia metody uszczelnienia warstwy gruntu leżącej pod dnem wykopu istotne było bardzo dokładne określenie poziomu napiętego zwierciadła wód gruntowych oraz miąższości i przepuszczalności warstwy napinającej. Przeprowadzone bardzo dokładne dodatkowe badania geotechniczne i ich wszechstronna analiza pozwoliły na bezpieczne wykonanie ścian szczelinowych obudowy wykopu i poziomego, kotwionego ekranu przeciw filtracyjnego w technologii iniekcji strumieniowej.

Wykonanie bezbłędne komory startowej i wyjściowej w wybranej technologii, z uwzględnieniem uzupełnionej i dzięki temu zagęszczonej siatki wierceń badawczych, stało się dowodem konieczności przyporządkowania liczby i rodzajów wierceń badawczych do konkretnego obiektu budowlanego i rozpatrywanej technologii jego realizacji.

Przy obecnym rozwoju komputerowych metod obliczeniowych bezpieczne i oszczędne projektowanie bardzo skomplikowanych obiektów budowlanych musi uwzględniać przestrzenne modele rozpatrywanej budowli oraz najnowsze i sprawdzone metody obliczeniowe, przykładowo metody elementów skończonych w płaskim i przestrzennym stanie odkształcenia.

Realizacja komory startowej i wyjściowej maszyny TBM wykazała, że niemożliwe jest wykonywanie odpowiedzialnych konstrukcji budowlanych bez zapewnienia monitoringu zachowania się poszczególnych elementów konstrukcyjnych, decydujących o bezpieczeństwie całego przedsięwzięcia.

Drążenie tunelu

Instalacja maszyny TBM

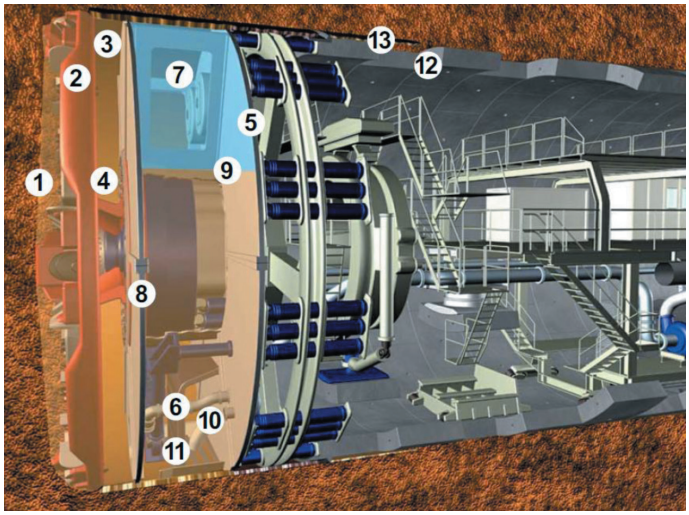
Maszynę o numerze S-745 wyprodukowano w fabryce Herrenknecht AG w Schwanau, Niemcy. Prace z tym związane trwały około 9 miesięcy. Maszyna została rozłożona i przetransportowana do Polski w wielu częściach. Większość elementów przewieziono do Gdańska transportem samochodowym, a 19 części o największych gabarytach i najcięższych przywiózł do Gdańska holenderski transportowiec „Deo Volente". Na statku znajdowały się m.in.: 245- tonowy silnik, zespół napędowy, podzielona na segmenty obudowa tarczy. Ze względu na gabaryty transportowanych części rozładunku dokonano największym w Polsce pływającym dźwigiem o nazwie „Maja", który przenosił je bezpośrednio na przygotowane wcześniej jednostki transportowe do przewozu towarów ponadgabarytowych.

Warunkiem rozpoczęcia instalacji maszyny TBM na budowie było wykonanie wspomnianej w poprzednim rozdziale komory startowej. Proces montażu podzielono na kilka etapów. Po zakończeniu robót przygotowawczych rozpoczęto operację scalania i montażu maszyny TBM w pozycji umożliwiającej rozpoczęcie drążenia. Do szybu opuszczono głowicę skrawającą oraz elementy tarczy, z których najcięższy ważył 245 ton. Całość maszyny umieszczono na wspomnianej wcześniej zmontowanej kołysce. Następnie przez otwór technologiczny w stropie żuraw gąsienicowy o udźwigu 600 ton podał wcześniej przygotowane trzy bramy. Masa jednej zmontowanej bramy wynosiła 270 ton. Maszynę zmontowano w około 90-metrowy ustrój połączony z zakładem separacji płuczki.

Tarcza typu mix – zasada działania

Obrotowa głowica skrawająca odspaja grunt na całej powierzchni czoła tunelu. Odspojony grunt wraz z płuczką wiertniczą trafiają do wylotu w przegrodzie. Przestrzeń przed głowicą stanowi komorę eksploatacyjną, którą od komory roboczej oddziela przegroda. Wydobyty grunt razem z płuczką

z komory roboczej zasysany jest przez pompy do wlotu linii odprowadzającej, a następnie pompowany rurociągami do zakładu separacji zlokalizowanego na zewnątrz tunelu. Usuniętą objętość zawiesiny uzupełnia się mieszanką bentonitową. Poduszka powietrzna reguluje ciśnienie w komorze roboczej. Ciśnienie poduszki powietrznej równoważy ciśnienie gruntu i wody, zapobiegając niekontrolowanym obwałom gruntu i utracie stateczności czoła tunelu. Ciśnienie wsporcze czoła tunelu w komorze eksploatacyjnej jest kontrolowane poprzez poduszkę powietrzną, a nie bezpośrednio za pomocą ciśnienia zawiesiny. System sprężonego powietrza utrzymuje pod precyzyjną kontrolą poduszkę sprężonego powietrza dokładnie na poziomie wymaganej wartości ciśnienia. Aby ekonomicznie dysponować płuczką, mieszanina zawiesiny bentonitowej i gruntu musi być rozdzielona na zewnątrz tunelu na części stałe i płynne. Pozwala to, w stosunkowo dużym stopniu, na powrót do obwodu oczyszczonej zawiesiny bentonitowej.



[1] Czoło tunelu
[2] Głowica skrawająca
[3] Płuczka wiertnicza
[4] Komora eksploatacyjna
[5] Ściana ciśnieniowa
[6] Linia doprowadzająca
[7] Poduszka powietrzna
[8] Przegroda
[9] Komora robocza
[10] Linia odprowadzająca
[11] Krata
[12] Segmenty
[13] Obudowa ogona

Rys. 2. Schemat tarczy TBM
Źródło:[8]

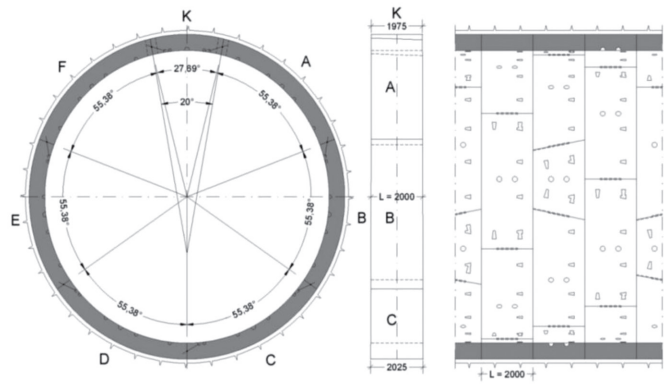
Postęp TBM

Postęp tarczy odbywa się dzięki siłownikom, które odpychają się od prefabrykowanej obudowy tunelu (pierścienie segmentu) zbudowanej w poprzednim cyklu. Podczas gdy w czole odbywa się drążenie, segmenty, które tworzą pierścień, są rozładowywane na podajniku. Przestrzeń pomiędzy wcześniej wbudowanymi pierścieniami a terenem jest wypełniana zaprawą.

We wprowadzonym typie maszyny TBM, a mianowicie TBM MIXSHIELD, w każdym cyklu postępu tarczy prowadzone są następujące działania:

- drążenie odcinka o długości 2 metrów i jednoczesne wypełnianie wolnych przestrzeni na zewnątrz obudowy;
- montaż pierścienia obudowy;
- przedłużenie toru i instalacji (co 6 metrów);
- prace utrzymaniowe i naprawcze, jeśli wymagane.

Budowa pierścienia



Rys. 3. Schemat pierścienia
Źródło:[9]

Po każdym dwumetrowym postępie tarczy, za pomocą erektora (podajnika), instalowany jest nowy pierścień segmentowy, który służy jako oparcie dla siłowników umożliwiających ruch postępowy tarczy. Tworzy on wodoszczelną obudowę tunelu. Geometria pierścieni obudowy pozwala na wykonanie łuków, zarówno w kierunku poziomym, jak i pionowym. Jest to możliwe dzięki obrotowi kolejnego pierścienia względem poprzedniego. W zależności od umiejscowienia tubingu kluczowego uzyskuje się wymagany łuk tunelu. Tubing kluczowy montowany jest zawsze jako ostatni segment w pierścieniu. Pierścienie podawane erektorem montuje się w taki sposób, aby nie pokrywały się połączenia radialne segmentów kolejnych pierścieni. Ma to na celu uniknięcie tworzenia osłabionej płaszczyzny obudowy. W tym celu przewidziano 26 różnych kombinacji ułożenia pierścienia.

Erektor jest podajnikiem typu pierścieniowo-obrotowego, wyposażonym w urządzenia do próżniowego podnoszenia, który umożliwia przemieszczanie segmentów obudowy w trzech kierunkach wraz z ich obrotem.

Każdy segment zostaje ustawiony w prawidłowej pozycji przez podajnik i po uzyskaniu założonej pozycji jest przytwierdzony do poprzedniego segmentu. Następnie na zamocowanym tubingu oparte zostają odpowiadające mu siłowniki. Po tym etapie, podajnik zwalnia segment i powtarza ten sam cykl z drugim elementem pierścienia. Ta sama procedura jest stosowana dla wszystkich elementów pierścienia. Gdy pierścień jest kompletny i zamknięty, rozpoczyna się nowy cykl drążenia.

Postęp drążenia oraz przedłużanie przewodów i kabli

W miarę postępu drążenia, cyklicznie po każdych wydrążonych 6 metrach, przedłużane są następujące elementy niezbędne do prowadzenia robót związanych z budową tunelu:

- rurociągi doprowadzające i odprowadzające urobek i zawiesinę wodno-bentonitową, przyłącza zasilania wody i powietrza, tory, wentylacja, zasilanie elektryczne (co 350 metrów).

Postój w bloku *jet-grouting*

Aby „przejść" pod rzeką w sposób bezpieczny, przed drążeniem pod rzeką wykonano w gruncie blok betonowy. Jest to obszar wzmocnionego gruntu na długości 8 metrów,

Fot. 1. Widok wnętrza tunelu podczas budowy
Źródło: GIK

wykonany na głębokości od 15,8 do 32,8 metra p.p.m. Blok został wykonany w technologii *jet-grouting*, czyli istniejący grunt wymieszano z zaczynem stabilizującym, wtłaczanym strumieniowo pod wysokim ciśnieniem. Planowany postój maszyny w bloku trwał kilkanaście dni i pozwolił na dokonanie rzeczywistej oceny zużytych narzędzi oraz ich wymianę. Specjalistyczne trzyosobowe grupy nurków, po uprzednim przejściu przez komory hiperbaryczne, wchodziły do komory eksploatacyjnej. Wszystkie elementy zostały poddane analizie, po której nastąpił proces demontażu oraz dokonano koniecznej wymiany zużytych lub zniszczonych narzędzi. Dla realizacji powyższych prac zapewniono ekipę pracowników składającą się między innymi z: 36 profesjonalnych nurków, 2 operatorów komory hiperbarycznej i 2 lekarzy specjalistów medycyny hiperbarycznej.

Zakład separacji

Zadaniem zakładu separacji jest oczyszczenie płuczki, czyli zawiesiny bentonitowej wykorzystywanej w czasie drążenia tunelu do podpierania przodka, transportu urobku oraz chłodzenia i smarowania narzędzi wiercących. Urządzeniem, bez którego nie może pracować zastosowana głowica maszyny TBM, jest zakład separacji. Separator HSP2400 jest największym urządzeniem tego typu, jakie do tej pory pracowały na terenie Polski. Płuczka wraz z wydrążonym gruntem trafia do zakładu separacji.

Zakład separacji (STP) składa się z następujących elementów: mieszalnik płuczki HK60, separator HSP2400, wirówka, zbiorniki płuczkowe, rurociągi płuczkowe i pompy transferowe.

Mieszalnik płuczki produkuje w trybie automatycznym lub ręcznym około 40 m^3 na godzinę płuczki wiertniczej o żądanej konsystencji. Silos mieszalnika może pomieścić do 75 ton bentonitu.

Separator HSP2400 ma budowę kontenerową o wymiarach w planie: 23 na 9 metrów i wysokość 10 metrów. Ma wbudowanych 6 sit wibracyjnych dwupokładowych, w tym dwa sita wstępne i cztery sita dokładnego oczyszczania. Separator wyposażony jest w 8 pomp płuczkowych o wydajności po 350 m^3/godz. każda. Pompy napędzane są silnikami elektrycznymi o mocy 200 kW.

Bezpośrednio przy separatorze zlokalizowana jest pompa, o wydajności do 2400 m^3 na godzinę, napędzana silnikiem elektrycznym o mocy 750 kW. Pompa przesyła czystą płuczkę wiertniczą do maszyny TBM. W chwili zakończenia drążenia każdej z dwóch rur tunelu była to odległość 1.440 metrów + 1.070 metrów tunelu + 370 metrów – odległości zakładu separacji od szybu startowego. Płuczkę wzbogaconą urobkiem z maszyny na najwyższą kondygnację separatora pompuje kolejna pompa zlokalizowana w maszynie tuż za tarczą oraz pompa zlokalizowana w szybie startowym. Po przejściu przez skrzynię rozdziału i skrzynie tłumiące płuczka trafia na sita wstępne, które odbierają pokruszone głazy i kamienie o krawędzi od 4 do 14 milimetrów. Frakcje drobniejsze wraz z wstępnie oczyszczoną płuczką trafiają na baterie hydrocyklonów i na sita dokładnego oczyszczania. Hydrocyklony oczyszczają płuczkę z drobin o rozmiarach do 30 mikronów. Pozbawiony płynu urobek, za pośrednictwem dwu taśmociągów, trafia na składowisko wewnętrzne, skąd samochodami wywożony jest na składowisko docelowe.

Oczyszczona płuczka ponownie trafia do obiegu. W ciągu godziny separator odbiera około 500 ton urobku (pokruszonych głazów, kamieni, żwiru i piasku). W całym procesie drążenia 2 rur tunelu wydobyto i odseparowano około 500 tysięcy m^3 urobku.

W skład zakładu separacji wchodzą również dwa zbiorniki płuczkowe o pojemności po 800 m^3 każdy. W jednym magazynowana jest płuczka czysta, przygotowana do wprowadzenia do obiegu, drugi służy do przechowywania płuczki przeznaczonej do regeneracji.

Średnica tarczy wiertniczej (12,56 metrów) jest większa niż miąższość większości warstw napotkanych na trasie tunelu. Urobek odbierany w danej chwili przez zakład separacji pochodził zatem z kilku wyodrębnionych w dokumentacji geotechnicznej warstw, to znaczy, że piaski czy żwiry zmieszane zostały z torfem, gliną czy namułami. Taka różnorodność gruntów wymagała od załogi zakładu separacji szczególnej uwagi i dbałości o parametry płuczki wiertniczej.

Pewnym zaskoczeniem była duża liczba kamieni, otoczaków i głazów. Na sicie wstępnym odbierano fragmenty pokruszonych głazów o krawędzi do 35 centymetrów. Duża zawartość kamieni była również powodem znacznej liczby i różnego rodzaju uszkodzeń narzędzi skrawających tarczy wiertniczej.

Produkcja tubingów

Do wykonania prefabrykatów, zgodnie z dokumentacją projektową, zastosowano beton klasy C45/55 o stopniu wodoszczelności W8 i stopniu mrozoodporności F150 oraz nasiąkliwości poniżej 5%. Proces produkcji tubingów rozpoczął się w magazynie kruszyw – prawidłowe uziarnienie i gatunek kruszyw to warunek uzyskania dobrego betonu. Drugim ważnym elementem decydującym o wytrzymałości obudowy przy zginaniu jest zbrojenie prefabrykatów – zbrojenie w postaci gotowego kosza układane było w formie.

Formy wykonano jako stalowe konstrukcje spawane, z tolerancją odchyłek poniżej 1 mm. Elementy prefabrykowane

są układane „na sucho", a stabilność konstrukcji uzyskuje się dzięki współpracy obudowy z gruntem. Przez parcie i odpór zapewnia się równomierny rozkład naprężeń ściskających w tubingach i kleszczenie się na suchych powierzchniach styku. Dodatkowym elementem wypełniająco-uszczelniającym jest iniekcja betonowa pomiędzy gruntem rodzimym i obudową oraz system gumowych uszczelek. Powierzchnie styku tubingów muszą idealnie do siebie pasować.

Gotowe prefabrykaty poddawane były ostatecznej kontroli, następnie dzielone na komplety (1 komplet zawiera pełny pierścień) i składowane w oczekiwaniu na transport na budowę.

Wykonanie przejść poprzecznych

W tunelu zaprojektowano przejścia poprzeczne między rurami w odstępach co około 175 metrów. Uwzględniając warunki środowiskowe, przepuszczalność gruntu oraz bezpieczeństwo realizacji przejścia poprzeczne zostaną wykonane w technologii mrożenia gruntu. Technologię tą stosuje się w celu czasowego wzmocnienia gruntu, wykorzystując jedynie fizyczne właściwości gruntu i wody, bez naruszania w sposób trwały jego właściwości początkowych.

Proces mrożenia gruntu solanką obejmuje kolejno następujące roboty, które będą powtarzane dla każdego z przejść poprzecznych:

- wiercenie (częściowe) przez obudowę tunelu dla instalacji rury osłonowej i prewentera, które zapobiegają niekontrolowanym napływom wody i gruntu do tunelu podczas wiercenia i instalacji rur;
- wiercenie przez pozostałą część obudowy tunelu z użyciem prewentera;
- wiercenie w gruncie oraz instalacja rur mrożeniowych, pomiaru temperatury i odwodnieniowych;
- podłączenie rur mrożeniowych do agregatów mrożeniowych zlokalizowanych w tunelu głównym (obieg zamknięty rozprowadzania solanki);
- instalację czujników pomiaru temperatury wewnątrz rur pomiaru temperatury (również czujników w obudowie tunelu północnego), podłączenie ich do rejestratorów danych oraz głównego czytnika i bazy danych w biurze technicznym;
- mrożenie gruntu zgodnie z parametrami i wymaganiami projektu;
- utrzymanie mrożenia podczas realizacji przejścia, które po wykonaniu stałej obudowy przejścia zostaje zatrzymane.

Podczas realizacji przejść poprzecznych stosowane są agregaty mrożeniowe (schłodzarki) chłodzące solankę do ustalonej z góry temperatury. Solanka jest rozprowadzana w rurach mrożeniowych w obiegu zamkniętym, a główny czynnik chłodniczy, zazwyczaj amoniak, znajduje się w obiegu wewnątrz agregatu. Jako czynnik obiegający rury mrożeniowe (tzw. wtórny czynnik chłodniczy) stosuje się solankę, czyli roztwór soli (chlorku soli). Zmieniając stężenie soli w roztworze, uzyskuje się różne punkty topnienia.

Podsumowanie

Szczegółowe rozpoznanie bardzo trudnych warunków gruntowo-wodnych pozwoliło na sterowanie pracą maszyny TBM przy optymalnych parametrach uwzględniających stan i rodzaj gruntów. Pozwoliło to jednocześnie na bezpieczną i sprawną realizację według procedur przewidzianych w dokumentacji. Drążenie pierwszych metrów pierwszego tunelu wymagało przetestowania maszyny w warunkach rzeczywistych.

Na podstawie doświadczeń z drążenia można generalnie stwierdzić, że zarówno rodzaj gruntów występujących w świetle drążonego tunelu, jak również układ warstw geologicznych, wykazanych w dokumentacji sporządzonej na etapie powstawania projektu, pokrył się z realnymi warunkami stwierdzonymi w trakcie drążenia pierwszej oraz drugiej rury tunelu.

Efekty, jakie osiągnięto podczas drążenia tunelu pod Martwą Wisłą, wynikają również z wysokiej jakości elementów prefabrykowanych składających się na obudowę tunelu tj. tubingów oraz sposobu ich precyzyjnego wbudowywania.

Współpraca zespołu nadzoru z wykonawcą, projektantem i konsultantami naukowymi zapewniła optymalną i bezpieczną realizację inwestycji oraz umożliwiła implementację w środowisku inżynierskim najbardziej nowoczesnych i spektakularnych osiągnięć technicznych. Można mieć nadzieję, iż zdobyta praktyczna wiedza o sposobie i metodach realizacji tak skomplikowanego i złożonego obiektu budowlanego (tj. konstrukcji tunelu) pozwoli uzyskane doświadczenia w pełni wykorzystać przy realizacji kolejnych priorytetowych przedsięwzięć.

Literatura

1. Materiały i referaty z sympozjum *Tunel drogowy pod Martwą Wisłą w Gdańsku*, „Inżynieria i Budownictwo", 2013, nr 1.
2. Materiały i referaty z sympozjum *Tunel drogowy pod Martwą Wisłą. Doświadczenia z budowy pierwszej rury tunelu*, „Inżynieria i Budownictwo", 2014, nr 2.
3. *Instrukcja sporządzania i obróbki płuczki wiertniczej*, Obrascon Huarte Lain SA, Gdańsk 2013.
4. *Metodologia realizacji kierunku drążenia tunelu dla systemu TBM*, Obrascon Huarte Lain SA, Gdańsk 2013.
5. *Monitoring terenu oraz obiektów budowlanych w ramach drążenia tunelu metodą TBM*, Obrascon Huarte Lain SA, Gdańsk 2013.
6. Projekt budowlany *„Połączenie Portu Lotniczego z Portem Morskim Gdańsk–Trasa Słowackiego" Zadanie IV Odcinek Węzeł Marynarki Polskiej–Węzeł Ku Ujściu TUNEL POD MARTWĄ WISŁĄ"*, Europrojekt Gdańsk Sp z o.o., SSF Ingenieure GmbH, Gdańsk, listopad 2010.
7. *Projekt monitoringu*, Obrascon Huarte Lain SA, Gdańsk 2013.
8. *Program zapewnienia jakości i organizacji robót, tunel drążony*, Obrascon Huarte Lain SA, Gdańsk 2013.
9. *Program zapewnienia jakości i organizacji robót. Mrożenie gruntu*, Obrascon Huarte Lain SA, Gdańsk 2014.
10. *Raport parametrów geotechnicznych*, Obrascon Huarte Lain SA, Gdańsk 2013.
11. *Raport z wymiany narzędzi tnących głowicy skrawającej TBM*, Obrascon Huarte Lain SA, Gdańsk 2013.

MIECZYSŁAW SZCZEPAŃSKI
mgr inż., Biuro Projektów „Metroprojekt" Sp. z o.o., ul. Solińska 19B, 02-142 Warszawa, tel. 602 260 338, e-mail: metroprojekt@metroprojekt.pl
STANISŁAW PĘSKI
mgr inż., Biuro Projektów „Metroprojekt" Sp. z o.o., ul. Solińska 19B, 02-142 Warszawa, tel. 602 260 335, e-mail: metroprojekt@metroprojekt.pl
GRZEGORZ MIROS
mgr inż., Biuro Projektów „Metroprojekt" Sp. z o.o., ul. Solińska 19B, 02-142 Warszawa, tel. 502 593 651, e-mail: miros@metroprojekt.pl

Problematyka projektowania metra na przykładzie Warszawy[1]

Streszczenie. Problematyka projektowania metra w Warszawie sięga lat 20. ubiegłego wieku, a dyskusja nad nią była wynikiem – z jednej strony szybkiego rozwoju miasta, z drugiej zaś rosnących trudności w dziedzinie transportu publicznego. W związku z tym Zarząd Tramwajów powziął 22 września 1925 roku uchwałę o opracowaniu projektu kolei podziemnej, która, jak to wskazywały doświadczenia innych państw, powinna była rozwiązać trudności komunikacyjne stolicy. W artykule, na tle kalendarium powstawania projektu metra w Warszawie, przedstawiono wymogi dla przygotowania jego projektu trasy i etapowania budowy I i II linii metra oraz konstrukcję i metody budowy obiektów na obydwu liniach . Wśród omówionych obiektów są stacje, tunele szlakowe wykonane metodą odkrywkową i metodą tarczową oraz nawierzchnia torowa.
Słowa kluczowe: metro, budowa metra, tunele, projektowanie metra

Wprowadzenie

Kalendarium projektu metra w Warszawie:

1927–1930 Rozpoczęto studia nad ukształtowaniem sieci metra i rozpoczęto badania geologiczne dla dwóch zasadniczych linii:
A – południe–północ (Mokotów–Muranów),
B – wschód–zachód (Wola–Praga).
Całością prac kierował inżynier Józef Lenartowicz, profesor Politechniki Warszawskiej.

1930–1938 Kontynuowano prace studialne nad docelowym układem sieci metra, współpracując z Katedrą Kolei Miejskich Politechniki Warszawskiej kierowaną przez profesora Józefa Lenartowicza. Rozpoznano stosowane technologie metra w Paryżu, Berlinie, Londynie i Atenach. Prezydent miasta Stefan Starzyński decyzją z 14 listopada 1938 roku utworzył przy Dyrekcji Tramwajów autonomiczną jednostkę – Biuro Studiów Kolei Podziemnej, pod kierownictwem inżyniera Jana Kubalskiego.

1938 Biuro Studiów Kolei Podziemnej prowadziło przygotowania do rozpoczęcia budowy. Wrzesień 1939 przerwał wszystkie prace.

1939–1945 W czasie okupacji nie przerwano prac studialnych. Większość opracowań zaginęła w zniszczonym podczas Powstania Warszawskiego biurze na Woli.

1945–1947 Prace BOS (Biura Odbudowy Stolicy) nad koncepcją transportu miejskiego w ramach projektu WZM (Warszawskiego Zespołu Miejskiego) prowadzą do zdefiniowania tras SKM (Szybkiej Kolei Miejskiej).

1948–1950 Powstaje projekt sieci SKM oraz projekt I linii metra w relacji północ–południe. Linia prowadzona jest na powierzchni terenu, w wykopach oraz w centralnej części miasta pod ziemią.

1951–1953 W grudniu 1950 roku uchwałą rządu zdecydowano o budowie w Warszawie metra głębokiego.
1 stycznia 1951 roku dotychczasowe biuro projektów SKM przekształcono w Państwowe Przedsiębiorstwo „Metroprojekt", wcielone z końcem roku jako jednostka samodzielna w strukturę Zjednoczenia Budownictwa Przemysłowego „Metrobudowa".
Rozpoczęto projekt i realizację pierwszych fragmentów metra w Warszawie. Działania trwały krótko. 29 października 1953 roku uchwałą rządu przerwano czasowo budowę metra (jak się okazało na prawie 30 lat), pozostawiając jednak B.P. „Metroprojekt" dla zachowania doświadczeń i kadry specjalistów.

1954–1982 B.P. „Metroprojekt" realizuje różnorodne projekty, niezwiązane z metrem. Przez cały ten czas nie gaśnie nadzieja na metro w Warszawie.
W latach tych opracowano:
- skrócony projekt wstępny na trasie północ–południe,
- wiele opracowań uzupełniających z dziedziny technologii metra,
- założenia generalne I linii metra płytkiego (Młociny–Służewiec) zatwierdzone przez władze Warszawy w 1964 roku,
- aktualizację Założeń Techniczno–Ekonomicznych (1969–1971),

[1] ©Transport Miejski i Regionalny, 2015. Wkład autorów w publikację: M. Szczepański 30%, S. Pęski 40%, G. Miros 30%.

1982–2008 Projektowanie i budowa I linii metra w Warszawie (Kabaty–Młociny).
2008–2015 Projektowanie i budowa odcinka centralnego II linii metra w Warszawie (Rondo Daszyńskiego–Dworzec Wileński).

Współczesne wymogi dla przygotowania projektu metra

Z bieżących doświadczeń B.P. „Metroprojekt" wynika następujący harmonogram przygotowań projektu metra w danej aglomeracji:

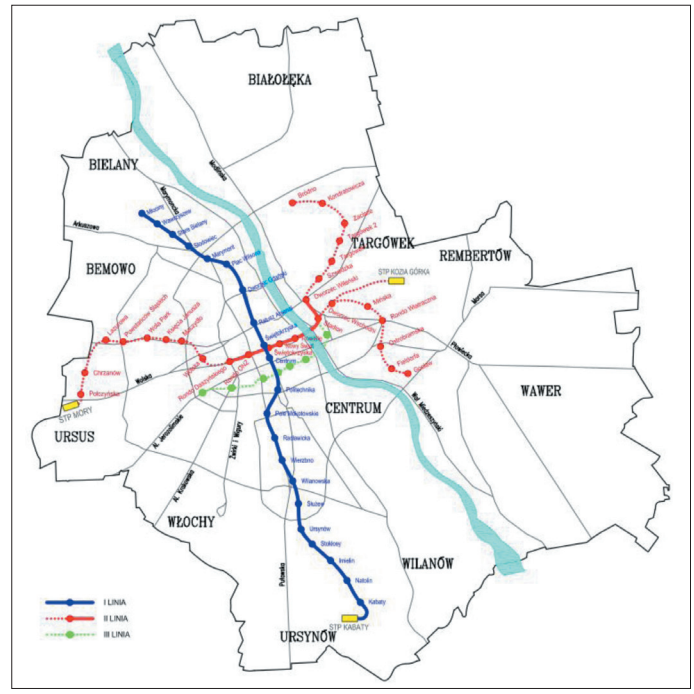
- Opracowanie docelowego przebiegu tras metra. W ramach tego opracowania należy:
  - wykonać studium istniejącego układu komunikacyjnego (z uwzględnieniem perspektywy),
  - wyznaczyć trasy o największym obciążeniu komunikacyjnym uzasadniających budowę metra,
  - wyznaczyć docelowe trasy linii metra oraz dokonać wyboru trasy metra do realizacji w pierwszym etapie,
  - ustalić właścicieli terenu, pod którymi przebiega trasa metra, oraz rozpoznać możliwość pozyskania ich dla realizacji projektu budowy metra,
  - wyznaczyć i uzyskać teren dla Stacji Techniczno-Postojowej.
- Opracowanie wariantowe „Studium wykonalności dla pierwszego etapu budowy". W ramach tego opracowania należy:
  - dokonać wyboru taboru metra,
  - opracować skrajnię dla tego taboru,
  - określić warunki gruntowo-wodne wzdłuż projektowanej trasy i dla STP,
  - opracować przebieg metra w planie z lokalizacją stacji i wentylatorni (węzły komunikacyjne, połączenia z centrami handlowymi, budynkami, uczelniami, dworcami PKP, PKS itp.),
  - opracować wariantowe profile metra w zależności od:
    - położenia infrastruktury podziemnej (konieczna inwentaryzacja),
    - położenia budynków i budowli w stosunku do trasy metra (obok trasy, nad trasą),
    - warunków gruntowo-wodnych,
  - opracować wariantowe rozwiązania stacji i tuneli szlakowych,
    - długość peronu,
    - stacje z peronami wyspowymi,
    - stacje z peronami bocznymi,
    - przekroje tuneli szlakowych,
  - opracować metody budowy stacji i tuneli szlakowych,
  - ustalić źródła zasilania metra w media (woda, energia elektryczna, ciepło),
  - podać instalacyjne wyposażenie metra,
  - podać wstępną ochronę przeciwpożarową metra,
  - wyznaczyć granice wpływu budowy metra na otoczenie,
  - wstępnie określić stan techniczny budynków i budowli w granicach wpływu budowy metra,
  - podać rozwiązania nawierzchni torowej,
  - podać zabezpieczenie budynków i ludzi w nich przebywających przed wpływami dynamicznymi od eksploatacji metra,
  - rozwiązać kolizje z uzbrojeniem podziemnym,
  - opracować organizację ruchu miejskiego na czas budowy metra,
  - oszacować koszty budowy dla opracowanych wariantów.
- Opracowanie raportu ochrony środowiska dla przedstawionych wariantów w studium wykonalności dla uzyskania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach inwestycji.
- Dokonanie wyboru wariantu budowy metra dla dalszych opracowań.
- Ogłoszenie konkursu na opracowanie wielobranżowej koncepcji budowy metra. Zwycięzca konkursu uzyskuje zlecenie na opracowanie projektu budowlanego z uzyskaniem pozwolenia na budowę.
- Opracowanie koncepcji wielobranżowej dla Stacji Techniczno-Postojowej.
- Opracowanie projektu budowlanego dla Stacji Techniczno-Postojowej z uzyskaniem pozwolenia na budowę.

Trasy i etapowanie budowy I i II linii metra w Warszawie

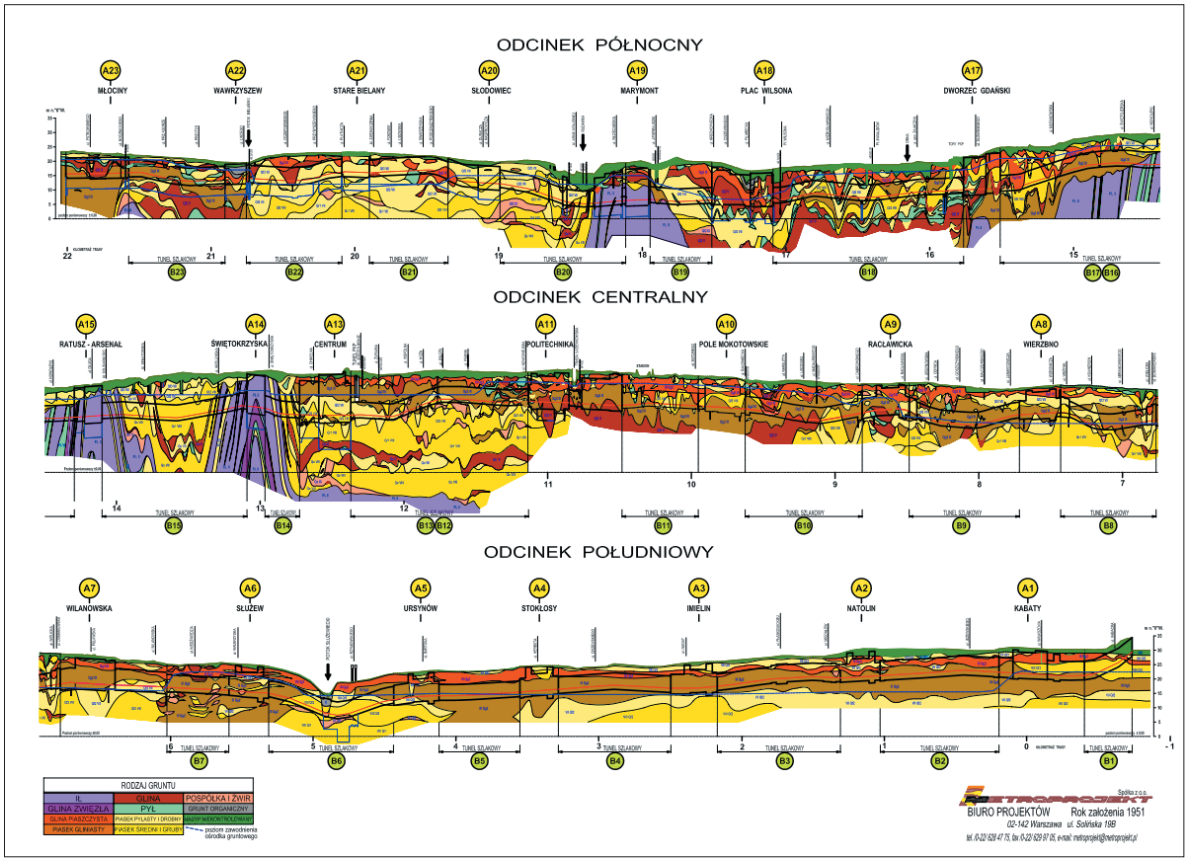
Etapowanie budowy linii metra

Obecnie zdefiniowany jest przebieg tuneli I i II linii metra w Warszawie (rysunek 1). Wybudowana I linia metra przebiega na kierunku południe–północ i ma długość 23 kilometry. Profil wykonanej linii przedstawiono na rysunku 2.

II linia metra (o długości około 28 kilometrów) – w budowie – łączy dzielnice miasta położone w części północno – wschodniej z dzielnicami położonymi w części zachodniej. Profil wykonanej linii na odcinku centralnym przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 1. Trasy metra w Warszawie



Rys. 2. Profil I linii metra w Warszawie

Projektowana III linia metra łączy dzielnicę południowo-wschodnią (Gocław) z częścią zachodnią miasta (rejon Dworca Zachodniego), lecz nie jest do końca zdefiniowana.

I i II linia metra przecinają się na stacji Świętokrzyska, gdzie możliwa jest między nimi przesiadka. II i III linia metra łączą się na stacji Stadion. Konstrukcję stacji Stadion wykonano tak, by docelowo umożliwić bezpośrednią przesiadkę między II i III linią metra.

O przyjętym obecnie etapowaniu budowy metra można mówić dla I i II linii metra, ponieważ realizacja III linii jest w odległej perspektywie.

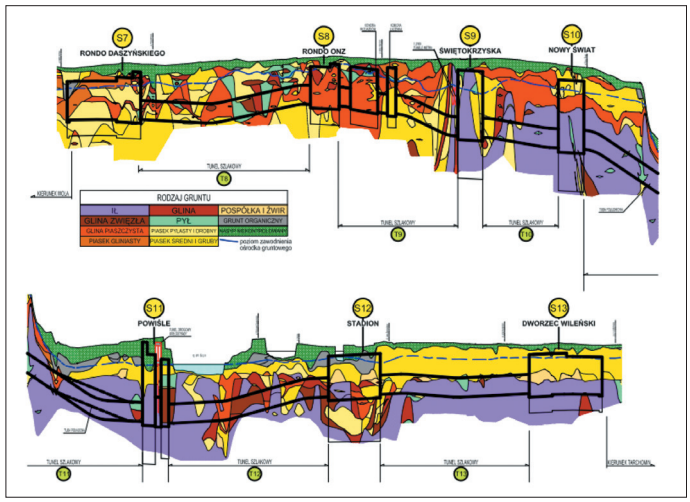
O etapowaniu budowy I linii metra zdecydował wybór lokalizacji Stacji Techniczno-Postojowej w Kabatach. Wybór lokalizacji STP Kabaty był wynikiem analizy wielu propozycji. STP Kabaty położona jest na końcu I linii metra w części południowej. Realizacja STP Kabaty i realizacja linii rozpoczęła się równolegle od południa.

Pierwszy etap realizacji obejmował odcinek metra od STP Kabaty do stacji Politechnika (o długości 11,0 kilometrów) i uruchomiony został w 1995 roku. Na tym odcinku zostały wybudowane tory odstawcze przed stacją Wilanowska i przed stacją Politechnika.

Następne etapy budowy i przekazywania do etapowania obejmowały krótkie odcinki (jedna lub dwie stacje z torami odstawczymi). Taki sposób budowy był podyktowany możliwościami finansowania realizacji z jednoczesnym wydłużeniem odcinka eksploatowanego.

Drugi etap obejmował odcinek od stacji Politechnika do stacji Centrum z torami odstawczymi (1998 rok).

Trzeci etap obejmował odcinek od stacji Centrum do stacji Ratusz z torami odstawczymi do zawracania (2001 rok).



Rys. 3. Profil II linii metra w Warszawie – odcinek centralny

Czwarty etap obejmował odcinek od stacji Ratusz do stacji Dworzec Gdański z torami odstawczymi (2003 rok).

Piąty etap obejmował odcinek Dworzec Gdański do stacji Plac Wilsona z torami odstawczymi (2005 rok).

Szósty etap obejmował odcinek od stacji Plac Wilsona do końcowej stacji Młociny z torami odstawczymi (2008 rok).

Od przekazania placu budowy wykonawcy do zakończenia realizacji I linii metra upłynęło nieco ponad 25 lat, a więc budowano przeciętnie, niespełna 1 kilometr rocznie. Tak długi czas budowy nie był uwarunkowany potencjałem projektowym i wykonawczym, ale możliwościami finansowymi.

Pomiędzy I i II linią metra zaprojektowano połączenie techniczne umożliwiające przejazd taboru metra między tymi liniami, a więc istnieje możliwość obsługi technicznej taboru metra II linii na Stacji Techniczno–Postojowej Kabaty. Z tego powodu budowę II linii metra rozpoczęto od odcinka centralnego o długości około 6,3 kilometra. Odcinek ten rozpoczyna się na stacji C9 Rondo Daszyńskiego z torami odstawczymi, a kończy się na stacji C15 Dworzec Wileński z torami odstawczymi. Następny etap obejmuje równoległą realizację metra na odcinkach zachodnim i wschodnim.

Drugi etap budowy od stacji C9 Rondo Daszyńskiego do stacji C6 Księcia Janusza z torami odstawczymi na zachód i od stacji C15 Dworzec Wileński do stacji C18 Targówek, z torami odstawczymi na wschód.

Trzeci etap budowy obejmuje odcinek od stacji C6 Księcia Janusza do stacji C4 Powstańców Śląskich, z torami odstawczymi na zachód i od stacji C18 Targówek do stacji C21 Brudno, z torami odstawczymi na wschód.

Czwarty etap budowy obejmuje odcinek od stacji C4 Powstańców Śląskich do stacji Techniczno–Postojowej Mory, łącznie z budową tej stacji.

Konstrukcja i metody budowy obiektów na I i II linii metra w Warszawie

Podstawowymi obiektami na I i II linii metra są stacje i tunele między nimi (tunele szlakowe). Konstrukcja tych obiektów, w wyniku zdobywania coraz lepszych doświadczeń własnych i poznawania obcych oraz możliwości zastosowania nowych materiałów i technologii budowy ulegała przez lata zmianom. Poniżej omówiono w sposób ogólny rozwiązania konstrukcji i technologii budowy stacji i tuneli szlakowych.

Stacje

Ze względu na przyjęcie podstawowego założenia dla I i II linii metra, że są typu płytkiego, na I linii metra pgs znajduje się poniżej terenu od 10–14,0 metrów, a tylko na stacji Centrum zagłębienie jest większe z powodu skrzyżowania z linią średnicową PKP.

Na II linii metra pgs znajduje się poniżej poziomu terenu w 12,0–13,0 metrów – a tylko w części centralnej, ze względu na skrzyżowanie z I linią metra, przejście pod budynkami na skarpie wiślanej oraz przejście pod Wisłą, pgs stacji Świętokrzyska, Nowy Świat i Powiśle – są zagłębione poniżej terenu, od 21,0 do 27,0 metrów.

Wszystkie stacje realizowane są metodą odkrywkową. Konstrukcja stacji żelbetowa monolityczna z zastosowaniem ścian szczelinowych lub żelbetowa ze ścianami i płytą denną monolityczną i stropami prefabrykowanymi (na odcinku południowym I linii metra).

Typy stacji

Na I linii metra od stacji Kabaty do stacji Słodowiec zastosowano stacje z peronami wyspowymi o szerokości od 10,0–12,0 metrów z wyjątkiem stacji Centrum, gdzie zastosowano perony boczne z powodu wcześniejszego wykonania konstrukcji zabezpieczającej pod torami PKP.

Perony boczne wykonano również na trzech końcowych stacjach (Bielany, Wawrzyszew, Młociny).

Metro na tym odcinku przebiega w pasie między jezdniami. Na podstawie przeprowadzonych analiz zdecydowano, że stacje i tunele szlakowe będą wykonane metodą odkrywkową.

Przyjęcie stacji z peronami bocznymi pozwoliło na wykonanie tuneli o jednakowych wymiarach w przekroju poprzecznym na całej ich długości i wypłycenie zagłębienia.

Na tym odcinku pgs jest położony około 6,0 metrów od powierzchni terenu.

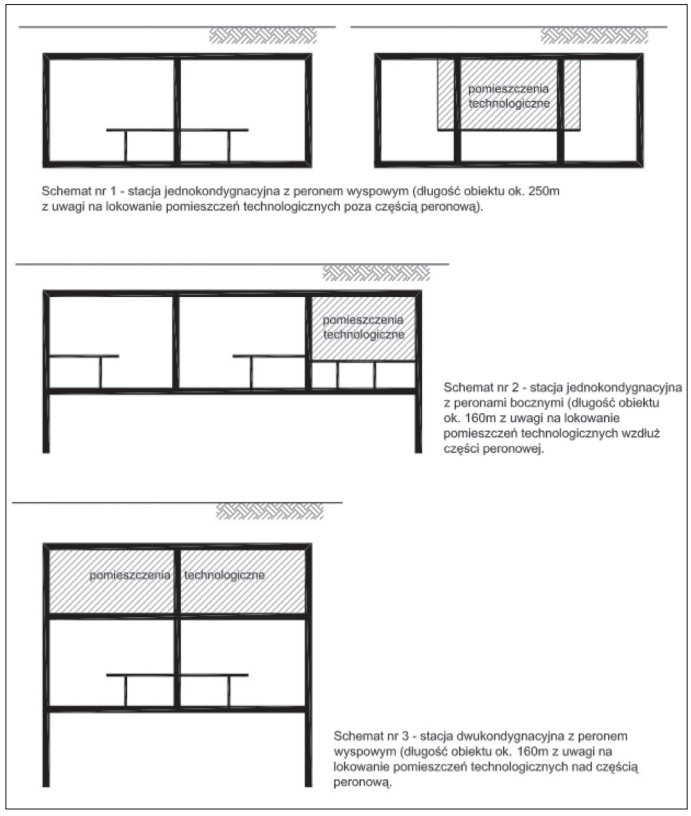
Uzyskano na tym odcinku wypłycenie metra o 5,0 metrów w stosunku do pozostałego odcinka i obniżenie kosztów budowy.

Na II linii metra, ze względu na zagłębienie niwelety toru, a także budowę tuneli szlakowych metodą tarczową, przyjęto stacje z peronami wyspowymi.

Na odcinku południowym I linii metra od stacji Kabaty do stacji Centrum długość stacji wynosi około 250 metrów. Długość została przyjęta przez analogię do rozwiązań w Pradze, Budapeszcie oraz dawnym Związku Radzieckim. Wynikała ona z przyjęcia, że obiekt był jednokondygnacyjny na długości hali peronowej i pomieszczeń technologicznych, a na tzw. antresolach (strefa wyjść na powierzchnie terenu) stacje miały dwa poziomy.

Szerokość stacji od 18,70 do 20,50 metra w zależności od szerokości peronu.

Schemat stacji przedstawiono na rysunku 4.



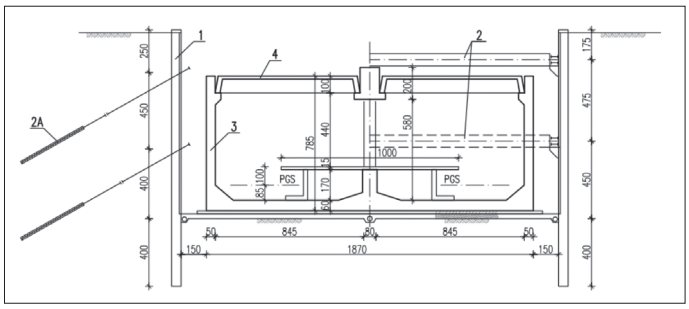
Rys. 4. Schematy konstrukcyjne stacji

Na pozostałym odcinku I linii metra od stacji Świętokrzyska do odcinka bielańskiego i na II linii metra przyjęto długość stacji około 160,0 metrów. Takie duże skrócenie uzyskano, wykorzystując przestrzeń nad halą peronową na dodatkową kondygnacją dla pomieszczeń technologicznych. Powstało w ten sposób ekonomiczniejsze rozwiązanie (rys. 4).

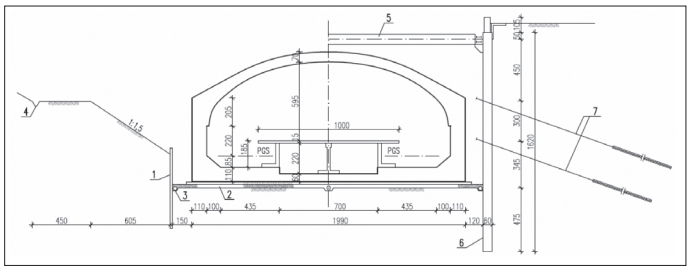
Metody budowy stacji

Przystępując do budowy metra, przedsiębiorstwa wykonawcze miały niewielkie doświadczenie w budowie obiektów podziemnych o zagłębieniu kilkunastu metrów. Najbardziej dostępna wówczas była obudowa ścian wykopu ze ścianki berlińskiej z rozporami. Taką metodę stosowano na odcinku od stacji Kabaty do stacji Pole Mokotowskie. Z biegiem czasu zamiast rozpór zastosowano dla przytrzymania ścianki berlińskiej kotwy gruntowe, które udostępniły całą przestrzeń wykopu do wykonania konstrukcji obiektu.

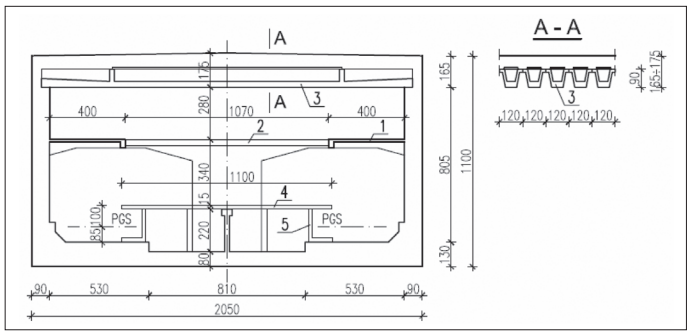
Po pomyślnych doświadczeniach ściany szczelinowe zostały zastosowane na pozostałych stacjach I linii metra oraz na stacjach centralnego odcinka II linii metra.



Rys. 5. Przekrój poprzeczny stacji z obudową wykopu na odcinku południowym I linii metra w Warszawie
1 – „ścianka berlińska", 2 – rozpory rurowe, 2A – kotwie gruntowe, 3 – monolityczna konstrukcja stacji, 4 – prefabrykowane płyty stropowe

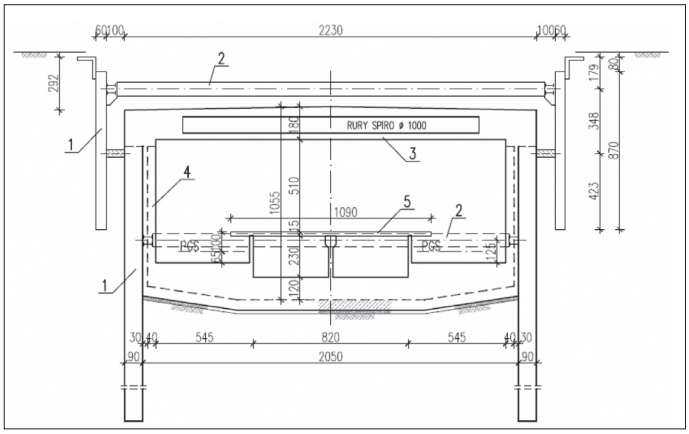


Rys. 6. Przekrój poprzeczny stacji łukowej z obudową wykopu
1 – ścianka szczelna, 2 – warstwa filtracyjna, 3 – drenaż, 4 – odwodnienie, 5 – rozpory rurowe, 6 – „ścianka berlińska", 7 – kotwie gruntowe

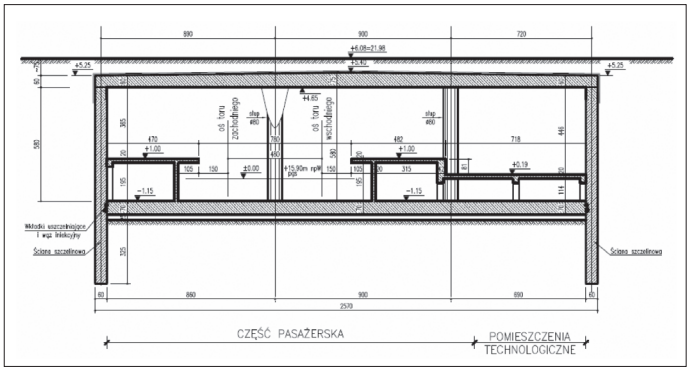


Rys. 7. Przekrój poprzeczny stacji Wilanowska na I linii metra w Warszawie
1 – galeria dla pieszych nad torowiskiem, 2 – kładka łącząca galerie, 3 – prefabrykaty stropowe, 4 i 5 – prefabrykowana płyta peronowa

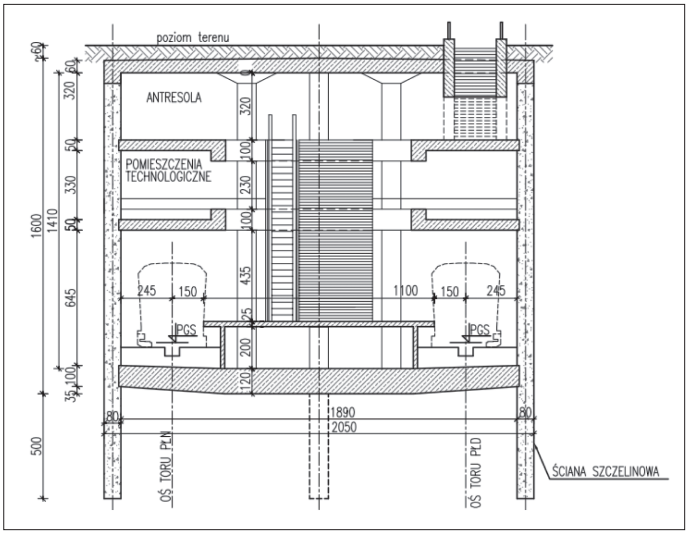
Z reguły stosuje się stropową metodę budowy. Oznacza to, że po wykonaniu ścian szczelinowych robi się stropy stacji, poczynając od stropu górnego oraz po wybraniu gruntu – stropy następne aż do płyty dennej. Stropy podpierane są na podporach tymczasowych, które są usuwane w miarę wykonywania od dołu podpór stałych. Stropy stacji stanowią rozparcie ścian szczelinowych. Poniżej przedstawiono przekroje pionowe konstrukcji i obudowy wykopu dla stacji na I i II linii metra (rysunki: 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13).



Rys. 8. Przekrój poprzeczny stacji Politechnika na I linii metra w Warszawie
1 – ściany szczelinowe, 2 – rozpory rurowe, 3 – żelbetowa płyta monolityczna, 4 – konstrukcja wewnętrzna, 5 – prefabrykowana płyta peronowa



Rys. 9. Przekrój poprzeczny stacji Młociny na I linii metra w Warszawie



Rys. 10. Przekrój poprzeczny stacji Rondo Daszyńskiego na II linii metra w Warszawie

Tunele szlakowe na I linii metra

Tunele szlakowe były wykonywane dwiema metodami:

- odkrywkową od Stacji Techniczno–Postojowej Kabaty do stacji Wilanowska i od stacji Marymont do stacji Młociny,
- tarczową od stacji Wilanowska do stacji Marymont.

Metoda odkrywkowa została zastosowana na odcinkach pozaśródmiejskim, a metoda tarczowa na odcinku w centrum miasta. Konstrukcja tuneli była żelbetowa monolityczna dla płyty dennej i ścian oraz stropy prefabrykowane żelbetowe. Przekroje poprzeczne tuneli przedstawiono na rysunkach: 11,12 i 13.

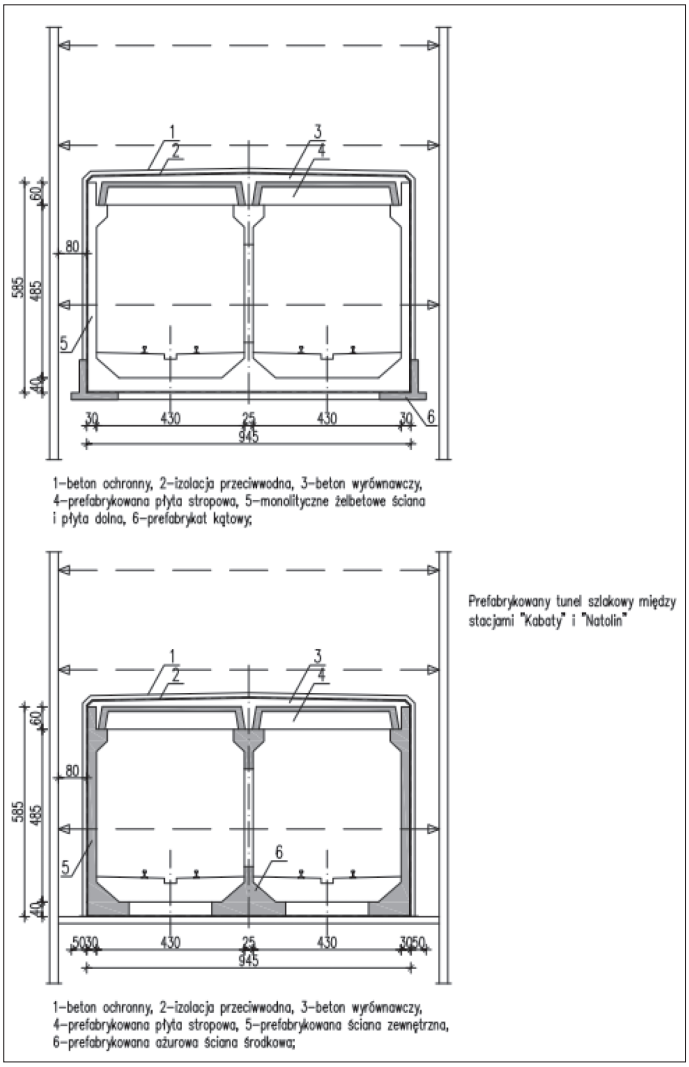
Do budowy tuneli wykonywanych metodą tarczową zastosowano obudowę żeliwną, skręcaną śrubami i uszczelnianą między tubingami ołowiem. W czasie rozpoczęcia budowy dysponowano tylko tarczą ręczną o małym postępie drążenia.

Tunele szlakowe na II linii metra

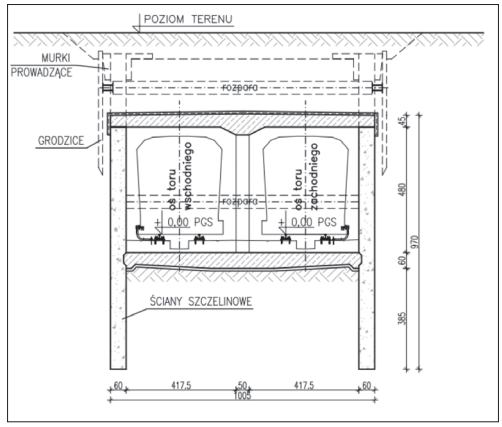
Na podstawie analizy warunków gruntowo – wodnych, wzdłuż projektowanego odcinka metra, autorzy koncepcji przyjęli, że najbardziej przydatnym urządzeniem do tunelowania będzie zmodyfikowana tarcza typu EPBS (Earth Pressure Balance Shield), zwana plastyfikatorową, gdyż umożliwia rozszerzenie zakresu stosowania techniki wyrównanych ciśnień do wyparcia przodka w gruntach niespoistych. Modyfikacja ta polega na wprowadzeniu do komory roboczej plastyfikatora w postaci gęstej zawiesiny iłowej lub piany polimerowej. Urobek gruntu sypkiego w tych warunkach nabiera cech plastycznego gruntu spoistego, staje się nieprzepuszczalny, a ściśnięty w komorze roboczej stanowi dobre wyparcie przodka, równoważąc ciśnienie wody gruntowej. Tego rodzaju tarcza w prosty i szybki sposób reaguje na zmianę warunków gruntowych na przodku. Dodatkową zaletą jest fakt tańszego przygotowania placu budowy, gdyż nie jest wymagana, jak w przypadku tarcz zawiesinowych, budowa zakładu separacji i regeneracji płuczki.

W koncepcji rozwiązania tuneli szlakowych przyjęto obudowę żelbetową, prefabrykowaną, w postaci zbieżnych pierścieni o wymiarach:

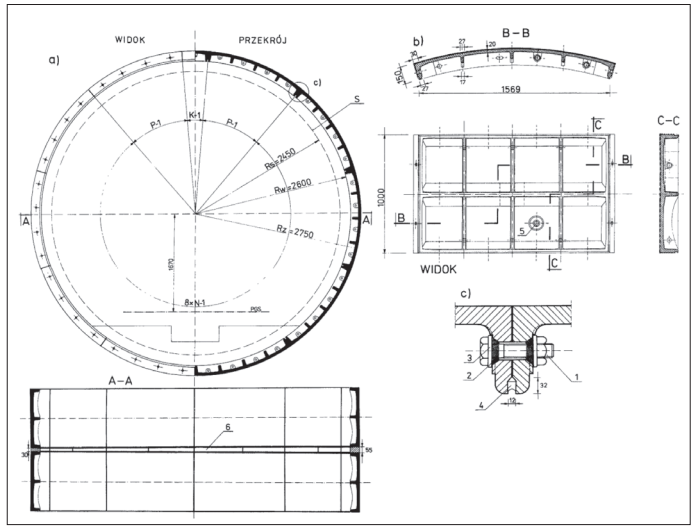
- średnica wewnętrzna pierścienia 5,40 metra,
- średnica zewnętrzna pierścienia 6,00 metrów,
- grubość ścianki pierścienia 0,30 metra,
- szerokość modularna pierścienia, w zależności od nośności układarki i podajnika bloków w tarczy, od 1,00 do 2,00 metrów.



Rys. 11. Przekrój poprzeczny tunelu szlakowego na odcinku południowym I linii metra w Warszawie



Rys. 12. Przekrój poprzeczny tunelu szlakowego na odcinku północnym I linii metra w Warszawie



Rys. 13. Przekrój poprzeczny tunelu tarczowego na odcinku centralnym I linii metra w Warszawie

a) widok i przekrój, b) tubing normalny N-1, c) szczegół złącza śrubowego,
1 – śruba M27, 2 – uszczelka bitumiczna, 3 – podkładka sferyczna, 4 – uszczelnienie ołowiem, 5 – otwór do iniekcji, 6 – wkładka klinowa

Pierścienie składają się z czterech bloków normalnych (N1 ÷ N4), dwóch bloków przykluczowych (P1, P2) i jednego bloku kluczowego (K). Każdy z bloków, z uwagi na zbieżność pierścienia, ma nieco inne wymiary i zajmuje w pierścieniu określone położenie. Zbieżność pierścieni oraz różne sekwencje ich wzajemnego układania muszą być tak dobrane, aby zapewnić uzyskanie krzywizn tunelu na łukach poziomych i pionowych zaprojektowanej trasy.

W odniesieniu do projektowanej żelbetowej obudowy segmentowej przewidziano uszczelnienie styków obudowy przez zastosowanie systemowych rozwiązań ściśliwych uszczelek neoprenowych lub etylopropylowych – są one wklejane w postaci zwulkanizowanych ramek do rowków na obrzeżach segmentów (najczęściej na placu budowy).

Oceniono, że w przypadku drążenia tarczą zmodyfikowaną typu EPBS, przy nakładzie minimalnym około 6,00 metrów (równym średnicy tarczy), średnie spodziewane osiadanie terenu w osi terenu nie powinno przekroczyć 10 milimetrów, a przy nakładzie większym – zmniejszy się proporcjonalnie do zagłębienia.

Przekrój poprzeczny tunelu szlakowego przedstawiono na rysunku 14.

Nawierzchnia torowa

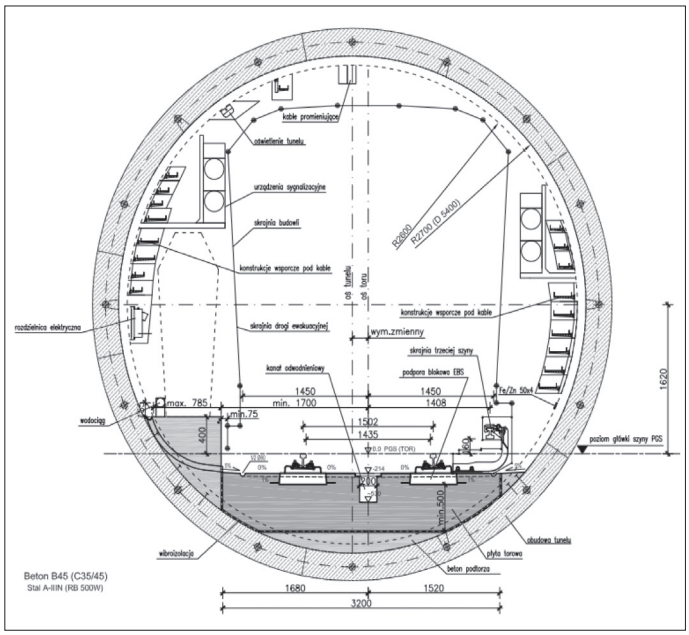
Nawierzchnię torową metra, pracującą w bardzo trudnych warunkach, tak ze względu na dużą intensywność ruchu pociągów (do 650 przejazdów na dobę), jak i na krótki czas na konserwację (około 2 h w przerwie nocnej), musi cechować:

- trwałość i niezawodność,
- niezmienność jej parametrów jako całości i stosowanych w niej elementów w miarę upływu czasu,
- prosta technologia wykonania i utrzymania,
- właściwości tłumiące drgania i hałas,
- skuteczna izolacyjność w celu zmniejszenia prądów błądzących,
- odpowiednia oporność w celu zapewnienia pracy obwodów sterowania ruchem pociągów,
- łatwość odwodnienia.

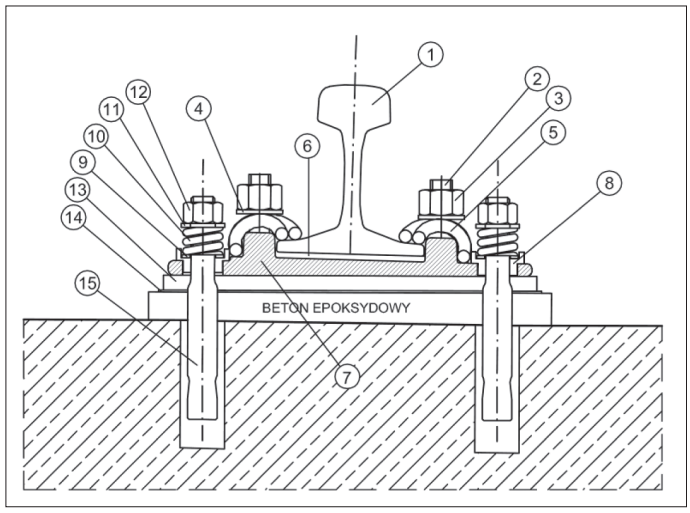
Zakres i wielostronność wymagań stawianych konstrukcji nawierzchni powodują, że zazwyczaj już podczas eksploatacji są prowadzone ciągłe prace nad jej ulepszeniem i nowymi rozwiązaniami. Nowoczesne materiały i technologie oraz współpraca z instytucjami naukowo-badawczymi dały wiele nowych, interesujących konstrukcji nawierzchni. Ich przydatność może być jednak oceniona dopiero po wieloletniej eksploatacji.

Specjaliści Metroprojektu założyli, że na I linii metra należy zastosować jedną z już sprawdzonych nawierzchni, dostosowując ją, bez ustępstw co do jakości, do krajowych materiałów i możliwości producentów. Ze względu na ujawnione w czasie eksploatacji wady, wyeliminowano nawierzchnię tłuczniową oraz najpowszechniej stosowaną w latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych nawierzchnię betonową z wtopionymi podkładkami. Mała wysokość konstrukcyjna nawierzchni w tunelu wykonanym metodą tarczową przesądziła o odrzuceniu skomplikowanych rozwiązań z zastosowaniem przekładek wibroizolacyjnych między podbudową a obudową tunelu. Zdecydowano zastosować bezpodkładową, beztłuczniową nawierzchnię typu klejonego, która w Pradze i Budapeszcie zdała egzamin praktyczny. Potwierdziły to dodatkowe badania przeprowadzone, dzięki uprzejmości Dyrekcji Metra w Pradze, przez polskich naukowców. Jej konstrukcja, po wprowadzeniu zmian mających na celu dostosowania do krajowych elementów nawierzchni kolejowych oraz usunięcie zauważalnych usterek, została przedstawiona na rysunku 15.

W podbudowie betonowej jest osadzony węzeł mocowania szyny. Podstawowym elementem przytwierdzającym szynę S60 są śruby kotwiące, wklejone w otwory wywiercone w podbudowie. Nierówności podbudowy eliminuje zastosowanie poduszek – podpór z plastobetonu. Klej i plastobeton są kompozycjami z żywic epoksydowych.



Rys. 14. Przekrój poprzeczny tunelu tarczowego na II linii metra w Warszawie



Rys. 15. Węzeł mocowania szyn z I linii metra w Warszawie – odcinek południowy i centralny
1 – szyna UIC60, 2 – śruba stopowa M22, 3 – nakrętka M22, 4 – podkładka płaska, 5 – łapka sprężysta Skl 3, 6 – przekładka podszynowa typu FC 584 Tiflex, 7 – podkładka żebrowa Pm 60, 8 – tulejka regulacyjna mimośrodowa, 9 – podkładka dolna, 10 – sprężyna śrubowa, 11 – podkładka górna, 12 – nakrętka M24, 13 – podkładka wibroizolacyjna typu FC 104 Tiflex, 14 – przekładka ochronna, 15 – śruba kotwiąca, Ø24/30

W konstrukcji zastosowano dwa stopnie wibroizolacji: pierwszy to współpraca między łapkami sprężystymi przytwierdzającymi szynę pod podkładki żebrowej a podkładką gumową pod jej stopką, drugi to współpraca sprężyn, umieszczonych na śrubach kotwiących z gumową podkładką wibroizolacyjną, usytuowaną pod podkładką żebrową.

Badania przeprowadzone na fragmencie toru pierwszego odcinka wskazały, że nawierzchnia odpowiada stawianym jej wymaganiom.

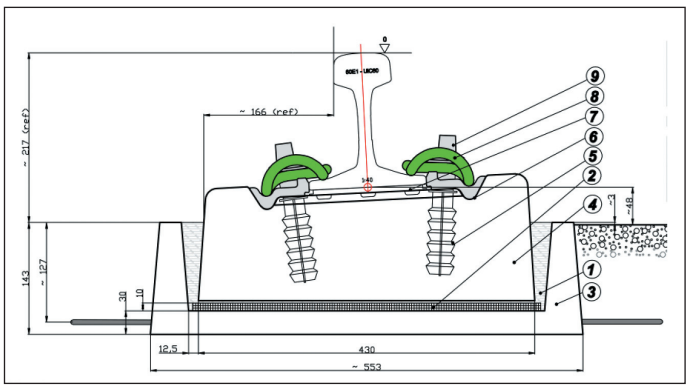
Nawierzchnia „klejona" jest eksploatowana od 1995 roku. Przez około 6 lat nie było także istotnych uciążliwości związanych z wpływem drgań na sąsiednią zabudowę. Wystąpiły one po wprowadzeniu do eksploatacji nowego typu wagonów Metropolis. Na odcinku od stacji Dworzec Gdański do stacji Marymont pojawiła się odczuwalna uciążliwość w postaci drgań, co było zgłaszane cyklicznie w skargach mieszkańców okolicznych budynków.

Skargi mieszkańców na drgania od eksploatacji metra oraz trudne warunki geotechniczne i charakter zabudowy na Bielanach wymagały innego podejścia do projektu nawierzchni na tym końcowym fragmencie I linii metra

Do analizy przyjęto nową nawierzchnię torową typu EBS, oferowaną przez firmę TINES, wyłącznego dystrybutora rozwiązań holenderskiej firmy Edilon BV. Rozwiązanie to, jako jedyne z rozwiązań niekonwencjonalnych systemów nawierzchni bezpodsypkowych, miało w owym czasie aprobatę techniczną CNTK oraz świadectwo dopuszczenia do eksploatacji typu budowli przeznaczonych do prowadzenia ruchu kolejowego, wydane przez Urząd Transportu Kolejowego RP.

System EBS (Embedded Block System) jest systemem bloków wklejanych w koryta za pomocą masy zalewowej Edilon Corkelast, która zapewnia trwałe i sprężyste mocowanie obu elementów. Bloki są wyposażone w sprężyste węzły mocowania szyn W14 typu Vossloh, a koryta w stalowe kotwy do mocowania w monolitycznym betonie płyty podtorowej i jako kompletne zestawy są dostarczone na budowę.

Wybrano typ nawierzchni o symbolu EBS LR 60E1-MS, który jest systemem konstrukcji toru dla lekkich kolei i metra, to znaczy pojazdów o nacisku osiowym do 160 kN (rysunek 16).



Rys. 16. Podpora blokowa Edilon EBS LR 60EI – MS
1 – masa zalewowa Edilon Corkelast, 2 – podkładka tłumiąca, 3 – korytko żelbetowe, 4 – blok żelbetowy, 5 – dybel mocujący, 6 – izolacja mocowania szyny, 7 – podkładka podszynowa, 8 – łapka sprężysta, 9 – śruba mocująca

Na podstawie przeprowadzonych przez zespół profesora Krzysztofa Stypułę z Politechniki Krakowskiej badań dynamicznych, w oparciu o wytyczne i zalecenia zespołu, wykonano projekt nawierzchni torowej z zastosowaniem podpór blokowych i mat wibroizolacyjnych pod płytą podtorową.

Po zakończeniu i przekazaniu do eksploatacji całego odcinka bielańskiego wykonano badania kontrolne w celu określenia rzeczywistego oddziaływania ruchu pociągów na zabudowę i ludzi. Pomiary drgań wykonano w tych samych budynkach, w których na tym odcinku przeprowadzono wcześniej badania tła dynamicznego i, które uwzględniono w analizie rozwiązań wibroizolacyjnych.

W odniesieniu do wszystkich badanych budynków stwierdzono, na podstawie przeprowadzonych pomiarów, że drgania wywołane przejazdami pociągów w tunelu metra nie są odczuwalne przez konstrukcję tych budynków. Analizy pomierzonych drgań nie wykazały również przekroczeń progu odczuwalności drgań przez ludzi.

Biorąc pod uwagę to, że podczas wykonania pomiarów drgania były wywołane przejazdami pociągów o bardzo zróżnicowanym stanie kół, można stwierdzić, że wyniki pomiarów w pełni potwierdziły skuteczność zastosowanego rozwiązania wibroizolacji nawierzchni szynowej metra na analizowanym odcinku bielańskim I linii metra w Warszawie.

Biorąc pod uwagę pozytywne wyniki badań na odcinku bielańskim, ten typ nawierzchni torowej zastosowano również na II linii metra w Warszawie.

Podsumowanie

1. Metro zalicza się do skomplikowanych obiektów inżynierskich. Jego projektowanie i realizacja wymaga pracy wielobranżowych zespołów specjalistów z doświadczeniem projektowym i realizacyjnym w tej dziedzinie.
2. Na etapie wstępnych i końcowych prac projektowych należy analizować rozwiązania warunkowe po to, aby w fazie końcowej otrzymać dobre rozwiązania pod względem funkcjonalnym, użytkowym i ekonomicznym.

Literatura

1. *Studia i projekty metra w Warszawie 1928-1958* – praca zbiorowa pod redakcją J. Rossmana, Wydawnictwo „Arkady", Warszawa 1962.
2. Artykuły projektantów z Biura Projektów „Metroprojekt" Sp. z o.o., „Inżynieria i Budownictwo", 1995, nr 1.
3. Szczepański M., Pęski St., *O budowie I linii metra w Warszawie*, „Inżynieria i Budownictwo", 2009, nr 8.
4. Domurad J., Miros G., *Rozwiązania konstrukcyjne i realizacja stacji Wawrzyszew i Młociny I linii metra w Warszawie*, „Inżynieria i Budownictwo", 2009, nr 8.
5. Gawlewicz U., *Tunel szlakowy B22 I linii metra w Warszawie,* „Inżynieria i Budownictwo", 2009, nr 8.
6. Stypuła K., Kozioł K., Miros G., *Rozwiązania nawierzchni torowych I linii metra w Warszawie*, „Inżynieria i Budownictwo", 2009, nr 8.
7. Pęski St., Dawidowski J. S., Miros G., Misiurek F., *Koncepcja centralnego odcinka II linii metra w Warszawie,* „Inżynieria i Budownictwo", 2009, nr 8.

STANISŁAW ALBRICHT
mgr inż., Pracownia Planowania i Projektowania Systemów Transportu Altrans, ul. Juliusza Lea 114, 30-133 Kraków, tel. 12 637 27 79, e-mail: altrans@altrans.krakow.pl
MACIEJ GÓRNIKIEWICZ
mgr inż., Pracownia Planowania i Projektowania Systemów Transportu Altrans, ul. Juliusza Lea 114, 30-133 Kraków, tel. 12 637 27 79, e-mail: altrans@altrans.krakow.pl

Metro w dokumencie „Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Krakowa”[1]

Streszczenie. Uchwalone przez Radę Miasta Krakowa w lipcu 2014 roku „Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Miasta Krakowa” zakłada dynamiczny rozwój miasta jako europejskiej metropolii, ośrodka nowoczesnej gospodarki i wysokich technologii, nauki, kultury, turystyki, przyjazne mieszkańcom, atrakcyjne dla zamieszkania i pobytu. Studium definiuje cztery wielkie „Projekty Strategiczne Miasta Krakowa”. Zakłada się, że tylko te projekty mogą, w okresie najbliższych 20 lat wygenerować około 100 tysięcy miejsc pracy, a wraz z nimi – spowodować przyrost około 150 tysięcy mieszkańców na terenie Krakowa i około 50 tysięcy w obszarze podmiejskim. Jednym z podstawowych warunków spełnienia postawionych celów jest rozwój i zrównoważenie systemu transportu, którego istotą są działania mające na celu zapewnienie najbardziej korzystnego – z punktu widzenia jakości środowiska oraz przyjętej wizji rozwoju miasta – podziału zadań przewozowych, tzn. z preferencją dla środków transportu zbiorowego, dla ruchu pieszych i rowerów oraz kontrolę komunikacji indywidualnej poprzez wprowadzanie ograniczeń w dojazdach do wybranych obszarów miasta, ze szczególnym uwzględnieniem centrum. Jednocześnie muszą być prowadzone intensywne działania na rzecz podnoszenia atrakcyjności systemu komunikacji zbiorowej oraz komunikacji pieszej i rowerowej. Biorąc pod uwagę dotychczasowe doświadczenia Krakowa i doświadczenia innych miast, w tym zakładany w studium rozwój gospodarczy i towarzyszący mu wzrost mobilności mieszkańców oraz konieczną zmianę podziału zadań przewozowych, potrzeby przewozowe transportu zbiorowego mogą wzrosnąć nawet dwukrotnie. Przepustowość istniejącego, promienisto-obwodnicowego modelu sieci tramwajowej jest już obecnie, w kluczowych węzłach I i II obwodnicy, na granicy wyczerpania. Sytuacja osiągnie wartość krytyczną po zrealizowaniu kolejnych, planowanych na najbliższe lata tras tramwajowych. Przy założonym scenariuszu rozwoju miasta i obszaru podmiejskiego konieczne będzie wdrożenie nowego środka, niezależnego od zabudowy i uwarunkowań transportu naziemnego, który może zapewnić sprawną obsługę komunikacyjną rozwiniętego miasta – metra.

Słowa kluczowe: transport pasażerski, transport zbiorowy, metro, rozwój miasta

Wizja rozwoju miasta

Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Miasta Krakowa przyjęte zostało Uchwałą Nr CXII / 1700 / 14 Rady Miasta Krakowa w dniu 9 lipca 2014 roku [1].

Studium jest dokumentem określającym długookresową politykę przestrzenną miasta, do roku 2030, zawierającą nowe wskazania do przestrzennego rozwoju, zgodnie z przyjętą w Strategii Rozwoju Krakowa wizją: „Kraków – metropolia dumna z historycznego dziedzictwa, otwarta, silna gospodarczo i naukowo, bezpieczna i przyjazna, współtworzona przez świadomych mieszkańców”.

Studium dostosowane zostało do potrzeb miasta innowacyjnego i otwartego wobec wyzwań, jakie będą przed nim stały w najbliższych dekadach, czyli wzmocnienia roli Krakowa jako stolicy Małopolski, prężnej europejskiej metropolii, ośrodka nowoczesnej gospodarki i wysokich technologii, nauki, kultury, turystyki, przyjazne mieszkańcom, atrakcyjne dla osiedlenia się i pobytu.

Studium, zakładające dynamiczny rozwój miasta, między innymi w dziedzinach nowoczesnej gospodarki, nauki i przemysłu wysokich technologii, definiuje cztery wielkie „Projekty Strategiczne Miasta Krakowa”:

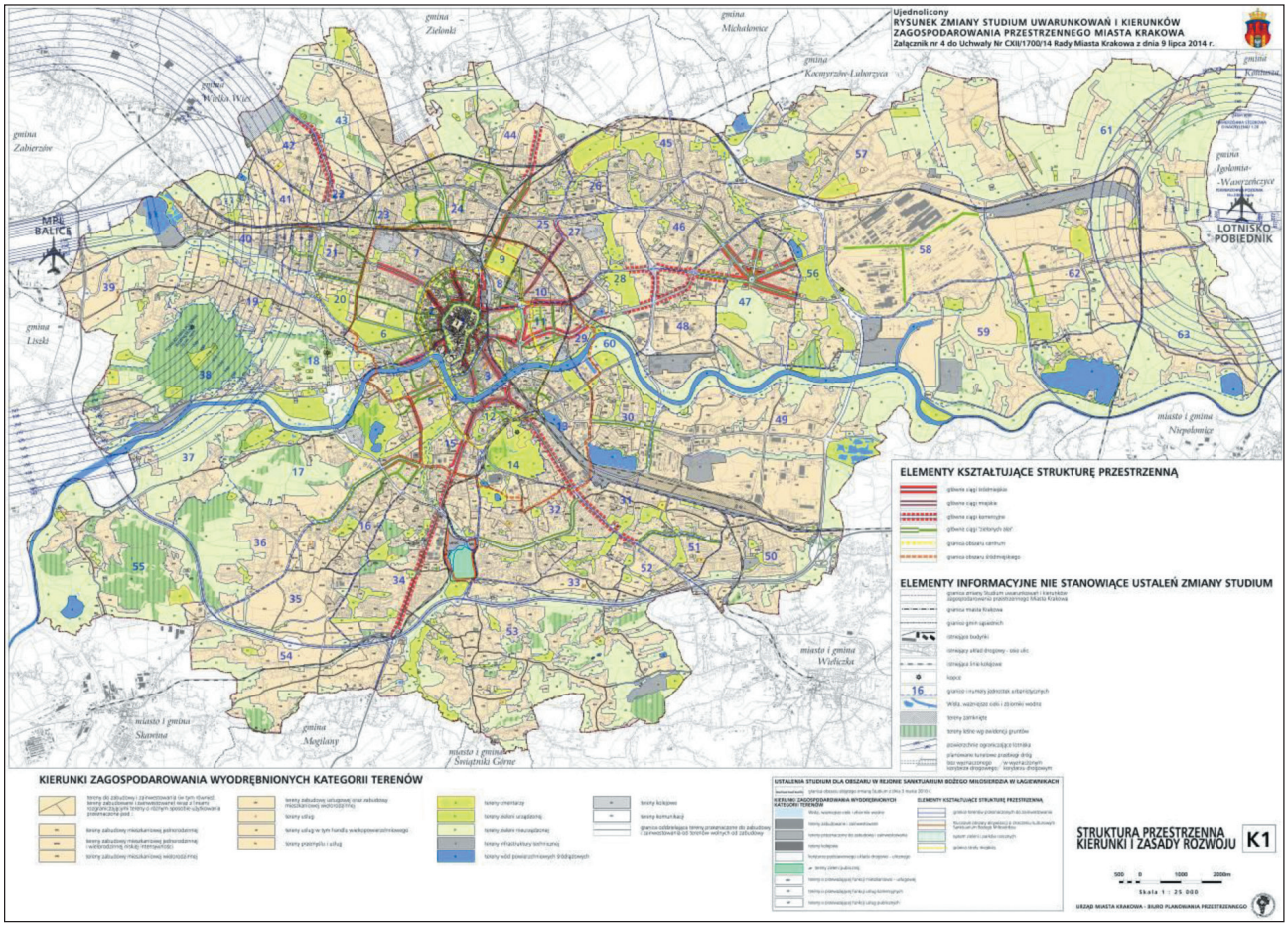
- „Balice" pakiet projektów o charakterze metropolitalnym;
- „Park Rzeki Wisły” przebudowa/rewitalizacja terenów nadbrzeżnych Wisły;
- „Płaszów–Rybitwy” wdrażanie m.in. projektów zmian strukturalnych terenów poprzemysłowych i pokolejowych, przekształcających ich dotychczasowe ekstensywne użytkowanie w kierunku funkcji komercyjnych, biurowych, przemysłu wysokich technologii;
- „Kraków–Nowa Huta Przyszłości” kompleksowa rewitalizacja obszarów poprzemysłowych dla stworzenia największej rezerwy terenów inwestycyjnych miasta jako przyciągającej biznes przestrzeni miejskiej.

Zakłada się, że tylko te projekty mogą w okresie najbliższych 20 lat wygenerować około 100 tysięcy miejsc pracy.

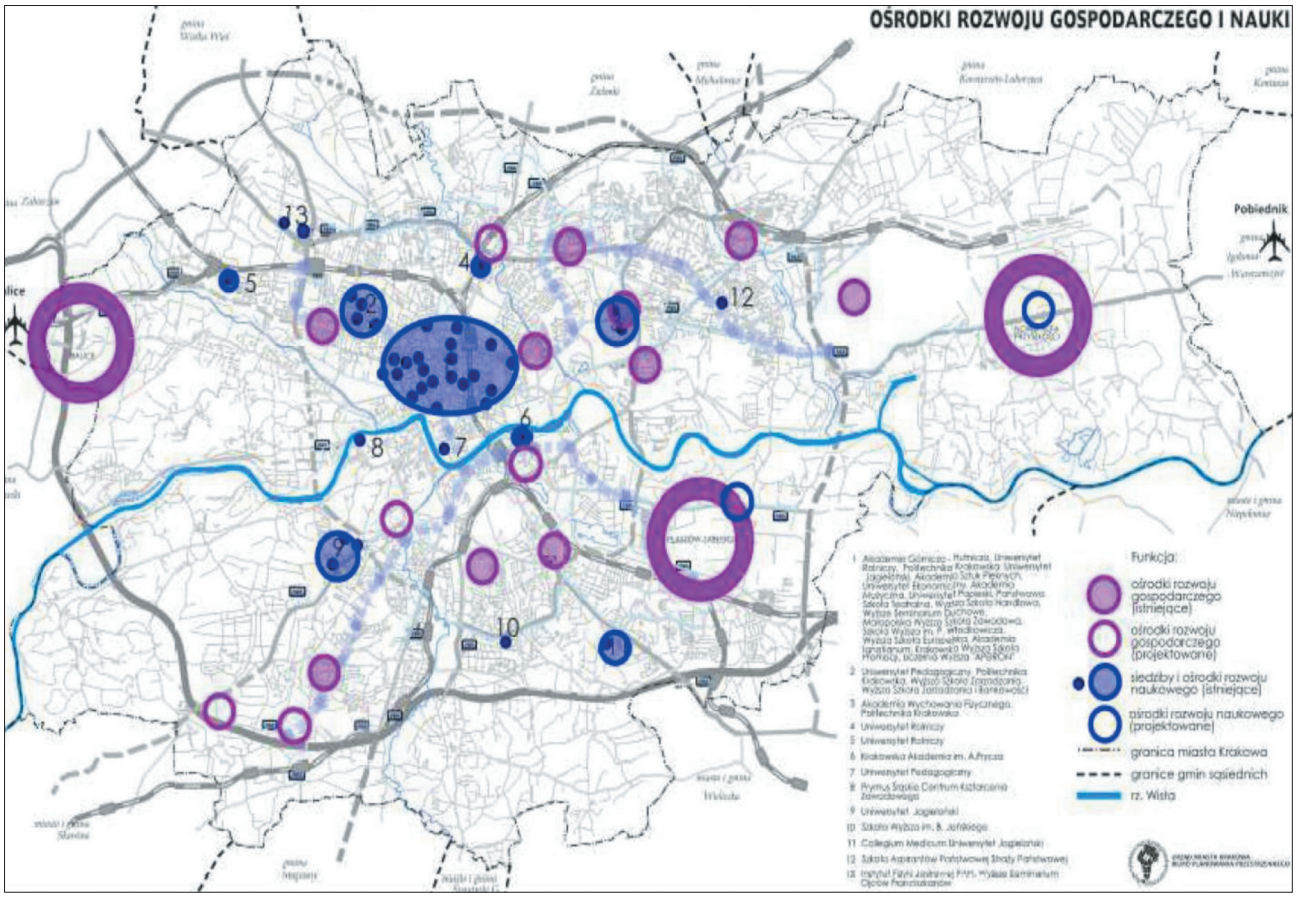
Polityka transportowa miasta Krakowa

Studium utrzymuje dotychczasowe główne założenia dotyczące prowadzonej polityki transportowej miasta, w duchu zasady zrównoważonego rozwoju. System transportu, w myśl tej zasady, powinien umożliwiać harmonijne współdziałanie ze środowiskiem naturalnym i kulturowym, a wewnętrznie – chronić komunikację zbiorową i niezmotoryzowaną przed degradacją ze strony motoryzacji indywidualnej, a także – racjonalnie umożliwiać maksymalną dostępność miejsc aktywności dla mieszkańców.

[1] ©Transport Miejski i Regionalny, 2015. Wkład autorów w publikację: St. Albricht 50%, M. Górnikiewicz 50%.



Rys. 1. Struktura przestrzenna i kierunki rozwoju
Źródło: SUIKZP MK 2014

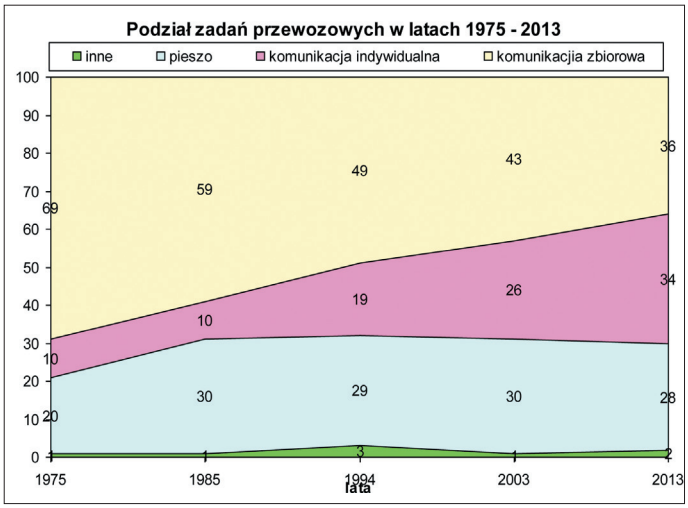


Rys. 2. Ośrodki rozwoju gospodarczego i nauki
Źródło: SUIKZP MK 2014

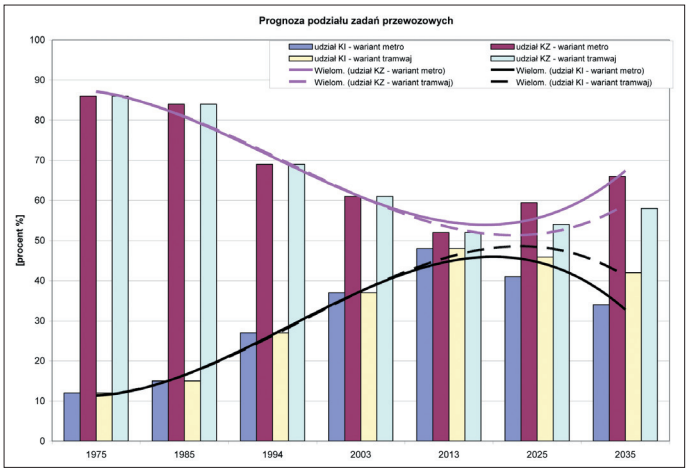
W dziedzinie transportu istotą zrównoważenia rozwoju są działania mające na celu zapewnienie najbardziej korzystnego – z punktu widzenia jakości środowiska oraz przyjętej wizji rozwoju miasta – podziału zadań przewozowych tzn. z preferencją dla środków transportu zbiorowego oraz dla ruchu pieszych i rowerów, kontrolę komunikacji indywidualnej poprzez wprowadzanie ograniczeń w dojazdach do wybranych obszarów miasta, ze szczególnym uwzględnieniem centrum. Należy dążyć do zmniejszenia popytu na ruch samochodowy, poprzez m.in. sterowanie podażą miejsc postojowych lub dostępnością wybranych obszarów, a przede wszystkim poprzez takie kształtowanie struktury przestrzenno-użytkowej, która zapewni z jednej strony maksymalną dostępność wszystkich miejsc aktywności, a z drugiej sprzyjać będzie podróżom środkami transportu zbiorowego oraz pieszo-rowerowym. Jednocześnie muszą być prowadzone intensywne działania na rzecz podnoszenia atrakcyjności systemu komunikacji zbiorowej oraz komunikacji pieszej i rowerowej.

Tendencje ostatnich 20 lat stale zwiększającego się ruchu samochodowego oraz odpływu pasażerów z komunikacji zbiorowej powodują konieczność podjęcia skutecznych działań zmierzających do odwrócenia tego trendu. Uwzględniając dotychczasowe dokumenty strategiczne miasta (Strategia Rozwoju Krakowa, Zintegrowany plan rozwoju transportu publicznego na lata 2007–2013, Polityka transportowa Miasta Krakowa na lata 2007–2015), Studium zakłada osiągnięcie do roku 2030 (2035) następującego podziału zadań przewozowych:

- ruch pieszy 30%,
- ruch rowerowy 15–10%,
- komunikacja zbiorowa 37–38%,
- komunikacja indywidualna 18–22%.



Rys. 3. Zmiana podziału zadań przewozowych w Krakowie w latach 1975–2013
Źródło: opracowanie własne



Rys. 4. Prognoza podziału zadań przewozowych w Krakowie do roku 2035
Źródło: SUIKZP MK 2014

Dla realizacji powyższego celu nie wystarczą tylko administracyjne ograniczenia ruchu samochodów poprzez np. wprowadzanie stref płatnego parkowania czy ograniczonego ruchu. Kluczowa jest rozbudowa sieci transportu zbiorowego, z niezbędną budową nowego, szynowego środka transportu, o znacznej zdolności przewozowej i bezkolizyjnym przebiegu.

Potrzeby i możliwości przewozowe

Przedkłada się kierunki rozwoju transportu w horyzoncie opracowania studium, określonym na rok 2030, biorąc jednak pod uwagę perspektywę dalszego rozwoju potrzeb transportowych w późniejszym czasie i ewentualnych możliwości ich zaspokojenia. W związku z tym, że koncepcja rozmieszczenia programu urbanistycznego do roku 2030 umożliwia dalszy rozwój miasta, przez umieszczenie w różnych lokalizacjach nowych miejsc pracy i zamieszkania, oszacowano, że w tym okresie powinien nastąpić przyrost około 100 tysięcy miejsc pracy na terenie Krakowa, a wraz z nim – dodatkowej liczby mieszkańców: około 150 tysięcy osób na terenie Krakowa i około 50 tysięcy w obszarze podmiejskim. Przewidywana ogólna liczba użytkowników komunikacji w mieście, uwzględniając mieszkańców Krakowa (z doliczeniem krótkich pobytów) oraz dojeżdżających codziennie do Krakowa, wyniosłaby 1200 tysięcy (przy szacowanej na stan obecny liczbie 1000 tysięcy). Ogólną liczbę miejsc pracy założono na poziomie 500 tysięcy (przy szacowanej na stan obecny liczbie 400 tysięcy).

Biorąc pod uwagę dotychczasowe doświadczenia Krakowa i doświadczenia innych miast, w tym zakładany w studium rozwój gospodarczy i towarzyszący mu wzrost mobilności mieszkańców oraz konieczną zmianę podziału zadań przewozowych, potrzeby przewozowe transportu zbiorowego mogą wzrosnąć nawet dwukrotnie, przy stabilizacji potrzeb transportu indywidualnego na poziomie obecnym.

Rozwój gospodarczy w zakładanym wymiarze uwarunkowany jest od zapewnienia znacznie wyższej niż obecnie dostępności komunikacyjnej obszarów rozwojowych.

Przepustowość istniejącego promienisto-obwodnicowego modelu sieci tramwajowej jest już obecnie, w kluczowych węzłach I i II obwodnicy, na granicy wyczerpania. Sytuacja osiągnie wartość krytyczną po zrealizowaniu kolejnych, planowanych na najbliższe lata tras tramwajowych. Przy założonym scenariuszu równoczesnego, znaczącego rozwoju potencjału ludności, miejsc pracy i nauki oraz niezbędnej, sukcesywnej zmiany podziału zadań przewozowych, przy zastanych, bardzo trudnych do pokonania uwarunkowaniach, hamujących niezbędny rozwój podsystemu tramwajowego w jego węzłowej, śródmiejskiej części – konieczne

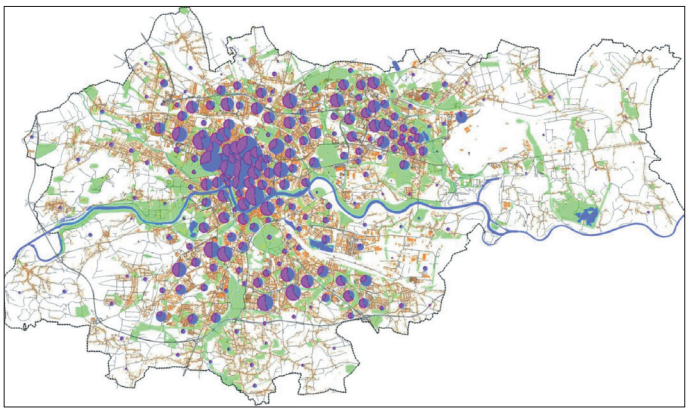
będzie wdrożenie nowego środka, niezależnego od zabudowy i uwarunkowań transportu naziemnego, który może zapewnić sprawną obsługę komunikacyjną rozwiniętego miasta.

Nowy środek transportu szynowego powinien realizować dwa podstawowe cele:

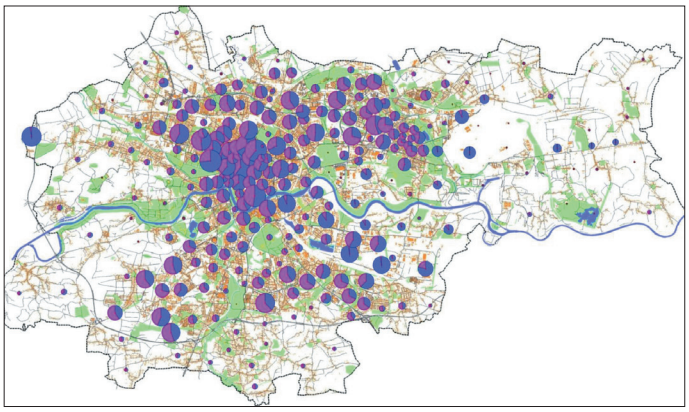
- osiągnięcie zrównoważonego systemu transportu dla zapewnienia wysokiej jakości życia, poprzez: przywrócenie dobrej jakości środowiska – uzyskania normatywnych stanów powietrza i hałasu, zapewnienie wysokiej dostępności przewozowej i czasowej kluczowych obszarów miasta oraz odzyskanie (rewitalizacja) przestrzeni miejskich dedykowanych zieleni pieszym i rowerzystom;
- uzyskanie wysokosprawnego systemu transportu dla znaczącego, zgodnie z założeniami studium, rozwoju społeczno-gospodarczego, poprzez zdolność miastotwórczą, w tym stymulowania rozwoju i rewitalizacji wskazanych w studium obszarów.

Środkiem transportu – zdolnym do spełnienia powyższych celów ze względu na wieloaspektową atrakcyjność – jest metro, funkcjonujące z powodzeniem w europejskich ośrodkach metropolitalnych różnej wielkości.

Nie precyzując z góry parametrów technicznych i cech użytkowych metra dla Krakowa, trzeba przyjąć, że pod tą nazwą należy rozumieć szynowy środek transportu o znacznej zdolności przewozowej i bezkolizyjnym przebiegu (w tunelu, na poziomie terenu czy na estakadzie).



Rys. 5. Generacja ruchu rejonów komunikacyjnych – rok 2010
Źródło: SUIKZP MK 2014



Rys. 6. Generacja ruchu rejonów komunikacyjnych – rok 2030
Źródło: SUIKZP MK 2014

Rozwój systemu transportu zbiorowego

Dostępność zewnętrzna

Studium zakłada, że pociągi dalekobieżne i regionalne korzystać będą z istniejących, zmodernizowanych linii kolejowych w kierunku Trzebini, Tunelu, Tarnowa, Wieliczki, Skawiny, Balic. Pociągi zatrzymywać się będą na istniejących lub nowych dworcach: Bronowice, Kraków Główny, Zabłocie, Bieżanów. W okresie perspektywicznym, zgodnie z planami krajowymi, Kraków uzyska również dostęp do Kolei Dużych Prędkości (KDP). Pociągi KDP zatrzymywać się będą na dwóch dworcach: Kraków Główny i nowym Kraków Zabłocie. Obydwa dworce staną się największymi węzłami komunikacyjnymi Krakowa. Tędy przebiegać będą linie metra, tramwajowe i autobusowe z usytuowanymi tu terminalami i parkingami. W zakresie połączeń kolejowych Krakowa i aglomeracji krakowskiej zakłada się wprowadzenie nowego elementu systemu transportowego – Szybkiej Kolei Aglomeracyjnej (SKA). Dla lepszej dostępności komunikacyjnej miasta przewiduje się budowę 21 nowych przystanków. SKA będzie również realizować przewozy wewnątrzmiejskie. Wprowadzenie SKA wymusza rozbudowę o drugą parę torów istniejącego centralnego odcinka szlakowego od stacji Kraków Główny do stacji Bieżanów.

Rozbudowany do roku 2016 do przepustowości 8 milionów, a do roku 2030 do 12 milionów pasażerów rocznie, MPL Kraków–Balice będzie głównym i najważniejszym „oknem na świat" Krakowa. Nastąpi również przebudowa układu komunikacyjnego wokół portu, z nową lokalizacją węzła autostrady A-4, nowym połączeniem kolejowym i drogowym z centrum miasta. Nowy układ komunikacyjny jest też warunkiem realizacji projektu „Balice".

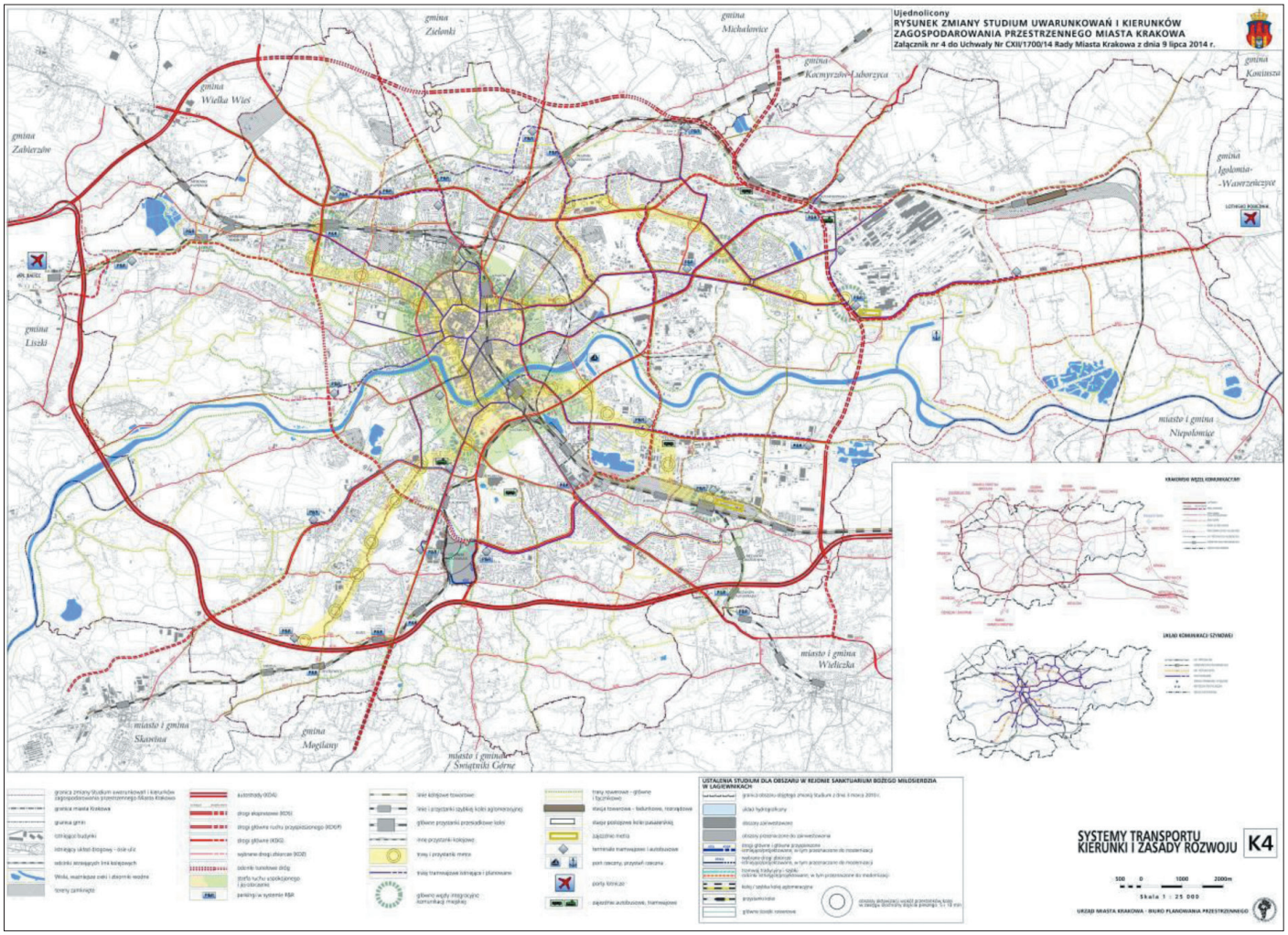
Komunikacja autobusowa dalekobieżna obsługiwana będzie, jak obecnie, przez Regionalny Dworzec Autobusowy przy dworcu kolejowym Kraków Główny. Przewiduje się zatrzymanie aglomeracyjnych linii autobusowych i mikrobusowych przed obszarem śródmiejskim, w węzłach integrujących, usytuowanych w miejscach umożliwiających przesiadkę pasażerów do miejskiej komunikacji szynowej: tramwajowej, kolejowej, metra, wspólnych z parkingami systemu P&R.

Dostępność wewnętrzna

Podstawowym środkiem transportu Krakowa, obok tramwaju i szybkiej kolei aglomeracyjnej, będzie **metro**. Przewiduje się, że w okresie perspektywicznym miasto powinno być obsługiwane trzema liniami: A, B i C.

Proponowany przebieg linii metra wynika z uwzględnienia następujących kryteriów funkcjonalno-ruchowych:

- zgodności z prognozowanymi kierunkami największych przemieszczeń pasażerskich;
- przebiegu przez tereny już dzisiaj intensywnie zagospodarowane, ale posiadające jeszcze rezerwy terenowe, a nie obsługiwane przez komunikację szynową;
- zgodności z kierunkami przyszłego rozwoju miasta – obszarami najwyższej intensywności;



Rys. 7. Systemy transportu kierunki i zasady rozwoju
Źródło: SUIKZP MK 2014

- wzrostu dostępności komunikacyjnej obszaru centralnego;
- lokalizacji stacji w węzłach integrujących z liniami kolejowymi, tramwajowymi, autobusowymi, również parkingami P&R i terminalami autobusowymi na obrzeżach miasta i II obwodnicy z możliwością przejęcia dużego ruchu zewnętrznego;
- obsługi peryferyjnych, intensywnie zagospodarowanych obszarów miasta;
- odciążenia linii tramwajowych na odcinkach prognozowanych przekroczeń przepustowości.

W oparciu o powyższe kryteria zostały zaproponowane wstępnie następujące linie:

- **Linia A**. Stacja techniczno-postojowa (STP) i pierwsza stacja Igołomska w rejonie zewnętrznego węzła integrującego z drogą S-7 (możliwa opcja przedłużenia do „Nowej Huty Przyszłości"), al. Jana Pawła II / ul. Klasztorna, ul. Przyjaźni (Plac Centralny), Rondo Kocmyrzowskie, al. gen. Władysława Andersa / ul. Marii Dąbrowskiej, ul. Dobrego Pasterza / Izydora Stella-Sawickiego, ul. Dobrego Pasterza / Franciszka Bohomolca, Rondo Barei, Rondo Młyńskie, al. Jana Pawła II / Janusza Meissnera, al. Jana Pawła II / Cystersów, Rondo Mogilskie, dworzec Kraków Główny, Rynek Kleparski (ul. Basztowa), AGH, ul. Królewska / Kijowska, ul. Piastowska / Juliusza Lea, ul. Armii Krajowej / Przybyszewskiego (możliwa opcja przedłużenia do MPL Kraków–Balice i projektu „Balice), ul. Armii Krajowej / Zarzecze, zewnętrzny węzeł integrujący Bronowice.
  Długość linii wyniesie 20 kilometrów, liczba przystanków 20;
- **Linia B**. Stacja techniczno-postojowa (STP) Bieżanów dworzec, ul. Biskupińska, Mały Płaszów, ul. Nowohucka / Stoczniowców, ul. Przewóz, ul. Stanisława Klimeckiego / Jana Dekerta, dworzec Kraków Zabłocie, Rynek Podgórski, ul. Krakowska / Józefa Dietla, (opcjonalnie ul. Podgórska / ul. Mostowa, ul. św. Stanisława), ul. Straszewskiego / Zwierzyniecka, AGH – połączenie z linią A (możliwa opcja przedłużenia do Nowego Kleparza).
  Długość linii wyniesie 10 kilometrów, liczba przystanków 11;
- **Linia C**. Stacja techniczno-postojowa (STP) Kliny MOP (opcjonalnie Kliny / Zakopiańska) zewnętrzny węzeł integrujący, ul. Komuny Paryskiej / Wojciecha Marii Bartla, ul. Zawiła / Borkowska, ul. 8. Pułku

Ułanów / Karola Szczerbińskiego, ul. 8. Pułku Ułanów / Trasa Łagiewnicka, ul. 8. Pułku Ułanów / Stefana Grota-Roweckiego, Rondo Matecznego, ul. Legionów Józefa Piłsudskiego – do połączenia z linią B (możliwa opcja przedłużenia dworzec Zabłocie, al. Pokoju / Rogozińskiego, al. Jana Pawła II / Cystersów, do połączenia z linią A).
Długość linii wyniesie 8 kilometrów, liczba przystanków 8.

Ważnym miejskim środkiem komunikacji szynowej, obok metra, pozostanie **tramwaj**. Przewiduje się utrzymanie wszystkich istniejących linii tramwajowych. Ponadto, dla uzupełnienia systemu SKA–metro–tramwaj i objęcia komunikacją szynową wszystkich intensywnie zagospodarowanych obszarów miasta, przewiduje się realizację następujących tras tramwajowych:

- Salwator – Przegorzały, Krowodrza Górka – Azory/Bronowice, Krowodrza Górka – Górka Narodowa, al. Pokoju – Stelli-Sawickiego – Piastów przystanek kolejowy, Pleszów – Branice, Mały Płaszów – Śliwiaka, pl. Bohaterów Getta – Kotlarska, Bieżanów – Bieżanów dworzec kolejowy, Kurdwanów – Zakopiańska. Łączna długość nowych tras 23 kilometry.

Komunikacja **autobusowa** pełnić będzie ważną rolę w obszarach ekstensywnie zagospodarowanych jako jedyny podsystem komunikacji, jak również w innych kierunkach, niezwiązanych z obszarem centralnym, oraz rolę uzupełniającą w obszarach obsługiwanych komunikacją szynową.

Głównymi węzłami integrującymi system transportu będą: MPL Kraków–Balice, dworce kolejowe: Kraków Główny, Kraków Zabłocie, Kraków Bronowice, Kraków Bieżanów oraz węzły integrujące: AGH, Rondo Mogilskie, Rondo Kocmyrzowskie, Igołomska/S-7, Rondo Matecznego. Ważnymi węzłami o funkcji integracyjnej będą także zespoły przystankowe powiązane z P&R, takie jak: Czerwone Maki, Krzyżówka, Batowice, Płaszów.

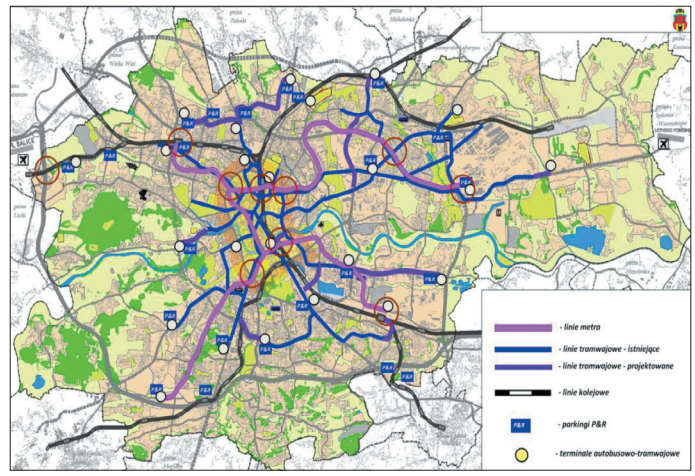
Prognozowane docelowo wielkości przewozów pasażerskich dla transportu wewnętrznego i zewnętrznego na obszarze miasta przedstawiają się w następujących proporcjach:

transport metrem:	30%
transport autobusowy:	23%
transport tramwajowy:	22%
transport kolejowy:	14%
transport mikrobusowy:	11%.

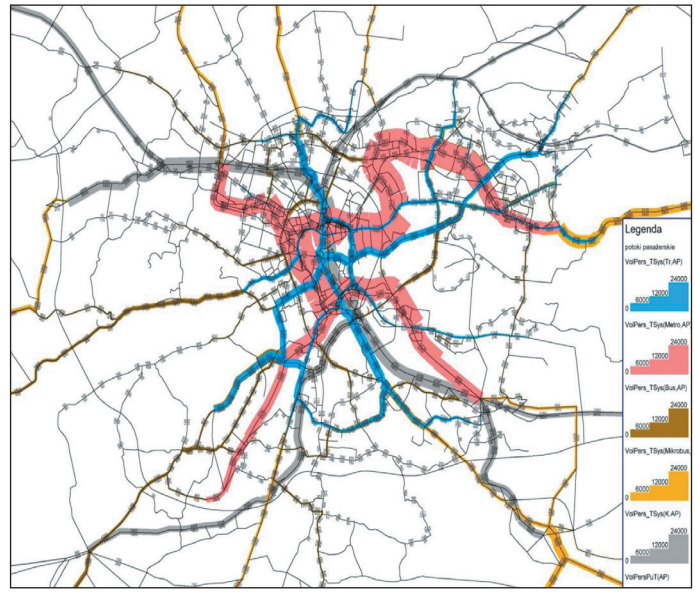
Realizacja pełnego zakresu sieci szynowej pozwoli na objęcie tym transportem około 90% powierzchni obszarów intensywnie zagospodarowanych.

Literatura

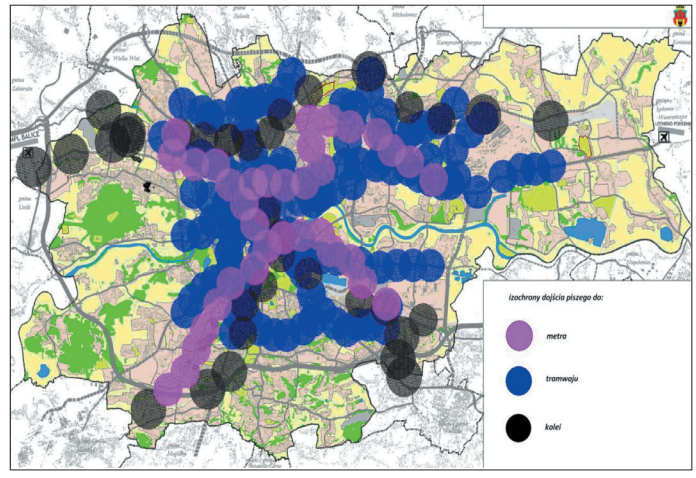
1. Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Miasta Krakowa przyjęte Uchwałą Nr CXII / 1700 / 14 Rady Miasta Krakowa w dniu 9 lipca 2014 roku.



Rys. 8. Przebieg linii metra w studium
Źródło: SUIKZP MK 2014



Rys. 9. Potoki ruchu pasażerskiego – rok 2030
Źródło: SUIKZP MK 2014



Rys. 10. Izochrony dojścia pieszego do komunikacji szynowej – rok 2030 (kolej 12 minut, metro, tramwaj 10 minut)
Źródło: SUIKZP MK 2014

STANISŁAW ALBRICHT
mgr inż., Pracownia Planowania i Projektowania Systemów Transportu Altrans, ul. Juliusza Lea 114, 30-133 Kraków, tel. 12 637 27 79, e-mail: altrans@altrans.krakow.pl
MACIEJ GÓRNIKIEWICZ
mgr inż., Pracownia Planowania i Projektowania Systemów Transportu Altrans, ul. Juliusza Lea 114, 30-133 Kraków, tel. 12 637 27 79, e-mail: altrans@altrans.krakow.pl

Wstępna analiza możliwości budowy I linii metra w Krakowie na kierunku wschód–zachód[1]

Streszczenie. Artykuł powstał w oparciu o opracowanie pt. „Wstępna analiza możliwości budowy I linii metra w Krakowie na kierunku wschód –zachód". Przebieg I linii wyznaczono na kierunku wschód–zachód, w północnej części miasta, od Bronowic poprzez Stare Miasto do Nowej Huty. W korytarzu I linii metra mieszka obecnie około 280 tysięcy osób, pracuje około 180 tysięcy, a studiuje około 160 tysięcy studentów w 8 największych uczelniach publicznych. Tu usytuowane są 4 centra handlowe i 2 place giełdowe o łącznej około około 300 tysięcy m^2, 5 największych obiektów sportowych: stadiony Wisły, Cracovii, Hutnika, Wawelu oraz hala widowiskowo-sportowa Kraków Arena, łącznie na 75 tysięcy widzów, około 180 tysięcy m^2 około użytkowej w 5 centrach biurowych, 6 szpitali, 6 urzędów administracji publicznej oraz obszar największej koncentracji usług publicznych i komercyjnych Krakowa – północna część Starego Miasta. W korytarzu obsługiwanym przez I linię metra znajduje się obecnie około 100 ha terenów, które zgodnie ze „Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Miasta Krakowa", mogą być przeznaczone pod zabudowę wysokiej intensywności. Wstępną analizę wykonano dla trzech wariantów przebiegu trasy: A, B, C. Przebieg każdej z planowanych tras uwzględnia uwarunkowania konserwatorskie, geologiczne oraz hydrogeologiczne, jak również analizy obecnych potencjałów ruchotwórczych wraz z możliwością lokalizacji nowych inwestycji w obszarze oddziaływania metra. Przeprowadzone analizy oraz szereg dyskusji roboczych w trakcie prac prowadzą do wyłonienia obszarów problemowych wymagających o wiele bardziej szczegółowych opracowań (wielobranżowa koncepcja), niż to ma miejsce w obecnej analizie. Wśród takich obszarów wyłonić należy m.in. lokalizacyjne (ostateczny przebieg I linii, lokalizacja stacji metra, zagospodarowanie terenu ponad stacjami metra, lokalizacje wentylatorowni szlakowych) czy techniczno-realizacyjne (metoda i konstrukcja budowy odcinków szlakowych oraz stacyjnych). Niniejsza „Wstępna analiza możliwości budowy I linii metra w Krakowie...", prowadzi do wniosku generalnego o konieczności opracowania Wielobranżowej Koncepcji Budowy I linii metra, której zadaniem będzie uzyskanie odpowiedzi na szereg pytań i wątpliwości, obecnie nierozstrzygniętych. Koncepcja taka winna być opracowana wyprzedzająco lub równocześnie ze studium wykonalności.

Słowa kluczowe: transport pasażerski, transport zbiorowy, metro, rozwój miasta

Wprowadzenie

Zakres „Wstępnej analizy możliwości budowy I linii metra w Krakowie na kierunku wschód–zachód" zawiera m.in.:

- wariantową koncepcję przebiegu linii metra,
- wstępną ocenę uwarunkowań konserwatorskich,
- wstępną ocenę uwarunkowań geologicznych i hydrogeologicznych,
- analizę potencjałów ruchotwórczych,
- ocenę możliwości lokalizacji nowych inwestycji w obszarze oddziaływania,
- wstępną ocenę kosztów realizacji I linii metra w Krakowie.

Wśród określonych celów strategicznych realizacji metra wskazano:

- przywrócenie dobrej jakości powietrza poprzez zmniejszenie ruchu samochodowego,
- zwiększenie dostępności miasta komunikacją publiczną,
- pobudzenie rozwoju miasta i rewitalizacji terenów zdegradowanych.

Przebieg I linii metra, przez północne pasmo terenów największych osiedli nowohuckich Stara Nowa Huta, Bieńczyce, Czyżyny, Mistrzejowice, osiedle Prądnik Czerwony, północną część Starego Miasta oraz zachodnich osiedli Krowodrzy i Bronowic, jest spójny z kierunkiem aktualnych i prognozowanych, największych przemieszczeń pasażerskich. Stacjami węzłowymi, obsługującymi według prognoz największą liczbę pasażerów, będą stacje: Bronowice, AGH, Dworzec Główny, Rondo Mogilskie, Prądnik Czerwony, Stelli-Sawickiego, Kocmyrzowska, Fort Mogiła. Wszystkie stacje wyposażone będą w parkingi dla rowerów i stacje rowerów miejskich.

Stacja „Fort Mogiła" łączyć się będzie z usytuowaną w tym miejscu stacją techniczno-postojową (STP) o około około 20 ha. STP może uzyskać połączenie z przebiegającymi obok torami kolejowymi.

Istnieje możliwość, jeśli zaistnieje taka potrzeba, przedłużenia linii metra od stacji Mogiła w kierunku wschodnim, do projektowanego obszaru inwestycyjnego Nowa Huta Przyszłości oraz od stacji Przybyszewskiego w kierunku zachodnim, do MPL Kraków-Balice i obszaru inwestycyjnego Airport City, jak również od stacji Bronowice na północ do centrum handlowo-usługowego Bronowice.

Zakłada się, że w pierwszym okresie funkcjonowania I linii metro przewozić będzie 160–200 tysięcy osób, a w dalszej perspektywie 400–500 tysięcy osób w ciągu doby.

Wariantowa koncepcja przebiegu pierwszej linii metra

Pierwsza linia metra, będzie mieć około 20 km długości. Linia wyposażona zostanie w stacje o długości peronów 120 –70 metrów, w zależności od przyjętego systemu: metro klasyczne / metro lekkie.

[1] ©Transport Miejski i Regionalny, 2015. Wkład Autorów w publikację: St. Albricht 50%, M. Górnikiewicz 50%.

Podstawowe parametry techniczne I linii metra: łuki poziome o minimalnych promieniach 400 metrów (wyjątkowo 350 metrów) pozwolą na osiągnięcie prędkości maksymalnej do 80 km/godzinę oraz prędkości handlowej do 40 km/godzinę, niweleta w spadkach podłużnych z przedziału 0–1‰ w rejonie stacji, do 35‰ na odcinkach szlakowych.

Analizę wykonano dla trzech wariantów przebiegu trasy: A, B, C.

Wariant A

Trasa wariantu A prowadzona jest ulicami: Armii Krajowej – Królewska – Czarnowiejska – Fenna – Topolowa – Mogilska – Meissnera – Młyńska – Lublańska – Dobrego Pasterza – Bora-Komorowskiego – Generała Andersa – Aleja Przyjaźni – Ptaszyckiego – Igołomska.

Wzdłuż trasy zaproponowano 20 stacji: Bronowice, Widok, Przybyszewskiego, Piastowska, Królewska, AGH, Rynek Kleparski, Dworzec Główny, Rondo Mogilskie, Cystersów, Kraków Arena, Olsza, Prądnik Czerwony, Oświecenia, Stelli-Sawickiego, Bieńczyce, Kocmyrzowska, Aleja Róż, Suche Stawy, Fort Mogiła. Średnia odległość pomiędzy stacjami 1076 metrów.

Łączna długość trasy wynosi 20,44 km w tym: 17,84 km w tunelu, 2,60 km na estakadach.

Wariant B

Trasa wariantu B prowadzona jest wzdłuż odcinka linii kolejowej Kraków–Katowice oraz ulicami: Kijowska – Reymonta – Basztowa – Mogilska – Meissnera – Młyńska – Lublańska – CH Krokus – Bora-Komorowskiego – Generała Andersa – Aleja Jana Pawła II – Ptaszyckiego – Igołomska.

Wzdłuż trasy zaproponowano 19 stacji: Bronowice, Łobzów, Kijowska, Królewska, Czarnowiejska AGH, Basztowa, Dworzec Główny, Rondo Mogilskie, Cystersów, Kraków Arena, Olsza, Prądnik Czerwony, Oświecenia, Stelli-Sawickiego, Bieńczyce, Kocmyrzowska, Plac Centralny, Suche Stawy, Fort Mogiła. Średnia odległości pomiędzy stacjami 1089 metrów.

Łączna długość trasy wynosi 19,60 km w tym: 15,50 km w tunelu oraz 4,10 km na estakadach.

Alternatywnie istnieje możliwość wprowadzenia odcinka tunelowego wzdłuż ulic Bora-Komorowskiego i Generała Andersa.

Wariant C

Trasa wariantu C prowadzona jest ulicami: Armii Krajowej – Lea – Czarnowiejska – Basztowa – Lubicz – Brodowicza – Olszyny – Pilotów – Bora-Komorowskiego – Generała Andersa – Aleja Przyjaźni – Ptaszyckiego – Igołomska.

Zaprojektowano 18 stacji: Bronowice, Widok, Przybyszewskiego, Piastowska, Lea, AGH, Basztowa, Dworzec Główny, Rondo Mogilskie, Brodowicza, Olsza, Prądnik Czerwony, Stelli-Sawickiego, Dąbrowskiej, Bieńczycka, Aleja Róż, Suche Stawy, Fort Mogiła. Średnia odległości pomiędzy nimi 999 metrów.

Całość trasy wariantu C poprowadzono w tunelu. Łączna długość trasy wynosi 16,99 km.

Tabela 1

Zbiorcze zestawienie wariantów I linii metra

Wariant	Długość trasy [km]	Tunele [km]	Estakady [km]	Liczba stacji	Średnia odległość między stacjami [m]
Wariant A	20,44	17,84	2,60	20	1076
Wariant B	19,60	15,50	4,10	19	1089
Wariant C	16,99	16,99	-	18	999

Wstępna ocena uwarunkowań konserwatorskich

Przebiegi wariantowe I linii metra łączą ze sobą wschodnią i zachodnią część Krakowa, przebiegając przez północną część śródmieścia obfitująca, jak i cały Kraków, w obiekty o charakterze zabytkowym.

Na początkowym odcinku od stacji Bronowice do al. Mickiewicza trasy metra przebiegają przez tereny, na których występują punktowe obiekty wpisane do rejestru zabytków oraz do gminnej ewidencji zabytków. Wraz ze zbliżaniem się do centrum liczba obiektów zabytkowych ulega zwiększeniu.

Na odcinku pomiędzy Alejami Trzech Wieszczów a Rondem Mogilskim następuje zbliżenie do Starego Miasta w obrębie Plant, w którym liczba obiektów jest największa, a wśród nich: kościoły, zespoły klasztorne, obiekty użyteczności publicznej oraz kamienice mieszkalne i ogrody. Odległość proponowanych tras przebiegu metra od linii wyznaczonej murami obronnymi, wynosi 90–180 metrów. Na tym odcinku, poza obszarem Plant, również występuje szeregu zabytkowych budynków mieszkalnych oraz gmachów użyteczności publicznej.

Na dalszych odcinkach trasa C koliduje z terenem dawnego pasa startowego lotniska Rakowice–Czyżyny. Dalej wszystkie warianty trasy przebiegają pod wpisanym do rejestru zabytków obszarem urbanistycznym Nowej Huty, w sąsiedztwie zespołu klasztornego Cystersów w Mogile oraz kopca Wandy.

W kilku miejscach trasy metra przebiegają przez strefy nadzoru archeologicznego.

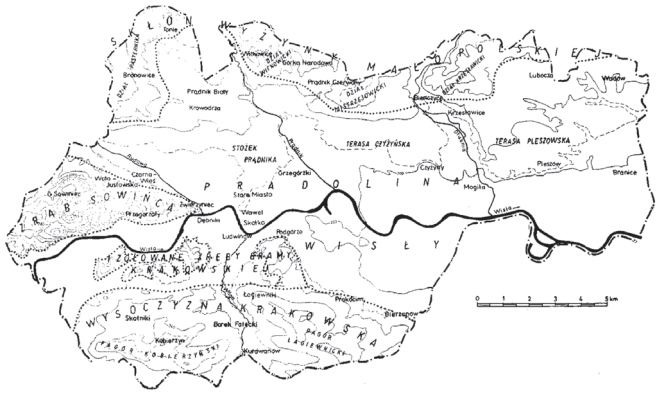
Zgodnie z uzyskaną opinią Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków w przypadku kolizji przebiegu linii metra ze stanowiskami archeologicznymi oraz strefami nadzoru archeologicznego wszelkie prace do głębokości około 7 metrów należy poprzedzić badaniami wykopaliskowymi bądź prowadzić je pod nadzorem archeologa. Zatem w wyszczególnionych miejscach projektowana linia metra prowadzona została na głębokościach pozwalających uniknięcie kolizji.

Wstępna ocena uwarunkowań geologicznych i hydrogeologicznych

Morfologicznie obszar Krakowa znajduje się na pograniczu dwóch wielkich jednostek geomorfologicznych – Wyżyny Śląsko-Krakowskiej i Pogórza Karpackiego, rozdzielonych wąską strefą zwaną Bramą Krakowską, która w kierunku wschodu przechodzi w Wyżynę Sandomierską. Na terenie Krakowa wyróżnić można następujące większe jednostki geomorfologiczne (od północy): Skłon Wyżyny Małopolskiej, Pradolinę Wisły, Zrąb Sowińca, Izolowane

Zręby Bramy Krakowskiej oraz Wysoczyznę Krakowską (patrz rysunek 1). Trasa pierwszej linii metra prawie w całości znajduje się w obrębie Pradoliny Wisły.

Szeroka pradolina Wisły, zwężająca się w rejonie Wawelu, ma wyraźnie sterasowane dno. Jest to terasa średnia, zachowana wzdłuż północnej krawędzi doliny, o wysokościach 212–225 metrów, oraz terasa nadzalewowa (200–205 metrów) z licznymi starorzeczami w części wschodniej. Skłon Wyżyny Małopolskiej to szerokie garby zwane działami, rozdzielone dolinami rzecznymi dopływów Wisły. Izolowane zręby Bramy Krakowskiej tworzą kilka małych zrębów wapiennych oddzielonych wąskimi rowami tektonicznymi, a Wysoczyzna Krakowska to niskie pagóry i garby.



Rys. 1. Główne jednostki geomorfologiczne terytorium Krakowa
Źródło: [1]

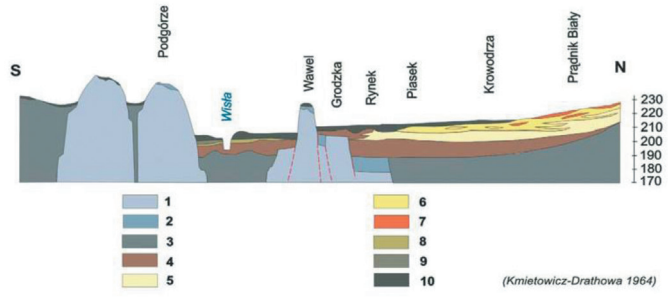
Podłoże miasta Krakowa zbudowane jest z osadów jury, kredy, miocenu oraz osadów czwartorzędu.

Projektowana trasa I linii metra przebiega w całości w obrębie doliny Wisły. Początkowo jest to terasa Rudawy o powierzchni lekko falistej i wysokościach bezwzględnych w granicach 205–220 metrów, obniżającej się w kierunku wschodnim (do al. Mickiewicza) do rzędnej ca 204 metrów. Następnie teren wznosi się lekko do rzędnej 212–214 metrów (plac św. Ducha), aby dalej obniżać się, w rejonie Czyżyn do rzędnej 202 metrów. Na terasie Czyżyńskiej i następnie Pleszowskiej teren łagodnie wznosi się (rzędne 200–215 metrów) do rzędnej 220 metrów w części końcowej. Terasę Czyżyńską od Pleszowskiej rozdziela szeroka, płaska dolina Dłubni o rzędnej 200 metrów.

W starszym podłożu występują iły warstw skawińskich o stropie obniżającym się od rzędnej 202 do 193 metrów w rejonie ul. Reymonta. Na tym odcinku występują jurajskie zręby wapienne o stropie na głębokości 9–16 metrów (rejon Mydlnik, ul. Balickiej i ul. Armii Krajowej) i rzędnych 192–197 metrów. Dalej lekko pofalowany strop iłów przebiega na głębokości 12–22 metrów, tj. na rzędnych 188–192 metrów. W rejonie ronda Mogilskiego w obrębie iłów występują wkładki gipsów. Strop iłów obniża się w rejonie Nowej Huty (os. Szklane Domy) do rzędnej 181 metrów, by w końcówce wzrosnąć do rzędnej 185 metrów. W części końcowej występują iły z piaskami warstw chodenickich.

Iły i wapienie przykryte są w przeważającej części piaskami i żwirami, miejscami z soczewkami mad i mad organicznych, a bardziej miąższe (do 5,5 metrów) strefy mad, mad organicznych i torfów występują od rejonu ul. Mogilskiej do Czyżyn. Na terasie Czyżyńskiej na piaskach i żwirach zalegają mady o miąższości 2–4 metrów, w rejonie Dłubni miąższość mad wzrasta do 5 metrów. Grube (do 16 metrów) warstwy nasypów występują od Dłubni do końca trasy oraz od ul. Reymonta do ronda Mogilskiego (w rejonie Rynku Głównego miąższość nasypów osiąga 10 metrów).

Woda gruntowa w piaszczystych osadach czwartorzędowych, o zwierciadle ciągłym, występuje na zmiennej głębokości, od 2 do 12 metrów (w rejonie ul. Ujastek). Rzędne od 209 do 197,5 metrów.



1 – wapienie jurajskie, 2 – margle kredowe, 3 – iły mioceńskie, 4 – żwiry karpackie, 5 – żwiry wapienne stożka Prądnika, 6 – piaski pleistoceńskie, 7 – lessy, 8 – piaski holoceńskie, 9 – gliny holoceńskie, 10 – nasypy
Rys. 2. Schematyczny przekrój geologiczny przez podłoże Krakowa
Źródło: [2]

Na potrzeby niniejszego opracowania analizie poddano udostępnione z zasobów Wydziału Kształtowania Środowiska Urzędu Miasta Krakowa informacje dotyczące budowy geologicznej wzdłuż trasy metra. Wykorzystano 40 otworów geologicznych zlokalizowanych wzdłuż trasy metra pochodzących z 34 dokumentacji geologicznych. Głębokości otworów wahają się od 7 do 30 metrów. Dodatkowo wykorzystano informacje pochodzące z opracowania [3] dotyczące otworów o głębokościach od 80 do 110 metrów. Proponowany przebieg trasy podzielono na 9 odcinków, które następnie poddano analizie i wykonano opis budowy geologicznej podłoża gruntowego.

W przeważającej części projektowane trasy metra przebiegać będą na głębokości około 15–20 metrów, rzadziej (wzdłuż istniejących korytarzy drogowych) na głębokości około 5–10 metrów.

Do tej głębokości występują czwartorzędowe utwory piaszczyste lub gliniasto-pylaste. Na odcinku IX (ul. Igołomska – ul. Ptaszyckiego) właściwie cała projektowana trasa przebiega powyżej zwierciadła wód gruntowych w czwartorzędowych utworach piaszczystych. Na odcinku IV od ul. Karmelickiej do al. Mickiewicza projektowana trasa metra przebiega w czwartorzędowych utworach piaszczystych powyżej zwierciadła wody gruntowej lub na jego granicy. Przy wykonywaniu metra należy brać pod uwagę, że utwory piaszczyste są niespoiste, podczas „tunelowania" może następować obsypywanie się gruntów. W utworach czwartorzędowych występować mogą przewarstwienia utworów

słabonośnych lub organicznych, co znacznie obniża parametry wytrzymałościowe gruntów piaszczystych.

Na odcinku VIII (Nowa Huta) projektowana trasa metra przebiega na granicy występowania zwierciadła wód gruntowych. Na odcinku V od ul. Cystersów do ronda Mogilskiego, na całym odcinku IV od ul. Karmelickiej do al. Mickiewicza, na odcinku II od ul. Przybyszewskiego do ul. Bronowickiej oraz właściwie na całym odcinku III (ul. Piastowska – al. Mickiewicza) projektowana trasa metra przebiegać będzie w czwartorzędowych utworach piaszczystych poniżej zwierciadła wody gruntowej lub na granicy występowania zwierciadła wody. W trakcie prowadzenia robót budowlanych może występować znaczny dopływ wody do wyrobiska, co znacznie utrudni prowadzenie robót budowlanych.

W przypadku prowadzenia tras metra powyżej około terenu (odcinki estakadowe) proponuje się posadowienie podpór w sposób pośredni w czwartorzędowych utworach piaszczystych o odpowiednich parametrach wytrzymałościowych.

W rejonie ul. Dobrego Pasterza i ronda Barei oraz na odcinku II w rejonie ul. Przybyszewskiego projektowana trasa przebiega na granicy utworów czwartorzędowych i iłów mioceńskich. Na odcinku V w rejonie od ul. Mogilskiej do ul. Cystersów oraz na odcinku III od ul. Smoluchowskiego do ul. Piastowskiej projektowana trasa metra przebiegać będzie w trzeciorzędowych utworach ilastych. Przy przechodzeniu w utwory mioceńskie należy brać pod uwagę ich spękania, które mogą stanowić utrudnienia podczas wykonywania robót budowlanych (płaszczyzny poślizgu) oraz pęcznienie gruntów – podczas projektowania obudowy tunelu.

Na odcinku od ronda Mogilskiego do ul. Lublańskiej projektowana trasa metra wg wariantu C przebiegać będzie w czwartorzędowych utworach piaszczystych poniżej zwierciadła wody gruntowej lub na granicy występowania zwierciadła wody. W trakcie prowadzenia robót budowlanych może występować znaczny dopływ wody do wyrobiska, co znacznie utrudni prowadzenie robót budowlanych.

Przy przebiegu w obrębie osadów czwartorzędowych – spoistych (mady i mady organiczne oraz częściowo osady lessowe) warunki geologiczno-inżynierskie mogą być miejscami niezbyt korzystne – możliwość występowania gruntów słabonośnych poniżej poziomu posadowienia trasy, dotyczy to zwłaszcza rejonu od ronda Mogilskiego w kierunku wschodnim. W osadach niespoistych – nawodnione piaski i żwiry – wystąpią duże dopływy wody, a w rejonie działania bariery studni odwadniających rozluźnienia gruntów niespoistych.

Przy przebiegu w obrębie ilastych osadów miocenu problemem będą stwierdzone spękania w obrębie iłów, mogące stanowić płaszczyzny poślizgu. Problemem będzie również zawodnienie ilasto-pylasto-piaszczystych osadów miocenu w rejonie Nowej Huty. Należy również wspomnieć o wysokim (miejscami) wskaźniku pęcznienia iłów miocenu.

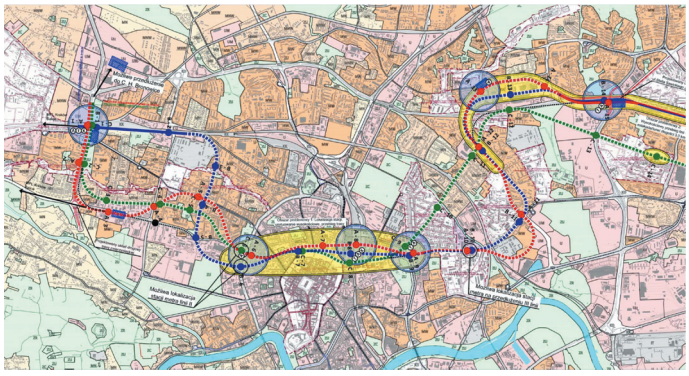
Przy przebiegu w obrębie zrębów wapieni jurajskich mogą wystąpić zarówno trudności z urabianiem, jak i kłopoty z dużym zawodnieniem masywu (woda szczelinowa), strefami krasowymi i strefami osłabienia górotworu (strefy uskokowe i zbrekcjowania skał).

Podsumowując uwarunkowania geologiczne, na obecnym etapie prac należy stwierdzić, że realizacja wszystkich wariantów jest możliwa, a ich przebieg przewidziano w terenach o bardzo zbliżonej budowie geologicznej. Na dalszych etapach opracowania, zgodnie z uzyskaną opinią WKŚ UMK, niezbędne jest przeprowadzenie wstępnych (np. nieinwazyjnych, z wykorzystaniem metod geofizycznych) badań dla zobrazowania jakościowego uwarunkowań geologicznych. To z kolei pozwoli na właściwe przeprowadzenie badań dla dokładnego rozpoznawania i oceny warunków geologicznych.

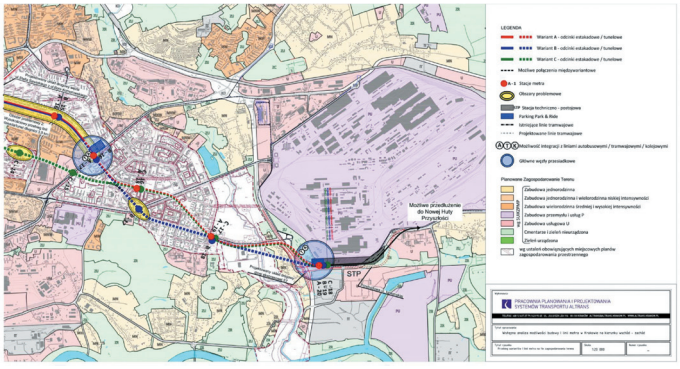
Analiza potencjałów ruchotwórczych

I linia metra, przebiegając w zdecydowanej większości przez tereny już zagospodarowane, będzie mogła realizować jedno z podstawowych swoich zadań tj. obsługi maksymalnie dużej liczby mieszkańców (rysunki 3a i 3b).

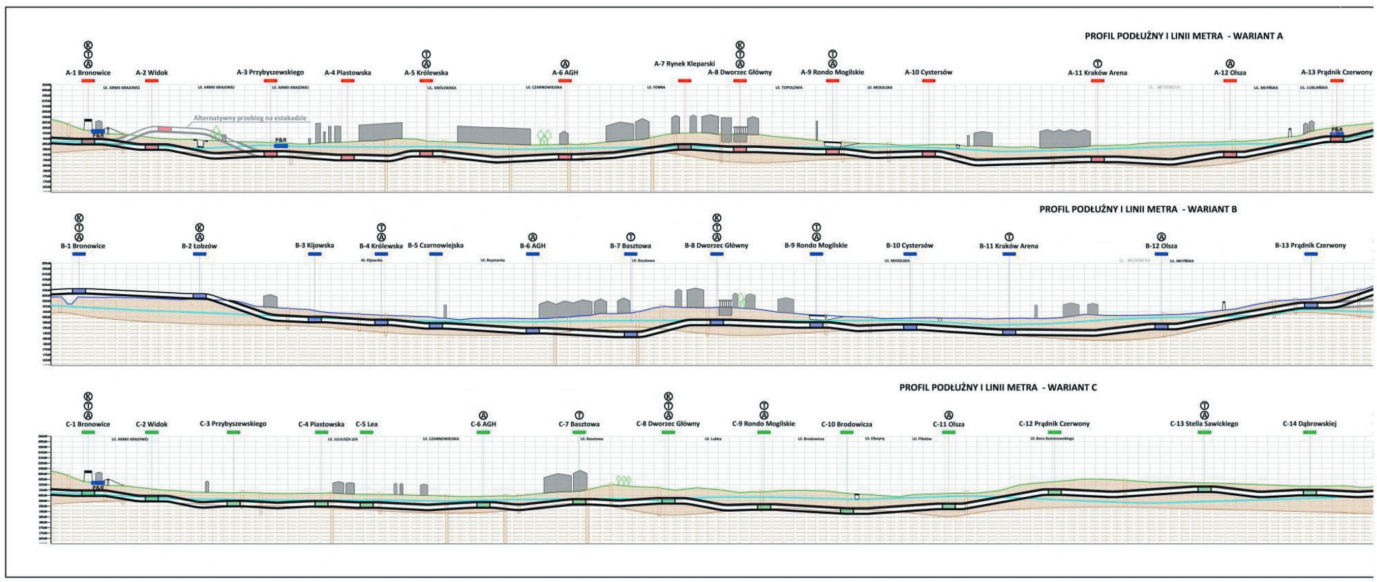
Na początkowym odcinku, do Alei Trzech Wieszczów, trasy wariantów przebiegają przez tereny zagospodarowane, na których przeważa zabudowa mieszkaniowa, lecz występują również obiekty biurowe (w rejonie ul. Przybyszewskiego) oraz duże nagromadzenie szkół wyższych (UJ, AGH, UP, UR PK). Począwszy od Alei Trzech Wieszczów do ul. Meissnera w wariantach A i B, a do ronda Młyńskiego w wariancie C, trasy metra przebiegają przez obszar śródmiejski z zabudową o mieszanym charakterze. Na odcinku pomiędzy Rondem



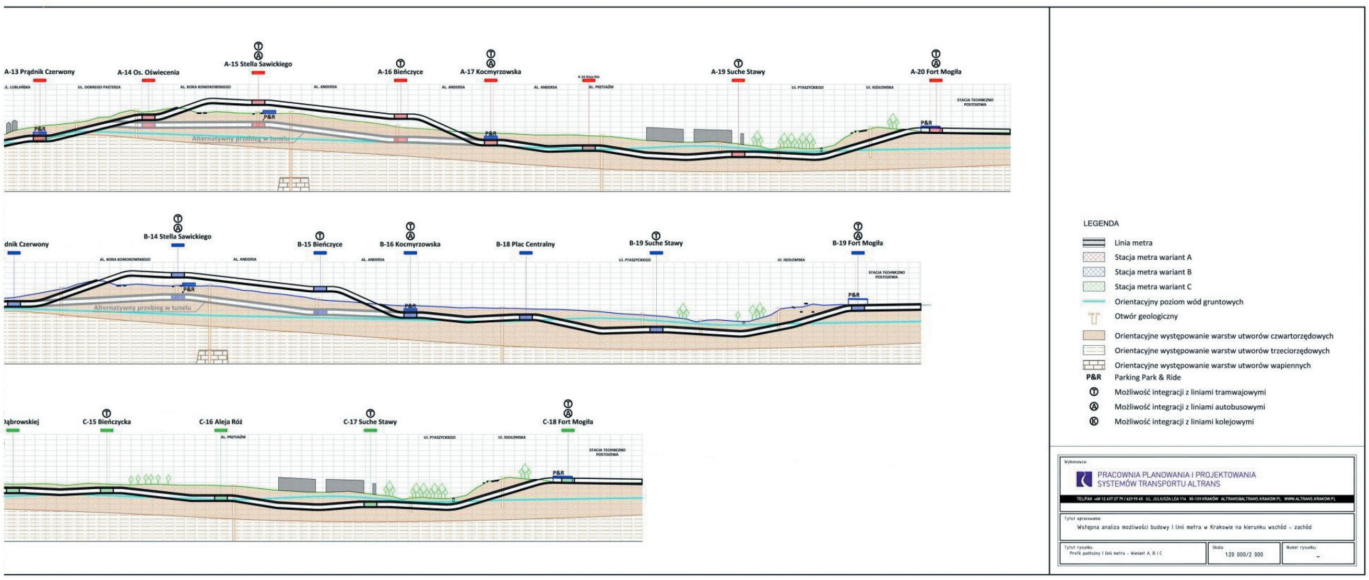
Rys. 3a. Warianty przebiegu I linii metra – część zachodnia i centralna



Rys. 3b. Warianty przebieg I linii metra – część wschodnia



Rys. 4a. Profile podłużne wariantów I linii metra – część zachodnia i centralna



Rys. 4b. Profile podłużne wariantów I linii metra – część wschodnia

Młyńskim a ul. Bieńczycką warianty A i C przebiegają początkowo przez tereny zabudowy usługowej (rejon ul. Dobrego Pasterza, Bora-Komorowskiego), a następnie przez tereny o rozproszonej zabudowie mieszkaniowej. Wariant C na tym odcinku przebiega przez tereny obecnie niezagospodarowane (po południowej stronie ul. Bora-Komorowskiego), a następnie tereny zabudowy mieszkaniowej i usługowo-handlowej (CH. Tomex i CH Carrefour). Na odcinku pomiędzy ul. Bieńczycką a ul. Klasztorną wszystkie trzy warianty przebiegają przez obszar zabudowy mieszkaniowej. Jedynie we wschodniej części trasy, pomiędzy ul. Klasztorną a ul. Igołomską, występuje więcej terenów zielonych. Profile podłużne wariantów I linii metra w podziale na część zachodnią i centralną oraz wschodnią przedstawiono na rys. 4a i 4b.

Liczbę mieszkańców oraz podmiotów gospodarczych w korytarzu I linii metra szacowano przy założeniu uwzględnienia obszaru o promieniu 800 metrów od każdej stacji metra (tabela 2). Uwzględniono dane o zmiennych objaśniających w rejonach komunikacyjnych miasta udostępnionych przez Wydział Gospodarki Komunalnej UMK, opracowanych w ramach prac nad Kompleksowymi Badaniami Ruchu 2013.

Największą liczbę ludności obsługuje trasa według wariantu B, mniej o 1% wariantu A. Należy zatem uznać, że są to warianty równoważne. Różnica pomiędzy wariantem B a najgorszym, wg tego kryterium, wariantem C wynosi około 10%.

Łącznie w zasięgu poszczególnych wariantów zlokalizowanych jest około 44 500 zakładów pracy, zatrudniających około 180 tys. osób. Najwięcej wzdłuż wariantu B, który to również w poszczególnych grupach obsługuje najwięcej miejsc pracy. Podobnie jak to ma miejsce w przypadku liczby obsługiwanych mieszkańców, najmniejsza liczba zakładów pracy jest obsługiwana przez trasę wg wariantu C.

Tabela 2

Zestawienie liczby mieszkańców oraz podmiotów gospodarczych w korytarzu I linii metra				
		WARIANTY		
		Wariant A	Wariant B	Wariant C
Liczba mieszkańców [os.]		284 936	287 107	260 195
Podmioty gospodarcze i firmy w podziale na liczbę zatrudnionych	0-9 [szt.]	42 677	43 679	39 120
	10-49 [szt.]	1 873	1 915	1 676
	50-249 [szt.]	365	372	337
	250-999 [szt.]	56	58	52
	>1000 [szt.]	12	17	11

Tabela 3

Zestawienie obiektów użyteczności publicznej w korytarzu I linii metra			
	WARIANTY		
	Wariant A	Wariant B	Wariant C
Uczelnie	11	11	11
Duże centra handlowe	6	6	6
Duże centra biurowe	4	3	4
Główne obiekty sportowe	5	5	4
Obiekty administracji publicznej	6	6	6
Szpitale	6	6	5

Łącznie w zasięgu I linii metra studiuje około 160 tys. studentów uczelni publicznych, w tym w uczelniach:

- Akademia Górniczo-Hutnicza 39 153 studentów,
- Uniwersytet Jagielloński (3 lokalizacje) 51 238 studentów,
- Uniwersytet Pedagogiczny 17 932 studentów,
- Politechnika Krakowska (2 lokalizacje) 18 952 studentów,
- Uniwersytet Rolniczy 12 467 studentów,
- Państwowa Wyższa Szkoła Teatralna 182 studentów,
- Akademia Sztuk Pięknych 1271 studentów,
- Uniwersytet Ekonomiczny 23 657 studentów.

Ze względu na usytuowanie uczelni oraz stacji metra we wszystkich trzech wariantach w zasięgu oddziaływania znajdzie się ta sama liczba studentów.

Na dalszych etapach prac należy zwrócić uwagę na rozproszenie obiektów dydaktycznych poszczególnych uczelni, mogących wpłynąć na rozmieszczenie potencjałów wzdłuż projektowanej linii.

Wzdłuż trasy metra zlokalizowane są również centra handlowe, biurowe oraz administracji publicznej. Wszystkie trzy warianty oferują obsługę tych funkcji na bardzo zbliżonym poziomie. Jedynie wariant B nie zapewnia obsługi centrum biurowego przy ul. Armii Krajowej (GTC Korona). Największe centra handlowe oraz główne obiekty użyteczności publicznej wzdłuż I linii wschód–zachód obsługiwane są przez wszystkie trzy warianty w sposób równorzędny (tabela 3).

Duże centra handlowo-usługowe:

- ul. Bieńczycka (CH Tomex+CH Carrefour) – około 29 ha, około 3,5 ha powierzchni zabudowy obecnej;
- ul. Bora-Komorowskiego (CH-Krokus) – około 26 ha, około 4,6 ha powierzchni zabudowy obecnej;
- ul. Pilotów (Alma, Castorama) – około 7 ha, około 1,8 ha powierzchni zabudowy obecnej;
- ul. Pawia (Galeria Krakowska) – około 2,9 ha powierzchni zabudowy obecnej;
- ul. Balicka (Centrum Giełdowo-Handlowe „Balicka") – około 8 ha obecnie + 8 ha możliwej rozbudowy;
- Rejon ronda Ofiar Katynia (Makro, Ikea, Galeria Bronowice i inne) – około 106 ha.

Duże centra biurowe

- ul. Lublańska (Quattro Business Park, Gemini);
- ul. Pilotów (Alma Tower);
- al. Powstania Warszawskiego;
- ul. Armii Krajowej (GTC Korona) z wyjątkiem wariantu B.

Obiekty administracji publicznej:

- Urząd Miasta Krakowa (os. Zgody);
- Urząd Miasta Krakowa (al. Powstania Warszawskiego);
- Małopolski Urząd Wojewódzki (al. Powstania Warszawskiego);
- Zespół Sądów Apelacyjnych, Okręgowych (ul. Przy Rondzie);
- Małopolski Urząd Wojewódzki (ul. Basztowa);
- Urząd Marszałkowski Województwa Małopolskiego (ul. Basztowa).

Budowa metra zwiększy również dostępność obiektów sportowych oraz dużych obiektów opieki zdrowotnej. W obydwu przypadkach w zasięgu obsługi metrem w przebiegu A i B zlokalizowana jest taka sama liczba obiektów. Wariant C oferuje obsługę komunikacyjną na niższym poziomie, z której wyłączone są hala widowiskowo-sportowa w Czyżynach oraz Szpital Specjalistyczny im. Ludwika Rydygiera (os. Złotej Jesieni).

Duże obiekty sportowe:

- Stadion KS Hutnik oraz obiekty sportowe Com Com Zone,
- Hala widowiskowo-sportowa Czyżyny z wyjątkiem wariantu C,
- Stadion miejski KS Cracovia,
- Stadion miejski im. H. Reymana oraz hale sportowe TS Wisła,
- WKS Wawel.

Szpitale:

- Szpital MSWiA (ul. Galla),
- Szpital Specjalistyczny im. Józefa Dietla (ul. Skarbowa),
- Szpital Uniwersytecki (ul. Kopernika),
- Krakowskie Pogotowie Ratunkowe (ul. Łazarza),
- Szpital Specjalistyczny im. Stefana Żeromskiego (os. Na Skarpie),
- Szpital Specjalistyczny im. Ludwika Rydygiera (os. Złotej Jesieni) z wyjątkiem wariantu C.

Wszystkie wariantowane trasy metra w takim samym stopniu obsługiwać będą również ruch zewnętrzny poprzez

parkingi funkcjonujące w systemie P&R, usytuowane przy stacjach końcowych i stacjach przy głównych drogowych trasach wlotowych.

Ocena możliwości lokalizacji nowych inwestycji w obszarze oddziaływania I linii metra

I linia metra o przebiegu wschód–zachód przecina lub przechodzi w bezpośrednim sąsiedztwie 18 obszarów objętych ustaleniami miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego. Żaden z zanalizowanych planów miejscowych nie przewiduje realizacji metra jako środka transportu do obsługi komunikacyjnej obszaru. Tunelowe odcinki linii metra nie wymagają zmian miejscowych planów. Zmian planów miejscowych wymagają lokalizacje stacji metra wraz z ich otoczeniem oraz odcinki tras przebiegające na estakadach.

Wśród potencjalnych terenów mogących być miejscem lokowania nowych inwestycji, a leżących wzdłuż tras linii metra można wskazać:

dla wariantu A

- tereny pomiędzy ul. Armii Krajowej, linia kolejową oraz ul. Radzikowskiego (dawny motel Krak) (ok. 8 ha zabudowy usługowo mieszkaniowej oraz 7,5 ha zabudowy mieszkaniowej),
- południowa strona ul. Armii Krajowej (odc. Trasa Zwierzyniecka – Przybyszewskiego) (ok 8,5 ha zabudowy mieszkaniowej),
- teren niezabudowany pomiędzy ul. Karmelicką i Dolnych Młynów (ok 1 ha zabudowy usługowej),
- tereny pomiędzy ul. Lema a ul.Mogilską i centrum handlowym Plaza (ok 8 ha zabudowy usługowo mieszkaniowej oraz ok 10 ha zabudowy mieszkaniowej),
- tereny po wschodniej stronie ul. Lema – około 7 ha zabudowy usługowo-mieszkaniowej,
- tereny pomiędzy ul. Dobrego Pasterza i ul. Bora-Komorowskiego – około 8 ha nowej zabudowy usługowej oraz około 6 ha możliwych przekształceń istniejącej zabudowy usługowej,
- tereny po południowej stronie ul. Bora-Komorowskiego – około 19 ha zabudowy usługowo-mieszkaniowej,
- tereny po północno-zachodniej stronie ul. Bieńczyckiej (CH Tomex) – około 13 ha zabudowy usługowej.

dla wariantu B

- tereny wzdłuż linii kolejowej Kraków–Katowice na odcinku Kijowska–Bronowice – około 7 ha potencjalnych terenów pokolejowych,
- potencjalne tereny inwestycyjne na północnych terenach obecnej jednostki wojskowej – około 27 ha przy ulicach: Głowackiego – Czyżewskiego – Wrocławska,
- tereny pomiędzy ul. Armii Krajowej, linią kolejową oraz ul. Radzikowskiego (dawny motel Krak) – ok. 8 ha zabudowy usługowo-mieszkaniowej oraz 7,5 ha zabudowy mieszkaniowej,
- teren niezabudowany pomiędzy ul. Karmelicką i Dolnych Młynów – około 1 ha zabudowy usługowej,
- tereny pomiędzy ul. Lema a ul. Mogilską i centrum handlowym Plaza – około 8 ha zabudowy usługowo-mieszkaniowej oraz około 10 ha zabudowy mieszkaniowej,
- tereny po wschodniej stronie ul. Lema – około 7 ha zabudowy usługowo-mieszkaniowej,
- tereny pomiędzy ul. Dobrego Pasterza i ul. Bora- Komorowskiego – około 8 ha nowej zabudowy usługowej oraz około 6 ha możliwych przekształceń istniejącej zabudowy usługowej,
- tereny po południowej stronie ul. Bora-Komorowskiego – około 19 ha zabudowy usługowo-mieszkaniowej,
- tereny po północno-zachodniej stronie ul. Bieńczyckiej (CH Tomex) – około 13 ha zabudowy usługowej.

dla wariantu C

- tereny pomiędzy ul. Armii Krajowej, linią kolejową oraz ul. Radzikowskiego (dawny motel Krak) – około 8 ha zabudowy usługowo-mieszkaniowej oraz 7,5 ha zabudowy mieszkaniowej,
- południowa strona ul. Armii Krajowej (od Trasy Zwierzynieckiej – Przybyszewskiego) – około 8,5 ha zabudowy mieszkaniowej,
- teren niezabudowany pomiędzy ul. Karmelicką i Dolnych Młynów – około 1 ha zabudowy usługowej,
- tereny pomiędzy ul. Dobrego Pasterza i ul. Bora-Komorowskiego – około 8 ha nowej zabudowy usługowej oraz około 6 ha możliwych przekształceń istniejącej zabudowy usługowej,
- tereny po południowej stronie ul. Bora-Komorowskiego – około 19 ha zabudowy usługowo-mieszkaniowej,
- tereny po północnej i wschodniej stronie Krakowskiego Parku Technologicznego – około 28 ha zabudowy usługowej,
- tereny po północno-zachodniej stronie ul. Bieńczyckiej (CH Tomex) – około 13 ha zabudowy usługowej.

Wszystkie trasy metra, poprzez stację Bronowice w rejonie skrzyżowania ul. Armii Krajowej i ul. Bronowickiej, powiązane są z linią kolejową do portu lotniczego i kierunku Katowic, tym samym, pośrednio, obsługiwać będą takie obiekty jak: centrum biurowe Kraków Business Park w Zabierzowie, MPL Kraków-Balice oraz tereny inwestycyjne w otoczeniu lotniska. Wszystkie warianty pozwalają również na obsługę terenów usługowo-handlowych po północnej stronie stacji Bronowice.

Na kolejnych odcinkach, warianty A i C mają zbliżony przebieg ulicami Armii Krajowej oraz Lea, gdzie w stanie istniejącym jak i projektowanym występuje przewaga obiektów usługowych, z możliwą zabudową przy ul. Armii Krajowej do 36 m wysokości. Wariant B obsługuje tereny położone wzdłuż linii kolejowej Kraków–Katowice. Początkowy odcinek prowadzony ponad terenem, a obszary inwestycyjne występujące na tym odcinku to zabudowa usługowa oraz mieszkaniowa o wysokiej intensywności o wysokości zabudowy do 25 m.

Odcinek śródmiejski (Kijowska–rondo Mogilskie) to zbliżony przebieg wszystkich wariantów prowadzonych przez intensywne zagospodarowanie śródmieścia Krakowa. Na tym odcinku możliwości nowych inwestycji ograniczają

się głównie do przekształceń istniejącej zabudowy i w niewielkim stopniu do lokowania nowej.

Na dalszym odcinku (rondo Mogilskie–Meissnera) trasy A i B prowadzone są terenami o wysokim zainwestowaniu w stanie istniejącym, jak i projektowanym. Wzdłuż ul. Mogilskiej wysokość zabudowy może sięgnąć 47 metrów, a wzdłuż ul. Meissnera 36 metrów. W rejonie ul. Bora-Komorowskiego (Dobrego Pasterza) przebiegają przez tereny aktualnie zainwestowane zabudową mieszkaniowo-usługową. W rejonie obecnego centrum biurowego przy ul. Lublańskiej oraz centrum usługowo-handlowego pomiędzy Bora-Komorowskiego a ul. Dobrego Pasterza planowana jest ich dalsza rozbudowa.

Wzdłuż ul. Generała Andersa warianty A i B przebiegają przez tereny aktualnie zainwestowane głównie zabudową mieszkaniową oraz drobną zabudową usługową. Największy potencjał rozwojowy występuje w ul. Andersa (południowa i północna pierzeja ulicy) oraz w rejonach węzła z ul. Stelli-Sawickiego oraz ronda Kocmyrzowskiego i ul. Bieńczyckiej. Od ronda Mogilskiego wariant C przebiega wzdłuż ul. Pilotów przez istniejący obszar zabudowy obiektami niskiej i średniej intensywności o wysokości do 36 metrów. Zabudowa ta charakteryzuje się małym potencjałem rozwojowym, szczególnie pomiędzy rondem Mogilskim oraz skrzyżowaniem ul. Pilotów z towarową linią kolejową.

Dalszy przebieg trasy C przez dawny pas startowy lotniska Kraków Rakowice wyróżniają obszary do zainwestowania mieszkaniowego o wysokiej intensywności, usługowego i usługowo-handlowego z możliwością zabudowy do 25 metrów. Na kolejnym odcinku trasy C największy potencjał rozwojowy występuje na przekroczeniu ul. Bieńczyckiej, gdzie występują obszary wyznaczone dla zabudowy usługowej.

W okolicy os. Zgody trasy A i B zbiegają się z trasą C i na odcinku do ul. Ptaszyckiego zapewniają obsługę głównie terenów mieszkaniowych zabytkowej części Nowej Huty, która nie stanowi nowego potencjału terenów inwestycyjnych.

Usytuowanie linii metra w rejonie ul. Igołomskiej pozwala na jej dalszą rozbudowę w kierunku wschodnim, do Nowej Huty Przyszłości będącej potencjalnym obszarem powstawiania nowych inwestycji. Ewentualne przedłużenie linii w kierunku wschodnim wpłynie stymulująco na ich rozwój i ożywienie.

Oprócz wskazanych, niezabudowanych terenów inwestycyjnych, wzdłuż korytarzy I linii metra istnieją bardzo duże możliwości przekształceń obecnej zabudowy. Zmiana ich obecnego zagospodarowania i lokowanie inwestycji w obrębie linii metra, a w szczególności stacji, powodować będzie pobudzenie gospodarcze rejonów miasta nie rozpatrywanych na obecnym etapie.

Podsumowując zróżnicowanie wariantów I linii metra pod względem obszarów inwestycyjnych, można stwierdzić, że zachodnie odcinki przebiegu wszystkich linii cechuje duży stopień istniejącego zagospodarowania, ale również duży potencjał inwestycyjny. Odcinek centralny w zasadzie nie przedstawia dużego potencjału inwestycyjnego, a bazuje jedynie na istniejącym zagospodarowaniu. Dla wariantów A i B wschodnie odcinki przebiegają przez istniejącą intensywną zabudowę z dużym potencjałem dalszej rozbudowy w rejonie ul. Bora-Komorowskiego oraz ronda Kocmyrzowskiego. Wariant C przebiega w nieznacznym oddaleniu od terenów inwestycji przy Bora-Komorowskiego, ale poprzez przebieg bliżej Krakowskiego Parku Technologicznego przez tereny o dużych możliwościach inwestycyjnych.

Budowa linii metra wg wariantu A zapewnia najlepszą obsługę terenów przeznaczonych w obowiązujących planach miejscowych i projekcie Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Miasta Krakowa pod zabudowę mieszkaniową, w mniejszym stopniu zabudowę usługową oraz tereny rekreacyjne. Najwięcej zabudowy biurowo-usługowej obsługuje wariant C I linii metra, głównie za sprawą przebiegu pod pasem startowym dawnego lotniska Rakowice w zasięgu, którego znajdują się tereny Krakowskiego Parku Technologicznego oraz tereny usługowe przy ul. Bieńczyckiej. Z kolei najlepszą obsługę terenów zielonych zapewnia wariant B. Różnice pomiędzy wariantami nie są duże i wnoszą od 5% w przypadku terenów zielonych do 15 % w przypadku terenów mieszkaniowych. Ze względu na mniejszą liczbę stacji wariant C swym zasięgiem obejmuje powierzchnię terenu mniejszą od wariantu B o około 1% oraz od wariantu A o około 5%.

Lokalizacja stacji metra w każdym z wariantów wymaga weryfikacji planów zagospodarowania przestrzennego, głównie w aspekcie dojść i dojazdów z obszarów przyległych, w przypadku stwierdzenia niezgodności wprowadzenia punktowych zmian.

Wstępna ocena kosztów realizacji I linii metra w Krakowie

W tabeli 4 przedstawiono koszty budowy I linii metra przy założeniu metra klasycznego lub metra lekkiego W przypadku metra klasycznego przyjęto koszt budowy 1 kilometra trasy w tunelu na poziomie 660 mln zł, a koszt budowy 1 kilometra trasy na estakady na poziomie 250 mln zł. Dla budowy w systemie lekkim koszty jednostkowe przyjęto na poziomie 400 mln za 1 kilometr tunelu oraz 200 mln za 1 kilometr estakady. Powyższe ceny obejmują realizację stacji techniczno-postojowej STP, nie obejmują kosztów zakupu taboru.

Obszary problemowe związane z decyzją o budowie I linii metra

Przeprowadzone analizy oraz szereg dyskusji roboczych w trakcie prac prowadzą do wyłonienia kilku obszarów problemowych wymagających o wiele bardziej szczegóło-

Tabela 4

Zestawienie kosztów realizacji wariantów I linii metra

WARIANT A	System	Klasyczny	Lekki
	w tym: koszt metra w tunelach 17,84 km koszt metra na estakadach 2,60 km	11,8 mld zł 0,7 mld zł	7,1 mld zł 0,5 mld zł
	Suma:	**12,5 mld zł**	**7,6 mld zł**
WARIANT B	System	Klasyczny	Lekki
	w tym: koszt metra w tunelach 15,50 km koszt metra na estakadach 4,10 km	10,2 mld zł 1,0 mld zł	6,2 mld zł 0,8 mld zł
	Suma:	**11,2 mld zł**	**7,0 mld zł**
WARIANT C	System	Klasyczny	Lekki
	w tym: koszt metra w tunelach 16,99 km	11,2 mld zł	6,8 mld zł
	Suma:	**11,2 mld zł**	**6,8 mld zł**

wych opracowań (wielobranżowa koncepcja), niż to miało miejsce obecnie. Wśród takich obszarów wyłonić należy m.in. **lokalizacyjne** (ostateczny przebieg I linii, lokalizacja stacji metra, zagospodarowanie terenu ponad stacjami metra, lokalizacje wentylatorowni szlakowych), **techniczno-realizacyjne** (metoda i konstrukcja budowy odcinków szlakowych oraz stacyjnych).

Jednym z najważniejszych pytań, na które opracowanie takie powinno odpowiedzieć, jest wybór **systemu metra** (tradycyjny, półautomatyczny, automatyczny-bezzałogowy) oraz **sposób jego prowadzenia** (w całości w tunelu lub częściowo na estakadach). Z uzyskanych opinii oraz szeregu rozmów wyłonił się pogląd prowadzenia I linii w całości pod powierzchnią terenu, bez odcinków estakadowych. Z jednej strony podnosi to szacowany koszt odcinków, ale nie generuje dodatkowych nakładów przy realizacji odcinków przejściowych (tunel–estakada), które podnoszą koszt, nastręczają trudności realizacyjnych i mogą być uciążliwe dla okolicznych mieszkańców. Dodatkowo, w przypadku drążenia tunelu tarczą TBM, wymaga to odcinkowej zmiany technologii (oraz rozmontowania i przeniesienia tarczy w inne miejsce), co również wpływa na podniesienie kosztów realizacyjnych.

Przeprowadzona wstępna analiza warunków geologicznych, na podstawie obecnie dostępnych materiałów, jak również opinie grona eksperckiego pokazują, że Kraków posiada dogodną budowę geologiczną dla realizacji takich przedsięwzięć. Zagrożenie może się pojawiać w rejonach centralnych przy występowaniu zrębów wapiennych. Dlatego też na etapie opracowania koncepcji wielobranżowej należy wykonać szczegółowe badania nieinwazyjne z wykorzystaniem metod geofizycznych i odwierty w miejscach planowanych stacji oraz na trasie tuneli. To z kolei pozwoli na odpowiedni dobór rozwiązań konstrukcyjnych oraz zabezpieczeń.

Przeprowadzona wstępna analiza możliwości budowy I linii metra w Krakowie pozwala wskazać dwa obszary problemowe, których rozwiązanie staje się potrzebą najpilniejszą.

Obszar problemowy 1 – lokalizacja stacji

W obszarach wolnych od jakichkolwiek uwarunkowań lokalizacja stacji metra ustalana jest w oparciu o kryteria potencjału ruchotwórczego w rejonie oddziaływania, takie jak: liczby mieszkańców, studiujących, miejsc pracy, powierzchni usługowo-handlowych, atrakcyjności turystycznej i sportowej. Równie ważne są bezpośrednie sąsiedztwa dużych węzłów komunikacyjnych istniejących lub planowanych, integrujące różne środki transportu, w tym projektowane metro.

W obszarach, w których istnieją silne uwarunkowania, np.: konserwatorskie, przyrodnicze, przestrzenne, geologiczne, lokalizacja stacji metra musi brać je również pod uwagę. Kluczowa jest tu metoda budowy stacji. Najkorzystniejszą jest najczęściej stosowana metoda odkrywkowa. Znacznie mniej korzystną, rzadko stosowaną, jest metoda górnicza.

Autorzy analizy zdefiniowali obszar problemowy, w którym obowiązują wszystkie powyższe kryteria. Jest nim korytarz między rondem Mogilskim a AGH, którym poprowadzone są wszystkie warianty trasy metra. Tylko lokalizacje stacji w tych dwóch rejonach: ronda Mogilskiego i AGH nie budzą kontrowersji. Również, ze względu na dworzec kolejowy Kraków Główny, jako ważny węzeł transportowy nie budzi kontrowersji konieczność usytuowania w tym rejonie stacji metra. Przedstawiono trzy warianty sytuacyjne i wysokościowe lokalizacji stacji. O wyborze może zdecydować metoda budowy stacji.

Najkorzystniejsza ze względu na funkcjonalność węzła transportowego lokalizacja pod peronami stacji kolejowej i sąsiedniej galerii handlowej, z uwagi na uwarunkowania konstrukcyjne tych obiektów, może okazać się zbyt kosztowna lub nawet niemożliwa.

Kluczowa, ze względu na obsługę Starego Miasta, jest lokalizacja stacji pomiędzy Krakowem Głównym a AGH. Autorzy zaproponowali kilka wariantów sytuacyjnych, zakładając, że mogą pojawić się też inne. To w tym obszarze, w zależności od metody budowy stacji, może rozstrzygnąć się metoda wykonywania tuneli na całej linii. Jeśli, z uwagi na bardzo silne uwarunkowania: zagospodarowania terenu, konserwatorskie, geologiczne, przyrodnicze, budowa stacji metodą odkrywkową nie będzie możliwa, być może trzeba będzie zastosować metodę górniczą, np. z drążeniem tunelu jednootworowego o dużej średnicy na całej linii. Być może, że inna niż zakładana w analizie lokalizacja stacji spowoduje zmianę przebiegu linii i usytuowania stacji sąsiednich.

Autorzy analizy, biorąc pod uwagę wyspecyfikowane uwarunkowania, głównie metody budowy stacji, nie rozstrzygają ostatecznie ich usytuowania. Takie rozstrzygniecie, niezbędne dla dalszych prac projektowych, w tym dla studium wykonalności, może i musi być podjęte przez interdyscyplinarny zespół projektantów po wykonaniu specjalistycznych, szczegółowych analiz, w tym dokumentacji geologicznej.

Poza obszarem centralnym, problemem może być usytuowanie dwóch stacji na linii C: jednej pod pasem startowym byłego lotniska Rakowice i drugiej pod Placem Centralnym, wpisanych do rejestru gminnego. Tu również będą konieczne szczegółowe analizy interdyscyplinarnego zespołu projektantów.

Obszar problemowy 2 – przebieg trasy tunel / estakada

Prowadzenie metra w tunelach jest najdroższe, ale całkowicie bezkolizyjne wobec zagospodarowania terenu i dzięki temu najbardziej elastyczne. Prowadzenie metra na powierzchni jest najtańsze, ale jego kolizyjność z zagospodarowaniem terenu najczęściej wyklucza możliwość realizacji na obszarach zurbanizowanych. Prowadzenie metra na estakadach jest rozwiązaniem pośrednim, coraz częściej stosowanym w wielu miastach (Kopenhaga, Monterrey, Moskwa, Rijad). Poza wieloma zaletami jak: niższe od rozwiązań tunelowych nawet o 50% koszty budowy i eksploatacji, krótki czas realizacji, uniezależnienie od warunków gruntowo-wodnych i archeologicznych. Usytuowanie stacji na kilkumetrowych wysokościach, ma również wady: możliwość realizacji wyłącznie w szerokich korytarzach ulic, niebezpieczeństwo degradacji przestrzeni ulicznej, szczególnie przez długie odcinki pośrednie łączące estakadę z tunelem, brak możliwości przebiegu przez historyczne obszary prawnie chronione, jakimi zazwyczaj są stare centra miast.

Biorąc pod uwagę powyższe aspekty, autorzy analizy podjęli próbę wyznaczenia obszarów, w których metro na estakadach mogłoby być uzasadnione i akceptowalne.

Z analizy wykluczono obszar Starego Miasta chroniony wpisem na listę UNESCO. Przyjęto wstępne założenie o możliwości poprowadzenia metra w korytarzach ulic o szerokości pasa terenu między budynkami mieszkalnymi co najmniej 60-metrowymi.

Możliwości budowy estakad dają ulice: Armii Krajowej długości około 1,5 kilometra, ciąg ulic: Meissnera (od ul. Ślicznej do Młyńskiej), Młyńska, Lublańska, Dobrego Pasterza, Andersa długości około 6,1 kilometra oraz ciąg ulic: Ptaszyckiego, Igołomska długości około 1,7 kilometra.

W prawdzie łączna długości tych odcinków wzdłuż trasy A wynosi około 9,3 kilometra, czyli prawie 50% długości całej trasy, ale jej podział na trzy rozsunięte części wstępnie wyklucza odcinki zachodni i wschodni jako zbyt krótkie, uwzględniając strefy przejściowe. Być może z innych względów, np. braku społecznej akceptacji, wykluczony powinien być również odcinek ul. Dobrego Pasterza (w analizie nie uwzględniony jako odcinek estakadowy). Duże znaczenie dla uzyskania społecznej akceptacji metra na estakadach ma forma architektoniczna.

Autorzy analizy, biorąc pod uwagę wyspecyfikowane uwarunkowania, nie rozstrzygają ostatecznie zasadności i możliwości prowadzenia metra na estakadzie. Takie rozstrzygniecie, niezbędne dla dalszych prac projektowych, w tym dla studium wykonalności, może i musi być podjęte przez interdyscyplinarny zespół projektantów po wykonaniu specjalistycznych, szczegółowych analiz.

Wielobranżowa koncepcja budowy I linii metra

Wstępna analiza możliwości budowy I linii metra w Krakowie prowadzi do wniosku generalnego o konieczności opracowania *Wielobranżowej koncepcji budowy I linii metra,* której zadaniem będzie odpowiedź na szereg pytań i wątpliwości, obecnie nierozstrzygniętych. Koncepcja taka winna być opracowana wyprzedzająco lub co najwyżej równolegle do *Studium Wykonalności*, które już nie powinno zajmować się rozwiązywaniem np. problemów technicznych. Celem Koncepcji będzie określenie podstawowych wytycznych techniczno-ekonomicznych do projektu i budowy metra w Krakowie, przynajmniej w następującym zakresie:

- obszar systemowy:
  - system metra (tradycyjny, półautomatyczny, automatyczny bezzałogowy, klasyczny, lekki),
  - sposób jego prowadzenia (tunelowy lub mieszany tunelowo-estakadowy),
  - metody budowy fragmentów podziemnych linii w ścisłym centrum miasta i poza jego granicami;
- obszar lokalizacyjny:
  - przebieg I linii wschód–zachód,
  - lokalizacja stacji z docelowym zagospodarowaniem terenu,
  - lokalizacja wentylatorni szlakowych,
  - gospodarka istniejącą zielenią,
  - zmiany istniejącej stałej organizacji ruchu,
  - zasady organizacji ruchu na czas budowy (w rejonie placów budowy);
- obszar techniczno-realizacyjny:
  - konstrukcja tuneli szlakowych (odkrywka, drążenie tuneli tarczami, przekrój tuby jedno- lub dwutorowy),
  - oddziaływanie budowy i eksploatacji metra na obiekty budowlane, inżynieryjne oraz na środowisko przyrodnicze,
  - nawierzchnia torowa wraz z trzecia szyną,
  - wentylacja podstawowa, wentylacja lokalna, klimatyzacja i ogrzewanie,
  - układ zasilania linii (podstacje trakcyjno-energetyczne i energetyczne),
  - sieć kabli zasilających i sterowniczych,
  - systemy: radiołączności, kontroli dostępu, DSO i nagłośnienia, taryfowy, łączności przewodowej, sygnalizacji pożaru, liniowego wykrywania temperatury, gaszenia gazem, telewizji przemysłowej, łączności interkomowej itp.,
  - urządzenia sterowania ruchem pociągów (srp),
  - warunki operacyjno-techniczne bezpieczeństwa pożarowego obiektów,
  - zakres przebudowy sieci uzbrojenia podziemnego kolidującego z budową obiektów metra,
  - program monitoringu.

Podsumowanie

Artykuł omawiający wstępną analizę możliwości budowy I linii metra w Krakowie stanowi jeden z pierwszych kroków na drodze do powstania systemu metra w Krakowie i stanowi ocenę wstępnych uwarunkowań związanych z prowadzeniem I linii metra w Krakowie na kierunku wschód–zachód. Są to uwarunkowania związane z geologią, ochroną dziedzictwa kulturowego, możliwościami zagospodarowania terenu oraz zgodności z najważniejszymi dokumentami planistycznymi miasta.

Prowadzone wstępne analizy wykazują, że budowa metra w Krakowie jest możliwa. Oczywiście wymaga szeregu dalszych analiz prowadzonych w kolejnych etapach: wyboru wariantu przebiegu I linii i lokalizacji stacji, opracowania *Wielobranżowej koncepcji...* oraz *Studium Wykonalności*.

Wymogi prawne stawiane inwestorowi w związku z możliwościami dofinansowania ze środków zewnętrznych (europejskich) wymuszają określone tempo prac, lecz ze względu na wagę projektu oraz jego konsekwencje (w tym finansowe) dla przyszłości miasta koncepcja powinna być opracowywana bez presji czasu, w tempie pozwalającym na przeanalizowanie wszystkich uwarunkowań oraz wybór najkorzystniejszych dla miasta rozwiązań.

Literatura

1. Tyczyńska M., *Rozwój geomorfologiczny terytorium miasta Krakowa*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, Prace Geograficzne, nr 17, 1968.
2. Kmietowicz-Drahtowa I., Sprawozdania z posiedzeń Komitetu Nauki PAN Oddział w Krakowie, Kraków 1964.
3. Kleczkowski A.S., Myszka J., Solecki T., Stopa. J., *Krakowskie artezyjskie zdroje wód pitnych z wapieni jury,* Kraków 1994.

Analiza zmian liczby przewożonych pasażerów w transporcie zbiorowym w Krakowie w latach 2004–2014[1]

WIESŁAW STAROWICZ
dr hab. inż. prof. PK, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Zakład Transportu, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, tel. 12 628 30 93, email: wstar@pk.edu.pl
ZOFIA BRYNIARSKA
dr inż., Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Zarządzania w Budownictwie i Transporcie, Zakład Transportu, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, email: z_bryn@pk.edu.pl

Streszczenie. Znajomość liczby przewożonych pasażerów w miejskim transporcie zbiorowym jest ważna z punktu widzenia właściwego planowania dostosowania podaży do popytu. Artykuł ma na celu ocenę zmian w liczbie przewożonych pasażerów w transporcie zbiorowym w Krakowie w latach 2004–2014, w związku z pracami przygotowawczymi do podjęcia decyzji o budowie pierwszej linii metra. Liczbę przewożonych pasażerów szacowano trzema metodami: metodą GUS, metodą badania struktury biletów wykorzystywanych przez pasażerów i metodą zliczania rzeczywistej liczby pasażerów korzystających z pojazdów transportu publicznego w reprezentatywnych dniach. Treść artykułu uzupełniono o charakterystykę przewozów na podstawie badań rzeczywistej liczby przewożonych pasażerów w 2014 roku (nierównomierności przewozów sobota – dzień roboczy, niedziela – dzień roboczy oraz nierównomierności przewozów w dobie). Z przeprowadzonej analizy wynika, że w roku 2014 przewieziono na terenie Krakowa 351 milionów pasażerów, co oznacza wzrost o około 16% w stosunku do roku 2004 (metoda badań struktury wykorzystywanych biletów) lub 5% (metoda pomiarów rzeczywistych). Są to wielkości pokazujące na potrzebę poszukiwania wydajniejszych środków transportu. Na koniec, dysponując szczegółowymi wynikami badań liczby wsiadających pasażerów na wszystkich przystankach miasta, zsumowano ich liczbę na wszystkich obecnych przystankach wzdłuż planowanej pierwszej linii metra, pokazując potencjalną liczbę pasażerów metra.

Słowa kluczowe: transport pasażerski, transport zbiorowy, przewozy pasażerskie

Wprowadzenie

Aktualnie nie ma metod zautomatyzowanych pozwalających na zliczanie przewożonych pasażerów w pojazdach. W dalszym ciągu wykorzystuje się obserwatorów, którzy jeżdżąc w pojazdach, rejestrują liczbę pasażerów wsiadających na każdym przystanku. Jest to metoda bardzo czasochłonna i droga, wymagająca dużej liczby obserwatorów. Aby uzyskać wiarygodny obraz w skali roku, prowadzi się obserwacje dla wszystkich typów dnia tygodnia (roboczy, sobota, niedziela), na wszystkich liniach komunikacyjnych, we wszystkich pojazdach w całym okresie ich kursowania. Najlepszym okresem do badań jest maj i październik, wówczas nierównomierności miesięczne mają najmniejszy wpływ na wynik roczny. Do oceny liczby przewożonych pasażerów w roku kalendarzowym przyjmuje się, że w roku występuje 251 dni roboczych, 52 soboty i 62 niedziele i dni świąteczne. Dla porządku należy podkreślić, że wielkość ta, nazywana liczbą przewiezionych pasażerów, jest w rzeczywistości liczbą wszystkich przejazdów pasażerów w ciągu roku.

W Krakowie od wielu lat były przez SITK Oddział w Krakowie prowadzane badania rzeczywistej liczby przewożonych pasażerów [1,2], wyrywkowe oraz kompleksowe[2]. Zostaną one wykorzystane w niniejszym artykule.

Można też szacować liczbę przewożonych pasażerów na podstawie sprzedanych biletów. Problemem jest znajomość ruchliwości pasażerów korzystających z biletów okresowych. W tym celu wykonuje się badania wykorzystywanych przez pasażerów biletów, w tym identyfikację ruchliwości w przypadku korzystania z poszczególnych typów biletów okresowych. Obowiązuje też w Polsce zarządzenie Prezesa GUS [3] zobowiązujące przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej do sporządzania i przekazywania sprawozdania statystycznego M 20 (Roczne sprawozdanie o komunikacji miejskiej i taksówkach) do wojewódzkich urzędów statystycznych do dnia 10 stycznia każdego roku. Zgodnie z instrukcją do zarządzenia liczbę przewiezionych pasażerów w ciągu roku należy określać w oparciu o liczbę sprzedanych biletów jednorazowych (normalnych i ulgowych), okresowych, strefowych i abonamentowych. Sprzedane bilety jednorazowe, strefowe i abonamentowe są podstawą do określenia liczby przewiezionych pasażerów według zasady „tylu pasażerów, na ile przejazdów sprzedano bilety". Metoda ta, ze względu na zawyżone wskaźniki ruchliwości, daje w praktyce wyniki wyższe o około 50% od rzeczywistych wartości uzyskiwanych metodą liczenia pasażerów. Nie może zatem być przyjmowana jako wiarygodna do określania liczby przewożonych pasażerów w mieście [4].

W Krakowie od wielu lat były przez SITK Oddział w Krakowie prowadzane badania wykorzystywanych biletów [5], w tym ruchliwości[3]. Zostaną one też wykorzystane w niniejszym artykule.

Na zmianę wielkości przewozów w Krakowie należy patrzeć przez pryzmat zmian w skali całego kraju (rys. 1). Od trzydziestu lat obserwuje się tendencję ich zmniejszania.

[1] ©Transport Miejski i Regionalny, 2015. Wkład autorów w publikację: W. Starowicz 50%, Z. Bryniarska 50%

[2] Prace te koordynowane były przez autorów artykułu.

[3] Prace te również koordynowane były przez autorów artykułu.

Zmiana liczby przewożonych pasażerów określana według metody GUS

Zgodnie z zarządzeniem Prezesa GUS [3] przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej mają obowiązek sporządzania sprawozdania statystycznego M 20 (Roczne sprawozdanie o komunikacji miejskiej i taksówkach) w zakresie przewozów pasażerów (szacunkowa liczba przewiezionych pasażerów z podziałem na przewozy autobusowe, tramwajowe i trolejbusowe). MPK SA w Krakowie obliczenia takie przeprowadzało w latach 1993–2009 [6]. Po roku 2009 zaniechano obliczeń ze względu na wspominane we wprowadzeniu rozmijanie się z rzeczywistą liczbą przewożonych pasażerów i dopuszczenie w zmienionym zarządzeniu innych, bardziej wiarygodnych metod.

Do obliczeń przyjmowało się ruchliwości zestawione w tabeli 1. Jak widać, w biletach imiennych norma ruchliwości rośnie z 2,30 do 7,24, a w biletach na okaziciela z 5,26 aż do 11,51.

Uwzględniając liczbę sprzedanych biletów jednorazowych i okresowych w analizowanym okresie, uzyskiwano szacowane liczby przewożonych pasażerów zestawione w tabeli 2. Obrazuje to rysunek 2.

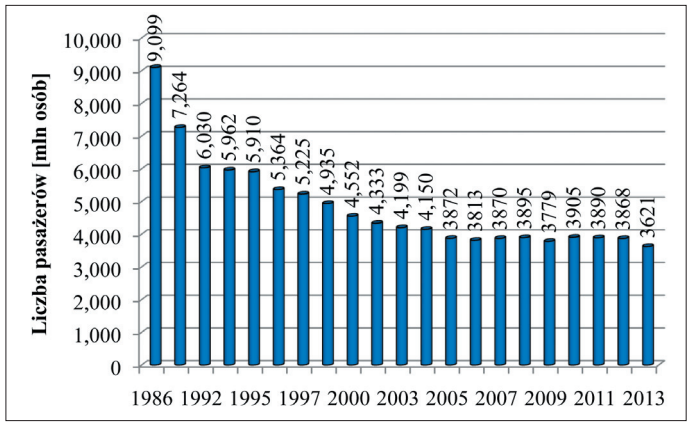
Zmiana liczby przewożonych pasażerów określana według metody badania struktury wykorzystywanych biletów

Struktura rodzajowa biletów określona jest dla trzech typów dnia tygodnia (dzień roboczy, sobota i niedziela) oraz dla dnia statystycznego. Wartości dla statystycznego dnia oblicza się jako średnią ważoną roczną, przy założeniu, że w roku jest 251 dni roboczych, 52 soboty oraz 62 niedziele i dni świąteczne.

W badaniach służących do określenia struktury rodzajowej biletów ankietowanym pasażerom zadaje się pytanie o rodzaj posiadanego biletu lub uprawnienia do bezpłatnego przejazdu. W przypadku, gdy pasażer posługuje się biletem okresowym lub posiada uprawnienie do bezpłatnego przejazdu, pyta się dodatkowo o liczbę przejazdów realizowanych **w dniu poprzednim** (aby określić ruchliwości posiadaczy biletów okresowych tzn. liczbę przejazdów realizowanych za pomocą tego biletu w okresie jego obowiązywania oraz ruchliwości pasażerów posiadających uprawnienia do bezpłatnego przejazdu). W przypadku biletu ulgowego lub przejazdu bezpłatnego notuje się przyczynę posiadania ulgi. SITK Oddział w Krakowie na zlecenie MPK SA przeprowadzało takie obliczenia w latach 1998–2009.

Badanie przeprowadza się na próbie kilkudziesięciu tysięcy pasażerów. Wyniki szczegółowe przedstawione są w pracy [4]. Wyznaczone w badaniach ruchliwości średnie przedstawiono w tabeli 3. Jak widać, ruchliwości te są istotnie mniejsze od przyjmowanych przez GUS.

Uwzględniając wyniki badań struktury wykorzystywanych biletów i ruchliwości w analizowanym okresie, uzyskiwano szacowane liczby przewożonych pasażerów zestawione w tabeli 4. Obrazuje to rysunek 3.



Rys. 1. Przewozy pasażerów transportem zbiorowym w Polsce
Źródło: *Raporty GUS*

Tabela 1

Norma ruchliwości użytkowników biletów okresowych według instrukcji GUS

Lp.	Typ biletu	Norma przejazdów	Ruchliwość dzienna*
1	miesięczny imienny:		
	- 1 linia	70	2,30
	- 2 linie	120	3,95
	- 3 linie	170	5,59
	- wszystkie linie	220	**7,24**
2	kwartalny na wszystkie linie	660	**7,24**
3	roczny na wszystkie linie	2640	**7,24**
4	miesięczny na okaziciela:		
	- 1 linia		
	- 2 linie	160	5,26
	- 3 linie	240	7,89
	- wszystkie linie	300	9,87
		350	**11,51**
5	kwartalny na wszystkie linie	1050	**11,51**
6	roczny na wszystkie linie	4200	**11,51**

** dzielona przez 365/12 = 30,4*

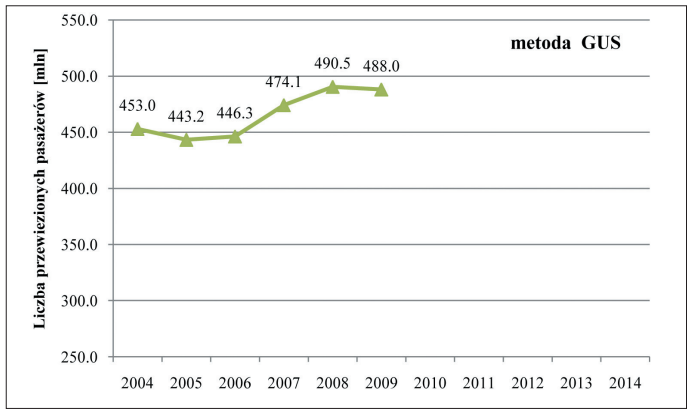
Źródło: opracowanie własne

Tabela 2

Liczba przewożonych pasażerów w Krakowie w latach 2004–2009 szacowana według metody GUS

Lp.	Rok	Liczba przewiezionych pasażerów [mln pas]
1	2004	453,0
2	2005	443,2
3	2006	446,3
4	2007	474,1
5	2008	490,5
6	2009	488,0

Źródło: *[3]*



Rys. 2. Zmiana liczby przewożonych pasażerów określana według metody GUS

Zmiana liczby przewożonych pasażerów określana według metody pomiarów rzeczywistych

Liczba przewiezionych pasażerów jest obliczana jako suma przewiezionych pasażerów (wsiadających do pojazdów) we wszystkich kursach linii komunikacyjnych. Liczba przewiezionych pasażerów dla dowolnej linii komunikacyjnej w danym dniu jest wyznaczana według wzoru na podstawie danych uzyskanych z pomiarów:

$$L_{pas,i}^{\ q} = \sum_{j=1}^{m_i^q} L_{pas,ij}^{\ q} \qquad [\text{pas}] \qquad (1)$$

gdzie:

$L_{pas,ij}^{\ q}$ – liczba pasażerów przewiezionych w j-tym kursie i-tej linii komunikacyjnej w q-tym dniu tygodnia [pas],
m_i^q – liczba kursów i-tej linii komunikacyjnej w q-tym dniu tygodnia,
q – typ dnia: typowy dzień roboczy, sobota, niedziela.

Liczba przewiezionych pasażerów $\mathbf{L}_{\text{pas}}^{\ q}$ na danym obszarze w danym dniu jest równa sumie pasażerów przewiezionych wszystkimi liniami komunikacyjnymi uruchamianymi na tym obszarze.

$$L_{pas}^{\ q} = \sum_{i=1}^{n} L_{pas,i}^{\ q} \qquad [\text{pas}] \qquad (2)$$

gdzie:

$L_{pas,i}^{\ q}$ – liczba pasażerów przewiezionych i-tą linią komunikacyjną w q-tym dniu tygodnia [pas],
n – liczba linii komunikacyjnych.

Liczba przewiezionych pasażerów L_{pas} na danym obszarze w roku jest równa sumie przewiezionych pasażerów w 251 dni roboczych, 52 soboty i 62 niedziele i dni świąteczne:

$$\mathrm{L_{pas}} = 251 \cdot L_s + 52 \cdot L_s + 62 \cdot L_n$$

Pomiary liczby przewożonych pasażerów w pojazdach publicznego transportu zbiorowego (tramwajach i autobusach) w Krakowie były wykonywane przez obserwatorów SITK od 1996 roku. W latach 1995–2006, gdy organizatorem i realizatorem przewozów było Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne SA w Krakowie, zlecenia obejmowały obserwacje 17–61 linii komunikacyjnych w ciągu roku, najczęściej jednocześnie w typowym dniu roboczym, w soboty i niedziele. Dbano również, aby w tym samym dniu wykonywać pomiary na liniach tworzących wiązki komunikacyjne, czyli na liniach, które na długim odcinku (ciągu komunikacyjnym) poruszają się po tej samej trasie.

Od 2007 roku, po przeniesieniu kompetencji organizatora transportu do Zarządu Dróg i Transportu (ZDiT), a potem do Zarządu Infrastruktury Komunalnej i Transportu (ZIKiT), pomiary i obserwacje były wykonywane jedynie w typowe dni robocze. W jednym roku kalendarzowym liczba linii komunikacyjnych objętych pomiarami wynosiła od 37 do 151.

W latach 1996–2013 nigdy nie objęto pomiarami wszystkich miejskich linii komunikacyjnych w tym samym okresie (w sezonie jesiennym lub wiosennym albo chociaż w jednym roku). Wykonywano jednak pełne obserwacje (wszystkich linii komunikacyjnych) uczestniczących w przewozach nocnych lub podmiejskich (aglomeracyjnych) zarówno w typowym dniu roboczym, jak i w soboty oraz niedziele. Obserwacje linii nocnych przeprowadzono w latach 2002, 2007, 2008 (dwukrotnie w sierpniu i w październiku) oraz w 2013 roku. Z kolei

Tabela 3

Średnie ruchliwości mieszkańców korzystających z usług transportu zbiorowego w Krakowie

Lp.	Rodzaj dnia	Bilety okresowe
1	Dzień roboczy	3,71
2	Sobota	3,71
3	Niedziela	3,33
4	Dzień statystyczny	3,65

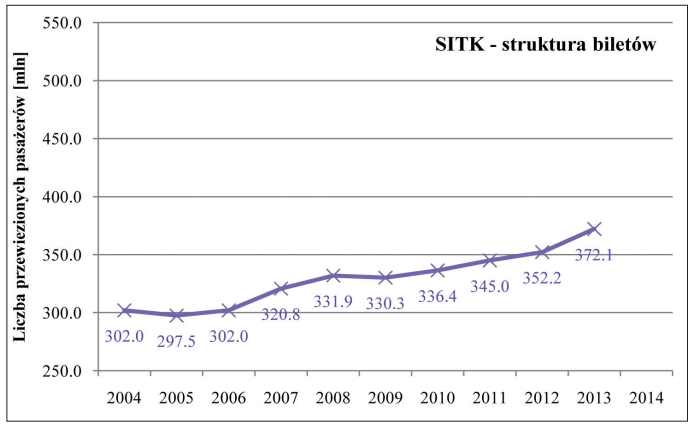
Źródło: *[4]*

Tabela 4

Liczba przewożonych pasażerów w Krakowie w latach 2004 – 2013 szacowana według metody badania struktury wykorzystywanych biletów

Lp.	Rok	Liczba przewiezionych pasażerów [mln pas]
1	2004	302,0
2	2005	297,5
3	2006	302,0
4	2007	320,8
5	2008	331,9
6	2009	330,3
7	2010	336,4
8	2011	345,0
9	2012	352,2
10	2013	372,1

Źródło: *[5]*



Rys. 3. Zmiana liczby przewożonych pasażerów określana według metody badania struktury wykorzystywanych biletów

obserwacje linii podmiejskich w latach: 1996, 2000, 2006, 2009 i 2013.

Liczba linii komunikacyjnych, dla których przeprowadzano pomiary w dniu roboczym wynosiła w niektórych latach nawet 2/3 wszystkich linii tramwajowych lub autobusowych (tabela 5).

W 2014 roku wykonano pełne obserwacje liczby przewożonych pasażerów w dniu roboczym, w soboty i niedziele liniami komunikacyjnymi na terenie miasta Krakowa. Obserwacjami zostały objęte wszystkie linie tramwajowe (24), miejskie linie autobusowe (77) oraz wybrane linie autobusowe podmiejskie, które mają duże znaczenie w przewozach na terenie miasta, gdyż ich trasy są w większości położone w jego granicach administracyjnych.

Dla oszacowania liczby przewożonych pasażerów w wybranym roku kalendarzowym wykorzystywano obserwacje z danego roku i lat poprzedzających tak, aby zgromadzić dane dla wszystkich linii komunikacyjnych kursujących w tym czasie. W ten sposób uzyskano dane dla roku 2004 i 2014 zarówno dla dni roboczych, jak i soboty oraz niedzieli. W pozostałych latach dostępne były tylko dane o przewozach w dniu roboczym.

Dla oceny wielkości przewozów w soboty i niedziele wykorzystano porównanie wielkości przewozów w soboty oraz niedziele do wielkości przewozów w dniu roboczym z lat 2004 i 2014. Ponadto podobne porównanie można było zrobić dla danych z 2010 roku, gdyż wówczas obserwacje dla wybranych 19 linii komunikacyjnych (13 linii autobusowych miejskich i 6 linii tramwajowych) wykonano w dniu roboczym, w sobotę i w niedzielę (tabela 6). Otrzymane wyniki nierównomierności przewozów w różnych dniach tygodnia pozwoliły ocenić wielkość przewozów w soboty i niedziele, w latach, w których nie wykonywano w te dni obserwacji napełnień pojazdów.

Udział przewozów w soboty i w niedziele w stosunku do dnia roboczego w latach 2004–2014 był coraz mniejszy. Przewozy w sobotę (S) w 2014 roku stanowią 50,3%, a przewozy w niedzielę (N) 39,6% przewozów w typowym dniu roboczym.

Uwzględniając wyniki pomiarów rzeczywistych oraz szacunków w analizowanym okresie, uzyskiwano szacowane liczby przewożonych pasażerów zestawione w tabeli 7. Obrazuje to rysunek 4.

Porównanie zmiany liczby przewożonych pasażerów określanych według różnych metod

Wyniki szacunku liczby przewożonych pasażerów w Krakowie w latach 2004–2014 zestawiono na rysunku 5. Jak widać, metoda szacunku na podstawie badania struktury wykorzystywanych biletów i pomiarów rzeczywistych dają zbliżone wyniki. Dowiadujemy się z nich, że w roku 2014 przewieziono na terenie Krakowa 351 milionów pasażerów, co oznacza wzrost o około 16% w stosunku do roku 2004 (metoda badań struktury wykorzystywanych biletów) lub 5% (metoda pomiarów rzeczywistych).

Tabela 5

Liczba linii komunikacyjnych objętych pomiarami w latach 2004–2014

Rok	Linie komunikacyjne				Łącznie
	Nocne	Autobusowe miejskie	Autobusowe podmiejskie	Tramwajowe	
2004		30	7	11	**48**
2005		54		7	**61**
2006		5	42		**47**
2007	11	54		11	**76**
2008	2*9	35	12	18	**83**
2009		32	64	14	**110**
2010		32	2	3	**37**
2011		32	4	11	**47**
2013	10	62	65	14	**151**
2014		77	8	24	**109**

Źródło: opracowanie własne

Tabela 6

Nierównomierność przewozów w różnych dniach tygodnia

Rok	Rodzaj linii	Udział przewozów [%]	
		S/R	N/R
2004	Linie miejskie	56,4	42,7
2010		55,6	41,2
2014		**50,3**	**39,6**
2006	Linie podmiejskie	51,1	40,8
2009		50,9	39,96
2013		51,97	39,1

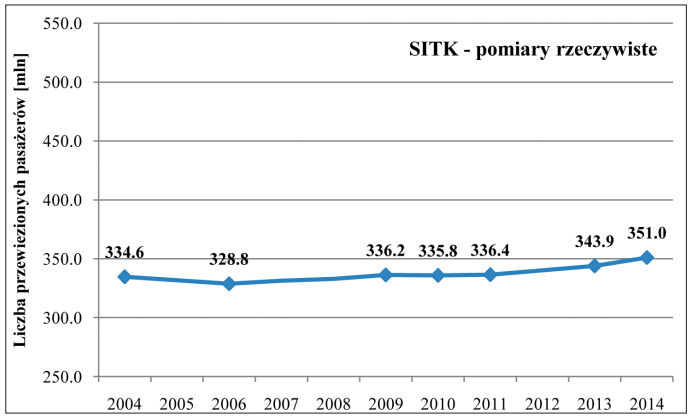
Źródło: opracowanie własne

Tabela 7

Liczba przewożonych pasażerów w Krakowie w latach 2004–2014 szacowana według metody pomiarów rzeczywistych

Lp.	Rok	Liczba przewiezionych pasażerów [mln pas]
1	2004	334,6
2	2006	328,8
3	2009	336,2
4	2010	335,8
5	2011	336,4
6	2013	343,9
7	2014	351,0

Źródło: *[5]*



Rys. 4. Zmiana liczby przewożonych pasażerów określana według metody pomiarów rzeczywistych

Charakterystyka przewozów na podstawie badań rzeczywistej liczby przewożonych pasażerów w 2014 roku [7]

Porównanie nierównomierności przewozów sobota – dzień roboczy i niedziela – dzień roboczy

Największa liczba pasażerów korzysta z publicznego transportu zbiorowego w typowym dniu roboczym. Liczba osób przewożonych w soboty i niedziele jest zdecydowanie mniejsza. Porównanie liczby pasażerów przewożonych w soboty lub w niedziele do liczby pasażerów przewożonych w typowym dniu roboczym pozwala na wyznaczenie wskaźnika nierównomierności przewozów [1]. Najłatwiej jest wyznaczyć ten wskaźnik dla wszystkich linii komunikacyjnych łącznie. Warto jednak zaobserwować, jak przebiega proces stabilizowania się wartości wskaźnika nierównomierności podczas dołączania danych o liczbie przewożonych pasażerów z kolejnych linii komunikacyjnych. Wartość wskaźnika, po uwzględnieniu danych z kilku początkowych linii, osiąga prawie stałą wartość. Dodawanie kolejnych wielkości prawie nie wpływa na zmianę jego wielkości. Wyniki zestawiono na rysunkach 6–7.

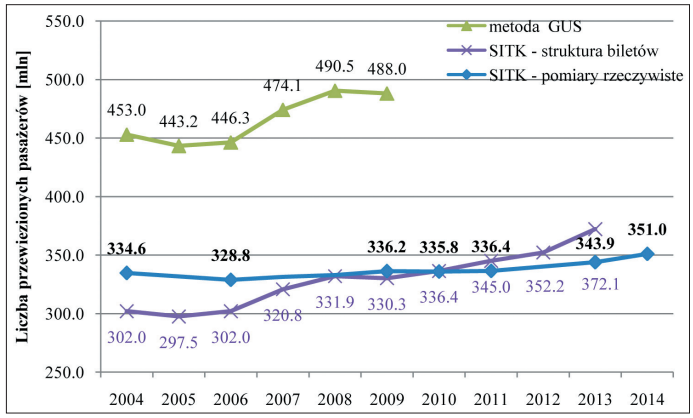
W ten sposób można przyjąć, że wartość współczynnika nierównomierności przewozów w soboty i niedziele wyznaczonego dla kilku linii komunikacyjnych pozwala na oszacowanie wielkości przewozów w soboty i niedziele na podstawie wielkości przewozów w dniu roboczym.

Nierównomierność przewozów w dobie

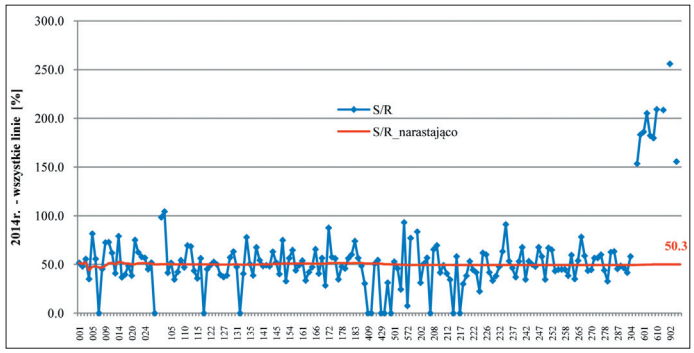
Jedną z ważnych cech popytu w publicznym transporcie zbiorowym w miastach jest nierównomierność przewozów w dobie. Rozkład nierównomierności w kolejnych godzinach doby określa udział procentowy przewozów w danej godzinie do przewozów ogółem w danej dobie [1]. Rozkłady nierównomierności w dni robocze charakteryzuje występowanie dwóch wartości maksymalnych – w godzinach porannych i w godzinach popołudniowych określanych jako poranny lub popołudniowy szczyt komunikacyjny. Od wielu lat w Krakowie poranny szczyt komunikacyjny występuje od godziny 7 do godziny 8, czyli trwa tylko jedną godzinę (rysunek 8). Udział przewozów linii autobusowych w tym okresie jest wyższy (8,2%) niż linii tramwajowych. Szczyt popołudniowy, gdy udziały przewozów w godzinie przekraczają 7%, trwa dłużej, od godziny 14 do godziny 18. Udziały przewozów w godzinie 15 są wyższe w komunikacji tramwajowej (8,8%) niż w komunikacji autobusowej (8,6%), oraz wyższe niż w godzinach szczytu porannego.

W okresie między szczytami komunikacyjnymi, w kolejnych latach (2004–2014), udziały przewozów są coraz wyższe i dla komunikacji tramwajowej wynoszą 5,8–6,9%, a w komunikacji autobusowej 5,3–6,7%.

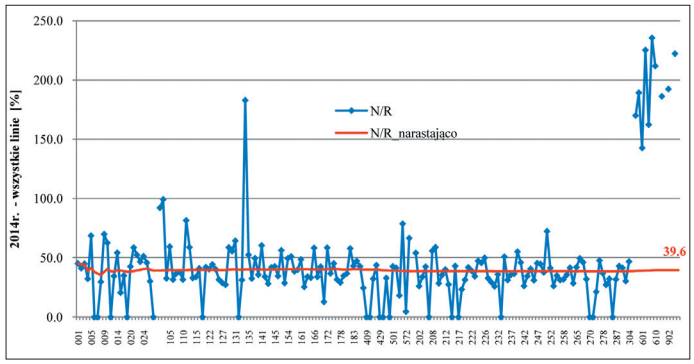
Rozkłady przewozów w soboty (rysunek 9) i niedziele (rysunek 10) mają inny charakter. W soboty od godzin porannych przewozy stopniowo wzrastają i w godzinach 12 do 14 ich udziały osiągają maksymalne wartości 7,5–8,0%, a w godzinach popołudniowych powoli maleją.



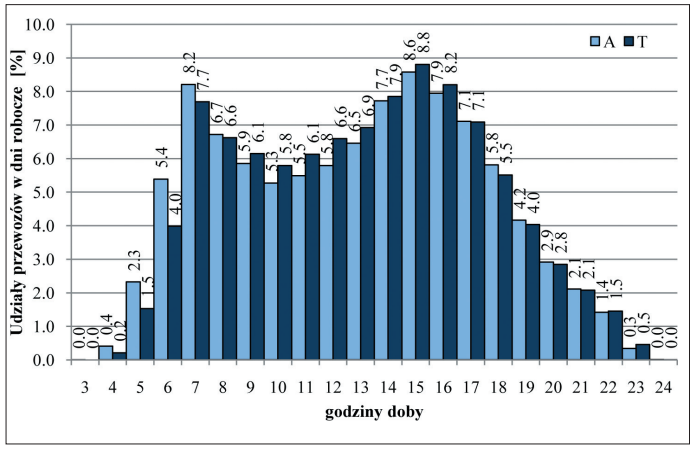
Rys. 5. Zmiana liczby przewożonych pasażerów w komunikacji miejskiej Krakowa w latach 2004–2014



Rys. 6. Zmiany wielkości wskaźnika nierównomierności przewozów w soboty (S) w stosunku do dni roboczych (R) dla wszystkich linii (tramwajowych, autobusowych i nocnych) w 2014 r.



Rys. 7. Zmiany wielkości wskaźnika nierównomierności przewozów w niedziele (N) w stosunku do dni roboczych (R) dla wszystkich linii (tramwajowych, autobusowych i nocnych) w 2014 r.



Rys. 8. Rozkład przewozów w dni robocze w 2014 r. (A– autobusy, T– tramwaje)

W niedziele udziały przewozów również wzrastają w kolejnych godzinach i osiągają wartości maksymalne (8,0–8,4%) w godzinach 13 do 16, czyli nieco później niż w soboty. W godzinach popołudniowych udziały przewozów maleją znacznie wolniej niż w soboty – zwłaszcza w komunikacji tramwajowej.

Struktura przewozów pasażerów w 2014 r.

Strukturę przewozów w podziale na typy dni tygodnia oraz rozdaje komunikacji zestawiono w tabeli 8 i na rysunkach 11–12. Jak widać, w dniu roboczym udział przewozów liniami tramwajowymi wynosi 50%, autobusowymi miejskimi 42%, autobusowymi aglomeracyjnymi 7% i nocnymi 1%. Udział przewozów we wszystkich dniach roboczych wynosi 83%, w soboty 9% a w niedziele 8%.

Tabela 8

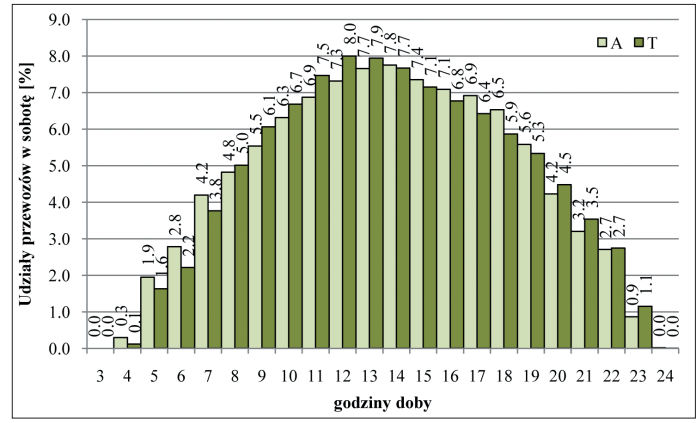
Struktura przewozów pasażerów w 2014 r.					
2014	linie tramwajowe	linie autobusowe	linie aglomeracyjne	Linie nocne	wszystkie linie
dzień roboczy	586 426	483 112	86 417	7 480	**1 163 435**
sobota	294 788	233 936	43 576	13 572	585 872
niedziela	230 226	183 936	32 540	13 973	460 675
rok	**176 795 914**	**144 829 816**	**25 974 130**	**3 449 550**	**351 049 410**

Liczba pasażerów wsiadających wzdłuż planowanej pierwszej linii metra

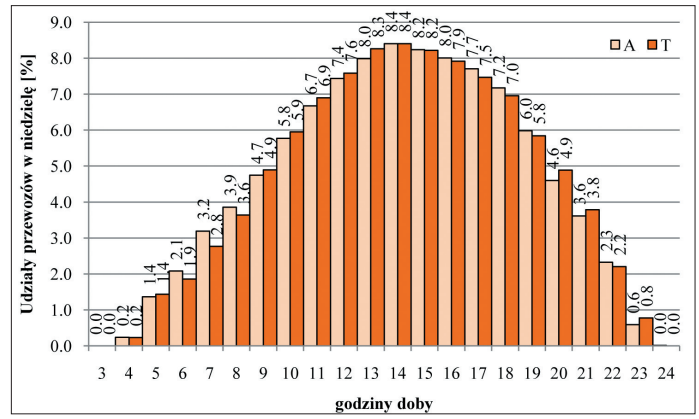
Planowana pierwsza linia metra została wytrasowana wzdłuż istniejących tras komunikacji autobusowej lub tramwajowej. Żadna istniejąca linia komunikacyjna jednak nie pokrywa się w całości z trasą metra. Zaproponowane przystanki metra zostały zlokalizowane w pobliżu istniejących przystanków komunikacyjnych. Nazwy przystanków metra, których używają autorzy projektu linii metra, najczęściej odpowiadają tradycyjnym, dobrze znanym nazwom tych przystanków, chociaż czasem stosowane są inne nazwy jak: Stelli-Sawickiego (dzisiaj to przystanek Wiślicka) czy Prądnik Czerwony (zamiast Rondo Barei). Czasem bardziej nośne nazwy jak Kraków Arena (zamiast Wieczysta).

Dysponując szczegółowymi wynikami badań liczby wsiadających pasażerów na wszystkich przystankach miasta, zsumowano ich liczbę na wszystkich obecnych przystankach wzdłuż planowanej pierwszej linii metra. Histogram łącznej liczby wsiadających w godzinnych odstępach zestawiono dla dnia roboczego na rys. 13. Jak widać, w dniu roboczym liczba ta sięga 380 tysięcy pasażerów.

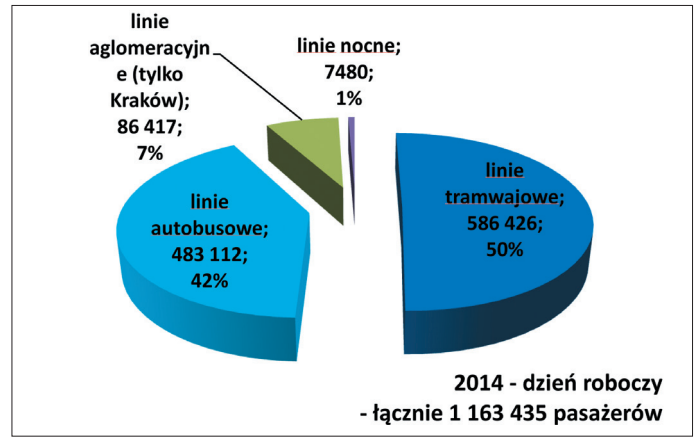
Z kolei wykorzystując badania zapełnienia pojazdów, wyznaczono wielkość potoków pasażerów na wszystkich odcinkach linii metra (tabela 9). Dla odcinków, które obecnie nie istnieją jak Basztowa LOT – AGH, przyjęto potok pasażerów na odcinku o największej frekwencji pasażerów pomiędzy tymi dwoma przystankami, zakładając, że linia metra będzie na tyle atrakcyjna, że pasażerowie będą wybierać właśnie to połączenie. Największe potoki pasażerów (ponad 40 tys. pasażerów w dobie), jak należało oczekiwać, występują w centralnym odcinku linii metra, zlokalizowanym w cen-



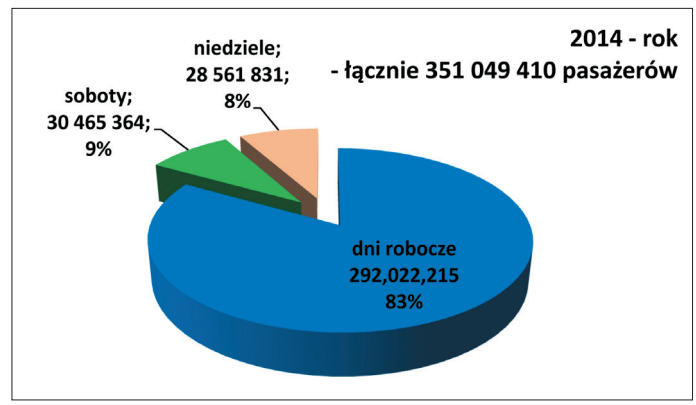
Rys. 9. Rozkład przewozów w soboty w 2014 r. (A– autobusy, T– tramwaje)



Rys. 10. Rozkład przewozów w niedziele w 2014 r. (A– autobusy, T– tramwaje)



Rys. 11 . Struktura przewozów – dzień roboczy

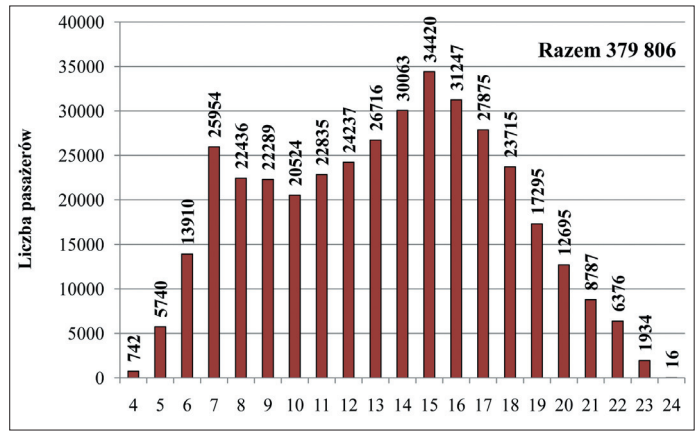


Rys. 12 . Struktura przewozów – rodzaj dni tygodnia

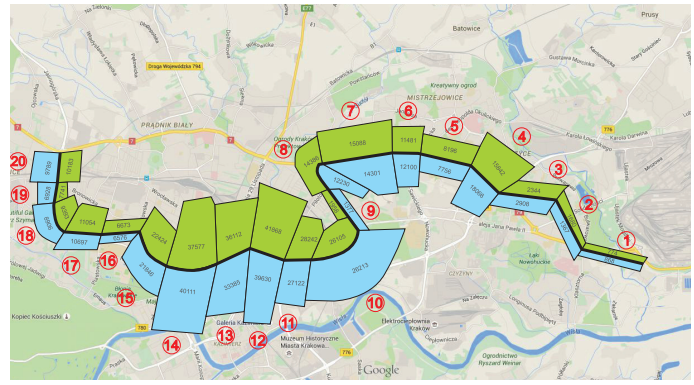
Tabela 9

Potoki pasażerów wzdłuż projektowanej pierwszej linii metra							
Numer odcinka	Odcinek	Kierunek Kopiec Wandy – Rondo Ofiar Katynia			Kierunek: Rondo Ofiar Katynia – Kopiec Wandy		
		Szczyt poranny	Szczyt popołudniowy	Suma w dobie	Szczyt poranny	Szczyt popołudniowy	Suma w dobie
1	Kopiec Wandy – Suche Stawy	89	86	774	42	100	868
2	Suche Stawy – Al. Róż	137	189	1680	66	144	1367
3	Al. Róż – Kocmyrzowska	210	314	2344	223	276	2908
4	Kocmyrzowska – Bieńczyce	995	1931	15842	2102	1369	18066
5	Bieńczyce – Stelli Sawickiego	829	670	8196	570	635	7756
6	Stelli Sawickiego – Os. Oświecenia	1398	939	11481	737	1021	12100
7	Os. Oświecenia – Prądnik Czerwony	1948	1068	15088	613	1274	14301
8	Prądnik Czerwony – Olsza	1744	926	14386	372	1082	12230
9	Olsza – Kraków Arena	134	109	1958	66	190	1377
10	Kraków Arena – Cystersów	3065	1608	26105	1504	2977	26213
11	Cystersów – Rondo Mogilskie	3222	2065	28242	1674	2995	27122
12	Rondo Mogilskie – Dworzec Główny	4506	2966	41868	2016	3480	39630
13	Dworzec Główny – Basztowa	3468	2810	36112	2026	2772	33385
14	Basztowa – AGH	3123	3115	37577	2725	3445	40111
15	AGH – Królewska	1756	1656	22424	1732	1597	21846
16	Królewska – Piastowska	712	420	6673	338	636	6576
17	Piastowska – Przybyszewskiego	993	797	11054	871	749	10697
18	Przybyszewskiego – Os.Widok	779	760	9393	796	661	8906
19	Os.Widok – Bronowice	629	631	7741	618	528	6928
20	Bronowice – Rondo Ofiar Katynia	576	970	10183	1299	677	9789

Źródło: opracowanie własne



Rys. 13. Liczba pasażerów wsiadających wzdłuż I linii metra w dniu roboczym



Rys. 14. Dobowe potoki pasażerów wzdłuż projektowanej I linii metra (numery odcinków międzywęzłowych wg tabeli 9)
Źródło: opracowanie własne

trum miasta i łączącym najważniejsze miejsca generacji podróży (uczelnie, urzędy administracji, miejsca pracy, dworzec kolejowy i autobusowy komunikacji dalekobieżnej i regionalnej). Wielkość i rozmieszczenie dobowych potoków pasażerów zostały przedstawione na rysunku 14. Wstęga potoków ponad trasą linii metra ilustruje wielkość potoków dla kierunku Kopiec Wandy – Rondo Ofiar Katynia, a wstęga poniżej trasy linii metra dla kierunku przeciwnego.

Podsumowanie

Artykuł ma na celu ocenę zmian w liczbie przewożonych pasażerów w transporcie zbiorowym w Krakowie w latach 2004–2014. Liczbę przewożonych pasażerów szacowano trzema metodami: metodą GUS, metodą badania struktury biletów wykorzystywanych przez pasażerów i metodą zliczania rzeczywistej liczby pasażerów korzystających z pojazdów transportu publicznego w reprezentatywnych dniach.

Treść artykułu uzupełniono o charakterystykę przewozów na podstawie badań rzeczywistej liczby przewożonych pasażerów w 2014 roku (nierównomierności przewozów sobota – dzień roboczy, niedziela – dzień roboczy oraz nierównomierności przewozów w dobie).

Z przeprowadzonej analizy wynika, że w roku 2014 przewieziono na terenie Krakowa 351 milionów pasażerów, co oznacza wzrost o około 16% w stosunku do roku 2004 (metoda badań struktury wykorzystywanych biletów) lub 5% (metoda pomiarów rzeczywistych).

Zsumowana liczba pasażerów wsiadających na wszystkich przystankach wzdłuż planowanej pierwszej linii metra w dniu roboczym wynosi ok. 390 tys. pasażerów. Maksymalny potok dobowy wynosi około 40 tys. pasażerów.

Literatura

1. Bryniarska Z., Starowicz W., *Wyniki badań systemów transportu publicznego w wybranych miastach*, SITK RP, Oddział w Krakowie, 2010.
2. *Określenie ilości pasażerów przewożonych transportem zbiorowym w Krakowie w ciągu roku*, Raport SITK Oddział w Krakowie, dla ZIKIT, Kraków 2010.
3. Zarządzenie nr 28 prezesa Głównego Urzędu Statystycznego z dnia 30 czerwca 1986 roku w sprawie obowiązków sprawozdawczych z zakresu gospodarki komunalnej (Dziennik Urzędowy GUS nr 4 z 1 lipca 1986r., poz. 22).
4. Starowicz W., *Nowe podejście do określania liczby przewożonych pasażerów w miejskim transporcie zbiorowym,* „Transport Miejski i Regionalny", 2005, nr 12.
5. *Wyniki badań ruchliwości różnych grup pasażerów korzystających z poszczególnych rodzajów biletów oraz uprawnień do przejazdów bezpłatnych w przewozach realizowanych przez MPK SA w Krakowie,* Raport SITK Oddział w Krakowie, dla MPK S.A. w Krakowie, Kraków 2004–2009.
6. *Sprawozdania Zarządu MPK S.A. w Krakowie z lat 2004–2009,* Niepublikowane materiały wewnętrzne MPK SA w Krakowie.
7. *Zintegrowany system taryfowo-biletowy w obszarze aglomeracji krakowskiej, Etap I – Badania napełnień pasażerskich w pojazdach Komunikacji Miejskiej w Krakowie na liniach miejskich*, Raport International Management Services Sp. z o.o. dla Zarządu Infrastruktury Komunalnej i Transportu, Kraków 2014.

VIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna

polityka parkingowa w miastach

Cele konferencji:

Celem Konferencji jest wymiana poglądów i doświadczeń w zakresie uwarunkowań funkcjonalnych, prawnych, ekonomicznych i organizacyjnych systemów parkingowych:

- Nowoczesne systemy zarządzania parkingami
- Systemy sterowania informacją o dojazdach do miejsc parkingowych
- Aspekty techniczne parkingów
- Parkingi kubaturowe (w tym podziemne) – uwarunkowania lokalizacyjne, techniczne i organizacyjne
- Projektowanie i organizacja ruchu na parkingach
- Wpływ parkingów wielkopowierzchniowych na funkcjonowanie obsługującego układu komunikacyjnego
- Metody wyznaczania potencjałów ruchotwórczych obiektów parkingowych
- Standardy parkowania
- Uwarunkowania prawne związane z funkcjonowaniem systemu parkingowego
- Ocena działania stref płatnego parkowania.
- Efektywność, organizacja poboru opłat
- Park & Ride w świetle krajowych i zagranicznych doświadczeń

Terminy i opłata konferencyjna:

Koszt udziału 1 osoby w konferencji wynosi **970 zł + VAT 23%**. Termin zgłoszenia referatu upływa **21.06.2015r.** Zgłoszenia bez referatu będą przyjmowane do **15.10.2015r**.

Organizatorzy konferencji:

Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Oddział w Krakowie

Zakład Transportu Politechniki Krakowskiej

Zakład Systemów Komunikacyjnych Politechniki Krakowskiej

Protektorat honorowy konferencji:

JM Rektor Politechniki Krakowskiej, prof. dr hab. inż. Kazimierz FURTAK

Prezes Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji RP, prof. dr hab. inż. Janusz DYDUCH

Miejsce i termin konferencji:

Politechnika Krakowska
Pawilon Konferencyjno-Wystawowy
„Kotłownia"
Kraków, ul. Warszawska 24

16-17 listopada 2015r.

Dane teleadresowe:

SITK RP Oddział w Krakowie
ul. Siostrzana 11, 30-804 Kraków
tel. 12 658-93-72, fax: 12 659-00-76

e-mail: **annabujak@sitk.org.pl**
www.krakow.sitkrp.org.pl