

Kulisy budowy centralnego odcinka II linii warszawskiego metra

Stacja metra Świętokrzyska, fot. M. Mozert dla AGP



tekst: **MATEUSZ WITCZYŃSKI**, zdjęcia: **ARCHIWUM AUTORA**

Najlepsi specjaliści, najnowocześniejsze technologie, elastyczne podejście do realizacji projektu, bardzo duża płynność finansowa wykonawcy, zarządzanie przez menedżerów najwyższego szczebla pozwoliły w Warszawie zrealizować centralny odcinek II linii metra w czasie, którego stolica Polski może zazdrościć Europa Zachodnia.

Budowa centralnego odcinka II linii metra dała Warszawie drugie miejsce w Europie pod względem szybkości realizacji kolei metropolitarnej – 1,22 km/rok (1,4 stacji/rok) – wynika z badań pracowni analitycznej BIQdata. Daleko w tyle zostali Niemcy – 0,36 km/rok. Podziemna kolejka powstawała dwa

razy szybciej od tej na Węgrzech (0,74 km/rok) czy w Amsterdamie (0,65 km/rok – tu statystyka może się jeszcze pogorszyć, ponieważ budowa trwa). Od stolicy Polski lepsza jest tylko Kopenhaga (1,72 km/rok).

Wykonawcą zadania w formule zaprojektuj i zbuduj byli współpracujący ze sobą weterani placów budów: włoskie Astaldi SpA – 95 lat na rynku, turecki Gülermak – 60 lat w branży i Przedsiębiorstwo Budowy Dróg i Mostów Sp. z o.o. z Mińska Mazowieckiego – 94 lata na rynku drogowym w Polsce. Już na etapie oferty było jasne, że zaprojektowanie i wykonanie w 48 miesięcy siedmiu stacji oraz ponad 9 km łączących je tuneli, sześciu wentylatori szlakowych odpowiedzialnych za wymianę powietrza i ewentualną ewakuację z tuneli, trzech komór torów odstawczych, komory zawracania, łącznika tunelowego z I linią metra to bardzo wyśrubowane wymagania, do spełnienia których potrzebna będzie nieznaną dotychczas w Polskim budownictwie mieszanka najnowocześniejszych rozwiązań technologicznych, metod zarządzania projektem, formuły realizacji, a także profesjonalnego zespołu. W szczytowym momencie liczył on przeszło 300 inżynierów i menedżerów, w sumie przez budowę przewinęło się kilkanaście tysięcy pracowników.



Zespół AGP podczas chrzcin tarcz TBM, fot. M. Mozert dla AGP

Kadra

Dla zatrudniających przeszło 20 tys. osób na stanowiskach technicznych przedsiębiorstw-konsorcjantów problem nie istniał. Wytyczne zarządów firm były jasne: każda miała oddelegować swoich najlepszych fachowców. Kierownikiem działu budowy i projektowania tuneli został Marco Barbanti, obecnie jeden z najlepszych specjalistów w tej dziedzinie na świecie. Zaprawiony w zarządzaniu pracami od południa Włoch po Syberię Salvatore Romeo objął funkcję szefa działu robót lądowych, a mającemu już doświadczenie na polskich budowach Yukselowi Caglarowi powierzono, połączony z torowym, dział mechaniczny.

Firmy stanęły jednak przed wyzwaniem znalezienia bardzo wysoko wykwalifikowanych pracowników, posiadających unikatowe doświadczenie na lokalnym, warszawskim rynku. Zarząd inwestycji składający się z trzech mogących podejmować jednoosobowo strategiczne decyzje partnerów: Francesca Paola Scaglione (dyrektor CEE Astaldi SpA), Mustafy Tuncera (dyrektora Gülermak w Polsce) oraz Janusza Dróżdza (dyrektora Przedsiębiorstwa Budowy Dróg i Mostów z Mińska Mazowieckiego), podjął bezkompromisową decyzję o zebraniu z rynku najlepszych. Tym sposobem do zespołu trafili m.in. Ryszard Orłowski, kierownik ruchu zakładu górniczego, który budował metro w Polsce od 183. tubingu tunelu B15 od stacji Świętokrzyska do Ratusz Arsenał (1998), były szef warszawskiego oddziału PeBeKa SA. Znany z tego, że nie zna słowa niemożliwe Paweł Skorupa (pracował z Orłowskim od stacji Ratusz Arsenał przy koordynacji prac na wszystkich stacjach) później kierował budową węzła Młociny i tunelu kolejowego na lotnisko Okęcie. Sławomir Kaszewski, architekt, konstruktor, specjalista od zarządzania pracami projektowymi i budowlanymi. Piotr Rutowicz, specjalista od rozruchów i testów. Artur Stankiewicz,

specjalista od budowy torowisk. Kierowanie robotami drogowymi powierzono Andrzejowi Sobczykowi, a inżynierem ruchu została Izabela Goćławska. Kierownicy budów: Maciej Masłowski, Sławomir Skraba, Robert Marcinkowski, Marcin Dudrak, Krzysztof Panek, Marek Gajdis oraz kierownik robót Łukasz Adamczyk i prawie 300 innych specjalistów wszystkich branż związanych z budową. Nazywany od imion jego pracowników Darkami dział wsparcia, który realizował zadania, począwszy od zapewnienia kawy w biurze, a skończywszy na zorganizowaniu 500-osobowego zespołu „na jutro” do posprzątania ul. Świętokrzyskiej w jedną noc, czyli Dariusz Kost (kierownik), Dariusz Krystian i Daria Paszyłk.

Formuła

Oferta na projekt i budowę centralnego odcinka II linii metra, która 16 lutego 2009 r. okazała się najkorzystniejsza, została przez partnerów złożona w konsorcjum. Zarządy miały już wtedy świadomość, że niemogące posiadać własnego konta bankowego, parku maszyn czy załogi konsorcjum nie przystaje do potrzeb projektu. Rozwiązanie podsunęła jedna z najlepszych specjalistek od zamówień publicznych, również zaangażowana w projekt, Hanna Talago-Sławoj. Prawniczka zasugerowała założenie przez członków konsorcjum spółki cywilnej. Rozwiązanie to nie tworzyło osobowości prawnej, więc mogło zostać wdrożone pomimo podpisania umowy realizacyjnej. Partnerom pozwalało na posiadanie wspólnego rachunku bankowego, zatrudnianie pracowników specjalnie do projektu, zakup maszyn ze wspólnego budżetu oraz, co najważniejsze, niedzielenie robót na odcinki, umożliwiało natomiast powoływanie zespołów zadaniowych złożonych z najlepszych specjalistów z zasobów partnerów oraz pracowników pozyskanych z rynku. Początkowo jednak instytucje miejskie z rezerwą

Stacja metra Świętokrzyska, fot. M. Mozart dla AGP





Pierwszy dzień funkcjonowania II linii metra, fot. R. Parma

patrzyły na to rozwiązanie. Sprawa dotarła aż do prezesa Urzędu Zamówień Publicznych, który orzekł, że taka formuła jest dopuszczalna i nikt nie ma prawa odmawiać uznania spółki cywilnej założonej przez firmy z konsorcjum. Dziś ta formuła dzięki uporowi budowniczych metra jest bardzo popularna, jednak przy budowie centralnego odcinka II linii warszawskiego metra została zastosowana po raz pierwszy.

Elastyczność

Przy tak krótkim terminie realizacji zarząd projektu uznał, że dogmatyczne trzymanie się pierwotnych planów może przynieść więcej szkód niż korzyści. Pierwszą zmianą było przestawienie całości robót tunelowych na pracę z wykorzystaniem zmechanizowanych maszyn drążących. Inwestor przewidywał, że kilkusetmetrowy łącznik torowy pomiędzy I a II linią metra zostanie wykonany metodami tradycyjnymi (ze względu na brak maszyn TBM EPB o tak małym promieniu skrzytu). Inżynierowie AGP Metro Polska SC doszli jednak do wniosku, że szybciej i ze względu na olbrzymie koszty stałe projektu taniej będzie zaprojektować i wykonać maszynę o odpowiednich parametrach. Dzięki współpracy AGP, projektanta tunelu firmy RockSoil oraz producenta maszyn firmy Herrenknecht AG stworzono maszyny zdolne wykonać tunel o promieniu skrzytu poniżej 300 m, przez co wyeliminowano konieczność reali-

zacji łącznika wolniejszą i znacznie mniej ekologiczną metodą tradycyjną.

Następnym wyzwaniem było uzyskanie pozwoleń na budowę. Dokumentacja inwestora zakładała przygotowanie jednego pozwolenia na wszystkie obiekty, jednak wskutek wcześniej nierozwiązanych problemów formalnych (m.in. brak zgody Ministerstwa Finansów na lokalizację wejścia przewidzianego w projekcie koncepcyjnym na dziedzińcu jego siedziby) oraz chęci przyspieszenia prac zdecydowano o podzieleniu budowy na znacznie mniejsze obiekty. Umożliwiło to szybkie uzyskanie pozwolenia na budowę szybów startowych dla TBM przy rondzie Daszyńskiego i na Powiśle; ich konstrukcja posłużyła później jako ściany zewnętrzne stacji. Ostatni z tych szybów nie doczekał się uruchomienia w nim tarcz. Po awarii podczas realizacji łącznika pod tunelem Wiślostrady natychmiast podjęto decyzję o przeprojektowaniu i przebudowaniu już istniejących elementów stacji Dworzec Wileński, tak by oddzielić realizację robót tunelowych od problemów z realizacją stacji C13 Centrum Nauki Kopernik.

Innym przykładem reakcji na warunki w terenie jest przejście przez stację Rondo ONZ bez wykopu podstropowego. Początkowo wszystkie przejścia przez stacje planowano jako wejście w gotową konstrukcję stacji. Jednak ze względu na większą niż w dokumentacji liczbę kolizji z infrastrukturą podziemną na terenie stacji Rondo ONZ, jej realizacja do tego etapu mogłaby



TBM-y w komorze rozjazdu, fot. M. Żuchowski, AGP



Zespół AGP podczas otwarcia II linii metra, fot. R. Parma



Opuszczanie do szybu pierwszego TBM-u, fot. AGP

zatrzymać postęp drążenia. Zdecydowano więc, że maszyna przejdzie przez gotowe ściany zewnętrzne stacji przed realizacją wykopu podstropowego, przy którym ułożony wewnątrz stacji tunel zostanie rozebrany. Aby zapewnić regularność dostaw obudów tunelowych, na terenie Warszawy od podstaw zbudowano fabrykę obudów pracującą w trybie 24/24 h, 7/7, a zatem takim samym, jak maszyny drążące. Ponadto po awarii na stacji Centrum Nauki Kopernik postanowiono zamówić nieplanowaną wcześniej czwartą maszynę TBM, o wartości sięgającej 12 mln €.

Najnowsze technologie

Oprócz wspomnianych wcześniej specjalnie zaprojektowanych i wykonanych na potrzeby metra w Warszawie czterech maszynach TBM EPB (zrównoważone parcie gruntu) o średnicy zewnętrznej 6,4 m (wewn. 5,4 m), z głowicą napędzaną silnikami hydraulicznymi (w odróżnieniu od napędu elektrycznego napęd ten pozwala na wygenerowanie „zrywu”, tj. krótkotrwałego, bardzo wysokiego momentu obrotowego, ułatwiającego ewentualne uwolnienie głowicy zaklinowanej przez np. głąz narzutowy). Wybór tej właśnie technologii podyktowany był bardzo niskim ryzykiem osiadania oraz dużą kontrolą parametrów projektowych. Technologia TBM dzięki małej różnicy pomiędzy objętością usuwanego materiału a kubaturą zabudowy w porównaniu do metod tradycyjnych praktycznie wyklucza problem rozluźnienia gruntu wokół wyrobiska, tym samym eliminuje jego osiadanie. Tarcza utrzymuje stateczność przodka oraz nie dopuszcza wpływu ciśnienia gruntu i wód gruntowych do wnętrza budowanego tunelu.

Po raz pierwszy na budowie metra wdrożono zintegrowany system monitoringu wpływu budowy, oparty na siedmiu tzw. stacjach automatycznych (*total station*), a także pomiarach klasycznych, uwzględniających odkształcenia ścian zewnętrznych stacji, zajezdni i szybów, pionowe i poziome osiadanie budynków w pobliżu wykopów oraz terenu za wykopem, zmienność poziomu warstw, osiadanie na powierzchni ziemi, przemieszczenia pionowe i poziome, obrót budynków. Do danych z ponad 2000 instrumentów osoby odpowiedzialne zarówno ze strony inwestora, jak i wykonawcy miały dostęp z każdego miejsca na ziemi za pomocą tabletów, telefonów komórkowych oraz komputerów przez sieć WWW. W razie nieprawidłowości system powiadamiał osoby zaangażowane w projekt za pomocą SMS-a i e-maila.

Inną technologią użytą po raz pierwszy w kraju (zarazem pierwsze użycie w Europie) było wykonanie iniekcji pozwalających na bezpieczny przemarsz tarcz TBM pod będącymi w bardzo złym stanie budynkami u zbiegu ulic Targowej, Zamoyńskiego i Sprzecznej. Na etapie przygotowywania oferty wykonawca rozważał zakup całego kwartału i przeprowadzenie mieszkańców do nowych nieruchomości. Zrezygnowano z pomysłu, gdy doradcy z zakresu nieruchomości określili czas jej realizacji na minimum osiem lat. Podjęto wówczas decyzję o użyciu znacznie droższej, nowatorskiej metody. Z poziomu Stacji Stadion Narodowy wykonano 24 mikrotunele o średnicy 15 cm i długości 250 m dla każdego z planowanych tuneli metra. Następnie, stosując iniekcje cementowo-chemiczne, nad trasą tuneli utworzono portale, które chroniły fundamenty kamienic przed wpływem drążenia. Dzięki temu odkształcenia na powierzchni mieściły się w granicach 1 mm i rozkładały się równomiernie. Po wykonaniu tunelu budynki nie zostały w żaden sposób uszkodzone.

Tab. 1. Przyczyny zmiany terminu zakończenia budowy II linii metra

Lp.	Okoliczności, których nie można było przewidzieć w chwili zawarcia umowy	Liczba dni dotyczących przedłużenia wg opracowania Metra Warszawskiego Sp. z o.o.	Dane liczbowe zdarzeń szczegółowych
1.	Odkrycie niewybuchów i innych materiałów wybuchowych	16	450 sztuk
2.	Odkrycie przedmiotów o znaczeniu historycznym	51	10 zdarzeń
3.	Warunki pogodowe	31	
4.	Niezinwentaryzowane kolizje instalacji i urządzeń oraz uzgodnienia z gestorami	202	31
5.	Problemy z przekazywaniem terenu	17	3

Przy realizacji ścian stacji Rondo ONZ również po raz pierwszy w Polsce zastosowano Hydrofrez, który w odróżnieniu od tradycyjnej głębiarki chwytakowej za pomocą wirujących ostrzy rozdrabnia grunt, którego nadmiar usuwany jest w formie płuczki. Urządzenie to służy do wykonywania bardzo głębokich ścian szczelinowych i według inżynierów AGP jest gwarancją na uniknięcie tzw. efektu klawiszowania ścian szczelinowych, które przekraczają 35 m głębokości. Tak głębokie ściany były potrzebne, ponieważ by przyspieszyć realizację stacji, zdecydowano zrezygnować z realizacji korka dennego w technologii jet grouting, osadzając ściany na warstwach nieprzepuszczalnych. Te zaś w tym miejscu położone są na głębokości ponad 45–50 m.

Zastosowana przy dwóch wentylatorniach oraz stacji C13 Centrum Nauki Kopernik technologia mrożenia gruntu w robotach podziemnych była już wprawdzie stosowana w Polsce, jednak wykorzystanie na jednym placu budowy dwóch sposobów mrożenia gruntu było nowością. Na budowie centralnego odcinka II linii metra zastosowano metodę mieszaną, by w trakcie realizacji łącznika pomiędzy wschodnią a zachodnią częścią stacji C13 pod tunelem Wisłostrady, w tunelu drogowym można było prowadzić normalny ruch samochodowy. Stacje mrozeniowe zainstalowane na sekcjach zewnętrznych łącznika (w korpusach stacji) dla uzyskania szybkiego efektu wykorzystywały ciekły azot w obiegu otwartym. Środkowa sekcja (w tunelu drogowym) pracowała z użyciem solanki w obiegu zamkniętym, dzięki czemu wyeliminowano ryzyko rozszczelnienia się instalacji z ciekłym azotem w użytkowanym tunelu drogowym (np. gdyby ktoś uderzył samochodem w stację mrożenia). W rezultacie całość prac zrealizowano przy przejeździe tunelu Wisłostrady.

Powyższe wyliczenia średniego czasu realizacji jednej stacji bądź 1 km kolei podziemnej uwzględniają przedśadową ugodę sankcjonującą dodatkowe 337 dni na realizację kontraktu z podwójnie niezależnych od wykonawcy i inwestora.

Mateusz Witczyński – w AGP Metro Polska SC pracował na stanowisku Communication Managera. Przy budowie metra pełnił rolę doradcy zarządu, rzecznika prasowego i członka sztabu kryzysowego. Obecnie poszukuje nowych wyzwań.