



Superkret i problemy stolicy

Realizacja centralnej części II linii metra w Warszawie jest jedną z największych i najbardziej wyczekiwanych inwestycji infrastrukturalnych w stolicy. Każdego dnia nowym odcinkiem metra będzie mogło podróżować blisko 22,5 tys. pasażerów. Póki co jednak budowa podziemnej kolei dwóm milionom mieszkańców Warszawy dostarcza samych problemów.

Dzięki powstaniu tunelu pod Wisłą Warszawa zyska nowe, szybkie połączenie między lewo- i prawobrzeżnymi częściami miasta. Pozwoli to znacznie usprawnić komunikację wewnątrz dwumilionowej stolicy. W przyszłości planowane jest wydłużenie kolejnych odcinków i ich zakończenie w zewnętrznych dzielnicach, co ułatwi dojazd do centrum tysiącom pracowników mieszkających na obrzeżach. Budowa podziemnej kolei, która ma znacznie ułatwić poruszanie się po Warszawie dwóm milionom jej mieszkańców, jak na razie dostarcza jednak samych problemów.

Dwie awarie w dwa miesiące

Awaria goni awarię. Pierwsza, do jakiej doszło na budowie metra, miała miejsce w nocy z 13 na 14 sierpnia. Pracownicy wykonujący północny tęcznik pomiędzy zachodnim a wschodnim blokiem stacji natrafili na ciek wodny, nieuwzględniony wcześniej na mapach geologicznych. W niedługim czasie woda pod wysokim ciśnieniem wdarła się do wnętrza stacji, niosąc piasek. Spod tunelu Wisłostrady ubyło ok. 6 tys. metrów sześciennych mieszanki

ki wodno-piaskowej. Do zawalu doszło w miejscu budowy stacji Powiśle. Z placu budowy w ostatniej chwili ewakuowano ludzi, część maszyn została zalana wodą. Ze względów bezpieczeństwa tunel Wisłostrady trzeba było zamknąć. Po kilkudniowych pracach przygotowawczych uruchomiono przejazd nadwiślańskim bulwarem w kierunku północnym i Wybrzeżem Kościuszkowskim w przeciwną stronę. Tymczasem lej pod tunelem wypełniono zastrzykami ze specjalnej mieszanki. Według obietnic urzędników ma być przejezdny na początku przyszłego roku. Na razie nie wiadomo, ile dokładnie wyniosą koszty usuwania awarii. Jak informowała prezydent Warszawy Hanna Gronkiewicz-Waltz, będzie to co najmniej kilka milionów złotych. Specjaliści szacują jednak, że kilkadziesiąt. Tak czy inaczej koszty te zostaną pokryte przez konsorcjum – potwierdza Mateusz Witczyński, rzecznik prasowy AGP Metro, które buduje podziemną kolejkę. Cała inwestycja jest ubezpieczona na 400 milionów złotych. Mieszkańcy stolicy nie zdążyli na dobre otrząsnąć się po stracie tunelu, a tu kolejna katastrofa. Zaledwie dwa miesiące później doszło do uszkodzenia instalacji wodociągowej przy skrzyżowaniu ulic Szkolnej i Świętokrzyskiej, co spowodowało, że woda podmyła pobliskie budynki. Strażacy musieli ewakuować około 100 osób. Choć jeszcze tego samego dnia osuwisko uzupełniono mieszanką cementową, to mieszkańcy mogli wrócić do swoich domów dopiero po kilku dniach, kiedy pewne było, że stabilności budynków nic już nie zagraża.



Ryzyko da się zminimalizować

Specjaliści z Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, uchodzący za najlepszych w kraju (pod ich nadzorem rocznie drążonych jest w Polsce przeszło 120 km chodników górniczych), nie uczestniczą w pracach przy drążeniu tunelu metra w Warszawie. Z niewiadomych przyczyn nie prowadzili tam konsultacji projektowych ani wykonawczych, co nie zmienia faktu, że bacznie obserwują to, co dzieje się w stolicy. Jak sami podkreślają, to wydarzenie przełomowe w skali kraju. Na temat przyczyn olbrzymich szkód, do jakich doszło tam w ostatnich miesiącach, wypowiadają się jednak niechętnie. Szczegółowo odpowiadają natomiast na temat ogólnej metodologii prowadzenia tego typu prac. Z tego co mówią, można tylko domniemywać, czego zabrakło w przypadku przygotowań do inwestycji w stolicy.

– Przy tego typu projektach kluczowe jest właściwe rozpoznanie geotechniczne. Ryzyko wielu zjawisk, które mogą zaskoczyć wykonawcę w fazie realizacji kontraktu, właśnie dzięki wnikliwym badaniom można znacząco ograniczyć jeszcze na etapie wstępnym – podkreśla Marek Cała, prodziekan Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. – Przy każdej inwestycji geotechnicznej, przy budowie fundamentów, tuneli, drążeniu podziemnych wyrobisk zawsze jest tak, że staramy się oszczędzać na rozpoznaniu. Zakładamy, że pomiędzy dwoma otworami rdzeniowymi oddalonymi od siebie o około 100 metrów panują co najmniej zbliżone warunki geotechniczne. Tymczasem jest to tylko nasza „licentia poetica”. Z badań, które wykonujemy w ramach ekspertyz AGH, wynika, że właściwości warstw gruntowych pomiędzy otworami oddalonymi od siebie zaledwie o 2 metry mogą różnić się nawet o kilkaset procent. Daje to wyobrażenie, jak wielce trudną dziedziną jest geoinżynieria. Tu, w odróżnieniu od działań na konstrukcjach stalowych czy betonowych, gdzie operujemy na materiałach, których właściwości znamy, ponieważ są dla nas przewidywalne, przychodzi nam pracować z materiałem, o którym najczęściej nic nie wiemy - tłumaczy prodziekan Marek Cała. Czy zatem da się ograniczyć ryzyko awarii do minimum?

Jak zapewnia profesor Cała, badania geofizyczne, wiercenia otworów rdzeniowych, badania hydrogeologiczne zmniejszają ryzyko, ale najskuteczniejszą metodą jest drążenie sztolni pilotujących. W przypadku takich zadań, jak budowa tunelu drugiej linii warszawskiego metra czy też tunelu pod kanałem La Manche (o średnicy 8 m i długości ponad 50 km), uzyskujemy pełne rozpoznanie warunków geotechnicznych panujących na całej

trasie. – W przypadku warszawskiego metra nie przeprowadzono tego typu rozpoznania, poprzestając na badaniach geofizycznych oraz nawierceniach, i masyw gruntowy pokazał swoją siłę. Tam gdzie akurat warstwy gruntu nie zbadano, gdzie prawdopodobnie nastąpiła przerwa między otworami, znalazła się mocno nawodniona warstwa gruntu i doszło do zalania wyrobiska stacji i uszkodzenia tunelu Wistostrady – mówi profesor Cała.

Czy w przypadku drugiej linii warszawskiego metra czynnik ryzyka podnosił fakt, iż konsorcjum drążące tunel rozpoczęło pracę na gruntach stanowiących mieszankę historycznych nawarstwień, której znaczącą część stanowią gruzы zombardowanej podczas II wojny światowej stolicy? – Fakt ten niewątpliwie nieco podnosi stopień ryzyka, jednak warto rozprawić się i z tym mitem. Popatrzmy na Europę. Madryt, Wiedeń, Paryż, Rzym, Londyn, a nawet Ateny i Saloniki. Tam również nie brak historycznych nawarstwień, a jednak dzięki współczesnym technologiom monitoringu potrafimy sobie z tym skutecznie radzić. Nie demonizujemy wszystkiego, nie starajmy się wmówić samym sobie, że u nas jest trudniej, że się nie da – tak mówi się na przykład w Krakowie. Otóż da się. Mamy dziś do czynienia z takimi tarczami, które mogą zmieniać strategię urabiania od gruntu do skały, choć bardzo rzadko mamy do czynienia z tak skrajnie różnymi warunkami geotechnicznymi. Dostępne technologie pozwalają nam bez strachu drążyć tunele nawet pod zwierciadłem wody gruntowej. Dzięki technologii tarcz o zrównoważonym ciśnieniu gruntu, które dzięki płuczce wiertniczej służącej do transportu urobku wywierają ciśnienie na czoło tarczy, by woda nie wdzierała się do środka – mówi prodziekan Cała.

Kolejny problem, z jakim trzeba się zmierzyć przy budowie tunelu, to kamienice na warszawskiej Pradze, których konstrukcja jest dość specyficzna. W dużym uproszczeniu, budynki te mają wspólny fundament i konstrukcję, w której ściany szczy-



ISTNIEJĄCE STACJE I LINIA METRA (EXISTING STATIONS OF THE UNDERGROUND WARSAW METRO)	
A10	CENTRUM
A14	ŚWĘTOKRZYŻKA
A18	RATUSZ ARSENAL

PROJEKTOWANE STACJE I LINIA METRA (PLANNED STATIONS OF THE UNDERGROUND WARSAW METRO)	
S7	RONDO DASZYŃSKIEGO
S8	RONDO ONZ
S8	ŚWĘTOKRZYŻKA
S13	NOWY ŚWIAT
S11	POWISŁE
S12	STADION
S13	DWÓRZEC WILĘSIŃSKI



towe stanowią zarazem ściany konstrukcyjne całego kwartalu, spięte w jeden stelaż. Tu liczą się najmniejsze nawet drgania, gdyż najdelikatniejszy ruch górotworu, nie mówiąc już o kolejnym zapadlisku, może spowodować nową, poważniejszą niż dotychczasowe, katastrofę.

– Skoro Brytyjczycy wybudowali tunel pod Big Benem, a Belgowie w Antwerpii trzykondygnacyjną stację podziemną pod XVIII-wiecznym budynkiem, to dlaczego nam ma się nie udać? To tylko kwestia właściwego zabezpieczenia. W tym przypadku należy wykonać parasol iniekcji, czyli przy pomocy zastrzyków z cementowych lub żywicznych wypełnień wykonać tak zwany sztuczny strop i pod tak wzmocnionym dachem jesteśmy w stanie bezpiecznie prowadzić prace tunelowe – mówi profesor Cała.

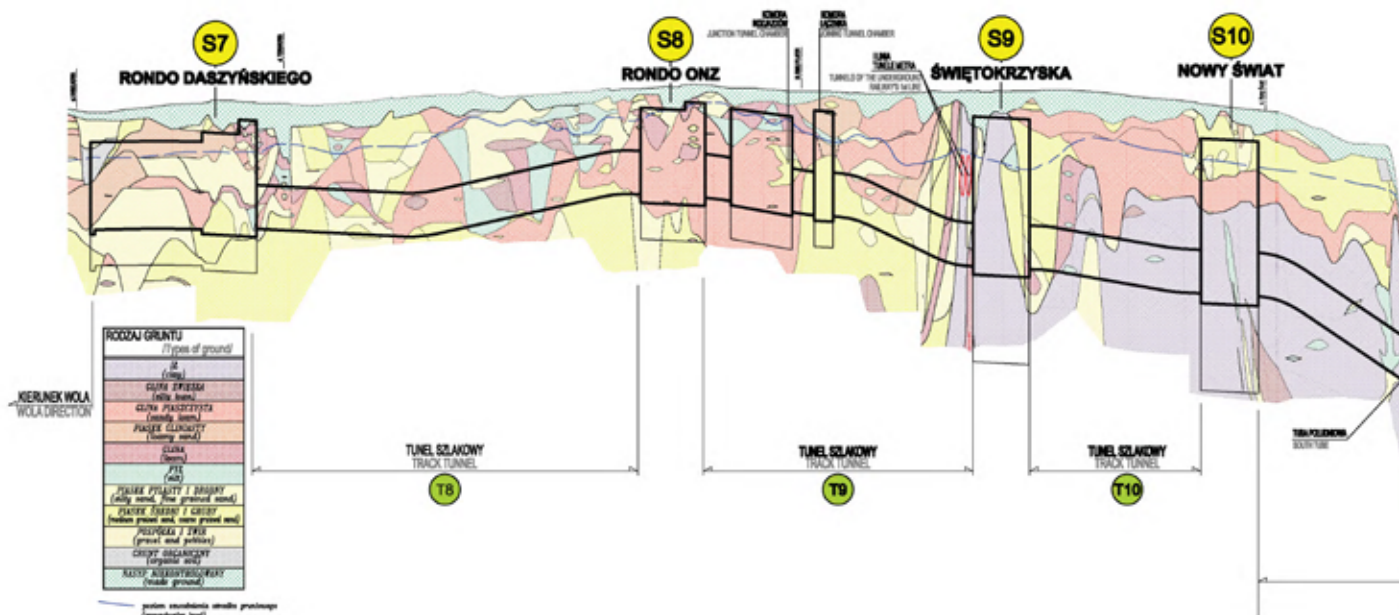
Specjaliści liczą, że kosztowne lekcje przy budowie warszawskiego metra nauczą wszystkich, że nie warto rezygnować z poszerzonego rozpoznania, które można prowadzić na wszystkich etapach realizacji projektu. – Jeżeli mamy dwa otwory, w rejonie obu wykonamy prześwietlenia geofizyczne i otrzymamy takie same parametry, a obraz rozkładu fal sejsmicznych, oporności i gęstości masywu między nimi się nie zmienia, to wszystko powinno być w porządku. Jeżeli jednak mamy jakiegokolwiek wątpliwości, należy przeprowadzić kolejne ba-

dania. Niech Polak w końcu będzie mądry przed szkodą – puentuje prodziekan Cała.

Warszawski kamień milowy

– Realizacja centralnego odcinka II linii metra Warszawa w technologii TBM (Tunnel Boring Machine) z użyciem tarczy EPB (Earth Pressure Balance) oparta jest na najnowocześniejszych rozwiązaniach dostępnych na świecie w dziedzinie drążenia tego typu tuneli – przekonuje Michał Elert z firmy BASF, dostawcy mieszanki betonowej do budowy drugiej nitki warszawskiego metra.

Zmechanizowana tarcza TBM waży kilka tysięcy ton, drąży i buduje za to kilkanaście metrów gotowego tunelu na dobę i jest zupełnym przeciwieństwem tzw. tarcz ręcznych wykonujących dwa metry tunelu dziennie, wykorzystywanych podczas budowy I linii metra w Warszawie. Tarcze zmechanizowane, pracujące na świecie od wielu lat, są używane nie tylko przy budowie metra, ale także przy drążeniu tuneli drogowych (na przykład pod Łabą w Hamburgu, na obwodnicy Moskwy). Po raz pierwszy maszyna TBM pracowała w roku 1964 na budowie tunelu metra pod Tamizą w Londynie. Praca urządzeń skrawających TBM opiera się na dwóch fazach – drążenia i układania obudowy tunelu. Wybierany przez tarczę materiał za pomocą przenośnika ślimakowego transportowany jest do taśmociągu i przenoszony na zewnątrz. W tym samym czasie siłowniki hydrauliczne, pod naciskiem dochodzącym do 400 barów, przesuwają tarczę do przodu, umożliwiając jej nieprzerwaną pracę. Wykonane ze zbrojonego betonu elementy kołnierza tunelu instalowane są za pomocą maszyny pod osłoną zewnętrznego pancerna tarczy. Po ułożeniu kolejnych żelbetonowych pierścieni maszyna jest w stanie sama odepchnąć się od nich i kontynuować drążenie bez pomocy z zewnątrz. Długie na kilkadziesiąt metrów zaplecze maszyny pozwala bowiem na jej ciągłą i nieprzerwaną pracę. Sama tarcza drążąca napędzana jest silnikami hydraulicznymi za pośrednictwem specjalnej przekładni, co pozwala uzyskać moment obrotowy na poziomie 5460 kN/m. Dzięki temu noże i dyski tnące wykonane ze stali o bardzo dużej wytrzymałości mogą rozdrabniać każdy grunt, jaki napotkają na



swojej drodze. Każdy z noży waży ok. 250 kilogramów, a ich zużycie sygnalizowane jest przez czujki. W razie konieczności, za pomocą specjalnych dysz umieszczonych w tarczy, maszyna może wstrzykiwać w grunt wodę oraz pianę, ułatwiając drążenie. Warunki oraz postęp prac są stale monitorowane przez czujniki mierzące ciśnienie w komorze tarczy, nie dopuszczając do zmiany kierunku drążenia. Ten czuły system błyskawicznie reaguje na zmiany warunków geologicznych. Ponadto czujniki sprawdzają moment obrotowy tarczy, pracę przenośnika oraz skład urobku. Po wydrążeniu odpowiedniego odcinka tarcza wraz z przenośnikiem ślimakowym zatrzymują się, a uruchamia się moduł układający pierścienie tunelu. W Warszawie każdy z nich składa się z sześciu prefabrykowanych elementów (pięć + tak zwany klin, montowany jako ostatni). Elementy transportowane są z tyłu maszyny do specjalnego, próżniowego dźwigu przy głowicy maszyny, który układa je na odpowiednich miejscach. Pozwala to na sprawne i mechaniczne budowanie kołnierza. Montaż każdego z pierścieni żelbetowej konstrukcji odbywa się za pomocą tego samego schematu. Urządzenie układające, zwane ektorem, odbiera element z podajnika i układa go w odpowiednim miejscu, naprzemiennie po jednej i po drugiej stronie tunelu, dociskając wszystkie ostatnim, szczytowym elementem, zwanym klinem. Zakłada się, że średnia zewnętrzna średnica tunelu będzie miała 6,1 m wraz z obudową.

Ostona tarczy zabezpiecza proces układania elementów przed naciskiem gruntu czy wpływem wód gruntowych. W końcowym odcinku głowicy tarczy znajdują się uszczelnienia, które wypełniają wolną przestrzeń pomiędzy świeżo ułożonymi żelbetowymi elementami tunelu a obudową tarczy. Ta przerwa wypełniana jest na bieżąco podczas pracy urządzenia poprzez wtłukiwanie specjalnej zaprawy za pomocą wysokociśnieniowych dysz. Takie rozwiązanie pozwala osiągnąć niespotykaną w innych technologiach stabilność gruntu oraz gwarantuje pełną szczelność tunelu. Z punktu widzenia pracy urządzenia TBM typu EPB interesujący jest także proces transportu urobku na zewnątrz tunelu. Dzieje się to dzięki zapleczy, które podąża tuż za głowicą tarczy na specjalnych rolkach wspartych o ściany tunelu.



Urobek za pomocą taśmociągów złożonych z trzech pasów transmisyjnych, z których ostatni, najdłuższy, może mieć nawet 30 km długości, transportowany jest na powierzchnię. Praca urządzenia monitorowana jest na mostku dowodzenia przez operatorów kierujących maszyną, którzy do pracy wykorzystują nawigację satelitarną.

– To wielki sukces, wręcz kamień milowy, że w Polsce drążymy dziś metro metodą tarczową. W rozumieniu rozwoju inżynierskiego to postęp w skali półwiecza – ocenia profesor Cafa. I przypomina: – W przypadku początków realizacji pierwszej linii warszawskiego metra, co przypada na lata 50. ubiegłego stulecia, tunel drążony był za pomocą zaostrzonej stalowej rury, którą dzięki ręcznie sterowanym siłownikom przeciskano w warstwę gruntu, ręcznie wybierano urobek i również z pomocą ludzi instalowano żeliwne tubingi. To, z czym mamy do czynienia dziś, pozwala nam w miesiąc zrealizować prace, które wówczas zajmowały nam rok. Jeśli popatrzymy na dotychczasową aktywność tunelową w Polsce, oddając honor faktom, dopiero ostatnich kilka lat podniosła się nasza aktywność w tym zakresie. Tunel Wistostrady – 820 metrów, tunel pod rondem w Katowicach 650 m, rondo Ofiar Katynia 270 m i na tym koniec. A wcześniej to już Niemcy i Austriacy.

Dawid Hajok

PROFIL
PROFILE ▼

