

# Tunele przyszłością komunikacji

Centralna stacja metra w Waszyngtonie, fot. N. Derington, Stock.XCHNG



- **dr hab. inż. Marek Cała, prof. AGH**, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Szaszica w Krakowie
- **prof. dr hab. inż. Antoni Tajduś**, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Szaszica w Krakowie

Od czasów wykonania pierwszych obiektów podziemnych minęło kilkanaście tysięcy lat i okazało się, że bez tego rodzaju budownictwa nie jesteśmy w stanie rozwiązać wielu problemów trapiących współczesne społeczeństwo. Budowle podziemne pozwalają na rozwiązanie szeregu problemów technicznych, takich jak m.in. zmniejszenie ruchu pojazdów samochodowych na powierzchni przez budowę tuneli i ograniczenie potrzeby stosowania coraz większych placów parkingowych przez budowę podziemnych garaży.

„ We have to go underground to stay on the top! – Charles Fairhurst

Coraz częściej pod powierzchnią ziemi buduje się hale sportowe, składowiska towarów, materiałów, odpadów itp. W krajach rozwiniętych zauważono, że budownictwo podziemne przyczynia się do poprawy warunków życia mieszkańców miast, a przez zagospodarowanie przestrzeni pod powierzchnią ziemi rozwiązuje się nie tylko problemy techniczne, ale i społeczno-cywilizacyjne w sposób chroniący środowisko naturalne. Lokalizacja ciągów komunikacyjnych pod ziemią przyczynia się do ograniczenia zanieczyszczenia środowiska, eliminuje hałas i wyburzenia istniejących obiektów na powierzchni. Warto zatem zadbać o to, aby infrastruktura lokalizowana pod powierzchnią ziemi była instalowana w sposób planowany i przemyślany, a nie tak jak pokazano na rycinie 1.

## Infrastruktura podziemna miast

Przykłady przemyślanej lokalizacji infrastruktury podziemnej można znaleźć w Nowym Jorku. Na rycinie 2, począwszy od góry, da się wyliczyć sieć przewodów zasilających, światło-

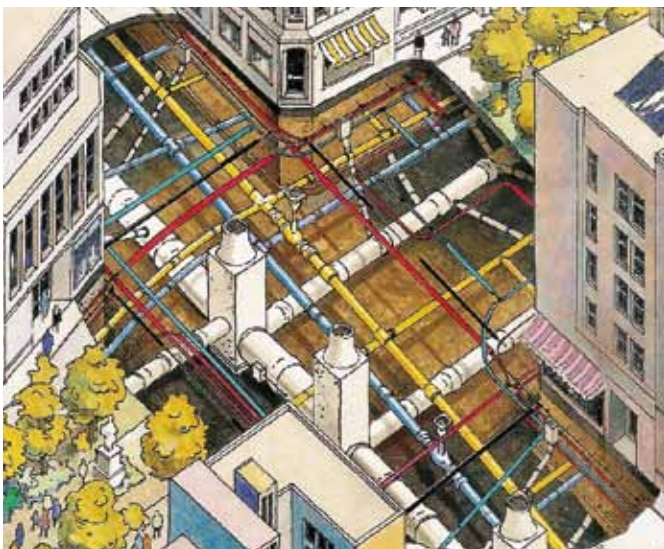


Ryc. 1. Niezintegrowana infrastruktura podziemna



Ryc. 2. Infrastruktura podziemna w Nowym Jorku, za: <http://www.national-geographic.com/nyunderground/docs/nymain.html>

dnia później, 22 stycznia 1863 r., w Królestwie Polskim wybuchło powstanie styczniowe. Ta zbieżność dat skłania niewątpliwie do refleksji o stanie budownictwa tunelowego w Wielkiej Brytanii i w Polsce. Tunele metra pod Londynem tworzą bardzo skomplikowane, splecione ze sobą ciągi komunikacyjne (ryc. 4). Korzysta z niego codziennie ponad 3 mln pasażerów (w 2011 r. dało to ponad 1,1 mld ludzi). Dla porównania, metro w Tokio przewozi rocznie ponad 2 mld osób. Londyńskie metro to 275



Ryc. 3. Rozwinięta infrastruktura podziemna w obszarze zurbanizowanym

wodową, telekomunikacyjną, rurociągi z wodą i gazem, a także pozostałości po sieci ogrzewania parowego. Co ciekawe, Amerykanie przyznają się także do istnienia pewnych zapomnianych ciągów rur i przewodów (*forgotten*). Wraz z głębokością znajdujemy tu tunele metra, kolektory kanalizacyjne i główne tunele zasilające miasto w czystą wodę.

Przeciętny mieszkaniec obszaru zurbanizowanego zapytany, czy korzystał dzisiaj z infrastruktury podziemnej, odpowiedziałby, że nie. A przecież każde odkręcenie kranu czy też uruchomienie spłuczki w toalecie prowadzi od rur z czystą wodą do systemu odprowadzania wody zużytej kanałami i dalej kolektorami kanalizacyjnymi. Na rycinie 3 pokazano, jak w rzeczywistości wygląda rozwinięta infrastruktura podziemna w obszarze zurbanizowanym.

Najbardziej rozpoznawalnymi obiektami podziemnymi na świecie są tunele metra. Tutaj palmę pierwszeństwa dzierży metro w Londynie. Pierwszą stacją – Metropolitan – otwarto 10 stycznia 1863 r. A dwanaście



Ryc. 4. Tunele metra w Londynie

stacji i 408 km kolei. Jako ciekawostkę można podać, że jednego dnia podczas bitwy o Anglię, 27 września 1940 r., w tunelach metra nocowało 177 500 londyńczyków.

Historia światowego tunelowania pełna jest przypadków wykorzystania zmechanizowanych tarcz wiertniczych. Warto zauważyć, że obecnie palmę pierwszeństwa w rozmiarach tarczy dzierży tarcza firmy Herrenknecht o średnicy 15,62 m (ryc. 5). Tarcza ta ma masę 4,5 tys. t, długość 130 m oraz moc 12 MW.

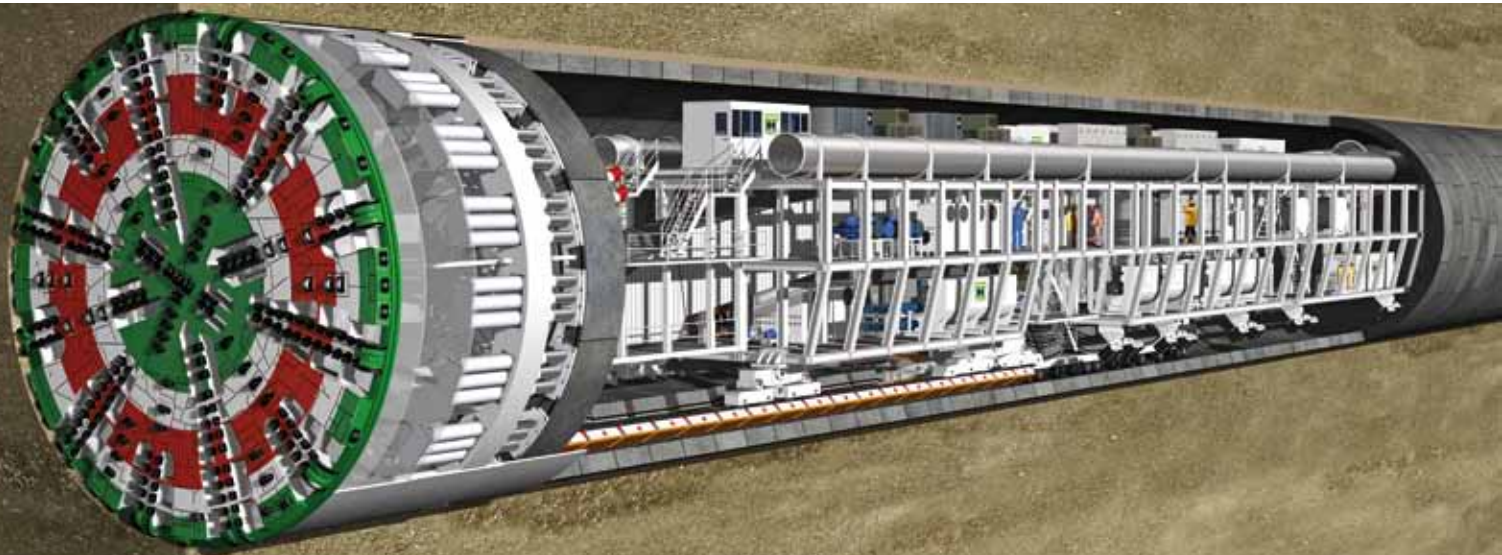
Nie zawsze jednakże jest tak, że do wykonywania tuneli o największych wymiarach wykorzystuje się ogromne tarcze wiertnicze. Na rycinie 6 pokazano japońską tarczę wiertniczą o kształcie prostokątnym, szerokości ok. 2,5 m i wysokości ok. 7,0 m. Została zastosowana do drążenia tunelu Trans-Kawasaki Expressway Route w rejonie metropolitalnym miasta Tokio. Ze względu na duże gabaryty tunelu w świetle obudowy (ok. 28 m szerokości i 25 m wysokości) zdecydowano się wykonać go w niestandardowy i spektakularny sposób. Drążono szereg mikrotuneli, które następnie wypełniano obudową żelbetową (ryc. 7). Po zakończeniu konstrukcji obudowy wybrano grunt z wnętrza konstrukcji żelbetowej.

### Metro w Warszawie i... w Krakowie?

W Warszawie tunelami pierwszej linii metra możemy się poruszać od 1995 r., w budowie jest druga linia. A czy mamy szansę na metro w Krakowie, drugim co do wielkości mieście w Polsce? Grono sceptyków budowy tuneli metra lub premetra (hybryda metra i kolei naziemnej) wylicza tutaj szereg przeszkód stojących przed tą inwestycją. Stwierdzają oni m.in., że Kraków jest za małym miastem i nie potrzebuje metra, budowa tuneli metra jest bardzo droga, w rejonie Krakowa jest złożona i niekorzystna budowa geologiczna masywu skalnego i gruntowego, w Polsce nie potrafimy drążyć tuneli metra, wreszcie – jak to robić przy wszystkich zabytkach i nawarstwieniach historycznych Krakowa.

Wszystkie te wątpliwości są nieuzasadnione, co wykazano poniżej.

Kraków liczy 755 tys. mieszkańców zameldowanych na stałe w mieście. Dodajmy jeszcze turystów, którzy tłumnie odwiedzają miasto oraz ok. 200 tys. studentów, którzy w nim przebywają co najmniej przez 10 miesięcy w roku. Sieć metra lub premetra istnieje w takich miastach (w nawiasach podano liczbę mieszkańców), jak: Antwerpia (460 tys.), Bielefeld (330 tys.), Bochum (380 tys.), Bonn (320 tys.), Charleroi (210 tys.), Dortmund (590 tys.), Duisburg (500 tys.), Düsseldorf (590 tys.), Essen (580 tys.), Glasgow (580 tys.), Haga (480 tys.), Hanower (520 tys.), Katania (310 tys.), Krzywy Róg (690 tys.), Lille (230 tys.), Norimberga (510 tys.), Oslo (600 tys.), Rouen (200 tys.), Stuttgart (620 tys.). Wszystkie one mają mniejszą liczbę mieszkańców niż Kraków. A jednak uznano, że budowa tuneli metra pomoże tam rozwiązać problemy komunikacyjne. W Krakowie musi jednakże wystarczyć to, co jest lub tzw. szybki tramwaj.



Ryc. 5. Największa na świecie tarcza wiertnicza firmy Herrenknecht o średnicy 15,62 m, fot. Herrenknecht



Ryc. 6. Prostokątna tarcza wiertnicza wykorzystana do drążenia obudowy tunelu Trans-Kawasaki Expressway Route

W Warszawie dyskusja na temat wyboru opcji – szybki tramwaj czy metro – toczyła się w latach 70. XX w. Tam wybrano metro i znakomita większość jego użytkowników jest z niego zadowolona (według badań z czerwca 2011 r. 94,9% ankietowanych jest zadowolonych z usług metra).

W świadomości społecznej, a nawet w niektórych kręgach specjalistów budownictwa utrwalony jest pogląd, że budowa obiektów podziemnych w porównaniu z budową obiektów na-

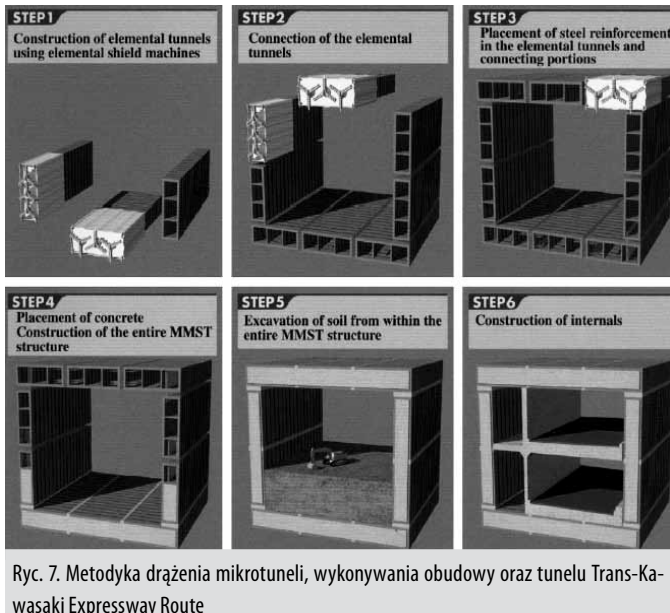
ziemnych jest znacznie droższa i że taka inwestycja może być uzasadniona tylko nadzwyczajnymi warunkami topograficznymi i technicznymi. Dotyczy to zwłaszcza porównania odcinka drogi z tunelem. Przy porównywaniu tych kosztów z reguły nie uwzględnia się kosztów z tytułu wykupu terenu, kosztów wynikających z konieczności przenoszenia istniejących obiektów infrastruktury (rurociągi, kable, linie wysokiego napięcia itp.), kosztów utrzymania i eksploatacji drogi, zwłaszcza w warunkach zimowych, kosztów wykonania znacznie dłuższej drogi, która jest istotnie krótsza dzięki tunelowi, kosztów związanych z ekologią, niezwykle trudnych do oszacowania (ograniczenie zanieczyszczenia środowiska przez pojazdy, oszczędność paliwa i energii).

Rzeczywiste koszty budowy metra mogą być bardzo zróżnicowane. Koszt rozbudowy metra w Madrycie był niski i wynosił ok. 30 tys. USD/m, natomiast rozbudowa metra w Paryżu i Atenach kosztowała ok. 155 tys. USD/m.

W XXI w. praktycznie zanikło pojęcie trudnych warunków geologicznych w odniesieniu do budownictwa tunelowego. Za pomocą tarcz wiertniczych oferowanych przez producentów z całego świata (Herrenknecht, Wirht, Robbins i wiele innych) można drążyć tunele w każdych warunkach. Zarówno w bardzo twardych i zwięzłych skałach, jak i w gruntach o bardzo niskich właściwościach wytrzymałościowych i odkształceniowych.

Istnieje wiele polskich firm zdolnych do wykonania tuneli drogowych i kolejowych. Drążenie tuneli pierwszej linii metra w Warszawie odbywało się przy użyciu dość archaicznych rozwiązań. Jednakże druga linia metra jest wykonywana za pomocą tarczy wiertniczej z zastosowaniem najnowocześniejszych rozwiązań z dziedziny tunelowania. Mało kto także wie, że w Polsce co roku jest wykonywanych ponad 150 km tuneli podziemnych dla potrzeb górnictwa, niekiedy w bardzo zróżnicowanych i złożonych warunkach geologicznych.

Jeżeli chodzi o nawarstwienia historyczne Krakowa i jego zabytki, to odpowiedź jest dość prosta. Ateny, Rzym, Praga, Wiedeń, Madryt to niewątpliwie miasta stare i pełne zabytków. Skoro tam wszędzie istnieje funkcjonująca sieć tuneli metra, to w Krakowie także powinno się to udać.



Ryc. 7. Metodyka drążenia mikrotuneli, wykonywania obudowy oraz tunelu Trans-Kawasaki Expressway Route

### Podsumowanie

W XXI w. budownictwo podziemne będzie się intensywnie rozwijać, co wynika z jego niezaprzeczalnych zalet. Propagowanie budownictwa podziemnego wymaga jednak rozwiązania szeregu problemów z pogranicza różnych dziedzin nauki. Oprócz bowiem problemów geomechanicznych, geotechnicznych, budowlanych i technologicznych, niezbędne jest m.in. uwzględnienie uwarunkowań ekologicznych. Wykonanie jakiegokolwiek budowli podziemnej powoduje naruszenie równowagi środowiska. Chociaż należy podkreślić, że budownictwo podziemne jest generalnie przyjazne dla środowiska.

Osiągnięcia światowego budownictwa tunelowego można szeroko prezentować. Ciągłe zajmuje się tym grupa specjalistycznych czasopism technicznych, temat podejmowany jest w wielu książkach. Jesteśmy już blisko połączenia tunelami kontynentów rozdzielonych do tej pory bezmiarem wód. W Szwajcarii rodzi się nowa koncepcja metra ogólnopaństwowego, Swissmetra, które – podobnie jak obecna kolej miejska łącząca dzielnice wielkich aglomeracji miejskich – będzie łączyć ważniejsze miasta tego kraju oddalone od siebie o setki kilometrów. W częściowo „spróżniowanych” tunelach o średnicy 3,5 m, napędzane silnikami liniowymi, poruszać się będą pociągi po poduszce magnetycznej z prędkością ponad 500 km/h, przypominające wyglądem pocisk w lufie armatniej. Na bazie tego pomysłu opracowywany jest też projekt Eurometra, w którym wyrobiskami podziemnymi połączone zostaną metropolie europejskie, sprawiając, że kolejową podróż między Wiedniem i Paryżem można będzie skrócić z 17 do niecałych 2 godzin.

Należy się cieszyć, że w światowych sukcesach tunelowych mają swój udział polskie firmy. Budowaliśmy tunele m.in. dla Niemiec, Hongkongu, Turcji, Włoch, Hiszpanii. Niestety w Polsce, gdzie mogłyby znacznie ułatwić komunikację, uznawano je z reguły za zbędne, zbyt kosztowne i niebezpieczne, a czasami, co zakrawa na ironię, niszczące środowisko naturalne. Najwyższy czas zmienić ten błędny pogląd.

### Literatura

- [1] Mori K., Abe Y.: *Large Rectangular Cross-section Tunneling by the Multi-Micro Shield Tunneling (MMST) Method*. “Tunnelling and Underground Space Technology” 2005 (March), Vol. 20, Issue 2, pp. 129–141.
- [2] Tajduś A., Cała M., Tajduś K.: *Geomechanika w budownictwie podziemnym i tunelowaniu* (w druku).

R E K L A M A

## XXIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna

**Nowe metody i technologie w geologii naftowej, wiertnictwie, geoinżynierii, inżynierii złożowej i gazownictwie**

**OIL-GAS AGH 2012**

**GAZ ZIEMNY ZE ZŁÓŻ NIEKONWENCJONALNYCH W POLSCE**

### Honorowy Patronat

- Wicepremier, Minister Gospodarki Waldemar Pawlak
- Minister Skarbu Państwa, dr Mikołaj Budzanowski
- Podsekretarz stanu, główny Geolog Kraju, Piotr Woźniak
- Prezydent Miasta Krakowa, Prof. dr hab. Jacek Majchrowski
- JM Rektor AGH, Prof. dr hab. inż. Antoni Tajduś

**Rok 2012 jest jednocześnie okazją do świętowania 45. rocznicy utworzenia Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu oraz 20. rocznicy powstania przy udziale AGH sekcji polskiej SPE.**

Konferencja oraz towarzyszące jej wydarzenia stanowiąc będą doskonałą okazję do zaprezentowania aktualnych zagadnień naukowych i technicznych związanych z badaniami dotyczącymi rozpoznania i udostępnienia gazu ze złóż niekonwencjonalnych. W programie Konferencji przewidujemy organizację sesji plenarnej, sesji specjalistycznych, sesji posterowej oraz specjalne panele dyskusyjne.

**Zagadnienia specjalnych sesji tematycznych:** gaz ziemny ze złóż niekonwencjonalnych w Polsce, poszukiwanie i rozpoznanie złóż węglowodorów, wiertnictwo i geoinżynieria, eksploatacja złóż ropy naftowej i gazu ziemnego, LNG, Magazynowanie i transport gazu ziemnego, dystrybucja gazu ziemnego, inżynieria złożowa, ochrona środowiska, technologie CCS – transport i składowanie CO<sub>2</sub>.

