



Temat specjalny

Budownictwo podziemne przyszłością miast?

tekst: **MARIA SZRUBA**, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne



Budownictwo podziemne odgrywa w życiu ludzi coraz większą rolę. Standardem są dziś drogi szybkiego ruchu z tunelami oraz dostarczanie wody, energii i towarów dzięki odpowiednim budowlom podziemnym. Wzrost liczby ludności na świecie, migracje do miast, które wciąż się rozrastają, oraz zachodzące zmiany klimatyczne tworzą dla budownictwa podziemnego dodatkowe zadania. Projektanci i inżynierowie stoją obecnie przed ogromnym wyzwaniem, aby te budowle zostały zaprojektowane i wykonane we właściwy i bezpieczny sposób.

fot. adazhiydmityro, fotolia.com



Historia budownictwa podziemnego

Budowle podziemne są jednymi z najstarszych obiektów budowlanych. Początkowo budownictwo podziemne realizowano przez drążenie prymitywnych mieszkań podziemnych, często w zboczach gór, adaptowanie na cele mieszkalne jaskiń, wykonywanie budowli podziemnych ułatwiających życie (np. podziemne wodociągi rzymskie) czy budowę pierwszych kopalń.

Najstarszym obiektem podziemnym był najprawdopodobniej tunel pod Eufratem. Przypuszcza się, że część tego tunelu o łącznej długości ok. 900 m, który powstał ok. 2180 r. p.n.e., została wykonana metodą odkrywkową. Mniej więcej 100 lat później Babilończycy i Asyryjczycy wybudowali szereg tuneli w celu nawodnienia i odwodnienia pól uprawnych znajdujących się pomiędzy Eufratem a Tygrysem. Z kolei pierwszy znany tunel w Europie powstał na greckiej wyspie Samos ok. 530 r. p.n.e. Miał prawie 1000 m długości i doprowadzał wodę do miasta. Zestawienie najstarszych tuneli na świecie przedstawiono w tabeli 1.

W czasach nowożytnych rozwój budownictwa następował głównie za sprawą Francji, która w XVIII i na początku XIX w. rozbudowała szlaki komunikacyjne, wykorzystując tunele, zwłaszcza żeglowne. Dzięki wynalezieniu w Europie w 1627 r. materiału wybuchowego (proch czarny) znacznie przyspieszono drążenie, za czym szło także istotne zmniejszenie kosztów. Tunelem, do wykonania którego po raz pierwszy w świecie wykorzystano tarczę (prostokątną), był tunel pod Tamizą w Londynie, pochodzący z XIX w. Po 1950 r. pojawiły się maszyny do drążenia tuneli, które do dziś pozwalają na wykonanie praktycznie każdej budowli podziemnej [1].

Rodzaje budowli podziemnych

Budowlę podziemną stanowi przestrzeń podziemna zwana wyrobiskiem, zlokalizowana pod powierzchnią skorupy ziemskiej i otoczona ustabilizowanym ośrodkiem (górotworem). Stabilizacja górotworu, choć może następować samoczynnie,

zwykle jednak wymaga specjalnych zabiegów technicznych w celu stworzenia obudowy zabezpieczającej wyrobisko przed zniszczeniem.

Budowle podziemne to zagospodarowane pod ziemią komory. Jako obiekty punktowe są to np. garaże, składy czy skrzyżowania arterii komunikacyjnych, natomiast tunele należą do obiektów liniowych. Do budowli podziemnych nie zalicza się fundamentów i podpiwniczeń budowli naziemnych oraz rurociągów i kolektorów instalacji sanitarnych, energetycznych czy przemysłowych, jeśli w czasie budowy, eksploatacji lub remontu nie przebywają w nich ludzie. Klasyfikację budowli podziemnych przedstawiono w tabeli 2.

Konstrukcje podziemne to zwykle płaskie ustroje budowlane, powstające na skutek wzajemnego oddziaływania wykonanej obudowy z górotworem lub w wyniku wydzielania specjalnymi zabiegami technologicznymi (np. kotwieniem, torkretem, iniekcją itp.) części ustabilizowanego górotworu [2].

Metody wykorzystywane w budownictwie podziemnym

Co do zasady, wykonawstwo budowli podziemnych może przebiegać pod powierzchnią terenu z zastosowaniem różnych metod bezwykopowych lub metodami wykopowymi (odkrywkowymi), które są realizowane z poziomu terenu. Dzięki dynamicznemu rozwojowi technik i technologii stosowanych w ostatnich latach do budowy tuneli komunikacyjnych i sieci infrastruktury podziemnej miast liczba potencjalnie możliwych do wykorzystania w warunkach miejskich metod tunelowania systematycznie wzrasta, zaś nowe metody wypierają lub stają się alternatywą dla stosowanych dotychczas.

W większości opisanych w literaturze podziałów metod budowy tuneli wyróżnia się metody klasyczne (nazywane zazwyczaj górniczymi) i metody drążenia tuneli przy użyciu maszyn do tunelowania TM (*tunnelling machines*), które dzielą się na maszyny wierzące TMB (*tunnel boring machines*) oraz tarcze SM

Tab. 1. Najstarsze tunele na świecie [1]

Nazwa tunelu, lokalizacja	Przeznaczenie	Wymiary, przekrój	Długość	Czas budowy
pod rzeką Eufrat	Przejście dla pieszych	brak danych	brak danych	2180 r. p.n.e.
Tunel Siloam, Jerozolima	Zaopatrzenie w wodę	4–5 m ²	537 m	800–700 r. p.n.e.
Galleria del Fucino, Włochy	Zaopatrzenie w wodę	4 x 2,5 m	5650 m	–
Grotta Vecchia di Posillipo, Włochy	Przejście dla pieszych	brak danych	690 m	36 r. p.n.e.
Galleria del Furlo, Włochy	Tunel drogowy w Furlo, Via Flamina	5,47 x 5,95 m	38 m	76
Menilmontant, Francja	Kanał w Paryżu	Ø 2,2 m	468 m	1370
Wapping, Wielka Brytania	Pierwszy tunel kolejowy Liverpool – Manchester	–	2030 m	1826
Mont Cenis	Transalpejski tunel kolejowy łączący Francję z Włochami	–	13,7 km	1871

Tab. 2. Podział budowli podziemnych ze względu na przeznaczenie [1]

Rodzaj budowli	Tunele	Szyby	Komory
I. Podział ze względu na głębokość	płytkie głębokie	płytkie głębokie	płytkie głębokie
II. Podział ze względu na przeznaczenie			
II.1. Transport	a) przejście dla pieszych, b) tunel drogowy, c) tunel kolejowy, d) metro, e) tunel żeglugowy	a) przewóz ludzi, b) przewóz materiałów, c) przewóz urządzeń	
II.2. Środek transportu	a) transport wody, b) transport ścieków, c) transport wód burzowych, d) pobór wody	a) transport wody, b) transport ścieków, c) transport wód burzowych, d) pobór wody	
II.3. Cele użytkowe	Przewody dla celów użytkowych: a) przewody telefoniczne, b) kable, c) przewody elektryczne, d) instalacje rurowe	Udostępniające	Komory dla celów użytkowych: a) komory pomp, b) komory do przechowywania materiałów wybuchowych, c) rozdzielnie, d) węzły komunikacyjne
II.4. Magazyny			a) magazyny dla cieczy, b) magazyny dla gazu, c) magazyn na odpady, d) magazyny na żywność
II.5. Parkingi, garaże		a) parkingi, b) garaże	a) parkingi, b) garaże
II.6. Dla rekreacji	a) baseny, b) boiska sportowe, c) podziemne teatry, d) sale gimnastyczne		
II.7. Dla górnictwa	a) udostępnienie, b) dla celów eksploatacji, c) dla transportu	a) udostępnienie, b) dla celów eksploatacji, c) dla wentylacji, d) dla transportu	
II.8. Do obrony	a) schrony, b) centra dowodzenia		a) schrony, b) centra dowodzenia





fot. DmiT, fotolia.com

(*shield machines*). Wszystkie te metody – zarówno klasyczne, jak i przy użyciu maszyn do tunelowania – miały i mają zastosowanie przede wszystkim do realizacji tuneli głębokich, w miastach zaś głównie do budowy tuneli komunikacyjnych. Mnogość dostępnych metod pozwala na wykonywanie tuneli tak w łukach pionowych, jak i poziomych.

Wraz z doskonaleniem wymienionych metod na początku lat 70. XX w. pojawiły się metody bezwykopowego wykonywania prostoliniowych, płytkich tuneli komunikacyjnych, które polegają na przeciskaniu ich obudowy (przeciski hydrauliczne) oraz tworzeniu obudowy wstępnej, np. z połączonych ze sobą rur [3]. Bezpośredni wpływ na wybór metody budowy podziemnych mają bardzo często skomplikowane warunki geologiczne.

Kierunki rozwoju budownictwa podziemnego

Ostatnie lata to czas intensywnej rozbudowy przestrzeni podziemnej. Realizuje się coraz więcej inwestycji infrastrukturalnych także na obszarach zurbanizowanych. Biorąc pod uwagę aktualne prognozy demograficzne, zgodnie z którymi w ciągu najbliższych kilkunastu lat do miast przeniesie się ok. 70% ludności, komfort życia i bezpieczeństwo mogą im zapewnić dzisiejsze inwestycje w infrastrukturę podziemną. To m.in. z tych względów największe światowe metropolie tak intensywnie rozbudowują systemy metra. Krajem, który zdaje sobie sprawę z potencjału, jaki tkwi w tym środku transportu, jest Singapur, państwo rozwijające się w zgodzie z zasadami zrównoważonego rozwoju. Pod ziemią znajduje się tu aż 10% sieci dróg szybkiego ruchu, a sieć kolejowa należy do najgęstszych na świecie – ze 180 km linii metra pod powierzchnią terenu zlokalizowanych jest aż 82 km.

Budowlami podziemnymi przyszłości będą zapewne podziemne, zautomatyzowane systemy parkowania, zbudowane na zasadzie kompaktowych konstrukcji pionowych. Do ich niewątpliwych zalet należą łatwość integrowania się z istniejącą



fot. Gina Sanders, fotolia.com



foto: ViLevi, fotolia.com

infrastrukturą, zapewnienie optymalizacji przepływu parkingowego i wysoki poziom bezpieczeństwa użytkownika oraz pojazdu przy minimalnych wymaganiach powierzchni. Tego typu systemy umożliwiają wybudowanie na głębokości 30 m od 14 do 16 poziomów parkingu, a przy 60 m p.p.t. – aż 31. Pierwsze parkingi tego typu funkcjonują już w Azji.

Pod centrami niektórych miast, np. Houston, oprócz magazynów, garaży i parkingów w ogromnych komorach i tunelach działają restauracje, kina, sklepy i galerie. W bezpośrednim sąsiedztwie Kansas City, w starej kopalni wapienia, znajduje się SubTropolis – największy na świecie podziemny park przemysłowy o powierzchni 162 ha z powierzchnią biurową wynoszącą ok. 42 ha. W amerykańskich miastach pod powierzchnią ziemi coraz częściej umieszcza się obiekty sportowe, np. baseny i lodowiska. Coraz większą popularnością cieszą się również podziemne hotele.

W Polsce na etapie projektowania lub zaawansowanej budowy jest coraz więcej tuneli drogowych i kolejowych. Spora inwestycja jest obecnie realizowana w Krakowie, gdzie na południu miasta powstaje 3,5-kilometrowa droga z siedmioma tunelami komunikacyjnymi. Wiele takich projektów prowadzi GDDKiA. Jednym z nich jest dwunawowy tunel pod Małym Luboniem w ciągu zakopianki (S7) o długości 2,1 km. Dwa obiekty powstaną w ramach budowy S52 północnej obwodnicy Krakowa (653 m i 493 m).

Za pomocą maszyn TBM wydrążono stołeczne metro, tunel pod Martwą Wisłą w Gdańsku, a obecnie, przy udziale gigantycznej maszyny drążącej o średnicy tarczy ok. 13 m, powstaje w Łodzi tunel średnicowy, składający się z obiektów o łącznej długości 7,5 km. W najbliższej przyszłości tym samym sposobem powstanie podwodny tunel drogowy w Świnoujściu [4, 5].

Gęsta zabudowa powierzchni oraz brak terenów do zabudowy sprawiają, że także w Polsce coraz częściej trzeba będzie te problemy rozwiązywać w przestrzeni podziemnej. Oprócz tuneli komunikacyjnych, drogowych i kolejowych pod ziemią powstają garaże oraz budowle kubaturowe. Na przełomie lat 2019 i 2020 w Szklarskiej Porębie, w Białej Dolinie, na południowym stoku Gór Izerskich na wysokości 800 m n.p.m., ma się rozpocząć budowa osiedla Hobbitów – domów w ziemi. Być może ten śmiały projekt przyczyni się do upowszechnienia zalet budownictwa podziemnego, gdyż ciągle jeszcze barierą w dłuższym przebywaniu pod ziemią jest psychika współczesnego człowieka.

Dlaczego warto budować pod ziemią

Korzyści wynikających z budowania pod ziemią jest wiele. Dzięki tego typu realizacjom możliwe staje się uwolnienie powierzchni terenu i przeznaczenie go np. na rekreację. Wprowadzenie pociągów do tuneli uwalnia naziemne trasy komunikacyjne od ciężkiego transportu samochodowego, a także umożliwia rozdzielanie kolizyjnych rodzajów transportu lub tras komunikacyjnych bądź ułatwienie połączeń pomiędzy nimi. Metro z kolei, powszechnie uważane za najlepszy masowy środek komunikacji w dużych miastach, jeśli jest usytuowane w podziemnych tunelach, to przy swojej ogromnej zdolności przewozowej może z powodzeniem zastąpić komunikację tramwajową i (lub) autobusową, wymagającą budowy wielopasowych jezdni lub wielotorowej nawierzchni tramwajowej.

Zaletą jest także temperatura, która na głębokościach od 10 do kilkunastu metrów jest stała i nie ulega wahaniom sezonowym niezależnie od klimatu. Ta właściwość sprawia, że budowle podziemne zapewniają jednocześnie ochronę przed



fol. Sved Oliver, fotolia.com

ekstremalnymi warunkami klimatycznymi, jak również istotną oszczędność energii. Co więcej, oprócz zapewnienia stałej temperatury budowle podziemne gwarantują również stałą wilgotność powietrza, co sprawia, że stanowią dobrą ochronę dla składowanych w nich produktów.

Budowle podziemne w porównaniu do innych rozwiązań wypadają także korzystnie pod względem ochrony środowiska. Wyprowadzenie ruchu samochodowego do tuneli znacznie zmniejsza w powietrzu poziom szkodliwych, toksycznych gazów zawartych w spalinach, a także powoduje redukcję zapylenia, hałasu i wibracji wywołanych ruchem.

W wielu przypadkach tylko dzięki budowlom podziemnym możliwe jest zachowanie obszarów zielonych i ukrycie mało atrakcyjnych z punktu widzenia estetyki instalacji technicznych [6].

Literatura

- [1] Tajduś A., Cała M., Tajduś K.: *Geomechanika w budownictwie podziemnym. Projektowanie i budowa tuneli*. Kraków 2012.
- [2] Gałczyński S.: *Podstawy budownictwa podziemnego*. Wrocław 2001.
- [3] Madryas C., Ryż K.: *Współczesne technologie podziemnego budownictwa komunikacyjnego. Metody drążenia tuneli komunikacyjnych*. „Inżynieria Bezwykopowa” 2016, nr 3, s. 48–53.
- [4] Materiały IV Konferencji *Budownictwo podziemne*, Kraków, 2–4 kwietnia 2019.
- [5] Tajduś A.: *Budownictwo podziemne szansą rozwoju współczesnych miast*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2010, nr 2, s. 12–15.
- [6] Grodecki W.: *Dlaczego budować pod ziemią?*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2010, nr 2, s. 12–15.



AARSLEFF

Aarsleff Sp. z o.o., Aleja Wyścigowa 6, 02-681 Warszawa
tel.: 22 648 88 34, fax: 22 648 88 36, e-mail: aarsleff@aarsleff.com.pl



www.aarsleff.com.pl

OBUDOWY WYKOPÓW

Wykorzystanie obudowy umożliwia bezpieczne prowadzenie robót głęboko poniżej powierzchni terenu oraz wody gruntowej i/lub w bezpośrednim sąsiedztwie innych obiektów (budynki, szlaki komunikacyjne). Elementy obudowy możemy wbijać, wibrować, wciskać lub wiercić, uzyskiwać w wyniku mieszania gruntu z cementem lub iniekcji strumieniowej (jet-grouting). Obudowy mogą mieć charakter tymczasowy (są wtedy z reguły po spełnieniu swojego zadania odzyskiwane w całości lub w części) lub trwałe (np. mogą stanowić trwałe elementy konstrukcyjne kondygnacji podziemnych). Obudowy mogą być wykonane z kształtowników stalowych z wypełnieniem drewnianym (obudowy berlińskie), z grodzic stalowych (tzw. ścianki szczelne), żelbetu (palisady wiercone) lub zbrojonego cementogruntu.