



Ryc. 1. Główna arteria Bostonu – stan aktualny, wizja niedalekiej przyszłości

Dlaczego budować **pod ziemią**?

■ **Wojciech Grodecki**, Podkomitet Budownictwa Podziemnego Polskiego Komitetu Geotechniki, WARBUD SA

Jak pokazuje historia cywilizacji, ludzie zawsze dążyli do osiedlania się w miastach. Wynikiem tej dążności jest stały wzrost ludności miejskiej i liczebności wielkich miast, które stanowią uprzywilejowaną przestrzeń dla rozwoju ludzkości. Wiek XX i początek wieku XXI są szczególnym przykładem olbrzymiego przyspieszenia tej tendencji.

W 2007 r. po raz pierwszy w historii liczba mieszkańców miast przekroczyła 50% całej populacji światowej i według demografów ten wskaźnik będzie nadal rósł. Główną przyczyną tego zjawiska nie jest wzrost liczby ludności na świecie (zgodnie z prognozami w 2030 r. wyniesie ona 8,1 mld), lecz masowa migracja ludności wiejskiej do miast w poszukiwaniu lepszych warunków egzystencji. Obserwuje się to szczególnie w krajach słabo rozwiniętych. Powstają tzw. megamiasta, tj. aglomeracje o liczbie ludności przekraczającej 10 mln.

By w takich miastach dało się żyć, muszą być zapewnione podstawowe warunki socjalne i sanitarne. Ich mieszkańcom należy zapewnić nie tylko mieszkania, ale dostarczyć wodę pitną, odprowadzić ścieki, dostarczyć energię i zapewnić dogodny transport miejski. Dla urządzeń służących spełnieniu tych warunków trzeba w przestrzeni miejskiej znaleźć odpowiednie miejsce, co przy olbrzymiej koncentracji zaludnienia nie jest łatwe. Na władze miast wywierane są coraz silniejsze naciski, by rozwijały infrastrukturę i w ten sposób zapanowały nad nieograniczonym rozpełzaniem się

metropolii. To rozpełzanie powodowałoby dalsze narastanie problemów, w tym przede wszystkim komunikacyjnych.

Czynnikiem rozwiązującym w dużej mierze powyższe problemy jest wielorakie wykorzystanie przestrzeni podziemnych dużych miast, a więc budowanie infrastrukturalnych obiektów podziemnych, uwalniając przy tym powierzchnię terenu, której można przypisać inne funkcje, np. rekreacyjne, czy też przeznaczyć pod zabudowę mieszkaniową. Budowle podziemne pozwalają na umieszczenie w nich niektórych rodzajów działalności człowieka oraz infrastruktury, której usytuowanie na powierzchni terenu jest trudne, czasami wręcz niemożliwe, lub niekorzystne z punktu widzenia ochrony środowiska, a także dlatego, że brak jest akceptacji okolicznych mieszkańców dla budowy kolejnego obiektu naziemnego w sąsiedztwie, w ich ocenie pogarszającego dotychczasowe warunki ich życia. Takimi niechcianymi budowlami są np. obiekty komunikacyjne, parkingi, garaże.

1. Korzyści wynikające z budowania pod ziemią

1.1. Uwolnienie powierzchni terenu

Zamiast sytuować wspomniane wyżej budowle na powierzchni lepiej jest zejść z nimi pod ziemię, zaś powierzchnię terenu przeznaczyć na inne cele. Przykładem może być wprowadzenie w Bostonie, olbrzymim kosztem, istniejącej już od dawna miejskiej autostrady do tunelu po to, aby uzyskać powierzchnię przeznaczoną na rekreację (ryc. 1).

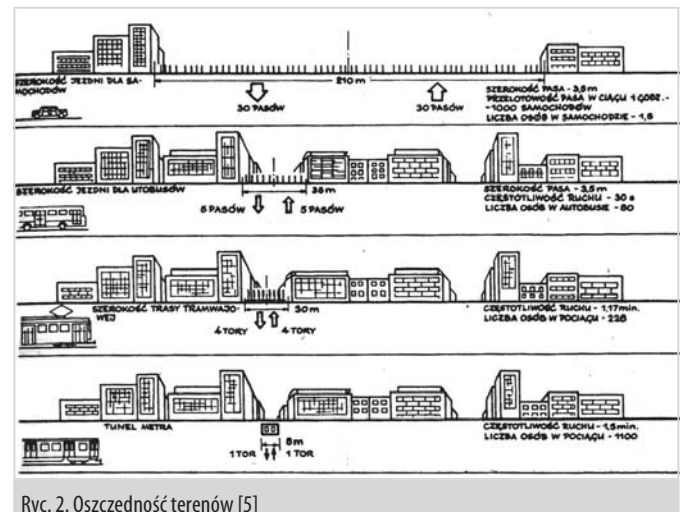
Podobnie, wprowadzenie pociągów do tuneli pozwala na uwolnienie naziemnych tras komunikacyjnych od ciężkiego transportu samochodowego, a w konsekwencji do nierozbudowywania tych tras. Przykładem niech będzie Szwajcaria, w której główne arterie komunikacyjne przekraczające Alpy to szlaki kolejowe z budowanymi obecnie długimi na kilkadziesiąt kilometrów tunelami, którymi przewozić się będzie olbrzymie masy towarów zamiast drogami kołowymi na powierzchni terenu.

Innym powodem skłaniającym do zastosowania rozwiązań podziemnych jest konieczność rozdzielenia kolizyjnych rodzajów transportu czy tras komunikacyjnych lub ułatwienie połączeń pomiędzy nimi. Przykładem może być rozproszczenie ruchu pieszego wokół większych stacji kolejowych, stanowiących punkt przesiadkowy na miejskie środki lokomocji – metro, tramwaj, autobus. Te ostatnie wraz z koleją mogą być więc skoncentrowane w jednym miejscu, na różnych poziomach, tworząc jedną, wielką stację przesiadkową, co pozwala w ostatecznym wyniku skrócić czas trwania podróży.

Jeszcze nowszą tendencją jest w miarę możliwości takie zgrupowanie pod ziemią wspomnianych środków transportowych, aby przesiadki odbywały się na jednym poziomie, co jeszcze bardziej podwyższy komfort podróży i zachęci do korzystania z masowych środków komunikacji miejskiej.

Metro jest powszechnie uważane za najlepszy masowy środek komunikacji na terenie dużych miast. Jest to środek bardzo pojemny, charakteryzujący się bardzo wysoką zdolnością przewozową (do ok. 50 tys. pasażerów na godzinę w jednym kierunku), szybki (średnia prędkość tzw. handlowa to 35–40 km/h), bezkolizyjny, komfortowy itp. Jeżeli linia metra usytuowana jest pod poziomem terenu w tunelach, to przy wspomnianej zdolności przewozowej może zastąpić komunikację tramwajową i/lub autobusową, które wymagałyby budowy wielopasowych jezdni lub wielotorowej nawierzchni tramwajowej. Zakładając, że najczę-

ściej tunele metra przebiegają pod ulicami, szerokość tych ulic w liniach zabudowy może być bardzo ograniczona i w skrajnym przypadku nieznacznie przekraczać szerokość tunelu w planie. To rozumowanie odnosi się do tuneli dwutorowych, wykonywanych metodą odkrywkową, i zostało zilustrowane przez M. Rataja [5] na rycinie 2.



Ryc. 2. Oszczędność terenów [5]

Jasno wynika z takiego rozumowania, że zajęcie terenu przez jezdnię lub torowisko tramwajowe, w założeniu przewozu podobnej liczby pasażerów na godzinę, jest nieporównywalnie większe niż w przypadku metra. Zaoszczędzona powierzchnia z jednej strony ma swoją, niekiedy ogromną, wartość jako np. teren budowlany lub może być przeznaczona na inne cele. Metro staje się nieodzowne, jeżeli zapotrzebowanie na przewozy pasażerskie na danym kierunku znacznie przekracza możliwości tradycyjnych (tramwaje i autobusy) środków lokomocji, biorąc dodatkowo pod uwagę wspomniane wyżej zalety metra, które nie są udziałem tramwajów i autobusów.

1.2. Wykorzystanie izolacyjnych właściwości nadkładu gruntu nad budowlą podziemną

Temperatura gruntu na głębokościach od 10 do kilkunastu metrów jest stała i nie ulega wahaniom sezonowym niezależnie od klimatu. Natomiast przy znacznych głębokościach temperatura gruntu rośnie wraz ze stopniem geotermicznym. Przy mniejszych głębokościach posadowienia budowli podziemnych zmiany temperatur są nieznaczne, pozostając na umiarkowanym poziomie w porównaniu ze skrajnymi temperaturami na powierzchni terenu. Ta umiarkowana temperatura i pozwolna reakcja gruntu o ogromnej bezwładności termicznej daje korzyści w postaci akumulacji energii – z jednej strony i jej oszczędność – z drugiej. Tym samym budowle podziemne zapewniają jednocześnie ochronę przed przeciwnościami ekstremalnych klimatów i istotną oszczędność energii. Ponadto stanowią osłonę przed takimi zjawiskami klimatycznymi, jak burze, huragany, tornada, mgły, oblodzenia itp.

Usytuowanie obiektów pod powierzchnią terenu powoduje znacznie mniejsze zagrożenie zniszczeniem podczas trzęsień ziemi. Są one bowiem mniej niszczone powierzchniową falą sejsmiczną niż budowle naziemne, co szczególnie dało się zaobserwować podczas dużych trzęsień ziemi w Kobe, San Francisco czy Mexico City. Wyjątkowo dobrze zachowują się budowle podziemne, których konstrukcja obliczona była na znaczne obciążenia parciem gruntu.

Budowle podziemne stanowią dobrą ochronę składowanych w nich produktów, szczególnie w odniesieniu do magazynów

produktów spożywczych, zapewniają one bowiem nie tylko stałą temperaturę, ale również wilgotność powietrza.

Równocześnie podziemne składy stanowią zabezpieczenie przed szkodliwym oddziaływaniem np. niebezpiecznych materiałów lub uciążliwych dla otoczenia zakładów przemysłowych. Dobrym tego przykładem jest podziemne magazynowanie odpadów radioaktywnych, sytuowanie pod ziemią reaktorów atomowych itp.

Nawet stosunkowo mała grubość nadkładu gruntu potrafi być bardzo efektywna w tłumieniu hałasów i drgań pochodzących z powierzchni.

We współczesnym, pełnym przemocy świecie umieszczenie pod ziemią urządzeń komunikacyjnych (tunele) zapewnia większe bezpieczeństwo ich eksploatacji. Słabymi punktami, wymagającymi szczególnej ochrony, są tylko portale i ewentualne wentylatornie, usytuowane na powierzchni terenu.

1.3. Tunele jako czynnik ochrony naturalnego środowiska

Świadomość społeczeństwa dotycząca wszystkich rodzajów negatywnych wpływów na środowisko stale wzrasta. Budowle podziemne wypadają korzystnie w porównaniu do innych rozwiązań pod względem ochrony środowiska. Uwolnienie powierzchni terenu, zwłaszcza w miastach, i wprowadzenie ruchu samochodowego do tuneli znakomicie zmniejsza w powietrzu poziom szkodliwych, toksycznych gazów zawartych w spalinach, zmniejsza zapylenie, hałas i wibracje wywołane ruchem. Jednakże należy pamiętać o tym, aby tak zaprojektować tunel i jego wentylację, by przy portalach nie tworzyły się „strefy śmierci”. Służą temu współczesne systemy oczyszczania powietrza w tunelach, tj. wychwytywania cząstek stałych zawartych w spalinach i neutralizacji toksycznych gazów.

Stosowanie odpowiednich materiałów izolacyjnych pozwala również na redukcję hałasu zarówno w samym tunelu, jak i jego propagację na zewnątrz przez portale.

Wszystkie te działania powinny być podejmowane już na etapie projektowania, zanim po wybudowaniu tunelu czy to samochodowego, czy metra, okoliczni mieszkańcy zaczną się uskarżać. Podejmowane spóźnione prace, mające na celu wyeliminowanie popełnionych błędów, są mało efektywne, a dodatkowo pozytywny obraz rozwiązań tunelowych zostanie stracony w opinii publicznej.

W wielu przypadkach tylko budowla podziemna pozwala na zachowanie obszarów zielonych, co ma swój korzystny wpływ na lokalny i globalny cykl ekologiczny. Roślinność, siedliska i drogi przemieszczania się zwierząt są utrzymywane na większym obszarze niż w przypadku zabudowy powierzchni (ryc. 3).



Ryc. 3. Tunel na autostradzie w Finlandii nie zakłóca migracji zwierząt i sukcesji roślinności

Zabrzmie to nieco przewrotnie, ale fakt, że budowle podziemne są mało lub wręcz niewidoczne w porównaniu z obiektami naziemnymi lub nadziemnymi, stanowi jednak ich zaletę. Cecha ta jest szczególnie ważna, gdy chce się ukryć nieatrakcyjne instalacje techniczne we wrażliwej z punktu widzenia estetyki lokalizacji lub gdy instalacje przemysłowe miałyby sąsiadować z obszarami rezydencjalnymi. Ma to również uzasadnienie w przypadku zachowania naturalnego krajobrazu lub w warunkach miejskich, kiedy przekonujemy się wzajemnie, czy budować np. skrzyżowanie dwupoziomowe ulic w postaci tunelu czy estakady.

2. Wizja i planistyczne podejście do zagospodarowania przestrzeni podziemnej

Niekiedy daje się zauważyć, że to zagospodarowywanie ma niestety charakter przypadkowy, chaotyczny, bez koordynacji z innymi obiektami, bez dalekosiężnej wizji zarówno władz lokalnych, jak i państwowych. Realizacja jednej budowli podziemnej bez takiego spojrzenia może prowadzić do utrudnienia lub wręcz do uniemożliwienia w przyszłości całościowego planu wykorzystania przestrzeni podziemnej na terenach już zurbanizowanych lub przeznaczonych do urbanizacji. To z kolei może generować różnego rodzaju konflikty. Byłyby one do uniknięcia, gdyby decydenci byli w pełni świadomi, jakie korzyści ofiaruje budownictwo podziemne jako narzędzie do rozwiązywania wielu problemów współczesnych miast, a z drugiej strony miały wizję rozwoju danej aglomeracji z kilkudziesięcioletnim wyprzedzeniem, a nie podporządkowywania się perspektywie kadencji czy bieżącej popularności.

Posiadanie takiej wizji łatwiej prowadzi do opracowania np. planów przestrzennego zagospodarowania przyszłych terenów przeznaczonych pod urbanizację. Powinny one powstawać w oparciu o model dialogu, w ramach którego wszyscy jego uczestnicy przedstawiają swoje wizje celu, a opracowany na tej podstawie plan uwzględnia w sposób kompromisowy interesy wszystkich uczestniczących stron. Tylko planowe wykorzystanie przestrzeni podziemnej może stanowić dobry przykład zrównoważonego rozwoju, tj. takiego, który wychodzi naprzeciw aktualnym potrzebom, a jednocześnie nie ograniczy zdolności przyszłych pokoleń do zaspakajania ich własnych potrzeb.

Doniosłą rolę w procesie decyzyjnym jest wszechstronne uzasadnienie celowości budowy inżynierskiego obiektu komunikacyjnego. Decyzje muszą być oparte o wyniki wielu studiów i prognoz i nie mogą mieć charakteru woluntarystycznego, być podejmowane z pobudek politycznych czy przypodobania się potencjalnym wyborcom. Budowa tych kosztownych obiektów realizowana jest z funduszy pochodzących z podatków, które muszą być wydatkowane w sposób racjonalny. Istnieją bowiem przykłady niewłaściwie podjętych decyzji zarówno budowy takich obiektów, które nie spełniają zakładanych funkcji, jak i decyzje zaniechania realizacji budowy, co pociąga za sobą olbrzymie straty w ciągu wielu lat. Do takich zaniechań można zaliczyć rezygnację z budowy tunelu pod przełęczą Sieniawską na trasie kolejowej z Krakowa do Zakopanego. Brak tunelu skutkuje do dziś wydłużeniem drogi i czasu przejazdu na tej trasie, a dodatkowo m.in. ogranicza długość składów pociągów.

Zwłaszcza w przypadku tuneli bardzo ważne jest przeprowadzenie wnikliwych studiów geologicznych. Pod tym pojęciem rozumie się badania geologiczne, geotechniczne i hydrogeologiczne. Ich celem jest optymalny wybór trasy tunelu lub,

jeżeli inne względy, np. funkcjonalne, determinują jej przebieg, wskazanie ewentualnych trudności wykonawczych z uwagi na kontekst geologiczny oraz dokonanie wyboru najwłaściwszej metody budowy, tak z uwagi na szeroko rozumiane bezpieczeństwo (personelu, samego tunelu i jego otoczenia), jak i kosztów realizacji. Ponadto wyniki wspomnianych badań, szczególnie geotechnicznych, będą stanowić podstawę do zaprojektowania obudowy tunelu.

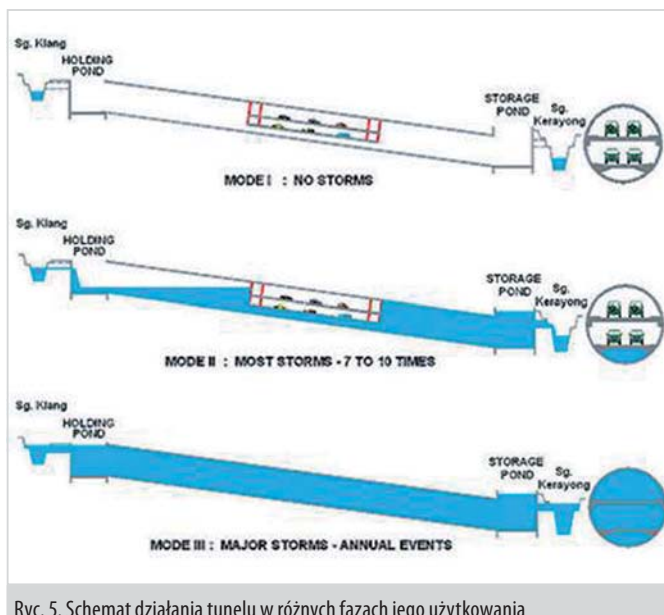
3. Koszty budowy podziemnych

Należy starać się zwalczać dość powszechny pogląd, że budowie podziemne są wielokrotnie droższe od innych rozwiązań infrastrukturalnych. Pogląd ten opiera się na prostym policzeniu jedynie kosztów inwestycyjnych, bez uwzględnienia porównawczych kosztów eksploatacyjnych i społecznych, faktu zajmowania przez te budowle znacznie mniejszej, kosztownej powierzchni terenu, a także z pominięciem wielu wcześniej wspomnianych korzyści. W odróżnieniu od wiaduktów, estakad czy kładek, tunele nie stanowią obcego elementu w krajobrazie miasta, nie zamykają perspektywy ulic, nie zasłaniają widoku ciekawych budowli naziemnych.

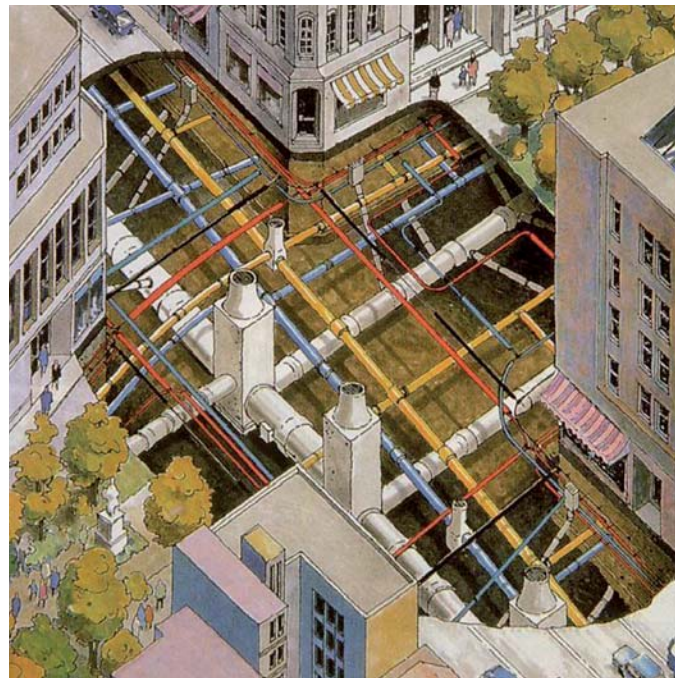
Budowle podziemne, a zwłaszcza tunele komunikacyjne na terenie miast, poza swoją rolą miastotwórczą powodują, że tereny do nich przylegające zyskują na wartości, tak jak i mieszkania osób indywidualnych.



Ryc. 4. Przekrój poprzeczny tunelu



Ryc. 5. Schemat działania tunelu w różnych fazach jego użytkowania



Ryc. 6. Wizja artystyczna tradycyjnego rozwiązania technicznej infrastruktury miejskiej

Właściwy dobór metod budowy tuneli, zwłaszcza na obszarach silnie zainwestowanych, ma olbrzymi wpływ na ostateczny ich koszt, ale również na możliwe zminimalizowanie uciążliwości dla mieszkańców miasta w okresie realizacji obiektów podziemnych.

W celu obniżenia kosztów budowy podziemnych daje się ostatnio zaobserwować tendencję do wykorzystywania ich jednocześnie do różnych celów. Są one wtedy budowlami wielofunkcyjnymi. Dobrym, choć nie jedynym przykładem takiego rozwiązania jest miejski tunel autostradowy w Kuala Lumpur, który w okresach silnych opadów deszczu pełni funkcję burzowca i częściowo zbiornika retencyjnego (ryc. 4, 5).

Od dawna też propagowane jest w miastach budowanie tzw. tuneli zbiorczych, w których umieszcza się całą techniczną infrastrukturę miejską (kable, przewody różnych mediów itp.). W ten sposób zastępuje się płątanicę tych urządzeń rozmieszczonych pod ziemią, niekiedy w całym przekroju ulicy (ryc. 6).

W tunelach zbiorczych, do których łatwy jest dostęp dla odpowiednich służb, monitoruje się stan każdego urządzenia i w przypadku konieczności naprawy lub wymiany nie rozkopyje się ulicy i nie powoduje się z tego powodu znacznych kosztów i olbrzymich utrudnień w ruchu w i tak już zatłoczonych miastach.

Literatura

1. Admiral J.B.M.: *Building on underground space awareness*. Materiały konferencyjne Underground Infrastructure of Urban Areas. Wrocław 2008.
2. *Why go underground*. ITA-AITES, March 2002.
3. Godard J.P.: *Urban Underground Space and Benefits of Going Underground*. World Tunnel Congress 2004, Singapore, ITA Open Session.
4. Grodecki W.: *Budownictwo podziemne jednym z czynników zapewnienia zrównoważonego rozwoju*. Materiały 50. Konferencji Naukowej Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki. Krynica 2004.
5. Rataj M.: *Społeczno-ekonomiczna efektywność budowy szybkiej kolei miejskiej*. Instytut Kształtowania Środowiska. Warszawa 1982.