

Beton w infrastrukturze podziemnej miast przyszłości

CONCRETE IN THE UNDERGROUND INFRASTRUCTURE OF THE CITIES
OF THE FUTURE

Streszczenie

W pracy omówiono stan zainwestowania przestrzeni podziemnej w miastach polskich i państw wysoko rozwiniętych. Wskazano na duże opóźnienia w kraju dotyczące wykorzystania możliwości poprawy jakości życia mieszkańców miast, jakie stwarza wielofunkcyjne wykorzystanie przestrzeni podziemnej, nazywane procesem stereoizacji. Przedstawiono spektakularne przykłady stereoizacji w miastach poza granicami kraju i opracowaną na tej podstawie propozycję strefowania przestrzeni podziemnej do różnych jej wykorzystañ. Wskazano na konieczne kroki, jakie powinny być podjęte w celu wyrównania zaległości oraz prawdopodobne rozwiązania materiałowe i technologiczne, jakie będą niezbędne do realizacji tak postawionych celów.

Abstract

The state of advancement of underground space in cities in Poland and in highly developed countries is discussed. The fact that Poland lags badly behind in stereoization – the process through which the quality of life of city dwellers could be improved – is highlighted. Spectacular examples of multifunctional use of underground space in cities abroad and a proposal (based on the above examples) of zoning underground space for its different uses are presented. The necessary measures which should be taken to catch up in this respect and the likely material and technological solutions which will be needed for this purpose are indicated.

1. Wprowadzenie

Obecna zabudowa miejska była związana z przemysłowym kapitałem i wynikających stąd zasadach industrializacji. W większości przypadków doprowadziło to do powstania miast niesprawnych, drogich, nieekologicznych ze wszystkimi wynikającymi stąd konsekwencjami utrudniającymi życie ich mieszkańców. Stąd też oczekiwania społeczne są takie, aby modernizowane fragmenty miast, a także ich rozbudowa, przebiegała z większym niż dotychczas uwzględnieniem komfortu zamieszkania, przystosowując nowo powstającą infrastrukturę miejską do potrzeb socjalnych, duchowych i kulturowych wynikających ze zmiany stylu życia i odmiennej skali wartości. Tworzenie przestrzeni zurbanizowanej o wymienionych cechach jest jednym z podstawowych zadań, jakie muszą zostać podjęte także w kraju. Zadanie to wynika także z konieczności dostosowania miast polskich do standardów europejskich, szczególnie wobec faktu zjednoczenia naszego kraju z Unią Europejską. Powstające projekty modernizacji i rozbudowy miast muszą charakteryzować się lepszym niż dotychczas wykorzystaniem przestrzeni miejskiej i poprzez stereoizację zabudowy, tzn. rozwój budownictwa wysokiego i podziemnego, a także wyższy stopień integracji systemów infrastruktury, wśród których wyróżnia się:

- urzędnictwa związane z komunikacyjną obsługą miasta,
- urzędnictwa związane z gospodarką energetyczną, wodną, ściekową oraz usuwaniem i utylizacją odpadów,
- urzędnictwa łączności i informacji, które przy założeniu potrzeby kontroli, także w odniesieniu do pozostałych urzędów infrastruktury, tworzą podstawę systemu zarządzania urbanistycznego (ang. *urban management system*).

Najważniejsze jednak jest wypracowanie rozwiązań technicznych, które stanowiłyby podstawę do tworzenia zintegrowanych struktur. Podstawowym założeniem takich opracowań musi być kreowanie przestrzeni zurbanizowanej umożliwiającej:

- wymianę energii pomiędzy urządzeniami i wykorzystanie ciepła miejskiego z niektórych budowli, jak np. tunele komunikacyjne, kanalizacja czy wyposażenia energetyczne itp.,
- samouzupelnianie się systemu zaopatrzenia w wodę (poprzez oczyszczanie ścieków),
- zwiększenie bezpieczeństwa mieszkańców miast zarówno w przypadku zagrożeń naturalnych (powódzie, wstrząsy parasejsmiczne itp.), jak i zewnętrznych (działania terrorystyczne czy wojenne),
- wykorzystanie zysków wynikających ze stereoizacji miasta, tzn. odmiennych niż na powierzchni warunków temperaturowych, wilgotnościowych i akustycznych,
- uwolnienie od niektórych funkcji (przede wszystkim komunikacyjnych) przestrzeni naziemnej, która powinna być wykorzystana przede wszystkim do celów mieszkaniowych i rekreacyjnych,
- odnowę historyczno-kulturową i ekologiczną środowiska centrów miast.

2. Uwarunkowania krajowe

Powszechnie przyjęty w kraju model rozwoju miast polegał na ich rozbudowie terytorialnej przez lokalizację budownictwa mieszkaniowego na obrzeżach. Dopiero w latach 80. ubiegłego stulecia, z uwagi na barierę jaką stworzył brak terenów wyposażonych w sie-

ci, uwidocznił się wzrost zainteresowania pozyskiwaniem mieszkań w centrach miast. Odbywało się to przez uzupełnianie zabudowy tzw. plombami oraz obszerny program modernizacji starej substancji mieszkaniowej. Zamierzenia w tym kierunku i związane z nimi oczekiwania i nadzieje były od początku bardzo duże. Jest jednak oczywiste, że program taki nie mógł zostać prawidłowo realizowany tradycyjnymi założeniami – bez stereoizacji miasta [7], w konsekwencji czego:

- nie wygospodarowano miejsc parkingowych pod wybudowanymi wtedy plombami,
- nie wybudowano tuneli samochodowych i przejść podziemnych dla pieszych,
- nie zmodernizowano podziemnej infrastruktury sieciowej miast.

Stan taki utrzymuje się do czasów obecnych mimo gospodarki rynkowej, dostępności technologii, materiałów i teoretycznej wiedzy inżynierów. Powstające od kilkunastu lat pojedyncze podziemne garaże wielopoziomowe, tunele komunikacyjne, przejścia podziemne dla pieszych czy warszawskie metro nie zmieniają obrazu znikomego, w stosunku do nowoczesnych miast Europy, Azji czy obu Ameryk, wykorzystania przestrzeni podziemnej w polskich miastach.

Uwaga badaczy, planistów i inwestorów musi zatem zostać skupiona na większym wykorzystaniu przestrzeni podziemnej jako kierunku dla poprawy komunikacji miejskiej, zwiększenia pojemności centrów przez przeniesienie do podziemi wielu funkcji handlowych i usługowych, a także modernizacji i integracji sieci podziemnych w celu poprawy niezawodności ich funkcjonowania oraz stworzenia warunków do budowy i funkcjonowania innych budowli podziemnych.

Jeśli przedstawione cele mają być osiągnięte, konieczny jest pakiet preferencyjnych dla rozwoju budownictwa podziemnego przepisów administracyjnych mających odbicie w zasadach kredytowania, subsydiowania czy prowizji itp. dla rozwiązań najlepszych.

Celowość takich zamierzeń potwierdzają działania w krajach wysoko rozwiniętych, gdzie zainteresowanie przestrzenią podziemną trwa już od dawna, a dodatkowo nasiliło się po zakwalifikowaniu jej w 1982 roku przez Organizację Narodów Zjednoczonych do grupy bogactw naturalnych. Potwierdzeniem tego na płaszczyźnie naukowej była organizacja już w 1983 roku w Sydney pierwszej międzynarodowej konferencji na temat urbanizacji podziemi miejskich.

W świetle dotychczasowych doświadczeń w krajach wysoko rozwiniętych można stwierdzić, że przestrzeń podziemna w miastach będzie, a często już jest, wykorzystywana bez ograniczeń prawie do wszystkich celów (z wyjątkiem funkcji mieszkalnej, dla której zostanie w ten sposób zwiększona ilość miejsca na powierzchni terenu).

Wymienione powyżej kierunki działań są również zgodne z 9 priorytetami badawczymi określonymi przez Europejską Platformę Technologiczną Budownictwa dla 7 ramowego programu europejskiego, gdzie treść jednego z nich brzmi: „*innovative use of the underground space*” (SRA 1.3). Autor niniejszego referatu jest współautorem tego priorytetu.

3. Uwarunkowania zagraniczne

Nową erę w dziedzinie miejskiego budownictwa podziemnego otworzyła budowa podziemnej kolei w Londynie, której pierwszy odcinek oddano do użytkowania w 1863 roku [21]. Rozwiązywanie problemów komunikacji zbiorowej w miastach tym sposobem szybko zostało uznane za efektywne, co zakwalifikowało metro do podstawowych wyposażań nowoczesnych miast.

Równocześnie rozwijała się budowa sieci kanalizacyjnych i wodociągowych oraz energetycznych (gaz, kable energetyczne, a później również przewody ciepłownicze) i łączności. Prowadziło to do zbytniego zagęszczania przewodów podziemnych, efektem czego było poszukiwanie bardziej przestrzenio-oszczędnych sposobów układania sieci. Było to szczególnie ważne wobec dynamicznego rozwoju indywidualnej komunikacji samochodowej, gdyż w celu rozwiązania wynikających stąd problemów już na przełomie naszego stulecia przewidywano budowę tuneli i garaży podziemnych. Efektem oszczędnego gospodarowania przestrzenią podziemną w miastach są pierwsze tunele wieloprzewodowe powstałe w wyniku adaptacji dużych kolektorów ściekowych (Londyn, Paryż, Madryt), rozwijane później w formie niezależnych budowli [5], [24].

Wiek dwudziesty rozpoczyna się dynamicznym rozwojem budownictwa podziemnego dla samochodów i pieszych oraz przewodowego transportu energii. Zmieniło to dotychczasową ideę projektowania, w konsekwencji której zaczęto zmieniać tradycyjne funkcje piwnic, które były eksploatowane przeważnie jako magazyny opału (koks, węgiel, drewno) oraz przydomowe spiżarnie. Stworzyło to szanse realizacji zintegrowanych z zabudową, wyposażonych w usługi, podziemnych pasaży dla pieszych połączonych wejściami ze stacjami metro i garażami. Przykładem mogą stanowić podziemne ulice w Japonii, których budowę w Tokio rozpoczęto już w latach 30. ubiegłego stulecia. Po raz pierwszy na tak szeroką skalę pojawia się tam idea pionowej segregacji zabudowy miejskiej w celu oddzielenia ruchu pieszych od ruchu samochodów. Obecnie podobny system ulic istnieje w licznych miastach tego i innych krajów.

Centra wielu miast w Europie zostały zniszczone wskutek działań wojennych. Umożliwiło to tworzenie nowej, bardziej funkcjonalnej zabudowy, co nie oznacza, że straty wynikające z utraty wartości kulturowych niejednokrotnie przewyższyły korzyści.

Za wzór dobrych rozwiązań często stawiane są przebudowy centrów Coventry i Rotterdamu [13], [18]. W obu przypadkach wybudowano zupełnie nowe centra, skupiając w nich głównie handel i ograniczając radykalnie liczbę mieszkań. Dokonano pionowej segregacji ruchu prowadząc przejścia dla pieszych ponad lub pod poziomem terenu. W celu ułatwienia łączności z pozostałymi częściami aglomeracji centra otoczono autostradowymi obwodnicami, wzdłuż których wybudowano wiele kilkupoziomowych parkingów.

Powtórna intensyfikacja rozwoju budownictwa podziemnego rozpoczyna się w latach 60. i wyrasta na bazie kryzysu energetycznego, zagrożeń ekologicznych, nieprzewidywanego przeludnienia miast i wzrastającego nasycenia urządzeniami sieciowymi.

Teoretyczne modele rozwoju miast [12], [13] zostały zweryfikowane przez rzeczywistość kreując chaotyczny, często niekontrolowany, rozwój ośrodków miejskich. W efekcie tego powstało wiele miast niefunkcyjnych i deficytowych o katastrofalnym wręcz przeludnieniu i skażeniu środowiska. W takich warunkach powstają współczesne programy wykorzystania przestrzeni podziemnej w miastach, a ich celem jest przede wszystkim:

- zwiększenie pojemności miast poprzez rozszerzanie funkcji podziemi,
- osiąganie efektów ekonomicznych, jakie wynikają z koncentracji zabudowy skracającej ciągi komunikacyjne i sieciowe.

Przykładem rozwiązania opartego na takim myśleniu może być podziemny system ruchu pieszych w Montrealu. Łączy on biurowce, stacje metro, kilka restauracji, a nawet kina, fontanny i ogrody. Jego rozmiary i wystrój architektoniczny sprawiają, że jest uznawany za model miasta podziemnego i wzorzec dla przyszłościowej organizacji ruchu pieszych (fot. 1).



Fot. 1. Montreal – podziemne centrum wielofunkcyjne

Podobne funkcje spełnia wielokondygnacyjna zabudowa przestrzeni podziemnej pod placem Marii Panny w Monachium. Pierwsza z pięciu kondygnacji to przejścia dla pieszych służące do rozprowadzenia ruchu zarówno w głąb, jak i ponad teren. Na kondygnacji tej zlokalizowano także pomieszczenia usługowo-handlowe. Druga i trzecia kondygnacja to stacje szybkiej kolei nadziemnej (S-Bahn), która w tej części miasta ze względu na gęstość zabudowy przebiega poniżej terenu. Czwarta i piąta kondygnacja przeznaczona jest na perony kolei podziemnej (U-Bahn). Budowla ma około 40 metrów głębokości, a jej poszczególne poziomy połączone są czterdziestoma schodami ruchomymi. Łączna długość budowli wynosi około 600 m [2].

Na zupełnie nowatorskich założeniach, jak na tamte lata, oparto opracowany w latach 70. projekt osiedla mieszkaniowego Północne Czarnowo w Moskwie. Na powierzchni 99,2 ha zaplanowano mieszkania dla 22 000 ludzi, podziemny parking dla 3400 samochodów, półpodziemne ciągi do transportu i łączności, podziemną ciepłownię i elektrownię, domy handlowe i usługi oraz wyposażenia inżynieryjne. W podziemiach przewidziano także część mieszkań. Dzięki wprowadzeniu do podziemi tak wielu urządzeń i obiektów oraz nadaniu im wielofunkcyjnego charakteru, udało się osiągnąć wskaźnik gęstości zabudowy ($6000 \text{ m}^2/\text{ha}$), pozostawiając większą ilość miejsca dla zieleni ($14 \text{ m}^2/\text{M}$). Podjęto tu także próbę realizacji koncepcji wprowadzenia do podziemi funkcji mieszkalnej, co było zgodne z lansowaną wtedy (od połowy lat 70. XX w.) w USA ideą budowy małych podziemnych budynków mieszkalnych. Rozwój tej idei zaowocował wydaniem w 1978 roku na Uniwersytecie Minnesota fundamentalnego dzieła dotyczącego tej problematyki [19], którego rozszerzone wznowienie nastąpiło sześć lat później [4]. Idea ta, i słusznie,

nie znalazła szerszego uznania. Także z inspiracji tego przodującego w świecie ośrodka zajmującego się kształtowaniem przestrzeni podziemnej w latach 80. zostaje zrealizowany w Minnesocie budynek Instytutu Inżynierii Górniczej. Łączna powierzchnia tego obiektu wynosi 14 000 m², z czego około 95% umieszczono pod ziemią.

Nowszym rozwiązaniem jest wybudowany w Moskwie pod koniec lat 90. ubiegłego stulecia podziemny trzykondygnacyjny dom handlowy w pobliżu placu Czerwonego. Fragment wnętrza tego obiektu, według stanu z 2006 roku, przedstawiono na fot. 2. Wnętrze obiektu naświetlone jest częściowe światłem słonecznym przedostającym się przez efektowny świetlik umieszczony w poziomie terenu – fot. 3.



Fot. 2. Fragment wnętrza podziemnego domu handlowego w Moskwie



Fot. 3. Świetlik dachowy w podziemnym centrum handlowym w Moskwie

Lata 80. XX w. to programowanie i realizacja dużych inwestycji sieciowych i komunikacyjnych oraz tworzenie nowych koncepcji magazynowania dóbr, oczyszczania ścieków i budowy urządzeń energetycznych w podziemiach miast. Powstają lub są w sferze projektowej tunele posadowione na dużych głębokościach, co jest konsekwencją wyjątkowo dynamicznego rozwoju technologii bezwykopowych. Przedtem tunele głębokie „zarezerwowane” były w zasadzie dla podziemnych kolei miejskich. Obecnie na podobnych głębokościach, a nawet większych, posadawiane są tunele wodociągowe, kanalizacyjne, komunikacji samochodowej oraz budowle związane z funkcjonowaniem podziemnych laboratoriów i urządzeń energetycznych. Potwierdzeniem takiego kierunku działania są tunele wodociągowe w Londynie [23] i Bombaju [22], systemy tuneli kanalizacyjnych w Kairze [3], system TARP w Chicago [25], tunele samochodowe w Sydney [1], Oslo [17] i Bostonie [6], a także tunele laboratoryjne w Genewie [10]. Tunele komunikacji szynowej to w dalszym ciągu przede wszystkim tunele metro. W perspektywie należy jednak liczyć się także z wykorzystaniem przestrzeni podziemnej w miastach dla linii i stacji kolejowej komunikacji o zasięgu pozamiejskim.

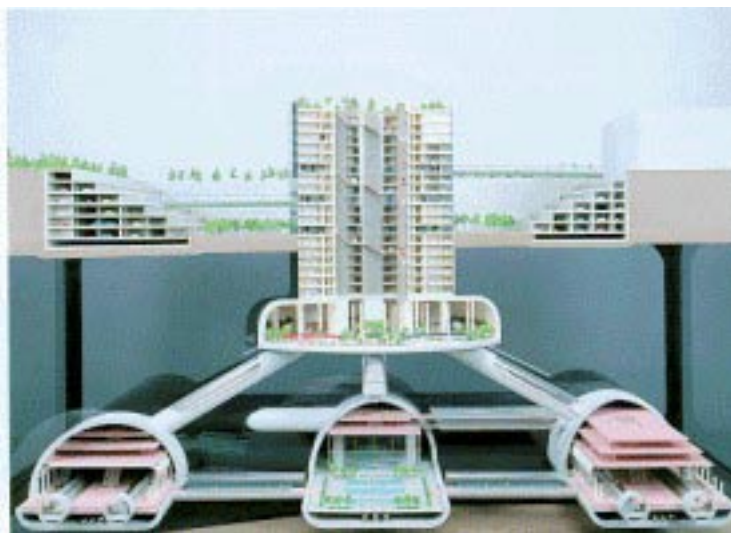
Przykłady rozwiązań można mnożyć, dochodząc w konsekwencji do określenia ich najważniejszych wspólnych cech:

- są to budowle realizowane technologiami bezwykopowymi, często pod istniejącą zabudową,
- wyznaczają nowe, głębokie strefy zainwestowania podziemnego w miastach,
- tworzą często zintegrowane, wielofunkcyjne struktury.

Poza wymienionymi typami budowli, dodatkowym elementem zainwestowania podziemnego, jaki pojawił się w ostatnich latach, są podziemne zespoły energetyczne, oczyszczalnie ścieków oraz magazyny cieczy, gazów i produktów stałych. Oznacza to, że perspektywiczne plany przestrzennego rozwoju środowiska miejskiego powinny uwzględniać potencjalne lokalizacje takich zamierzeń.

Wykorzystanie przestrzeni podziemnej dla energetyki to, poza przesylem, gromadzeniem paliw ciekłych i gazów, coraz częstsze wykorzystywanie ciepła geotermicznego. Ciepło może być pobierane z naturalnych podziemnych kavern lub specjalnie do tego celu skonstruowanych zbiorników, a także z baterii otworów wierconych w gruncie lub bezpośrednio z naturalnych formacji wodonośnych. W każdym jednak przypadku źródło ciepła i zespół pompujący zlokalizowane są poniżej terenu, co wymaga wyznaczenia wolnej od innego zainwestowania strefy. O ile obecnie systemy te realizowane są w odniesieniu do pojedynczych zabudowań lub małych zespołów mieszkaniowych zlokalizowanych często na peryferiach miasta, to nie można wykluczyć, że w przyszłości będą one także źródłem zasilania energetycznego zabudowy w centrach miast.

Na rysunku 4 przedstawiono schemat ideowy planowanego do 2020 roku w Tokio Geatropolis, który jest potwierdzeniem takiego myślenia. Podziemna struktura (trzy „tunele”) o kubaturze 300 000 m³ zlokalizowana na głębokości 50 m, ma stanowić idealnie zintegrowane z zabudową naziemną podziemne miasto, będące odpowiedzią na rozwiązanie stale narastającego problemu braku powierzchni w Japonii.



Rys. 4. Koncepcja tokijskiego Geatropolis

4. Współzależności funkcjonalne

Określenie współzależności i wniosków, jakie wynikają z omówionych, światowych sposobów i kierunków wykorzystania przestrzeni podziemnych w warunkach krajowych, wymaga:

- analizy stanu zainwestowania podziemnego w miastach polskich,
- sformułowania zależności pomiędzy głębokością i funkcją zabudowy podziemnej a wykorzystaniem terenu,
- określenia spójnych z tendencjami światowymi stref wykorzystania przestrzeni podziemnej do różnych celów,
- budowy modelu pozwalającego na programowanie zapotrzebowania na różne funkcje wykorzystania podziemi,
- analizy implikacji środowiskowych i ekologicznych, jakie wynikają z perspektywy szerszego wykorzystania przestrzeni podziemnej w miastach.

Opracowane w kraju publikacje zwarte na temat budownictwa nadziemnego w miastach są nieliczne i nie prowadzą do sformułowania zasad kompleksowego i wielofunkcyjnego wykorzystania przestrzeni podziemnej. Zazwyczaj autorzy dokonują zestawienia wybranych typów budowli i analizują metody ich projektowania oraz wykonawstwa, nie omawiając współzależności wyposażenia podziemnego miasta z jego zainwestowaniem naziemnym [5], [7], [9], [49], [21]. Nieco odmienne podejście do problemu przedstawione jest w pracach [8], [13], [18], ale z kolei tu autorzy zawężają temat do analiz zagadnień związanych z sieciami infrastruktury. Taki stan nauki jest zresztą spójny z rzeczywistą sytuacją w zakresie wykorzystania przestrzeni podziemnej, której zainwestowanie w kraju ogranicza się praktycznie do wyeksploatowanych sieci ułożonych bezpośrednio w gruncie, nielicznych przejść podziemnych dla pieszych oraz rzadziej tuneli komunikacyjnych i wieloprzewodowych. Dopiero w latach 70. rozpoczęto budowę jedynej w kraju podziemnej kolei (warszawskie metro).

Przeprowadzone studia literaturowe zagranicznych rozwiązań technicznych i ich powiązań funkcjonalno-lokalizacyjnych pozwoliły wyłonić prawidłowości dające podstawę do sformułowania uogólnionych zasad segregacji przestrzeni podziemnej dla poszczególnych funkcji. Zbiorcze zestawienie wyników tej analizy przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Strefy funkcjonalnego wykorzystania przestrzeni podziemnej

Głębokość strefy [m]	Tereny miejskie (urban)			Tereny podmiejskie (suburban)
	Pod zabudową mieszkaniową	Pod ulicami	Pod terenami użyteczności publicznej – place, tereny zielone itp.	
-5	<ul style="list-style-type: none"> - mieszkania (sutereny), - piwnice, - trakty handlowo-usługowe, - parkingi, - schrony, 	<ul style="list-style-type: none"> - przejścia dla pieszych – lobby stacji metro, - rurociagi, - tunele drogowe, - trakty handlowo-usługowe, - parkingi 	<ul style="list-style-type: none"> - przejścia dla pieszych – lobby stacji metro, - rurociagi, - tunele drogowe, - trakty handlowo-usługowe, - parkingi, - nekropolia 	<ul style="list-style-type: none"> - obiekty produkcyjne, - tunele komunikacyjne (drogowe, kolejowe, metro), - rurociagi, - podziemne ciekі (skanalizowane), - schrony, - nekropolia
-10	<ul style="list-style-type: none"> - parkingi, - wyposażenia techniczne miasta: stacje pomp, podstacje elektroenergetyczne, itp.), - schrony 	<ul style="list-style-type: none"> - perony i tunele metro, - tunele drogowe i kolejowe, - parkingi, - rurociagi, - podziemne ciekі (skanalizowane), - zbiorniki retencyjne ścieków opadowych 	<ul style="list-style-type: none"> - parkingi - wyposażenia techniczne miasta: stacje pomp, podstacje elektroenergetyczne itd. - schrony, 	<ul style="list-style-type: none"> - obiekty produkcyjne, - zbiorniki retencyjne ścieków opadowych, - schrony, - wyposażenia techniczne miasta: stacje pomp, podstacje elektroenergetyczne itp., - rurociagi tranzytowe
-30	<ul style="list-style-type: none"> - pomieszczenia wymagające stałej temperatury, - garaże, - tunele komunikacyjne – tranzytowe, - rurociagi tranzytowe, 	<ul style="list-style-type: none"> - perony i tunele metro, - tunele drogowe i kolejowe, - parkingi, - rurociagi, - podziemne ciekі (skanalizowane), - zbiorniki retencyjne ścieków opadowych 	<ul style="list-style-type: none"> - parkingi - wyposażenia techniczne miasta: stacje pomp, podstacje elektroenergetyczne itd. - schrony 	<ul style="list-style-type: none"> - obiekty produkcyjne, - zbiorniki retencyjne ścieków opadowych, - schrony, - wyposażenia techniczne miasta: stacje pomp, podstacje elektroenergetyczne, itp., elektrownie, - tunele komunikacyjne – tranzytowe, - magazyny: żywności, cieczy itp., - tunele wodne, - laboratoria
-100	<ul style="list-style-type: none"> - tunele komunikacyjne – tranzytowe, 	<ul style="list-style-type: none"> - stacje i tunele metro, - tunele komunikacyjne – tranzytowe 		<ul style="list-style-type: none"> - obiekty produkcyjne, - zbiorniki retencyjne ścieków opadowych, - wyposażenia techniczne miasta: stacje pomp, podstacje elektroenergetyczne itp., elektrownie, - tunele komunikacyjne – tranzytowe, - magazyny: żywności, cieczy, gazów itp., - laboratoria specjalnego przeznaczenia

Jak wynika z tabeli 1, największe nasycenie budowlami podziemnymi w zabudowie miejskiej występuje pod ulicami na głębokości do 10 metrów. Cechą charakterystyczną strefy do głębokości 10 m jest łatwość łączenia funkcjonalnego budowl podziemnych z budowlami na powierzchni terenu. Możliwe jest tu również projektowanie rozwiązań z częściowym wykorzystaniem naturalnego oświetlenia. Głębokość ta jest także najlepiej akceptowana przez mieszkańców miast. Konstrukcja górnego stropu budowl posadawianych na tej głębokości często stanowi bezpośrednie podłoże dla nawierzchni terenu, a jeżeli jest to budowla zlokalizowana pod terenem zabudowanym, na konstrukcji tej wznoszone są obiekty nadziemne.

Strefy na większych głębokościach zabudowywane są przede wszystkim na terenach podmiejskich, gdzie zgodnie z panującymi tendencjami lokalizuje się podziemne magazyny, urządzenia techniczne i komunikacyjne o charakterze tranzytowym.

Opisane funkcje realizowane są przez odpowiednie rozwiązania techniczne, których układy mogą tworzyć struktury sieciowe. W strukturach tych węzły utożsamiane są z wielofunkcyjnymi obiektami o skupionym, z przestrzennego punktu widzenia, charakterze (stacje metro, przejścia dla pieszych, garaże, zbiorniki, zakłady produkcyjne, itp.), a linie z tunelami i przewodami. Z punktu widzenia systematyki funkcjonalnej występują zatem podziemne układy sieciowe (komunikacyjne i przewodowe) oraz zbiór skupionych budowl nie powiązanych ze sobą funkcjonalnie (magazyny, zbiorniki, laboratoria itd.). Pod względem konstrukcyjnym są to:

- tunele, rurociągi i przewody,
- budowle „kubaturowe”.

5. Perspektywa rozwiązań funkcjonalno-konstrukcyjnych w miastach polskich

5.1. Infrastruktura sieciowa

5.1.1. Rozwiązania funkcjonalne

W celu zapewnienia wysokiej wydolności miast polskich, należałoby rozwijać i modernizować wszystkie z wymienionych w poprzednim rozdziale funkcje wykorzystania przestrzeni podziemnej. Warunki techniczno-ekonomiczne w kraju wymagają jednak ustalenia hierarchii ważności przedsięwzięć i kolejności ich wykonywania. W pierwszym etapie działania muszą obejmować strategię przystosowania do potrzeb miasta przyszłości najbardziej rozbudowanej struktury, którą jest infrastruktura sieciowa. Stworzenie prawidłowych wzorców eksploatacji, modernizacji i rozbudowy tego systemu jest konieczne, gdyż stanowi on obecnie podstawowy, a zarazem najbardziej wyeksploatowany i awaryjny element wyposażenia polskich miast, co utrudniało i utrudnia realizację innych budowl podziemnych. Historyczne zdjęcie jest przykładem ekstremalnego „przesycenia” przestrzeni podziemnej infrastrukturą siecią w Nowym Yorku (fot. 5) [20]. Przedstawiona sytuacja w miastach Europy, obu Ameryk i Azji uległa od tamtego czasu zdecydowanej zmianie, natomiast nie odbiega ona zasadniczo od aktualnego stanu w miastach naszego kraju.



Rys. 5. Odkopana infrastruktura sieciowa w jednej z ulic Nowego Jorku

Przystosowanie infrastruktury sieciowej w starej modernizowanej zabudowie miejskiej może być teoretycznie realizowane trzema sposobami:

- odnowa wyeksploatowanych przewodów i pozostawienie ich w obecnej strefie z ewentualną dyslokacją poziomą,
- pozostawienie przewodów w obecnej strefie i stopniowe przekładanie ich do piwnic budynków (korytarzy technicznych – fot. 6b lub tuneli wieloprzewodowych – fot. 6a,
- budowanie nowych sieci poniżej istniejącego zainwestowania – fot. 7.

We wszystkich rozwiązaniach przestrzeń do 10 m głębokości pod ulicami jest częściowo (rozwiązanie pierwsze i drugie) lub w większej mierze (rozwiązanie drugie) uwalniana od sieci, co umożliwia realizację innych budowli podziemnych.

Analizując rozwój budownictwa podziemnego w miastach poza granicami kraju, zdecydowanie częściej stosowane są dwie pierwsze z wymienionych możliwości (fot. 6).

Dyslokacja sieci do stref na większej głębokości zdarza się rzadziej i jest związana ze stosowaniem technologii bezwykopowych, analogicznych do stosowanych przy budowie głęboko posadowionych tuneli komunikacyjnych. Przykład ułożenia przewodów w tunelu wieloprzewodowym wykonanym z użyciem TBM (*tunneling boring machine*) przedstawiono na fot. 7.

Sieci w nowo powstających osiedlach z założenia powinny być umieszczane w mniej lub bardziej zintegrowanych systemach tuneli wieloprzewodowych i korytarzy technicznych.

a)



b)



Fot. 6. Zintegrowane systemy infrastruktury sieciowej: a – w tunelu wieloprzewodowym, b – w korytarzu technicznym



Fot. 7. Tunel wieloprzewodowy w Zürichu

5.1.2. Rozwiązania materiałowe

W odnowie przewodów

Technologie odnawiania przewodów polegają zazwyczaj na wprowadzaniu do ich wnętrza niezależnej, samonośnej konstrukcji (rury lub profilu dostosowanego do innego kształtu przekroju poprzecznego przewodu), nazywanej linerem. Liner może ściśle przylegać do wewnętrznej powierzchni odnawianego przewodu (grupa close fit) lub być wprowadzany jako konstrukcja swobodna o mniejszym przekroju poprzecznym (relining). W drugim przypadku przestrzeń pomiędzy rekonstruowanym kanałem a linerem wypełniana jest lekkim betonem, którego zadaniem jest ustabilizowanie położenia lineru.

Wykładziny w grupie close fit wykonywane są z tkanin o strukturze filcowej absorbujących żywice (z grupy poliestrów nienasyconych, estrów winylowych lub żywice epoksydowe) i pokrytych na jednej powierzchni folią z tworzywa sztucznego uniemożliwiającą odpływ żywicy do wnętrza przewodu.

Drugi rodzaj technologii z grupy close fit stosuje jako konstrukcje nośne wprowadzane do wnętrza przewodów rury wykonane z polietylenu dużej gęstości (PEHD). W technologiach tych nowe konstrukcje „wciągane” są do wnętrza przewodu bezpośrednio (nie techniką rewersji) przez zastosowanie obróbki mechanicznej lub mechaniczno-termicznej.

W technologii relining wprowadzane do wnętrza elementy samonośne wykonywane są z:

- krótkich modułów wykonanych z PCW, dla małych średnic (do 400 mm),
- krótkich modułów lub uciąglonych rur z PEHD,
- krótkich modułów kompozytowych z GRP (Glass Reinforced Plastic).

Beton w odnowie przewodów infrastruktury podziemnej znajduje zastosowanie w wąskim zakresie dotyczącym napraw przewodów (cementacja, układanie wypraw w przewodach przełazowych – najczęściej z betonu natryskiwanego), a mieszanki na bazie cementu – do produkcji iniektów.

W budowie nowych sieci

W budowie nowych sieci beton odgrywa tradycyjnie podstawową rolę, aczkolwiek mógłby zdominować większą niż dotychczas część rynku. Dopiero uaktywnienie się w ostatnich kilku latach wytwórców wyrobów betonowych w kierunku produkcji elementów do technologii bezwykopowych (rur, ram, tubingów i innych prefabrykatów) spowodował, że najprawdopodobniej tworzywo to będzie dominowało także w przyszłości.

Konkurencją dla betonu w tym obszarze zastosowań są kamionka i PCW dla mniejszych średnic oraz polimerobeton, GRP i PEHD dla wszystkich wymiarów rur [11]. Przy czym należy podkreślić, że podział rynku pomiędzy wymienione tworzywa a beton należy rozważać przede wszystkim w odniesieniu do przewodów gospodarki wodno-ściekowej, gdyż w pozostałych obszarach (energetyka i łączność dominują i będą dominowały inne materiały).

Proporcje zastosowań wymienionych materiałów w obszarze inwestycji związanych z infrastrukturą wodno-kanalizacyjną zależą i będą zależeć od jakości betonu, który w wyniku złej produkcji z lat 70. i 80 ubiegłego stulecia jest często jeszcze postrzegany jako tworzywo bardzo mało odporne na korozję chemiczną i biologiczną. Oczywiście opinia ta jest obecnie całkowicie nieuzasadniona, a możliwości stwarzane przez betony nowych generacji są nie do przecenienia.

W budowie sieci zintegrowanych

W przypadku systemów zintegrowanych, gdy sieci są układane w tunelach wieloprzewodowych lub korytarzach technicznych, podstawowym tworzywem dla takich konstrukcji jest beton. Wyjątek mogą tu stanowić przypadki układania przewodów w zaadaptowanych do tego celu piwnicach starych budynków.

Tunele wieloprzewodowe mogą być wykonywane w wykopach lub technologiami bezwykopowymi. Optymalnym kształtem przekroju poprzecznego tunelu do układania w nim przewodów jest prostokąt. Kształt ten dominuje w tunelach ułożonych płytko techniką przecisku hydraulicznego. Przeciskana jest cała konstrukcja tunelu, która w większości przypadków jest prefabrykowaną, żelbetową ramą o sztywnych narożach. Przykład takiego rozwiązania przedstawiono na fot. 8 [15].

a)



b)



Fot. 8. Realizacja tunelu wieloprzewodowego technologia przecisku hydraulicznego: a) rama w komorze początkowej, b) urabianie gruntu

Tunele wieloprzewodowe są wykonywane także technologią mikrotunelowania (średnice do 4,20 m) lub technologiami tarczowymi jak to stało się w Zürichu (fot. 7) [12]. W pierwszym przypadku, jako elementy konstrukcyjne, mogą być zastosowane, przy mniejszych średnicach (do 3 m) – rury z GRP lub polimerobetonu. Zdecydowanie częściej stosowane są jednak elementy żelbetowe. W drugim przypadku dominują obecnie tunele z tubingów żelbetowych, a nie metalowych.

5.2. Wielofunkcyjne struktury zintegrowane

5.2.1. Rozwiązania funkcjonalne

W perspektywie również takie wyposażenia miasta, jak: zbiorniki retencyjne, oczyszczalnie ścieków, podstacje elektroenergetyczne, pompownie i inne, powinny być wszędzie tam, gdzie to możliwe, lokalizowane w podziemiach miast.

Rozszerzenie działań na inne funkcje musi nastąpić jak najszybciej i obejmować przede wszystkim budowlę komunikacyjną, a następnie usługową i magazynową.

Rozwiązanie problemów komunikacji zbiorowej, a także ochrony środowiska w miastach o ponadmilionowej liczbie mieszkańców, wymaga częściowego wyeliminowania ruchu prywatnych samochodów. Jak wykazały doświadczenia w innych krajach, najbardziej efektywnym sposobem rozwiązania tego problemu jest budowa szybkiej kolei podziemnej (metro). Rozwój kolejnych linii metro stymuluje zazwyczaj wielofunkcyjne wykorzystanie podziemi, szczególnie w sąsiedztwie stacji. Powstają, niejako w naturalny sposób, zintegrowane ze stacjami pasażerów handlowe, dające często początek podziemnym ulicom i przejściom dla pieszych z rozbudowaną sferą usług. Taki model rozwoju należy założyć również w warunkach polskich.

Budowlę podziemną o przeznaczeniu handlowo-usługowym należy także projektować jako samodzielne jednostki, szczególnie w pobliżu obiektów użyteczności publicznej (dworce, kina, hale sportowe itp.). W następnym etapie, jeżeli w mieście będą rozwijane systemy podziemnej komunikacji, mogą one być z nimi integrowane, tworząc w konsekwencji wielofunkcyjne zagospodarowania przestrzeni podziemnej.

Modernizacja centrów miast wiąże się nierozdzielnie ze zwiększaniem intensywności ich wykorzystania. Proces ten może przebiegać poprzez:

- zagęszczenie zabudowy,
- rozwój budownictwa wysokiego i głębokiego, czyli zwiększania pionowego wymiaru miasta, jak występuje to w wielu krajach wysoko rozwiniętych,
- z wykorzystaniem obu form.

Zagęszczaniu zabudowy, według pierwszego modelu, powinno towarzyszyć zwiększanie pionowego wymiaru przestrzeni zurbanizowanej poprzez wielokondygnacyjne podpiwniczanie budynków w celu wykorzystania tych piwnic na garaże, usługi oraz pomieszczenia techniczne.

Szerokie lansowanie drugiego modelu w warunkach krajowych, w odniesieniu do budowli wysokich, może spotkać się z dużym oporem ze względów kulturowych i historycznej formy zabudowy naszych i europejskich miast. Definitywnie dominuje tu zabudowa kilkukondygnacyjna, a wyjątek stanowi tu Frankfurt nad Menem, Londyńskie City czy dzielnica La Défense w Paryżu oraz obecnie powstająca zabudowa Warszawy.

Można natomiast oczekiwać przychylności dla rozwoju budownictwa podziemnego w miastach, dla którego uogólnione zasady strefowania przestrzeni podziemnej, nawiązujące do tendencji światowych, przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Strefy funkcjonalnego wykorzystania przestrzeni podziemnej kraju – koncepcja

±0,0	Ulice	Teren zabudowany	Place, zieleńce
-10,0	1. Tunele wieloprzewodowe (lub przewody) 2. Podziemne przejazdy i parkingi 3. Podziemne stacje metro 4. Podziemne ulice i przejścia dla pieszych 5. Linie metro	1. Piwnice 2. Korytarze techniczne 3. Garaże 4. Sklepy 5. Schrony 6. Pomieszczenia techniczne	1. Garaże 2. Ulice i przejścia dla pieszych z usługami 3. Stacje metra 4. Schrony 5. Podstacje elektroenergetyczne 6. Tunele metra
-15,0		1. Podziemne drogi (tunele) 2. Stacje metra 3. Tunele metra 4. Zbiorniki retencyjne i inne	

Rozwój budownictwa na większych głębokościach niż przedstawiono w tabeli 2 jest także możliwy. Wydaje się jednak, że w początkowym okresie należy przede wszystkim uporządkować i rozwinąć zainwestowanie najpłytszych stref (szczególnie urządzenia sieciowe i komunikacyjne). Pozostawienie wolnych od zabudowy stref na większych głębokościach (powyżej 30 m) umożliwi w perspektywie realizację innych wynikających z potrzeb rozwoju cywilizacyjnego rozwiązań (porównaj tabela 1).

6. Podsumowanie

1. Realizacja programu stereoizacji centrów polskich miast wymaga tworzenia zintegrowanych wielofunkcyjnych budowli podziemnych.
2. Stworzenie warunków dla procesu stereoizacji miast musi być poprzedzone przystosowaniem istniejącej infrastruktury podziemnej do nowych potrzeb, co wymaga intensyfikacji badań w tym kierunku i ich wdrożeń, zmiany idei projektowania oraz stosowania nowoczesnych technologii i materiałów i innowacyjnych rozwiązań.
3. Należy oczekiwać, że podstawowymi technologiami w urzeczywistnieniu procesu stereoizacji miast będą technologie bezwykopowe, a tworzywem konstrukcyjnym beton.
4. Opisane kierunki działań są zgodne z priorytetami badawczymi określonymi przez Europejską Platformę Technologiczną Budownictwa dla 7 ramowego programu europejskiego.

Literatura

- [1] Bathgate L.: Sydney Harbour Tunnel. World Tunnelling, June 1989.
- [2] Beter W., Bürgerling P.: Das Münchener U-Bahn Netz. Konzeption und Verwirklichung. U-Bahn-Linie 8/1. Eine Dokumentation. F. Bruckmann K. G., München 1980.

- [3] Cairo Wastewater Project. World Tunneling, June, 1989.
- [4] Carmody J., Sterling R.: Underground Building Design. Underground Space Center, University of Minnesota, Van Nostrand Reinhold Company, 1983.
- [5] Głowski A.: Kanały zbiorcze, wyd. I, COBPBP-BISTYP, Warszawa 1973.
- [6] Hill M. A.: Boston Highway Tunnels World, October, 1989, Bend 1970.
- [7] Hou X., Shu Y.: The model of underground space of the city. The Third International Conference on Underground Space and Earth Sheltered Buildings. Tongji University Press, Shanghai. 1988.
- [8] Kulczkowski A., Madryas C.: Tunele wieloprzewodowe, Skrypty, nr 374, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2002 s. 211.
- [9] Langer M.: To stay on top – go underground – why underground planning? The first Underground Conference City' 89, Bauma – Munich 1989.
- [10] Laughton C.: Cern Accelerator Project. World Tunneling, Vol. 1, No 2, 1988.
- [11] Madryas C., Kolonko A., Wysocki L.: Konstrukcje przewodów kanalizacyjnych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002, s. 377.
- [12] Madryas C., Kolonko A., Szot. A., Wysocki L.: Mikrotunelowanie, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2006, s. 286.
- [13] Malisz B.: Podstawy gospodarki wodnej i polityki przestrzennej, Ossolineum, 1984
- [14] Maliszowa B.: Śródmieście, Arkady, Warszawa 1974.
- [15] Materiały informacyjne firmy Culver, Japonia.
- [16] Murkami Y.: Types of utilization of underground space – history, present and tomorrow. The Third International Conference on Underground Space and Earth Sheltered Buildings, Tongji University Press, Shanghai 1988.
- [17] Public Road Administration/Oslo Road Department. E-18 Thought Oslo – The Oslo Tunnel. Rian/Berg, Oslo 1989.
- [18] Regulski J.: Planowanie miast, PWE, Warszawa 1986.
- [19] Sterling R.: Earth Sheltered Housing Design: Guidelines Examples and References. Underground Space Center. University of Minnesota, Van Nostrand Reinhold Company, 1978.
- [20] Sterling R.: Realization Strategies for the Construction of Infrastructure in Mega – Cities, Trenchless Technology Center, Louisiana Technology University, U.S.A. 2003
- [21] Stamattello H.: Tunele i miejskie budowle podziemne, Arkady, Warszawa 1970.
- [22] Subbaro T.N.: Auffhren des Malabarberg Tunels in Bombay. International Tunnelbau Symposium, Sonderausgabe. Tunnel. April 1986.
- [23] Trial and achievement on London's Ring Main. Tunnels and Tunneling, Vol. 2, No 10, 1989.
- [24] The Architectural Underground. Part 1, Historical Themes of Development, Underground Space, Pergamon, Vol. 1, No 1, May-June 1976.
- [25] Tunnel and Reservoir Plan TARP, www.mwrdge.dst.il.us

Niniejszy artykuł powstał dzięki środkom na badania przyznane autorowi przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej w ramach subsydiów profesorskich.