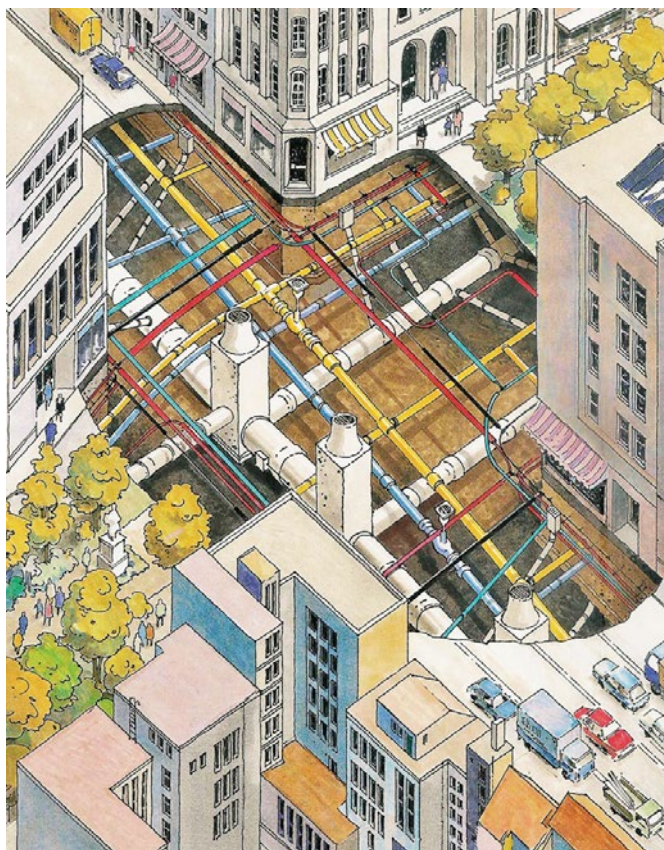


Wielofunkcyjne tunele miejskie

tekst: **prof. dr hab. inż. ANDRZEJ KULICZKOWSKI**, Politechnika Świętokrzyska, Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki

Wielofunkcyjne tunele miejskie występują w dwóch postaciach: mało- i wielkogabarytowych. Pomysł stosowania wielofunkcyjnych małogabarytowych tuneli miejskich pojawił się w niektórych miastach Europy Zachodniej już w XIX w. [19, 20], kiedy zaczęto umieszczać we wnętrzu przełazowych kolektorów kanalizacyjnych inne przewody lub kable elektryczne. Przetrwiał on do czasów obecnych [3, 11–13, 21] i jest realizowany przez budowę tuneli wieloprzewodowych, w których w jednej obudowie konstrukcyjnej umieszczane są różne sieci i kable infrastruktury podziemnej miast, np. kable światłowodowe lokalizowane nie tylko we wnętrzu przewodów kanalizacyjnych, ale także we wnętrzu przewodów wodociągowych i gazowych, czy wymienniki ciepła [22] w kolektorach kanalizacyjnych.

Interesujące rozwiązania wielofunkcyjne zaczęto w późniejszym okresie stosować także w przypadku wielkogabarytowych tuneli miejskich [8, 20], np. tworząc wspólną konstrukcję metra czy tuneli drogowych lub przejść podziemnych dla pieszych z tunelem wieloprzewodowym i kolektorem kanalizacyjnym bądź np. tunelu łączącego funkcję podziemnej autostrady z funkcją kanalizacyjnego kolektora deszczowego [25] w jednej obudowie konstrukcyjnej.



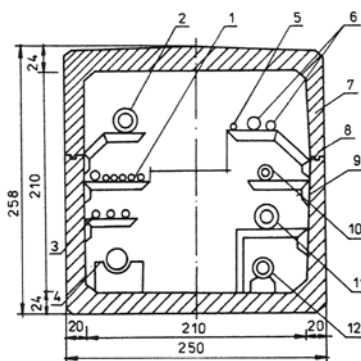
Ryc. 1. Siatki infrastruktury miejskiej [25]

Poniżej przedstawiono przykładowe rozwiązania dotyczące wielofunkcyjnych rozwiązań instalacyjnych.

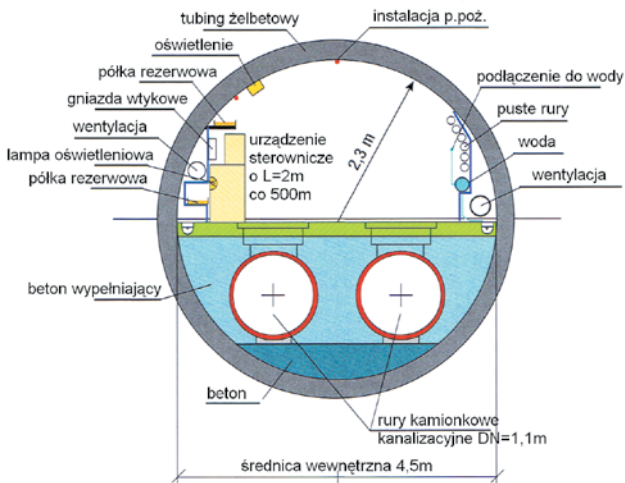
Małogabarytowe miejskie tunele wieloprzewodowe

Pod ulicami miejskimi znajdują się liczne sieci (wodociągowe, gazowe i kanalizacyjne wraz z przyłączami i przykanalikami oraz innymi budowlami typu studzienki kanalizacyjne czy różnego rodzaju komory), a także rozliczne kable. Często brak jest miejsca na dodanie pod pasmem ulicznym nowych sieci (ryc. 1). Rozwiązaniem porządkującym umieszczanie sieci i kabli pod ulicami miejskimi, a także ułatwiającym ich eksploatację, w tym naprawę czy wymianę, są tunele wieloprzewodowe. Wykonuje się je w zróżnicowanych przekrojach poprzecznych, najczęściej prostokątnych lub kołowych, a w ich wnętrzu umieszczane są na półkach lub podporach różnego rodzaju przewody i kable.

Pierwszy polski tunel wieloprzewodowy, przy projektowaniu którego uczestniczył m.in. autor tego opracowania, został zbudowany tradycyjną metodą wykopową w latach 1976–1977 we Wrocławiu (ryc. 2). W następnych latach tunele wieloprzewodowe budowano także w innych miastach polskich. W [19, 20] pokazano szereg rozwiązań konstrukcyjnych tuneli wieloprzewodowych, różniących się materiałem obudowy konstrukcyjnej.



Ryc. 2. Tunel wieloprzewodowy we Wrocławiu [19]: 1. kable teletechniczne, 2. gazociąg DN 200, 3. kable elektroenergetyczne, 4. przewód wodociągowy DN 250, 5. cyrkulacja centralnej ciepłej wody DN 65, 6. przewody centralnej ciepłej wody 2-DN 80, 7. prefabrykat górny żelbetowy, 8. łączące poziome, 9. prefabrykat dolny żelbetowy, 10. przewody centralnego ogrzewania DN 125, 11. DN 250, 12. DN 250



Ryc. 3. Tunel wieloprzewodowy do przetrzutu ścieków w Zurychu [20]

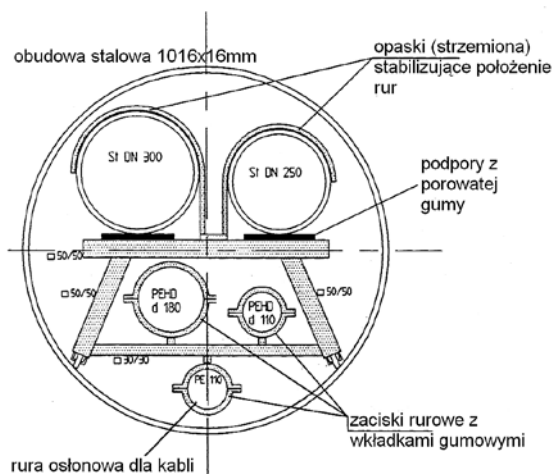
wielkością i rodzajem przekroju poprzecznego oraz rodzajem przewodów i kabli w nich umieszczonych.

Do podstawowych zalet tuneli wieloprzewodowych należy zaliczyć pozostawienie dużej wolnej przestrzeni pod powierzchnią terenu dzięki umieszczeniu wszystkich lub prawie wszystkich przewodów i kabli w jednej obudowie, a także stworzenie w nich możliwości stałej kontroli stanu technicznego przewodów i kabli oraz szybkiego wykonywania ich napraw, a w przyszłości szybkiej bezwykopowej wymiany zużytych przewodów i kabli na nowe.

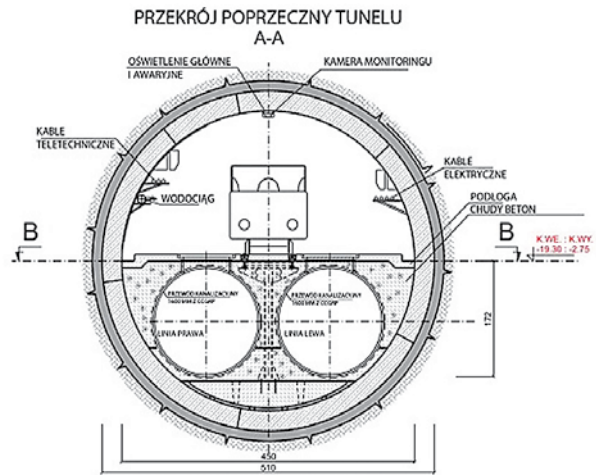
Obecnie tunele wieloprzewodowe często budowane są metodami bezwykopowymi o przekroju kołowym.

Na rycinie 3 pokazano tunel wieloprzewodowy zbudowany w Zurychu o łącznej długości 2900 m, którego celem jest przetrzut ścieków (na pewnym odcinku pod rzeką) do oczyszczalni ścieków usytuowanej po drugiej stronie rzeki.

Tunel o średnicy wewnętrznej 4,5 m zbudowano metodą mikrotunelowania w tempie 18 m na dobę. Jego konstrukcja składa się z sześciu żelbetowych tubingów o grubości 27 cm. Wewnątrz umieszczono dwie kamionkowe rury kanalizacyjne o średnicy wewnętrznej 1100 mm. Doboru rur dokonano, analizując dziewięć rodzajów rur z różnych materiałów i kierując



Ryc. 4. Tunel wieloprzewodowy z głównym przeznaczeniem na dwa rurociągi transportujące wodę pitną [20]



Ryc. 5. Warszawski tunel wieloprzewodowy pod Wisłą z dwiema rurami transportującymi ścieki [2]

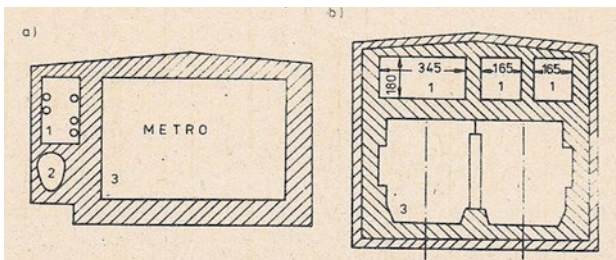
się kryterium ich ponad stuletniej trwałości oraz minimalizacji kosztu rur odniesionego do prognozowanego okresu eksploatacji. W tunelu tym umieszczono także inne przewody i kable.

Kolejny tunel wieloprzewodowy zbudowany pod licznymi przeszkodami terenowymi na fragmencie 16-kilometrowej trasy, na której układano w wykopie przewody ciśnieniowe transportujące wodę pitną, pokazano na rycinie 4. Z uwagi na bardzo duże różnice w profilu wysokościowym tych przewodów, dochodzące miejscami do ok. 300 m, dobrano rury klasy PN 40 (DN 250) i PN 25 (DN 300). Wybrano rury stalowe o długości 16 m z wewnętrzną powłoką z zaprawy cementowej, a z zewnątrz z powłoką polietylenową oraz powłoką fibrobetonową (cementową zbrojoną włóknami). Obudowę konstrukcyjną tunelu również wykonano z rur stalowych. Rury umieszczono na konstrukcji przejazdnej, co bardzo ułatwiało ich wprowadzanie do wnętrza tunelu.

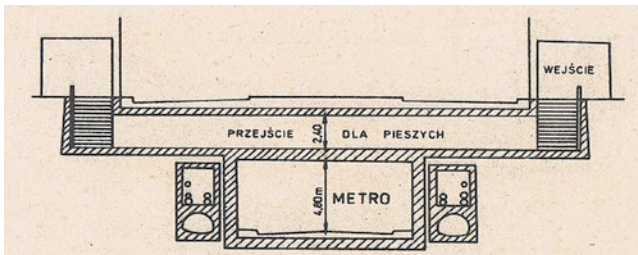
Tunel wieloprzewodowy o średnicy wewnętrznej 4,5 m, zlokalizowany w Warszawie pod Wisłą, transportujący ścieki sanitarne z lewobrzeżnej na prawobrzeżną stronę Wisły (do oczyszczalni ścieków „Czajka”), pokazano na rycinie 5. Wykonany jest z tubingów żelbetowych, a umieszczone w nim kolektory sanitarne wyprodukowano z rur żywicznych [6].

Wielogabarytowe, wielofunkcyjne metra, tunele drogowe, parkingi podziemne i przejścia podziemne

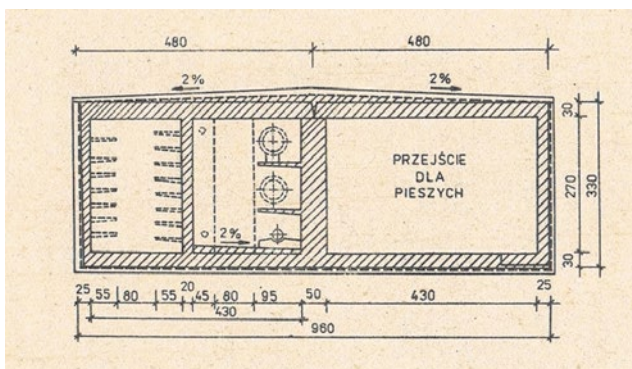
Budując metro, tunel drogowy, przejście podziemne dla pieszych czy podziemne garaże, należy rozważyć możliwość wykonania jednej budowli wielofunkcyjnej. Rozwiązanie takie służy lepszemu wykorzystaniu przestrzeni podziemnej i umożliwia uzyskanie znaczących efektów kosztowych. Na rycinach 6–9 pokazano kolejno: wspólną konstrukcję metra, tunelu wieloprzewodowego i kolektora kanalizacyjnego, a po prawej stronie metra i tuneli wieloprzewodowych (ryc. 6), wspólną konstrukcję metra i przejścia podziemnego z umieszczoną obok wspólną konstrukcją tunelu wieloprzewodowego i kolektora ściekowego (ryc. 7), wspólną konstrukcją podziemnego przejścia dla pieszych wraz z dwoma tunelami z przewodami rurowymi i oddzielnie z kablami (ryc. 8) oraz wspólną konstrukcją podziemnego parkingu z dwoma tunelami wieloprzewodowymi (ryc. 9).



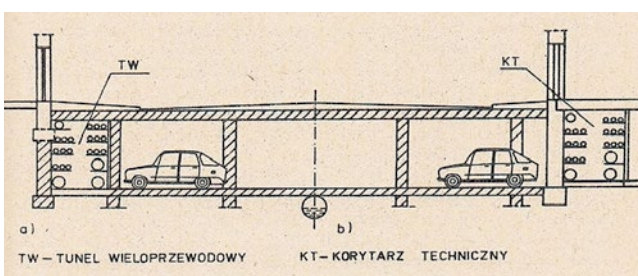
Ryc. 6. Wspólna konstrukcja metra (3), tunelu wieloprzewodowego (1) i kolektora kanalizacyjnego (2), a po prawej stronie metra i tuneli wieloprzewodowych [20]



Ryc. 7. Wspólna konstrukcja metra i przejścia podziemnego z umieszczoną obok wspólną konstrukcją tunelu wieloprzewodowego i kolektora ściekowego [20]



Ryc. 8. Wspólna konstrukcja podziemnego przejścia dla pieszych wraz z dwoma tunelami z przewodami rurowymi i oddzielnymi z kablami [20]



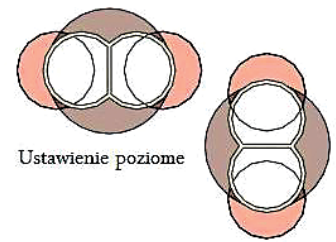
Ryc. 9. Wspólna konstrukcja podziemnego parkingu z dwoma tunelami wieloprzewodowymi [20]

Współczesne możliwości budowy metra i innych tuneli podziemnych

Dawniej tunele o przekroju prostokątnym [4, 23] mogły być budowane wyłącznie z użyciem metod wykopowych lub tradycyjnych metod górniczych. W okresie późniejszym – przy wykorzystaniu technologii bezwykopowych [23, 25, 30] – przekrój poprzeczny uzyskiwano, wykonując tunele o przekroju kołowym, w których następnie tworzono tunel prostokątny. Wiąże się to jednak z niewykorzystaniem całego przekroju budowli



Ryc. 10. Urządzenie tarczowe typu DOT [14]



Ryc. 11. Możliwe przekroje tuneli wykonanego maszyną DOT [14]

i niepotrzebnym jej przewymiarowaniem. Aby tego uniknąć, skonstruowano urządzenia tarczowe o przekroju dwóch lub nawet trzech okręgów, częściowo zachodzących na siebie, co umożliwiała uzyskiwanie poprzecznego przekroju budowanego tunelu zbliżonego do prostokątnego. Następnym etapem rozwojowym tej technologii było skonstruowanie w Japonii kolejnej generacji urządzeń tarczowych [17], umożliwiających budowę tuneli dokładnie o przekroju prostokątnym. Prostokątne urządzenia tarczowe zaczęto także stosować na dużą skalę w Chinach.

Do budowy tunelu o przekroju prostokątnym można wykorzystać jedną z czterech technologii:

- metodę wykopową,
- przecisk hydrauliczny (*box culvert jacking*),
- technologię tworzenia pełnej lub częściowej obudowy wstępnej z rur stalowych (*pipe roofing*),
- tunelowanie prostokątnym urządzeniem tarczowym (*rectangular shield machine*).

Każda z wymienionych technologii ma swoje ograniczenia. Tunele wykonywane metodą wykopową są ograniczone w najmniejszym stopniu, jednak główną wadą tej metody są duże utrudnienia w ruchu ulicznym spowodowane realizacją wykopu, oraz możliwość wykonywania tylko płytko ułożonych tuneli. Przecisk hydrauliczny, który jest powszechnie stosowany do konstruowania przejść w poprzek nasypów torów kolejowych, dróg i innych obiektów, może być budowany tylko na prostych odcinkach o długości do ok. 60 m [30]. Z kolei technologia tworzenia obudowy wstępnej z rur stalowych może być wykorzystywana na prostych odcinkach do maksymalnie 150 m długości. Stosuje się tu rury o niewielkich średnicach – do 1000 mm. W porównaniu z technologią polegającą na drążeniu za pomocą prostokątnego urządzenia tarczowego czas budowy tunelu z zastosowaniem konstrukcji *pipe roofing* jest znacznie dłuższy, a koszty – z uwagi na użycie większej ilości materiałów tymczasowych (stalowych rur) – wyższe. Dlatego technologia budowy tunelu bazująca na urządzeniach tarczowych o przekrojach prostokątnych staje się obecnie dominująca (szczególnie w krajach azjatyckich) w stosunku do pozostałych trzech technologii.



Ryc. 12. Urządzenie wielotarczowe [14]



Ryc. 13. Prostokątne urządzenie tarczowe [26]



Ryc. 14. Montaż prostokątnego urządzenia tarczowego [26]



Ryc. 16. Opuszczanie prefabrykatu żelbetowego na dno wykopu początkowego [26]



Ryc. 17. Wyjście prostokątnego urządzenia tarczowego do wykopu końcowego [26]

poprzecznego tuneli. Jednym z przykładów jest tarcza DOT (*Double-O-Tube*) [14], umożliwiająca budowę podwójnego tunelu o przekroju dwóch kół, częściowo na siebie zachodzących. Na rycinie 10 pokazano tarczę DOT, a na rycinie 11 schemat uzyskiwanych przekrojów poprzecznych, który porównano z dwoma osobnymi tunelami o przekroju koła oraz jednym znacznie większym, w który można wpisać przekrój uzyskany tarczą typu DOT.

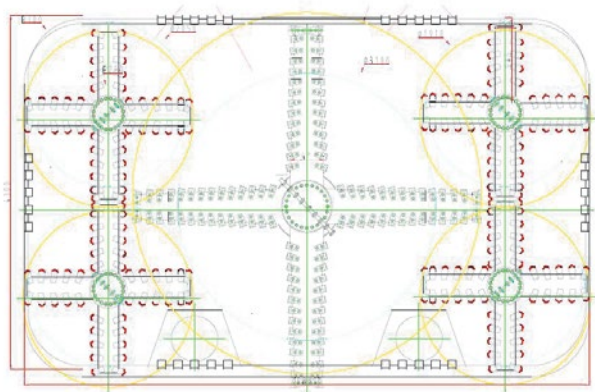
Budowa tunelu o przekroju niekołowym jest także możliwa za pomocą tarczy wielokołowej (*multi-circular face shield*), pokazanej na rycinie 12. Składa się ona z kilku tarcz o przekroju kołowym, częściowo zachodzących na siebie i ułożonych w różnych, równoległych płaszczyznach [14], co umożliwia uzyskanie kształtu tunelu zbliżonego do prostokątnego.

Na początku lat 90. ubiegłego stulecia w Chinach stosowano różne rozwiązania urządzeń tarczowych do wykonywania tuneli o przekrojach prostokątnych. Uzyskanie pełnego prostokątnego kształtu nastąpiło jednak dopiero przy użyciu urządzenia tarczowego o przekroju prostokątnym skonstruowanego w Japonii (ryc. 13, 14). Po kolejnych udoskonaleniach tej technologii w Chinach skonstruowano urządzenie umożliwiające budowę tunelu o wymiarach 3,8 x 3,8 m. Zostało ono zastosowane przy realizacji szanghajskiej linii metra nr 2.

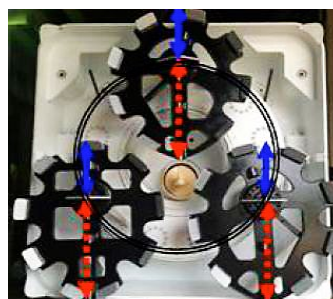
Przy budowie szanghajskiej linii metra nr 6 w 2006 r. wykonano tunel o przekroju prostokątnym 4,36 x 6,25 m i długości 52 m. Trzy lata później osiągnięto jeszcze większy przekrój tunelu – 6,9 x 4,2 m, który wykonano na długości 49,1 m. Wzdłuż tunelu umieszczono dwa kable o napięciu 220 kV, kanalizację deszczową o średnicy 1000 mm i inne rurociągi o średnicach 500 mm.

Kolejne tunele o przekroju prostokątnym, wykonywane przy zastosowaniu tarcz o przekroju prostokątnym, miały wymiary: 5,0 x 3,3 m (2010 r.) i 6,4 x 4,0 m (2012 r.).

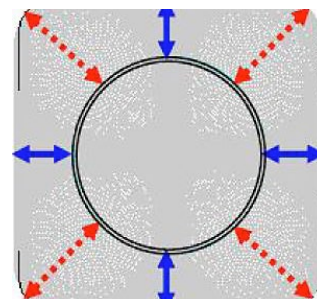
Interesujący projekt zrealizowano w Guangzhou w Chinach, gdzie wybudowano podziemny pasaż handlowy, składający się z czterech rzędów tuneli o długościach 70 m i wymiarach 6,9 x 4,9 m. Do budowy zastosowano prefabrykaty żelbetowe o długości 2 m i grubości ścian 0,45 m. Projekt był wyjątkowo trudny,



Ryc. 15. Schemat prostokątnego urządzenia tarczowego o wymiarach 6,0 x 3,3 m [26]



Ryc. 18. Tarcza do wykonywania tuneli o przekroju kwadratowym [24]



Ryc. 19. Schemat pracy trzech urządzeń tnących pokazanych na rycinie 18 [24]

gdyż odległości między zewnętrznymi ścianami tych tuneli wynosiły zaledwie 0,5 m. Tunele zostały wykonane powyżej planowanych tuneli metra oraz w bliskim sąsiedztwie wyżej położonych przewodów kanalizacyjnych i kabli elektrycznych. Odległość od sąsiedniego, istniejącego już tunelu wynosiła 6,5 m, a wysokość nadsypki gruntu, którą stanowił piasek nad tunelami, to 5,5 m.

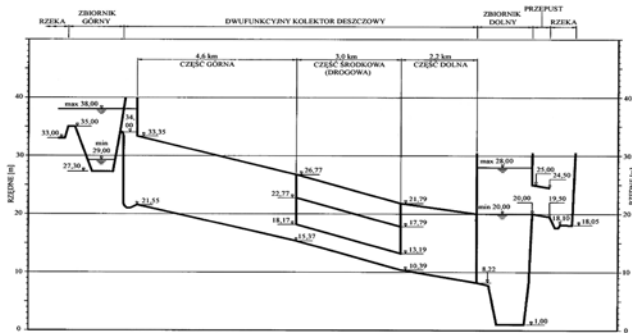
Schemat urządzenia tarczowego firmy GX Tunnel o wymiarach 6,0 x 3,3 m pokazano na rycinie 15, a na rycinach 16 i 17 zamieszczono zdjęcia z realizacji tych tuneli.

Na rycinie 18 pokazano tarczę umożliwiającą wykonywanie tuneli o przekrojach kwadratowych. Efektywność takiej tarczy jest wyższa niż tarczy standardowej o przekroju kołowym o porównywalnej powierzchni przekroju poprzecznego. Wybór wielosiowych urządzeń tnących w postaci noży (w tym przypadku trzech) skutkuje znaczącym zwiększeniem sprawności drążenia. Urządzenie wyposażone jest w trzy eliptyczne, obrotowe noże, umieszczone na ruchomej środkowej części w kształcie okręgu (ryc. 18). Na rycinie 19 czerwonym kolorem wskazano miejsce urobku gruntu wykonywane dłuższymi częściami noży, zaś niebieskimi nożami krótszymi.

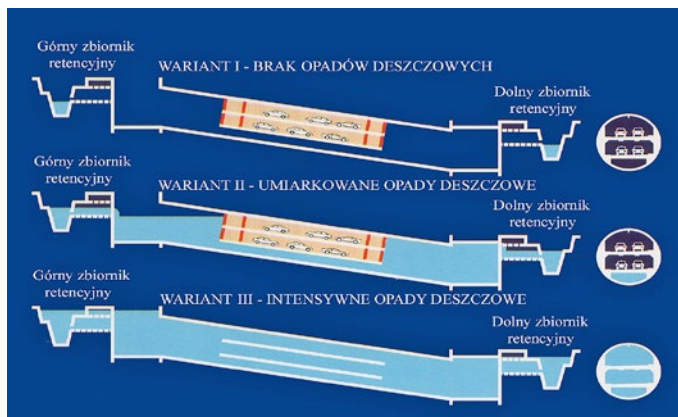
Tarczę o przekroju kwadratowym zastosowano do budowy przepustu pod jedną z dróg ekspresowych w Japonii. Przepust o wewnętrznych wymiarach 3,0 x 3,0 m i grubości ścian wynoszących 30 cm miał długość 55,0 m. Maksymalna wysokość przykrycia tunelu wynosiła 2,73 m [24].

Łączenie funkcji miejskiej komunikacji samochodowej z funkcją kanalizacyjnego kolektora deszczowego w jednej obudowie konstrukcyjnej

Ideę połączenia funkcji kolektora kanalizacyjnego deszczowego z funkcją miejskiej komunikacji samochodowej urzeczywistniono w największym z dotychczas wybudowanych na świecie kolektorze kanalizacyjnym o nazwie Smart [1, 5, 7, 9, 10, 27, 28] w stolicy Malezji, Kuala Lumpur. Posiada on średnicę wewnętrzną 11,83 m i długość 9,8 km. Ewentualnym w skali światowej było zaprojektowanie w jego wnętrzu na długości 3 km dwukondygnacyjnej podziemnej trasy dla szybkiego ruchu pojazdów, czynnej praktycznie przez cały rok, a wyłączanej z eksploatacji średnio jedynie raz lub dwa razy w roku w okresie występowania najbardziej intensywnych opadów deszczu.



Ryc. 20. Profil podłużny trasy kolektora [15]



Ryc. 21. Trzy możliwe warianty hydrauliczne funkcjonowania kolektora [16]

Kolektor podzielono dwiema śluzami na trzy sektory, tj. na górny, środkowy i dolny (ryc. 20). Założono retencjonowanie ścieków deszczowych w samym kolektorze o pojemności 1 mln m³, natomiast w połączeniu z dwoma zbiornikami retencyjnymi pojemność ta wzrasta do 3 mln m³.

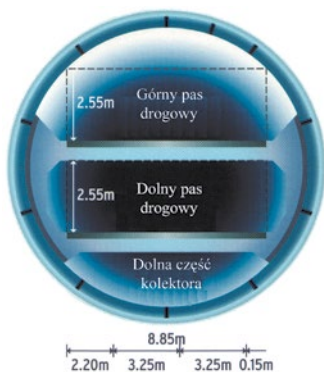
W czasie eksploatacji kolektora zaistnieć mogą trzy warianty jego pracy, a warunki, w jakich pracuje w danym czasie, monitorowane są przez specjalny system ostrzegawczy.

Przez większość dni w roku nie występuje zagrożenie podtopieniem centrum miasta. W wariantie I (ryc. 21) kolektorem nie przepływają ścieki deszczowe, a jego środkowa część pełni funkcję śródmiejskiego tunelu drogowego. Wariant I występuje najczęściej.

Natomiast w przypadku umiarkowanych opadów deszczowych część ścieków deszczowych jest transportowana przez inne miejskie kolektory, a część przejmowana przez kolektor Smart (wariant II, ryc. 21), odprowadzający je do dolnego zbiornika retencyjnego. Do kolektora doprowadzane są wówczas ścieki deszczowe w stosunkowo małych ilościach. W części

drogowej ścieki deszczowe przepływają wtedy wyłącznie dolnym przepustem, umieszczonym pod poziomami, na których odbywa się ruch kołowy (ryc. 22). Zakłada się, że taka sytuacja może zdarzać się ok. 7–10 razy w roku.

Wariant III (ryc. 21) dotyczy najintensywniejszych opadów. Ten wariant pracy kolektora może wystąpić średnio 1–2 razy w roku. Wówczas olbrzymie ilości ścieków deszczowych są kie-



Ryc. 22. Przekrój poprzeczny części komunikacyjnej kolektora deszczowego [14, 17]

rowane do kolektora, aby nie dopuścić do zalania centrum Kuala Lumpur. W tym wypadku ruch pojazdów w kolektorze jest wstrzymywany i cały kolektor łącznie z częścią komunikacyjną służy do transportu ścieków deszczowych. O zamknięciu przejazdu pojazdów kolektorem i przewidzianych objazdach informują kierowców komunikaty umieszczone przed wjazdem.

Kierowanie ścieków deszczowych do górnego zbiornika retencyjnego rozpoczyna się po ok. 1,6 godziny od momentu wystąpienia opadów. Zbiornik retencyjny przetrzymuje skierowane do niego ścieki deszczowe przez ok. godzinę, a następnie odpływają one do kolektora. Ten czas przetrzymania jest niezbędny do bezpiecznej ewakuacji samochodów z kolektora, zanim ścieki przepłyną przez poziomy drogowe. Jedna godzina jest więc maksymalnym okresem na to, aby ostatni pojazd opuścił komunikacyjną część kolektora. Po tym czasie podwójne wodoszczelne grodzie, umieszczone na obu końcach pokładów drogowych, zostają otwarte i cały kolektor wypełnia się ściekami deszczowymi, które następnie po ok. 4 godzinach są odprowadzane do dolnego zbiornika retencyjnego. Poziom ścieków w tym zbiorniku stopniowo wzrasta i po osiągnięciu wysokości ok. 28,0 m ścieki deszczowe zostają odprowadzone przepustem do pobliskiej rzeki.

Całkowita ilość ścieków, które mogą wpłynąć do kolektora, wynosi ok. 4,55 mln m³, co w przybliżeniu stanowi 1,5 razy więcej niż pojemność magazynowania obu zbiorników i kolektora (3 mln m³) oraz 4,5 razy więcej niż pojemność retencyjna kolektora (1 mln m³). Maksymalna przepustowość kolektora w wariantie III może wynieść 290 m³/h.

Część komunikacyjna kolektora zostaje ponownie otwarta dla ruchu kołowego po upływie 52 godzin od momentu, gdy minie zagrożenie powodzią lub podtopienia miasta ściekami deszczowymi.

Na rycinie 23 pokazano żelbetowe tubingi z uszczelkami, które następnie są ze sobą łączone (ryc. 24), tworząc konstrukcję kolektora kanalizacyjnego. Górną część kolektora na fragmencie trasy z opcją komunikacyjną pokazano na rycinie 25.

Alternatywne rozwiązania dla metra

Planując budowę metra, należy rozważyć inne, alternatywne rozwiązania. Koszty budowy metra są bardzo duże, stąd też tam, gdzie jest to niezbędne, projektuje się metro pod powierzchnią terenu, nieraz bardzo głęboko, a tam, gdzie jest to możliwe,



Ryc. 23. Żelbetowe tubingi z uszczelkami, fot. A. Kulickowski



Ryc. 24. Zmontowane tubingi żelbetowe, fot. A. Kuliczkowski



Ryc. 27. Metrocable w Medellin z widoczną stacją pośrednią, fot. A. Kuliczkowski



Ryc. 25. Widok górnej z trzech pótek przekroju poprzecznego w części środkowej kolektora deszczowego z opcją podziemnej autostrady w trakcie jego budowy z autorem tego artykułu, fot. ze zbiorów A. Kuliczkowskiego



Ryc. 28. Napowietrzna linia metra ze stacją pośrednią w Kuala Lumpur, fot. A. Kuliczkowski



Ryc. 26. Napowietrzna stacja napowietrznego metra w kolumbijskim Medellin, fot. A. Kuliczkowski



Ryc. 29. Fragment konstrukcji napowietrznej linii metra w Kuala Lumpur, fot. A. Kuliczkowski

na powierzchni terenu lub napowietrznie. Na rycinach 26 i 28 pokazano napowietrzną linię metra w miejscu stacji pośredniej kolejno w miastach Medellin w Kolumbii i Kuala Lumpur, a na rycinie 29 odcinek trasy napowietrznego metra w Kuala Lumpur między stacjami.

Na rycinie 27 pokazano tzw. metrocable w Medellin. Miasto to położone jest w dolinie, w środku której wybudowano napowietrzne metro (pokazane na rycinie 26) z mającymi z nim połączenie kilka kolejekami gondolowymi, nazwanymi metrocable, dowożącymi ludzi z metra ułożonego środkiem doliny na pobliskie wzgórza o najbardziej intensywnej zabudowie miejskiej.

Uwagi końcowe

Przedstawione w artykule różne przykłady mało- i wielogabarytowych wielofunkcyjnych tuneli stosowanych w infrastrukturze podziemnej miast unaoczniają skalę możliwych do

uzyskania korzyści technicznych, a jednocześnie określonych efektów finansowych.

Opisane rozwiązania, w tym szczególnie tunele wieloprzewodowe, mogą być wkomponowywane w jedną obudowę konstrukcyjną np. z tunelami komunikacyjnymi, metrem, przejściami podziemnymi czy innymi budowlami podziemnymi. Pokazane realizacje wspólnych konstrukcji obiektów infrastruktury podziemnej o różnym przeznaczeniu mogą stanowić przykłady do bezpośredniego naśladowania bądź stosowania podobnych rozwiązań wynikających z określonych miejscowych potrzeb w tym zakresie.

Łączenie różnych budowli podziemnych w jedną konstrukcję stwarza możliwość lepszego zagospodarowania przestrzeni podziemnej oraz uzyskania znaczących korzyści ekonomicznych.

Więcej informacji dotyczących zaprezentowanej w tym artykule problematyki można znaleźć w książkach pokazanych na rycinach 30 i 31.



Ryc. 30. Okładka książki *Tunele wieloprzewodowe dawniej i współcześnie* z 2014 r. o objętości 351 s.



Ryc. 31. Okładka książki *Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska* z 2019 r. (wznowienie wydania z 2010 r.) o objętości 735 s.

Literatura

- [1] Darby A., Wilson R.: *Design of the SMART Project, Kuala Lumpur, Malaysia*. In Proceedings: *International Conference and Exhibition on Tunnelling and Trenchless Technology*, 7–9.03.2006, Subang, Selangor, Malaysia, pp. 435–446.
- [2] Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla projektowanego syfonu pod Wisłą, realizowanego w ramach układu przesyłowego ścieków do oczyszczalni „Czajka” w Warszawie. Geoteko Projekty i konsultacje geotechniczne. Warszawa 2008.
- [3] *Entsorgung + Recycling, Zürich, Sanierung der Abwasserbehandlungsanlagen Zürich-Nord*. Prospekt firmowy.
- [4] Furtak K., Kędracki M.: *Podstawy budowy tuneli*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Kraków 2005.
- [5] Hing N.K., Welch D.N., Giap T.S.: *Stormwater Management and Road Tunnel (SMART): a bypass solution to mitigate flooding in Kuala Lumpur city center*. In Proceedings: *International Conference and Exhibition on Tunnelling and Trenchless Technology*, 7–9.03.2006, Subang, Selangor, Malaysia, pp. 525–539.
- [6] Hobas: prospekty firmowe.
- [7] www.shield-method.gr.jp/pdf_data/e_mf.pdf.
- [8] Iseki Poly-Tech., INC., materiały informacyjne firmy.
- [9] Keizrul A.: *Stormwater Management and Road Tunnel (SMART). A 21st Century Flood Management Solution for Kuala Lumpur*. In Proceedings: *International Conference and Exhibition on Tunnelling and Trenchless Technology*, 7–9.03.2006, Subang, Selangor, Malaysia, pp. 1–15.
- [10] Kok Y.H., Klados G.: *Uniqueness of SMART Project in the logistic and construction challenges encountered during TBM North and South Drive*. In Proceedings: *International Conference and Exhibition on Tunnelling and Trenchless Technology*, 7–9.03.2006, Subang, Selangor, Malaysia, pp. 465–478.
- [11] Kulczkowski A.: *Studium nad konstrukcją tuneli dla zbiorczego prowadzenia przewodów sieci miejskiej*, praca magisterska (promotor doc. S. Lessaer), Politechnika Śląska. Gliwice 1973.
- [12] Kulczkowski A., Cedzyńska D., Pluta R.: *Problemy tuneli wieloprzewodowych na przykładzie osiedla Świętokrzyskiego w Kielcach*. Materiały konferencji *Aktualne problemy budownictwa*. PZITB. Gdańsk–Kołobrzeg 1991, s. 107–116.
- [13] Kulczkowski A., Cedzyńska D., Pluta R.: *Tunele wieloprzewodowe w rewaloryzowanych zespołach staromiejskich*. Materiały konferencji *Inżynierskie problemy odnowy staromiejskich zespołów zabytkowych*. PAN, PZITB. Kraków 1990, s. 49–58.
- [14] Kulczkowski A., Dańczuk P., Siedlak K.: *Innowacyjny projekt dwufunkcyjnego kolektora deszczowego o średnicy Ø 12,8 m. Cz. II – aspekty geologiczne i konstrukcyjne*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” 2006, nr 6, s. 20–24.
- [15] Kulczkowski A., Dańczuk P., Służalec A.: *Projekt Smart, cz. I. Aspekty hydrologiczne i hydrauliczne*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” 2006, nr 4, s. 30–32.
- [16] Kulczkowski A., Dańczuk P.: *Największy na świecie kolektor deszczowy o średnicy 11830 mm*. „Instal. Teoria i praktyka w instalacjach” 2006, nr 11, s. 38–42.
- [17] Kulczkowski A., Dańczuk P.: *Największy na świecie kolektor deszczowy z funkcją podziemnej autostrady*. „Drogownictwo” 2007, nr 3, s. 91–96.
- [18] Kulczkowski A., Fujawa M.: *Tunelowanie z zastosowaniem urządzeń tarczowych o przekroju prostokątnym*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” 2013, nr 4, s. 44–47.
- [19] Kulczkowski A., Madryas C.: *Tunele wieloprzewodowe*. Skrypt nr 169. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Kielce 1989.
- [20] Kulczkowski A., Madryas C.: *Tunele wieloprzewodowe dawniej i współcześnie*. Monografia nr M58. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Kielce 2014.
- [21] Kulczkowski A., Pluta R., Rybicka-Cedzyńska D.: *Świętokrzyski tunel wieloprzewodowy*. „Prace Naukowe Instytutu Geotechniki Politechniki Wrocławskiej” 1988, nr 27, s. 111–114.
- [22] Kulczkowski P.: *Rodzaje wymienników ciepła stosowanych w kolektorach kanalizacyjnych umożliwiających odzysk ciepła ze ścieków*. „Instal. Teoria i praktyka w instalacjach” 2009, nr 12, s. 46–49.
- [23] Madryas C., Kolonko A., Szot A., Wysocki L.: *Mikrotunelowanie*. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne. Wrocław 2006.
- [24] Matsumoto F., Morita T., Sakai E., Shimada H., Sasaoka T., Matsui K.: *Application of a rectangular pipe jacking machine for pipe line construction under important expressway*. In Proceedings: *International Conference No-Dig*, 1–4.09.2013, Sydney. International Society for Trenchless Technology, Paper 3–4, pp. 1–7.
- [25] *Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska*. Red. nauk. A. Kulczkowski. Wydawnictwo Seidel – Przywecki Sp. z o.o. Warszawa 2019.
- [26] Quan Y.B., Hua C.K.: *Experience in the Use of Rectangular Pipe Jacking Machines in China*. In Proceedings: *International Conference No-Dig*, 12–14. 11.2012, São Paulo. International Society for Trenchless Technology, Paper 012308, pp. 1–8.
- [27] Sivalingam P., Klados G.: *The selection of the working methods and tunnel boring machines for the SMART Project*. In Proceedings: *International Conference and Exhibition on Tunnelling and Trenchless Technology*, 7–9.03.2006, Subang, Selangor, Malaysia, pp. 583–596.
- [28] Tan S.M.: *Geotechnical aspects of the SMART Tunnel*. In Proceedings: *International Conference and Exhibition on Tunnelling and Trenchless Technology*, 7–9.03.2006, Subang, Selangor, Malaysia, pp. 415–434.
- [29] Zwierzchowska A.: *Niekonwencjonalne urządzenia tarczowe do tunelowania*. „Przegląd Budowlany” 2010, nr 9, s. 54–60.
- [30] Zwierzchowska A.: *Technologie bezwykopowej budowy sieci gazowych, wodociągowych i kanalizacyjnych*. Skrypt nr 19. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Kielce 2006.

