

Tunelowanie z zastosowaniem urządzeń tarczowych o przekroju prostokątnym

tekst i zdjęcia: **prof. dr hab. inż. ANDRZEJ KULICZKOWSKI**, **mgr inż. MICHAŁ FUJAWA**, Politechnika Świętokrzyska, Katedra Sieci i Instalacji Sanitarnych

Dynamiczny rozwój aglomeracji miejskich przyczynia się do rozwoju i przebudowy infrastruktury podziemnej oraz konstrukcji nowych budowli. Wykonywanie wykopów w centrach miast oznacza niepożądany paraliż komunikacyjny. Do budowy tuneli bez kłopotliwych wykopów stosuje się metodę tunelowania, której prekursorem był sir Marc Isambard Brunel.

W 1818 r. opatentował on technologię tarczową, a pierwsze urządzenie tarczowe użyto w 1825 r. w Londynie. Od tego czasu z zastosowaniem metody tarczowej osiągnięto imponujące rezultaty, np. w Szanghaju zastosowano maszynę tarczową o średnicy 15,42 m [4] do budowy tuneli komunikacyjnych pod rzeką Jangcy, a w stolicy Malezji, Kuala Lumpur, wykonano kolektor kanalizacyjny [2] o średnicy wewnętrznej 11,83 m. To ostatnie rozwiązanie jest nowatorskim połączeniem w jednej budowli funkcji kolektora deszczowego z funkcją tunelu komunikacyjnego.

Dotychczasowe urządzenia tarczowe o przekroju kołowym nie zapewniały jednak optymalnego kształtu przy większości konstrukcji tuneli i przejść podziemnych. Wykonanie tunelu o przekroju kołowym, w którym tworzony jest prostokątny tunel, wiąże się z niewykorzystaniem całego przekroju budowli i niepotrzebnym jej przewymiarowaniem. Fakt ten doprowadził do dalszego rozwoju urządzeń tarczowych i przystosowania ich do nowych potrzeb. Powstały urządzenia tarczowe o przekroju dwóch lub nawet trzech kół częściowo zachodzących na siebie, w efekcie czego przekrój poprzeczny budowanego tunelu jest bardziej zbliżony do prostokątnego. W Japonii opracowano kolejną generację opisanych urządzeń, tworząc urządzenia tarczowe o przekroju prostokątnym, umożliwiające wykonywanie tuneli bez nadmiernego powiększania przekroju poprzecznego. W ciągu ostatnich lat prostokątne urządzenia tarczowe zaczęto także na dużą skalę konstruować w Chinach.

Metody budowy tuneli o przekrojach prostokątnych

Aktualnie stosuje się do konstruowania dużych prostokątnych tuneli następujące metody:

- metodę wykopową,
- przecisk hydrauliczny (ang. *box culvert jacking*),
- technologię tworzenia stropu z konstrukcji rurowych (ang. *pipe roofing*),
- tunelowanie prostokątną maszyną tarczową (ang. *rectangular shield machine*).

Tunele wykonywane metodą wykopową w teorii nie są ograniczone długością projektowanej budowli, jednak główną wadą tej metody są utrudnienia w ruchu ulicznym, spowodowane wykopem, oraz możliwość kolizji z już istniejącą infrastrukturą podziemną.

Przecisk hydrauliczny jest powszechnie stosowany do konstruowania przejść podziemnych w poprzek torów kolejowych, dróg i innych obiektów. Technologia ta jest jednak odpowiednia tylko na odcinkach do ok. 60 m długości [2].

Technologia tworzenia stropu z konstrukcji rurowych z reguły jest odpowiednia tylko do długości nie większych niż 150 m [1] z powodu swoich ograniczeń dotyczących wciskania serii rur stalowych o średnicy zewnętrznej zazwyczaj 700–800 mm, konieczności wydobywania gruntu oraz budowy docelowej konstrukcji tunelu lub przejścia podziemnego. W porównaniu z zastosowaniem prostokątnej maszyny tarczowej czas konstruowania podobnej wielkości tunelu z konstrukcji rurowych jest znacz-

nie dłuższy, a koszty z uwagi na użycie większej ilości materiałów tymczasowych (stalowych rur) są wyższe.

Technologie stosowane do uzyskania prostokątnego przekroju tunelu

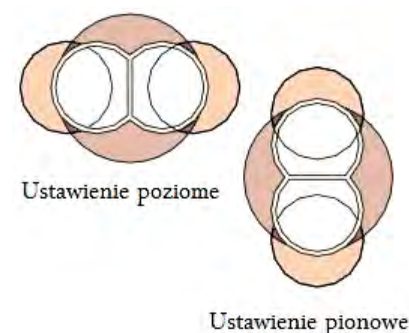
Na świecie stosowane są różne technologie umożliwiające uzyskanie niekołowych kształtów przekroju poprzecznego budowanego tunelu przy pomocy urządzeń tarczowych. Jednym z przykładów



Ryc. 1. Urządzenie DOT [5]

jest metoda DOT (ang. *Double-O-Tube*) [3], umożliwiająca budowę podwójnego tunelu o przekroju dwóch kół częściowo na siebie zachodzących. Na rycinie 1 pokazano urządzenie DOT, natomiast na rycinie 2 schemat uzyskiwanych przekrojów poprzecznych.

Inną możliwością budowy tunelu o przekroju niekołowym jest metoda z zastosowaniem tarczy wielokołowej



Ryc. 2. Możliwe przekroje tunelu wykonanego maszyną DOT [5]

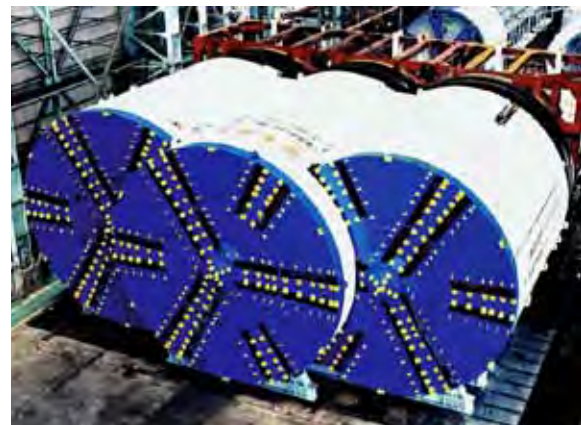
Tab. 1. Projekty zrealizowane w Chinach z zastosowaniem prostokątnego urządzenia tarczowego [1]

Nr	Nazwa projektu	Liczba tuneli i ich długość [m] (wymiary wewnętrzne [m])	Czasookres robót (całkowity czas trwania przecisku)
1.	Wejście na stację Pudian (6 linia szanghajskiego metra) – tunel o konstrukcji prostokątnej	1 x 52 (6,2 x 4,4)	styczeń – kwiecień 2006 r. (3 miesiące)
2.	Kaiming Street, Ningbo, przejście podziemne	2 x 50	styczeń – wrzesień 2006 r. (4 miesiące)
3.	Szanghaj, stacja Longyang Road, czwarte wejście szanghajskiej linii kolejowej	1 x 40,5	listopad – grudzień 2006 r. (1 miesiąc)
4.	Szanghaj, kolejowa linia dostawcza, stacja Qibao, wejścia 5 i 6	2 x 56	styczeń – marzec 2007 r. (3 miesiące)
5.	Szanghaj, stacja Spring Road, wyjście 4, szanghajska linia kolejowa	1 x 44,8	kwiecień – maj 2007 r. (2 miesiące)
6.	Szanghaj, skrzyżowanie kolejowe, stacja Road przy pierwszym wejściu	1 x 60,5	maj – lipiec 2008 r. (3 miesiące)
7.	Szanghaj, dostawcza linia kolejowa, na 7 linii, stacja South Chen Road przy 2 wejściu	1 x 37,3	sierpień – październik 2008 r. (3 miesiące)
8.	Pujang, projekt wsparcia komunikacji autobusowej w mieście Pujiang	1 x 44	lipiec – październik 2008 r. (3 miesiące)
9.	Szanghaj, kolej dostawcza na 10 linii przy nowym wyjściu Bay 5, 7, 8	2 x 56,5 1 x 43,5	sierpień – grudzień 2008 r. (5 miesięcy)
10.	Szanghaj, skrzyżowanie 10 linii kolejowe przy stacji Yin High Road, 3 wejście	1 x 48	wrzesień – listopad 2008 r. (3 miesiące)
11.	Nanjing West ancestral hall Lane	1 x 42,2	listopad 2008 r. – styczeń 2009 r. (3 miesiące)
12.	Główny szpital wojskowy Nanjing	1 x 44	styczeń – marzec 2009 r. (3 miesiące)
13.	Stacja Jinke Road we wschodniej 2 szanghajskiej linii kolejowej	1 x 49 (6,9 x 4,2)	marzec – kwiecień 2009 r. (2 miesiące)
14.	Nanjing, Hongwu Road Guojie-tongdao	1 x 43,3	listopad – grudzień 2009 r. (2 miesiące)
15.	Nanjing Water Simon Street, przejście podziemne, prostokątny przecisk hydrauliczny	1 x 60	grudzień 2009 r. – styczeń 2010 r. (2 miesiące)
16.	Kompleks pasażu podziemnego w Szanghajskim szpitalu Zhongshan	1 x 79 (5 x 3,3)	sierpień 2009 r. – wrzesień 2010 r. (1 miesiąc)
17.	Przejście podziemne do guangzhoujskiego metra, koło rzeki Perłowej	4 x 65 (6,4 x 4)	styczeń – kwiecień 2012 r. (3 miesiące)
18.	Guangzhou Foshan Guicheng, podziemna ulica handlowa	4 x 70 (6,9 x 4,9)	marzec – czerwiec 2012 r. (4 miesiące)

(ang. *Multi-circular Face Shield*), składającej się z kilku tarcz o przekroju kołowym częściowo zachodzących na siebie i ułożo-

nych w różnych, równoległych płaszczyznach (ryc. 3.), co pozwala na uzyskanie pożądanego kształtu tunelu [3].

Uzyskanie pełnego prostokątnego kształtu pozwoliło dopiero prostokątne urządzenie tarczowe opracowane w Japonii (ryc. 4). Po kolejnych udoskonaleniach przez ostatnie 10 lat najwięcej sukcesów z zastosowaniem prostokątnego urządzenia tarczowego odniesiono w Chinach. Już od lat 90. XX w. w Państwie Środka brano pod uwagę różne rozwiązania urządzeń tarczowych do wykonania prostokątnych, skrzyniowych przepustów. Pierwsze znaczące prace wykonano w kwietniu 1999 r. w Szanghaju, gdzie tamtejszy Instytut Technologii opracował urządzenie umożliwiające przeciskanie prostokątnych skrzyń do budowy tunelu o wymiarach 3,8 m x 3,8 m. Zostało ono użyte w budowie szanghajskiej linii Metro-2, przy stacji Lujiazui na piątym wejściu. Zastosowano przecisk hydrauliczny równoważący ciśnienie gruntu do budowy dwóch tuneli. Prace zostały zakończone w dwa miesiące, przy dobrej jakości wykonania, z zachowaniem bezpieczeństwa oraz z normalnym, niezakłóconym ruchem ulicznym podczas konstruowania podziemnych rurociągów. W tabeli 1 przedstawiono projekty zrealizowane prostokątnym urządzeniem tarczowym w Chinach.



Ryc. 3. Urządzenie wielotarczowe [6]



Ryc. 4. Prostokątne urządzenie tarczowe [1]

Tab. 2. Osiągnięte rezultaty przez prostokątne urządzenie tarczowe [1]

Projekt	Szanghaj	Nanjing 1	Nanjing 2
Typ gruntu	Glina	Piasek	Glina
Przykrycie [m]	5,7	5,0	5,0
Lustro wody [m]	2,2	1,2	1,1
Długość [m]	57,6	42,3	45,3
Maksymalna siła przecisku [kN]	17 650	18 630	19 120
Maksymalne odchylenie w pionie [mm]	+23	+20	+25
Maksymalne odchylenie w poziomie [mm]	+21	-36	-45
Maksymalna prędkość przeciskania [mm/min]	21	20	20
Maksymalny dzienny postęp budowy [m]	4,5	5	5

Wybrane przykłady projektów z zastosowaniem prostokątnego urządzenia tarczowego

Szanghajska linia metra 6 Pudian, której wejście stanowi prostokątny tunel, była w kwietniu 2006 r. konstrukcją o dotychczas największym przekroju zbudowaną przy użyciu urządzenia tarczowego. Wewnętrzne wymiary tego tunelu wynosiły 4,36 m x 6,25 m, a jego długość 52 m. Trzy lata później, w kwietniu 2009 r., został osiągnięty inny rekord przy budowie stacji Jinke Road, wchodzącej w skład 2. linii szanghajskiego tranzytu kolejowego. Wykorzystując prostokątne urządzenie tarczowe wraz z siłownikami przeciskającymi prostokątne rury firmy GX Tunnel, wybudowano tunel o wymiarach 6,9 m x 4,2 m. Projektowany tunel o długości 49,1 m został zlokalizowany w nowej dzielnicy Pudong w Szanghaju, na głębokości 5,1÷4,6 m. Przecisk wykonano ze spadkiem +0,7%, a wzdłuż tunelu umieszczono dwa kable o napięciu 220 kV, kanalizację deszczową o średnicy 1000 mm i inne

ważne rurociągi o średnicach 500 mm, co było ogromnym wyzwaniem inżynierijnym dla projektu. Został powołany specjalny zespół inżynierijny zajmujący się problemami przecisku prostokątnych rur. Wykorzystując szczegółowe planowanie konstrukcji i minimalizację ryzyka, prostokątny tunel został ukończony 1 maja 2009 r., w czasie krótszym niż miesiąc od rozpoczęcia budowy.

29 września 2010 r., zaledwie po 24 dniach pracy, firma MCC Niebiańska Szanghajska trzynasta Metalowa Konstrukcja Co. Ltd (MCC Heavenly Shanghai thirteen Metallurgical Construction Co. Ltd) wykonała w szanghajskim szpitalu Zhongshan połączenie skrzyżniowe o długości 78,8 m i wymiarach 5,0 m x 3,3 m. Przejście wykonano za pomocą prostokątnego urządzenia tarczowego dostarczonego przez firmę Yaugzhou GuangXin. W przyszłości w wybudowanym kompleksie pasażu podziemnego będzie leczyc się pacjenci szanghajskiego szpitala Zhongshan (Shanghai Zhongshan Hospital, Fudan).

W południowych Chinach pierwsze prostokątne tunele zostały wybudowane w 2012 r. Na stacji metra w Guangzhou zastosowano prostokątne urządzenie tarczowe firmy GX Tunnel do budowy czterech rzędów pasażu o długościach 64,5 m i wymiarach 6,4 m x 4 m, obok rzeki Perłowej, gdzie znajdowała się ulica o bardzo dużym natężeniu ruchu oraz obecne były warstwy piaskowe w poziomie gruntu. Powyższe warunki wykluczyły możliwość zastosowania innych metod budowy. Tunele zostały posadowione na głębokości 4 m, a przerwy między tunelami wynosiły 1 m. Zespół projektowy raportował niewielkie trudności w wykonaniu projektu, a większość z nich była podobna do występujących przy stosowaniu cylindrycznych maszyn tarczowych, takich jak kontrola frontu urządzenia i szybkość drażenia gruntu.

Wąskie przerwy pomiędzy tunelami zostały zredukowane do 0,5 m w następnym projekcie w Guangzhou. Handlowa, podziemna ulica Foshan Guicheng została wybudowana prostokątnym urządzeniem tarczowym firmy GX Tunnel. Podziemny kompleks składa się z czterech rzędów tuneli o długościach 70 m i wymiarach 6,9 m x 4,9 m, przeznaczonych dla ruchu pieszych i pasażu handlowych. Inwestycja była bardzo skomplikowana w realizacji z uwagi na posadowienie tuneli w niższej części planowanych linii metra oraz w bliskim sąsiedztwie wyżej położonej sieci kanalizacyjnej, ponadto władze miasta narzuciły bezwzględny warunek nieprzerwania ruchu ulicznego. Warstwę gruntu, przez którą odbywał się przecisk, stanowi piasek, a zatem zastosowanie innej metody budowy tuneli spowodowałoby deformację lub zawalenie budowli. Warstwa znajdująca się nad planowaną budowlą miała wysokość 5,5 m oraz posiadała sieci elektryczne na głębokości 2,2÷3,1 m. Od-



Ryc. 5. Montaż prostokątnego urządzenia tarczowego [1]



Ryc. 6. Opuszczanie kolejnej sekcji skrzyni [1]

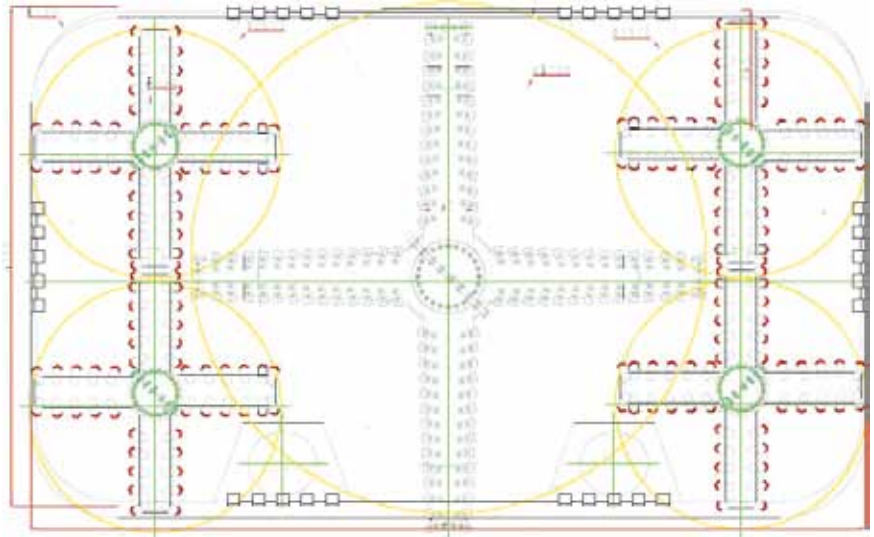


Ryc. 7. Wyjście prostokątnego urządzenia tarczowego [1]

ległości od sąsiedniego istniejącego już tunelu wynosiła 6,5 m. Szczegóły inwestycji zostały podsumowane poniżej:

- posadowienie budowli: 5,5 m,
- sekcje tuneli zbudowane ze skrzyń prostokątnych o wymiarach 6,9 m x 4,9 m i grubości ścianki 0,45 m,
- długość każdej skrzyni: 2 m, dodatkowe wyposażenie: trzcień i bruzda połączeniowa,
- odległość pomiędzy sekcjami: 0,5 m,
- każda z poprzednich sekcji połączona ciągnikiem i skręcona z następnym segmentem, co skutkowało polepszeniem całkowitej sztywności tuneli.

Parametry pracy urządzenia tarczowego firmy GX Tunnel o wymiarach 6 m x 3,3 m, której schemat pokazano na rycinie 8, zestawiono w tabeli 2.



Ryc. 8. Schemat prostokątnego urządzenia tarczowego o wymiarach 6 m x 3,3 m [1]

Literatura

[1] Quan Y.B., Hua C.K.: *Experience in the Use of Rectangular Pipe Jacking Machines in China*. International Conference and Exhibition No-Dig 2012, PAP012308, São Paulo, November 12–14, 2012, pp. 1–8.

[2] *Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska*. Red. A. Kuliczowski. Wydawnictwo Seidel – Przywecki. Warszawa 2010.

[3] Zwierzchowska A.: *Niekonwencjonalne urządzenia tarczowe do tunelowania*. „Przegląd Budowlany” 2010, nr 9, s. 54–60.

[4] Zwierzchowska A., Mogielska M.: *Rekordowy tunel w Szanghaju*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2008, nr 1 (16), s. 14–15.

[5] http://www.shield-method.gr.jp/pdf_data/e_dot.pdf.

[6] http://www.shield-method.gr.jp/pdf_data/e_mf.pdf.

TIWS

VI Międzynarodowe Targi Infrastruktury Wodno-Ściekowej, Odwodnień i Melioracji

TargiKielce

EXHIBITION & CONGRESS CENTRE

FORUM DYSKUSYJNE
WODCIĄGÓW POLSKICH

18-20.09.2013, Kielce

TIWS w Targach Kielce

... ze skutecznymi rozwiązaniami w branży wodociągowo-kanalizacyjnej

Największa tak ściśle branżowa impreza targowa zlokalizowana w południowo-wschodniej Polsce.

W imprezie uczestniczą fachowcy z branży wodociągowo-kanalizacyjnej. Podczas pięciu edycji TIWS swoje produkty zaprezentowały setki firm z Polski, Niemiec, Włoch, Wielkiej Brytanii, Słowacji i Słowenii.

www.tiws.targikielce.pl

PATRONAT
MEDIALNY

