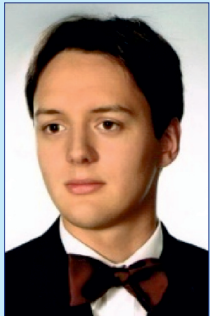




ANDRZEJ
KULICZKOWSKI

Politechnika Świętokrzyska
akulicz@tu.kielce.pl



MICHAŁ FUJAWA

Politechnika Świętokrzyska
fujawa.tu@gmail.com

Tunelowanie o przekroju prostokątnym*

Rozwój aglomeracji miejskich wpływa istotnie także na rozbudowę infrastruktury podziemnej. Budowane są nowe tunele metra wraz z pasażami łączącymi podziemne stacje z powierzchnią terenu, przejścia podziemne, przepusty pod nasypami drogowymi i kolejowymi oraz tunele komunikacyjne. Przy realizacji takich budowli zazwyczaj stosowana metoda wykopowa jest niepożądana, ponieważ wiąże się ona z paraliżem komunikacyjnym zurbanizowanych rejonów miast. Przy budowie tuneli coraz częściej stosuje się metody bezwykopowe. Prekursorem ich stosowania był lord Marc Isambard Brunel, który opatentował technologię tarczową w 1818 r.

Pierwsze urządzenie tarczowe zastosowano w 1825 r. w Londynie. Od tego czasu, stosując metodę tarczową o przekroju kołowym osiągnano imponujące rezultaty, np. w Szanghaju zastosowano maszynę tarczową o średnicy 15,42 m [8] do budowy tuneli komunikacyjnych pod rzeką Jangcy, a w stolicy Malezji – Kuala Lumpur – wykonano kolektor kanalizacyjny [2,6], o średnicy wewnętrznej 11,83 m. To ostatnie rozwiązanie jest nowatorskim połączeniem w jednej budowlu funkcji kolektora deszczowego z funkcją tunelu komunikacyjnego.

Metoda tarczowa o przekroju kołowym, w której przeciskane są kolejne sekcje budowanego tunelu, znajduje zastosowanie także przy realizacji wodociągów, kanalizacji i linii energetycznych. Jednak przy konstrukcjach wymagających przekroju prostokątnego, takich jak przejścia podziemne, przekrój kołowy okazuje się nieefektywny z uwagi na konieczność znacznego przewymiarowania przekroju tunelu kołowego w stosunku do pożądanych wymiarów docelowego tunelu prostokątnego. W celu usunięcia tej niedogodności skonstruowano urządzenia tarczowe o przekroju dwóch lub nawet trzech kół częściowo zachodzących na siebie, których użycie umożliwia uzyskanie zbliżonego do prostokątnego przekroju poprzecznego budowanego tunelu. W artykule przedstawiono najnowsze urządzenia tarczowe skonstruowane w Japonii, umożliwiające precyzyjne wykonywanie

tuneli o przekroju prostokątnym [4] oraz najciekawsze projekty z ich zastosowaniem zrealizowane w Chinach.

Możliwości budowy tuneli o przekroju prostokątnym

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

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

Technologie te znajdują zastosowania w różnych projektach z dziedziny budownictwa podziemnego. Metoda wykopowa umożliwia osiągnięcie dowolnego kształtu przekroju tunelu i jego nieograniczonej długości. Główną wadą tej metody są duże utrudnienia w ruchu ulicznym spowodowane wykonywaniem wykopu i dlatego technologia ta nie może być stosowana w dużych aglomeracjach miejskich, gdzie zapotrzebowanie na obiekty budownictwa podziemnego jest największe. Aby nie powodować paraliżu komunikacyjnego miasta wykorzystuje się technologie bezwykopowe. Techniki te mają jednak pewne ograniczenia dotyczące zakresu ich zastosowań. Przecisk hydrauliczny jest powszechnie stosowany do konstruowania przejść w poprzek nasypów torów kolejowych, dróg i innych obiektów, jednak może być stosowany tylko na prostych odcinkach o długości do około 60 m [6]. Natomiast technologia tworzenia obudowy wstępnej z rur stalowych (stosowane są rury o średnicach od 700 mm do 800 mm) pozwala na osiągnięcie dowolnego kształtu przekroju budowanego tunelu, lecz stosuje się ją tylko na prostych odcinkach o długości nie większej niż 150 m [1].

Spośród wymienionych metod bezwykopowych, tunelowanie przy zastosowaniu prostokątnych urządzeń tarczowych jest najkorzystniejszym rozwiązaniem. Pozwala na budowę dłuższych odcinków tuneli niż uzyskiwanych przy zastosowaniu metody przecisku hydraulicznego. W porównaniu z technologią polegającą na zastosowaniu prostokątnego urządzenia tarczowego, czas konstruowania tunelu z konstrukcją *pipe roofing* jest znacznie dłuższy, a koszty, z uwagi na użycie większej ilości materiałów tymczasowych (stalowych rur), są większe. Dlatego technologia budowy tunelu, bazująca na urządzeniach tarczowych o przekrojach prostokątnych, staje się obecnie dominującą (szczególnie w krajach azjatyckich).

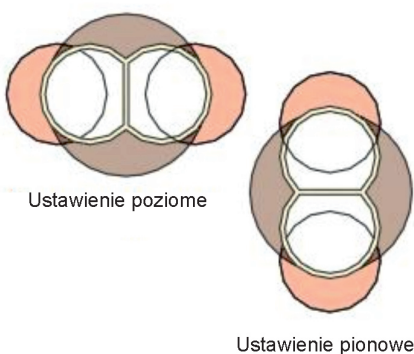
* Tekst wygłoszony na VI Międzynarodowej Konferencji Technologię Bezwykopowe NO-DIG POLAND 2014, Kielce-Cedzyna 8–10 kwietnia 2014 r.

Urządzenia tarczowe o przekrojach poprzecznych zbliżonych do prostokątnych

Obecnie stosowane urządzenia tarczowe umożliwiające uzyskanie niekołowych kształtów przekroju poprzecznego tuneli występują w różnych wariantach. Jednym z przykładów jest tarcza DOT (ang. *Double-O-Tube*) [7] umożliwiająca budowę podwójnego tunelu o przekroju dwóch kół częściowo na siebie zachodzących. Na fot. 1 pokazano tarczę DOT, a na rys.1 schemat uzyskiwanych przekrojów poprzecznych (kolor biały), który porównano z dwoma osobnymi tunelami o przekroju koła (kolor różowy). Schemat zawiera także porównanie tunelu DOT ze znacznie większym, kołowym (kolor szary), który należałoby wykonać tradycyjną metodą tarczową, aby wpisać w niego pożądaną przekrój tunelu.



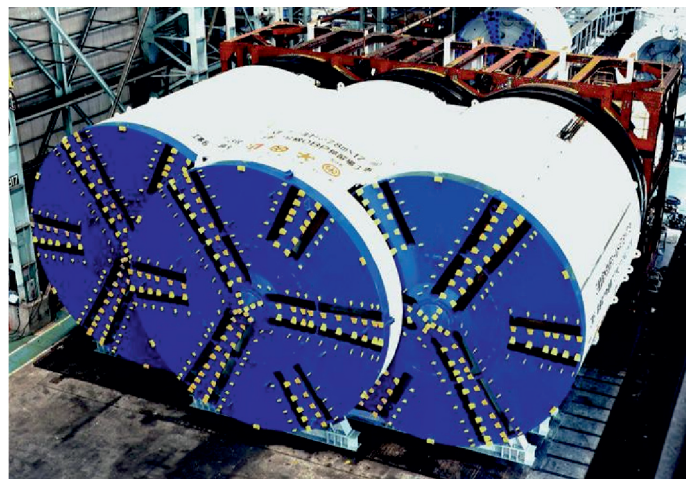
Fot. 1. Urządzenie tarczowe typu DOT [9]



Rys. 1. Możliwe przekroje tunelu wykonanego tarczą typu DOT [9]

Budowa tunelu o przekroju niekołowym jest także możliwa za pomocą tarczy wielokołowej (ang. *Multi-circular Face Shield*) pokazanej na fot. 2, składającej się z kilku tarcz o przekroju kołowym częściowo zachodzących na siebie i ułożonych w różnych, równoległych płaszczy-

znach. Metoda umożliwiła uzyskanie kształtu tunelu jeszcze bardziej zbliżonego do prostokątnego niż urządzenie typu DOT [7].

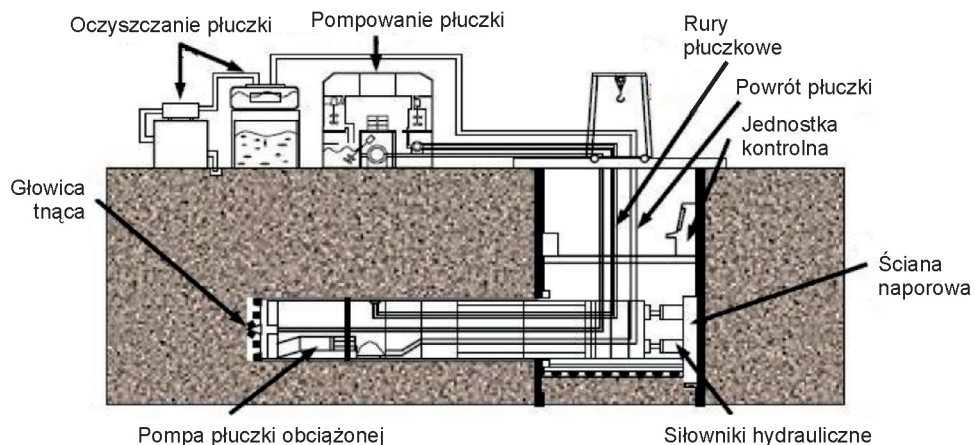


Fot. 2. Urządzenie wielotarczowe [10]

Prostokątne urządzenia tarczowe

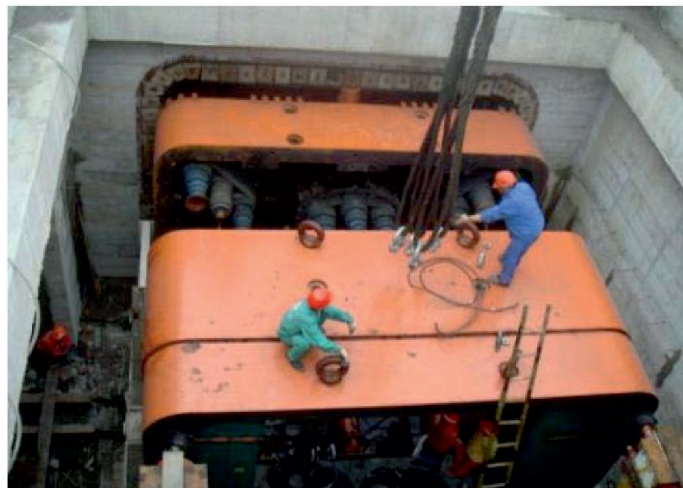
Przecisk rur jest stosowany do instalacji podziemnego rurociągu przez odwiert wykonany urządzeniem tarczowym. Urządzenie jest hydraulicznie przeciskane przed rurociągiem od startowego kanału. W Japonii stosowany jest płuczki przecisk rur, w którym używana podczas procesu przeciskania płuczka jest kolejno wprowadzana na tarczę tnącą i drążoną powierzchnię, a następnie trafia pomiędzy betonową rurę a grunt. Następnie płuczka wypełnia pory gruntu doprowadzając do jego stabilizacji. Na rys. 2. pokazano schematyczny widok metody przecisku rur.

Na początku lat 90. ubiegłego stulecia w wielu krajach znacznie wzrosło zapotrzebowanie na obiekty budownictwa podziemnego, w związku z tym poszukiwano najkorzystniejszego sposobu wykonywania tuneli o przekrojach prostokątnych. Uzyskanie prostokątnego kształtu nastąpiło przy użyciu urządzenia tarczowego o przekroju prostokątnym skonstruowanego w Japonii (fot. 3 i 4). Po kolejnych udoskonaleniach tej technologii w Chinach, skonstruowano urzą-



Rys. 2. Schemat przecisku rur prostokątnych z zastosowaniem urządzenia do tunelowania [5]

dzenie umożliwiające budowę tunelu o wymiarach 3,8 m × 3,8 m. Zastosowano je przy realizacji szanghajskiej linii metra-2, przy Stacji Lujiazui na piątym wejściu, przy jednoczesnym użyciu przecisku hydraulicznego równoważącego ciśnienie gruntu. Prace ukończono w dwa miesiące przy jed-



Fot. 4. Montaż prostokątnego urządzenia tarczowego [1]



Fot. 3. Prostokątne urządzenie tarczowe [1]

noczesnej wysokiej jakości wykonania, z zachowaniem zasad bezpieczeństwa oraz z uniknięciem jakiegokolwiek zakłócenia ruchu ulicznego podczas budowy tunelu. W tabeli 1 przedstawiono projekty zrealizowane prostokątnym urządzeniem tarczowym w Chinach.

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

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

Wybrane przykłady chińskich realizacji z zastosowaniem prostokątnego urządzenia tarczowego

W kwietniu 2006 r. przy budowie szanghajskiej linii metra nr 6 wykonano tunel o przekroju prostokątnym stanowiący wejście do stacji przy zastosowaniu urządzenia tarczowego. Wewnętrzne wymiary tunelu wynosiły $4,36 \text{ m} \times 6,25 \text{ m}$, a jego długość 52 m. Trzy lata później, w kwietniu 2009 r. osiągnięto jeszcze większy przekrój tunelu przy budowie stacji Jinke Road wchodzącej w skład drugiej linii Szanghajskiego Tranzytu Kolejowego. Stosując prostokątne urządzenie tarczowe wraz z siłownikami przeciskającymi prostokątne rury firmy GX Tunnel, wybudowano tunel o wymiarach $6,9 \text{ m} \times 4,2 \text{ m}$. Projektowany tunel o długości 49,1 m usytuowano w nowej dzielnicy Pudong w Szanghaju, na głębokości $5,1 \div 4,6 \text{ m}$. Budowę wykonano ze spadkiem $+ 0,7\%$, a wzdłuż tunelu umieszczono dwa kable 220kV, kanalizację deszczową o średnicy 1000 mm i inne ważne rurociągi o średnicach 500 mm. Inwestycja była ogromnym wyzwaniem technicznym, w związku z tym powołano specjalny zespół inżynierów do rozwiązywania zagadnień przecisku prostokątnych rur. Tunel ukończono 1 maja 2009 r. w niespełna miesiąc od rozpoczęcia realizacji. Na fot. 5 pokazano opuszczanie prefabrykowanego elementu konstrukcji tunelu do wykopu początkowego, a na fot. 6 – wyjście prostokątnego urządzenia tarczowego do wykopu końcowego, co stanowiło koniec budowy tunelu.

W szanghajskim szpitalu Zhongshan zbudowano tunel o długości 78,8 m i wymiarach $5,0 \text{ m} \times 3,3 \text{ m}$ w czasie 24 dni. Przejście, zrealizowane za pomocą prostokątnego urządzenia tarczowego dostarczonego przez firmę Yaughzhou Guangxin i w przyszłości będzie służyć bezkolizyjnej komunikacji personelu i pacjentów szpitala, co zdecydowanie poprawi funkcjonowanie placówki i jakość opieki medycznej.

W południowych Chinach pierwsze prostokątne tunele zbudowano w 2012 r. Przy realizacji stacji metra w Guangzhou użyto prostokątnego urządzenia tarczowego firmy GX



Fot. 5. Opuszczanie prefabrykatu żelbetowego na dno wykopu początkowego [1]



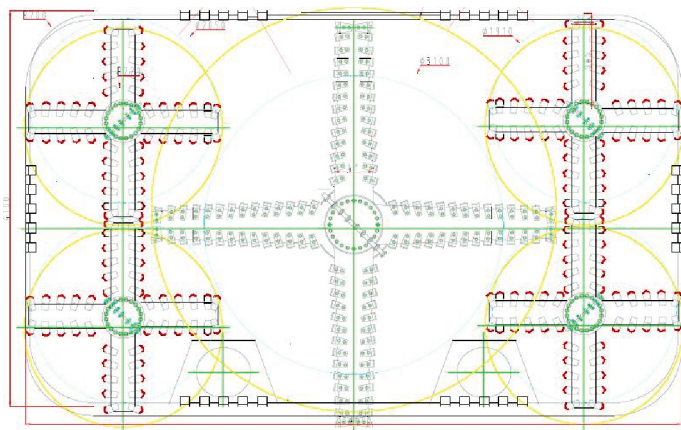
Fot. 6. Wyjście prostokątnego urządzenia tarczowego [1]

Tunel do budowy czterech rzędów przejść o długościach 64,5 m i wymiarach $6,4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$. Zastane warunki wykluczały tradycyjne metody konstrukcji. Koncepcja wspomnianej linii metra przewidywała lokalizację stacji w pobliżu rzeki Perłowej oraz ciągu jezdni o bardzo dużym natężeniu ruchu. Wystąpiły tam również trudności natury geotechnicznej – obecność warstw piaskowych w poziomie gruntu. Tunele posadowiono na głębokości 4 m, a przerwy między tunelami wynosiły 1,0 m. Zespół projektowy raportował niewielkie trudności w wykonaniu projektu, a większość z nich nie odbiegała od standardowych, występujących przy stosowaniu cylindrycznych maszyn tarczowych: m.in. kontrola frontu urządzenia, czy szybkość drążenia gruntu.

W kolejnym projekcie w Guangzhou wąskie przerwy między tunelami zredukowano do 500 mm. Podziemną ulicę handlową Foshan Guicheng wykonano za pomocą prostokątnego urządzenia tarczowego firmy GX Tunnel. Na podziemny kompleks składają się cztery rzędy tuneli o długościach 70 m i wymiarach $6,9 \text{ m} \times 4,9 \text{ m}$ przeznaczonych do ruchu pieszych i pasażerów handlowych. Wysoki stopień skomplikowania inwestycji był zdeterminowany przez posadowienie tuneli w niższej części planowanych linii metra oraz w bliskim sąsiedztwie wyżej położonych przewodów kanalizacyjnych. Ponadto, w trakcie budowy tuneli władze miasta określiły bezwzględny warunek niezakłócenia ruchu ulicznego. Warstwę gruntu, przez którą odbywał się przecisk, stanowił piasek, a zatem zastosowanie innej metody budowy tuneli spowodowałoby deformację lub zawalenie budowli. Warstwa znajdująca się nad projektowaną budowlą miała miąższość 5,5 m oraz kable elektryczne na głębokości $2,2 \div 3,1 \text{ m}$. Odległość od sąsiedniego, istniejącego tunelu wynosiła 6,5 m. Pozostałe szczegóły tej inwestycji były następujące:

- długość każdej skrzyni wynosiła 2 m, dodatkowe wyposażenie stanowiły trzpień i bruzda połączeniowa,
- każda z poprzednich sekcji połączona była ciągnem i skręcona z następnym segmentem, co poprawiło sztywność tuneli.[1]

Parametry pracy urządzenia tarczowego firmy GX Tunnel o wymiarach $6 \text{ m} \times 3,3 \text{ m}$, której schemat pokazano na rysunku 3, zestawiono w tabeli 2.



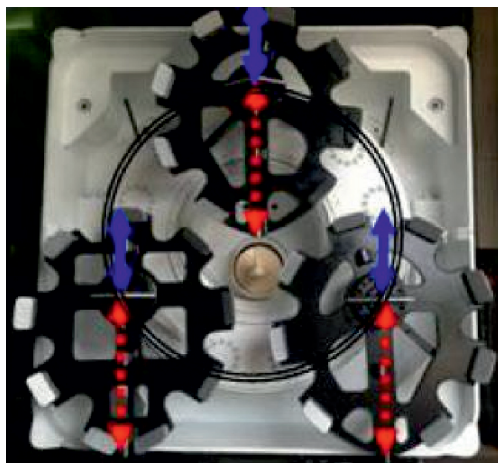
Rys. 3. Schemat prostokątnego urządzenia tarczowego o wymiarach 6 m x 3,3 m [1]

Tabela 2. Rezultaty osiągnięte przez prostokątne urządzenie tarczowe [1]

	Szanghaj	Nanjing 1	Nanjing 2
Rodzaj gruntu	Gлина	Piasek	Gлина
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

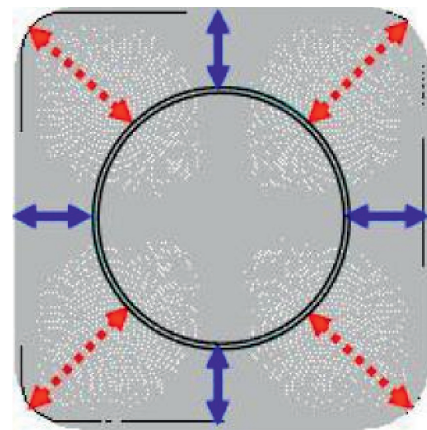
Urządzenie tarczowe o przekroju kwadratowym

Na fot. 7, pokazano tarczę umożliwiającą wykonanie tuneli o przekrojach kwadratowych. Efektywność takiej tarczy jest



Fot. 7. Kwadratowe urządzenie tarczowe do tunelowania [5]

Rys. 4. Schemat pracy urządzeń tnących kwadratowego urządzenia tarczowego [5]



większa niż tarczy standardowej o przekroju kołowym, o porównywalnej powierzchni przekroju poprzecznego. W dodatku wybór wieloosiowych urządzeń tnących – noży (w tym przypadku trzech) skutkuje znaczącym zwiększeniem sprawności drążenia. Na rys.4 czerwonym kolorem wskazano miejsce cięcia wykonane dłuższą częścią noża, a niebieskim krótszą. Urządzenie wyposażone jest w trzy obrotowe, owalne noże umieszczone na ruchomej środkowej części o kształcie okręgu, którą wyposażono w system zdalnie sterujący, umożliwiającą obrót na planie okręgu. Dane dotyczące obrotu, na bieżąco uzyskiwane z różnych czujników w urządzeniu, umożliwiają korekcję obrotu przy użyciu wspomnianego systemu.

Budowa przepustu prostokątnego pod drogą ekspresową w Japonii

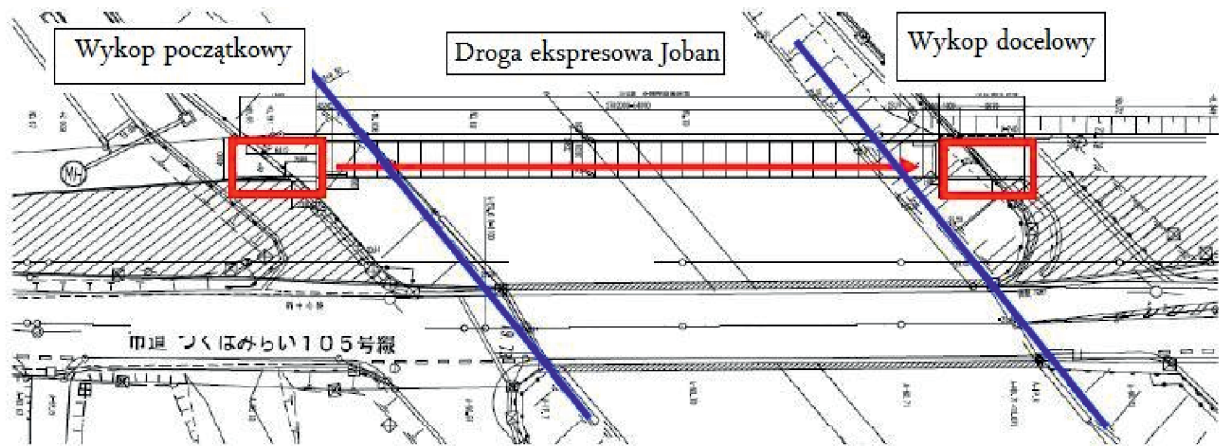
W Japonii wykonano przecisk kwadratowych prefabrykatów z zastosowaniem kwadratowego urządzenia tarczowego do budowy przejścia podziemnego nad drogą ekspresową Joban, która jest jedną z głównych dróg ekspresowych w Japonii. Usytuowanie budowanego tunelu względem drogi pokazano na fot. 8.

Charakterystyka budowli:

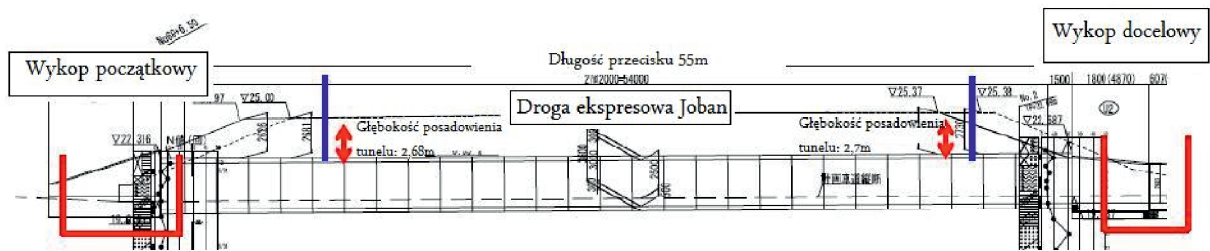
- wymiary wewnętrzne przejścia podziemnego: 3 m x 3 m,
- wymiary zewnętrzne przepustu: 3,6 m x 3,6 m,



Fot. 8. Usytuowanie planowanego tunelu [5]



Rys. 5. Rzut planu budowy przejścia podziemnego pod drogą szybkiego ruchu [5]



Rys. 6. Przekrój planowanego przejścia podziemnego pod drogą szybkiego ruchu [5]

- długość przecisku: 55 m,
- maksymalna wysokość przekrycia tunelu 2,73 m [5].

Grunt składający się na nasyp drogi ekspresowej na tym terenie był miękki, oczekiwano więc różnych obcych ciał. Ponadto należało zapobiec osiadaniu gruntu na dużej powierzchni, ze względu na budowę pod istotnym ciągiem jezdnym. Rzut planu budowy przedstawiono na rys. 5, a przekrój na rys. 6.

Podczas realizacji inwestycji wystąpiło kilka nietypowych spraw. Kluczową kwestią było osiadanie gruntu, z uwagi na to, że przecisk był prowadzony przez korpus nasypu jednej z głównych dróg ekspresowych w Japonii. Wymagało to ograniczenia osiadania gruntu do najwyżej 24 mm. W tym celu zastosowano szczegółową regulację ciśnienia tarczy tnącej, które mierzono z przodu głowicy i kontrolowano, aby wynosiło ok. 0,02 MPa ponad ciśnienie wody w tarczy tnącej. Ciśnienie tarczy tnącej dobrano odpowiednio do warunków otaczającego gruntu. Osiadanie gruntu podczas przeciskania rur mierzono z każdej strony drogi ekspresowej. Kolejną sprawą był brak możliwości obliczenia siły przecisku rur prostokątnych. Oszacowano więc, że jest ona dwa razy większa niż przy przecisku rur o przekroju okrągłym. Maksymalna siła naporu była szacowana na 3 500 kN, siła zmierzona wyniosła 5 250 kN, dopuszczalne obciążenie przepustu to ok. 49 000 kN. [5] Przecisk był realizowany przez korpus nasypu drogowego i nie stosowano wykopu początkowego, a zatem należało wykonać zbrojoną ścianę naporową, którą przedstawiono na fot. 9.

Podczas budowy tunelu nie wystąpiły żadne nieprzewidziane zdarzenia. Na fot. 10 pokazano wykonane przejście



Fot. 9. Zbrojona ściana naporowa umożliwiająca przecisk rur [5]

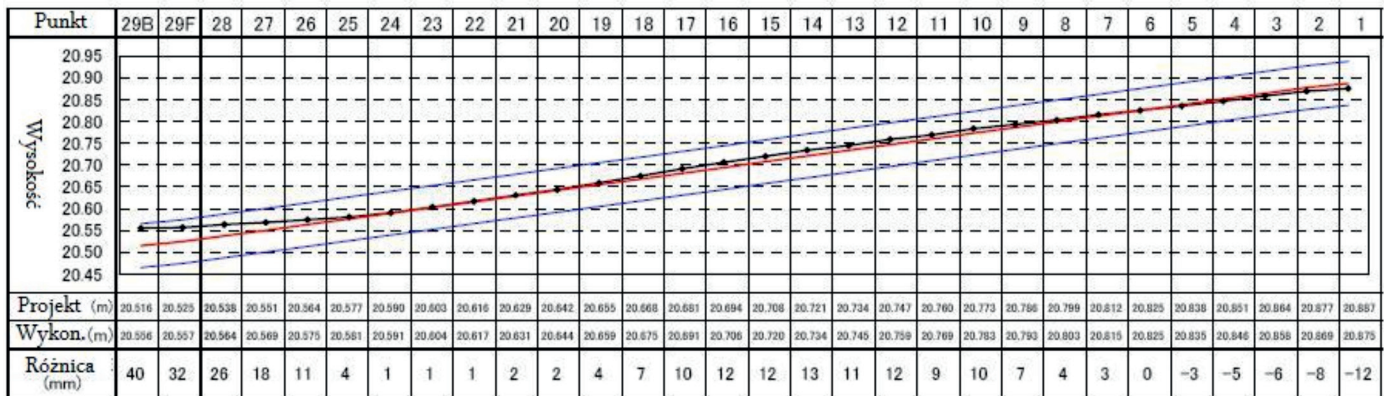
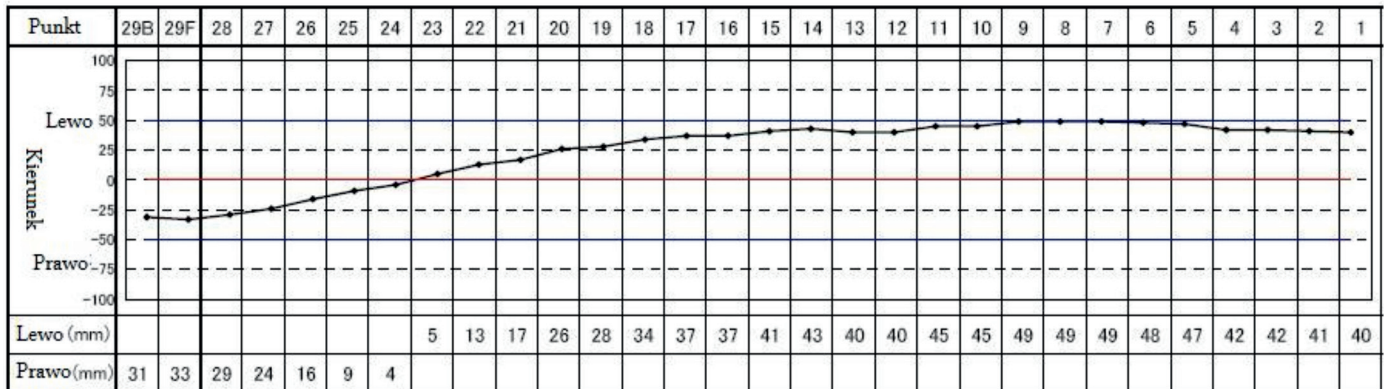
podziemne, na fot. 11 zastosowane urządzenie, a na rys.7 dokładność przecisku. Wartość odchyłki przemieszczenia w docelowym szybie wynosiła 12 mm, natomiast przemieszczenie w prawą lub lewą stronę wynosiło maksymalnie 49 mm. Szybkość przecisku zależała głównie od właściwości gruntu, jednak zastosowanie trzech ostrzy tnących znacząco przyspieszyło wykonanie inwestycji. Szybkość przecisku wynosiła od 15 mm/min do 50 mm/min. Dzienna odległość przeciskania rur wynosiła od trzech (3,75 m) do czterech rur



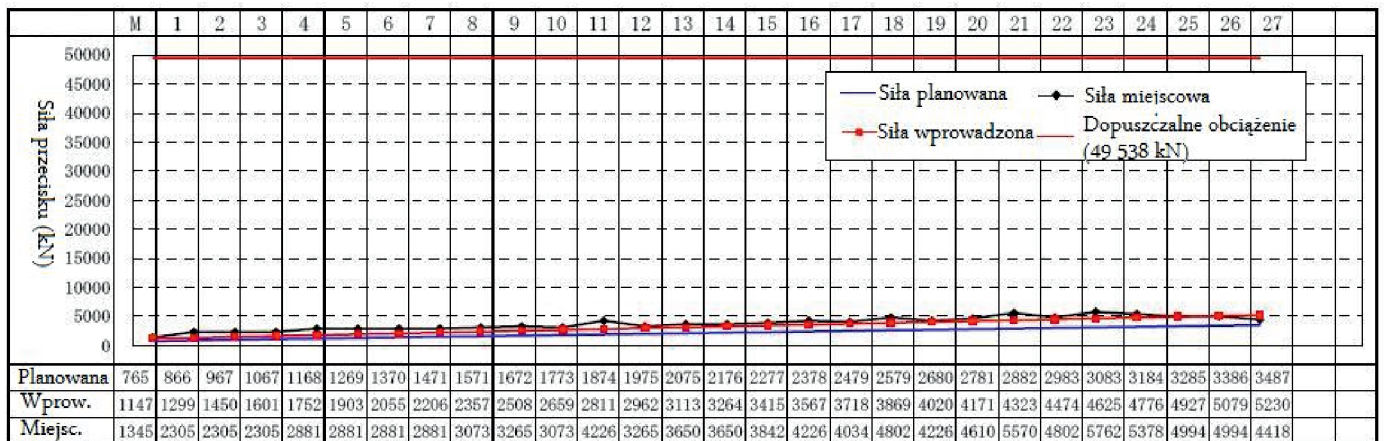
Fot. 10. Ukończone przejście podziemne [5]



Fot. 11. Zakończenie budowy tunelu przejścia podziemnego [5]



Rys. 7. Dokładność prowadzenia przecisku [5]



Rys. 8. Regulowanie siły przecisku [5]

(5,00 m). Na rys. 8 pokazano wielkość sił nacisku, które wystąpiły podczas przeciskania rur. Przed rozpoczęciem przeciskania rur istniała obawa o zwiększenie siły nacisku wynikającej z braku przesklepienia w górnej części przeciskanego kształtu. Po rozpoczęciu pracy, siła przecisku nieznacznie wzrosła, więc zastosowano substancję smarującą w górnej



Fot. 12. Kawałki drewna wydobyte podczas budowy tunelu [5]



Fot. 13. Elementy bruku wydobyte podczas budowy tunelu [5]



Fot. 14. Pręty stalowe wydobyte podczas budowy tunelu [5]

części przekroju w celu zmniejszania oporów. Końcowa siła nacisku wynosiła ok. 5 000 kN, co stanowiło 140% zaplanowanej wartości. Średnia siła oporu powierzchni, która jest liczona z pominięciem siły oporu frontowego od siły naporu, wynosiła 5,10 kN/m². Należy zaznaczyć, że jest to 2,8 raza więcej niż opór powierzchni przy przecisku rur o przekroju kołowym. Podczas budowy tunelu natrafiono na wiele obcych ciał, które pokazano na fot. 12, 13 i 14. Możliwości zastosowanego urządzenia pozwalały na usunięcie napotkanych przeszkód [5].

Podsumowanie

W obliczu coraz intensywniejszej urbanizacji, w dużych aglomeracjach miejskich wzrasta zapotrzebowanie na nowe rozwiązania w sferze ruchu pieszych, jak i transportu kołowego. Współczesny rozwój transportu wymusza odciążenie infrastruktury naziemnej przez przeniesienie znacznej części transportu do obiektów budownictwa podziemnego. Z uwagi na coraz większe zagęszczenie obiektów podziemnych, takich jak tunele, pasaże, przejścia podziemne oraz rurociągi, konieczne jest opracowywanie, jak również doskonalenie technologii umożliwiających szybkie i precyzyjne wykonywanie kolejnych elementów infrastruktury podziemnej o pożądanym przekroju bez jednoczesnego zakłócania ruchu ulicznego. Doświadczenia chińskich i japońskich inwestorów i wykonawców pokazują, że można odpowiedzieć na dzisiejsze potrzeby transportu w sposób szybki i dokładny. Technologia tunelowania prostokątnym urządzeniem tarczowym pozwala na budowanie tuneli o przekroju prostokątnym z bardzo dużą dokładnością w krótkim czasie i w bliskim sąsiedztwie innych obiektów, którym można nadać funkcję przejść podziemnych, pasaży handlowych, wejść do stacji metra lub też ciągów jezdnych.

Bibliografia

- [1] Y. B. Quan, C. K. Hua: *Experience in the Use of Rectangular Pipe Jacking Machines in China*. International Conference and Exhibition No-Dig 2012, PAP012308, Sao Paulo, November 12-14, 2012, s. 1-8
- [2] A. Kuliczkowski, P. Dańczuk: *Największy na świecie kolektor deszczowy z funkcją podziemnej autostrady*. Drogownictwo, 2007, nr 3, s. 91-96
- [3] A. Kuliczkowski, P. Dańczuk, D. Grudzień: *Gigantyczne tarcze urabiające*. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, 2006, nr 3, s. 26
- [4] A. Kuliczkowski, M. Fujawa: *Tunelowanie z zastosowaniem urządzeń tarczowych o przekroju prostokątnym*. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, 2013, nr 4 (49), s. 44-47
- [5] F. Matsumoto, T. Morita, E. Sakai, H. Shimada, T. Sasaoka, K. Matsui: *Application of a rectangular pipe jacking machine for pipe line construction under important expressway*. International Conference and Exhibition No-Dig 2013. Paper 3-4, Sydney, 1-4 September 2013, s. 1-7
- [6] *Technologie bezwykopowe w Inżynierii Środowiska*. Praca zbiorowa pod redakcją prof. Andrzeja Kuliczkowskiego. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa, 2010, s. 735
- [7] A. Zwierzchowska: *Niekonwencjonalne urządzenia tarczowe do tunelowania*. Przegląd Budowlany, 2010, nr 9, s. 54-60
- [8] A. Zwierzchowska, M. Mogielska: *Rekordowy tunel w Szanghaju*. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, 2008, nr 1(16), s. 14-15
- [9] http://www.shield-method.gr.jp/pdf_data/e_dot.pdf
- [10] http://www.shield-method.gr.jp/pdf_data/e_mf.pdf ■