

# Zastosowanie niekonwencjonalnych urządzeń tarczowych o przekroju niekołowym

■ dr inż. Agata Zwierzchowska, Katedra Sieci i Instalacji Sanitarnych, Politechnika Świętokrzyska  
 ■ mgr inż. Angelika Żebrowska, mgr inż. Krzysztof Omelański, absolwenci Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Świętokrzyskiej

Wiele spośród podziemnych tuneli komunikacyjnych buduje się jako dwa równoległe prowadzone tunele. Aby je wbudować przy pomocy tradycyjnych urządzeń tarczowych o przekroju kołowym, należy zaprojektować trasy obu tuneli w pewnej odległości od siebie. W obszarach o gęstej infrastrukturze podziemnej, wymóg ten może stwarzać problemy ze znalezieniem wolnego obszaru i wymuszać konieczność posadowienia tuneli bardzo głęboko, poniżej istniejącej infrastruktury podziemnej. Stosując urządzenia tarczowe niekonwencjonalne – o przekroju niekołowym – można wbudować tunele o różnych kształtach, które zapewniają zmniejszenie niewykorzystanej przestrzeni w przekroju. Można również wbudować dwa lub trzy tunele równoległe obok siebie.

## Uwagi wstępne

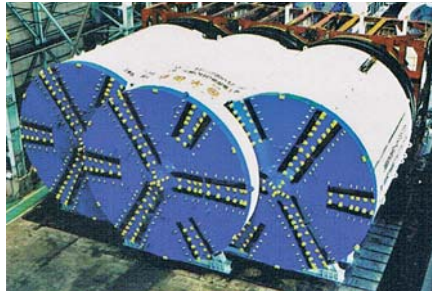
Stosując tradycyjne urządzenia tarczowe o przekrojach kołowych do budowy podziemnych tuneli komunikacyjnych, duża część przekroju poprzecznego wbudowanego tunelu jest niewykorzystana. Obszar w dolnej części przekroju, poniżej jezdni lub torowiska, jest często wypełniany piaskiem i żwirem. W części tej mogą być również prowadzone niezbędne instalacje i znajdować się wydzielone części dla obsługi i konserwacji tunelu, jednakże nie potrzebują one aż tyle miejsca.

Niewykorzystana przestrzeń w przekrojach tuneli kolejowych i drogowych jest znacznie mniejsza, jeśli do drążenia użyto urządzenia tarczowe o przekroju niekołowym. Sama technologia wbudowania tunelu tarczami niekołowymi nie różni się od tradycyjnej, w której stosowane są urządzenia o przekroju kołowym. Grunt urabiany jest głowicą drążącą, a urządzenie tarczowe jest przeciskane w gruncie przy pomocy siłowników hydraulicznych, rozpiętych o wbudowany tunel. W artykule tym, oprócz urządzeń tarczowych o przekroju niekołowym, zostanie również omówiona technologia TIMBY, która wykorzystuje elementy metod tarczowych, a wbudowywane nią tunele mają niekołowy kształt przekroju poprzecznego.

## Urządzenie tarczowe wielokołowe

Urządzenie tarczowe wielokołowe (ang. *Multi-circular Face Shield*), umożliwia wbudowanie tuneli o różnorodnych przekrojach poprzecznych, będących kombinacją przekrojów kołowych, częściowo nakładających się na siebie. Głowice urabiające grunt są zainstalowane do urządzenia tarczowego w różnych płaszczyznach, równoległych do siebie i jednocześnie prostopadłych do osi urządzenia tarczowego. Są to pełne tar-

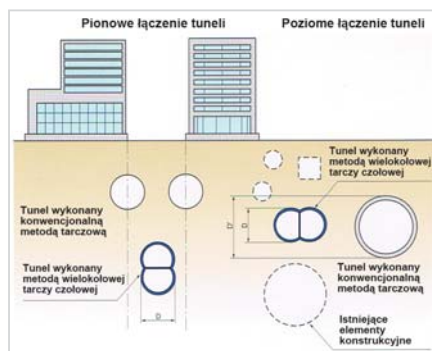
czy drążące, zachodzące na siebie (ryc. 1). Na rycinie 2 pokazano tunel stacji metra Iidabashi, wbudowany wielokołowym urządzeniem tarczowym. Tunel ten ma szerokość 17,44 m i wysokość 8,846 m.



Ryc. 1. Urządzenie tarczowe wielokołowe użyte do budowy stacji metra Osaka Business Park w Osace [6]



Ryc. 2. Tunel stacji metra Iidabashi wbudowany wielokołowym urządzeniem tarczowym [6]



Ryc. 3. Porównanie obszarów zajmowanych przez tunel wbudowany urządzeniem tarczowym wielokołowym oraz tunel wbudowany tradycyjną tarczą o przekroju kołowym [6]

Budowa tunelu za pomocą urządzenia tarczowego wielokołowego jest efektywna w przypadku obszarów o zagęszczonej infrastrukturze podziemnej. Na rycinie 3 pokazano porównanie obszarów zajmowanych przez tunel wbudowany urządzeniem tarczowym wielokołowym oraz tunel wbudowany tradycyjną tarczą o przekroju kołowym.

## Urządzenie tarczowe DOT

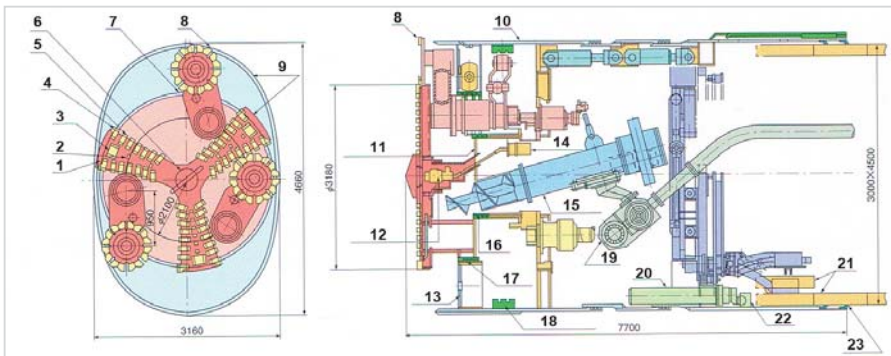
Urządzenie tarczowe DOT (ang. *Double-O-Tube*), w przeciwieństwie do wcześniej omówionego urządzenia tarczowego wielokołowego, nie posiada pełnych głowic drążących. Elementy urabiające grunt to głowice wielonożowe. Są one ustawione w jednej płaszczyźnie, prostopadłej do osi urządzenia tarczowego. Obracają się synchronicznie w przeciwnych kierunkach, urabiając grunt. Na rycinie 4 pokazano urządzenie DOT zastosowane do budowy tunelu komunikacyjnego Hiroshima Astram o długości 850 m, szerokości przekroju 10,69 m i wysokości 6,09 m.



Ryc. 4. Urządzenie DOT zastosowane do budowy tunelu komunikacyjnego Hiroshima Astram [3]

## Urządzenie tarczowe JIYU-DAMMEN

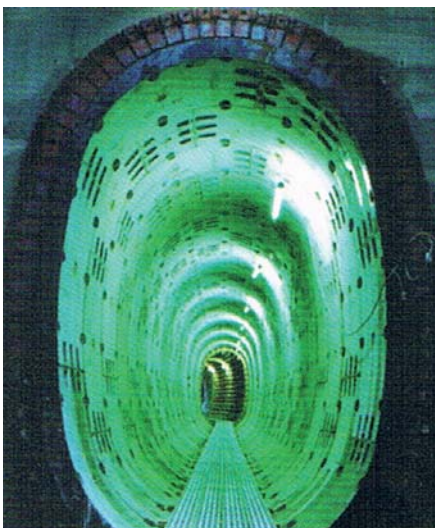
Niekołowe kształty przekrojów poprzecznych tuneli można również osiągnąć, stosując urządzenie tarczowe JIYU-DAMMEN (ang. *JIYU-DAMMEN Shield*). Urabianie gruntu w tym urzą-



Ryc. 5. Urządzenie tarczowe JIYU-DAMMEN [5]: 1 – świder wygładzający, 2 – prowadnica świdra, 3 – zabezpieczenie świdra, 4 – końcówka świdra przy obwodzie tarczy, 5 – końcówka świdra, 6 – środek świdra, 7 – ramię wahadłowe, 8 – planetarne urządzenie drążące, 9 – główne urządzenie drążące, 10 – płyta poszycia, 11 – przegroda, 12 – połączenie obrotowe, 13 – otwór, 14 – pierścień ślizgowy, 15 – przenośnik ślimakowy, 16 – uszczelnienie przegrody, 17 – główne uszczelnienie, 18 – przepustnica rolkowa, 19 – pompa rotacyjna, 20 – siłownik, 21 – segment, 22 – rozpórka, 23 – uszczelnienie połączeń segmentowych

dzeniu odbywa się za pomocą głowicy wielonożowej, zamocowanej w środkowej części powierzchni czołowej urządzenia tarczowego, oraz planetarnych noży tnących. Noże te zamocowane są do głowicy wielonożowej przy pomocy ruchomych ramion (ryc. 5). Podczas obrotu głowicy wielonożowej obracają się wraz z nią planetarne noże tnące, przy czym noże obracają się wewnątrz powierzchni czołowej tarczy, ograniczonej specjalnym pierścieniem, zlicowanym z zewnętrzną powłoką urządzenia tarczowego.

Zastosowanie planetarnych elementów drążących umożliwia swobodny wybór przekroju tunelu. Stosując urządzenie JIYU-DAMMEN, można wbudować tunele podziemne o różnych kształtach przekroju poprzecznego: owalnym, kwadratowym, łukowym, podkowiastym i jajowym. Na rycinie 6 pokazano wbudowany tunel przy pomocy urządzenia JIYU-DAMMEN. Zastosowano tu urządzenie tarczowe o wysokości 4,66 m i szerokości 3,16 m.



Ryc. 6. Tunel wbudowany przy pomocy urządzenia JIYU-DAMMEN [5]

### Urządzenie tarczowe DPLEX

Drążenie tunelu z zastosowaniem urządzenia tarczowego DIPLEX (ang. *Developing Parallel Link Excavation*) odbywa się poprzez głowicę drążącą, zamocowaną w części czołowej urządzenia za pośrednictwem wielu wałów korbowych. Obracanie wałów w tym samym kierunku wywołuje okrężne poruszanie się głowicy wzdłuż wewnętrznej powierzchni pierścienia prowadzącego. Pierścień ten, podobnie jak w urządzeniu JIYU-DAMMEN, znajduje się w części czołowej urządzenia i jest zlicowany z jego zewnętrzną powłoką (ryc. 7 i 8). Jako elementy urabiające grunt stosowane są tu świdry krzyżowe, umożliwiające drążenie gruntu we wszystkich kierunkach.



Ryc. 7. Urządzenie tarczowe DPLEX wykorzystane do przebudowy tunelu Minamisuna w Tokio [4]



Ryc. 8. Urządzenie DPLEX użyte do budowy tunelu metra Teito w Tokio [4]

### Technologia TIMBY

Tunel pod przeszkodami wodnymi w postaci rzek, kanałów, cieśnin można wbudować w technologii tunelowania lub elementów zatapianych. Stosując technologię tunelowania, należy liczyć się z faktem, iż minimalna grubość warstwy gruntu nad urządzeniem do tunelowania jest równa często kilku średnicom tarczy urabiającej. Stąd też tunele wbudowane tą metodą posadowione są głębiej niż gdyby były budowane w technologii tuneli zatapianych, w której to segmenty tunelu układa się na odpowiednio wyprofilowanym dnie przekraczanego akwenu [8]. Stwarza to znaczny problem w przekroczeniach głębokich rzek i cieśnin, powodując znaczną różnicę pomiędzy poziomami jezdni w tunelu pod przeszkodą wodną a poziomem jezdni przed i za tunelem. W związku z powyższym zwiększa się również długość samego tunelu. Zastosowanie technologii tuneli zatapianych ma również swoje wady i ograniczenia. Niezbędne są tzw. suche doki do wykonania elementów tunelu. Dodatkowo czas konieczny na transport elementów tunelu, za pomocą holowników, z suchego doku na miejsce ich wbudowania, a następnie ich zatapianie przedłuża okres budowy. Zatapianie elementów tunelu może prowadzić do przerw w żegludze lub jej znacznego ograniczenia. Mając na względzie powyższe wady i ograniczenia obu technologii, została opracowana technologia TIMBY (ang. *Tunnel IMersed BY BTP*), opatentowana przez firmę Bouygues Travaux Publics, a rozwinięta przez firmę Herrenknecht AG.

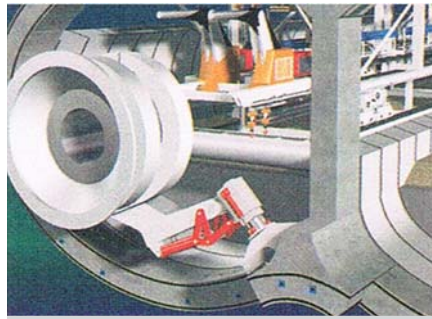
Technologia ta wykorzystuje element drążenia tunelu, bazując na idei DOT (ang. *Double-O-Tube*), przy czym tunel budowany jest na wstępnie wyprofilowanym dnie przeszkody wodnej. Początek budowy tunelu rozpoczyna się od ustawienia urządzenia TIMBY w koferdamie – suchym obszarze bezpośrednio na brzegu rzeki, morza itd., oddzielnym od przeszkody wodnej najczęściej przy uży-



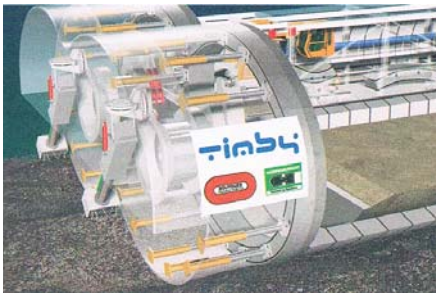
Ryc. 9. Ustawienie urządzenia TIMBY w koferdamie, na brzegu przeszkody wodnej [1]



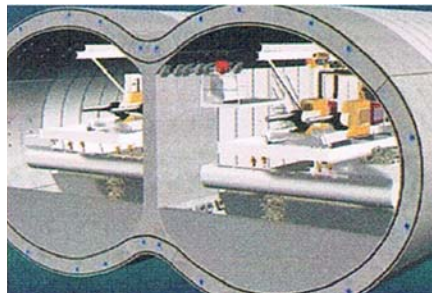
Ryc. 10. Urządzenie TIMBY, składające się z dwóch części, tworzących podwójną tarczę [1]



Ryc. 12. Wykonywanie obudowy tunelu z betonowych segmentów [1]



Ryc. 11. Dwa ramiona tnące urabiające grunt w dolnym profilu tunelu, w korycie rzeki lub cieśninie [1]

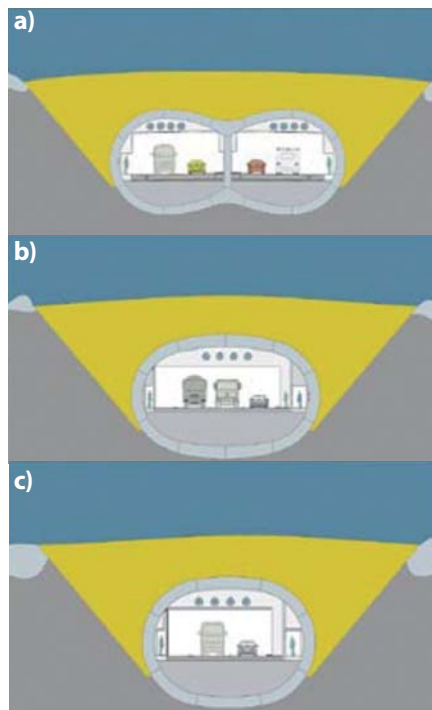


Ryc. 13. Wypełnienie piaskiem i zaprawą cementową dolnej części wbudowanego tunelu [1]

ciu ścianek szczelnych (ryc. 9). Koferdam jest następnie zalewany wodą i otwierany tak, że urządzenie może posuwać się naprzód w kierunku przeciwnego brzegu rzeki. Urządzenie składa się z dwóch części w kształcie litery O, tworzących podwójną tarczę (ryc. 10). Dwa ramiona tnące urabiają grunt w dolnym profilu tunelu w korycie rzeki lub cieśninie (ryc. 11). Urobek transportowany jest hydraulicznie, wzdłuż wbudowanego tunelu. Do budowy tunelu wykorzystuje się prefabrykowane segmenty betonowe, zwane tubingami, układane w pierścieniu tunelu przez specjalne podajniki znajdujące się w urządzeniu TIMBY (ryc. 12). Najpierw montowany jest prawy pierścień tunelu, następnie lewy, a na końcu ściana rozdzielająca po środku. Poszczególne segmenty łączone są za pomocą stalowych kotew, a poszczególne pierścienie spinane są obwodowo stalowymi liniami. Urządzenie przeciskane jest do przodu siłownikami hydraulicznymi, rozpieranymi o wykonane pierścienie tunelu. W związku z faktem, iż tunel wykonywany jest na dnie rzeki lub morza, istotne jest zabezpieczenie go przed działaniem siły wyporu i wypłynięciem. W tym celu wbudowane pierścienie tunelu wypełnia się piaskiem i zaprawą cementową aż do poziomu przyszłej jezdni tunelu (ryc. 13). Również samo urządzenie TIMBY jest specjalnie obciążone poprzez sianie balastowe. Po wbudowaniu tunelu jest on przykrywany warstwą gruntu, zabezpieczającą go przed ewentualnym uszkodzeniem mecha-

nicznym, a także szkodliwym wpływem prądów rzecznych czy morskich. Przejścia ewakuacyjne pomiędzy tunelami są wykonywane w ścianie łączącej oba pierścienie tunelu, nie ma potrzeby, tak jak w klasycznym tunelowaniu, wykonywania dodatkowych tuneli w celu budowy przejścia łączącego.

Do zalet technologii TIMBY należy niewątpliwie brak zakłóceń w ruchu stat-



Ryc. 14. Przykładowe kształty tuneli możliwe do wbudowania w technologii TIMBY: a) dwa równoległe prowadzone tunele, po dwa pasy ruchu każdy, b) jeden tunel z trzema pasami ruchu, c) jeden tunel z dwoma pasami ruchu [1]

ków w czasie budowy tunelu. W porównaniu do technologii tuneli zatopianych TIMBY nie potrzebuje skomplikowanych połączeń tunelu z powierzchnią terenu, ponieważ budowa tunelu rozpoczyna się i kończy na powierzchni terenu. Natomiast w technologii tuneli zatopianych niezbędne jest wykonanie połączenia zatopionych elementów tunelu z poziomem terenu, zazwyczaj realizowane w technologii tarczowej (np. budowa tunelu kolejowego pod cieśniną Bosfor) lub wykopowej. TIMBY charakteryzuje się również niewielkim placem budowy, krótszym o ok. 15% czasem realizacji i o 30% mniejszą ilością urobionego gruntu w stosunku do technologii tuneli zatopianych. Dodatkowo technologia ta ma niewielki wpływ na środowisko. Można budować nią tunele o różnych wymiarach i podziale sekcji (ryc. 14).

### Podsumowanie

Zastosowanie urządzeń tarczowych o przekrojach niekołowych zapewnia wbudowanie tuneli o bardziej ekonomicznym kształcie przekroju poprzecznego. Przekrój taki pozwala na zmniejszenie niewykorzystanej przestrzeni w przekroju w tunelach kolejowych i drogowych, w przeciwieństwie do tuneli wbudowywanych przy pomocy urządzeń tarczowych o kołowym przekroju tarczy. Urządzenia tarczowe o przekroju niekołowym pozwalają na wbudowanie obok siebie dwóch lub trzech tuneli jednocześnie, podczas gdy przy drążeniu osobnych tuneli z zastosowaniem tradycyjnych tarcz kołowych konieczne jest zachowanie minimalnych odległości pomiędzy tymi tunelami.

### Literatura

1. Herrenknecht – materiały informacyjne.
2. <http://www.herrenknecht.com/process-technology/research-development/timby.html>
3. <http://www.shield-method.gr.jp/english/dot/index.html>
4. <http://www.shield-method.gr.jp/english/dplex/index.html>
5. <http://www.shield-method.gr.jp/english/jiyu/index.html>
6. <http://www.shield-method.gr.jp/english/mf/index.html>
7. Zwierzchowska A., Mogielska M.: *Rekordowy tunel w Szanghaju*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2008, nr 1 (16), s. 14–15.
8. Zwierzchowska A., Radomska M.: *Tunel pod cieśniną Bosfor*. „Inżynier Budownictwa” 2008, nr 7/8, s. 68–71.