

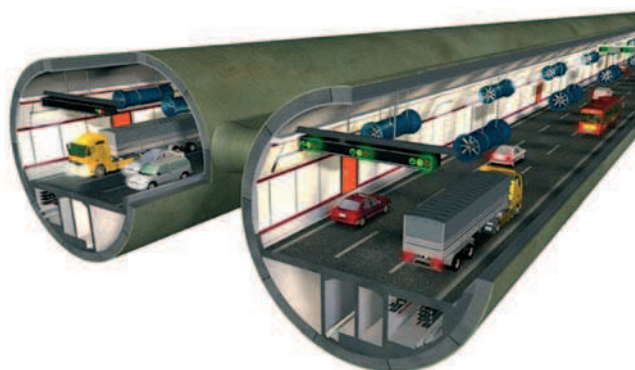
# Niekonwencjonalne urządzenia tarczowe do tunelowania

Dr inż. Agata Zwierzchowska, Politechnika Świętokrzyska, Kielce

## 1. Wprowadzenie

Początek metod tarczowych budowy tuneli podziemnych datuje się na pierwszą połowę wieku XIX, kiedy to w 1818 roku lord Marc Isambard Brunel opatentował opracowaną przez siebie technologię tarczową. Zastosował ją po raz pierwszy w 1825 roku do budowy tunelu komunikacyjnego pod Tamizą w Londynie. W technologii tej urabianie gruntu i wbudowywanie tunelu odbywa się pod osłoną cylindrycznej powłoki stalowej zwanej tarczą. Urządzenie to przemieszczane jest do przodu, w miarę postępu robót ziemnych i wykonywania stałej obudowy tunelu, za pomocą siłowników hydraulicznych rozpierających się o wbudowany tunel.

Szybki rozwój urządzeń tarczowych stosowanych do drążenia tuneli podziemnych doprowadził do opracowania urządzeń o bardzo dużych średnicach, nawet powyżej 15 m, np. urządzenie zastosowane w 2006 roku do budowy tunelu pod rzeką Jangcy w Szanghaju miało średnicę 15,43 m [9]. Jednakże stosując przekroje kołowe urządzeń tarczowych duża część przekroju poprzecznego wbudowanego tunelu jest niewykorzystana (rys. 1). 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



**Rys. 1.** Przekrój przez tunel pod rzeką Jangcy w Szanghaju [1]

one aż tyle miejsca. Wiele spośród podziemnych tuneli komunikacyjnych budowanych jest jako dwa równoległe prowadzone tunele. Aby je wbudować za pomocą 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 do wbudowania tuneli 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. W artykule tym, oprócz metod umożliwiających wbudowanie tuneli podziemnych o niekołowych przekrojach poprzecznych, zostanie również omówiona metoda mechanicznego łączenia urządzeń tarczowych

oraz urządzenie tarczowe powiększające. Metody te nie były jeszcze dotychczas zastosowane w Polsce i posiadają tylko nazwy angielskie.

## 2. Metoda DOT

Jedną z metod umożliwiających wbudowanie tuneli o złożonych kształtach przekroju poprzecznego jest metoda DOT, której nazwa pochodzi od angielskich słów Double-O-Tube (pol. rura podwójne O). Metoda ta pozwala na wykonanie obok siebie dwóch tuneli jednocześnie, podczas gdy przy drążeniu osobnych tuneli koniecz-



**Rys. 2.** Urządzenie DOT wykorzystane do budowy tunelu w dzielnicy Ariake – kita w obszarze metropolii Tokio [2]

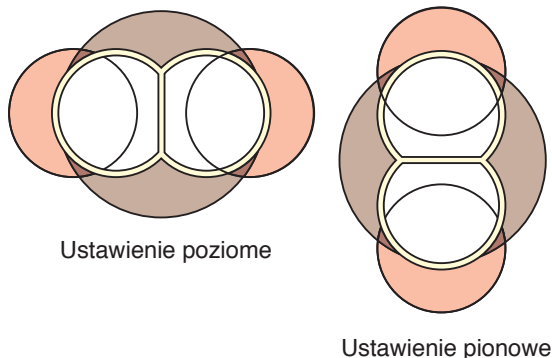


**Rys. 3.** Urządzenie DOT wykorzystane do budowy odcinka Chayagasaka miejskiej linii metra w Nagoi [2]



**Rys. 4.** Tunel kolejowy linii Hiroshima Astram wbudowany przy użyciu metody DOT, podparty w środku przekroju słupami [2]

ne byłoby zachowanie minimalnych odległości pomiędzy budowanymi tunelami. Tunel w tej technologii jest wykonywany w formie pionowych lub poziomych podwójnych przekrojów kołowych częściowo na siebie zachodzących. Urządzenie tarczowe składające się z dwóch cylindrycznych powłok (rys. 2) jest przeciskane w gruncie tak jak w klasycznej metodzie tarczowej za pomocą siłowników hydraulicznych. Siłowniki te rozpierają



**Rys. 5.** Przekroje tunelu wbudowanego metodą DOT, w ustawieniu poziomym i pionowym (kolor biały) oraz odpowiadające im przekroje tuneli wbudowane klasycznymi urządzeniami tarczowymi o przekroju kołowym (kolor beżowy i pomarańczowy) [2]

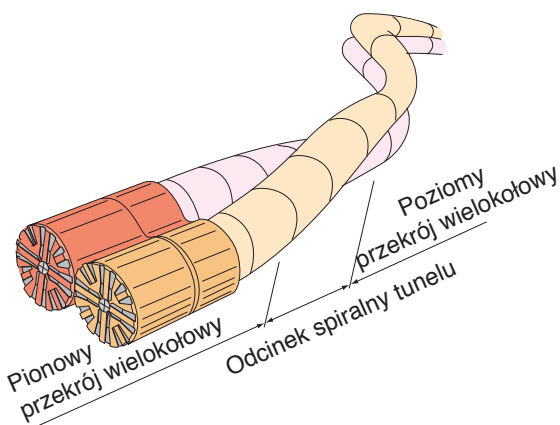
się o wbudowany odcinek tunelu. Elementy urabiające grunt (na rys. 3 pomalowane na niebiesko) obracają się w przeciwnych kierunkach, aby uniknąć wzajemnego zderzenia i uszkodzenia, są sterowane synchronicznie.

Ze względów statycznych konieczne jest wykonanie podparcia wbudowanego tunelu słupami w miejscu przenikania się przekrojów kołowych (rys. 4).

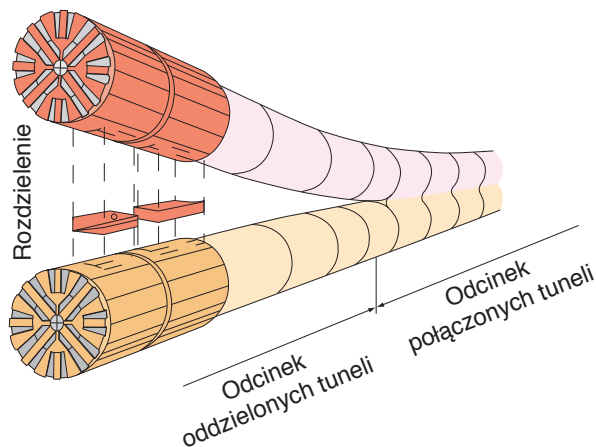
Zaletą budowy tuneli metodą DOT jest fakt, iż wydrążony tunel zajmuje mniejszą przestrzeń w porównaniu z tunelami wbudowanymi klasycznymi urządzeniami tarczowymi o przekroju kołowym. Na rysunku 5, w kolorze białym, przedstawiono przekroje tunelu wbudowanego w tej technologii, w ustawieniu poziomym i pionowym, w kolorze beżowym i pomarańczowym przedstawiono przekroje tunelu jakie należałoby wykonać stosując klasyczne urządzenia tarczowe o przekroju kołowym.

### 3. Metoda Horizontal and Vertical Variation

Tunele o przekroju podwójnego koła można wbudowywać stosując również metodę tarczową Horizontal and Vertical Variation (pol. wariant poziomy i pionowy). W metodzie tej do budowy tunelu stosowane jest urządzenie tarczowe składające się z dwóch członów połączonych ze sobą specjalnym systemem krzyżowego łączenia przegubowego. Połączenie to umożliwia dowolne sterowanie kierunkiem wbudowywanego tunelu oraz ustawieniem obu urządzeń tarczowych względem siebie, co w rezultacie umożliwia zmianę kształtu przekroju wielokołowego tunelu z ustawienia poziomego na pionowe i odwrotnie (rys. 6). Zastosowanie tej metody pozwala również na rozdzielenie urządzenia tarczowego pod powierzchnią ziemi. Umożliwia to budowę oddzielnych tuneli bez konieczności



**Rys. 6.** Zmiana przekroju wielokołowego od ustawienia pionowego do poziomego [5]



**Rys. 7.** Rozdzielenie urządzenia tarczowego na dwa oddzielne [5]



Rys. 8. Segment zintegrowany [5]

ści wykonania szybu pionowego, w którym dokonano by rozdzielania urządzeń tarczowych lub ich wymiany na dwa oddzielne urządzenia (rys. 7).

Obudowa tuneli na odcinkach, gdzie dwa tunele są połączone i skręcone, jest wykonywana przy użyciu zintegrowanych segmentów (rys. 8). Natomiast na odcinkach gdzie dwa tunele są wbudowywane osobno, stosowane są tradycyjne segmenty obudowy.

Metodę tę zastosowano między innymi do budowy kolektora kanalizacyjnego Minami-dai w Japonii. Kolektor ten był zaprojektowany o przekroju podwójnego koła (w ustawieniu pionowym) na odcinku 154 m, a następnie rozdzielął się na dwa osobne kolektory. Wbudowano go stosując urządzenie Horizontal and Vertical Variation pokazane na rysunku 9. Tarcza górna miała średnicę 3,29 m, natomiast tarcza dolna 2,89 m.



Rys. 9. Urządzenie tarczowe zastosowane do budowy kolektora kanalizacyjnego Minami - dai w Tokio [5]

#### 4. Metoda tarczy wielokołowej

Kolejną metodą umożliwiającą wbudowywanie tuneli o złożonych kształtach przekroju poprzecznego jest metoda tarczy wielokołowej (ang. Multi-circular Face Shield Method). Tarcze urabiające grunt, umieszczone w części czołowej



Rys. 10. Niewspółpłaszczyznowe ułożenie tarcz urabiających grunt (na zdjęciu pomalowane w kolorze żółtym) w urządzeniu do tunelowania metodą tarczy wielokołowej [7]

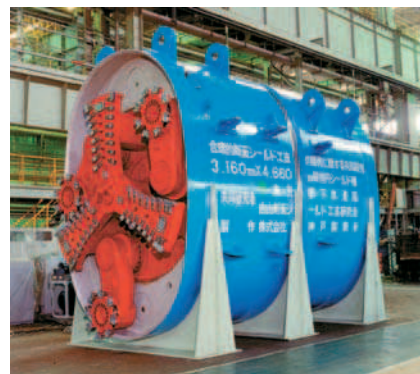


Rys. 11. Urządzenie do tunelowania metodą tarczy wielokołowej składające się z trzech segmentów [7]

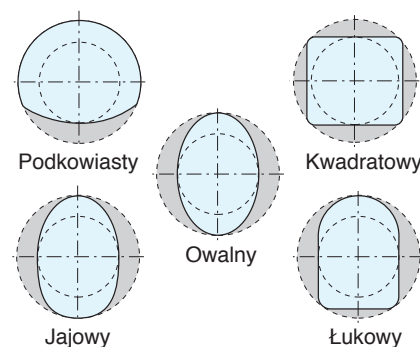
urządzenia tarczowego, są ułożone względem siebie niewspółpłaszczyznowo (rys. 10). Częściowo zachodzą na siebie co pozwala na drążenie tuneli o różnych przekrojach. Urządzenie tarczowe może składać się z dwóch lub nawet trzech segmentów (rys. 11).

#### 5. Metoda JIYU – DAMMEN

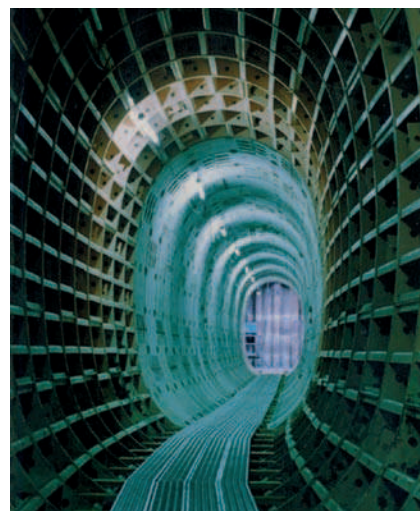
Różne kształty przekrojów poprzecznych tuneli można również wbudować stosując metodę tarczowego drążenia tuneli JIYU – DAMMEN (ang. JIYU-DAMMEN Shield Tunneling Method). W metodzie tej stosowane jest urządzenie tarczowe z głowicą wielonożową



Rys. 12. Urządzenie tarczowe JIYU – DAMMEN [6]



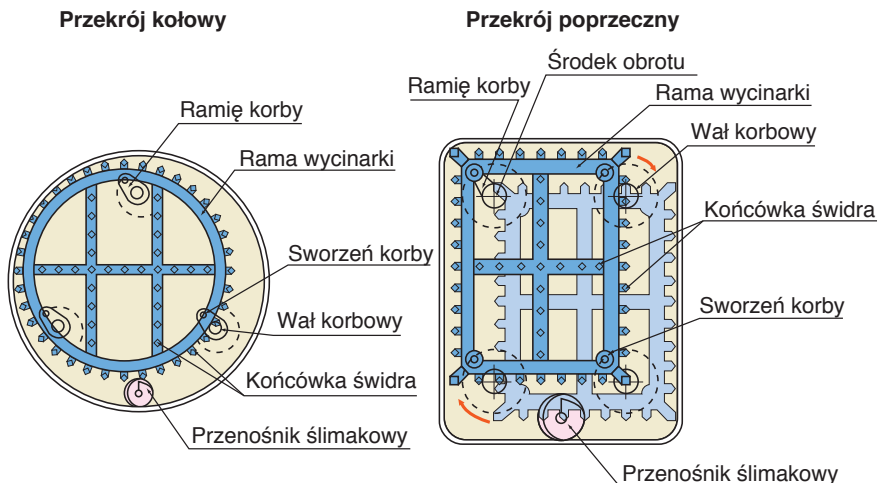
Rys. 13. Kształty przekroju poprzecznego tuneli, możliwe do wbudowania metodą JIYU – DAMMEN [6]



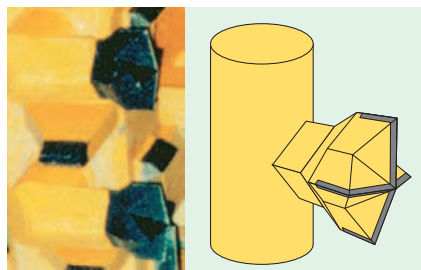
Rys. 14. Wnętrze budowanego kolektora kanalizacyjnego Shin-ohmori metodą JIYU – DAMMEN [6]

oraz planetarnymi nożami tnącymi (rys. 12).

Główny element drążący – głowica wielonożowa urabia grunt drążąc tunel o przekroju kołowym, a planetarne noże tnące drążą tunel na otaczających go powierzchniach, przy czym noże



Rys. 15. Elementy urządzenia tarczowego DPLEX [3]



Rys. 16. Świder krzyżowy [3]



Rys. 17. Urządzenie DPLEX zastosowane do budowy kolektora kanalizacyjnego Kikutagawa w Narashino [3]

obracają się po powierzchni czołowej tarczy ograniczonej specjalnym pierścieniem, zlicowanym z zewnętrzną powłoką urządzenia tarczowego. Orbita planetarnych elementów drążących może być dowolnie zmieniana przez regulację kąta uchylnych ramion, na których są zamocowane. Dzięki temu w łatwy sposób można tworzyć różne przekroje takie, jak kwadratowy, owalny, łukowy, podkowiasty i jajowy. Na rysunku 13 pokazano różne kształty przekroju poprzecz-

nego tuneli możliwe do zrealizowania metodą JIYU – DAMMEN. Wewnątrz przekrojów, linią przerywaną zaznaczono przekrój kołowy drążony głowicą wielonożową, natomiast kolorem szarym zaznaczono przekrój kołowy tunelu jaki należałoby wykonać stosując tradycyjną metodę tarczową. Na rysunku 14 pokazano wnętrze budowanego kolektora kanalizacyjnego Shin-ohmori metodą JIYU – DAMMEN.

### 6. Metoda DPLEX

W metodzie DPLEX (ang. Developing Parallel Link Excavation) drążenie tunelu odbywa się za pomocą głowicy wielonożowej, mającej taki sam kształt przekroju poprzecznego jak wbudowywany tunel i urządzenie tarczowe, ale nieco mniejsze wymiary. Głowica

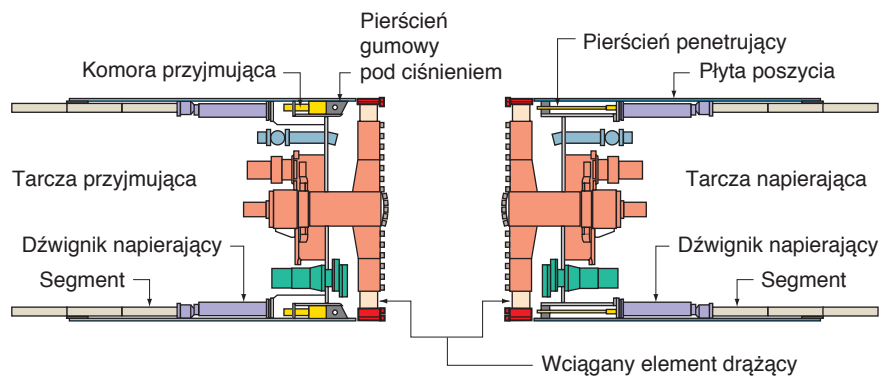
wielonożowa zamontowana jest na czole urządzenia tarczowego za pomocą wałów korbowych (rys. 15). Głowica ta urabia grunt obracając się wzdłuż wewnętrznej powierzchni pierścienia prowadzącego. Pierścień ten, podobnie jak w urządzeniu JIYU-DAMMEN, znajduje się w części czołowej urządzenia i jest zlicowany z jego zewnętrzną powłoką.

W metodzie tej stosowane są elementy urabiające grunt w postaci świdrów krzyżowych (rys. 16). Umożliwiają one urabianie gruntu we wszystkich kierunkach w czasie obrotu głowicy wielonożowej.

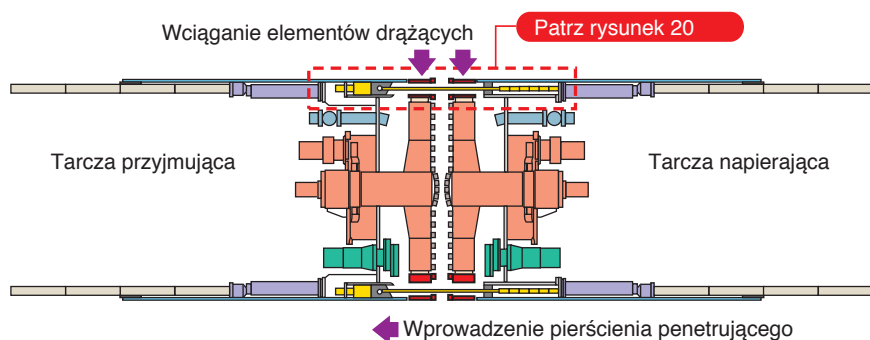
Na rysunku 17 pokazano urządzenie tarczowe DPLEX zastosowane do budowy 18. odcinka kolektora kanalizacyjnego Kikutagawa w Narashino. Szerokość wbudowanego kolektora tą metodą wynosiła 4,38 m, natomiast wysokość: 3,98 m.

### 7. Metoda mechanicznego łączenia urządzeń tarczowych MSD

Metoda mechanicznego łączenia urządzeń tarczowych MSD (ang. Mechanical Shield Docking Method) polega na drążeniu tunelu podziemnego za pomocą dwóch urządzeń tarczowych (tarcz) przemieszczających się naprzeciw siebie (rys. 18). Jedno z urządzeń, tzw. urządzenie napierające wyposażone jest w jego części czołowej w wysuwany, stalowy pierścień penetrujący. Po wbudowaniu tuneli, w miejscu spotkania urządzeń



Rys. 18. Urządzenia tarczowe podczas budowy tunelu [8]



**Rys. 19.** Łączenie urządzeń tarczowych przez wprowadzenie pierścienia penetrującego do komory przyjmującej [8]

tarczowych pierścieni ten jest wysuwany z urządzenia napierającego i wciskany w szczelinę pierścieniową znajdującą się w urządzeniu przyjmującym (rys. 19 i 20). Następnie oba urządzenia tarczowe zostają rozmontowane i usunięte z wnętrza wbudowanego tunelu. Pozostają w nim tylko elementy połączenia. W miejscu połączenia włączana jest mieszanka iniekcyjna, która po zastygnięciu wypełnia i uszczelnia wykonane połączenie (rys. 21).

Metoda ta stosowana jest przede wszystkim w celu skrócenia czasu budowy tunelu. Drążenie tunelu odbywa się bowiem przy pomocy dwóch urządzeń tarczowych i nie ma konieczności budowy szybu odbiorczego w miejscu spotkania i połączenia tarcz celem wydobywania urządzeń na powierzchnię terenu. Urządzenia tarczowe MSD zastosowano, między innymi, do budowy gazociągu dla nowej elektrociepłowni w Nagoi (rys. 22). Średnica wbudowanego gazociągu wynosiła 4100 mm, a jego długość 1515 m, przy czym 707 m wbudowano urządzeniem napierającym, a 808 m urządzeniem przyjmującym.



**Rys. 21.** Przekrój przez połączenie tuneli po rozmontowaniu i usunięciu elementów urządzeń tarczowych oraz po wykonaniu okładziny betonowej tunelu [8]

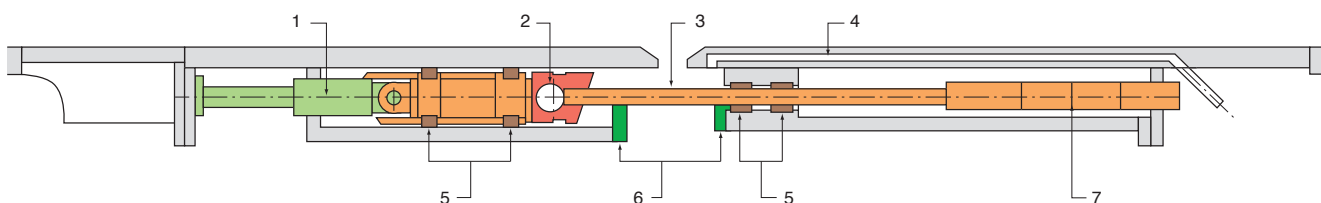


**Rys. 22.** Urządzenia użyte do budowy gazociągu dla nowej elektrociepłowni w Nagoi (urządzenie napierające z wysuniętym pierścieniem pokazano po lewej stronie, a urządzenie przyjmujące po prawej stronie) [8]

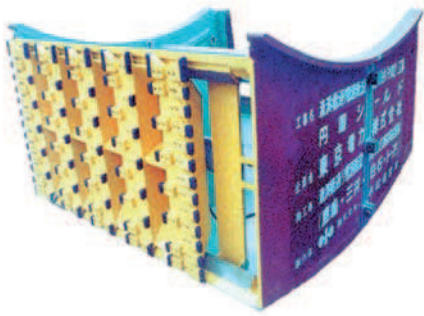
## 8. Powiększające urządzenie tarczowe

Powiększające urządzenie tarczowe służy do zwiększania średni-

cy tuneli istniejących wbudowanych metodami tarczowymi. Powiększenie średnicy tunelu można rozpocząć od dowolnego punktu tunelu i realizować go na dowolnej długości. Za pomocą tarczy powiększającej można również zwiększyć średnicę istniejącego tunelu niewspółosiowo. Tarczę tę można również zastosować do wymiany tunelu będącego w złym stanie technicznym, powiększając jednocześnie jego średnicę.



**Rys. 20.** Powiększony widok łączenia urządzeń tarczowych [8]; 1 – dźwignik ciągnący, 2 – pierścień gumowy pod ciśnieniem, 3 – wysuwany pierścień penetrujący, 4 – rura iniekcyjna wstrzykująca wypełnienie, 5 – uszczelka, 6 – płyta stalowa zamknięta, 7 – pręt napierający

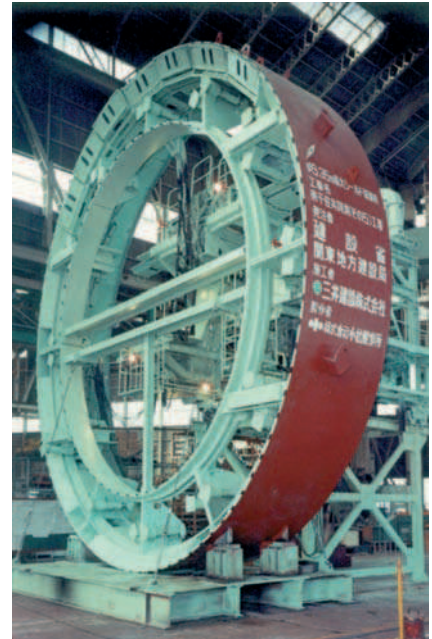


**Rys. 23.** Obwodowe urządzenie tarczowe [4]

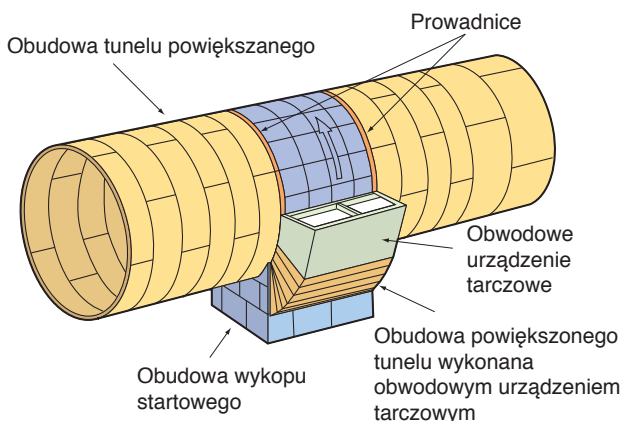
ustawiane jest obwodowe urządzenie tarczowe (rys. 23), które urabia grunt wokół powierzchni zewnętrznej istniejącego tunelu. Jednocześnie wydrążony otwór obudowywany jest segmentami (rys. 24). Obwodowe urządzenie tarczowe przeciskane jest

w gruncie za pomocą siłowników hydraulicznych rozporających się najpierw o obudowę wykopu, a następnie o wbudowane segmenty obudowy.

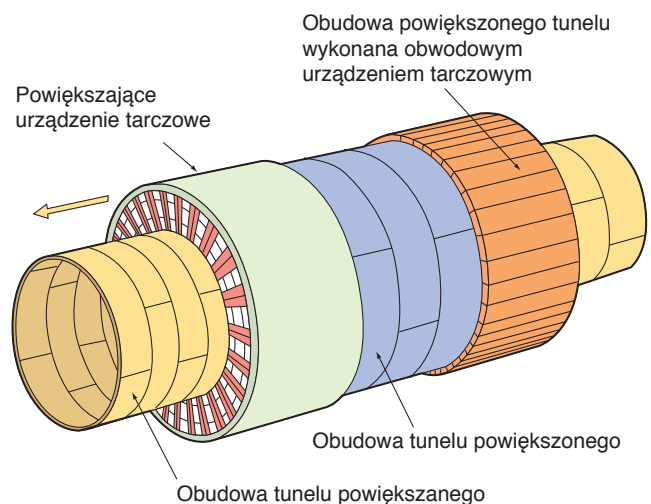
W kolejnym etapie robót usuwane są segmenty poszerzanego tunelu, na szerokości wykonanego poszerzenia. Do poszerzonej przestrzeni tunelu wprowadza się powiększające urządzenie tarczowe (rys. 25). Urządzenie to (rys. 26) urabia grunt wokół zewnętrznej powierzchni powiększanego tunelu. Bezpośrednio za tarczą urabiającą wykonywana jest obudowa poszerzonego tunelu (rys. 27), a segmenty obudowy poszerzanego tunelu są rozmontowywane. Na rysunku 28 pokazano powiększające urządzenie tarczowe w czasie pracy w tunelu.



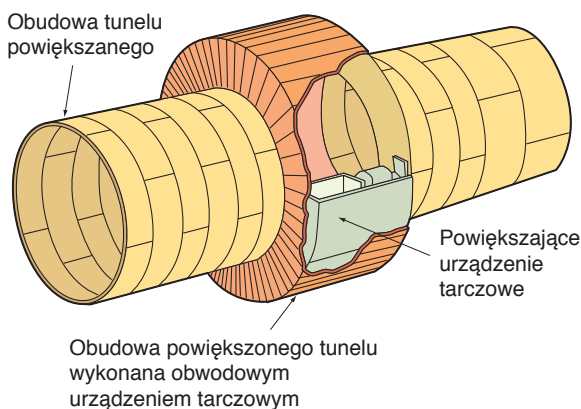
**Rys. 26.** Powiększające urządzenie tarczowe [4]



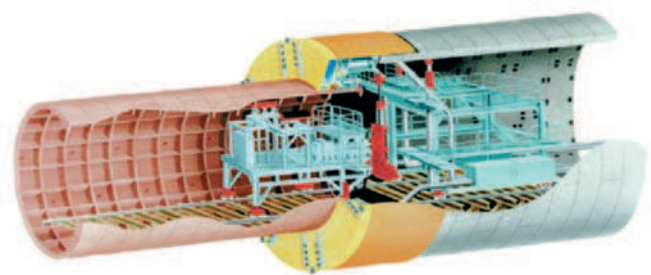
**Rys. 24.** Rozpoczęcie poszerzania tunelu obwodowym urządzeniem tarczowym z obudowanego wykopu startowego [4]



**Rys. 27.** Zwiększanie średnicy tunelu za pomocą powiększającego urządzenia tarczowego [4]



**Rys. 25.** Instalacja powiększającego urządzenia tarczowego w poszerzonym przekroju tunelu [4]



**Rys. 28.** Powiększające urządzenie tarczowe w czasie pracy w tunelu [4]

**Tabela 1.** Przykładowe zastosowania tarczy powiększającej [4]

Zastosowanie	Średnica zewnętrzna [mm]		Długość [m]
	tunelu powiększanego	tunelu powiększonego	
Tunel dla przewodów kablowych	6 600	7 800	24,10
Tunel wieloprzewodowy	6 600	9 200	29,50
Kolektor kanalizacyjny	6 000	8 709	11,30
	2 000	3 150	2,60

W tabeli 1 zamieszczono przykładowe zastosowania tarczy powiększającej.

## 9. Podsumowanie

Zastosowanie niekonwencjonalnych urządzeń tarczowych w tunelowaniu niesie za sobą wiele wymiernych korzyści. Stosując tarcze niekołowe można wbudować tunel o przekroju efektywniejszym niż wbudowany z zastosowaniem tarczy kołowej. Zastosowanie metody mechanicznego łączenia urządzeń tarczowych eliminuje

wykonywanie kosztownych wykopów pośrednich. Natomiast wykorzystanie urządzenia powiększającego daje możliwość zwiększenia średnicy tunelu istniejącego lub jego wymiany w przypadku złego stanu technicznego. Eliminuje to konieczność budowy nowego tunelu o większej średnicy przebiegającego zazwyczaj w nowej trasie. W Europie urządzenia te nie są jednak rozpowszechnione, przede wszystkim ze względu na ich znaczny koszt i brak powtarzalności realizowanych projektów. Urządzenia te stosowane są

przede wszystkim w Japonii, gdzie ze względu na gęstą infrastrukturę naziemną i podziemną, często do budowy przewodów podziemnych i tuneli stosowane są metody tarczowe.

## BIBLIOGRAFIA

1. <http://www.herrenknecht.de>
2. <http://www.shield-method.gr.jp/english/dot/index.html>
3. <http://www.shield-method.gr.jp/english/dplex/index.html>
4. <http://www.shield-method.gr.jp/english/enlarg/index.html>
5. <http://www.shield-method.gr.jp/english/hv/index.html>
6. <http://www.shield-method.gr.jp/english/jiyu/index.html>
7. <http://www.shield-method.gr.jp/english/mf/index.html>
8. <http://www.shield-method.gr.jp/english/ms/index.html>
9. Zwierzchowska A., Mogielska M., Rekordowy tunel w Szanghaju. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne 2008, nr 1(16), s. 14-15

Z głębokim żalem zawiadamiamy, że w wieku 94 lat zmarł

## Prof. Jan Suwalski

Członek Honorowy

Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa.

Wybitny działacz społeczny Oddziału we Wrocławiu.

Profesor Politechniki Wrocławskiej – specjalista konstrukcji z betonu zbrojonego i sprężonego oraz elementów prefabrykatowych.

Wychowawca wielu pokoleń inżynierów budownictwa.

Redaktor techniczny Przeglądu Budowlanego, organizator Zespołu Rzeczoznawców PZITB.

Uhonorowany Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski,

Złotymi Odznakami PZITB i NOT, Złotą Odznaką Politechniki Wrocławskiej.

Był wzorowym Kolegą, cieszącym się autorytetem w środowisku budowlanym.

Pozostanie na zawsze w naszej pamięci i naszych sercach.

Rodzinie Zmarłego

składamy wyrazy głębokiego współczucia

Przewodniczący PZITB

Koleżanki i Koledzy