



TOMASZ SIWOWSKI

Politechnika Rzeszowska  
siwowski@prz.edu.pl  
ORCID: 0000-0002-2003-000X

## Polskie tunele drogowe: przegląd konstrukcji i technologii budowy

### Założenia do przeglądu

Tunele drogowe zaczęto budować w Polsce dopiero w XXI w., tj. w okresie ostatnich 20 lat. Tunele to bardzo kosztowne i skomplikowane inwestycje, dlatego mogą sobie na nie pozwolić jedynie kraje posiadające odpowiedni potencjał gospodarczy, dobrze przygotowane kadry inżynierskie oraz specjalistyczny sprzęt. Polska dopiero dzięki akcesji do Unii Europejskiej i związanymi z tym funduszami strukturalnymi uzyskała możliwości finansowe do budowy tuneli, a wraz z tym nastąpił transfer nowoczesnych technologii budowy tuneli. Szczególnie w ostatnich latach nasz kraj stał się jednym z największych „tunelowych placów budowy” w Europie, pomimo że Polska nie należy do krajów ze szczególnymi potrzebami terenowymi w tym zakresie. Ponieważ jednak tunele stały się również skutecznym i modnym sposobem na rozwiązywanie problemów środowiskowych towarzyszących budowie nowych dróg, ich liczba w Polsce stale rośnie. Dodatkowymi argumentami do budowy tuneli, zwłaszcza w dużych miastach, są także: redukcja hałasu komunikacyjnego, brak potrzeby zajmowania / kupowania terenu pod inwestycję, brak ingerencji w istniejącą zabudowę i zagospodarowanie terenu itp.

Polskie tunele drogowe scharakteryzowane w artykule to zarówno tunele miejskie, jak również pozamiejskie. Do przeglądu przyjęto jako kryterium minimalną długość tunelu 500 m, należy jednak pamiętać, że istnieje dość duża liczba tuneli drogowych o mniejszej długości. Ponieważ problematyka techniczna związana z budową małych tuneli znacząco się różni od konstrukcji i technologii opisanych poniżej, nie łączono tych konstrukcji w jednym przeglądzie. Przedstawiono tunele wybudowane w Polsce od 2003 r. i planowane

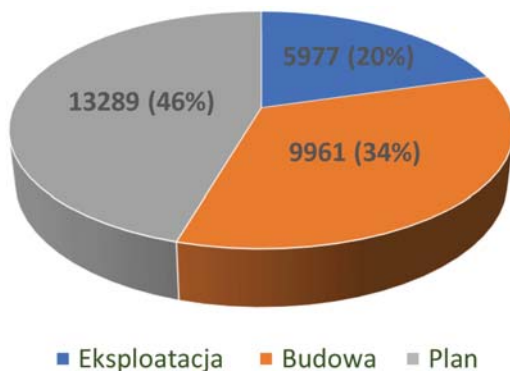
do budowy do końca 2026 r. (wg planów inwestorów). Łączna długość objętych przeglądem polskich tuneli drogowych wynosi ok. 30 km, z czego tylko 20% jest już w eksploatacji, 34% w budowie i aż 46% jest dopiero w planach (rys. 1). Zakres przeglądu ograniczono do technologii wykonania tuneli i związanych z nimi rozwiązań konstrukcyjnych. Przegląd nie obejmuje bardzo ważnych w przypadku tuneli aspektów związanych z ich wyposażeniem, bezpieczeństwem pożarowym i zarządzaniem ruchem w tunelu.

### Charakterystyka polskich tuneli drogowych

Charakterystykę polskich tuneli drogowych pokazano w tabelach 1, 2 i 3 w podziale kolejno na tunele eksploatowane, budowane i planowane. Każda z tabel, oprócz informacji lokalizacyjnych i parametrów geometrycznych, zawiera także informację o technologii budowy tunelu, rok jego powstania oraz nazwę inwestora odpowiedzialnego za budowę i zarządzanie tunelem. Tunele zestawiono w kolejności chronologicznej budowy tuneli (lub planu budowy), zachowując ciągłość liczby porządkowej w poszczególnych tabelach. Podano także źródła podstawowych informacji dotyczących poszczególnych tuneli.

Jak wynika z zestawienia w tabeli 1, do grudnia 2021 r. w Polsce były tylko 4 duże tunele drogowe, z czego trzy zostały zbudowane przez samorządy miejskie. Aż dziwne, że w ciągu pierwszych 20 lat XXI w. GDDKiA, największy krajowy zarządca i inwestor drogowy, zbudowała tylko jeden i to jednonawowy tunel w Lalikach. Kolejny tunel drogowy zarządca dróg krajowych zbudował dopiero po 10 latach (tunel w ciągu POW w Warszawie). Jednakże trzecia dekada XXI w. jeżeli chodzi o budowę tuneli, bez wątpienia będzie należeć do GDDKiA. Świadczy to m.in. o zmianie świadomości polskiego społeczeństwa jako głównego interesariusza inwestycji drogowych, a także nastawienia GDDKiA w stosunku do tuneli jako alternatywnego (choć drogiego) sposobu realizacji dróg ekspresowych. Nie bez znaczenia jest także dostępność w Polsce głównych technologii tunelowych oraz zdobyte w ostatnich latach kompetencje i doświadczenie firm budowlanych w zakresie inwestycji tunelowych.

Zakładając, że GDDKiA zrealizuje wszystkie swoje plany tunelowe, w roku 2026 w Polsce będzie eksploatowanych 20 dużych tuneli drogowych o łącznej długości ok. 30 km. Ponad 80% z tej długości należeć będzie do tuneli pozamiejskich, zarządzanych przez GDDKiA. Resztą (ok. 20%) będą zarządzać samorządy dużych miast (Warszawa, Katowice, Gdańsk, Kraków), z wyjątkiem tunelu w ciągu Południowej



Rys. 1. Łączna długość polskich tuneli drogowych (w metrach) w podziale na aktualny stan ich realizacji

Tabela 1. Zestawienie eksploatowanych polskich tuneli drogowych o długości ponad 500 m

Lp.	Nazwa tunelu	Lokalizacja, ciąg drogowy	Długość (m)	Szerokości użytkowe	Metoda budowy	Rok budowy	Inwestor	Źródła
1	Tunel w ciągu Wisłostrazy	Warszawa, droga wojewódzka nr 724	930 / 889	2 nawy × 3 pasy ruchu po 3,5 m	metoda stropowa z zastosowaniem ścian szczelinowych	2003	miasto Warszawa	[1]
2	Tunel Katowicki (pod Rondem gen. J. Ziętka)	Katowice, droga krajowa nr 79	657 / 650	2 nawy × 3 pasy ruchu po 3,5 m	metoda stropowa z zastosowaniem ścian szczelinowych	2006	miasto Katowice	[2]
3	Tunel Emilia	Laliki, droga ekspresowa S1	678	1 nawa × 2 pasy ruchu po 3,5 m	metoda górnicza NATM, metoda stropowa (częściowo)	2010	GDDKiA	[3], [4]
4	Tunel pod Martwą Wisłą (Trasa Sucharskiego)	Gdańsk, droga krajowa nr 89	1377,5	2 nawy × 2 pasy ruchu po 3,5 m	metoda TBM	2016	miasto Gdańsk	[5], [6]
5	Tunel w ciągu POW (Południowa Obwodnica Warszawa)	Warszawa, droga ekspresowa S2	2335	2 nawy × 3 pasy ruchu po 3,5 m	metoda stropowa z zastosowaniem ścian szczelinowych	2021	GDDKiA	[7]

Tabela 2. Zestawienie budowanych polskich tuneli drogowych o długości ponad 500 m (sierpień 2022 r.)

Lp.	Nazwa tunelu	Lokalizacja, ciąg drogowy	Długość (m)	Szerokości użytkowe	Metoda budowy	Rok	Inwestor	Źródła
6	Tunel pod masywem Luboń Mały	Naprawa, droga ekspresowa S7	2058	2 nawy × 3 pasy ruchu po 3,5 m	metoda górnicza ADECO-RS	2022	GDDKiA	[8], [9]
7	Tunele w ciągu Trasy Łągowickiej (III obwodnica)	Kraków	626 (TD-04)	2 nawy × 3 pasy ruchu po 3,5 m	metoda stropowa z zastosowaniem ścian szczelinowych	2022	miasto Kraków	[10], [11]
8			522 (TD-10)	2 nawy × 3 pasy ruchu po 3,5 m	betonowanie monolityczne w wykopie otwartym			
9	Tunel pod Świną	Świnoujście, droga krajowa nr 3	1485	1 nawa × 2 pasy ruchu po 3,5 m	metoda TBM	2022	miasto Świnoujście	[12], [13], [14]
10	Tunel pod pasmem Gór Wałbrzyskich	Stare Bogaczowice, droga ekspresowa S3	2300 (T-26)	2 nawy × 2 pasy ruchu po 3,5 m	metoda górnicza NATM	2023	GDDKiA	[15], [16], [17]
11	Tunele w ciągu POK (Północna Obwodnica Krakowa)	Kraków, droga ekspresowa S52	653 (TS-04)	2 nawy × 3 pasy ruchu po 3,5 m	metoda stropowa z zastosowaniem ścian szczelinowych	2023	GDDKiA	[18], [19]
12			496 (TS-14)	2 nawy × 3 pasy ruchu po 3,5 m				
13	Tunele w ciągu obejścia Węgierskiej Górki	Milówka, droga ekspresowa S1	834 / 807 (TD-1)	2 nawy × 2 pasy ruchu po 3,5 m	metoda górnicza NATM	2023	GDDKiA	-
14			984 / 974 (TD-2)	2 nawy × 2 pasy ruchu po 3,5 m				

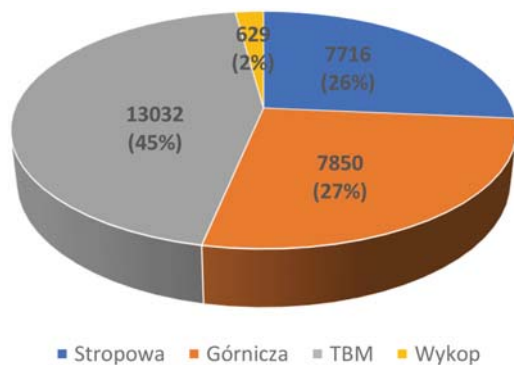
Tabela 3. Zestawienie planowanych polskich tuneli drogowych o długości ponad 500 m

Lp.	Nazwa tunelu	Lokalizacja, ciąg drogowy	Długość (m)	Szerokości użytkowe	Metoda budowy	Rok	Inwestor	Źródła
15	Tunel w ciągu Via Carpatii	Babica, droga ekspresowa S19	2252 (T-1)	2 nawy × 2 pasy ruchu po 3,5 m	metoda TBM	2025	GDDKiA	[20]
16	Tunele w ciągu Via Carpatii	Domaradz, droga ekspresowa S19	2918 / 2902 (T2)	2 nawy × 2 pasy ruchu po 3,5 m	metoda TBM	2026	GDDKiA	-
17			996 / 981 (T3)	2 nawy × 2 pasy ruchu po 3,5 m	metoda górnicza NATM			
18	Tunele w Warszawie (Bielany & Bemowo)	Warszawa, droga ekspresowa S7	1000	2 nawy × 4 pasy ruchu po 3,5 m	metoda stropowa z zastosowaniem ścian szczelinowych	2026	GDDKiA	-
19			1123	2 nawy × 4 pasy ruchu po 3,5 m				
20	Tunel w ciągu ZOS (Zachodnia Obwodnica Szczecina)	Szczecin, droga ekspresowa S6	~ 5000	2 nawy × 2 pasy ruchu po 3,5 m	metoda TBM	2026	GDDKiA	-

Obwodnicy Warszawy (Ursynów), który został zbudowany i będzie zarządzany przez GDDKiA. W budowie są obecnie 4 duże tunele (tabela 2), których termin oddania do eksploatacji przypada na przyszły rok (2023), natomiast w planach do 2026 r. dyrekcja dróg krajowych ma kolejne 6 tuneli (tabela 3). Spośród dużych miast tunele drogowe buduje obecnie tylko Kraków. Wyjątkiem i ewenementem w tym zestawieniu jest małe Świnoujście, które przy wsparciu organizacyjnym GDDKiA buduje obecnie duży tunel drogowy, łączący wyspy Wolin i Uznam.

Zdecydowana większość polskich tuneli drogowych jest budowana jako dwie niezależne konstrukcje (tunele dwunawowe), a w każdej z nich są minimum 2 pasy ruchu o szerokości po 3,5 m. Do wyjątków należą jedynie pierwszy tunel zamiejski zbudowany w Lalikach (w ciągu drogi ekspresowej S1) oraz tunel miejski w Świnoujściu. Wynika to oczywiście z przekroju użytkowego trasy drogowej, w ciągu której zlokalizowano tunel. W większości przypadków są to drogi ekspresowe (klasy S) lub obwodnice miejskie o przekroju użytkowym zbliżonym do drogi klasy S.

Parametry geometryczne tunelu (tj. długość i szerokość użytkowa), a także warunki geotechniczne w miejscu jego lokalizacji, decydują zazwyczaj o technologii wykonania tunelu (metodzie budowy) i związanym z nią rodzajem konstrukcji obudowy i jezdni tunelu. Tunele drogowe w Polsce budowano już wszystkimi trzema głównymi metodami: metodą stropową z zastosowaniem ścian szczelinowych, metodami górnictwymi, a ostatnio także metodą z użyciem specjalnych tarcz wiertniczych TBM (*tunnel boring machine*). Najczęściej do tej pory stosowano pierwszą z wymienionych metod, głównie z powodu lokalizacji tunelu w dużym mieście (oba tunele warszawskie i tunel w Katowicach), lecz dwie pozostałe metody też już były z sukcesem zastosowane w Polsce.



Rys. 2. Łączna długość polskich tuneli drogowych (w metrach) w podziale na technologie budowy

Jak wynika głównie z ogłoszonych planów GDDKiA, w ciągu najbliższych lat dominującą metodą budowy tuneli w Polsce będzie drażenie za pomocą tarcz TBM (rys. 2). Tarcza TBM zostanie wykorzystana do wydrążenia ponad 45% długości polskich tuneli drogowych, i to nie tylko – jak dotychczas – na terenach nadmorskich (Gdańsk, Świnoujście, Szczecin), lecz również na Podkarpaciu, w warunkach geologicznych tzw. fliszu karpackiego. Pozostałe dwie metody (stropowa i górnicza) będą wykorzystane w różnym stopniu

przy budowie pozostałych tuneli. Jak na razie tylko w jednym przypadku (tunel TD-10 w Krakowie) zastosowano dość nietypową metodę budowy, jaką jest betonowanie monolityczne konstrukcji tunelu w wykopie otwartym. Krótkie charakterystyki poszczególnych metod budowy i związanych z nimi konstrukcji polskich tuneli drogowych przedstawiono w dalszej części artykułu.

## Technologia wykonania i konstrukcja tuneli

### Metoda stropowa z zastosowaniem ścian szczelinowych

Metoda stropowa, często zwana również podstropową lub mediolańską, została po raz pierwszy zastosowana w latach 60 XX w. do budowy metra w Mediolanie. Metoda jest stosowana najczęściej w miastach do budowy płytkich tuneli w terenie zurbanizowanym. Praktycznie wszystkie polskie tunele drogowe budowane w dużych miastach (z wyjątkiem tunelu pod Martwą Wisłą w Gdańsku) budowane były, są lub będą tą metodą. Konstrukcja nośna tunelu to zazwyczaj dwunawowa rama żelbetowa, składająca się z trzech ścian połączonych monolitycznie płytowym rygłem żelbetowym, stanowiącym strop tunelu (rys. 3). Metoda stropowa jest często stosowana nie tylko do budowy tunelu, ale również do budowy ścian oporowych wzdłuż dojazdów do tunelu, gdzie jezdni drogowa się obniża. Budowa tunelu metodą stropową jest niezwykle efektywna w miastach, przede wszystkim ze względu na możliwość prowadzenia prac w pobliżu gęstej zabudowy mieszkalnej.



Rys. 3. Przekrój poprzeczny konstrukcji tunelu budowanego metodą stropową

Budowa tunelu rozpoczyna się od wykonania obwodowych ścian szczelinowych (zewnętrznych i wewnętrznej) wzdłuż tunelu (rys. 4). Ściany szczelinowe w części poniżej poziomu jezdni są jednocześnie fundamentem konstrukcji. Następnie wykonuje się oczepy (wieńce) wzdłuż górnych krawędzi ścian szczelinowych (rys. 5). Kolejno przygotowuje się podłoże gruntowe pod wykonanie płyty stropowej (najczęściej wylewa się 15 cm warstwę chudego betonu – rys. 6), która po zabetonowaniu pełni funkcję elementu rozporowego (rygla) ścian tunelu (rys. 7). W stropie pozostawia się tzw. otwory technologiczne, które służą do wybierania urobku spod płyty za pomocą koparek, ładowarek i transportu samochodowego (rys. 8). Po wybraniu urobku spod płyty usuwa się ze stropu warstwę chudego betonu, czyści odkryte powierzchnie ścian szczelinowych z warstwy



Rys. 4. Wykonywanie ścian szczelinowych [21]



Rys. 5. Zbrojenie i deskowanie wieńców ścian szczelinowych [21]



Rys. 6. Układanie warstwy betonu wyrównawczego pod płytę stropową [21]



Rys. 7. Betonowanie stropu tunelu [21]



Rys. 8. Wykop pod stropem tunelu [21]

ziemi, a następnie przygotowuje się podłoże pod płytę denną. Na płycie dennej układa się nawierzchnię drogową. Po wykonaniu konstrukcji i nawierzchni w tunelu rozpoczyna się montaż jego wyposażenia. W przypadku tunelu na Wi-

ślostradzie wykonano dodatkowo wannę żelbetową z wykorzystaniem betonu SCC, bez połączeń z pozostałymi elementami konstrukcyjnymi tunelu. Ponadto na stropie nad tunelem ułożono warstwę z lekkiego kruszywa keramzytowego Leca, która redukuje obciążenie stropu i zapewnia skuteczny drenaż.

### Metody górnicze

Górnice metody drążenia tuneli drogowych są stosowane głównie w Polsce południowej, w warunkach górskich. Tą metodą został wykonany pierwszy polski tunel drogowy w Lalikach, a aktualnie w budowie są trzy duże tunele drogowy pod masywem Luboń Mały w Małopolsce, w ciągu obejścia Węgierskiej Górki na Górnym Śląsku oraz pod pasmem Gór Wałbrzyskich na Dolnym Śląsku (tab. 2). Ze względu na dostępność tych technologii w Polsce, brak konieczności posiadania specjalistycznego sprzętu (np. tarczy), możliwość dostosowania i optymalizacji technologii do lokalnych warunków gruntowych oraz coraz większe do-

świadczenie polskich wykonawców, metody górnicze stają się powoli podstawową technologią drążenia tuneli w Polsce na drogach zamiejscowych. Jednakże należy także zaznaczyć, że w warunkach geologicznych Polski południowej, tj. we fliszu karpackim, praca przy drążeniu tunelu odbywa się w skrajnie ciężkich warunkach, tj. w górotworze zbudowanym w większości ze zwietrzelin skał, o niskiej wytrzymałości, silnie spękanym i zawilgoconym [22]. Wiąże się z tym bardzo duże ryzyko, co może prowadzić do poważnych awarii lub katastrof podczas budowy tunelu [23].

Przed rozpoczęciem drążenia tunelu metodą górniczą na jego portalach wykonuje się wykopy oraz wzmacnia skarpy, np. gwoździami gruntowymi i/lub betonem natryskowym (torkretem), zbrojeniem siatką lub obudową z mikropali (rys. 9). Drążenie tunelu metodą górniczą polega na odpajaniu górotworu metodą mechaniczną lub strzałową. W związku z dużą powierzchnią przekroju poprzecznego, tunel jest drążony zazwyczaj z podziałem na warstwy: najwyższa zwana jest kalotą, środkowa – sztrośą, oraz najniższa – spągiem. Wybór technologii drążenia jest uzależniony od występującego na danym obszarze górotworu. Do drążenia mechanicznego stosuje się młoty hydrauliczne na koparkach, dziobaki, wiertła, głowice skrawające (rys. 10).

Drążenie z zastosowaniem materiałów wybuchowych polega na wierceniu otworów w górotworze, ładowaniu do otworów materiałów wybuchowych i ich detonacji w odpowiedniej kolejności. Np. podczas budowy tunelu w ciągu drogi ekspresowej S3 aż 75% prac przy drążeniu jest wykonywanych z zastosowaniem metody strzałowej. Materiał skalny (urobek) pozostały po drążeniu lub detonacji usuwa się za pomocą np. taśmociągu. Przy drążeniu tunelu w górotworze, niezależnie od metody, należy tunel zabezpieczyć przed wodami podziemnymi.

Po wydrążeniu odcinka tunelu wykonuje się niekonstrukcyjną obudowę wstępną (rys. 11) w następujących fazach: ustawienie żeber w postaci łuków stalowych wraz z montażem siatki stalowej pomiędzy żebrami, natryskowe ułożenie warstwy betonu (torkretowanie) oraz ewentualne dodatkowe wzmocnienie górotworu za pomocą kotew gruntowych lub gwoździ. W zależności od odkształceń górotworu, które są stale monitorowane, jest dopasowany typ obudowy wstępnej i sposób zabezpieczenia drążonego otworu. Kolejno wykonuje się stałą obudowę konstrukcyjną, rozpoczynając od ułożenia warstwy hydroizolacji, poprzez montaż zbrojenia i betonowanie obudowy stałej, najczęściej z wykorzystaniem dekowań ślizgowych (rys. 12). Obudowa stała może być tak-



Rys. 9. Wzmocnienie portalu tunelu [24]



Rys. 10. Mechaniczne drążenie tunelu [24]



Rys. 11. Wykonywanie obudowy wstępnej [24]



Rys. 12. Wykonywanie obudowy stałej [24]

że wykonana z prefabrykatów żelbetowych, montowanych na kotwach umieszczonych w obudowie wstępnej. Podczas wykonywania obudowy stałej z betonu zbrojonego lub prefabrykatów jest kształtowany docelowy przekrój poprzeczny tunelu. Po zakończeniu montażu obudowy stałej tunelu wykonuje się płytę / nawierzchnię drogową oraz wyposażenie tunelu.

Metody górnicze mają wiele odmian. W Polsce zastosowano dotychczas dwie z nich: Nową Austriacką Metodę Tunelowania (NATM – *New Austrian Tunnelling Method*) oraz metodę analizy kontrolowanych odkształceń w skałach i gruntach (ADECO-RS – *Analysis of Controlled Deformation in Rocks and Soils*). Metoda NATM jest jedną z podstawowych metod górniczych budowy tuneli, opracowaną w 1948 r. przez prof. Ladislausa von Rabcewicza. NATM wykorzystuje naturalną wytrzymałość geologiczną w otaczającym górotworze w celu stabilizacji tunelu. Zachowanie się konstrukcji podczas budowy jest cały czas monitorowane, a wszystkie działania są koordynowane na podstawie obserwacji rzeczywistych warunków gruntowych i zachowania górotworu podczas drążenia. Metoda ADECO-RS opracowana przez włoskiego naukowca prof. Pietro Lunardiego jest oparta na tzw. krzywej reakcji masywu skalnego (GRC) i znajduje zastosowanie szczególnie w trudnych warunkach geomechanicznych, jakimi cechuje się flisz karpaccy. Opiera się ona na analizie odkształceń górotworu podczas drążenia, tj. na odpowiedzi deformacyjnej drążonego tunelu. Do określenia kategorii zachowania się przodka wykorzystuje się rdzenie pozyskane z odwiertów geologicznych.

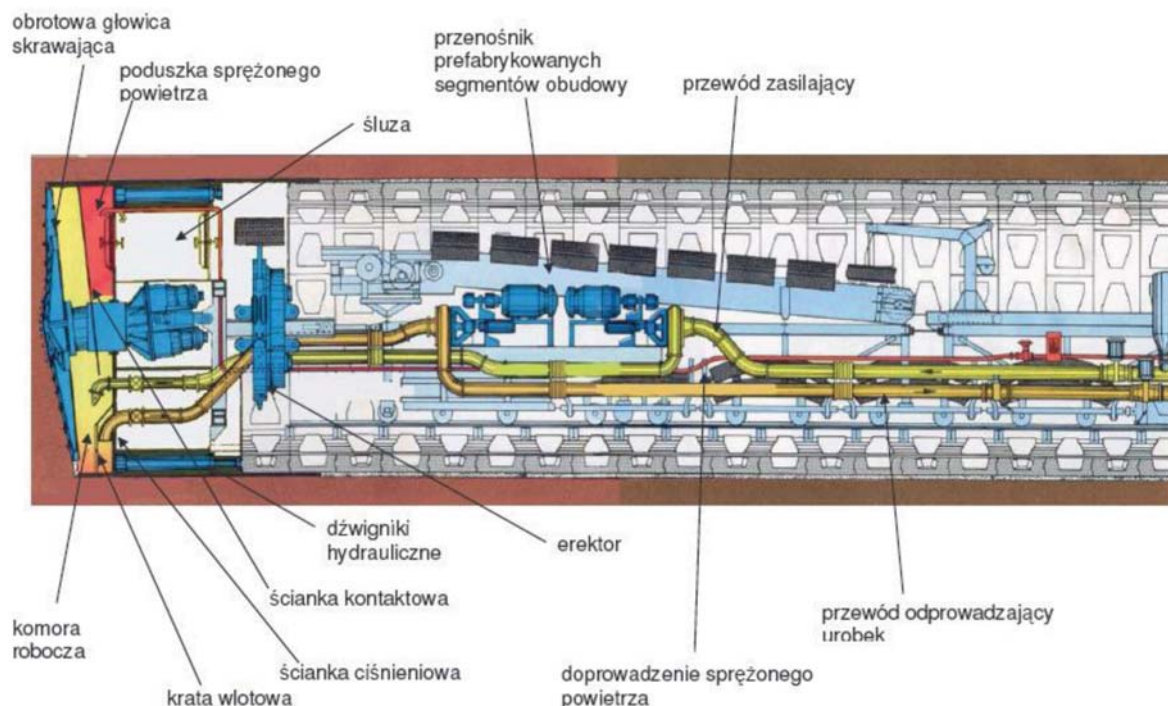
### Drążenie tunelu tarczami TBM

Drążenie tuneli za pomocą tzw. tarcz TBM jest najpowszechniej stosowaną technologią zmechanizowanej budowy tuneli. Tarcze umożliwiają bezpieczne drążenie tuneli w ca-

łym spektrum warunków hydrogeologicznych. W zależności od planowanego zakresu zastosowania, ich konstrukcje i sposoby realizacji podstawowych czynności, tj. urabiania górotworu, podparcia przodka, usuwania urobku i wznoszenia obudowy, są projektowane indywidualnie dla planowanego tunelu w zależności od warunków hydrogeologicznych. Tarcze tunelowe nie zastępują innych metod drążenia tuneli, są jednak technicznie i ekonomicznie uzasadnioną alternatywą dla metod tradycyjnych przy długich tunelach, w niestabilnych i nawodnionych gruntach, tam gdzie jest oczekiwany wysoki postęp robót i istnieją duże wymagania dla ochrony powierzchni terenu (np. w miastach). W Polsce do tej pory za pomocą tarcz TBM wydrążono dwa miejskie (i jednocześnie podwodne) tunele drogowe: pod Martwą Wisłą w Gdańsku i ostatnio pod Świną w Świnoujściu.

Tarcza TBM to olbrzymia, całkowicie zmechanizowana fabryka, pracująca 24 godziny na dobę (rys. 13). Tarcza mieści w sobie takie urządzenia jak: agregaty prądotwórcze, pompy, systemy wentylacyjne, pomieszczenia magazynowe, a także urządzenia odpowiadające za dostarczanie elementów obudowy oraz za transport urobku. Tarcza, która drążyła tunel pod Martwą Wisłą w Gdańsku, miała średnicę 12,6 m, 91 m długości i ważyła 2200 t. Z kolei TBM która drążyła tunel pod Świną w Świnoujściu, miała tarczę o średnicy 13,46 m, 101 m długości i ważyła 2740 t.

Przed rozpoczęciem drążenia tunelu przed portalem wykonuje się wykop otwarty, w którym na odpowiednio przygotowanym stanowisku przeprowadza się montaż tarczy TBM (rys. 14). W pierwszej fazie tunel jest drążony za pomocą przedniej obrotowej głowicy skrawającej, przesuwanej w stronę górotworu przez dźwigniki hydrauliczne. Głowica tarczy jest wyposażona w ostrza, noże oraz dyski tnące wykonane ze stali o wysokiej wytrzymałości. W tym samym miejscu znajdują się również dysze, które wstrzykują wodę, plastyfikatory bądź zawieszinę, służące zagęszczaniu



Rys. 13. Typowa budowa tarczy TBM do zmechanizowanego drążenia tunelu [25]



Rys. 14. Komora startowa – montaż tarczy TBM [26]



Rys. 15. Montaż betonowych segmentów obudowy [26]



Rys. 16. Obudowa tunelu w Świnoujściu [26]

lub zwiększeniu stopnia plastyczności urobku (w zależności od jego rodzaju). Urobek gromadzony w komorze roboczej równoważy parcie górotworu oraz wód gruntowych na tarczy. Usuwanie urobku odbywa się za pomocą przewodu / przenośnika ślimakowego na taśmociąg, a następnie poza otwór tunelu.

Druga faza pracy tarczy TBM polega na układaniu prefabrykowanych segmentów obudowy tunelu (rys. 15). Po wydrążeniu odpowiedniej długości tunelu tarcza zatrzymuje się i uruchamiany jest hydrauliczny moduł układający pierścienie obudowy tunelu z kilku prefabrykowanych segmentów betonowych oraz tzw. klina. Klin jest montowany jako ostatni w celu nadania konstrukcji obudowy właściwej sztywności i szczelności. Np. obudowa tunelu w Świnoujściu składa się z 780 betonowych pierścieni, a każdy był wykonany z ośmiu betonowych segmentów obudowy (rys. 16). Przestrzeń pomiędzy zewnętrzną ścianą obudowy a górotworem jest wypełniana zaprawą uszczelniającą, która zapewnia współpracę pomiędzy obudową tunelu a otaczającym ją górotworem i chroni górotwór przed osiadaniem. Po wykonaniu pełnego pierścienia obudowy tarcza TBM zaczyna drążyć następny odcinek tunelu.

### **Betonowanie monolityczne w wykopie otwartym**

Budowa tunelu w wykopie otwartym (czasami zwana metodą odkrywkową lub wykopową, a także *cut and cover tunnelling*) polega na wykonywaniu szerokoprzestrzennego wykopu o ścianach pochylonych lub pionowych, zabezpieczonych czasami obudową, na którego dnie buduje się żelbetową konstrukcję tunelu za pomocą betonowania monolitycznego w szalunkach ustawionych na podłożu gruntowym wykopu. Kolejno wykonuje się betonowe elementy tunelu: płytę denną, pionowe ściany tunelu oraz strop tunelu.

Metoda jest stosowana przy budowie tuneli płytkich, a sposób budowy tunelu jest tradycyjny i prosty, a często także tańszy w porównaniu do innych metod. Jednakże me-



Rys. 17. Budowa tunelu w wykopie otwartym – betonowanie ścian [27]



Rys. 18. Budowa tunelu w wykopie otwartym – betonowanie stropów [27]

toda ta ma wiele ograniczeń. Budowa tunelu tą metodą powoduje (w szczególności w miastach) znaczące utrudnienia komunikacyjne, konieczność zmian w organizacji ruchu, stanowi zagrożenie dla istniejących budynków, generuje kolizje z istniejącymi sieciami i budowlami podziemnymi oraz jest uciążliwa dla mieszkańców, gdyż powoduje hałas, wibracje, spaliny, zniszczenia zieleni miejskiej oraz inne szkody m.in. dla przedsiębiorców. Spośród obecnie budowanych tuneli drogowych w Polsce, tylko jeden jest wykonywany tą metodą. Jest to tunel TD-10 w ciągu Trasy Łagiewnickiej w Krakowie w rejonie tzw. Białych Mór. Tunel drogowy wykonany jako dwunawowa rama żelbetowa pod linią PKP (rys. 17 i 18).

## Podsumowanie

Nie ulega wątpliwości, że projekty tunelowe to przyszłość budownictwa infrastrukturalnego. Tereny podgórskie i góry, tereny cenne środowiskowo, duże zbiorniki wodne, obszary zurbanizowane oraz newralgiczna zabudowa to przeszkody, które stoją na drodze realizacji wielu inwestycji infrastrukturalnych. Ich pokonanie wymaga często budowy tuneli. Ogromną zaletą tuneli jest to, że pozwalają schować ruch pojazdów pod ziemię, dzięki czemu inwestycje nie ingerują w tereny zielone i zurbanizowane, a przeszkody terenowe (góry, woda) pokonują w sposób niepowodujący zmian w istniejącym otoczeniu i/lub zagospodarowaniu terenów. Co więcej, w niektórych przypadkach tunel znacznie skraca budowaną drogę np. w terenie górzystym czy w sytuacji przeprawy morskiej.

Od ponad 5 lat tunele zyskują na popularności także w Polsce [29]. Ostatnie inwestycje tunelowe w Warszawie, Świnoujściu, na Dolnym Śląsku, w Małopolsce czy na Podkarpaciu świadczą o dużym wzroście zainteresowania tunelami jako budowlami służącymi pokonywaniu przeszkód w układach dróg ekspresowych czy obwodnic miejskich. Tylko w ciągu najbliższych czterech lat w całym kraju zostanie wybudowanych 15 tuneli drogowych. Prowadzone obecnie inwestycje jasno wskazują, że tunele przynoszą wiele korzyści społecznych, ekonomicznych

i technicznych, mimo że są nadal w Polsce postrzegane jako drogie i trudne w realizacji. Polskie przedsiębiorstwa zdobywają niezbędne doświadczenie w budowie tuneli miejskich, podwodnych czy drążonych w skałach. Metoda tarczowa TBM czy nowoczesne metody górnicze (ADECO-RS czy NATM) są już w Polsce dobrze znane i coraz częściej stosowane.

Dalszy rozwój budownictwa tunelowego w Polsce będzie zależał głównie od czynnika finansowego (europejskie fundusze strukturalne), gdyż takie inwestycje wiążą się zazwyczaj ze znacznymi nakładami. Do ich realizacji angażowane są najnowsze technologie i maszyny. Potrzebny jest także wykwalifikowany personel o unikatowych kwalifikacjach. Przy wykonywaniu inwestycji tunelowych kluczowe są kompetencje i doświadczenie. Dlatego upowszechnianie polskich osiągnięć w budownictwie tunelowym, m.in. na łamach „Drogownictwa”, jest działaniem, mającym na celu stałe podnoszenie kompetencji polskich inżynierów drogowych w zakresie tego najtrudniejszego elementu budowy dróg.

## Bibliografia

- [1] Puścikowski W. *Konstrukcje i metody budowy tunelu drogowego na Wisłostradzie w Warszawie*. Geoinżynieria i Tunelowanie, nr 1, 2005, s. 34-38.
- [2] Sabal K. *Tunel w centrum Katowic*. BTA: budownictwo – technologie – architektura, nr 1, 2007, s. 36-37.
- [3] Lorenc M. *Tunel Emilia przez Sobczakową Grapę*. Geoinżynieria: drogi mosty tunele, nr 1, 2010, s. 40-42.
- [4] Majcherczyk T., Pilecki Z., Niedbalski Z., Pilecka E., Blajer M., Pszonka J. *Wpływ warunków geologiczno-inżynierskich i geotechnicznych na dobór parametrów obudowy wstępnej tunelu drogowego w Lalikach*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Zeszyt 1, Tom 28, 2012, s. 103-124.
- [5] Kołakowski T., Kosecki W., Leusz R., Grunt M., Piwoński J., Mazurkiewicz B. *Konstrukcja przeprawy tunelowej pod Martwą Wisłą w Gdańsku*. Przegląd Budowlany, nr 1, 2013, s. 26-31.
- [6] Mazurkiewicz B. *Kilka słów o budowie tunelu pod Martwą Wisłą w Gdańsku...* Geoinżynieria: drogi mosty tunele, nr 1, 2014, s. 64-67.
- [7] Kieniewicz M. *Tunel drogowy w ciągu drogi ekspresowej S2 na odcinku Południowej Obwodnicy Warszawy*. Inżynier Budownictwa, nr 5, 2022, s. 76-80.
- [8] Kohutek Z.B., Cieślak J. *Budowa tunelu na trasie S7 Naprawa – Skomielna Biała – okiem inżyniera*. BTA: budownictwo – technologie – architektura, nr 2, 2022, s. 46-50.
- [9] Schiavone F., Ryndak U., Witczyński M. *ASTALDI buduje nowy odcinek Zakopianki Naprawa – Skomielna Biała wraz z tunelem*. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, maj–czerwiec, 2017, s. 36-41.
- [10] Wójtowicz P. *Wielki plac budowy na południu Krakowa. Powstaje tunelowa Trasa Łagiewnicka*. GDMT geoinżynieria drogi mosty tunele, nr 1, 2019, s. 86-88.
- [11] Bieł J. *Tunelowa Trasa Łagiewnicka w Krakowie*. GDMT geoinżynieria drogi mosty tunele, nr 1, 2017, s. 58-59.
- [12] Michalska B., Flisiak P. *Tunel w Świnoujściu już w budowie*. Materiały Budowlane, nr 2, 2020, s. 18-19.
- [13] Mikulski P. *Uwarunkowania projektowania obudowy tunelu TBM w Świnoujściu*. Inżynieria i Budownictwo, nr 3-4, 2022, s. 154-156.
- [14] Król J. *Doświadczenia nadzoru z dotychczasowej realizacji tunelu pod Świną*. Inżynieria i Budownictwo, nr 3-4, 2022, s. 181-190.
- [15] Januszek M. *Najdłuższy pozamiejski tunel w Polsce*. GDMT geoinżynieria drogi mosty tunele, nr 3, 2020, s. 72-73.



- [16] Madej Ł. *Jeden obiekt, mnóstwo wyzwań. Budowa najdłuższego pozamiejskiego tunelu drogowego w Polsce*. GDMT geoinżynieria drogi mosty tunele, nr 2, 2022, s. 94-96.
- [17] PORR SA. *Budowa drogi ekspresowej S3 Legnica – Lubawka*. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, nr 2, 2021, s. 64-65.
- [18] Madej Ł. *Budowa obwodnicy Krakowa to duże wyzwanie*. GDMT geoinżynieria drogi mosty tunele, nr 4, 2020, s. 86-87.
- [19] Dobranowski S., Mendocha M. *„Krakowski ring” bramą na świat*. Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP, Oddział w Krakowie, nr 1, 2019, s. 7-21.
- [20] Siwowski T., Russo R., Kisiołek K. *Wybrane problemy projektowania tunelu drogowego drążonego w technologii TBM w warunkach geotechnicznych fliszu karpackiego*. Monografia: XXX Konferencja Awarie Budowlane 2022, ICSF 2022 – 30th International Conference on Structural Failures. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, 2022.
- [21] GDDKiA. *Projekt i budowa drogi ekspresowej S2 Południowa Obwodnica Warszawy na odcinku od węzła „Puławska” do węzła „Lubelska”*: [http://www.pulawska-lubelska.pl/galeria\\_a](http://www.pulawska-lubelska.pl/galeria_a).
- [22] Blajer M., Cała M., Kolano M., Stopkowicz A., Tajduś A. *Rozpoznanie masywu fliszowego i klasyfikacja jego jakości*. Mosty, nr 3-4, 2019, s. 89-92.
- [23] Tajduś A. *Ryzyko w budownictwie tunelowym, cz. 1*. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, nr 1, 2022, s. 64-66.
- [24] GDDKiA. *Budowa drogi ekspresowej S3 odc. Legnica – Lubawka*: <https://s3-bolkow-kamiennagora.pl/>.
- [25] Grodecki W., Siemińska-Lewandowska A. *Metody budowy tuneli metra w gruntach i w skałach*. GDMT geoinżynieria drogi mosty tunele, nr 3, 2015, s. 76-84.
- [26] Gmina Miasto Świnoujście. *Usprawnienie połączenia komunikacyjnego pomiędzy wyspami Uznam i Wolin w Świnoujściu – budowa tunelu pod Świną*: <http://tunel-swinoujście.pl/>.
- [27] Spółka Trasa Łagiewnicka SA. *3 obwodnica Krakowa*: <https://3obwodnica.krakow.pl/>.
- [28] Chylicka I. *Rozwój budownictwa tunelowego w Polsce*. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, nr 1, 2022, s. 52-61.

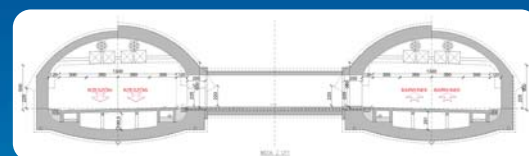
[www.promost.pl](http://www.promost.pl)

# PROJEKTOWANIE

NADZÓR ZARZĄDZANIE KONSULTING

# TUNELE

DROGI MOSTY



Promost Consulting  
 35-307 Rzeszów, ul. Jana Niemierskiego 4  
 tel./fax: +48 17 85 79 155 / 156  
 e-mail: [biuro@promost.pl](mailto:biuro@promost.pl)

**PROMOST**  
 CONSULTING