



W ramach obchodów Dwudziestolecia Odrodzonego Senatu odbyło się 12 maja 2009 r. spotkanie w ramach programu prezentacji pozapolitycznych zainteresowań, pasji i umiejętności senatorów. Było to spotkanie senatora Antoniego Motyczki z grupą członków Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji z Warszawy (z prezesem oddziału p. Wojciechem Wojtysiakiem na czele) oraz młodzieży z Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej wraz z prof. Włodzimierzem Martinkiem i prof. Andrzejem Minasowiczem.

Senator Antoni Motyczka przedstawił prezentację na temat technologii drażenia małych tuneli w budownictwie podziemnych obiektów inżynierskich.

Przedstawiamy niżej skrót tej wypowiedzi wraz z ilustracjami, dzięki uprzejmości profesora udostępniając je do powszechnej wiadomości. Referenta przedstawiła zebrany Pani Marszałek Krystyna Bochenek.

Spotkanie zostało zorganizowane przez Biuro Spraw Senatorskich Kancelarii Senatu: tel. (22) 694 95 41, mail bss@nw.senat.gov.pl, Internet www.senat.gov.pl/biuro/bss/index.htm

Prof. Antoni Motyczka

Tunelowanie metodami górnictwymi

Technologie drążenia małych tuneli

w budownictwie podziemnych obiektów inżynierskich

W referacie przedstawiam metody projektowania i wykonywania tunelowych obiektów inżynierskich, z szczególnym uwzględnieniem metody górnictwej i przedstawienie jej użytkownikom, a szczególnie tym, którzy zajmują się budową i renowacją podziemnej infrastruktury w miastach. Przedstawiam tu informacje o innych metodach budowy obiektów infrastruktury podziemnej, które są wykonywane w technologiach bezwykopowych. Metoda górnictwa jest jedną z tych metod.

Wszelkie rozważania zamieszczone w niniejszym referacie dotyczą przede wszystkim tuneli transportowych o powierzchni przekroju poprzecznego do 12 m², wykonywanych metodami stosowanymi w tunelowaniu, metodą tarczową i metodą górnictwą.

Zgodnie z Normą Polską : PN-S-02203 „*Tunele komunikacyjne. Terminologia i klasyfikacja*” tunelem jest „Budowla podziemna o charakterze liniowym, która służy celom komunikacyjnym lub transportowym, niezależnie od metody wykonania.” Biorąc powyższe pod uwagę, większość obiektów wybudowanych dla urządzeń podziemnych, wykonanych różnymi metodami bezwykopowymi, mieści się w pojęciu tunelu transportowego.

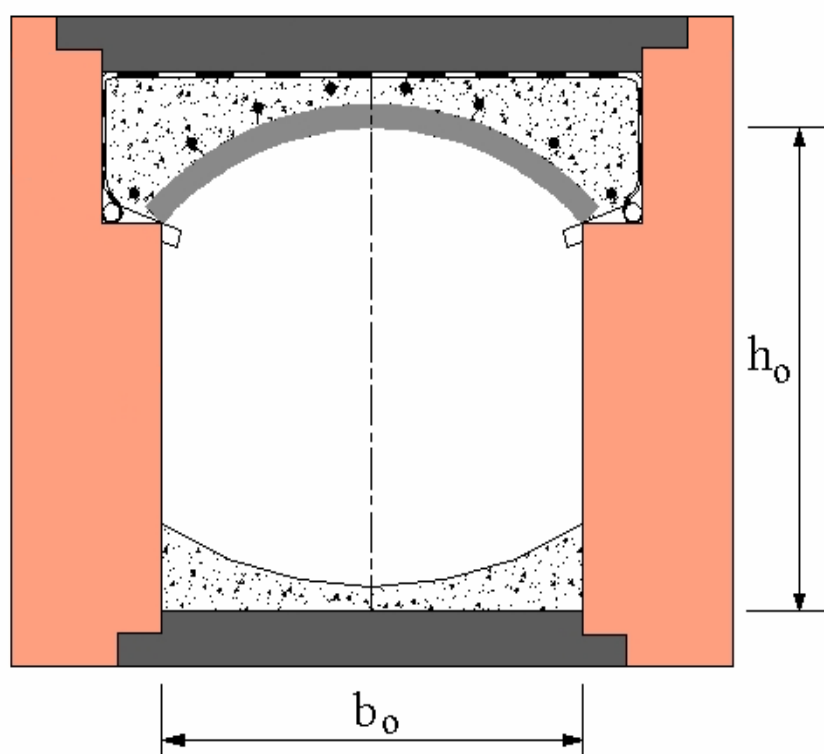
Omawiane w opracowaniu tunele transportowe przeznaczone są najczęściej dla urządzeń przesyłowych, takich jak: kanalizacja, wodociągi, gazociągi, kable energetyczne i teletechniczne i inne.

Metoda górnictwa budowy tuneli transportowych w budowie infrastruktury miejskiej, jest coraz rzadziej stosowana ze względu na znacznie lepsze wyniki ekonomiczne osiągane dzięki wykonywaniu robót bezwykopowych przez nowoczesne urządzenia. Niemniej są sytuacje, kiedy zastosowanie tradycyjnej metody górnictwej daje wyniki ekonomiczne i techniczne porównywalne lub lepsze, a czasem jest jedynym możliwym sposobem wykonania zadania. W szczególności stosuje się to w przypadku:

- budowy tuneli o małych długościach,
- budowy tuneli z załamaniami kierunku,
- budowy tuneli prowadzonych po łuku mniejszym niż możliwości dostępnych maszyn i urządzeń,
- prowadzenia prac remontowych i renowacyjnych w istniejących tunelach,
- prowadzenie robót pomocniczych przy budowie tuneli metodami wysoko zmechanizowanymi np: krótkie przebiecia pomiędzy tunelami, wnęki, komory, pochylnie itp.

Z mojego doświadczenia wynika, że najlepszym rozwiązaniem jest budowla o kształcie prostokątnym z murowanymi ociosami oraz stropem i spągami z belek żelbetowych.

Przyjęcie prostokątnego kształtu i opisanej powyżej obudowy wynika z mojego wieloletniego doświadczeni w budowie i renowacji kilkudziesięciu małych tuneli, których wykonano ponad 8 km. Tunele zlokalizowane były na ogół w słabych gruntach, na małych głębokościach. Powyżej opisany sposób wykonania jest najbardziej optymalny z wielu wypróbowanych. Zapewnia bezpieczeństwo załogi, stosunkowo duże tempo prac i łatwość w budowie



Z obserwacji przeprowadzonych podczas budowy i w czasie późniejszej eksploatacji wykonanego tunelu, wynika, że obudowy małych tuneli zaprojektowane dla standardowych obciążeń posiadają duży margines bezpieczeństwa.

Współczesne miasta z roku na rok stają się mniej przyjazne dla mieszkańców, wzrasta zapylenie powietrza, smog i hałas, lawinowo zwiększa się ruch samochodów. Można to znacznie ograniczyć poprzez sprowadzenie głównych arterii komunikacyjnych pod ziemię. Podobnie jest z infrastrukturą miejską, gdzie zabudowanie urządzeń podziemnych metodami rozkopowymi jest już prawie niemożliwe. Kłopoty związane z budową i rozwojem miejskiej infrastruktury podziemnej można zmniejszyć budując tunele transportowe wieloprzewodowe. Tunel wieloprzewodowy, przejazdowy, jest cały czas dostępny, pozwala na bieżącą kontrolę, naprawy i rozbudowę sieci.

Rys historyczny budownictwa tunelowego

Po okresie Średniowiecza nastąpił rozwój miast i szlaków komunikacyjnych. Rozwijający się szybko handel wymusił budowę dróg transportowych umożliwiających przewożenie w łatwy sposób dużej ilości towarów. Były to zarówno drogi lądowe jak i wodne. Przykładem drogi wodnej jest wybudowany w Francji kanał spławny łączący Atlantyk z Morzem Śródziemnym i będący częścią tej trasy, wybudowany w roku 1666 tunel Malpas. Tunel o długości 157 m i wymiarach w przekroju: wysokość 8,4 m, szerokość 6,9 m. Został on wydrążony w skałach.

W roku 1707 w Alpach, na tzw. szlaku Gotharda, przebito tunel, który uznaje się za pierwszy tunel drogowy.

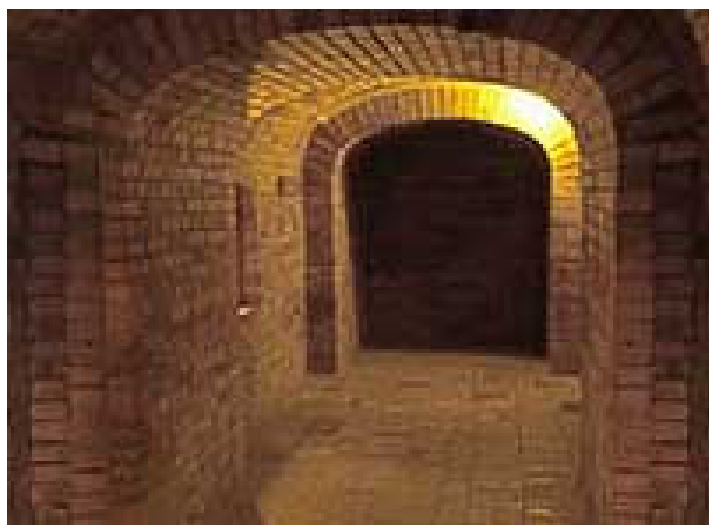
Tunel Malpas dla statków wykuty w skale zdjęcie współczesne



„Dziura Urnera” na drodze przez przełęcz Sankt Gothard



Na ziemiach polskich prowadzono prace górnicze w kilku rejonach, między innymi na Dolnym Śląsku oraz w Górach Świętokrzyskich. Wydobywano tam rudy kruszczońskie - srebra, złota, ołowiu, miedzi i żelaza. W Bochni i Wieliczce eksploatowano od XIII wieku sól kamienną - bardzo cenną kopalinę ówczesnych czasów.



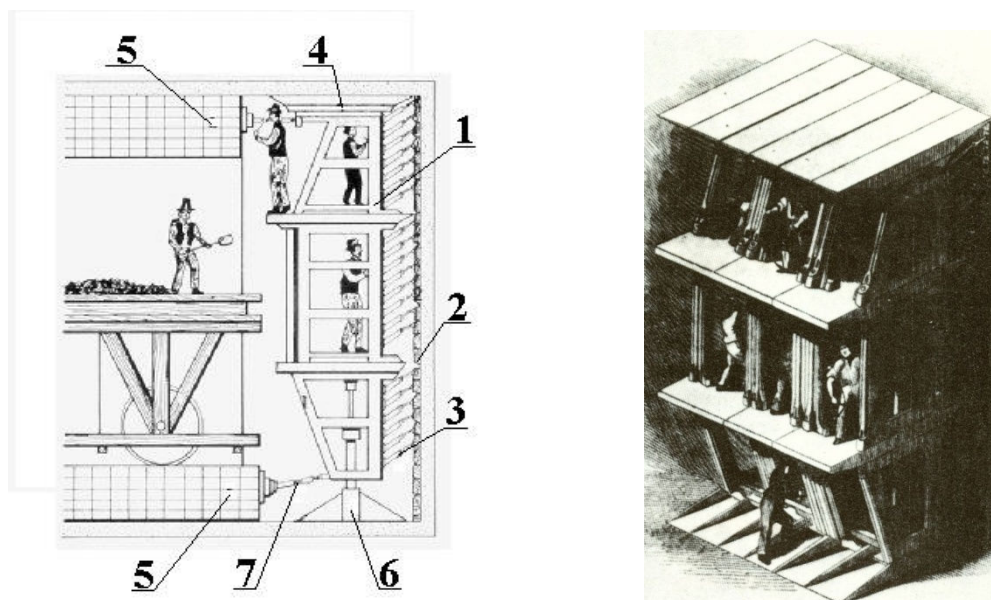
. Widok korytarza magazynu w Sandomierzu .

W Sandomierzu i Opatowie znajdują się typowe budowle tunelowe. Istnieje tam rozległa sieć korytarzy i komór, które służyły miejscowym kupcom jako magazyny towarów. Korytarze i tunele drążono w występujących tam gruntach lessowych, które są łatwe i bezpieczne do urabiania. Data powstania – XV w.

W drugiej połowie XVIII w. rozpoczyna się rewolucja przemysłowa. Najpierw w Anglii, a następnie w innych krajach Europy następuje radykalna zmiana dotychczasowego systemu ekonomiczno-społecznego

W szybkim tempie wzrasta liczba ludności miejskiej, co spowodowane jest masowymi migracjami ze wsi do miast.

Od XIX w. stosuje się urządzenia i organizację robót, które możemy uważać za początek nowoczesnego systemu budownictwa tunelowego. W pierwszej połowie XIX w. wprowadzono metody pozwalające na drążenie tuneli w gruntach sypkich. Kolejnym krokiem w rozwoju myśli technicznej w budownictwie tunelowym były konstrukcje angielskiego inżyniera Marca Isambarda Brunela. Skonstruował on tarczę do budowy tuneli o dużych gabarytach, która mogła pracować w miękkich gruntach. Tarczę przesuwano siłownikami śrubowymi. Za przesuwaną się tarczą w tunelu wykonywano obudowę murowaną



Prostokątna drążarka tarczowa skonstruowana przez Brunela

1.) przesuwaną się stalową obudowę, 2.) ścianę czołową zabezpieczoną prętami odeskowaniem, 3.) siłowniki śrubowe przytrzymujące ścianę czołową, 4.) płyta stalowa, 5.) murowana obudowa tunelu, 6.) stopa opierająca się na ramie (obudowie), 7.) siłownik główny (lewar).

Do budownictwa tunelowego zaczyna wkraczać postęp techniczny. W drugiej połowie XIX w. wprowadza się urządzenia elektryczne i pneumatyczne, do urabiania twardych skał stosuje się dynamit wynaleziony w 1867 roku przez Alfreda Nobla

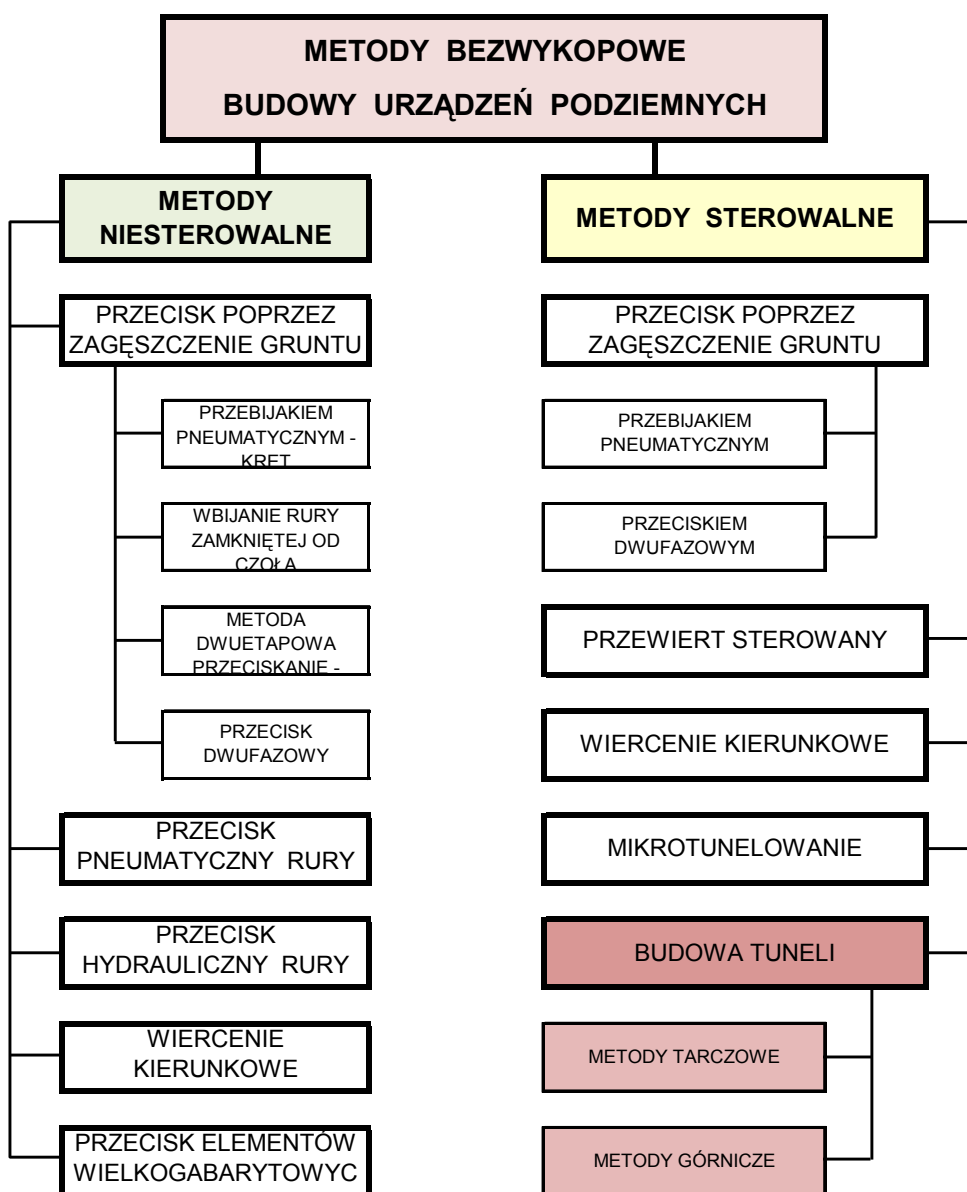
W dużych miastach palącym problemem stało się usprawnienie komunikacji. Sieć uliczna miast była pozostałością zabudowy średniowiecznej z jej potrzebami i uciążliwościami komunikacyjnymi. Jedynym sposobem na wprowadzenie zmian było zastosowanie budownictwa podziemnego, a w tym szczególnie - tuneli komunikacyjnych i transportowych. W drugiej połowie XIX w. poziom techniki i rozwijające się możliwości organizacyjne umożliwiły budowę tuneli. Do celów komunikacji miejskiej zaczęła powstawać w miastach kolej podziemna - metro. Do roku 1863 w Londynie zbudowano 6,5 km metra o trakcji parowej. Od 1890 roku metro z trakcją elektryczną zaczęło powstawać we wszystkich większych miastach Europy. Dla budowy londyńskiego metra, inżynier James H. Greathead zbudował w pełni nowoczesną tarczę, którą w roku 1886 rozpoczęto drążyć tunele o przekroju okrągłym z obudową z żeliwnych tubingów. Po dwóch latach budowy załoga osiągała już 24,0 m postępu drążenia na dobę. Tunele komunikacyjne budowano dla kolei i dróg. Szczególnie dużym osiągnięciem są tunele kolejowe - tunel pod Mont Cenis (wybudowany w latach 1857 – 1870) o długości 13 623m, oraz tunel pod przełęczą Świętego Gotharda (budowany w latach 1872 – 1882) o długości 15 002m .

Oprócz tuneli komunikacyjnych budowano również dużo tuneli transportowych, szczególnie dla nowoczesnych sieci kanalizacyjnych. W Londynie decyzję o wybudowaniu nowoczesnej podziemnej sieci kanalizacyjnej podjęto w roku

1858. Od 1859 roku przez całe lata sześćdziesiąte XIX w. trwała budowa sieci kolektorów, którymi ścieki spływały grawitacyjnie do pompowni, a dalej przerzucane były do morza.

Do drugiej połowy XX w. nie wprowadzano nowych technologii. Nieustannie ulepszano istniejące od stu lat technologie wykonawcze - górnicze, tarczowe i przeciski. W drugiej połowie XX w. rozpoczyna się gwałtowny proces wprowadzania nowych technologii bezwykopowych do budowy urządzeń podziemnych. Wiąże się to bezpośrednio z wykorzystaniem osiągnięć szeroko rozumianej techniki wiertniczej, stosowanej w geologicznych wierceniach badawczych i w otworowej eksploatacji surowców mineralnych.

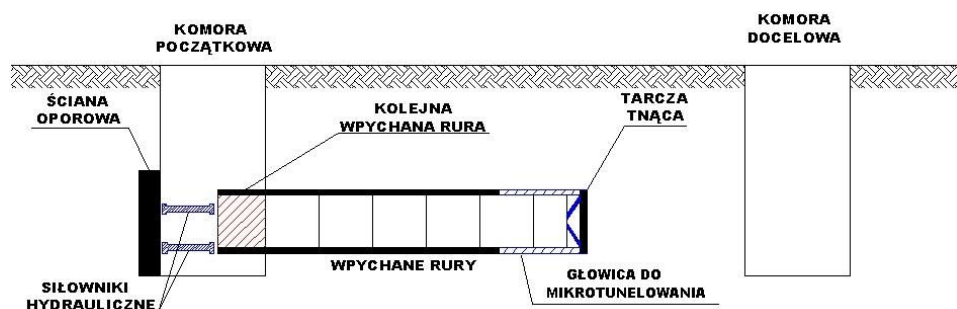
Klasyfikacja metod bezwykopowych.



Podział oparty jest o klasyfikację dzielącą metody bezwykopowe na metody niesterowalne i sterowalne. Klasyfikacja metod na sterowalne i niesterowalne wymaga dodatkowego omówienia związanego z nazewnictwem. Określenie „metody sterowalne” nie oznacza, że można dowolnie sterować kierunkiem i nachyleniem projektowanej trasy. Wielkość zmiany kierunku i nachylenia trajektorii ograniczona jest możliwością wykonania skrętu przez głowicę urabiającą grunt oraz utrudnienia w wykonaniu szczelnego połączenia pomiędzy prefabrykowanymi segmentami obudowy ostatecznej, zabudowywanymi po łuku. Jeżeli za głowicę urabiającą grunt zabudowywany jest rurociąg stalowy, PE lub PCV, ograniczeniem jest minimalny promień gięcia zabudowywanej rury. W pełni sterowalną jest budowa tuneli metodą górniczą. W pozostałych metodach sterowalnych można dokonywać nieznacznych korekt kierunku i trajektorii, a prowadzenie po łuku możliwe jest zgodnie z ograniczeniami wymienionymi powyżej.

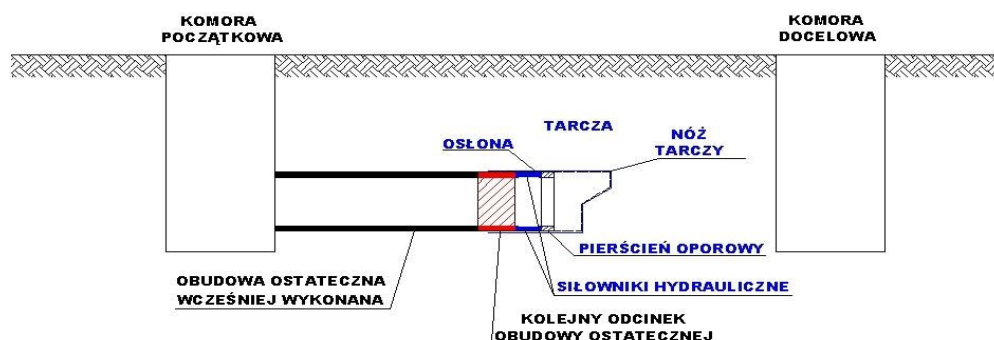
W latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku nastąpił rozwój nowoczesnych metod bezwykopowego wykonania uzbrojenia podziemnego, co zawdzięczamy wprowadzeniu wielu nowych urządzeń i technologii. Dzięki temu osiągnięto dobre rezultaty w tempie prowadzonych robót, zwiększono średnice i długości wykonywanych odcinków tuneli oraz zwiększono dokładność i bezpieczeństwo. Do budowy tuneli metodą tarczową, zastosowano mechaniczną głowicę urabiającą. Połączenie metody przecisku z ulepszoną metodą wiercenia, dało w rezultacie metodę mikrotunelowania. Wprowadzono hydrauliczny sposób odstawy urobku, co pozwoliło wyeliminować pracę ludzi w przodku.

Ważną kwestią jest znalezienie kryteriów umożliwiających przyporządkowanie wykonywanej roboty do poszczególnych metod. Takim kryterium, pozwalającym na zaliczenie wykonywanej roboty do tunelowania lub mikrotunelowania, jest sposób wykonywania obudowy ostatecznej. W mikrotunelowaniu, obudowa ostateczna włączana jest przez zespół siłowników hydraulicznych z komory początkowej w kierunku czoła przodka.



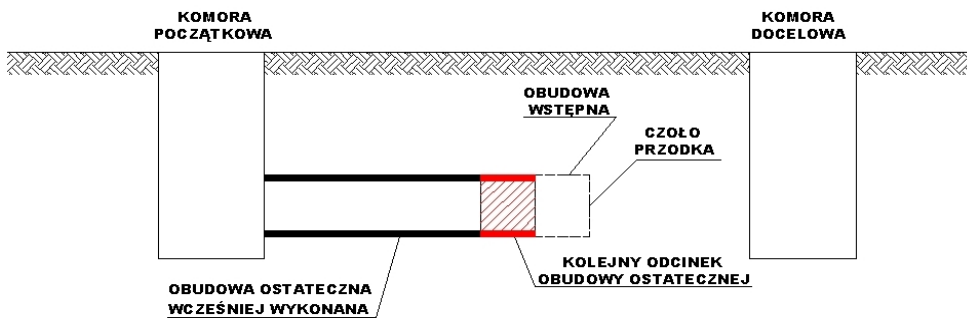
Mikrotunelowanie

W metodzie górniczej i tarczowej, obudowę ostateczną wykonuje się w czole przodka. W metodzie tarczowej, gdzie tarcza jest urządzeniem składającym się z noża, pierścienia oporowego i osłony z pracującymi tam siłownikami hydraulicznymi przesuwającymi tarczę do przodu, obudowę ostateczną wykonuje się w części osłonowej tarczy.



Tunelowanie – metoda tarczowa.

W metodzie górniczej obudowę ostateczną również wykonuje się w czole przodka pod wykonaną wcześniej obudową wstępną. Obudowę wykonuje się z elementów dostarczanych z komory początkowej.

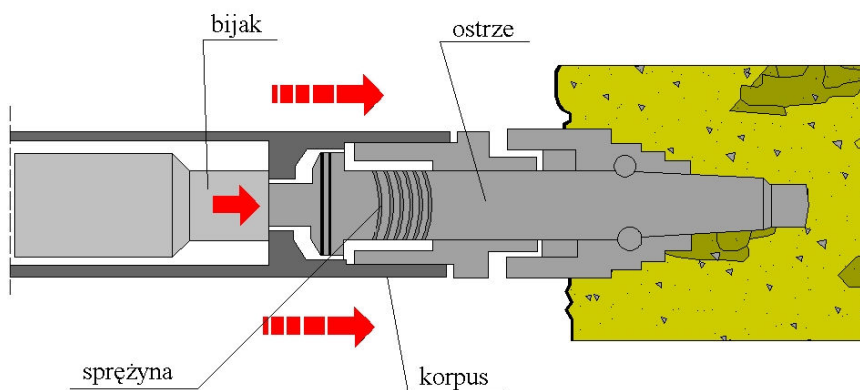


Tunelowanie – metoda górnicza.

METODY NIESTEROWALNE.

Przecisk przebijaikiem pneumatycznym – „kretem” (impact moling).

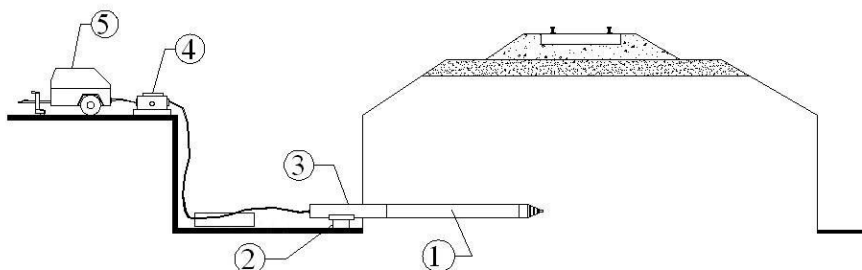
Metoda należy do metod przeciskowych, gdzie grunt, przez który wykonywany jest przecisk nie jest usuwany, ale rozpychany i dogęszczany. Wykonuje to maszyna przeciskowa o napędzie pneumatycznym, która nazywana jest „kretem”.



Budowa przedniej części

pneumatycznej maszyny przeciskowej „kret”.

Średnice wykonanych otworów i przeciąganych rur wynoszą od 60 mm do 200 mm, maksymalna długość to $L = 40$ m, dokładność prowadzenia otworu $\pm 2\%$. Szybkość wykonania przecisku, w zależności od rodzaju przebijanego gruntu wynosi od 25 do 40 m/godz.



Wciąganie rury za pneumatyczną maszyną udarową – kretem .

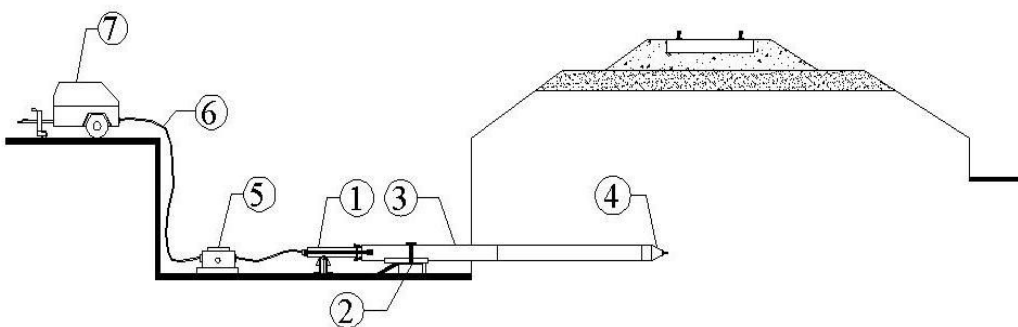
1.) urządzenie „Kret”, 2.) laweta, 3.) wciągana rura, 4.) olejacz, 5.) sprężarka.

- Zalety:
- krótki czas przygotowania stanowiska,
 - brak ściany oporowej niezbędnej przy przeciskach hydraulicznych,

- prosta obsługa,
 - krótki czas wykonania przecisku,
 - mały plac budowy
- Wady:
- kret nie nadaje się do zastosowania w gruntach nawodnionych,
 - możliwość wystąpienia wypiętrzenia gruntu nad prowadzonym przeciskiem.

Wbijanie rury zamkniętej od czola.

Metoda ta należy do przeciskowych, czyli takich, w których grunt nie jest usuwany, ale rozpychany na boki i zagęszczany przez wciskany rurociąg z rur stalowych. Pierwsza z rur zabudowywanego rurociągu zakończona jest głowicą rozpychającą, będącą stalowym stożkiem umożliwiającym rozpychanie gruntu. W czasie przepychania nie można zabudowywać rur o średnicach większych od 200mm. Długość przecisków wynosi do 30, 0 m, a prędkość wbijania rur to 2÷10 m/godz.

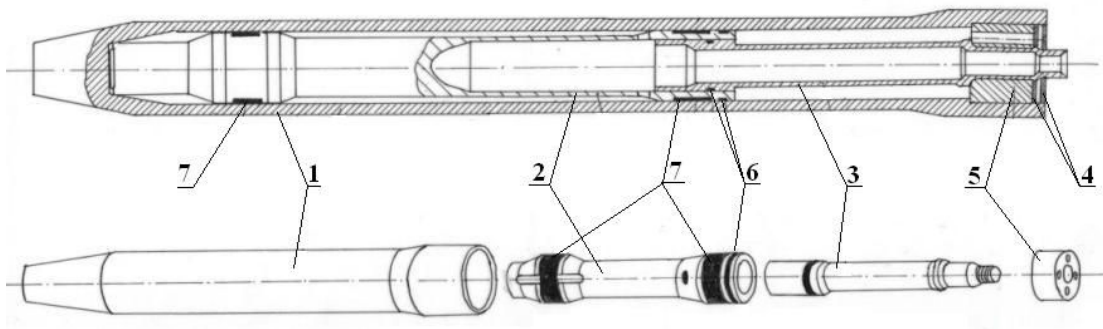


Schemat wbijania rury zamkniętej od czola za pomocą pneumatycznej maszyny przeciskowej.

- 1.) maszyna przeciskowa, 2.) laweta, 3.) wbijana rura, 4.) stożkowa głowica rozpychająca, 5.) olejacz, 6.) Przewód dostarczający sprężone powietrze, 7.) sprężarka.

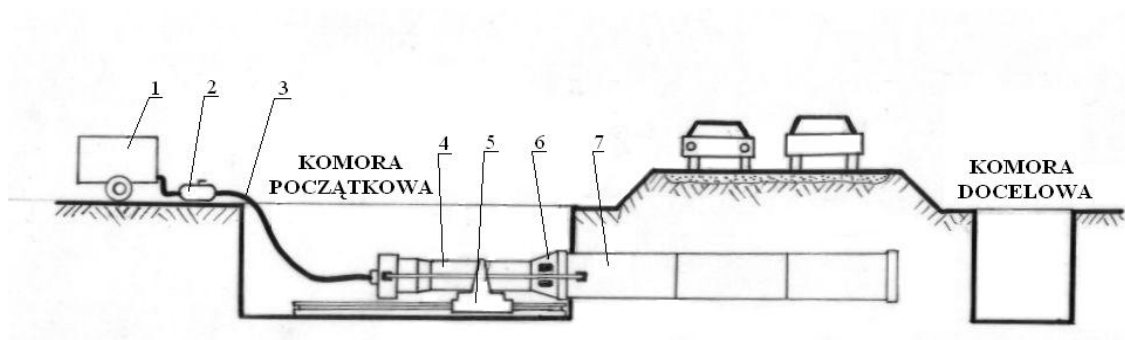
Przecisk pneumatyczny rury otwartej od czola.

Metoda jest niesterowalna. Polega na wbijaniu, a nie przeciskaniu stalowych rur otwartych od czola z komory początkowej do komory docelowej. Urządzeniem wykonującym pracę wbijania rur jest maszyna przeciskowa. Przebijana rura jest otwarta od czola, co radykalnie zmniejsza opory ruchu podczas przebijania. Maszyna przymocowana jest poprzez stożek redukcyjny, do ostatniej z ciągu rur i pozostaje w komorze początkowej podczas całego procesu wbijania.



Budowa pneumatycznej maszyny przeciskowej.

- 1.) korpus cylindryczny, 2.) bijak, 3.) tuleja sterownicza z blokiem elastycznym, 4.) pierścienie zabezpieczające, 5.) blok elastyczny, 6.) uszczelki teflonowe, 7.) panewki ślizgowe.

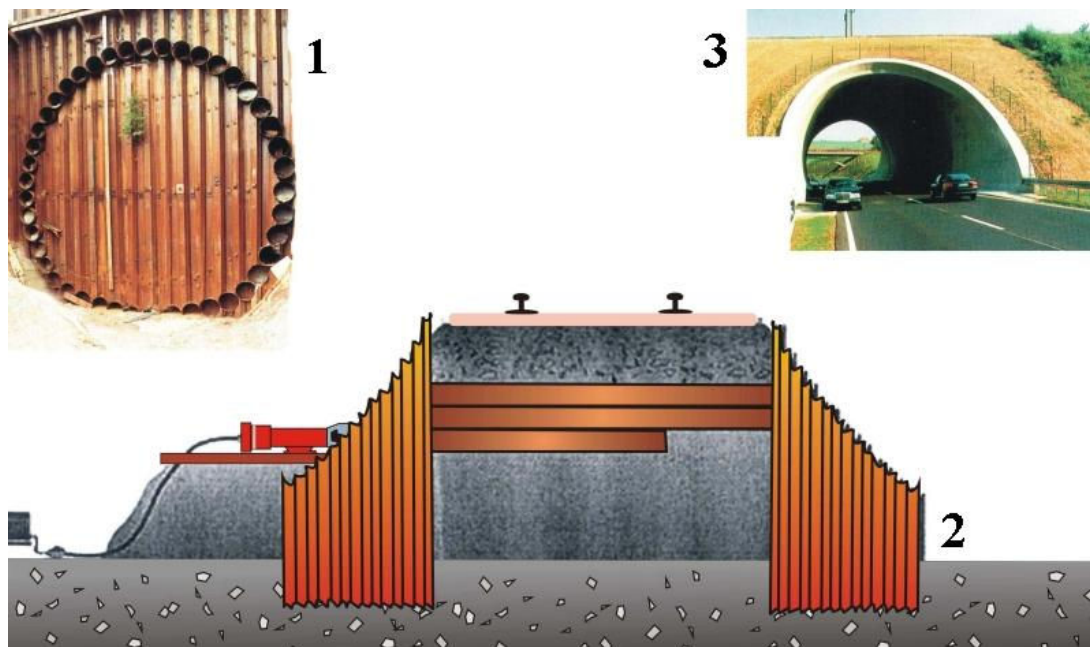


Przelicznik pneumatyczny rury otwartej od czoła

1. sprężarka 2. olejacz 3. wąż ze sprężonym powietrzem 4. pneumatyczna maszyna przeciskowa 5. laweta 6. stożek redukcyjny 7. przebijane rury

Podczas przebijania grunt pozostaje wewnątrz rury. Usuwa się go przy pomocy sprężonego powietrza lub hydraulicznie po wykonaniu wbijania na planowaną odległość. Przy większych średnicach można zastosować mechanizację robót przy odstawie urobku.

Jednym z zastosowań pneumatycznego przecisku rur otwartych od czoła jest wykonanie tunelu o dużych wymiarach przy pomocy metody „pipe roofing” (dach rurowy). Polega to na utworzeniu osłony (obudowy wstępnej) z przebijanych obok siebie rur. Rury łączone są ze sobą zamkiem. Wbija się je tuż poza obrysem obudowy ostatecznej tunelu, tworząc w ten sposób obudowę wstępną. Pod osłoną obudowy wstępnej wykonuje się obudowę ostateczną.



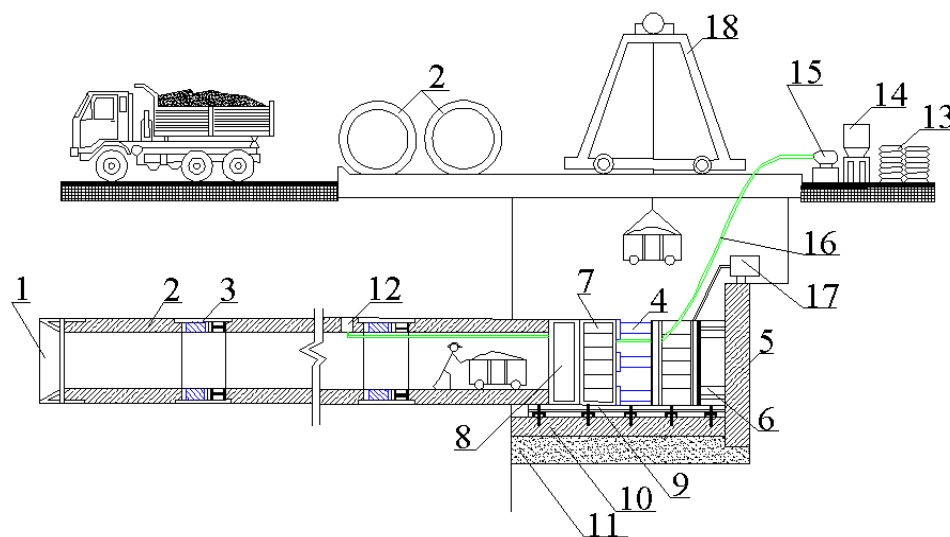
Wykonanie tunelu komunikacyjnego z pomocą metody „Pipe roofing”.

1. przekrój poprzeczny 2. przekrój podłużny 3. widok po wykonaniu obudowy ostatecznej.

Przelicznik hydrauliczny rury otwartej od czoła (pipe jacking).

Przeliczniki hydrauliczne są jedną z najstarszych metod wykonania rurociągów w technologii bezwykopowej. Metodę opracowano dla ułatwienia robót przy przekraczaniu przeszkód różnego rodzaju: ulic z dużym ruchem, torów kolejowych,

cieków i rzek lub zurbanizowanych terenów z mocno rozbudowaną infrastrukturą podziemną. Zastosowanie tradycyjnej metody rozkopowej zakłóciłoby ciągłość ruchu na drogach, a w szeregu przypadkach realizacja robót byłaby niemożliwa. Przecisk wykonywany jest pomiędzy dwoma komorami (studniami) – początkową i docelową. W komorze początkowej przecisku znajdują się: zespół siłowników hydraulicznych podstawowych, (dokonujących przeciśnięcia kolejnej dostarczonej z powierzchni rury), pierścień oporowy (służący do równomiernego przeniesienia sił nacisku od poszczególnych siłowników hydraulicznych na ostatni element z zabudowywanego ciągu rur), torowisko - rama (po której następuje przesuwanie zabudowanych rur) i blok oporowy służący do przejęcia naporu siłowników hydraulicznych. Do komory początkowej przylega plac budowy, na którym załadowuje się urobek z drążenia przecisku na podstawione samochody, magazynuje się rury do zabudowy, zabudowane są urządzenia dźwigowe transportu z powierzchni do dna komory, przygotowuje się lubrykat do podania do czoła przodka.



Schemat typowego przecisku .

1.) nóż ,2.) przeciskana rura, 3.) stacja pośrednia siłowników hydraulicznych, 4.) siłowniki podstawowe, 5.) blok oporowy, 6.) konstrukcja wsporcza siłowników, 7.) pierścień oporowy, 8.) pierścień dystansowy, 9.) torowisko, 10.) płyta żelbetowa, 11.) warstwa odsączająca, 12.) otwory do iniekcji bentonitu, 13.) bentonit, 14.) mieszarka, 15.) pompa do iniekcji, 16.) przewód do iniekcji, 17.) pompa siłowników, 18.) dźwig.

Ściany komory są najczęściej wykonywane z grodzic stalowych. W przypadku przecisku o małych gabarytach studnie mogą być wykonane z kręgów betonowych. W komorze docelowej, po wykonaniu przecisku, odbiera się urządzenie służące do drążenia przecisku – nóż, ewentualnie urządzenia urabiające. We wczesnym okresie wykonywania przecisków obiektem przeciskanim były najczęściej rury stalowe, stosowane ze względu na swoją wytrzymałość, stosunkowo małą wagę oraz łatwość w montażu poprzez spawanie. Rura przeciskowa wpychana jest w odcinkach, których długość uwarunkowana jest długością komory początkowej.

Obecnie coraz częściej stosuje się przepychanie rur będących od razu rurą przewodową. Materiał, z którego zrobione są te rury to: żelbet, beton, polimerobeton, materiały kompozytowe, duroplasty wzmacniane włóknem szklanym, utwardzane żywicą epoksydową lub poliestrową. Średnice przepychanych rurociągów mieszczą się w granicach od 0,30 m do 2,0 m. W zależności od średnicy przepychanego rurociągu stosuje się różne metody urabiania i odstawy gruntu. Dla małych średnic stosuje się urabianie głowicą wierzącą z odstawą przenośnikiem ślimakowym lub urabianie głowicą frezującą z odstawą hydrauliczną. Dla średnic od 1,20 m można stosować ręczny sposób usuwania urobku przez zatrudnionych w czole przodka ludzi. Odstawa może być realizowana przenośnikami lub jako kołowa na szynach.

Dla uzyskania większych długości przecisków stosuje się metody specjalne:

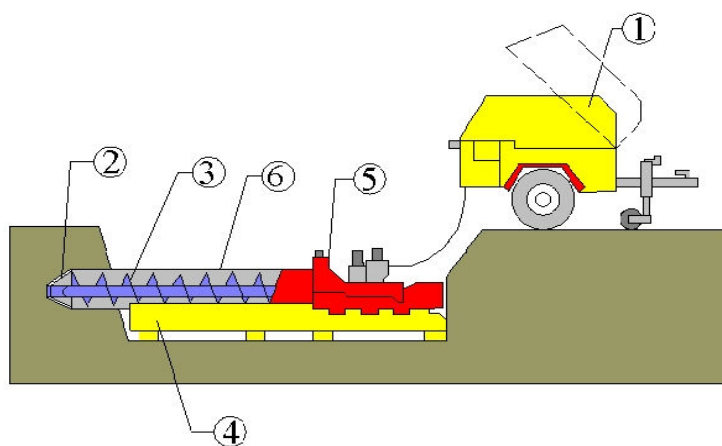
- przecisk teleskopowy przy przecisku z zastosowaniem rur stalowych i przecisk ze stacjami pośrednimi z rurami z betonu, polimerobetonu, kamionki, itp.

- zastosowanie smarowania z lubrykatów i zmniejszenie tym sposobem tarcia rury o otaczający grunt nawet dziesięciokrotnie.

WIERCENIE KIERUNKOWE NIESTEROWALNE.

Metoda wiercenia kierunkowego niesterowalnego należy do zespołu metod związanych z przeciskiem hydraulicznym. Jednak ze względu na coraz powszechniejsze zastosowanie związane z łatwością wykonania wiercenia, niskimi kosztami i zajęciem małego placu budowy, wyodrębniono ją jako osobną metodę. Wiercenia kierunkowe wykonywane są przy pomocy wiertnic poziomych, które wykonują jednocześnie dwie czynności. Pierwsza to przeciskanie hydrauliczne stalowych rur osłonowych, druga to wiercenie ślimakiem sprzężonym z głowicą urabiającą.

Ślimak jest równocześnie przenośnikiem odstawiającym urobek z wiercenia do komory początkowej. Długość wiercenia – do 60,0 m, średnica wciskanych rur wynosi od 100 mm do 1400mm. Uzyskiwane dokładności to $\pm 2\%$ długości przecisku. Zaletą metody i skonstruowanych maszyn jest to, że nie wymagają dużych komór początkowych. Niektóre z wiertnic mogą być zabudowane i wykonać wiercenie ze studni o średnicy 2000mm. Technologia wykonania wiercenia przystosowana jest do dużego tempa robót.



Wiertnica dla wierceń kierunkowych niesterowalnych.

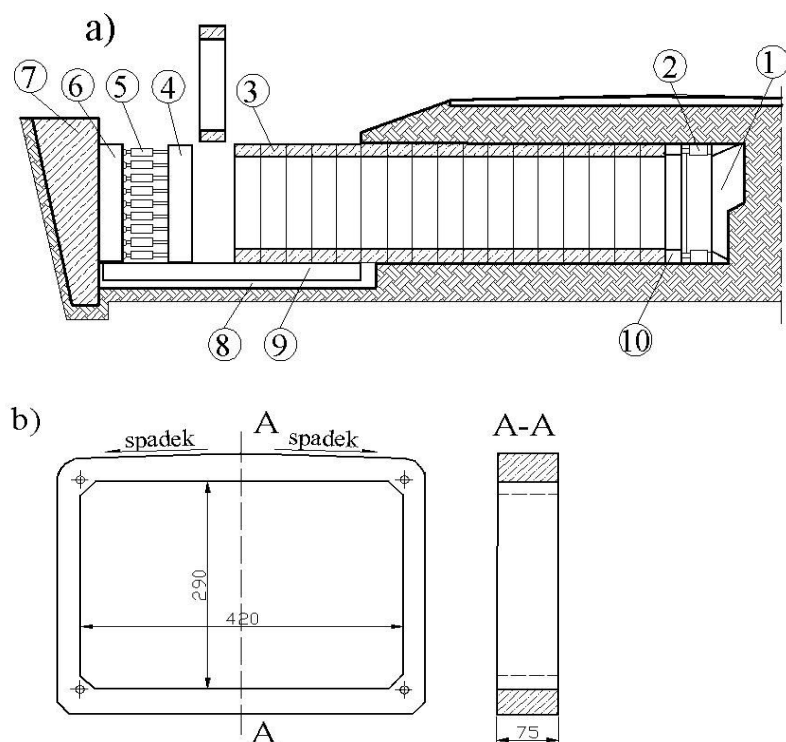
- 1.) agregat hydrauliczny, 2.) głowica urabiająca, 3.)przenośnik ślimakowy, 4.) rama, 5.) urządzenie przeciskowe, 6.) rura przeciskowa.

Przecisk elementów wielkogabarytowych.

Przecisk elementów wielkogabarytowych jest odmianą przecisku hydraulicznego dostosowaną do przeciskania odpowiednio dużych elementów obudowy. Proces przeciskania rozpoczyna się od wykonania komory początkowej.

Wymiary komory początkowej zależą od wielkości przepychanych elementów, wymiarów stosowanych urządzeń, sposobów zabezpieczenia ścian wykopu, wielkości bloku oporowego, odwodnienia i głębokości komory. W pierwszym etapie prac montuje się na torowisku ślizgowym tarczę z nożem lub innym urządzeniem bardziej zaawansowanym technicznie, służącym do urabiania gruntu. Po wepchnięciu do gruntu tarczy, na torowisku ślizgowym montuje się pierwszy segment obudowy. Segmenty żelbetowe ze względu na gabaryty, najczęściej wykonywane są na terenie budowy albo dowożone w elementach i montowane bezpośrednio przed przepychaniem. Element obudowy pchany jest poprzez sztywny pierścień rozkładający równomiernie nacisk poszczególnych siłowników na całą powierzchnię czoła segmentu. Po wepchnięciu elementu i wybraniu urobku z czoła przodka, cykl prac rozpoczyna się od nowa. W miarę wypychania kolejnych elementów, pomimo stosowania substancji smarownej, opór wzrasta. Długość przecisku można zwiększyć poprzez zastosowanie stacji pośrednich. W każdym przypadku siłę tarcia wciskanej obudowy, równoważy reakcja bloku

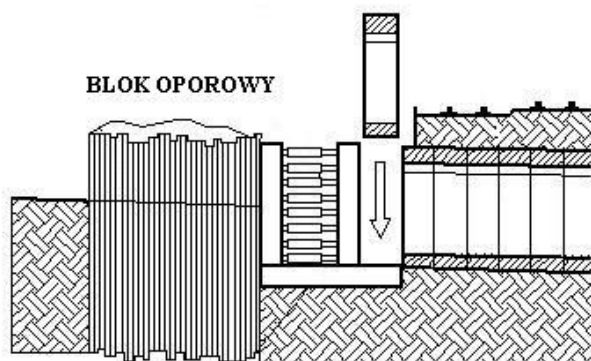
oporowego. Jeżeli komora początkowa zagłębiona jest poniżej terenu, wystarczy wykonać żelbetowy blok oporowy oparty o tylną ścianę komory i wówczas siły przecisku przenoszone są na grunt. Metody przecisku wielkogabarytowego wykonywane są z powodzeniem przez kilka krajowych firm. W Nowym Sączu i Piotrkowie Trybunalskim wybudowano w ten sposób tunele komunikacyjne .



Przejście dla pieszych realizowane metodą przecisku wielkogabarytowego

- 1.) nóż, 2.) siłowniki korygujące kierunek przesuwu, 3.) prefabrykat żelbetowy, 4.) sztywna rama do przenoszenia nacisku, 5.) rama utrzymująca siłowniki, 6.) układ siłowników hydraulicznych, 7.) blok oporowy, 8.) dno komory, 9.) prowadnice, 10.) rama utrzymująca siłowniki korygujące.
- b. rysunek prefabrykatu obudowy dla przejścia podziemnego.

W przypadku, gdy małe zagłębienie tunelu realizowanego metodą przecisku hydraulicznego może powodować znaczne deformacje gruntu nad tunelem, można zastosować metodę „pipe roofing”, aby stworzyć osłonę poziomą nad stropem wciskanej obudowy tunelu. Wykonanie osłony znacznie ogranicza osiadanie gruntu i pozwala na wykonanie tuneli nawet pod budowlami i budynkami . W przypadku budowy tunelu płytkiego, gdzie nie można wybudować komory z blokiem oporowym opartym o ścianę komory, buduje się nadpoziomowy blok oporowy z grodzic.



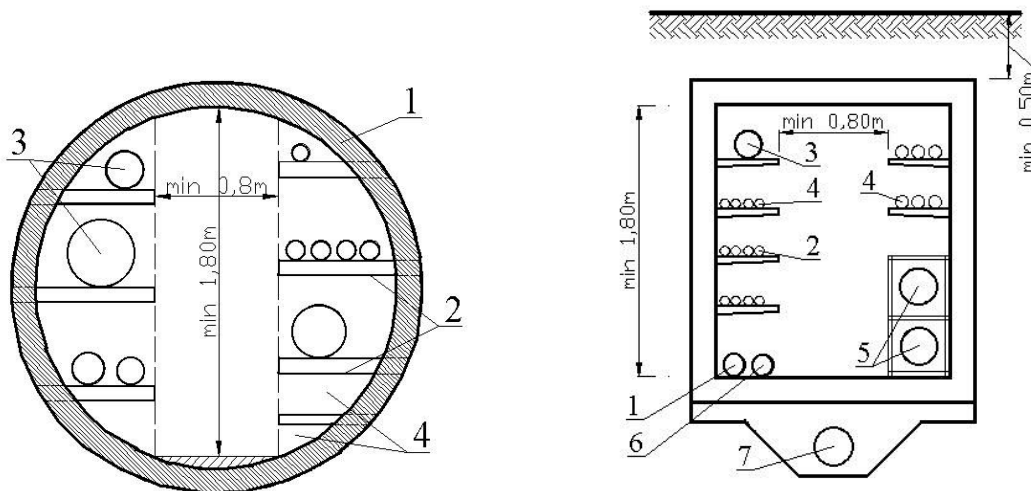
Tunel na małej głębokości z zastosowaniem nadpoziomowego bloku oporowego.

Tunele wieloprzewodowe.

Najwygodniejszym sposobem zabudowy nowych sieci uzbrojenia podziemnego i przebudowy sieci już istniejących jest umieszczenie ich w przełazowych tunelach wieloprzewodowych. Zaletami takiego rozwiązania jest zabudowanie w stosunkowo małym i zajmującym niedużą przestrzeń obiekcie przewodów energetycznych, teletechnicznych, ciepłowniczych, wodociagowych, gazowniczych, kanalizacji tłocznej, a nawet, gdy warunki na to pozwalają kanalizacji grawitacyjnej.

Tunel wieloprzewodowy przełazowy umożliwia stałą kontrolę umieszczonych tam przewodów, w razie potrzeby ich naprawę lub wymianę, a gdy zaprojektowano go z przestrzenią zapasową, można w nim zamontować dodatkowe przewody. W warunkach zabudowy miejskiej, do wykonania tuneli wieloprzewodowych doskonale nadają się metody bezwypokopowe w tym mikrotunelowanie, tunelowanie, a szczególnie przecisk, który jest metodą tanią i bezpieczną w wykonawstwie. Przy odległościach kilkudziesięciu metrów pomiędzy studniami, dokładność wykonania tunelu metodą przecisku jest wystarczająca.

Przekrój poprzeczny tunelu, ze względu na metodę wykonania, jest najczęściej okrągły, lepiej jednak do użytkowania nadaje się przekrój prostokątny, który stosowany jest dla budowy podziemnych przejść dla pieszych.



Tunel wieloprzewodowy – przełazowy Rozmieszczenie sieci uzbrojenia o przekroju okrągłym: 1.) obudowa tunelu, 2.) w tunelu prostokątnym: 1.) wodociąg, 2.) kable przewody uzbrojenia podziemnego, 3.) podparcie energetyczne, 3.) przewód gazowy, 4.) kable przewodów, 4.) przestrzeń rezerwowa. teletechniczne, 5.) sieć ciepłna, 6.) kanalizacja tłoczna, 7.) kanalizacja grawitacyjna.

W polskich przepisach budowlanych o budowie sieci uzbrojenia podziemnego stanowią wytyczne [Zarządzenie nr 11 Ministra Administracji, Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska z dnia 13 kwietnia 1976 r. w sprawie tymczasowych wytycznych projektowania sieci uzbrojenia podziemnego w kanałach zbiorczych] określające wymagania techniczno-budowlane, które należy spełnić przy projektowaniu sieci uzbrojenia podziemnego w tunelach wieloprzewodowych. Wytyczne podają w tabelach najmniejsze odległości pomiędzy przewodami i odległości od ścian tunelu oraz określają minimalne wymiary przejścia dla ludzi poruszających się w tunelu. Na rysunku podano zasady rozmieszczenia przewodów dla różnych

mediów. Szerokie zastosowanie tuneli wieloprzewodowych przy budowie miejskiej infrastruktury podziemnej wymusi brak miejsca na instalację nowych przewodów w istniejącej sieci.

METODY STEROWALNE

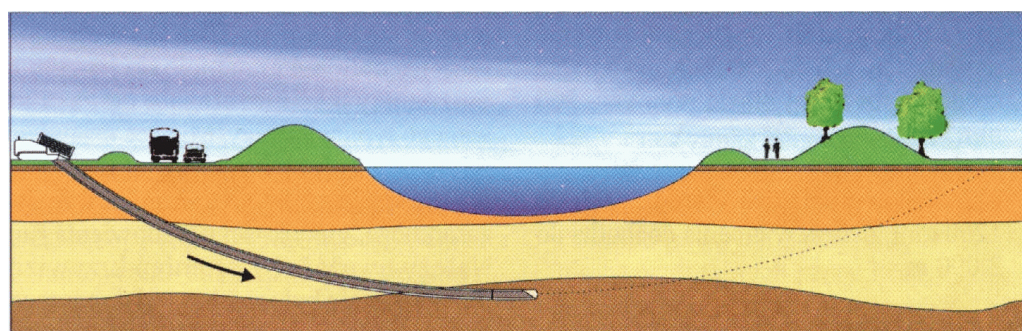
Przewiert sterowany (horyzontalny przewiert sterowany – Horizontal Directional Drilling, HDD).

Przewiert sterowany HDD należy do metod sterowalnych, gdzie podczas prowadzenia wiercenia istnieje możliwość zmiany kierunku i nachylenia otworu wiertniczego.

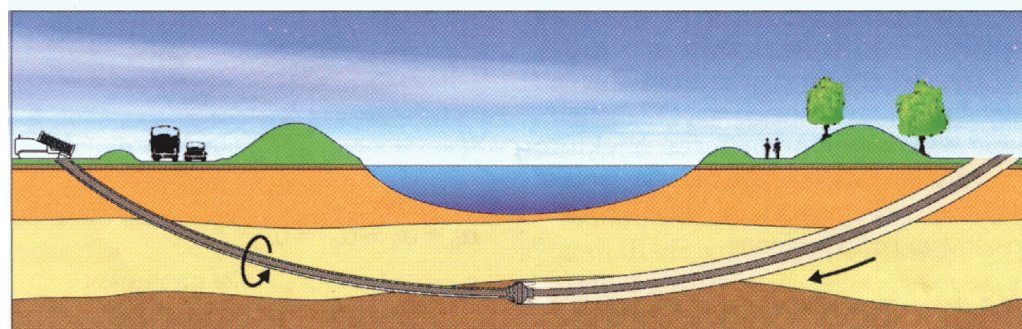
Wiercenie HDD odbywa się w trzech etapach:

- etap I - wiercenie pilotażowe,
 - etap II - rozwiercanie – poszerzenie otworu,
 - etap III - instalacja w otworze rurociągu przewodowego, rury osłonowej lub kabla
- Umożliwia to prowadzenie wiercenia po zaplanowanej trajektorii, omijania napotkanych przeszkód i wykonania korekt trasy, w wypadku stwierdzenia przez system kontrolny odchylenia od projektu.

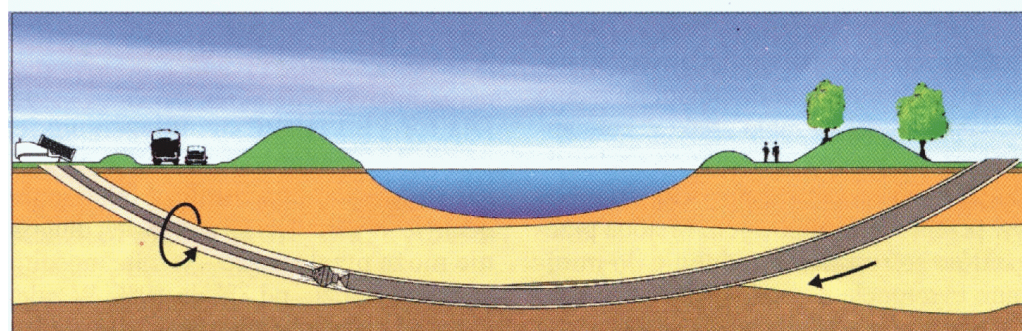
W metodzie HDD wykorzystano rozwiązania opracowane w technikach wiertniczych dla wierceń pionowych badawczych i eksploatacyjnych.



przewiert pilotażowy



rozwiercanie



wciąganie rury

Rys. 5.5. Etapy przewiertu sterowanego HDD [29].



Rys. 5.3. Wiertnica dla przewiertów sterowanych HDD

1.) zintegrowane oświetlenie robocze, 2.) magazynek z żerdziami wiertniczymi, 3.) monitor, 4.) stanowisko operatora, 5.) laweta wiertnicza, 6.) czyszczenie żerdzi wiertniczych, 7.) szczęki dla rozkręcania przewodu wiertniczego, 8.) podwozie gąsienicowe gumowe, 9.) płuczka wiertnicza i pompy hydrauliczne, 10.) zbiornik płuczki wiertniczej z mieszalnikiem, 11.) silnik, 12.) zbiornik hydrauliczny z chłodnicą oleju.

Wiercenie HDD zaczyna się i kończy na powierzchni terenu. Zestaw urządzeń dla przeprowadzenia wiercenia składa się z wiertnicy, najczęściej na podwoziu gąsienicowym, i z samochodu z magazynem płuczki wiertniczej wraz z urządzeniami dla separacji urobku od płuczki. Wielkość terenu potrzebnego dla ustawienia wiertnicy zależy od jej typu i mieści się w granicach: długość 4,0 ÷ 10,0 m, szerokość 2,0 ÷ 4,0 m.

Otworki wiercone metodą HDD wykorzystuje się dla budowy sieci telekomunikacyjnych, energetycznych, gazociągów, wodociągów, kanalizacji ciśnieniowej. Przebieg otworu wiertniczego należy zaprojektować tak, aby promień łuku nie był mniejszy od dopuszczalnego dla żerdzi wiertniczych oraz dla rur wprowadzanych do otworu przewiertu. Szczególną uwagę przy projektowaniu należy zwrócić na wiercenie w części wlotowej, gdzie wiertło zagłębia się w gruncie, oraz w części wylotowej, gdzie wychodzi z gruntu. Technologia wykonania HDD nie przewiduje sterowania na pierwszych zabudowanych żerdziach.

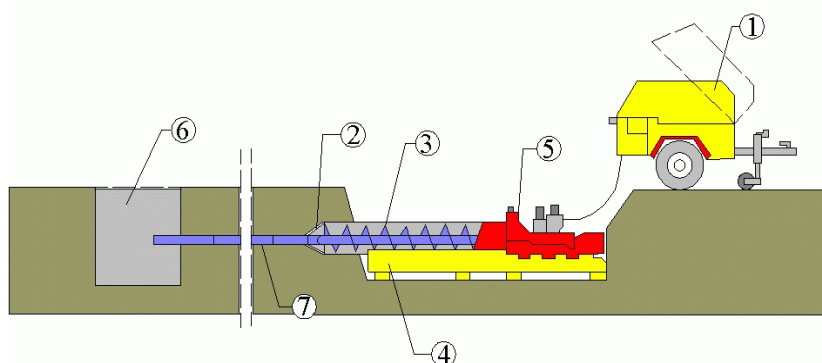
Wiercenie kierunkowe.

Wiercenie kierunkowe sterowalne należy do zespołu metod związanych z przeciskiem hydraulicznym. Wiercenie kierunkowe wykonywane jest wiertnicą poziomą, która wykonuje jednocześnie dwie czynności. Pierwsza to przeciskanie stalowych rur osłonowych, druga to wiercenie ślimakiem sprzężonym z głowicą urabiającą. Ślimak w tej metodzie pełni również rolę przenośnika odstawiającego urobek z prowadzonego wiercenia.

Metoda ta, ze względu na coraz powszechniejsze stosowanie związane z łatwością wykonania i dużym tempem wiercenia, przy stosunkowo małych kosztach wykonania, została wydzielona jako odrębna.

Metoda należy do sterowalnych, ale dokładność wykonania wiercenia zależy przede wszystkim od prawidłowego ustawienia wiertnicy w komorze początkowej. W czasie wiercenia możliwe są tylko drobne korekty zadanego kierunku i nachylenia. Wiertnicę dla prowadzenia wierceń kierunkowych przedstawiono na rysunku.

Zespół wiertniczy. 1) agregat hydrauliczny, 2.) głowica urabiająca, 3.) ślimak – przenośnik ślimakowy, 4.) rama



wiertnicy, 5.) napęd wiertnicy z silnikiem hydraulicznym, 6.) studnia docelowa, 7.) żerdź pilotująca.

Mikrotunelowanie.

Mikrotunelowanie jest najnowszą metodą wykonywania instalacji podziemnych. Technika wykonania mikrotunelu powstała przez połączenie doświadczeń i metod stosowanych w innych, wcześniejszych metodach bezwykopowego prowadzenia robót podziemnych.

Z metody tarczowej wykonania tuneli przejęto zasadę i schemat działania głowicy. Urabianie odbywa się w przodku pod jej osłoną. Systemy odstawy uzależnione są od średnicy wykonywanego rurociągu. Dla dużych i średnich tuneli, oprócz odstawy hydraulicznej, można zastosować odstawę szynową. Przy małych średnicach, gdzie wyeliminowana jest praca ludzi, stosowana jest odstawa hydrauliczna lub odstawianie urobku przy pomocy przenośników ślimakowych.

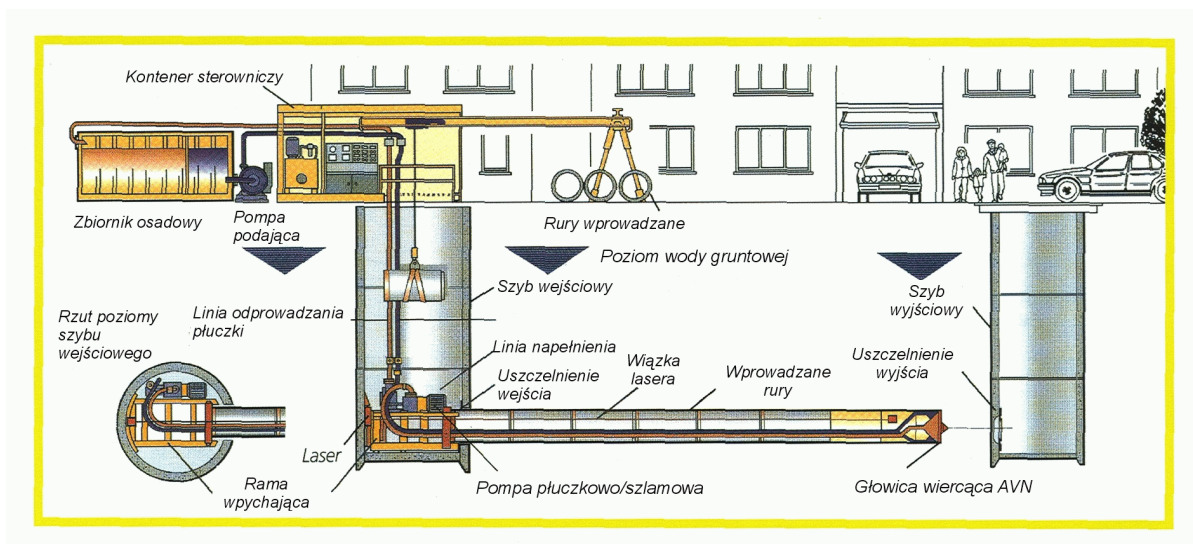
Z metody przeciskowej (pipe jacking) przejęto sposób wykonania obudowy rurociągu. Głowica mikrotunelowa oraz cały rurociąg przepychane są do przodu zespołem siłowników hydraulicznych zabudowanych w komorze początkowej. Metoda stosowana jest tam, gdzie wymagane są duże dokładności pod względem zadanych kierunków i nachyleń, co ma szczególne znaczenie przy realizacji budowy sieci kanalizacji grawitacyjnych. Oprócz tego metoda ma zastosowanie przy zabudowie rurociągów przesyłowych dla gazu, wody i zabudowie rur osłonowych przy przekraczaniu przeszkód.

Przy użyciu odpowiednich urządzeń urabiających, mikrotunelowanie może być wykonywane w każdych warunkach gruntowych. Zastosowanie metody przeciskowej w przypadku wysokiego poziomu wód gruntowych, wymaga jego obniżenia. Metoda mikrotunelowa może być stosowana bez takich zabiegów. Wystarczy wówczas zastosować głowicę mikrotunelową wyposażoną w przegrody powietrzne. Do głowicy wtłacza się sprężone powietrze, którego napór utrudnia, a nawet uniemożliwia napływ wody gruntowej. Operacja ta wymaga od załogi sterówki kierującej wierceniem, dokładnego regulowania ciśnienia płuczki zabezpieczającej przodek tunelu przed dopływem wody gruntowej.

Głowice do mikrotunelowania, gdzie przewidziano pracę ludzi pod ciśnieniem sprężonego powietrza, wyposażone są w komorę dekompresyjną.

W chwili obecnej mikrotunelowaniem można wykonać tunel o średnicach od 300 mm do 4200 mm. Od średnicy mikrotunelu zależna jest długość tunelu - im większa jest średnica, tym dłuższy może być wykonywany tunel.

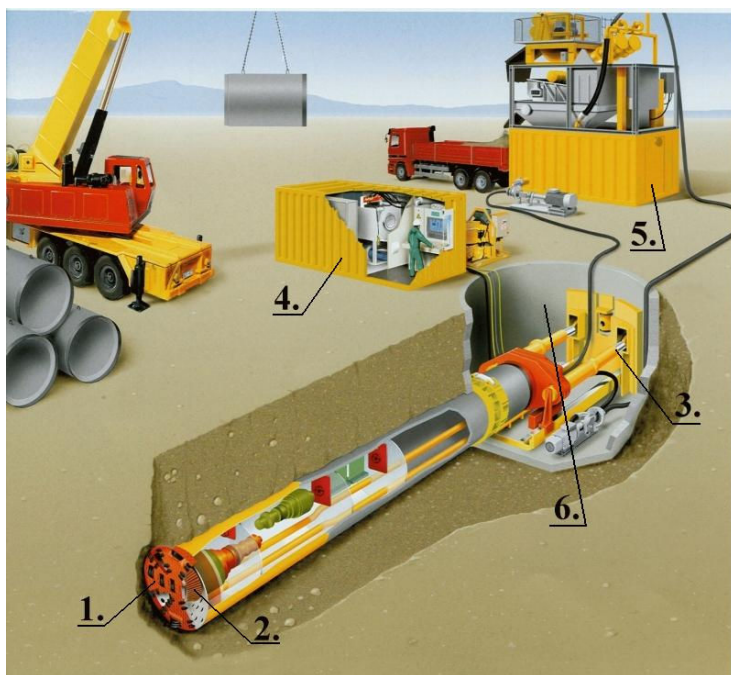
Przykład typowego mikrotunelu pokazano na rysunku. Schemat przedstawia mikrotunel wykonany z szybu wejściowego (komora początkowa) do szybu wyjściowego (komora docelowa). Szyby są wykonane metodą studzienną. Robota wykonana jest poniżej poziomu wody gruntowej.



Schemat mikrotunelowania.

Przeciskowa rura przewodowa jest nieprzelazowa. Urabianie odbywa się głowicą wierzącą z napędem hydraulicznym. Odstawa hydrauliczna prowadzona jest od głowicy urabiającej do zbiornika osadowego na powierzchni. Zestaw urządzeń do wykonania mikrotunelu składa się z następujących części:

- a) głowica do mikrotunelowania,
- b) stacja siłowników z agregatem hydraulicznym,
- c) instalacja smarowania,
- d) zespół odstawy urobku i oczyszczania płuczki,
- e) system sterujący głowicą.



Mikrotunelowanie - głowica wyposażona w obrotową tarczę urabiającą i hydrauliczny sposób odstawy urobku. 1) tarcza urabiająca, 2.) agregaty rozdrabniające urobek i pompy dla hydraulicznej odstawy, 3.) stacje siłowników, 4.) kontener sterowni, 5.) osadnik urobku z zespołem oczyszczania płuczki, 6.) komora początkowa.

Tunelowanie

Drażenie podziemnego wyrobiska można wykonać dwoma sposobami:

- metodą tarczową
- metodą górniczą.

W obu metodach drążenia wykonanie obudowy odbywa się w przodku wyrobiska za pomocą prefabrykowanych segmentów dostarczonych z zewnątrz. Ten szczegół odróżnia tunelowanie od innych metod bezwykopowych. Obecnie za pomocą tunelowania najczęściej budowane są tunele komunikacyjne o dużych przekrojach, niemniej obydwie metody tunelowania – metoda tarczowa i metoda górnicza – nadają się do wykonywania obiektów mniejszych – tuneli transportowych wykorzystywanych w budowie podziemnej infrastruktury miejskiej. Tarczowe metody zmechanizowanego drążenia tuneli pozwalają osiągać bardzo dobre wyniki, mają jednak wady, do których należy zaliczyć:

- kosztowne przygotowanie i wyposażenie placu budowy,
- długi czas przygotowania projektu,
- konieczność zbudowania i zainstalowania tarczy lub urządzenia przeciskowego,
- koszty przystosowania okrągłego przekroju tunelu do potrzeb przyszłego użytkownika.

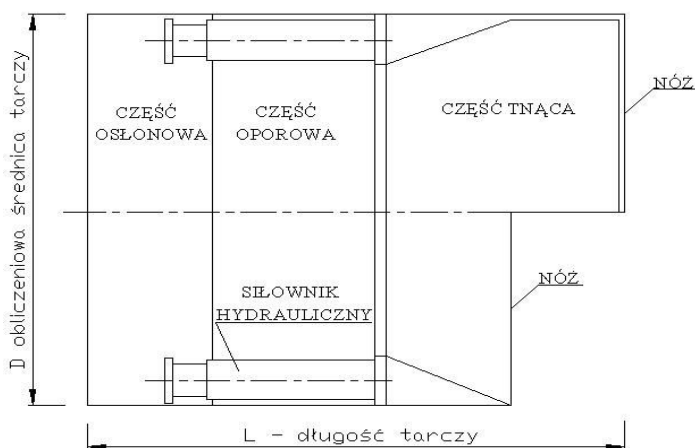
Narzuca to konieczność wykonania analizy ekonomicznej, która pozwoli na ustalenie wielkości potrzebnych nakładów. Dla przykładu, kiedy potrzebny jest krótki tunel o małym przekroju, zlokalizowany w trudnym, zabudowanym terenie, gdzie nie ma miejsca dla dużego placu budowy, może się okazać, że koszty, które należy ponieść dla wykonania wszystkich prac wstępnych, kilkakrotnie przekroczą wartość projektową tunelu. Nie można wówczas wykluczyć, że tradycyjna metoda górnicza wykonania tunelu, z minimalną mechanizacją, pomimo swoich wad ma podstawową zaletę – jest tańsza oraz konkurencyjna czasowo.

Tunelowanie – metody tarczowe

Metodę tarczową zastosowano w latach dwudziestych XIX wieku i od tego czasu jest systematycznie ulepszana. W drugiej połowie XX wieku przeżyła burzliwy rozwój, dzięki wprowadzeniu do robót przodkowych mechanizacji i zastosowaniu tunelowych maszyn urabiających TBM (Tunnel Boring Machine) i TBE (Enlargement Tunnel Boring Machine).

Metoda tarczowa usprawniła tradycyjną metodę górniczą, spowodowała wzrost bezpieczeństwa, zwiększyła tempo prowadzonych robót i umożliwiła wykonanie prac, których wykonanie metodą górniczą było niemożliwe.

W drugiej połowie XX w. powstały doskonalsze maszyny drążące tunel, w których zastosowano głowice urabiające, hydrauliczny transport urobku i zdalne sterowanie. Nie zmieniła się idea działania tarczy, która pozostała taka sama od momentu powstania. Tarcze umożliwiły kompleksowe rozwiązanie drążenia tuneli poprzez wyposażenie ich w urządzenia dostosowane do przewidywanych warunków geologicznych. Metoda drążenia tuneli za pomocą tarczy została zastosowana i rozwinięta dla budowy dużych tuneli komunikacyjnych. Stosowana jest również dla tuneli mniejszych o średnicach 1600-3000 mm, np. tuneli wieloprzewodowych, zbiorczych, małych zbiorników retencyjnych dla kanalizacji, itp. Pierwsza tarcza miała przekrój poprzeczny prostokątny. Najczęściej jest to jednak kształt kołowy stosowany ze względu na korzystny rozkład naprężeń w gruncie wokół tarczy, oraz wytrzymałość konstrukcyjną samej tarczy.



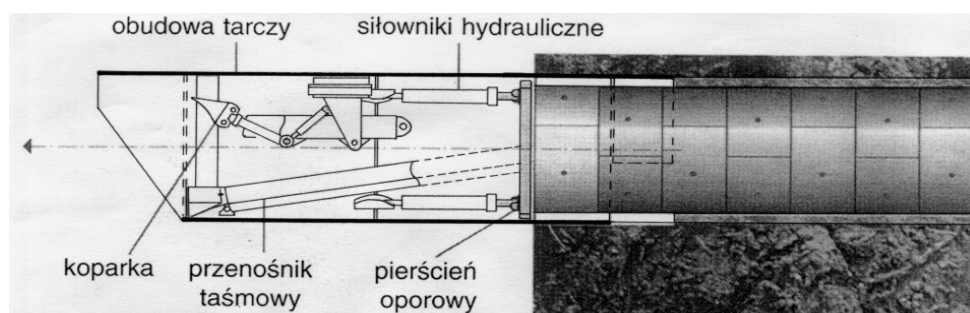
Schemat tarczy

Ideę budowy tarczy przedstawia rys, gdzie widać podział na 3 części:

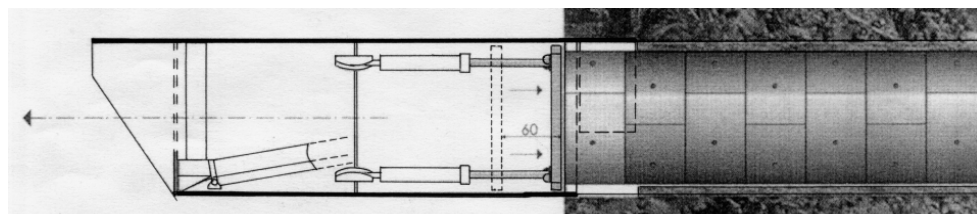
- 1) część przednia – tnąca pod osłoną której dokonuje się urabianie gruntu,
- 2) część oporowa, w której mocowane są siłowniki, podnośniki,
- 3) część tylna (osłonowa), w której wykonuje się obudowę ostateczną tunelu.

Tarcza jest obudową tymczasową, sukcesywnie przesuwaną i wciskaną w grunt, pod osłoną której dokonuje się urabianie i powstaje obudowa ostateczna. Kolejne etapy robót przedstawiono na rysunkach poniżej.

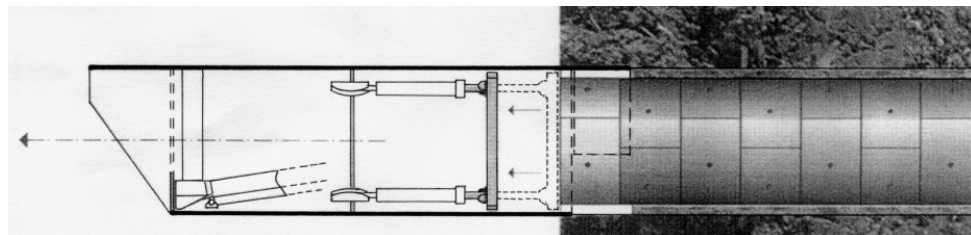
Schemat wykonania prac w metodzie tarczowej – kolejne etapy robót



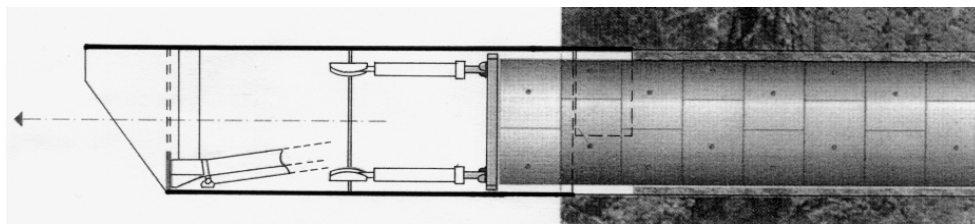
Etap I – odspajanie gruntu i jego transport do komory początkowej.



Etap II – wciskanie tarczy w grunt przez zespół siłowników hydraulicznych.



Etap III – wciąganie ramion siłowników hydraulicznych w celu stworzenia miejsca do ułożenia kolejnego segmentu tunelu z tubingów.



Etap IV – oparcie pierścienia dociskowego na ostatnio zmontowanym segmencie tunelu i przejście do etapu I.

Tarcza w budowie tuneli o dużych przekrojach.

Nowoczesne tarcze mają możliwość drążenia tuneli o średnicach do 14,0 m. TBM znalazły zastosowanie szczególnie w budowie tuneli komunikacyjnych w gruntach słabozwężnych i kurzawkach. Nowoczesne maszyny TBM dostosowano do wykonywania tuneli również w skałach zwięzłych, nawet bardzo twardych. TBM dla dużych średnic jest urządzeniem wielofunkcyjnym, które wykonuje budowę tunelów sposobem kompleksowy. Oznacza to, że po przejściu maszyny wykonana została większość robót związanych z budową tunelu. Długość maszyny TBM ze wszystkimi częściami składowymi – głowica urabiająca, tarcza, kompleks odstawy urobku z taśmociągami i dworcem przeładunkowym – może dochodzić do 400 m [6]. W sprzyjających warunkach postęp dobowy przekracza 20,0 m. Opłacalność zastosowania TBM warunkuje odpowiednio duża długość projektowanego tunelu.



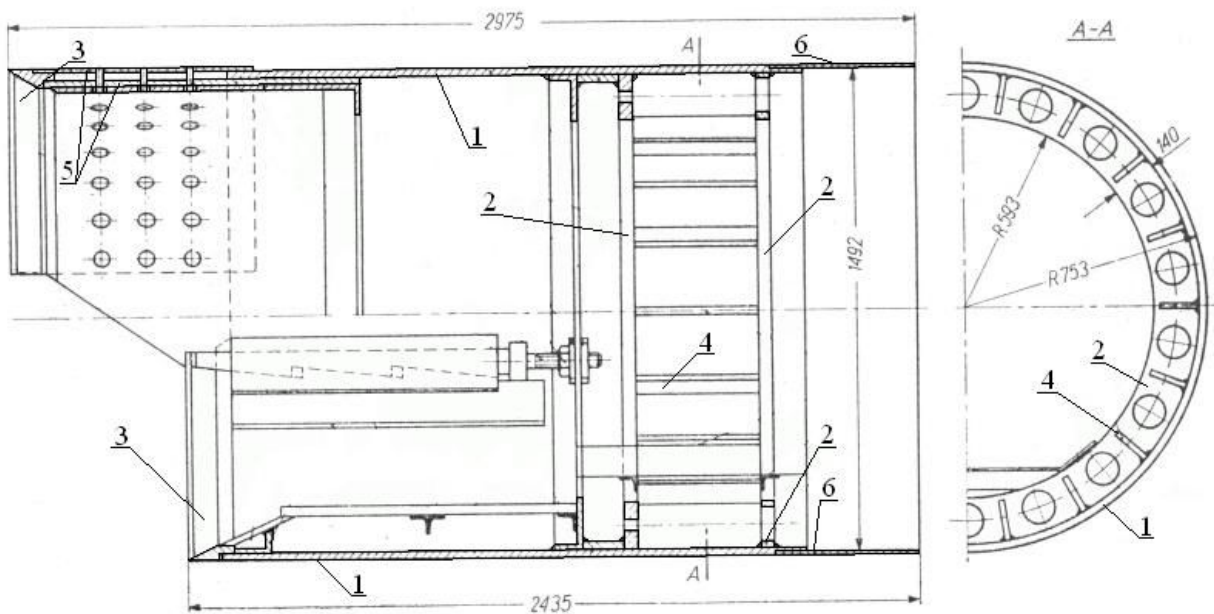
Maszyna TBM przygotowana do rozpoczęcia drążenia tunelu.

1. głowica urabiająca 2. tarcza 3. kompleks odstawy urobku.

- Zalety i wady TBM : Zalety:
- mechanizacja i wysoki postęp robót,
 - mały stopień oddziaływania na powierzchnię i ochrona środowiska,
 - wysokiej jakości i tania obudowa tunelu,
 - wysokie bezpieczeństwo załogi.
- Wady:
- długi czas przygotowania (projektowanie i zabudowanie tarczy),
 - kosztowne przygotowanie placu budowy,
 - wysokie koszty przystosowania przekroju kołowego do kształtu docelowego
 - opłacalność tylko dla dużego zakresu robót

Tarcza do budowy tuneli o małych przekrojach.

Omówione poprzednio tarcze z całą złożonością rozwiązań dostosowane są do budowy tuneli komunikacyjnych o średnicach przekraczających 4,0÷5,0 m. Niemniej istnieje również potrzeba budowania tuneli dla przypadku wahań się w granicach infrastruktury miejskiej. Średnice najczęściej w tym przypadku oscylują około 2,0 m. Tunele o takich średnicach można wykonać metodą przeciskową lub mikrotunelowaniem. Metody te są niesterowalne, a długość tuneli wybudowanych tymi metodami także bywa ograniczona, nawet przy stosowaniu pośrednich stacji siłowników. Jako uniwersalna pozostaje do zastosowania metoda tarczowa. Producenci urządzeń TBM oferują je w zakresie średnic od 1,6 do 3 m. Poniżej przedstawiono przykład tradycyjnej tarczy o średnicy 1,5m.



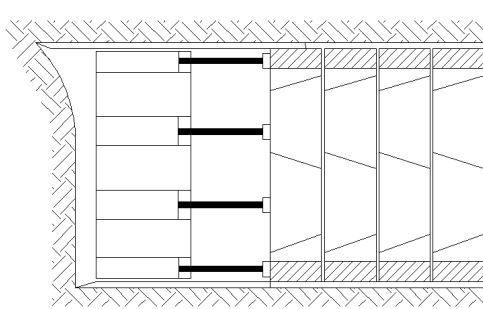
Przykład tarczy o średnicy 1,50m .

1) płaszcz tarczy 2) pierścień oporowy 3) nóż

4) żebra wzmacniające pierścień oporowy 5) daszek 6) część tylna osłonowa

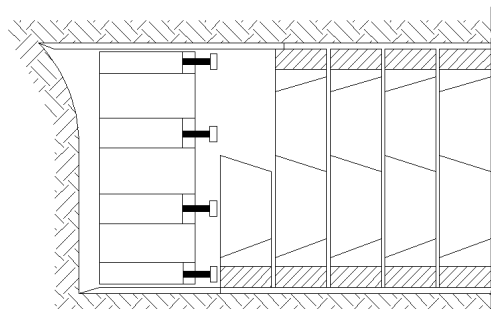
Cykl pracy w przodku prowadzonym za pomocą małej tarczy przedstawia się następująco:

Faza I – wybieranie gruntu i przesuwanie tarczy do przodu na długość pełnego wysunięcia siłowników



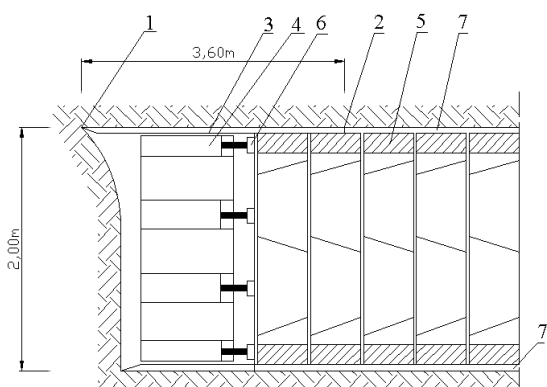
Przepychanie tarczy do przodka.

Faza II – wsunięcie tłoczków do cylindrów siłowników i po wyczyszczeniu pola pod osłoną, budowa kolejnego pierścienia obudowy.



Budowanie kolejnego pierścienia obudowy.

Faza III – siłowniki zostają ponownie rozparte o dopiero co wykonaną obudowę – następuje dociśnięcie pierścienia obudowy i rozpoczęcie wybierania gruntu z przesuwaniem tarczy.



Rozpoczęcie nowego cyklu pracy tarczy.

1.) nóż tarczy, 2.) tył tarczy, 3.) powłoka tarczy, 4.) siłowniki, 5.) elementy obudowy, 6.) tłoki siłowników z pierścieniem oporowym, 7.) przestrzeń do zainiektowania.

W celu zminimalizowania osiadania terenu nad drążonym tunelem oraz zwiększenia podporności obudowy, prowadzi się równoległe z przesuwaniem tarczy iniekcję pierwotną. Jako roztwór iniekcyjny najczęściej stosowany jest zaczyn cementowy, podawany przez otwory w obudowie na jej płaszczyznę zewnętrzną lub, co aktualnie jest stosowane chętniej, zaczyn podaje się poprzez przewody na tył tarczy za pomocą specjalnej instalacji. Za przodkiem w odległości 40–100 m przeprowadzana jest iniekcja wtórna eliminująca skurcz betonu. Tę iniekcję robi się wyłącznie poprzez otwory w segmentach. Wskazane jest użycie cementów o własnościach bezskurczowych, a lepiej – ekspansywnych.

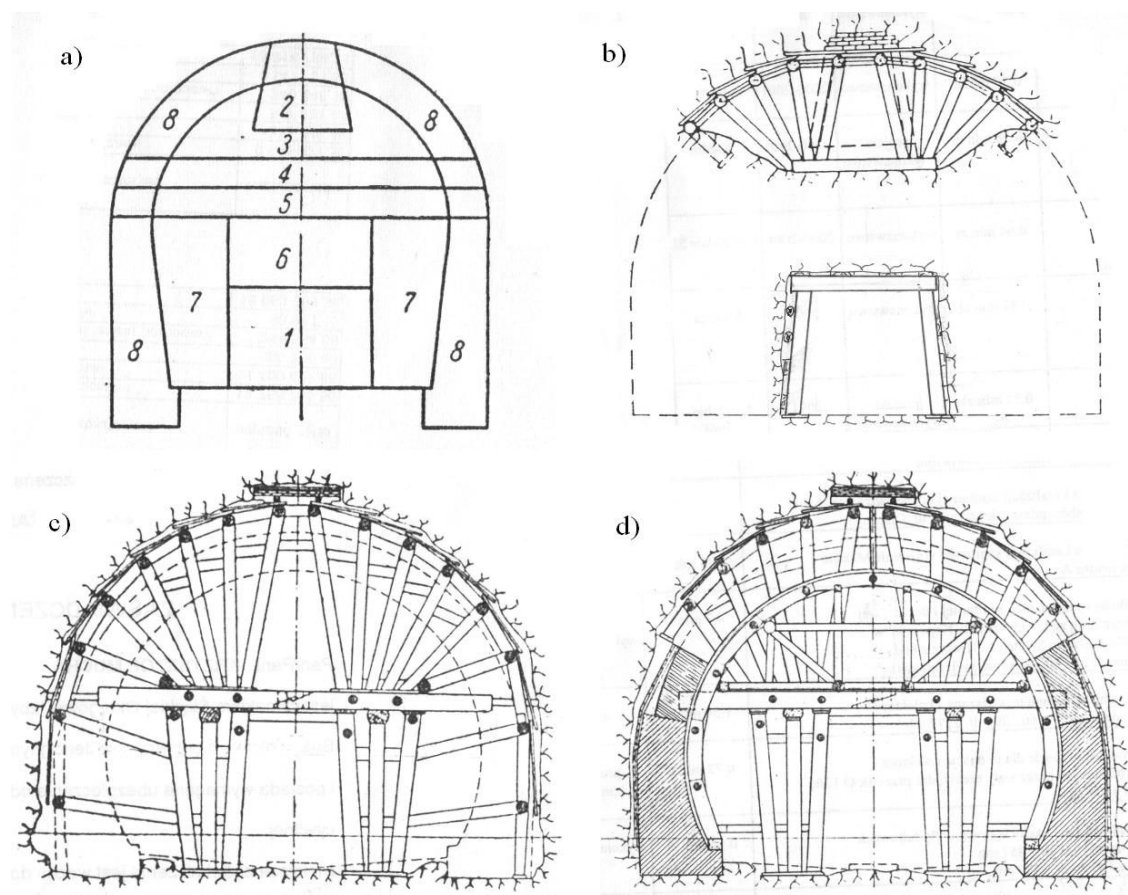
Zastosowanie tarcz do budowy tuneli umożliwiło wykonanie robót w trudnych warunkach gruntowych, w górotworze zawodnionym, w skałach o małej zwięzłości. Zwiększyła się również możliwość wykonywania tuneli o dużych przekrojach poprzecznych – średnice do 14 m.

Tarcze zrewolucjonizowały także uzyskiwane postępy dobowe. Postęp dobowy tunelu ponad 20,0 m nie jest niczym nadzwyczajnym. Tak wysoka wydajność narzuca konieczność odpowiedniego rozplanowania placu budowy i precyzyjnych

działań logistycznych w zakresie odstawy urobku oraz obrotu materiałowego. Szczególne problemy rodzą się przy budowie dużych tuneli w terenie trudnodostępnym. Trudno jest również zorganizować budowę w warunkach gęstej zabudowy miejskiej, gdzie niełatwo jest znaleźć dostatecznie duży plac składowy i miejsce na plac budowy. Do miejsca tego należy całą dobę utrzymywać regularny transport: dostarczać materiały i odbierać urobek. Dlatego już w fazie projektowania tunelu należy przewidywać tereny, które mogą służyć do urządzenia placów składowych i budowy zaplecza. Istotnym czynnikiem w całym procesie technicznym i logistycznym przedsięwzięcia jest dobór odpowiednich tarcz. Analiza kosztów może wykazać, że bardziej celowe jest rozbić zadania na odcinki i zastosowanie kilku tarcz do różnych warunków, zamiast jednej tarczy uniwersalnej.

Tunelowanie - metody górnicze

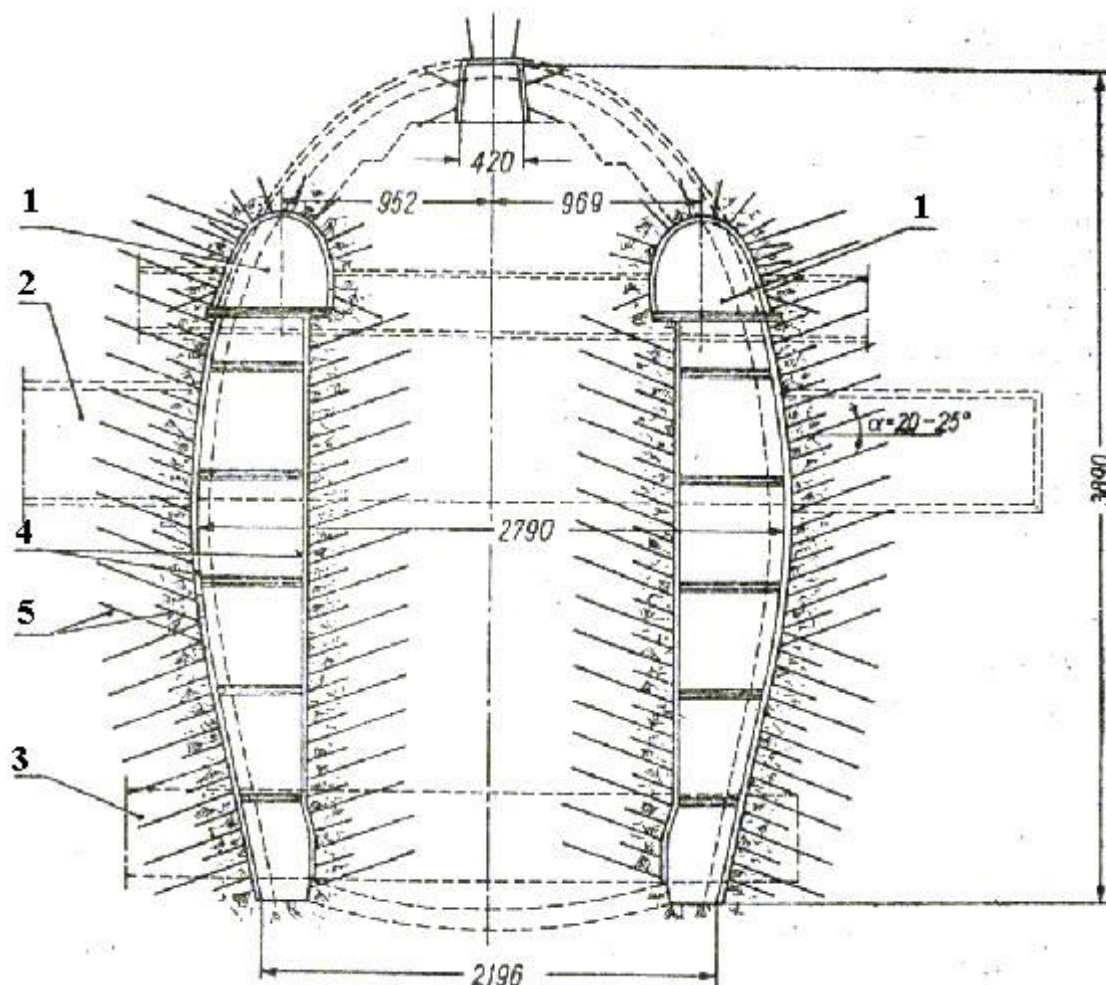
Tunele budowane metodami górniczymi można w przybliżeniu podzielić na dwie grupy, w których jako kryterium podziału przyjęto wielkość powierzchni poprzecznej oraz sposób urabiania czoła przodka. Pierwsza grupa to tunele o dużym przekroju poprzecznym, w których urabianie i obudowę wstępną wykonuje się partiami po obrysie przekroju. Obudowę ostateczną wykonuje się odcinkami po całkowitym wykonaniu wyłomu (urabianie weinkami). Opracowano kilka metod budowy tuneli, które różnią się między sobą ilością sztolni, sposobem ich rozmieszczenia w profilu wyłomu oraz sposobem wykonania obudowy ostatecznej.



Metoda austriacka budowy tunelu.

a.) Schemat z kolejnością wykonania poszczególnych sztolni, b.) Budowa kaloty po wykonaniu sztolni 1 i 2, c.) Pełna obudowa tymczasowa, d.) Wznoszenie obudowy ostatecznej.

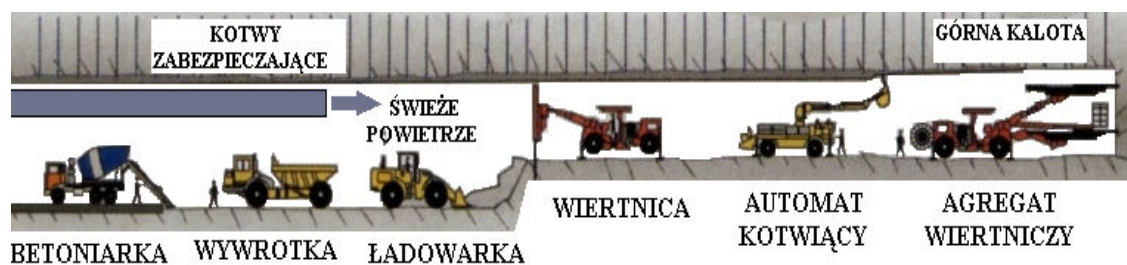
Metody te przejęły nazwę od krajów, gdzie zastosowano je po raz pierwszy. Mam w związku z tym metodę: austriacką, belgijską, niemiecką, angielską, włoską i nową metodę austriacką. Na rys. poniższym pokazano schemat wykonania tunelu o bardzo dużych rozmiarach.



Schemat wykonania tunelu o przekroju poprzecznym około 800m².

- 1.) chodnik sklepieniowy, 2.) sztolnia komunikacyjna, 3.) sztolnia odpływowa, 4.) beton natryskowy, 5.) kotwie żelbetowe, (Wymiary podano w centymetrach).

Współczesny sposób budowy dużego tunelu komunikacyjnego metodami górnictwymi przedstawiono na rysunku poniżej.



Tunel wykonywany klasyczną metodą górnictw.

Druga grupa tuneli to tunele jednootworowe o małych przekrojach poprzecznych, przy wykonaniu których wyłom i obudowę wykonuje się bez podziału na elementy.

Proces inwestycyjny wykonania tunelu metodą górnictw można podzielić na następujące etapy:

- organizacja zaplecza i placu budowy,

- wykonanie komory początkowej,
- wykonanie tunelu,
- roboty towarzyszące w czasie drążenia tunelu,
- roboty uzupełniające (studnie, szybiki, pochylnie),
- roboty wyposażeniowe i końcowe.

Organizacja zaplecza i placu budowy.

Po przekazaniu placu budowy pierwszym zadaniem wykonawcy jest zorganizowanie zaplecza. W budownictwie tunelowym teren budowy jest na ogół podzielony na część zwaną „zapleczem budowy” i drugą część, zwaną „miejszem budowy”. Używane w Rozporządzeniu (Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30.05.2000 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie) pojęcie „teren budowy” należy rozumieć łącznie jako zaplecze i miejsce budowy. W przypadku budowy tunelu w terenie słabo zurbanizowanym (często przy budowie tuneli górskich) teren budowy można zorganizować bezpośrednio w pobliżu miejsca prowadzenia robót i jako całość urządzić stosownie do wspomnianego wyżej rozporządzenia. W trakcie budowy tuneli miejskich uwarunkowania miejsca narzucają podział „terenu budowy” na zaplecze i miejsce budowy. Bywa również, że jedno zaplecze jest wspólne dla kilku miejsc budowy, nieraz oddalonych od siebie o kilka kilometrów. Wówczas na miejscu budowy lokalizuje się wyłącznie niezbędne elementy wyposażenia potrzebnego do drążenia tunelu, zaś wszystkie pozostałe części znajdują się na zapleczu.

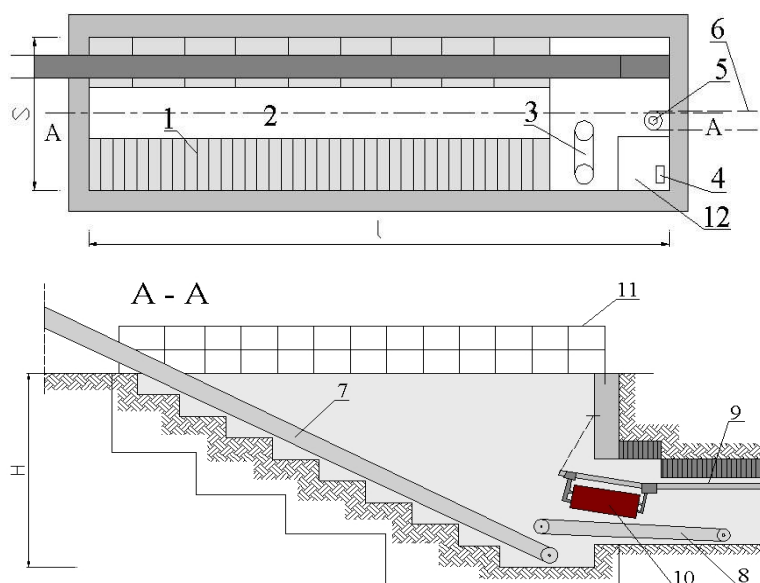
Wykonanie komory początkowej.

Zależnie od lokalizacji tunelu i przyjętej technologii jego drążenia, należy dobrać odpowiedni sposób rozpoczęcia prac.

Tunel w każdym przypadku drążony jest z komory początkowej. Z kolei komora początkowa jest przedłużeniem pochylni, sztolni lub szybika. Każdy z tych sposobów udostępnienia tunelu wymaga zajęcia placu o powierzchni odpowiednio:

- dla sztolni min. 6,00 x 20,00 m
- dla szybika min. 5,00 x 10,00 m
- dla pochylni min. 10,00 x 30,00 m

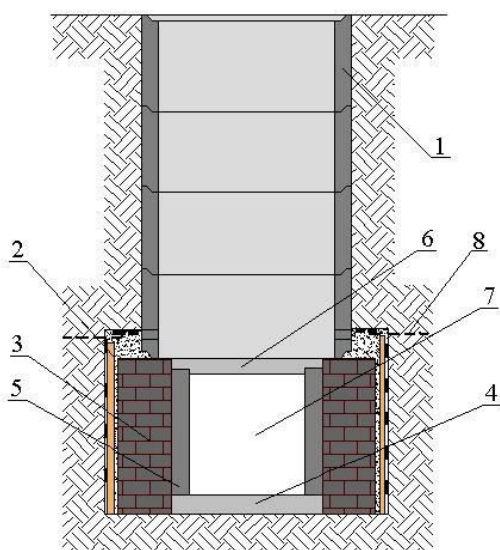
W celu wykonania tunelu, zagłębionego nieraz znacznie poniżej powierzchni terenu, niezbędnym jest zejście na wymaganą głębokość za pomocą pochylni lub szybika. Miejsce rozpoczęcia tunelu projektuje się zwykle w miejscu przyszłej studni lub komory technologicznej, uwzględniając możliwości lokalizacyjne na powierzchni. Lokowanie komory początkowej pod pochylnią ma tę zaletę, że w przyszłości pozwoli wciągnąć do tunelu wyposażenie o znacznych długościach (mogą to być rury 6,00 ÷ 12,00 m). Rozpoczęcie prac z szybu lub szybika pozwoli na powierzchni zająć bardzo mało miejsca, lecz wówczas będzie można wprowadzać do tunelu rury o długościach około 3,00 m. Jak widać, o wyborze sposobu udostępnienia miejsca rozpoczęcia tunelu decyduje wielkość placu na powierzchni, jakim możemy dysponować.



Komora początkowa z pochylnią do drążenia tunelu.

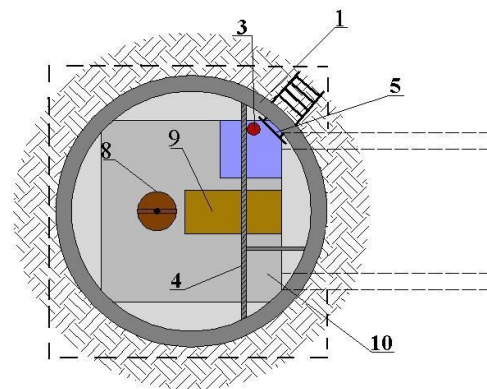
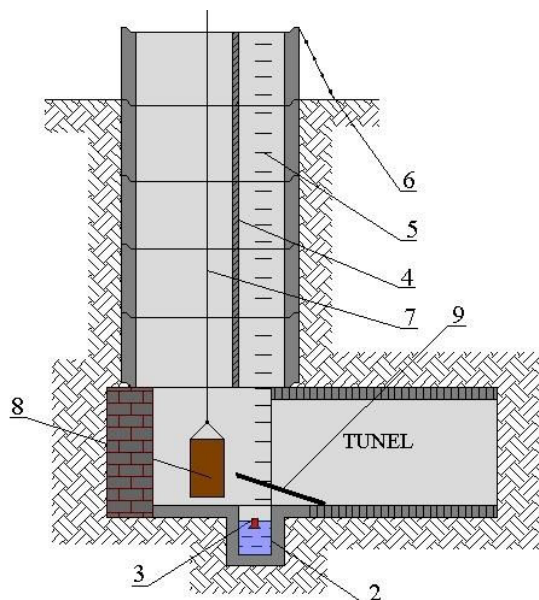
- 1.) schody, 2.) pochylnia materiałowa, 3.) rurociąg dla betonu, 4.) pompa odwadniająca, 5.) wentylator, 6.) lutniociąg, 7.) przenośnik taśmowy, 8.) podajnik taśmowy, 9.) kolejka wisząca, 10.) naczynie transportowe, 11.) poręcz, 12.) rzępie.

W przypadku małej ilości miejsca na prowadzenie budowy, tunel można rozpocząć i drążyć z komory zlokalizowanej pod szybikiem. Przy tym rozwiązaniu wielkość zajętego placu ogranicza rozstawienie niezbędnego sprzętu. Szybik jest w tym przypadku wyrobiskiem, przez który prowadzi się komunikację, a także odstawę urobku i dostawę materiałów do drążonego tunelu. Wielość funkcji narzuca jego rozmiary poprzeczne. Najczęściej dla małych tuneli stosowane średnice szybów zawierają się w przedziale 1,60 do 2,50 m.



Komora początkowa tunelu zlokalizowana pod szybikiem.

- 1.) kęgi obudowy szybu
- 2.) obudowa tymczasowa komory początkowej,
- 3.) mur ociosowy komory,
- 4.) spąg komory,
- 5.) ściany ociosowe tunelu
- 6.) belka stropowa tunelu,
- 7.) czoło przodka tunelu, 8) kotwy.



Przekrój przez szyb i komorę początkową tunelu. 1.) obudowa szybu, 2.) rzapie, 3.) pompa, 4.) przepierzenie, 5.) drabina zejściowa, 6.) drabina wejściowa, 7.) lina wyciągowa, 8.) kubel samowyladowczy, 9.) najazd dla ładunku kubła, 10.) przedział kablowy i lutniociąg

Wykonanie tunelu.

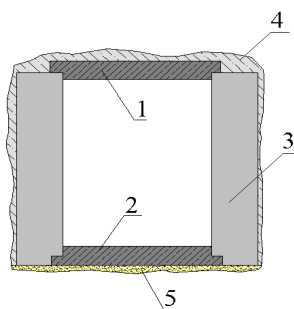
W referacie przedstawiono przede wszystkim wykonanie tuneli o małym przekroju, metodą górniczą. Ze względu na gabaryty tych tuneli nie można przy ich budowie wprowadzać dużej mechanizacji, a wobec tego przodek wystarczy wyposażać w proste narzędzia oraz w urządzenie transportowe.

Roboty tunelowe są wykonywane powtarzającymi się cyklami pracy. W czasie jednego cyklu pracy, wybudowany zostaje odcinek tunelu o długości ustalonej doświadczalnie. Długość ta zależy od budowy górotworu, skał w których prowadzone są roboty, zawodnienia górotworu, gabarytów wyrobiska, stosowanej mechanizacji organizacji prac. Całkowity cykl pracy wykonywany jest w kilku etapach, a mianowicie:

- wykonanie wyłomu łącznie z obudową wstępną,
- wykonanie obudowy ostatecznej,
- przebudowa urządzeń podążających za przodkiem, (zasilanie w energię elektryczną, oświetlenie, sygnalizacja, wentylacja, rurociągi, itp.).

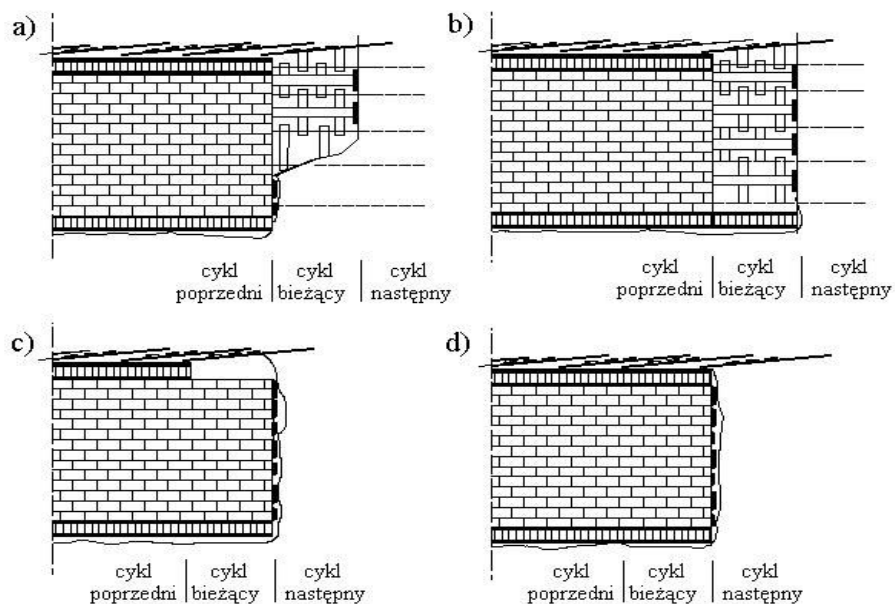
Dla przeciętnych warunków gruntowych w tunelu o przekroju kilku metrów kwadratowych, cykl pracy w przodku rozpoczyna się od wykonania obudowy tymczasowej wyprzedzającej czoło przodka. Zależnie od zwięzłości gruntu obudowę wstępną stanowią mogą stalowe pręty, profile walcowane, wypraski lub tarcza stropowa. Długość tych elementów powinna wynosić około 1,5 długości jednorazowego zabioru. W wytrzymałych gruntach można zrezygnować z wbijania prętów ociosowych. Urabiając przodek od góry do dołu wybiera się urobek z całego zabioru, łącznie z pogłębioną częścią spagową. Płyty spagowe lub belki spagowe, najczęściej identyczne ze stropowymi, układa się na podsypce piaskowej lub zaprawie cementowej, według zadanej niwelacji. W trzecim etapie wykonuje się mury ociosowe do zadanej wysokości. Aby nie uległy odkształceniu pod wpływem napierającego górotworu, zostają natychmiast rozparte. Rozparcie należy utrzymać co najmniej do czasu przejścia przez mur obciążenia pionowego i częściowego związania zaprawy. Równolegle z budową murów zakłada się bale opinające czoło przodka. W czwartym etapie ustawia się na murach od strony czoła przodka, pojedynczą belkę, ponad którą wbija się elementy obudowy wyprzedzającej następnego zabioru. Następnie zabudowane zostają kolejne belki zespolone klejami mineralnymi. Pustki nad belkami na bieżąco wypełnia się zaprawą betonową. Wypełnianie pustek znacząco obniża osiadanie terenu i zmniejsza parcie gruntu na obudowę tunelu. Niedozwolone jest zasypywanie wolnych przestrzeni piaskiem lub gruntem. Migrująca woda z czasem wypłucze luźne ziarna ilów i piasków, powstaną kawerny i w konsekwencji dojdzie do

zapadania się gruntu. Po wykonaniu robót towarzyszących, można rozpocząć ponowny cykl – wykonanie nowego zabioru. Przekrój przez tunel pokazano na rysunku .



Przekrój poprzeczny przez tunel z obudową murową.

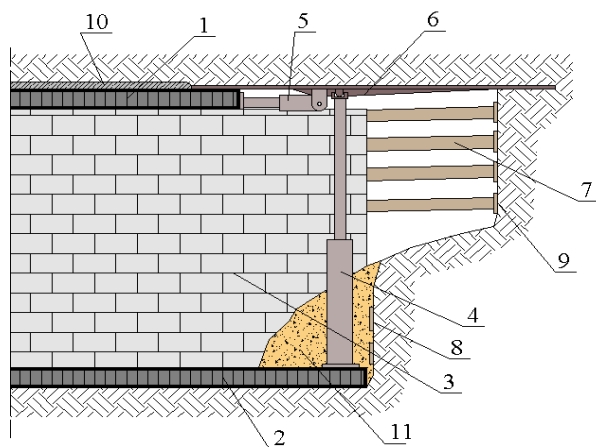
- 1.) belka stropowa, 2.) belka spągowa, 3.) mury ociosowe, 4.) wypełnienie zaprawą,
5.) warstwa wyrównująca.



Fazy wykonania cyklu roboczego

a.) Urabianie calizny i wykonanie obudowy tymczasowej, b.) Zabudowa belek spągowych, c.) Budowa muru , d.) Założenie belek i wbicie prętów obudowy wyprzedzającej.

W warunkach suchych, słabozwężłych i sypkich gruntów, kiedy wykonanie deskowania na wbitych uprzednio prętach jest niemożliwe, sposobem na drażnienie tunelu jest zastosowanie tarczy do zabezpieczenia stropu. Z metody tarczowej zapożyczona jest osłona stropu w postaci odpowiednio wzmocnionej płyty stalowej. Tarcza przesuwana jest do przodu za pomocą siłowników hydraulicznych i podpierana stojakami hydraulicznymi. Cykl pracy w tak urządzonym przodku przedstawia się podobnie do uprzednio opisanego. Pierwszą czynnością jest przebudowa stojaków do czoła przodka. Po rozparciu stojaków następuje przesuwanie tarczy za pomocą siłowników rozpartych do uprzednio zabudowanych belek stropowych.



Zastosowanie tarczy do zabezpieczenia stropu w przodku.

1) belki stropowe, 2.) belki spągowe, 3.) mur ociosowy, 4.) stojak – podpora tarczy, 5.) siłownik tarczy, 6.) tarcza, 7.) rozpora czoła przodka, 8.) bale drewniane stanowiące opinkę czoła przodka poprzedniego zabioru, 9.) bale drewniane stanowiące opinkę bieżącego zabioru, 10.) wypełnienie pustek za obudową, 11.) pryzma urobionego gruntu.

Roboty towarzyszące w czasie drażnienia tunelu.

Drażnienie każdego tunelu jest zbiorem różnych czynności podstawowych i prac pomocniczych. Część tych prac musi być wykonana dla każdego cyklu roboczego. Inne wykonuje się okresowo po osiągnięciu określonego postępu. Stale należy utrzymywać sprawną dostawę materiałów i odstawę urobku, a także oświetlenie w przodku, wentylację, łączność, stację pomp ciśnieniowych i odwadnianie. Na bieżąco prowadzone są czynności kontrolne sprzętu i instalacji. Wymienione czynności przeprowadzane są w czasie trwania cyklu roboczego i na ogół nie wymagają zbyt wiele czasu. W czasie cyklu roboczego w kalkulowane jest również sprawdzenie kierunku i niwelacji tunelu na zgodność z zadanymi przez geodetę. Drugą grupą prac jest cały zespół czynności usługowych, które mogą być prowadzone równoległe z postępem przodka, a polegają głównie na zabudowie lub rozbudowie różnego rodzaju instalacji.

Roboty wyposażeniowe i końcowe.

Nazwa „tunel transportowy” jest pojęciem bardzo szerokim i dlatego roboty wykończeniowe trzeba traktować indywidualnie dla każdego przedsięwzięcia. Docelowe przeznaczenie narzuca cały szereg prac przystosowawczych, wyposażeniowych i końcowych w wykonanym górniczo tunelu. Przystosowanie polega na wykonaniu ostatecznego przekroju poprzecznego tunelu, wybetonowaniu kinet, wykonaniu odwodnień, wyprawie ścian i stropu oraz zabudowie konstrukcji nośnej przewodów. Roboty wyposażeniowe to głównie wciąganie, układanie i stabilizacja przewodów, rur i drenów, a także wykonanie zabezpieczeń mechanicznych w szybach i studniach oraz zabezpieczeń antykorozyjnych dla betonów i części metalowych. Poniżej podano kilka typowych przykładów prac wyposażeniowych i końcowych. Tunel, w którym prowadzony będzie ciek wodny winien zapewniać nieskrępowany przepływ wód równocześnie nie powodując zmian hydrologicznych w gruntach otaczających. Dla takiego tunelu roboty wyposażeniowe, to zabezpieczenie stropu i ścian przed przesiąkaniem wody oraz wyprofilowanie poprzeczne spagu w formie kinety i wyprofilowanie podłużne z jednostajnym spadkiem na całej długości.

Tunel z rurą przewodową wypełniającą cały przekrój

Dla takiego tunelu pracami wyposażeniowymi będzie wylewka spągu stanowiąca podbudowę pod rury, oraz zabudowa rurociągu. W wykonanym górniczo tunelu służba geodezyjna ponownie wyznacza niwelację i w odniesieniu do tej niwelacji wykonuje się wylewkę spągu, która stanowi podparcie dla rur. W dalszej kolejności z powierzchni wprowadza się rury (poprzez pochylnię lub komorę), ustawia na miejscu i odpowiednio łączy w sposób jak przewiduje technologia. Ustawione rury w tunelu należy na bieżąco stabilizować – najlepiej poprzez zapełnienie wolnej przestrzeni za pomocą piasku lub zaprawy iniekcyjnej. Do wypełnienia wolnej przestrzeni można użyć spieniających się zapraw mineralnych. Jest to rozwiązanie tanie i szybkie w wykonaniu.

Tunel nieprzelazowy wieloprzewodowy.

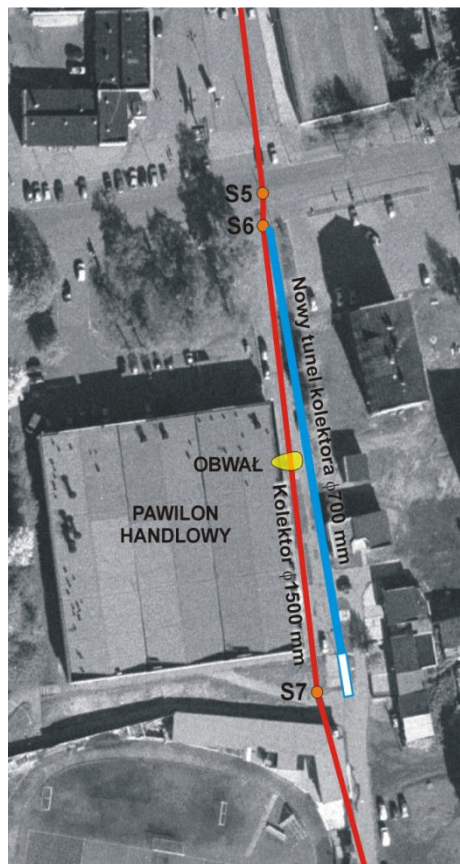
W takim tunelu postępujemy podobnie jak w przypadku opisanym wyżej. Wyznaczamy niwelację dla każdej z rur, następnie jeżeli pomiędzy nimi zachodzi znaczna różnica wysokości robimy wylewkę pod ustawienie rury niżej zlokalizowanej. Zabudowaną rurę zasypujemy piaskiem i wykonujemy podsypkę przed ułożeniem kolejnej rury, którą w miarę układania również zasypujemy piaskiem lub iniektujemy jak w punkcie wyżej. W obydwu przypadkach zabudowane i wypełnione odcinki tunelu zamykamy murem w każdej studni rewizyjnej.

Tunel wieloprzewodowy przelazowy.

W tunelu wieloprzewodowym oprócz zabudowanych tam przewodów powinno być utrzymywane sprawne odwadnianie. Pomimo odwadniania może się zdarzyć awaria i utworzy się zalewisko, które będzie wypierało zabudowane przewody. W tym celu w tunelu wieloprzewodowym wszystkie rury i kable muszą być zamocowane do konstrukcji lub podparte odpowiednimi fundamentami i rozparte do stropu. Na całej długości tunelu musi być czynny kanał ściekowy, którym na bieżąco odprowadzana jest woda. Wszystkie części metalowe jak elementy konstrukcji, obejmy, podpory, należy dwukrotnie malować odpowiednimi farbami antykorozyjnymi, zaś części gwintowane śrub odpowiednio zakonserwować. Wskazany jest, aby również elementy betonowe – ściany i strop były zabezpieczone przeciwwilgociowo środkami polimero - betonowymi.

WYKONANIE TUNELU NA ODCINKU KANALIZACJI OGÓLNOSPŁAWNEJ POMIĘDZY STUDNIAMI S6-S7

Opis ogólny



Przedmiotowy kolektor kanalizacji ogólnospławnej odprowadza do potoku Bielszowickiego wody opadowe i ścieki z doliny zlokalizowanej między KWK „Pokój” a Hutą „Pokój”. Według podstawowej mapy Zasobu Geodezyjnego i Kartograficznego w Rudzie Śląskiej kolektor ten jest rurociągiem kanalizacyjnym o średnicy 1500 mm. Bardziej szczegółowe dane na jego temat nie istnieją, gdyż jest to obiekt stary wybudowany w drugiej połowie XIX w. Na podstawie przeprowadzonych wywiadów terenowych i wizji lokalnej stwierdzono, że jest to ciek wodny biegnący dnem doliny, z obudową wykonaną z różnych materiałów i o zróżnicowanym kształcie. Na większości odcinków jest to obudowa murowa o kształcie kolistym, natomiast w znacznej części obudowę stanowią murowane, proste ściany ze stropem z płyt żelbetowych. Kolektor jest zasypany skałą płoną o miąższości od kilku do kilkunastu metrów. Obudowa potoku, niezależnie od sposobu jej wykonania, jest ogólnie w złym stanie technicznym, wywołanym długoletnim użytkowaniem, brakiem konserwacji i niszczącym wpływem eksploatacji górniczej. Dodatkowo na powierzchni terenu w niedalekiej odległości od osi kolektora usytuowano budynki mieszkalne i użyteczności publicznej – rys. 1.

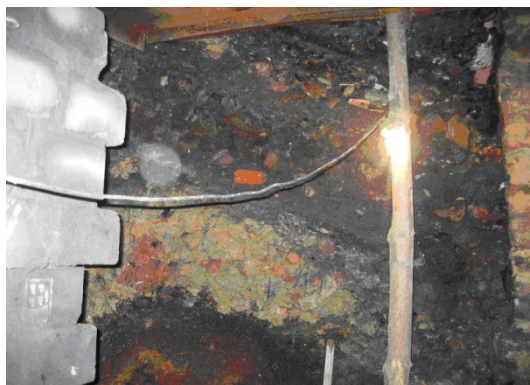
Rys. 1 lokalizacja istniejącego kolektora Ø 1500mm oraz projektowanego tunelu na kolektor Ø 700mm.

Realizacja zadania według projektu technicznego

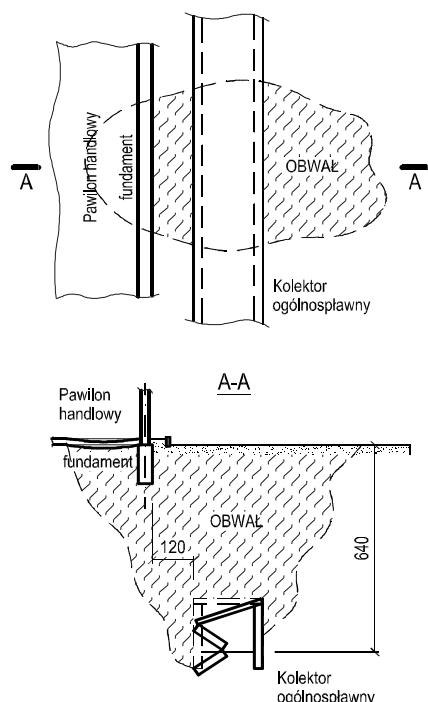
Sposób odnowienia i naprawy kolektora ustalono w projekcie „Przywrócenie do stanu pierwotnego kolektora ogólnospławnego w Rudzie Śląskiej – Wirku”. Zadanie to polegało na zabudowaniu w istniejącym kolektorze o średnicy 1500 mm rurociągu z rur HOBAS Ø700 mm, który miał przejąć jego funkcję. Wykonanie zadania rozpoczęto od budowy komór o głębokości 6÷8 m. W komorach przewidziano obudowę ze ścianek szczelnych w postaci grodzic. W trakcie zabudowy ścianek pierwszej komory przy studni S7 doszło do obwałowania gruntu pod fundamentem pawilonu handlowego – rys. 1 i fot. 1.



Fot. 1. Zniszczony odcinek kolektora.



Fot. 2. Resztki fundamentów starych budynków w gruncie.



Ze względu na stan przedawaryjny konstrukcji pawilonu, prace na odcinku S6-S7 zostały wstrzymane. Szczegółowe oględziny kolektora w miejscu awarii wykazały, że na tym odcinku obudowa miała kształt prostokąta, ze stropem wykonanym z płyt betonowych. Płyty te w wyniku korozji betonu i stali wykazywały szereg nieszczelności, powodując przedostawanie się gruntu do wewnątrz. Gromadzenie się gruntu wywołało niedrożność kolektora i w konsekwencji miejscowe zniszczenie obudowy. Wstrząsy wywołane dynamicznym wbijaniem ścianek szczelnych

w komorach przystudziennych przyspieszyły tylko nieunikniony obwał, spowodowany rozluźnieniem gruntu w sklepieniu nad obudową. Wynikiem tego było odsłonięcie się części fundamentu i zapadnięcie się posadzki pawilonu – rys. 2.

Rys. 2. Obwał nad kolektorem $\phi 1500$ mm.

Dobór najlepszej metody wykonania kanalizacji

Pierwszym etapem prac przy kolektorze było zabezpieczenie pawilonu handlowego przed awarią budowlaną. W tym celu ławy fundamentowe na odcinku niepodpartym podmurowano, natomiast pozostałą wolą przestrzeń w gruncie pod posadzką pawilonu wypełniono betonem ekspansywnym. Zdecydowano, że projekt zakładający wprowadzenie rur HOBAS do istniejącego kolektora zostanie zmieniony. Wyznaczono trasę przewodu kanalizacyjnego $\phi 700$ mm w nowym tunelu zlokalizowanym w pewnej odległości od zabezpieczonego obwał – rys. 1. Następnie przystąpiono do wyboru najwłaściwszej metody wykonania tunelu. Najważniejszym kryterium było uniknięcie zagrożenia utraty stateczności gruntu pod fundamentem pawilonu handlowego. Bardzo istotne było także zapewnienie dokładności wykonania zgodnej z wymaganiami przy wykonywaniu kanalizacji grawitacyjnej.

Pierwszy warunek wykluczał zastosowanie metod rozkopowych z uwagi na 6-io metrową głębokość posadowienia kolektora w okolicach pawilonu przy niedużej odległości tego budynku od jego osi – ok. 2 m (por. rys. 1). Wybór ograniczono do grupy metod bezwykopowych. Uwzględniając następnie długości tunelu kolektora równą 107 m i wymaganą dużą dokładność wykonania, zrezygnowano z metod niesterowalnych.

Wśród pozostałych możliwych do zastosowania metod (sterowalnych) rozważano: przewiert sterowany, mikrotunelowanie i tunelowanie. Przewiert sterowany został jednak wykluczony, gdyż na długości ponad 100 m cechuje się zbyt małą dokładnością wykonania konieczną przy prowadzeniu kanalizacji grawitacyjnej.

Wybór ograniczony został do dwu metod, gdzie metoda mikrotunelowania wymagała analizy pewnych aspektów technicznych. Po pierwsze, należało uwzględnić wykonanie dużych komór wlotowych i wylotowych z ścianami wykonanymi z grodzic. Niestety, ich wbijanie przy wcześniej występujących obwałach nie jest wskazane. Dodatkowo, wykonanie dużej i głębokiej komory wlotowej spowodowałoby dezorganizację pobliskich placówek usługowych, spowodowaną zamknięciem lokalnej drogi dojazdowej – por. rys. 1. Drugim istotnym problemem wydaje się być prowadzenie mikrotunelu w gruncie nasypowym, pochodzącym z odpadów pogórnich Kopalni „Pokój”. Grunt taki składa się z niezwiązanych ze sobą brył piaskowca i łupku o różnych frakcjach, co wywołuje jego szczelinowatość powodującą ucieczkę lubrykatów. Taka postać gruntu zwiększa opory ruchu przeciskanego rurociągu. Trzecią przeszkodą były istniejące w gruncie części fundamentów budynków wyburzonych przed wykonaniem nasypu – fot. 2. Nieokreślone ich usytuowanie może utrudnić ruch głowicy mikrotunelowej.

Powyższe ograniczenia techniczne, chociaż znacznie utrudniają wykonanie zadania, to nie wykluczają metody mikrotunelowania w pracach przy przedmiotowym kolektorze. Najistotniejszym kryterium wydają się być koszty realizacji. Wykonując tunel metodą mikrotunelowania należy uwzględnić wykonanie dużej komory początkowej oraz koszt dzierżawy urządzenia przeciskowego i głowicy mikrotunelowej. Przy krótkim tunelu, jaki jest potrzebny przy realizowanym kolektorze, powoduje to znaczny narzut na cenę jednostkową metra bieżącego, pomimo niewielkich kosztów robocizny. Wymagane jest także zasilanie urządzenia prądem o mocy, co najmniej 50 KW, co przy tej lokalizacji placu budowy było bardzo utrudnione.

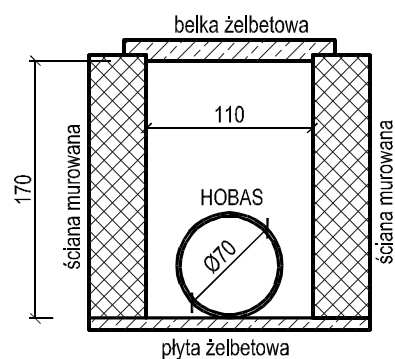
Analizując metodę tunelowania metodą górnictw, wyżej wymienione utrudnienia nie mają kluczowego znaczenia. Komora wlotowa wymaga niewielkiej powierzchni terenu i krótkiego czasu przygotowania. Ściany komory można wykonać w postaci murów z bloków betonowych z żelbetowymi wieńcami, natomiast wykonywanie tunelu realizuje się metodą górnictw. Powyższe metody nie wywołują drgań gruntu, co jest bardzo istotne przy możliwych obwałach na trasie istniejącego, uszkodzonego kolektora. Dodatkowo prace związane z tunelowaniem powodują małe natężenie hałasu, co w warunkach istniejącej zabudowy miejskiej ma istotne znaczenie. Natomiast koszty całkowite związane są z kosztami robocizny oraz z kosztami niewielkiego poboru mocy budowy wynoszący ok. 5 KW (łatwe uzyskanie przyłącza do sieci energetycznej i szybkie rozpoczęcie budowy). Na podstawie powyższej analizy podjęto decyzję o wykonaniu zadania poprzez tunelowanie metodą górnictw.

Budowa tunelu metodą górnictw

Ze względu na prostą i bardzo ekonomiczną technologię wykonania zdecydowano się na prostokątną obudowę tunelu o wymiarach 1,10 x 1,70 m, dostosowaną do projektowych rur HOBAS – rys. 3. Przekrój podłużny przez komorę i tunel przedstawiono na rys. 4. Ściany tunelu wykonano z bloków betonowych prostopadłościennych, na których swobodnie oparto prefabrykowane belki żelbetonowe. Duże znaczenie w wyborze prostokątnego kształtu obudowy miało również łatwiejsze wykonywanie wyłomu i obudowy wstępnej, a także czas odsłonięcia wyłomu w czole przodka, który w przypadku obudowy prostokątnej jest stosunkowo krótki.

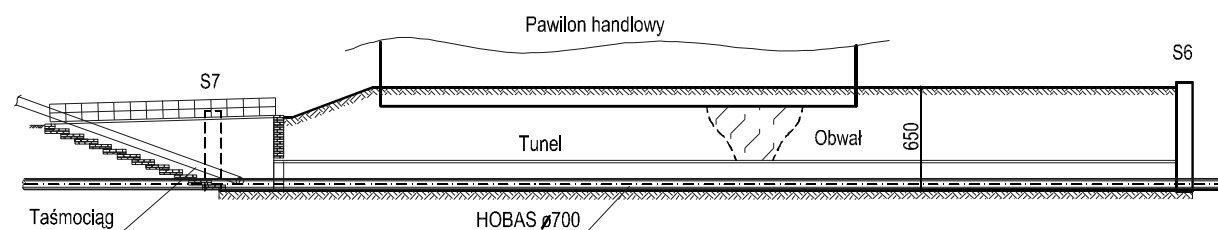
Przyjmując przekroje głównych elementów konstrukcyjnych tunelu w pierwszej kolejności określa się obciążenia działające na obudowę. Zgodnie z normą *PN-S-02203 Tunele komunikacyjne. Terminologia i klasyfikacja* ich schemat i

wartości uzależnione są od sposobu wykonania tunelu, który może być zrealizowany metodą odkrywkową lub sposobem górniczym.



Rys. 3. Przekrój poprzeczny przez tunel z rurą HOBAS $\phi 700$ mm.

W przypadku tuneli zbudowanych w otwartym wykopie obciążeniem stałym obudowy jest ciężar nawierzchni, ciężar nadległego i otaczającego gruntu, ciężar konstrukcji obudowy i napór lub wypór wody gruntowej, natomiast obciążeniem zmiennym jest obciążenie technologiczne (użytkowe) naziomu. Wartości obciążenia gruntem przyjmuje się zgodnie z normą [4], natomiast wartości obciążeń naziomu należy ustalać zgodnie z normami [5], [6] lub [7].



Rys. 4. Przekrój podłużny przez tunel i komorę.

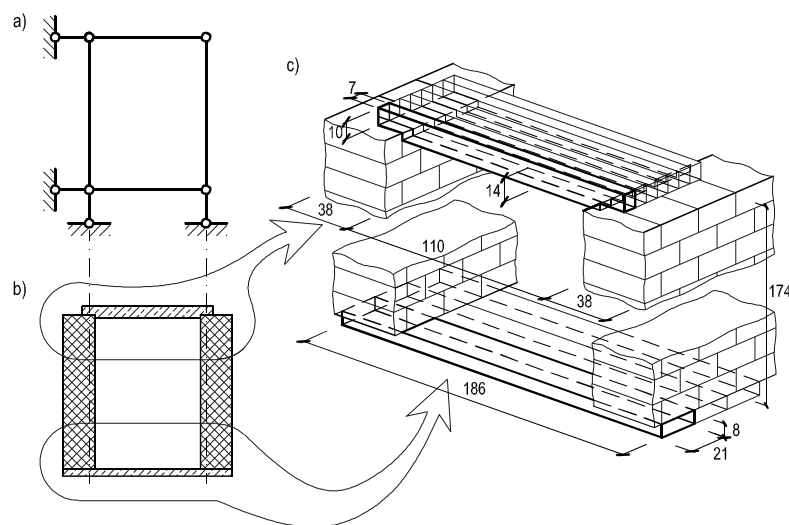
W przypadku tuneli wykonanych metodami górniczymi obciążane nadległego gruntu można istotnie zmniejszyć [1]. W normie [9] zamieszczono 6 modeli obliczeniowych przyjmowanych w zależności od głębokości lokalizacji tunelu, rodzaju gruntu (skała) i jego wytrzymałości na ściskanie. Projektując płytkie posadowienie wyrobiska (model I) spełniające warunek zlokalizowania stropu tunelu płycej niż dwukrotna wysokość strefy odprężonej h_o (patrz norma [9]) uwzględnia się obciążenie gruntem takie jak w przypadku tuneli zabudowanych w otwartym wykopie. Natomiast w przypadku głębszego posadowienia, przy gruncie luźnym (nieskalistym), można stosować model II (według Bierbaumera), w którym założono, że siły tarcia występujące w płaszczyźnie poślizgu górotworu powodują redukcję obciążenia. Redukcję tę uzyskuje się przez zastosowanie współczynnika zmniejszającego w , zależnego od kąta tarcia wewnętrznego ϕ_g gruntu otaczającego wyrobisko [1].

Model III (według Cymbarewicz) jest modelem najbardziej uniwersalnym, możliwym do zastosowania w gruncie, w którym nad wyrobiskiem wytwarza się sklepienie odciążające o wysokości h_o . Sklepienie odciążające jest obszarem rozluźnionej skały dookoła wyrobiska, która stanowi jego całkowite obciążenie gruntem.

Ostatni model IV przeznaczony jest raczej dla wyrobisk zlokalizowanych na dużych głębokościach, z owalnym kształtem obudowy, w których zapewnione jest przejmowanie obciążenia wyłącznie przez ociosy. Pozostałe dwa modele dotyczą obliczania obciążenia spągu oraz określania ciśnień deformacyjnych przy wyrobiskach zlokalizowanych na dużych głębokościach. W analizowanej obudowie tunelu kolektora ogólnospławnego uwzględniono redukcję obciążenia gruntem zgodnie z modelem II normy [9]. Model ten pozwala także określić obciążenie poziome ociosów, natomiast obciążenie spągu uzyskano za pomocą modelu V.

Obliczenia obudowy analizowanego tunelu wykonano w schemacie przegubowej ramy –rys. 5a. Przyjęcie przegubowych połączeń rygli ze ścianami było spowodowane swobodnym oparciem belek żelbetowych na murach (rys. 5b). Analogiczne

połączenie zastosowano w dolnej części obudowy, gdzie ściany murowane oparto na płytach żelbetowych (rys. 5b). W wyniku obliczeń statycznych, a następnie zwymiarowania elementów stropowych i spągowych zgodnie z normą [10] a murowanych ociosów zgodnie z normą [11] ustalono elementy nośne przedstawione na rys. 5c. Niewielkie wymiary prefabrykowanych elementów żelbetowych były dostosowane do ograniczeń transportowych wewnątrz tunelu oraz koniecznością ich zabudowy przez maksymalnie 2 osoby. Widok wykonanego tunelu przedstawiono na fot. 3



Rys. 5. Konstrukcja obudowy: a) schemat statyczny, b) przekrój poprzeczny, c) widok elementów konstrukcyjnych.

5. Podsumowanie

Najistotniejszym problem przedstawionym w pracy jest dobór bezwykopowej metody na wykonanie odcinka kanalizacji, niemożliwego do zrealizowania zgodnie z projektem. Ułożenie sieci kanalizacyjnej w wykopie otwartym jest niewykonalne ze względu na głębokość posadowienia, bliskość zabudowań, możliwość wywołania wstrząsów, konieczność zajęcia zagospodarowanego terenu. Rozwiązaniem alternatywnym okazały się metody bezwykopowe. Wybrano tunelowanie metodą górnica, które pozwala na:

- krótki czas na rozpoczęcie budowy (budowa była w toku),
- uzyskanie wymaganej dokładności,
- małą uciążliwość dla otoczenia,
- prowadzenie robót bez wstrząsów,
- większą efektywność finansową przy krótkim wybiegu.

Przy krótkich kolektorach, o skomplikowanych kształtach, załamaniach i dużej głębokości posadowienia, zastosowanie tradycyjnej metody górniczej daje wyniki ekonomiczne i techniczne lepsze od innych metod. Niejednokrotnie jest jedynym możliwym rozwiązaniem wykonania zadania.

Przykłady wykonania tuneli metodą górnica.

W przykładach przedstawiono tunele wykonane przez moje przedsiębiorstwo



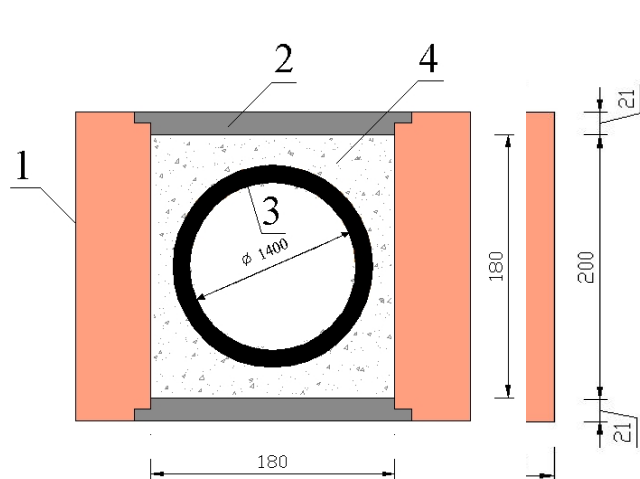
ZAKŁAD ROBÓT SPECJALNYCH BUDOWLANYCH

Rydułtowy, ul. Strzelców Bytomskich 8/7

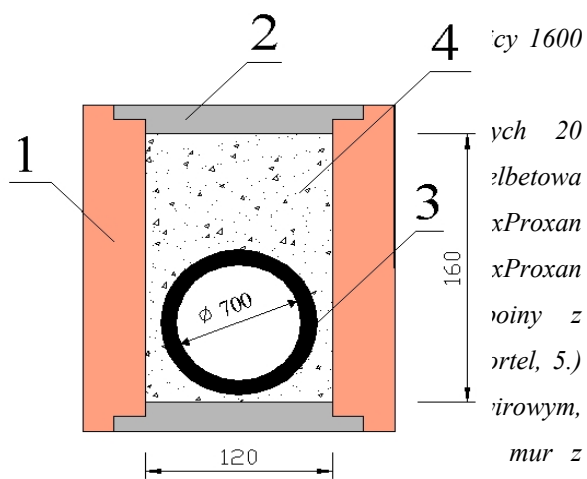
Kanalizacja sanitarna i deszczowa w Rydułtowach pod główną ulicą w centrum miasta.

Kanalizacja deszczowa i sanitarna odprowadzająca ścieki i wody opadowe z bezodpływowej niecki powstałej w wyniku osiadania po eksploatacji górniczej.

Kanał deszczowy począwszy od wylotu do rzeki Nacyna zbudowany jest w kształcie kołowym o średnicy 1600 mm z prasowanej cegły betonowej i wbudowany do tunelu o wymiarach $b_0 \times h_0 = 2,0 \times 2,0$ m i długości 825 m



Kolektor deszczowy wykonany z rur PE-HD ϕ 1400mm w tunelu 1,80x1,80m. 1.) mur z bloczków prostopadłościennych, 2.) belka żelbetowa, 3.) rura PE-HD, 4.) wypełnienie



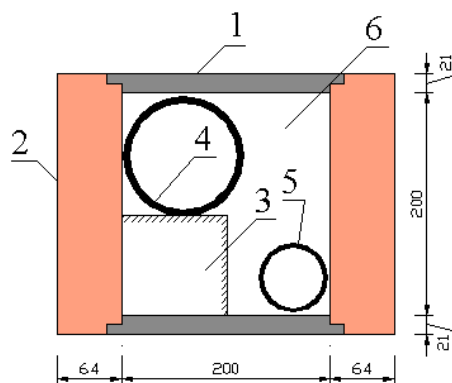
Kolektor sanitarny wykonany z rur PE-HD ϕ 700mm w tunelu 1,20x1,20m. 1.) mur z bloczków prostopadłościennych, 2.) belka żelbetowa, 3.) rura PE-HD, 4.) wypełnienie

Kolejny odcinek kolektora deszczowego o długości 490m wykonany jest jako tunel o przekroju 1,80 x 1,80 m z zabudowanymi w nim rurami PE-HD Spiro Weholite o średnicach 1400 ÷ 1200 mm. Rury na połączeniach spawano przy pomocy ekstruderów i drutu spawalniczego z PE. Wykonane spoiny były szlifowane dla uniknięcia ewentualnych zawirowań wody w miejscach wystających nadlewów

Równolegle do tunelu mieszczącego kolektor deszczowy wykonany został drugi tunel o wymiarach $b_0 \times h_0 = 1,20 \times 1,60$ m długości 1142 m, w którym zabudowano kolektor sanitarny z rur PE-HD Spiro o średnicach 700 mm, łączonych za pomocą nasuwek dwukielichowych z uszczelkami gumowymi.

Zbiornica komora kanalizacji deszczowej – Przekrój przez tunel dla kolektorów deszczowego i sanitarnego. 1.) belka żelbetowa, 2.) mur z bloczków betonowych, 3.) podmurówka pod kolektor deszczowy, 4.) rura PE-HD Spiro 1150/1000 mm, 5.) rura PE-HD 700mm



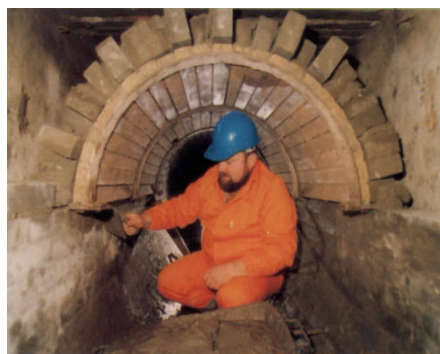
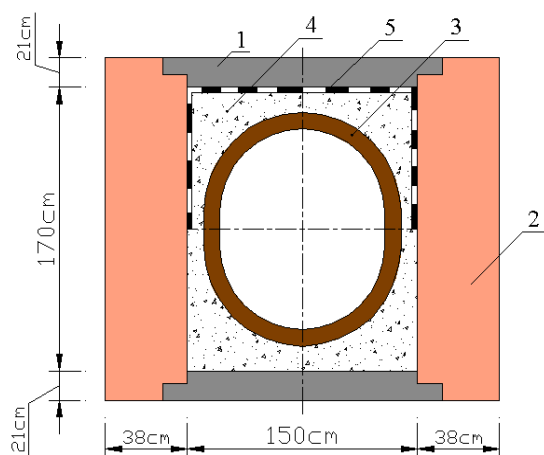


6.) wypełnienie

Ostatni odcinek kanalizacji deszczowej i sanitarnej wykonano we wspólnym tunelu o długości 444 m i wymiarach 2,0x2,0 m. W tunelu umieszczono kolektor sanitarny o średnicy 500 mm i kolektor deszczowy o średnicy 1000 mm, zabudowany o 80 cm wyżej. Na całej długości tunele prowadzone były pod główną ulicą miasta, przeszły także pod torami dworca PKP i dworca kopalni Rydułtowy. Głębokość posadowienia dna tuneli wahała się w granicach 6,0 ÷ 13,0 m. Na długości prowadzonych robót napotkano na różne warunki gruntowe. Utwory czwartorzędowe składające się przede wszystkim z nasypów nakrywają trzeciorzędowe gliny i piaski. Napotkano, licząc 200 m, strefę utworów karbońskich zbudowanych głównie z piaskowca, z wkładkami węgla z dwóch pokładów oraz przerostami mułowca. Przy przejściu przez strefę skał karbońskich do urabiania zastosowano materiał wybuchowy.

Kolektor kanalizacji sanitarnej w centrum Zabrze.

Kolektor sanitarny wykonano pod ulicą Piłsudskiego na odcinku od ul. Roosevelt'a do ul. Wolności. Na zlecenie Urzędu Miasta wykonano 1500m tunelu, w którym zabudowano wykonany z cegły, kolektor sanitarny o średnicy 1200/1000 mm.



Tunel, do którego wbudowano kolektor, posiadał przekrój prostokątny $b_o \times h_o = 1,50 \times 1,70$ m i zlokalizowany był na głębokości 7,0 ÷ 8,0 m głównie pod ulicą Piłsudskiego, ale także przechodził pod ulicą Wolności z torowiskiem linii tramwajowej i pod torami PKP linii Katowice – Gliwice. Obydwie ulice należą do głównych arterii miasta, o bardzo dużym natężeniu ruchu. Jednym z warunków było wykonanie prac bez wstrzymywania ruchu. Tunel wykonywany był w przeciętnych warunkach gruntowych: glinach szarych, zwałowych, miejscami przechodził przez żwiry i piaski, lokalnie dość silnie zawodnione. Kolektor wymurowano z cegły betonowej o grubości muru 0,25 m.

Tunel wieloprzewodowy dla kolektora sanitarnego i deszczowego w Wodzisławiu Śląskim.

Tunel o wymiarach w świetle 1,50x1,50 m o długości 42,0 m wykonano pod bardzo ruchliwym skrzyżowaniem ul. Pszowskiej z ul. Ks. Konstancji (rys. 7.41). Tunel zagłębiony był na 2,50÷3,00 m, z minimalnym naziemem dochodzącym w skrajnym przypadku do 0,70 m. W świetle wylomu napotkano na fundamenty starych budowli. Ściany boczne tunelu wymurowano z bloczków prostopadłościennych z betonu żwirowego B-20 na zaprawie cementowej B-10 z dodatkami uszczelniającymi. Strop

i spąg wykonano z belek prefabrykowanych – żelbetowych.

W tunelu zabudowano dwa kolektory: - deszczowy z rur PE-HD SPIRO o średnicy 670/600 mm klasy SN-4, - sanitarny z rur PVC o średnicy 200 mm klasy SN-8.

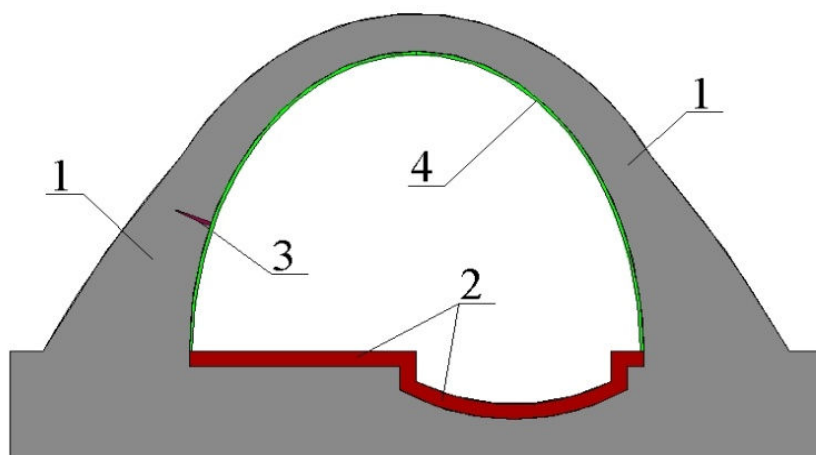
Przekrój przez wyrobisko 1.) mur z bloczków betonowych, 2.) belki żelbetowe, 3.) kolektor deszczowy, 4.) kolektor sanitarny, 5.) wypełnienie łupkiem kopalnianym i spieniającym się spoiwem, 6.) rury PVC kanalizacji kablowej Ø160 mm.

Jako obudowę tymczasową stosowano pręty stalowe Ø 22 mm o długości 1,50 m, wbijane po obrysie wylomu w

odstępach 12–15 cm. Zastosowane środki pozwoliły na przejście tunelem pod ul. Pszowską bez żadnych ograniczeń w ruchu pojazdów. Plac budowy o wymiarach 10,0 x 25,0 m, pomieścił komorę studzienną z której prowadzono prace, oraz pomieszczenia dla załogi i składowisko niezbędnych materiałów.

Renowacja obudowanej części potoku Ostropka w Gliwicach.

Tunel dla potoku Ostropka, przebiegający pod głównymi wylotowymi ulicami miasta, zbudowano około 1904 r. z betonu klasy nie mniejszej niż B-10, co stwierdzono badaniami wytrzymałości betonu wykonanymi współcześnie. Obudowa ma kształt tunelowy o wymiarach: $b_o \times h_o = (2,20 \div 2,60\text{m}) \times (1,60 \div 2,00\text{m})$ (rys. 7.42). Spąg kolektora wyłożony jest cegłą klinkierową. Renowacji poddano odcinek o długości 2200 m, który na terenie miasta stanowi także kolektor kanalizacji deszczowej i po części ogólnospławnej. Uszkodzenia na powierzchni ścian wewnętrznych wystąpiły w formie skorodowań o różnej głębokości oraz zarysowań i spękań o przebiegu poziomym i pionowym. Przyczyną tak złego stanu obudowy jest bardzo duże obciążenie ulic ruchem kołowym. Również posadzka kanału w wielu miejscach miała szczyrby i ubytki, które naprawiono uzupełniając je cegłą klinkierową. Na odcinkach o zawężonym przekroju i tam gdzie beton obudowy był znacznie skorodowany wyburzono starą obudowę i wykonano nową. W drobnych naprawach stosowano produkty polimerowo – cementowe. Całą powierzchnię kolektora pokryto dwukrotnie warstwą Dichtungschlamme zapobiegającą dalszej korozji betonu i spełniającą rolę izolacji przeciwwilgociowej.



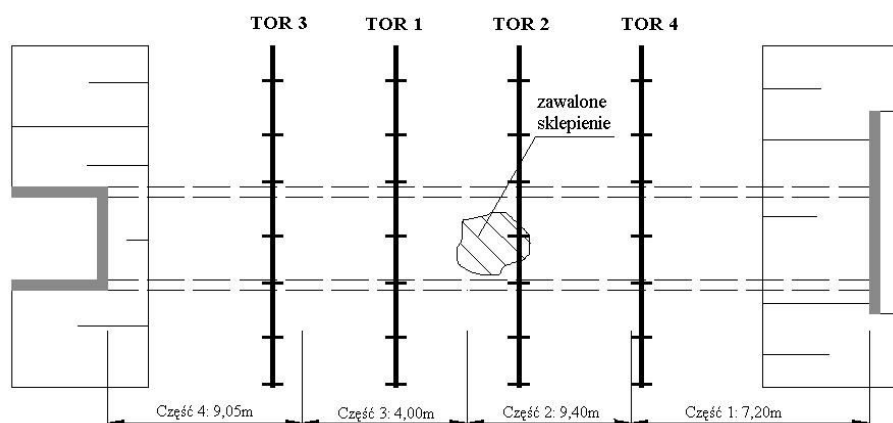
Przekrój przez obudowę potoku Ostropka w Gliwicach. 1.) obudowa betonowa, 2.) posadzka z cegły klinkierowej, 2.) szczelina wypełniona za prawą Saniermortel, 4.) powłoka 2xProxan – Dichtungsschlamme.

Przebudowa przepustu pod torami PKP linii Trzebinia - Zebrzydowice.

Na linii kolejowej Zebrzydowice – Trzebinia doszło do awarii przepustu polegającej na zawaleniu się sklepienia i obsunięciu podtorza. Spowodowało to zasypanie przepustu, jego niedrożność i spiętrzenie się wód przepływającego przepustem potoku.

Linia kolejowa Zebrzydowice - Trzebinia składa się z 4 torów i z tyłu części składa się również przepust:

- a) część pierwsza pod torem nr 4 - zbudowana z elementów prefabrykowanych żelbetowych o wymiarach 1,50 x 1,50 m o długości 7,20 m, rok budowy 1975,
- b) część druga pod torem nr 2 – wykonana jako sklepienie ceglane oparte na przyczółkach kamiennych o długości 9,40 m, wymiary w świetle 0,95 x 1,65 m, rok budowy 1887,
- c) część trzecia pod torem nr 1– to sklepienie z ciosów kamiennych opartych na przyczółkach z kamienia, długość 4,0 m. Płyty denne wykonane z kamienia. Przekrój 0,95 x 1,65 m, rok budowy 1850
- d) część czwarta pod torem nr 3– strop zbudowany w formie płyty szynobetonowej, opartej na przyczółkach betonowych o długości 9,05 m. Płyta denna betonowa, rok budowy 1926.



Schemat sytuacyjny przepustu.

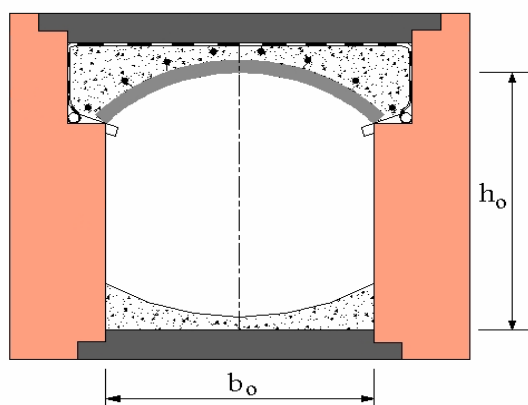
Część druga o sklepieniu ceglanym oraz część trzecia o sklepieniu kamiennym znajdują się w bardzo złym stanie technicznym. W części drugiej nastąpiło zawalenie sklepienia na długości 1,2 m. Stworzyło zagrożenie dla ruchu pociągów w torach nr 1 i 2,

a w konsekwencji tymczasowe zamknięcie toru nr 2 i ograniczenie prędkości pociągów w torze nr 1 do 30 km/h (prędkość szlakowa pociągów w tym miejscu 140 km/h). W dalszej części sklepienia ceglano - kamiennego stwierdzono liczne ubytki kamienia, cegły i spoin. Na podstawie opracowanego projektu, wykonano następujące prace:

- część drugą i trzecią przepustu przebudowano prowadząc jej rozbiórkę i budując w zamian metodą górniczą tunel o wymiarach $b_o \times h_o = 1,0 \times 1,65$ m (rys. 7.44)
- w części czwartej, gdzie stwierdzono liczne wycieki i zawilgocenia ścian, ubytki w konstrukcji betonowej i biologiczną degradację powierzchni wewnętrznej przeprowadzono suszenie ścian za pomocą generatorów mikrofal oraz ich uszczelnienie poprzez ciśnieniową iniekcję żywicy epoksydowych w obudowę,
- w części pierwszej przepustu stwierdzono wycieki wody z dylatacji pomiędzy elementami prefabrykowanymi oraz znaczną korozję zewnętrznej powierzchni ściany czołowej i parapetu. Z uwagi na zapas powierzchni przekroju ($0,6 \text{ m}^2$) ponad przekrój części drugiej i trzeciej postanowiono w części pierwszej wykonać wewnętrzną izolację typu ciężkiego z butimów i papy klejonej na gorąco, przyciśniętej cienkimi ściankami betonowymi – 0,14 m i stropem z prefabrykatów 0,06 m.

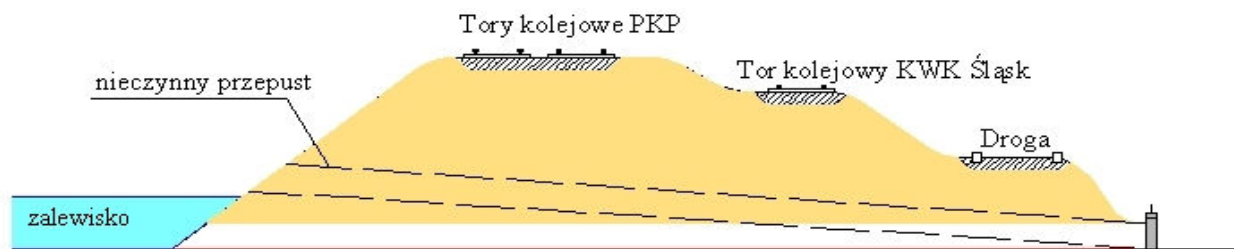
Przepust pod linią PKP Trzebinia – Zebrzydowice

o wymiarach $b_o = 1,0 \times h_o = 1,65$



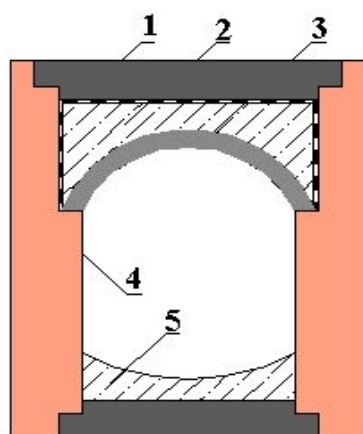
Przepust odwadniający w Katowicach – Panewnikach budowany metodą górniczą pod torami PKP i KWK „Śląsk”.

Przepust zbudowano metodą górniczą w celu odwodnienia zalewiska bezodpływowego o powierzchni 2 ha i pojemności około 22000 m^3 , powstałego w wyniku eksploatacji górniczej. Przepust przebiega pod nasypem torowiska PKP linii Katowice Ligota – Gliwice i toru kolejowego KWK „Śląsk”. Stary przepust ze względu na osiadanie terenu zmienił nachylenie i utracił swoją funkcję.



długość: 57m

naziom: 7,0m



1. Belka żelbetowa,
2. Wypełnienie betonem,
3. Prefabrykowane sklepienie,
4. Mur z bloczków betonowych,
5. Kineta betonowa.

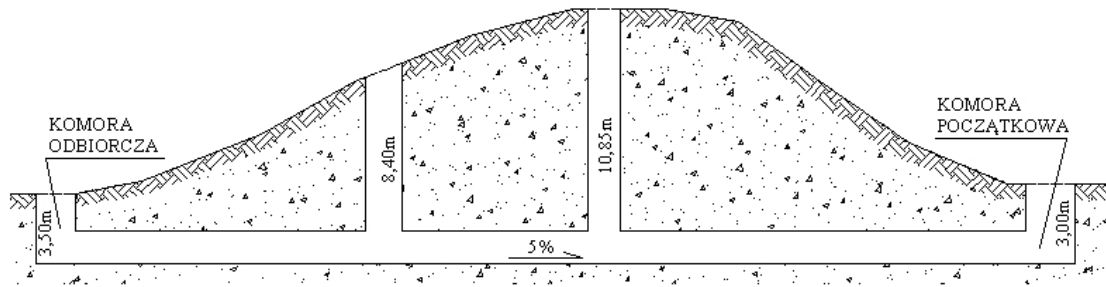


Tory PKP były na bieżąco podsypywane tłuczniem i rektyfikowane, co pozwalało na utrzymanie ruchu pociągów. Nowy przepust o długości 57,0 m i maksymalnej wysokości naziomu 7, m wykonany został bez zatrzymania ruchu pociągów. Prace prowadzone były w zawodnionym piaszczysto-gliniastym gruncie rodzimym, a częściowo w materiale nasypowym z odpadów pogórnich.

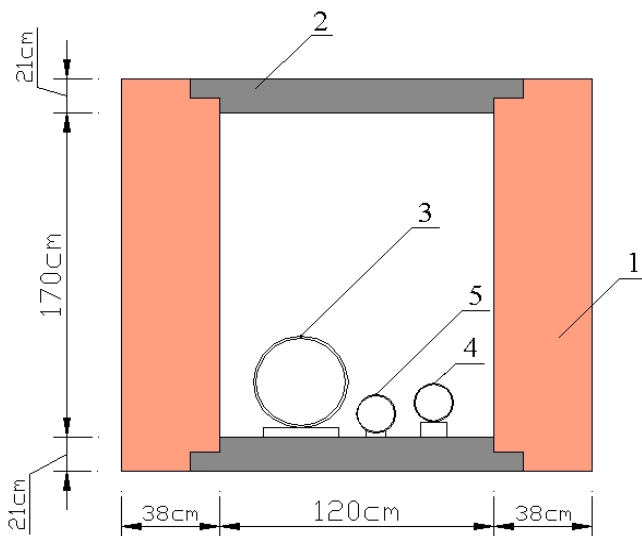
Tunel w Wodzisławiu Śląskim.

Na terenie wzgórz polodowcowych pod ul. Gawędy wykonano tunel dla kanalizacji deszczowej i sanitarnej. Tunel o wymiarach $b_0 \times h_0 = 1,20 \times 1,70$ m ma długość 240 m i zagłębiony jest od 3,50 do 11,0 m. W całości zlokalizowany jest pod wąską ulicą osiedlową w suchych, bardzo drobnoziarnistych piaskach, miejscami z wkładkami żwiru – całkowicie bez części ilastych. Podstawową trudność przy wykonaniu tunelu stanowił niespójny piasek. Jakakolwiek luka w obudowie

tymczasowej lub pustka powodowała natychmiastowe wysypywanie się luźnego piasku ze stropu lub ociosów. Przenosiło się to na powierzchnię w postaci osiadań nawierzchni jezdni, chodników, podjazdów, płotów, słupów.



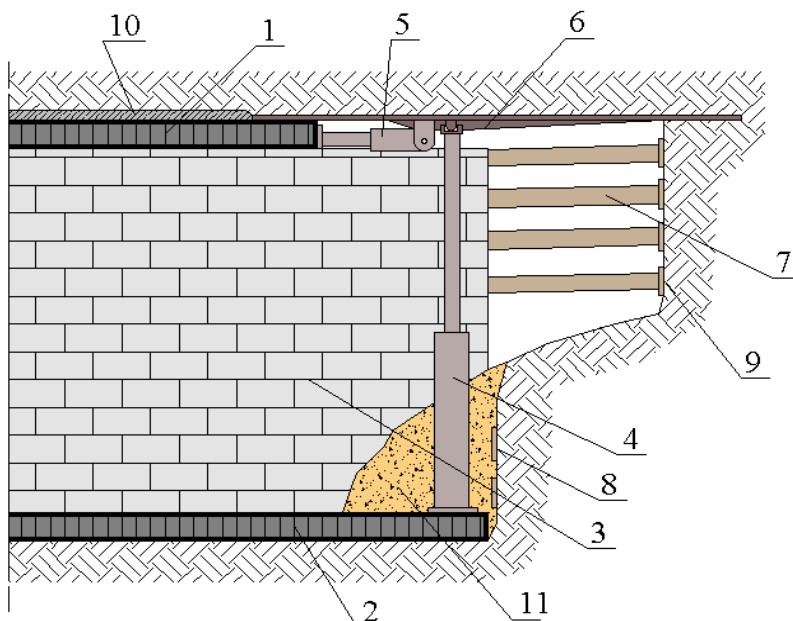
Profil podłużny przez tunel pod ul. Gawędy w Wodzisławiu Śl.



Przekrój przez tunel pod ul. Gawędy w Wodzisławiu Śl.

- 1.) mur z bloczków prostopadłościennych,
- 2.) belki żelbetowe
- 3.) rura kolektora deszczowego Ø 315 mm PCV SN-8,
- 4.) rura kolektora sanitarnego Ø 200 mm,
- 5.) rura drenażowa Ø 110 mm.

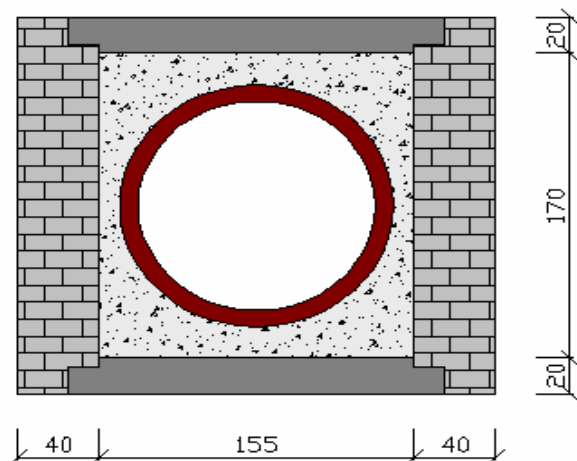
Prace przeprowadzono stosując niepełną tarczę zabezpieczającą strop. Tarcza o długości 2,0 m zabezpieczała załogę i pozwalała na wykonanie obudowy. Wszystkie prace, łącznie z odstawą urobku, wykonywano ręcznie. Zachowania się powierzchni terenu ponad tunelem wykazały, że w konkretnym przypadku, całość obciążeń wynikająca z ciężaru naziomu, przenosiła się na obudowę wyrobiska. Nie wytworzyło się żadne sklepienie odciążające.



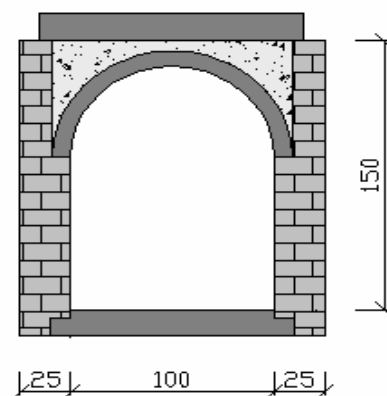
Niepełna tarcza zastosowana do zabezpieczenia stropu w przodku.

- 1.) belki stropowe, 2.) belki spągowe, 3.) mur ociosowy, 4.) stojak – podpora tarczy, 5.) siłownik tarczy, 6.) tarcza, 7.) rozpora czola przodka, 8.) bale drewniane stanowiące opinkę czola przodka poprzedniego zabioru, 9.) bale drewniane stanowiące opinkę bieżącego zabioru, 10.) wypełnienie pustek za obudową, 11.) pryzma urobionego gruntu.

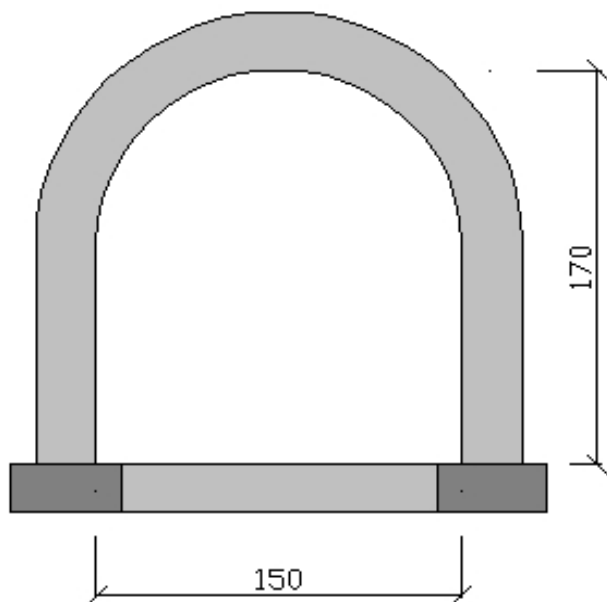
Cieszyn
(pod terenem uzbrojonym):
- głębokość 6m
- długość 53m



Zebrzydowice
(pod drogą państwową):
- głębokość 2,5m
- długość 34m



Jastrzębie Zdrój i Rybnik
(pod drogą dwupasmową):
- głębokość 7m
- długość 50m



Tunel dla kolektora C.O.



Przepusty pod linią kolejową Żywiec-Zwardoń

