

Stanisław GAŚSIOR

Henryk PASZOZA

Zakład Robót Górniczych w Myszkowicach

Wacław PEKACKI

Gwarectwo Budownictwa Górniczego w Katowicach

**DRAŻENIE TUNELE METRA W WARSZAWIE METODĄ PODZIEMNĄ**

**Streszczenie.** W artykule autorzy przedstawili problematykę związaną z wykonywaniem tuneli szybkiej kolei miejskiej przy zastosowaniu niezmehanizowanych tarcz radzieckich typu SzCzN-1S. Przedstawiono skrótowo rys historyczny budowy warszawskiego metra poczynając od 1927 r. oraz scharakteryzowano szczegółowo trasę przebiegu realizowanej obecnie inwestycji. Omówiono warunki hydrogeologiczne wzdłuż poszczególnych szlaków międzystacyjnych, ich wpływ na przyjętą technologię drażenia tuneli oraz sposób odwodnienia górotworu. Szczegółowo przedstawiono urządzenia oraz sprzęt przeznaczony do tego typu prac, a także cykl technologiczny prowadzonych robót tunelowych. Scharakteryzowano obudowę tunelową, żeliwną i żelbetową, sposób jej zabudowy, a także metodę uszczelniania złączeń w miejscu styku poszczególnych jej segmentów.

W podsumowaniu autorzy przedstawili doświadczenia uzyskane w dotychczasowej dwuletniej praktyce budownictwa tunelowego, ważniejsze nowatorskie rozwiązania techniczno-technologiczne zastosowane przy drażeniu tuneli i wykonawstwie wyrobisk udostępniających.

**1. WPROWADZENIE**

Istnieje niepisane prawo wielkich aglomeracji miejskich, że po osiągnięciu miliona mieszkańców konieczna staje się budowa metra, gdyż tylko ten środek szybkiej i bezkolizyjnej komunikacji rozwiązuje wszystkie problemy związane z przemieszczaniem pasażerów. Pojęcie takie nie jest w pełni uzasadnione, ponieważ metro jako jeden ze środków komunikacji miejskiej nie może całkowicie zastąpić tramwajów, autobusów, trolejbusów czy prywatnych samochodów. Metro, zastępując środki komunikacji naziemnej, przewozi znacznie szybciej, taniej, bezpieczniej, nie niszcząc przy tym środowiska naturalnego.

Dodatkowym walorem metra jest jego duża pojemność przewozowa. W autobusie mieści się bowiem 60-120 pasażerów, w tramwaju z przyczepą 180-200, podczas gdy w metrze ok. 1600 osób. Aktualnie w Warszawie na kierunku północ-południe autobusy i tramwaje przewożą ok. 20 tysięcy pasażerów na godzinę i jest to praktycznie kres możliwości.

Tymczasem kolej podziemna może przetransportować kilka razy więcej ludzi, przy średnio trzykrotnie niższych kosztach. Dało to podstawę do ogłoszenia przez Prezesa Rady Ministrów w styczniu 1982 r. decyzji o rozpoczęciu budowy metra w Warszawie. Lata 1982-1983 obfitowały w szereg ważnych wydarzeń związanych z tą inwestycją. W lutym 1982 roku powołany został pełnomocnik Rządu ds. budowy metra. W czerwcu tegoż roku podpisana została umowa między rządami PRL i ZSRR o współpracy gospodarczej i technicznej przy budowie I linii metra. W lutym 1983 roku powołana została Generalna Dyrekcja Budowy Metra podległa Prezydentowi Miasta Stołecznego Warszawy. Spełnia ona rolę Generalnego Realizatora Inwestycji i koordynatora prowadzonych prac. Wiodącym biurem projektowym jest Biuro Projektów Budownictwa Komunalnego i Specjalnego "Metroprojekt".

Warszawskie metro będzie jednym z 76 systemów kolei podziemnych, które dzisiaj funkcjonują we współczesnym świecie i jednym z 42, które posiada Europa.

Oczywiście, metro w Warszawie nie będzie się równać z metrem moskiewskim lub Nowego Jorku, ale na skalę miasta w dzisiejszej postaci można je określić jako wystarczające, aby sprostać potrzebom komunikacyjnym stolicy na wiele najbliższych lat, przede wszystkim w centrum i przy łączeniu ze sobą odległych dzielnic.

## 2. HISTORIA BUDOWA WARSZAWSKIEGO METRA

Pierwsze prace związane z budową metra w Warszawie rozpoczęto w 1927 roku, na mocy uchwały Warszawskiego Zarządu Tramwajów. W marcu tego roku zatwierdzono dwie trasy kolei podziemnej. Linię A z placu Unii Lubelskiej do Muranowa i linii B z Woli na Pragę.

Na rok przed wybuchem II wojny światowej pierwotny projekt trasy poddano modyfikacji. Uwzględniał on budowę linii długości 46 km, w tym 15 km nad ziemią, etapami w ciągu 35 lat. Lata powojenne to systematyczne prace nad usprawnieniem komunikacji w stolicy.

Opracowana z początkiem lat pięćdziesiątych nowa koncepcja metra przewidywała budowę metra głębokiego.

Projekt ten przewidywał budowę dwóch linii: pierwszej z Placu Komuny Paryskiej do Placu Unii Lubelskiej oraz drugiej ze Śródmieścia do ulicy Targowej na Pradze.

Budowę rozpoczęto przy znacznej współpracy ze Związkiem Radzieckim oraz ogromnym zaangażowaniu przemysłu krajowego.

Z początkiem 1953 roku rząd podjął jednak uchwałę o przesunięciu terminu oddania pierwszej linii metra z 1957 na 1959 rok, a 24 października 1953 roku uchwała rządowa praktycznie wstrzymała prace, ograniczając je do odcięcia doświadczalnego na Targówku.

Kolejna decyzja z 1957 roku polecała zakończyć prace i zabezpieczyć wykonane wyrobiska.

W okresie tym, tj. od roku 1951 do 1957, wykonano łącznie 757 m szybów (60% programu budowy), 778 m chodników, 1256 m tuneli szlakowych oraz ok. 8 tys. m<sup>3</sup> komór montażowych.

Już w 1958 r. "Metroprojekt" opracował projekt wstępny metra płytkiego, zbliżonego trasą do wcześniejszych rozwiązań. W 1971 roku powstały założenia techniczno-ekonomiczne pierwszej linii metra na trasie Młociny - Natolin pozytywnie zaopiniowane przez Komisję Planowania przy Radzie Ministrów. Lecz mimo intensywnych przygotowań i licznych zapowiedzi, ostateczna decyzja o budowie metra w latach siedemdziesiątych nie została podjęta. Nastąpiło to dopiero w grudniu 1982 roku po ogłoszeniu Uchwały Rady Ministrów nr 266/82 o budowie I linii szybkiej kolei podziemnej.

### 3. LOKALIZACJA I CHARAKTERYSTYKA TRASY I LINII METRA

Od samego początku prowadzonych prac projektowych i studialnych kierunek północ-południe był uważany za podstawowy dla warszawskiego metra. Z tego względu w rozwiązaniach urbanistycznych nowych dzielnic, osiedli oraz przy odbudowie Warszawy rezerwowano na budowę metra odpowiednie tereny. Pozwoliło to na rozwiązanie I linii metra jako metra płytkiego, wykonywanego zarówno metodą odkrywkową z powierzchni, jak i metodą podziemną.

Projekt przewiduje całkowitą długość trasy 23,1 km. Rozpoczyna się ona w Natolinie, skąd biegnie w kierunku północnym pod ulicą Komisji Edukacji Narodowej, następnie przechodzi pod Aleją Niepodległości i odgina się na Polu Mokotowskim, tak aby wejść pod ciąg ulic: Marszałkowska, Nowotki. Dalej trasa biegnie ulicami Felińskiego i Słowackiego i wchodzi na zarezerwowany na potrzeby metra pas dzielący jezdnię ul. Kasprowicza i kończy swój bieg w rejonie Huty Warszawa.






I linia metra obsługiwać będzie pas zagospodarowania w lewobrzeżnej Warszawie, rozciągnięty na długości przeszło 23 kilometrów (rys. 1).

Na południowym krańcu tego pasa znajduje się kompleks mieszkaniowy Ursynów - Natolin liczący 160.000 mieszkańców, północny pas natomiast obejmuje przeszło 100.000 zespół mieszkaniowy Bielan, Wawrzyszczewa oraz jeden z największych zakładów pracy - Hute Warszawa.

Trasa metra przebiegała będzie dzielnicami Mokotowa, Śródmieścia oraz Żoliborza. W pracach projektowych przewidziano także połączenie z następną linią metra na kierunku W-Z pod ulicą Świętokrzyską.

W środkowym natomiast odcinku trasy usytuowana zostanie centralna dyspozytornia, sterująca ruchem pociągów oraz nadzorująca pracę urządzeń elektroenergetycznych, trakcyjnych, wentylacyjnych, łączności itp.



-  Metoda odkrywkowa
-  Metoda tarczowa
-  I etap realizacji 1990r
-  II etap realizacji 1992r
-  III etap realizacji 1994r

Rys. 1. Trasa I linii metra w Warszawie

Fig. 1. The first line of Warsaw subway

Linia metra zaprojektowana została jako układ dwóch tuneli o przekroju  $\varnothing$  5,5/5,2 m oddalonych od siebie o ok. 7,0 m. Trasa przebiegała będzie łagodnie, przy średnim zagłębieniu poziomu główki szyny 9-15,5 m. Pochylenie wyniesie 3-7<sup>o</sup>/oo. Zakamania tuneli złagodzą łukami o promieniach rzędu 300-3000 m.

Częstotliwość kursowania pociągów dostosowana została do maksymalnych potoków pasażerskich na trasie i wyniesie początkowo co 5 min a w późniejszym okresie co 1,5 min ze średnią prędkością 36 km/godz.

Na całej trasie metra zlokalizowano 23 stacje o średnich odległościach między sobą:

780 m w Śródmieściu i 1100 m poza Śródmieściem.

Stacje metra będą dwupoziomowymi obiektami podziemnymi. Na górnym poziomie, po obu stronach stacji, znajdują się poduliczne przejścia dla pieszych oraz hale wejściowe na peron metra.

Na dolnym poziomie zostanie usytuowana hala peronowa. Na stacjach o największym ruchu pasażerskim będą zastosowane dodatkowe wyjścia ze środkowego sektora peronu. Stacje przelotowe będą miały perony o szerokości 10 i 11 m, natomiast na stacjach przesiadkowych, ze względu na krzyżujące się linie metra, zaprojektowano perony o szerokości do 15 m. Stacja przy Al. Jerozolimskich (A-13) będzie posiadała 2 perony boczne oraz dodatkowe wejście połączone korytarzem z Dworcem PKP Warszawa-Śródmieście, a stamtąd z Dworcem PKP Warszawa Centralna.

Nazwy poszczególnym stacjom zostały nadane uchwałą Rady Narodowej Miasta Stołecznego Warszawy w grudniu 1983 roku.

Zestawienie nazw stacji ujęto w tabeli 1.

Tabela 1

Trasa I linii warszawskiego metra - stacje - szlaki

Lp.	Oznaczenia stacji	Nazwa stacji
1	A-1	Kabaty
2	A-2	Natolin
3	A-3	Imielin
4	A-4	Stokłosy
5	A-5	Ursynów
6	A-6	Służew
7	A-7	Wilanowska
8	A-8	Wierzbno
9	A-9	Racławicka
10	A-10	Pole Mokotowskie
11	A-11	Politechnika
12	A-12	Plac Konstytucji
13	A-13	Centrum

cd. tabeli 1

Lp.	Oznaczenia stacji	Nazwa stacji
14	A-14	Świętokrzyska
15	A-15	Ratusz
16	A-16	Muranów
17	A-17	Dworzec Gdański
18	A-18	Plac Komuny Paryskiej
19	A-19	Marymont
20	A-20	Park Kaskada
21	A-21	Bielany
22	A-22	Wawrzyszczew
23	A-23	Młociny

#### 4. ORGANIZACJA BUDOWY

Wszystkie stacje oraz południowy i północny odcinek linii metra budowane będą w wykopach otwartych. Natomiast jej środkowa część, przebiegająca przez rejon Śródmieścia, przewidziano do wykonawstwa przy zastosowaniu metody tarczowej bez naruszenia powierzchni terenu. Obejmuje on odcinek od stacji A-7 Wilanowska do stacji A-18 Plac Komuny Paryskiej, długości ok. 6,2 km.

Całość trasy zgodnie z ZTE miała być oddana do eksploatacji w 1994 roku, ostatnią jednak decyzją przesunięto ten termin na 1996 r. Realizację całego zadania podzielono na 3 etapy (rys. 1):

- I etap - obejmuje odcinek linii metra długości ok. 12 km od stacji techniczno-postojowej w Kabatach do stacji A-11, tj. Politechnika,
- II etap - obejmuje odcinek linii metra dł. 4,6 km od stacji A-11 Politechnika do stacji A-17 Dworzec Gdański.  
Jest to odcinek najtrudniejszy przechodzący przez centrum miasta, wymagający przejścia pod tunelem linii średnicowej PKP (pod Alejami Jerozolimskimi) oraz przejścia pod Dworcem Gdańskim,
- III etap - obejmuje odcinek dł. 6,5 km od stacji A-17 przy Dworcu Gdańskim do stacji A-23 przy Hucie Warszawa.

W świetle powyższych założeń i wymogów harmonogramowych określone zostały zadania dla wykonawcy podziemnych robót tunelowych metra, którym jest Zakład Robót Górniczych w Mysłowicach podległy Gwarectwu Budownictwa Górniczego w Katowicach.

Tabela 2

ZESTAWIENIE ROBÓT  
A. Tunele  $\varnothing$  5,5/5,2 m wykonywane metodą tarczową

Lp.	Wyszczególnienie szlaków	Szlak	Długość szlaku m	Sumaryczna ilość metrów szlaku	Zadania realizacji	Uwagi
1	Wilanowska - Wierzbno	B-8	537 x 2	1074	I	
2	Wierzbno - Racławicka	B-9	550 x 2	1100		
3	Racławicka - Pole Mokotowskie	B-10	740 x 2	1480		
4	Pole Mokotowskie - Politechnika	B-11	515 x 2	1030		
5	Politechnika - Plac Konstytucji	B-12	145 x 2	490	II	
6	Plac Konstytucji - Centrum	B-13	614 x 2	1228		
7	Centrum - Świętokrzyska	B-14	270 x 2	540		
8	Świętokrzyska - Ratusz	B-15	700 x 2	1400		
9	Ratusz - Muranów	B-16	400 x 2	800		
10	Muranów - Dworzec Gdański	B-17	623 x 2	1246		
11	Dw. Gdański - Pl. Komuny Paryskiej	B-18	990 x 2	1980		
			6184 x 2	12368	III	

Zakres robót podziemnych, obejmujący odcinek trasy od stacji Wilanowska do stacji Plac Komuny Paryskiej, podzielony został na 3 zadania:

zadanie I - obejmujące odcinek trasy od stacji Wilanowska do stacji Politechnika dł. 2,3 km,

zadanie II - obejmuje odcinek trasy od stacji Politechnika do stacji Dworzec Gdański dł. 2,6 km,

zadanie III - obejmuje odcinek trasy od stacji Dworzec Gdański do stacji Plac Komuny Paryskiej dł. ok. 1,0 m.

Oprócz ww. prac związanych z drażeniem tuneli, wykonywane będą dodatkowo podziemne roboty towarzyszące, tj.:

- łączniki pomiędzy tunelami,
- wyrobiska udostępniające dla rozruchu i demontażu tarczy.

Szczególne zestawienie prac tunelowych zestawiono w tabeli 2.

#### 5. WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Warunki gruntowe w rejonie trasy metra stanowią dwie jednostki stratygraficzne:

- utwory trzeciorzędowe - pliocen,
- utwory czwartorzędowe - pleistocen i holocen.

Utwory pliocenijskie składają się z warstw, których ok. 60% tworzą iły i iły pylaste, a ok. 40% osady pylaste i pylastopiaszczyste oraz drobnoziarniste piaski. Osady pliocenijskie zostały silnie zdyslokowane w okresach lodowcowych. W związku z tym występują często zmiany w uwarstwieniu zarówno w kierunku poziomym, jak i pionowym. Deniwelacje stropu pliocenu wzdłuż trasy metra wynoszą od kilku do kilkudziesięciu metrów.

Spągwe partie czwartorzędu są reprezentowane lokalnie przez osady preglacjału. Osady te stanowią w partiach spągowych piaski drobne i gruboziarniste oraz żwiry, a w stropie piaski pylaste, pyły i iły. Na osadach preglacjału lub bezpośrednio na pliocenie zalegają osady zlodowacenia środkowopolskiego. Są one reprezentowane głównie przez gliny morenowe z pojedynczymi głazami różnej wielkości, piaski i gliny fluwioglacjalne oraz przez osady zastoiskowe w postaci iłów, pyłów, glin pylastych, piasków pylastych i piasków drobnych.

Wody gruntowe, mające wpływ na drażnienie tuneli, występują zarówno w osadach trzeciorzędowych, jak i w osadach czwartorzędowych. W osadach czwartorzędowych wydzielono dwa poziomy wód gruntowych:

- I - przypowierzchniowy,
- II - zasadniczy.



I poziom wód gruntowych (przypowierzchniowych) stanowią wody występujące w przypowierzchniowych przewarstwieniach i soczewkach piaszczystych oraz w spękaniach glin. Warstwy wodonośne tego poziomu charakteryzują się na ogół małym wydatkiem i są słabo zasilane wodą. Zwierciadło tego poziomu wykazuje okresowe wahania w zależności od nasilenia opadów atmosferycznych. Wody te nie stanowią ciągłej warstwy i charakteryzują się swobodnym zwierciadłem lub nieznacznie napiętym stabilizującym się na głębokości 1,0-5,0 m.

II poziom wód gruntowych stanowią wody następujące w warstwach piasków fluwioglacjalnych i zastoiskowych. Warstwy te tworzą duże zbiorniki wód podziemnych o miąższości od kilku do kilkudziesięciu m (5-30,0 m). Są to warstwy o dużym wydatku i dobrze zasilane wodą. Zwierciadło wody w tych warstwach jest swobodne lub nieznacznie napięte. Stabilizuje się ono na głębokości 8-15,0 m.

Przedstawione warunki hydrogeologiczne nie sprzyjają drażeniu tuneli metodą podziemną. Zasadniczym utrudnieniem jest bardzo duża zmienność zaleganie utworów czwarto- i trzeciorzędowych oraz znaczne ich zawodnienie (rys. 2).

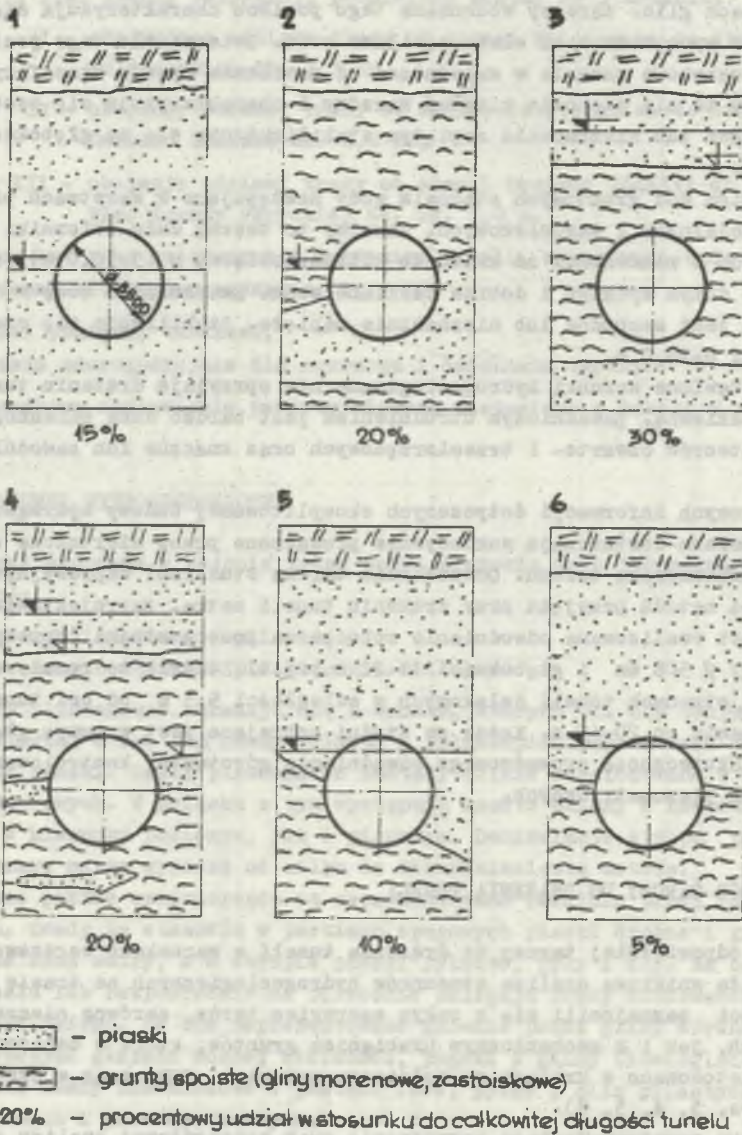
Dodatkowych informacji dotyczących skomplikowanej budowy hydrogeologicznej terenu dostarczają sukcesywnie prowadzone prace wiertnicze związane z odwodnieniem terenu. Odwodnienie terenu studniami depresyjnymi jest podstawowa metoda przyjęta przy drażeniu tuneli metra. Zaprojektowane zostało i jest realizowane odwodnienie robocze za pomocą studni depresyjnych o średnicy  $\varnothing$  508 mm i głębokości 11-22 m p.p.t. Studnie te rozmieszczane są po obu stronach tuneli szlakowych w odległości 5,5 m od osi tunelu i w rozstawie co 20-40 m. Każda ze studni uzbrajana jest w pompę głębinową G-40. Skuteczność prowadzonego odwadniania górotworu, kontrolowana jest w otworach piezometrycznych.

## 6. WYBÓR TARCZY DO DRAŻENIA TUNELI

Dobór odpowiedniej tarczy do drażenia tuneli w warunkach warszawskich poprzedziła wnikliwa analiza stosunków hydrogeologicznych na trasie metra. Specjaliści zaznajomili się z całym szeregiem tarcz, zarówno niezmechanizowanych, jak i z mechanicznym urabianiem gruntów, które w ostatnich latach zastosowano w krajach zachodnioeuropejskich, ZSRR oraz w Czechosłowacji (rys. 3, 4, 5, 6).

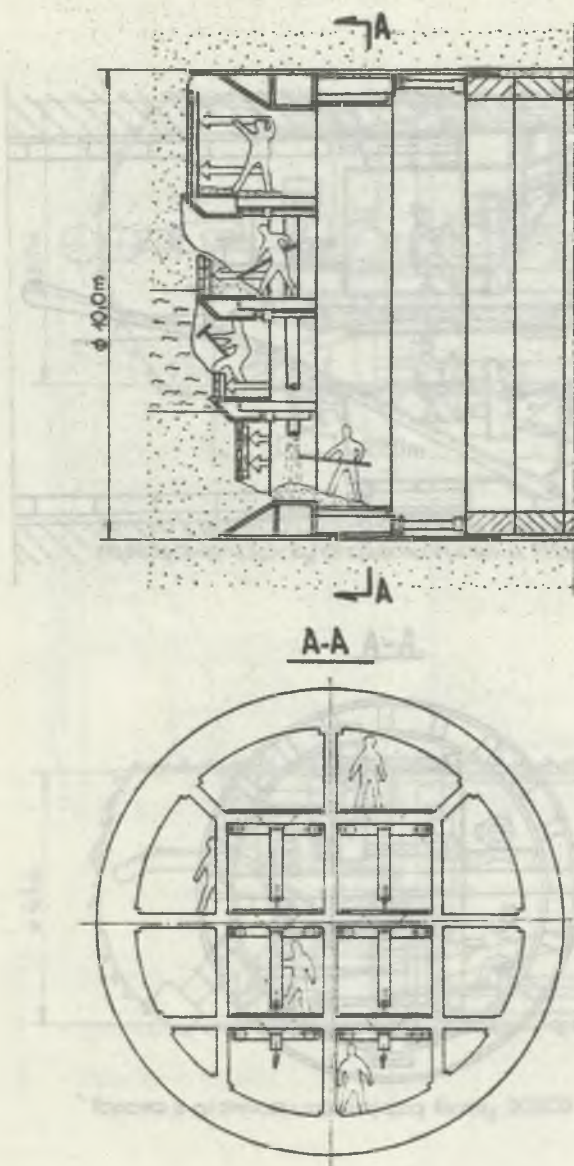
W wyniku przeprowadzonego rozpoznania oraz szczegółowej analizy górotworu za najwłaściwsze rozwiązanie uznano zastosowanie tarczy niezmechanizowanej. Ten typ tarczy zdaje bowiem praktycznie egzamin w każdym warunkach gruntowych.

Do drażenia tuneli metra w Warszawie dobrana została radziecka tarcza niezmechanizowana typu Sz Cz N-18 (rys. 7).

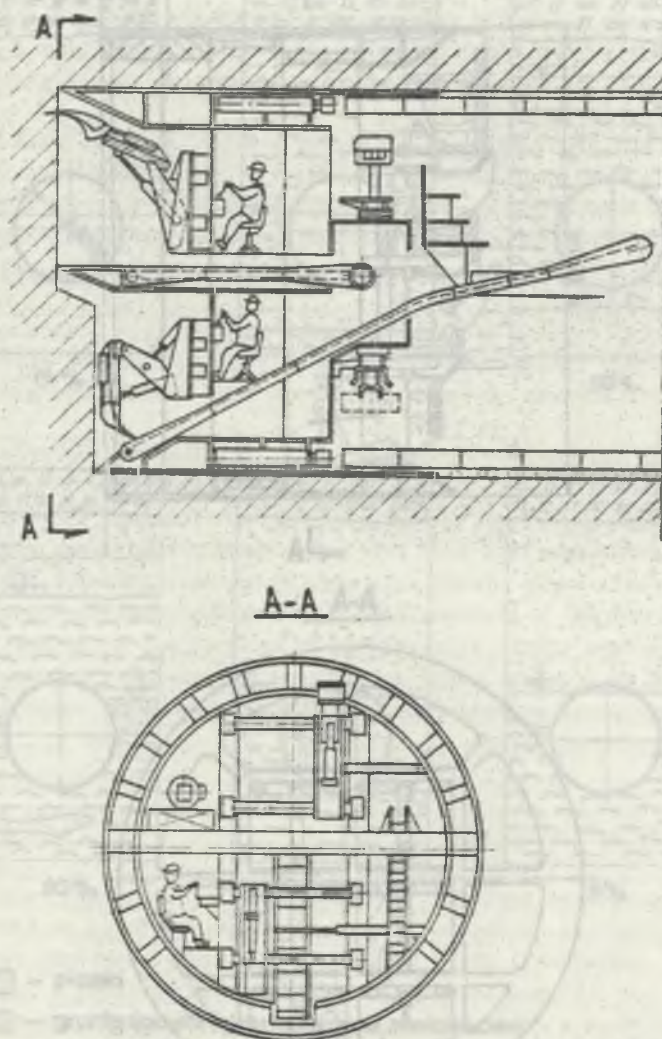


Rys. 2. Układy gruntów występujące na trasie tuneli

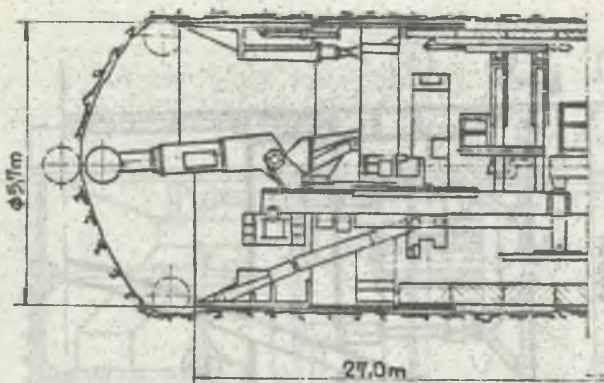
Fig. 2. Strata conditions in a region of subway tunnels



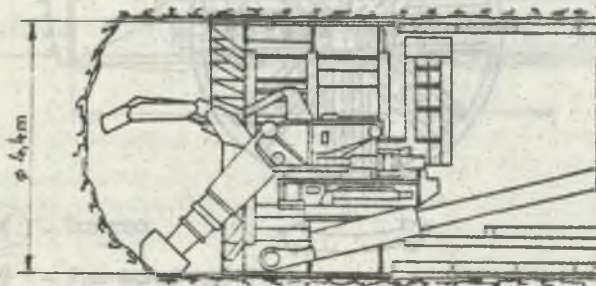
Rys. 3. Tarcza niezmechanizowana  
Fig. 3. Non-mechanized shield



Rys. 4. Tarcza częściowo zmechanizowana  
Fig. 4. Partially-mechanized shield



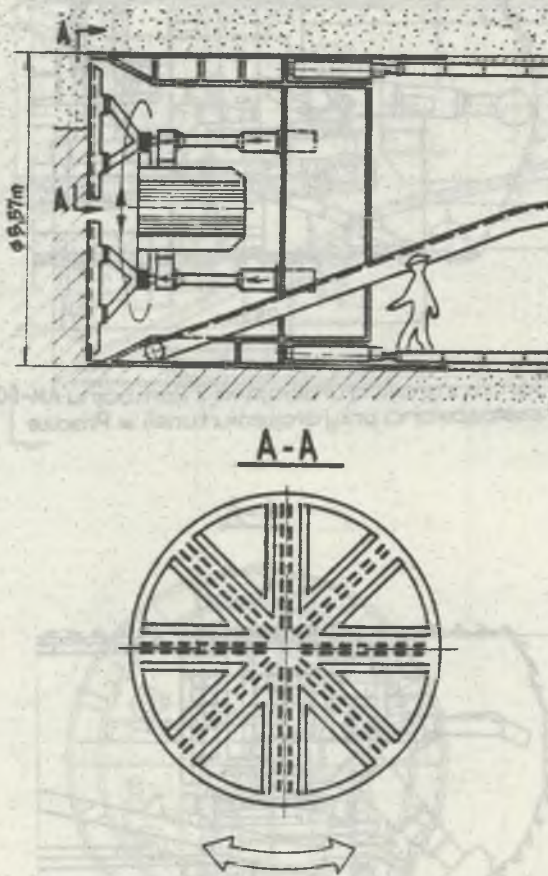
Tarcza z głowicą urabiającą z kombajnu AM-50  
zastosowana przy drążeniu tuneli w Pradze



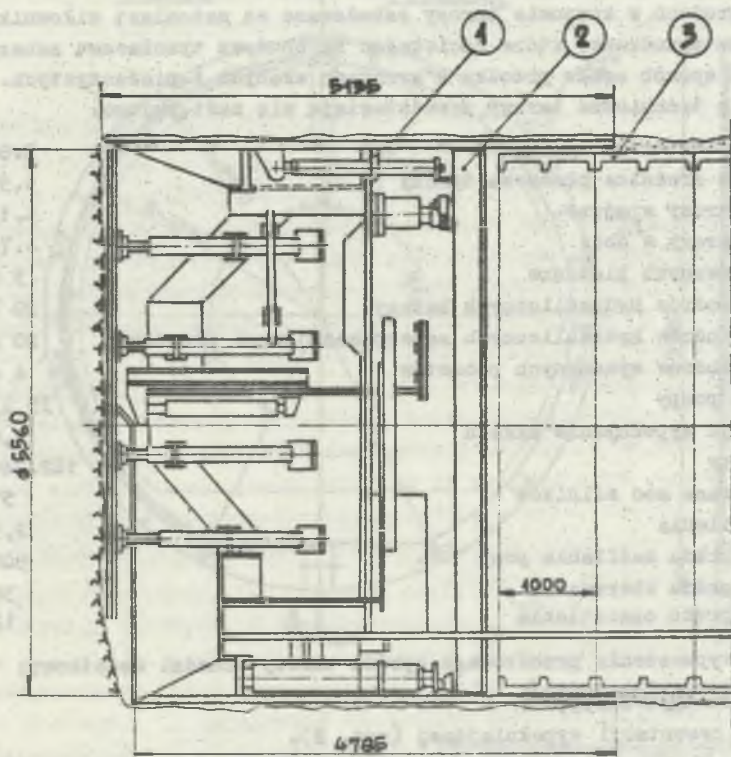
Tarcza z głowicą urabiającą firmy DOSCO

Rys. 5. Tarcza zmechanizowana

Fig. 5. Fully-mechanized shield



Rys. 6. Tarcza z mechanicznym urabianiem górotworu  
Fig. 6. Shield with mechanized working of the rock



- ① - Tarcza
- ② - Pierścień oporowy
- ③ - Obudowa tunelu

Rys. 7. Radziecka tarcza niezmechanizowana typu Sz Cz N-15  
 Fig. 7. Non-mechanized Soviet shield of the type Sh Ch N-15

Zasadniczym podzespołem tej tarczy jest płaszcz ochronny o kształcie powierzchni walcowej, który teleskopowo założony za obudową tubingową, jest spoza niej wysuwany w miarę postępu drążenia i wciskany za pomocą siłowników hydraulicznych w caliznę czoła przodku. Siłowniki te rozmieszczone są symetrycznie po obwodzie w ilości 20 sztuk.

Na przegrodach w korpusie tarczy zabudowane są natomiast siłowniki hydrauliczne przodkowe, które naciskając na obudowę tymczasowa zabezpieczają w ten sposób czoło przodku w gruntach słabych i piaszczystych.

Parametry techniczne tarczy przedstawiają się następująco:

- średnica zewnętrzna tarczy	5.684 m
- wewnętrzna średnica płaszcza tarczy	5.560 m
- długość tarczy w górze	5.135 m
- długość tarczy w dole	4.785 m
- ilość wysuwanych platform	3 szt.
- ilość cylindrów hydraulicznych tarczy	20 szt.
- ilość cylindrów hydraulicznych zabezpieczających przodek	20 szt.
- ilość cylindrów wysuwanych pomostów	4 szt.
- wydajność pompy	35 l/min
- ilość oleju wypełnienia układu	1,8 m <sup>3</sup>
- masa tarczy	102.240 kg
- zainstalowana moc silników	37 kW
- moc oświetlenia	2,5 kW
- napięcie prądu zasilania pomp	500 V
- napięcie prądu sterowania	36 V
- napięcie prądu oświetlenia	12 V

W skład wyposażenia przodkowego oprócz tarczy wchodzi dodatkowo:

- manipulator typu TU3Gp,
- pomost do cementacji wypełniającej (rys. 8).

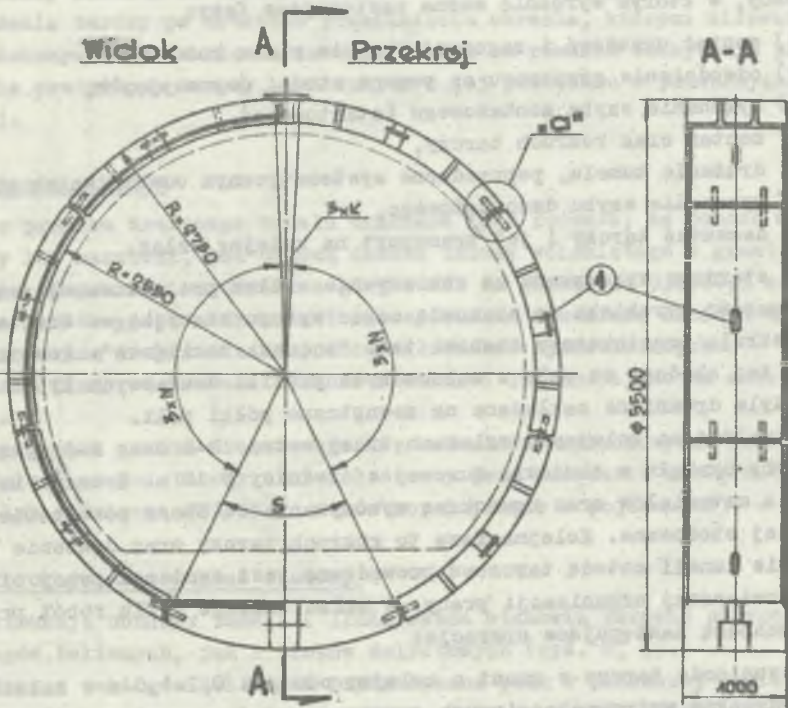
Urządzenia te wraz z tarczą stanowią kompleks przodkowy o długości ok. 20 m i ciężarze 1500 kN.

Manipulator posiada obrotowe ramię o zmiennej długości, zakończone z jednej strony uchwytem do mocowania tubingów, a z drugiej strony przeciwcieżarem.

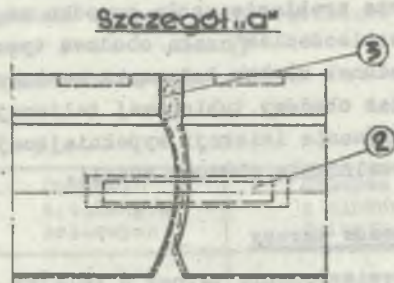
Wraz z manipulatorem przegubowo połączony jest pomost cementacyjny, na którym umieszczone są pompy oraz 2 mieszalniki o poj. 250 litrów. Pomost w dolnej części posiada przelot dla wozów kopalnianych, natomiast w górze wyposażony jest w urządzenie wyciągowe, służące do podnoszenia i rozładunku pojemników z piaskiem i cementem.

Zaprawa cementowa przygotowywana jest w mieszalnikach, a następnie tłoczona jest za pomocą sprężonego powietrza poza obudowę.





- ① - otwór iniekccyjny
- ② - szpilka montażowa 27x170mm
- ③ - uszczelnienie cementem



Rys. 8. Obudowa z bloków żelbetowych  
 Fig. 8. Lining made of cast iron tubings

## 7. TECHNOLOGIA DRAŻENIA TUNELI PRZY UŻYCIU TARCZY

Drażenie tuneli przy zastosowaniu tarczy charakteryzuje się pewną cyklicznością.

Budowa poszczególnych szlaków od jednej stacji do drugiej ma przebieg podobny, w którym wyróżnić można następujące fazy:

- 1) montaż urządzeń i zagospodarowanie placu budowy,
- 2) odwodnienie górotworu za pomocą studni depresyjnych,
- 3) wykonanie szybu montażowego (startowego),
- 4) montaż oraz rozruch tarczy,
- 5) drażenie tunelu, poprzedzone systematycznym odwodnieniem górotworu,
- 6) wykonanie szybu demontażowego,
- 7) demontaż tarczy i jej transport na kolejny szlak.

Szyby startowe wykonywane są sukcesywnie wzdłuż projektowanej trasy metra. Każdorazowo wyrobiska te stanowią część wykopu stacyjnego. Obudowę szybów o przekroju prostokątnym stanowi tzw. "ścianka berlińska". Konstrukcją nośną tej obudowy są pale z walcowanych profili dwuteowych NP500 oraz tzw. dyle drewniane zakładane na zewnętrzne półki pali.

Aktualnie na kolejnych szlakach trasy metra B-8 oraz B-9 wykonywane są szyby okrągłe w obudowie murowej o średnicy  $\varnothing$  10 m. Z uwagi na koszt zużycia materiałów oraz czasokres wykonywania są one z powodzeniem coraz częściej stosowane. Kolejna faza to rozruch tarczy oraz drażenie tuneli. Drażenie tuneli metodą tarczową prowadzone jest systemem pracy ciągłej w trójzmianowej organizacji pracy. W skład każdego cyklu robót przodkowych wchodzi następujące operacje:

- przesunięcie tarczy w grunt o kolejny odcinek 0,2+1,0 m w zależności od warunków wytrzymałościowych gruntu,
- ręczne urabianie czoła przodku segmentami z góry w dół z sukcesywnym zabezpieczeniem czoła obudową tymczasową drewnianą,
- załadunek urobku ładowarką zasięgową do wózków,
- montaż obudowy tubingowej żeliwnej lub z bloków żelbetowych,
- wykonywanie iniekcji wypełniającej,
- uszczelnianie obudowy tuneli.

### a) Przesuw tarczy

Przemieszczenie tarczy o kolejny odcinek 0,2+1,0 m, odbywa się pod stałym nadzorem służby mierniczej, kierującej przesuwaniem, która śledzi na bieżąco zmiany w położeniu tarczy w stosunku do osi pionowej i poziomej oraz do zadanego kierunku i niwelacji.

W systemie sterowania tarczą wykorzystuje się:

- punkt centralny tarczy,
- laser,

- podziałki odchyień umieszczono na tarczy, na których można odczytać wartość odchyżu w płaszczyźnie poziomej.

Mierniczy śledząc na bieżąco zmiany w uwarstwieniu gruntu i nawiązując do położenia tarczy po ostatnim przesunięciu określa, którymi siłownikami należy dokonywać przesunięcia tarczy. Śledzi on również odchylenia pionu w punkcie centralnym tarczy, wnioskując o jej położeniu w płaszczyźnie pionowej.

#### b) Urabianie gruntów

Czoło przodku drażonego tunelu urabiane jest ręcznie, za pomocą młotków odbudowy lub narzędzi, pod osłoną daszka tarczy wcisniętego w grunt. Urabianie odbywa się warstwami z góry w dół na głębokość 0,20÷0,5 m. Każda urabiana warstwa jest natychmiast zabezpieczana drewnianą obudową tymczasową, dociskaną do przodku za pomocą siłowników hydraulicznych. Napotymane głazy są usuwane ręcznie w całości lub rozbijane na mniejsze kawałki.

Przy urabianiu gruntu nie stosuje się materiałów wybuchowych. Gromadzący się w dolnej części tarczy urobek ładowany jest ładowarką zasięgową ZZK-6p lub radziecką PPN-15 do wozów kopalnianych o pojemności  $V = 1,12 \text{ m}^3$

#### c) Konstrukcja oraz montaż obudowy

Konstrukcję obudowy tuneli I linii metra stanowią zarówno pierścienie z tubingów, żeliwnych, jak i bloków żelbetowych (rys. 8, 9).

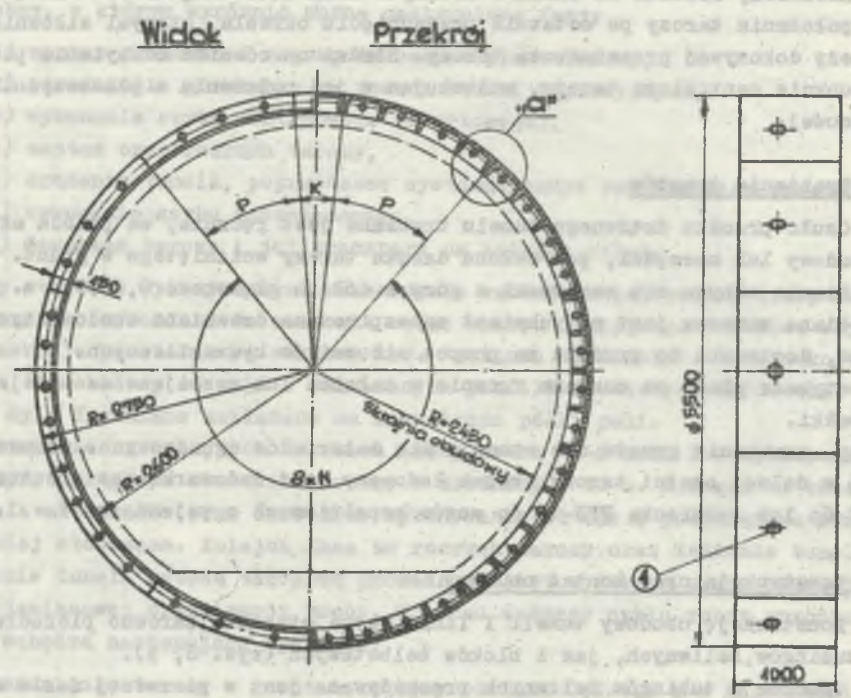
Obudowa z tubingów żeliwnych przewidywana jest w pierwszej fazie drażenia tuneli na danym szlaku oraz tam, gdzie występują trudne warunki gruntowo-wodne, wymagające uzyskania dużego stopnia wodoszczelności pierścieni obudowy.

Charakterystykę obudów tunelowych przedstawia tabela 3.

Tabela 3

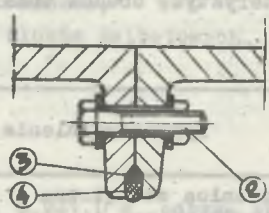
Lp.	Wyszczególnienie	Obudowa z tubingów żeliwnych	Obudowa z bloków żelbetowych
1	Średnica zewnętrzna pierścienia	5500 mm	5500 mm
2	Średnica wewnętrzna pierścienia	5200 mm	5100 mm
3	Szerokość pierścienia	1000 mm	1000 mm
4	Ciężar całkowity	4820 kG	9520 kG
5	Ilość segmentów w pierścieniu	11 szt.	10 szt.

Wzrost cen materiałów budowlanych spowodował konieczność poszukiwania nowych rozwiązań technicznych i technologicznych w budownictwie. Jednym z takich rozwiązań jest zastosowanie obudowy z żeliwnych tubingów. W niniejszym artykule przedstawiono konstrukcję i wykonanie takiej obudowy. Wzrost cen materiałów budowlanych spowodował konieczność poszukiwania nowych rozwiązań technicznych i technologicznych w budownictwie. Jednym z takich rozwiązań jest zastosowanie obudowy z żeliwnych tubingów. W niniejszym artykule przedstawiono konstrukcję i wykonanie takiej obudowy.



**Szczegóły**

- ① - otwór do iniekcji
- ② - śruba M27 x 420
- ③ - uszczelnienie ołowiem
- ④ - uszczelnienie cementem ekspansyjnym



Rys. 9. Obudowa z tubingów żeliwnych  
 Fig. 9. Lining made of ferro-concrete tubings

W skład każdego pierścienia omawianego typu wchodzi:

pierścień z tubingów żeliwnych

- 8 tubingów normalnych
- 2 tubingi przykluczowe
- 1 tubing kluczowy

pierścień z bloków żelbetowych

- 1 blok spagowy
- 6 bloków normalnych
- 3 bloki kluczowe

Przy profilowaniu tuneli na łukach montowane są pomiędzy normalnymi pierścieniami obudowy wkładki klinowe. Dla tego celu zaprojektowano:

- wkładkę klinową żeliwną o zbieżności 25 mm (łuki pionowe),
- wkładkę klinową żeliwną o zbieżności 55 mm (łuki poziome),
- stalowe wkładki klinowe o zbieżnościach 4 oraz 2 mm.

Montaż obudowy rozpoczynany jest od zabudowy elementów spagowych, a w następnej kolejności elementów normalnych, przykluczowych i kluczowych.

Dopuszczalne deformacje wewnętrznego pierścienia obudowy wynoszą:

- odchylenie montażowe  $\pm 25$  mm,
- odkształcenia obudowy powodowane iniekcją i naciskami gruntu  $\pm 25$  mm.

Dopuszczalne natomiast odchyłki od teoretycznej osi tunelu powodowane błędem tyczenia, trudnością sterowania tarczą oraz wpisaniem osi tunelu w krzywiznę osi trasy wynoszą:

- dla obudowy żeliwnej 100 mm,
- dla obudowy żelbetowej 50 mm.

d) Uszczelnienie obudowy tuneli

Uszczelnianie obudowy tunelowej odbywa się wg ogólnych zasad stosowanych również w budownictwie górniczym i dotyczy:

- cementacji wypełniającej zwanej tłoczeniem pierwotnym,
- cementacji uszczelniająco-kontrolnej tzw. tłoczenia wtórnego,
- uszczelniania złącz obudowy.

Cementację wypełniającą przy użyciu zapraw cementowo-piaskowych wykonuje się w przodku za ostatnie montowane pierścienie obudowy poprzez otwory cementacyjne w poszczególnych elementach obudowy.

Cementację uszczelniająco-kontrolną z zaczynów cementowych wykonuje się natomiast w odległości 50-100 m od przodku w celu doszczelnienia ewentualnych szczelin skurczowych zapraw po cementacji wypełniającej i powtarza się w przypadkach koniecznych, tzn. gdy nie udało się uzyskać szczelności obudowy.

Przy cementacjach tych stosuje się ciśnienie tłoczenia rzędu 0,4 MPa.

Cementacje te prowadzi się w sposób ciągły z dołu do góry, sukcesywnie wkręcając korki w otwory, z których wypływa zaprawa.

Uszczelnianie złącz w przypadku obudowy tubingowej żeliwnej prowadzone jest przy użyciu drutu ołowowego o średnicy  $\varnothing$  10 mm, który jest rozkle-

pywany w szczelinach styków obudowy. Natomiast w przypadku obudowy żelbetowej uszczelnianie złączy prowadzone jest podczas montażu obudowy pasami asfaltowo-bitumicznymi o grubości 4 mm i szerokości 50 mm, które podczas nacisku poszczególnych segmentów powodują uszczelnienie połączenia.

Uzupełnieniem tych zabiegów ma być wypełnienie w późniejszym okresie czasu szczelin połączenia cementem ekspansywnym.

Należy zaznaczyć, że wymagania szczelności obudowy tunelowej postawione przed wykonawcą są bardzo duże. Dopuszczalne wycieki wody mogą wynieść bowiem  $0,2 \text{ l/m}^2/\text{dobę}$ .

## 8.- DOŚWIADCZENIA UZYSKANE Z DOTYCHCZASOWEGO PRZEBIEGU PRAC

Drażenie tuneli przy zastosowaniu tarcz rozpoczęto od szlaku B-11 na Polu Mokotowskim w styczniu 1985 roku. Wybór tego miejsca nie był przypadkowy. Poprzedziło go szczegółowe rozpoznanie warunków geologicznych oraz zabudowa powierzchni.

Odcinek ten przewidziano w planach jako doświadczalny, na którym załoga ZRG zaznajamiała się z nową technologią wykonywania tuneli.

O wyborze miejsca zadecydowała:

- a) krzywizna trasy - pozwalająca opanować sztukę kierowania tarczą,
- b) brak zabudowy terenu - osiadania powierzchni nie wpływały na uszkodzenia budynków,
- c) trudne i złożone warunki gruntowe - umożliwiały dostosowanie technologii do różnych sytuacji.

Szyb montażowy zlokalizowano w rejonie skrzyżowania Trasy Łazienkowskiej z ulicą Waryńskiego.

Tarcza wraz z pozostałymi urządzeniami montowana była na dnie szybu z pojedynczych elementów, które opuszczane były za pomocą suwnicy bramowej SB 16.6 zmontowanej na powierzchni.

Przy rozruchu tarczy wykorzystano jako odpór pierścienie obudowy tubingowej, zabudowane w tym celu w szybie. Opierały się one o przeciwległą ścianę obudowy szybu. Pozwoliło to wyeliminować zabudowę tzw. kozła odporowego.

W trakcie drażenia tuneli rozwiązano szereg problemów technologicznych. Najważniejszy z nich to opanowanie sztuki urabiania przodku w ten sposób, aby ograniczyć do minimum osiadanie powierzchni. Należy zaznaczyć, że nie zawsze się to udawało. Zawodnione piaski o charakterze kurzawkowym, liczne głązy polodowcowe o znacznych gabarytach były przyczyną, że w początkowym okresie prac przy drażeniu tunelu wschodniego na szlaku B-11 występowały zawały. Tunele na szlaku B-11 o dł. 505 m wykonano w całości w obudowie z tubingów żeliwnych.

Tytułem prób wprowadzono w październiku 1986 r. 14-metrowy odcinek obudowy z bloków żelbetowych w tunelu zachodnim na szlaku B-8.

Obecnie zgodnie z projektem technicznym zabudowuje się pierścienie obudowy żelbetowej w tunelu zachodnim szlaku B-9, tam gdzie warunki hydrogeologiczne na to pozwalają. Umożliwi to obniżenie kosztu 1 m tunelu o 60% w stosunku do tunelu w obudowie żeliwnej.

Należy także podkreślić, że ze względu na znaczenie metra zagadnienia te kompleksowo rozpatrzone zostały przez Państwową Radę Górnictwa oraz Wyższy Urząd Górniczy. W wyniku tego Rada Ministrów uchwaliła w dniu 13 lipca 1985 r. rozporządzenie w sprawie nadzoru urzędów górniczych nad przedsiębiorstwami prowadzącymi roboty podziemne przy budowie szybkiej kolei miejskiej (metra) w Warszawie (Dziennik Ustaw nr 37 poz. 178 z 1985 r.).

Stosownie do obowiązujących przepisów właściwy dla spraw objętych rozporządzeniem jest w pierwszej instancji Okręgowy Urząd Górniczy w Lublinie.

Aktualny postęp robót przy budowie metra w Warszawie, sprawność ich wykonywania oraz wyniki kontroli przeprowadzone przez urzędy górnicze pozwalają na stwierdzenie, że przyjęta technologia prac oraz podejmowane ustalenia organizacyjne i prawne stanowią gwarancję prawidłowej realizacji tej tak ważnej inwestycji.

Na zakończenie należy stwierdzić, że pomimo początkowych trudności, załoga ZRG w Mysłowicach w krótkim czasie opanowała technologię drażenia tuneli, osiągając średniomiesięczne postępy rzędu 50-60 m i wykonując w 1985 roku 712 m, a w 1986 roku 937 m tuneli metra. Są to wyniki osiągane przez renomowane firmy zagraniczne o bogatym i długoletnim stażu.

#### LITERATURA

- [1] Założenia techniczno-ekonomiczne budowy I linii metra w Warszawie - czerwiec 1982.
- [2] Założenia techniczno-ekonomiczne Metody budowy I linii metra. Tom V. Metoda tarczowa. Technologia i mechanizacja robót - Metroprojekt.
- [3] Biuletyny informacyjne Generalnej Dyrekcji Budowy Metra - nr 1, 2 i 3.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Kasimierz PODGÓRSKI

Wpłynęło do Redakcji w marcu 1987 r.

## ПРОХОДКА ТОННЕЛЕЙ МЕТРО В ВАРШАВЕ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

## Резюме

В докладе обсуждены проблемы, связанные с проходкой тоннелей скорой городской железной дороги при применении немеханизированных щитов типа ШЧН-1С советского производства. Вкратце представлен исторический очерк стройки варшавского метро, начиная с 1927 года, и детально описана трасса линии, которую строят в настоящее время.

Обсуждены гидрогеологические условия вдоль отдельных междустанционных путей, их влияние на принятую технологию проходки тоннелей и способ осушения пород.

Подробно описаны устройства и оборудование, предназначенные для работ такого типа, а также технология и организация проводимых работ.

Дана характеристика чугунной и железобетонной обделки тоннелей, и представлен способ возведения обделок, а также метод уплотнения стыков в местах соединения отдельных сегментов.

В заключении авторы представили опыт, накопленный во время двухлетней практики тоннелестроения, а также важнейшие новаторские решения, применяемые при сооружении тоннелей и комплекса других подземных и наземных работ.

## DRIFTING OF THE SUBWAY TUNNELS IN WARSAW BY UNDERGROUND METHOD

## Summary

Problems connected with the drifting of tunnels for a fast municipal railway, using non-mechanized Soviet shields of the type ShChN-1S, have been presented in the paper. Briefly presented is a historical outline of the construction of the Warsaw subway beginning with the year 1927, and the location of the now-realized investment is characterized in detail.

The hydrogeological conditions along the particular interstation routes are discussed, as well as their effect on the accepted technology of tunnelling and the method of drainage of the rock mass. The apparatus and equipment for this type of work, as well as the technological cycle of the tunnelling are presented in detail. The cast iron and ferro-concrete tunnel lining, the method of its installation, and the method of sealing of the joints at the point of contact of the particular segments are characterized.

In the conclusion the authors present the experience gained in their two-year practice in tunnelling, as well as the more important novel technical and technological solutions applied to tunnelling and the carrying out of development openings.