ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1987

Seria: GÓRNICTWO z. 158 Nr kol. 931

Tadeusz DZIURA
Tomasz BIAŁCŻYT

PRACE GEODEZYJNE PRZY DRĄŻENIU TUNELI METRA METODĄ TARCZOWĄ

Streszczenie. W artykule omówiono zakres oraz metodę prac geodezyjnych przy drążeniu tuneli metra metodą tarczową na przykładzie budowy pierwszej linii szybkiej podziemnej kolei miejskiej w Warszawie. Zagadnienie to w Polsce występuje po raz pierwszy, w związku z czym zaszła potrzeba przeszkolenia geodezyjnej kadry inżynieryjno-technicznej zarówno pod względem teoretycznym, jak i praktycznym. Założone przy projektowaniu tuneli minimalne skrajnie wymagają bardzo wysokich dokładności realizacji tuneli drążonych z reguły stosunkowo krótkimi, bo rzędu kilkuset metrów odcinkami. Problem przebitkowy nabiera w tych warunkach szczególnego znaczenia. Dokładność wykonania obudowy pierścieniowej tunelu (tubingi żeliwne lub segmentowe pierścienie żelbetowe) uzależniona jest ściśle od dokładności prowadzenia tarczy w płaszczyznach poziomej i pionowej, gdyż obudowa tunelu montowana jest w jej części ogonowej. Odchylenie tarczy od projektowanego kierunku powoduje zatem odchylenie tunelu metra i jakiekolwiek przesuwanie pierścieni obudowy tunelu celem korygowania jego kierunku jest praktycznie możliwe jedynie w granicach kilkunastu milimetrów. Z powyższego wynika, że całokształt prac geodezyjnych przy budowie tuneli metra zmierza w szczególności do ciągłego prowadzenia tarczy zgodnie z projektowaną osią tunelu oraz ciągłej kontroli montażu obudowy pierścieniowej. Dla osiągnięcia wymaganych dokładności realizacji tuneli metra metodą tarczową zastosowano najbardziej nowoczesny sprzęt mierniczy (dalmierze elektrooptyczne, giroteodolity, lasery) oraz metody pomiarów nie stosowane dotychczas w polskim miernictwie górniczym. Uzyskane rzeczywiste dokładności realizacji odcinków tuneli mieszczą się w granicach ± 30 mm przy dopuszczalnych ± 50 mm. Dokładności te osiągnięto w stosunkowo trudnym dla drążenia tuneli terenie, jakim jest centrum Warszawy z całą infrastrukturą oraz płytko występujące warstwy zawodnionych piasków i mułów.

1. WSTĘP

Próba budowy pierwszego stosunkowo głębokiego (50-60 m) metra w Polsce, rozpoczęta w Warszawie w latach 1951-1957 nie powiodła się z uwagi na bardzo trudne do opanowania warunki hydrogeologiczne. Narastające w miarę upływu lat problemy komunikacyjne w Warszawie, dalsze studia i badania oraz postęp i doświadczenia krajów sąsiednich budujących tunele metra, zwłaszcza ZSRR, spowodowały podjęcie decyzji (Uchwała Rady Ministrów z dnia 31.12. 1982 r.) budowy płytkiego metra w Warszawie.

Podjęcie takiej budowy wymaga współdziałania i współpracy wielu dziedzin nauki i techniki, szczególnie techniki górniczej stosującej technologię drążenia tunelu metra pełnym przekrojem za pomocą tzw. tarczy.

W przygotowaniu i realizacji budowy metra, zarówno metodą odkrywkową, jak i górniczą, mają także bardzo znaczny udział specjalności z zakresu geodezji. Przewidziane do realizacji obiekty wydłużone jakimi są tunele metra, przebiegające pod miastem, wymagają wielu analiz, pomiarów, obliczeń i opracowań kartograficznych, zmierzających do zapewnienia odpowiednio wysokich dokładności położenia punktów sieci geodezyjnej na powierzchni terenu. Dokładności te wynikają z założonych tolerancji budowlanych, tj. z dopuszczalnych różnic między projektowanym położeniem elementów konstrukcyjnych tuneli a stwierdzonym geodezyjnymi pomiarami usytuowaniem tych elementów w realizowanym tunelu.

O dokładności prac tunelowych, na którą decydujący wpływ mają służby mierniczo-górnicze, świadczą błędy zbicia tunelu liczone w kierunku poprzecznym i pionowym oraz błąd w kierunku podłużnym, który ma drugorzędne znaczenie. Wielkości błędów poprzecznych i pionowych zakładane są już w fazie projektowania w zależności od stosowanej technologii budowy, wymiarów tuneli, wielkości skrajni itp.

Dla orientacji podajemy, że w krajach o wieloletnich doświadczeniach w budownictwie tunelowym, maksymalne tolerancje zbicia tunelu (w kierunku poprzecznym) o długości 1 km wynoszą: ZSRR ± 10 cm, Austria ± 10 cm, RFN ± 6 cm.

W Polsce na podstawie porozumienia między służbami geodezyjną, projektową i wykonawczą metra założono, że maksymalne tolerancje realizacji tuneli metra metodą górniczą wynoszą ± 5 cm w kierunku poprzecznym oraz ± 1 cm w kierunku pionowym. Takie wysokie wymagania dokładnościowe uzasadnione są względami ekonomicznymi, tj. małą średnicą wewnętrzną tunelu w stosunku do gabarytów taboru metra, przy wysokich parametrach trakcyjnych.

Spełnienie tak wysokich wymagań dokładnościowych jest możliwe jedynie w warunkach dobrze układającej się współpracy pomiędzy służbą mierniczą i górniczą.

2. KRÓTKA CHARAKTERYSTYKA OSNOWY GEODEZYJNEJ DLA DRĄŻENIA PIERWSZEJ LINII METRA W WARSZAWIE

Dla geodezyjnej obsługi budowy pierwszej linii metra założone zostały przed rozpoczęciem budowy oraz w czasie jej trwania:

a) Podstawowa Sieć Realizacyjna Metra (PSRM),
b) Osnowa wysokościowa,
c) Osnowa realizacyjna I rzędu,
d) Podziemna osnowa realizacyjna II rzędu,
e) Robocza osnowa realizacyjna.

2.1. Podstawowa Sieć Realizacyjna Metra (PSRM)

Sieć podstawowa składa się z 22 punktów triangulacyjnych. Sieć utworzona z łańcucha czworoboków obejmuje obszar o długości 20 km, szerokości 2 km i pokrywa projektowaną trasę I linii metra punktami odległymi od siebie 1-3 km.

Średnie błędy azymutów boków tej sieci liczone z wyrównanych współrzędnych wahają się w przedziale od $\pm 0,3^{cc}$ do $\pm 4,6^{cc}$, natomiast błędy wzajemnego położenia par punktów triangulacyjnych, oddalonych od siebie w granicach 1,0-3,0 km wynoszą $\pm$ 3,2 mm do $\pm$ 9,6 mm.

Sieć ta stanowi najwyższej klasy osnowę geodezyjną dla budowy metra. Do sieci tej nawiązana jest osnowa realizacyjna I rzędu (rys. 1) założona w bezpośrednim sąsiedztwie placu budowy.

2.2. Geodezyjna osnowa wysokościowa

Dla potrzeb realizacji metra założona została sieć reperów niwelacji podstawowej II klasy, nawiązana do punktów wysokościowych I klasy państwowej. Sieć ta charakteryzuje się błędem standartowym $\pm$ 2 mm/1 km. Pomiary wysokościowe dla montażu i prowadzenia tarczy oraz ustawiania obudowy tunelu wykonywane są w nawiązaniu do punktów niwelacji podstawowej II klasy położonych na powierzchni terenu. Metoda i dokładność pomiarów wysokościowych gwarantuje wyznaczenie rzędnych punktów i elementów konstrukcyjnych tunelu z założonym błędem nie przekraczającym wielkości $\pm$ 10 mm.

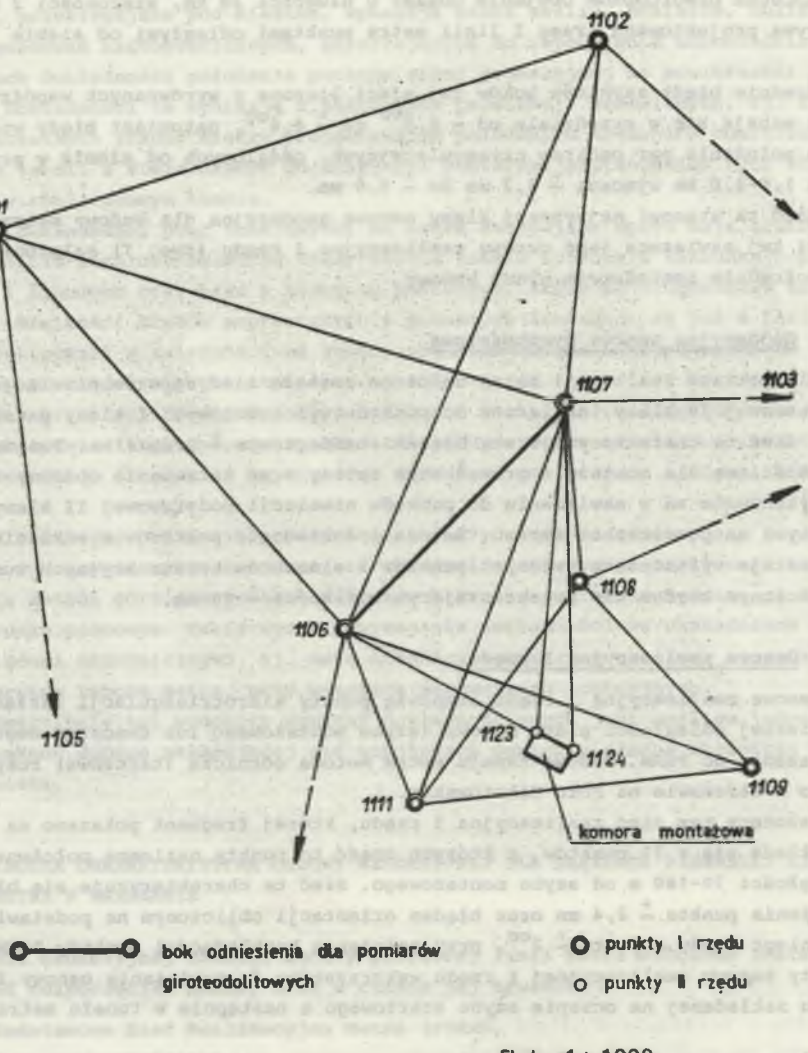
2.3. Osnowa realizacyjna I rzędu

Osnowę realizacyjną I rzędu stanowią punkty mikrotriangulacji zakładane w bliskiej odległości placu budowy (szybu montażowego lub demontażowego) w nawiązaniu do PSRM. Budowę tunelu metra metodą górniczą (tarczową) rozpoczęto w Warszawie na Polu Mikotowskim.

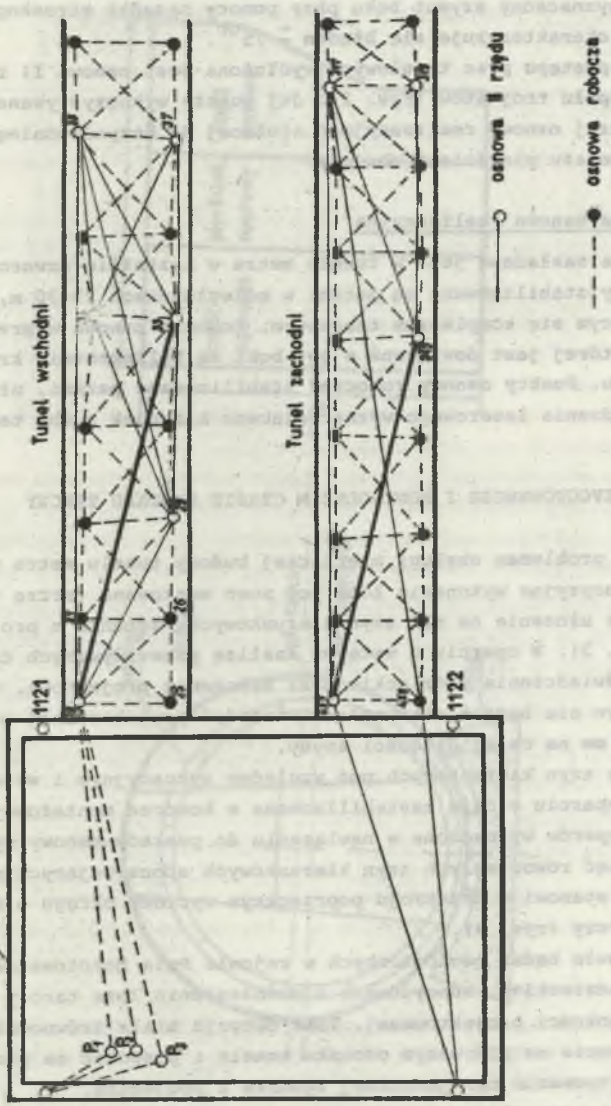
Założona tam sieć realizacyjna I rzędu, której fragment pokazano na rys. 1, składa się z 11 punktów, z których część to punkty naziemne położone w odległości 70-180 m od szybu montażowego. Sieć ta charakteryzuje się błędem położenia punktu $\pm$ 2,4 mm oraz błędem orientacji obliczonym na podstawie średniego błędu azymutu $\pm 2^{cc}$, przy założeniu bezbłędności punktów PSRM. Punkty osnowy realizacyjnej I rzędu wykorzystane do nawiązania osnowy II rzędu zakładanej na oczepie szybu startowego a następnie w tunelu metra.

2.4. Osnowa realizacyjna II rzędu

Punkty osnowy II rzędu zastabilizowane na oczepie szybu służą do wyznaczenia, przeniesienia i utrwalenia osi tunelu w komorze montażowej. Osnowa realizacyjna II rzędu zakładana jest w tunelu dopiero po wykonaniu pierwszego odcinka o długości około 50 m, co daje możliwość założenia pierwszego boku poligonowego w tunelu, wyznaczenia azymutu boku giroteodolitem oraz obliczenia i wyrównania tej osnowy.



Rys. 1. Wycinek osnowy realizacyjnej I rzędu
Fig. 1. A sector of geodetic network of the I st. order



Rys. 2. Fragment osnowy realizacyjnej II rzędu

Fig. 2. A fragment of geodetic network of the II-nd order

Dokładność wyznaczenia położenia pierwszych punktów osnowy II rzędu w tunelu metra, metodą bezpośredniego celowania z punktów na oczepie lub metodą odpionowania, wynosi ± 5 mm przy założeniu bezbłędności punktów osnowy I rzędu a wyznaczony azymut boku przy pomocy nasadki giroskopowej GAK-1 firmy Wild charakteryzuje się błędem ± 15^{cc}.

W miarę postępu prac tunelowych wydłużona jest osnowa II rzędu mająca kształt zespołu trójkątów (rys. 2). Jej punkty wykorzystywane są do nawiązania roboczej osnowy realizacyjnej służącej do bezpośredniego prowadzenia tarczy i montażu pierścieni obudowy.

2.5. Robocza osnowa realizacyjna

Osnowa ta zakładana jest w tunelu metra w kształcie czworoboków (rys. 2), gdzie punkty stabilizowane są parami w odległościach 25-30 m, bezpośrednio za posuwającym się kompleksem tarczowym. Robocza osnowa wyprzedza osnowę II rzędu, do której jest dowiązana a jej boki są kilkakrotnie krótsze od boków II rzędu. Punkty osnowy roboczej stabilizowane parami, ułatwiają ustawienie urządzenia laserowego wyznaczającego kierunek ruchu tarczy.

3. PRACE PRZYGOTOWAWCZE I KONTROLNE W CZASIE MONTAŻU TARCZY

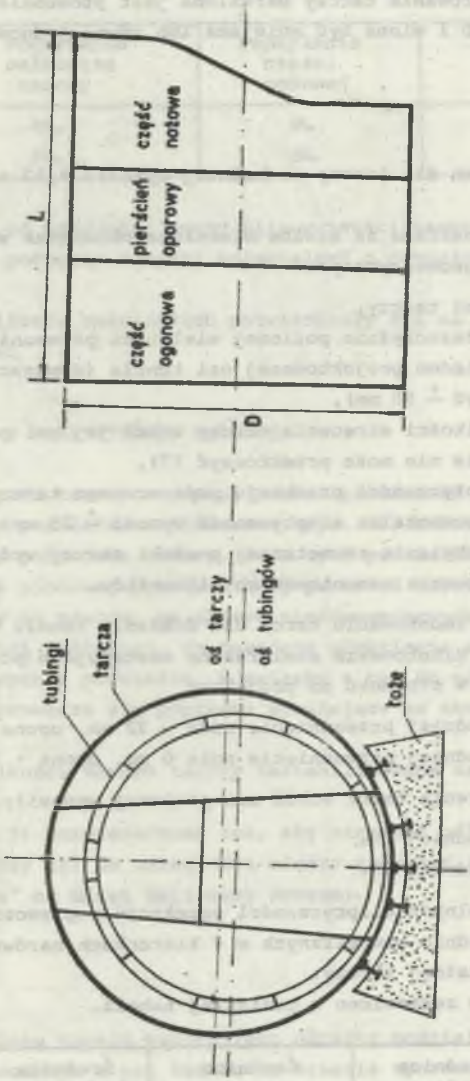
Istotnym problemem obsługi mierniczej budowy tunelu metra metodą górniczą jest precyzyjne wykonanie łoża pod nowo montowaną tarczę w komorze montażowej oraz ułożenie na nim szyn kierunkowych, zgodnie z projektowaną osią tunelu (rys. 3). W oparciu o wstępną analizę przewidywanych czynności mierniczych, doświadczenia radzieckie oraz założenia projektowe, ustalono, że kierunek szyn nie będzie odbiegał od wartości projektowanej więcej niż 3 mm/m oraz 5 mm na całej długości szyny.

Położenie szyn kierunkowych pod względem sytuacyjnym i wysokościowym wyznaczono w oparciu o osie zastabilizowane w komorze montażowej szybu oraz wysokości reperów wyznaczone w nawiązaniu do punktów osnowy wysokościowej II klasy. Pięć równoległych szyn kierunkowych spoczywających na wybetonowanym złożu stanowi w przekroju poprzecznym wycinek okręgu o średnicy równej średnicy tarczy (rys. 4).

Na podstawie badań geologicznych w rejonie Pola Mokotowskiego oraz doświadczeń radzieckich, zdecydowano o podniesieniu łoża tarczy o 3 cm w stosunku do wysokości projektowanej. Taka decyzja miała zrównoważyć osiadania tarczy w gruncie na pierwszym odcinku tunelu i pozwolić na prawidłowe przestrzenne usytuowanie osi podłużnej zgodnie z projektem.

Twarde i zwarte gliny zwałowe na wybiegu tunelu wschodniego nie potwierdziły wyżej podanych założeń, co jednak nie spowodowało istotnych kłopotów we właściwym prowadzeniu tarczy.

Montaż tarczy prowadzi się od osiowego ułożenia dolnych segmentów na łożu a następnie montuje się dalsze elementy symetryczne, zgodnie z zastabili-



Rys. 3. Schemat usytuowania tarczy na łożu

Fig. 3. Diagram of the location of the shield in bed

zowaną w komorze montażowej osią podłużną tunelu. Montowana tarcza składa się z części nożowej i pierścienia oporowego połączonego z częścią ogonową.

Zdolność manewrowania tarczy określona jest stosunkiem długości tarczy L do jej wysokości D i winna być mniejsza lub równa jedności

$$\frac{L}{D} \leq 1$$

Współczynnik ten dla tarczy wschodniej wynosił 0,92 a dla tarczy zachodniej 0,99.

Montaż tarczy nakłada na służbę mierniczą obowiązek wyznaczenia następujących elementów geometrycznych:

a) rzeczywistej osi tarczy,
b) określenie w płaszczyźnie poziomej wielkości przesunięcia rzeczywistej osi tarczy względem projektowanej osi tunelu (dopuszczalna różnica nie może przekroczyć ± 50 mm),
c) określenie wielkości skręcenia tarczy wokół jej osi poziomej (dopuszczalne skręcenie nie może przekroczyć 1°),
d) określenie eliptyczności przekroju poprzecznego tarczy w części nożowej i ogonowej (dopuszczalna eliptyczność wynosi ± 25 mm),
e) wyznaczenie pochylenia zewnętrznej powłoki tarczy wzdłuż osi podłużnej,
f) kontrola usytuowania zamontowanych siłowników.

Po ostatecznym zmontowaniu tarcz dla drążenia tunelu wschodniego i zachodniego na Polu Mikotowskim stwierdzono następujące przesunięcia rzeczywistych osi tarcz w stosunku do projektu:

- dla tarczy wschodniej przesunięcie noża - 22 mm, ogona - 7 mm,
- dla tarczy zachodniej przesunięcie noża 0 mm, ogona + 20 mm.

Wielkości skręcenia tarcz wokół osi poziomej wynosiły:

- dla tarczy wschodniej 7‰,
- dla tarczy zachodniej 6‰.

Pomiarów kontrolnych eliptyczności przekroju poprzecznego tarcz dokonano poprzez pomiar średnic wewnętrznych w 4 kierunkach zarówno w części nożowej jak i w ogonowej każdej tarczy.

Wyniki pomiarów zestawiono w poniższej tabeli.

Tarcza	Średnica pozioma		Średnica pionowa		Średnica skośna prawa		Średnica skośna lewa	
	nóż	ogon	nóż	ogon	nóż	ogon	nóż	ogon
Wschodnia	5605	5650	5631	5610	5601	-	5602	-
Zachodnia	5600	5624	5605	5632	5642	5628	5583	5646

Wyniki pomiarów kontrolnych pochylenia zewnętrznej powłoki tarcz przedstawia niżej zamieszczona tabela:

Tarcza	Pochylenie całkowite tarczy	Pochylenie części nożowej	Pochylenie części ogonowej
Wschodnia	4‰	4‰	6‰
Zachodnia	4‰	2‰	6‰

Większe odchylenie od przyjętej normy eliptyczności tarczy zachodniej stworzyło konieczność podjęcia decyzji kolegialnej o dopuszczeniu jej do ruchu.

Zapewnienia specjalistów radzieckich potwierdziły się na dotychczas wykonanym odcinku tunelu.

4. PROWADZENIE TARCZY W PŁASZCZYŹNIE POZIOMEJ

Po zakończeniu montażu tarczy w górnej części przedziału nożowego zamontowane zostały dwie podziałki milimetrowe (rys. 4), które pozwalają na każdorazowe określenie położenia tarczy. Zera tych podziałek muszą znajdować się w płaszczyźnie pionowej przechodzącej przez oś tarczy. W trakcie przesuwania się tarczy do przodu, na skutek nierównomiernych oporów, wykonuje ona skręt wokół osi podłużnej, co powoduje odchylenie się osadzonych na tarczy znaków osiowych i podziałek. W związku z tym do odczytów wykonanych na podziałkach wprowadza się poprawki wynikające ze skrętu tarczy wokół jej osi.

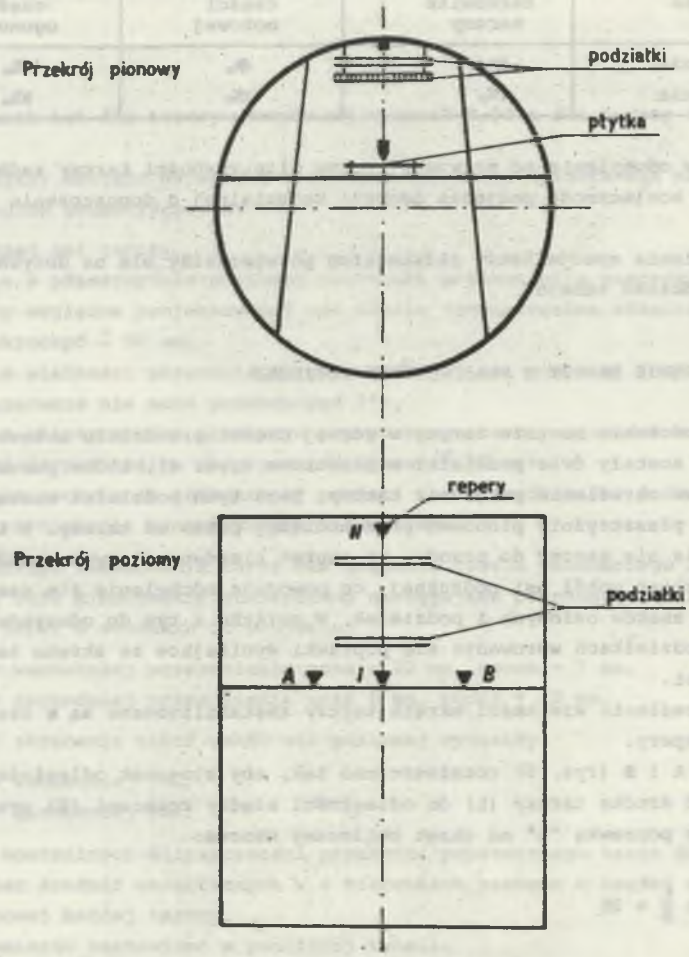
Dla określenia wielkości skrętu tarczy zastabilizowane są w części nożowej dwa repery.

Repery A i B (rys. 5) rozmieszczono tak, aby stosunek odległości zera podziałki od środka tarczy (L) do odległości między reperami (S) wynosił 2.

Wówczas poprawkę "a" na skręt obliczamy wzorem:

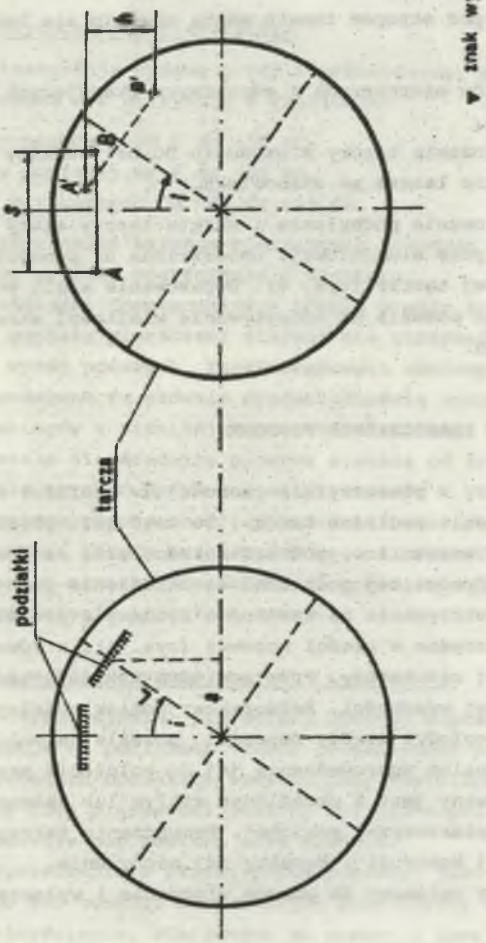
$$a = h\frac{L}{S} = 2h$$

Na początkowym odcinku tunelu wschodniego odczyty podziałek wykonywane były teodolitem umieszczonym w osi tunelu na ścianie oporowej szybu montażowego. Utrudniło to pracę zespołów mierniczych, jak również zespołów przodkowych i transportowych. Umieszczenie podziałek i reperów w górnej części przedziału nożowego tarczy oraz zastosowanie lasera do materializacji osi tunelu (lub siecznej na łukach), zawieszonego pod stropem, w znacznym stopniu oddaliło pracę zespołów mierniczych od spągu tunelu, nie utrudniając pracy brygad przodkowych.



Rys. 4. Znaki i urządzenia pomiarowe na tarczy

Fig. 4. Designations and surveying devicas on the shield



Rys. 5. Określenie skręcenia tarczy

Fig. 5. Determination of the shield torsional deflexion

Zastosowanie lasera małej mocy, charakteryzującego się takimi własnościami jak: prostolinijność rozchodzenia się wiązki laserowej, monochromatyczność i spójność, znalazło pełne zastosowanie w pracach mierniczych przy budowie tuneli szybkiej kolei miejskiej w Warszawie. Oceniając ponad roczną pracę urządzeń zastosowanych do prowadzenia tarczy, należy stwierdzić, że w pełni zdały egzamin lasery współpracujące z teodolitami. Należą do nich: laser firmy Simens oraz nasadka laserowa na teodolit Theo 020 produkowana przez Wojskową Akademię Techniczną.

Umieszczenie lasera pod stropem tunelu metra okazało się bardzo korzystne, gdyż zapewnia:

- bezpieczeństwo zespołów mierniczych i górniczych pracujących równocześnie na swych stanowiskach,
- ciągłą obserwację położenia tarczy w stosunku do osi tunelu,
- możliwość pozostawienia lasera na stanowisku.

Do bieżącego kontrolowania pochylenia i skrętu tarczy służy dodatkowo podziałka nacięta na płycie aluminiowej, umieszczona na pomoście górnego przedziału części nożowej tarczy (rys. 4). Dopasowanie skali podziałki na płycie do długości pionu pozwala na odczytywanie wielkości skrętu i pochylenia tarczy w promilach.

5. PROWADZENIE TARCZY W PŁASZCZYŹNIE PIONOWEJ

Dla prowadzenia tarczy w płaszczyźnie pionowej (w profilu) należy na bieżąco określać pochylenia podłużne tarczy. Do tego celu przeznaczona jest, jak już wcześniej wspomniano, podziałka zamocowana na pomoście w części nożowej tarczy. Oprócz tej podziałki do określenia pochylenia tarczy a zarazem kontroli jej utrzymania na wysokości zgodnej z projektowaną służą repery I i II zastabilizowane w części nożowej (rys. 4), w równej odległości pionowej od podłużnej osi tarczy. Przy poziomym ułożeniu tarczy repery znajdują się na tej samej wysokości. Każdorazowy pomiar różnicy wysokości przy stałej, znanej odległości między reperami, pozwala na obliczenie pochylenia tarczy i ewentualne doprowadzenie jej do położenia projektowanego.

Każdy tunel projektowany jest z określonym stałym lub zmiennym nachyleniem osi w stosunku do płaszczyzny poziomej. Prowadzenie tarczy zgodnie z projektem wymaga ciągłej kontroli i korekty jej nachylenia.

Wykonuje to mierniczy zmianowy za pomocą włączania i wyłączania siłowników.

6. POMIARY KONTROLNE MONTAŻU PIERŚCIENI TUBINGOWYCH

Montaż kolejnych pierścieni tubingowych wymaga ciągłej obsługi mierniczej zarówno w czasie samego montażu, który odbywa się w części ogonowej

tarczy, jak i po wyjściu pierścienia z erektora. Pomiary kontrolne polegają na określeniu takich wielkości geometrycznych, jak:

- eliptyczność pierścieni,
- zabieganie w płaszczyźnie poziomej i pionowej,
- różnic między osią tunelu a osią zmontowanego pierścienia,
- płaszczyznowość pierścieni.

6.1. Pomiar eliptyczności pierścienia

Zgodnie z instrukcją wydaną przez zleceniodawcę, eliptyczność obudowy tubingowej powinna być utrzymana w granicach:

- dla średnicy pionowej od 0 do +50 mm,
- dla średnicy poziomej od 0 do -50 mm,
- dla średnic przekątnych od -50 do +50 mm.

Pomiar eliptyczności każdego pierścienia dokonuje się bezpośrednio po montażu oraz po wyjściu pierścienia z erektora.

Optymalne wartości dopuszczalnych różnic między średnicą projektowaną a uzyskaną po montażu pierścieni starano się utrzymać w granicach o połowę mniejszych od wyżej podanych. Zniekształcenia obudowy tunelu stwierdzone pomiarami spowodowane są głównie niedokładnością wykonania tubingów, ciężarem własnym tubingów i ciśnieniem gruntu na obudowę. Już w czasie prac montażowych ustala się średnicę pionową większą od średnicy poziomej, aby w gotowym tunelu uzyskać optymalną eliptyczność.

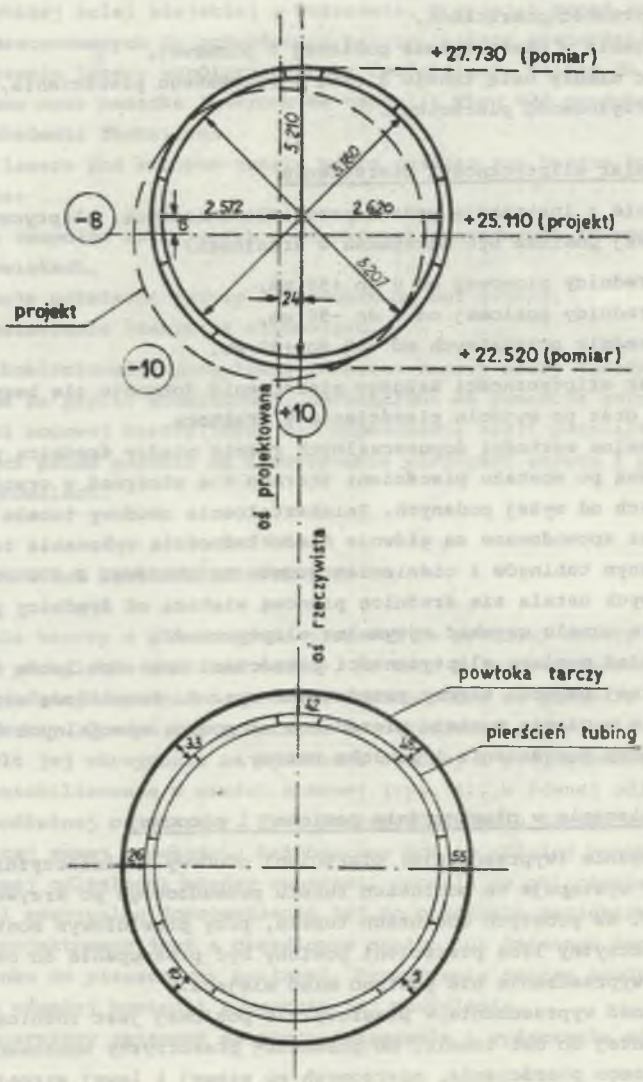
Przykład pomiaru eliptyczności pierścieni oraz ich luzów w stosunku do wewnętrznej powłoki tarczy przedstawia rys. 6. Prawidłową eliptyczność uzyskuje się w czasie montażu pierścieni za pomocą specjalnych klinów wbijanych między pierścienie i powłokę tarczy.

6.2. Zabieganie w płaszczyźnie poziomej i pionowej

Zabieganie (wyprzedzenie) pierścieni obudowy w płaszczyźnie poziomej i pionowej występuje na odcinkach tunelu prowadzonego po krzywej poziomej i pionowej. Na prostych odcinkach tunelu, przy prawidłowym montażu pierścieni, płaszczyzny lica pierścieni powinny być prostopadłe do osi tunelu i wówczas wyprzedzenie nie powinno mieć miejsca.

Wielkość wyprzedzenia w płaszczyźnie poziomej jest różnicą odległości od prostopadłej do osi tunelu, do przedniej płaszczyzny montowanego względnie zmontowanego pierścienia, mierzonych po prawej i lewej stronie tunelu. Przy prowadzeniu tunelu po łuku, wartość koniecznego wyprzedzenia oblicza się wzorem:

$$w_p = d \frac{\varphi}{\rho}$$



Rys. 6. Pomiary kontrolne montażu pierścieni tubingowych
Fig. 6. Control surveys of the assembling of the tubing rings

gdzie:

d - średnica pierścienia,

φ - kąt środkowy łuku od ostatniego punktu siecznej lub cięciwy do płaszczyzny montowanego pierścienia.

Wyprzedzenie pionowe pierścienia wyznacza się przez odpionowanie punktu znajdującego się na górze przedniej ścianki pierścienia na spąg i pomiar poziomej odległości rzutu tego punktu do przedniej ścianki tubingu. Inaczej mówiąc, pomiar zabiegania pionowego polega na określeniu pionowości płaszczyzny lica pierścienia. Zabieganie pierścieni na łukach pionowych oblicza się wzorem:

$$W_y = di$$

gdzie:

i - projektowane pochylenie tunelu wyrażone w promilach.

Wartość koniecznego lub likwidację nadmiernego zabiegania montowanych pierścieni uzyskuje się poprzez stosowanie wkładek klinowych między pierścieniami tubingów.

6.3. Pomiar odchylenia osi rzeczywistej tunelu od osi projektowanej

Na skutek pogorszenia się (zmian) warunków geologicznych i wadliwego wykonania elementów pierścieni może występować przesunięcie osi zmontowanego pierścienia względem projektowanej osi tunelu. Odchylenie osi rzeczywistej od osi projektowanej wyznaczane jest oddzielnie dla każdego pierścienia (rys. 6). Wielkość odchylenia poziomego osi pierścienia określona jest równocześnie z pomiarem eliptyczności, natomiast wielkość odchylenia osi pierścienia w płaszczyźnie pionowej określona jest niwelacją geometryczną góry i dołu zmontowanego pierścienia.

Odchylenie osi rzeczywistej od osi projektowanej nie może przekraczać, zgodnie z zatwierdzonymi wytycznymi, wielkości $\pm$ 50 mm.

6.4. Pomiar płaszczyznowości zmontowanego pierścienia

Płaszczyznowość pierścieni określona jest przez pomiar usytuowania w płaszczyźnie pionowej ośmiu punktów rozmieszczonych symetrycznie na licu pierścienia. Płaszczyznę pionową wyznacza się niwelatorem ustawionym w osi tunelu z zamontowanym na lunecie pryzmatem łamiącym. Z wykonanych na łacie, przykładanej poziomo do obranych na licu pierścienia punktów, odczytów wyznacza się płaszczyznę najlepszej aproksymacji, co pozwala na podejmowanie decyzji o korekcie płaszczyznowości pierścienia polegającej na zakładaniu podkładek w miejscach najbardziej odbiegających od tej płaszczyzny.

Pomiar płaszczyznowości wykonywany jest na co piątym zmontowanym pierścieniu.

Przyjęto zasadę, że punkty położone na średnicy poziomej winny wyprzedzać o 3 mm pozostałe sześć z obranych na licu punktów, co pozwala na utrzymanie eliptyczności pionowej w optymalnych granicach.

7. WNIOSKI

- Uzyskanie prawidłowych parametrów drążonych tuneli metodą górniczą wymaga ścisłej współpracy pracowników miernictwa z pracownikami wykonawstwa górniczego.
- Umieszczenie przyrządów mierniczych w górnej części tunelu pozwala na równoczesne prowadzenie prac górniczych i mierniczych, poprawia organizację pracy oraz podnosi bezpieczeństwo pracy.
- Zastosowany dotychczas nowoczesny sprzęt mierniczy, taki jak: nasadka laserowa oraz dalmierz Di-4L i nasadka giroteodolitowa GAK-1 firmy Wild gwarantują uzyskanie wysokiej dokładności prowadzenia tunelu.

LITERATURA

1. Instrukcja robót geodezyjnych i miernictwa górniczego podczas budowy tuneli transportowych - wydanie Mintransstroj, Moskwa 1970.
2. Bramowski - Geodezja w budownictwie tunelowym.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Bronisław Skinderowicz

Wpłynęło do Redakcji w lutym 1987 r.

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОХОДКЕ ТОННЕЛЕЙ МЕТРО ДИСКОВЫМ МЕТОДОМ

Р е з ю м е

В работе обсуждается объём и методика геодезических работ при проходке тоннелей метро дисковым методом на примере строительства первой линии скоростной подземной железной дороги в Варшаве. Эта проблема появилась в Польше впервые, в связи с чем появилась потребность обучения геодезических инженерно-технических кадров как в области теории, так и в области практики. Запроектированные тоннели требуют очень высокой точности проходки коротких, в основном отрезками в несколько сот метров тоннелей. Проблема пробивки в этих условиях имеет особо важное значение. Точность выполнения кольцевой крепи тоннеля /чугунные тюбинги или

секции чугунных колец/ зависит от точности ведения диска в горизонтальной и вертикальной плоскостях, т.к. крепь тоннеля монтируется в её хвостовой части. Отклонение диска от заданного направления ведёт за собой отклонение тоннеля метро и какое-либо перемещение колец крепи тоннеля с целью корректировки его направления практически возможно в границах нескольких миллиметров. Из вышеуказанного следует, что объём геодезических работ при строительстве тоннелей метро сводится к непрерывному ведению диска согласно с проектированной осью тоннеля и непрерывному контролю над монтажем кольцевой крепи. Для достижения заданной точности проходки тоннелей метро дисковым методом применяется современное измерительное оборудование /электрооптические дальномеры, гиротеодолиты, лазеры/ и метод измерения до сих пор не применяемый в Польше. Действительные отклонения при проходке отрезков тоннелей составляют около ±30 мм при допустимом отклонении ±50 мм. Эта точность получена в трудной для проходки тоннеля местности, в центре Варшавы и при близко подходящих к поверхности слоях песка и ила.

GEODETIC WORKS WHILE TUNELLING THE UNDERGROUND RAILWAY BY MEANS OF A SHIELD METHOD

S u m m a r y

The paper deals with the range and methodics of geodetic works while tunelling an underground by means of a shield method using as an example the building of the first line of a fast municipal in Warsaw. The problem has arisen in Poland for the first time and calls for a training of the geodetic technical enigineer staff both in a theoretical and practical way. The minimum clearance ganges assumed when designing the tunnels reguire a great degree of accuracy in the execution of the tunnels done as a rule, in small sections of some hundreds of meters, the problems of joining of these sections is in these conditions, of special importance. The accuracy of executing the ring casing of the tunnel (cast iron tubings or segment ferroconcrete rings) is closety dependent on the accuracy of shield driving in the vertical and horizontal planes since the tunnel casing is assembled in its tailend. A deviation of the shield from the direction planned thus causes a deviation of the underground tunnel and any morning of the tunnel casing rings to corect its direction is practically possible only within severalmmilimeters. It results from the above that the whole of the geodetic works when tunelling an underground railway aims, first of all, at the continuous operating of the shield acc. to the designed axis of the tunnel and continuous control of the shield casing installation. To achieve the

required accuracies when tunelling an underground by the shield method the most modern surveying equipment has been used (electrooptical telemeters, gyro theodolites, lasers), as well as some surveying methods which have not so far been used in Polish geodetic surveying. The actual accuracies obtained during the tunnelling of the sections are within ± 30 mm with the permissible ones equal ± 50 mm. These accuracies were achieved in a terrain as difficult for tunnelling as is the centre of Warsaw with its infrastructure and shallow layers of flooded sands and sludge.