

## ZAGADNIENIA STUDIÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH DLA POTRZEB BUDOWY METRA

UKD 624.131:625.42

Problem studiów ogólnych, ekonomicznych i geologicznych dla potrzeb budowy tuneli (nie tylko metra) były przedmiotem wielu publikacji m.in. (2), (3). Trudno jest dla każdego rodzaju studiów wyodrębnić ich zakres, gdyż wpływają one wzajemnie na siebie, a ich wyniki są współzależne. Wydaje się jednak, iż w przypadku studiów geologicznych sposób prowadzenia ich można ująć w pewne ramy. Dowodem tego jest fakt, że w krajach, w których wykonuje się wiele tuneli, zarówno metodami odkrywkowymi jak i górniczymi (przede wszystkim nową metodą austriacką oraz tarczową) opracowano normy, dotyczące sposobu prowadzenia badań geologiczno-inżynierskich. Normy te (4) zostały przygotowane przy współpracy Międzynarodowego Stowarzyszenia Robót Podziemnych (którego członkiem jest również Polska) i obowiązują wszystkie przedsiębiorstwa wykonawcze przystępujące np. do przetargu na wykonanie projektu i konstrukcji tunelu (także tunelu metra).

### ZAKRES STUDIÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH

Poszczególne etapy studiów geologicznych oraz odpowiadający im przebieg prac projektowych i wykonawczych przedstawiono w tabeli. Studia geologiczne przeprowadza się w kilku etapach.

|                                                    | Analiza potrzeb użytkowników i ocena możliwości wykonawczych | Wybór trasy tunelu | Opracowanie oferty wykonawczej i wybór metod wykonania | Projekt techniczny | Rozpoczęcie wstępnych prac wykonawczych | Rozróżnienie części inwestycji |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|
| 1. Studia wstępne                                  | ■                                                            |                    |                                                        |                    |                                         |                                |
| 2. Studia ogólne                                   |                                                              | ■                  |                                                        |                    |                                         |                                |
| 3. Studia szczegółowe                              |                                                              |                    | ■                                                      | ■                  |                                         |                                |
| 4. Studia uzupełniające                            |                                                              |                    |                                                        | ■                  |                                         |                                |
| 5. Nadzór geologiczny, geotechniczny i inżynierski |                                                              |                    |                                                        | ■                  | ■                                       | ■                              |
| 6. Projekt geologiczno-geotechniczny               |                                                              |                    |                                                        |                    |                                         | ■                              |

← Ewentualnie nowy projekt inwestycyjny

**Etap pierwszy** to studia wstępne. Ich celem jest przede wszystkim wskazanie kierunków i zakresu badań geologiczno-inżynierskich wykonywanych na etapach następnych. Przeprowadza się je na podstawie:

- ogólnych map geologicznych i geotechnicznych terenu,
- zdjęć lotniczych,
- badań geodezyjnych,
- istniejących danych archiwalnych (wyników sondowań, danych historycznych),
- badań geologicznych powierzchni terenu (na podstawie wykopów powierzchniowych, istniejących wychni).

Wynikiem badań wstępnych są:

- ogólny przekrój geologiczny (stratygrafia, tektonika),
- opis litologiczny,
- warunki hydrologiczne,

- prowizoryczny przekrój geotechniczny,
- zakres dalszych badań.

**Drugi etap** to studia ogólne. W trakcie przeprowadzania tych studiów dokonuje się:

- kontroli stratygrafii i hydrologii danego terenu,
- wyboru metod wykonania konstrukcji,
- wyboru przekrojów typowych (z punktu widzenia warunków geologiczno-inżynierskich),
- wstępnej oceny przyszłej trasy tunelu.

Podstawowe źródło informacji na tym etapie badań stanowią wyniki wierceń, badań geotechnicznych *in situ* i laboratoryjnych oraz badań geofizycznych. W przypadku wierceń, ich liczba i rozstaw zależy od warunków gruntowych, a także przyjętych metod wykonania. Wg (3) otwory badawcze należy rozmieszczać wzdłuż projektowanej trasy tunelu metra, w rozstawie ok. 100 m. Wg (1) przyjmuje się 5 do 20 otworów na 1 km długości tunelu. W szczególnie niekorzystnych warunkach ta liczba może dochodzić do 30. Należy brać pod uwagę fakt, że w obszarach o zwartej zabudowie miejskiej (co na ogół ma miejsce w przypadku tuneli metra) wykonanie tak dużej liczby otworów badawczych często jest niemożliwe. Istnieje pogląd, że nadmierne zagęszczanie otworów nie ułatwia interpretacji wyników (3).

W czasie wierceń pobiera się próbki o strukturze naruszonej i nienaruszonej, próbki wody oraz przeprowadza się badania *in situ*:

- sondowania sondą SPT,
- próbné pompowania,
- określenie poziomów piezometrycznych,
- określenie wytrzymałości gruntu na ścinanie,
- badania presjometryczne,
- badania penetrometrem.

Po zakończeniu wierceń otwory wykorzystuje się do założenia piezometru, bądź rur do pomiarów inklinometrycznych lub wypełnia się je iniekcją. W trakcie badań laboratoryjnych określa się cechy fizykomechaniczne gruntu.

Wynikiem tego etapu badań są:

- profil geologiczno-geotechniczny,
- określenie rodzaju obudowy tunelu (np. przy metodzie tarczowej lub NMA),
- określenie metody wykonania konstrukcji,
- określenie sposobu i kolejności urabiania gruntu oraz wykonywania obudowy stałej z punktu widzenia stateczności przodka,
- określenie typowego przekroju, lub przekrojów geologiczno-geotechnicznych dla potrzeb projektowania obudowy tunelu.

Studia szczegółowe i uzupełniające prowadzone są w czasie wstępnych prac wykonawczych lub na tzw. odcinkach próbnych. Dla tuneli metra drążonych przy użyciu tarczy, pożądane jest wykonanie sztolni badawczych. Podobnie w przypadku stosowania nowej metody austriackiej. Badania te dotyczą stref szczególnego zagrożenia tzn. obszarów, gdzie przewiduje się pogorszenie warunków geotechnicznych oraz w bezpośrednim sąsiedztwie zabudowy lub pod nią. Rozpoznanie geologiczno-inżynierskie prowadzi się poprzez:

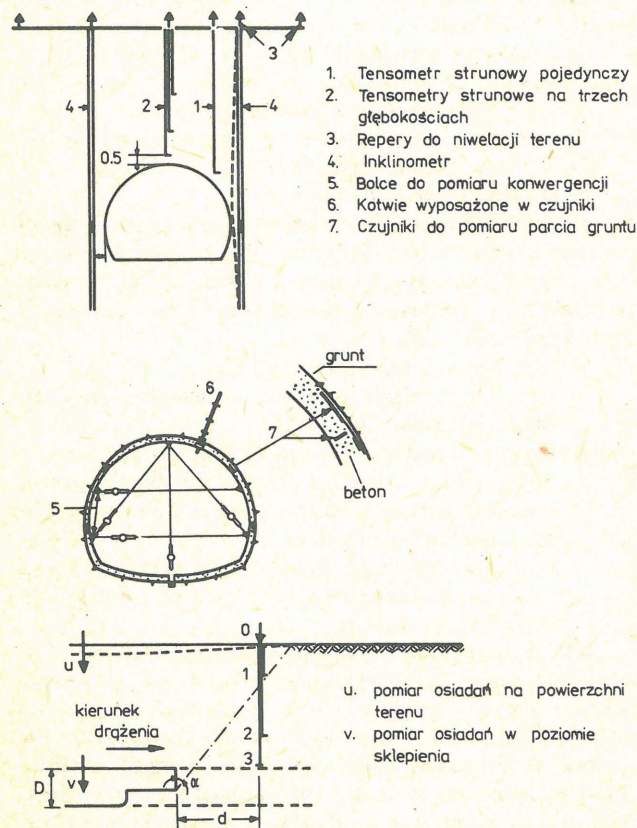


- obserwacje powierzchni terenu,
- badanie geotechniczne i kontrola warunków geologicznych w sztolniach badawczych,
- obserwacja lub ewentualne wyłączenie przewodów kanalizacji miejskiej,
- ocena stanu technicznego i ewentualnych zarysowań budynków,
- kontrola stanu istniejących fundamentów.

Na podstawie uzyskanych wyników dokonuje się adaptacji projektu technicznego do szczególnych warunków lokalnych lub zmian w technologii wykonania (np. wzmocnienia gruntu w omawianych obszarach).

Trzeci etap studiów geologiczno-inżynierskich i zarazem ostatni to nadzór geologiczno-geotechniczny w trakcie prowadzenia robót. Uzyskane na tym etapie badań informacje są szczególnie cenne dla projektantów i wykonawców, gdyż dotyczą rzeczywistych warunków geotechnicznych oraz wpływu prowadzenia prac i wykonania konstrukcji tunelu na otaczający go grunt. Pozwalają na weryfikację, wykonanych na podstawie wierceń, przekrojów geologiczno-geotechnicznych oraz na ocenę prawidłowości interpretacji danych. Dobrze prowadzony nadzór w dużym stopniu chroni wykonawcę przed ewentualnymi katastrofami. Dotyczy to przede wszystkim obserwacji hydrogeologicznych.

Badania prowadzone na tym etapie obejmują również obserwacje konstrukcji tunelu, masywu gruntu otaczającego i powierzchni terenu zarówno w przekrojach poprzecznych jak i wzdłużnych. Na rycinie przedstawiono przykładowy przekrój badawczy wraz ze sposobem rozmieszczenia aparatury (poprzeczne i wzdłużne do trasy tunelu). Na ogół przekroje badawcze rozmieszcza się w liczbie od 3 do 5 na pierwszych 100 m tunelu. Przeprowadza się następujące pomiary:



Wyposażenie przekrojów badawczych oraz przekroje pomiarowe w przypadku metody tarczowej

- niwelację powierzchni terenu, szczególnie w pobliżu budynków, dla oceny zasięgu strefy osiadań,
- pomiary odkształceń gruntu na różnych głębokościach,
- pomiary tensometryczne i inklinometryczne pozwalające ocenić rozkład odkształceń wokół wyrobiska, jak również ich zmienność w czasie,
- pomiary parcia gruntu działającego na obudowę tunelu,
- pomiary odkształceń obudowy tunelu i stateczności przodka.

Każdy przekrój badawczy wyposażony jest w następującą aparaturę (ryc.):

- repery do niwelacji terenu,
- tensometry strunowe do pomiaru odkształceń w gruncie,
- inklinometry,
- czujniki strunowe do pomiaru parcia gruntu (do 24 szt. na obwodzie),
- czujniki strunowe do pomiaru naprężeń w betonie obudowy,
- bolce do pomiaru konwergencji.

Przedstawiony przekrój dotyczy tuneli wykonywanych metodami górniczymi (tarczowa, NMA). Podobnie wyposaża się przekroje badawcze tuneli wykonywanych metodami odkrywkowymi. Uzyskane wyniki (np. wykresy osiadań terenu lub też odkształceń obudowy tunelu) nierzadko powodują istotne zmiany w projekcie technicznym konstrukcji, co z kolei może zapewnić większe bezpieczeństwo prac i bardziej ekonomiczne wykonanie inwestycji.

Jak wspomniano na wstępie, studia geologiczno-inżynierskie związane są ze studiami ekonomicznymi, prowadzonymi równolegle. Wg (4) i (1) w rachunku efektywności inwestycji uwzględnia się, iż koszt studiów geologiczno-inżynierskich waha się od 0,25% do 0,50% kosztów ogólnych całej inwestycji. Dolna granica dotyczy tuneli wykonywanych metodami odkrywkowymi, górna – tarczową i górniczymi.

## PODSUMOWANIE

Budowę I linii metra warszawskiego poprzednio wieloletnimi i obszernymi studiami: ogólnymi, geologicznymi i ekonomicznymi. W zakresie studiów geologicznych przeprowadzono (zgodnie z podanym wyżej zestawieniem) studia wstępne, ogólne oraz niektóre elementy studiów szczegółowych i uzupełniających. Brak jest (w podanym wyżej rozumieniu) pełnego nadzoru geologiczno-inżynierskiego. Dotyczy to przede wszystkim badań i obserwacji odcinków próbnych i przekrojów badawczych.

Jak dotąd, pierwsze odcinki I linii metra realizowano w terenie bez zwartej zabudowy, w stosunkowo dużej odległości od istniejących budynków (Natolin, Ursynów, Służew nad Dolinką, Pole Mokotowskie). Również warunki gruntowe (w przeważającej większości gliny morenowe), z pewnymi wyjątkami, były korzystne. Przy realizacji tzw. drugiego zadania, budowa metra znajdzie się w obszarze miejskim, a warunki gruntowe również ulegną zmianie. Dlatego pożądane byłoby uzupełnienie dotychczas przeprowadzonego rozpoznania geologicznego, przez niektóre elementy studiów szczegółowych i nadzoru badawczego.

Dotyczy to głównie:

- oceny zasięgu strefy osiadań (w przekrojach poprzecznych i wzdłużnych) – zarówno przy pracy tarczą, jak i przy robotach odkrywkowych,
- badań inklinometrycznych w bezpośrednim sąsiedztwie ścian wykopów, tuneli oraz przed czołem tarczy,
- pomiarów parcia gruntu działającego na obudowę: wykopów, tuneli,



- oceny możliwości występowania stróf o szczególnie niekorzystnych warunkach hydrogeologicznych – ponowna weryfikacja metody wykonania wykopu (sposobu rozparcia) oraz konstrukcji,
- oceny naprężeń i odkształceń w konstrukcji tuneli.

Bez wątpienia studia takie wymagałyby odpowiedniego potencjału badawczego. Wydaje się jednak, że ich wyniki byłyby bardzo przydatne zarówno projektantom jak i wykonywcom, bowiem poniesione koszty szybko zwróciłyby się w postaci oszczędniejszego projektowania i pewniejszego wykonawstwa.

## LITERATURA

1. Descoeudres M. — Reconnaissances pour les tunnels a faible profondeur — Geotechnique des tunnels. Symp. Paryż 1986.
2. Stamatello H. — Tunele i miejskie budowle podziemne. Arkady 1970.
3. Stamatello H. — Zakres studiów i prac badawczych przy projektowaniu i budowie metra. Inż. i Bud. 1984 nr 9.
4. Travaux en souterrain du cahier des clauses techniques generales. Fascicule 1982, nr 69, s. 49 — 63.

## SUMMARY

The paper discusses problems of the engineering — geology studies for the needs of the underground railway constructions. Particular steps such as the purpose, technology and results obtained are analysed. Attention is paid to so called the second task of construction — in the city area where would be desired to complete hitherto existing geological prospecting by some elements of detailed studies and surveyed supervision.

## РЕЗЮМЕ

В статье рассмотрен вопрос изучения инженерной геологии на высших учебных заведениях для потребностей постройки метро. Проведен анализ её отдельных этапов: цель, способ выполнения работ и тип полученных результатов. Особое внимание обращено на выполнение второго задания постройки метро — на городской территории, где рекомендуется дополнение геологической разведки некоторыми элементами детальных исследований и исследовательского надзора.