

OCENA WPŁYWU WYKONANIA KOTWI INIEKCYJNEJ NA ZMIANĘ PARAMETRÓW GEOTECHNICZNYCH GRUNTU

UKD 624.131.3:624.138:624.193(438.111)

Technika wykonywania kotwi iniekcyjnych jest znana i stosowana od wielu lat zagranicą i od kilkunastu lat w kraju. W Polsce pierwsze kotwie iniekcyjne wykonano w 1966 r. Były to kotwie doświadczalne a ich celem było sprawdzenie możliwości technicznych, uzyskiwanych nośności i efektów ekonomicznych. Dużą szansę rozwoju, możliwość prowadzenia badań i doświadczeń stwarza budowa pierwszego odcinka I linii metra w Warszawie. Wykonywane tam kotwie iniekcyjne, są kotwiami tymczasowymi, zapewniającymi stateczność ścian wykopów, w których budowane będą przyszłe tunele metra. Przedstawione poniżej zagadnienia dotyczą kotwi tymczasowych, zapewniających stateczność tzw. ściany berlińskiej, stanowiącej obudowę wykopu.

OCENA NOŚNOŚCI KOTWI INIEKCYJNEJ

Projektowanie zakotwień iniekcyjnych przebiega w dwóch etapach:

- etap I, to ocena nośności kotwi z punktu widzenia takich elementów jak średnica i długość jej buławy kotwiącej wraz z uwzględnieniem parametrów geotechnicznych gruntów współpracujących z nią;
- etap II, to ocena nośności kotwi z punktu widzenia całkowitej jej długości oraz kąta pochylenia do poziomu. Można stwierdzić, iż czynnikami decydującymi o nośności są ze strony kotwi:
 - średnica i długość buławy, nadkład gruntu nad buławą, kąt pochylenia kotwi do poziomu, technologia, tzn. m.in. sposób wykonania otworu, liczba faz iniekcji i ciśnienie iniekcji;

ze strony gruntu:

- parametry γ , ϕ_u , C_u ; skład granulometryczny; stan (I_L) lub stopień zagęszczenia (I_D); wartość granicznych naprężeń ścinających, współczynnik filtracji.

Jak widać, właściwa ocena parametrów geotechnicznych gruntu odgrywa podstawową rolę w projektowaniu zakotwień iniekcyjnych. Istotny jest również fakt, czy wykonanie kotwi nie wpływa na zmianę wartości powyższych parametrów. Temu celowi służyły przedstawione niżej badania.

OPIS BADAŃ POŁOWYCH

Badania te były prowadzone na pięciu poletkach doświadczalnych usytuowanych na stacjach A3; A4; A5 oraz szlaku B5 i B6 pierwszego odcinka I linii metra w Warszawie. Liczba i lokalizacja poletek badawczych uwzględniała różne warunki gruntowe, liczbę poziomów zakotwień oraz inną technologię rozparcia, albowiem na szlaku zastosowano rozpory.

Warunki geologiczne zarówno stacji, jak i szlaku były podobne (1). Są one usytuowane na obszarze wysoczyzny polodowcowej, o wyrównanej powierzchni, ok. 1,0 km na zachód od skarpy wiślanej. Ośrodek gruntowy stanowią osady czwartorzędowe. Podłoże wykopu tworzą osady piaszczyste interglacjału mazowieckiego – piaski drobne i średnie $I_D = 0,7-0,8$. Na osadach piaszczystych wy-

stępują gliny morenowe zlodowacenia środkowopolskiego $I_L \leq 0$, skonsolidowane. Ponad nimi zalegają gliny piaszczyste i piaski gliniste, morenowe stadiału Warty $I_L = 0,0-0,20$. W rejonie stacji A5: hm 42,5–43,0 występuje w omawianych glinach morenowych, wąskie wcięcie erozyjne wypełnione piaskami średnimi akumulacji rzecznej.

Buławy kotwi posadowione są we wspomnianych glinach morenowych (A3, A4) oraz piaskach drobnych i średnich (A5). Pierwotny stan glin określono jako półzwały i twaroplastyczny, a piasków – jako zagęszczone. W rejonie poletek B5 zalegają grunty spoiste i gliny morenowe skonsolidowane, w rejonie poletka B6 – grunty niespoiste – piaski drobne i średnie.

Na każdym z poletek wykonano 4 do 6 otworów badawczych. Na poletkach zlokalizowanych na stacjach A3, A4, A5 program badań przewidywał:

- dwa otwory badawcze w odległości 1 m od opinki dla wykonania sondowania sondą udarową ciężką do głębokości 7 m;
- dwa otwory w odległości 7 m od opinki, zlokalizowane w przedniej strefie buław kotwiących. W otworach tych wykonano sondowania sondą SPT, a także pobierano próbki o strukturze naruszonej dla celów badań laboratoryjnych. Badania sondą SPT miały na celu ustalenie stanu gruntów bezpośrednio przed przednią częścią buławy kotwiącej;
- jeden otwór w odległości 13 m od opinki o głębokości 15 m, zlokalizowany w odległości 30 cm od buławy kotwiącej – dla pobrania próbek NNS (ze szczególnym zagęszczeniem próbek w strefie buław), w celu oznaczenia spójności i kąta tarcia wewnętrznego gruntu;
- jeden otwór w odległości 13 m od opinki i o głębokości 15 m, zlokalizowany 30 cm od osi kotwi – dla wykonania sondowań sondą SPT i oceny stanu gruntu w tylnej strefie buławy kotwiącej.

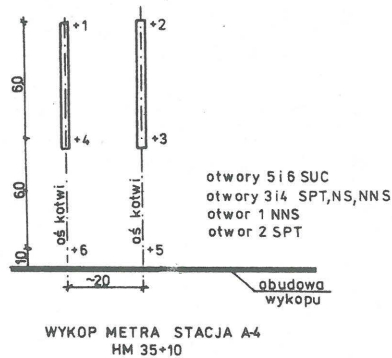
Plan i przekrój jednego z poletek przedstawiono na ryc. 1 i 2.

Na poletkach zlokalizowanych na szlaku (B5 i B6) według programu badań wykonano:

- dwa otwory badawcze w odległości 1 m od opinki dla przeprowadzenia sondowań sondą udarową ciężką do głębokości 7 m;
- jeden otwór w odległości 7 m, do głębokości 10 m – dla sondy SPT;
- jeden otwór w odległości 7 m – dla pobrania o strukturze nienaruszonej.

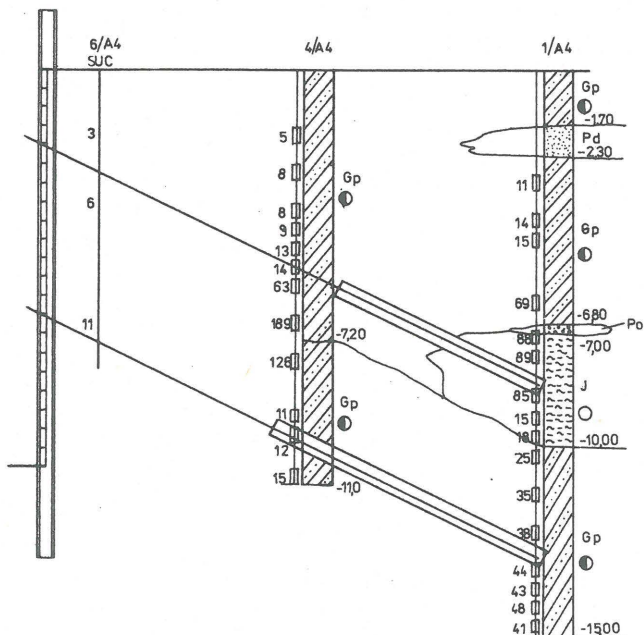
Plan i przekrój poletka B5 przedstawiono na ryc. 3 i 4. Oprócz badań poławych, wykonano badania laboratoryjne w następującym zakresie – badania makroskopowe i oznaczanie:

- składu uziarnienia,
- wilgotności,
- gęstości objętościowej szkieletu gruntowego,
- granicy plastyczności,
- granicy płynności,
- spójności oraz kąta tarcia wewnętrznego gruntu w aparacie trójosiowym,
- współczynnika filtracji.



Ryc. 1. Plan polećki badawczego A4

Fig. 1. Plan of test field A4



Ryc. 2. Przekrój polećki badawczego A4

Fig. 2. Cross-section through test field A4

Szczegółową analizę geotechniczną, wyniki sondowań oraz badań laboratoryjnych gruntów podano w (2).

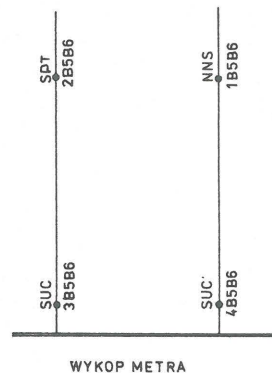
PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Analizując następujące dane:

- wyniki sondowań i badań laboratoryjnych gruntów z polećki A3, A4 i A5, tzn. tych, gdzie dla zapewnienia stateczności obudowy berlińskiej wykopu zastosowano kotwie iniekcyjne;
- wyniki sondowań i badań laboratoryjnych gruntów z polećki B5 i B6, tzn. tych, gdzie zastosowano rozpory;
- dotyczące stanu gruntów nienaruszonych – z dokumentacji (1),

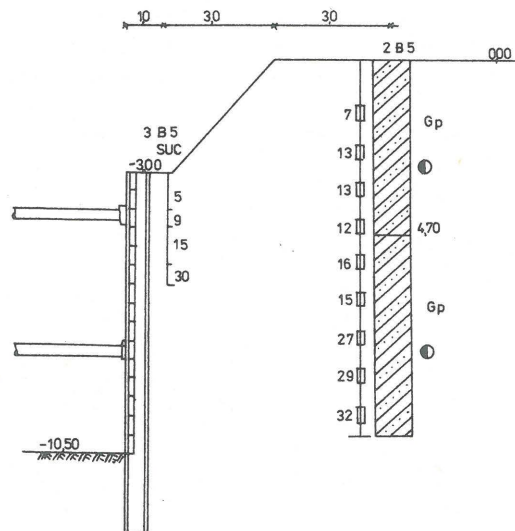
stwierdzono, iż w wyniku wykonania kotwi iniekcyjnej technologią stosowaną na budowie metra, tzn. wiercenia z płuczką, następują zmiany parametrów geotechnicznych gruntu. Obejmują one:

- spadek wartości kąta tarcia wewnętrznego dla piasków drobnych z 33° do 30° i piasków średnich z 34° do 31°;
- rozluźnienie gruntów niespoistych, zmiana I_D od 0,90 do 0,33. Można przypuszczać, że przy zastosowaniu innego sposobu wykonania (wiercenie bez płuczki) stan gruntu, w wyniku sprężenia kotwi, poprawiłby się;
- nieznaczną zmianę wilgotności (od 1% do 3%) gruntów spoistych, a co z tego wynika niewielką zmianę stanu (w granicach stanu twardoplastycznego, zmiana I_L od



Ryc. 3. Plan polećki badawczego B5

Fig. 3. Plan of test field B5



Ryc. 4. Przekrój polećki badawczego B5

Fig. 4. Cross-section through test field B5

0,0 do 0,20). Ta niewielka zmiana wynika z faktu, iż kotwie wykonywane są w dobrych warunkach gruntowych, tzn. w glinach piaszczystych, skonsolidowanych. W przypadku gruntów spoistych w innych stanach, wykonanie kotwi mogłoby znacznie pogorszyć parametry wytrzymałościowe gruntu.

Obliczenia nośności kotwi, przeprowadzone dla parametrów geotechnicznych gruntów nienaruszonych oraz na podstawie wyników badań gruntu – po wykonaniu kotwi wykazały spadek nośności obliczeniowej kotwi wykonywanych w gruntach niespoistych o ok. 33% (2). Z uwagi na fakt, iż wykonanie i sprężenie kotwi iniekcyjnej wpływa na zmianę parametrów gruntu, dla właściwej oceny jej nośności, należy proces projektowania poprzedzić badaniami polowymi kotwi próbnymi, oraz badaniami in situ i laboratoryjnymi gruntów. Badania te zwane wstępnymi powinny obejmować:

- charakterystykę własności fizycznych i mechanicznych gruntów przed wykonaniem kotwi,
- sondowania i badania presjometryczne w strefie buławy kotwi przed jej sprężeniem,
- analogiczne badania po sprężeniu,
- badania laboratoryjne gruntów – określenie wartości parametrów do oceny stateczności wewnętrznej układu,
- próbne naciągi kotwi, aż do zniszczenia (wyrwania) w celu określenia rzeczywistej nośności kotwi oraz jej całkowitej długości, zapewniającej stateczność układu ściana oporowa – kotew, grunt,

- odkopanie kilku buław dla oceny ich kształtu i penetracji iniektu w zależności od warunków gruntowych, ciśnienia iniekcji lub technologii wykonania kotwi. W związku z tym, że sondowania przeprowadzone w gruntach niespoistych dowiodły że ich stan, w wyniku wykonania kotwi uległ rozluźnieniu, a nośności obliczeniowe są mniejsze od zakładanych teoretycznie należy:
- dążyć do zmiany technologii wykonania otworu lub
 - określając nośności uwzględniać współczynnik zmniejszający, wynikający ze sposobu prowadzenia prac – przyjmowany, np.: 0,7.

L I T E R A T U R A

1. B.P.B.K.iS. „Metroprojekt” – stacje A3, A4, A5, szlak B5, B6 – „Geotechnika” oraz „Obliczenia statyczne”.
2. Siemińska-Lewandowska A. – Analiza pracy układu ściana oporowa – kotew iniekcyjna, praca doktorska. Warszawa 1986.

S U M M A R Y

The questions connected with estimations of loading capabilities of injection anchors and influence of these

anchors on soil parameters are discussed. The influence was determined in the course of tests made in six test fields situated in areas of the first line and stations of the Warsaw underground. The results of field and laboratory studies made it possible to state that anchors made with the use of the technology adopted in construction of the underground result in some loosening of non-cohesive soils but only in minor changes in properties of cohesive soils.

Р Е З Ю М Е

В статье рассмотрены вопросы связанные с оценкой грузоподъёмности инъекционных анкеров с учетом влияния изготовления анкера на изменение величины параметров грунта. Для определения этого влияния были проведены полевые исследования на шести опытных участках расположенных на станциях и трассе первого отрезка I линии метро в Варшаве. Результаты исследований in situ и лабораторных исследований позволили определить, что изготовление анкеров технологией применяемой при строении метро вызывает разрыхление несвязных грунтов и небольшое изменение связных грунтов.