

NATURALNE ZAGĘSZCZENIE PIASKÓW NA WYBRANYCH ODCINKACH PIERWSZEJ LINII METRA W WARSZAWIE

UKD 624.131.431:625.42(438.111)

Realizowana I linia metra w Warszawie to metro płytkie, które w przyszłości obsługiwać będzie ciągły pas intensywnego zagospodarowania lewobrzeżnej Warszawy, rozciągnięty na długości przeszło 23 km. Niewielkie zagłębienie spągu tuneli (10–13 m) w stosunku do powierzchni terenu wynika z przyjętych rozwiązań komunikacyjnych oraz faktu występowania do tej głębokości korzystnych dla budowy warunków geologiczno-inżynierskich. Przyjęcie wariantu metra płytkiego zdecydowało, że większość konstrukcji wykonywana jest w wykopach otwartych. Dotyczy to budowy wszystkich stacji oraz tuneli poza Śródmieściem. Natomiast tunele w Śródmieściu realizowane są metodą tarczową.

Prawidłowy przebieg robót związanych z budową metra narzuca konieczność szczegółowego rozpoznania warunków geotechnicznych podłoża oraz określenia przewidywanych zmian w tym ośrodku zarówno w czasie budowy obiektu, jak i w okresie jego eksploatacji. W tym kompleksie zagadnień istotne znaczenie ma właściwa ocena stanu gruntów piaszczystych występujących na trasie I linii metra. Od niej bowiem zależy możliwość wystąpienia dodatkowych osiadań fundamentów zabudowy miejskiej podczas wykonywania różnych robót inżynierskich. Decyduje także o warunkach prowadzenia prac przygotowawczych (studnie depresyjne, wiercenie otworów pod pale obudowy „berlińskiej” itp.) oraz o sposobie wiercenia otworów pod kotwie gruntowe i o warunkach stosowania technologii drążenia tuneli metodą tarczową.

Wymienione zagadnienia muszą być przedmiotem szczegółowej analizy, jeśli dokumentowane warunki występowania gruntów piaszczystych w podłożu wskazują na ich luźno lub średnio zagęszczony stan. Stają się mniej istotne, jeśli badane piaski są zagęszczone. Stan zagęszczenia gruntów piaszczystych wzdłuż I linii metra określano za pomocą sondowań dynamicznych sondą ciężką. Rozpoznanie skoncentrowano na dwóch odcinkach: w rejonie przejścia szlaku B-6 przez Dolinkę Służewiecką oraz na szlaku B-11 (Pole Mokotowskie). Sondowania wykonało Przedsiębiorstwo Geologiczne Budownictwa Wodnego „Hydrogeo” sondą ciężką szwedzkiej firmy „Borro”, o parametrach technicznych zgodnych z normą PN-B/74-04452.

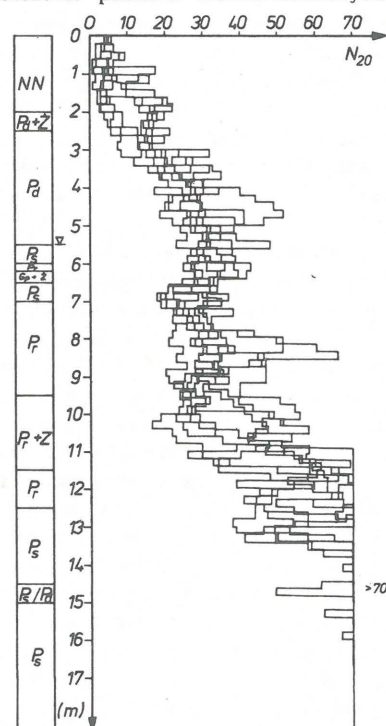
Dolinkę Służewiecką wypełniają osady plejstoceny młodsze od stadiau mazowiecko-podlaskiego zlodowacenia środkowopolskiego (5). Osady są wykształcone głównie jako piaski średnioziarniste i gruboziarniste. Prawdopodobnie są to piaski wodnolodowcowe, które wypełniają wąskie i głębokie rozcięcia. Miąższość utworów piaszczystych wynosi 39 m, poniżej występują iły plioceńskie. Jak podaje W. Morawski (5): „Można przypuszczać, że obecna dolinka jest założona w miejscu doliny marginalnej przepływu wód sandrowych, być może z okresu stadiau północnomazowieckiego, kiedy dolina pra-Utraty, w przybliżeniu równoleżnikowa, była doliną marginalną na przedpolu lądolodu”. Wydaje się, że przedstawiona geneza dolinki miała decydujący wpływ na stan zagęszczenia utworów ją wypełniających.

Sondowania sondą ciężką w Dolince Służewieckiej

wykonano w jej części środkowej w bezpośrednim sąsiedztwie szlaku metra. Na rycinie 1 pokazano zakres zmienności liczby uderzeń z ośmiu sondowań wykonanych w odległości od kilku do kilkunastu metrów od siebie. Głębokość sondowania w zależności od zagęszczenia piasków wynosiła od 15 do ok. 20 m. Rzędna punktów badawczych wynosiła 16 m nad poziom „0” Wisły.

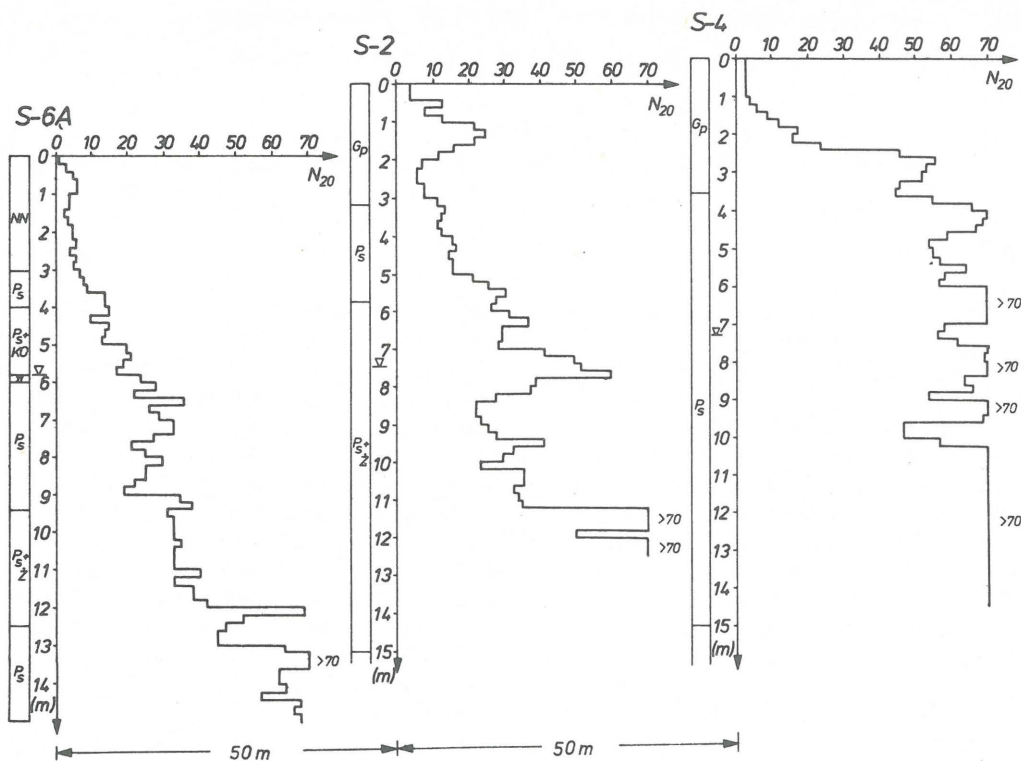
Analizując wyniki sondowań (ryc. 1) można wydzielić trzy strefy o odmiennym zagęszczeniu. Od powierzchni do głęb. 3,0–3,5 m liczba uderzeń sondy wynosiła od kilku do kilkunastu. Piaski w tej strefie można zaliczyć do holocenu, a głębiej do plejstocenu. Od głęb. ok. 3,0 m do 10–11 m (w dwóch sondowaniach do głęb. ok. 8,0 m) liczba uderzeń wynosiła $N_{20} = 25 \div 35$. Poniżej rejestrowano liczby uderzeń od 40 do ponad 100. W piaskach o dużym zagęszczeniu ($N_{20} > 60$) sondowania wykonywano przy użyciu dwóch młotów i wysokości spadu 0,9 m. Wyniki sondowań przy użyciu dwóch młotów odpowiednio przeliczano.

Na rycinie 2 przedstawiono wyniki sondowań w dolince (S-6A) i na wysoczyźnie (S-2 i S-4). Na wysoczyźnie piaski są przykryte gliną zwałową stadiau mazowiecko-podlaskiego zlodowacenia środkowopolskiego o miąższości 3,0 ÷ 3,5 m. Zagęszczenie piasków w punkcie S-6A jest podobne do zagęszczenia przedstawionego na ryc. 1. W punktach na wysoczyźnie sondowania również wykazały bardzo duże zagęszczenie piasków średnioziarnistych. Uwzględ-



Ryc. 1. Wyniki ośmiu sondowań sondą ciężką w Dolince Służewieckiej (Szlak B-6)

Fig. 1. Results of heavy dynamic probing in the Dolinka Służewiecka area (underground line tunnels B-6)



Ryc. 2. Sondowania sondą ciężką w Dolince Służewieckiej (S-6A) i na wysoczyźnie (S-2 i S-4)

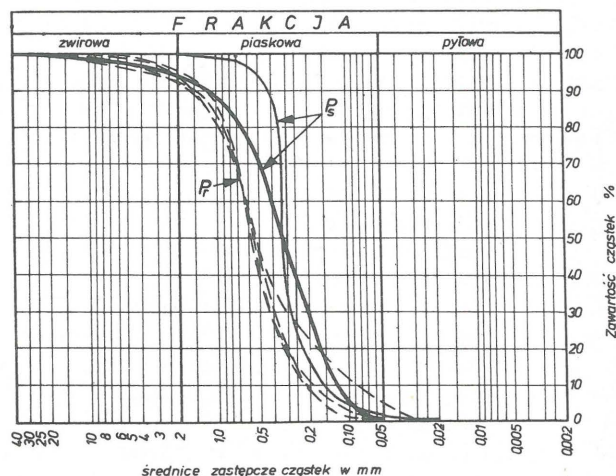
Fig. 2. Heavy dynamic probing in the Dolinka Służewiecka (S-6A) and upland (S-2 and S-4)

niając kryteria oceny stanu zagęszczenia piasków, zaproponowane przez autorów (2), jak i podane w normie DIN 4094, teil 2 (3) dla liczby uderzeń $N_{20} = 25 \div 35$ stopień zagęszczenia $I_D = 0,8 \div 0,85$, a dla liczby uderzeń $N_{20} > 50$ jest $I_D > 0,95$. Wpływu obecnego położenia zwierciadła wody na wyniki sondowań nie analizowano, gdyż przy dużym zagęszczeniu piasków nie występuje redukcyjny wpływ wody na rejestrowaną liczbę uderzeń (3).

Podobny obraz stanu zagęszczenia warstw piaszczystych (piaski drobne, piaski średnie) występujących w obrębie glin zwałowych stadiału mazowiecko-podlaskiego otrzymano wykonując sondowania sondą ciężką na szlaku B-11 (Pole Mokotowskie). Już w przewarstwieniach piaszczystych dokumentowanych w przedziale głębokości 3–5 m poniżej terenu rejestrowano liczby uderzeń $N_{20} = 25 \div 35$; natomiast na głębokościach poniżej 6 m notowano $N_{20} > 50$.

Należy podkreślić, że w dotychczasowych badaniach sondą ciężką piasków występujących w warunkach naturalnych nie stwierdzono tak dużego zagęszczenia utworów o miąższości ponad 10 m. Nawet sondowania sondą ciężką wykonane w piaskach wodnolodowcowych z tego samego okresu (stadiały mazowiecko-podlaski i maksymalny) na terenie Warszawy wykazały znacznie niższe zagęszczenie ($N_{20} = 5 \div 15$) (1). Bardzo duże zagęszczenie osadów wypełniających Dolinkę Służewiecką oraz występujących na wysoczyźnie w bezpośrednim sąsiedztwie doliny może być spowodowane intensywnymi przepływami wód w czasie zlodowacenia środkowopolskiego, jak i później, oraz okresowymi znacznymi wahaniami zwierciadła wód.

O zagęszczeniu piasków w dużej mierze decyduje również uziarnienie. W rejonie sondowań wykonano wiercenia za pomocą urządzenia „power unit”. Wkręcano odcinek świdra spiralnego o długości 1,0 m i po osiągnięciu wymaganej głębokości wrywano go. Uzyskano w ten sposób próbki o naturalnym uziarnieniu z całego profilu, również poniżej zwierciadła wody gruntowej. Na pobranych próbkach w laboratorium oznaczono skład granulometryczny,



Ryc. 3. Krzywe uziarnienia piasków średnioziarnistych (P_s) i gruboziarnistych (P_r)

Fig. 3. Grain size curves for medium- (P_s) and coarse-grained (P_r) sands

minimalną, maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego oraz wilgotność optymalną. Badania wykonano przede wszystkim dla piasków średnioziarnistych i gruboziarnistych. Analiza krzywych uziarnienia dla piasków średnioziarnistych wykazała, że występują dwa typy krzywych. Pierwszy wyróżnia się wąskim przedziałem średnicy zastępczej cząstek, natomiast drugi charakteryzuje się kilkakrotnie szerszym przedziałem. Na ryc. 3 pokazano przykładowe krzywe uziarnienia piasków średnioziarnistych i gruboziarnistych. Pierwszy typ krzywej uziarnienia jest najczęściej spotykany. Drugi – ze względu na szeroki zakres średnicy cząstek – opisuje piaski średnioziarniste dobrze zagęszczające się. Na podstawie badań w aparacie Proctora i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu

gruntu określano wskaźnik zagęszczenia I_s , który dla piasków średnioziarnistych i gruboziarnistych wynosił $I_s = 0,97 \div 1,00$, a wartość średnia $I_s = 0,98$. Jest to wartość większa niż otrzymana w ponad siedemdziesięciu badaniach próbek piasków z różnych rejonów (4).

Podsumowując uzyskane dotąd wyniki badań zagęszczania gruntów piaszczystych sondą ciężką wzdłuż I linii metra, należy stwierdzić, że odbiegają one znacznie od dotychczas stwierdzonych dla piasków wodnolodowcowych z tego samego okresu (stadiały mazowiecko-podlaski i maksymalny zlodowacenia środkowopolskiego) występujących na terenie Warszawy (1). Jest to bardzo korzystne dla realizowanego metra zarówno w fazie jego budowy (odpadają problemy sygnalizowane wcześniej), jak i eksploatacji. Podczas eksploatacji występuje w podłożu generacja drgań wywołanych ruchem pociągów. Prawie optymalne naturalne zagęszczenie piasków w poziomie posadowienia tuneli, jak i poniżej decyduje o tym, że nie nastąpi dodatkowe osiadanie tych gruntów wskutek wibracji, co zapewni właściwą eksploatację I linii metra.

LITERATURA

1. Bażyński J., Frankowski Z. — Zmienność stanu zagęszczenia piasków rzecznych na przykładzie Wisły i Odry. Prz. Geol. 1983 nr 2.
2. Borowczyk M., Frankowski Z. — Problemy interpretacji wyników sondowań dynamicznych w gruntach niespoistych. Inżynieria i Budownictwo 1985 nr 7 — 8.
3. Borowczyk M., Frankowski Z. — Porównanie interpretacji wyników sondowań dynamicznych gruntu w Polsce i w RFN. Ibidem 1985 nr 12.
4. Borowczyk M., Frankowski Z. — Wpływ

parametrów fizycznych gruntu na ocenę wskaźnika i stopnia zagęszczenia. Mat. VI Krajowej Konferencji Mech. Grunt. i Fundament. Warszawa 1981.

5. Morawski W. — Osady wodnomorenowe. Pr. Inst. Geol. 1984 t. 108.

SUMMARY

The paper presents results of studies of natural compaction of sands in foundation of tunnels, carried out with the use of heavy dynamic probe in two sections of the first line of the Warsaw Underground. The tests showed very high compaction of these sands in relation to their origin and stratigraphic position, as well as influence of grain-size distribution on advancement of compaction of these soils. The advantageous influence of almost optimum compaction of the sands occurring in foundation of tunnels and at deeper levels on exploitation of the underground is emphasized.

РЕЗЮМЕ

Для двух отрезков первой линии метро описано уплотнение песков в основании туннелей, которое определялось при помощи динамического тяжелого зонда. Представлено очень большое уплотнение песков в связи с их генезисом и стратиграфической позицией. Указано влияние зернистости на величину уплотняемости песков. Обращено внимание на положительное влияние на эксплуатацию метро почти оптимального естественного уплотнения песков в горизонте заложения туннелей метро и ниже этого горизонта.