

MAREK OBRYCKI, STANISŁAW PISARCZYK

Politechnika Warszawska

## PROBLEMATYKA ZAGĘSZCZANIA ZASYPEK WOKÓŁ OBUDOWY TUNELU METRA

UKD 624.138.21:624.193(438.111)

### PROGNOZA OSIADAŃ ZASYPEK PRZY TUNELU METRA

Na odcinkach metra budowanego metodą odkrywkową powstaje konieczność wykonania nasypów (zasypek) zarówno za, jak i nad obudową tunelu. Z uwagi na projektowanie na tych nasypach jezdni ulic, problem właściwego wykonania zasypek jest bardzo istotny ze względu na wymagania normowe. Dlatego w Instytucie Dróg i Mostów Politechniki Warszawskiej wykonano, na zlecenie Generalnej Dyrekcji Budowy Metra w Warszawie, badania obejmujące problem zagęszczenia zasypek wokół obudowy tunelu metra (3). Celem pracy było:

- 1) opracowanie prognozy osiadania zasypek,
- 2) ustalenie optymalnych warunków zagęszczania gruntów za i nad obudową tunelu metra,
- 3) opracowanie wytycznych wykonawstwa kontroli i odbioru robót zmiennych za i nad obudową tuneli metra budowanych metodą odkrywkową (4).

Zasyпки pomiędzy ścianą tunelu a ścianą wykopu mają szerokość 80–150 cm. Wysokość zasypek obok ścian tunelu wynosi 6 m (stacje 9 m) oraz dodatkowo ok. 4 m nasypu nad płytą górną tunelu. Zasyпки pomiędzy tunelami mają szerokość zmienną od 2 do 6 m. Projektuje się wykonywać zasyпки z gruntów miejscowych niespoistych i spoistych. Do obliczania osiadań zasypek moduły dla gruntów niespoistych przyjęto z normy PN-81/B-03020, a dla gruntów spoistych (zagęszczanych) określono na podstawie badań edometrycznych. Bo badań użyto piasku gliniastego z budowy, dla którego wykonano badania ścisłości przy następujących wskaźnikach zagęszczenia  $I_s = 0,85; 0,90$  i  $0,95$  i wilgotności naturalnej. Po zakończe-

niu osiadań próbek przy ostatnim stopniu obciążenia, w celu wyjaśnienia wpływu wody gruntowej na dodatkowe osiadania, próbki zalano wodą mierząc osiadania. Wyniki badań podano na ryc. 1.

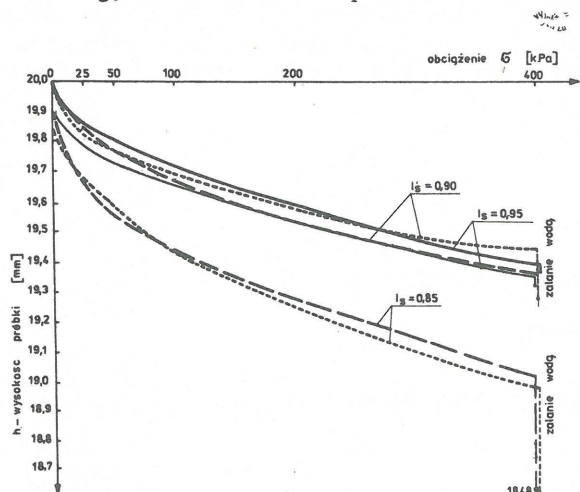
Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że:

- pod obciążeniem własnym największe osiadać będą nie zagęszczone zasypki z gruntu spoistego (8,7 cm). Osiadanie nie zagęszczonych zasypek z piasku średniego oszacowano na ok. 3,2 cm;
- w wyniku podniesienia się poziomu wody gruntowej obok tunelu metra może wystąpić dodatkowe osiadanie zasypek nie zagęszczonych z gruntu spoistego, wynoszące ok. 14,3 cm (łącznie osiadanie wyniesie ok. 23 cm). Grunty spoiste zagęszczone pod wpływem wody osiadą nieznacznie.
- największe osiadania zasypek nie zagęszczonych mogą wystąpić pod wpływem drgań rozchodzących się od tunelu metra i ruchu na powierzchni terenu. Osiadania te, w przypadku zasypek z piasku, mogą wynosić 53 cm, zaś zasypek z gruntu spoistego 65 cm.

Powyższe wyniki przewidywanych osiadań świadczą o konieczności prawidłowego zagęszczania zasypek przy tunelu metra.

### USTALENIE OPTIMALNYCH WARUNKÓW ZAGĘSZCZANIA GRUNTÓW OBOK OBUDOWY TUNELU METRA

W celu ustalenia optymalnych warunków zagęszczania gruntów (1) wykonano próbne zagęszczenia na poletkach doświadczalnych, używając do badań różnych gruntów miejscowych i maszyn zagęszczających. Wykonano próbne zagęszczenia na trzech poletkach. Uziarnienia



Ryc. 1. Zależności osiadania gruntu spoistego z zasypki metra od obciążenia i wskaźnika zagęszczenia

Fig. 1. Dependence of subsidence of cohesive soil fill for underground line works on loading and relative compaction

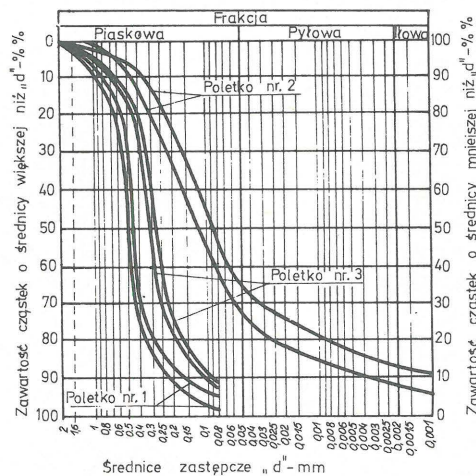
### CHARAKTERYSTYKA GRUNTÓW UŻYWANYCH NA POLETKACH

Nr poletka	Rodzaj gruntu	$w^{sr}$ %	$w_p^{sr}$ %	$w_L^{sr}$ %	$w_{opt}$ %	$\rho_{ds}$ g/cm <sup>3</sup>
1	niespoisty	7,6	—	—	10,2 – 11,8 (10,8)	1,782 – 1,835 (1,812)
2	spoisty	11,7	12,6	18,0	9,0 – 9,9 (9,5)	2,002 – 2,031 (2,016)
3	niespoisty	6,5	—	—	9,0 – 9,6 (9,4)	1,778 – 1,802 (1,790)

gruntów wbudowanych w nasypy próbne na poletkach pokazano na ryc. 2, a ich charakterystykę geotechniczną przedstawia tabela.

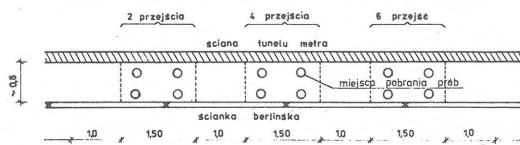
Poletko nr 1 zostało wykonane w szczelinie pomiędzy ścianą tunelu metra a ścianką berlińską. Szczelinę na całej szerokości (ok. 0,8 m) zasypano do wysokości 0,5 m piaskiem średnim. Do zagęszczenia użyto zagęszczarki wibracyjną WP-2. Poletko zostało podzielone na trzy części. W części pierwszej maszyna zagęszczała grunt dwukrotnie w części drugiej – czterokrotnie, a w części trzeciej sześciokrotnie ślad po śladzie (ryc. 3). Próbki gruntu (kontrolne) do badań zagęszczenia pobierano cylinderkami. Wyniki badań pokazano na ryc. 4.

Z uwagi na wymagany wskaźnik zagęszczenia  $I_s \geq 0,95$ , na podstawie uzyskanych wyników ( $I_s \leq 0,95$ ) można stwierdzić małą przydatność zagęszczarki WP-2 do zagęszczania zasypek. Wymiary w planie poletek nr 2 i 3 wynosiły 10 x 15 m. Każde z poletek podzielono na trzy części o zróżnicowanych miąższościach zagęszczanej warstwy. Dla poletka nr 2 miąższości poszczególnych warstw wynosiły: 14 cm, 22 cm i 37 cm, a dla poletka nr 3: 30 cm, 50 cm i 70 cm. Jednocześnie na każdej z części wyodrębniono 4 pasy o szerokości około 1 m (dla czterech maszyn zagęszczających), a każdy z pasów podzielono na 3 odcinki (dla 2, 4 i 6 przejść maszyny zagęszczającej ślad po śladzie). Zagęszczenie kontrolowano cylinderkami o znanej objęto-



Ryc. 2. Krzywe uziarnienia gruntów z poletek

Fig. 2. Curves of grain size distribution for soils from test fields



Ryc. 3. Szkic poletka

Fig. 3. Sketch of test field



ści, a także penetrometrami stożkowym i igłowym w celu sprawdzenia przydatności tych urządzeń do kontroli zagęszczenia zasypek gruntowych.

Przykładowe wyniki badań dla zagęszczarek WP-2 i WZK-10 w formie zależności wskaźnika zagęszczenia od liczby przejść maszyny pokazano na ryc. 5. Badania na poletkach nr 2 i 3 potwierdziły generalny wniosek, że badany sprzęt ma małą przydatność do zagęszczania zasypek wokół obudowy tunelu metra.

#### Badania penetrometrem stożkowym

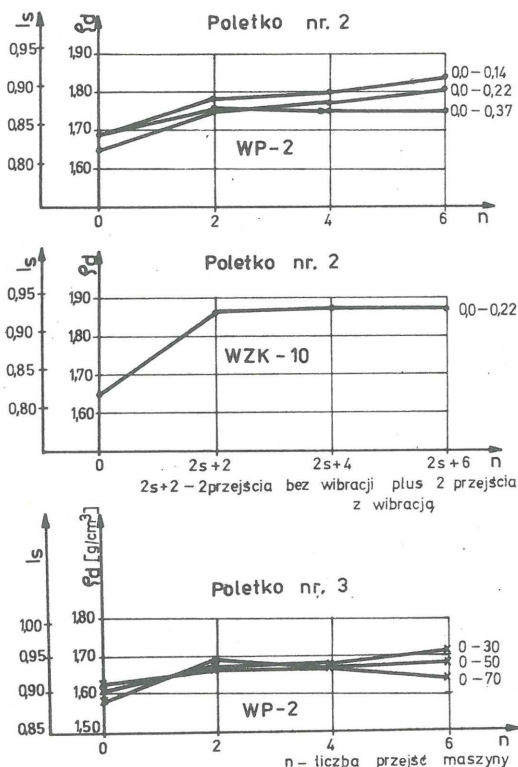
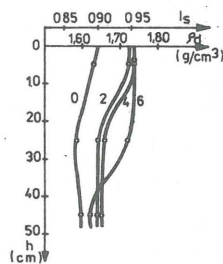
Do badań użyto penetrometru stożkowego (ryc. 6) z końcówką o wysokości  $h = 64$  mm i kącie wierzchołkowym  $\alpha = 30^\circ$  (2). Dla każdej grubości warstwy i dla każdej liczby przejść maszyny zagęszczającej wykonano badania oporu penetracji w kilku punktach (5÷10) na głębokość równą wysokości stożka. Mając określoną siłę oporu wciskania stożka penetrometru w grunt  $P$  obliczono wskaźnik penetracji  $R$  ze wzoru:

$$R = \frac{P}{h^2}$$

Zależność wskaźnika penetracji od gęstości objętościowej pokazano na ryc. 7 i 8. Z powyższych rycin wynika, że

Ryc. 4. Zestawienie wyników badań zagęszczenia gruntu zagęszczarką WP-2 na poletku nr 1

Fig. 4. Comparison of results of soil compaction tests made with the use of mechanical tamper WP-2 in test field 1



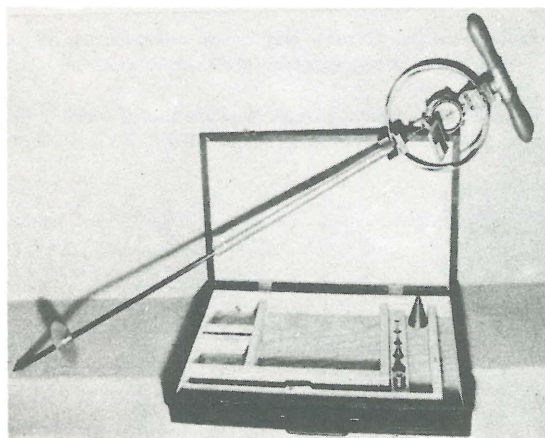
Ryc. 5. Wyniki badań próbnego zagęszczania wykonanego na poletku nr 2 i 3 dla zagęszczarki WP-2 i WZK-10

Fig. 5. Results of analysis of preliminary compaction made in the test fields 2 and 3 with the use of WP-2 and WZK-10

wraz ze wzrostem  $\rho_d$  wzrasta wskaźnik penetracji. Zależność tę charakteryzuje jednak duży rozrzut wyników zarówno dla gruntów spoiстых, jak i dla gruntów sypkich. Wynika z tego, że penetrometr stożkowy jest mało przydatny do kontroli zagęszczenia zasypek w warunkach budowy metra.

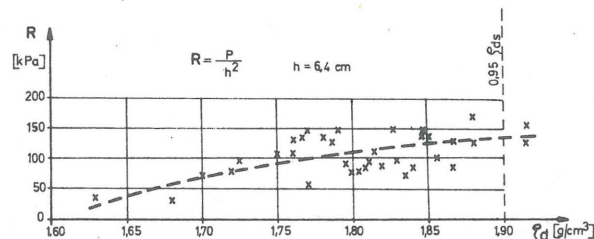
#### Badania penetrometrem igłowym

Penetrometr igłowy produkcji IMER jest urządzeniem analogicznym do igły Proktora. Jest on przystosowany do penetracji warstwy do głębokości 30 cm, ponadto penetrometr wyposażony jest w proste urządzenie wykonujące wykres zależności siły penetracji od zmiennej głębokości. Na poletku nr 2 wykonywano badania także tym penetrometrem. Przykładowe wykresy zależności siły penetracji na zmiennej głębokości badanej warstwy pokazano na ryc. 9. Wykonano także próbę cechowania penetrometru dla badanego gruntu, to znaczy sporządzono zależność  $\rho_d$  od siły penetracji  $Q$  (ryc. 10).



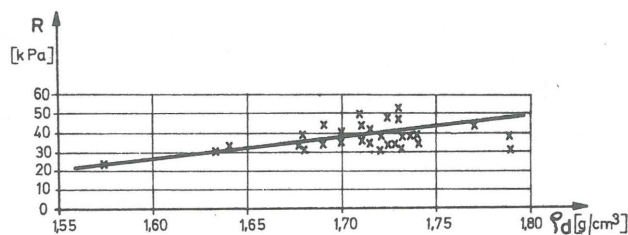
Ryc. 6. Penetrometr stożkowy

Fig. 6. Cone penetrometer



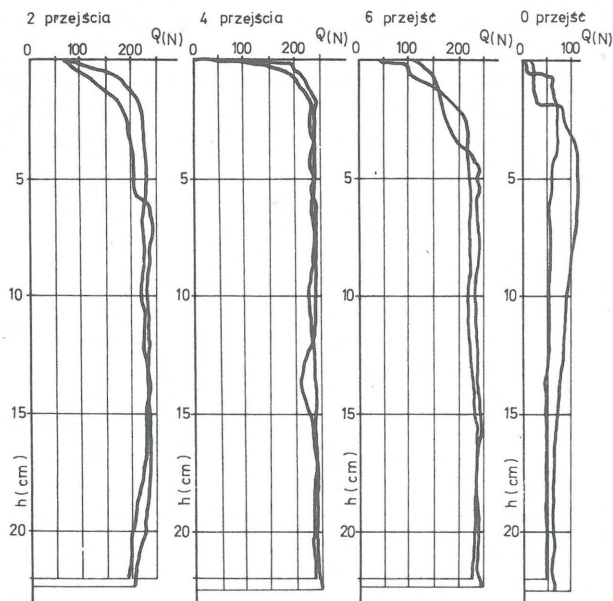
Ryc. 7. Zależność wskaźnika penetracji od gęstości objętościowej szkieletu gruntowego (grunt spoiсты)

Fig. 7. Dependence of penetration index on volume density of soil skeleton (cohesive soil)



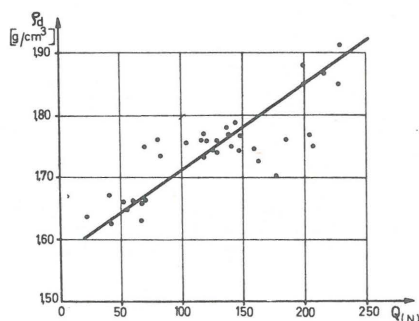
Ryc. 8. Zależność wskaźnika penetracji od gęstości objętościowej szkieletu gruntowego (grunt niespoisty)

Fig. 8. Dependence of penetration index on volume density of soil skeleton (non-cohesive soil)



Ryc. 9. Kontrola zagęszczenia przy użyciu penetrometru igłowego, poletko nr 2 zagęszczarka WZK-10,  $h = 22$  cm

Fig. 9. Check of compaction, made with the use of needle penetrometer; test field 2, mechanical tamper WZK-10,  $h = 22$  cm



Ryc. 10. Zależność  $\rho_d$  od oporu penetracji  $Q$ . Penetrometr igłowy

Fig. 10. Dependence of  $\rho_d$  on penetration resistance  $Q$ . Needle penetrometer

Analizując powyższą zależność należy stwierdzić znaczny rozrzut wyników, ale narzuca się charakter zależności pokazany na rycinie linią prostą. Choć nie uzyskano jednoznacznej zależności  $\rho_d = f(Q)$ , to jednak penetrometr igłowy ze względu na swoje zalety (szybkość uzyskiwania wyniku, łatwość badania, wynik ciągły) może być przydatny do wytypowania najsłabiej zagęszczonych miejsc, które należy zbadać metodami, np. tradycyjnymi. Po zebraniu dostatecznej ilości badań pozwalających na uzyskanie krzywych korelacyjnych (przy zmiennym zagęszczeniu, wilgotności i uziarnieniu) można będzie eliminować badania tradycyjne.

#### WNIOSKI

1. Na podstawie wyników próbnych zagęszczeń należy stwierdzić niewielką przydatność zagęszczarek, będących w posiadaniu przedsiębiorstwa do zagęszczania zasypek (WP-2, WZK-10).

2. W związku z brakiem maszyn do zagęszczania zasypek pomiędzy obudową tunelu a ścianką berlińską, proponuje się przeprowadzenie badań nad zastosowaniem innych metod zagęszczania (metoda udarowa, pale piaskowe).
3. Z przeprowadzonych badań na poletkach wynika, że najpewniejszą metodą kontroli zagęszczenia jest metoda cylinderków. Penetrometr stożkowy nie nadaje się do kontroli zagęszczenia zasypek w warunkach budowy metra. Penetrometr igłowy produkcji IMER ze względu na swoje zalety może być przydatny w ograniczonym zakresie (do wytypowania najsłabiej zagęszczonych miejsc).

#### LITERATURA

1. Grabowski Z., Pisarczyk S. – Warunki techniczne i wytyczne w zakresie wykonania, kontroli i odbioru robót ziemnych nasypów hydrotechnicznych z gruntów niespoistych kamienistych i gruboziarnistych oraz drobnoziarnistych. Wyd. IDiM P.W., Warszawa 1976.
2. Grabowski Z., Pisarczyk S., Obyrcki M. – Kontrola zagęszczenia nasypów przy zastosowaniu sondy udarowej i penetrometru ręcznego. Konferencja Naukowa Melioracji i Użytków Zielonych. IMUZ Falenty. 1975.
3. Obyrcki M., Pisarczyk S., Traczyński K. – Zagęszczalność zasypek gruntowych za i nad obudową tuneli budowanych metodami odkrywkowymi. Archiwum Instytutu Dróg i Mostów P.W. (maszynopis) Warszawa 1985.
4. Obyrcki M., Pisarczyk S. – Wytyczne wykonawstwa, kontroli i odbioru zasypek gruntowych za i nad obudową tuneli budowanych metodami odkrywkowymi w Warszawie. Ibidem.

#### SUMMARY

The question of subsidence and compaction of backfill for Warsaw underground tunnels is discussed and results of studies on compaction of local non-cohesive and cohesive soils in test fields are given. The studies were carried out using mechanical tampers which are available at present. The usability of penetrometer tests in studies on compaction of backfills under the conditions of underground construction is also discussed.

#### РЕЗЮМЕ

В статье проведен анализ вопроса осадки и уплотнения засыпок вокруг туннельной обделки и варшавского метро. Представлены результаты исследования уплотнения местных грунтов — несвязных и связных на опытных делянках с применением грунтоуплотняющих машин находящихся в распоряжении подрядчиков. Проверена также пригодность пенетрационных работ для контроля уплотнения засыпок в условиях постройки метро.