

ZMIENNOŚĆ PARAMETRÓW GEOTECHNICZNYCH W WARUNKACH BUDOWY METRA W WARSZAWIE

UKD 624.131:624.193(438.111)

Ustalanie reprezentatywnych parametrów geotechnicznych gruntów środowiska geologicznego wzdłuż warszawskiego metra jest zagadnieniem skomplikowanym, wykraczającym poza zwykłe ramy trudności jakie towarzyszą ustalaniu parametrów projektowych, np. dla budownictwa powszechnego. Już ze względu na fakt, że jest to obiekt liniowy – wzdłuż trasy metra występuje bardzo duża zmienność utworów. Trudno jest więc ustalić dla całości obiektu ujednolicony, syntetyczny profil geologiczny. Charakteryzować trzeba poszczególne odcinki indywidualnie, zależnie od współwystępowania osadów i konfiguracji ich powierzchni kontaktowych. Płytko zlokalizowane metro warszawskie przecina na wielokilometrowej trasie osady czwartorzędowe o dużej zmienności litologicznej, genetycznej i facjalnej, w które wciśnięte są wysady pstrych iłów plioceńskich. Zmienności geologicznej wzdłuż trasy towarzyszy zmienność warunków hydrogeologicznych.

Oba te czynniki wywołują również mozaikowo urozmaicony rozkład parametrów geotechnicznych w masywie gruntowym otaczającym obiekt. Zatem ukształtowanie zmiennego pola właściwości zależy nie tylko od typu gruntu, lecz również od miąższości jego warstw, odległości

od źródeł zasilania wodą, historii obciążeń, czasu konsolidacji itp.

W okresie rozpoznania inżyniersko-geologicznego dla celów projektowych informacje o masywie gruntowym są z natury rzeczy punktowe i nie mogą odzwierciedlać wszystkich aspektów złożoności geologicznej, takich jak np.: powierzchnie nieciągłości, drobne zaburzenia glaciektoniczne lub soczewski – kieszenie piaszczyste tworzące w utworach spoistych strefy uplastycznienia. Przedstawione w pracy B. Paczyńskiego, M. Perka i M. Zawadzkiej (6) przekroje hydrogeologiczne pozwalają zorientować się w zmienności profilu i stanowią podstawę dla oceny jak duża może być związana z tym zmienność cech geotechnicznych w warunkach rzeczywistego górotworu. Sytuacja jest jeszcze bardziej skomplikowana gdyż ten uwarunkowany geologicznie stan złożoności nie jest zjawiskiem stałym. Budowa obiektu wprowadza weń zarówno w okresie realizacji, jak i w okresie eksploatacji zakłócenia o skrajnie odrębnym charakterze. W okresie realizacji budowy prowadzone jest systematyczne odwodnianie masywu. W okresie eksploatacji obiektu zjawisko to ma charakter odwrotny. Obu tym procesom towarzyszy zmiana stanu naprężeń w otaczają-

cyń górotworze. Zjawiska te powodują przemienność parametrów geotechnicznych. Dlatego też nawet dla określonego punktu profilu geologicznego, parametrów tych nie można traktować jako stałych – jednakowych dla okresu realizacji i eksploatacji obiektu. Nie zawsze jest to łatwe do uwzględnienia w trakcie ich wstępnego ustalania. Szereg zjawisk jest jednak możliwych do przewidzenia.

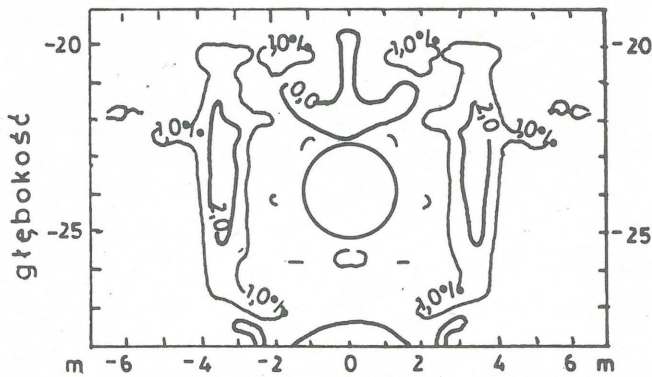
Technologia budowy narzuca, szczególnie w rejonach wykopów otwartych, konieczność odwodnienia masywu. W okresie realizacji budowy trwa więc zmiana parametrów związana z postępowaniem konsolidacji. Konsolidacja odbywa się w warunkach zmiennego obciążenia, które sumarycznie wynika z redukcji wyporu wody i ociążenia podczas wykonywania wykopu. Przy płytkim położeniu metra w warunki te ingerują jeszcze wpływy sezonowych zmian klimatycznych. W okresie eksploatacji ma miejsce stopniowe nawadnianie masywu, początkowo również w warunkach zmiennego obciążenia wywołanego budową obiektu, wyporem wody oraz wpływami drgań.

Z rozważań tych wynika, że trudno jest w warunkach metra mówić o parametrach geotechnicznych gruntu, które można by ustalić dla poszczególnych kompleksów, czy warstw gruntowych i uznać za „constans”. Zależnie od technologii wykonania, postępu robót, sezonu, konfiguracji warstw geologicznych – będą one różne. W praktyce projektowania nie można sobie jednak pozwolić na zbyt

rozbudowane oceny parametrów, gdyż byłoby to nieekonomiczne. Trudno też ustalić na tle wszystkich przemian masywu gruntowego zmienność wszystkich jego parametrów. Tym niemniej zmienność stanu naprężenia dla poszczególnych odcinków traktacji możliwa jest do ustalenia, podobnie jak zmienność budowy geologicznej, technologia wykonania, postępowanie odwodnienia (7, 10) czy rozkład stref naprężeń i odkształceń wokół obiektu (ryc. 1, 2). Na tym tle możliwe jest zatem prognozowanie przemienności parametrów dla danych warunków pracy masywu gruntowego.

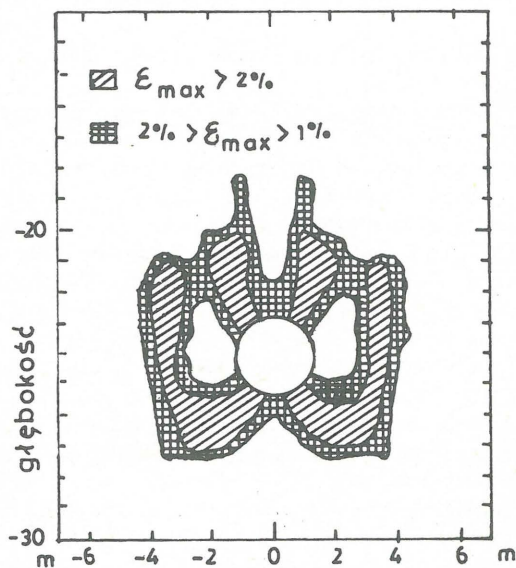
Budowa metra stanowi w tym względzie doskonały poligon doświadczalny i ułatwia prowadzenie prac studialnych nad przemiennością właściwości gruntów i wiodącymi parametrami geotechnicznymi. Prace te pozwalają wyjaśniać przebieg zachodzących w górotworze procesów. Za parametry wiodące można uznać, np. wilgotność gruntu oraz parametry odkształcalności: moduł ścisłości i współczynnik konsolidacji. Zmienność tych parametrów rozważano dla warunków metra na przykładzie gruntów spoistych, głównie glin zwałowych górnego i dolnego poziomu, scharakteryzowanych badaniami przeprowadzonymi w latach 1984–85 w Uniwersytecie Warszawskim (9).

Wilgotność gruntu jest łatwym i prostym do ustalenia parametrem geotechnicznym, o dużej roli w kształtowaniu własności materiału gruntowego i zmienia się ona znacznie



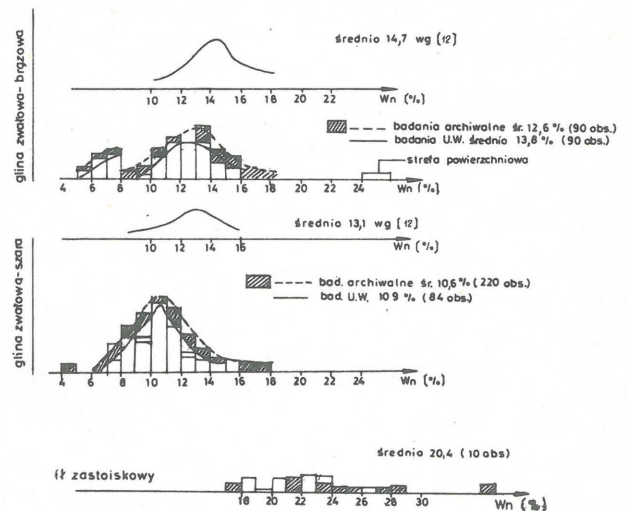
Ryc. 1. Kontury maksymalnych naprężeń głównych wg (3)

Fig. 1. Envelopes of the maximum major stresses after (3)



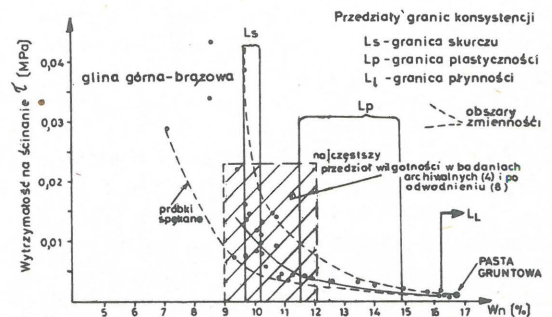
Ryc. 2. Rozwój stref uplastycznionych wg (3)

Fig. 2. Development of local shear failures after (3)



Ryc. 3. Krzywe rozkładu wilgotności (W_n) glin zwałowych i ilów zastoiszkowych

Fig. 3. Curves of moisture distribution (W_n) for tills and ice-dammed lake clays



Ryc. 4. Wytrzymałość na ścinanie (τ) glin zwałowych rejonu metra w funkcji wilgotności (W_n)

Fig. 4. Shearing strength (τ) of tills from the Warsaw underground area in function of moisture (W_n)

w różnych fazach istnienia obiektu. Zmienność ta nie zawsze jest jednak doceniana i wtedy pojęcie tzw. wilgotności „naturalnej” jest pojęciem mylącym. Z badań wynika, że np. wilgotność określona w okresie 1974–1975, czyli w czasie przed rozpoczęciem odwodnienia (5), jest dla zespołu obu glin zwałowych stosunkowo niska i odpowiada raczej wilgotnościom z okresu 1984–1985 (ryc. 3), gdy masyw poddany już był blisko 2-letniemu odwadnianiu. Świadczyłoby to o przesuszeniu gliny w tamtym okresie, gdyż w innych rejonach dla podobnych glin wilgotności w nienaruszonym górotworze są o kilka procent wyższe (8, 12). Zmiana wilgotności glin zwałowych o kilka procent ma istotne znaczenie dla kształtowania ich własności. Utwory te charakteryzują bowiem wąskie przedziały granic konsystencji i wahania wilgotności rzędu 5–6% powodują przejście gruntu ze stanu miękkoplastycznego w półzwały lub zwarty.

Zmienia się wtedy również wytrzymałość na ścinanie (τ), co dla gliny brązowej – górnej przykładowo podano na ryc. 4. Zmienność wytrzymałości na ścinanie τ w przedziale konsystencji od miękkoplastycznej do zwartej jest bardzo znaczna (tab. I). Szczególnie silnie zaznacza się to dla gliny dolnej, gdzie współczynnik zmienności dla całego

zbioru danych przekracza 120%. Wynika stąd wniosek, że ustalenie średnich wartości τ dla szerokich przedziałów w_n obarczone jest dużym błędem. Rozrzut wyników τ wzrasta wraz ze zmniejszaniem się wilgotności co wynika z faktu, że przy wilgotnościach rzędu poniżej 8% obserwuje się kruche zniszczenie materiału. Z kolei przy wysokich wilgotnościach zanika wpływ nieciągłości obserwowanych szczególnie w glinach szarych (12). Nie jest więc prawidłowe dla wszystkich przedziałów wilgotności stosowanie Coulombowskich parametrów wytrzymałości (φ i c) (9).

Wraz ze zmniejszeniem się wilgotności wzrasta również wrażliwość glin na działanie wody wyrażona w podatności na rozmakanie (ryc. 5), a przy wahaniami wilgotności zachodzą w tych gruntach również znaczne przemiany strukturalne: zmniejsza się odporność na działanie niskich temperatur, wzrasta silnie wrażliwość na działanie obciążeń dynamicznych (9). Ponieważ, jak stwierdzono, dystrybucja wilgotności w górotworze poza czynnikami technologicznymi związana jest w głównej mierze z konfiguracją warstw, zatem badania nad jej zmiennością w masywie powinny nawiązywać do typowych sytuacji geologicznych (ryc. 6). Przedstawione tam przykłady wskazują, że dla modeli podanych przez Paczyńskiego i innych (6) można przeprowadzić pewne uogólnienia i np. w modelu 2A oraz 4 spotyka się wilgotności niskie, a wilgotności wysokie występują przy modelu 1. Sezonowe zmiany nawodnienia powodują dodatkowe wahania wilgotności wokół wkupu metra, które są przesunięte względem maksymalnych stanów położenia zwierciadła wody gruntowej. Dają się one porównać z wahaniami obserwowanymi przez Z. Czerwińskiego (1), w powierzchniowych partiach gleby na Polu Mokotowskim (ryc. 7).

Rozważania nad parametrami odkształcalności pozwalają z kolei na określenie predyspozycji do osiadań, oraz na prognozowanie przebiegu konsolidacji w masywie gruntowym, a pośrednio umożliwiają szacowanie czasu filtracji wody w obrębie gruntów spoiwistych rozpatrywanego odcinka. Zmienność parametrów odkształcalności uzależniona jest od wielu czynników przyrodniczych, techniczno-budowlanych oraz od zastosowanej metodyki badawczej.

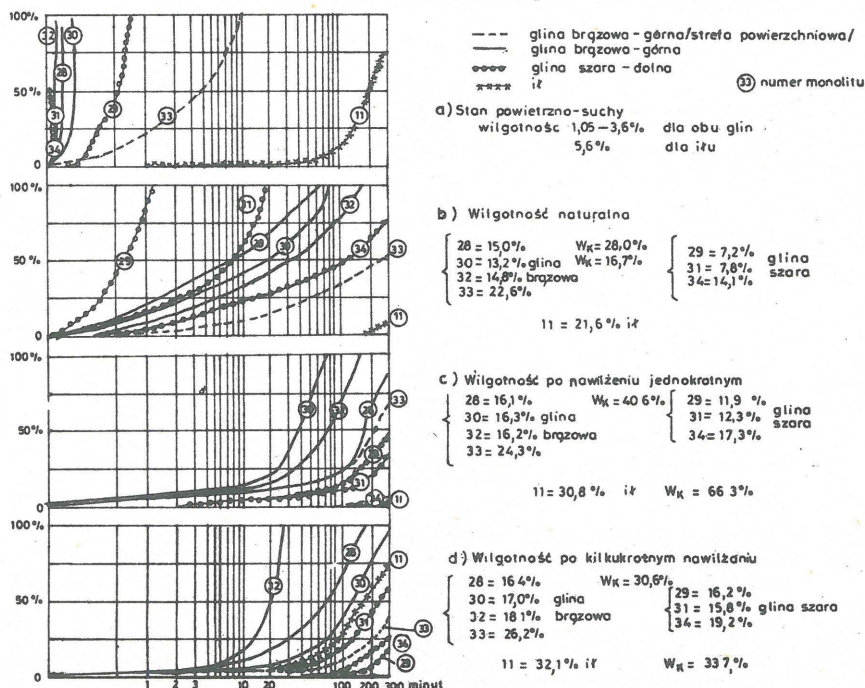
Podstawowym czynnikiem warunkującym odkształcenia gruntu jest wartość naprężenia konsolidacyjnego, zatem

Tabela I
Oszacowanie zmienności wytrzymałości na ścinanie τ glin zwałowych rejonu metra warszawskiego (badania statyczne)

Rodzaj gliny	Liczba oznaczeń N	τ_{sr} MPa	Współczynnik zmienności v	Poziom ufności α %	$\pm t_{\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$ MPa	τ_{grn} MPa	τ_{din} MPa
GLINA BRĄZOWA (górna)	42	0,149	109	90	0,042	0,191	0,107
				95	0,051	0,200	0,098
				99	0,067	0,216	0,082
				99,9	0,088	0,237	0,061
GLINA SZARA (dolna)	38	0,143	122	90	0,047	0,190	0,096
				95	0,057	0,200	0,086
				99	0,077	0,220	0,066
				99,9	0,101	0,244	0,042

Ryc. 5. Przebieg rozmakania w funkcji $lg(t)$ dla glin o różnej wilgotności

Fig. 5. The course of slacking in function $lg(t)$ for tills varying in moisture



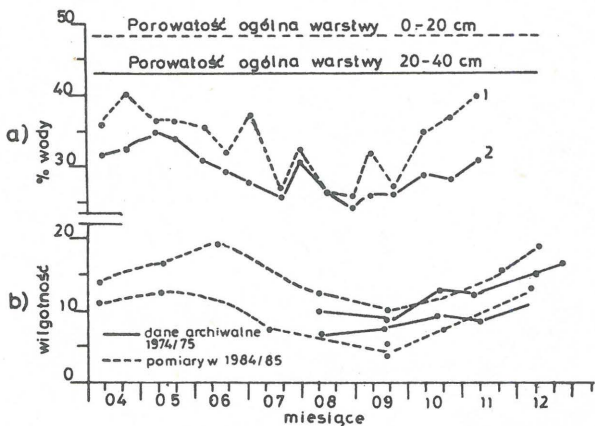
odkształcalność jest ściśle związana z przebiegiem ścieżki obciążenia (2). Analiza przedziałów zmienności modułu odkształcenia D wyznaczonego w badaniach edometrycznych (pod stałym obciążeniem) wskazuje, że w każdym typie gruntu następuje zmniejszenie odkształcalności na kolejnych wyższych stopniach obciążenia (ryc. 8). Zmiana wartości modułu w zależności od obciążenia jest większa aniżeli różnicowanie odkształcalności między poszczególnymi typami gruntów. Jednocześnie przy wyższych wartościach modułu D obserwujemy większe szerokości przedziałów zmienności, w obrębie wydzielonych typów gruntu. Jest to uwarunkowane, m.in., dużą wartością błędu oznaczenia modułu przy małej odkształcalności gruntu. Stąd też wartości $D > 7$ MPa są niemiernodajne dla obliczeń

Miejsce opróbowania	GLINA BRĄZOWA				GLINA SZARA			
	Data opróbowania	Typ opróbowania	Właściwości geologiczne	Właściwości mechaniczne	Data opróbowania	Typ opróbowania	Właściwości geologiczne	Właściwości mechaniczne
I	21.09.84	2A	10,8 - 13,4 (14)	6158: 14,6 12,0	I	21.09.84	2A	6158: 10,1 9,3 9,1
II	10.84	2	12,8 - 14,1 (12)	6164: 14,3 13,9	IIA	16.04.85	2	6164: 9,9 11,9 9,7
III	25.11.84	4	5,2 - 7,8 (9)	6178: 11,6 6,0 7,1	IV	26.11.84	2A	6156: 9,2 8,8 9,3
V	16.04.85	3	11,0 - 16,7 (13)	6208: 13,4 9,6	V	29.05.85	3	6212: 10,8 11,4 13,5
VA	29.05.85	3	14,4 - 18,7 (13)	6208: 13,4 9,6	VB	24.09.85	3	6208: 10,2 10,5 8,409: 11,2 8,3
VB	6.08.85	3	10,3 - 15,9 (13)	6201: 14,9 11,9 7,3	VI	29.05.85	4	6171: 8,0 8,2 9,0
VIII	4.11.85	1	23,6 - 35,9 (17)	6201: 14,9 11,9 7,3	VIII	4.11.85	1	6220: 8,7 7,7 5,6
III	II zastoiškowy Wn = 16,5 - 29,5 średnia 20,4 otwór 6156 Wn 17,1							

Uwaga: (13) liczba obserwacji

Ryc. 6. Zestawienie typowych sytuacji geologicznych

Fig. 6. Comparison of typical geological settings

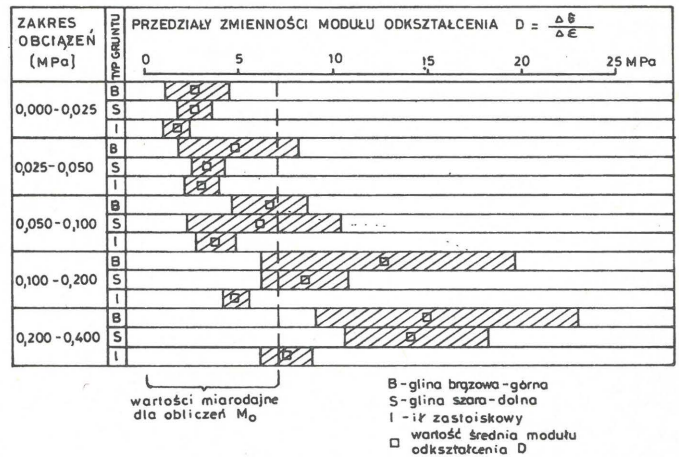


Ryc. 7: a) dynamika zawartości wody w glebie i procentach objętościowych na Polu Mokotowskim w 1970 r. wg (1), b) sezonowa zmienność wilgotności glin zwalowych

Fig. 7. a) The dynamic of water content in soil (in volume per cents) in the Pole Mokotowskie area in the year 1970 after (1); b) seasonal variations in moisture of tills

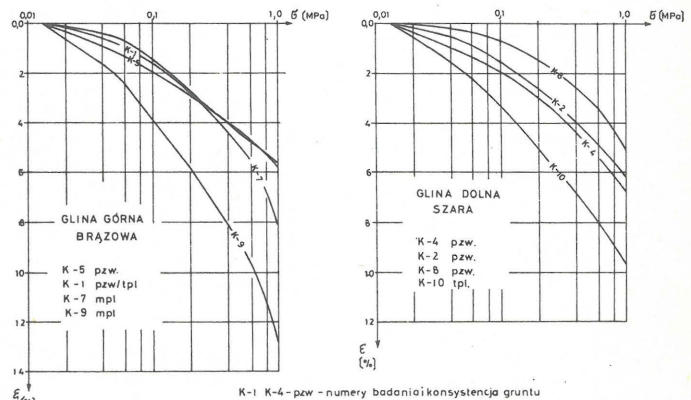
edometrycznego modułu ściśliwości ogólnej M_o , z uwzględnieniem poprawki κ wg PN-75/B-04481. Ponadto rozwiązania normowe dostosowane do warunków budownictwa powszechnego nie odpowiadają specyficznym warunkom współpracy obiektów metra z otoczeniem gruntowym.

Dlatego odkształcalność lepiej charakteryzują badania wykonywane w konsolidometrze, w warunkach stałe rosnące obciążenia (11, 4). Błąd oznaczenia modułu odkształcenia jednoosiowego M_k w konsolidometrze jest znacznie mniejszy, aniżeli w tradycyjnym badaniu edometrycznym. Badania w konsolidometrze wykonywane są w szerokim przedziale naprężeń, znacznie przekraczającym spodziewane wartości obciążeń. Pozwala to jednak na analizę przebiegu quasi-ustalonej fazy badania i uzyskanie miarodajnych parametrów konsolidacji. Z badań dla glin rejonu metra wynika, że wykresy ściśliwości wykonywane w układzie $\lg \sigma - \epsilon$ (ryc. 9) charakteryzują się rosnącym, wraz z naprężeniem konsolidacyjnym, nachyleniem względem osi $\lg \sigma$. W zależności od zmian tego nachylenia uzyskuje się zróżnicowany przebieg wykresów $M_k - \sigma$ (ryc. 10). Charakter zależności $M_k - \sigma$ uwarunkowany jest wilgotnością gruntu. Dla próbek o konsystencji plastycznej obserwuje się początkowo wzrost wartości modułu M_k w funkcji naprężenia, a następnie stabilizację lub nawet spadek wartości M_k . Próbki o konsystencji półzwałtej



Ryc. 8. Zmienność modułu odkształcenia D glin zwalowych w zależności od zakresu obciążeń

Fig. 8. Variability of deformation modulus D for tills in relation to the range of loadings



Ryc. 9. Charakter zależności naprężenie-odkształcenie (badania w konsolidometrze)

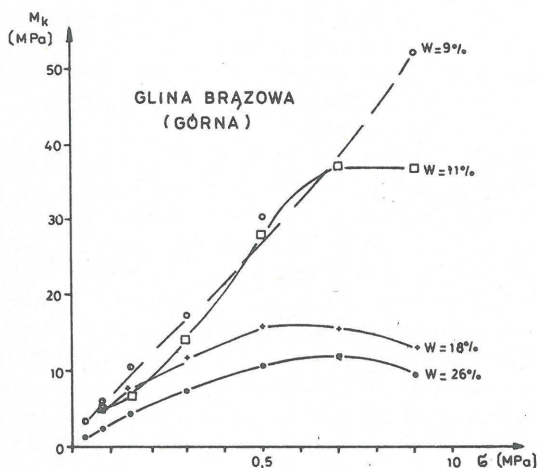
Fig. 9. The nature of stress-deformation dependence (consolidometer tests)

wykazują zbliżony do prostoliniowego przebieg funkcji $M_k - \sigma$. Natomiast zależność modułu M_k zależnie od wilgotności stosunkowo najlepiej opisuje funkcja potęgowa postaci: $M_k = a \cdot w^b$ (ryc. 11). Zmiany wartości modułu M_k w funkcji wilgotności zaznaczają się przede wszystkim przy wyższych zakresach obciążeń, co jest uwarunkowane przebiegiem zależności $M_k - \sigma$.

Wartość modułu M_k nie jest zatem parametrem stałym dla wszystkich etapów budowy, podczas których zmianom ulegają zarówno stan naprężeń, jak i wilgotność gruntu. W związku z tym dobór obliczeniowych modułów odkształcenia powinien się odbywać poprzez analizę ścieżki obciążenia i wilgotności gruntu.

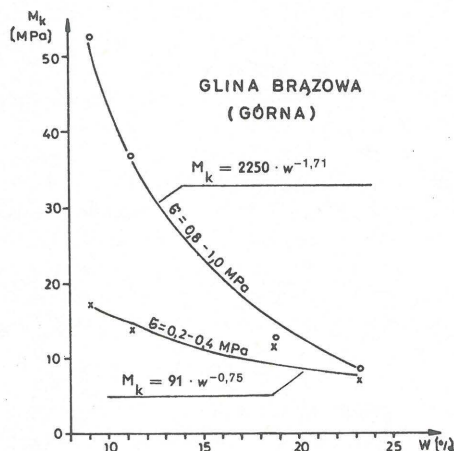
Proces odkształcenia gruntów spoiстых jest związany z czasem konsolidacji. Określenie charakteru procesu konsolidacji wymaga uwzględnienia dwóch typów warunków brzegowych:

- stałej wartości naprężenia, umożliwiającej obserwację stabilizacji odkształceń w warunkach edometrycznych;
- ciągłego przyrostu naprężenia, umożliwiającego obserwację zmian parametrów filtracyjnych gruntu w badaniach w konsolidometrze.



Ryc. 10. Zmienność modułu ściśliwości M_k w funkcji naprężenia (badania w konsolidometrze)

Fig. 10. Variability of compressibility modulus M_k in function of stress (consolidometer tests)



Ryc. 11. Zmienność modułu ściśliwości M_k w funkcji wilgotności gruntu (badania w konsolidometrze)

Fig. 11. Variability of compressibility modulus M_k in function of moisture of soil (consolidometer tests)

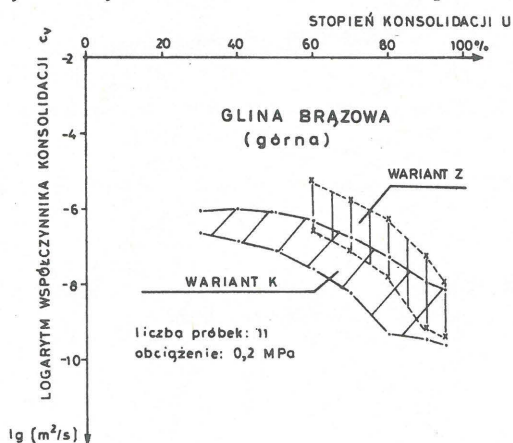
Obserwacja przebiegu odkształcenia w badaniu edometrycznym pozwala na określenie współczynnika konsolidacji c_v według rozwiązania teorii Terzagiego. Dla badanych gruntów rejonu metra zauważa się znaczne zmniejszanie wartości c_v wraz ze wzrostem stopnia konsolidacji U . Na ryc. 12 przedstawiono obszary zmian wartości logarytmu c_v w funkcji stopnia konsolidacji U , uzyskane z wyników badań 11 próbek. Wyniki te analizowano w dwóch wariantach interpretacyjnych:

Z - gdzie zgodnie z rozwiązaniem Terzagiego przyjęto przebieg odkształcenia, bez żadnych poprawek związanych ze zmianą stopnia obciążenia;

K - gdzie w początkowym etapie badania przyjęto prostoliniowy przebieg wykresu konsolidacji ($\varepsilon - \sqrt{t}$).

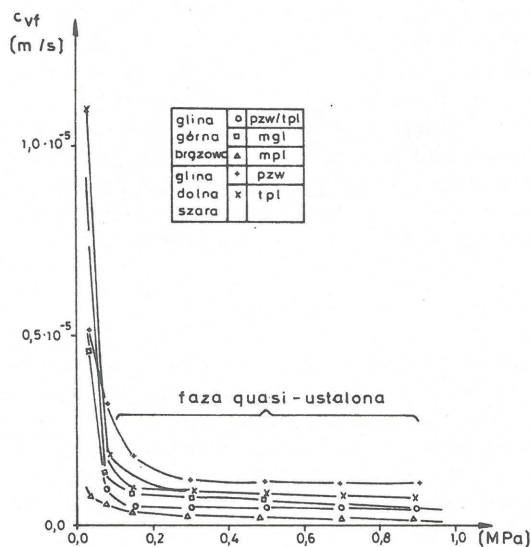
W obydwu wariantach stwierdzono zmniejszanie wartości c_v w funkcji U . Prezentowana zmienność świadczy o rozbieżności między filtracyjnym modelem procesu a rzeczywistym zachowaniem gruntu i wskazuje, że przebieg odkształcenia próbek jest w znacznym stopniu związany z pełzaniem szkieletu gruntowego.

Wyznaczony z badań w konsolidometrze parametr c_{vf}



Ryc. 12. Analiza zmienności współczynnika konsolidacji w funkcji stopnia konsolidacji (badania edometryczne)

Fig. 12. Analysis of variability of consolidation coefficient in function of consolidation index (oedometer tests)

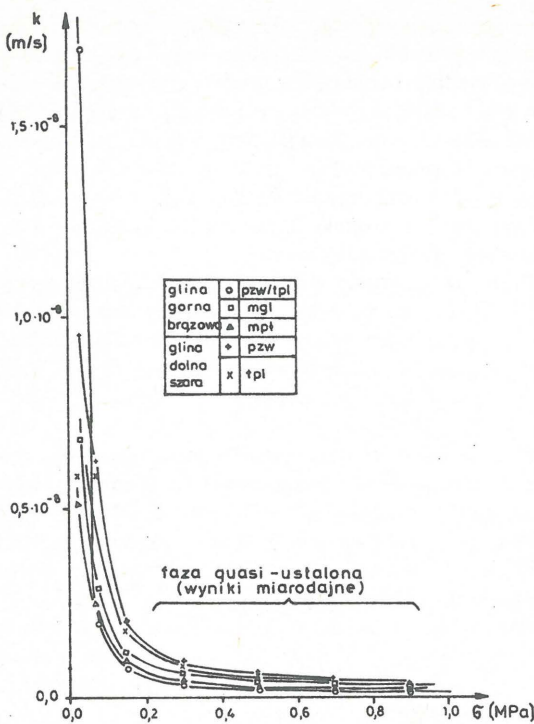


Ryc. 13. Zmienność wartości współczynnika konsolidacji c_{vf} (badania w konsolidometrze)

Fig. 13. Variability of consolidation coefficient (consolidometer tests)

OBLICZENIOWY CZAS KONSOLIDACJI

RODZAJ GLINY	OBLICZENIOWY MODUŁ ŚCISLIWOŚCI M	OBLICZENIOWY WSPÓŁCZYNNIK KONSOLIDACJI C_v	MIĘSZKOŚĆ WARSTWY OBLICZENIOWEJ $2H$	STOPIEŃ KONSOLIDACJI U	CZAS KONSOLIDACJI					
					MODEL I		MODEL II			
	MPa	m·s ⁻¹	m	%	dni	lat	dni	lat		
GLINA GÓRNA (BRZÓWKA)	8	$0,5 \cdot 10^{-6}$	1	25	18	—	41	—		
				50	68	—	98	—		
				75	167	—	198	—		
				90	294	—	324	—		
				5	25	—	1,2	—	2,8	—
					50	—	4,7	—	6,7	—
					75	—	11,4	—	13,5	—
					90	—	20,2	—	22,2	—
GLINA DOLNA (SZARA)	5	$1,2 \cdot 10^{-6}$	1	25	7	—	17	—		
				50	28	—	41	—		
				75	69	—	82	—		
				90	123	—	135	—		
				5	25	188	—	1,2	—	—
					50	—	2,0	—	2,8	—
					75	—	4,8	—	5,6	—
					90	—	8,4	—	9,2	—



Ryc. 14. Wartości współczynnika filtracji k określone z badań w konsolidometrze

Fig. 14. Values of filtration coefficient k , obtained in the course of consolidometer tests

jest określany na podstawie obserwacji zmian ciśnienia wody w porach gruntu według wzoru:

$$c_{vf} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta t} \cdot \frac{H^2}{2u_H}$$

gdzie:

$\Delta\sigma$ – przyrost naprężenia w czasie Δt ,
 H – długość drogi drenażu wody porowej,
 u_H – ciśnienie wody w porach gruntu mierzone u podstawy próbki.

Wartości c_{vf} analizowane w funkcji naprężenia (ryc. 13) pozwalają określić fazę niestabilną w początkowej części badania, gdzie c_{vf} gwałtownie maleje oraz fazę drugą quasi – ustaloną, gdzie c_{vf} tylko nieznacznie zmniejsza się wraz z postępem naprężenia konsolidacyjnego. W fazie drugiej uzyskuje się miarodajne wartości c_{vf} , charakteryzujące własności filtracyjne gruntu w warunkach przyrostu obciążenia. Na tej podstawie może być oszacowana wartość współczynnika filtracji k według zależności:

$$k = \frac{c_{vf} \cdot \gamma_w}{M_k}$$

Z przeprowadzonych badań wynika, że gliny zwałowe poszczególnych poziomów charakteryzują się zróżnicowanymi zdolnościami filtracyjnymi. Gliny poziomu górnego wykazują odmienną ścisłość i odmiennie zdolności filtracyjne od glin dolnych. Konsekwencją tego jest zróżnicowanie wartości i przebiegu osiadań warstw analizowanych typów gruntów.

Ustalenie parametrów konsolidacji pozwala na prognozowanie procesu odkształcenia gruntu w czasie, a także na ocenę opóźnienia odkształceń gruntu w stosunku do zachodzących zmian reżimu wodonośnego. W tab. II przedstawiono przykładowe wyniki prognostycznych ob-

liczeń czasu konsolidacji przy różnych założonych miąższościach warstwy obliczeniowej i dla dwóch modeli rozkładu ciśnienia wody w porach gruntu (u):

model I – charakteryzuje prostokątny rozkład ciśnienia u w funkcji miąższości warstwy,

model II – charakteryzuje paraboliczny rozkład ciśnienia u w funkcji miąższości warstwy z maksimum w jej środku.

Wyniki tych obliczeń wskazują, że w maszywie gruntowym procesy odkształceń wokół metra będą miały powolny, wieloletni charakter. Wynika z nich również, że największy wpływ na czas osiadań ma miąższość warstwy i związana z tym długość drogi drenażu wód porowych. Mniejsze znaczenie ma przyjęcie różnych modeli procesu dystrybucji wody w warstwach gruntu. Pięciokrotny wzrost miąższości warstwy powoduje bowiem około 20-krotne wydłużenie czasu konsolidacji, natomiast zmianą modelu procesu zmienia ten czas tylko 2–3-krotnie. Dlatego też ustalenie zmienności modelu budowy geologicznej, prawidłowe rozpoznanie przewarstwień piaszczystych w obrębie kompleksów spoiowych ma tutaj szczególne znaczenie dla określenia przebiegu odkształceń gruntów w otoczeniu obiektów metra.

LITERATURA

1. Czerwiński Z. – Warunki glebowe i prognoza zmian właściwości gleb w wyniku prac związanych z budową metra warszawskiego. Mat. Konf. „Metro a środowisko przyrodnicze”, Generalna Dyrekcja Bud. Metra. Warszawa 1986.
2. Dobak P. – Zastosowanie analizy ścieżki obciążeń dla prognozy odkształceń wywołanych głębokim odwodnieniem. Mat. Symp. „Mechanika Gruntów w zastosowaniach inżynierskich”. Wyd. NOT 1984.
3. Eisenstein Z., El-Nahhas F., Thomson S. – Strain field ground a tunnel in stiff soil. Proc. of the Xth Int. Conf. of ISSMFE. Sztokholm 1981.
4. Glazer Z., Dobak P. – Określanie wartości edometrycznego modułu ścisłości ogólnej z badań prowadzonych ze stałą prędkością odkształcenia. Prz. Geol. 1979 nr 11.
5. Metroprojekt – Dokumentacja technicznych badań podłoża gruntowego dla zadania I. Warszawa 1976.
6. Paczyński B., Perek M., Zawadzka M. –

Prognoza zmian warunków gruntowo-wodnych na trasie metra od Kabat do ul. Wawelskiej. Instytut Geologiczny 1984.

7. Paczyński B., Perek M. – Warunki geologiczno-inżynierskie i hydrogeologiczne na trasie pierwszej linii metra w Warszawie. Mat. Konf. „Metro a środowisko przyrodnicze”. Generalna Dyrekcja Budowy Metra. 1986.
8. Pinińska J. – Inżyniersko-geologiczna charakterystyka glin zwałowych w nadkładzie węgla brunatnego okolic Turka. Biul. Geol. Wydz. Geol. UW. 1969, t. 11.
9. Pinińska J. et al. – Analiza zmian własności fizyko-mechanicznych gruntów spoistych w wyniku zawodnienia w rejonie trasy I linii metra. Uniw. Warsz. Zakład Prac. Geol. 1985.
10. Szymanko J., Dąbrowski S. – Prognoza zmian warunków hydrogeologicznych w Dolince Służewieckiej szlak B-6 metra. Zakład Usług Technicznych NOT. Warszawa 1985.
11. Vu Cao Minh – Nowa metoda badań konsolidacji gruntów. Archiwum Hydrotechniki 1977, z. 2.
12. Wysocki L. – Wpływ spękań w glinach zwałowych na stateczność skarpy wisłanej w Płocku na tle analizy aktualnych powierzchniowych ruchów masowych. Biul. Geol. Wydz. Geol. UW, 1967, t. 9.

SUMMARY

Determining of the geotechnical parameters around the underground constructions appears fairly difficult. Due to variability of the geological conditions along several kilometers of the underground line are observed many changes of the groundwater regime and stress state. These factors determine high variability of physico-mechanical properties of soils. Changes in water content result

in changes in soil structure, shear strength, resistance to low temperatures and dynamic loading, etc.

Oedometer and consolidometer tests of soils make possible estimation of various deformability in function of moisture and stress state or nature of consolidation processes and permeability of soils. Calculations show that the way of settlement mainly depends on inhomogeneity of geological structures. It cause the high variability of properties of the soils. The latter should be determined, taking into account the expected changes in moisture and stress in the soil massif around underground tunnels.

РЕЗЮМЕ

Определение геотехнических параметров в окружении метро затруднено из-за изменчивости геологического строения вдоль многокилометровой трассы, изменчивости режима грунтовых вод и изменений напряженного состояния возникающих при постройке и эксплуатации метро. Эти факторы обуславливают переменность физико-механических свойств грунтов. Изменения влажности вызывают структурные изменения грунта, которые отражаются в сопротивлении сдвигу, устойчивости к воздействию низких температур и динамических нагрузок.

Исследования деформируемости грунта в эдометре и консолидометре делают возможным определение изменчивости сжимаемости грунта в функции влажности и напряжения, характера процесса консолидации и фильтрационных свойств грунта. Альтернативные вычисления указывают на то, что ход осадки зависит прежде всего от геологической изменчивости. Учётывая значительную переменность свойств грунтов, величины геотехнических параметров следует определять в связи с прогнозируемыми изменениями влажности и напряжений в грунтовом массиве окружающим метро.