

Propozycja szacowania ściśliwości gytii i kredy jeziornej

Jan Damicz*

The proposal of compressibility estimation for gyttja and lacustrine chalk. Prz. Geol., 51: 419–429.

Summary. The paper presents a proposal of compressibility estimation applied to saturated gyttja and lacustrine chalk. The proposal is based on results obtained from oedometer tests and physical properties investigations. All laboratory tests were performed on 19 samples of gyttja and lacustrine chalk taken from Olsztyn and Mrągowo Lakelands. Presented proposal enables estimation of oedometer modulus without oedometer tests performing, formula based on the relationship between ΔW_K (water content loss in oedometer test) and ΔW_P (water content loss within plasticity limit) and values of natural water content — W_n , volume density, water content on plastic limit — W_p .

Key words: lacustrine deposits, gyttja, lacustrine chalk, oedometer test, compressibility sediment, consolidation, physical properties

Zagadnienie przewidywania wielkości osiadań konsolidacyjnych, podłoża gruntowego wymaga określenia parametru ściśliwości, za który dla jednowymiarowego stanu odkształcenia, jednorodnego i izotropowego podłoża przyjmowany jest najczęściej edometryczny moduł ściśliwości. W przypadku gytii i kredy jeziornej określenie tego parametru w praktyce wymaga najczęściej przeprowadzenia długotrwałych badań edometrycznych typu IL. Są to badania przeprowadzane na w pełni nasyconych roztworami porowymi, trudnych do pobrania (konsystencja utworów najczęściej zbliżona do płynnej, próbka jest pobierana z pod poziomu wody gruntowej) próbkach gruntu typu NNS (o nienaruszalnej strukturze). Badanie musi być wykonane bardzo starannie, wymaga także stałej temperatury (najlepiej ok. 10°C), co w długim okresie czasu badania bywa trudne do spełnienia. Niedotrzymanie tych wymogów skutkuje błędami w określeniu wielkości i przebiegu w czasie osiadań. Ze względu na kłopotliwość badań ściśliwości gruntów organicznych są opracowywane propozycje określania ściśliwości jako zależności empiryczne edometrycznych modułów ściśliwości od wybranych cech gruntów zwłaszcza od ich wilgotności (Mroczkowski, 1984; Długaszek, 1988; Szymański, 1991; Damicz, 1998).

W artykule przedstawiono propozycję szacowania wartości edometrycznych modułów ściśliwości pierwotnej gytii i kredy jeziornej bez konieczności przeprowadzania badań edometrycznych, w oparciu o łatwe i stosunkowo szybkie w badaniu, następujące właściwości fizyczne: wilgotność naturalna, wilgotność przy granicy plastyczności i gęstość objętościowa gruntu.

Zmiany wilgotności gytii i kredy jeziornej w badaniu edometrycznym

Podstawą proponowanej metody określania edometrycznych modułów ściśliwości pierwotnej są wyniki badań edometrycznych typu IL przy zastosowaniu podwajanego pięciostopniowego obciążenia (0–12,5; 12,5–25; 25–50; 50–100; 100–200 kPa wg PN-88/B-04481) oraz wyniki badań wybranych właściwości fizycznych gytii i kredy jeziornej (Damicz, 1998; Zadroga & Damicz, 2000).

Wśród przebadanych próbek gruntów były reprezentowane (wg klasyfikacji Długaszka, 1988) gytie organiczne — 2 próbki, gytie mineralno-organiczne — 7 próbek, gytie mineralne — 6 próbek i kredy jeziorne — 4 próbki. Udział

substancji organicznej, węgla wapnia i popielność przedstawia tab. 1.

Do badań edometrycznych i właściwości fizycznych utworów jeziornych wykorzystano 19 próbek typu NNS, pobranych z gytii i kredy jeziornej Pojezierza Olsztyńskiego i Pojezierza Mrągowskiego. Są to próbki utworów w pełni nasyconych roztworami porowymi, o konsystencji plastycznej i płynnej — o wartościach stopnia plastyczności I_L od 0,63 do 1,36, gęstości objętościowej gruntu ρ od 1,03 do 1,27 g/cm³, wilgotności naturalnej W_n od 173,8 do 1131,3% i o wilgotności granicy plastyczności W_p od 60,2 do 264,0%. Ponadto ubytek wilgotności w badaniu granicy plastyczności — ΔW_P wykazywał zmienność w zakresie 110,6 do

Tab. 1. Zawartość składników osadów jeziornych
Table 1. Components content of lacustrine deposits

Nr próbki Sample number	Zawartość składników Components content		
	I_{om}	A_C	$CaCO_3$
1	5,48	63,7	50,0
2	7,03	61,8	61,0
3	6,1	73,7	62,7
4	7,14	76,2	64,4
5	4,55	60,6	68,7
6	75,3	9,7	3,5
7	24,0	68,04	1,07
8	27,1	64,78	0,85
9	26,89	60,2	0,64
10	30,41	62,29	1,07
11	1,76	60,7	93,04
12	0,72	78,47	95,15
13	1,14	66,15	95,58
14	1,66	79,5	91,29
15	13,24	61,79	43,72
16	12,0	59,44	60,86
17	15,93	63,07	39,0
18	8,07	62,88	67,72
19	16,96	57,78	47,15

I_{om} — zawartość części organicznych określona metodą Tiurina
 I_{om} — organic matter content determined with Tiurin's method,
 A_C — popielność (650°C), $CaCO_3$ zawartość węglanów określona metodą Scheiblera
 A_C — ash content (650°C), $CaCO_3$ — calcium carbonate content determined with Scheibler's method

*Wydział Nauk Technicznych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, ul. Prawocheńskiego 19, 10-720 Olsztyn; jandam@uwm.edu.pl

867,3%. Powyższe zakresy wartości należy traktować jako zakres stosowalności przedstawionej propozycji.

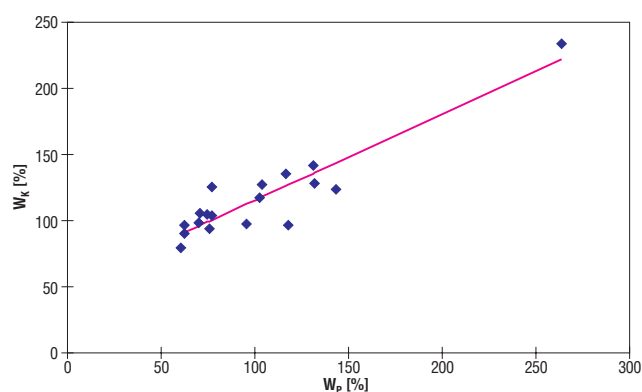
W gruntach spoistych w pełni nasyconych, o ściśliwości decyduje zawartość wody a więc ich wilgotność oraz możliwość jej wyciskania w procesie konsolidacji. Ściskanie próbek takich gruntów powoduje odprowadzenie wody wolnej a potem wody słabo związanej aż do momentu osiągnięcia pewnej określonej wilgotności (różnej dla różnych gruntów) po osiągnięciu której dalsze zwiększanie ciśnienia powoduje już tylko niewielką zmianę wilgotności (za Myślińską, 1990, wg Sergiejew, 1978).

Granica plastyczności w gruntach spoistych odpowiada łącznej zawartości wody higroskopijnej i wody poliwarstw. Grunt o wilgotności wyższej od wilgotności granicy plastyczności zawiera obok wody higroskopijnej i wody poliwarstw także wodę osmotyczną, która nadaje cechę plastyczności gruntom spoistym (za Myślińską, 1990, wg Złoczewskiej, 1969). Wilgotność granicy plastyczności może więc stanowić odniesienie dla możliwości występowania odkształceń konsolidacyjnych — o charakterze objętościowym, w gruntach w pełni nasyconych roztworami porowymi. Potwierdzeniem tej tezy jest relacja wartości wilgotności granicy plastyczności i wartości wilgotności końcowej, po zakończeniu badania edometrycznego pod obciążeniem 200 kPa. Relacja ta jest prostoliniowa (ryc. 1) i określona jako:

$$W_K = 0,6502W_p + 50,2858 \quad [1]$$

$$R = 0,923$$

gdzie R — współczynnik korelacji



Ryc. 1. Związek granicy plastyczności (W_p) z wilgotnością końcową (W_K), po zakończeniu badania edometrycznego pod obciążeniem 200 kPa

Fig. 1. Correlation between water content at the end of oedometer tests (W_K) under loading of 200 kPa and water content on plasticity limit (W_p)

Określając właściwości fizyczne gytii i kredy jeziornej przed badaniem edometrycznym i po zakończeniu badania edometrycznego uzyskujemy informację o zakresie zmienności poszczególnych właściwości fizycznych w procesie konsolidacji. W przypadku pełnego nasycenia porów wodą wielkość osiadania konsolidacyjnego jest ściśle powiązana z ilością wyciśniętej wody w procesie konsolidacji. Osiedzenia konsolidacyjne są więc w takim przypadku funkcją zmiany wilgotności (różnicy pomiędzy wilgotnością początkową i końcową w badaniu edometrycznym). Zagadnienie przewidywania wielkości osiadań konsolidacyjnych sprawdzić można do przewidywania ubytku wil-

gotności (ΔW_K) w procesie konsolidacji. Najistotniejszą zależność ubytku wilgotności — ΔW_K , udało się uzyskać z ubytkiem wilgotności w badaniu granicy plastyczności — ΔW_p (w próbie wałeczowania).

Zależność ΔW_p i otrzymanych w badaniu laboratoryjnym, po ostatnim obciążeniu ($\Delta\sigma_i = 200$ kPa) ΔW_{KB} jest prostoliniowa i określona jako (ryc. 2):

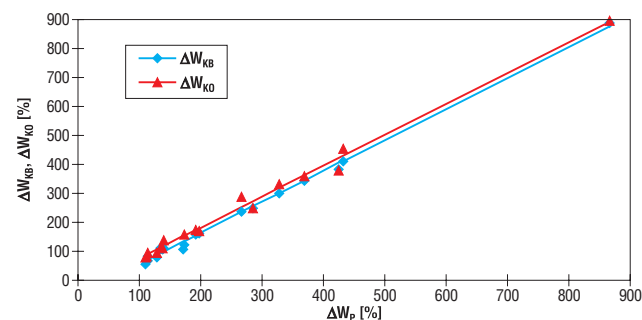
$$\Delta W_{KB} = 1,0706 \times \Delta W_p - 0,50378 \quad [2]$$

$$R = 0,999$$

Zależność ta oparta jest na badaniu wilgotności nie uwzględniającym ewentualnych zmian wilgotności po odciążeniu próbki (zasysanie wody związane z odprężeniem). Dlatego sprawdzono także zależność opartą na skorygowanych obliczeniowo wartościach wilgotności W_{KO} odpowiadających końcowej (najniższej zarejestrowanej) wysokości próbki, po ostatnim obciążeniu ($\Delta\sigma_i = 200$ kPa). Zależność ta jest także prostoliniowa (ryc. 2) i określona jako:

$$\Delta W_{KO} = 1,0643 \times \Delta W_p - 30,6499 \quad [3]$$

$$R = 0,996$$



Ryc. 2. Zależność ΔW_p i ΔW_K po zakończeniu konsolidacji pod obciążeniem 200 kPa, określonej laboratoryjnie (ΔW_{KB}) i obliczeniowo (ΔW_{KO})

Fig. 2. Correlation between water content loss in plasticity limit obtained — ΔW_p and water content loss in oedometer tests under loading 200 kPa

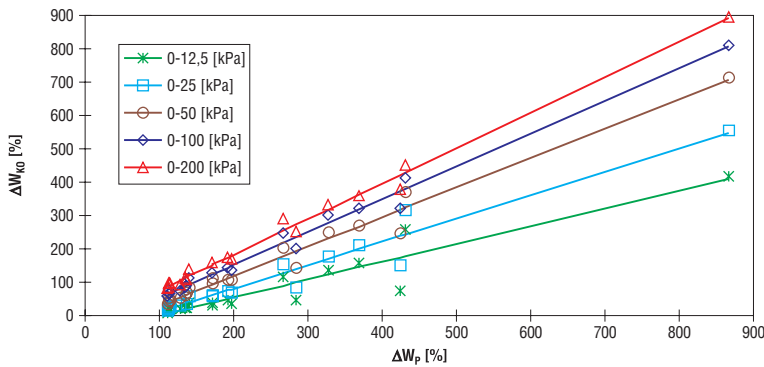
Porównując wykresy zależności określonych wzorami [2 i 3] na ryc. 2, jest widoczny ich prawie równoległy przebieg, a przesunięcie zgodne z osią pionową (osią ΔW_{KB} i ΔW_{KO}) obrazuje różnicę $\Delta W_{KO} - \Delta W_{KB}$. Dla danej wartości ΔW_p , jest ono pośrednią miarą odprężenia próbki w czasie jej demontażu po zakończeniu konsolidacji. Niemal równoległy przebieg analizowanych zależności świadczy o bardzo podobnych wartościach odprężenia (w sensie wzrostu wilgotności w skutek zasysania wody w trakcie odprężenia próbki) dla wszystkich próbek, niezależnie od zaobserwowanej ściśliwości.

Postępując w analogiczny sposób (jak dla obciążenia końcowego 200 kPa) obliczono wilgotności końcowe próbek po zakończeniu kolejnych stopni obciążenia. Następnie zbadano zależności tak uzyskanych ubytków wilgotności ΔW_{KO} dla kolejnych stopni obciążenia od wartości ΔW_p . Zależności te są także prostoliniowe (ryc. 3) i dla kolejnych stopni obciążenia są określone jako:

$$\text{dla } \Delta\sigma_i = 100 \text{ kPa:}$$

$$\Delta W_K = 0,98 \times \Delta W_p - 44,0246 \quad [4]$$

$$R = 0,994$$



Ryc. 3. Zależność ΔW_p i ΔW_{ko} dla określonych obliczeniowo wilgotności końcowych W_{ko} po zakończeniu kolejnych stopni obciążenia

Fig. 3. Correlation between ΔW_p and calculated water content loss in oedometer tests after subsequent levels of loading — ΔW_{ko}

dla $\Delta\sigma_i = 50$ kPa:

$$\Delta W_K = 0,8791 \times \Delta W_P - 57,2602 \quad [5]$$

$$R = 0,988$$

dla $\Delta\sigma_i = 25$ kPa:

$$W_K = 0,7004 \times \Delta W_P - 59,1152 \quad [6]$$

$$R = 0,972$$

dla $\Delta\sigma_i = 12,5$ kPa:

$$W_K = 0,5302 \times \Delta W_P - 51,0029 \quad [7]$$

$$R = 0,942$$

Stwierdzone zależności są podstawą opracowanej formuły szacowania wartości edometrycznych modułów ścisłości pierwotnej w zależności od właściwości fizycznych.

Formuła szacowania wartości edometrycznych modułów ścisłości pierwotnej w zależności od właściwości fizycznych

Zaobserwowana istotna zależność pomiędzy ubytkiem wilgotności w trakcie badania granicy plastyczności, określonym jako:

$$\Delta W_P = W_n - W_P \quad [8]$$

a ubytkiem wilgotności w trakcie badania edometrycznego ścisłości i konsolidacji, określonym jako:

$$\Delta W_K = W_n - W_K \quad [9]$$

stanowi punkt wyjścia dla przedstawionej formuły szacowania wartości edometrycznych modułów ścisłości pierwotnej badanych utworów. Zależność ta ma charakter prostoliniowy o bardzo wysokim współczynniku korelacji ($R = 0,999$) i jest przedstawiona ogólnym równaniem:

$$\Delta W_K = a\Delta W_P - b \quad [10]$$

Pozwala ona na stosunkowo szybkie i precyzyjne określenie ubytku wilgotności w procesie konsolidacji ΔW_K na podstawie badania granicy plastyczności i określenia ΔW_P .

Zakładając, że zachodzące procesy w próbce gruntu poddanej badaniu edometrycznemu zgodne są z założeniami teorii konsolidacji można stwierdzić, że wartość ΔW_K wyraża wielkość osiadań zachodzących w procesie konsolidacji. Powyższe stwierdzenie uzasadnione jest tym, że teoria konsolidacji (Kezdi, 1980) zakłada nieściśliwość szkieletu gruntowego i wody oraz wiąże całkowitą ściśliwość z ubytkiem wody wyciśniętej podczas konsolidacji.

Wartości ΔW_K i ΔW_P określone są jako stosunki ubytków masy wody do masy szkieletu gruntowego:

$$\Delta W_K = \frac{\Delta m_{wK}}{m_s} = \frac{m_{wn} - m_{wP}}{m_s} \quad [11]$$

oraz

$$\Delta W_P = \frac{\Delta m_{wP}}{m_s} = \frac{m_{wn} - m_{wP}}{m_s} \quad [12]$$

Ścisłość natomiast jest odkształceniem o charakterze objętościowym a więc musi być odnoszona do ubytku objętości konsolidowanego gruntu. Przyjmując (z dużym przybliżeniem) gęstość objętościową wody $\rho_w = 1,0$ [g/cm³] wystarczy określić masę utraconej wody Δm_w odpowiadającej danemu ΔW_K aby otrzymać objętość wyciśniętej wody ΔV_w jako:

$$\Delta V_w = \Delta m_w / \rho_w \quad [13]$$

Określenie masy utraconej wody w procesie konsolidacji wymaga znajomości masy szkieletu gruntowego, niezmiennej w całym procesie. Można to osiągnąć korzystając ze znanych wartości wilgotności naturalnej W_n i gęstości objętościowej ρ oraz przyjmując objętość rozpatrywanej próbki gruntu:

$$W_n = \frac{m_{wn}}{m_s} \quad [14]$$

oraz

$$\rho = \frac{m_m}{V_m} = \frac{m_{wn} + m_s}{V_m} \quad [15]$$

ponieważ

$$m_m = m_{wn} + m_s \quad [16]$$

następnie masę szkieletu określamy porównując równania:

$$m_{wn} = m_s \times W_n \quad [17]$$

i

$$m_{wn} = \rho V_m - m_s \quad [18]$$

$$\rho V_m - m_s = m_s \times W_n \quad [19]$$

$$m_s = \frac{\rho \times V_m}{1 + W_n} \quad [20]$$

Ze wzoru [11] wiemy, że:

$$\Delta m_{wK} = m_s \times \Delta W_K \quad [21]$$

Podstawiając za m_s wzór [20] a za ΔW_K wzór [10] i wyrażając wilgotność w % otrzymujemy zależność:

$$\Delta m_{wK} = \frac{(a\Delta W_P - b) \times \rho V_m}{100 + W_n} \quad [22]$$

Chcąc ubytek wody określić objętością należy masę ubytku wody podzielić przez jej gęstość i wówczas otrzymamy:

$$\Delta V_{wk} = \frac{(a\Delta W_p - b) \rho V_m}{(100 + W_n) \rho_w} \quad [23]$$

Aby określić ubytek objętości wody jako zmniejszenie wysokości próbki należy powyższe równanie podzielić przez A powierzchnię podstawy analizowanej próbki:

$$\Delta h_k = \frac{(a\Delta W_p - b) \rho V_m}{(100 + W_n) \rho_w \times A} \quad [24]$$

A — powierzchnia podstawy,

$\Delta h_k, \Delta h_i$ — zmniejszenie wysokości próbki pod obciążeniem $\Delta \sigma_k, \Delta \sigma_i$.

Jak określone skrócenie próbki w badaniu edometrycznym można odnieść do wysokości początkowej (przed przyłożeniem obciążenia) i do przyrostu obciążenia próbki podstawiając je do normowego wzoru (PN-88/B-04481) na edometryczny moduł ściśliwości pierwotnej:

$$M_o = \frac{\Delta \sigma_i \times h_{i-1}}{\Delta h_i} \quad [25]$$

Podstawiając za Δh_i do wzoru [25] wyrażenie [24] otrzymamy zależność określającą szacowany edometryczny moduł ściśliwości pierwotnej M_{SZAC} [kPa] dla danego przyrostu obciążenia:

$$M_{SZAC} = \frac{(100 + W_n) \rho_w \times A \times h_{i-1}}{(a\Delta W_p - b) \rho \times V_m} \quad [26]$$

Po uproszczeniu, ostatecznie dla danego przyrostu obciążenia wzór przybiera postać:

$$M_{SZAC} = \frac{(100 + W_n) \rho_w}{(a\Delta W_p - b) \rho} \Delta \sigma_i \quad [27]$$

gdzie:

M_{SZAC} — szacowany edometryczny moduł ściśliwości pierwotnej [kPa],

$\Delta \sigma_i = \sigma_i - \sigma_{i-1}$ — przyrost naprężeń [kPa],

W_n — wilgotność naturalna (początkowa), dla naprężenia σ_{i-1} , wyrażona jako stosunek masy wody (m_w) do masy szkieletu gruntowego (m_s), w [%],

$\Delta W_p = W_n - W_p$ — różnica wilgotności pomiędzy wilgotnością naturalną (początkową) a wilgotnością granicy plastyczności, wyrażona jako stosunek ubytku masy wody (Δm_w) w czasie badania granicy plastyczności do masy szkieletu gruntowego (m_s), w [%],

ρ — gęstość objętościowa (początkowa), dla naprężenia σ_{i-1} [g/cm^3],

$\rho_w = 1,0$ — gęstość objętościowa wody [g/cm^3],

a — współczynnik zależny od wartości obciążenia [-],

b — współczynnik zależny od wartości obciążenia [-].

Za pomocą powyższej zależności [27] możliwe jest określenie szacowanych edometrycznych modułów ściśliwości pierwotnej dla kolejnych sum przyrostów obciążeń, jak i dla kolejnych przyrostów obciążenia. W przypadku określania modułów sumarycznych wilgotność początkowa i gęstość objętościowa gruntu odnoszą się do naturalnego stanu próbki (stanu z przed przyłożenia obciążenia).

Jeżeli określane są moduły dla kolejnych przyrostów obciążenia, to jako początkowa wilgotność i gęstość objętościowa brane są uzyskiwane obliczeniowo wartości wilgotności i gęstości objętościowej właściwe dla próbki skonsolidowanej w poprzednim stopniu obciążenia σ_{i-1} .

W proponowanym rozwiązaniu współczynniki a i b są zależne od obciążenia. Współczynnik a wykazuje malejący wzrost wraz ze wzrostem obciążenia w zakresie 12,5–200 kPa. Współczynnik b natomiast rośnie w przedziale obciążenia 12,5–25 kPa, a powyżej obciążenia 25 kPa wykazuje tendencję spadkową (ryc. 4). Ich wartości dla kolejnych sum przyrostów obciążenia są przedstawione

Tab. 2. Wartości współczynników obciążenia dla kolejnych stopni obciążenia

Table 2. Loading coefficient values for following loading levels

Zakres obciążenia Loading level [kPa]	Współczynnik a [-] Coefficient a [-]	Współczynnik b [-] Coefficient b [-]
0–12,5	0,5302	51,0029
0–25	0,7004	59,1151
0–50	0,8791	57,2602
0–100	0,98	44,0246
0–200	1,0643	30,6499

w tab. 2.

Wartości pośrednie współczynników a i b dla pośrednich wartości sum przyrostów obciążenia można określić obliczeniowo korzystając z zależności opisanych wielomianami:

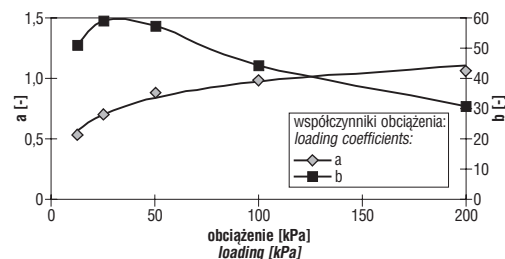
dla współczynnika a jest to wielomian stopnia szósteo:

$$a = 0,27318043 + 0,02488747 \times \Delta \sigma - 3,8459 \times 10^{-4} \times \Delta \sigma^2 + 3,2725 \times 10^{-6} \times \Delta \sigma^3 - 1,5658 \times 10^{-8} \times \Delta \sigma^4 + 3,9982 \times 10^{-11} \times \Delta \sigma^5 - 4,2570 \times 10^{-14} \times \Delta \sigma^6 \quad [28]$$

dla współczynnika b jest to wielomian stopnia szósteo:

$$b = 30,0214328 + 2,38715259 \times \Delta \sigma - 0,065769 \times \Delta \sigma^2 + 7,8483 \times 10^{-4} \times \Delta \sigma^3 - 4,8295 \times 10^{-6} \times \Delta \sigma^4 + 1,4959 \times 10^{-8} \times \Delta \sigma^5 - 1,8509 \times 10^{-11} \times \Delta \sigma^6 \quad [29]$$

Przebieg zależności współczynników obciążenia (a i b) przedstawiono na ryc. 4.



Ryc. 4. Zależność współczynników a i b od obciążenia

Fig. 4. Dependence of loading coefficients a and b from loading level

Znajomość wartości pośrednich współczynników obciążenia a i b , umożliwi obliczenie szacowanych edometrycznych modułów ściśliwości pierwotnej dla dowolnego obciążenia z zakresu 12,5–200 kPa.

Analiza otrzymanych wyników

Obliczone według proponowanego wzoru [27] moduły ściśliwości dla poszczególnych stopni obciążeń analogicznych do zastosowanych w badaniach edometrycznych porównano z wartościami modułów otrzymanymi bezpośrednio z badań edometrycznych, co przedstawiono na ryc. 5. Porównaniem objęto wartości modułów ze wszystkich pięciu stopni obciążenia łącznie. Widoczna jest wysoka zgodność wartości porównywanych modułów (zgodność idealną na ryc. 5 i 6 określa linia przerywana, czarna linia ciągła określa średnią zależność porównywanych modułów), co potwierdza możliwość stosowania propozycji szacowania w praktyce.

Średnia zależność edometrycznych modułów ściśliwości pierwotnej od wartości modułów szacowanych dla wszystkich sum przyrostów obciążenia jest prostoliniowa (ryc. 5), którą można aproksymować prostą daną poniższym równaniem:

$$M_0 = 0,960126M_{SZAC} + 3,55907 \quad [30]$$

$$R = 0,950$$

Zależności edometrycznych modułów ściśliwości pierwotnej od wartości modułów szacowanych dla kolejnych sum przyrostów obciążenia są także prostoliniowe (na ryc. 6 zaznaczone kolorowymi prostymi). Ich charakter ulega zmianie wraz ze wzrostem obciążenia:

$$\text{dla obciążenia } 0,0 - 12,5 \text{ kPa:} \\ M_0 = 0,628079M_{SZAC} + 33,10077 \quad [31]$$

$$R = 0,792$$

$$\text{dla obciążenia } 0,0 - 25,0 \text{ kPa:} \\ M_0 = 0,881134M_{SZAC} + 13,06133 \quad [32]$$

$$R = 0,941$$

$$\text{dla obciążenia } 0,0 - 50,0 \text{ kPa:} \\ M_0 = 0,879574M_{SZAC} + 15,45874 \quad [33]$$

$$R = 0,913$$

$$\text{dla obciążenia } 0,0 - 100,0 \text{ kPa:} \\ M_0 = 0,960873M_{SZAC} + 10,04196 \quad [34]$$

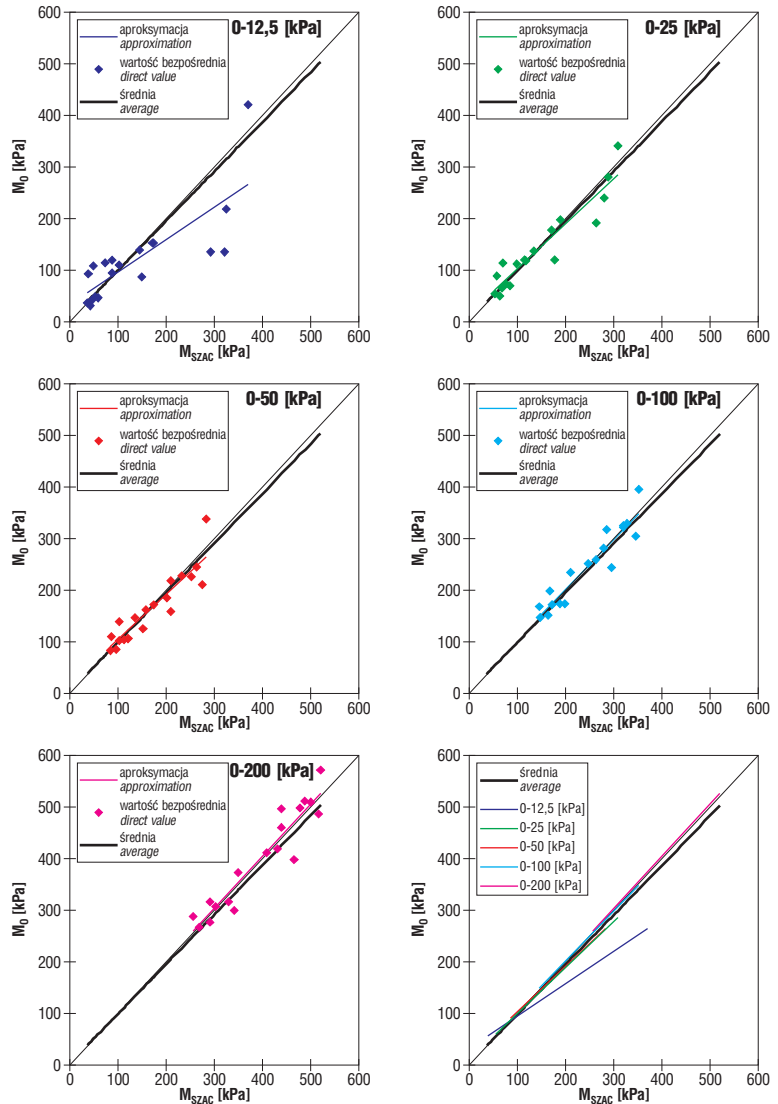
$$R = 0,939$$

$$\text{dla obciążenia } 0,0 - 200,0 \text{ kPa:} \\ M_0 = 1,013369M_{SZAC} - 0,8954 \quad [35]$$

$$R = 0,943$$

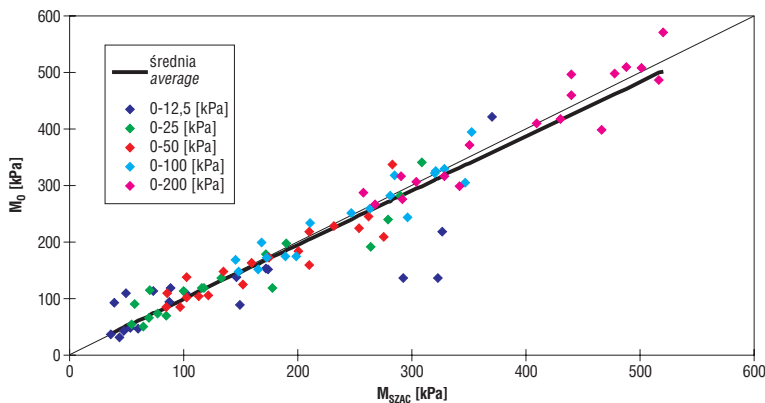
Analizując przebieg powyżej przedstawionych zależności łatwo można zauważyć zdecydowanie najgorsze dopasowanie i najmniejszą

zbieżność do relacji średniej (z pięciu stopni obciążenia) dla pierwszego stopnia obciążenia. Jeżeli chodzi o zgodność wartości modułów szacowanych i otrzymanych z badań edometrycznych także dla pierwszego stopnia obciążenia jest ona zdecydowanie najmniejsza (ryc. 6).



Ryc. 6. Porównanie wartości edometrycznych modułów ściśliwości pierwotnej otrzymanych w wyniku badań edometrycznych (M_0) z szacowanymi wartościami modułów edometrycznych (M_{SZAC}) dla kolejnych poziomów obciążenia; A — aproksymacja, B — wartość bezpośrednia, C — średnia

Fig. 6. Comparison of compressibility modulus values from obtained experimentally (results of oedometric tests M_0) with values estimated (M_{SZAC}) for a series loading level; A — approximation, B — direct measurements, C — average



Ryc. 5. Porównanie wartości edometrycznych modułów ściśliwości pierwotnej otrzymanych w wyniku badań edometrycznych (M_0) z szacowanymi wartościami edometrycznych modułów (M_{SZAC})

Fig. 5. Comparison of compressibility modulus values from oedometric tests obtained (M_0) with its estimates using the proposal (M_{SZAC})

Stosunkowo słabe dopasowanie, zbieżność i tożsamość zależności porównywanych modułów dla pierwszego stopnia obciążenia jest przede wszystkim wynikiem tego, że:

□ pierwszy stopień obciążenia (0,0–12,5 kPa) obejmuje w części zakres obciążeń wtórnych,

□ stosunkowo duża ale indywidualnie zróżnicowana część rejestrowanych odkształceń w pierwszym stopniu obciążenia, ze względu na niedokładności w dopasowaniu próbki do pierścienia edometrycznego ma charakter postaciowy,

□ w zakresie pierwszego stopnia obciążenia opór strukturalny może w istotny sposób wpłynąć na wartość osiadań próbki.

Podsumowanie

Przedstawiona propozycja szacowania edometrycznych modułów ścisłości pierwotnej odnosi się do osiadań całkowitych, które stanowią sumę osiadań o charakterze natychmiastowym, konsolidacyjnym filtracyjnym i konsolidacyjnym wtórnym.

Metoda ta może być stosowana w odniesieniu do normalnie skonsolidowanych utworów o charakterze spójnym, pochodzenia jeziornego, o pełnym nasyceniu porów roztworami porowymi, w zakresie przyrostów obciążenia 12,5–200 kPa. Ograniczeniem metody wynikającym z formuły obliczeniowej [27] jest wartość ΔW_p , która musi przekraczać 96,2%.

Przedstawiona propozycja pozwala na szybkie oszacowanie wartości modułów bez konieczności przeprowadzania zwykle długotrwałych i pracochłonnych badań edometrycznych.

W celu obliczenia wartości szacowanych edometrycznych modułów ścisłości pierwotnej konieczna jest jedynie znajomość następujących właściwości fizycznych:

□ wilgotności naturalnej W_n ,

□ wilgotności granicy plastyczności W_p ,

□ gęstości objętościowej ρ .

Literatura

- DAMICZ J. 1998 — Wpływ litologii i właściwości fizycznych na zachowanie się gytii pod obciążeniem. Arch. Wydz. Inż. Środ., Politech. Gdańska, Gdańsk.
- DŁUGASZEK M. 1988 — Ocena właściwości fizyczno-mechanicznych gytii Pojezierza Olsztyńskiego dla potrzeb inżyniersko-geologicznych. Arch. Wydz. Geol., UW, Warszawa.
- KEZDI A. 1980 — Handbook of soil mechanics, t. 2 Soil testing. Elsevier, Amsterdam–Oxford–New York.
- MROCZKOWSKI M. 1984 — Zależność edometrycznego modułu ścisłości oraz współczynnika konsolidacji jednoosiowej od wybranych cech fizycznych gruntów organicznych. VII Kraj. Konf. Mechaniki Gruntów i Fundamentowania, Poznań.
- MYŚLIŃSKA E. 1990 — Woda w gruntach, [W:] Metody badań gruntów spoistych, B. Grabowska-Olszewska (red.). Wyd. Geol.
- Polska Norma (PN-88/B-04481) — Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.
- SZYMAŃSKI A. 1991 — Czynniki warunkujące analizę odkształcenia gruntów organicznych obciążonych nasypem. Wyd. SGGW-AR, Warszawa.
- ZADROGA B. & DAMICZ J. 2002 — Szacowanie ścisłości gytii w zależności od gęstości objętościowej szkieletu gruntowego. XII Kraj. Konf. Mechaniki Gruntów i Fundamentowania. Problemy geotechniczne obszarów przymorskich. Szczecin–Międzyzdroje, 18–20 maja 2000.