

Joanna Stróżyk*

CHARAKTERYSTYKA ŚCISLIWOŚCI GRUNTU PYLASTEGO, NA PRZYKŁADZIE LESSU Z REJONU WROCŁAWIA

1. Wstęp

Grunty pylaste, lessy i utwory lessopodobne, występują dość powszechnie w rejonie Wrocławia. Wykształcone są w formie pokryw osadów zalegających bezpośrednio przy powierzchni terenu, ich miąższość osiąga lokalnie do 10 m.

Powierzchnie pokryte przez pyły na Dolnym Śląsku występują zarówno na południe jak i na północ od Wrocławia. Od strony południowej w rejonie Wzgórz Niemczańsko-Strzelińskich oraz od strony północnej w rejonie Wzgórz Trzebnickich.

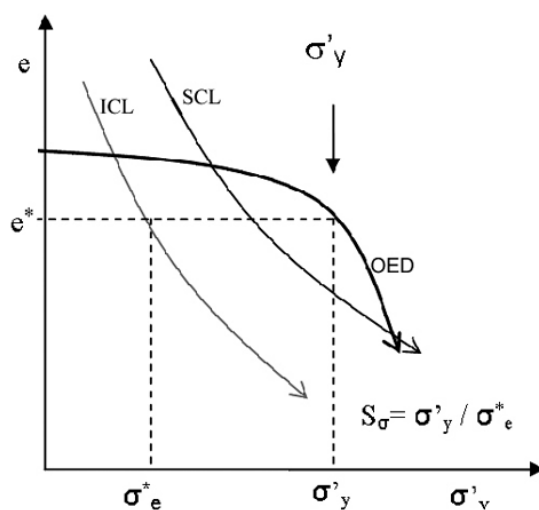
Ze względu na intensywny rozwój miasta, grunty te, stają się coraz częściej podłożem budowlanym, które ze względu na charakterystyczne właściwości pyłów stwarza liczne problemy inżynierskie. Problemy te, wynikają głównie z charakterystycznej dla utworów pylastych unikalnej, nietrwałej struktury, wrażliwej na zmiany wilgotności.

W przypadku lessów na ścisłość i wytrzymałość ośrodka gruntowego w dużej mierze wpływa nie tylko zagęszczenie gruntu, ale rodzaju mikrostruktury oraz połączeń międzyziarnowych i międzyagregatowych, bardziej lub mniej trwałych wobec wody [8].

Wrażliwość struktury analizowanych gruntów na zmianę wilgotności można oprzeć na porównaniu właściwości gruntów naturalnych o naturalnej zachowanej strukturze, z właściwościami tych samych gruntów preparowanych w laboratorium — w pełni nasyconych wodą. Można wykorzystać tu, zależności wyprowadzone dla ilów, odpowiednio je modyfikując. Zauważono [1, 3, 7], że grunt naturalny normalnie konsolidowany w środowisku swojego zalegania konsoliduje przy wzrastających obciążeniach od nadkładu i podąża po sedymentacyjnej krzywej ścisłości — *SCL* (rys. 1). Laboratoryjna próba wykonana z tego samego gruntu o strukturze przerobionej, ściskana w laboratorium podąża po pierwotnej krzywej ścisłości *ICL*. Krzywa *SCL* dla większości normalnie konsolidowanych, naturalnych

* Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wrocławska, Wrocław

gruntów leży zwykle na prawo od linii *ICL* (rys. 1). Odległość, na jaką krzywa *SCL* odsunięta jest od *ICL*, jest miarą większej wytrzymałości naturalnie powstałej struktury gruntu, na naprężenia ściskające w stosunku do struktury wytworzonej w laboratorium, która wynika z różnic strukturalnych wzajemnego układu cząstek i siły więzi strukturalnych wytworzonych w czasie historii geologicznej jakiej podlegał grunt.



Rys. 1. Koncepcja *OED* — edometryczna krzywa ściśliwości gruntu, *SCL* — sedymentacyjna krzywa ściśliwości, *ICL* — edometryczna krzywa ściśliwości pasty gruntowej, σ'_y efektywne pionowe naprężenie uplastyczniające

Porównując wartości charakterystycznych wskaźników wyznaczonych z krzywej *ICL* i edometrycznej krzywej ściśliwości próbki o naturalnej strukturze *OED*, można wnioskować o wrażliwości struktury gruntu. Wrażliwość dla gruntów spoistych opisano, jako naturalną wrażliwość naprężeniową S_σ [3]:

$$S_\sigma = \frac{\sigma'_y}{\sigma_{y^*}} \quad (1)$$

gdzie:

- σ'_y — efektywne naprężenie uplastyczniające gruntu o strukturze naturalnej (określone w badaniach);
- σ_{y^*} — efektywne naprężenie znajdujące na linii *ICL*, dla którego porowatość pasty gruntowej jest taka sama jak gruntu naturalnego przy obciążeniu do wartości naprężenia uplastyczniającego σ'_y .

Dla lessów, w pewnym sensie, wskaźnikiem wrażliwości może być współczynnik zapadowości i_{mp} wyznaczany wg wzoru [9]:

$$i_{mp} = \frac{h' - h''}{h_0} \quad (2)$$

gdzie:

h' — wysokość próbki nienaruszonej po stabilizacji odkształceń, przy naprężeniu całkowitym, odpowiadającym ciężarowi gruntu i budowli przed nasyceniem wodą;

h'' — wysokość próbki przy obciążeniu j.w., po całkowitym nasyceniu wodą;

h_0 — wysokość próbki po stabilizacji odkształceń, przy efektywnym naprężeniu pierwotnym pionowym *in situ*.

Współczynnik ten opisuje jednak tylko wrażliwość struktury gruntu na zmianę wilgotności przy zadanym obciążeniu i nie odnosi się do charakterystycznych parametrów stanu w ramach teorii stanów granicznych.

2. Ogólna charakterystyka analizowanych gruntów

Do badań wytypowano grunty pylaste — zalegające na południe od Wrocławia w rejonie Wzgórz Niemczańsko-Strzelińskich. Osady te zaliczane są do lessów i/lub utworów lessopodobnych. Są to grunty powstałe w plejstocenie, w okresie ostatniego zlodowacenia — północnopolskiego. Okres ich depozycji datowany jest na 42–14 tys. lat BP [4]. Badania wykazały, że źródłem materiału osadowego były lokalne zwietrzliny skał podłoża [2], w dużej mierze łupków co skutkuje znacznym udziałem frakcji koloidalnej [10], transport materiału był krótki [2]. Uważa się [10], że utwory te zostały zdeponowane w środowisku eolicznym, a następnie soliflukcyjnie przeobrażone.

Analizowane grunty — lessy, wg PN-86/B-02480 klasyfikuje się najczęściej jako pyły lub gliny pylaste [10–11]. W składzie granulometrycznym przeważa frakcja pyłowa, która stanowi zwykle od ok. 56 do 96%, a stwierdzany udział frakcji ilastej wynosi od kilku do 19% [11]. Wilgotność naturalna gruntów badanych w odkrywkach, do głębokości 6 m, zwykle nie przekraczała 10%. Wartości granic konsystencji: plastyczności w_p i płynności w_L stwierdzano w przedziale $w_p = 16 \div 24,5\%$ i $w_L = 24,5 \div 36\%$. Wyznaczona wartość wskaźnika plastyczności I_p zwykle nie przekracza 10%, co pozwala zaklasyfikować grunty wg nomogramu Casagrande'a do gruntów grupy *CL* lub *ML*. Grunty te występują zwykle w stanie zwartym — $IL < 0$.

3. Wyniki badań

Do szczegółowych badań wytypowano próbę gruntu pylastego z głębokości 5 m p.p.t z odsłonięcia w Wadochowicach.

Podstawowe cechy fizyczne, wartości granic konsystencji i wskaźników klasyfikacyjnych zestawiono w tabeli 1. Pod względem składu granulometrycznego grunt ten jest pyłem i zawiera 9,7% frakcji iłowej, 69,9% frakcji pyłowej oraz 20,4 frakcji piaskowej. Wyznaczona wartość gęstości objętościowej wyniosła $1,72 \text{ g/cm}^3$, a obliczona wartość porowatości n i wskaźnika porowatości e odpowiednio 0,42 i 0,71. Stopień wilgotności $S_r = 0,35$ wskazuje na nienasycony stan ośrodka gruntowego.

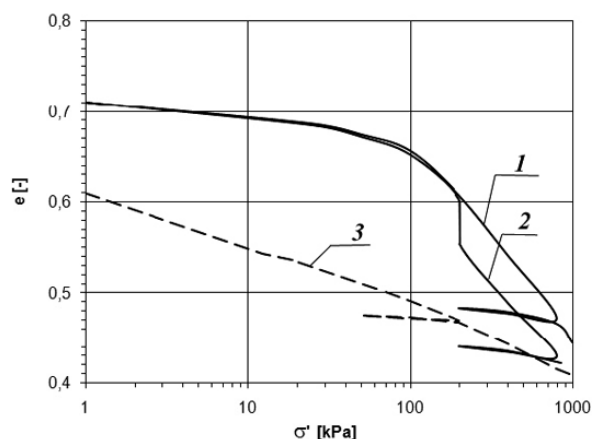
TABELA 1
**Podstawowe cechy fizyczne, granice konsystencji
i wskaźniki klasyfikacyjne pyłu**

Cecha	Symbol	Wartość
wilgotność naturalna	w_n	9,3%
gęstość objętościowa	ρ	$1,72 \text{ g/cm}^3$
gęstość właściwa	ρ_s	$2,69 \text{ g/cm}^3$
porowatość	n	0,42
wskaźnik porowatości	e	0,71
granica plastyczności	w_p	19,03%
granica płynności	w_L	26,20%
stopień plastyczności	I_L	-1,36
wskaźnik plastyczności	I_P	7,17%
stopień wilgotności	S_r	0,35
zawartość CaCO_3		3–5%
naprężenie pionowe <i>in situ</i>	σ_v	84 kPa
naprężenie uplastyczniające	σ_y	125 kPa
współczynnik zapadowości	i_{mp}	0,016
głębokość pobrania próby		5,0 m p.p.t

W tabeli 1 podano również wartość pierwotnego pionowego naprężenia *in situ* σ_{v0} , które na głębokości 5 m p.p.t oszacowano na 85 kPa oraz wartość współczynnika zapadowości tej próby $i_{mp} = 0,016$ i oszacowaną metodą Casagrande [6] wartość naprężenia uplastyczniającego $\sigma_y = 125 \text{ kPa}$.

Badania ścisłości wykonywano w edometrze procedurą *IL*. Badania wykonywano na próbce gruntu o naturalnej wilgotności (krzywa 1, rys. 2), próbce gruntu o początkowo naturalnej wilgotności nasyconej wodą przy obciążeniu 200 kPa (krzywa 2, rys. 2) oraz próbce pasty gruntowej (krzywa 3, rys. 2).

Początkowa wilgotność pasty gruntowej na początku badania edometrycznego odpowiadała wilgotności granicy płynności w_L i wynosiła 26,2%.



Rys. 2. Edometryczne krzywe ściśliwości pyłu (1 — krzywa ściśliwości gruntu o naturalnej strukturze i naturalnej wilgotności *OED*, 2 — krzywa ściśliwości gruntu o naturalnej strukturze i naturalnej wilgotności, nasycona przy obciążeniu pionowym 200 kPa *OED*, 3 — krzywa ściśliwości pasty gruntowej *ICL*)

Uzyskane wyniki badań pozwoliły porównać ściśliwość gruntu pylastego o naturalnej strukturze i w stanie naturalnej wilgotności, z gruntem o naturalnej strukturze nasyconym wodą oraz z gruntem o strukturze przerobionej i w stanie pełnego nasycenia porów wodą. Podstawowe różnice w parametrach zestawiono w tabeli 2.

TABELA 2

Wyniki edometrycznych badań ściśliwości

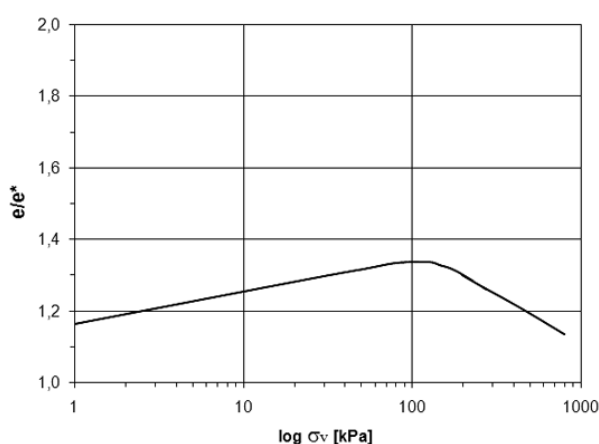
Grunt	e [-]	C_c (10÷100)	C_c (100÷1000)	C_s	e_y [-]	σ_y [kPa]	M_0 (10÷100) [MPa]	M_0 (100÷1000) [MPa]
Pasta gruntowa	0,61	0,07	0,06	0,01	0,47	—	2,6	16,3
Grunt o naturalnej strukturze i naturalnej wilgotności	0,71	0,03	0,21	0,02	0,63	125	5,1	7,1

(e_0 — wskaźnik porowatości próbki przed badaniem, C_c i C_s — odpowiednio wskaźnik ściśliwości i odprężenia, e_y — wskaźnik porowatości przy naprężeniu pionowym równym σ_y , σ_y — naprężenie uplastyczniające, M_0 — edometryczny moduł ściśliwości)

Jak zaobserwowano wartości wskaźników ściśliwości gruntu naturalnego C_c i pasty gruntowej C_c^* znacznie różnią się. Wartość wskaźnika C_c dla gruntu naturalnego w zakresie obciążeń mniejszych od σ_y jest ponad dwukrotnie większa dla pasty gruntowej (tab. 2), pod-

czas gdy po przekroczeniu wartości naprężenia σ_y staje się prawie czterokrotnie mniejsza. Przy dalszym zwiększaniu obciążenia, w miarę jak grunt naturalny przechodzi w stan pełnego nasycenia wodą wartości C_c stają się podobne i zbliżają się do siebie.

Wartość wskaźnika porowatości $e^* = 0,61$ pasty gruntowej przed obciążeniem jest znacznie mniejsza niż gruntu naturalnego dla którego $e = 0,71$, stosunek tych wskaźników e/e^* w miarę obciążania zmienia się (rys. 3) od 1,16 na początku badania do wartości maksymalnej — 1,34 dla naprężenia odpowiadającego wartości naprężeniu uplastyczniającemu σ_y , by znowu maleć w miarę jak stan nasycenia próbki gruntu naturalnego wodą rośnie ($S_r = 1$).



Rys. 3. Zależność stosunku wskaźników porowatości e/e^* (e — próby o naturalnej strukturze i e^* próby pasty gruntowej) od efektywnego naprężenia pionowego

Na podstawie otrzymanych wyników badań analizowanej próbki, nie ma możliwości oznaczenia wrażliwości struktury gruntu ze wzoru (1). Krzywa *ICL* leży zdecydowanie poniżej krzywej edometrycznej *OED*, nie przecina jej (por. rys. 1). Wartość wskaźnika porowatości e gruntu naturalnego przed obciążeniem jest większa od wartości wskaźnika porowatości e_L pasty gruntowej przed obciążeniem (przy wilgotności w_L), nie można więc wyznaczyć wartości σ_y^* . Proponuje się, wyznaczać wartość wrażliwości S_e (w odniesieniu do wartości wskaźnika porowatości) według wzoru:

$$S_e = \frac{e_y}{e_y^*} \quad (3)$$

gdzie:

- e_y — wskaźnik porowatości gruntu naturalnego, przy obciążeniu odpowiadającym naprężeniu uplastyczniającemu σ_y ;
- e_y^* — wskaźnik porowatości pasty gruntowej znajdujący z krzywej *ICL* (ściśliwości pasty gruntowej) dla naprężenia równego σ_y .

jako, że stosunek porowatości e_y / e_y^* dla naprężenia σ_y ma wartość największą (por. rys. 3). Wskaźnik wyznaczony ze wzoru (3) dla analizowanej próbki gruntu wynosi:

$$S_e = \frac{e_y}{e_y^*} = \frac{0,63}{0,47} = 1,34 \quad (4)$$

Wskaźnik ten, opisuje wrażliwość struktury gruntu wynikającą z jego naturalnej struktury będącej wynikiem historii geologicznej a także wynikającą ze stanu nienasyconego ośrodka gruntowego (zawiera w sobie wrażliwość wynikającą na zamiany wilgotności).

Tak zdefiniowana wartość wskaźnika wrażliwości zawiera w definicji również odniesienie do wartości naprężenia uplastyczniającego σ_y (e_y), który w ramach teorii stanów granicznych traktować można jako jeden z głównych parametrów stanu gruntów spoistych.

4. Podsumowanie

W pracy przedstawiono wyniki badań ściśliwości gruntów pylastych — lessów zalegających na południe od Wrocławia, w rejonie Wzgórz Niemczańsko-Strzelińskich.

Grunty te, to głównie pyły i gliny pylaste, występujące *in situ* w konsystencji zwartej, charakteryzujące się znaczną porowatością.

W referacie zaprezentowano wyniki badań ściśliwości gruntów, zarówno o strukturze naturalnej jak i na paście gruntowej. Podjęto próbę wykorzystania do analizy wykonanych badań ściśliwości zależności wyprowadzonych dla gruntów spoistych, charakteryzujących wrażliwość naturalnej struktury gruntu wobec pojawiających się obciążeń podłoża. Badania wykazały, że stosowanie przy ocenie wrażliwości wyprowadzonych wskaźników dla gruntów spoistych [1, 3, 7] nie zawsze jest możliwe, dla gruntów makroporowatych. Porowatość gruntów naturalnych może przewyższać porowatość pasty gruntowej, co uniemożliwia ocenę wrażliwości wg wzoru (1).

Proponuje się, zatem aby wrażliwości gruntu makroporowatego oceniać wskaźnikiem S_e . Wskaźnik ten niesie informację nie tylko o wrażliwości gruntów pylastych na zawodnienie, jak w przypadku wskaźnika zapadowości, ale uwzględnia też inne czynniki, wpływające na wytrzymałość i ściśliwość masywu gruntowego wynikające z jego naturalnej struktury.

LITERATURA:

- [1] *Burland J.B.*: On the compressibility and shear strength of natural clays. *Geotechnique*, vol. 40, No. 3, 1990, s. 329–378
- [2] *Chlebowski R i in.*: Mineralogical characteristics of loesses from biały kościół (niemczańsko-strzelińskie hills) based on heavy minerals analysis. *Pol. Tow. Min. — Pr. Spec. z.* 24, 2004, s. 111–114
- [3] *Cotecchia F., Chandler R.J.*: A general framework for mechanical behaviour of clays. *Geotechnique*, 2000, vol. 50, No. 4, s. 431–447
- [4] *Fedorowicz S.*: Korelacja dat TL i OSL próbek czterech profili lessowych Polski SE i SW. *Prz. Geol.*, vol. 53, nr 11, 2003, s. 1047–1050

- [5] *Izbicki R., Stróżyk J.*: Stopień YSR miarą prekonsolidacji ilów formacji poznańskiej. Zesz. Nauk. P.Białost., Bud., t. 1, 2006, s. 117–126
- [6] *Lambe T., Whitman R.*: Mechanika gruntów. Warszawa, Arkady, 1977
- [7] *Mitchell J.K., Soga K.*: Fundamentals of soil behavior. New Jersey, John Wiley&Sons, INC, Hoboken 2005
- [8] *Pająk-Komorowska A.*: Osiadanie zapadowe lessów Wzgórz Trzebnickich i Płaskowyzu Głubczyckiego. Geologos 11, 2007, s. 375–382
- [9] *Pisarczyk S.*: Gruntoznawstwo inżynierskie. Warszawa, Wyd. Nauk. PWN, 2001
- [10] *Raczkowski W.*: Less w okolicach Henrykowa na Dolnym Śląsku, Biul. Peryglacjalny 7, 1960, s. 95–111
- [11] *Stróżyk J.*: Charakterystyka agresywności środowiska gruntowo-wodnego na materiały budowlane w rejonie Ziębic. Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski 1997 (praca magisterska)