

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2016), 25 (3), 290–300
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2016), 25 (3)
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2016), 25 (3), 290–300
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2016), 25 (3)
http://iks_pn.sggw.pl

**Władysław MATUSIEWICZ, Zbigniew LECHOWICZ,
Grzegorz WRZESIŃSKI**

Katedra Geoinżynierii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Department of Geotechnical Engineering, Warsaw University of Life Sciences – SGGW

Wyznaczanie granicy płynności metodą Casagrandego i penetrometrem stożkowym Determination of liquid limit by Casagrande method and cone penetrometer

Słowa kluczowe: granica płynności, wskaźnik plastyczności, grunt spoisty, penetrometr stożkowy, aparat Casagrandego

Key words: liquid limit, plasticity index, cohesive soil, cone penetrometer, Casagrande cup

Wprowadzenie

Jednym z podstawowych parametrów fizycznych gruntów spoistych wykorzystywanych w praktyce inżynierskiej jest granica płynności (w_L), której twórcą był szwedzki chemik Atterberg (1911), a którą zmodyfikował później Casagrande (1932). Obecnie granicę płynności najczęściej wyznacza się, wykorzystując aparat Casagrandego lub penetrometr stożkowy (Pisarczyk i Rymsza, 1993; Koumoto i Houlsby, 2001; Myślińska, 2001; Haigh, 2012). Wyniki badań prezentowane w literaturze wskazują, że wartości granicy płynności wyznaczone

wymienionymi sposobami różnią się od siebie. Badania przeprowadzone przez Di Matteo (2011) na naturalnych gruntach spoistych charakteryzujących się granicą płynności w zakresie 20–50% wykazały, że w_L wyznaczona z badań penetrometrem stożkowym była o 2,2% większa w porównaniu z otrzymaną z aparatu Casagrandego. W przypadku badań mieszaniny gruntu z bentonitem Mishra i inni (2012) otrzymali dwiema metodami porównywalne wartości granicy płynności dla wartości mniejszych od 100%, natomiast powyżej tej wartości większe wartości granicy płynności uzyskali z badań metodą Casagrandego.

W Polsce, podobnie jak w pozostałych krajach Unii Europejskiej, od 2010 roku obowiązuje projektowanie geotechniczne według Eurokodu 7, czyli PN-EN 1997-1:2008. Według PN-EN 1997-2:2009 do wyznaczania granicy płyn-

ności gruntu (w_L) preferuje się metodę wykorzystującą penetrometr stożkowy. W praktyce w wielu przypadkach nadal wykonuje się oznaczenie w_L metodą Casagrandego. Praktyka krajowa dysponuje bogatym zbiorem danych zawierających granicę płynności (w_L) wyznaczoną metodą Casagrandego dla różnych rodzajów gruntów spoistych. Zmiana metody oraz potrzeba wykorzystania w przyszłości dotychczasowych wyników badań powoduje konieczność wykonania analiz wyników badań porównawczych wykonanych dwiema metodami.

Celem pracy była analiza wyników badań granicy płynności (w_L) gruntów spoistych za pomocą aparatu Casagrandego i penetrometru stożkowego ze stożkami o kątach wierzchołkowych 60° i 30° .

Material badawczy

Badane grunty spoiste pochodziły z otworów wiertniczych i odkrywek wykonanych na terenie Warszawy i województwa mazowieckiego. Oprócz granicy płynności gruntów (w_L) określono rodzaje gruntów i granicę plastyczności gruntów (w_p). Badania przeprowadzono dla czterech podstawowych grup gruntów spoistych. Badaniom poddano 63 próbki gruntów: (a) mało spoistych – 12 piasków gliniastych P_g (clSa, siSa, sasiCl), 8 pyłów piaszczystych Π_p (saSi, saclSi) i 3 pyły Π (Si, clSi); (b) średnio spoistych – 18 glin piaszczystych G_p (sasiCl, clSa, saCl), 4 gliny G (sasiCl, saclSi) i 5 glin pylastych G_π (sasiCl, saclSi, siCl, clSi); (c) zwięzłe spoistych – 2 gliny piaszczyste zwięzłe G_{pz} (sasiCl, saCl), 5 glin zwięzłych G_z (saCl) i 2 gliny

pylaste zwięzłe $G_{\pi z}$ (siCl); (d) bardzo spoistych – 2 ily I (Cl) i 2 ily pylaste Π_π (Cl, siCl), gdzie „stare” i „nowe” nazwy gruntów określono według PN-B-02480:1986 oraz według PN-EN ISO 14688-2:2006 i poprawki PN-EN ISO 14688-2:2006/Ap2:2012.

Metoda i wyniki badań

Granice płynności (w_L) wyznaczono metodą Casagrandego według PN-B-04481:1988 (rys. 1) oraz metodą penetrometru stożkowego zgodnie z PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009 (rys. 2). Granicę plastyczności wyznaczono metodą waleczkowania według PN-B-04481:1988 i PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009, skład granulometryczny określono metodą Casagrandego w modyfikacji Prószyńskiego (Myślińska, 2001), rodzaj gruntu według norm PN-B-02480: 1986 i PN-EN ISO-14688-2: 2006.

Zawartość procentową frakcji gruntu o średnicach ziaren $d \geq 0,2$ mm określano metodą sitową, a zawartość frakcji



RYSUNEK 1. Oznaczenie granicy płynności (w_L) metodą Casagrandego

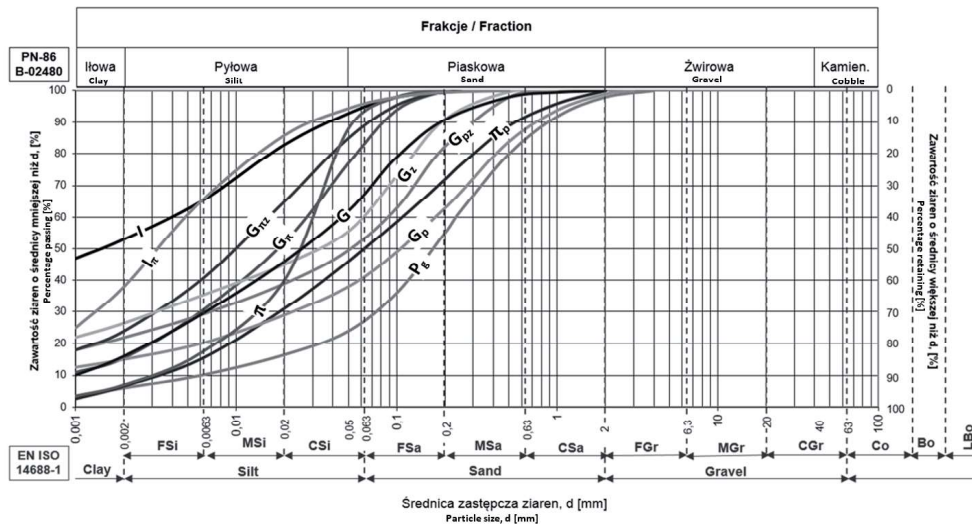
FIGURE 1. Determination of liquid limit (w_L) by Casagrande method



RYSUNEK 2. Oznaczenie granicy płynności (w_L) przy użyciu penetrometru stożkowego
 FIGURE 2. Determination of liquid limit (w_L) by cone penetrometer

o średnicach $d < 0,2$ mm metodą areometryczną. Uśrednione krzywe uziarnienia badanych rodzajów gruntów pokazano na rysunku 3, a wyniki badań uziarnienia i cech fizycznych gruntów zestawiono w tabeli.

Oznaczenia granicy płynności (w_L) przeprowadzano w miseczce Casagrandego oraz penetrometrem stożkowym z dwoma rodzajami stożków. Pierwszy stożek miał kąt wierzchołkowy 60° i masę 60 g, drugi miał kąt wierzchołkowy 30° i masę 80 g. Grunty układane w miseczce Casagrandego formowano z eliminowaniem pęcherzyków powietrza między warstwami. W metodzie penetrometru stożkowego badany grunt układano w przezroczystym cylinderku z PVCU o średnicy 55 mm i wysokości 50 mm. Grunt formowano warstwami z jednoczesnym eliminowaniem pęcherzyków powietrza przy użyciu ręcznego ubijaka o średnicy 25 mm. Z powodu występowania problemów z usuwaniem pęcherzyków powietrza w badanej próbce grunt zagęszczano trzema warstwami. Po stwierdzeniu całkowitego usunięcia pęcherzyków powietrza formowano kolejną warstwę. Stożek penetrometru przed zwolnieniem dźwigni



RYSUNEK 3. Uśrednione krzywe uziarnienia badanych gruntów
 FIGURE 3. The averaged grain-size distribution of tested soils

TABELA. Wyniki badań laboratoryjnych cech fizycznych gruntów spoiwstych
 TABLE. Laboratory test results of index properties of cohesive soils

Nazwa gruntu Soil	Zawartość frakcji Fraction content PN-EN ISO 14688-1 PN-EN ISO 14688-2				Rodzaj gruntu Soil type PN-EN ISO	Zawartość frakcji Fraction content PN-B-04481 [%]				Rodzaj gruntu Soil type PN-B- -02480	Granica plasty- czności Plastic limit w_p [%]	Granica płynności Casagrande Liquid limit Casa- grande w_L [%]	Granica płynności stożek Liquid limit cone, w_L [%]		Wskaźnik plastyczno- ści Plasticity index I_p [%]			Aktywność koloidalna Colloidal activity $A_C = I_p f_i$
	Gr	Sa	Si	Cl		f_i	f_π	f_p	f_{z+k}				60°	30°	Casa- grande	60°	30°	
Pg	1	79	16	4	siSa/clSa	4	13	82	1	Pg	18,7	22,4	24,6	23,4	3,6	5,7	4,7	-
clSa	1	78	17	4	siSa	4	15	80	1	Pg	15,5	17,0	20,2	19,0	1,5	4,7	3,5	-
siSa	-	82	13	5	clSa	5	12	83	-	Pg	13,5	18,2	20,8	19,4	4,7	7,3	5,9	-
sasiCl	-	82	13	5	clSa	5	9	86	-	Pg	18,6	22,5	23,9	24,0	3,9	5,6	5,4	-
	5	61	28	6	siSa	6	23	66	5	Pg	20,3	31,0	29,4	30,9	10,6	9,1	10,6	-
	3	63	28	6	siSa	6	23	68	3	Pg	15,9	22,7	23,0	23,4	6,8	7,0	7,5	-
	-	85	13	2	siSa	2	11	87	-	Pg	14,4	17,6	21,0	20,1	3,2	6,6	5,6	-
	-	61	31	8	clSa	8	24	68	-	Pg	12,4	18,2	17,6	18,5	5,8	5,2	6,2	-
	-	58	33	9	sasiCl	9	28	63	-	Pg	12,2	17,1	18,4	19,8	4,9	6,1	7,6	-
	-	75	20	5	siSa/clSa	5	15	80	-	Pg	14,7	15,6	17,3	18,0	0,9	2,6	3,4	-
	1	67	24	8	clSa	8	20	71	1	Pg	11,7	13,2	15,4	14,0	1,5	3,7	2,5	-
	1	63	26	10	clSa	10	20	69	1	Pg	11,1	17,4	16,5	17,1	6,3	5,4	6,0	-
Ilp	-	42	48	10	sacI Si	10	38	52	-	Ilp/G	17,6	30,0	31,2	31,5	12,4	13,6	13,9	-
saSi	-	58	41	1	saSi	1	36	63	-	Ilp	16,1	17,1	18,4	19,8	1,0	2,2	3,7	-
sacI Si	-	54	40	6	saSi/clSi	6	35	59	-	Ilp	14,6	17,6	18,8	18,3	2,9	4,2	3,7	-
	-	46	50	4	saSi	4	44	52	-	Ilp	15,3	15,8	18,2	17,2	0,5	2,9	1,9	-
	-	47	47	6	sacI Si	6	42	52	-	Ilp	14,1	15,3	17,8	16,9	1,2	3,7	2,8	-
	-	30	61	9	sacI Si	9	53	38	-	Ilp	18,1	21,1	24,5	23,2	3,0	6,4	5,1	-
	-	54	39	7	sacI Si	7	32	61	-	Ilp	15,2	26,8	25,6	26,6	11,5	10,4	11,4	-
	2	48	41	9	sacI Si	9	35	54	2	Ilp	13,7	36,5	34,0	39,7	22,8	20,3	26,0	-

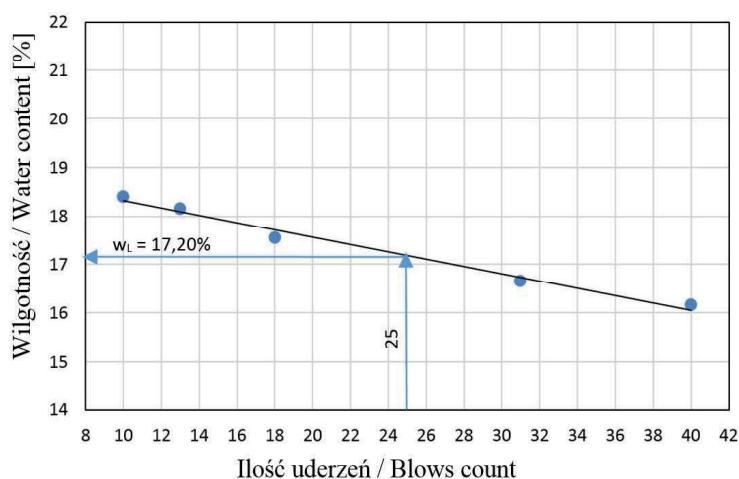
TABELA cd. / TABLE cont.

Nazwa gruntu Soil	Zawartość frakcji Fraction content PN-EN ISO 14688-1 PN-EN ISO 14688-2			Rodzaj gruntu Soil type PN-EN ISO	Zawartość frakcji Fraction content PN-B-04481 [%]			Rodzaj gruntu Soil type PN-B-02480	Granica plastyczności Plastic limit w_P [%]	Granica płynności Casagrande Liquid limit Casagrande, w_L [%]	Granica płynności stożek Liquid limit cone, w_L [%]		Wskaźnik plastyczności Plasticity index, I_p [%]			Aktywność koloidalna Colloidal activity $A_C = I_p f_i$
	Gr	Sa	Si		Cl	f_i	f_π				f_p	$f_{\pi+k}$	Casa-grande	stożek cone	60°	
II	-	10	80	10	10	74	16	-	19,2	27,2	28,8	29,3	8,0	9,6	10,1	-
Si	-	12	79	9	9	75	16	-	20,1	28,5	29,7	30,2	8,4	9,6	10,1	-
clSi	-	4	95	1	1	93	6	-	33,0	89,4	79,0	84,0	56,4	46,0	51,0	-
Gp	1	59	28	12	12	21	66	1	12,1	22,0	21,0	21,5	9,9	8,9	9,4	0,82
clSa	1	58	30	11	11	21	67	1	13,9	23,0	23,8	24,3	9,1	9,9	10,4	0,83
saCl	-	59	29	12	12	24	64	-	19,3	22,6	22,5	23,2	3,3	3,0	3,9	0,28
sasiCl	1	62	21	16	16	16	67	1	12,0	25,7	25,7	26,2	13,7	13,6	14,2	0,86
	-	52	29	19	19	24	57	-	14,9	34,7	33,8	35,1	19,8	18,9	20,2	1,04
	1	57	25	17	17	19	63	1	12,6	24,0	25,2	25,1	11,3	12,6	12,5	0,66
	-	53	31	16	16	24	60	-	12,0	23,6	24,0	24,5	11,6	12,0	12,5	0,72
	-	50	32	18	18	25	57	-	11,8	26,4	25,6	26,7	14,6	13,9	14,9	0,81
	-	48	34	18	18	29	53	-	11,1	28,1	27,4	27,9	17,0	16,3	16,8	0,94
	-	57	25	18	18	22	60	-	11,5	27,1	27,4	28,0	16,6	16,9	16,5	0,92
	-	61	28	11	11	21	68	-	12,7	21,2	20,3	21,4	8,5	7,6	8,7	0,77
	1	54	29	16	16	24	59	-	13,3	25,7	25,5	25,4	12,4	12,2	12,1	0,78
	-	58	26	16	16	22	62	-	13,6	26,7	27,0	26,8	13,1	13,4	13,3	0,82
	-	60	27	13	13	23	61	-	12,1	24,0	23,6	24,9	11,9	11,5	12,7	0,91
	1	54	28	17	17	23	59	1	11,1	22,3	21,2	22,0	11,2	10,1	10,9	0,66
	3	50	32	15	15	25	15	3	12,4	24,0	22,5	22,6	11,5	10,0	10,2	0,77
	1	61	25	13	13	18	68	1	12,8	24,2	24,9	25,4	11,4	12,1	12,6	0,88
	1	65	18	16	16	22	61	1	11,7	21,50	21,2	21,8	9,8	9,5	10,1	0,61

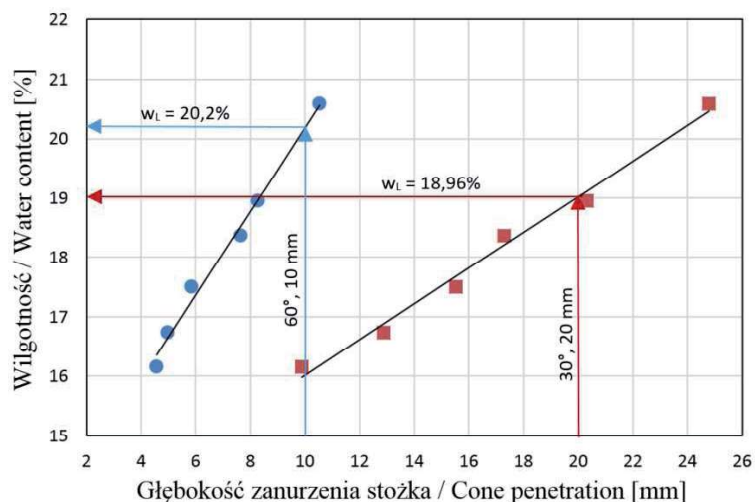
aparatu ustawiano równo z wyrównaną płaszczyzną gruntu w cylinderku pomiarowym. Głębokość penetracji stożka odczytywano na wyświetlaczu cyfrowym z dokładnością do 0,01 mm. Badanie w aparacie Casagrandego i penetrometrem stożkowym wykonywano równolegle, z zachowaniem jednakowej wilgotności wszystkich próbek dla tego samego punktu pomiarowego. Jednakże w przypadku gruntów spoistych zawierających ponad 30% frakcji ilowej i o granicy płynności (w_L) ponad 50% w celu uzyskania zanurzenia normowego stożków o kątach wierzchołkowych 60° i 30° badano również próbki o wilgotności mniejszej od wilgotności gruntu w metodzie Casagrandego. Podobna sytuacja występowała w gruntach spoistych zawierających mniej niż 5% frakcji ilowej i o granicy płynności (w_L) mniejszej od 20%, wtedy dodatkowo badano próbki o wilgotności większej niż wilgotności gruntu w metodzie Casagrandego. Na rysunku 4 przedstawiono

przykładowy wykres granicy płynności gruntu według Casagrandego dla piasku gliniastego, a na rysunku 5 przykładowe wykresy granic płynności określonych penetrometrem stożkowym o kątach wierzchołkowych 60° i 30°.

Porównując obie metody pod kątem przebiegu badań laboratoryjnych, czas wykonania jednego punktu pomiarowego przy użyciu penetrometru stożkowego jest dwu-, trzykrotnie dłuższy w porównaniu z metodą Casagrandego. W metodzie Casagrandego bardziej skuteczne jest usuwanie z formowanej próbki gruntu pęcherzyków powietrza. Jednakże uzyskanie jednolitej konsystencji przygotowywanego gruntu wymaga doświadczenia. Dla gruntów o małej zawartości frakcji ilowej, mniejszej od 5%, na przykład piasków gliniastych Pg (clSa), ze względu na trudności w wykonaniu rowka łatwiejsze jest wyznaczenie granicy płynności przy użyciu penetrometru stożkowego niż metodą Casagrandego.



RUSUNEK 4. Granica płynności piasku gliniastego Pg (clSa) określona metodą Casagrandego
 FIGURE 4. Liquid limit of clayey sand Pg (clSa) determined by Casagrande method



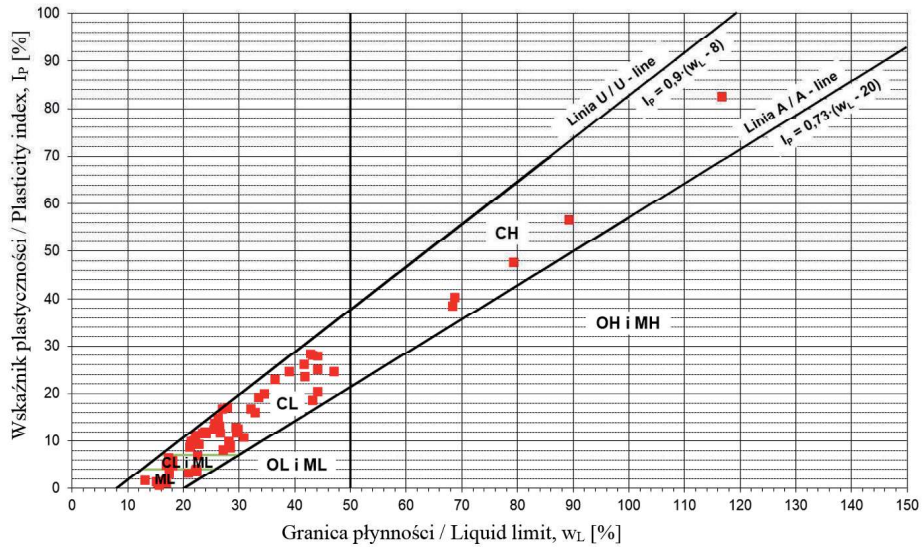
RUSUNEK 5. Granica płynności piasku gliniastego Pg (clSa) wyznaczona metodą penetrometru stożkowego o kątach wierzchołkowych 60° i 30°
 FIGURE 5. Liquid limit of clayey sand Pg (clSa) determined by cone penetrometer with apex angles of 60° and 30°

Analiza wyników badań

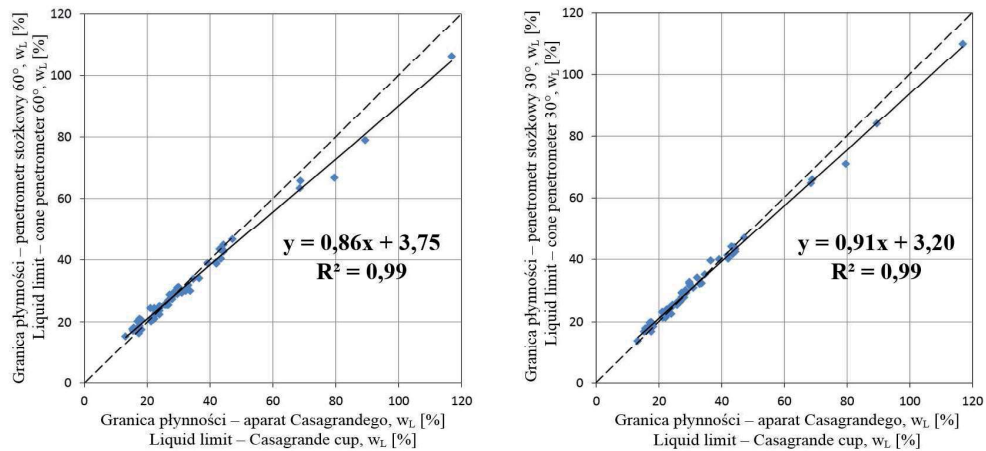
Na podstawie granicy płynności (w_L) i plastyczności (w_p) obliczono wskaźnik plastyczności gruntów ($I_p = w_L - w_p$). Badane grunty spoiste zamieszczono na karcie Casagrandego (rys. 6). Dla gruntów spoistych o zawartości frakcji iltowej powyżej 10% obliczono wskaźnik aktywności koloidalnej (A_C), którego wartości zestawiono w tabeli. Z otrzymanych wartości wynika, że grunty o małej plastyczności ($w_L < 50\%$) charakteryzują się wskaźnikiem aktywności koloidalnej w zakresie 0,28–1,28, a o dużej plastyczności ($w_L > 50\%$) 0,91–1,33. Porównanie granic płynności badanych gruntów spoistych określonych metodą Casagrandego i penetrometrem stożkowym o kątach wierzchołkowych 60° i 30° pokazano na rysunku 7.

Analiza wyników badań wskazuje, że w przypadku w_L mniejszej od 50% różnice między granicą płynności (w_L) wyznaczoną metodą Casagrandego i granicami płynności określonymi stożkami o kątach wierzchołkowych 60° i 30° są nieduże i wynoszą około $\pm 3\%$. Różnice między w_L wyznaczonymi stożkami o kątach wierzchołkowych 60° i 30° wynoszą $\pm 2\%$.

W przypadku, gdy w_L jest większe od 50%, granice płynności wyznaczone metodą Casagrandego w porównaniu do granic płynności określonych stożkiem o kącie wierzchołkowym 60° są większe o 3–13%, a w przypadku stożka o kącie wierzchołkowym 30° są większe o 3–8%. Granica płynności wyznaczona penetrometrem stożkowym o kącie wierzchołkowym 60° jest mniejsza od granicy płynności określonej stożkiem o kącie wierzchołkowym 30°. W tym zakresie lepszą zgodność między



RYSUNEK 6. Badane grunty na karcie plastyczności Casagrandego
 FIGURE 6. Tested soils on the Casagrande plasticity chart



RYSUNEK 7. Porównanie granic płynności badanych grunty spoiowych określonych metodą Casagrandego i penetrometrem stożkowym o kątach wierzchołkowych 60° i 30°
 FIGURE 7. Comparison of liquid limit determined by the Casagrande method and cone penetrometer with angles of 60° and 30°

wartościami (w_L) otrzymanymi z obu metod uzyskano dla stożka o kącie wierzchołkowym 30° .

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych można stwierdzić, że dla gruntów spoistych o granicy płynności mniejszej od 50% różnice między granicą płynności wyznaczoną według metody Casagrandego a granicą płynności określoną stożkiem o kącie 60° są nieduże i wynoszą około $\pm 3\%$. Dla gruntów spoistych o granicy płynności większej od 50%, granica płynności wyznaczona metodą Casagrandego w porównaniu z granicą płynności (w_L) określoną stożkiem o kącie 60° jest większa o około 3–13%, przy czym mniejszą różnicę uzyskano dla stożka o kącie 30° .

W gruntach spoistych o zawartości frakcji ilowej mniejszej niż 5%, na przykład piaski gliniaste (clSa), ze względu na trudności w wykonaniu rowka łatwiej wyznacza się granicę płynności przy użyciu penetrometru stożkowego niż metodą Casagrandego.

Literatura

- Atterberg, S.K. (1911). Über die physikalische Bodenuntersuchung und über die Plastizität der Tone. *Internationale Mitteilungen für Bodenkunde*, 1, 10-43.
- Casagrande, A. (1932). Research on the Atterberg limits of soils. *Public roads*, 13 (8), 121-136.
- Di Matteo, L. (2011). Liquid limit of low- to medium-plasticity soils: comparison between Casagrande cup and cone penetrometer test. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 71, 79-85.

- Haigh, A. (2012). Mechanics of the Casagrande liquid limit test. *Canadian Geotechnical Journal*, 49, 1015-1023.
- Koumoto, T. i Houlsby, G.T. (2001). Theory and practice of the fall cone test. *Géotechnique*, 8, 701-712.
- Mishra, A.K., Ohtsubo, M., Li, L.Y. i Higashi, T. (2012). Influence of various factors on the difference in the liquid limit values determined by Casagrande's and fall cone method. *Environmental Earth Sciences*, 65, 21-27.
- Myślińska, E. (2001). *Laboratoryjne badania gruntów*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Pisarczyk, S. i Rymśa, B. (1993). *Badania laboratoryjne i polowe gruntów*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- PN-B-02480:1986. *Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów*.
- PN-B-04481:1988. *Grunty budowlane. Badania próbek gruntu*.
- PN-EN ISO 14688-1:2006. *Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczenie i opis*.
- PN-EN ISO 14688-2:2006. *Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania + PN-EN ISO 14688-2:2006/Ap2:2012*.
- PN-EN 1997-1:2008. Eurokod 7. *Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne*.
- PN-EN 1997-2:2009. Eurokod 7. *Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego*.
- PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009. *Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 12: Oznaczanie granic Atterberga*.

Streszczenie

Wyznaczanie granicy płynności metodą Casagrandego i penetrometrem stożkowym. W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych granicy płynności (w_L) gruntów spoistych wyznaczonej przy pomocy aparatu Casagrandego i penetrometru stożkowego dla stożków o kątach wierzchołkowych 60° i 30° . Badania prze-

prowadzono dla czterech podstawowych grup gruntów spoistych sklasyfikowanych ze względu na spoistość w odniesieniu do procentowej zawartości frakcji ilowej. Przeprowadzone badania wskazują, że dla gruntów spoistych o granicy płynności mniejszej od 50% różnice między granicą płynności wyznaczoną według metody Casagrandego a granicą płynności określoną stożkiem o kącie wierzchołkowym 60° są niewielkie ($\pm 3\%$). Dla gruntów spoistych o granicy płynności gruntu większej od 50% granica płynności wyznaczona metodą Casagrandego jest o 3–13% większa niż granica płynności określona stożkiem o kącie wierzchołkowym 60°, przy czym mniejszą różnicę uzyskano dla stożka o kącie 30°. W gruntach spoistych o zawartości frakcji ilowej mniejszej niż 5%, na przykład piaski gliniaste (clSa), ze względu na trudności w wykonaniu rowka, łatwiej wyznacza się granicę płynności przy pomocy penetrometru stożkowego niż metodą Casagrandego.

Summary

Determination of liquid limit by Casagrande method and cone penetrometer. The paper presents the laboratory test results of liquid limit (w_L) of cohesive soils determined by Casagrande method and cone pen-

etrometer with apex angles of 60° and 30°. The study was performed on the four groups of cohesive soils classified due to the clay fraction content. Test results indicates that in cohesive soils with the liquid limit less than 50% the differences between liquid limit determined by the Casagrande method and cone penetrometer with angle of 60° are small ($\pm 3\%$). In cohesive soils, with liquid limit more than 50%, liquid limit determined by Casagrande method in comparison with liquid limit obtained from cone penetrometer with angle of 60° is higher about 3–13%, however a smaller difference was obtained using cone penetrometer with angle of 30°. In cohesive soils containing clay fraction of less than 5%, e.g. clayey sand (clSa), due to difficulty in the formation of groove, it is better to determine the liquid limit by cone penetrometer than by Casagrande method.

Authors' address:

Władysław Matusiewicz, Zbigniew Lechowicz,
Grzegorz Wrześciński
Katedra Geoinżynierii
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
SGGW
02-776 Warszawa, ul. Nowoursynowska 159,
Poland
e-mail: wladyslaw_matusiewicz@sggw.pl,
zbigniew_lechowicz@sggw.pl,
grzegorz_wrzesinski@sggw.pl