

Ocena możliwości stosowania metody jednopunktowej z wykorzystaniem penetrometru stożkowego w celu oznaczenia granicy płynności

Krystyna Jaśkiewicz¹, Małgorzata Wszędyrówny-Nast¹



K. Jaśkiewicz



M. Wszędyrówny-Nast

Determination of liquid limits by the fall cone one point method. Prz. Geol., 65: 737–742.

Abstract: Atterberg Limits are main parameters characterizing the properties of cohesive soils. The cone penetrometer is a standard apparatus for testing of liquid limits according to PN-B-04481:1988 and PKN-CEN ISO/TS 17892-12. The test allows to obtain the relationship between moisture of soil paste and cone depth penetration. The result is determined by interpolation between at least four points. The paper presents feasibility study of determination of liquid limits by the fall cone one point method. The publication contains a comparison of values obtained with the one point method by Sherwood and Ryley in 1970., Nagraj and Jayadeva in 1981 and by Leroueil and Lebihan in 1996 with the fall cone method presented in PKN-CEN ISO / TS 17892-12.

Keywords: liquid limit, fall cone test, laboratory tests

Oznaczenie granicy płynności jest jednym z najczęściej wykonywanych podstawowych badań laboratoryjnych służących do klasyfikacji gruntów drobnoziarnistych (spoiстых). Wiele parametrów geotechnicznych gruntów, takich jak: wytrzymałość na ścinanie bez odpływu (c_u), moduł ściśliwości (M), współczynnik filtracji (k), powierzchnia właściwa (St), jest bezpośrednio skorelowanych lub wyznaczanych na podstawie wartości granicy płynności. Standardową metodą oznaczenia tej granicy, opisaną zarówno w PN-B-04481:1988, jak i PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009 (w dalszej części tekstu nazywana ST12), jest badanie penetrometrem stożkowym.

W zaleceniach PN-EN 1997-2:2009 metoda penetrometru stożkowego została uznana za dającą bardziej wiarygodne wyniki w porównaniu do subiektywnej metody Casagrande'a, zwłaszcza dla gruntów o niskiej wartości wskaźnika plastyczności (I_p). Według wielu badaczy (Sowers i in., 1959; Sherwood, Ryley, 1970) wartość oznaczonej w ten sposób granicy płynności jest niezależna od użytego urządzenia i subiektywizmu operatora.

W praktyce istnieje często konieczność przebadania dużej liczby próbek gruntów. W związku z tym poszukuje się metod przyspieszających proces wykonywania badania w warunkach laboratoryjnych. Prowadzi to do większej wydajności całego procesu identyfikacji gruntów oraz zmniejszenia kosztów. W dalszej części pracy przedstawiono porównanie wartości granic płynności uzyskanych metodą jednopunktową, opartą na wzorach, z wartościami granic płynności uzyskanymi tradycyjną metodą czteropunktową opisaną w PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009. W obu przypadkach do oznaczenia granicy płynności wykorzystano penetrometr stożkowy.

Celem publikacji jest przedstawienie dokonanej oceny możliwości wykorzystania metody jednopunktowej do oznaczenia wartości granicy płyn-

ności za pomocą penetrometru stożkowego, w odniesieniu do nowych zapisów (w stosunku do ST12) w aktualnie opiniowanej normie ISO/DIS 17892-12.

METODYKA BADAŃ

Penetrometr stożkowy jest urządzeniem, które daje precyzyjne informacje na temat konsystencji gruntów drobnoziarnistych. Metoda ta została uznana za zgodną z normami w wielu państwach. W tabeli 1 przedstawiono porównanie stożków stosowanych w różnych krajach wraz z przyjętą wartością zagłębienia odpowiadającą granicy płynności.

Geotechnical Commission of the Swedish State Railways – GCSSR (Hansbo, 1957) jako wartość granicy płynności zdefiniowało wilgotność pasty gruntowej, przy której zagłębienie stożka o masie 60 g i kącie stożkowym 60° wynosi 10 mm. Brytyjski (BS 1377: Part 2:1990 Methods of

Tab. 1. Zestawienie parametrów stożków stosowanych w różnych krajach
Table 1 Standards of fall cone test in various countries

| Kraje Countries | Kąt wierzchołkowy Apex angle of the cone [°] | Masa stożka Mass of the cone [g] | Głębokość penetracji odpowiadająca granicy płynności Cone penetration depth corresponding to liquid limit [mm] |
|--|--|--|--|
| Szwecja / Sweden (Karlsson, 1977) | 60 | 60 | 10,0 |
| Francja / France (NF P94-052.1) | 30 | 80 | 17,0 |
| Wielka Brytania / UK (BS 1377: Part 2:1990) | 30 | 80 | 20,0 |
| Polska / Poland (PN-B-04481:1988) | 30 | 80 | 18,0 (+ wzór przeliczeniowy transformation equation) |
| Eurokod 7 / Eurocode 7 (PKN-CEN ISO TS 17892-12) | 30 | 80 | 20,0 |
| | 60 | 60 | 10,0 |

¹ Zakład Konstrukcji Budowlanych i Geotechniki, Instytut Techniki Budowlanej, ul. Ksawerów 21, 02-256 Warszawa; k.jaskiewicz@itb.pl, m.wszedyrowny@itb.pl.

Tests for Soils for Civil Engineering Purposes: Classification Tests), francuski (NF P94-052.1:1995 Limite de liquidité au cône de pénétration) oraz polski stożek (PN-B-04481:1988 Grunty budowlane. Badanie próbek gruntu) mają taką samą masę (80 g) i ten sam kąt wierzchołkowy (30°), ale umowne zagłębienie odpowiadające granicy płynności jest inne.

Metoda oznaczenia granicy płynności penetrometrem stożkowym bazuje na liniowej zależności uzyskiwanej wilgotności pasty gruntowej do zagłębienia stożka. Zależność tę potwierdzają badacze z wielu krajów (np. Sherwood, Ryley, 1970; Leflaive, 1971; Leroueil, Le Bihan, 1996) dla różnych gruntów drobnoziarnistych. Wyniki te są oparte na badaniach wykonanych zarówno stożkiem 60 g/60°, jak i 80 g/30°. Dopuszczalny zasięg głębokości zagłębienia dla obu stożków jest inny (dla 60 g/60° między 5 a 15 mm, a dla 80 g/30° między 10 a 30 mm).

Na podstawie wyników własnych badań zweryfikowano zależności funkcyjne, prezentowane w literaturze, dotyczące jednopunktowej metody, które służą do oznaczenia granicy płynności przy użyciu stożka o kącie wierzchołkowym 30° oraz masie 80 g. Wzory wykorzystują metodę penetrometru stożkowego opisaną w ST12.

Pierwsze równanie zostało opisane przez Leroueil i Le Bihana (1996):

$$w_{Lc} = \frac{40(w-15)}{P_{30} + 20} + 15 \quad [1]$$

gdzie:

w_{Lc} – granica płynności [%],

P_{30} – zagłębienie stożka (80 g/30°) [mm],

w – wilgotność pasty gruntowej przy danym zagłębieniu [%].

Zasięgiem stosowalności wzoru [1] jest zagłębienie w przedziale 16–22 mm. Jest on odpowiednikiem wzoru podanego w kanadyjskiej normie CAN/BNQ 2501-092-M86 (CAN/BNQ 1986) dotyczącego stożka o parametrach 60 g/60° (zasięg stosowalności – zagłębienie między 8 a 12 mm).

Sherwood i Ryley (1970) oraz Nagraj i Jayadeva (1981) na podstawie badań stożkiem brytyjskim zaproponowali równanie:

$$w_{Lc} = \frac{w}{0,65 + 0,0175P_{30}} \quad [2]$$

gdzie:

w_{Lc} – granica płynności [%],

P_{30} – zagłębienie stożka (80 g/30°) [mm],

w – wilgotność pasty gruntowej przy danym zagłębieniu [%].

Nowa norma ISO/DIS 17892-12, która ma aktualnie status „draftu” (etap opiniowania i głosowania) dopuszcza możliwość stosowania metody jednopunktowej przy użyciu penetrometru stożkowego. Precyzuje ona zasięg zagłębienia stożka (odpowiednio 8–12 mm dla stożka 60 g/60° i 18–22 mm dla stożka 80 g/30°), nie zawiera jednak propozycji odpowiedniego wzoru umożliwiającego obliczenie wartości granicy płynności. Informuje jedynie, że w przypadku zastosowania metody jednopunktowej wynik oznaczenia należy skorygować za pomocą ustalonych współczynników korelacyjnych, uwzględniających granicę płynności w tradycyjny sposób (metoda interpolacji między co najmniej czterema punktami).

Na potrzeby praktyki laboratoryjnej przeanalizowano możliwość zastosowania metody jednopunktowej na podstawie wzorów [1] i [2] w zakresie dotyczącym gruntów spoiwych z terenu Polski.

MATERIAŁ I BADANIA

Badania wykonano na próbkach gruntów drobnoziarnistych. Łącznie badaniom poddano 649 próbek gruntu, zróżnicowanych pod względem wartości liczbowych parametrów fizycznych oraz środowiska depozycji.

Dla każdego gruntu wykonano oznaczenie składu granulometrycznego metodą areometryczną zgodnie z procedurą PKN-CEN ISO/TS 17892-4. Nazwę poszczególnych gruntów określono zgodnie z PN-B-02480:1986 oraz

Tab. 2. Zestawianie wyników analizy uziarnienia dla różnych gruntów z obszaru Polski
Table 2. Summary of particle size distribution for different Polish soils

| Liczba danych Number of data points | Rodzaj i symbol gruntu wg Soil type and symbol according to PN-B-02480:1986 | Symbol gruntu wg Soil symbol according to PN-EN ISO 14688-2:2006 | Uśredniona zawartość frakcji [%] Average fraction content [%] | | | |
|---|--|---|--|---------|-------------|---------|
| | | | f_{z+k}^* | f_p^* | f_{π}^* | f_i^* |
| 48 | piasek gliniasty Pg | clSa, siSa, grsiSa, grclSa | 12 | 60 | 21 | 7 |
| 231 | glina piaszczysta Gp | clSa, sasiCl | 3 | 48 | 30 | 18 |
| 120 | glina piaszczysta zwięzła Gpz | sasiCl, saCl | 1 | 48 | 29 | 23 |
| 58 | glina G | sasiCl | 4 | 42 | 40 | 14 |
| 27 | glina zwięzła Gz | sasiCl | 3 | 34 | 40 | 24 |
| 42 | glina pylasta Gπ | clSi | 0 | 12 | 72 | 17 |
| 44 | glina pylasta zwięzła Gπz | clSi | 0 | 11 | 65 | 25 |
| 45 | ił I | Cl, saCl, sasiCl | 3 | 32 | 38 | 16 |
| 11 | ił pylasty Iπ | Cl, siCl | 0 | 5 | 56 | 39 |
| 14 | pył Π | saSi | 0 | 14 | 81 | 5 |
| 9 | pył piaszczysty Πp | saclSi | 6 | 32 | 47 | 22 |

* wartości średnic zastępczych podane zgodnie z normą PN-B-02480:1986
the equivalent diameter values given in according to PN-B-02480:1986

wg PN-EN ISO 14688-2:2006. W tabeli 2 zostały zestawione wyniki analizy uziarnienia.

W każdej próbce wykonano oznaczenie granicy płynności metodą penetrometru stożkowego wg Specyfikacji Technicznej PKN-CEN ISO/TS 17892-12 (2009) przy użyciu stożka o kącie wierzchołkowym 30° oraz masie 80 g. Metalowy stożek był opuszczany na powierzchnię gruntu, a następnie zwalniany, zagłębiając się w gruncie pod własnym ciężarem. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań uzyskano zależności zagłębienia stożka od wilgotności pasty gruntowej. Granica płynności uzyskana tą metodą jest definiowana jako wilgotność, która odpowiada zagłębieniu stożka na określoną głębokość – 20 mm. Jej wartość ustalono na podstawie interpolacji, między co najmniej czterema punktami. Czas pomiędzy dodaniem wody do pasty gruntowej a wykonaniem odczytu zagłębienia stożka wynosił w każdym przypadku minimum 30 min.

ANALIZA WYNIKÓW

Do analizy wybrano wyniki 806 zagłębień penetrometru stożkowego i odpowiadającej im wilgotności pasty gruntowej w przedziale zagłębienia stożka od 18 do 22 mm (zmiana co 0,5 mm). Dla każdej wartości zagłębienia stożka obliczono granicę płynności na podstawie wzorów – w_{Lc} wg [1] (ryc. 1) i w_{Lc} wg [2] (ryc. 2) – oraz porównano ją z wartością uzyskaną metodą tradycyjną (czteropunktową) zgodną z ST12 – w_L .

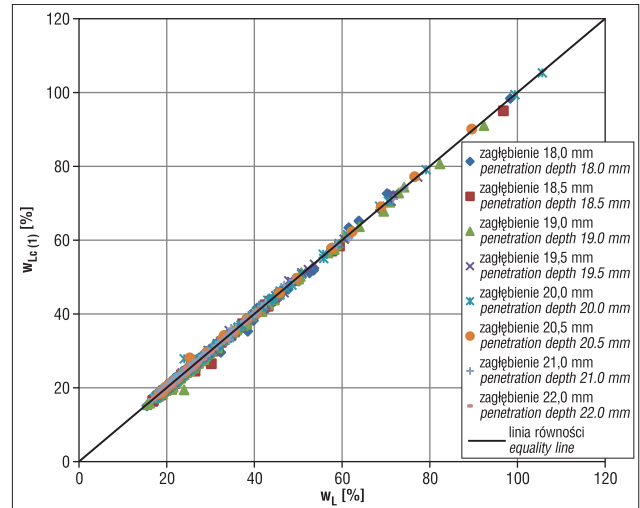
Poszczególne wartości granicy płynności badanych gruntów w stosunku do otrzymywanej wg ST12 dla każdego analizowanego zagłębienia różniły się nieznacznie (ryc. 1, 2). Największą maksymalną, bezwzględną różnicę między wartościami granic płynności ($w_L - w_{Lc}$) uzyskano dla zagłębienia 19 mm. Analizowane wzory dały zbliżone wyniki, jednak w przypadku wzoru [2] zostały uzyskane nieznacznie mniejsze wartości. Średnia bezwzględna różnica granicy płynności otrzymana metodą jednopunktową (ze wzorów [1], [2]) w stosunku do uzyskanej wg ST12 (metoda czteropunktowa) wyniosła odpowiednio dla wzoru [1] 0,2–0,6%, a w przypadku wzoru [2] 0,2–0,4%.

Na potrzeby oceny możliwości poprawnego stosowania metody jednopunktowej, stosując metodę najmniejszych kwadratów, określono współczynnik korelacji R^2 (zależności) pomiędzy uzyskanymi wynikami w wybranych zagłębieniach stożka. To sprawdzenie przeprowadzono oddzielnie do każdego z dwóch analizowanych wzorów.

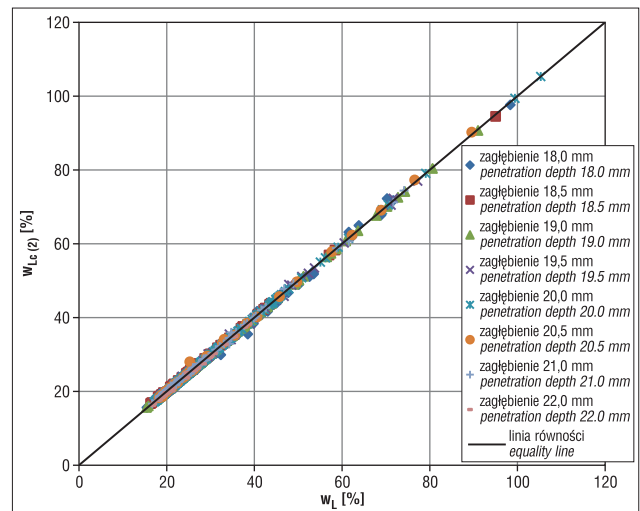
Szczegółowe dane dotyczące uzyskiwanych wartości współczynników w odniesieniu do poszczególnych zagłębień stożka wraz z liczbą analizowanych danych zostały zamieszczone w tabeli 3.

Ogólnie uzyskano bardzo wysoki współczynnik korelacji (bliski jedności). Średnia wartość współczynnika R^2 dla wzorów wyniosła 0,9986. Ponadto nie stwierdzono zmienności tego współczynnika w zależności od analizowanego wzoru (wyjątek stanowi współczynnik R^2 w przypadku zastosowania zagłębienia 20,5 mm).

Sprawdzono również w jakim stopniu otrzymane różnice wartości wilgotności granicy płynności mają wpływ na wartość stopnia plastyczności. Określono o ile maksymalnie oraz średnio zmieniła się wartość tego parametru. Ponadto dla każdego analizowanego zagłębienia penetrometru stożkowego wyznaczono współczynnik korelacji R^2



Ryc. 1. Zależność między granicą płynności – w_L wg ST12 (metoda czteropunktowa) a granicą płynności – w_{Lc} obliczoną ze wzoru [1]
Fig. 1. Correlation between the liquid limit – w_L according to ST12 (four point method) and the liquid limit – w_{Lc} according to equation [1]



Ryc. 2. Zależność między granicą płynności – w_L wg ST12 (metoda czteropunktowa) a granicą płynności – w_{Lc} obliczoną ze wzoru [2]
Fig. 2. Correlation between the liquid limit – w_L according to ST12 (four point method) and the liquid limit – w_{Lc} according to equation [2]

Tab. 3. Zestawienie współczynników korelacji R^2 dla każdego zagłębienia stożka

Table 3. Summary of correction factor R^2 for each cone penetration

| Zagłębienie stożka Cone penetration depth [mm] | Liczba danych Number of data points | Współczynnik korelacji R^2 dla wzoru [1] i [2] Correction factor R^2 according to equation [1] and [2] |
|---|--|--|
| 18,0 | 176 | 0,9973 |
| 18,5 | 50 | 0,9983 |
| 19,0 | 161 | 0,9987 |
| 19,5 | 61 | 0,9993 |
| 20,0 | 145 | 0,9993 |
| 20,5 | 50 | 1,0000 dla [1] according to [1] 0,9992 dla [2] according to [2] |
| 21,0 | 110 | 0,9992 |
| 21,5 | 23 | 0,9977 |
| 22,0 | 29 | 0,9980 |

w odniesieniu do wartości stopnia plastyczności. Szczegółowe dane zawarto w tabeli 4.

Obliczony stopień plastyczności na podstawie granicy płynności otrzymanej metodą jednopunktową uzyskał wysoki współczynnik $R^2 = 0,995$ dla analizowanych równań. Zaobserwowano niewielkie zróżnicowanie maksymalnej bezwzględnej różnicy między I_L w odniesieniu do obydwu

wzorów. Średnia wartość różnicy między I_L a I_{Lc} wynosi 0,1 (wyjątek stanowi zagłębienie 18,5 mm). Na obecnym etapie badań stwierdzona różnica dla zagłębienia 18,5 mm jest trudna do wyjaśnienia. Może być efektem przypadku (zdarzeniem losowym wynikającym z ograniczonej liczby badań). Poniżej zestawiono na tle granicznych stanów konsystencji (ryc. 3, 4) wyniki badań stopnia plastyczności (I_L) w odniesieniu do

Tab. 4. Analiza zmian stopnia plastyczności obliczonego na podstawie granicy płynności wg wzorów metody jednopunktowej w stosunku do uzyskanych metodą czteropunktową wg ST12

Table 4. Analysis of liquidity index variation calculated based on liquid limit by one point method equation in reference to obtained from the four point method

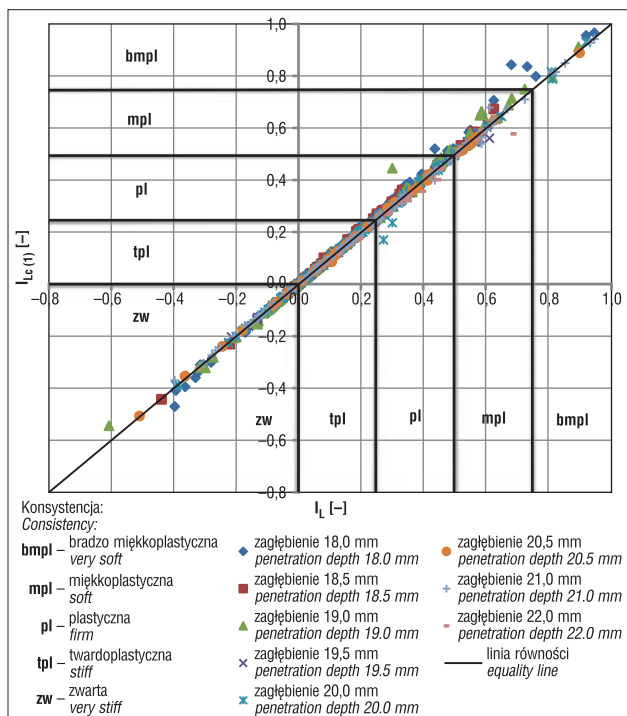
| Zagłębienie stożka Cone penetration depth [mm] | Współczynnik korelacji R^2 dla I_L na podstawie wzoru Correction factor R^2 for I_L according to equation | | Średnia bezwzględna różnica między I_L wg ST12 a I_{Lc} na podstawie wzoru Mean absolute difference between I_L according to ST12 and I_{Lc} based on the equation | | Maksymalna bezwzględna różnica między I_L wg ST12 a I_{Lc} na podstawie wzoru Maximum absolute difference between I_L according to ST12 and I_{Lc} based on the equation | |
|---|--|--------|--|------|--|------|
| | [1] | [2] | [1] | [2] | [1] | [2] |
| 18,0 | 0,9957 | 0,9980 | 0,01 | 0,01 | 0,16 | 0,06 |
| 18,5 | 0,9793 | 0,9799 | 0,01 | 0,01 | 0,29 | 0,26 |
| 19,0 | 0,9956 | 0,9964 | 0,01 | 0,01 | 0,14 | 0,13 |
| 19,5 | 0,9988 | 0,9988 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,05 |
| 20,0 | 0,9976 | 0,9976 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 |
| 20,5 | 0,9974 | 0,9964 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,02 |
| 21,0 | 0,9986 | 0,9989 | 0,01 | 0,00 | 0,07 | 0,07 |
| 21,5 | 0,9978 | 0,9879 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,03 |
| 22,0 | 0,9944 | 0,9968 | 0,01 | 0,01 | 0,11 | 0,06 |

I_L – stopień plastyczności obliczony na podstawie granicy płynności uzyskanej z metody czteropunktowej zgodnie z PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009

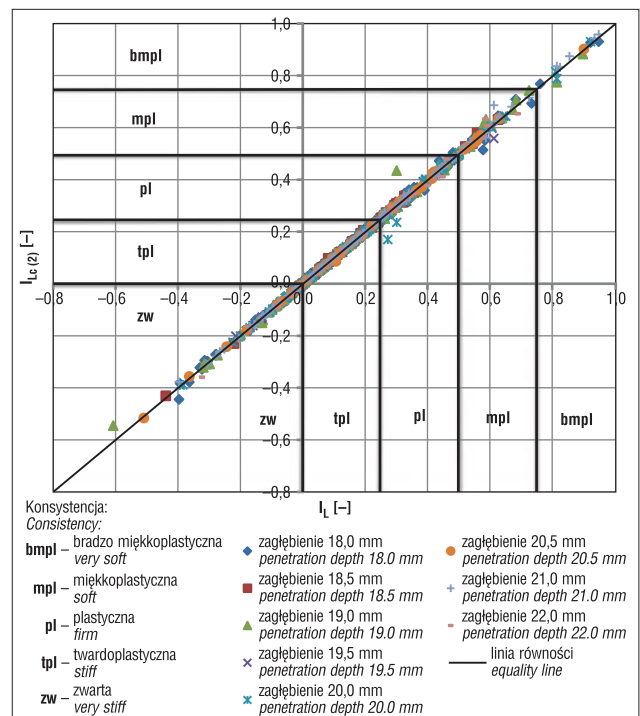
I_{Lc} – stopień plastyczności obliczony na podstawie granicy płynności uzyskanej metodą jednopunktową na podstawie wzoru

I_L – liquidity index calculated based on liquid limit by four point method according to PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009

I_{Lc} – liquidity index calculated based on liquid limit by one point method equation



Ryc. 3. Zależność między stopniem plastyczności (I_L) wg ST12 a stopniem plastyczności (I_{Lc}) obliczonym z uwzględnieniem granicy płynności oznaczonej metodą jednopunktową wg wzoru [1]
Fig. 3. Correlation between the liquidity index (I_L) according to ST12 and the liquidity index (I_{Lc}) calculated with the one-point method according to equation [1]



Ryc. 4. Zależność między stopniem plastyczności (I_L) wg ST12 a stopniem plastyczności (I_{Lc}) obliczonym z uwzględnieniem granicy płynności oznaczonej metodą jednopunktową wg wzoru [2]
Fig. 4. Correlation between the liquidity index (I_L) according to ST12 and the liquidity index (I_{Lc}) calculated with the one-point method according to equation [2]

Tab. 5. Zestawianie wyników analizy uziarnienia gruntów wraz z analizą zmian stopnia plastyczności obliczonego na podstawie granicy płynności wg wzorów metody jednopunktowej w stosunku do uzyskanej metody czteropunktowej wg ST12

Table 5. Summary of particle size distribution with the analysis of changes in liquidity index calculated based on liquid limit from one point-method in relation to four point method according to ST12

| Liczba danych Number of data points | Symbol gruntu wg Soil symbol according to PN-B-02480:1986 | Symbol gruntu wg Soil symbol according to PN-EN ISO 14688-2:2006 | Uśredniona zawartość frakcji Average fraction content [%] | | | | Średnia bezwzględna różnica między I_L wg ST12 a I_{Lc} na podstawie wzoru Mean absolute difference between I_L according to ST12 and I_{Lc} based on the equation | | Maksymalna bezwzględna różnica między I_L wg ST12 a I_{Lc} na podstawie wzoru Maximum absolute difference between I_L according to ST12 and I_{Lc} based on the equation | |
|--|---|--|--|---------|-------------|---------|---|------|---|------|
| | | | f_{z+k}^* | f_p^* | f_{π}^* | f_i^* | [1] | [2] | [1] | [2] |
| 13 | <i>Pg</i> | <i>clSa, siSa, grsiSa, grclSa</i> | 12 | 60 | 22 | 6 | 0,03 | 0,01 | 0,16 | 0,05 |
| 59 | <i>Gp</i> | <i>clSa, sasiCl</i> | 3 | 67 | 16 | 14 | 0,01 | 0,00 | 0,08 | 0,03 |
| 31 | <i>Gpz</i> | <i>sasiCl, saCl</i> | 1 | 59 | 15 | 25 | 0,01 | 0,00 | 0,04 | 0,01 |
| 18 | <i>G</i> | <i>sasiCl</i> | 6 | 42 | 37 | 15 | 0,01 | 0,01 | 0,04 | 0,03 |
| 12 | <i>Gz</i> | <i>sasiCl</i> | 5 | 31 | 39 | 25 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| 10 | <i>Gπ</i> | <i>clSi</i> | 0 | 11 | 70 | 19 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| 6 | <i>Gπz</i> | <i>clSi</i> | 0 | 11 | 65 | 25 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| 14 | <i>I</i> | <i>Cl, saCl, sasiCl</i> | 0 | 15 | 30 | 55 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,02 |
| 4 | <i>Iπ</i> | <i>Cl, siCl</i> | 0 | 4 | 55 | 39 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | <i>Π</i> | <i>saSi</i> | 0 | 28 | 67 | 5 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,01 |
| 3 | <i>Πp</i> | <i>saclSi</i> | 0 | 44 | 48 | 9 | 0,04 | 0,02 | 0,10 | 0,04 |

* wartości średnic zastępczych podane zgodnie z normą PN-B-02480:1986
the equivalent diameter values given in according to PN-B-02480:1986

stopnia plastyczności (I_{Lc}) opartego na granicy płynności określonej metodą jednopunktową wg wzorów [1] i [2].

Zmiany stanu gruntu zostały zaobserwowane w pojedynczych przypadkach w każdym z analizowanych zagłębień penetrometru stożkowego przy zastosowaniu zarówno wzoru [1], jak i [2]. Dotyczyły one głównie stopnia plastyczności będącego wartością graniczną pomiędzy poszczególnymi stanami gruntu, np. $I_L = 0,25$ (konsystencja twardoplastyczna), a $I_{Lc} = 0,26$ (konsystencja plastyczna). Jednak częściej zmiany te pojawiły się w przypadku zastosowania wzoru [1] (ryc. 3).

Zaobserwowano również, że najwięcej wyżej opisywanych zmian następowało w kierunku bardziej plastycznym. Podobny trend został stwierdzony w przypadku zmiany metodyki interpretacji granicy płynności uzyskanej na podstawie określenia granicy płynności wg PKN-CEN ISO/TS 17892-12 w stosunku do normy PN-B-04481:1988 (Jaśkiewicz, Wszędyrówny-Nast, 2013).

Na przykładzie zagłębienia stożka 18 mm sprawdzono, czy na wynik oznaczenia granicy płynności metodą jednopunktową może mieć wpływ rodzaj gruntu. W tabeli 5 przedstawiono skład granulometryczny (uśrednioną procentową zawartość poszczególnych frakcji) oraz symbol rodzaju gruntów poddanych analizie.

Największe zmiany stopnia plastyczności dla gruntów drobnoziarnistych (spoistych) zaobserwowano w przypadku gruntów mało spoistych (*Pg*, *Πp*) jednak wyniki należy powtórzyć na większej liczbie danych w celu wyeliminowania losowości zdarzenia. Mniejszy odsetek zmian stopnia plastyczności uzyskano dla wyników uzyskanych wzorem [2]. Dodatkowo dla każdego rodzaju gruntu określono również współczynnik korelacji na podstawie liniowej zależności pomiędzy granicą płynności oznaczoną metodą jednopunktową wg wzorów [1] i [2], a metodą czteropunk-

ową zgodnie z ST12. Każdy grunt cechuje się wysokim współczynnikiem R^2 . Średnio współczynnik korelacji dla obu wzorów wyniósł 0,994.

PODSUMOWANIE

W artykule przeprowadzono ocenę stosowania metody jednopunktowej z wykorzystaniem penetrometru stożkowego w celu oznaczenia granicy płynności. Analizie poddano zależności ujęte wzorem Leroueil'a i Le Bihana – [1] oraz wzorem, który zaproponowali Sherwood i Ryley (1970) oraz Nagraj i Jayadeva (1981) – [2].

Wartości uzyskiwanych granic płynności dla analizowanych równań były bardzo zbliżone, jednak najmniejszy procent zmian wartości granicy płynności i stopnia plastyczności w stosunku do metody tradycyjnej (czteropunktowej zgodnej z ST12) uzyskiwano dla wzoru [2]. Potwierdzeniem są wyniki porównujące wartości granicy płynności w kontekście danych uzyskanych metodą czteropunktową zgodną z PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009.

Przeprowadzona analiza stosowalności wzorów w zależności od rodzaju gruntu wskazuje na uniwersalność stosowania metody jednopunktowej w przypadku gruntów drobnoziarnistych (spoistych) występujących w Polsce.

Autorki dziękują dr hab. Krystynie Choma-Moryl oraz anonimowemu Recenzentowi za cenne uwagi do pierwotnej wersji artykułu. Podziękowania za wnikliwe poprawki edytorskie należą się również redaktorowi naczelnemu Przeglądu Geologicznego dr. hab. Andrzejowi Gąsiewiczowi.

LITERATURA

BS 1377: Part 2: 1990 – Methods of Tests for Soils for Civil Engineering Purposes: Classification Tests.

- CAN/BNQ 1986b – Soils-determination of liquid limit by the Casagrande apparatuses method and determination of plastic limit. Canadian Standards Association and Bureau de normalisation du Quebec, CAN/BNQ 2501-092-M86.
- ISO/DIS 17892-12 – Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil – Part 12: Determination of liquid and plastic tests, ISO/TC 182.
- HANSBO S. 1957 – A new approach to the determination of the shear strength of clay by the fall cone test. Proceedings of the Royal Swedish Geotechnical Institute, Stockholm, No.14: 7–48.
- JĄSKIEWICZ K., WSZĘDYRÓWNY-NAST M. 2013 – Wpływ metody oznaczania granic Atterberga na uzyskiwane wartości stopnia plastyczności. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, 4 (2): 113–118.
- KARLSSON R. 1977 – Consistency limits. Performance and interpretation of laboratory investigations, part 6. Swedish Council of Building Research. Sweden.
- LEFLAIVE E. 1971 – Les limites d'Atterberg et le pénétromètre à cone. *Bull. Liaison Lab. Routiers Ponts Chaussees*, 51: 123–131.
- LE ROUEIL S., LE BIHAN J.P. 1996 – Liquid limits and fall cones. *Can. Geotech. J.*, 33: 793–798.
- NAGRAJ T.S., JAYADEVA M.S. 1981 – Re-examination of one point method of liquid limit determination. *Geotechnique*, 1 (3): 413–425.
- NF P94-052-1:1995 – Soil: investigation and testing. Atterberg limit determination. Part 1: liquid limit. Cone penetrometer method.
- PKN-CEN ISO/TS 17892-4:2009 – Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 4: Oznaczanie składu granulometrycznego.
- PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009 Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 12: Oznaczenie granic Atterberga.
- PN-B-02480:1986 – Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.
- PN-B-04481:1988 – Grunty budowlane. Badanie próbek gruntu.
- PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne – Część 1: Zasady ogólne.
- PN-EN 1997-2:2009 Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne – Część 2: Badania podłoża gruntowego.
- PN-EN ISO 14688-2:2006 – Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania.
- SHERWOOD P. T., RYLEY M. D. 1970 – An investigation for a cone-penetrometer method for the determination of the liquid limit. *Geotechnique*, 20 (2): 203–208.
- SOWERS G.F., VESIC A., GRANDOLFI M. 1959 – Penetration test for liquid limit, American Society for Testing and Materials, Special Technical Publication, 254: 216–224.