

Wyznaczanie granicy płynności gruntów drobnoziarnistych na podstawie wyników badań penetrometrem stożkowym z zastosowaniem metody jednopunktowej

Determination of the liquid limit of fine grained soils on the basis of the fall cone tests results with one-point method

dr Piotr Stajszczak (ORCID: 0009-0002-4587-6463), inż. Magdalena Wesołowska (ORCID: 0009-0004-1706-6425), mgr inż. Wojciech Tymiński (ORCID: 0009-0008-5783-9436), Geoteko Projekty i Konsultacje Geotechniczne Sp. z o.o.

DOI 10.5604/01.3001.0053.7001

Streszczenie: W artykule zaproponowano wzór umożliwiający oznaczenie granicy płynności gruntów drobnoziarnistych metodą penetrometru stożkowego poprzez pomiar jednopunktowy. Wartości granicy płynności gruntów drobnoziarnistych o różnej zawartości frakcji ilowej obliczone przy zastosowaniu wzoru opracowanego przez autorów porównano z wartościami granicy płynności, które oznaczono metodą czteropunktową. Ponadto w analizach uwzględniono wzory empiryczne dedykowane dla metody jednopunktowej.

Słowa kluczowe: granica płynności, metoda jednopunktowa, metoda stożka.

Abstract: The article proposes a calculation formula enabling the determination of the liquid limit of fine-grained soils using one-point method during fall cone tests. The values of the liquid limit of fine-grained soils with a different content of clay fraction were calculated using the calculation formula proposed by authors. The results were compared with the values of the liquid limit, which were determined both by the four-points method and by using empirical formulas dedicated to the one-point method.

Keywords: liquid limit, one point method, fall cone test.

1. Wprowadzenie

Na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat opracowano wiele norm krajowych opisujących procedurę oznaczania granic konsystencji gruntów spoiwistych [1–5]. W Polsce procedury wykonywania podstawowych badań laboratoryjnych w zakresie właściwości fizycznych oraz mechanicznych gruntów do niedawna definiowała norma PN-B-04481:1988 [1] (rok wycofania 2015). Obecnie jest ona zastąpiona przez serię norm PN-EN ISO 17892, w tym przez normę PN-EN ISO 17892-12:2018-08 [6]. Niewątpliwą zaletą normy PN-EN ISO 17892-12:2018-08 [6] odróżniającą ją od normy PN-B-04481:1988 [1] jest fakt, że przy oznaczeniu granic konsystencji, obok metody pomiaru wielopunktowego, dla rekomendowanych metod badawczych dopuszcza również możliwość wykonania pomiaru jednopunktowego. Należy jednak zauważyć, że stosowanie metody pomiaru jednopunktowego wiąże się z potrzebą opracowania formuł obliczeniowych umożliwiających interpretację wykonanych pomiarów, gdyż nie są one po-

dane wprost w obowiązującej normie PN-EN ISO 17892-12:2018-08 [6].

Celem niniejszej pracy jest zaproponowanie wzoru obliczeniowego, którego zastosowanie pozwoli oznaczyć wartość granicy płynności gruntów drobnoziarnistych metodą pomiaru jednopunktowego przy użyciu penetrometru stożkowego. Z tego względu zaprojektowano oraz zrealizowano program badań laboratoryjnych z udziałem gruntów drobnoziarnistych o różnej zawartości frakcji ilowej.

2. Zastosowanie metody pomiaru jednopunktowego w oznaczeniu granicy płynności

Normy PN-EN ISO 17892-12:2018-08 [6] oraz PN-B-04481:1988 [1] rekomendują wykonanie oznaczenia granicy płynności przy zastosowaniu aparatu Casagrande'a lub penetrometru stożkowego. Idea pomiaru metodą penetrometru stożkowego w wspomnianych normach badawczych jest podobna, a występujące różnice dotyczą głównie

aspektów technicznych, takich jak: wymiar stożka zastosowanego w badaniach, pożądana głębokość zagłębienia stożka w paście gruntowej, czy też sposób interpretacji wykonanych pomiarów.

Wykonując badania granic konsystencji zgodnie z normą PN-EN ISO 17892-12:2018-08 [6], granicę płynności odczytuje się bezpośrednio z liniowej zależności, jaka występuje pomiędzy wilgotnością pasty gruntowej oraz zagłębieniem stożka [7–9]. W przypadku normy PN-B-04481:1988 [1] interpretując wyniki badań z wspomnianej zależności liniowej, odczytuje się wilgotność pasty gruntowej dla zagłębienia stożka wynoszącego 18,0 mm, a następnie odczytany wynik należy przeliczyć na właściwą wartość w_L . Dopuszczenie możliwości oznaczenia granicy płynności metodą pomiaru jednopunktowego stanowi jednak najważniejszą różnicę pomiędzy normami PN-EN ISO 17892-12:2018.08 [6] oraz PN-B-04481:1988 [1].

Zalety stosowania pomiaru jednopunktowego w oznaczeniach w_L dostrzegli autorzy normy ASTM D-4318-17 [5], która dopuszcza możliwość wykonania pomiaru jednopunktowego przy wykonywaniu badań z zastosowaniem aparatu Cassagrande'a (metoda B). Co więcej, norma ta w przeciwieństwie do normy PN-EN ISO 17892-12:2018-08 [6] zawiera również wartości współczynnika korekcyjnego, który umożliwia obliczenie granicy płynności dla liczby uderzeń miseczki o podstawę aparatu w przedziale od 20 do 30. Zdaniem autorów wartości współczynnika korekcyjnego rekomendowane w normie ASTM D-4318-17 [5] mają charakter uniwersalny i mogą być stosowane podczas oznaczeń granicy płynności tą samą metodą badawczą wg normy PN-EN ISO 17892-12:2018 [6].

W opublikowanych dotychczas dokumentach normalizacyjnych niestety nie podano konkretnych zaleceń, które dotyczyłyby interpretacji jednopunktowych oznaczeń granicy płynności metodą penetrometru stożkowego. Propozycje interpretacyjnych rozwiązań metodycznych można jednak znaleźć w literaturze, która niestety nie jest obszerna w zakresie omawianego zagadnienia [10–13].

Wzory obliczeniowe zaproponowane w literaturze przez badaczy zajmujących się jednopunktowym oznaczeniem

granicy płynności przy zastosowaniu penetrometru stożkowego przedstawiono w tabeli 1. Uwzględniają one wilgotność pasty gruntowej oraz odpowiadające jej zagłębienie stożka, co stanowi ich niewątpliwą zaletę gdyż wielkości te są mierzone w sposób bezpośredni podczas wykonywania pomiarów w laboratorium. Badania prowadzone w pracy [14] wykazały, że rozwiązania obliczeniowe zaproponowane przez wyżej wymienionych autorów mogą być z powodzeniem stosowane w badaniach gruntów drobnoziarnistych występujących na terenie Polski. Jak twierdzą autorki pracy [14], wartość granicy płynności oznaczona metodą jednopunktową, po uwzględnieniu w obliczeniach wzorów 1.1 i 1.2, względem wartości tego parametru, którą oznaczono w trakcie pomiaru wielopunktowego jest nieznaczna a udokumentowane różnice mieszczą się w przedziale od 0,2 do 0,6% [14]. Fakt ten może wskazywać na uniwersalność stosowania metody jednopunktowej w przypadku gruntów drobnoziarnistych występujących na terenie kraju. Słuszność tego stwierdzenia w odniesieniu do wzoru 1.1 potwierdziły wyniki badań, które prowadzono w pracy [15]. Nieco innego zdania jest Straż, autor pracy [16], który oznaczając granicę płynności gruntów zasobnych w materię organiczną stwierdził, że należy zachować ostrożność przy wyborze metody interpretacji wyników badań. Analizy przeprowadzone przez wspomnianego autora wskazują, że wartości wskaźnika plastyczności obliczone w oparciu o granicę płynności oznaczoną w penetrometrze stożkowym metodą jedno- oraz wielopunktową wykazują różnice od zaledwie 0,58 do nawet 13,0% [16].

3. Badania laboratoryjne

3.1. Metodyka

W celu opracowania wzoru umożliwiającego wyznaczenie granicy płynności metodą jednopunktową analizom poddano wyniki badań gruntów drobnoziarnistych o różnej zawartości frakcji ilowej. Zrealizowany program badań laboratoryjnych składał się z dwóch etapów. Obejmowały one:

Tabela 1. Wzory obliczeniowe stosowane do oznaczenia granicy płynności metodą jednopunktową w penetrometrze stożkowym

| L.p | Propozycje formuł obliczeniowych służących do jednopunktowego oznaczenia granicy płynności metodą opadającego stożka | Formuła obliczeniowa | Jednostka | Numer wzoru |
|-----|--|--|-----------|-------------|
| 1 | Leroueil S. & Le Bihan J.P (1966) | $w_{L1PKT} = \frac{40(w - 15)}{z + 20} + 15$ | [%] | 1.1 |
| 2 | Sherwood & Reyley (1970) oraz Nagraj & Jayadeva (1981) | $w_{L1PKT} = \frac{w}{0,65 + 0,0175z}$ | [%] | 1.2 |
| 3 | Federico (1983) | $w_{L1PKT} = \frac{w}{(0,102 + 0,688 \log z)}$ | [%] | 1.3 |

Objaśnienia: w – wilgotność pasty gruntowej [%], z – zagłębienie stożka w paście gruntowej [mm]

Rys. 1. Penetrometr stożkowy zastosowany w trakcie oznaczeń granicy płynności gruntów drobnoziarnistych



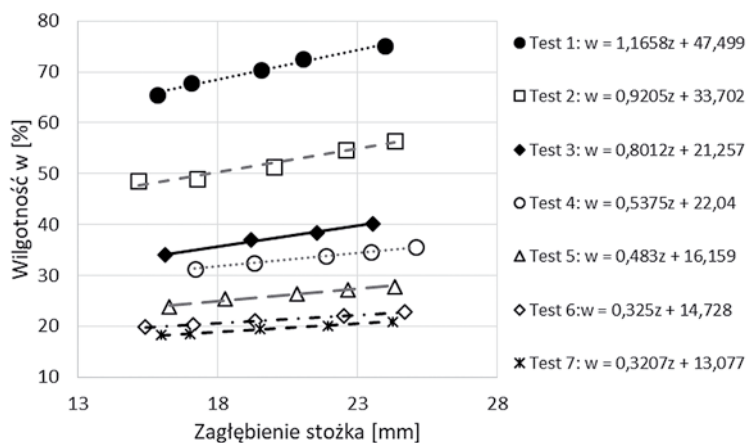
Fot. P. Stajszczak

- oznaczenie granic konsystencji oraz składu granulometrycznego badanych gruntów drobnoziarnistych. Badania te wykonano na potrzeby opracowania wzoru umożliwiającego wyznaczenie granicy płynności z zastosowaniem pomiaru jednopunktowego w penetrometrze stożkowym;
- wykonanie dodatkowych oznaczeń granic konsystencji gruntów drobnoziarnistych nie badanych w ramach etapu pierwszego. W ramach drugiego etapu badań granicę płynności oznaczono w penetrometrze stożkowym. Badania te wykonano w celu walidacji wzoru opracowanego w ramach badań własnych. Granice plastyczności oraz granice płynności badanych gruntów oznaczono zgodnie z normą PN-EN ISO 17892-12:2018 [6]. Penetrometr stożkowy zastosowany w badaniach został wyposażony w stożek typu 80g/30° (rys. 1). Oznaczenie granicy płynności przeprowadzono metodą wielo- oraz jednopunktową. Wyniki wykonanych pomiarów przy zastosowaniu metody jednopunktowej zinterpretowano, stosując wzory dedykowane dla zastosowanej metody badawczej, w tym wzór opracowany w ramach niniejszej pracy (tab. 1).
Uzupełnieniem badań granic konsystencji gruntów drobnoziarnistych było oznaczenie ich wilgotności naturalnej oraz oznaczenie zawartości frakcji ilowej. Wilgotność naturalną oznaczono zgodnie z normą PN-EN ISO 17892-1:2015 [17]. Skład granulometryczny badanych gruntów oznaczono wykonując analizę areometryczną wg zaleceń normy PN-EN ISO 17892-4:2017 [18].

3.2. Adaptacja metody jednopunktowej przy oznaczeniu granicy płynności w penetrometrze stożkowym

Sformułowanie wzoru umożliwiającego interpretację pomiarów wykonanych metodą jednopunktową w penetrometrze stożkowym było możliwe po przeanalizowaniu wyników oznaczeń granicy płynności siedmiu gruntów drobnoziarnistych. Grunty wytypowane do analiz charakteryzowały

Rys. 2. Zależność pomiędzy zagłębieniem stożka oraz wilgotnością gruntów drobnoziarnistych badanych w penetrometrze stożkowym; w – wilgotność pasty gruntowej [%], z – zagłębienie stożka w paście gruntowej [mm]



się różną plastycznością, a ich granica płynności wyznaczona na podstawie metody pomiaru czteropunktowego mieści się w przedziale od 19,5 do 70,8% (tab. 1). W trakcie przeprowadzonych analiz tok postępowania był następujący:

- w pierwszym etapie oznaczono granicę płynności gruntów drobnoziarnistych metodą pomiaru wielopunktowego. Następnie wyznaczono zestaw równań opisujących zależność pomiędzy wilgotnością, a zagłębieniem stożka w paście gruntowej (rys. 2);
- na podstawie równań opisujących zależność pomiędzy zagłębieniem stożka oraz wilgotnością pasty gruntowej z rysunku 2 obliczono wilgotność badanych gruntów przy zagłębieniu stożka równym: 10, 20 oraz 30 mm;
- następnie wyznaczono zależność pomiędzy wilgotnością poszczególnych past gruntowych obliczoną w punkcie 2, a wartościami współczynników kierunkowych (a) i wyrazów wolnych (b) funkcji liniowych opisujących relacje pomiędzy zagłębieniem stożka i wilgotnością (rys. 2). Otrzymane zależności przedstawiono na rysunkach 3a i 3b; Na tym etapie otrzymano 6 zależności opisujących zmianę nachylenia a i wyrazu wolnego b . Zależności ponownie opisano równaniami linii prostych;
- następnie przeanalizowano zależność pomiędzy zagłębieniem stożka (wynoszącym 10, 20 oraz 30 mm) a współczynnikiem kierunkowym i wyrazem wolnym z rysunku 3a – zależności przedstawiono na rysunku 4a oraz 4b;
- powyższą procedurę powtórzono dla równania funkcji liniowych z rysunku 3b – zależności przedstawiono na rysunku 4c i 4d.

Przeprowadzone analizy pozwoliły uzależnić współczynniki kierunkowe i wyrazy wolne funkcji liniowych z rysunków 3a, 3b od zagłębienia stożka.

Wykorzystując zależności przedstawione na rysunkach 4a–4d wyprowadzono równanie funkcji liniowej o ogólnej postaci:

$$w_{L1PKT} = 20a + b$$

gdzie:

a – współczynnik kierunkowy uwzględniający wzory funkcji liniowych z rysunków 4a i 4c,

Rys. 3. Zależność pomiędzy współczynnikiem kierunkowym (a) oraz wyrazem wolnym (b) a wilgotnością badanych gruntów drobnoziarnistych przy zagłębieniu stożka wynoszącym 10, 20 oraz 30 mm; w – wilgotność pasty gruntowej [%], z – zagłębienie stożka w paście gruntowej [mm]

b – wyraz wolny uwzględniający wzory funkcji liniowych z rysunków 4b i 4d, 20 – głębokość zagłębienia stożka w paście gruntowej przy wilgotności odpowiadającej granicy płynności gruntu.

Tak skonstruowane równanie umożliwia wyznaczenie granicy płynności gruntu drobnoziarnistego (wilgotności gruntu odpowiadającej zagłębieniu stożka 20 mm) dla dowolnego zagłębienia stożka oraz odpowiadającej mu wilgotności pasty gruntowej i ostatecznie przyjmuje następującą postać:

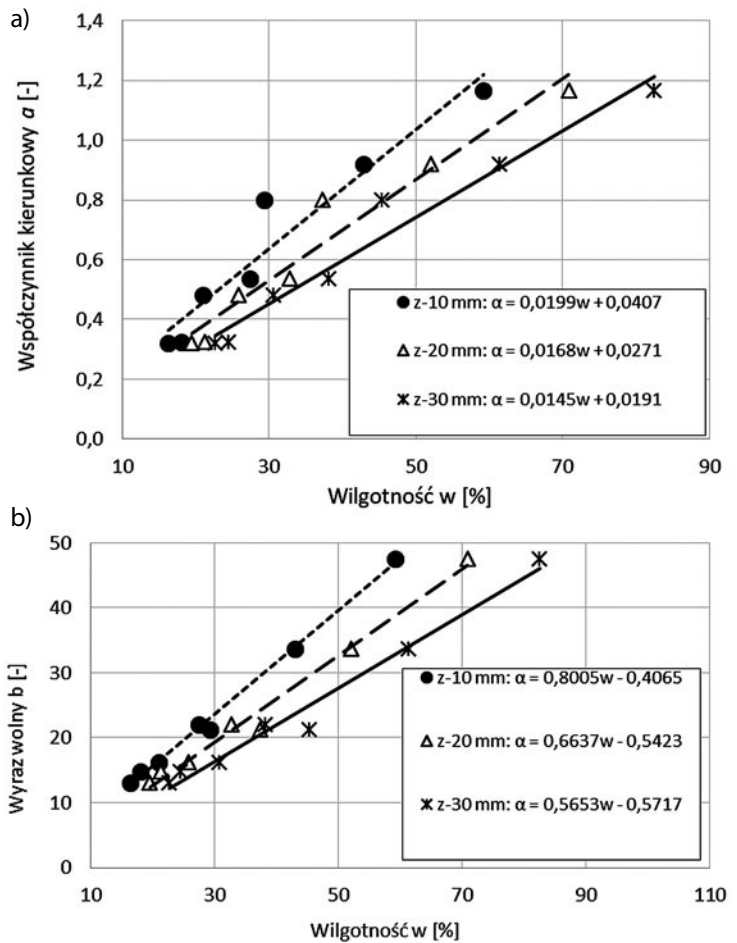
$$w_{LIPKT} = 20[(-0,0003z + 0,0225)w - (-0,0011z + 0,0506)] + (-0,0118z + 0,9117)w + (-0,0083z - 0,3416)$$

gdzie:

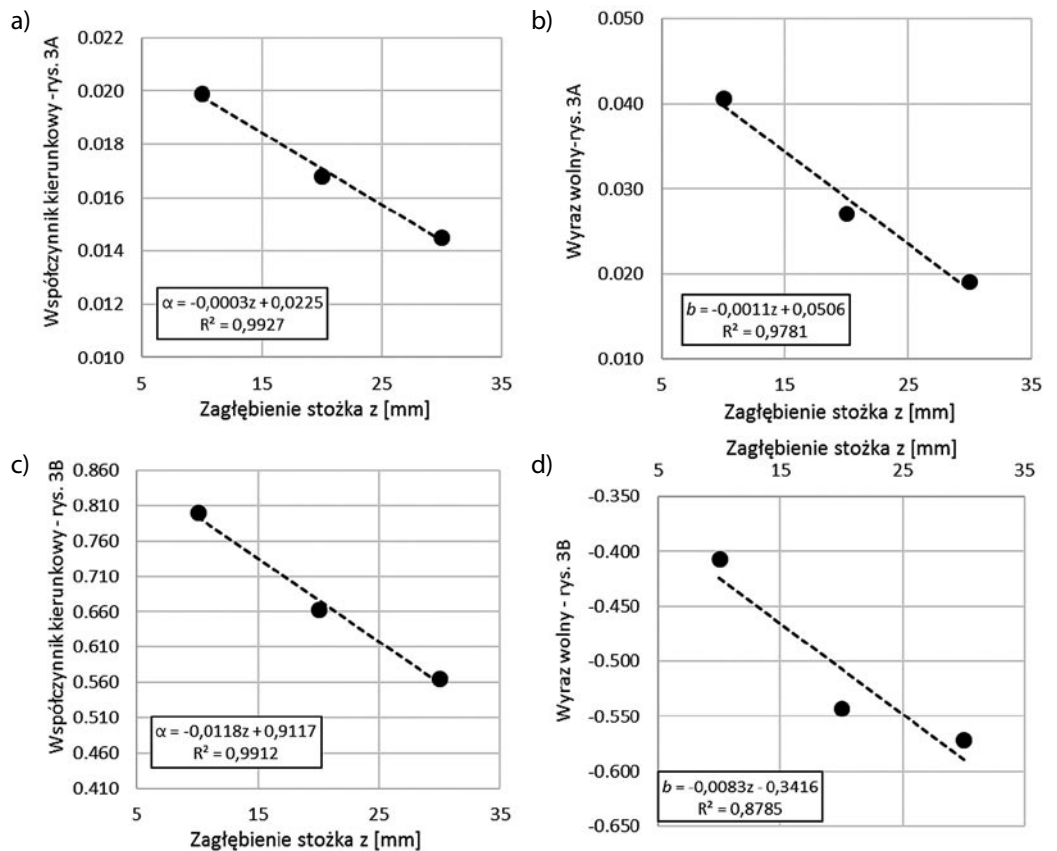
z – zagłębienie stożka [mm],

w – wilgotność gruntu [%],

20 – oznacza zagłębienie stożka na 20 mm.



Rys. 4. Zależność pomiędzy współczynnikami kierunkowymi oraz wyrazami wolnymi z rysunków 3a-3b a zagłębieniem stożka w paście gruntowej wynoszącym 10, 20 oraz 30 mm; z – zagłębienie stożka w paście gruntowej, a – współczynnik kierunkowy funkcji liniowej, b – wyraz wolny funkcji liniowej



Przekształcając powyższe równanie, otrzymano:

$$w_{L1PKT} = -0,0178zw + 1,3617w + 0,0137z + 0,6704$$

Porównanie wartości granicy płynności, które oznaczono metodą czteropunktową oraz obliczonych na podstawie przedstawionego powyżej wzoru, należy stwierdzić, że wartość granicy płynności otrzymana w sposób pośredni jest o 1,44% wyższa od wartości tego parametru, które oznaczono w sposób bezpośredni. Ze względu na to, że wzór przedstawiony powyżej jest wzorem empirycznym uproszczono go i uwzględniono różnicę 1,44% w otrzymywanych wynikach. Uproszczoną, a zarazem ostateczną postać wzoru opracowanego przez autorów w celu oznaczenia granicy płynności metodą jednopunktową w penetrometrze stożkowym można zapisać w następującej postaci:

$$w_{L1PKT} = -0,0178zw + 1,37w + 0,014z - 0,8 \quad (1.4)$$

4. Wyniki badań

4.1. Cechy fizyczne badanych gruntów drobnoziarnistych

Próbki gruntów drobnoziarnistych wytypowane do badań laboratoryjnych w ramach niniejszej pracy według klasyfikacji przyjętej w normie PN-B-04481:1988 [1] reprezentują grunty mało spoiste, średnio spoiste, zwięzłe spoiste oraz bardzo spoiste. Zawartość frakcji iltowej w badanych gruntach mieści się w zakresie od 6 do 64%, natomiast ziarna o średnicy większej niż 0,4 mm występują w ilości od 0 do 78%. Zawartość frakcji iltowej w sposób bezpośredni wpływa na oznaczone wartości granic konsystencji oraz wskaźnika plastyczności I_p . Zgodnie z oczekiwaniami

najniższe wartości granicy plastyczności oraz granicy płynności oznaczono w trakcie badań gruntów mało spoistych, natomiast najwyższe w trakcie badań gruntów bardzo spoistych (tab. 2). Na podstawie obliczonych wartości stopnia plastyczności I_L oraz wskaźnika konsystencji I_C stwierdzono, że badane próbki gruntów drobnoziarnistych występują w stanie od zwartego do miękkoplastycznego [19]. Stanom tym odpowiada konsystencja od zwartej do miękkoplastycznej i bardzo miękkoplastycznej [20].

Wartości wybranych parametrów, które definiują właściwości fizyczne ośrodka gruntowego, zostały przedstawione w tabeli 2. W wierszach 1–7 wspomnianej tabeli zamieszczono wyniki badań próbek siedmiu różnych gruntów drobnoziarnistych, na podstawie których opracowano wzór 1.4. Druga część tabeli 2 (wiersze 8–11) przedstawia podział gruntów spoistych z uwzględnieniem klasyfikacji przyjętej w normie PN-88/04481. W tej części przedstawiono zakresy wartości poszczególnych parametrów ośrodka gruntowego, które oznaczono dla próbek gruntów drobnoziarnistych badanych w celu sprawdzenia wzoru 1.4.

4.2. Wyniki oznaczeń granicy płynności metodą jedno- oraz wielopunktową

Granica płynności badanych gruntów drobnoziarnistych oznaczona w sposób bezpośredni (metoda pomiaru wielopunktowego) przyjmuje wartości w przedziale od 18,1 do 99,2%. Parametr ten obliczony przy zastosowaniu wzoru 1.4 (metoda pomiaru jednopunktowego) mieści się w zakresie od 17,5 do 101,1% i jest zbliżony do wartości w_L oznaczonej przy zastosowaniu wzorów empirycznych zaproponowanych w pracy [11]. Zakresy wartości granicy płynności badanych gruntów drobnoziarnistych oznaczo-

Tabela 2. Zestawienie parametrów opisujących właściwości fizyczne badanych gruntów drobnoziarnistych

| Lp | Materiał badawczy | Liczba zbadań próbek gruntu drobnoziarnistego | Rodzaj gruntu wg PN-88/04481 | Nazwa gruntu wg PN-86/B-02480 | Nazwa gruntu wg PN-EN ISO 14688-2:2006 | Wilgotność naturalna | Granica plastyczności | Granica płynności* | Wskaźnik plastyczności | Stożek plastyczności | Wskaźnik konsystencji | Zawartość frakcji iltowej |
|----|--|---|------------------------------|-------------------------------|--|----------------------|-----------------------|--------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|
| | | | | | | w_n [%] | w_p [%] | w_L [%] | I_p [%] | I_L [-] | I_C [-] | f_i [%] |
| 1 | Próbki badane w celu opracowania wzoru 1.4 | 7 | średnio spoisty | Gp | clSa | 11,7 | 10,2 | 19,5 | 9 | 0,16 | 0,84 | 13 |
| 2 | | | średnio spoisty | Gp | sasiCl | 12 | 11,3 | 25,8 | 15 | 0,05 | 0,95 | 19 |
| 3 | | | średnio spoisty | Gp | saCl | 14,8 | 9,6 | 21,2 | 12 | 0,45 | 0,55 | 15 |
| 4 | | | średnio spoisty | Grz | siCl | - | 21,6 | 32,8 | 11 | - | - | 12 |
| 5 | | | zwięzłe spoisty | Grz | siCl | 20,67 | 20 | 37,3 | 17 | 0,04 | 0,96 | 27 |
| 6 | | | bardzo spoisty | I | Cl | 22,7 | 22,2 | 52,1 | 30 | 0,02 | 0,98 | 52 |
| 7 | | | bardzo spoisty | I | Cl | - | - | 70,8 | - | - | - | - |
| 8 | Próbki badane w celu weryfikacji wzoru 1.4 | 6 | mało spoisty | Pg | saCl | 14.1-23.1 | 9.6-17.2 | 18.1-24.9 | 5-11 | 0.21-0.77 | 0,23-0,79 | 4-10 |
| 9 | | 10 | średnio spoisty | Gπ, G, Gp | siCl, sasiCl, saCl | 7.5-27.8 | 9.3-18.2 | 20.0-34.7 | 9-18 | -0.21-0.62 | 0,38-1,21 | 11-20 |
| 10 | | 12 | zwięzłe spoisty | Gpz, Grz, Gz | sasiCl, siCl, saCl | 8.8-18.8 | 10.0-16.4 | 20.5-46.7 | 20-30 | -0.19-0.30 | 0,7-1,19 | 22-29 |
| 11 | | 5 | bardzo spoisty | I | Cl | 20.4-47.6 | 21.4-29.9 | 45.1-99.2 | 33-69 | -0.09 - 0.00 | 1.00-1.09 | 44-64 |

*) Granica płynności oznaczona metodą wielopunktową

Tabela 3. Przedziały wartości granicy płynności gruntów drobnoziarnistych o różnej zawartości frakcji ilowej oznaczone przy użyciu penetrometru stożkowego metodą jedno- oraz wielopunktową

| L.p | Liczba zbadanych próbek gruntu | Rodzaj gruntu wg PN-88/04481 | Nazwa gruntu wg PN-86/B-02480 | Nazwa gruntu wg PN-EN ISO 14688-2:2006 | Zawartość frakcji ilowej wg PN-EN ISO 17892-4:2017-01 | Wskaźnik plastyczności | Granica płynności oznaczona metodą wielopunktową wg PN-EN ISO 17892-12:2018 | Granica płynności oznaczona metodą jednopunktową | | |
|-----|--------------------------------|------------------------------|--|--|---|------------------------|---|--|------------------------|------------------------|
| | | | | | f _i [%] | | | W _L [%] | wg wzoru 1.1 | wg wzoru 1.2 |
| | | | | | | | | W _{L1PKT} [%] | W _{L1PKT} [%] | W _{L1PKT} [%] |
| 1 | 6 | mało spoisty | Pg | saCl | 4-10 | 5-11 | 18,1-24,9 | 17,0-25,0 | 17,8-25,4 | 17,5-25,1 |
| 2 | 10 | średnio spoisty | G _T , G, G _p | siCl, sasiCl, saCl | 11-20 | 9-18 | 20,0-34,7 | 17,6-34,6 | 18,8-34,5 | 18,3-34,5 |
| 3 | 12 | zwięzły spoisty | G _{pz} , G _{tz} , G _z | sasiCl, siCl, saCl | 22-29 | 20-30 | 20,5-46,7 | 20,0-47,6 | 20,3-47,5 | 20,1-47,6 |
| 4 | 5 | bardzo spoisty | I | Cl | 44-64 | 33-69 | 45,1-99,2 | 44,5-99,6 | 44,4-100,6 | 44,2-101,1 |

ne przy zastosowaniu wzorów 1.1, 1.2 oraz 1.4 zostały przedstawione w tabeli 3. W tabeli tej uwzględniono podział gruntów spoistych ze względu na wartość wskaźnika plastyczności oraz zawartość frakcji ilowej [1].

Szeroki zakres oznaczonych wartości w_L w przypadku badanych gruntów drobnoziarnistych należy wiązać ze zróżnicowaniem zawartości frakcji ilowej w ich składzie granulometrycznym oraz różnym typem minerałów ilastych występujących w fazie stałej [22]. Różnice pomiędzy wartościami w_{Lmax} oznaczonymi w trakcie pomiarów bezpośrednich oraz pośrednich w zrealizowanym programie badań laboratoryjnych wyniosły od 0,4% (wzór 1.1) do 1,9% (wzór 1.4) (tab. 3). Przy zastosowaniu metody pomiaru jednopunktowego najniższe wartości granicy płynności otrzymano po przeprowadzeniu obliczeń według propozycji zawartych w pracy [12] (tab.3).

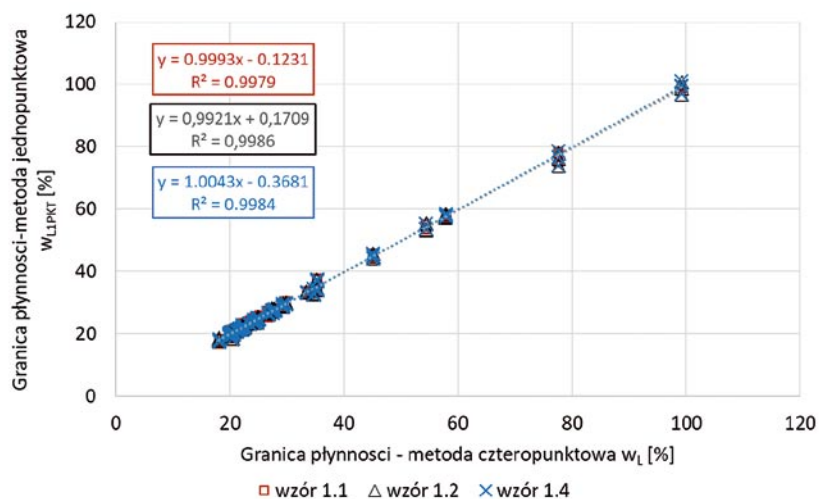
5. Dyskusja

Granica płynności gruntu drobnoziarnistego jest parametrem, którego wartość determinują cechy fizykochemiczne ośrodka gruntowego. Cechy te wyrażone są m.in. zawartością frakcji ilowej oraz rodzajem minerałów ilastych tworzących fazę stałą gruntu. Istotna jest również grubość podwójnej warstwy elektrycznej oraz rodzaj jonów wchodzących w skład kompleksu sorpcyjnego gruntu [23–24]. Przyjmując, że wymienione powyżej czynniki są niezmiennie w czasie należy oczekiwać, że wartość granicy płynności gruntu drobnoziarnistego oznaczona różnymi metodami będzie wykazywać identyczne lub bardzo zbliżone wartości.

Zestawiając wartości granicy płynności oznaczone przy zastosowaniu metody

pomiaru wielopunktowego oraz jednopunktowego, należy stwierdzić, że najwyższe różnice względem granicy płynności oznaczonej w sposób bezpośredni występują w zakresie wartości minimalnych omawianego parametru, które są charakterystyczne dla gruntów mało oraz średnio spoistych. W przeprowadzonych badaniach wynoszą one od 0,3% (wzór 1.2) do 1,1% (wzór 1.1). Przeprowadzone analizy wskazują także, że w przypadku gruntów bardzo spoistych wartość granicy płynności oznaczona metodą jednopunktową może być nieznacznie wyższa, niż ma to miejsce w trakcie badań wykonywanych metodą pomiaru wielopunktowego. Zależność pomiędzy granicą płynności oznaczoną w sposób bezpośredni (pomiar wielopunktowy) oraz granicą płynności obliczoną z zastosowaniem wzorów empirycznych (pomiar jednopunktowy) w zrealizowanym programie badań laboratoryjnych przyjmuje postać funkcji liniowej o wartości współczynnika determinacji R^2 w przedziale 0,997–0,998. Trend ten jest zgodny z wynikami badań prowadzonymi w pracy [14].

W celu dokładniejszej analizy uzyskanych wyników badań wprowadzono nowy parametr, który oznaczono symbolem R_{wL} . Parametr ten nazwano wskaźnikiem zmiany granicy płynności i wyraża on iloraz wartości granicy płynności



Rys. 5. Zależność między granicą płynności oznaczoną metodą wielopunktową oraz obliczoną wzorami dedykowanymi metodzie jednopunktowej

Rys. 6. Wartości wskaźnika zmiany granicy płynności R_{wL} przedstawione na tle wskaźnika plastyczności badanych gruntów drobnoziarnistych. Objaśnienia symboli: 1 – grunty mało spoiste, 2 – grunty średnio spoiste, 3 – grunty zwięzło spoiste, 4 – grunty bardzo spoiste.

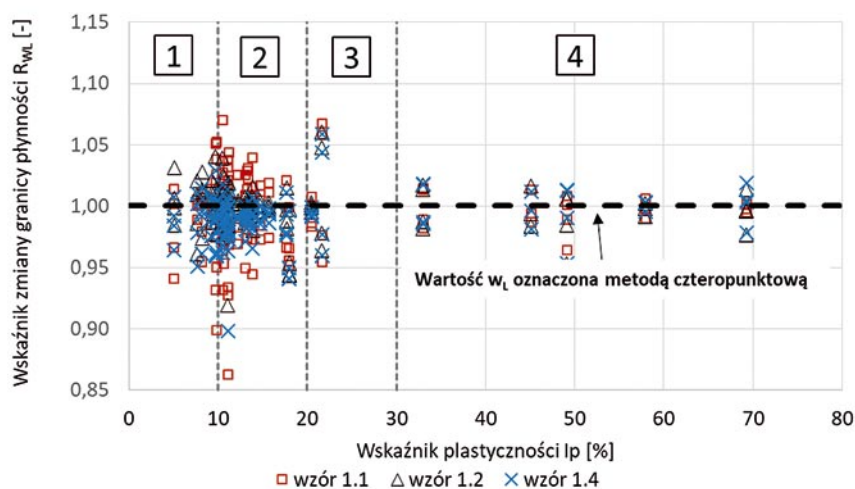
gruntu, którą oznaczono przy zastosowaniu metody pomiaru jednopunktowego oraz wielopunktowego. W przeprowadzonych analizach wskaźnik R_{wL} najszerszy zakres wartości przyjmuje dla granicy płynności, którą obliczono, stosując wzór 1.1 (R_{wL} : 0,86–1,07). Przy zastosowaniu wzoru w_{L1PKT} przedział oznaczonych wartości w_L jest najmniejszy i wynosi 0,90–1,06.

Przeprowadzone analizy wartości wskaźnika R_{wL} wskazują, że najwyższe różnice w wartościach granicy płynności, które oznaczono metodą pomiaru jednopunktowego oraz wielopunktowego będą obserwowane w badaniach gruntów mało oraz średnio spoistych (rys. 6). W przypadku badań gruntów zwięzło oraz bardzo spoistych wartości parametru R_{wL} są bliskie 1, co świadczy o bardzo dobrej zgodności wyników badań przeprowadzonych przy zastosowaniu metody pomiaru jednopunktowego oraz wielopunktowego. Znaczne oddalenie wartości parametru R_{wL} od jedności udokumentowane dla gruntów mało oraz średnio spoistych należy wytłumaczyć mniejszym, względem gruntów zwięzło oraz bardzo spoistych, udziałem minerałów ilastych w fazie stałej gruntu. Wraz ze zmniejszeniem zawartości frakcji ilowej następuje zmniejszenie hydrofilności gruntu drobnoziarnistego, a w konsekwencji przejście ze stanu miękkoplastycznego do stanu płynnego ma miejsce przy niższej wilgotności (rys. 7) [23]. Z tego względu wykonując oznaczenia granicy płynności gruntów mało oraz średnio spoistych metodą pomiaru jednopunktowego w penetrometrze stożkowym powinno się wykonać badanie w taki sposób, aby pomiar zagłębienia stożka w paśćce gruntowej był wykonany możliwie blisko wartości 20 mm.

6. Podsumowanie

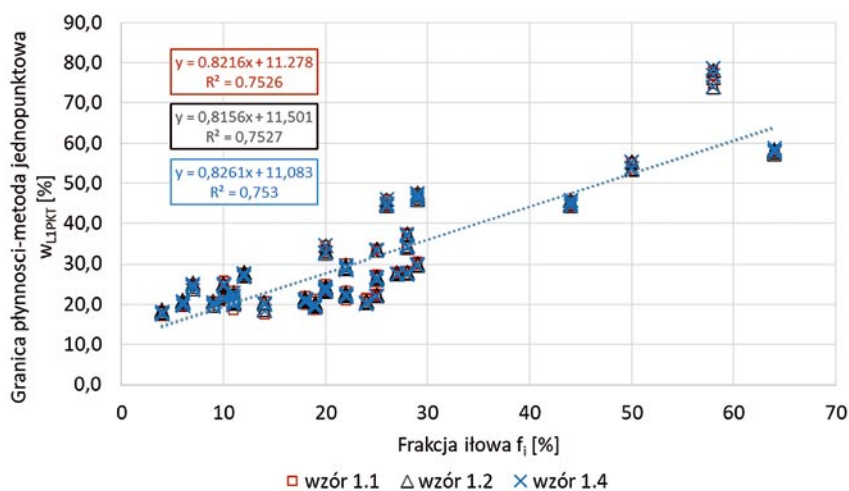
W niniejszej pracy zaproponowano wzór umożliwiający oznaczenie granicy płynności gruntów drobnoziarnistych.

Rys. 7. Zależność pomiędzy zawartością frakcji ilowej a wartością granicy płynności oznaczoną metodą pomiaru jednopunktowego



stych metodą pomiaru jednopunktowego. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań laboratoryjnych można sformułować poniższe wnioski:

- Granica płynności wyznaczona przy zastosowaniu wzoru 1.4 wykazuje wartości zbliżone do wartości tego parametru, które oznaczono metodą wielopunktową. Udokumentowane różnice wartości granicy płynności przy zastosowaniu metody jedno- oraz wielopunktowej w zrealizowanym programie badań laboratoryjnych mieszczą się w przedziale od 0,6 do 1,9%. Przy zastosowaniu wzorów 1.1 oraz 1.2 wspomniane różnice wynoszą odpowiednio 0,3–1,3% oraz 0,4–1,1%.
- W celu walidacji wzoru 1.4 wprowadzono nowy parametr, który nazwano wskaźnikiem zmiany granicy płynności R_{wL} . Parametr ten wyraża iloraz granicy płynności gruntu drobnoziarnistego, którą oznaczono metodą pomiaru jednopunktowego oraz pomiaru wielopunktowego. Parametr R_{wL} przy stosowaniu wzoru 1.4 w zrealizowanym programie badań laboratoryjnych przyjmuje wartości w przedziale 0,90–1,06. Wartości te są zbliżone do wartości tego parametru, które oznaczono poprzez wykonanie obliczeń granicy płynności według wzoru 1.1 i 1.2 (R_{wL} : 0,86–1,07).
- Przeprowadzone analizy pozwalają rekomendować opracowany w ramach niniejszej pracy wzór 1.4 jako wiarygodne



narzędzie w oznaczaniu granicy płynności gruntów drobnoziarnistych metodą pomiaru jednopunktowego w penetrometrze stożkowym. Ponadto należy stwierdzić, że wartość granicy płynności gruntów drobnoziarnistych z obszaru Polski może być oznaczana metodą jednopunktową z zastosowaniem wzorów, które zaproponowano w pracy [12].

Autorzy dziękują Recenzentom za poświęcony czas oraz rzetelną ocenę niniejszej pracy.

BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-B-04481:1988: Grunty budowlane – Badania próbek gruntu
- [2] BS 1377: Part 2, 1990: Methods of Tests for Soils for Civil Engineering Purposes: Classification Tests
- [3] NF P94-052-1, 1995: Soil, investigation and testing. Atterberg limit determination. Part 1: liquid limit. Cone penetrometer method
- [4] DIN 18 122, 1997: Soil, investigation and testing Consistency limits Part 1: Determination of liquid limit and plastic limit
- [5] ASTM D4318-17e1, 2018: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
- [6] PN-EN ISO 17892-12, 2018: Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 12: Oznaczenie granic płynności i plastyczności
- [7] Hansbo S., 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, 14, 1957, str. 7–48
- [8] Sowers G. F., Vesic A., Grandolfi M., Penetration test for liquid limit, American Society for Testing and Materials, Special Technical Publication, 254, 1959, str. 216–224
- [9] Levaife E., Les limites d'Atterberg et le pénétromètre a cone. Bull. Liaison Lab. Routiers Ponts Chaussees, 51, 1971, str. 123–131
- [10] Leroueil S., Le Bihan J. P., Liquid limits and fall canes, Canadian Geotechnical Journal 33, 1996, str. 793–798
- [11] Sherwood P. T., Ryley M. D., An investigation for a cone-penetrometer method for the determination of the liquid limit, Geotechnique 20(2)1970, str. 203–208
- [12] Nagraj T. S., Jayadeva M. S., Re-examination of one point method of liquid limit determination. Geotechnique 1 (3)1981, str. 413–425
- [13] Federico A., Relationships (Cu-w) and (Cu-δ) for remolded clayey soils at high water content, Riv. Ital. Geotec., XVII (1), 1983, str. 38–41
- [14] Jaśkiewicz K., Wszędrywny-Nast M., Ocena możliwości stosowania metody jednopunktowej z wykorzystaniem penetrometru stożkowego w celu oznaczenia granicy płynności, Przegląd Geologiczny, tom 65, 10/2, 2017
- [15] Krawczyk D., Flieger-Szymańska M., Machowiak K., Wanatowski D., Determination of liquidity index of glacial tills based on the fall cone single point methods. Proceedings of the 17th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ECSMGE) International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Reykjavik, 2019
- [16] Straż G., The effect of methodology on determining the liquid limits values of selected organic soils, Archives of Civil Engineering LXVIII, 1/2022
- [17] PN-EN ISO 17892-1, 2015: Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 1: Oznaczenie wilgotności naturalnej
- [18] PN-EN ISO 17892-4, 2017: Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 4: Badanie uziarnienia gruntów
- [19] PN-B-02480, 1986: Grunty budowlane – Określenia, symbole, podział i opis gruntów.
- [20] PN-EN ISO 14688-2:2018: Rozpoznanie i badania geotechniczne – Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów – Część 2: Zasady klasyfikowania
- [21] PN-EN ISO 14688-2:2006: Badania geotechniczne – Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów – Część 2: Zasady klasyfikowania
- [22] Stoch L., Minerale ilaste, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 1974
- [23] Myślińska E., Gruntoznawstwo, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 1977
- [24] Birdi K. S., Handbook of Surface and Colloid Chemistry, 2nd ed. CRC Press. Boca Raton/London/New York/Washington, 2003
- [25] Wesołowska M., Wpływ zawartości frakcji powyżej 0.4 mm na wartość granicy plastyczności i granicy płynności, praca inżynierska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, 2021

Mostowcy z Politechniki Warszawskiej po raz kolejny okazali się bezkonkurencyjni w ogólnopolskim konkursie wyKOMBinuj mOst

Po raz kolejny studenci z Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej zwyciężyli w konkursie organizowanym od 2008 r. przez Koło Naukowe Mechaniki Konstrukcji KOMBO z Politechniki Gdańskiej wyKOMBinuj mOst 2023.

Każda z ponad 30 drużyn uczestniczących w zawodach mogła wykorzystać dziewięć arkuszy papieru, klej, a także nożyczki, linijki, coś do pisania i odważniki. Trzyosobowe drużyny miały za zadanie wykonać jak najbardziej trwałą konstrukcję mostu, o najkorzystniejszym stosunku wytrzymałości do masy.

Ekipy z Koła Naukowego Mostowców, działającego przy Wydziale Inżynierii Lądowej, zajęły aż dwa miejsca na podium. Najlepiej w konkursie spisał się zespół PWniaczki w składzie: Jakub



Końka, Łukasz Kruk, Daniel Stefanowicz. Ich most o masie 1,309 kg wytrzymał obciążenie 3036,6 N, czyli ok. 310 kg.

Drugie miejsce zajęły Żbiki z Politechniki: Kamila Dziubak, Łukasz Porzyc, Przemysław Kruczkowski z konstrukcją o masie 1,129 kg, która uniosła ok. 230 kg.

Trzeci zespół z Koła Naukowego Mostowców – Szkoda Papieru w składzie: Iga Jaczewska,

Agata Gaj, Izabela Boruszewska zdobyła 6 miejsce, a ich konstrukcja była najlżejsza, ważyła 0,734 kg i udźwignęła ok. 109 kg.

Udział w takich konkursach jest doskonałą okazją dla studentów do weryfikacji wiedzy teoretycznej i zaprezentowania swoich umiejętności inżynierskich w praktyce.

