

Wpływ uziarnienia i granic konsystencji na klasyfikację wybranych gruntów spoistych w świetle zmieniających się kryteriów normowych

Magdalena Kowalska¹, Iwona Dudko-Pawłowska¹, Magdalena Gawlik¹



M. Kowalska



I. Dudko-
-Pawłowska



M. Gawlik

The influence of grain-size and consistency limits on the classification of selected cohesive soils in the light of the changing standard criteria. Prz. Geol., 65: 707–716.

A b s t r a c t. The paper presents classifications of seven different cohesive soils, based on seven methods suggested by the standards PN-B-02480:1994, PN-B-04481:1988 and PN-EN ISO 14688:2006. Two included macroscopic analysis, three – grain distribution and two other – Atterberg limits. The liquid limits, necessary to determine the soil type according to the Casagrande's nomogram, were assessed with the use of the Casagrande's method according to PN-B-04481:1988 and cone penetrometer test according to PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009. The latter one gave lower values, which is consistent with previous studies. The results were

additionally evaluated in terms of the activity and swelling potential of the soils. It has been concluded that macroscopic analysis classifies soils in a way similar to the one suggested in the Casagrande's nomogram, which in turn, allows estimation of physical parameters of the cohesive soils. In the Authors' opinion, these two ways of cohesive soil description are worth using; the necessity of plotting the grain size distribution curves could be limited to some doubtful cases – e.g. when the activity value of soil is required.

Keywords: classification of soils, cohesive soils, consistency limits, Casagrande's apparatus, cone penetrometer

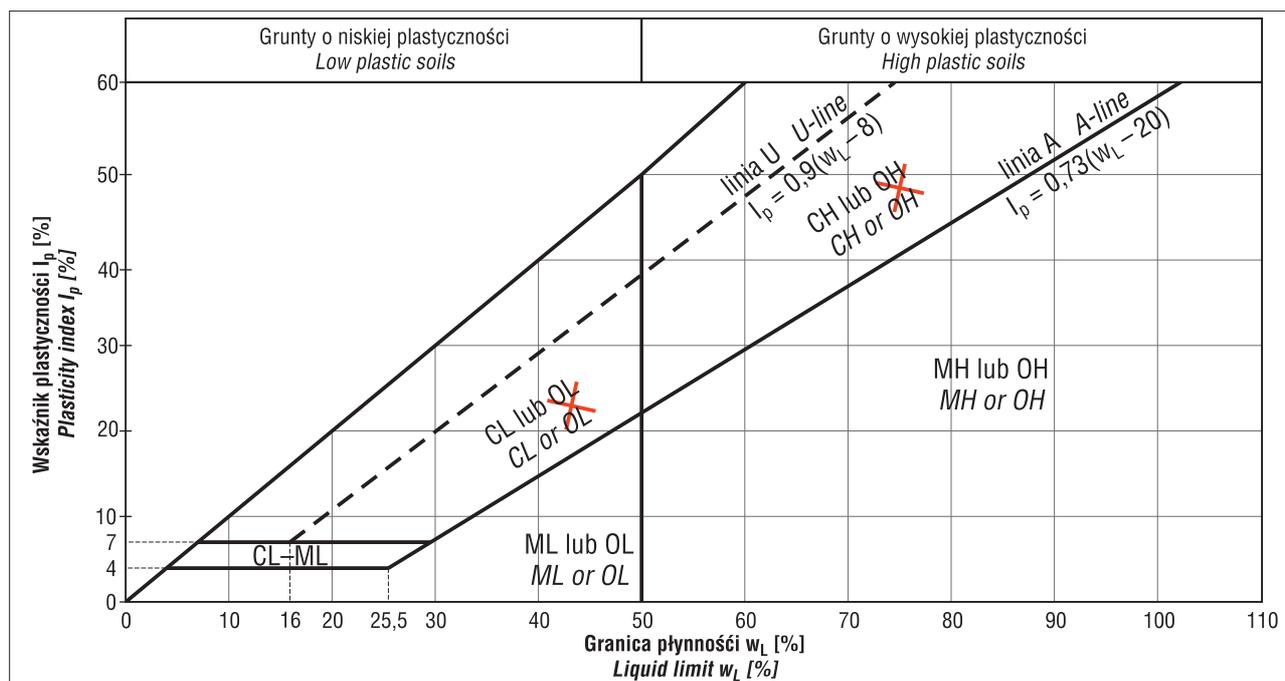
Od 2010 r. w Polsce obowiązują normy europejskie, m.in. nowa klasyfikacja gruntów (PN-EN ISO 14688:2006). Wcześniej podział gruntów był oparty na uziarnieniu (PN-B-02480:1994). W przypadku gruntów spoistych ich nazwę określano na podstawie frakcji zredukowanych i trójkąta Fereta. Tylko wówczas, gdy zawartość frakcji odpowiadała granicy pola klasyfikacyjnego, należało dodatkowo wziąć pod uwagę aktywność gruntu (A), zdefiniowaną jako ilorzec wskaźnika plastyczności (I_p) i zawartości cząstek o średnicy zastępczej $d \leq 0,002$ mm. Oznaczenia makroskopowe były skorelowane przez opisy wyglądu i zachowania próbek gruntu z nazwami zdefiniowanymi na podstawie wyników analizy granulometrycznej. Norma europejska PN-EN ISO 14688:2006 nieznacznie zmieniła granice poszczególnych frakcji oraz wprowadziła inną symbolikę i odmienny system tworzenia nazw gruntów. To uniemożliwia bezpośrednie przejście z klasyfikacji PN na klasyfikację PN-EN. Oznaczanie gruntów drobnoziarnistych (odpowiadających gruntom spoistym wg PN-B-02480:1994) bazuje aktualnie na wynikach analizy makroskopowej, a nie na uziarnieniu. Mimo to w załączniku krajowym do normy PN-EN ISO 14688:2006 znalazła się dodatkowo klasyfikacja graficzna, wykonana na podstawie składu granulometrycznego i nawiązująca w swojej formie do trójkąta Fereta. Wydaje się, że dodatek ten miał spełnić oczekiwania polskich projektantów, którzy są przyzwyczajeni do wyznaczania parametrów fizyczno-mechanicznych korelacyjną metodą B wg normy PN-B-03020:1981. Parametry mechaniczne niezbędne do projektowania fundamentów bezpośrednich można było odczytać z tabel oraz wykresów korelacyjnych na podstawie nazwy gruntu, a w przypadku gruntów spoistych – bar-

dzo ogólnie określonej grupy genetycznej oraz stanu gruntu (często określonych makroskopowo). W stosowaniu tej metody niezbędne było nawiązywanie do zasad tradycyjnego w Polsce nazewnictwa, gdzie grunty spoiste dzielono na piaski gliniaste i pyły, gliny, gliny zwięzłe oraz ily. Tymczasem Eurokod 7 nie wprowadzał „pośredniego” pojęcia glin dla gruntów o zawartości frakcji ilastej od 10 do 30%.

W Eurokodzie 7 (2008) odstępiono od podejścia korelacyjnego i zalecono oznaczanie parametrów wytrzymałościowych oraz odkształceniowych na podstawie ukierunkowanych badań laboratoryjnych lub polowych. Tym samym bardziej istotne od samego uziarnienia staje się zachowanie gruntu pod wpływem obciążenia. We wspomnianym załączniku krajowym dla gruntów drobnoziarnistych dopuszczono stosowanie międzynarodowej klasyfikacji gruntów USCS (Unified Soil Classification System), której podstawą jest wykres Casagrande'a, bazujący na wartościach granic płynności (w_L) i wskaźnika plastyczności (I_p) (ryc. 1). Klasyfikacja ta została opracowana na potrzeby budowy dróg, lotnisk, nasypów oraz posadowienia obiektów (Holtz, Kovacs, 1981) i jest powszechnie stosowana w krajach anglosaskich. Ten sposób oznaczania gruntów drobnoziarnistych dobrze obrazuje zachowanie materiału, jednak nazwy gruntów nie współgrają ani z tekstem podstawowym normy PN-EN ISO 14688:2006, ani z nazewnictwem stosowanym wcześniej.

Zgodnie z obowiązującą wersją normy PN-EN ISO 14688-2:2006 w nomogramie Casagrande'a wyróżniono tylko sześć rodzajów gruntów: ilt chudy i ilt tłusty (oznaczone odpowiednio symbolami: CL i CH), pył i pył sprężysty (ML i MH) oraz ilt organiczny i pył organiczny (OH lub

¹ Katedra Geotechniki i Dróg, Politechnika Śląska, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice; magdalena.kowalska@polsl.pl, magdalena.gawlik@polsl.pl, iwona.pawlowska@polsl.pl.



Ryc. 1. Nomogram Casagrande'a wg PN-EN ISO 14688:2006 (skorygowany)
 Fig. 1. Casagrande's nomogram in PN-EN ISO 14688:2006 (corrected)

OL). Symbole OL i OH mogą oznaczać zarówno łą, jak i pył organiczny – w normie nie podano w jaki sposób je odróżniać. Nomogram Casagrande'a w wersji przedstawionej w tej normie nie jest dokładną kopią oryginału. Zawiera bowiem kilka niezgodności. Po pierwsze – symbole CL, CH, ML i MH nie powinny być rozumiane jako czyste łąy i pyły o niskiej lub wysokiej plastyczności. Lepiej używać następującej interpretacji symboli za Casagrandem (1948) i Howardem (1977), bardziej zgodnej z zamysłem autora tej klasyfikacji:

- ML – pyły nieorganiczne, bardzo drobne piaski, mączka skalna, piaski drobne z pyłem lub łąem;
- MH – pył sprężysty, pyły lub piaski drobne mikowe lub okrzemkowe;
- CL – nieorganiczne łąy o niskiej do średniej plastyczności, łąy chude, łąy ze żwirem, piaskiem lub pyłem;
- CH – nieorganiczne łąy o wysokiej plastyczności, łąy tłuste.

Po drugie, tylko wyniki badań znajdujące się poniżej linii A (patrz ryc. 1) powinny wskazywać na grunty spoiste organiczne. Po trzecie, nie podano bardzo istotnej informacji dotyczącej odróżnienia grunty organicznych (O) od pylastych (M) – mianowicie takiej, że grunty organiczne po wysuszeniu charakteryzują się granicą płynności mniejszą niż 75% tej wartości określonej dla gruntu niesuszonego. Warto zauważyć, że dla sklasyfikowania gruntu drobnoziarnistego przy użyciu nomogramu Casagrande'a konieczne jest tylko oznaczenie granic konsystencji. Procedura klasyfikacji jest więc znacznie mniej pracochłonna niż w przypadku określania uziarnienia gruntu metodą sitową i areometryczną. Ponadto, znajomość granic konsystencji i wskaźnika plastyczności jest przydatna w szacowaniu podatności gruntu na pęcznienie i skurcz. Nomogram ten jest wykorzystywany również m.in. do badania podatności grunty spoistych na upłynnienie (np. Andrews, Martin, 2000; Boulanger, Idriss, 2006).

Podsumowując, łącznie z makroskopowym określeniem nazwy grunty, w Polsce istnieje aktualnie co najmniej kilka sposobów nazewnictwa grunty spoistych. Biorąc pod uwagę, że większość dokumentacji geotechnicznej jest nadal przygotowywana na podstawie starych zasad, a tylko część projektantów stosuje nowe klasyfikacje (głównie firmy zachodnie), konieczne jest określenie jakie różnice mogą wynikać ze stosowania różnych sposobów klasyfikacji. Dlatego celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wpływu metodyki klasyfikowania grunty spoistych na ich nazewnictwo na przykładzie badań siedmiu różnych grunty. Przy okazji zwrócono szczególną uwagę na różnice w sposobie oznaczania granicy płynności zgodnie z dwoma podejściami normowymi (wg PN-B-04481:1988 i PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009).

OZNACZANIE GRANIC KONSYSTENCJI – RÓŻNICE W PODEJŚCIACH NORMATYWYCH

Pojęcie „granice konsystencji” zostało wprowadzone na początku XX w. przez szwedzkiego chemika Alberta Atterberga w celu ilościowego opisu empirycznych właściwości mechanicznych łąów (Atterberg zajmował się badaniami łąów na potrzeby ceramiki). Przydatność tych parametrów w klasyfikacji grunty spoistych została potwierdzona przez Karla von Terzagiego, a następnie usystematyzowana przez Arthura Casagrande'a (1932).

Wyróżnia się trzy granice konsystencji: skurczalności (w_s), plastyczności (w_p) i płynności (w_L). Największe znaczenie mają dwie ostatnie, umożliwiające wyodrębnienie konsystencji plastycznej – bardzo istotnej dla prognozowania zmian zachowania grunty pod obciążeniem. Wartości granicy skurczalności, z uwagi na problemy techniczne z jej badaniem, są rzadko określane.

Sposób oznaczania granicy plastyczności (w_p) wg normy polskiej PN-B-04481:1988 i europejskiej PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009 jest podobny. Istnieją jednak róż-

Tab. 1. Różnice w oznaczaniu granicy plastyczności wg PN-B-04481:1988 i PN-CEN ISO/TS 17892-12:2009
Table 1. Differences in determination of plastic limit according to PN-88/B-04481:1988 and PN-CEN ISO/TS17892-12:2009

	PN-B-04481:1988	PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009
Przygotowanie i wielkość próbki <i>Preparation and size of the specimen</i>	wydziela się próbkę o masie ok. 50 g, doprowadza do stanu plastycznego oraz usuwa ziarna większe niż 2 mm. Można wykorzystać pastę gruntową pozostałą po oznaczeniu granicy płynności. Wykonuje się tyle wałeczków, aby ich masa wyniosła w sumie 10–14 g <i>prepare 50 g of soil, if necessary moisturize or dry it gently to achieve a plastic/firm state. Remove particles greater than 2 mm. It is allowed to use the soil paste left after determination of liquid limit. There should be so many soil threads done to obtain 10–14 g in total into 2 evaporating dishes</i>	z materiału przygotowanego do badania granicy płynności (grunt naturalny lub pasta gruntowa, niezawierające ziaren o wielkości >0,4 mm) wydziela się próbkę o masie 20 g Następnie próbkę dzieli się na osiem równych części – z każdej z nich wykonuje się jeden wałeczek <i>a sample of about 20 g shall be taken from the soil paste prepared for liquid limit test (from the soil in the natural state or soil paste with the grains coarser than 0,4 mm removed). The sample is divided into 8 equal parts and from each of them one thread is rolled</i>
Sposób wałeczkowania <i>Thread rolling method</i>	na dłoni <i>on hand</i>	na płycie <i>on a mixing plate</i>
Oznaki osiągnięcia granicy plastyczności <i>Signs of plastic limit</i>	wałeczek uległ uszkodzeniu: popękał (rozdzielił się na osobne kawałki po podniesieniu go za jeden koniec), rozwarstwił się lub rozsypał <i>the soil thread failed: cracked (got divided into separate parts after lifting by one end), sheared or crumbled</i>	wałeczek rozwarstwił się, a kawałków gruntu po pokruszeniu nie dało się zebrać w celu ponownego uformowania wałeczka <i>the thread sheared both longitudinally and transversely. The pieces of soil may not gather together after they have crumbled in order to reform a thread and to continue rolling; the first crumbling point is the plastic limit</i>

nice w metodzie przygotowania próbki, sposobie wałeczkowania, a także interpretacji momentu zniszczenia wałeczka – tabela 1.

O ile sposób oceny osiągnięcia granicy plastyczności wg normy PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009 wydaje się być jednoznaczny, o tyle wątpliwości może budzić interpretacja przedstawiona w obowiązującej do 2010 r. polskiej normie – nie jest tam dokładnie określone ile spekań wałeczka (jedno, dwa, czy więcej) należy uznać za moment zniszczenia, czy odpadnięcie samej końcówki wałeczka, co się często zdarza przy wałeczkowaniu na dłoni, oznacza już osiągnięcie granicy plastyczności.

Granica płynności wg normy PN-B-04481:1988 może być oznaczana trzema metodami: Casagrande’a, Wasiliewa lub penetrometru stożkowego, przy czym najpopularniejszą w Polsce jest ta pierwsza. W zaleceniach normy europejskiej PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009 do oznaczania granicy płynności gruntu preferuje się metodę penetrometru stożkowego, jako dającą, zdaniem wielu badaczy, bardziej jednolite wyniki. W badaniu Casagrande’a przyjmuje się, że w_L odpowiada wilgotności gruntu, przy której bruzda wykonana w paście gruntowej, umieszczonej w miseczce aparatu Casagrande’a, łączy się na długości 10 mm i wysokości 1 mm przy 25. uderzeniu miseczki o podstawę aparatu. W metodzie penetrometru stożkowego metalowy stożek o określonej masie i kącie wierzchołkowym jest ustawiany na wyrównanej powierzchni gruntu w cylindrze pomiarowym, a następnie zwalniany – dochodzi do zagłębienia stożka w gruncie pod własnym ciężarem. Granica płynności uzyskana tą metodą jest definiowana jako wilgotność, która odpowiada zagłębieniu stożka na głębokość 20 mm. Pomiar granicy płynności metodą penetrometru stożkowego jest procesem bardziej obiektywnym pod względem procedury badania. Tymczasem w metodzie Casagrande’a wpływ na oznaczenie wartości granicy płynności może mieć kilka czynników subiektywnych, które nie występują w badaniu z użyciem penetrometru, np. dokładność wykonania bruzdy, trudność w ocenie długości i wysokości zlania się bruzdy itd. Wyniki badań prezento-

wane w literaturze wskazują, że wartości granic płynności wyznaczone wyżej wymienionymi metodami różnią się od siebie, a ustalanie ścisłych zależności pomiędzy obydwoma metodami nadal jest obiektem badań (Di Matteo, 2011; Jaśkiewicz, Wszędyrówny-Nast, 2013; Matusiewicz i in., 2016). Koester (1992), przy okazji szacowania potencjału upłynnienia gruntów pylastych i ilastych, zauważył m.in., że oznaczanie granicy płynności metodą Casagrande’a daje wyniki o ok. 4% wyższe niż z użyciem penetrometru stożkowego. Podobną zależność wykazali Jaśkiewicz i Wszędyrówny-Nast (2013) oraz Matusiewicz i in. (2016).

METODYKA BADAŃ

Badania wykonano na próbkach gruntów drobnoziarnistych pochodzących z siedmiu różnych punktów opróbowania z terenu województwa śląskiego:

- próbka I-T3 (1) to czerwony ił triasowy (retyk), eksploatowany ze złoża Patoka (gmina Ciasna k. Lublińca), próbka pobrana ze składowiska kopalnianego przy cegielni firmy CRH Klinkier;
- próbki I-J2 (2) oraz I-J2 (3) pobrano z wykopów (z głębokości ok. 1,5 m p.p.t.) w ciągu nowobudowanej autostrady A1 w okolicy miejscowości Konopiska k. Częstochowy – są to jurajskie iły syderytone;
- próbka II-Qh (4) to holocenijski pył/gлина pylasta pochodzenia jeziornego z północnego obrzeża Będzina (z głębokości ok. 3 m p.p.t.);
- próbki GH-Qh (5) oraz GH-Qh (6) to gliny z domieszką substancji organicznej, pobrane w Gliwicach na terenie kampusu Politechniki Śląskiej (zachodnie obrzeże Parku im. B. Chrobrego) z głębokości ok. 2 m p.p.t.;
- próbka Gp-Qp (7) to glina piaszczysta pochodząca z Zabrze – Mikulczyc, pobrana z głębokości ok. 2 m p.p.t.

Podstawowe badania identyfikacyjne obejmowały analizę makroskopową wg norm PN-B-04481:1988 i PN-EN ISO 14688:2006 oraz analizę sitową i areometryczną, które przeprowadzono na podstawie PN-B-04481:1988. Dla gruntów o makroskopowo widocznej zawartości części

organicznych wykonano dodatkowo oznaczenie ich zawartości z użyciem metody prażenia (oznaczenie strat masy przy prażeniu) wg PN-B-04481:1988. Wyniki klasyfikacji można przedstawiać w nawiązaniu do kryteriów podziałów przyjmowanych w PN-B-02480:1994 lub w PN-EN ISO 14688:2006.

Dla każdej próbki określono granicę płynności metodą Casagrande'a (PN-B-04481:1988) oraz penetrometru stożkowego (PN-CEN ISO/TS 17892-12:2009, przy zastosowaniu stożka o masie 80 g i kącie wierzchołkowym 30°). Podstawowa różnica w przygotowaniu próbki wg normy europejskiej i polskiej to konieczność usunięcia (najlepiej ręcznego) ziaren większych niż odpowiednio 0,4 i 2 mm. O ile wyodrębnienie ziaren żwirowych jest stosunkowo łatwe (można próbkę delikatnie przetrzeć przez standardowe sito), o tyle usuwanie frakcji >0,4 mm sprawia więcej problemów i wymaga większego naruszenia struktury gruntu. Badanie w miseczce aparatu Casagrande'a wymaga zawsze przygotowania pasty gruntowej, natomiast metodą penetrometru stożkowego powinno być, w miarę możliwości, wykonywane na gruncie o nienaruszonej strukturze. Zdecydowano, że wszystkie próbki do badań będą przygotowane zgodnie z procedurą normy PN-B-04481:1988. Wydzielono zatem 300 g gruntu, zalano go wodą destylowaną i pozostawiono na 20 godzin, a następnie ostrożnie przetarto przez sito 2 mm w celu usunięcia nadziarna. Tak uzyskaną próbkę wymieszano do uzyskania jednorodnej pasty gruntowej. W przypadku gruntów zawierających domieszkę części organicznych (GH-Qh), oznaczenie granicy płynności w aparacie Casagrande'a wykonano dodatkowo na próbce wcześniej wysuszonej.

Granice plastyczności oznaczono metodą wałeczowania. Próbki przygotowano z pasty gruntowej pozostałej po badaniu granicy płynności. Wałeczowanie wykonywano na dłoni, natomiast za moment osiągnięcia granicy plastyczności przyjęto rozkruszenie się wałeczka i brak możliwości jego ponownego uformowania (zgodnie z interpretacją normy PN-CEN ISO/TS 17892-12:2009).

Na podstawie granicy płynności i plastyczności oraz zawartości frakcji ilastej, oznaczonej w wyniku analizy areometrycznej, obliczono wskaźnik plastyczności (I_p) i aktywność (A) – dla każdej próbki były to dwa wyniki, zależne od sposobu oznaczenia w_L .

WYNIKI BADAŃ

Analiza makroskopowa. Wyniki badań gruntów metodą makroskopową zestawiono w tabeli 2. Wskazują one na to, że grunty I-T3 oraz I-J2 są bardzo spoiste, GH-Qh oraz Gp-Qp – średnio spoiste, a Π-Qh – mało spoiste. Test na oznaczenie zawartości węglanów wapnia wykonano z użyciem 10% kwasu solnego. Żaden z badanych gruntów nie reagował z kwasem, grunty uznano więc za bezwapniaste wg normy PN-EN ISO 14688-2:2006.

Uziarnienie. Krzywe uziarnienia badanych gruntów przedstawiono na rycinie 2. Zestawienie zawartości frakcji w poszczególnych próbkach podano w tabeli 3, z uwzględnieniem różnic w kryterium przyjęcia granic frakcji pyłowej (Si), piaskowej (Sa) i żwirowej (Gr) wg normy PN-B-02480:1994 i PN-EN ISO 14688-1:2006. Warto zauważyć, że niewielka zawartość frakcji żwirowej sprawiała, iż frakcje zredukowane, niezbędne do sklasyfikowa-

nia gruntów na podstawie trójkąta Fereta, były praktycznie takie same jak przed korektą (w tabeli 3 podano je w nawiasie).

Zawartość części organicznych. Części organiczne występowały tylko w próbkach GH-Qh. Wartości I_{om} wynosiły 4,4–4,6%.

Granice Atterberga. Wyniki oznaczenia granic Atterberga oraz obliczone na ich podstawie wskaźniki plastyczności (I_p) i aktywności (A) umieszczono w tabeli 4.

Warto zwrócić uwagę na inne, w porównaniu z pozostałymi próbkami, zachowanie pyłu Π-Qh w trakcie badania z użyciem penetrometru stożkowego. Podczas nakładania gruntu do naczynia, grunt nie przylegał do jego ścianek, a jego powierzchnia pękała. Mimo dokładnego wyrównania górnej powierzchni próbki, co wymagało delikatnego dociskania nożem, wystawała ona z naczynia i pojawiała się na niej wilgoć (ryc. 3) – grunt „sprężynował”.

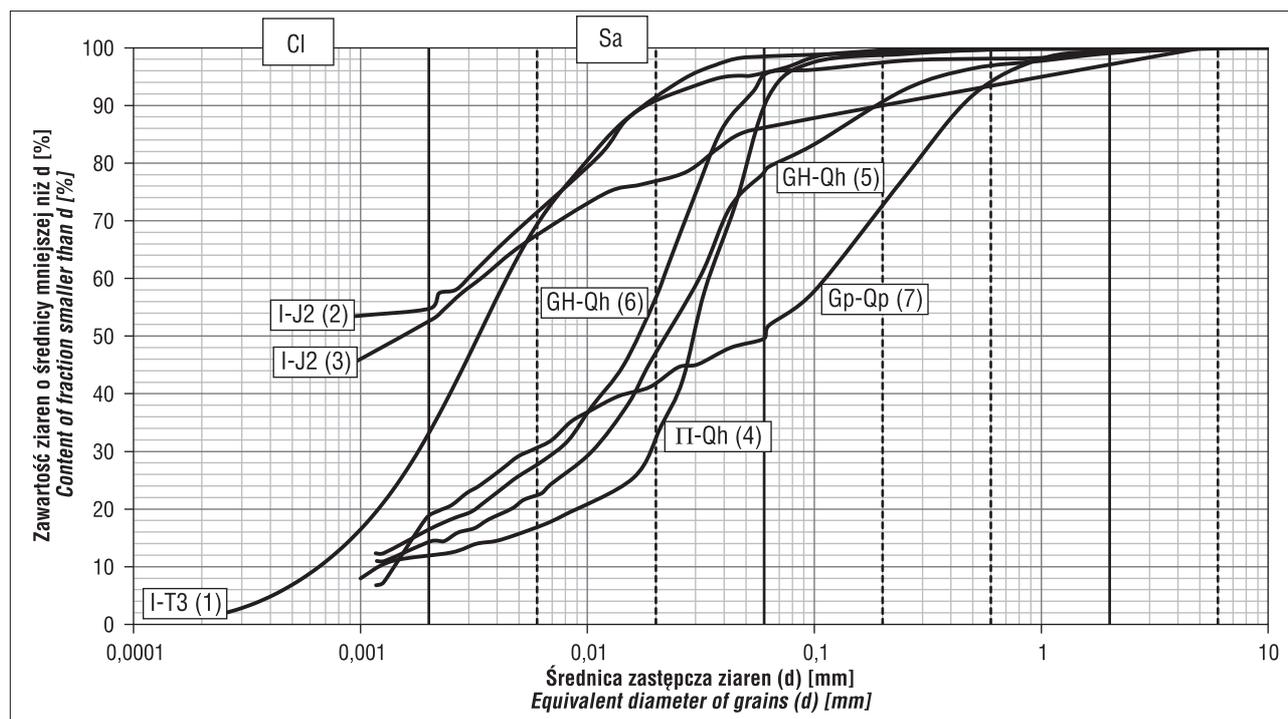
W każdym z analizowanych przypadków granica płynności oznaczona metodą Casagrande'a okazała się wyższa od oznaczanej metodą penetrometru stożkowego. Ten trend jest zgodny z wynikami otrzymanymi przez Koestera (1992), choć różnice w wartościach są zależne od rodzaju gruntu. W przypadku gruntów I-T3, I-J2 oraz Π-Qh są one nieznaczne – stanowią od 87 do 98% wartości w_L oznaczonej metodą Casagrande'a. Znacznie większe różnice można zauważyć w przypadku gruntów GH-Qh, które zawierają części organiczne, oraz Gp-Qp, który ma znacznie większą zawartość frakcji piaszczystej niż pozostałe grunty. Różne wartości granicy płynności mają wpływ na wyniki określenia aktywności wg Skempton. Próbki gruntów I-T3, I-J2 oraz Π-Qh, niezależnie od metody oznaczenia, wykazały aktywność $A < 0,75$, co pozwala zakwalifikować je jako nieaktywne (Myślińska, 2004). Natomiast pozostałe można określić jako posiadające normalną aktywność, o ile granicę płynności oznacza się metodą penetrometru stożkowego, natomiast jako aktywne – w przypadku metody Casagrande'a. Na podstawie nomogramu Van der Merwego (1964) (ryc. 4) można wnioskować o potencjalnej ekspansywności badanych gruntów. Grunty I-J2 nie będą podatne na pęcznienie, Π-Qh powinien wykazać niską ekspansję, pozostałe to grunty średnio-pęczniące, ale w przypadku Gp-Qp potencjał ekspansji może być wysoki, o ile do jej oszacowania użyje się wartości w_L z badania Casagrande'a.

KLASYFIKACJE

Na podstawie wykonanych badań dokonano klasyfikacji gruntów zgodnie z siedmioma różnymi systemami: z uwzględnieniem analizy makroskopowej (2 klasyfikacje), uziarnienia (3 propozycje tworzenia nazw i symboli gruntów) oraz granic Atterberga (2 sposoby wyznaczania granicy płynności) – tabela 5. Analizę makroskopową przeprowadzono, bazując na dwóch normach (PN-B-04481:1998 i PN-EN ISO 14688:2006). Zawartości poszczególnych frakcji wykorzystano do określania nazw gruntów na podstawie trójkąta Fereta (PN-B-02480:1994) (ryc. 5) oraz rysunku B.1 z załącznika B normy PN-EN ISO 14688:2006 (ryc. 6). Dodatkowe informacje o uziarnieniu posłużyły do nazwania gruntów wg wytycznych zawartych w tablicy B.1. (PN-EN ISO 14688:2006) – zacytowano ją z drobną korektą w tabeli 6.

Tab. 2. Wyniki badań makroskopowych wg PN-B-04481:1988 i PN-EN ISO 14688
Table 2. Macroscopic analysis results according to PN-B-04481:1988 and PN-EN ISO 14688

Symbol próbki Specimen's Symbol	Barwa Colour	Cechy szczególne Characteristic features	Według PN-B-04481:1988 According to PN-B-04481:1988		Plastyczność Plasticity	Według PN-EN ISO 14688 According to PN-EN ISO 14688		Dylatacja Dilatancy
			Zachowanie waleczka Behaviour of the thread	Zawartość piasku w trakcie rozcierania w wodzie Sand content when rubbed between fingers		Zawartość piasku, pyłu i ilu Sa, Si, Cl content	Wytrzymałość gruntu suchego Dry strength	
I-T3 (1)	czerwona red	–		Zawartość piasku w trakcie rozcierania w wodzie Sand content when rubbed between fingers	grunt przypomina mydło, przykleja się do palców – trudny do usunięcia, powierzchnia błyszcząca, wyczuwalne pojedyncze ziarna piasku feels soapy, sticks to the fingers, cannot be removed without washing, shiny cut surface, singular sand grains are detectable		Wytrzymałość gruntu suchego Dry strength	brak efektu „pocenia się”, próbki shaking and pressing have no effect
I-J2 (2)	szara grey	–	wyczuwalne pojedyncze ziarna piasku the thread cracked transversally, shiny surface	wyczuwalne pojedyncze ziarna piasku singular sand grains are detectable	próbki można waleczkować do uzyskania cienkich wąteków the sample can be rolled to thin threads			
I-J2 (3)	szara grey	–						
II-Qh (4)	szara grey	–	waleczek rozwarstwia się podłużnie, brak połysku The thread cracked longitudinally, dull surface	brak none	próbka wykazuje spoiwość, nie można wykonać waleczka 3 mm the sample shows cohesion but cannot be rolled to 3 mm dia threads	grunt jedwabisty w dotyku, cząstki łatwe do usunięcia z palców, powierzchnia matowa, brak wyczuwalnych ziaren piasku feels smooth, the dry soil particles that stick to the fingers can be easily removed, dull cut surface, no sand particles (no gritty feeling)	duża wytrzymałość gruntu suchego: gruntu wysuszonego nie można rozdrobnić pod naciskiem palców High dry strength: dry soil cannot be disintegrated between fingers – can be only broken with the use of a force	pojawia się woda na powierzchni water appears and disappears rapidly on the surface
GH-Qh (5)	ciemnobrązowa dark brown	zapach pleśni mouldy smell	waleczek pękał poprzecznie, brak połysku the thread cracked transversally, dull surface	wyczuwalne pojedyncze ziarna piasku singular sand grains are detectable	próbki można waleczkować do uzyskania cienkich wąteków the sample can be rolled to thin threads	grunt przypomina mydło, cząstki łatwe do usunięcia z palców, brak połysku, wyczuwalne pojedyncze ziarna piasku feels soapy, the dry soil particles that stick to the fingers can be easily removed, dull cut surface, singular sand particles detectable		brak efektu „pocenia się”, próbki shaking and pressing have no effect
GH-Qh (6)	ciemnobrązowa dark brown	zapach pleśni mouldy smell	waleczek pękał poprzecznie, nabierał połysku w trakcie waleczkowania the thread cracked transversally, its surface was becoming shiny during rolling					
Gp-Qp (7)	jasnobrązowa light brown	–	waleczek pękał poprzecznie, brak połysku the thread cracked transversally, dull surface	wyczuwalna duża ilość piasku many sand grains are detectable		grunt ma wyczuwalnie szorstki, przykleja się do palców – trudny do usunięcia, brak połysku, wyczuwalna duża ilość piasku feels gritty with many sand particles, sticks to the fingers, cannot be removed without washing, dull cut surface		



Ryc. 2. Krzywe uziarnienia badanych próbek (PN-B-04481:1988)

Fig. 2. Grain-size distribution (PN-B-04481:1988)

Tab. 3. Zawartość frakcji w próbkach

Table 3. Particle size distribution

Symbol próbki Specimen's symbol	Zawartość frakcji [%] wg PN-B-04481:1988* Fraction content [%] acc. to PN-B-04481:1988*				Zawartość frakcji [%] wg PN-EN ISO 14888:2006 Fraction content [%] acc. to PN-EN ISO 14888:2006			
	f _i	f _π	f _p	f _z	Cl	Si	Sa	Gr
I-T3 (1)	31 (31)	66 (66)	3 (3)	0	31	67	2	0
I-J2 (2)	54 (54)	44 (44)	2 (2)	0	54	44	2	0
I-J2 (3)	51 (52)	36 (37)	11 (11)	2	51	36	11	2
II-Qh (4)	11 (11)	69 (69)	20 (20)	0	11	81	8	0
GH-Qh (5)	14 (14)	62 (63)	23 (23)	1	14	66	20	1
GH-Qh (6)	16 (16)	75 (76)	8 (8)	1	16	80	3	1
Gp-Qp (7)	18 (18)	31 (31)	50 (51)	1	18	35	46	1

* w nawiasach podano wartości frakcji zredukowanych

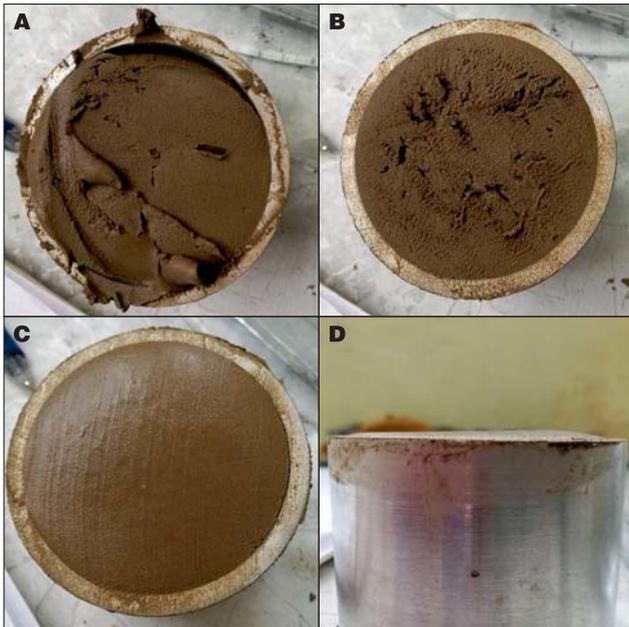
* in brackets – the values of the reduced fractions

Tab. 4. Granice Atterberga, wskaźnik plastyczności i aktywność badanych próbek

Table 4. Atterberg limits, plasticity index and activity

Symbol próbki Specimen's symbol	Granica plastyczności Plastic limit w _p [%]	Granica płynności Liquid limit w _L [%]			Wskaźnik plastyczności Plasticity index I _p [%]		Aktywność Activity A [-]	
		C	P	Różnica Difference (C – P)	C	P	C	P
I-T3 (1)	22	42	41	+1	20	19	0,65	0,61
I-J2 (2)	27	46	40	+6	19	13	0,35	0,24
I-J2 (3)	25	37	35	+2	12	10	0,24	0,20
II-Qh (4)	19	27	24	+3	8	5	0,73	0,45
GH-Qh (5)	21	45 (39)	33	+12 (+6)	24	12	1,71	0,86
GH-Qh (6)	21	48 (48)	36	+12 (+12)	27	15	1,69	0,94
Gp-Qp (7)	15	42	30	+12	27	15	1,50	0,83

C – metoda Casagrande'a (w nawiasie podano w_L gruntu po wysuszeniu), P – metoda penetrometru stożkowegoC – Casagrande's method (in the brackets – w_L of soil after drying), P – cone penetrometer method

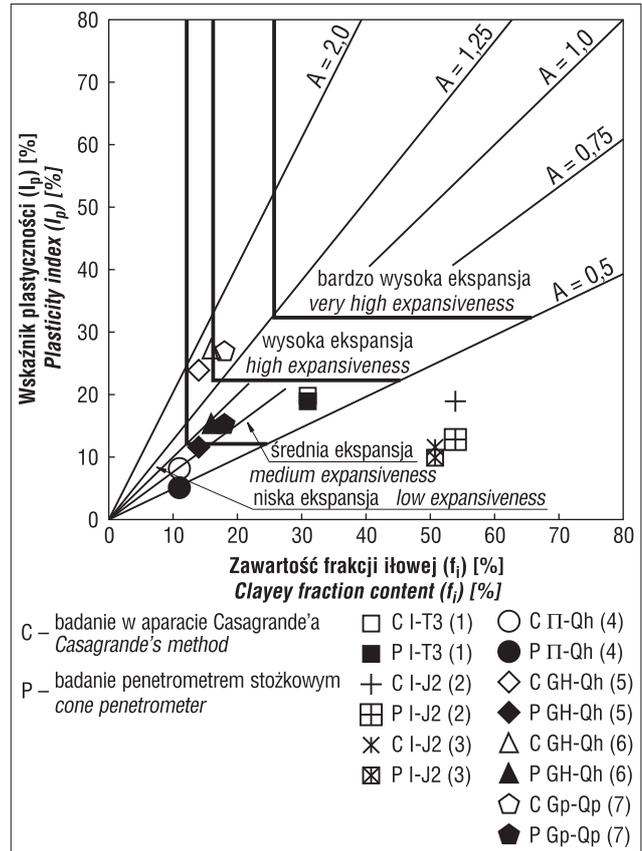


Ryc. 3. Zachowanie próbki pyłu (nr 4): **A** – odstawanie gruntu od powierzchni naczynia, **B** – pęknięcie powierzchni, **C** – wilgoć na wyrównanej powierzchni, **D** – wystawanie gruntu z naczynia
Fig. 3. Behaviour of the silty specimen No. 4: **A** – sticking out from the container’s wall, **B** – cracks on the surface, **C** – moisture on the surface, **D** – specimen protruding above the container

W załączniku krajowym NA do normy PN-EN ISO 14688-1:2006 zaproponowano dwa sposoby klasyfikacji: rysunek NA.1 (jest to właściwie wspomniany wyżej rysunek B.1. z drobną poprawką), a w przypadku gruntów spoiстых – również wykres Casagrande’a (rysunek NA.2). Ten ostatni został wykorzystany jako kolejna metoda klasyfikacyjna, przy czym podano po dwie interpretacje dla każdego gruntu, z uwagi na dwa sposoby oznaczania granicy płynności (ryc. 7). Nomogram Casagrande’a na rycinie 7 uzupełniono o informacje na temat plastyczności i podatności na pęcznienie (za Grabowską-Olszewską, 1996) oraz o rozkład trzech głównych grup minerałów ilastych (za Arnoldem, 1984).

Tab. 5. Klasyfikacja badanych gruntów według różnych metod
Table 5. Classification of the tested soils according to different methods

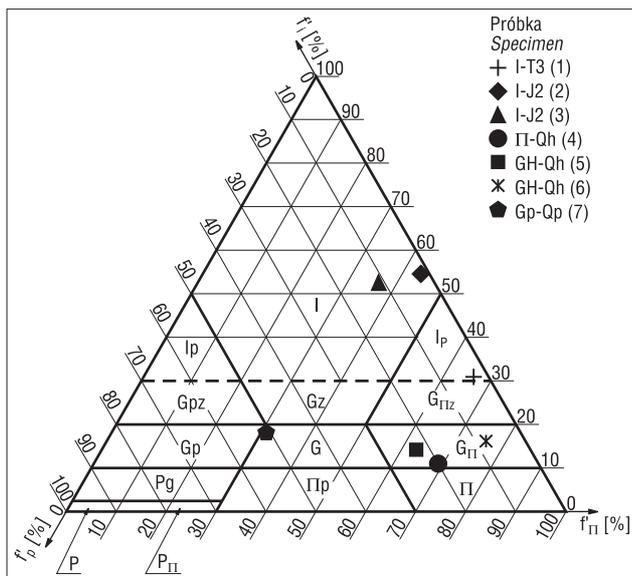
Symbol Próbki Specimen’s symbol	Analiza makroskopowa Macroscopic analysis		Uziarnienie Grain-size distribution			Granice konsystencji Consistency limits		
	wg / acc to. PN-B-04481:1988	wg / acc. to PN-EN ISO 14688-1, 2	PN-B-02480:1994 (trójkąt Fereta) Feret’s triangle	PN-EN ISO Tab. / Table B.1.	PN-EN ISO Ryc. / Fig. NA.1	PN-EN ISO wykres Casagrande’a Casagrande’s nomogram		
						metoda Casagrande’a Casagrande’s method	penetrometr stożkowy cone penetrometer	
I-T3 (1)	I	Cl	Iπ	il z pyłem clay with silt	siCl	CL	CL	
I-J2 (2)			I	il clay	Cl	CL/ML	ML	
I-J2 (3)						ML		
II-Qh (4)	II	clSi	Gπ	pył z ilem silt with clay	ClSi	CL	CL-ML	
GH-Qh (5)	GH	(or) ciCl	GπH				CL	CL
GH-Qh (6)	GzH							
Gp-Qp (7)	Gp	sasiCl	G	piasek / pył z ilem sand / silt with clay	sasiCl		CL	



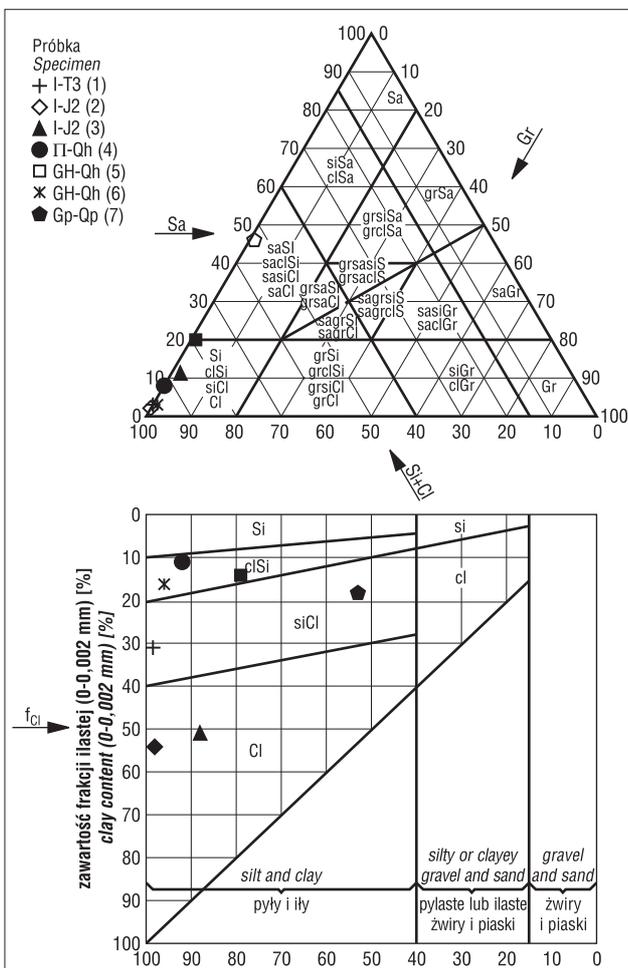
Ryc. 4. Potencjalna ekspansywność badanych gruntów wg nomogramu Van der Merwe (1964)
Fig. 4. Potential expansiveness nomogram according to Van der Merwe (1964)

Analiza makroskopowa na podstawie procedur normy polskiej i europejskiej dała bardzo podobne wyniki, ale trzeba pamiętać o tym, że symbol Cl wg normy PN-EN ISO 14688:2006 można uznać zarówno za il, jak i glinę lub glinę związłą.

Nazwy gruntów określone na podstawie uziarnienia wg tablicy B.1 oraz rysunku NA.1 (PN-EN ISO 14688:2006) są zbieżne. Wyjątkiem jest grunt Gp-Qp – jego klasyfikacja



Ryc. 5. Klasyfikacja badanych gruntów wg PN-B-02480:1994
 Fig. 5. Classification of the tested soils based on PN-B-02480:1994



Ryc. 6. Klasyfikacja badanych gruntów wg rysunku NA.1 z normy PN-EN ISO 14688:2006
 Fig. 6. Classification of the tested soils based on Figure NA.1 in PN-EN ISO 14688:2006

na podstawie tablicy B.1 jest dwuznaczna – zawartość frakcji piaskowej >40% kwalifikuje ją jako piasek (Sa), z kolei sumaryczna zawartość frakcji pyłowej i iłowej wskazuje na pył z iłem (clSi). Można stąd wywnioskować,

że ten sposób klasyfikacji uniemożliwia jednoznaczne nazwanie gruntu spoistego z dużą zawartością frakcji piaskowej. Porównując klasyfikacje gruntów na podstawie uziarnienia wg normy PN i PN-EN, można zauważyć, że tylko w przypadku próbek I-T3 oraz I-J2, czyli tych które zawierają dużo frakcji ilastej, uzyskano takie same wyniki. Grunty II-Qh i GH-Qh zawierają tylko 10–20% frakcji ilastej, natomiast dużo więcej frakcji pylastej, dlatego słuszne wydaje się zakwalifikowanie ich do pyłów z domieszką iłu – tak jak proponuje norma europejska. Stąd wniosek, że grunty oznaczane jako gliny pylaste (Gπ) wg normy polskiej odpowiadają w klasyfikacji europejskiej gruntem o symbolu clSi, a nie, jak mogłoby się wydawać, siCl. W przypadku, gdy suma frakcji ilastej i pylastej jest większa niż 40%, a zawartość frakcji piaskowej mieści się w przedziale 30–50%, tak jak w przypadku Gp-Qp, grunt możemy oznaczyć jako mieszaninę trzech frakcji: sasiCl lub saclSi.

Analizując wykres Casagrande’a (ryc. 7), można zauważyć, że wyniki granicy płynności opracowane na podstawie badania penetrometrem stożkowym są przesunięte w stosunku do wyników uzyskanych z użyciem aparatu Casagrande’a, w kierunku mniejszych wartości granic płynności (w_L) i wskaźników plastyczności (I_p) (tabela 4). Warto zauważyć, że odległości obu punktów od linii A i U pozostają praktycznie niezmiennie. Mimo to, wg normy PN-EN ISO nazwy analizowanych gruntów spoistych są niezależne od metody oznaczania granicy płynności. Wszystkie próbki mieszczą się w zakresie gruntów o niskiej plastyczności.

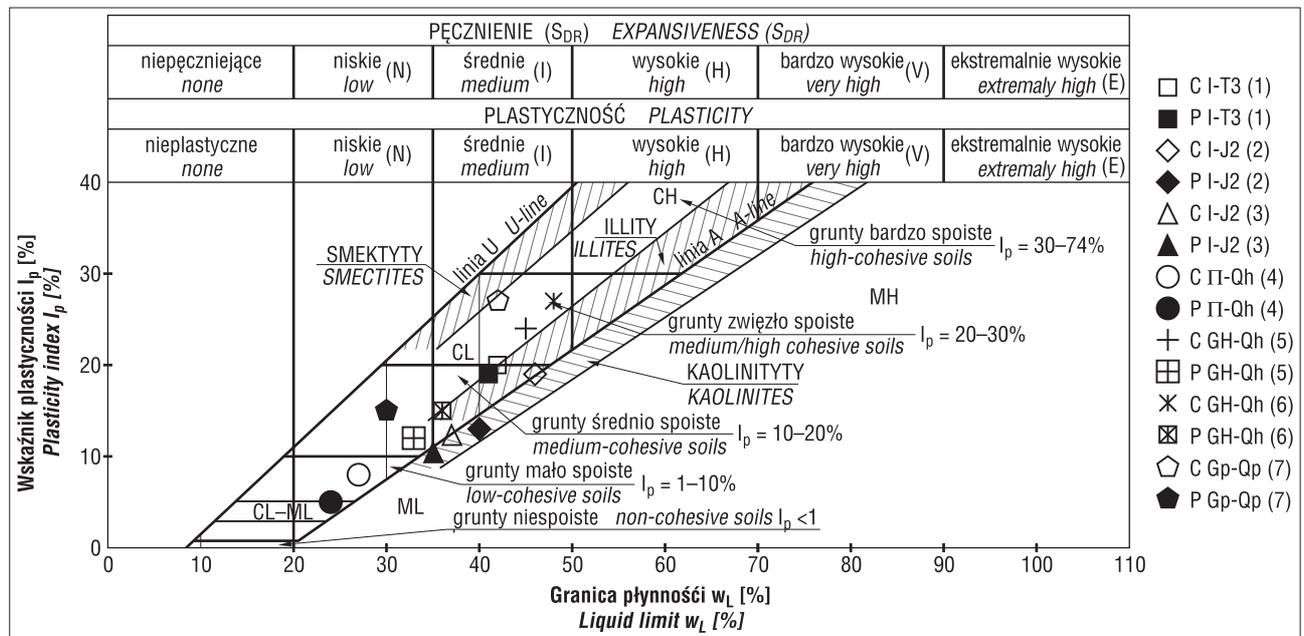
Klasyfikacja zbadanych gruntów na podstawie granic konsystencji dała w większości przypadków wyniki podobne do uzyskanych na podstawie analizy makroskopowej i uziarnienia. Żaden z gruntów nie został określony jako organiczny. Rozbieżności występują dla próbek gruntów I-J2, które na podstawie analizy makroskopowej i uziarnienia zakwalifikowano jednoznacznie jako iły. Tymczasem ich granica płynności i wskaźnik plastyczności wskazują na zachowanie bardziej zbliżone do pyłów. Również modyfikacja wykresu Casagrande’a autorstwa Grabowskiej-Olszewskiej (1996) (ryc. 6) sugeruje dla tych gruntów spoistość mniejszą, niż to wynika z analizy makroskopowej. Według Arnolda (1984), można w tym przypadku wywnioskować, że grunty te zawierają przede wszystkim minerały ilaste z grupy kaolinitu, podczas gdy w pozostałych dominują prawdopodobnie illity (patrz ryc. 6). Potwierdzeniem tego faktu są zdecydowanie niższe wartości aktywności gruntów I-J2.

Studując wyniki granic płynności i wskaźników plastyczności z uwzględnieniem propozycji Grabowskiej-Olszewskiej (1996), zauważono, że oznaczenie granicy płynności penetrometrem stożkowym może skutkować określeniem niższej spoistości (GH-Qh oraz Gp-Qp), niższej plastyczności oraz mniejszej podatności na pęcznienie – (GH-Qh (5) i Gp-Qp (7)) – niż w przypadku badania z użyciem aparatu Casagrande’a. Zgodnie z tą metodą można wnioskować, że grunty I-J2 nie będą wykazywały tendencji do pęcznienia, natomiast pozostałe mają niską lub średnią podatność na pęcznienie. Te szacunki potwierdzają wnioski wysunięte na podstawie nomogramu Van der Merwego (1964) (ryc. 3).

Tab. 6. Orientacyjna zawartość poszczególnych frakcji do podziału gruntów mineralnych (skorygowana tablica B.1 z normy PN-EN ISO 14688-2:2006)

Table 6. Guiding values for the division of mineral soils on the basis of the contents of various fractions (Table B.1 from PN-EN ISO 14688-2:2006, modified)

Frakcja Fraction	Zawartość frakcji w masie próbki ≤63 mm Content of fraction in the soil mass ≤63 mm [%]	Zawartość frakcji ≤0,002 mm we frakcji ≤0,063 mm Content of fraction ≤0.002 mm within the fraction ≤0.063 mm [%]	Nazwa gruntu Name of soil	
			Rozszerzona Modifying term	Podstawowa Main term
Żwirowa f_{Gr} Gravelly f_{Gr}	20–40		ze żwirem with gravel	
	>40			żwir gravel
Piaskowa f_{Sa} Sandy f_{Sa}	20–40		z piaskiem with sand	
	>40			piasek sand
Pyłowa i ilowa łącznie Silty + clayey f_{Si+Cl}	5–15	<20	z małą ilością pyłu with small amount of silt	
		≥20	z małą ilością pyłu with small amount of silt	
	15–40	<20	z pyłem with silt	
		≥20	z iłem with clay	
	>40	<10		pył silt
		10–20	z iłem with clay	pył silt
		20–40	z pyłem with silt	ił clay
		>40		ił clay



Ryc. 7. Klasyfikacja badanych gruntów wg rysunku NA.2 z normy PN-EN ISO 14688:2006. Nomogram Casagrande'a z uwzględnieniem modyfikacji Arnolda (1984) oraz Grabowskiej-Olszewskiej (1996)

Fig. 7. Classification of the tested soils based on Figure NA.2 in PN-EN ISO 14688:2006. Casagrande's chart with modifications by Arnold (1984) and Grabowska-Olszewska (1996)

PODSUMOWANIE

Z porównania wyników klasyfikacji wybranych zróżnicowanych granulometrycznie i genetycznie próbek gruntów spoistych wynika, że klasyfikowanie gruntów na podstawie analizy makroskopowej wg przyjmowanych tradycyjnie kryteriów PN oraz zasad Eurokodu daje bardzo podobne wyniki. Natomiast nazwy gruntów określone na podstawie uziarnienia wg norm PN-B i PN-EN są takie same tylko w przypadku gruntów o dużej zawartości frakcji ilastej. W pozostałych przypadkach występują rozbieżności, wynikające z nowej symboliki gruntów oraz zmiany granic poszczególnych frakcji wprowadzonych przez normę PN-EN ISO 14688: 2006. Analiza wyników umieszczonych na wykresie Casagrande'a wykazała, że nazwy gruntów spoistych były niezależne od metody oznaczania granicy płynności, pomimo że wartości granicy płynności oznaczonej metodą Casagrande'a (PN-B-04481:1988) były wyższe od tych oznaczonych metodą penetrometru stożkowego (PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009). Oznaczenie granicy płynności penetrometrem stożkowym może jednak skutkować określeniem niższej spoistości i plastyczności oraz mniejszej podatności na pęcznienie niż w przypadku badania z użyciem aparatu Casagrande'a. Porównując wyniki badań, można wysnuć wniosek, że czasochłonne oznaczanie uziarnienia gruntu wydaje się mało efektywną metodą klasyfikacji. Analiza makroskopowa oraz granice konsystencji pozwalają nie tylko w wiarygodny sposób określić nazwę gruntu, ale przede wszystkim dają wgląd w fizyczne zachowanie gruntów – pomagają oszacować potencjał pęcznienia, czy zgrubnie określić rodzaj minerałów ilastych. W opinii Autorek, klasyfikacja PN-B oraz trójkąt Fereta powinien w Polsce odejść do lamusa. Aktualne i przyszłe pokolenia studentów powinny być kształcone na podstawie instrukcji ISO – jest to jedyna droga do tego, żeby metody i nazewnictwo europejskie przestało być nazywane „nowym”. W końcu od jego wprowadzenia minie niedługo 15 lat. Nie jest to jednak możliwe dopóki inne normy (geotechniczne, budowlane, drogowe) nie zostaną w pełni zsynchronizowane z normą ISO. Nawet po pełnym wprowadzeniu norm ISO znajomość klasyfikacji gruntów wg normy PN-B będzie konieczna w zakresie niezbędnym do odczytywania dokumentacji archiwalnych.

Autorki pragną serdecznie podziękować recenzentom: prof. Urszuli Kołodziejczyk oraz prof. Pawłowi Dobakowi za podjęty trud życzliwego opiniowania niniejszego artykułu. Ich uwagi pozwoliły na jego znaczne udoskonalenie.

LITERATURA

- ANDREWS D.C.A., MARTIN G.R. 2000 – Criteria for liquefaction of silty soils. Proc., 12th World Conf. on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand.
- ARNOLD M. 1984 – The genesis, mineralogy and identification of expansive soils. 5th Int. Conf. "On Expansive Soils, Adelaide.
- BOULANGER R.W., IDRIS I.M. 2006 – Liquefaction Susceptibility Criteria for Silts and Clays. J. Geotech. Geoenviron. Engineer., 132 (11): 1413–1426.
- CASAGRANDE A. 1932 – Research on the Atterberg Limits of Soils. Public Roads 12.
- CASAGRANDE A. 1948 – Laboratory Classification of Soils – Unified Soil Classification System. U.S. Bureau of Reclamation, Denver.
- DI MATTEO L. 2011 – Liquid limit of low – to medium – plasticity soils: comparison between Casagrande cup and cone penetrometer test. Bul. Engineer. Geol. Environ., 71: 79–85.
- GRABOWSKA-OLSZEWSKA B. 1996 – Zmodyfikowany nomogram Casagrande'a i jego zastosowanie do oceny plastyczności i pęcznienia gruntów spoistych. Inż. Bud., 2 (96): 122–124.
- HOLTZ R.D., KOVACS W.D. 1981 – An Introduction to Geotechnical Engineering. Prentice-Hall.
- HOWARD A.K. 1977 – Laboratory classification of soils – Unified Soil Classification System. Earth Sciences Training Manual No. 4, U.S. Bureau of Reclamation, Denver.
- JĄSKIEWICZ K., WSZĘDYRÓWNY-NAST. M. 2013 – Wpływ metody oznaczania granic Atterberga na uzyskiwane wartości stopnia plastyczności. Bud. Inż. Środ., 4 (2): 113–118.
- KOESTER J. 1992 – The Influence of Test Procedure on Correlation of Atterberg Limits with Liquefaction in Fine-Grained Soils. Geotech. Test. J., 15 (4): 352–361.
- MATUSIEWICZ W., LECHOWICZ Z., WRZESIŃSKI G. 2016 – Wyznaczanie granicy płynności metodą Casagrandego i penetrometrem stożkowym. Prz. Nauk. Inż. Środ., 25 (3): 290–300.
- MYŚLIŃSKA E. 2004 – Mała encyklopedia gruntoznawstwa. Bel Studio Sp. z o.o.
- PN-B-03020:1981 – Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- PN-B-02480:1994 – Grunty budowlane – Określenia, symbole, podział i opis gruntów.
- PN-B-04481:1988 – Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.
- PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009 – Badania geotechniczne – Badania laboratoryjne gruntów – Część 12: Oznaczanie granic Atterberga.
- PN-EN 1997-1:2008 – Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- PN-EN ISO 14688-1:2006 – Badania geotechniczne – Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów – Część 1: Oznaczanie i opis.
- PN-EN ISO 14688-2:2006 – Badania geotechniczne – Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów – Część 2: Zasady klasyfikowania.
- VAN DER MERWE D.H. 1964 – The prediction of heave from the plasticity index and percentage clay fraction of soils. Trans. S. Afr. Inst. Civ. Eng., 6 (6): 103–107.