

## Jaką klasyfikację gruntów powinniśmy stosować w Polsce po przyjęciu normy Eurokod 7?

Waldemar St. Szajna<sup>1</sup>



**Which soil classification system should be used in Poland after Eurocode 7 adoption?** Prz. Geol., 64: 113–121.

*Abstract.* The paper contributes to a discussion referring to soil classification which should be used in Poland for geotechnical design after Eurocode 7 was adopted. The paper points out that ISO 14688-2 standard does not provide a complete soil classification system, but it merely formulates guidelines for a country to prepare the national classification. The author analysed the role of soil classification in geotechnics. The subsequent chapters include: requirements for desirable features for a “good” soil classification, principles for a classification resulting from the state of the art in soil mechanics, the characteristics of several systems and standards of soil classification used in various countries with reference to the classification previously used in Poland. Finally, the author presents the proposals referring to a system which should be applied in our country.

**Keywords:** soil classification system, ISO 14688-2, geotechnical design, soil classification criteria

W ostatnich kilkunastu latach polscy geotechnicy i geodzy inżynierscy stają przed nowymi wyzwaniami. Realizowane są duże lub nietypowe inwestycje (autostrady, metro, wysokościewce, elektrownie wiatrowe), na szeroką skalę są stosowane zachodnie technologie geotechniczne (np. technologie bezwykopowe, technologie wzmacniania gruntów), jest sprowadzana aparatura do badań podłoża (np. SCPTU, SDMT, MASW) oraz rozwija się współpraca międzynarodowa. Nowoczesne technologie geotechniczne muszą być dostosowane do aktualnych warunków geotechnicznych. Także interpretacja wyników badań podłoża wymaga już na wstępie określenia rodzaju gruntu, a więc zastosowania konkretnego systemu klasyfikacji gruntów. Różnorodność kategoryzacji gruntów w poszczególnych krajach utrudnia realizację powyższych zadań.

Przyjęcie w Polsce normy Eurokod 7 w latach 2008–2009 oznaczało konieczność dostosowania krajowych przepisów i procedur projektowych, a także norm, do których odwołuje się Eurokod, do wymogów ujednoliconego europejskiego systemu. Główne wyzwania dotyczyły:

- wprowadzenia nowej metodyki oznaczania i opisu gruntów oraz zasad klasyfikacji;
- wprowadzenia w Eurokodzie 7 nowych modeli obliczeniowych oraz dużej ilości nowych terminów i parametrów (wiele z nich, mimo że w innych krajach były powszechnie wykorzystywane, nie jest omawiana w polskojęzycznych podręcznikach mechaniki gruntów);
- zwiększenia odpowiedzialności projektantów za stosowane modele obliczeniowe (niemal wszystkie formuły matematyczne znajdują się w załącznikach informacyjnych norm, co oznacza, że stosuje się je na własną odpowiedzialność i należy znać założenia, przy których można je wykorzystywać).

Pomimo ukazujących się publikacji, ilość polskojęzycznej literatury wyjaśniającej nowe terminy i uzasadniającej ich stosowanie jest niewystarczająca. Niedomagania te powodują, że cały system nowych norm jest niechętnie stosowany, a zawarte w nich wymagania są traktowane nie jako wyraz racjonalnego projektowania, lecz jak zbędne i niezrozumiałe utrudnienia. Wiele wątpliwości wywołuje nowa

norma klasyfikacji gruntów i jej jest poświęcona zasadnicza część artykułu.

Przed rozpoczęciem szczegółowej dyskusji warto uświadomić sobie, czemu służy klasyfikowanie obiektów. Każda klasyfikacja jest podziałem analizowanych obiektów na grupy (klasy) o zbliżonych cechach, którym są nadawane nazwy identyfikujące grupę. Dzięki temu, przywołując nazwę grupy, wiemy jakie będą spodziewane cechy obiektu danej klasy. W tym procesie dobór kryterium klasyfikacji odgrywa zasadniczą rolę. W projektowaniu inżynierskim grunt jest traktowany na ogół jako materiał konstrukcyjny, na który będą przekazywane obciążenia obiektu. Zadaniem projektanta w geotechnice jest najczęściej ocena reakcji gruntu na powstające w nim zmiany stanu naprężenia wywołane budowlą (fundamentem, nasypem czy wykopem), co w podejściu fenomenologicznym oznacza konieczność określenia sztywności i wytrzymałości gruntu. Wobec powyższego kryteria klasyfikacji powinny być dobrane tak, żeby ułatwić ocenę spodziewanych zachowań mechanicznych gruntu wywołanych zmianami obciążenia. Oznacza to również, że normy służące do klasyfikacji gruntu na potrzeby geotechniki nie funkcjonują samodzielnie, lecz spełniają rolę pomocniczą w stosunku do norm projektowania geotechnicznego.

W artykule są dyskutowane kolejno następujące zagadnienia:

- dlaczego należało opracować i wprowadzić nową, klasyfikację gruntów?
- jakie są pożądane cechy dobrej klasyfikacji gruntów?
- jakie przesłanki do klasyfikacji wynikają z rozwoju mechaniki gruntów?
- jak powyższe cechy i przesłanki są realizowane w kilku wybranych systemach klasyfikacji gruntów?
- który z tych systemów warto zastosować w Polsce?

### HISTORIA NORMY ISO

W 2006 r. została wprowadzona w Polsce dwuczęściowa norma PN-EN ISO 14688 – Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Zawartość poszcze-

<sup>1</sup> Instytut Budownictwa, Uniwersytet Zielonogórski, ul. Prof. Z. Szafrana 1, 65-516 Zielona Góra; W.Szajna@ib.uz.zgora.pl.

gólnych części oddają ich podtytuły: część 1 – Oznaczenie i opis – oraz część 2 – Zasady klasyfikowania. Norma ta jest tłumaczeniem normy europejskiej EN ISO 14688, o analogicznym tytule i podtytułach, uzupełnionym o opracowany przez Polski Komitet Normalizacyjny załącznik krajowy. Przyjęta norma PN-EN 1997 Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne – w części drugiej w punkcie 5.5.1(1) narzuca konieczność klasyfikowania, oznaczania i opisu gruntów zgodnie z powyższą normą EN ISO. Norma EN ISO zastępuje normę PN-B-02480:1986 – Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów, która była stosowana z ówczesnymi normami projektowania, w tym z normą PN-B-03020:1981 – Posadowienie bezpośrednio budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie. W celu łatwiejszego odwoływania się do przytoczonych pięciu norm będą stosowane następujące skróty: PN-ISO w miejsce PN-EN ISO 14688, ISO zamiast EN ISO 14688, EC 7 w miejsce Eurokod 7, PN-86 = PN-B-02480:1986 i PN-81 = PN-B-03020:1981.

Historia tworzenia normy ISO w skrócie przebiegała w następujący sposób. W 1982 r., w celu opracowania norm w dziedzinie badań geotechnicznych, Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (ISO) we współpracy z Europejskim Komitetem Normalizacyjnym (CEN) powołały współdziałające ze sobą komitety techniczne – odpowiednio komitet techniczny ISO/TC 182/SC 1 *Geotechnical Investigation and Testing*, oraz komitet techniczny CEN/TC 341 *Geotechnical Investigation and Testing*. Przed komitetem ISO/TC postawiono następujące zadania (Eitner & Stölben, 2004)<sup>2</sup>:

- 1) opracowanie klasyfikacji gruntów i skał,
- 2) ujednoczenie terminologii – standaryzacja terminów i definicji,
- 3) ujednoczenie symboli stosowanych w obliczeniach,
- 4) ujednoczenie symboli graficznych stosowanych w dokumentacjach.

Norma ISO została przygotowana w dwóch częściach. Komitet opracował normę ISO 14688-1 dotyczącą oznaczania i opisu gruntów. Ta część bazuje na badaniach makroskopowych. Ze względu na brak kompromisu wśród członków komitetu (Polska nie miała w tym komitecie przedstawiciela), nie osiągnięto podstawowego celu i w normie ISO 14688-2 nie przedstawiono klasyfikacji gruntów (Eitner & Stölben, 2004). Udało się jedynie uzgodnić ujednoczone zasady klasyfikowania. Szczegółowe klasyfikacje obowiązujące w poszczególnych państwach, zgodne z wytycznymi miały być opracowane przez krajowe komitety normalizacyjne.

Wg Eitnera i Stölbena (2004) ujednoczone zasady klasyfikowania są oparte na trzech elementach:

- charakterystyce uziarnienia,
- charakterystyce plastyczności,
- zawartości części organicznych.

Powyższe kryteria tworzą tak szerokie ramy klasyfikowania, że nie wynika z nich żaden konkretny podział gruntów, gdyż niemalże wszystkie metody klasyfikacji korzystają w jakimś zakresie z trzech wymienionych elementów.

Norma PN-ISO, a w szczególności załącznik krajowy, zostały wydane niestarannie, co spowodowało konieczność wprowadzania kolejnych poprawek. Porównanie norm

PN-ISO oraz PN-86 zaprezentowano w pracy Gołębiewskiej i Wudzkiej (2006), zaś szeroką krytykę zarówno części merytorycznej, jak i tłumaczenia, zawiera artykuł Gołębiewskiej (2011). Przedstawiono w nim m.in. ostrożną krytykę tzw. „krajowego trójkąta ISO”. Trójkąt ten, zamieszczony w załączniku o statusie informacyjnym, miał stanowić podstawę do klasyfikacji gruntów w Polsce. W czerwcu 2010 r. wydano krótką poprawkę usuwającą niespójność logiczną tłumaczenia na język polski tabeli zawierającej nazwy konsystencji pyłów i ilów (granica płynności  $w_L$  niczego nie rozgraniczała, po obu jej stronach występowała konsystencja płynna). W listopadzie 2012 r. ukazała się kolejna poprawka do normy PN-ISO. Do zasadniczych zmian należy zaliczyć uzupełnienie i przebudowanie załącznika krajowego, z którego usunięto kontrowersyjny „krajowego trójkąta ISO”, wprowadzając w to miejsce trójkąt i diagram, służące do klasyfikacji gruntów opartej tylko na uziarnieniu (trójkąt ten i związany z nim diagram w międzynarodowej normie ISO były zawarte w części 2, w załączniku informacyjnym B). Zasadniczą zmianą jest także wprowadzenie wykresu plastyczności Casagrande’a, służącego do klasyfikacji gruntów drobnoziarnistych wg USCS – *Unified Soil Classification System* (ASTM D 2487, 2006).

Zaktualizowany w 2012 r. załącznik krajowy normy PN-ISO w części drugiej zawiera obecnie dwie metodyki klasyfikowania gruntów. Pierwsza (zał. NA.8) dotyczy podziału gruboziarnistych i drobnoziarnistych gruntów mineralnych (żwirów, piasków, pyłów, ilów i wszelkich ich kombinacji) oraz opiera się wyłącznie na analizie granulometrycznej. Druga (zał. NA.9) odnosi się do drobnoziarnistych gruntów mineralnych oraz organicznych i bazuje na granicach konsystencji Atterberga naniesionych na wykres plastyczności Casagrande’a. Oznacza to, że w celu wykonania podziału drobnoziarnistych gruntów mineralnych dopuszcza się stosowanie alternatywnie jednej z metod, z których pierwsza operuje symbolami gruntów takimi jakie wprowadzono w części 1 normy, druga zaś nowymi, słabo wyjaśnionymi symbolami. Należy wyrazić obawę, że taka propozycja nie przekona środowiska inżynierów i geologów do stosowania normy PN-ISO. W załączniku A części 2 normy stwierdzono ponadto, że „oczekuje się opracowania klasyfikacji określających granice ilościowe lub zasady kategoryzacji”, co do chwili obecnej nie zostało zrealizowane. Należy oczekiwać, że konieczne będą kolejne zmiany załączników normy. Warto przedyskutować, jak one powinny wyglądać.

## POŻĄDANE CECHY KLASYFIKACJI GRUNTÓW

Klasyfikacja gruntów do celów projektowania geotechnicznego, powinna być podporządkowana zasadom tego projektowania, dlatego winna spełniać następujące postulaty:

1. Mieć podstawy naukowe i uwzględniać współczesny stan wiedzy z mechaniki gruntów.
2. Kryteria podziału muszą być dobrane tak, żeby cechy wyprowadzone na podstawie tych kryteriów miały zasadnicze, a nie pomocnicze znaczenie w projektowaniu.

<sup>2</sup> Drugi z autorów cytowanej pracy był do 2009 r. przewodniczącym komitetu ISO/TC 162/SC 1.

3. Powinna wyodrębnić ograniczoną liczbę klas gruntów o zbliżonych zachowaniach mechanicznych i precyzyjnie je wydzielać.

4. Metodyka klasyfikowania powinna być stosunkowo prosta i pozbawiona elementów subiektywnej oceny.

5. Powinna mieć akceptację środowiska specjalistów, którzy ją stosują.

6. Powinna stanowić język komunikacji specjalistów z dziedziny.

Dwa pierwsze postulaty mają znaczenie zasadnicze dla merytorycznej poprawności modelu projektowego i będą rozwinięte w kolejnym rozdziale. Postulat trzeci i czwarty są o charakterze technicznym, gdyż klasyfikacja musi przystawać do możliwości badawczych i poziomu wiedzy kadry zaangażowanej w badania i projektowanie. Klasyfikacja nie może być subiektywna. Musi także być praktyczna w tym sensie, żeby nakład pracy na klasyfikowanie gruntów, nie był większy niż na bezpośrednie wyznaczenie parametrów potrzebnych w projektowaniu. Piąty postulat jest społeczny. Jeżeli środowisko geotechników i geologów inżynierskich ma zaakceptować przyjętą klasyfikację, to powinno być przekonane o celowości jej stosowania. Po spełnieniu pierwszych pięciu postulatów, gdy ma się przekonanie, że system jest efektywny, klasyfikacja może stać się językiem komunikacji specjalistów z dziedziny geotechniki. W takim przypadku, podając nazwę gruntu, można się domyślać jakie będą jego spodziewane cechy, a także jaki model obliczeniowy będzie wykorzystany w analizie podłoża, a co za tym idzie, jakie parametry należy wyznaczyć i jaką metodykę badawczą należy do tego celu zastosować.

#### PRZESŁANKI DO KLASYFIKACJI WYNIKAJĄ Z ROZWOJU MECHANIKI GRUNTÓW

Zgodnie z dwoma pierwszymi postulatami przedstawionymi w poprzednim rozdziale, klasyfikacja powinna być zgodna z aktualnym stanem wiedzy o mechanice gruntów, a cechy wyprowadzone na podstawie kryteriów klasyfikacji powinny mieć zasadnicze znaczenie dla projektantów. Niemożliwe jest przedstawienie nawet na kilku stronach stanu wiedzy geotechnicznej, warto jednak być świadomym obiektywnych trudności opisu skomplikowanych zachowań gruntu i dwoistości tego opisu. Z jednej strony grunt jest opisywany jako wielofazowy, rozdrobiony, niejednorodny ośrodek porowaty, powstający w warunkach naturalnych, który w procesie obciążenia zmienia porowatość, a pękanie i poślizgi ziaren mają charakter nieodwracalny. Z drugiej strony w modelach obliczeniowych grunt jest traktowany jako ośrodek ciągły, w którym powstają naprężenia i odkształcenia, a jego opis fenomenologiczny charakteryzuje się dużą liczbą parametrów o zmiennych wartościach. Klasyfikacja gruntów ogranicza się do ośrodków dwufazowych. W projektowaniu geotechnicznym grunt jest traktowany jak materiał konstrukcyjny, który przejmuje obciążenia generowane przez budowle, ale który także generuje obciążenia konstrukcji. Wobec powyższego, podobnie jak dla wszystkich innych materiałów konstrukcyjnych, do celów projektowych należy znać jego wytrzymałość i sztywność. Znajomość wytrzy-

małości gruntu umożliwia określenie nośności podłoża projektowanych obiektów, zaś informacje o jego sztywności pozwalają na oszacowanie przewidywanych deformacji. Problem jednak polega na tym, że ani wytrzymałość, ani też sztywność nie są stałymi cechami materiałowymi.

Wytrzymałość gruntu nie zależy wyłącznie od cech samego gruntu, opisanych parametrami fizycznymi, ale także od stanu naprężeń efektywnych, czyli od zmiennych stanu. Naprężenia efektywne są powiązane z ciśnieniem porowym. W przypadku ośrodka nasyconego wodą zmiany porowatości wywołane obciążeniem powodują jej przepływ lub zmianę ciśnienia. Oznacza to, że trzecią zasadniczą cechą gruntu, poza wytrzymałością i sztywnością, są jego zdolności filtracyjne.

Zdaniem Atkinsona (2007) w projektowaniu geotechnicznym jednym z pierwszych zadań, przed którym stoi projektant, jest określenie zdolności filtracyjnych gruntu w stosunku do prędkości zmian obciążenia budowli, czyli ustalenie, która z sytuacji projektowych będzie determinowała zachowanie podłoża – sytuacja obciążenia w warunkach z drenażem czy też bez drenażu. Od powyższej decyzji zależy wybór modelu wytrzymałości gruntów (Coulomb-Mohra lub Treski), modelu obliczeniowego nośności podłoża, a także metodyki określenia parametrów wytrzymałości ( $\phi$  , a niekiedy także  $c$  lub alternatywnie do nich  $c_u$ ). Przy typowych prędkościach zmian obciążenia podłoża gruntowego, model z drenażem stosuje się dla wzorcowych gruntów gruboziarnistych, czyli żwirów i piasków, w których, ze względu na dobre zdolności filtracyjne, przyrosty obciążenia nie generują zmian ciśnienia porowego. Model bez drenażu stosuje się zwykle dla wzorcowych gruntów drobnoziarnistych, czyli iłów. W tym przypadku, zależnie od stopnia prekonsolidacji, obciążenia mogą powodować zarówno nadciśnienia, jak i podciśnienia porowe.

Powyższe grunty nazwano wzorcowymi (*textbook soil*) w tym sensie, że teorie mechaniki gruntów były tworzone na podstawie badań głównie tych materiałów. Teorię stanu krytycznego, sprzęgającą zmiany naprężeń normalnych i stycznych z dylatacją i kontrakcją oraz prekonsolidacją, opisującą początkowo jedynie zachowanie iłów (Schofield & Wroth, 1968), udało się następnie przystosować do opisu piasków (Been & Jefferies, 1985). Wydawało się także, że pozostałe grunty o pośrednich frakcjach (pomiędzy piaskami i iłami) również będą podlegały tej teorii. Tak jednak nie jest.

Poważnym problemem jest przyjęcie modelu obliczeniowego dla gruntów pośrednich lub gruntów o mieszanym uziarnieniu (*transitional soil, intermediate grading soil, non-textbook soil*). Zalicza się do nich żwiry lub piaski zawierające frakcje pyłowe bądź iłowe, a także pyły i gliny. Nawet niewielka, kilkunastoprocentowa zawartość minerałów iłowych o dużej powierzchni właściwej w gruntach gruboziarnistych, może w znaczny sposób zmienić warunki przepływu wody. Grunty pośrednie mogą charakteryzować się:

- pośrednimi warunkami drenażu pomiędzy gruntami drobnoziarnistymi i gruboziarnistymi,
- niepełnym nasyceniem porów wodą,
- scementowaniem ziaren lub cząstek, wynikającym często z niepełnej saturacji,
- dużym wpływem struktury<sup>3</sup> wewnętrznej na sztywność i wytrzymałość.

<sup>3</sup> Struktura rozumiana jest jako układ i powiązania składników gruntu (ang. *fabric + bonding*) (Lambe & Whitman, 1977).



Powyższe cechy silnie rzutują na ich zachowania mechaniczne. Grunty te powinny być wyodrębnione w klasyfikacji w osobną grupę.

W gruntach pośrednich istotna jest nie tylko ilość frakcji iłowej, ale także rodzaj minerału iłowego. Skempton (1953) wykazał, że dobrą miarą zawartości frakcji iłowej  $f_i$  w gruncie, uwzględniającą jednocześnie rodzaju minerału, jest wskaźnik plastyczności  $I_p$ . Opisuje to zaproponowana przez niego relacja  $I_p = A_c \cdot f_i$ , w której  $A_c$  jest aktywnością koloidalną. Duża wartość  $I_p$  może oznaczać dużą zawartość iłu bądź zawartość iłu o dużej aktywności (np. montmorillonitu sodowego). Główną zaletą wskaźnika plastyczności jest łatwość wyznaczenia jego wartości z definicji  $I_p = w_L - w_P$ , gdzie  $w_L$  i  $w_P$  to odpowiednio granica płynności i plastyczności.

Lancellotta (2009) wymienia najważniejsze czynniki pozwalające na poprawny, według obecnego stanu wiedzy, opis gruntów. Dla gruntów gruboziarnistych są to: charakterystyka krzywej uziarnienia, opis kształtu ziaren i porowatość układu. Dla gruntów drobnoziarnistych najważniejszymi czynnikami są: rodzaj minerału ilastego i ilość frakcji iłowej, wilgotność, stopień saturacji i struktura. Drugorzędnym czynnikiem jest w tym przypadku uziarnienie. Do podstawowych testów wskaźnikowych, pozwalających poznać naturę gruntu i przypisać mu nazwę, należy analiza granulometryczna gruntów gruboziarnistych i wyznaczanie granic Atterberga gruntów drobnoziarnistych. Dla gruntów o mieszanym uziarnieniu stosuje się obie grupy testów.

Bardziej analityczne podejście do opisu gruntu prezentuje Atkinson (2007). Jego zdaniem bezpośrednie badania trzech zasadniczych cech mechanicznych, czyli wytrzymałości, sztywności i zdolności filtracyjnych, są kosztowne, dlatego też rozpoznanie odbywa się etapami. Obraz stopnia złożoności warunków gruntowych tworzy się w sposób hierarchiczny, poczynając od tanich badań wstępnych, wykorzystujących analizy makroskopowe. W badaniach tych stosuje się cztery pomocnicze elementy opisu gruntów: rodzaj (naturę) gruntu, stan gruntu, jego strukturę oraz genezę.

Poszczególne rodzaje gruntów w specyficzny sposób reagują na obciążenie. Metoda badania, a także zestaw parametrów opisujących cechy mechaniczne, są zależne od rodzaju gruntu. Zachowanie gruntów gruboziarnistych determinują siły masowe i tarcie. Drenaż jest ułatwiony i ciśnienia porowe zazwyczaj są równe hydrostatycznemu. W projektowaniu można posługiwać się wielkościami efektywnymi parametrów i zmiennych stanu. W opisie gruntów ważny jest kształt ziaren, uziarnienie i mineralogia. W gruntach drobnoziarnistych, o dużej powierzchni właściwej, istotne są siły powierzchniowe (np. elektrochemiczne). Przy obciążeniu drenaż jest utrudniony. W projektowaniu nie jesteśmy w stanie określić ciśnienia porowego i naprężeń efektywnych. Ustalenie mineralogii oraz rozdzielenie ilości frakcji iłowej i pyłowej jest czasochłonne, wygodnie jest natomiast opisywać plastyczność tych gruntów. W gruntach pośrednich istotne jest czy frakcje drobne rozdzielają ziarna szkieletu gruntowego frakcji grubych, tworząc niestabilną strukturę, czy też jedynie wypełniają przestrzenie porowe i redukują filtrację. Rozpoznanie struktury gruntu jest jednak bardzo utrudnione. Do gruntów pośrednich powinien być stosowany podwójny opis – uziarnienia jak dla gruntów gruboziarnistych oraz plastyczności jak dla drobnoziarnistych.

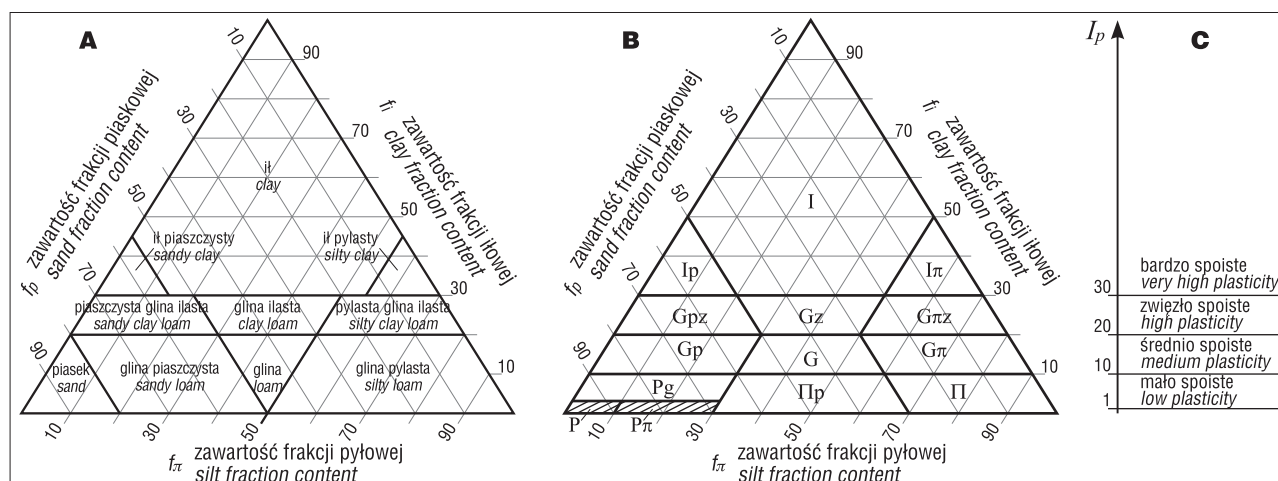
Rodzaj gruntu jest określony przez nazwę, ta zaś wynika z przyjętej klasyfikacji. Dla każdego rodzaju gruntu o zachowaniu decyduje jego stan (zagęszczenia, porowatości, wilgotności, prekonsolidacji, naprężenia itd.). W przypadku wszystkich gruntów, a w szczególności iłów, torfów i gruntów pośrednich, ważna jest ich struktura wynikająca odpowiednio z warunków sedymentacji, czy też stopnia rozłożenia materiału organicznego. Wszystkie wymienione elementy są zdeterminowane przez genezę gruntu, która jednak jest trudna do prostej i jednoznacznej oceny, w szczególności dla gruntów tworzących się z osadów pogranicza różnych środowisk sedymentacji.

## CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH SYSTEMÓW I NORM KLASYFIKACJI GRUNTÓW

### System klasyfikacji gruntów obowiązujący w Polsce przed wprowadzeniem Eurokodu 7

Podstawową krajowej klasyfikacji gruntów przed wejściem eurokodów, była norma PN-86/B-02480. Klasyfikacja ta miała sporo zalet. Cechowała ją łatwość makroskopowego określania rodzaju i stanu gruntów spoistych. Stanowiła system szczegółowo opisany w podręcznikach, zaakceptowany przez środowisko geotechników oraz geologów inżynierskich i chętnie stosowany do dnia dzisiejszego. Nazwa gruntu spoistego ustalona wg zasad systemu, nie odgrywała jednak większej roli przy wyznaczaniu wartości parametrów wytrzymałości i sztywności. Norma PN-81/B-03020 wprowadzała dodatkowy podział gruntów spoistych, związany głównie z ich genezą (symbole gruntów spoistych: A, B, C i D). Znajomość symbolu i stanu gruntu pozwalała na szybkie określenie parametrów mechanicznych z zamieszczonych w normie zależności korelacyjnych. Ustalanie symbolu gruntu spoistego miało jednak charakter subiektywny. Przykładowo wyznaczenie granicy pomiędzy osadami moreny dennej i ablacyjnej, nie jest zadaniem prostym. Podobnie jednoznaczne ustalenie czy grunt jest morenowy skonsolidowany (symbol A), czy też morenowy nieskonsolidowany (symbol B), jest często przedmiotem badań naukowych, a nie rutynowych działań na potrzeby projektowania. Zasadnicza różnica w wytrzymałości gruntów występuje nie pomiędzy gruntem skonsolidowanym i nieskonsolidowanym, lecz pomiędzy gruntem silnie prekonsolidowanym i słabo prekonsolidowanym. Te pierwsze dylatują podczas ścinania i wykazują wytrzymałość szczytową, te drugie charakteryzuje kontrakcja i jedynie wytrzymałość krytyczna (Atkinson, 2007). Korelacje pomiędzy stopniem plastyczności i parametrami wytrzymałości czy sztywności dla gruntu o danym symbolu, stosowane w normie PN-81, były słabo udokumentowane. Przykładowo wyniki badań laboratoryjnych kąta tarcia wewnętrznego i spójności wykonane na ponad 200 próbkach iłów serii poznańskiej, zamieszczone w pracy Kraińskiego (2002), nie wykazują korelacji ze stopniem plastyczności.

Młoda dziedzina wiedzy, jaką była mechanika gruntów w pierwszej połowie ubiegłego stulecia, korzystała z dorobku dziedzin pokrewnych, w tym z klasyfikacji stosowanych w naukach rolniczych (Holtz & Kovacs, 1981). Na rycinie 1A pokazano podział gruntów spoistych wg Departamentu Rolnictwa USA, a na rycinie 1B podział stosowa-



**Ryc. 1.** Porównanie klasyfikacji gruntów spoistych wg: **A** – uziarnienia (Departamentu Rolnictwa USA z 1937 r., za Taylor, 1948), **B** – uziarnienia (norma PN-86), **C** – spoistości (norma PN-86)

**Fig. 1.** Comparison of classification of cohesive soils according to: **A** – particle size (Department of Agriculture of the USA from 1937, after Taylor, 1948), **B** – particle size (Polish Standard PN-86), **C** – plasticity (Polish Standard PN-86)

ny w normie PN-86. Na obu trójkątach Fereta są widoczne duże podobieństwa stosowanych klasyfikacji.

Burminster (1949) zaproponował dodatkowy podział gruntów ze względu na wartość wskaźnika plastyczność i wyodrębnił: grunty nieplastyczne ( $IP = 0$  – *nonplastic*), grunty nieznacznie plastyczne ( $IP = 1 \div 5\%$  – *slightly plastic*), itd., aż po grunty o bardzo wysokiej plastyczności ( $IP > 40\%$  – *very high plasticity*). Podział ten został nieco zmodyfikowany i przyjęty w Polsce. Słowo „plastyczność” (*plasticity*) zostało zastąpione słowem „spoistość”, co jest obecnie przyczyną nieporozumień w tłumaczeniu i stosowaniu normy ISO. Na rycinie 1C pokazano stosowny podział gruntów spoistych wg PN-86.

Według tej normy podział gruntów bazował na uziarnieniu (ryc. 1B). W przypadku gruntów spoistych wiązało się to jednak z koniecznością wykonywania czasochłonnych analiz areometrycznych. W praktyce podział tych gruntów był wykonywany na podstawie analizy makroskopowej, wykorzystującej związek zawartości frakcji ilowej ze wskaźnikiem plastyczności. Ryciny 1B i C zostały zestawione nieprzypadkowo. Zdaniem Wiłuna (2005) „Aktywność koloidalna naszych gruntów może być przyjęta jako  $A_c \approx 1$ , z wyjątkiem glin pokrywowych i lessów, dla których zazwyczaj  $A_c = 0,5 \div 0,7$  oraz ilów montmorillonitowych, dla których  $A_c > 1,5$ ”. Przedstawione wyjątki zwykle nie były stosowane i przyjmowano  $A_c = 1$ , a w konsekwencji wartość procentowa wskaźnika plastyczności była utożsamiana z ilością frakcji ilowej. Warto zweryfikować skutki takich uproszczeń.

W pracy Grabowskiej-Olszewskiej i in. (1984) przedstawiono rezultaty szczegółowych badań mikrostruktury oraz cech fizycznych gruntów ilastych o różnej genezie z Europy Wschodniej. Uzyskane wyniki dla 26 rodzajów gruntów kenozoicznych pobranych z kilkunastu miejsc w Polsce, umożliwiają przedstawienie ich na wykresie aktywności koloidalnej Skempton’a i na trójkącie Fereta (ryc. 2).

Z ryciny 2A wynika, że przyjmując powszechnie stosowane założenie  $f_i \approx I_p$  tylko dwa z 26 gruntów zakwalifikowane byłyby jako ily (dwa punkty leżą powyżej linii  $I_p = 30\%$ ), co stanowi 7,7% badanych gruntów. Analiza zawartości frakcji ilowej wskazuje natomiast, że aż 18 badanych gruntów to ily (niespełna 70%), co pokazano na rycinie 2B. Wyjaśnienie

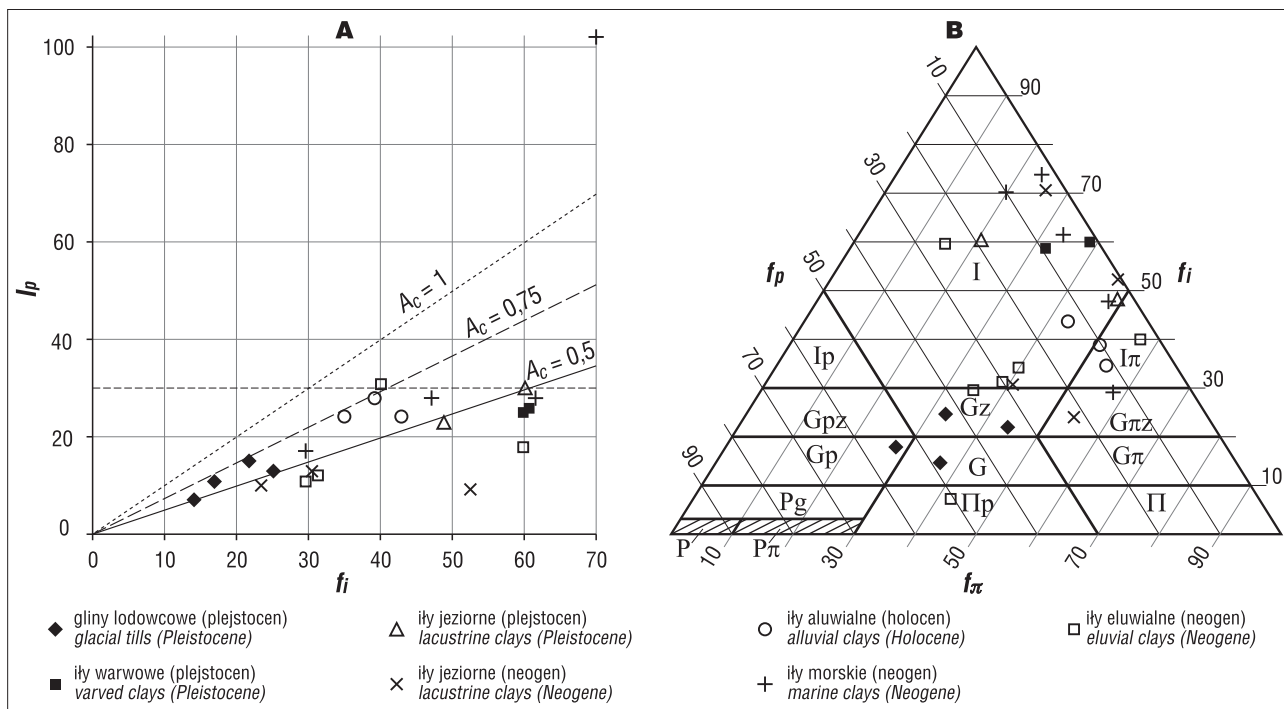
tych rozbieżności jest proste, średnia wartość aktywności koloidalnej badanych gruntów kenozoicznych wynosi 0,57, zaś średnia dla wszystkich badanych gruntów z terenu Polski (w tym bentonitów z Radzionkowa) wynosi 0,66. Można oczywiście dyskutować, czy przedstawiona w pracy Grabowskiej-Olszewskiej i in. (1984) próba jest reprezentatywna, ale publikowane przez innych autorów niskie wartości aktywności koloidalnej, np.: ily poznańskie z okolic Wrocławia przeciętne  $A_c = 0,6 \div 0,8$  (Choma-Moryl, 1988), gliny zlodowacenia północnopolskiego,  $A_c = 0,29 \div 0,78$ , średnia wynosi  $A_c = 0,57$  (Kaczyński & Trzciniński, 1992), potwierdzają błąd stosowanej metodyki.

### Unified Soil Classification System

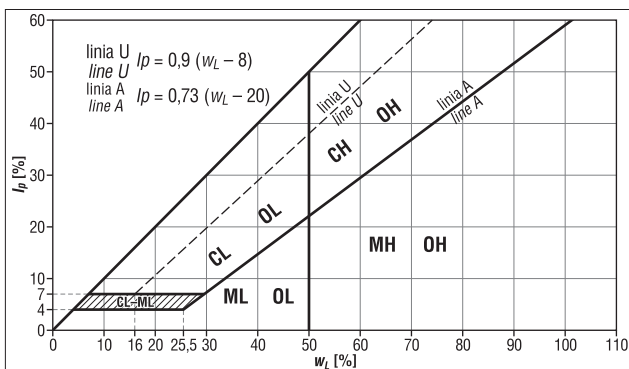
Środowisko naukowe powszechnie posługuje się klasyfikacją USCS, opisaną w normie ASTM D 2487 (2006). Przy okazji dyskusji nad normą PN-ISO, także pojawiały się głosy postulujące przyjęcie tej klasyfikacji (np. Gołębiowska, 2011). Jest ona jedną z najbardziej rozpowszechnionych na świecie. Warto ją pokrótce scharakteryzować.

Klasyfikacja powstała na podstawie doświadczeń Casagrande’a uzyskanych przy budowie amerykańskich lotnisk w okresie II wojny światowej, na różnych kontynentach. Łącznie wydzieliła się cztery grupy gruntów: gruboziarniste, drobnoziarniste, organiczne i oddzielnie torfy. System zasadniczo bazuje na granulometrycznym podziale gruntów na gruboziarniste, które dalej są klasyfikowane na podstawie charakterystyki krzywej uziarnienia, i drobnoziarniste, których podział w głównej mierze opiera się na ocenie ich plastyczności. W wyniku tej szczegółowej klasyfikacji, pierwsze trzy grupy gruntów uzyskują symbole dwuliterowe.

Na rycinie 3 pokazano wykres Casagrande’a, służący do szczegółowej klasyfikacji gruntów drobnoziarnistych i organicznych, na podstawie granic Atterberga. Najważniejszą rolę na wykresie odgrywa linia „A” oraz linia  $w_L = 50\%$ . Grunty mineralne przedstawione na wykresie powyżej linii „A” są nazywane ilymi (symbol C), zaś poniżej tej linii – pyłami (symbol M), bez względu na szczegółowy skład granulometryczny. Grunty organiczne mają



Ryc. 2. Porównanie cech 26 kenozoicznych gruntów ilastych: **A** – aktywność koloidalna Skemptona, **B** – uziarnienie  
 Fig. 2. Comparison of the characteristics of 26 Cenozoic clayey soils: **A** – Skempton colloidal activity, **B** – particle size



Ryc. 3. Klasyfikacja USCS na wykresie plastyczności Casagrande’a (ASTM D 2487, 2006)  
 Fig. 3. USCS soil classification on Casagrande plasticity chart (ASTM D 2487, 2006)

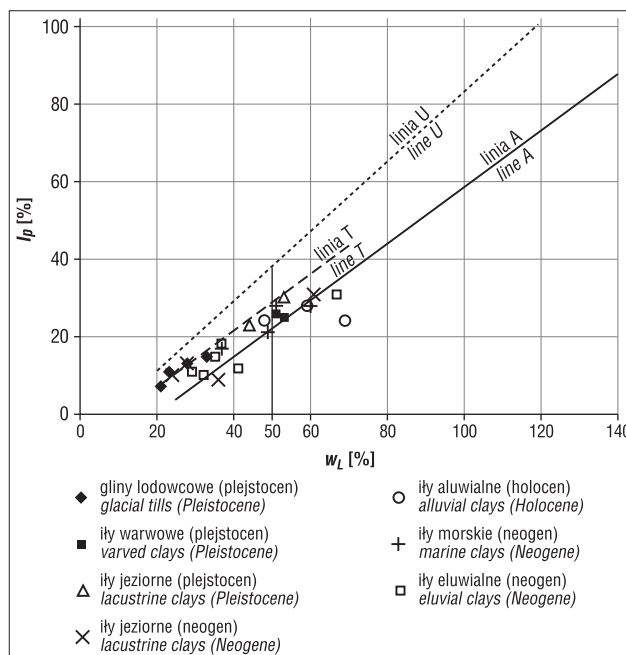
symbol O. Grunty mineralne oraz organiczne na lewo od linii  $w_L = 50\%$  uzyskują dodatkowy symbol L (*low plasticity* – niska plastyczność), zaś na prawo od niej – symbol H (*high plasticity* – wysoka plastyczność), np. CL – ił o niskiej plastyczności.

Żwiry i piaski, należące do gruntów gruboziarnistych, mają symbole odpowiednio G i S. Grunty te, gdy zawierają poniżej 5% frakcji drobnej, są oznaczane dodatkowym symbolem W lub P, w zależności od wartości wskaźnika niejednorodności uziarnienia  $C_U$ . Symbol W stosowany jest do gruntów dobrze uziarnionych (wysokie  $C_U$ ), a symbol P dla słabo uziarnionych, np. GW – żwir dobrze uziarniony. Żwiry i piaski o mieszanym uziarnieniu, w zależności od plastyczności frakcji drugorzędnej mogą mieć dodatkowy symbol M (frakcja drobna nieplastyczna) lub C (frakcja drobna plastyczna), np. SM – piasek pylasty.

Grunty znajdujące się w zakresowanej strefie wykresu plastyczności oraz w strefach granicznych omówionych wyżej podziałów, uzyskują podwójne oznaczenie, np.

CL-ML, OL-OH, CH-OH, CH-MH, SC-CL itd. Szczegóły klasyfikacji USCS zostały przedstawione między innymi w polskojęzycznym tłumaczeniu pracy Lambe’a & Whitmana (1977).

Jako przykład, grunty badane przez Grabowską-Olszewską i in. (1984) i klasyfikowane wg PN-86 na rycinie 2, zostały przedstawione na wykresie Casagrande’a, co umożliwia ich podział wg zasad USCS (ryc. 4). Jak widać, cztery z badanych gruntów zakwalifikowano jako pyły, sześć – jako grunty strefy granicznej, pozostałe zaś jako ily.



Ryc. 4. Grunty ilaste badane w pracy Grabowskiej-Olszewskiej i in. (1984) na wykresie Casagrande’a  
 Fig. 4. Clayey soils examined in Grabowska-Olszewska et al. (1984) on Casagrande chart



Widoczna linia U (*upper limit*) oznacza górną obserwowaną w praktyce granicę położenia gruntów na wykresie. Pokazana na rycinie 4 linia T (Boulton & Paul, 1976) odnosi się do glin polodowcowych, wzdłuż niej zwykle układają się wyniki badań tych gruntów.

Przedstawiony system USCS posiada wady i zalety. Główne zarzuty dotyczą wykresu Casagrande'a. Równanie linii A powstało na drodze empirycznej i stąd nazwy gruntów nie zawsze odzwierciedlają ich skład mineralogiczny. Przykładowo, il kaolinitowy plasuje się poniżej linii A w strefie pyłów, a niektóre grunty z przewagą frakcji pyłowej znajdują się ponad tą linią. W tym zakresie istnieją propozycje korekty wykresu (np. Polidori, 2003). Pewnym formalnym utrudnieniem są także inne niż w Europie granice poszczególnych frakcji wykorzystywane w USCS. W Europie powszechnie przyjęto gradację Massachusetts Institute of Technology, w której granice frakcji ilowej, pyłowej i piaskowej wynoszą odpowiednio 0,002, 0,06 i 2 mm, w USCS zaś 0,002, 0,075 i 4,75 mm.

System USCS posiada wiele zalet. Spełnia w dużym zakresie postulaty przedstawione w poprzednim punkcie. Do klasyfikacji gruntu wystarczają standardowe testy: analizy sitowe i wyznaczenie granic Attenberga. Istnieje duża ilość potwierdzonych zależności korelacyjnych, umożliwiających określenie parametrów na podstawie ustalonej nazwy gruntu. System USCS stanowi także międzynarodowy język komunikowania się specjalistów z dziedziny geotechniki i warto, żeby polscy specjaliści także go używali.

### Norma BS 5930

Normy klasyfikacji gruntów wielu krajów na świecie, w tym krajów europejskich o dużych tradycjach geotechnicznych, bazują na systemie USCS (np. normy BS 5930, DIN 18196). Na szczególną uwagę zasługuje norma BS 5930, ponieważ miała ona bardzo duży wpływ na kształtowanie normy EC-7 oraz norm z nią związanych, np. cały schemat identyfikacji i opisu gruntów w normie ISO 14688-1 jest z niej zaczerpnięty. Podobnie jak w normie brytyjskiej, w części drugiej normy EC-7 jest silnie akcentowana konieczność rozdzielenia w dokumentacji części faktograficznej i interpretacyjnej. W tym kontekście niezrozumiałe jest zamieszczenie w załączniku NA. 9 wykresu plastyczności Casagrande'a w wersji USCS, a nie BS 5930, która jest bliższa polskim geotechnikom pod względem wielu obowiązujących zapisów. W przypadku wykorzystania wykresu Casagrande'a w wersji BS 5930 il mioceniński z Wieliczki oznaczony krzyżykiem w prawym górnym rogu ryciny 4 miałby oznaczenie CE (*Clay-Extremely high plasticity*), gdyż jego pozycja na wykresie i zachowania mechaniczne z pewnością odbiegają od pozostałych ilów o wysokiej plastyczności, które mają oznaczenie CH (*Clay-High plasticity*).

Kilka ważnych elementów normy BS 5930 nie ma odzwierciedlenia w normie ISO, a warto by je zaadoptować w załączniku krajowym normy PN-ISO, gdyż poprawiłoby to rozumienie niektórych jej zapisów. Takim elementem jest np. rozróżnienie cech masywu (nazywanych także w literaturze cechami środowiskowymi) i cech materiału, wynikających jedynie ze składu. Pod tym pierwszym pojęciem kryją się charakterystyki związane ze sta-

nem i strukturą gruntu, pod drugim – rozumie się zaś charakterystyki związane z naturą gruntu, takie jak: kolor, kształt ziaren czy też uziarnienie, które są niezależne od aktualnego stanu.

Klasyfikacja gruntu w ujęciu normy brytyjskiej jest charakterystyką materiału gruntowego, gdyż dotyczy gruntu o naruszonym stanie i strukturze w wyniku analizy sitowej lub badania konsystencji. Wobec powyższego, opis cech masywu nie musi się pokrywać z opisem cech materiału, co więcej symbolika oznaczeń nie musi być identyczna. Zdaniem autorów normy, do celów fundamentowania ważniejszy od klasyfikacji jest opis gruntu (w szczególności poczyniony na podstawie analizy próbek rdzeniowych), gdyż dotyczy on cech masywu gruntowego. Do robót ziemnych częściej jest stosowana klasyfikacja, która odnosi się do materiału naruszonego.

W komentarzu do brytyjskiego wydania normy ISO 14688 (Gosling i in., 2007) napisano, że norma ta niemal w pełni jest zgodna z odpowiednimi rozdziałami normy BS 5930 i należy nadal stosować dotychczasową klasyfikację gruntów opartą na USCS, zaś załącznik B zawierający trójkąt i nomogram, nie powinien być wykorzystywany. Orr (2012) uzasadnia tę decyzję powszechnym występowaniem w Wielkiej Brytanii glin morenowych, które nie powinny być klasyfikowane jedynie na podstawie uziarnienia. Ta argumentacja powinna być wzięta pod uwagę także w Polsce (w wyniku poprawek wprowadzonych do PN-ISO w 2012 r. trójkąt i nomogram znalazły się w załączniku krajowym NA. 8).

Na zakończenie charakterystyki normy BS 5930, warto zwrócić uwagę na jej formę. Norma ta zawiera spis literatury składający się z 250 pozycji i jest napisana jak interesujący, warty szczegółowego przestudiowania, podręcznik geotechniki.

### Norma DIN 18196

Niemiecka norma klasyfikacji gruntów DIN 18196 jest także oparta na systemie USCS. Granice frakcji są przyjęte wg systemu MIT. Nieco zmienione są definicje i podział piasków oraz żwirów (np. wprowadzono podział na grunty dobrze-, jednorodnie- i źle uziarnione). Na wykresie Casagrande'a wprowadzono dodatkową wartość graniczną  $w_L = 35\%$ , wyodrębniając w ten sposób grunty drobnoziarniste o niskiej, średniej i wysokiej plastyczności.

W normie DIN, rozbudowano grupę gruntów o mieszanym uziarnieniu, do których stosuje się podwójne kryteria klasyfikacji: granulometryczne (wyodrębniające grunty z dominacją żwiru lub piasku) i uwzględniające pozycję na wykresie plastyczności (która determinuje nazwę pylasty lub ilasty). Każda z tak powstałych czterech kombinacji nazw dzieli się dodatkowo na dwa rodzaje gruntu, zależnie od zawartości frakcji drobnej <0,06 mm. Dla każdej kombinacji wydzielono dwa przedziały zawartości frakcji drobnej, odpowiednio 5÷15% oraz 15÷40% (w USCS przedział 5–12% frakcji drobnej <0,075 mm wymagał stosowania podwójnych symboli w nazwie). Rozbudowana klasyfikacja gruntów o mieszanym uziarnieniu jest korzystna ze względu na problemy z modelowaniem gruntów o pośrednim uziarnieniu. Klasyfikacja gruntów wg DIN 18196, bazująca na systemie USCS, może stanowić dobry wzorzec do naśladowania.

## PODSUMOWANIE

Obowiązująca w Polsce norma Eurokod 7 narzuca konieczność klasyfikowania gruntów wg wytycznych zawartych w normie ISO 14688-2. Norma ISO, w wyniku braku konsensusu przy jej ustalaniu, nie zawiera jednak konkretnego systemu klasyfikacji, pozostawiając tę kwestię narodowym komitetom normalizacyjnym. Polska wersja tej normy w załącznikach krajowych została uzupełniona o dwa niespójne ze sobą i zdawkowo opisane systemy klasyfikacji, z których pierwszy bazuje wyłącznie na uziarnieniu, a drugi na uziarnieniu i plastyczności. Norma w tej wersji nie zyskuje akceptacji środowiska geotechników i należałoby tę sytuację szybko zmienić.

Klasyfikacja gruntów tworzona na potrzeby projektowania geotechnicznego musi być zgodna z aktualnym stanem wiedzy mechaniki gruntów, koncentrować się na cechach, które mają zasadniczy wpływ na zachowania mechaniczne, musi być możliwie prosta, żeby nakład pracy na klasyfikację nie był większy niż na wyznaczenie zasadniczych parametrów mechanicznych, i powinna być obiektywna. Po spełnieniu tych warunków może zostać zaakceptowana przez środowisko specjalistów i stanowić ich język komunikowania się.

Znaczna część badań współczesnej mechaniki gruntów koncentruje się na modelowaniu gruntów o pośrednim uziarnieniu pomiędzy piaskami i łąkami. Piaski i łąki są nazywane gruntami wzorcowymi (*textbook soil*). Skomplikowane warunki drenażu w gruntach pośrednich są jednym z głównych czynników utrudniających ich badanie i modelowanie. Na ich zachowanie wpływa zarówno uziarnienie, jak i plastyczność frakcji łąkowej. Grunty te powinny być wyodrębnione w klasyfikacji.

Bardzo rozpowszechnioną na świecie kategoryzacją gruntów jest klasyfikacja USCS bazująca na uziarnieniu i plastyczności. W kilku sąsiednich krajach europejskich, w których stosowano klasyfikacje oparte na USCS, nadal się je stosuje, gdyż USCS jest zgodna z wytycznymi normy ISO 14688-2.

Klasyfikacja USCS spełnia większość postulatów „dobrej klasyfikacji gruntów” zdefiniowanych w artykule. Jest prosta i nie wymaga specjalistycznych badań. Opisana jest w wielu podręcznikach akademickich, a polskie środowisko naukowe wykorzystuje ją w publikacjach. Oznacza to, że mamy pewne doświadczenie w jej stosowaniu i należy jedynie to doświadczenie upowszechnić. Nie bez znaczenia jest także fakt coraz ściślejszych związków polskiej geotechniki z geotechniką zachodnią, wynikających z transferu do naszego kraju technologii badawczych i wykonawczych. Stosowanie ujednoczonej klasyfikacji może ułatwić wdrażanie tych technologii.

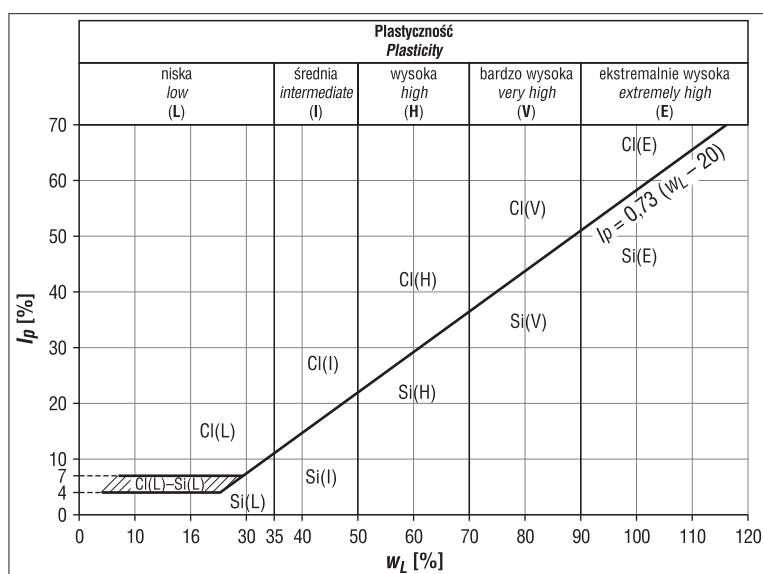
Pełne przyjęcie w Polsce klasyfikacji USCS wymaga dostosowania jej pod względem formalnym do wytycznych normy ISO. Dotyczy to między innymi ujednoczenia symboli gruntów. Symbole gruntów na wykresie Casagrande'a zamieszczonym w załączniku NA.9 normy PN-ISO (ryc. 3) zaczerpnięto z normy ASTM D 2487. Nie korespondują one z symbolami stosowanymi w pozostałej części PN-ISO, co jest poważnym mankamentem. W celu wyeliminowania

tej wady na rycinie 5 przedstawiono propozycję zmiany symboli. Po pierwsze, symbole C i M, oznaczające odpowiednio łąki i pył, zamieniono standardowymi symbolami z ISO – czyli odpowiednio Cl i Si. Dodatkowy symbol oznaczający plastyczność umieszczono w nawiasie (np. Cl(L) w miejsce CL w przypadku łąki o niskiej plastyczności). Po drugie, rozszerzono zakres symboli plastyczności z dwóch, jak w normie ASTM D 2487, do pięciu – wzorem BS 5930. Dzięki tej zmianie, bez dodatkowego nakładu pracy, np. łąki ekspansywne o dużych wartościach  $I_p$  będą wyodrębnione w oznaczeniach spośród innych łąk, których wskaźnik plastyczności jest znacznie niższy.

Powyższa propozycja dotyczy jedynie symboli na wykresie Casagrande'a. W przypadku jej akceptacji, cała szczegółowa klasyfikacja gruntów wg USCS może być dostosowana do symboliki ISO. Tak opracowana kompletna klasyfikacja gruntów drobnoziarnistych, gruboziarnistych, o mieszanym uziarnieniu, a także gruntów zawierających części organiczne i gruntów organicznych, mogłaby stanowić treść załącznika krajowego PN-ISO lub w przyszłości oddzielną normę w pełni z nią zgodną, wypełniając w ten sposób zalecenia CEN.

W kontekście przedstawionych w artykule argumentów należy stwierdzić, że właściwym krokiem było zamieszczenie przez Polski Komitet Normalizacyjny w załączniku krajowym NA.9 normy PN-ISO wykresu plastyczności Casagrande'a z systemu USCS, będącego ważnym międzynarodowym standardem klasyfikacji gruntów drobnoziarnistych. Fakt ten zbliża nas do systemów klasyfikacji stosowanych w krajach zachodnich i wychodzi naprzeciw zgłaszanym w Polsce postulatam.

Klasyfikacja bazująca wyłącznie na składzie granulometrycznym zawarta w załączniku B normy ISO, ze względu na czasochłonność oznaczeń gruntów drobnoziarnistych, która nie przekłada się na zwiększenie dokładności analiz projektowych, a także ze względu na brak opisanych w literaturze doświadczeń w jej stosowaniu, nie powinna być w naszym kraju wykorzystywana.



Ryc. 5. Propozycja symboli gruntów zgodnych z symbolami ISO 14688 na wykresie plastyczności Casagrande'a

Fig. 5. Proposal of soil symbols consistent with ISO 14688 symbols on Casagrande plasticity chart



## LITERATURA

- ASTM D 2487:2006 – Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System).
- ATKINSON J. 2007 – The mechanics of soils and foundations. Second edition. Taylor & Francis, London.
- BEEN K. & JEFFERIES M.G. 1985 – A state parameter for sands. *Géotechnique*, 35 (2): 99–112.
- BOULTON G.S. & PAUL M.A. 1976 – The influence of genetic processes on some geotechnical properties of glacial tills. *Quart. J. Engineer. Geol.*, 9 (3): 159–194.
- BS 5930:1999 – Code of practice for site investigations. British Standards Institution, London.
- BURMISTER D.M. 1949 – Principles and techniques of soil identification. Proceedings, Annual Highway Research Board Meeting, National Research Council, Washington D.C., 29: 402–434.
- CHOMA-MORYL K. 1988 – Zmienność własności fizycznych ilów poznańskich okolic Wrocławia na tle ich genezy i litostratygrafii. *Geolog. Sudet.*, 23 (1): 1–63.
- DIN 18196:1988 – Erd- und Grundbau – Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke. Beuth, Berlin.
- EITNER V. & STÖLBEN F. 2004 – International standardisation of ground investigation and testing methods. [W:] Hack R., Azzam R., Charlier R. (red.) *Engineering Geology for Infrastructure Planning in Europe. A European Perspective*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg: 74–85.
- EN ISO 14688-1:2002 – Geotechnical investigation and testing. Identification and classification of soil. Part 1: Identification and description.
- EN ISO 14688-2:2004 – Geotechnical investigation and testing. Identification and classification of soil. Part 2: Principles for a classification.
- GOŁĘBIEWSKA A. 2011 – Uwagi krytyczne do klasyfikacji gruntów według normy PN-EN ISO 14688:2006. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 446: 289–296.
- GOŁĘBIEWSKA A. & WUDZKA A. 2006 – Nowa klasyfikacja gruntów według normy PN-EN ISO. *Geoinżynieria drogi mosty i tunele*, 04/2006 (1): 44–55.
- GOSLING D., BALDWIN M. & BROWNLIE N. 2007 – A practical guide to the implementation of soil and rock descriptions compliant with Eurocode 7. *Soil Mechanics*, Carcroft.
- GRABOWSKA-OLSZEWSKA B., OSIPOV V. & SOKOLOV V. 1984 – Atlas of the microstructure of clay soils. PWN, Warszawa.
- HOLTZ R.D. & KOVACS W.D. 1981 – An introduction to geotechnical engineering. Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- KACZYŃSKI R. & TRZCIŃSKI J. 1992 – The physical-mechanical and structural properties of boulder clays of the Vistula Glaciation in the area of Poland. *Geol. Quart.*, 36 (4): 481–508.
- KRAIŃSKI A. 2002 – Parametry geotechniczne ilów serii poznańskiej zaburzonych glaciektonicznie (Środkowe Nadodrze). *Zesz. Nauk. Uziel.-Górs.*, 128: 1–140.
- LAMBE T.W. & WHITMAN R.V. 1977 – *Mechanika gruntów*. Arkady, Warszawa.
- LANCELLOTTA R. 2009 – *Geotechnical engineering*. Second edition. Taylor & Francis, London and New York.
- ORR T.L. 2012 – How Eurocode 7 has affected geotechnical design: a review. *Geotechnical Engineering*, 165 (GE6): 337–350.
- PN-81/B-03020 – Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- PN-86/B-02480 – Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.
- PN-EN 1997 Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne.
- PN-EN ISO 14688-1:2006 – Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczenia i opis.
- PN-EN ISO 14688-2:2006 – Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania.
- POLIDORI E. 2003 – Proposal for a new plasticity chart. *Géotechnique*, 53 (4): 397–406.
- SCHOFIELD A.N. & WROTH C.P. 1968 – *Critical state soil mechanics*. McGraw-Hill, London.
- SKEMPTON A.W. 1953 – The colloidal activity of clays. Proceedings, 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, 1: 57–61.
- TAYLOR D.W. 1948 – *Fundamentals of soil mechanics*. J. Wiley & Sons, New York.
- WIŁUN Z. 2005 – *Zarys geotechniki*. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa.

Praca wpłynęła do redakcji 3.11.2014 r.  
Akceptowano do druku 17.03.2015 r.