

Zależność parametrów konsystencji od uziarnienia gruntów madowych

Krzysztof Wilk¹

¹ Katedra Geodezji i Geotechniki im. Kaspra Weigla, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, e-mail: kwilk@prz.edu.pl

Streszczenie: Określenie nośności podłoża gruntowego wymaga znajomości jego parametrów wytrzymałościowych. Najlepszym sposobem właściwego rozpoznania gruntu jest wykorzystanie bezpośrednich metod badawczych. W przypadku budowy mniej odpowiedzialnych, projektowanych na podłożu o nieskomplikowanej budowie często uzasadnione wydaje się ostrożne przyjęcie parametrów gruntu bez przeprowadzania kompleksowych analiz. Podstawą ustalenia wartości parametrów geotechnicznych jest wtedy ich szacowanie w oparciu o ustalone korelacje pomiędzy właściwościami mechanicznymi i fizycznymi gruntu. Trudność w ustaleniu wspomnianych korelacji wynika z mnogości czynników mogących wpływać na charakterystykę materiału gruntowego. W pracy przedstawione zostaną korelacje pomiędzy uziarnieniem (zawartością frakcji ilowej) oraz parametrami konsystencji gruntu (granica plastyczności, granica płynności, wskaźnikiem plastyczności, stopniem plastyczności). Analizowane wielkości zostały ustalone w wyniku badań podłoża aluwialnego, powstałego w wyniku akumulacji rzecznej, z terenu Rzeszowa. Znaleziono relacje, opisane równaniami liniowymi, porównano z badaniami prezentowanymi w literaturze geotechnicznej. Wspomniane porównania ukazują często istotny wpływ regionalnych warunków powstawania podłoża gruntowego na parametry konsystencji.

Słowa kluczowe: grunty madowe, granice konsystencji, stopień plastyczności, uziarnienie gruntu, frakcja ilowa.

1. Wprowadzenie

Poprawne projektowanie posadowień obiektów budowlanych wymaga uprzednio właściwego określenia warunków geotechnicznych. Dokładność rozpoznania podłoża zależy od jego skomplikowania oraz rangi planowanego obiektu. Jeśli inwestycja została zakwalifikowana do I lub II kategorii geotechnicznej wystarczające może okazać się pośrednie oszacowanie parametrów mechanicznych podłoża. Uproszczenie metodyki badawczej oznacza w tym przypadku wykorzystanie ustalonych zależności pomiędzy różnymi właściwościami gruntu.

Najczęściej stosowane, w określaniu parametrów gruntu pośrednią metodyką, zależności podane w normie [1] nie uwzględniają jednak specyfiki wszystkich typów podłoża gruntowego, w szczególności gruntów spoistych.

W przypadku gruntów gruboziarnistych, ich skład granulometryczny, po uwzględnieniu zagęszczenia materiału okruszowego, przekłada się niemal wprost na parametry mechaniczne.

W odniesieniu do gruntów drobnoziarnistych o ich nośności i odkształcalności decydują zależności bardziej złożone. Wśród czynników mających największy wpływ na wytrzymałość gruntów spoistych należy wymienić:

- uziarnienie gruntu,
- wilgotność naturalną w nawiązaniu do wilgotności granic konsystencji (zwłaszcza granicy płynności i granicy plastyczności) gruntu,
- historię powstania oraz obciążenia (warunki sedymentacji i konsolidacji gruntu, ewentualnie wpływ dodatkowych procesów geologicznych kształtujących podłoże, a także skład mineralogiczny).

Określenie wartości naprężenia prekonsolidującego jest zadaniem bardzo trudnym,

o ile w ogóle możliwym, z uwagi na brak udokumentowania obciążeń działających w przeszłości. Pośrednie sposoby znajdowania tej wielkości są aktualnym przedmiotem badań wielu ośrodków naukowych.

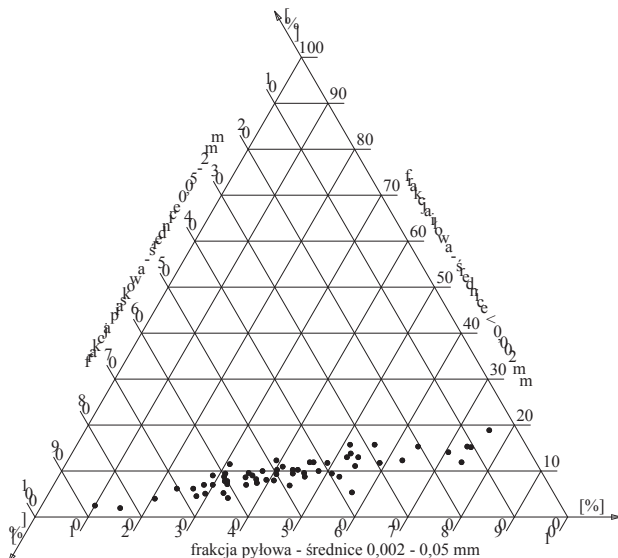
Jednym z podstawowych czynników mających wpływ na właściwości fizyczne i mechaniczne gruntów, jako materiałów rozdrobnionych jest ich skład granulometryczny. Jednak, ustalenie ich uziarnienia, zwłaszcza w odniesieniu do gruntów o znaczącej zawartości drobniejszych frakcji może być badaniem dosyć kłopotliwym. Określenie zawartości frakcji iłowej wymaga przeprowadzenia czasochłonnej analizy areometrycznej, bądź też użycia zaawansowanych i kosztownych elektronicznych urządzeń pomiarowych.

Innym ważnym parametrem fizycznym opisującym przydatność gruntów spoistych do celów budowlanych jest stopień plastyczności. Określenie jego wartości jest możliwe po wyznaczeniu poprzez stosunkowo nieskomplikowane badania stałych dla danego rodzaju gruntu granic konsystencji: granicy plastyczności i granicy płynności.

W pracy przedstawione zostały zależności określone podczas badań podłoża madowego – gruntów akumulacji rzecznej powstałych w wyniku deponowania rozdrobnionego materiału skalnego podczas wezbrań na obszarze teras zalewowych [2], [3], [4].

Należy uznać, iż grunty aluwialne stanowią podłoże normalnie skonsolidowane, a wpływ ewentualnych dodatkowych obciążeń pojawiających się okresowo w przeszłości jest pomijalny. W przypadku analizowanego podłoża madowego dodatkowe obciążenie mogły stanowić okresowe wezbrania cieków wodnych. Działanie zwiększonego ciśnienia hydrostatycznego było jednak obciążeniem krótkotrwałym, a jego wartość niewielka w porównaniu z naprężeniem geostatycznym wynikającymi z ciężaru własnego gruntu. Dodatkowo ciężar gruntu poniżej zwierciadła wody ulegał odpowiedniej redukcji. Wobec powyższego rośnie znaczenie wpływu pozostałych czynników na wytrzymałość podłoża aluwialnego.

Naturalna wilgotność nie jest parametrem przypisywanym konkretnemu rodzajowi gruntu, niezależnym od czynników zewnętrznych. Takimi parametrami są jednak: skład granulometryczny oraz granice konsystencji. Obecnie, wspomniane cechy funkcjonują jako charakterystyki niezależne od siebie. Uzasadnione jednak wydaje się poszukiwanie pewnych powiązań pomiędzy nimi.



Rys. 1. Uziarnienie madowych gruntów spoistych z terasy rzeki Wisłok z okolic Lisiej Góry w Rzeszowie

Badane próbki gruntów spoistych pochodziły z terasy zalewowej rzeki Wisłok w Rzeszowie, z okolic Lisiej Góry [4], [5]. Pobrane zostały z różnych głębokości.

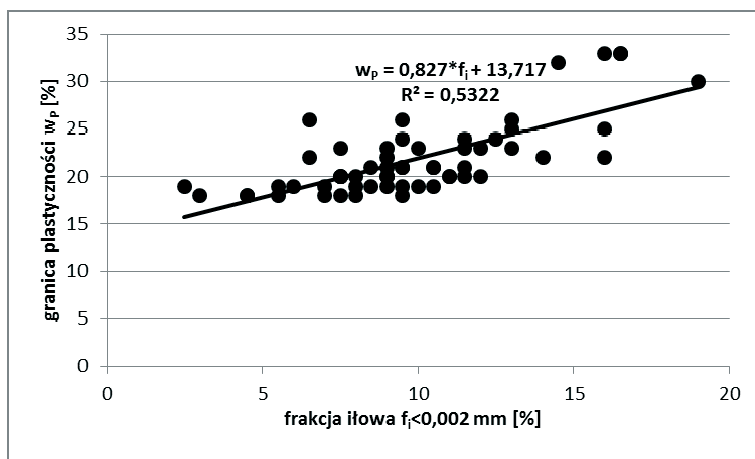
Przeprowadzone analizy uziarnienia gruntów madowych dały obraz znacznego

zróznicowania podłoża w obszarze nawet jednego poligonu badań.

Na podstawowym poligonie badań w okolicach Lisiej Góry występowały z reguły grunty mało i średnio spoisłe o charakterystyce przedstawionej na rysunku nr 1. Na trójkącie Fereta (rys.1.) widoczna jest tendencja wzrostu zawartości frakcji pyłowej wraz ze zwiększaniem się ilości frakcji iłowej. Zawartość części organicznych określona metodą utleniania wynosiła średnio 1,73%. Badane próbki gruntu w ilości 58 sztuk pobierane z różnych głębokości posiadały zróznicowane uziarnienie oraz wilgotność, a tym samym stopień plastyczności.

2. Analiza wyników przeprowadzonych badań

Ustalone dla badanych próbek gruntów madowych zależności przedstawione zostały poniżej w formie wykresów oraz liniowych równań regresji.



Rys. 2. Zależność pomiędzy zawartością frakcji iłowej i granicą plastyczności badanych mad

Prostą regresji dla rezultatów przedstawionych na rys. 2 opisuje równanie (1):

$$w_p = 0,827 * f_i + 13,717 \quad (1)$$

Celem porównania, niżej zaprezentowane zostały zależności ustalone przez innych badaczy:

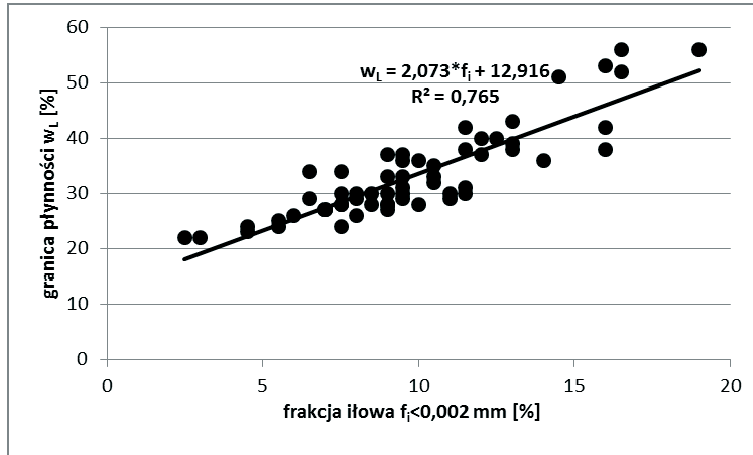
$$w_p = 0,55 * f_i + 12,579 \quad [3] \quad (2)$$

$$w_p = 0,31 * f_i + 22,48 \quad [6] \quad (3)$$

$$w_p = 0,44 * f_i + 13,50 \quad [7] \quad (4)$$

Równanie (2) opisuje również podłoże aluwialne [3], dla którego zawartość frakcji iłowej w niektórych próbkach przekraczała 50%, a średnio wynosiła 26%. Ten fakt może być głównym powodem jego innej charakterystyki niż uzyskana przez autora. Zależność (3) powstała w oparciu o badania gruntów lessowych o zawartości frakcji iłowej ($f_i < 0,002$ mm) w badanym gruncie poniżej 40% ze stanu Iowa w Stanach Zjednoczonych [6]. Równanie opisane wzorem (4) odnosi się do osadów pochodzenia morskiego z Hongkongu [7].

Proste opisane równaniami (2), (3) i (4) wykazują mniejsze pochylenie niż zależność znaleziona w wyniku prowadzonych przez autora badań (1).



Rys. 3. Zależność pomiędzy zawartością frakcji ilowej i granicą płynności badanych mad

Zależność pomiędzy zawartością frakcji ilowej i granicą płynności (rys. 3) została opisana następującym równaniem (5):

$$w_L = 2,073 * f_i + 12,916 \quad (5)$$

Równania ustalone dla innych gruntów przedstawiają się następująco:

$$w_L = 1,504 * f_i + 11,407 [3] \quad (6)$$

$$w_L = 0,88 * f_i + 18,30 [6] \quad (7)$$

$$w_L = 1,70 * f_i + 13,50 [7] \quad (8)$$

$$w_L = 2,39 * f_i + 7,409 [8] \quad (9)$$

Charakter równania (7) najbardziej różni się od pozostałych – współczynnik kierunkowy, czyli tangens kąta pochylenia wykresu określający przyrost wartości w_L jest znacznie mniejszy niż w pozostałych wyrażeniach. Zależność (9) powstała w oparciu o analizę gruntów spoistych pochodzenia morskiego zdeponowanych u wybrzeży indyjskich [8].

Wskaźnik plastyczności jest parametrem określającym zdolność gruntu do przejścia ze stanu półzwarłego do stanu płynnego, czyli jego wrażliwość na wzrost zawilgocenia.

Wskaźnik plastyczności zależy liniowo od zawartości w gruncie frakcji ilowej. Zależność tą dla badanych mad zobrazowano na rys. 4. i opisano równaniem (10):

$$I_p = 1,247 * f_i - 0,801 \quad (10)$$

Inni badacze podobne zależności opisali następująco:

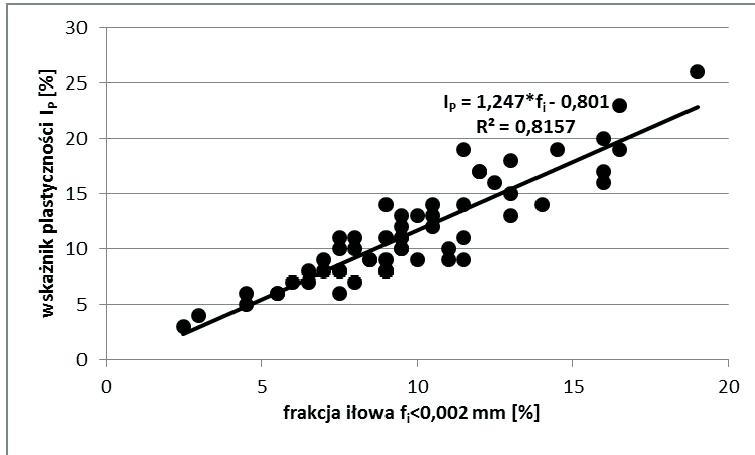
$$I_p = 0,954 * f_i - 1,172 [3] \quad (11)$$

$$I_p = 1,21 * f_i - 11,50 [6] \quad (12)$$

$$I_p = 1,26 * f_i [7] \quad (13)$$

$$I_p = 1,22 * f_i - 3,24 [9] \quad (14)$$

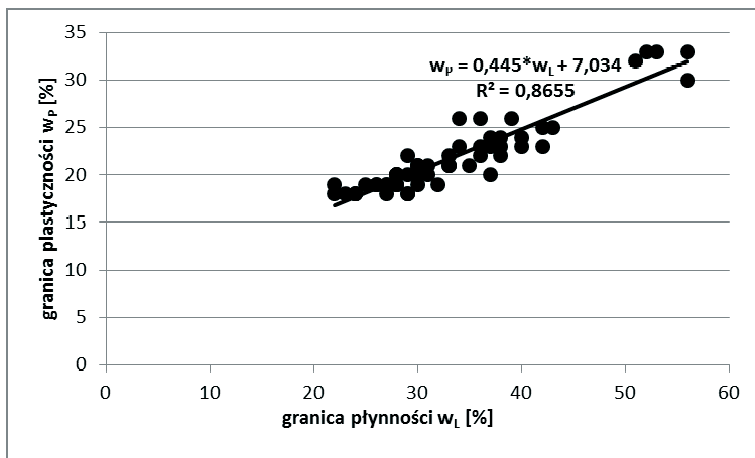
Zależność (14) wyznaczona została dla czwartorzędowych gruntów morenowych z terenu Górnego Śląska [9].



Rys. 4. Zależność pomiędzy zawartością frakcji ilowej i wskaźnikiem plastyczności badanych mad

Przeprowadzone analizy wykazały dobrą korelację pomiędzy granicami konsystencji badanego gruntu. Zaprezentowano ją na rys. 5 oraz za pomocą równania (15):

$$w_p = 0,445 * w_L + 7,034 \quad (15)$$

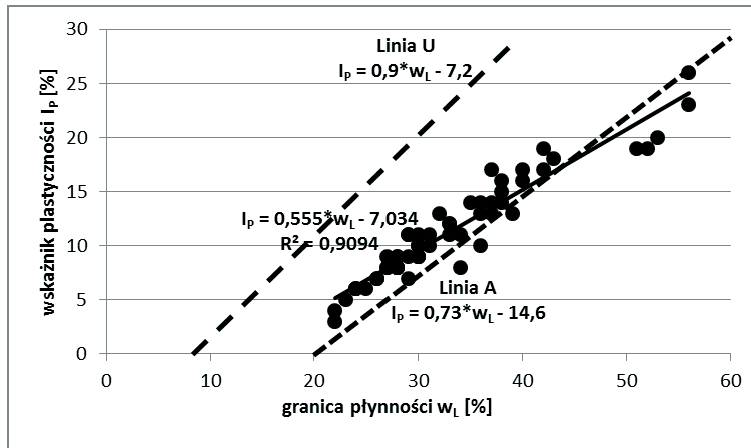


Rys. 5. Zależność pomiędzy granicą płynności i granicą plastyczności badanych mad

Na rys. 6. przedstawiona została zależność pomiędzy wskaźnikiem plastyczności i granicą płynności. Prosta regresji opracowana na podstawie badań autora została opisana następującym równaniem (16):

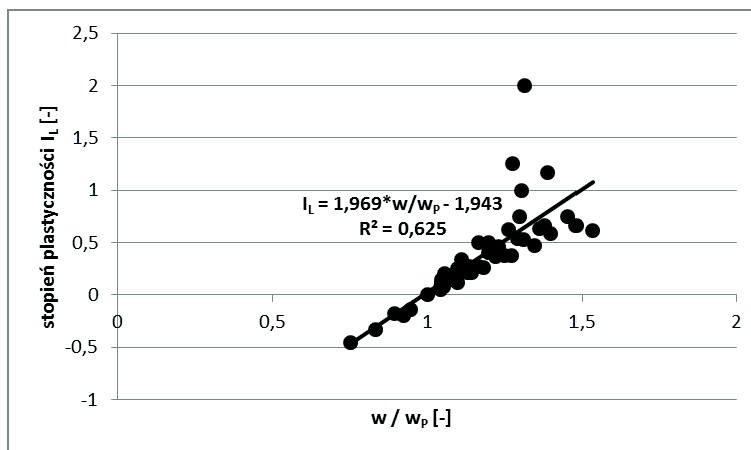
$$I_p = 0,555 * w_L - 7,034 \quad (16)$$

Ułożenie prostej (16) jest bardziej poziome niż linia A wg Casagrande'a. Wyniki innych badaczy [3] również wskazują na podobne do autora ułożenie prostej regresji.



Rys. 6. Zależność pomiędzy zawartością granicą płynności i wskaźnikiem plastyczności badanych mad

Dodatkowo sprawdzono powiązania uwzględniające wpływ wilgotności naturalnej gruntu w połączeniu z granicami konsystencji na stopień plastyczności podłoża (rys. 7. i rys. 8.)



Rys. 7. Zależność pomiędzy ilorazem wilgotności naturalnej i granicy plastyczności a stopniem plastyczności badanych mad

Prosta regresji opracowana na podstawie rys. 7. została opisana następującym równaniem (17):

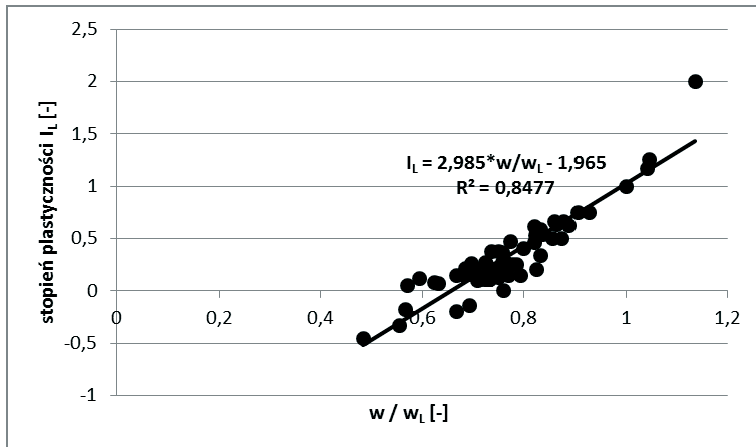
$$I_L = 1,969 * \frac{w}{w_p} - 1,943 \quad (17)$$

Dla rezultatów badań przedstawionych na rys. 8. równanie liniowe (18) przybiera postać:

$$I_L = 2,985 * \frac{w}{w_L} - 1,965 \quad (18)$$

W piśmiennictwie branżowym [10] podany został wzór (19) opisujący przedstawioną wyżej zależność, który jednak w istotny sposób różni się od powiązania ustalonego dla analizowanego podłoża aluwialnego:

$$I_L = 1,55 * \frac{w}{w_L} - 0,56 \quad [10] \quad (19)$$



Rys. 8. Zależność pomiędzy ilorazem wilgotności naturalnej i granicy płynności a stopniem plastyczności badanych mąd

3. Podsumowanie

Określenie nośności podłoża gruntowego wymaga znajomości jego parametrów wytrzymałościowych. Najdokładniejszym sposobem ich ustalenia jest przeprowadzenie odpowiednich badań uwzględniających wpływ różnego rodzaju czynników na otrzymane wartości. Używanie w analizach posadowień parametrów określonych w taki sposób daje gwarancje przyjęcia optymalnych rozwiązań fundamentowych.

Jednakże w przypadku budowli mniej odpowiedzialnych, projektowanych na podłożu o nieskomplikowanej budowie uzasadnione wydaje się ostrożne przyjęcie parametrów gruntu bez kompleksowego rozpoznania podłoża. Koszty i czas poświęcony na przeprowadzenie dokładnych analiz, w takich przypadkach rzadko znajdują później swoje odzwierciedlenie w oszczędniejszych rozwiązaniach posadowień.

Zarówno w przypadku szczegółowych badań podłoża, jak i szacunkowym określaniu jego parametrów stosowanych jest szereg współczynników zwiększających bezpieczeństwo konstrukcji (uwzględniających również ewentualne błędy powstałe na etapie rozpoznania gruntu).

Nacisk kładziony na rozpoznanie podłoża z wykorzystaniem bezpośrednich metod badawczych jest jak najbardziej uzasadniony. Wskazać należy jednak również, na potrzebę poszukiwania zależności korelacyjnych pomiędzy parametrami gruntu, celem szybszego i tańszego rozpoznania geotechnicznego, nie tylko na potrzeby projektowania nowych obiektów, ale może przede wszystkim celem ułatwienia weryfikacji jakości podłoża w trakcie realizacji robót budowlanych.

W literaturze geotechnicznej opisanych zostało już szereg zależności ustalonych w wyniku badań prowadzonych na różnorodnym materiale gruntowym. Zaznaczyć należy, że wspomniane relacje odzwierciedlają regionalne charakterystyki gruntu i przeważnie nie mogą mieć zastosowania dla podłoża o innej genezie.

Zaprezentowane w pracy rezultaty badań wykazują poprawne skorelowanie z równaniami prostych regresji. Najmniejsza wartość kwadratu współczynnika korelacji wynosi 0,5322, co oznacza wartość współczynnika Pearsona równą 0,73. W większości analiz wartość R przekracza 0,9. Zdecydowanie lepszą zbieżność wyników uzyskano dla relacji odnoszących się do granicy płynności, aniżeli do granicy plastyczności. Jest to prawdopodobnie związane z większą dokładnością procedury badania tego parametru.

Literatura

- 1 PN-81/B-03020, Grunty budowlane, Posadowienie bezpośrednie budowli, Obliczenia statyczne i projektowanie.
- 2 Myślińska E. Grunty organiczne i laboratoryjne metody ich badania. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2001.
- 3 Myślińska E. Engineering-geological problems in investigations on soft soils in river valleys. 6th International IAEG Congress, Balkema, Rotterdam, 1990.
- 4 Jaremski J., Wilk K. Analiza wpływu zmian zawilgocenia gruntów madowych wywołanych stanami powodziowymi na parametry geotechniczne. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, nr 208, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, z. 36, Rzeszów, 2004.
- 5 Jaremski J., Wilk K. Influence of fen soils moisture changes on the strength parameters and applied foundation solutions. Proceedings of the 10th International Congress of the IAEG, Nottingham, 2006.
- 6 Davidson D.T., Sheeler, J.B. Clay Fraction in Engineering Soils: Influence of Amount on Properties. Proceedings of the Highway Research Board, Vol. 31, 1952, 558-563.
- 7 Yin J-H. Properties and Behaviour of Hong Kong Marine Deposits with Different Clay Contents. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 36, 1999, 1085-1095.
- 8 Sridharan A. Engineering Behaviour of Marine Clays. Proceedings of the International Conference on Offshore and Nearshore Geotechnical Engineering, Keynote Lecture 3, 1999, 49-64.
- 9 Sękowski J. Zależności korelacyjne cech plastyczności gruntów spoistych. Inżynieria i Budownictwo, Nr 10, 1993.
- 10 Nagaraj T. S., Miura N. Soft Clay Behaviour: Analysis and Assessment. A. A. Balkema, 2001.

Relationship between consistency parameters and granulation of fen soils

Krzysztof Wilk¹

¹ *Department of Geodesy and Geotechnics, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Rzeszow University of Technology, e-mail: kwilk@prz.edu.pl*

Abstract: Determination of bearing capacity requires knowledge of the ground strength parameters. The best way to appreciate soil properties is the use of the direct research methods. In the case of less responsible buildings, projected on the simple ground structure, it often seems reasonable to adopt conservative soil parameters without performing a complex analysis. The base for determination the values of the geotechnical parameters is the estimation based on the correlation between the mechanical and geotechnical parameters of soil. It is important not only for the new building design, but also to facilitate the verification of the substrate quality during the execution of the work.

This paper presents the relationship between granulation (clay fraction content) and soil consistency parameters (plastic limit, liquid limit, plasticity index and liquidity index). The analyzed values are determined as a result of alluvial ground studies. These soils were consequent upon the accumulation of river. The founded relationships were described by linear equations and were compared with the results presented in the geotechnical literature. These comparisons often show a significant effect of regional ground forming conditions on the parameters of consistency.

Keywords: fen soils, consistency limits, liquidity index, soils granulation, clay fraction.