

WYKONYWANIE BADAŃ BEZPOŚREDNIEGO ŚCINANIA NA POBRANYCH PRÓBKACH GRUNTÓW W CELU WYZNACZENIA PARAMETRÓW WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH TAKICH JAK KĄT TARCIA WEWNĘTRZNEGO I SPÓJNOŚĆ GRUNTU PRZY RÓŻNYCH STANACH WILGOTNOŚCI

PERFORMING DIRECT SHEAR TESTS ON COLLECTED SOIL SAMPLES IN ORDER TO DETERMINE STRENGTH PARAMETERS SUCH AS THE ANGLE OF INTERNAL FRICTION AND SOIL COHESION AT VARIOUS HUMIDITY CONDITIONS

Radosław Drynda, Adam Bajcar - „Poltegor - Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

W artykule przedstawiono wyniki badań gruntów o naruszonej strukturze przeprowadzonych w aparacie bezpośredniego ścinania w różnych stanach wilgotności. Badania te zostały przeprowadzone dla gruntów nadwęglowych pobranych w odkrywce Szczerców

Słowa kluczowe: kąt tarcia wewnętrznego, spójność gruntu, wilgotność gruntu

The article presents the results of tests of soils with disturbed structure carried out in a direct shear apparatus in various humidity conditions. These studies were carried out for above lignite soils collected in the Szczerców open pit.

Keywords: angle of internal friction, soil cohesion, soil moisture

Wprowadzenie

Z uwagi na nieustający rozwój przemysłu w szczególności budownictwa kubaturowego, budownictwa drogowego, górnictwa hydrotermicznego oraz rekultywacji terenów poprzemysłowych i pokopalnianych niezbędna jest wiedza na temat podłoża gruntowego i jego parametrów wytrzymałościowych. Ponadto ustawa o Prawie Budowlanym [1] nakłada na potencjalnych inwestorów obowiązek wykonywania badań geotechnicznych, a Eurokod 7 [2] wymaga wyznaczania parametrów geotechnicznych na podstawie badań polowych lub laboratoryjnych. Wyznaczenie podstawowych parametrów wytrzymałościowych gruntów takich jak kąt tarcia wewnętrznego oraz spójność, należy do jednych z najważniejszych i zarazem najtrudniejszych zagadnień w mechanice gruntów [3].

W związku z licznymi projektami badawczymi z zakresu geologii inżynierskiej oraz geotechniki realizowanych w „Poltegor-Instytut” Instytucie Górnictwa Odkrywkowego, powstała potrzeba wykonywania badań wytrzymałościowych gruntów o naruszonej strukturze i różnej wilgotności. Niniejsza praca ma na celu pogłębienie wiedzy na temat możliwości przeprowadzania badań na tak specyficznych próbkach.

Metodyka badań

Oznaczenie składu granulometrycznego – analiza areometryczna

Przed wykonaniem analizy granulometrycznej z dostarczonej bryły iłu o wymiarach 50x50x40 cm zostało wykonane

badanie makroskopowe, na podstawie którego materiał zakwalifikowany został jako ił w stanie zwartym, barwy szarej. Po rozcięciu bryły charakteryzowała się jednorodną budową, bez wyraźnego warstwowania. Do dalszych badań wydzielono próbę o masie 5 kg, która została podzielona na dwie podróbki o masie 2,5 kg każda. W celu zapobieżenia utraty wilgotności, wydzielone próbki owinięto kilkukrotnie folią stretch, a następnie umieszczono w lodówce w temperaturze 8 °C.

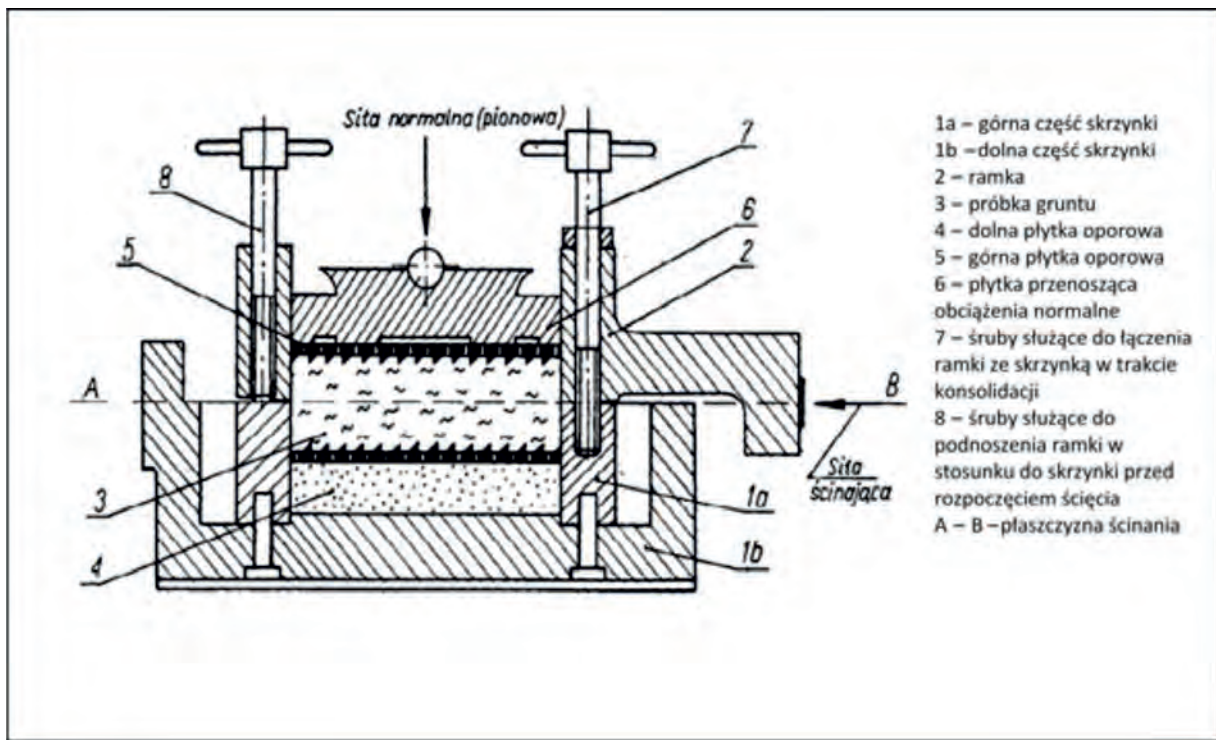
W celu dokładnego oznaczenia zawartości frakcji w badanym materiale wykonano analizę areometryczną zgodnie z PN-B-04481 [4]. Do pomiaru gęstości sporządzonej zawiesiny wykorzystano areometr ze skalą skróconą, który przed badaniem został sprawdzony zgodnie z wytycznymi zawartymi w [5], natomiast frakcje powyżej 0,063 mm przesiano przez zestaw sit o wymiarach 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 i 0,063 mm.

Badanie wilgotności

Wilgotność gruntu określa się stosunkiem masy wody wolnej lub zawartej w porach próbki gruntu do masy suchych, stałych cząstek gruntu. Oznaczenie wilgotności gruntu wykonano w oparciu o normę PN-B-04481 [4].

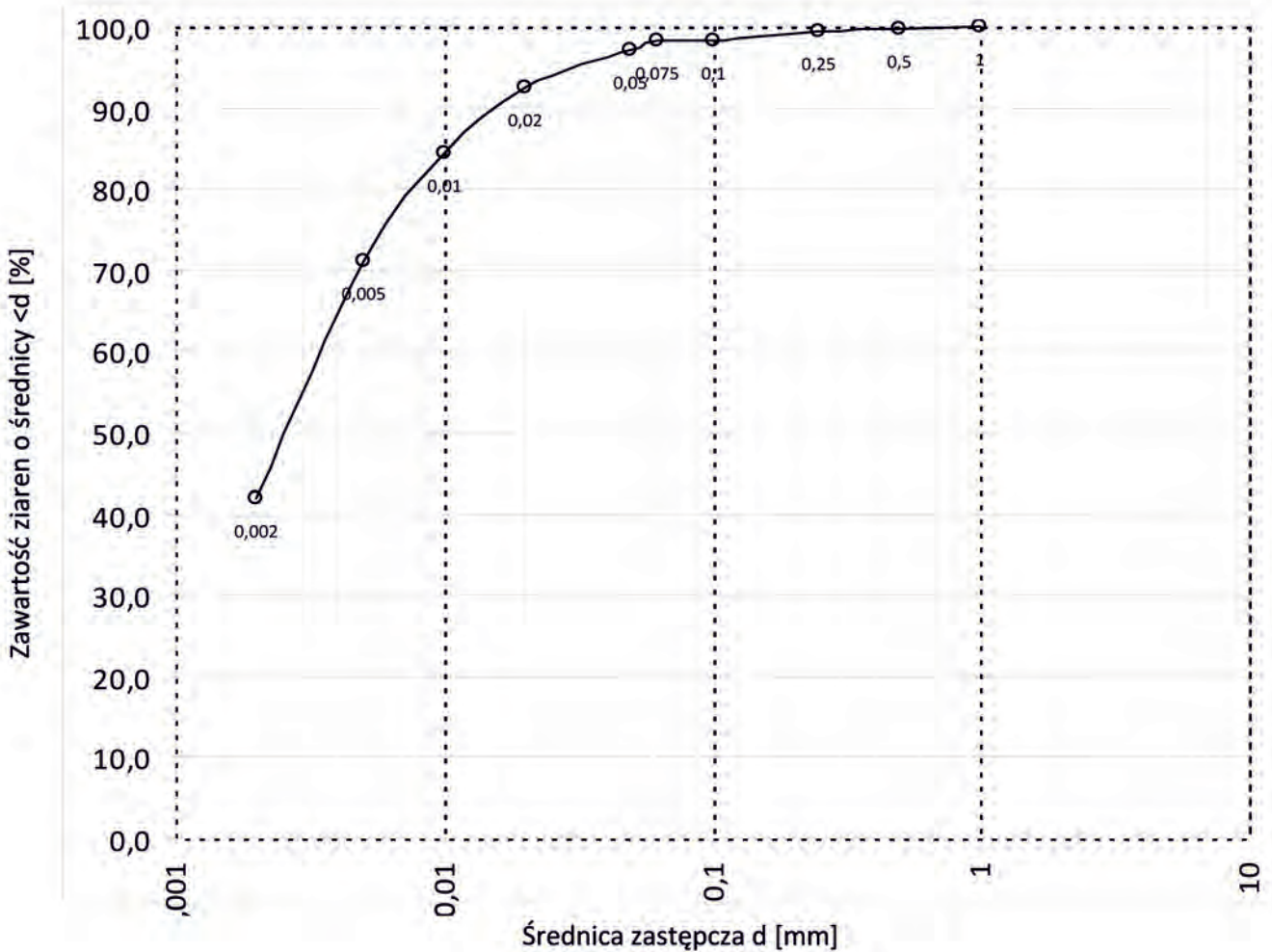
Wyznaczenie stanu gruntu

Oznaczenie stanu gruntu wykonano na podstawie normy PN-B-04481 [4]. Stan gruntu został określony na podstawie granic Atterberga, gdzie granice plastyczności (w_p) wyznaczono na podstawie wałeczowania, a granice płynności (w_L) na podstawie badania metodą penetrometru stożkowego. Granica skurczalności (w_s) została oszacowana na podstawie wzoru:



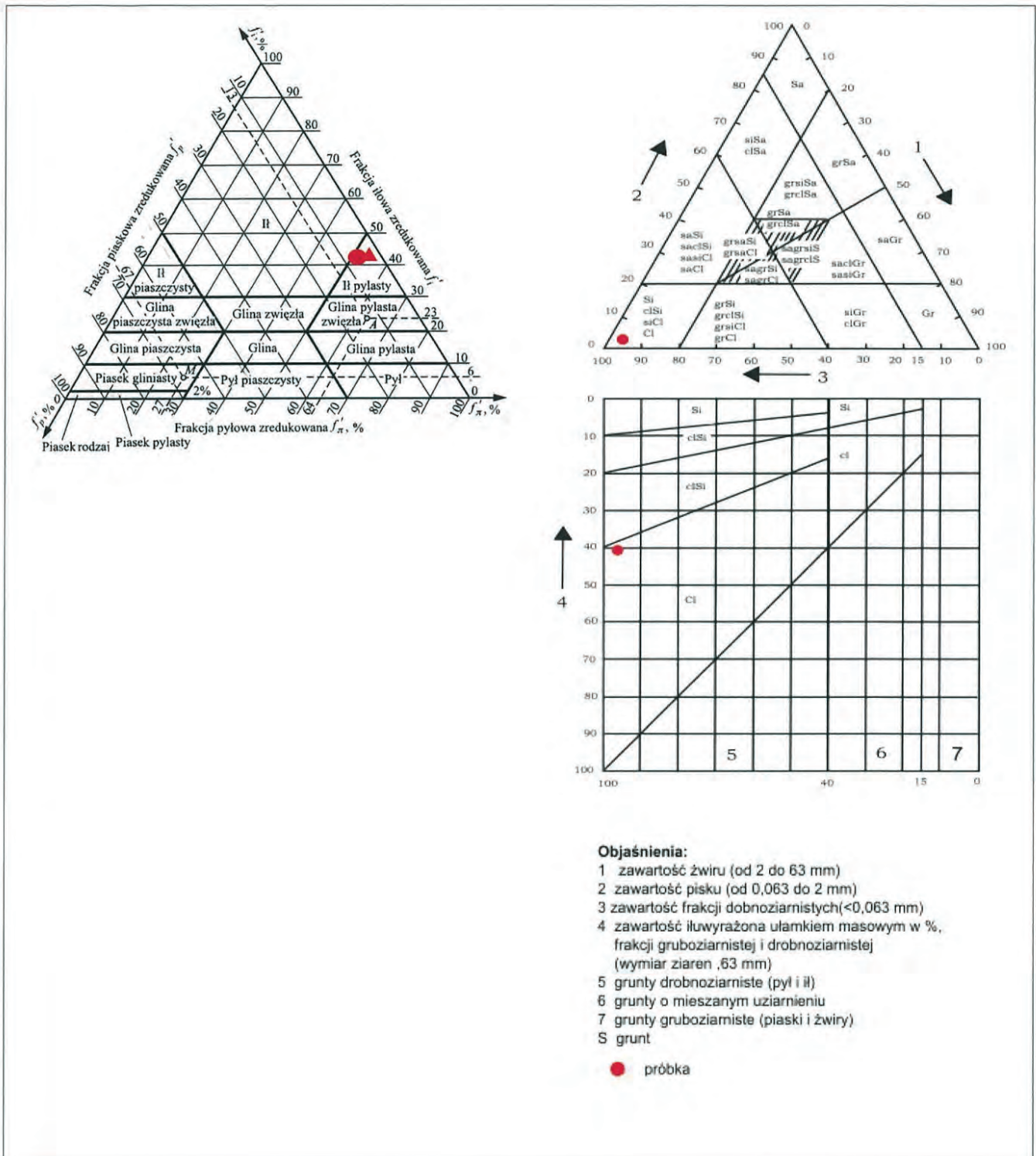
Rys. 1. Schematyczny przekrój przez skrzynkę aparatu bezpośredniego ścinania wraz z zaznaczonymi kierunkami działań siły ścinającej i siły normalnej (schemat przerobiono na podstawie PN-B-04481 [4])

Fig. 1. Schematic cross-section through the box of the direct shear apparatus with the directions of action of shear and normal forces (the diagram was modified on the basis of PN-B-04481 [4])



Rys. 2. Wykres uziarnienia próbki gruntu

Fig. 2. Graph of the grain size distribution of the soil sample



Rys. 3. Pozycja badanego gruntu w trójkącie Fereta oraz nomogramie PN-EN ISO 14688:2006 (wykresy zmodyfikowano na podstawie PN-B-02480 oraz PN-EN ISO 14688:2006)

Fig. 3. Position of the tested soil in the Feret triangle and the PN-EN ISO 14688:2006 nomogram (the graphs were modified on the basis of PN-B-02480 and PN-EN ISO 14688:2006)

$$w_s = w_L - 1,25 \cdot w_p$$

Natomiast w przypadku aktywności koloidalnej A czyli skłonności gruntów do zmian cech fizycznych pod wpływem działania wody wykorzystano zależność wprowadzoną przez Skemptona w 1953 r. wyrażoną stosunkiem wskaźnika plastyczności do zawartości procentowej frakcji ilastej w gruncie:

$$A = I_p / f_i$$

Wyznaczenie kąta tarcia wewnętrznego i spójności w aparacie bezpośredniego ścinania

Do oznaczenia kąta tarcia wewnętrznego oraz spójności wykorzystano aparat firmy ZAN z Krakowa. Badanie przeprowadzono zgodnie z normą PN-B-04481 [4]. Z wydzielonych podpróbek iltu wykonano pasty gruntowe o masach 2,5 kg każda. Dalej jedną z podpróbek doprowadzono do wilgotności 68% (próbka nr 1), a drugą do ok. 86% (próbka nr 2). Na tak przygotowanych próbkach dokonano ścięcia w aparacie bezpośredniego ścinania.

Do wykonania oznaczenia wykorzystano dwudzielną skrzynkę o wymiarach 60/60 mm zgodną z normą PN-B-04481 [4], jej przekrój przedstawiono na rysunku 1. Dla każdej pod próbki dokonano pięciu ścięć przy następujących wartościach naprężenia normalnego: 50, 100, 200, 300, 400 kPa. Prędkość ścięcia wynosiła 0,01 mm/min. W trakcie wykonywania badania okresowo co 5 minut dokonywano odczytu zmian przemieszczenia górnej skrzynki względem dolnej w kierunku działania siły ścinającej oraz wartości siły ścinającej i naprężenia nor-

malnego. Celem badania było określenie maksymalnej siły ścinającej potrzebnej do przesunięcia górnej skrzynki po części dolnej. W trakcie przemieszczenia wywołany został opór gruntu działający w płaszczyźnie poziomej. Jako wartość wytrzymałości na ścinanie przyjęto maksymalną wartość naprężeń ścinających w zakresie odkształceń względnych $r \leq 10\%$ (Rys. 5 i 6).

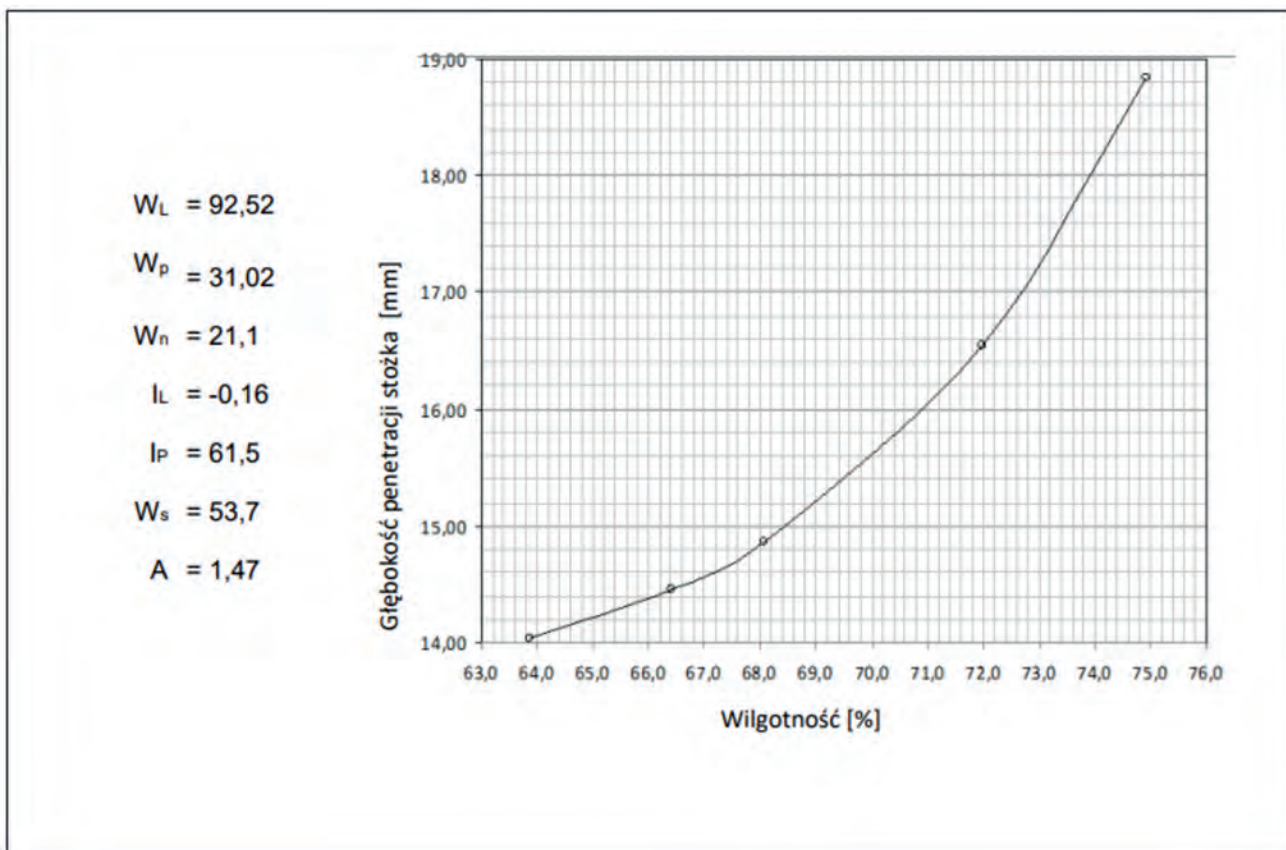
Po obliczeniu wytrzymałości na ścinanie dla każdej z podpróbek sporządzono wykresy zależności wytrzymałości na ścinanie od wartości naprężenia normalnego (Rys. 7) wraz z wyznaczeniem równania prostej.

Wyniki badań

Dzięki przeprowadzonej analizie areometrycznej możliwe było dokładne oznaczenie zawartości poszczególnych frakcji oraz zakwalifikowanie gruntu zgodnie z normami PN-B-2480 [6] i PN-EN ISO 14688:2006 [7]. Pozycję badanego gruntu na trójkącie Fereta oraz nomogramie ISO przedstawiono na rysunku 3. Pozwala to zakwalifikować badany materiał jako ilt pylaste wg PN-B-2480 [6] oraz ilt wg PN-EN ISO 14688:2006 [7].

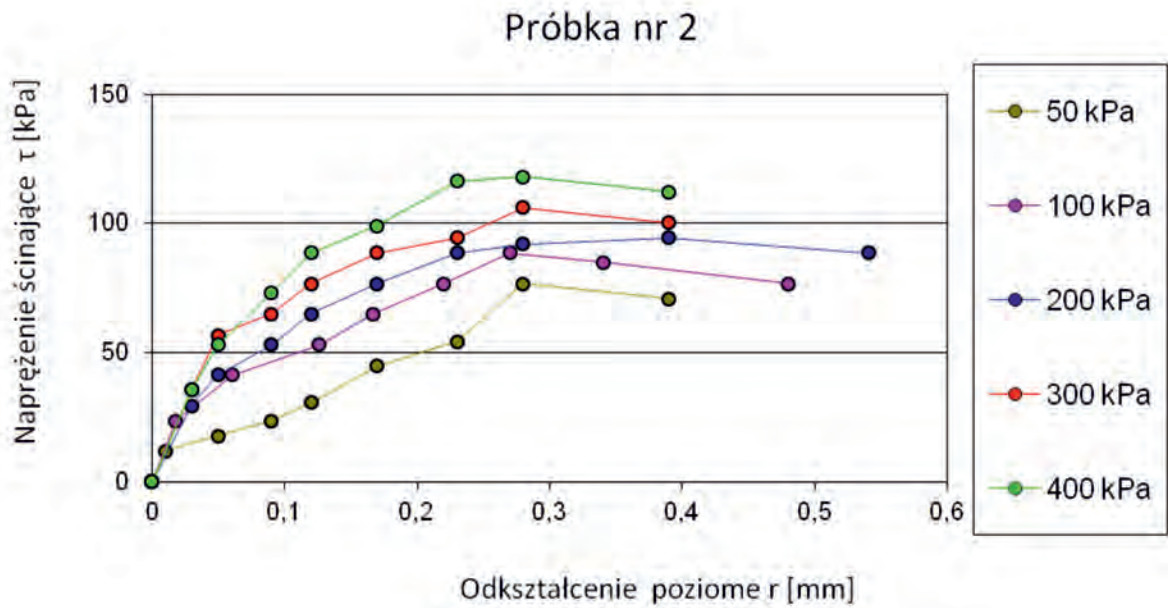
W próbce badanego gruntu stwierdzono występowanie frakcji iltowej na poziomie 41,8%, frakcji pyłowej na poziomie 55,2% oraz frakcji piaszczystej na poziomie ok. 3%. Wyniki analizy przedstawiono na rysunku 2.

W wyniku przeprowadzonego badania granic Attenberga zostały określone: granica plastyczności W_p , granica płynności W_L , granica skurczalności W_s , stopień plastyczności I_L , wskaźnik plastyczności I_p , których wartości przedstawiono na rysunku 4. Pozyskane wyniki wskazują, że badany materiał znajduje się w stanie zwartym o dość wysokiej granicy płynności na poziomie 92,5%. Ponadto wskaźnik aktywności

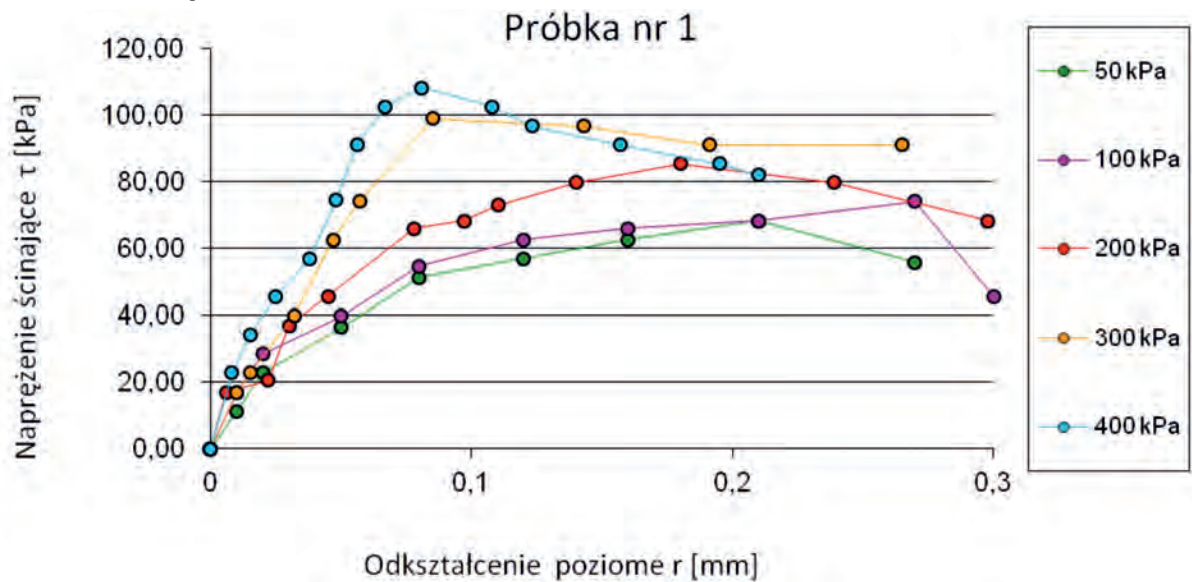


Rys. 4. Oznaczenie granicy płynności metodą penetrometru stożkowego

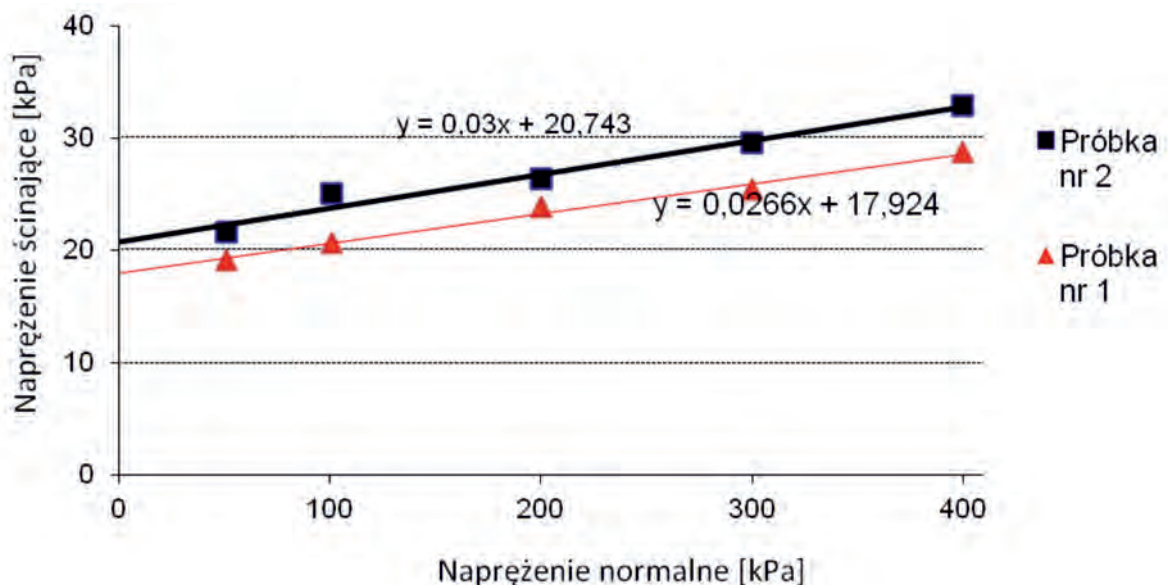
Fig. 4. Determination of the ground liquidity limit by the cone penetrometer method



Rys. 5. Charakterystyka ścinania próbki nr 2
Fig. 5. Shear characteristics of sample no. 2



Rys. 6. Charakterystyka ścinania próbki nr 1
Fig. 6. Shear characteristics of sample no. 1



Rys. 7. Parametry wytrzymałościowe gruntu
Fig. 7. Soil strength parameters

koloidalnej $A=1,47$ pozwala zakwalifikować badany grunt do grupy 4 – o aktywności 1,25-2,0 wg klasyfikacji Skempton [10]. Będzie to wpływało na zwiększoną zdolność do wiązania wody, a co za tym idzie bezpośrednio wpłynie na wzrost pęcznienia i ściśliwości gruntu.

W rezultacie przeprowadzonych badań ścinania zaobserwowano, że naprężenia ścinające po osiągnięciu wartości maksymalnej wykazywało tendencje spadkowe (Rys. 5 i 6).

W przypadku ścinania gruntów z drenażem takie zachowanie wskazuje na grunty spoiste prekonsolidowane [8].

Na podstawie poniższych wykresów charakterystyki ścinania dla próbek 1 i 2 graficznie przedstawiono parametry wytrzymałościowe badanego gruntu (Rys. 7). Dla próbki 1 oszacowano efektywny kąt tarcia wewnętrznego $\varphi = 1,1^\circ$ i spójność efektywną $c = 17,9$ kPa natomiast dla próbki nr 2 efektywny kąt tarcia wewnętrznego $\varphi = 1,7^\circ$ i spójność efektywną $c = 20,7$ kPa.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy areometrycznej oraz granicy Atterberga uzyskano zbieżne wyniki jeśli chodzi o klasyfikację badanego gruntu. W ich wyniku możliwe było zakwalifikowanie go do ilów pylistych wg PN-B-02480 [6] oraz ilu wg PN-EN ISO 14688 [7]. Obliczona aktywność koloidalna $A=1,47$, czyli grunt można zakwalifikować jako aktywny i jak podaje Kostrzewski [9] cechował się będzie wysoką ekspansywnością.

Uzyskane wyniki kąta tarcia wewnętrznego oraz spójność nie wykazały wyraźnej zmienności (Rys. 7) dla wilgotności 68% i 86%. Porównując otrzymane parametry z nomogramami zamieszczonymi w PN-B-03020 [5] dla gruntów o stopniu plastyczności $I_L=0,50$ (próbka 2), wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójność wynoszą: $\varphi = 6,2^\circ$, $c = 34$ kPa, natomiast dla próbki nr 1 o stopniu plastyczności $I_L=0,90$ norma nie zakłada oznaczenia parametrów wytrzymałościowych. Należy jednak nadmienić, iż wartości kąta tarcia wewnętrznego oraz spójność zawarte w normie PN-B-03020 [5], jak również samo wykonanie badania ścinania w aparacie skrzynkowym, przeprowadzone zgodnie z normą PN-B04481:1988 [4], zakłada badanie gruntu o nienaruszonej strukturze. Do wykonania badań wykorzystano pastę gruntową, czyli grunt o zniszczonej strukturze oraz nienaturalnej wilgotności. Z tego też powodu, uzyskane wyniki trudno bezpośrednio odnieść do tabel normowych (PN-B-03020 [5]).

Ponadto, dla dalszych badań należy zmodyfikować zadane obciążenie, gdyż zakres podany w normie 50, 100, 200, 300, 400 kPa dla gruntów o wysokim stopniu plastyczności, wydaje się być za wysoki, co przekłada się na tempo konsolidacji oraz dużą utratę wody i tym samym na otrzymany wynik końcowy kąta tarcia wewnętrznego oraz spójności gruntu. Należy również rozważyć zmniejszenie wysokości próbki w skrzynce aparatu ABS poprzez zastosowanie płytek dystansowych, co spowoduje zmniejszenie czasu w jakim próbka ulega konsolidacji.

Literatura

- [1] Dz. U. 1994 Nr 89 poz. 414 USTAWA z dnia 7 lipca 1994r. Prawo budowlane
- [2] PN-EN 1997-1:2008-05P Eurokod 7: *Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne*
- [3] *Zarys geotechniki*. Z. Wiłun. Warszawa 1976, 2013
- [4] PN-B-04481:1988 *Grunty budowlane -- Badania próbek gruntu*
- [5] PN-B-03020:1981 *Grunty budowlane -- Posadowienie bezpośrednie budowli -- Obliczenia statyczne i projektowanie*
- [6] PN-B-2480:1986 *Grunty budowlane -- Określenia, symbole, podział i opis gruntów*
- [7] PN-EN ISO 14688-2-2018-5 *Rozpoznanie i badania geotechniczne -- Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów -- Część 2: Zasady klasyfikowania*
- [8] I. Dudko-Pawłowska, M. Kowalska, M. Gawlik „*Parametry geotechniczne ilów rudonośnych z rejonu Konopisk (SW obrzeżenie Częstochowy)*”, *Przegląd Geologiczny* vol. 65, nr 10/2, 2017
- [9] Kostrzewski W. 1980. *Mechanika Gruntów*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe
- [10] Myślińska E. *Mała encyklopedia gruntoznawstwa*, Warszawa 2018