

Państwowa Szkoła Wyższa
im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej
ZAKŁAD BUDOWNICTWA

ZESZYT ĆWICZEŃ LABORATORYJNYCH Z MECHANIKI GRUNTÓW



Autor opracowania
Mikhail Hrytsuk

Biała Podlaska 2015

PAŃSTWOWA SZKOŁA WYŻSZA
im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej
ZAKŁAD BUDOWNICTWA

ZESZYT ĆWICZEŃ LABORATORYJNYCH Z MECHANIKI GRUNTÓW

Biała Podlaska 2015

Wydawca



Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II
w Białej Podlaskiej

Autor opracowania
prof. zw. dr hab. inż. Mikhail Hrytsuk

Recenzenci
prof. nadzw. dr hab. inż. Stanisław Fic
prof. dr hab. inż. Vadzim Nikitsin

© Copyright by Państwowa Szkoła Wyższa
im. Papieża Jana Pawła II
w Białej Podlaskiej

ISBN 978-83-64881-08-4

Nakład: 200 egzemplarzy

Liczba arkuszy wydawniczych: 1,5



Wydawnictwo PSW JP II
ul. Sidorska 95/97, p. 334R
21-500 Biała Podlaska
www.pswbp.pl

Skład, druk i projekt okładki:
Agencja Reklamowa TOP, ul. Toruńska 148, 87-800 Włocławek,
tel.: 54 423 20 40, fax: 54 423 20 80, www.agencjatop.pl

PAŃSTWOWA SZKOŁA WYŻSZA
im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej
ZAKŁAD BUDOWNICTWA

ZESZYT ĆWICZEŃ LABORATORYJNYCH Z MECHANIKI GRUNTÓW

STUDENT.....

SEMESTR.....GRUPA.....

ZALICZENIE.....

Biała Podlaska

Spis treści:

<i>Badanie własności gruntów metodą makroskopową</i>	5
<i>Ćwiczenie 1</i>	
Badania makroskopowe	8
<i>Ćwiczenie 2</i>	
Analiza granulometryczna	10
<i>Ćwiczenie 3</i>	
Oznaczanie gęstości objętościowej gruntu	13
<i>Ćwiczenie 4</i>	
Oznaczenie wilgotności naturalnej gruntu	18
<i>Ćwiczenie 5</i>	
Oznaczenie gęstości właściwej gruntu.....	20
<i>Ćwiczenie 6</i>	
Oznaczenie stopnia zagęszczenia gruntów niespoistych	24
<i>Ćwiczenie 7</i>	
Oznaczenie plastyczności gruntów spoistych	28
<i>Ćwiczenie 8</i>	
Oznaczenie wskaźnika zagęszczenia gruntu	32
<i>Ćwiczenie 9</i>	
Oznaczanie edometrycznych modułów ścisłości gruntu	36
<i>Ćwiczenie 10</i>	
Badanie kąta tarcia wewnętrznego i spójności w aparacie bezpośredniego ścianania	41
<i>Literatura</i>	47

BADANIE WŁASNOŚCI GRUNTÓW METODĄ MAKROSKOPOWĄ

Badaniami makroskopowymi nazywamy przybliżone określenie rodzaju gruntów i ich cech fizycznych bez pomocy przyrządów.

Badania te należy stosować jako badania polowe w terenie. Badania makroskopowe należy także wykonywać jako wstępne badania przeglądowe próbek gruntu w laboratorium, w celu prawidłowego wyznaczenia próbek do szczegółowych badań laboratoryjnych, a także należy je wykonywać przy poszczególnych badaniach laboratoryjnych w celu porównania i określenia stanu badanych próbek użytych do innych badań w laboratorium.

Badania makroskopowe gruntów polegają na oznaczaniu następujących cech gruntów:

- I) rodzaju gruntów,
- II) stanu gruntów spoistych,
- III) wilgotności gruntów,
- IV) barwy gruntów,
- V) klasy zawartości węglanów.

Oznaczenie rodzaju gruntów wg. tab. 1 i tab. 2

Tab. 1. Oznaczanie rodzaju gruntów niespoistych

Nazwa gruntu	Zawartość frakcji [%]		
	> 2 mm	> 0.5 mm	> 0.25 mm
Żwir	> 50	-	-
Pospółka	10 ÷ 50	>50	-
Piasek gruboziarnisty	<10	>50	-
Piasek średnioziarnisty	<10	<50	>50
Piasek drobnoziarnisty	<10	<50	<50
Piasek pylasty ¹⁾			
¹⁾ Piasek pylasty po wyschnięciu tworzy lekko spojone grudki, które rozsypują się między palcami przy ich podnoszeniu			

I. Oznaczenie nazw gruntów spoistych

Nazwa gruntów spoistych zależy od zawartości frakcji pyłowej i piaskowej.

Wyróżnia się 4 grupy gruntów spoistych (patrz tab. 2)

Do ustalenia spoistości gruntu służą 2 próby: wałeczkowania i rozmakania.

Tab. 2. Oznaczanie rodzaju gruntów spoistych

Rodzaj gruntu, wskaźnik plastyczności (I_p), zawartość frakcji ilowej (f_i)	Rodzaje i nazwy gruntów w zależności od zawartości frakcji piaskowej*			Wyniki badania	
	grupa I	grupa II	grupa III	próba waleczkowania	próba rozmakania w wodzie
małospoisty $I_p < 0.05$ $f_i < 5\%$	piasek gliniasty	pył piaszczysty	pył	kulka rozpląszcza się lub rozsypuje, grunt nie daje się waleczkować	grunt rozmaka natychmiast
małospoisty $I_p = 0.05 \div 0.10$ $f_i = 5 \div 10\%$	piasek gliniasty	pył piaszczysty	pył	waleczek rozwarstwia się podłużnie	grudka rozmaka w czasie od 0.5 do 5 minut
średniospoisty $I_p = 0.10 \div 0.20$ $f_i = 10 \div 20\%$	glina piaszczysta	glina	glina pylasta	od początku do końca waleczkowania powierzchnia waleczka bez połysku, waleczek pęka poprzecznie	grudka rozmaka w czasie od 5 do 60 minut
zwięzłospoisty $I_p = 0.20 \div 0.30$ $f_i = 20 \div 30\%$	glina piaszczysta zwięzła	glina zwięzła	glina pylasta zwięzła	waleczek początkowo bez połysku, przy końcu z połyskiem, pęka poprzecznie	grudka rozmaka w czasie od 1 do 24 godz.
bardzo spoisty $I_p > 0.30$ $f_i = 30\%$	ił piaszczysty	ił	ił pylasty	kulka i waleczek od początku z połyskiem	grudka rozmaka w czasie dłuższym niż 24 godz.

*Uwaga: zawartość frakcji piaskowej ustalana jest na podstawie próby rozmakania gruntu w wodzie. Grudkę gruntu należy rozcierać między dwoma palcami zanurzonymi w wodzie. Jeżeli podczas wykonywania próby pozostaje między palcami dużo ziaren piasku – grunt zaliczamy do grupy I, jeżeli wyczuwa się tylko pojedyncze ziarna piasku – grunt należy zaliczyć do grupy II, a gdy żadne ziarna piasku nie pozostają między palcami – grunt należy zaliczyć do grupy III.

II. Oznaczenie stanu gruntów spoistych:

- a) stan zwarty – gdy z badanego gruntu nie można uformować kulki,
- b) stan półzwarty – gdy z gruntu można uformować kulkę, lecz wałeczek pęka podczas pierwszego wałeczkowania (liczba wałeczkowań $X=0$),
- c) stan twardoplastyczny – gdy:
 - dla gruntów małoSpoistych: liczba wałeczkowań $X=1$,
 - dla gruntów średnioSpoistych: liczba wałeczkowań $X<2$,
 - dla gruntów zwiezłospoistych: liczba wałeczkowań $X<3$,
 - dla gruntów bardzo spoistych: liczba wałeczkowań $X<5$,
- d) stan plastyczny – gdy:
 - dla gruntów małoSpoistych: liczba wałeczkowań $X=2$,
 - dla gruntów średnioSpoistych: liczba wałeczkowań $2 \leq X \leq 4$,
 - dla gruntów zwiezłospoistych: liczba wałeczkowań $3 \leq X \leq 7$,
 - dla gruntów bardzo spoistych: liczba wałeczkowań $5 \leq X \leq 10$,

III. Oznaczanie wilgotności: według tab. 3

Tab.3. Oznaczanie wilgotności gruntu

Wilgotność	Określenie
suchy	Grudka gruntu przy zginiataniu pęka, a w stanie rozdrobnionym nie wykazuje zawilgocenia
mało wilgotny	Grudka gruntu przy zginiataniu odkształca się plastycznie, papier filtracyjny lub ręka przyłożona dom gruntu nie stają się wilgotne
wilgotny	Papier filtracyjny lub ręka przyłożona do gruntu stają się wilgotne
mokry	Przy ściskaniu gruntu w dłoni odsącza się z niego woda
nawodniony	Woda odsącza się grawitacyjnie

IV. Oznaczanie barwy gruntu

Barwę gruntu określa się na przełomie próbki gruntu o naturalnej wilgotności. W opisie należy najpierw podać intensywność i odcień, a następnie barwę podstawową: np. jasno żółto-szara. Przy występowaniu kilku barw należy podać charakter ich występowania: np. brązowa z czerwonymi smugami.

V. Oznaczenie klasy zawartości węglanów – według tab. 4

Tab. 4. Oznaczenie klasy zawartości węglanów

Klasa	Zawartość CaCO_3	Reakcja roztworu HCl
IV	$> 5 \%$	Burzy się intensywnie i długo (powyżej 20 sekund)
III	$3 \div 5 \%$	Burzy się intensywnie i krótko (poniżej 20 sekund)
II	$1 \div 3 \%$	Burzy się słabo i krótko
I	$< 1 \%$	Ślady lub brak wydzielienia gazu

ĆWICZENIE NR 1

data ćwiczenia

sprawdził dnia

BADANIA MAKROSKOPOWE

OKREŚLENIE: metoda makroskopowa jest uproszczonym badaniem rodzaju gruntów oraz stanu gruntów spoistych.

ZAKRES BADAŃ: badania makroskopowe mają na celu oznaczenie następujących cech gruntów:

- oznaczenie rodzaju gruntów spoistych na podstawie próby wałeczkowania i rozcierania gruntu w wodzie oraz rozmakania oznaczenie rodzaju gruntów sypkich na podstawie wizualnej oceny zawartości poszczególnych frakcji (lub lupy z podziałką),
- oznaczenie stanu gruntów spoistych na podstawie liczby wałeczkowań,
- oznaczenie stopnia wilgotności gruntu,
- oznaczenie barwy gruntu,
- oznaczenie klasy zawartości węglanów.

Tab. 1.1. Dane badań gruntu niespoistego

Numer próbki	Rodzaj gruntu	Barwa gruntu	Wilgotność	Klasa zawartości węglanów

Tab.1.2. Dane badań gruntu spoistego

Numer próby	Próba wałeczkowań	Próba rozmakania	Próba rozcierania
Zaw. frakcji iłowej (f_i)		Wskaźnik plastyczności (I_p)	
Rodzaj gruntu		Barwa gruntu	
Ilość wałeczkowań		Stan gruntu	
Wilgotność gruntu		Spoistość gruntu	
Klasa zawartości węglanów			
Uwagi			

OPRACOWANIE ĆWICZENIA POWINNO ZAWIERAĆ

1. Krótki opis przebiegu ćwiczenia (patrz s. 6-9).
2. Podanie rodzaju, stanu, wilgotności i klasy zawartości węglanów dla badanych próbek gruntu.
3. Analizę uzyskanych wyników oznaczeń.

PYTANIA KONTROLNE

1. Jakie cechy gruntu można oznaczyć w badaniach makroskopowych?
2. W jaki sposób makroskopowo można odróżnić grunt spoisty od sypkiego?
3. Jak makroskopowo określić rodzaj gruntu spoistego?
4. Jak makroskopowo określić stan gruntu spoistego?
5. Jak makroskopowo określić wilgotność gruntu?
6. Jak zmienia się barwa gruntu wraz ze zmianą jego wilgotności?

ĆWICZENIE NR 2

data ćwiczenia

sprawdził dnia

ANALIZA GRANULOMETRYCZNA

OKREŚLENIE: analizę granulometryczną wykonuje się w celu określenia rodzaju gruntu, czyli do wyznaczenia procentowej zawartości poszczególnych frakcji w stosunku do masy całej próbki w stanie suchym.

ZAKRES BADAŃ: w zależności od rodzaju gruntu (rozpoznanego wcześniej w sposób makroskopowy) stosuje się analizę sitową (grunty sypkie) lub analizę areometryczną (grunty spoiste).

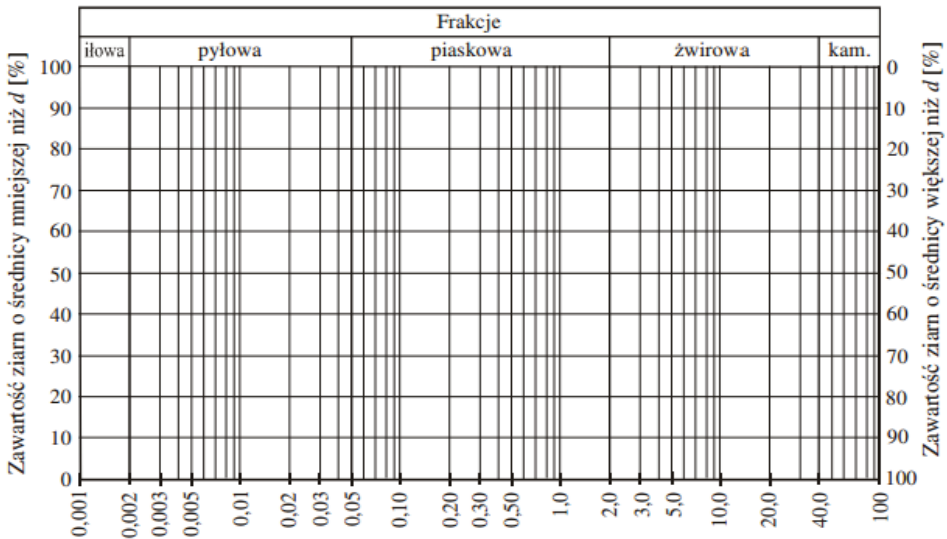
Analiza sitowa

PRZYRZĄDY:

- komplet sit o wymiarach boków oczek kwadratowych: 40, 25, 10, 2, 1, 0.5, 0.25, 0.1, 0.071 lub 0.063 mm,
- wstrząsarka do sit,
- suszarka z termostatem,
- waga laboratoryjna o dokładności ważenia 0.01 g.

Tab. 2.1. Dane analizy sitowej

Wymiar oczek sita [mm]	Masa pozosą- łości na sicie [g]	Rozrzucona różnica masy [g]	Poprawiona masa pozosą- łości na sicie [g]	Zawartość na sicie [%]	Suma zawar- tości [%]
Razem					



Rys. 2.1. Wykres dla krzywych uziarnienia

OPRACOWANIE ĆWICZENIA POWINNO ZAWIERAĆ

1. Krótki opis przebiegu ćwiczenia

- komplet suchych, czystych sit ustawiamy w kolumnę na wstrząsarce w ten sposób, że na górze znajduje się sito o największym wymiarze oczek a pod nim sita o kolejno coraz mniejszym wymiarze (25; 10; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 oraz 0,071 lub 0,063 mm). Pod sitem dolnym umieszcza się płaskie, dopasowane do sita naczynie do zbierania najdrobniejszych frakcji przesiewu, na górne sito wsypuje się wysuszoną i zważoną próbkę o masie 200 g, przykrywa górne sito szczelnym wieczkiem i uruchamia wstrząsarke,

- wstrząsanie powinno trwać 5 minut,

- po wyłączeniu wstrząsarki zawartość pozostałą na każdym sicie przesiewamy ręcznie przez co najmniej 1 minutę nad czystym arkuszem. Strata masy gruntu na sitach nie powinna przekraczać 0,5%.

Po zakończeniu przesiewania pozostałość na każdym sicie przenosi się do zważonej parowniczkę i waży z dokładnością do 1 g.

Zawartość poszczególnych frakcji z_i oblicza się w % i wyznacza się wg wzoru:

$$z_i = \frac{m_i}{m_s} 100\% \quad (2.1)$$

gdzie:

m_i – masa frakcji pozostałej na sicie, g;

m_s – masa szkieletu gruntowego, g.

2. Wykreślenie krzywej uziarnienia gruntu

Po wyliczeniu z_i wykreśla się krzywą uziarnienia gruntu.

3. Ustalenie rodzaju gruntu i obliczenie wskaźnika różnoziarnistości

Według tabeli 1 wyznacza się rodzaj gruntu i oblicza się wskaźnik różnoziarnistości U i krzywizny uziarnienia c wg wzorów:

$$U = d_{60} / d_{10}, \quad (2.2)$$

$$c = d_{30}^2 / (d_{10} * d_{60}), \quad (2.3)$$

gdzie d_{10} , d_{30} , d_{60} – średnice ziarn, których wraz z mniejszymi w gruncie jest odpowiednio 10, 30 i 60 %, które wyznacza się z krzywej uziarnienia gruntu.

PYTANIA KONTROLNE

1. Podaj nazwy frakcji uziarnienia gruntu wraz z odpowiadającymi im zakresami średnic zastępczych.
2. Narysuj przykładowy wykres uziarnienia gruntu z opisem osi.
3. Podaj definicję wskaźnika różnoziarnistości.
4. Wymień znane ci grunty niespoiste.

ĆWICZENIE NR 3

data ćwiczenia

sprawdził dnia

OZNACZANIE GĘSTOŚCI OBJĘTOŚCIOWEJ GRUNTU

3.1. Uwagi wstępne

Ilościowymi wskaźnikami różnych stosunków trzech faz w gruncie (stałej, ciekłej i gazowej) są następujące parametry:

- gęstość objętościowa gruntu,
- gęstość objętościowa szkieletu gruntowego,
- porowatość i wskaźnik porowatości.

Gęstością objętościową gruntu ρ nazywa się stosunek masy próbki gruntu (w stanie naturalnym) do jej objętości. Wyznacza się ją ze wzoru:

$$\rho = m_m / V, \text{ g/cm}^3$$

gdzie:

m_m - masa próbki gruntu w stanie naturalnym, g,

V - objętość badanej próbki gruntu, cm^3 .

Gęstość objętościowa jest bezpośrednim wskaźnikiem obliczeniowym służącym do wyznaczenia takich cech, jak: obliczania parcia gruntu na ścianki oporowe, stateczności zboczy naturalnych i skarp, dopuszczalnych obciążeń gruntu w podłożu budowli, wielkości osiadań, gęstości objętościowej szkieletu gruntowego i in.

Gęstość objętościową gruntu wyznacza się z zasady na próbkach o strukturze nienaruszonej (NNS), która charakteryzuje grunt w warunkach naturalnych.

W zależności od rodzaju gruntu i wielkości próbki przeznaczonej do badań przy oznaczaniu gęstości objętościowej stosuje się jedną z czterech metod:

- 1) metodę pierścienia tnącego,
- 2) metodę rtęciową, przy zastosowaniu objętościomierza lub przy zastosowaniu krystalizatora z płytką,
- 3) metodę w wodzie (parafinowania),
- 4) metodę oznaczania gęstości objętościowej w cylindrze.

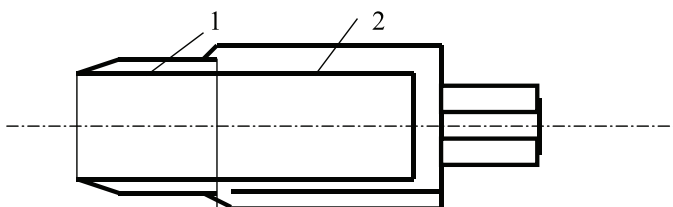
Pierwsze trzy metody stosuje się podczas badania gruntów spoistych, drugą i trzecią również dla gruntów skalistych, metodę czwartą – przy badaniu gruntów sypkich.

Metodę pierścienia tnącego stosuje się w badaniu próbek gruntów spoistych o nienaruszonej strukturze. Oznaczanie w wodzie (i parafinie) stosuje się podczas badania próbek gruntów spoistych, których objętość lub stan nie pozwalają na wycięcie próbki za pomocą pierścienia. Metodę tę można stosować dla próbek o dowolnej wielkości i kształcie. Znaczenie gęstości objętościowej są w normę [12] (załącznik 2, tabele 1, 2).

3.2. Metoda pierścienia tnącego

3.2.1. Sprzęt pomocniczy

1. Pierścień metalowy o średnicy i wysokości około 4 cm wykonany z nierdzewnej stali, z dolną krawędzią zaokrągloną od strony zewnętrznej. Pierścień powinien mieć nasadkę umożliwiającą wciśnięcie go w grunt (rys. 3.1).
2. Suwmiarka.
3. Nóż o prostej krawędzi ostrza.



Rys. 3.1. Schemat pierścienia tnącego do oznaczania gęstości objętościowej:
1- pierścień, 2 - oprawka pierścienia.

3.2.2. Przebieg badania

1. Ważenie pierścienia (bez nasadki), g.
2. Za pomocą suwmiarki mierzy się wysokość i średnicę pierścienia, obliczając jego objętość ze wzoru:

$$V_p = \pi d_p^2 h_p / 4$$

gdzie:

V_p - objętość pierścienia, cm^3 ,
 d_p - wewnętrzna średnica pierścienia, cm,
 h_p - wysokość pierścienia, cm.

3. Wyrównuje się nożem powierzchnię bryły gruntu o nienaruszonej strukturze (o wymiarach większych od stosowanego pierścienia).

4. Ustawia się pierścień z nakładką zaostrzoną krawędzią na wyrównanej powierzchni i równomiernie naciskając nakładkę, zagłębia się go w gruncie tak, aby nie powstawały szczeliny między ścianką pierścienia a próbką.
5. Wypełniony pierścień wyjmuje się z gruntu, oczyszcza jego zewnętrzne ściany, grunt wyrównuje równo z krawędziami pierścienia.
6. Waży się pierścień z gruntem (m_{mt}).
7. Wyniki pomiarów wpisuje się do dziennika laboratoryjnego.

3.2.3. Obliczanie wyników

Gęstość objętościową gruntu p oblicza się według wzoru:

$$p = (m_{mt} - m_t) / V_p = m_m / V$$

gdzie :

- m_{mt} - masa pierścienia z gruntem, g,
- m_t - masa pierścienia, g,
- m_m - masa próbki gruntu w stanie naturalnym, g,
- V^m - objętość pierścienia, cm^3 ,
- V^p - objętość próbki, cm^3 , przy czym $V_p = V$.

Za wynik ostateczny przyjmuje się średnią arytmetyczną wartości uzyskanych z badania dwóch równoległych próbek, gdy różnica nie przekracza $0,02 \text{ g/cm}^3$. W przypadku większej różnicy należy wykonać oznaczenie na dwóch dodatkowych próbkach i jako wynik przyjąć średnią arytmetyczną trzech najmniej różniących się wartości spośród czterech wykonanych oznaczeń.

3.3. Metoda oznaczania gęstości objętościowej w wodzie (metoda parafinowania) lub w cieczach organicznych

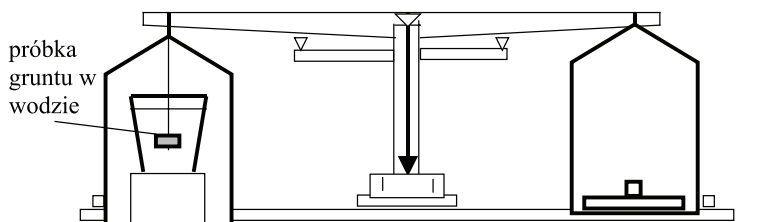
3.3.1. Sprzęt pomocniczy

1. Waga techniczna o dokładności $0,01 \text{ g}$ przystosowana do ważenia hydrostatycznego (rys.3.2).
2. Zlewka szklana o pojemności około $0,15 \text{ dm}^3$.
3. Cienka nitka lub drucik długości około $0,5 \text{ m}$.
4. Parowniczką porcelanową.
5. Parafina i nóż.

3.3.2. Przebieg badania

1. Wycina się z gruntu o nienaruszonej strukturze próbkę o objętości $20, 30 \text{ cm}^3$ i wygładza nożem jej powierzchnię.
2. Wyciętą próbkę waży się (m_m).

3. Do zważonej próbki przymocowuje się nitkę.
4. Rozpuszcza się parafinę w parownicze, nie dopuszczając do jej wrzenia.
5. Zanurza się próbkę w gorącej parafinie tak, aby została powleczone cienką, jednolitą warstwą parafiny. Banieczki powietrza na parafinie przekłuwa się i wygładza rozgrzaną igłą.
6. Waży się próbkę powleczoną parafiną (m_p).
7. Podwiesza się na nitce do szalki wagi próbkę zanurzając ją w zlewce z wodą i waży się próbkę (m_{pw}), aby określić masę próbki zmniejszoną o wypór wody ($m_p - m_{pw}$) w celu wyznaczenia jej objętości.



Rys. 3.2. Schematy wag do oznaczania gęstości objętościowej w wodzie

8. Po zważeniu wyjmuje się próbkę z wody, suszy się ją za pomocą bibuły filtracyjnej i ponownie waży. W przypadku zwiększenia się masy próbki w stosunku do oznaczenia pierwotnego różnicę mas dodaje się masy wypartej wody ($m_p - m_{pw}$).
9. Wyniki pomiarów wpisuje się do dziennika laboratoryjnego.

3.3.3. Obliczanie wyników

Objętość badanej próbki pokrytej parafiną otrzymuje się, dzieląc masę wody wypartej przez próbkę ($m_p - m_{pw}$) przez gęstość właściwą wody:

$$V_{mp} = (m_p - m_{pw})/\rho_w$$

Objętość parafiny pokrywającej próbkę otrzymuje się przez odjęcie od masy próbki zaparafinowanej masy próbki naturalnej i podzielenie wyników przez gęstość właściwą parafiny:

$$V_p = (m_p - m_n)/\rho_p$$

Objętość badanej próbki naturalnej otrzymuje się przez odjęcie od wartości objętości próbki pokrytej parafiną (V_{mp}) objętości parafiny pokrywającej próbkę (V_p):

$$V = V_{mp} - V_p$$

Gęstość objętościową gruntu ρ oblicza się więc według wzoru:

$$\rho = \frac{m_m}{\frac{m_p - m_{pw}}{\rho_w} - \frac{m_p - m_m}{\rho_p}} = m_m / V$$

gdzie:

m_p - masa próbki gruntu pokrytej parafiną, g,

m_{pw} - masa próbki gruntu pokrytej parafiną i zanurzonej w wodzie, g,

ρ_w - gęstość właściwa wody, g/cm³,

ρ_p - gęstość właściwa parafiny, którą można przyjąć jako równą 0,93, g/cm³.

Za wynik ostateczny przyjmuje się średnią arytmetyczną wartości uzyskanych z badań dwóch równoległych próbek, gdy różnica wyników nie przekracza 0,02 g/cm³. W przypadku większej różnicy należy wykonać oznaczenie na dwóch dodatkowych próbkach i jako wynik przyjąć średnią arytmetyczną trzech najmniej różniących się wartości z czterech wykonanych oznaczeń.

PYTANIA KONTROLNE

1. Podaj dyfinicję gęstości objętościowej.
2. W jaki sposób można wyznaczyć gęstość objętościową?

ĆWICZENIE NR 4

data ćwiczenia

sprawdził dnia

OZNACZENIE WILGOTNOŚCI NATURALNEJ GRUNTU

OKREŚLENIE: wilgotność naturalna gruntu jest to stosunek masy wody zawartej w próbce gruntu do masy jej szkieletu gruntowego.

ZAKRES BADAŃ: oznaczenie wilgotności naturalnej sprowadza się do wykonania pomiarów masy próbki w stanie naturalnym oraz po wysuszeniu w suszarce do stałej masy.

PRZYRZĄDY:

- waga techniczna o dokładności ważenia 0.01g,
- parowniczką,
- eksykator.

Tab. 4.1. dane badań próbki gruntu na wilgotność

NUMER PRÓBKII							
Masa parowniczkii z gruntem wilgotnym [m _{mi}]							
Masa parowniczkii z gruntem suchym[m _{st}]	I						
	II						
	III						
	IV						
Masa parowniczkii [m]							
Masa szkieletu gruntowego [m _s]							
masa wody w próbce [m _w]							
Wilgotność naturalna gruntu [w _n]							

OPRACOWANIE ĆWICZENIA POWINNO ZAWIERAĆ

1. Krótki opis przebiegu ćwiczenia

Waży się puste naczynka wagowe, m_p , g.

Waży się naczynka wagowe razem z gruntem o masę 30-50 g, m_{mt} .

Zważoną próbkę wstawia się do suszarki i wysusza się do stałej masy.

Waży się naczynka wagowe razem z suchym gruntem, m_{st} .

Otrzymane wyniki zapisuje się do tabeli.

2. Obliczenie wyników

Wilgotność naturalna gruntu oblicza się ze wzoru:

$$W_n = [(m_{mt} - m_{st}) / (m_{st} - m_p)] * 100\%$$

Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego p_d wyznacza się ze wzoru:

$$p_d = p / (1 + 0,01W_n).$$

PYTANIA KONTROLNE

1. Co to jest wilgotność naturalna gruntu?
2. Jaki rodzaj próbki należy pobrać aby określić wilgotność naturalną gruntu?
3. Podaj definicje stopnia wilgotności.

ĆWICZENIE NR 5

data ćwiczenia

sprawdził dnia

OZNACZENIE GĘSTOŚCI WŁAŚCIWEJ GRUNTU

OKREŚLENIE: gęstość właściwa gruntu jest to stosunek masy szkieletu gruntowego próbki do objętości tego szkieletu.

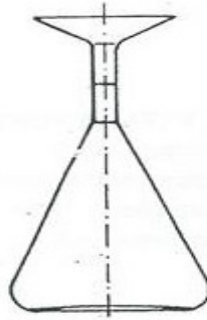
ZAKRES BADAŃ: oznaczenie gęstości właściwej sprowadza się do precyzyjnego wyznaczenia objętości szkieletu gruntowego za pomocą piknometru. Masę szkieletu wyznaczamy poprzez ważenie.

PRZYRZĄDY:

- piknometr gruntowy (rys. 1),
- woda destylowana,
- waga techniczna o dokładności ważenia 0.01 g,
- termometr,
- eksykator.

Tab. 5.1. Dane badań gęstości właściwej

NUMER PRÓBK					
masa piknometru	m_t				
masa piknometru z gruntem suchym	m_g				
masa gruntu suchego	m_s				
masa piknometru z wodą i gruntem	m_{wg}				
masa piknometru z wodą	m_{wt}				
$V_s = \frac{m_{wt} + (m_g - m_t) - m_{wg}}{\rho_w}$ ρ_w - gęstość wody					
Gęstość właściwa $\rho_s = m_s / V_s$					



Rys. 1. Piknometr gruntowy

OPRACOWANIE ĆWICZENIA POWINNO ZAWIEIRAĆ

1. Krótki opis przebiegu ćwiczenia

Gęstością właściwą szkieletu gruntowego obliczamy ją ze wzoru:

$$\rho_s = m_s / V_s$$

gdzie:

ρ_s - gęstość właściwa szkieletu gruntowego, g/cm³,

m_s - masa szkieletu gruntowego, g,

V_s - objętość szkieletu gruntowego, cm³.

Gęstość właściwą oznaczają metodą piknometru przy użyciu wody którą stosuje się tylko do gruntów nie zawierają soli rozpuszczalnych w wodzie.

2. Przebieg badania

- 1) Bierzemy suchą próbkę gruntu.
- 2) Waży się pustą, suchą kolbę (piknometru) z dokładnością 0,01 g (m_l).
- 3) Do zważonej kolby wsypuje się suchy grunt i waży całość z dokładnością 0,01 g (m_{gl}). Masa suchego gruntu użyta do badania powinna wynosić 30-40 g.
- 4) Kolbę z gruntem napełnia się do ok. 2/3 objętości wodą destylowaną i gotuje na małym płomieniu przez pół godziny w celu usunięcia powietrza z gruntu i wody. W czasie gotowania należy zawartość kolby kilkakrotnie wymieszać.
- 5) Kolbę z zawartością ochładza się do temperatury otoczenia, uzupełnia wodą destylowaną do kreski na szyjce kolby.
- 6) Kolbę z zawiesziną waży się z dokładnością do 0,01 g (m_{wgl}).

- 7) Wylewa się zawartość kolby. Kolbę dokładnie się płucze i wlewa się do niej wodę do kreski, doprowadza do $t = 20^{\circ}\text{C}$ i po starannym wytarciu waży się z dokładnością do $0,01\text{ g}$ (m_{wt}).
- 8) Uzyskane wyniki zapisuje się w dzienniku laboratoryjnym.

3. Obliczanie wyników

- 1) Masę szkieletu gruntowego m_s otrzymuje się przez odjęcie od masy kolby z gruntem suchym masy suchej kolby:

$$m_s = m_{gt} - m_t$$

- 2) Objętość szkieletu gruntowego i jego gęstość właściwa oblicza się ze wzorów z tabeli.
- 3) Obliczanie wielkości pochodnych z tablicy.

4. Obliczanie porowatości, wskaźnika porowatości i stopnia wilgotności

4.1. Obliczanie porowatości

Porowatość próbki gruntu oblicza się wg wzoru:

$$n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s}$$

gdzie:

ρ_s - gęstość właściwa szkieletu gruntowego g/cm^3 ,

ρ_d - gęstość objętościowa szkieletu gruntowego, g/cm^3 , wyznacza się wzoru:

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} = \frac{\rho}{1 - 0,01w}$$

Porowatość można także obliczać w procentach.

4.2. Obliczanie wskaźnika porowatości

Wskaźnik porowatości oblicza się wg wzoru:

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}$$

4.3. Obliczanie stopnia wilgotności

Stopniem wilgotności gruntu S_r nazywa się stosunek objętości wody V_w zawartej w porach gruntu do objętości porów V_p

$$S_r = V_w / V_p,$$

lub oblicza się ze wzoru:

$$S_r = \frac{w\rho_s}{e\rho_w},$$

gdzie w – wilgotność naturalna gruntu.

Od stopnia wilgotności zależy wiele właściwości gruntu, między innymi ścisłość, wytrzymałość na ścinanie itp. Podział gruntów niespoistych ze względu na ich stopień wilgotności (S_r) jest następujący (wg PN-86/B-02480):

grunt suchy (su)	$S_r = 0,$
grunt mało wilgotny (mw)	$0 < S_r \leq 0,4,$
grunt wilgotny (w)	$0,4 < S_r \leq 0,8,$
grunt nawodniony (m)	$0,8 < S_r \leq 1.$

PYTANIA KONTROLNE

1. Podaj definicję gęstości właściwej gruntu.
2. Jaki rodzaj próbki należy pobrać aby określić gęstość właściwą gruntu?
3. Co to jest porowatość i wskaźnik porowatości gruntu?

ĆWICZENIE NR 6

data ćwiczenia

sprawdził dnia

OZNACZENIE STOPNIA ZAGĘSZCZENIA GRUNTÓW NIESPOISTYCH

ZAKRES BADAŃ: w celu oznaczenia stopnia zagęszczenia należy wyznaczyć graniczne wskaźniki porowatości za pomocą cylindra zaopatrzonego w tłok i widelki oraz należy obliczyć wskaźnik porowatości gruntu w stanie naturalnym.

PRZYRZĄDY:

- cylinder wraz z tłoczkiem,
- widelki wibracyjne (rys. 6.1),
- waga techniczna o dokładności ważenia 0,1g,
- nóż o prostym ostrzu,
- suwmiarka o dokładności pomiaru 0,1mm.



Rys.6.1. Cylinder z tłokiem i widelcem.

Tab. 6.1. Dane badań na zagęszczenie gruntu

Wskaźnik porowatości naturalnej e			Wskaźnik porowatości przy najluźniejszym ułożeniu gruntu $e_{\max}$			Wskaźnik porowatości przy najściślejszym ułożeniu gruntu $e_{\min}$		
Gęstość właściwa gruntu ρ_s			Masa cylindra m_l			Masa cylindra m_l		
			Masa cylindra z gruntem m_{st}			Masa cylindra z gruntem m_{st}		
Gęstość objętościowa gruntu ρ			Masa szkieletu gruntowego m_s			Masa szkieletu gruntowego m_s		
Wilgotność w			Objętość cylindra			Objętość cylindra		
Gęstość objętościowa szkieletu ρ_d			Gęstość objętościowa szkieletu ρ_{dmin}			Gęstość objętościowa szkieletu ρ_{dmin}		
Wskaźnik porowatości			Wskaźnik porowatości			Wskaźnik porowatości		
STOPIEŃ ZAGĘSZCZENIA:					STAN GRUNTU:			

OPRACOWANIE ĆWICZENIA POWINNO ZAWIERAĆ

1. Krótki opis ćwiczenia

Stopniem zagęszczenia gruntu nazywa się stosunek zagęszczenia istniejącego w warunkach naturalnych do największego możliwego zagęszczenia danego gruntu. Stopień zagęszczenia I_D oblicza się ze wzoru:

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (6,1)$$

gdzie:

$e_{\max}$ - wskaźnik porowatości przy najluźniejszym ułożeniu ziaren,

e - wskaźnik porowatości gruntu w stanie naturalnym,

$e_{\min}$ - wskaźnik porowatości przy najściślejszym ułożeniu ziaren.

Stopień zagęszczenia wyznacza się tylko dla gruntów sypkich.

2. Obliczenia wyników

Wskaźnik porowatości e_{max} oblicza się ze wzoru:

$$e_{max} = \frac{\rho_s - \rho_{d_{min}}}{\rho_{d_{min}}}$$

gdzie:

ρ_s - gęstość właściwa szkieletu gruntowego, g/cm³,

$\rho_{d_{min}}$ - gęstość objętościowa szkieletu gruntowego przy najluźniejszym ułożeniu ziaren, obliczana w g/cm³ ze wzoru:

$$\rho_{d_{min}} = \frac{m_{st} - m_t}{V}$$

gdzie:

m_{st} - masa cylindra z gruntem, g,

m_t - masa cylindra, g,

V - objętość cylindra, cm³.

Wskaźnik porowatości e_{min} oblicza się ze wzoru:

$$e_{min} = \frac{\rho_s - \rho_{d_{max}}}{\rho_{d_{max}}}$$

gdzie:

$\rho_{d_{max}}$ - gęstość objętościowa szkieletu gruntowego przy najgęściejszym ułożeniu ziaren, obliczana w g/cm³ ze wzoru:

$$\rho_{d_{max}} = \frac{m_{st} - m_t}{V_z}$$

gdzie:

m_{st} - masa cylindra z gruntem (g),

m_t - masa cylindra (g),

V_z - objętość zagęszczanego gruntu w cylindrze, cm³.

Stopień zagęszczenia I_D oblicza się ze wzoru (6,1).

3. Określenie stanu gruntu

W zależności od wartości zagęszczenia I_D dzieli się grunty niespoiste (wg PN-88/B-04481) na:

- | | |
|-----------------------------|-------------------------|
| – luźne (ln) | $I_D \leq 0,33,$ |
| – średnio zagęszczone (szg) | $0,33 < I_D \leq 0,67,$ |
| – zagęszczone (zg) | $0,67 < I_D \leq 0,80,$ |
| – bardzo zagęszczone (bzg) | $I_D > 0,80.$ |

PYTANIA KONTROLNE

1. Co to jest stopień zagęszczenia gruntu?
2. Jakie rodzaje próbek należy pobrać aby określić stopień zagęszczenia?
3. Zdefiniuj wskaźniki porowatości minimalnej i maksymalnej gruntu.
4. Podaj stany zagęszczenia gruntów niespoistych.

ĆWICZENIE NR 7

data ćwiczenia

sprawdził dnia

OZNACZENIE PLASTYCZNOŚCI GRUNTÓW SPOISTYCH

OKREŚLENIE: stopniem plastyczności gruntu spoistego nazywa się stosunek różnicy wilgotności naturalnej gruntu i jego granicy plastyczności do różnicy granic płynności i plastyczności.

ZAKRES BADANIA: w celu wyznaczenia stopnia plastyczności gruntu spoistego należy oznaczyć jego wilgotność naturalną, granicę plastyczności, granicę płynności metodą Casagrande'a lub Wasiliewa oraz granicę skurczalności.

Oznaczenie granicy płynności metodą Casagrande'a

OKREŚLENIE: granicą płynności nazywamy wilgotność gruntu spoistego przy przejściu tego gruntu ze stanu miękkoplastycznego w stan płynny.

PRZYRZĄDY:

- znormalizowany aparat Casagrande'a z rylcem,
- naczynka wagowe,
- tygielki porcelanowe,
- przyrządy do oznaczenia wilgotności.

OPRACOWANIE ĆWICZENIA POWINNO ZAWIERAĆ

1. Krótki opis przebiegu ćwiczenia

Przebieg oznaczania granicy plastyczności

I. Przygotowanie próbek

- a) z dostarczonego do badania gruntu o wilgotności naturalnej należy wydzielić próbkę o masie 50 g,
- b) jeśli grunt znajduje się w stanie półzwartym lub zwartym, nasycy się go wodą do stanu plastycznego, a jeśli znajduje się w stanie płynnym podsusza się go w temperaturze pokojowej,
- c) z wydzielonej próbki gruntu usuwa się ziarna o średnicy większej niż 2 mm,

- d) z przygotowanej próbki gruntu formuje się kulę średnicy 7 mm i wałeczkuje ją na dłoni, aż wałeczek uzyska średnicę około 3 mm,
- e) jeśli wałeczek w tym czasie nie popękał, z wałeczka ponownie formuje się kulkę, a następnie wałeczkuje się ją. Za popękany uznaje się taki wałeczek, który po podniesieniu go za jeden koniec rozdzieli się na kawałki,
- f) czynność wałeczkowania kolejnych kulek gruntu powtarza się tyle razy, aby w dwóch naczynkach wagowych zebrać co najmniej 5,7 g gruntu,
- g) naczynka z wałeczkami waży się m_{mt} i suszy w suszarce w temperaturze 105,110°C do stałej masy.

II. Obliczanie granicy plastyczności

- a) wilgotność próbki oznacza się zgodnie z ćw. 4. Uzyskane wyniki wpisuje się do specjalnego formularza (zeszyt ćwiczeń lab.),
- b) oznaczona wilgotność W_p jest wartością granicy plastyczności

$$W_p = [(m_{mt} - m_{st}) / (m_{st} - m_t)] \cdot 100\%$$

gdzie: m_{mt} - masa naczynka z gruntem wilgotnym, g,
 m_{st} - masa naczynka z gruntem suchym, g,
 m_t - masa naczynka pustego.

- c) za wynik ostateczny przyjmuje się średnią arytmetyczną z obu oznaczeń wilgotności, jeśli ich różnica nie przekracza 10% wartości średniej.

III. Przebieg oznaczania granicy płynności metodą stożka Wasiliewa

- a) jako wartość granic płynności gruntów W_L należy przyjąć wilgotność pasty gruntowej, w którą stożek zagłębia się na głębokość 10 mm.
- b) do badania przygotowuje się próbkę rozdrabnianego i rozmoknatego gruntu o masie około 50 g.
- c) usuwa się z próbki ziarna o średnicy większej niż 2 mm.
- d) po uzyskaniu jednolitej masy gruntowej napełnia się nią naczynko. Powierzchnię gruntu wyrównuje się nożem (równy z brzegiem naczynka).
- e) naczynko z gruntem stawia się na podwyższeniu, przykładą na powierzchnię gruntu ostry brzeg stożka i pozwala, aby stożek swobodnie zanurzał się w grunt przez 5 s pod wpływem własnego ciężaru.

- f) jeśli po upływie 5 s zanurzył się do głębokości 10 mm, a więc do oznaczonej na nim kreski, można uważać, że grunt znajduje się na granicy płynności.
- g) jeśli zagłębienie stożka w gruncie na wysokość mniejszą niż 10 mm, to w takim przypadku należy grunt wyłożyć z naczynka na szkło, dodać wody.
- h) jeśli stożek zagłębił się w gruncie na wysokość większą niż 10 mm, to trzeba trochę go podsuszyć, stale mieszając, a następnie badanie powtórzyć (pkt. III,f).
- i) po zagłębieniu się stożka w gruncie dokładnie do kreski, a więc gdy grunt będzie na granicy płynności, pobiera się z niego dwie próbki do wyważonych naczynek wagowych, suszy do stałej masy i oznacza wilgotność (wg ćw. 4).
- j) uzyskane wyniki wpisuje się w dzienniku laboratoryjnym,
- k) oznaczoną wilgotność, będącą wartością granicy płynności W'_L , oblicza ze wzoru:

$$W'_L = [(m_{mt} - m_{st}) / (m_{st} - m_t)] \cdot 100\%$$

Tab. 7.1. Dane badań na wyznaczenie granic płynności i plastyczności

Granica płynności	m_{mt} m_{st} m_t	liczba uderzeń	m_{mt} m_{st} m_t	liczba uderzeń	m_{mt} m_{st} m_t	liczba uderzeń	m_{mt} m_{st} m_t	liczba uderzeń
wilgotność naturalna	stan gruntu i stopień plastyczności		Granica plastyczności					
			m_{mt} m_{st} m_t W_p	m_{mt} m_{st} m_t W_p	m_{mt} m_{st} m_t W_p	m_{mt} m_{st} m_t W_p		

IV. Obliczenie wskaźnika plastyczności i stopnia plastyczności

Wykorzystując wartości poszczególnych granic i wilgotność naturalną gruntu (wg ćw. 4), można wyznaczyć stan, w jakim znajduje się dany grunt i jego rodzaj. Stan gruntu wyznacza się przez ustalenie wartości stopnia plastyczności gruntu I_L , a rodzaj przez ustalenie wskaźnika plastyczności I_p .

Miedzy stanem półzwardym i plastycznym granica plastyczności W_p , a między stanem plastycznym i płynnym granica płynności W_L . Wskaźnik I_p wyznacza się za wzoru:

$$I_p = W_L - W_p$$

Stopień plastyczności I_L oblicza się ze wzoru:

$$I_L = (W_n - W_p) / (W_L - W_p)$$

gdzie:

W_n - wilgotność naturalna, %,

W_p - granica plastyczności, %,

W_L - granica płynności, %.

V. Analizę wyników pod względem przydatności badanego gruntu do celów budowlanych

Jeśli stopień plastyczności jest mniejszy od 0 ($I_L < 0$), grunt znajduje się w stanie zwartym lub półzwartym. Jeśli stopień plastyczności jest większy od 0 ($I_L > 0$), stan gruntu określa się w zależności od jego wartości (wg PN-86/B-02480):

$0 < I_L \leq 0,25$	stan twardoplastyczny,
$0,25 < I_L \leq 0,50$	stan plastyczny,
$0,50 < I_L \leq 1,00$	stan miękoplastyczny,
$1,00 < I_L$	stan płynny.

W zależności od wskaźnik I_p grunty wg PN-86/B-02480 dzielą się na:

$I_p < 0$ %	- niespoisty,
$0 < I_p < 10$ %	- mało spoisty,
$10 < I_p < 20$ %	- średnie spoisty,
$20 < I_p < 30$ %	- więzło spoisty,
$I_p > 30$ %	- bardzo spoisty.

PYTANIA KONTROLNE

1. Co nazywamy granicą plastyczności (W_p), granicą skurczalności (W_s) i granicą płynności (W_L)?
2. Jaki rodzaj próbki pobiera się do określenia granic konsystencji gruntu?
3. Podaj sposób oznaczania granicy plastyczności.
4. Podaj podział gruntów spoistych ze względu na ich stan.
5. Podaj sposób oznaczania granicy płynności metodą Vasilewa.

ĆWICZENIE NR 8

data ćwiczenia

sprawdził dnia

OZNACZENIE WSKAŹNIKA ZAGĘSZCZENIA GRUNTU

OKREŚLENIE: wskaźnikiem zagęszczenia gruntu nazywa się stosunek gęstości objętościowej szkieletu gruntowego w nasypie do maksymalnej gęstości szkieletu gruntu uzyskanej w znormalizowanym badaniu Proctora.

ZAKRES BADAŃ: w celu wyznaczenia wskaźnika zagęszczenia należy oznaczyć gęstość objętościową i wilgotność dla gruntu wbudowywanego w nasyp oraz oznaczyć dla tego samego gruntu maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego i towarzyszącą jej wilgotność optymalną w znormalizowanym badaniu Proctora.

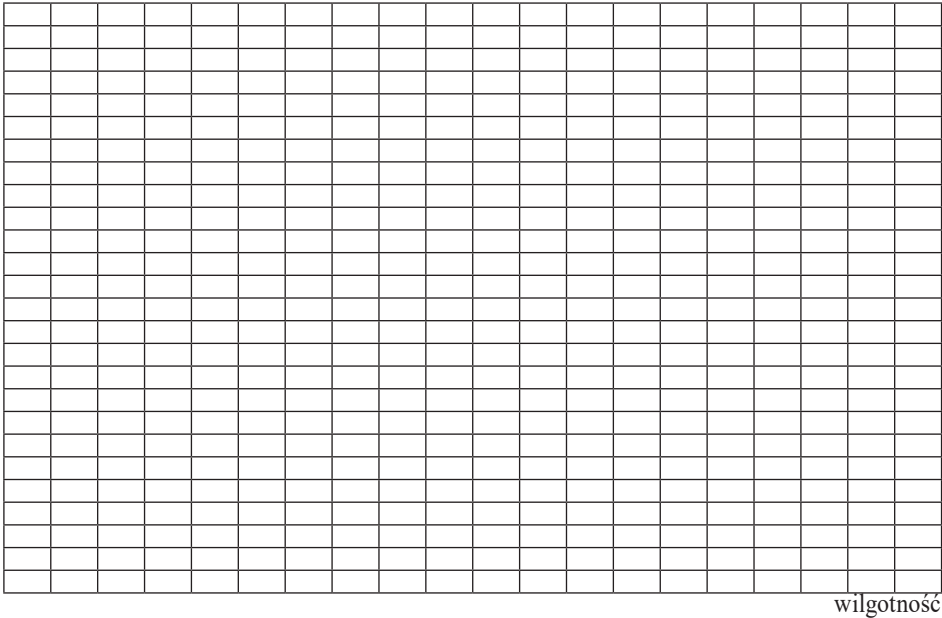
PRZYRZĄDY:

- znormalizowany aparat Proctora,
- waga uchylna o dokładności ważenia 1g,
- sita o wymiarach oczek kwadratowych 6 i 10 mm,
- przyrządy do oznaczenia wilgotności i gęstości objętościowej.

Rezultaty badań przenosimy do tab.8.1.

Tab.8.1. Dane badań wskaźnika zagęszczenia

Numer próbki	Badania wilgotności					Badania gęstości objętościowej szkieletu gruntowego					
	m_t	m_{mt}	m_{st}	m_s	w	m_t	V_c	m_{mt}	m_m	ρ	ρ_d

$P_d \text{ [g/cm}^3\text{]}$ 

Rysunek 8.1. Wykres zależności gęstości szkieletu gruntowego od jego wilgotności

OPRACOWANIE ĆWICZENIA POWINNO ZAWIERAĆ

1. Przebieg badania

1. Masa próbki w stanie powietrzno suchym powinna wynosić 2,5 - 3 kg na 1 dm³ objętości cylindra użytego do badania.
2. Według tabeli 8.1 dobiera się wariant badań (metody I,IV) w zależności od warunków w jakich grunt będzie pracował.
3. Do przesianej próbki dolewa się wodę w ilości 60 cm³ dla gruntów nie-spoistych (sypkich) i 100,150 cm³ dla gruntów spoistych, licząc na 1 dm³ objętości użytego cylindra. Próbkę z wodą miesza się starannie.
4. Próbkę umieszcza się w szczelnie zamkniętym naczyniu na co najmniej 15 godzin.
5. Waży się pusty cylinder z podstawką, ale bez kołnierza.
6. Ustala się objętość cylindra (bez kołnierza).
7. Do cylindra (początkowo bez kołnierza) wkłada się taką ilość gruntu, aby utworzył on warstwę około 5,7 cm. Powierzchnię gruntu wyrównuje się, lekko ugniata i ubija w cylindrze ubijakiem, stosując liczbę uderzeń w zależności od przyjętej metody. Do ubijania stosuje się ubijaki mechaniczne. Ilość udeżeń równa 25.

8. Po ubiciu pierwszej warstwy wkłada się do cylindra następną porcję gruntu, przy czym przed włożeniem każdej kolejnej warstwy gruntu do cylindra powierzchnię uprzednio ubitej warstwy zdrapuje się ostrzem noża, a włożoną warstwę gruntu wyrównuje się i lekko ugniata.
9. Po zagęszczeniu drugiej warstwy na cylindrze umieszcza się kołnierz.
10. Ilość gruntu wsypywanego przy ubijaniu kolejnych warstw należy dobierać tak, aby po ubiciu ostatniej warstwy ubity grunt wystawał 5,10 mm powyżej górnej krawędzi cylindra (wewnątrz kołnierza).
11. Zdejmuje się z cylindra kołnierz i ścina nadmiar gruntu równo z krawędzią cylindra zawsze od środka do krawędzi.
12. Po starannym oczyszczeniu zewnętrznych ścianek cylindra i jego podstawy waży się cylinder z gruntem (m_{wt}).
13. Wyjmuje się do parownicy grunt z cylindra i pobiera z niego próbkę na wilgotność. Masa próbki z różnych miejsc powinna wynosić co najmniej 50 g dla piasków i pyłów oraz co najmniej 30 g dla pozostałych gruntów drobnoziarnistych.
14. Oznacza się wilgotność pobranej próbki (rozdział 5).
15. Pozostały w parownicy grunt rozdrabnia się i dodaje do niego taką ilość wody, aby wilgotność jego wzrosła o 1,2%.
16. Grunt starannie miesza się i powtarza cykl ubijania (pkt 9,17).
17. Cykl ubijania powtarza się tak długo (za każdym razem zwiększając wilgotność gruntu o 1,2%), aż masa cylindra z gruntem (m_{wt}) zacznie się zmniejszać.
18. Uzyskane dane notuje się w dzienniku laboratoryjnym lub zapisuje w specjalnym formularzu.

2. Obliczanie wyników

1. Wilgotność kolejnych próbek oblicza się zgodnie z ćw. 4.
2. Gęstość objętościową ρ gruntu po danym cyklu zagęszczania (i odpowiadającej mu wilgotności) oblicza się zgodnie z ćw. 3, mając objętość pustego cylindra, jego masę oraz masę cylindra z gruntem po zakończeniu zagęszczania (m_{wt})

$$\rho = \frac{m_{wt} - m_t}{V}$$

gdzie:

m_{wt} - masa cylindra z gruntem, g,

m_t - masa pustego cylindra, g,

V - objętość cylindra, cm^3 .

3. Gęstość objętościową szkieletu gruntowego ρ_d oblicza się ze wzoru:

$$\rho_d = \frac{\rho \cdot 100}{100 + w} \text{ g/cm}^3$$

gdzie:

w – wilgotność (%).

4. Sporządza się wykres zależności ρ_d od w (rys. 8.1.). Za wilgotność optymalną w_{opt} badanego gruntu przyjmuje się wartość wilgotności wyznaczoną z wykresu, która odpowiada maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ρ_{ds} .

5. Wskaźnik zagęszczenia gruntu I_s oblicza się ze wzoru:

$$I_s = \frac{\rho_d}{\rho_{ds}}$$

gdzie:

ρ_{ds} - maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego, g/cm^3 .

PYTANIA KONTROLNE

1. Co to jest wilgotność optymalna gruntu?
2. Narysuj przykładowy wykres krzywej Proctora.
3. Co to jest wskaźnik zagęszczenia gruntu?
4. Jakie rodzaje próbek pobiera się do określenia wskaźnika zagęszczenia gruntu?

ĆWICZENIE NR 9

data ćwiczenia

sprawdził dnia

OZNACZANIE EDMETRYCZNYCH MODUŁÓW ŚCISŁLIWOSCI GRUNTU

OKREŚLENIE: modułem ścisłości (pierwotnej lub wtórnej) gruntu nazywa się stosunek przyrostu naprężeń działających na próbkę do względnego odkształcenia próbki i oblicza się ze wzoru:

$$M_o(M) = \frac{\Delta\sigma_i}{\varepsilon} = \frac{\Delta\sigma_i h_{i-1}}{\Delta h_i} \quad (9,1)$$

gdzie:

$\Delta\sigma_i$ - przyrost naprężeń (kPa)

ε - względne odkształcenie próbki

h_{i-1} - wysokość próbki przed zwiększeniem n

Δh_i - zmiana wysokości próbki odpowiadająca przyrostowi naprężenia

PRZYRZĄDY:

- edometr z pełnym wyposażeniem,
- bibułka filtracyjna,
- próbka zastępcza wykonana ze stali z równoległe oszlifowanymi płaszczyznami.

OPRACOWANIE ĆWICZENIA POWINNO ZAWIERA

1. Krótki opis przebiegu ćwiczenia

1. Badania ścisłości należy wykonywać dla próbek o strukturze NNS wg 2.2 [13].
2. Wysokość próbki powinna być równa wysokości pierścienia edometru.
3. Do pierścienia edometru, między dwoma sączkami z bibuły filtracyjnej zwilżonej wodą, wkłada się krążek metalowy (próbkę zastępczą) i umieszcza w edometrze.
4. Na górnej powierzchni krążka ustawia się górny filtr edometru, na nim w specjalnym zagłębieniu kulkę przekaźnikową i ramę.

5. Ustawia się czujnik edometru, notując jego wskazania. Jeśli edometr ma dwa czujniki, do obliczeń wykorzystuje się średnią uzyskaną z ich wskazań.
6. Próbkę zastępczą obciąża się poprzez ramę stopniami: 12,5, 25, 50, 100, 200, 400 kPa, notując wskazania czujników po każdym stopniu obciążenia przez 1, 2, 4 i 8 minut. Badanie to przeprowadza się analogicznie, odciażając próbkę.

2. Wykonanie oznaczenia ścisłości gruntu

1. Z badanego gruntu o nienaruszonej strukturze wycina się próbkę gruntu przy pomocy pierścienia tnącego. Pierścień edometryczny ma wysokość 20 mm.
2. Waży się pierścień edometru z gruntem, jednocześnie bierze się 2 próbki do oznaczenia wilgotności.
3. W edometrze umieszcza się dwa filtry od góry i od dołu próbki o średnicy na 1 mm mniejszą od średnicy próbki.
4. Na pierścień nakłada się oprawkę edometru oraz górny filtr. Oprawkę umocowuje się śrubami.
5. Ustawia się czujnik (czujniki), stawiając jego nóżkę na specjalnej podstawie opartej o filtr górny poprzez kulkę przekaźnikową i trzpień.
6. Odczytuje się wskazanie czujników, przyjmując ten odczyt za zerowy.
7. Na trzpień nakłada się ramę obciążającą z wieszakiem, uzyskując w ten sposób obciążenie 12,5 kPa.
8. Odkręca się śrubę dociskową trzpienia i notuje odczyty na czujniku (czujnikach) po upływie następujących czasów: 1, 2, 4, 8 min.
9. Po osiągnięciu stabilizacji osiadań przy danym stopniu obciążenia przykłada się następne obciążenie. Przy każdym obciążeniu notuje się wskazania czujnika, jak przewidziano w pkt. 6. Różnica odczytów na czujniku daje wielkość zmiany wysokości próbki.
10. Po osiągnięciu stabilizacji osiadań przy ostatnim stopniu obciążenia odciaża się próbkę do wartości 12,5 kPa (również stopniami), prowadząc pomiary jej odkształceń aż do osiągnięcia umownej stabilizacji.
11. W przypadku gdy badania przewidują określenie ścisłości wtórnej gruntu, próbkę obciąża się ponownie kolejno stopniami przez 1 min.
12. Po zakończeniu badań próbkę całkowicie odciaża się, wypycha się z pierścienia i oznacza się jej wilgotność.
13. Wszystkie uzyskane wyniki notuje się do tabeli.

Tabela 9.1. Zestawienie obciążeń i odkształceń próbki

σ [kPa]	0 sek.	30 sek.	1 min.	2 min.	4 min.	8 min.
odciążenie (co 1 min.)				obciążenie wtórne (co 1 min.)		
σ [kPa]						
odczyt						
wys. próbki [mm]						

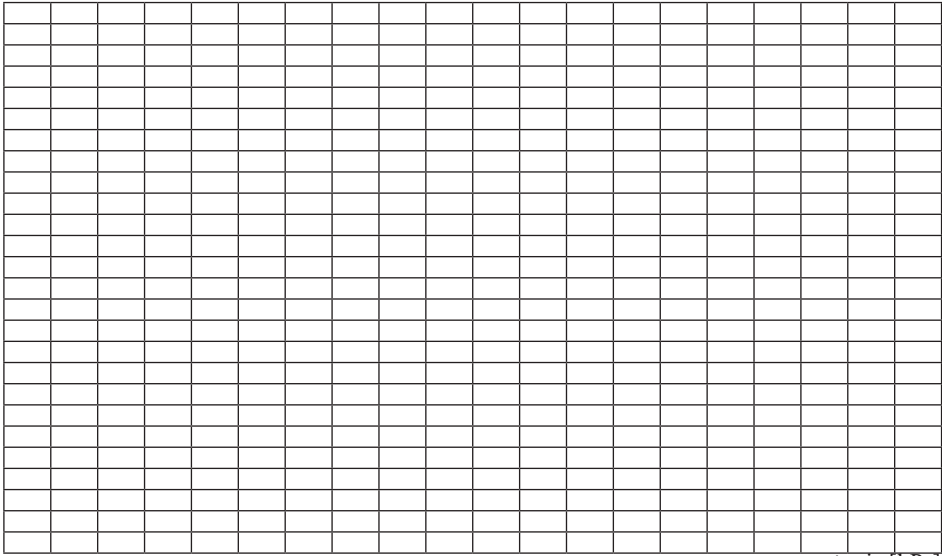
3. Obliczanie wyników

3.1. Wykreślenie krzywych ścisłości gruntu.

Przy wykonaniu wykresu ścisłości gruntu na osi rzędnych zaznacza się wysokość próbki h , a na osi odciętych obciążenia jednostkowe s . Wykres ten sporządza się dla stanów umownej stabilizacji odkształceń próbki, przy odpowiadających im obciążeniach (rys. 9.1).

3.2. Obliczanie edometrycznych modułów ścisłości przeprowadza się kolejno dla określonego zakresu obciążeń jednostkowych próbki od s_{i-1} do s_i , mając odczytane z krzywych ścisłości bądź z obliczeń na formularzach odpowiednie wysokości próbki h_{i-1} i h_i . Moduł oblicza się ze wzoru (9,1).

Wysokość
próbki [mm]

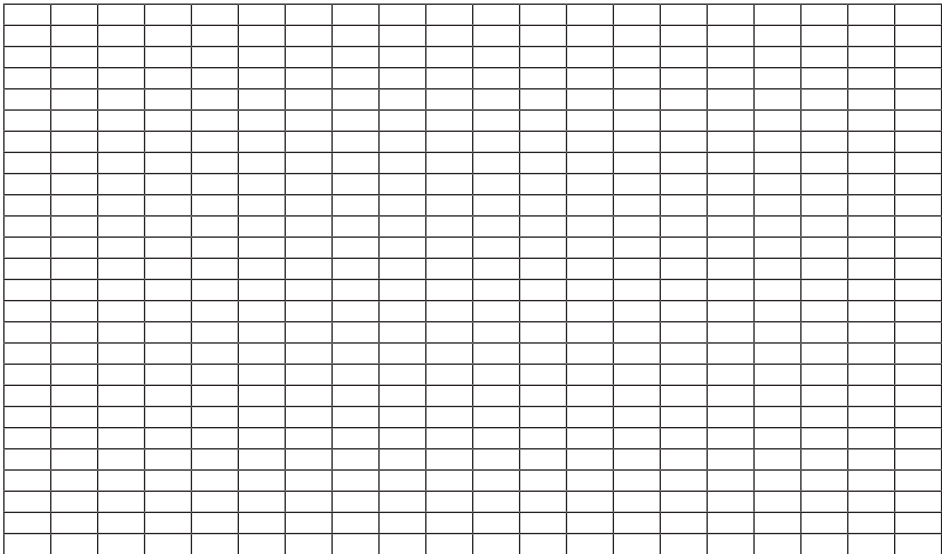


napężenie [kPa]

Rys. 9.1. Wykres ścisłości gruntu

3.3. Wykreślenie krzywych konsolidacji gruntu dla poszczególnych stopni obciążenia.

ścisłości gruntu próbki [mm]



Czas konsolidacji

Rys. 9.2. Krzywe konsolidacji

3.4. Analiza wyników badania.

3.5. Obliczenie modułów odkształcenia (E_o , E), modułu podatności E_s oraz wskaźnika skonsolidowania gruntu (β) (tab. 9.2).

Tab. 9.2. Obliczanie wskaźników gruntu

Oznaczenie	Wzór	Jednostka	Wartość
Edometryczny moduł ścisłości pierwotnej	$M_o(M) = \frac{\Delta\sigma_i}{\varepsilon} = \frac{\Delta\sigma_i h_{i-1}}{\Delta h_i}$	MPa	
Edometryczny moduł ścisłości wtórny	$M_o(M) = \frac{\Delta\sigma_i}{\varepsilon} = \frac{\Delta\sigma_i h_{i-1}}{\Delta h_i}$	MPa	
Wskaźnik skonsolidowania gruntu	$B = M_o/M$	-	
Współczynnik przeliczeniowy	$\delta = (1-\nu)(1-2\nu)/(1-\nu)$	-	
Moduł odkształcenia pierwotnego	$E_o = \delta M_o$	MPa	
Moduł odkształcenia wtórnego	$E = \delta M$	MPa	
Moduł podatności	E_s	MPa	

PYTANIA KONTROLNE

1. Co to jest ścisłość gruntu i jaka jest jej miara?
2. Jakie czynniki wywołują trwałe, a jakie sprężyste odkształcenia w obciążonej próbce gruntu?
3. Narysuj przykładowe wykresy ścisłości i konsolidacji.
4. Zdefiniuj o wykres edometryczne moduły ścisłości.
5. Podaj rodzaje modułów gruntu i zależność między nimi.

ĆWICZENIE NR 10

data ćwiczenia

sprawdził dnia

BADANIE KĄTA TARCIA WEWNĘTRZNEGO I SPOJNOŚCI W APARACIE BEZPOŚREDNIEGO ŚCINANIA

Zależność wytrzymałości na ścinanie t_f od spójności i kąta tarcia wewnętrznego określa się wzorem Coulomba w postaci:

$$t_f = \bar{\sigma}_n \operatorname{tg} \phi + c$$

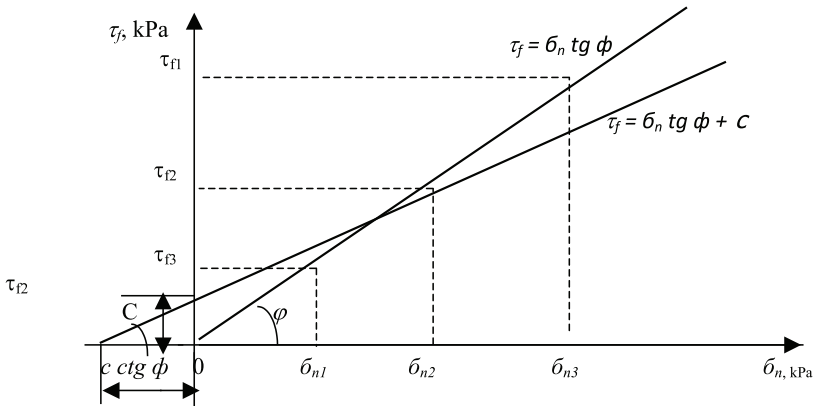
gdzie:

$\bar{\sigma}_n$ - naprężenie normalne do płaszczyzny ścinania.

W gruntach sypkich $c = 0$ wtedy:

$$t_f = \bar{\sigma}_n \operatorname{tg} \phi$$

Te wzory przedstawia się prostymi Coulomba w układzie $(\bar{\sigma}_n, t_f)$ rys. 10.1).



Rys.10.1. Linie wytrzymałości gruntów na ścinanie

Oznaczenie parametrów C i Φ przeprowadza się w aparatach:

- 1) skrzynkowym (bezpośredniego ścinania),
- 2) trójosiowego ściskania,
- 3) obrotowym.

10.1. Badanie w aparacie skrzynkowym

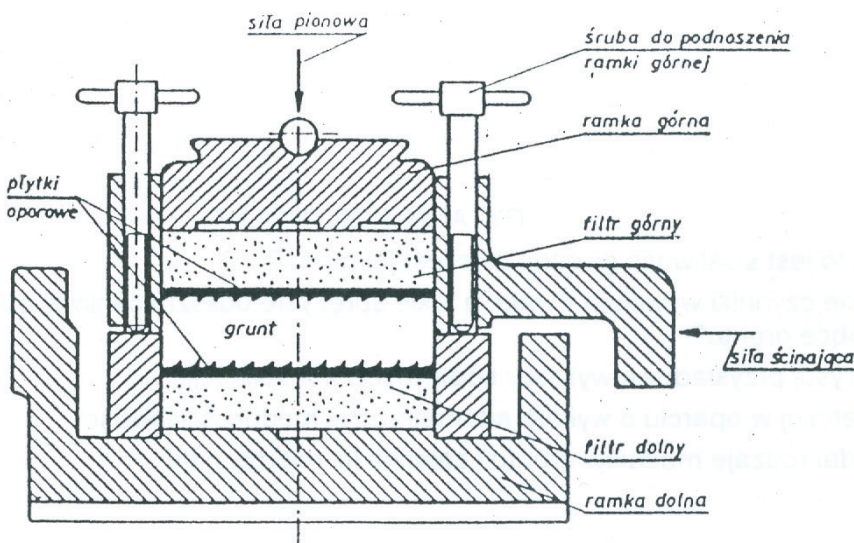
10.1.1. Stosowanie metody badań

Zasady badań oraz sposób opracowania wyników uzyskiwanych w aparacie bezpośredniego ścinania wykonuje się wg normy [13]. Badania próbek o boku 60 mm wykonuje się z prędkością przemieszczenia obu części skrzynki aparatu $V_p = 0,05 \pm 0,015$ mm/min. W przypadku badań gruntów mało spoistych dopuszcza się stosowanie prędkości przesuwu 1,0, 1,2 mm/min.

Aparat skrzynkowy (rys. 10.2) pozwala na wyznaczenie parametrów wytrzymałości na ścinanie określonych przez naprężenia całkowite.

Zasadniczą częścią aparatu jest kwadratowa skrzynka dwudzielna, która składa się z ramek górnej i dolnej. Górna ramka może przemieszczać się w poziomie. Na dnie dolnej ramki są umieszczone porowate filtry z paskami bibuły, które odprowadzają wodę podczas konsolidacji i ścinania.

W celu zabezpieczenia próbki przed ślizganiem się zaopatrzona jest ona od dołu i góry w płytki oporowe.



Rys. 10.2. Aparat bezpośredniego ścinania

Polska norma [13] przy przeprowadzaniu pomiarów wymaga zapewnienia następujących dokładności:

- naprężenia normalnego 1 kPa,
- odkształceń pionowych (osiadań) próbki gruntu do 0,01 mm,
- naprężenia stycznego nie mniej niż 1 kPa,
- wzajemnego przemieszczenia ramki ruchomej względem nieruchomej mniejszej niż 0,1 mm.

Aparat skrzynkowy powinien być przystosowany do ścinania próbek o strukturze nienaruszonej. Konieczne jest również, aby kierunek działania siły ścinającej był prostopadły do dwóch przeciwległych boków próbki. Pole przekroju próbki wynosi 36 cm², a wysokość powinna wynosić 15,20 mm.

Badanie w aparacie skrzynkowym sprowadza się zasadniczo do określenia naprężeń normalnych σ_n i ścinających τ_f występujących w płaszczyźnie poślizgu w momencie jej powstania, przy czym położenie tej płaszczyzny w próbce, z uwagi na konstrukcję aparatu, jest z góry narzucone.

10.1.2. Sprzęt pomocniczy

1. Aparat skrzynkowy z pełnym wyposażeniem.
2. Szablon do przygotowania próbki.
3. Suszarka, naczynka wagowe.
4. Suwmiarka.
5. Bibuła filtracyjna.

10.1.3. Przebieg badania

Badania przeprowadza się w następujący sposób:

1. Dla wycinania próbek gruntu należy posługiwać się odpowiednim szablonem (60 ´ 60 mm).
2. Obie ramki aparatu skrzynkowego łączy się za pomocą śrub. Na dno skrzynki wkłada się dolny filtr z karborundu, a na nim kwadrat bibuły filtracyjnej. Na bibule umieszcza się ząbkowaną płytkę oporową (rys. 10.2).
3. Na wyciętą, włożoną do skrzynki próbkę gruntu ustawia się górną płytkę oporową, bibułę, filtr i tłok z kulą przekaźnikową.
4. Po ustawieniu skrzynki na prowadnicach podstawy aparatu (nosem ramki górnej w kierunku dynamometru) zakłada się ramę z wieszakiem. Na górnej belce ramy montuje się czujnik umocowany na statywie.
5. Rozpoczynając badanie należy wykręcić i wyjąć na zewnątrz śruby, złączające górną i dolną ramkę.
6. Następnie obciąża się próbkę przez zawieszenie odważników i rejestruje odkształcenia próbki w czasie przy zadanym obciążeniu. Pierwsze obciążenie przyjmuje się ją jako równą naprężeniu pierwotnemu σ_{zg} . Pomiary osiadań

- próbki prowadzi się do osiągnięcia stabilizacji odkształceń (jak w badaniach edometrycznych, p. ćw. 9).
7. Po zakończeniu osiadania próbki obciąża się ją dodatkowym obciążeniem jednostkowym o różnych wartościach dla każdej z próbek. Gdy potrzeby obliczeń statycznych nie podają innych warunków, należy stosować dodatkowe obciążenie równe: 100, 150, 200, 300 i 400 kPa.
 8. Po 5 minutach działania dodatkowego obciążenia przesuwa się, pokręcając korbką (przy wyłączonym sprzęgle), skrzynkę dwudzielną do styku jej ze sworzniem dynamometru. Następnie wykręca się i wyjmuje śruby łączące dolną i górną ramkę skrzynki. Potem wkręca się śruby nastawcze tak, aby powstała szczelina pomiędzy ramkami szerokości około 1,0 mm, po czym wykręca się je do pierwotnego położenia i włącza się silnik.
 9. Ścinanie następuje wskutek przesuwania się ruchomej części ramki skrzynki względem części nieruchomej ze stałą prędkością. Prędkość przemieszczania skrzynki aparatu może być regulowana przez wykorzystanie opornicy.
 10. W miarę wzrostu nacisku odczyty na dynamometrze zwiększają się, aż opór gruntu zostanie zrównoważony przez naprężenie ścinające przy danym obciążeniu normalnym. W tym momencie następuje zniszczenie próbki, co powoduje najczęściej zatrzymanie wskazówki czujnika dynamometru. W trakcie badania odczytuje się na czujnikach co 1 min wartości odkształceń: dynamometru, wysokości próbki i przemieszczeń wzajemnych ramek skrzynki dwudzielnej. Wszystkie dane notuje się do tabeli.
 11. W czasie, gdy dwa kolejne odczyty wskażą niższe wartości siły ścinającej, należy przerwać badanie i wyjąć próbkę z aparatu.

Tab. 10.1. Rezultaty badań próbek gruntu w aparacie skrzynkowym

Numer badania	1	2	3	4	5	6	7
Siła Pionowa $P[N]$							
Naprężenia normalne $\delta[kPa]$							
Poziome przesunięcie ramki $r[mm]$							
Względne odkształcenie próbki $\varepsilon[\%]$							
Odczyt na wskaźniku siły poziomej							
Siła ścinająca $Q_{max}[N]$							
Naprężenia ścinające $\tau[Kpa]$							

Powierzchnia ścinanej próbki.....[cm²]

Analitycznie obliczanie ϕ_s i c_s oraz odchyłeń standartowych s_{ϕ} i s_c . Wytrzymałość na ścinanie oblicza się co najmniej z 5 próbek. Według wyliczonych punktów wykreśla się przybliżoną prostą aproksymującą. Uzyskane wyniki sprawdza się, czy odchylenia punktów od tej prostej nie przekraczają 25% wartości t_f . Jeżeli któryś wynik wykazuje odchylenie większe, nie należy go uwzględniać i trzeba przeprowadzić dodatkowe oznaczenie t_f . Konkretnie wartości kąta tarcia wewnętrznego Φ_s i spójności C_s oblicza się, stosując zasadę aproksymacji liniowej metodą najmniejszych kwadratów, a więc:

Kąt tarcia wewnętrznego:

$$\Phi_s = \arctg \frac{N \sum_{i=0}^N \delta_i \tau_{fi} - \sum_{i=0}^N \delta_i \sum_{i=0}^N \tau_{fi}}{N \sum_{i=0}^N (\delta_i)^2 - (\sum_{i=0}^N \delta_i)^2}$$

Spójność:

$$C_s = \frac{\sum_{i=0}^N (\delta_i)^2 \sum_{i=0}^N \tau_{fi} - \sum_{i=0}^N \delta_i \sum_{i=0}^N \delta_i \tau_{fi}}{N \sum_{i=0}^N (\delta_i)^2 - (\sum_{i=0}^N \delta_i)^2}$$

Średnie odchylenie kwadratowe kąta tarcia wewnętrznego:

$$S_{\Phi} = \frac{180^{\circ}}{\pi} S_a \cos^2 \Phi$$

$$S_a = \left(\frac{N}{N-2} \frac{\sum_{i=0}^N (\tau_{fi} - \delta_i \tg \Phi_s - C_s)^2}{N \sum_{i=0}^N (\delta_i)^2 - (\sum_{i=0}^N \delta_i)^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Średnie odchylenie kwadratowe spójności gruntu:

$$S_c = S_a \left[\frac{\sum_{i=0}^N (\delta_i)^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}}$$

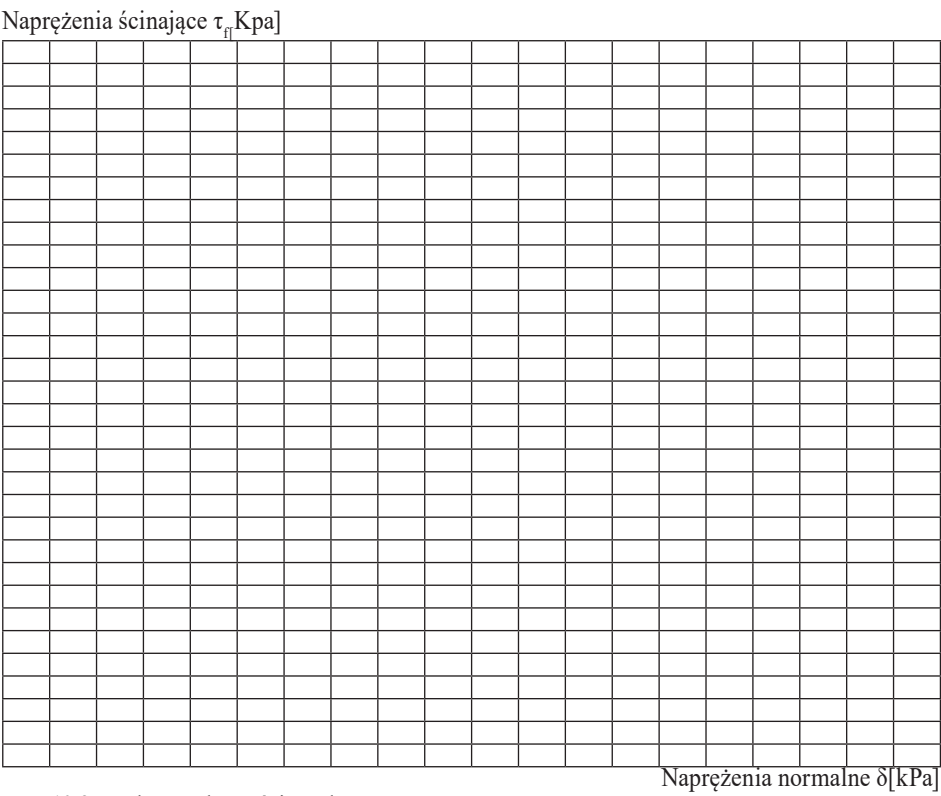
gdzie:

τ_i - wytrzymałość na ścinanie i-tej próbki,

δ_i - naprężenia normalne dla i-tej próbki,

N- liczba ściętych próbek uwzględniona w obliczeniach.

Dla przyjętych wartości obciążeń normalnych, nanosi się uzyskane wartości naprężeń stycznych odpowiadające poszczególnym punktom na wykres o współrzędnych σ_n , t_f (rys. 10.3).



Rys. 10.3. Wykres zależności τ_f od σ

Wyniki obliczeń notuje się do tabeli 10.2.

Tabela 10.2. Wyniki obliczeń Φ_s i C_s

Rodzaj gruntu			
Kąt tarcia wewnętrznego Φ_s [deg]		Średnie odchylenie kwadratowe S_{ϕ} [deg]	
Spójność C_s [Kpa]		Średnie odchylenie kwadratowe S_c [Kpa]	

PYTANIA KONTROLNE

1. Podaj podstawowe prawo wytrzymałości gruntów oraz jego interpretację graficzną dla gruntów sypkich i spoistych.
2. Narysuj siły działające na próbkę w aparacie skrzynkowym oraz wynikające z nich naprężenia.
3. Omów wady i zalety badania wytrzymałości na ścinanie gruntu w aparacie skrzynkowym.

Literatura:

1. Glazer Z.: *Mechanika gruntów*. Wyd. Geologiczne, Warszawa 1985.
2. Glinicki S.P.: *Geotechnika Budowlana*. Skrypt Politechniki Białostockiej, Białystok 1990.
3. Jeske T., Przedecki T., Rosiński B.: *Mechanika gruntów*. PWN, Warszawa 1966.
4. Kostrzewski W.: *Mechanika gruntów – Parametry geotechniczne gruntów budowlanych oraz metody ich wyznaczania*. PWN, Warszawa 1980.
5. Lambe T.W., Whitman R.V.: *Mechanika gruntów*. T. 1 i 2. Arkady, Warszawa 1978.
6. Myślińska E.: *Laboratoryjne badania gruntów*. PWN, Warszawa 1992.
7. Pałka J., Sanecki L.: *Grunty budowlane – Laboratoryjne badania fizycznych cech gruntów*. Skrypt Politechniki Krakowskiej, Kraków 1990.
8. Pisarczyk S.: *Mechanika gruntów*. Skrypt Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1992.
9. Rolla S.: *Badania materiałów i nawierzchni drogowych*. WKiŁ, Warszawa 1985.
10. Waluk J.: *Laboratorium z mechaniki gruntów*. Skrypt Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1979.
11. Wiłun Z.: *Zarys geotechniki*. WKiŁ, Warszawa 1982.

Spis norm:

12. PN-86/B-02480 Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.
13. PN-88/B-04481 Grunty budowlane. Badanie próbek gruntu.
14. PN-55/B-04492 Gruntu budowlane. Badanie właściwości fizycznych. Oznaczenie wskaźnika wodoprzepuszczalności



ISBN 978-83-64881-08-4