

POLITECHNIKA GDAŃSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ I ŚRODOWISKA

KATEDRA GEOTECHNIKI

**ZESZYT DO ĆWICZEŃ
LABORATORYJNYCH
Z MECHANIKI GRUNTÓW**

POMOCE DYDAKTYCZNE

STUDENT

WYDZIAŁ SEMESTR

GRUPA ROK AKADEMICKI

POLITECHNIKA GDAŃSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ I ŚRODOWISKA
KATEDRA GEOTECHNIKI

**ZESZYT
DO ĆWICZEŃ LABORATORYJNYCH
Z MECHANIKI GRUNTÓW**

KIEROWNIK KATEDRY

Prof. dr hab. inż. B. Zadroga

KIEROWNIK LABORATORIUM

Dr inż. W. Cichy

SPIS TREŚCI

	str.
Regulamin zajęć w laboratorium geotechniki	4
Zasady BHP w laboratorium geotechniki	5
Spis literatury	6
Schemat podziału gruntów wg PN-86/B-02480	7
Podstawowe nazewnictwo i podziały wg PN-86/B-02480	8
Normowe wartości kąta tarcia wewnętrznego, spójności i modułu odkształcenia pierwotnego gruntu.	10
Normowe wartości gęstości właściwych ρ_s , ciężarów właściwych γ_s , wilgotności naturalnych w_n , gęstości objętościowych ρ i ciężarów objętościowych γ gruntów niespoistych i spoistych	11
Cechy fizyczne gruntów, wzory	12
Materiały pomocnicze do badań makroskopowych	13
Ćwiczenia:	
1. Badania makroskopowe	15
2. Badanie gęstości objętościowej, gęstości właściwej i wilgotności naturalnej gruntu	17
3. Badanie granic konsystencji gruntu	19
4. Badanie uziarnienia gruntu	21
5. Badanie stopnia zagęszczenia gruntu	23
6. Badanie współczynnika filtracji	25
7. Badanie wilgotności optymalnej i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego	27
8. Badanie kąta tarcia wewnętrznego i spójności gruntu w aparacie skrzynkowym	29
9. Badanie kąta tarcia wewnętrznego i spójności gruntu w aparacie trójosiowego ściskania	31
10. Badanie ściśliwości gruntu	33

REGULAMIN

zajęć w Laboratorium Geotechniki

1. Ćwiczenia odbywają się indywidualnie lub zespołowo.
2. Każdy student prowadzi osobno zeszyt ćwiczeń.
3. Po wykonaniu ćwiczenia każdy student przedstawia uzyskane wyniki badania do sprawdzenia prowadzącemu ćwiczenia i uzyskuje adnotację w zeszycie. Wyniki ćwiczeń wymagające ważenia wysuszonych próbek należy przedstawić do sprawdzenia na następnych ćwiczeniach.
4. Wszystkie sprawozdania student wykonuje **na bieżąco** w zeszycie ćwiczeń. Przedstawia do sprawdzenia przed następnymi zajęciami.
5. Wysuszone próbki należy zważyć w okresie między kolejnymi ćwiczeniami.
6. Przed przystąpieniem do wykonywania ćwiczenia od studenta wymagana jest znajomość procedury wykonania poszczególnych badań zgodnie z zaleceniami normy PN-88/B-04481.
7. W trakcie ćwiczeń prowadzona jest bieżąca kontrola przygotowania studentów do ćwiczeń (odpowiedzi ustne, sprawdziany, testy).
8. Na ćwiczeniach student ma prawo korzystać z norm udostępnionych przez katedrę.
9. Obecność na wszystkich ćwiczeniach jest obowiązkowa.
10. Zaliczenie ćwiczeń odbywa się na podstawie wykonanych ćwiczeń, przedłożonych sprawozdań oraz napisanych pozytywnie sprawdzianów, testów z zakresu ćwiczeń.
11. Każdy student sprząta swoje stanowisko pracy po zakończeniu ćwiczenia.
12. Odrabianie ćwiczeń zaległych następuje w wyznaczonych przez prowadzącego terminach.

UWAGA !

Wyniki bezpośrednich pomiarów odczytywane na przyrządach nie zawsze odpowiadają jednostkom układu SI. W związku z tym przy interpretacji wyników należy przeliczyć je na układ SI i końcowy wynik podać w jednostkach układu SI.

Zasady BHP

w Laboratorium Geotechniki

1. Pracownik oraz studenci zobowiązani są:

- a. przestrzegać i znać zasady zachowania się w Laboratorium Geotechniki,
- b. utrzymywać przydzielone środki pracy i sprzęt ochrony osobistej w należytym stanie i używać je zgodnie z przepisami i przeznaczeniem,
- c. w razie wypadku udzielić pierwszej pomocy i postępując zgodnie z instrukcją znajdującą się w laboratorium, zawiadomić kompetentne osoby i zabezpieczyć miejsce wypadku,
- d. zabezpieczyć we własnym zakresie odzież ochronną.

2. Przed przystąpieniem do pracy należy:

- a. włożyć ubranie ochronne,
- b. sprawdzić stan techniczny urządzeń przewidzianych do pracy lub ćwiczeń,
- c. usunąć ze stołów laboratoryjnych zbędne przedmioty,
- d. zapoznać się z instrukcjami techniczno-mechanicznymi poszczególnych urządzeń wykorzystywanych do pracy,
- e. zapoznać się z opisem procedur wykonywania badań, niezbędnego zestawu sprzętu i materiału.

3. W czasie pracy:

- a. pracownik instruuje studentów o zasadach zachowania się w Laboratorium Geotechniki.
- b. nie wolno prowadzić prac z substancjami żrącymi, wybuchowymi, łatwopalnymi, lotnymi i trującymi; podobnie zachować ostrożność przy poszczególnych operacjach laboratoryjnych (ogrzewanie, rozcieńczanie cieczy, zobojętnianie, itp.),
- c. ćwiczenia z wykorzystaniem podgrzewania mieszanin wodno-gruntowych na palniku gazowym należy wykonywać ze szczególną ostrożnością (pod stałym nadzorem),
- d. używać odpowiednio dostosowanego szkła laboratoryjnego,
- e. używać sprzętu ochrony osobistej zgodnie z jego przeznaczeniem,
- f. w razie uszkodzenia urządzenia zawiadomić bezpośredniego przełożonego lub prowadzącego ćwiczenia,
- g. silne kwasy lub zasady przed wylaniem do zlewu uprzednio rozcieńczyć lub zneutralizować.

4. Po zakończeniu pracy należy:

- a. uprzątnąć stoły laboratoryjne,
- b. zamknąć dopływ wody, gazu oraz wyłączyć urządzenia spod napięcia elektrycznego,
- c. odpady wrzucić do pojemnika.

5. Zabrania się:

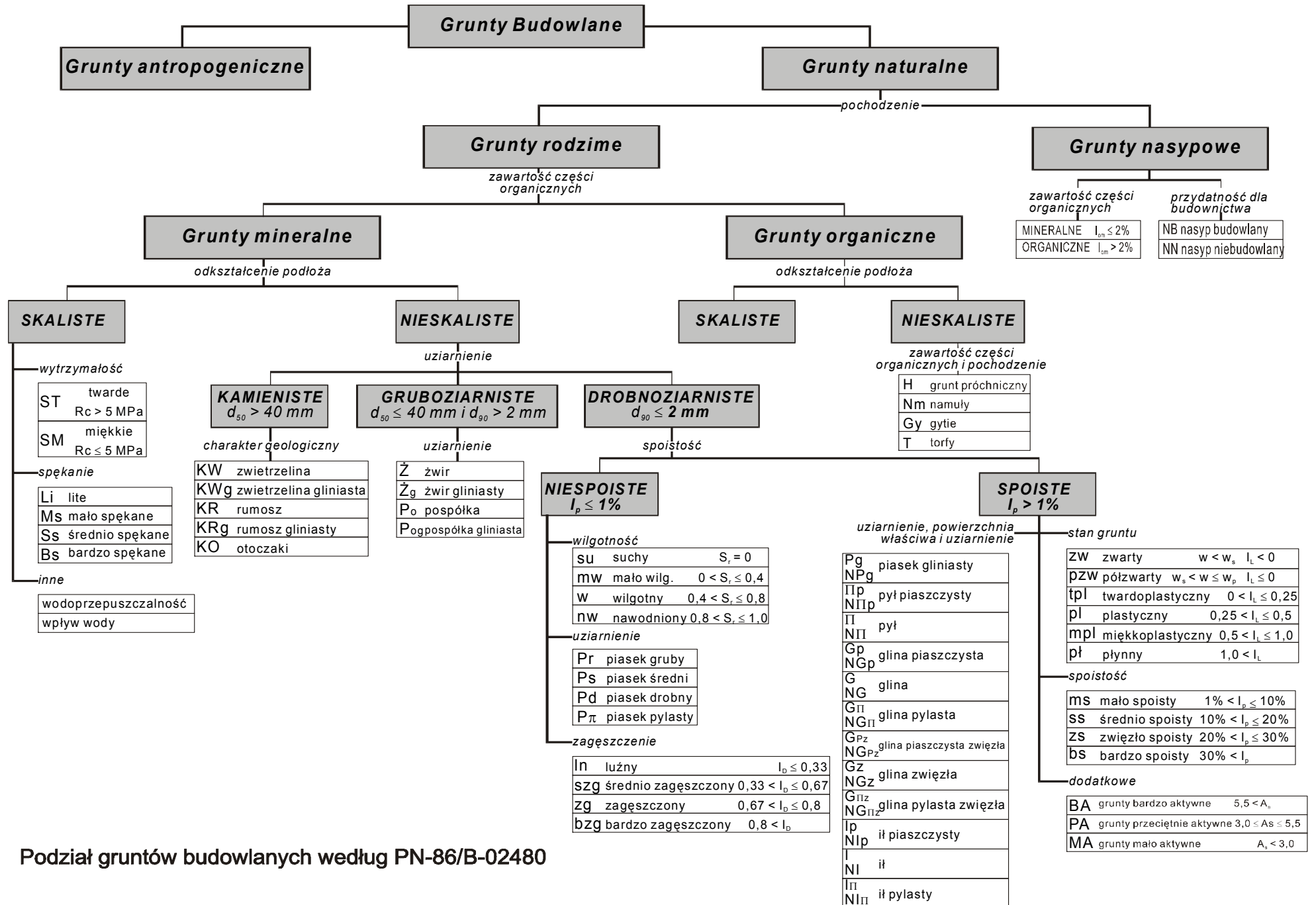
- a. jedzenia, picia, palenia tytoniu w sali dydaktycznej Laboratorium Geotechniki,
- b. manipulowania przy instalacjach elektrycznych znajdujących się pod napięciem,
- c. wylewania do zlewu mieszanin wodno-gruntowych, materiałów łatwopalnych oraz innych chemikaliów.

SPIS LITERATURY

- [1] Biernatowski K., Dembicki E., Dzierżawski K., Wolski W.: *Fundamentowanie. Projektowanie i wykonawstwo*. Arkady. Warszawa 1987.
- [2] Bolt A., Cichy W., Topolnicki M., Zadroga B.: *Mechanika gruntów w zadaniach*. Skrypt Politechniki Gdańskiej. Gdańsk 1985.
- [3] Bolt A., Przewłocki Z., Zadroga B.: *Przewodnik do ćwiczeń geotechnicznych*. Skrypt Politechniki Gdańskiej. Gdańsk 1980.
- [4] Dec T.: *Mechanika Gruntów, cz. I. Właściwości fizyczne*. WAT. Warszawa 1975.
- [5] Falkiewiczowa A., Kowalski W.C.: *Przewodnik do ćwiczeń z geologii inżynierskiej. Część gruntoznawcza*. Wydawnictwo Geologiczne. Warszawa 1959.
- [6] Glazer Z.: *Mechanika gruntów*. Wydawnictwo Geologiczne. Warszawa 1985.
- [7] Glinicki S., Mrozek W.: *Elementy geotechniki w Inżynierii Sanitarnej*. Politechnika Białostocka. Białystok 1983.
- [8] Jeske T., Przedecki T., Rossiński B.: *Mechanika gruntów*. PWN Warszawa - Wrocław 1966.
- [9] Kostrzewski W.: *Mechanika gruntów. Parametry geotechniczne gruntów budowlanych oraz metody ich wyznaczania*. PWN Warszawa 1980.
- [10] Lambe T.W., Whitman R.V.: *Mechanika gruntów*. Arkady, Warszawa 1977.
- [11] Modliński H.: *Mechanika gruntów. Część I, II, III*. Bistyp, Warszawa 1967, 1971.
- [12] Myślińska E.: *Laboratoryjne badania gruntów*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1992, (wydanie II) 1998, (wydanie III) 2001.
- [13] Pałka J., Sanecki L.: *Grunty budowlane cz.II. Laboratoryjne badania fizycznych cech gruntów*. Politechnika Krakowska. Kraków 1980.
- [14] Pisarczyk S., Rymsha B.: *Badania laboratoryjna i polowe gruntów*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1993.
- [15] Pisarczyki S., Gruntoznawstwo inżynierskie, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., Warszawa 2001
- [16] Pisarczyk S.: *Mechanika gruntów*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1992.
- [17] Rzeźniczak J.: *Geotechnika w Inżynierii Sanitarnej*. Politechnika Poznańska 1979.
- [18] Wiłun Z.: *Zarys geotechniki*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1987.
- [19] [http:// geotechnika.ps.pl/index_labor.html](http://geotechnika.ps.pl/index_labor.html)

SPIS NORM

- [20] PN-55/B-04492 Grunty budowlane. Badania właściwości fizycznych. Oznaczanie wskaźnika wodoprzepuszczalności.
- [21] PN-86/B-02480 Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.
- [22] PN-81/B-03020 Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [23] PN-74/B-04452 Grunty budowlane. Badania polowe.
- [24] PN-88/B-04481 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.



Podział gruntów budowlanych według PN-86/B-02480

PODSTAWOWE NAZWY I PODZIAŁY [20]

Grunt budowlany – część skorupy ziemskiej mogąca współdziałać z obiektem budowlanym, stanowiąca jego element lub służąca jako tworzywo do wykonania z niego budowli ziemnych; w [19] pod pojęciem „grunt” rozumie się „grunt budowlany”.

Nazwą gruntów określa się również samą fazę stałą (szkielet mineralny i organiczny) gruntów.

Grunt naturalny – grunt, którego szkielet powstał w wyniku procesów geologicznych na terenie Polski.

Frację ilową tworzą w przeważającej mierze minerały ilaste, tzn. uwodnione glinokrzemiany warstwowe.

W składzie frakcji piaskowej przeważają minerały twarde z przewagą ziaren kwarcu.

Grunt antropogeniczny – grunt nasypowy utworzony z produktów gospodarczej lub przemysłowej działalności człowieka (odpady komunalne, pyły dymnicowe, odpady poflotacyjne itp.) w wysypiskach, zwałowiskach, budowlach ziemnych itp.

Grunty te wymagają w każdym przypadku indywidualnej oceny ich budowlanej przydatności, w tym również oceny trwałości struktury, uwzględniającej np. wpływ zachodzących procesów chemicznych.

Grunt rodzimy – grunt powstały w miejscu zalegania w wyniku procesów geologicznych (wietrzenie, sedimentacja w środowisku wodnym itp.). grunty rodzime są zawsze gruntami naturalnymi.

Rozróżnia się następujące grunty rodzime:

- skaliste.
- nieskaliste mineralne.
- nieskaliste organiczne.

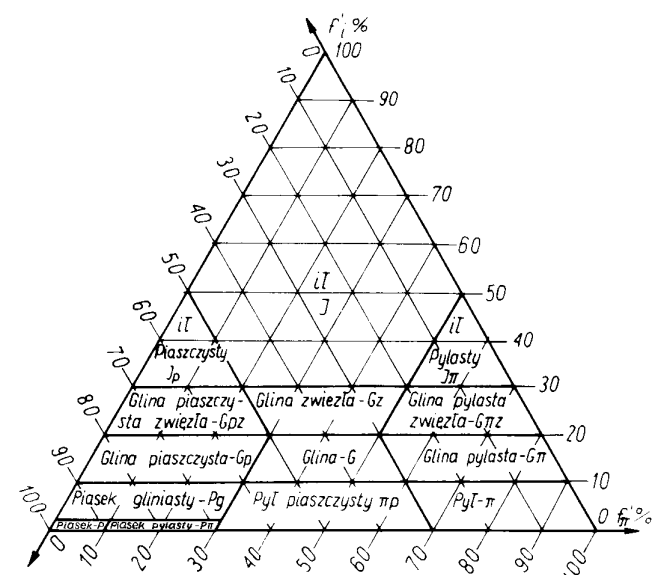
Grunt nasypowy – grunt naturalny lub antropogeniczny powstały w wyniku działalności człowieka, np. w wysypiskach, zwałowiskach, zbiornikach osadowych, budowlach ziemnych itp.

Grunt skalisty – grunt rodzimy, lity lub spękany o nieprzesuniętych blokach (najmniejszy wymiar bloku > 10 cm) którego próbki nie wykazują zmian objętości ani nie rozpadają się (rozmakają) pod działaniem wody destylowanej i mają wytrzymałość na ściskanie $R_c > 0.2$ MPa.

Grunt nieskalisty – grunt rodzimy lub autogeniczny nie spełniający warunków gruntu skalistego.

Grunt mineralny – grunt rodzimy, w którym zawartość części organicznych I_{om} jest równa lub mniejsza niż 2%.

Grunt organiczny – grunt rodzimy, w którym zawartość części organicznych I_{om} jest większa niż 2%.



Rys. 2. Podział gruntów **spoistych** ze względu na uziarnienie Trójkąt Fereta [20]

Grunt spoisty – nieskalisty grunt mineralny lub organiczny, wykazujący wartość wskaźnika plastyczności $I_p > 1\%$ lub wykazujący w stanie wysuszonym stałość kształtu bryłek przy naprężeniach > 0,01 MPa; minimalny wymiar bryłek nie może być przy tym mniejszy niż 10-krotna wartość maksymalnej średnicy ziaren. W stanie wilgotnym grunty spoiste wykazują cechę plastyczności.

Grunt niespoisty (sypki) – nieskalisty grunt mineralny lub organiczny nie spełniający warunków gruntu spoistego.

Grunt jednorodny – grunt spoisty, którego całą objętość pobranej próbki zaliczyć można do jednego rodzaju.

Grunt niejednorodny – grunt nie spełniający warunków gruntu jednorodnego; pojęcie gruntu niejednorodnego odnosi się jedynie do gruntów spoistych i spoistych z przewarstwieniami gruntów niespoistych.

Szczególnym przypadkiem gruntów niejednorodnych są grunty warstwowe o widocznych cechach sedimentacji, w których występują równoległe warstwy (laminacje) różnych gruntów.

Obecność pojedynczych kamieni lub kongreji (np. wapiennych, piritowych itp.) nie stanowi cechy niejednorodności; przy opisie gruntów traktowane są one jako domieszki.

Grunt pęczniący – grunt wykazujący pod wpływem wody ciśnienie pęcznienia P_c nie mniejsze niż 10 kPa (0,1 kG/cm²); kryterium orientacyjnym gruntów pęczniących jest warunek

$$\frac{\bar{e}_L - e_n}{1 + e_n} > 0,3$$

Grunt zapadowy – grunt o strukturze nietrwałej ulegającej zmianie pod wpływem zawilgocenia, bez zmiany działającego obciążenia, spełniający warunek

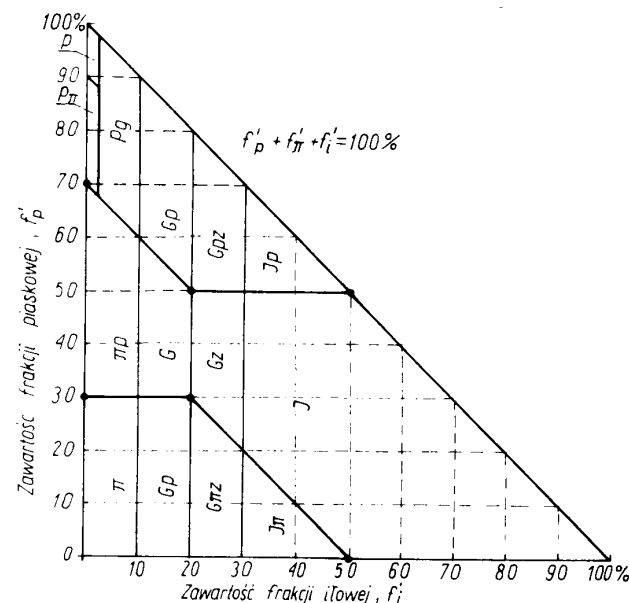
$$i_{mp} > 0,02$$

Kryterium orientacyjnym dla naturalnych gruntów zapadowych są warunki:

a) $S_r \leq 0,6$

b) $\frac{\bar{e}_L - e_n}{1 + e_n} \leq 0,1$

Wszystkie grunty zalegające poniżej zwierciadła wód gruntowych, z uwzględnieniem zmian jego położenia, uważa się za grunty o strukturze trwałej, tzn. za grunty niezapadowe.



Rys. 3. Podział gruntów **spoistych** ze względu na uziarnienie [20]

Tab. 1. Podział gruntów skalistych ze względu na spękanie [20]

Nazwa gruntu	Symbol dodatkowy	Określenie
Skala lita	Li	brak widocznych spękań (szczeliny o szerokości nie większej niż 0,1 mm)
Skala mało spękana	Ms	szczeliny występują nie gęściej niż co 1 m i mają szerokość nie większą niż 1 mm
Skala średnio spękana	Ss	szczeliny występują gęściej niż co 1 m i mają szerokość nie większą niż 1 mm, lub szczeliny występujące nie gęściej niż 1 m, lecz mają szerokość większą niż 1 mm
Skala bardzo spękana	Bs	szczeliny występują gęściej niż co 1 m i mają szerokość większą niż 1 mm

Tab. 2. Frakcje uziarnienia gruntów nieskalistych [20]

Nazwa frakcji	Symbol procentowej zawartości frakcji w masie szkieletu gruntowego	Zakres średnic zastępczych d [mm]
Kamienista	f_k	$d > 40$
Żwirowa	f_z	$40 \geq d > 2$
Piaskowa	f_p	$2 \geq d > 0,05$
Pyłowa	f_π	$0,05 \geq d > 0,002$
Iłowa	f_i	$0,002 \geq d$
Piaskowa zredukowana	f'_p	$f'_p = \frac{100f_p}{100 - (f_k + f_z)}$
Pyłowa zredukowana	f'_π	$f'_\pi = \frac{100f_\pi}{100 - (f_k + f_z)}$
Iłowa zredukowana	f'_i	$f'_i = \frac{100f_i}{100 - (f_k + f_z)}$

Tab. 3. Podział gruntów nieskalistych mineralnych ze względu na uziarnienie [20]

Nazwa gruntu	Symbol	Uziarnienie
Kamienisty	K	$d_{50} > 40$ mm
Gruboziarnisty	wg tab. 5.	$d_{50} \leq 40$ mm oraz $d_{90} > 2$ mm
Drobnoziarnisty	wg tab. 6	$d_{90} \leq 2$ mm

Tab. 4. Podział gruntów kamienistych ze względu na miejsce występowania względem skały macierzystej [20]

Nazwa gruntu	Symbol	Uziarnienie	Charakterystyka geologiczna
Zwietrzelnina	KW	$f'_i \leq 2\%$	grunt występuje w miejscu
Zwietrzelnina gliniasta	KWg	$f'_i > 2\%$	wietrzenia skały w stanie nienaruszonym
Rumosz	KR	$f'_i \leq 2\%$	grunt występuje poza miejscem wietrzenia skały pierwotnej,
Rumosz gliniasty	KRg	$f'_i > 2\%$	lecz nie podlegał procesom transportu i osadzeniu w wodzie
Otoczaki	KO	–	grunt osadzony w wodzie

Tab. 5. Podział gruntów gruboziarnistych ze względu na uziarnienie [20]

Nazwa gruntu	Symbol	Uziarnienie
Żwir	Ż	$f'_i \leq 2\%$
Żwir gliniasty	Żg	$f'_i > 2\%$
Pospółka	Po	$f'_i \leq 2\%$
Pospółka gliniasta	Pog	$f'_i > 2\%$

Tab. 6. Podział gruntów drobnoziarnistych ze względu na uziarnienie [20]

Nazwa gruntu	Symbol	Uziarnienie
Piasek gruby	Pr	Zawartość ziaren o średnicy większej niż 0,5 mm wynosi więcej niż 50% ($d_{50} > 0,5$ mm)
Piasek średni	Ps	Zawartość ziaren o średnicy większej niż 0,5 mm wynosi nie więcej niż 50%, lecz zawartość ziaren o średnicy większej niż 0,25 mm wynosi więcej niż 50% ($0,5 \text{ mm} \geq d_{50} > 0,25$ mm)
Piasek drobny	Pd	Zawartość ziaren o średnicy mniejszej niż 0,25 mm wynosi więcej niż 50% ($d_{50} \leq 0,25$ mm)
Piasek pylasty	P π	$f'_p = 68 \div 90\%$ $f'_\pi = 10 \div 30\%$ $f'_i = 0 \div 2\%$

Tab. 7. Podział gruntów drobnoziarnistych niespoistych ze względu na zagęszczenie [20]

Stan gruntu	Symbol	Stopień zagęszczenia
Luźny	ln	$I_D \leq 0,33$
Średnio zagęszczony	szg	$0,33 < I_D \leq 0,67$
Zagęszczony	zg	$0,67 < I_D \leq 0,80$
Bardzo zagęszczony	bzg	$I_D > 0,80$

Tab. 8. Podział gruntów spoistych ze względu na uziarnienie [20]

Nazwa rodzaju gruntu	Symbol	Zawartość frakcji, %		
		f'_p	f'_π	f'_i
Piasek gliniasty	Pg	60÷98	0÷30	2÷10
Pył piaskzysty	πp	30÷70	30÷70	0÷10
Pył	π	0÷30	60÷100	0÷10
Gлина piaszczysta	Gp	50÷90	0÷30	10÷20
Gлина	G	30÷60	30÷60	10÷20
Gлина pylasta	G π	0÷30	30÷90	10÷20
Gлина piaszczysta zwięzła	Gpz	50÷80	0÷30	20÷30
Gлина zwięzła	Gz	20÷50	20÷50	20÷30
Gлина pylasta zwięzła	G πz	0÷30	50÷80	20÷30
Ił piaskzysty	lp	50÷70	0÷20	30÷50
Ił	l	0÷50	0÷50	30÷100
Ił pylasty	l π	0÷20	50÷70	30÷50

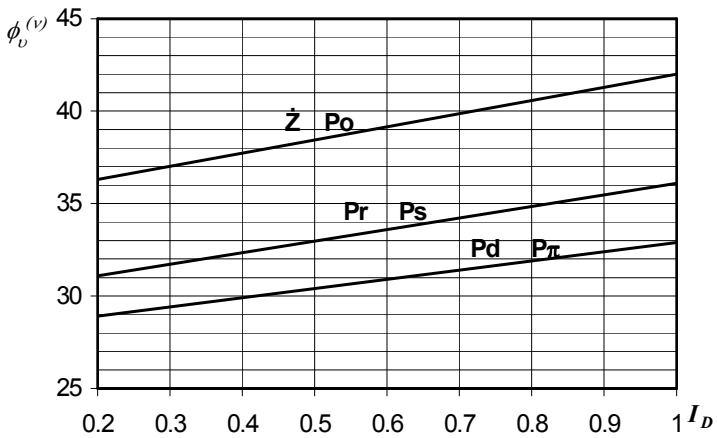
Tab. 9. Podział gruntów spoistych ze względu na stan i konsystencję gruntu [20]

Konsystencja gruntu	Stan gruntu	Symbol	Stopień plastyczności	Wilgotność gruntu w stosunku do granic konsystencji
Zwarta	zwały	zw	$I_L < 0$	$w \leq w_s$
	półzwały	pzw	$I_L \leq 0$	$w_s \leq w \leq w_p$
Plastyczna	twardo-plastyczny	tpl	$0 < I_L \leq 0,25$	$w_p < w \leq w_L$
	plastyczny	pl	$0,25 < I_L \leq 0,50$	
	międko-plastyczny	mpl	$0,50 < I_L \leq 1,00$	
Płynna	płynny	pł	$1,00 < I_L$	$w_L < w$

Tab. 10. Podział gruntów nasypowych ze względu na przydatność dla budownictwa [20]

Rodzaj gruntu	Symbol	Właściwości
Nasyp budowlany	nB	nasyp, którego rodzaj i stan odpowiadają wymaganiom budowli ziemnych lub podłoża pod budowlę
Nasyp nie odpowiadający wymaganiom budowlanym	nN	nasyp nie spełniający warunku jw.

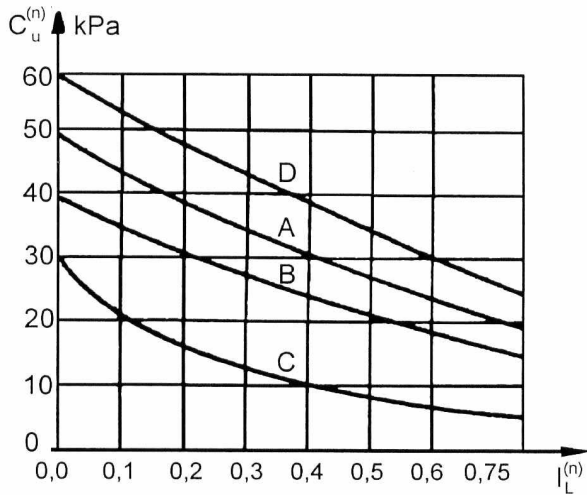
NORMOWE WARTOŚCI KĄTA TARCIA WEWNĘTRZNEGO $\phi_u^{(n)}$, $\phi'^{(n)}$, SPÓJNOŚCI $c_u^{(n)}$
I MODUŁU ODKSZTAŁCENIA PIERWOTNEGO $E_0^{(n)}$ [21]



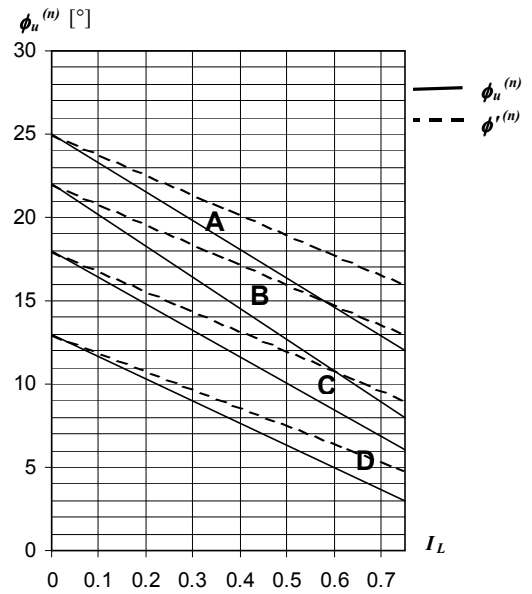
Rys. 4. Normowe wartości $\phi_u^{(n)}$ dla gruntów niespoistych w zależności od stopnia zagęszczenia.

GRUPY GRUNTÓW SPOISTYCH

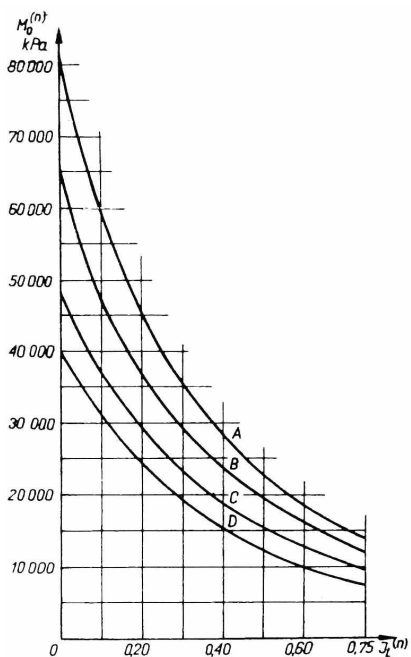
- A - spoiste, morenowe, skonsolidowane (np. gliny, gliny piaszczyste, piaski gliniaste w stanie półzwałym)
- B - inne spoiste skonsolidowane i morenowe nieskonsolidowane (np. pyły i gliny pylaste półzwałte, gliny, piaski gliniaste twardoplastyczne)
- C - inne spoiste nieskonsolidowane (np. gliny zwięzłe i gliny piaszczyste plastyczne)
- D - ility niezależnie od genezy



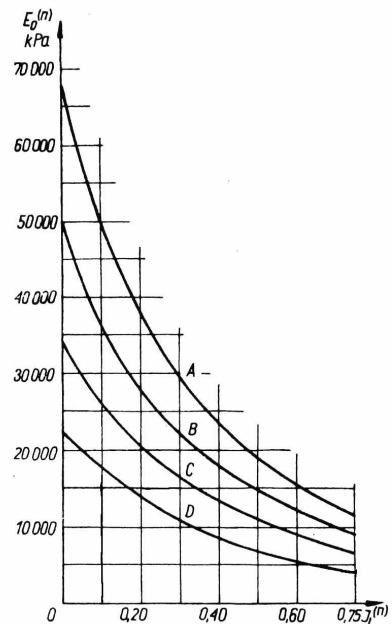
Rys. 5. Normowe wartości $c_u^{(n)}$ w zależności od stopnia plastyczności I_L .



Rys. 6. Normowe wartości $\phi_u^{(n)}$, $\phi'^{(n)}$ dla gruntów spoistych w zależności od stopnia plastyczności I_L .



Rys. 7. Moduły odkształcenia pierwotnego (ogólnego) dla gruntów niespoistych.



Rys. 8. Moduły odkształcenia pierwotnego dla gruntów spoistych.

**NORMOWE WARTOŚCI GĘSTOŚCI WŁAŚCIWYCH ρ_s , CIĘŻARÓW WŁAŚCIWYCH γ_s , WILGOTNOŚCI NATURALNYCH w_n ,
GĘSTOŚCI OBJĘTOŚCIOWYCH ρ I CIĘŻARÓW OBJĘTOŚCIOWYCH γ [22]**

Tab. 11. Grunty niespoiste.

Nazwy gruntów		Stany wilgotności	ρ_s [Mg/m ³]	w_n [%]	Stan gruntu		
			γ_s [kN/m ³]	ρ [Mg/m ³]	zagęszczony	średnio zagęszczony	luźny
			γ [kN/m ³]	$I_D=1.0-0.68$	$I_D=0.67-0.34$	$I_D=0.33-0.0$	
Nieskaliste mineralne	zwiry i pospółki	mało wilgotne	w_n	3	4	5	
			ρ	1.85	1.75	1.7	
			γ	18.14	17.16	16.67	
		wilgotne	w_n	10	12	15	
			ρ	2.0	1.90	1.85	
			γ	19.61	18.63	18.14	
		mokre	w_n	14	18	23	
			ρ	2.10	2.05	2.0	
			γ	20.59	20.10	19.61	
	piaski grube i średnie	mało wilgotne	w_n	4	5	6	
			ρ	1.80	1.70	1.65	
			γ	17.65	16.67	16.18	
		wilgotne	w_n	12	14	16	
			ρ	1.90	1.85	1.80	
			γ	18.63	18.14	17.65	
		mokre	w_n	18	22	25	
			ρ	2.05	2.00	1.95	
			γ	20.10	19.61	19.12	
	piaski drobne i pylaste	mało wilgotne	w_n	5	6	7	
			ρ	1.70	1.65	1.60	
			γ	16.67	16.18	15.69	
		wilgotne	w_n	14	16	19	
			ρ	1.85	1.75	1.70	
			γ	18.14	17.16	16.67	
mokre		w_n	22	24	28		
		ρ	2.0	1.90	1.85		
		γ	19.61	18.63	18.14		
Nieskaliste organiczne	mało wilgotne	w_n	5	6	7		
		ρ	1.60	1.55	1.50		
		γ	15.69	15.20	14.71		
	wilgotne	w_n	16	18	21		
		ρ	1.75	1.70	1.65		
		γ	17.16	16.67	16.18		
	mokre	w_n	24	28	30		
		ρ	1.90	1.85	1.75		
		γ	18.63	18.14	17.16		

Tab. 12. Grunty spoiste.

Nazwy gruntów		ρ_s [Mg/m ³]	w_n [%]	Stan gruntu			
			ρ [Mg/m ³]	półzwały	twardo- plastyczny	plastyczny	międko- plastyczny
		γ_s [kN/m ³]	γ [kN/m ³]	$I_L < 0$	$I_L = 0.0 \div 0.25$	$I_L = 0.25 \div 0.5$	$I_L = 0.5 \div 1.0$
NIESKALISTE MINERALNE	MAŁO SPOISTE	zwiry i pospółki gliniaste	w_n	6	8	15	18
			ρ	2.25	2.20	2.10	2.02
			γ	22.06	21.57	20.59	19.81
		piaski gliniaste	w_n	10	13	16	19
			ρ	2.20	2.15	2.10	2.05
			γ	21.57	21.08	20.59	20.10
		pyły piaszczyste	w_n	14	18	20	22
			ρ	2.15	2.10	2.05	2.00
			γ	21.08	20.59	20.10	19.61
	pyły	w_n	18	22	24	26	
		ρ	2.10	2.05	2.0	1.95	
		γ	20.59	20.10	19.61	19.12	
	ŚREDNIO SPOISTE	gliny piaszczyste	w_n	9	12	17	24
			ρ	2.25	2.20	2.10	2.00
			γ	22.06	21.57	20.59	19.61
		gliny	w_n	13	16	21	27
			ρ	2.20	2.15	2.05	1.95
			γ	21.57	21.08	20.10	19.12
		gliny pylaste	w_n	17	20	25	32
			ρ	2.15	2.10	2.00	1.90
			γ	21.08	20.59	19.61	18.63
	ZWIĘZŁO SPOISTE	gliny piaszczyste zwięzłe	w_n	11	14	20	30
			ρ	2.25	2.15	2.05	1.95
			γ	22.06	21.08	20.10	19.12
gliny zwięzłe		w_n	15	18	24	35	
		ρ	2.20	2.10	2.00	1.90	
		γ	21.57	20.59	19.61	18.63	
gliny pylaste zwięzłe		w_n	18	22	28	42	
		ρ	2.15	2.00	1.90	1.80	
		γ	21.08	19.61	18.63	17.65	
BARDZO SPOISTE	iły piaszczyste	w_n	14	18	25	40	
		ρ	2.20	2.10	1.95	1.80	
		γ	21.57	20.59	19.12	17.65	
	iły	w_n	19	27	34	50	
		ρ	2.15	2.00	1.85	1.75	
		γ	21.08	19.61	18.14	17.16	
	iły pylaste	w_n	25	33	42	50	
		ρ	2.05	1.90	1.80	1.70	
		γ	21.10	18.63	17.65	16.67	

**Tabl. 13. CECHY FIZYCZNE GRUNTÓW
WZORY**

Cechy fizyczne	Wzór podstawowy	Wzory pomocnicze
Gęstość właściwa szkieletu gruntowego	$\rho_s = \frac{m_s}{V_s}$	Określa się doświadczalnie
Gęstość objętościowa gruntu	$\rho = \frac{m_m}{V}$	Określa się doświadczalnie $\rho = \frac{m_s + m_w}{V_s + V_p}$
Wilgotność	$w = \frac{m_w}{m_s}$	Określa się doświadczalnie; wynik podaje się w % lub w wartościach bezwzględnych
Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego	$\rho_d = \frac{m_s}{V}$	$\rho_d = \frac{\rho}{1+w} = \rho_s(1-n) = \frac{\rho_s}{1+e} = \frac{n \cdot \rho_s}{e} = \frac{\rho_s \cdot \rho_w}{\rho_w + w_r \cdot \rho_s} =$ $= \frac{n \cdot \rho_w}{w_r} = \frac{e \cdot \rho_w}{(1+e)w_r}$
Porowatość	$n = \frac{V_p}{V}$	$n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} = \frac{e}{1+e} = \frac{w_r \cdot \rho_s}{\rho_w + w_r \cdot \rho_s} = \frac{w_r \cdot \rho_d}{\rho_w} = \frac{\rho_s(1+w) - \rho}{\rho_s(1+w)}$
Wskaźnik porowatości	$e = \frac{V_p}{V_s}$	$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} = \frac{n}{1-n} = \frac{w_r \cdot \rho_d}{\rho_w - w_r \cdot \rho_d} = \frac{w_r \cdot \rho_s}{\rho_w} = \frac{\rho_s(1+w) - \rho}{\rho}$
Wilgotność w stanie całkowitego nasycenia porów gruntu wodą	$w_r = \frac{\rho_w}{\rho_d} - \frac{\rho_w}{\rho_s}$	$w_r = \frac{e \cdot \rho_w}{\rho_s} = \frac{n \cdot \rho_w}{\rho_s(1-n)} = \frac{n \cdot \rho_w}{\rho_d} = \frac{e \cdot \rho_w}{\rho_d(1+e)} = \frac{n(1+w)\rho_w}{\rho} =$ $= \frac{e(1+w)\rho_w}{\rho(1+e)} = \frac{(1+w)\rho_s - \rho}{\rho \cdot \rho_s} \rho_w$
Stopień wilgotności	$S_r = \frac{w}{w_r}$	$S_r = \frac{w \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w} = \frac{\rho - \rho_d}{n \cdot \rho_w} = \frac{w \cdot \rho_d}{n \cdot \rho_w} = \frac{w \cdot \rho_s(1-n)}{n \cdot \rho_w} = \frac{w \cdot \rho}{n(1+w)\rho_w}$
Gęstość objętościowa przy całkowitym nasyceniu porów gruntu wodą	$\rho_{sr} = \frac{m_s + V_p \cdot \rho_w}{V}$	$\rho_{sr} = (1-n)\rho_s + n \cdot \rho_w = \rho_d + n \cdot \rho_w$
Gęstość objętościowa gruntu z uwzględnieniem wyporu wodą	$\rho' = \frac{m_s + V_s \cdot \rho_w}{V}$	$\rho' = (1-n)(\rho_s - \rho_w) = \rho_{sr} - \rho_w$ Dla gruntów spoistych $\rho_{sr} \approx \rho \rightarrow \rho' = \rho - 1$

**MATERIAŁY POMOCNICZE DO ĆWICZENIA
„BADANIA MAKROSKOPOWE”**

Tab. 14. Określenie rodzajów gruntów spoistych [23].

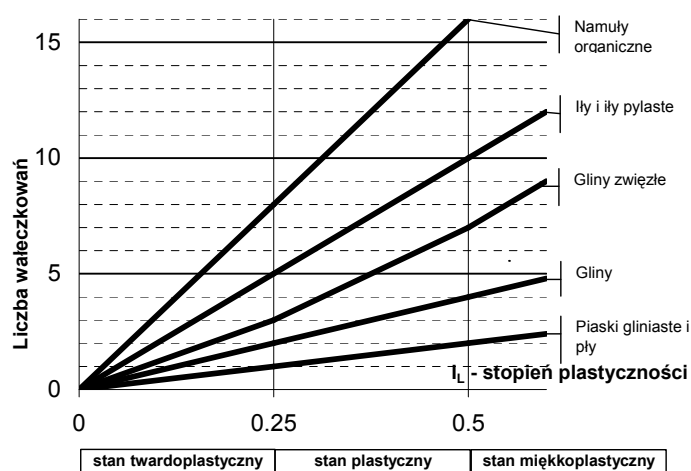
Rodzaj gruntu			Rodzaj gruntu w zależności od zawartości frakcji piaskowej			Wyniki badania	
			Grupa I	Grupa II	Grupa III	Próba waleczkowania	Próba rozmakania
Wskaźnik plastyczności I_p	Zawartość frakcji ilowej f_i'		Grunty piaszczyste	Grunty pośrednie	Grunty pylaste		
Rodzaje gruntów w zależności od wyników prób: waleczkowania, rozcierania w wodzie i rozmakania	mało spoiste	$I_p < 0.05$ $f_i' < 5\%$	piasek gliniasty	pył piaszczysty	pył	kulka rozpląszcza się lub rozsypuje; grunt nie daje się waleczkować	grudka rozmaka natychmiast
		$I_p = 0.05 \div 0.1$ $f_i' = 5 \div 10\%$	piasek gliniasty	pył piaszczysty	pył	waleczek rozwarstwia się podłużnie	grudka rozmaka w czasie od 0.5 do 5 min
	średnio spoiste	$I_p = 0.1 \div 0.2$ $f_i' = 10 \div 20\%$	gлина piaszczysta	gлина	gлина pylasta	od początku do końca waleczkowania powierzchnia waleczka bez połysku; waleczek pęka poprzecznie	grudka rozmaka w czasie od 5 do 60 min
	zwięzła spoiste	$I_p = 0.2 \div 0.3$ $f_i' = 20 \div 30\%$	gлина piaszczysta zwięzła	gлина zwięzła	gлина pylasta zwięzła	waleczek początkowo bez połysku, przy końcu waleczkowania z połyskiem; pęka poprzecznie	grudka rozmaka w czasie od 1 do 24 godz.
	bardzo spoiste	$I_p > 0.3$ $f_i' > 30\%$	ił piaszczysty	ił	ił pylasty	kulka i waleczek od początku z połyskiem	grudka rozmaka w czasie dłuższym niż 1 doba
rozpoznanie ilości frakcji piaskowej			między palcami pozostaje dużo ziaren piasku	wyczuwa się tylko pojedyncze ziarna piasku	nie wyczuwa się ziaren piasku	próba rozcierania gruntu w wodzie	

Uwagi dodatkowe:

1. Waleczkujemy kulkę o średnicy 7mm do grubości 3mm.
2. Liczba waleczkowań oznacza ile razy otrzymano waleczek o średnicy 3mm do uzyskania jego charakterystycznych spękań.
3. Grunt zwarty nie poddaje się naciskowi palców.
4. Grunt półzwarty pozwala formować się w kulkę, nie waleczkuje się.
5. Piasek pylasty zawiera do 30% pyłu, wilgotny, tworzy grudki.
6. Pył mało wilgotny pozostawia na palcach jasną mączkę, a gliny i iły nie.
7. Grunt bardzo spoisty pozwala waleczkować się do grubości 1 mm.
8. Namuły są przeważnie gliniaste lub pylaste i waleczkują się 10÷20 razy.
9. Próchnica w ilości 2÷3% nadaje gruntowi miano - próchniczny (humus).

OZNACZENIE BARWY:

1. Barwę określa się na przełamie bryły gruntu o naturalnej wilgotności.
2. Kolor dominujący umieszcza się na końcu nazwy barwy.
3. Natężenie barwy określamy jako jasny, ciemny.
4. Przykłady: szara, brunatna, szaro-żółta, brunatno-żółta, żółto-czerwona, brązowo-czekoladowa, szaro-oliwkowo-popielata, zielonkawo-szara, biało-szara, brunatno-zielona, ciemno-brunatna, czerwono-zielona, jasno-żółto-szara.



Rys. 9. Oznaczenie stanu gruntów spoistych [23].

Tab. 15. Oznaczenie wilgotności [23]

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 przyłożone do gruntu nie stają się wilgotne
wilgotny	papier filtracyjny lub ręka przyłożone do gruntu stają się wilgotne
mokry	przy ścisnaniu gruntu w dłoni odsąca się z niego woda
nawodniony	woda odsąca się z gruntu grawitacyjnie

Tab. 16. Oznaczenie klasy zawartości $CaCO_3$ [23]

Klasy zawartości węglanów	Przybliżona zawartość $CaCO_3$ (%)	Reakcja roztworu HCl
IV	>5	burzy się intensywnie i długo (>20 s)
III	3÷5	burzy się intensywnie lecz krótko (<20 s)
II	1÷3	burzy się słabo i krótko
I	<1	ślady lub brak wydzielania gazu

OPRACOWANIE ĆWICZENIA POWINNO ZAWIERAĆ:

1. Krótki opis przebiegu ćwiczenia.
2. Podanie rodzaju, stanu, barwy, wilgotności i zawartości węglanu wapnia dla badanych próbek.
3. Krótką analizę uzyskanych wyników.

PYTANIA KONTROLNE:

1. W jaki sposób można makroskopowo odróżnić grunt spoisty od niespoistego?
2. Makroskopowe określanie rodzaju gruntów niespoistych.
3. Makroskopowe określanie rodzaju gruntów spoistych.
4. Jakie cechy gruntu można określić w badaniach makroskopowych?
5. Makroskopowe określanie stanu gruntów spoistych.
6. Makroskopowe określanie wilgotności gruntów.
7. Jakie próbki gruntu pobiera się do badań laboratoryjnych?
8. Jak zmienia się barwa gruntu ze zmianą wilgotności gruntu?

ĆWICZENIE NR

BADANIA MAKROSKOPOWE [22]

Określenie: badaniami makroskopowymi nazywa się przybliżone określenie rodzaju gruntu i jego cech fizycznych bez pomocy przyrządów.

Zakres badań: badania makroskopowe mają na celu określenie następujących cech gruntów:

- rodzaju,
- stanu,
- barwy,
- wilgotności,
- zawartości węgla wapnia (CaCO_3)

Opis próbki:

nr próbki	nr otworu	przełot warstwy (m)	głębokość pobierania próbki (m)	rodzaj opakowania			rodzaj próbki
				słoik	skrzynka	cylinder	

Wyniki badań:

nr próbki	próba waleczkowania	próba rozcierania w wodzie	próba rozmakania
	zawartość frakcji ilowej (\bar{f}_i):		wskaźnik plastyczności (I_p):
	rodzaj gruntu:		barwa:
	ilość waleczkowań:		stan gruntu:
	wilgotność:		spoiistość:
	zawartość CaCO_3 :		
	Uwagi:		
nr próbki	próba waleczkowania	próba rozcierania w wodzie	próba rozmakania
	zawartość frakcji ilowej (\bar{f}_i):		wskaźnik plastyczności (I_p):
	rodzaj gruntu:		barwa:
	ilość waleczkowań:		stan gruntu:
	wilgotność:		spoiistość:
	zawartość CaCO_3 :		
	Uwagi:		

OPRACOWANIE ĆWICZENIA POWINNO ZAWIERAĆ:

1. Krótki opis przebiegu ćwiczenia.
2. Obliczenia wilgotności, gęstości objętościowej i właściwej (w tabeli).
3. Krótką analizę uzyskanych wyników.
4. Przeliczenie pozostałych cech fizycznych w oparciu o tablicę 13.

PYTANIA KONTROLNE:

1. Co to jest wilgotność naturalna gruntu?
2. Jaką próbkę gruntu pobiera się do badania wilgotności naturalnej, gęstości objętościowej i gęstości właściwej szkieletu gruntowego?
3. Podać definicję gęstości objętościowej gruntu.
4. Co to jest gęstość właściwa szkieletu gruntowego?
5. Podać zależność między gęstością objętościową a ciężarem objętościowym gruntu.
6. Sposoby określania gęstości objętościowej gruntu.
7. Podać definicję gęstości objętościowej szkieletu gruntowego.
8. Co to jest porowatość i wskaźnik porowatości gruntu? Podać zależność między nimi.
9. Podać definicję stopnia wilgotności gruntu.
10. Co to jest gęstość objętościowa przy całkowitym nasyceniu porów wodą.
11. Co to jest gęstość objętościowa z uwzględnieniem wyporu wody.
12. Podać podział gruntów niespoistych ze względu na stopień wilgotności S_r .

BADANIE GĘSTOŚCI OBJĘTOŚCIOWEJ, GĘSTOŚCI WŁAŚCIWEJ I WILGOTNOŚCI NATURALNEJ GRUNTU [23]

1. Określenie wilgotności naturalnej (w_n):

Wilgotność naturalna jest to stosunek masy wody zawartej w badanej próbce gruntu do masy jej szkieletu gruntowego (wyrażona w procentach lub wartościach bezwzględnych).

Przyrządy: • suszarka, • waga techniczna o dokładności 0.01 g, • parowniczkę, • eksykator.

2. Określenie gęstości objętościowej (ρ):

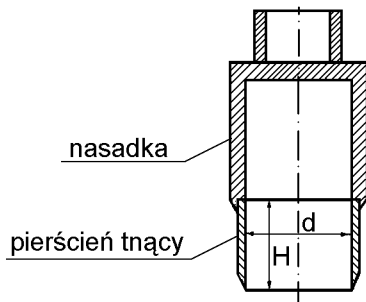
Gęstość objętościowa gruntu jest to stosunek masy próbki gruntu do jej objętości.

Przyrządy: • waga techniczna o dokładności 0.01 g, • pierścień metalowy o objętości 100 cm³,
• suwmiarka.

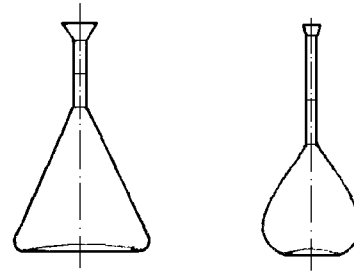
3. Określenie gęstości właściwej szkieletu gruntowego (ρ_s):

Gęstość właściwa szkieletu gruntowego jest to stosunek masy szkieletu gruntowego do objętości wszystkich ziaren i cząstek szkieletu.

Przyrządy: • kolba (piknometr) o pojemności 200÷250 cm³, • termometr, • młódko,
• waga techniczna o dokładności 0.01 g, • eksykator z bezwonnym chlorkiem wapnia.



PIKNOMETRY



Wyniki badań:

gęstość wody $\rho_w = \dots\dots\dots$ g/cm³

temperatura wody $t_w = \dots\dots\dots$ °C

oznaczenie wilgotności naturalnej (w_n)		oznaczenie gęstości objętościowej (ρ)		oznaczenie gęstości właściwej szkieletu gruntowego (ρ_s)	
numer próbki		numer próbki		numer próbki	
masa parowniczkę (m_t) [g]		masa pierścienia (m_t) [g]		masa piknometrę (m_t) [g]	
masa parowniczkę z gruntem wilgotnym (m_{mt}) [g]		średnica pierścienia (d) [cm]		masa piknometrę z gruntem suchym (m_g) [g]	
masa parowniczkę z gruntem suchym (m_{st}) [g]		Wysokość pierścienia (H) [cm]		masa gruntu suchego ($m_s = m_g - m_t$) [g]	
masa szkieletu gruntowego ($m_s = m_{st} - m_t$) [g]		objętość pierścienia $V = 0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot H$ [cm ³]		masa piknometrę z wodą i gruntem (m_{wg}) [g]	
masa wody w próbce ($m_w = m_{mt} - m_{st}$) [g]		masa pierścienia z gruntem (m_{mt}) [g]		masa piknometrę z wodą (m_{wt}) [g]	
wilgotność $w_n = \frac{m_w}{m_s} 100 =$ $= \frac{m_{mt} - m_{st}}{m_{st} - m_t} 100$ [%]		masa gruntu ($m_m = m_{mt} - m_t$) [g]		objętość szkieletu gruntowego $V_s = \frac{m_{wt} + (m_g - m_t) - m_{wg}}{\rho_w}$ [cm ³]	
		gęstość objętościowa $\rho = \frac{m_m}{V}$ [g/cm ³]		gęstość właściwa szkieletu gruntowego $\rho_s = \frac{m_s}{V_s}$ [g/cm ³]	

OPRACOWANIE ĆWICZENIA POWINNO ZAWIERAĆ:

1. Krótki opis przebiegu ćwiczenia.
2. Obliczenie stopnia plastyczności i określenie stanu gruntu (w tabeli).
3. Obliczenie wskaźnika plastyczności i określenie spoistości gruntu (w tabeli).
4. Krótką analizę uzyskanych wyników pod względem przydatności badanego gruntu do celów budowlanych.

PYTANIA KONTROLNE:

1. Podać definicję: granicy skurczalności (w_s), granicy plastyczności (w_p) i granicy płynności (w_L).
2. Sposób określenia granicy plastyczności.
3. Sposoby określenia granicy płynności.
4. Wskaźnik plastyczności i wynikający z niego podział gruntów spoistych.
5. Stopień plastyczności i wynikający z niego podział gruntów spoistych.
6. Wymienić konsystencje i stany gruntów spoistych.
7. Jakie próbki gruntu pobiera się do badania granic konsystencji?
8. Wymienić znane nazwy gruntów spoistych z podaniem symboli.

BADANIE GRANIC KONSYSTENCJI GRUNTU [23]

Określenia:

- **granicą płynności** gruntu nazywa się jego wilgotność, na granicy pomiędzy konsystencją płynną i plastyczną gruntów spoistych. Przyjmuje się, że granicy płynności odpowiada wilgotność gruntu, przy której bruzda rozdzielająca próbkę pasty gruntowej w miseczce aparatu Casagrande'a łączy się na długości 10 mm i wysokości 1 mm przy 25 uderzeniach miseczki w warunkach oznaczania, określonych normą. Granicę płynności gruntu oznacza się symbolem w_L , mianem jej są procenty ciężarowe.
- **granicą plastyczności** gruntu nazywa się wilgotność, jaką ma dany grunt na granicy stanu twardo-plastycznego i półzwartego. Przy tej wilgotności waleczek gruntu podczas jego waleczkowania na dłoni pęka po osiągnięciu średnicy 3 mm. Granicę plastyczności gruntów oznacza się symbolem w_p , mianem jej są procenty ciężarowe.
- **granicą skurczalności** gruntu nazywa się wilgotność, jaką ma dany grunt, gdy przy suszeniu bryłka gruntu przestaje zmniejszać swą objętość. Granicę skurczalności gruntów oznacza się symbolem w_s , mianem jej są procenty ciężarowe.

Przyrządy:

- znormalizowany aparat Casagrande'a (poniżej),
- rylec płaski (poniżej),
- tygielki porcelanowe 6÷8 szt.,
- przyrządy do oznaczania wilgotności.

Oznaczenia:

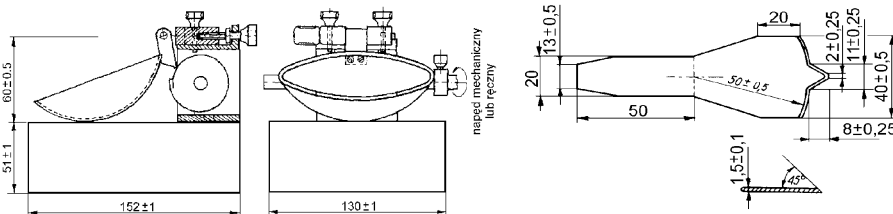
- m_t - masa parowniczkii,
- m_{mt} - masa parowniczkii z gruntem wilgotnym,
- m_{st} - masa parowniczkii z gruntem suchym.

$$w = \frac{m_{mt} - m_{st}}{m_{st} - m_t} \times 100\%$$

Wyniki badań:

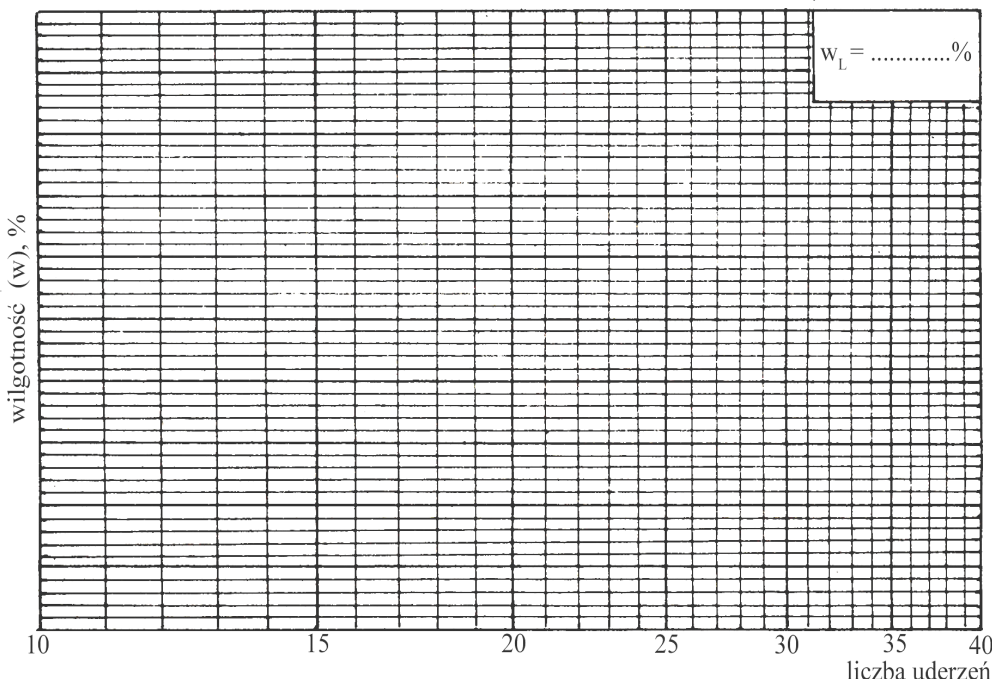
Oznaczenie wilgotności naturalnej w_n		Oznaczenie granicy plastyczności w_p	
masa [g]	w [%]	masa [g]	w [%]
m_t		m_t	
m_{st}		m_{mt}	
m_t		m_{st}	
m_t		m_t	
m_{mt}		m_{mt}	
m_{st}		m_{st}	

Oznaczenia granicy płynności		
w_L		
masa [g]	w [%]	liczba uderzeń
m_t		
m_{mt}		
m_{st}		
m_t		
m_{mt}		
m_{st}		
m_t		
m_{mt}		
m_{st}		
m_t		
m_{mt}		
m_{st}		
m_t		
m_{mt}		
m_{st}		
m_t		
m_{mt}		
m_{st}		



Uwaga:

Skalę pionową wykresu dobrać w zależności od wyników doświadczenia.



ZESTAWIENIE WYNIKÓW:

wilgotność naturalna	w_n	
granica plastyczności	w_p	
granica płynności	w_L	
wskaźnik plastyczności	$I_p = w_L - w_p$	
stopień plastyczności	$I_L = \frac{w_n - w_p}{w_L - w_p}$	
stopień konsystencji	$I_K = 1 - I_L$	

Stan gruntu wg tab. 9

Spoistość gruntu wg rys. 1

OPRACOWANIE ĆWICZENIA POWINNO ZAWIERAĆ:

1. Krótki opis przebiegu ćwiczenia.
2. Wykreślenie krzywej uziarnienia gruntu.
3. Obliczenie frakcji zredukowanych i ustalenie rodzaju gruntu.
4. Określenie stopnia różnoziarnistości gruntu.
5. Krótką analizę uzyskanych wyników pod względem przydatności badanego gruntu do celów budowlanych.

PYTANIA KONTROLNE:

1. Podać definicję wskaźnika różnoziarnistości.
2. Podział gruntów w zależności od wskaźnika różnoziarnistości.
3. Podać frakcje gruntu z podaniem wymiarów ziarn i cząstek.
4. Jakie inne badania przeprowadza się w celu dokładnego określenia rodzaju gruntu?
5. Jakie próbki gruntu pobiera się do analizy sitowej (średnica ziarn i masa próbki)?
6. Narysować przykładowy wykres uziarnienia gruntu z dokładnym opisem osi.
7. Na czym polega analiza areometryczna?
8. Podział gruntów nieskalistych mineralnych ze względu na uziarnienie.
9. Wymienić znane nazwy gruntów niespoistych (sypkich) z podaniem symboli.

OPRACOWANIE ĆWICZENIA POWINNO ZAWIERAĆ:

1. Krótki opis przebiegu ćwiczenia.
2. Obliczenie wskaźników porowatości: e , e_{\min} i e_{\max} przyjmując $\rho_s = 2.65 \text{ g/cm}^3$ oraz $w = 0\%$ (w tabeli).
3. Obliczenie stopnia zagęszczenia i ustalenie stanu gruntu (w tabeli).
4. Krótką analizę uzyskanych wyników.

PYTANIA KONTROLNE:

1. Podać definicję stopnia zagęszczenia I_D .
2. Zdefiniować wskaźnik porowatości maksymalnej i minimalnej.
3. Jaka próbka gruntu stosuje się w badaniach stopnia zagęszczenia gruntu?
4. Wymienić stany gruntów niespoistych w zależności od stopnia zagęszczenia I_D .

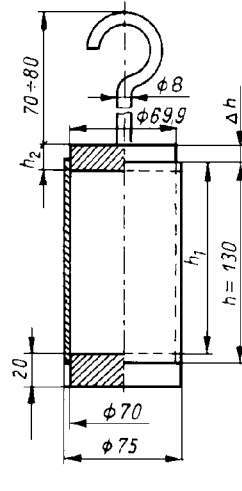
ĆWICZENIE NR

BADANIE STOPNIA ZAGĘSZCZENIA [23]

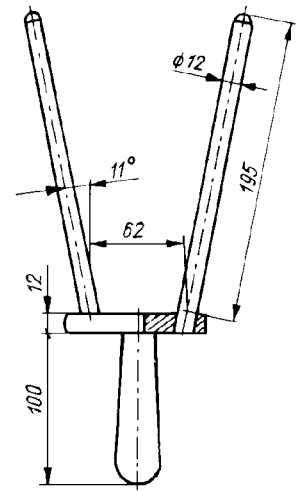
Określenie: stopień zagęszczenia gruntów sypkich jest to stosunek zagęszczenia istniejącego w naturze do największego możliwego do uzyskania zagęszczenia sztucznego danego gruntu.

- Przyrządy:**
- cylinder z tłokiem,
 - lejek,
 - widełki wibracyjne lub wibrator,
 - waga o dokładności 0.1 g,
 - suwmiarka o dokładności 0.1 mm.

	wymiary	
	wysokość h [cm]	średnica d [cm]
pierścień		
cylinder		
tłok		



rys. a



rys. b

Wyniki badań:

Standardowe wymiary cylindra i widełek wibracyjnych.

zagłębienie tłoka w trzech punktach na obwodzie [mm]	po kolejnym zagęszczeniu co 30s											
	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b	5a	5b	6a	6b
1												
2												
3												
wartość średnia Δh [mm]												

wskaźnik porowatości naturalnej (e_n)	wskaźnik porowatości przy najluźniejszym ułożeniu ziaren (e_{max})		wskaźnik porowatości przy najgęstszym ułożeniu ziaren (e_{min})				
	A	B	A	B			
masa pierścienia z gruntem (m_{mt}) [g]			masa cylindra (m_t) [g]		masa cylindra (m_t) [g]		
masa pierścienia (m_t) [g]			objętość cylindra (V) [cm ³]		objętość gruntu w cylindrze ($V - \Delta V$) [cm ³]		
masa gruntu $m_m = m_{mt} - m_t$ [g]			masa cylindra z gruntem suchym (m_{st}) [g]		masa cylindra z gruntem suchym (m_{st}) [g]		
objętość pierścienia (V) [cm ³]			masa szkieletu gruntowego ($m_s = m_{st} - m_t$) [g]		masa szkieletu gr. ($m_s = m_{st} - m_t$) [g]		
gęstość objętościowa $\rho = \frac{m_m}{V}$ [g/cm ³]			gęstość obj. szkieletu gr. $\rho_{dmin} = \frac{m_s}{V}$ [g/cm ³]		gęstość obj. szkieletu gr. $\rho_{dmax} = \frac{m_s}{V - \Delta V}$ [g/cm ³]		
gęstość objętościowa szkieletu gruntowego $\rho_d = \frac{\rho}{1 + w}$ [g/cm ³]			wskaźnik porowatości $e_{max} = \frac{\rho_s - \rho_{dmin}}{\rho_{dmin}}$		wskaźnik porowatości $e_{min} = \frac{\rho_s - \rho_{dmax}}{\rho_{dmax}}$		
wskaźnik porowatości naturalnej $e_n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}$			stopień zagęszczenia $I_D = \frac{e_{max} - e_n}{e_{max} - e_{min}} =$				
			stan gruntu (wg rys. 1, str. 7)				

OPRACOWANIE ĆWICZENIA POWINNO ZAWIERAĆ:

1. Opis badania.
2. Obliczenie współczynnika filtracji k_f i k .
3. Ustalenie rodzaju gruntu na podstawie pomierzonego współczynnika filtracji.
4. Krótką analizę uzyskanych wyników.

PYTANIA KONTROLNE:

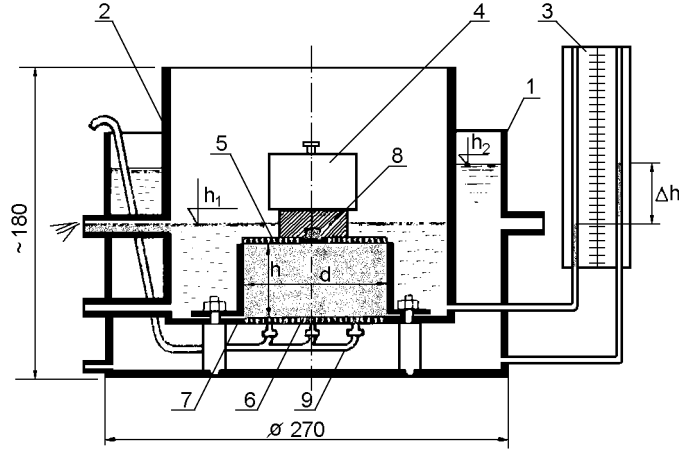
1. Podać definicję współczynnika filtracji gruntu.
2. Podać definicję podstawowego prawa opisującego przepływ wody w gruncie.
3. Od jakich czynników zależy wartość współczynnika filtracji?
4. Jaki rodzaj próbki gruntu stosuje się w badaniach współczynnika filtracji?
5. Podać zastosowania współczynnika filtracji w obliczeniach z dziedziny mechaniki gruntów i fundamentowania.
6. Jakie negatywne zjawiska w gruncie są wynikiem wysokich wartości współczynnika filtracji?
7. Jak wpływa niska wartość współczynnika filtracji na badania ścinania i ściśliwości gruntu?

ĆWICZENIE NR

BADANIE WSPÓŁCZYNNIKA FILTRACJI [19]

Określenie: współczynnik filtracji k jest to prędkość filtracji wody w gruncie przy gradiencie hydraulicznym $i=1$ i temperaturze $t = 10^{\circ}\text{C}$.

Aparatura i przyrządy: • Aparat ITB ZWK-2 (rys), • Odpowietrzacz, • Stoper, termometr, menzurka.

**Aparat ITB ZWK-2:**

1. cylinder zewnętrzny,
2. cylinder wewnętrzny,
3. podziałka pomiarowa,
4. obciążnik o masie $m = 10 \text{ kg}$ lub 12.5 kg ,
5. filtr górny,
6. filtr dolny,
7. pierścień,
8. nadstawka,
9. końcówka odpowietrzająca,
10. próbka o wymiarach:*

$h = 6 \text{ cm}$ i $d = 8 \text{ cm}$ dla obciążnika o masie $m = 10 \text{ kg}$,

$h = 6 \text{ cm}$ i $d = 11.6 \text{ cm}$ dla obciążnika o masie $m = 12.5 \text{ kg}$.

kierunek przepływu: przepływ z góry/z dołu*

Wyniki badań:

L.p.	napężenie	wysokość próbki	średnica pierścienia	powierzchnia przepływu	czas przepływu	wydatek wody	temp. wody	spad	gradient hydrauliczny	współczynnik filtracji	
	σ	h	d	A	T	Q	t	Δh	$i = \frac{\Delta h}{h}$	$k_t = \frac{Q}{ATi}$	$k = \frac{k_t}{0.7 + 0.03t}$
	[kPa]	[cm]	[cm]	[cm ²]	[s]	[cm ³]	[°C]	[cm]	[-]	[cm/s]	[cm/s]
1					30						
2					60						
3					120						
4					180						
uśredniona wartość współczynnika filtracji k_t, k											

* niepotrzebne skreślić

Rodzaj gruntu:

OPRACOWANIE ĆWICZENIA POWINNO ZAWIERAĆ:

1. Krótki opis ćwiczenia.
2. Wykres, wyznaczenie w'_{opt} i ρ'_{ds} .
3. Obliczenie w_{opt} , ρ_{ds} i I_s (ρ_d przyjąć z ćwiczenia, str. 17).
4. Opis przypadków zastosowania wyników badań w_{opt} w praktyce inżynierskiej.
5. Krótką analizę uzyskanych wyników.

PYTANIA KONTROLNE:

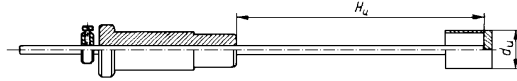
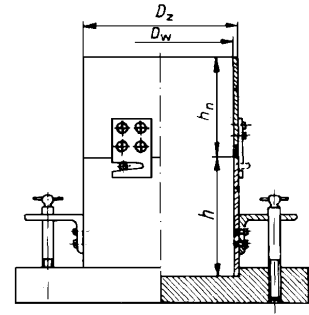
1. Podać definicję wilgotności optymalnej.
2. Podać interpretację graficzną wilgotności optymalnej.
3. Co to jest gęstość objętościowa szkieletu gruntowego?
4. Wymienić metody oznaczania wilgotności optymalnej.
5. Co to jest wskaźnik zagęszczenia gruntu?
6. Podać zastosowania wyników badań wilgotności optymalnej w praktyce inżynierskiej.
7. Jaki rodzaj próbki gruntu stosuje się w badaniach wilgotności optymalnej?

BADANIE WILGOTNOŚCI OPTYMALNEJ I MAKSYMALNEJ GĘSTOŚCI OBJĘTOŚCIOWEJ SZKIELETU GRUNTOWEGO [23]

Określenia: wilgotność optymalna gruntu jest to wilgotność, przy której grunt ubijany w sposób znormalizowany uzyskuje maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego. Wilgotność optymalną oznacza się symbolem w_{opt} , mianem są procenty ciężarowe.

Maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego oznacza się symbolem ρ_{ds} , a jej miano to g/cm^3 .

- Przyrządy:**
- cylindry o objętości 1 dm³ lub 2.2 dm³,
 - ubijak o masie 2.5 kg lub 4.5 kg,
 - sito o wymiarach oczek 6 mm lub 10 mm,
 - waga o dokładności 0.1 g,
 - przybory do oznaczania wilgotności,
 - liniał stalowy o długości 25÷30 cm.



Wyniki badań:

numer oznaczenia	masa parowniczeki (m _t) [g]	masa parowniczeki z gruntem suchym (m _{st}) [g]	masa parowniczeki z gruntem wilgotnym (m _{mt}) [g]	wilgotność $w = (m_w/m_s) \cdot 100[\%]$	masa cylindra (m _t) [g]		objętość cylindra (V _p) [cm ³]	
					masa cylindra z gruntem wilgotnym (m _{mt}) [g]	masa gruntu wilgotnego (m _g = m _{mt} - m _t) [g]	gęstość obj. gruntu ($\rho = m_g/V_p$) [g/cm ³]	gęstość objętościowa szkieletu gruntowego $\rho_d = \rho/(1+w)$ [g/cm ³]
1								
2								
3								
4								
5								
6								

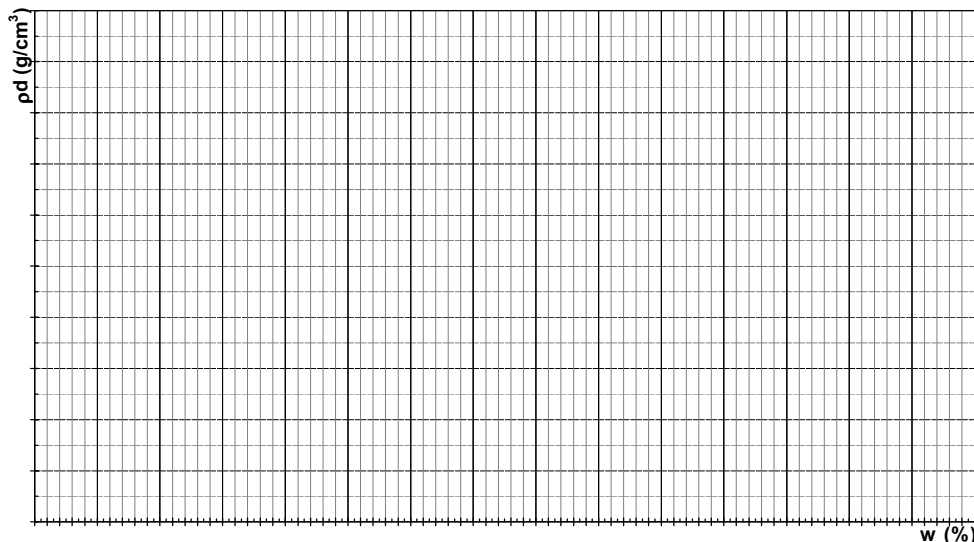
Wyniki oznaczenia:

$w'_{opt} = \dots\dots\dots\%$
$\rho'_{ds} = \dots\dots\dots g/cm^3$
$x = \dots\dots\dots$
wilgotność optymalna
$w_{opt} = (1-x)w'_{opt} = \dots\dots\dots\%$
maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego
$\rho_{ds} = \frac{\rho_s \rho'_{ds}}{\rho_s - x(\rho_s - \rho'_{ds})} =$
$\dots\dots\dots [g/cm^3]$
wskaźnik zagęszczenia
$I_s = \frac{\rho_d}{\rho_{ds}} =$

Uwaga:

Skalę pionową i poziomą na wykresie należy dobrać w zależności od wyników doświadczenia

ρ_d należy obliczyć na podstawie wyników badań ze str. 17



OPRACOWANIE ĆWICZENIA POWINNO ZAWIERAĆ:

1. Krótki opis ćwiczenia.
2. Wykres zależności τ_f od σ .
3. Obliczenie Φ_u , c_u i $s_{\tau f}$ według wzorów normowych.
4. Opis zalet i wad aparatu skrzynkowego.
5. Krótką analizę uzyskanych wyników.

PYTANIA KONTROLNE:

1. Podstawowe prawo wytrzymałości gruntów. Podać interpretację graficzną tego prawa dla gruntów spoistych i niespoistych.
2. Podać sposoby badań kąta tarcia wewnętrznego i spójności oraz podstawowe różnice między tymi badaniami.
3. Narysować naprężenia działające na próbkę w aparacie skrzynkowym.
4. Wymienić zastosowania parametrów Φ_u i c_u w obliczeniach z dziedziny mechaniki gruntów i fundamentowania.
5. Jaki rodzaj próbki gruntu stosuje się w badaniach Φ_u i c_u ?
6. Wymienić wady i zalety aparatu skrzynkowego.

BADANIE KĄTA TARCIA WEWNĘTRZNEGO I SPÓJNOŚCI W APARACIE SKRZYNKOWYM [23]

Określenia:

- kąt tarcia wewnętrznego: $\phi_{us} = \arctg \frac{N \sum \tau_f \sigma - \sum \tau_f \sum \sigma}{N \sum \sigma^2 - (\sum \sigma)^2}$

- spójność: $c_{us} = \frac{\sum \tau_f \sum \sigma^2 - \sum \sigma \sum \tau_f \sigma}{N \sum \sigma^2 - (\sum \sigma)^2}$

gdzie:

τ_f - wytrzymałość próbki na ścinanie [kPa],

σ - naprężenie normalne [kPa],

N - liczba próbek

- średnie odchylenie kwadratowe wytrzymałości na ścinanie:

$$s_{\tau f} = \sqrt{\frac{\sum (\tau_f - \tau'_f)^2}{N}}$$

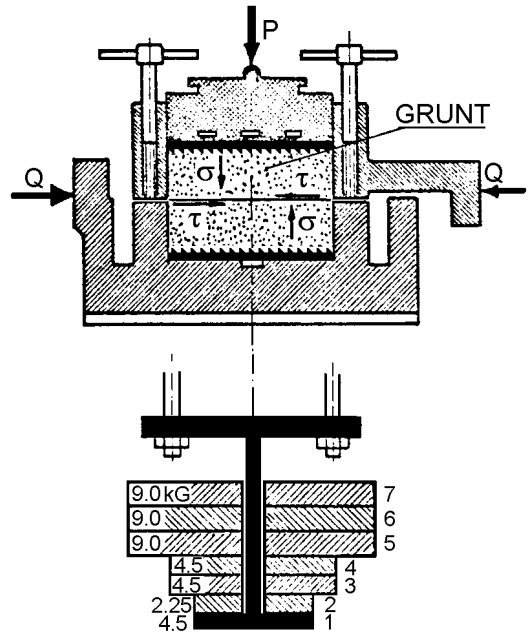
$$\tau'_f = \sigma \text{tg} \phi_u + c_u$$

$$\tau_f = \frac{Q_{\max}}{F}$$

gdzie:

Q_{\max} - największa wartość siły ścinającej [kN],

F - powierzchnia próbki [m²]



cechowanie dynamometru
.....

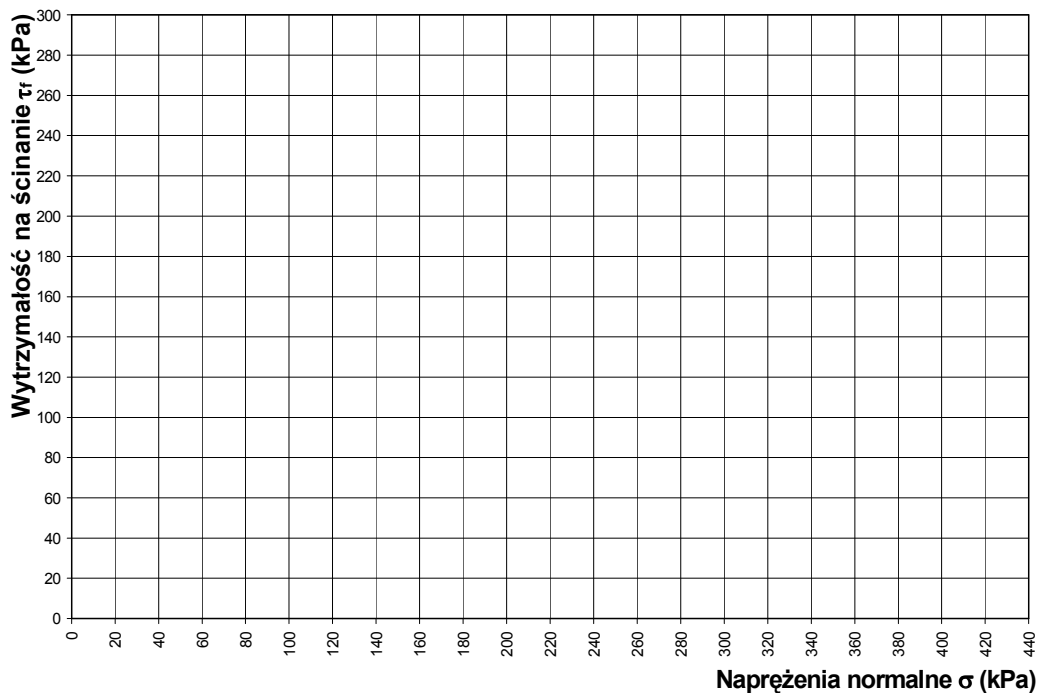
Wyniki badań:

nr obciążenia		1	2	3	4	5	6	7
P	kG	4.5	13.5	31.5	49.5	85.5	121.5	157.5
σ	kG/cm ²	0.125	0.375	0.875	1.375	2.375	3.375	4.375
	kPa	12.26	36.77	85.81	134.84	232.9	330.97	429.04
odczyt na czujniku	mm							
τ _f	kG/cm ²							
	kPa							

Rodzaj gruntu :

$\Phi_{us} =$

$c_{us} =$



Naprężenia normalne σ (kPa)

OPRACOWANIE ĆWICZENIA POWINNO ZAWIERAĆ:

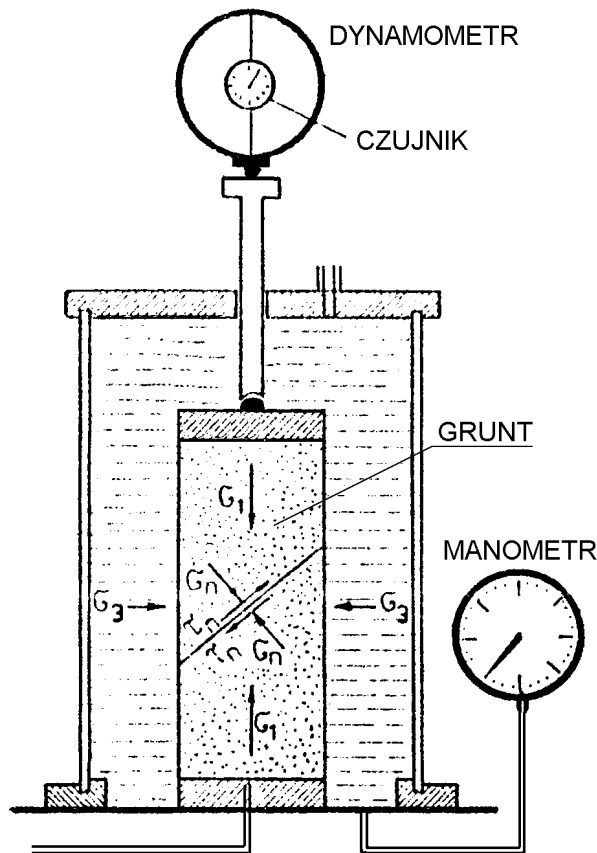
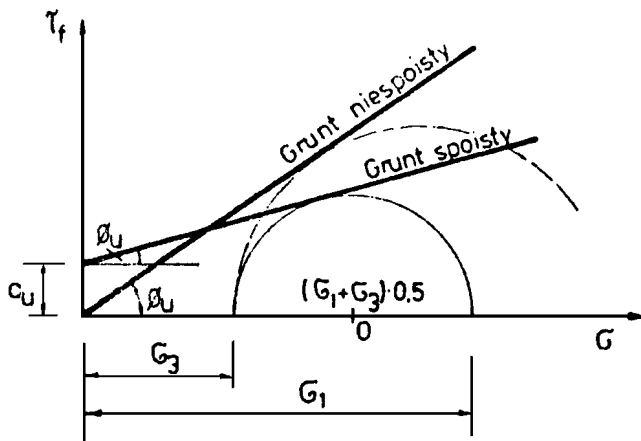
1. Krótki opis ćwiczenia.
2. Konstrukcję koła Mohra oraz odczytanie z wykresu wartości Φ_u i c_u .
3. Opis zalet i wad aparatu trójosiowego ściskania.
4. Krótką analizę uzyskanych wyników.
5. Porównanie wyników uzyskanych w aparacie trójosiowego ściskania i w aparacie skrzynkowym

PYTANIA KONTROLNE:

1. Omówić budowę aparatu trójosiowego ściskania.
2. Omówić istotę badań w aparacie trójosiowego ściskania z konsolidacją i bez konsolidacji próbki.
3. Narysować naprężenia działające na próbkę w aparacie trójosiowego ściskania.
4. Narysować naprężenia działające w płaszczyźnie ścięcia w/w próbki.
5. Wymienić wady i zalety aparatu trójosiowego ściskania.
6. Czy oprócz aparatu skrzynkowego i trójosiowego ściskania stosuje się inne aparaty do badania wytrzymałości gruntów na ścinanie.

**BADANIE KĄTA TARCIA WEWNĘTRZNEGO I SPÓJNOŚCI
W APARacie TRÓJOSIOWEGO ŚCISKANIA**

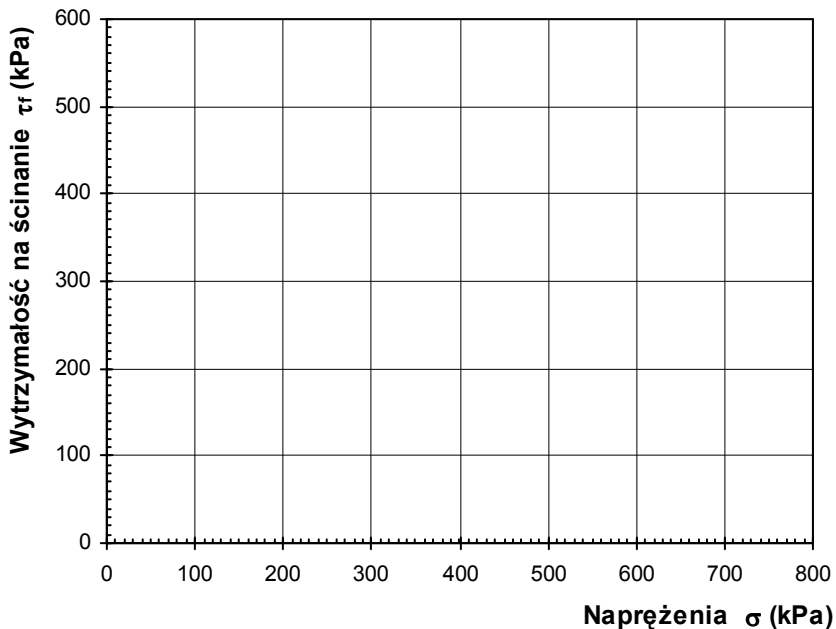
cechowanie dynamometru
 $\sigma_1 = \sigma_3 + 4,2 \times s$



Wyniki badań:

σ_3	kG/cm ²	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
	kPa	98.06	147.1	196.13	245.16	294.2
odczyt na czujniku	mm					
σ_1	kPa					
$0.5(\sigma_1 + \sigma_3)$	kPa					
$0.5(\sigma_1 - \sigma_3)$	kPa					

Rodzaj gruntu
.....
 $\Phi_u =$
 $c_u =$



OPRACOWANIE ĆWICZENIA POWINNO ZAWIERAĆ:

1. Krótki opis ćwiczenia.
2. Wykres ścisłości gruntu.
3. Wyznaczenie edometrycznych modułów ścisłości M_0 i M dla $\Delta\sigma = 49.03 \div 196.13$ kPa (w tabeli, str. 34).
4. Obliczenie modułów odkształcenia E_0 i E oraz modułu podatności E_s (w tabeli str. 34).
5. Krótką analizę uzyskanych wyników i analiza przydatności badanego gruntu do celów budowlanych.

PYTANIA KONTROLNE:

1. Podać definicję ścisłości gruntu i czynniki wpływające na ścisłość gruntu.
2. Narysować wykres ścisłości gruntu i wymienić krzywe ścisłości.
3. Wymienić rodzaje modułów gruntu i podać związki między nimi.
4. Podać definicję edometrycznych modułów ścisłości gruntu i sposób ich określania na podstawie wykresu ścisłości.
5. Wymienić zastosowania modułów gruntu w obliczeniach z dziedziny mechaniki gruntów i fundamentowania.
6. Do czego służą krzywe konsolidacji?
7. Jaki rodzaj próbki gruntu stosuje się w badaniach ścisłości gruntu?

ĆWICZENIE NR

Sprawdził: dnia:

BADANIE ŚCIŚLIWOŚCI GRUNTU [23]**Określenie:** ścisłość gruntu jest to zdolność gruntu do odkształcenia pod wpływem przyłożonego obciążenia.

$$M_0 = \frac{\Delta\sigma}{\varepsilon} \chi$$

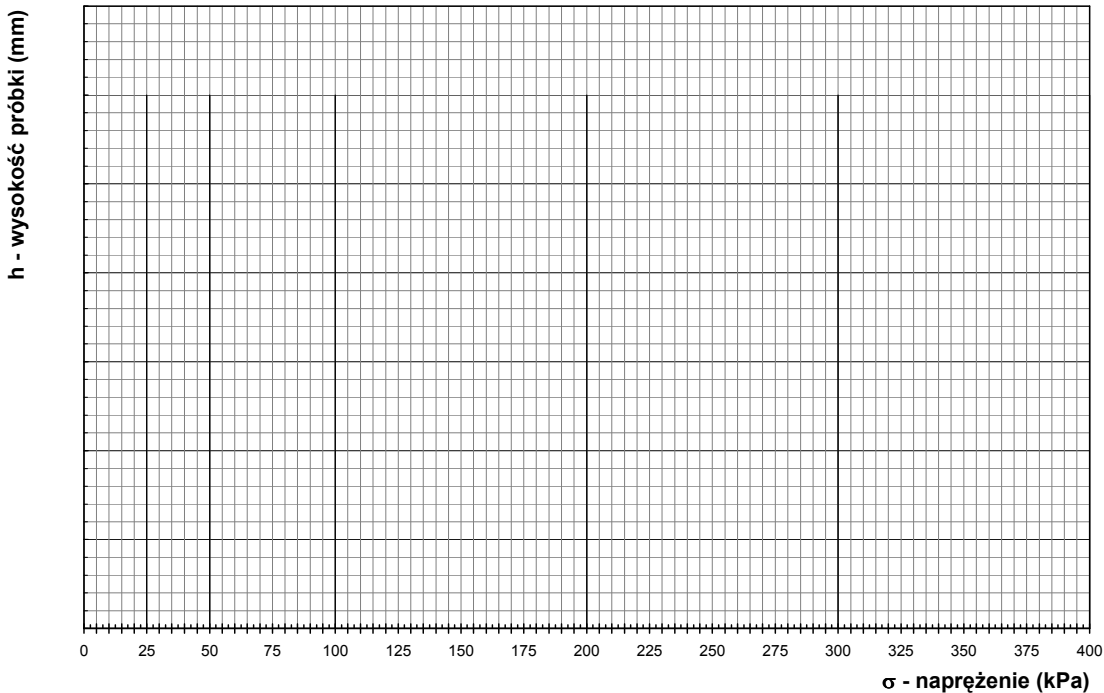
gdzie:

 $\Delta\sigma$ - przyrost obciążenia jednostkowego próbki $\Delta\sigma = \sigma_i - \sigma_{i-1}$; ε - odkształcenie jednostkowe próbki $\varepsilon = \frac{h_{i-1} - h_i}{h_{i-1}}$; χ - współczynnik poprawkowy (rys. 10).**Wyniki badań:**wysokość początkowa próbki $h_0 = \dots\dots\dots$ odczyt początkowy czujników: cz.1 = cz.2 =

σ		30''		1'		2'		4'		8'		h = $h_0 - \Delta h$
kg/cm ²	kPa	cz.1 cz.2	Δh	cz.1 cz.2	Δh	cz.1 cz.2	Δh	cz.1 cz.2	Δh	cz.1 cz.2	Δh	
0.25	24.52											
0.50	49.03											
1.00	98.06											
2.00	196.13											
4.00	392.27											

odciążenie (odczyt co 60'')					powtórne obciążenie (odczyt co 60'')				
σ	kg/cm ²	2.00	1.00	0.50	0.25	0.50	1.00	2.00	4.00
	kPa	196.13	98.06	49.03	24.52	49.03	98.06	196.13	392.27
cz.1	h								
cz.2									

Uwaga: Skalę pionową wykresu dobrać w zależności od wyników doświadczenia.



Wilgotność gruntu przed badaniem:

$$w = \frac{m_{mt} - m_{st}}{m_{st} - m_t} 100 =$$

.....

Wilgotność gruntu po badaniu:

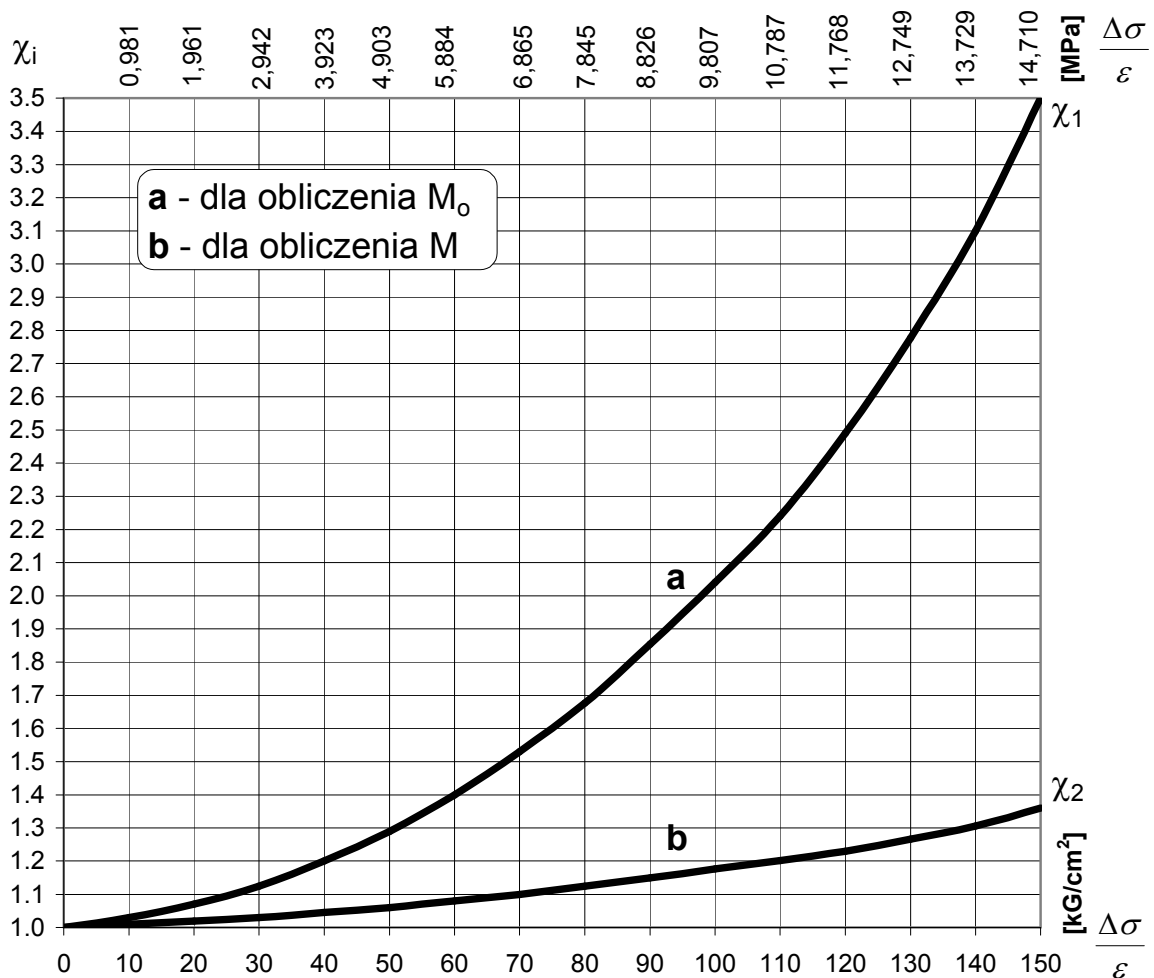
$$w = \frac{m_{mt} - m_{st}}{m_{st} - m_t} 100 =$$

.....

Rodzaj gruntu:

Barwa:

Oznaczenia	Wzór	Jednostki	Obliczenia
Edometryczny moduł ścisłości pierwotnej	$M_0 = \frac{\Delta\sigma}{\varepsilon} \chi_1$	MPa	
Edometryczny moduł ścisłości wtórnej	$M = \frac{\Delta\sigma'}{\varepsilon'} \chi_2$	MPa	
Wskaźnik skonsolidowania gruntu	$\beta = \frac{M_0}{M}$	—	
Współczynnik przeliczeniowy (rys. 7 i 8)	$\delta = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)}$	—	
Moduł pierwotnego odkształcenia	$E_0 = \delta M_0$	MPa	
Moduł wtórnego odkształcenia	$E = \delta M$	MPa	
Moduł podatności	$E_s = \frac{E_0}{1-\nu^2}$	MPa	

Rys. 10. Współczynnik poprawkowy χ .

