

ROZDZIAŁ I

CHARAKTERYSTYKA GRUNTÓW I ICH WŁAŚCIWOŚCI

1. Podział gruntów na kategorie

Roboty ziemne wykonywane są w gruntach różnych, mających różne właściwości, z którymi trzeba się liczyć przy ich wykonywaniu.

Podział gruntów na kategorie może być zrobiony pod różnymi kątami widzenia: pod kątem składu chemicznego, pochodzenia geologicznego, właściwości fizycznych lub mechanicznych, urodzajności itp.

Podział, jaki tu zrobimy, ma przede wszystkim na widoku właściwości fizyczno-mechaniczne, które mają największe znaczenie przy wykonywaniu i utrzymaniu robót ziemnych; natomiast inne właściwości gruntów mają dla budowl i inżynierskich stosunkowo mniejsze znaczenie, jak np. skład chemiczny, urodzajność itp. Np. urodzajność gruntu ma znaczenie pod względem możliwości zabezpieczenia pochyłych powierzchni budowl i ziemnych (skarp) przy pomocy pokrycia roślinnością; skład chemiczny może mieć wpływ w pewnych wypadkach na trwałość budowl i, gdy skład ten jest np. wrażliwy na działanie wody.

Właściwości fizyczno-mechaniczne gruntów, zależne przede wszystkim, ale nie wyłącznie, od uziarnienia (składu granulometrycznego) gruntów, mają poważny wpływ na sposób wykonywania robót ziemnych i na oddziaływanie czynników destrukcyjnych.

Podział gruntów, oparty na właściwościach fizycznych i mechanicznych pod kątem wykonywania i konserwowania bu-

dowli ziemnych, może być zrobiony na następujące cztery charakterystyczne kategorie:

1. Skały i grunty kamieniste.
2. Piaski i grunty piaszczyste.
3. Gliny i grunty gliniasto-pyłowe.
4. Grunty próchnicowe.

Zauważyć należy, że wierzchnia warstwa gruntu, tj. tak zwana gleba, pod wpływem różnych czynników, jak słońca, powietrza, wód atmosferycznych, zmian temperatury oraz czynników biologicznych (np. wegetacji roślinnej) itp., różni się nie raz znacznie od podglebia, tj. warstw głębszych. Nad różnicami tymi zatrzymywać się nie będziemy, gdyż nie mają one większego znaczenia przy wykonywaniu robót ziemnych przede wszystkim z tego względu, że grubość gleby w stosunku do grubości pokładów gruntów, które są używane do robót ziemnych, jest nieznaczna; nie może przeto gleba mieć poważniejszego wpływu przy wykonywaniu robót ze względu na inne swoje właściwości, niż grunt macierzysty.

Charakterystyka poszczególnych kategorii gruntów, pod kątem widzenia wykonywania robót ziemnych, przedstawia się w sposób następujący:

1. *Skały i grunty kamieniste.* Do tej kategorii zaliczamy skały wszelkiego rodzaju i pochodzenia w monolitach i złożach oraz grunty składające się z okruchów ciał macierzystych (okruchowce, otoczaki, kamienie narzutowe), powstałych drogą naturalną wskutek działania czynników przeważnie fizycznych; niekiedy powstać mogą takie grunty drogą sztuczną przez pokruszenie skały macierzystej przez człowieka. Z punktu widzenia właściwości, mających znaczenie przy wykonywaniu robót ziemnych, przede wszystkim zwrócić należy uwagę na mniejszą lub większą zwięzłość pomiędzy cząsteczkami skał, wskutek której oddzielenie jednych cząsteczek od drugich wymaga mniejszego lub większego wysiłku; ta zwięzłość między cząsteczkami jest również przyczyną, że skały mają pewną wytrzymałość na ściskanie oraz wytrzymałość na uderzenia.

Wytrzymałość na ściskanie waha się w znacznych granicach. Gdy niektóre skały (pochodzenia wulkanicznego) mają wytrzymałość na ściskanie do 4000 kg/cm^2 , inne skały odzna-

czają się małą wytrzymałością na ściskanie — zaledwie kilkunastu lub kilkudziesięciu kg/cm^2 .

Również zwięźłość, tj. wytrzymałość na uderzenie, waha się w bardzo znacznych granicach: są skały bardzo zwięzłe, jak droбноziarniste granity, bazalty, niektóre skały wapienne lub piaskowce; są również skały bardzo niewytrzymałe na uderzenia czyli kruche: zależne to jest od większego lub mniejszego stopnia zwięźłości między cząsteczkami skały.

Nie zawsze duża wytrzymałość na ściskanie idzie w parze z dużą wytrzymałością na uderzenia.

Pod względem struktury skały można podzielić na dwie kategorie:

a) Skały pokładowe, mające mniej lub więcej wyraźne płaszczyzny podziału, według których skały te pękają pod wpływem takich czynników, jak wody, mrozu, różnych procesów geologicznych lub czynników mechanicznych, jak uderzenia; do skał takich zaliczyć można prawie wszystkie skały osadowe: wapienie, piaskowce, łupki; do tej kategorii należy też wiele skał pochodzenia wulkanicznego, jak np. granity, diabazy, andezyty, bazalty i inne; bazalty zwykle znajdujemy w postaci wyraźnie wykształconych słupów, łatwo oddzielających się jedne od drugich.

Właściwości skał pokładowych pękania wzdłuż płaszczyzn podziału są nader ważne przy dozywaniu skał.

b) Skały bryłowate — mają płaszczyzny podziału albo słabo zaznaczone lub też zgoła ich nie mają i mają tendencje pękania w kierunkach dowolnych; do kategorii tej można zaliczyć niektóre granity, porfiry, dioryty itp. Dobywanie takich skał często bywa utrudnione z powodu braku płaszczyzn podziału.

W zależności od wskazanych właściwości skał pod wpływem różnych czynników: wody, zmian temperatury, działań górotwórczych itd. następuje naturalne kruszenie się skał; skały pokładowe pękają podług płaszczyzn podziału; skały bryłowate — w kierunkach dowolnych, mniej lub więcej przypadkowych: powstają okrucowce, które niekiedy stanowią całe pokłady; charakterystyczną ich cechą jest forma kanciasta, bez zaokrąglenia krawędzi. Zbocza gór świętokrzyskich w wielu miejscach składają się z takich okrucowców — niewielkich

odłamków piaskowca kwarcytowego; w tej postaci skały jej dobywanie jest bardzo ułatwione. Pokłady diabazu z Niedźwiedziej Góry pod Krzeszowicami (woj. Krakowskie) w pewnej części składają się również z okruchowców.

Gdy okruchowce z miejsca utworzenia ich z macierzystej skały są przeniesione bądź przez lodowce, bądź przez potoki, przez obtarcie ostrych krawędzi tracą swoją formę kanciastą i nabierają formy zaokrąglonej. W takiej postaci okruchowce nazywają się otoczakami. Wielkość ich jest rozmaita; znajdujemy otoczaki po kilka i kilkanaście m^3 objętości (głazy narzutowe).

W nomenklaturze i normalizacji, przyjętych przez Drogowy Instytut Badawczy Polit. Warsz. pod nazwą otoczaków rozumieć będziemy otoczaki mające powyżej 80 mm w średnicy.

Otoczakami drobnymi nazywać będziemy otoczaki mające w średnicy od 50 do 80 mm.

Otoczaki o wymiarach mniejszych niż 50 mm w średnicy nazywać będziemy żwirem.

Żwir gruby ma ziarna o średnicy	25—50 mm
---------------------------------	----------

Żwir średni	" "	16—25 mm
-------------	-----	----------

Żwir drobny	" "	5—16 mm
-------------	-----	---------

Żwirek (piasek żwirkowaty)	" "	2—5 mm
----------------------------	-----	--------

Ziarna drobniejsze, o średnicy mniejszej niż 2 mm, tworzą grunty nazywane piaskami.

2. *Piaski i grunty piaszczyste.* Ta kategoria gruntów na ziemiach polskich bardzo często się spotyka. Według prof. Sł. Miklaszewskiego trzecia część powierzchni Polski zawiera piaski i grunty piaszczyste.

Piaskami nazywamy grunty składające się z ziaren stanowiących pokruszony i rozdrobniony materiał skalny o średnicy ziaren od 2 mm do 0,25 mm. Przeważnie są to ziarna kwarcu; spotykają się również ziarna innych minerałów, jak miki, szpatu polnego itp.; rzadko spotykają się piaski wapienne, dolomitowe itp.

Piaski, posiadające mniej więcej jednolity skład ziaren, dzielą się:

a) na piasek gruby	1—2 mm
--------------------	--------

b) na piasek średni	1,0—0,5 mm
---------------------	------------

c) na piasek drobny	0,5—0,25 mm
---------------------	-------------

Rzadko spotykamy piaski czyste bez domieszek ziarn drobniejszych niż 0,25 mm w średnicy oraz o ziarnach jednokowej średnicy.

Zwykle w piaskach mamy ziarna o różnych średnicach. O ile w piaskach domieszki ziarn drobniejszych niż 0,25 mm w średnicy stanowią nie więcej niż 5%, grunty takie mają właściwości piasków czystych i nazywają się piaskami.

O ile domieszki takie stanowią więcej niż 5% objętościowo, grunty takie nazywamy gruntami piaszczystymi; właściwości ich w mniejszym lub większym stopniu różnią się od właściwości piasków czystych — w zależności od ilości tych domieszek i ich rodzaju.

3. *Gliny i grunty gliniasto-pyłowe.* Stanowią one trzecią kategorię gruntów, charakteryzującą się tym, że skład ziaren wyłączny lub przeważający stanowią ziarna drobne o średnicy mniejszej niż 0,25 mm. Właściwości takich gruntów różnią się znacznie od właściwości piasków i gruntów piaszczystych z przewagą ziaren o średnicy większej niż 0,25 mm.

Ziarna gruntów pylasto-gliniastych dzielą się na następujące frakcje:

- a) pył piaszczysty o średnicy ziarna 0,25—0,10 mm
- b) pył gruby " " 0,10—0,05 mm
- c) pył drobny " " 0,05—0,0156 mm

Poza tym rozróżniamy:

- d) substancję pelitową (iłastą) " " 0,0156—0,0023 mm
- e) substancję gliniastą " " 0,0023—0,0001 mm

Obecność i mniejsza lub większa zawartość ziaren poszczególnych frakcyj (a — e) nadaje gruntom te lub inne właściwości.

Niewielkie domieszki ziaren piasku do glin i gruntów gliniasto-pyłowych właściwości tych ostatnich nie zmieniają, większe — redukują je lub zmieniają w mniejszym lub większym stopniu.

Do glin i gruntów gliniasto-pyłowych zalicza się gliny różnego rodzaju, jak gliny czyste (np. kaolinowe), zwykłe (ceglane), marglowe oraz grunty gliniaste — z większą lub mniejszą ilością domieszek piasku; dalej ily i grunty ilowate, wresz-

cie zaliczane są do tej kategorii grunty lössowe, powstałe w drodze erozyjnej w okresie lodowcowym.

4. *Grunty próchnicowe.* Powstają one z resztek przegniłej roślinności i składają się bądź wyłącznie z tych resztek roślinności (np. torf itp.), bądź też składają się z resztek roślinności i gruntu macierzystego (np. czarnoziem).

Torf tworzy się z cząsteczek roślin w wodach stojących lub płynących bardzo powoli; obumierając, rośliny opadają na dno, zwęglają się i powoli zatracają charakterystyczną włóknistość. W młodych torfach duży procent stanowią jeszcze niezupełnie zwęglone włókna roślinne; stare torfy tracą budowę włóknistą; przy prasowaniu i wysuszaniu objętość znacznie się zmniejsza. Czarnoziem tworzy pokłady wierzchnie niezbyt grube; domieszka części organicznych z resztek przegniłych części roślinnych stanowić może 5—10%. Czarnoziemy powstają w miejscowościach równinnych (stepowych) lub też w rozlewiskach rzek i jezior; w zależności od rodzaju gruntu macierzystego czarnoziemy bywają piaszczyste, gliniaste, marglowe, lössowe itp.

Grunty rzadko spotykają się w stanie czystym: np. piaski, bez żadnych domieszek pyłowo-gliniastych lub roślinnych lub grunty gliniasto-pyłowe, bez żadnych domieszek piasku itd. Najczęściej spotykamy grunty przedstawiające mieszaninę poszczególnych kategorii gruntów w najrozmaitszych stosunkach.

Stąd mamy do czynienia z całą masą najrozmaitszych gruntów o bardzo rozmaitych właściwościach.

Dokładne określenie tych właściwości nie jest możliwe bez przeprowadzenia specjalnych badań laboratoryjnych.

W tych wypadkach, kiedy chodzi o określenie przybliżonych właściwości, może wystarczyć pobranie próbek w charakterystycznych miejscach i określenie ich „na oko”.

Do niedawna badania gruntów przy wykonywaniu budowli inżynierskich były prowadzone bardzo powierzchownie i prymitywnie.

Straty materialne, jakie w czasie samego wykonywania robót, bądź w następstwie przy konserwacji budowli, wynikały wskutek lekceważenia sprawy uprzedniego badania gruntów,

zmusiły do zajęcia się sprawą opracowania racjonalnych metod badania właściwości gruntów oraz zwrócenia uwagi na konieczność przeprowadzania badań gruntów, z których lub na których mają być wznoszone budowle inżynierskie.

Od kilkunastu lat pod tym względem widzimy duży postęp.

Sprawą tą zaczęto się zajmować najpierw w Stanach Zjednoczonych A. P. Pierwsze poważniejsze prace w tym zakresie zaczął ogłaszać prof. K. Terzaghi, który po przeprowadzeniu licznych badań stworzył nową teorię mechaniki gruntów na podstawie ich fizycznych właściwości¹⁾.

Bardzo liczne prace z tego zakresu techniki zjawily się w ciągu ostatnich 10 lat w Rosji; pionierem pracy w tym kierunku był prof. P. D. Krynin, obecnie profesor Uniwersytetu w Yale, w Stanach Zjednoczonych A. P.

Wreszcie w ostatnich latach, z powodu wielkich robót przy budowie autostrad w Niemczech, powstaje tam obszerna literatura techniczna, dotycząca badania gruntów.

W rozdziale niniejszym podane zostaną ogólne zarysy wyników z dziedziny badań gruntów, które mogą mieć zastosowanie przy wykonywaniu robót ziemnych.

2. Uziarnienie (granulometryczny skład) gruntów i jego znaczenie dla właściwości gruntów

Liczne badania gruntów dowiodły, że właściwości fizyczne i mechaniczne poszczególnych gruntów, mające pierwszorzędne znaczenie w budownictwie inżynierskim, zależą przede wszystkim od ich uziarnienia (składu granulometrycznego), tj. od wielkości cząsteczek (ziaren) gruntów i procentowej zawartości ziaren różnych wielkości i kształtów w danym gruncie, a następnie od składu mineralogicznego i chemicznego.

Niekiedy już nawet przybliżone określenie składu granulometrycznego daje możność określenia właściwości fizycznych i mechanicznych gruntu.

Tak np., skład granulometryczny gruntu daje możność sądzenia o stopniu jego porowatości, przepuszczalności, włośkowatości, wytrzymałości na ściskanie, zwięzłości.

¹⁾ Dr Ing. K. Terzaghi. *Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage* 1924.

Zwięzłość gruntów gruboziarnistych jest znikomo mała, gdy zwięzłość gruntów drobnoziarnistych może być bardzo znaczna.

Oprócz wielkości ziaren duże znaczenie dla właściwości gruntów ma ich kształt oraz charakter powierzchni. Forma ziaren może być kulista, wielograniasta lub blaszkowata.

Powierzchnia ziaren może być gładka lub szorstka, a krawędzie gładkie lub zazębione — w zależności od warunków tworzenia się gruntów.

Zarówno forma, jak rodzaj powierzchni ziaren gruntu niewątpliwie oddziałują na te lub inne właściwości gruntów; prawa tego oddziaływania na właściwości gruntu dotychczas są mało zbadane i nieustalone.

Klasyfikacja granulometryczna cząsteczek gruntu, przyjęta prowizorycznie przez Drogowy Instytut Badawczy Politechniki Warszawskiej podana jest na tablicy I.

Tablica I

Grupa	Nazwa	Wymiary (średnica lub średnica zastępcza) w mm	U w a g i
I	<i>Substancja gliniasta</i>	0 — 0,005 (0 — 0,0023) ¹⁾	¹⁾ Średnica zastępcza, p. dalej „Metody określania składu granulometrycznego gruntów”.
II	<i>Substancja pelitowa (ilasta)</i>	0,005 — 0,01 (0,0023 — 0,0156) ¹⁾	
III	<i>Substancja pyłowa</i> Pył drobny Pył gruby Pył piaszczysty	0,01 (0,0156) ¹⁾ — 0,05 0,05 — 0,10 0,10 — 0,25	
IV	<i>Piasek</i> Piasek drobny Piasek średni Piasek gruby	0,25 — 0,50 0,5 — 1,0 1,0 — 2,0	
V	<i>Żwiry</i> Piasek żwirkowy Żwir drobny Żwir średni Żwir gruby	2,0 — 5,0 5,0 — 16,0 16,0 — 25,0 25,0 — 50,0	
VI	<i>Otoczaki, kamienie</i>	≥ 50,0	

W Stanach Zjednoczonych A. P. przyjęty został prostszy podział granulometryczny cząsteczek gruntów ¹⁾, a mianowicie:

Grupa piasku	1. Drobnny żwir o średnicy cząsteczek	2,0 — 1,00	mm
	2. Piasek gruboziarnisty	1,0 — 0,50	"
	3. Piasek średnioziarnisty	0,5 — 0,25	"
	4. Piasek drobnoziarnisty	0,25 — 0,10	"
	5. Piasek bardzo drobny	0,10 — 0,05	"
	6. Pył	0,05 — 0,005	"
	7. Gлина.	< 0,005	"

Główne różnice właściwości fizycznych gruntu w zależności od ich wielkości są następujące:

Cząsteczki o średnicy od 0,005 mm do 0 (grupa I, tabl. I) mają dużą plastyczność, tj. rozrobione pewną ilością wody tworzą ciasto plastyczne, mogące utrzymywać w pewnych granicach nadaną mu formę; mają one również zwięzłość czy lepkość, tj. własność jakby przywierania do siebie lub do innych ciał.

Cząsteczki od 0,005 do 0,25 mm (grupa II i III, tabl. I) posiadają dużą przepuszczalność, włoskowatość, właściwość rozrzedzania się przy nasiąknięciu wodą itp.; przy tym grupa II ma zdolność koagulowania w wodzie w pewnych warunkach, tj. tworzenia niewielkich skupień cząsteczek, gdy grupa III własności tej nie posiada.

Grupa IV łatwo przepuszcza wodę, ma małą włoskowatość i tylko przy dużej ilości wody przechodzi w stan rozrzedzony.

Grupa V i VI włoskowatości nie posiada zupełnie.

Ponieważ grunty znajdujemy, jako mieszaninę cząsteczek (ziaren) o różnych wymiarach, w zależności od procentowej zawartości ziaren różnych wielkości, będą różnić się właściwości gruntów. Istnieją różne klasyfikacje gruntów w zależności od ich składu granulometrycznego.

Za podstawę klasyfikacji w ostatnich czasach zaczęto przyjmować procentową zawartość ²⁾:

- a) Substancji gliniastej o średnicy mniejszej niż 0,005 mm,
- b) Pyłu i substancji pelitowej o średnicy
ziaren 0,25—0,005 mm,
- c) Piasku 0,25—2,0 mm.

¹⁾ Prof. D. P. Krynin. Fizyczne i mechaniczne własności gruntów w technice drogowej. Warszawa 1934.

²⁾ Prof. W. W. Ochotin.

Na tablicy II przytoczona jest klasyfikacja gruntów według Prof. W. W. Ochotina, która zgadza się z klasyfikacją cząsteczek gruntów przytoczoną w tabl. I.

Tablica II

Granulometryczna klasyfikacja gruntów według Prof. W. W. Ochotina.

Nr	Nazwa gruntu	Procentowa zawartość ziaren		
		I gr. Gliniastych 0,005 mm	II i III gr. Pyłowych i pELITOWYCH 0,005—0,25	IV gr. Piaski 0,25—2,0 mm
1.	Ciężka glina	> 60	—	—
2.	Glina	60—30	—	więcej niż gr. II i III
3.	Gliniasto-pyłowy	30—20	więcej niż gr. I	—
4.	Gliniasto-piaszczysty	30—20	—	więcej niż gr. II i III
5.	Gliniasto-pyłowy ciężki	30—20	więcej niż gr. IV	—
6.	Gliniasto-piaszczysty średni	20—15	—	więcej niż gr. II i III
7.	Gliniasto-pyłowy średni	20—15	więcej niż gr. IV	—
8.	Gliniasto-piaszczysty lekki	15—10	—	więcej niż gr. II i III
9.	Gliniasto-pyłowy lekki	15—10	więcej niż gr. IV	—
10.	Piaszczysto-gliniasty ciężki	10—6	—	więcej niż gr. II i III
11.	Piaszczysto-pyłowy ciężki	10—6	więcej niż gr. IV	—
12.	Piaszczysty lekki	6—3	—	więcej niż gr. II i III
13.	Piaszczysto-pyłowy	6—3	więcej niż gr. IV	—
14.	Piasek	3	—	więcej niż gr. II i III
15.	Piasek pyłowaty	3	więcej niż gr. IV	—

Uwaga. Jeżeli w gruncie większość cząsteczek pyłu należy do frakcji 0,01 — 0,005 mm — grunt nazywany będzie ilitym; jeżeli w gruncie większość cząsteczek pyłu należy do frakcji 0,25 — 0,01 mm — grunt nazywa się pyłowym.

Podział gruntów podany w tablicy II jest jednym z licznych podziałów, zaproponowanych przez różnych badaczy. Przytoczony jest tu dlatego, że jest więcej szczegółowy niż inne i daje możliwość uchwycenia różnych odcieni gruntów na podstawie składu granulometrycznego.

3. Metody określania uziarnienia (składu granulometrycznego) gruntów

Gdy próbka lub próbki gruntów zostały pobrane w sposób dający gwarancję, że przedstawiają próbki charakterysty-

czne¹⁾, określenie składu granulometrycznego może być dokonane przy pomocy metod, które w ogólnych zarysach podane są niżej; szczegółowe opisy znaleźć można w instrukcjach specjalnych, przyjętych przez laboratoria, zajmujące się badaniem gruntów²⁾.

a) Dla określenia procentowej zawartości cząsteczek różnych średnic większych niż 0,25 mm stosuje się przesiewanie próbki gruntu przez odpowiednie sita.

b) Dla określenia procentowej zawartości różnych cząsteczek drobniejszych niż 0,25 mm w średnicy stosuje się różne metody, przeważnie tak zwane zmulanie próbek gruntów.

Przesiewanie przez sita. Aby określić procentową zawartość cząsteczek większych niż 0,25 mm w średnicy, należy do próbki gruntu, uprzednio zważonej, dodać pewną ilość wody i mieszanię gotować w ciągu kilku godzin, aby próbka rozmiękla, następnie umieszcza się próbkę na sicie z otworami 0,25 mm w średnicy, zanurza w naczyniu z wodą, tak, aby boki sita nie były w wodzie, i przeciera palcami lub przecikiem z gumowym końcem.

Drobniejsze cząsteczki przechodzą przez sito i pozostają w naczyniu z wodą, grubsze niż 0,25 mm w średnicy pozostają na sicie. Mając komplet sit znormalizowanych o odpowiednich wielkościach otworów, można łatwo podzielić próbki gruntów na poszczególne grupy i frakcje według tablicy I i określić wagowo procentową zawartość w badanej próbce bądź grup IV i V, bądź poszczególnych frakcyj tych grup (według tabl. I).

Zmulanie próbek gruntów. Drobniejsze cząsteczki niż 0,25 mm w średnicy można rozdzielić na grupy I, II i III lub też poszczególne frakcje tych grup (według tabl. I) różnymi metodami.

Znane są metody Atterberga, Schönege, Kopecky'ego, Wiegnera i innych, wymagające dość dużo czasu; w ostatnich czasach w użycie wchodzi metoda Bouyoucos - A. Casagrande, wymagająca znacznie mniej czasu i dająca rezultaty wystarczająco dokładne dla celów technicznych.

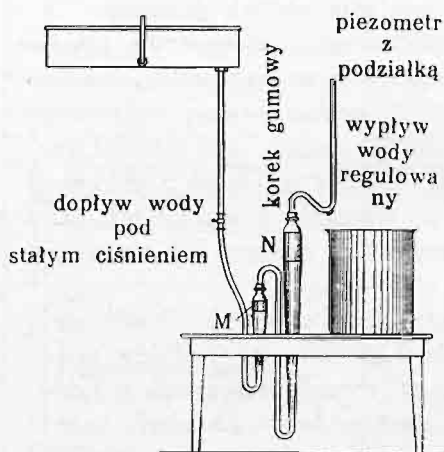
¹⁾ Patrz rozdział II.

²⁾ Instrukcje takie są opracowane również przez Drogowy Instytut Badawczy Pol. Warsz.

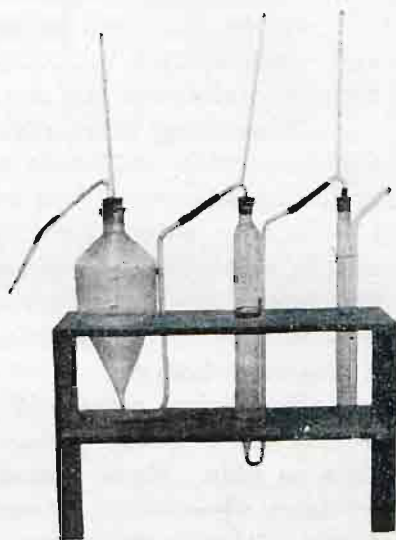


Metody Schöne'go i Kopecky'ego oparte są na następujących zasadach:

Woda przepływa w przyrządzie Schöne'go (rys. 1) przez naczynia szklane, cylindryczne w części *M* i *N*, zwężające się ku dołowi, z szybkością, która może być regulowana; w przyrządzie Kopecky'ego (rys. 2) woda przepływa kolejno przez trzy podobne naczynia różnych wymiarów.



Rys. 1.



Rys. 2.

Wrzucając próbkę badanego gruntu po jej zważeniu do szklanego naczynia *M* i ważąc pozostałe części próbki po wymuleniu, przy danej szybkości przepływu wody w naczyniach *M* i *N*, możemy łatwo daną próbkę podzielić na frakcje według dowolnej wielkości ziaren, gdyż szybkość przepływu wody przez naczynia może być regulowana, a z doświadczeń wiemy, jakiej wielkości cząsteczki gruntu będą wypłukiwane przy poszczególnych szybkościach przepływu wody. Tak np. przy cząsteczkach zbliżonych formą do kulistej (piasek kwarcowy), odpowiadają szybkości przepływu wody (v) w części cylindrycznej naczyń następującym wymiarom średnic (d mm) cząsteczek wymulanych przy tej szybkości.

$v = 0,2 \text{ mm}$	$d < 0,01 \text{ mm}$
$= 0,5 \text{ mm}$	$d = 0,01 \text{ do } 0,02 \text{ mm}$
$= 2,0 \text{ mm}$	$d = 0,02 \text{ — } 0,05 \text{ mm}$
$= 7,0 \text{ mm}$	$d = 0,05 \text{ — } 0,10 \text{ mm}$
$= 25,0 \text{ mm}$	$d = 0,10 \text{ — } 0,20 \text{ mm}$

Ponieważ szybkość w naczyniach można zmieniać w dość szerokich granicach, przeto w składzie próbki mogą być nawet ziarna piasku do 2 mm średnicy; nie potrzeba przeto próbek takich przesiewać na sitach dla oddzielenia frakcyj grubszych.

W przyrządzie Kopecky'ego (rys. 2) próbka gruntu, umieszczona w naczyniu najwęższym, częściowo i stopniowo przechodzi do naczyń szerszych, w których — dzięki mniejszym szybkościom przepływu wody — mogą być uchwycone cząsteczki gruntu o pewnych wymiarach; od razu więc przy pewnej szybkości przepływu wody może być określona w próbce gruntu zawartość trzech grup cząsteczek pewnych średnic.

Nie wchodząc w szczegóły czynności zmulania gruntów na aparatach Schönege i Kopecky'ego, zaznaczyć należy, że podział gruntów na frakcje wymaga dużo czasu — do kilkunastu godzin — dla zbadania uziarnienia jednej próbki gruntu.

Daleko szybciej można określić uziarnienie przy pomocy areometrycznej metody badania uziarnienia gruntów „B o u y o c o s - C a s a g r a n d e”.

Metoda ta polega na rozbełtaniu pewnej ilości gruntu badanego w pewnej ilości wody i mierzeniu przy pomocy specjalnych areometrów w pewnych odstępach czasu gęstości zawiesiny.

Metoda oparta jest na znanym prawie Stokesa, dającym związek między szybkością opadania w wodzie cząsteczek gruntu i ich średnicą oraz innymi czynnikami, wpływającymi na tę szybkość.

Wzór Stokesa jest następujący:

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{\gamma_1 - \gamma}{\gamma_1} \left(\frac{d}{2} \right)^2 \cdot g \cdot (1)$$

We wzorze tym v — szybkość opadania cząsteczek gruntu w cm/sek .

d — średnica cząsteczek w mm ,
 γ_1 — ciężar właściwy cząsteczek gruntu,
 γ — " " wody,
 η — wiskoza wody,
 $g = 9,81 \text{ m/sek}^2$.

Z wzoru (1), znając średnicę cząsteczki, możemy określić czas, w ciągu którego cząsteczka ta w wodzie (lub w innym płynie) opuści się na pewną wysokość. Z drugiej strony, mając czas osiadania i drogę (wielkość) osiadania w tym czasie, możemy określić średnice cząsteczek gruntu.

Jeżeli rozbełtamy pewną ilość gruntu w wodzie w cylindrycznym naczyniu i postawimy go, natychmiast rozpocznie się osiadanie poszczególnych cząsteczek gruntu; szybkość osiadania zależna będzie od wielkości cząsteczek, a więc i ich średnicy.

Jeżeli więc po upływie czasu T od momentu ukończenia bełtania zbadamy cieniutką warstewkę zawiesiny w cylindrze, znajdującą się na głębokości H od powierzchni wody, w warstewce tej już nie będzie cząsteczek o szybkości opadania większej lub równej $\frac{H}{T}$, co odpowiada szybkości v we wzorze Stokesa.

Co się tyczy cząsteczek o szybkości opadania mniejszej od $\frac{H}{T}$, to stężenie ich w badanej warstewce będzie takie same, jak w czasie bełtania.

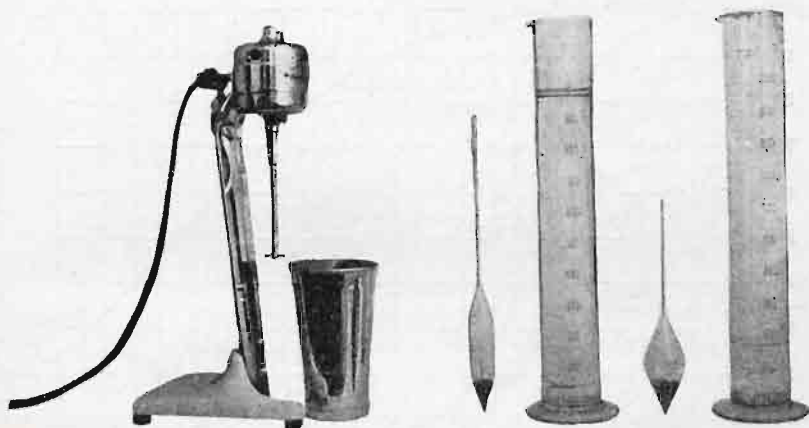
Jeżeli za pomocą specjalnie dobranego areometru zmierzmy w pewnych odstępach czasu gęstość zawiesiny na pewnej określonej głębokości oraz obliczymy z wzoru Stokesa maksymalną średnicę cząsteczek d_x , znajdujących się w danym miejscu i czasie, możemy znaleźć ogólną zawartość w_x cząsteczek o średnicy mniejszej od d_x , znajdujących się w badanej próbce gruntu. Dokładne wykonanie pomiaru nastęrcza wiele trudności: niezbędne jest wyeliminowanie całego szeregu błędów doświadczalnych i wprowadzenie poprawek.

Pewną trudność stanowi otrzymanie jednorodnej zawiesiny gruntu w wodzie; chodzi o rozdział poszczególnych cząsteczek, zlepionych przez koloïdy lub nacieki i wykwyty limonitowe lub wapienne.

Trudność ta została rozwiązana przez zastosowanie mieszadła w postaci małego propellera, dającego do 1600 obrotów na minutę (rys. 3).

Wtórnej koagulacji (zlepiania cząsteczek) po rozbełtaniu unika się przez dodanie niewielkiej ilości szkła wodnego.

Poza tym konieczne są poprawki odczytów na temperaturę cieczy, na wysokość menisku przy rurce areometru i inne; przy pomiarach trzeba zachować ostrożność pod wielu względami, aby nie otrzymać zbyt dużych błędów; szczegóły te pomijamy; można je znaleźć w specjalnych instrukcjach.



Rys. 3.

Przy pomiarach trzeba pamiętać, że na szybkość opadania cząsteczek gruntów wymieszanych z wodą ma duży wpływ ich forma.

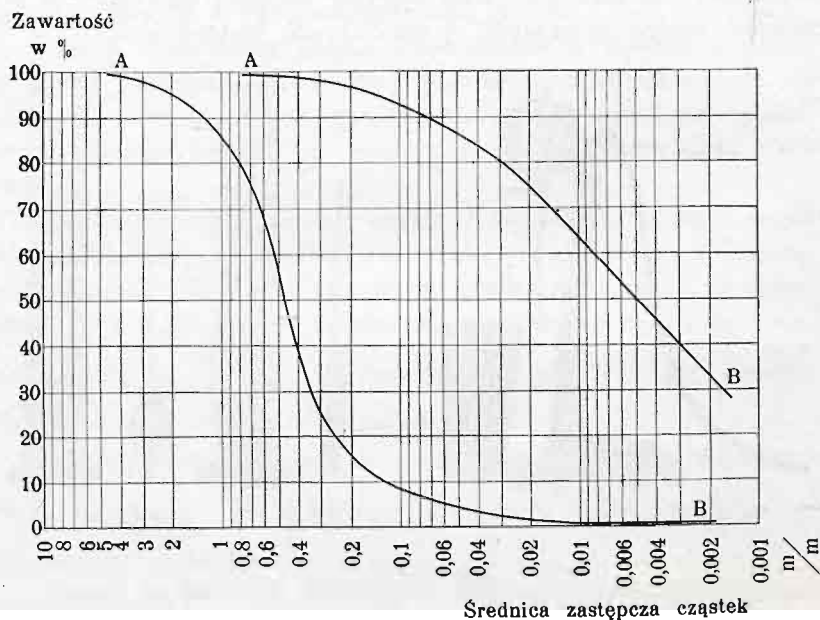
Forma cząsteczek może być bardzo różnorodna: kulista, wielograniasta, elipsoidalna, płaska, a nawet w postaci bardzo cienkich blaszek.

Oczywiście najszybciej opadają cząsteczki formy kulistej lub wielograniastej, inne mogą opadać znacznie wolniej, zresztą w zależności, czy opadają bokiem szerokim lub wąskim. Stąd wprowadzone zostały pojęcia „średnic zastępczych”, tj. takich, które przy jednakowej wadze właściwej i przy formie kulistej opadają z szybkością taką samą, jak cząsteczki formy płaskiej lub blaszkowej. To też w tablicy I wi-

dzimy w dwóch najdrobniejszych grupach (I i II) obok średnic rzeczywistych również średnice zastępcze.

Ciężar właściwy poszczególnych cząsteczek może się wahać w dość znacznych granicach (szpat polny 2,56—2,75, kwarc 2,65, mika 2,8—3,2), zwykle przyjmuje się przy obliczeniach ciężar właściwy przeciętny = 2,65.

Wreszcie rodzaj wody użytej do bełtania i przygotowania próbek gruntu może mieć bardzo poważny wpływ na rezultaty analizy granulometrycznej.



Rys. 4.

Wszystkie warunki przeprowadzania analizy granulometrycznej winny być ściśle ujednoliconie, aby rezultaty badań mogły być porównywane.

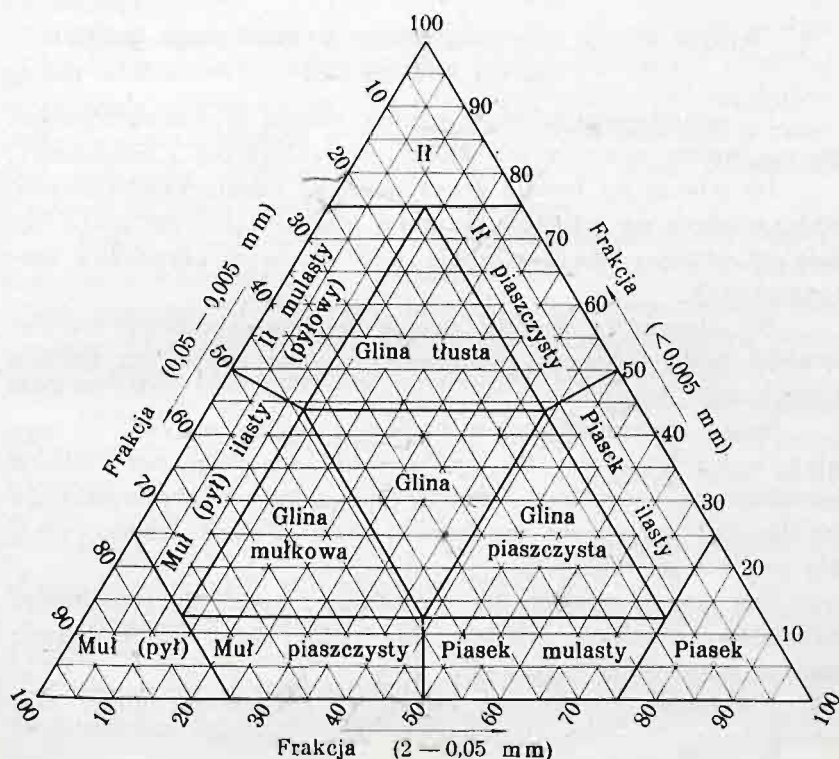
Sposoby przedstawiania składu granulometrycznego zbadanych gruntów. Istnieje kilka sposobów; jeden z częściej używanych — jest to wykres w układzie współrzędnych: na osi poziomej odkładane są wielkości średnic cząsteczek gruntu lub — co jest lepsze — ich logarytmy, na prostopadłej — procentowa zawartość wagowa cząsteczek o danej średnicy (rys. 4).

Przyjmując rzędne odciętych proporcjonalne logarytmom

średnic cząsteczek gruntu, będziemy otrzymywać wykresy podobne dla gruntów o jednakowym stopniu jednolitości niezależnie od wielkości średnic cząsteczek.

Linie AB na rys. 4. dają nam skład granulometryczny gruntów.

Im linie te będą więcej strome, tym skład gruntu jest więcej jednolity.



Rys. 5.

Skład gruntu, jeżeli chodzi o oznaczenie nie poszczególnych frakcji, a ich grup charakterystycznych: 1) piasku, 2) pyłu i 3) gliny — może być z wielką dogodnością przedstawiony na trójkącie równobocznym Fereta (rys. 5).

Jak wiadomo, w trójkącie równobocznym suma prostopadłych z jakiegokolwiek punktu tego trójkąta na boki równa jest wysokości trójkąta.

Jeżeli podzielić wysokości trójkąta lub też jego boki na 100 równych części i odkładać procentową zawartość w danym gruncie trzech frakcyj charakterystycznych: gliny, pyłu i piasku na odpowiednich wysokościach lub bokach trójkąta, wtedy dla każdego gruntu, o znanym uziarnieniu, znajdziemy wewnątrz trójkąta pewien punkt.

4. Wpływ składu mineralogicznego i chemicznego gruntów na ich właściwości

Na właściwości gruntów, oprócz składu granulometrycznego, ma wpływ również ich skład mineralogiczny i chemiczny.

Im więcej, np. będzie grunt zawierać cząsteczek twardych, wytrzymałych na ciśnienie i mniej ścieralnych, tym grunt będzie odporniejszy na destrukcję pod wpływem czynników mechanicznych.

Np. tłuczeń z granitu będzie trudniej poddawać się destrukcji pod wpływem czynników mechanicznych, niż tłuczeń z miękkiego wapienia.

Skład mineralogiczny ma również ważny wpływ i na inne właściwości gruntów: tak, np. wielkość absorpcji, przy innych jednakowych warunkach, zależy od składu mineralogicznego gruntu: pył kwarcowy ma bardzo małą zdolność absorpcyjną, gdy pył z miki lub kaolinitu — dużą.

Nie jest tu miejsce dla wyliczania i opisu szczegółowego minerałów, z jakich składają się grunty, gdyż jest to przedmiotem mineralogii i geologii.

Nadmienić należy, że najczęściej rozpowszechniony jest kwarc, który w pewnych gruntach stanowić może 90% i więcej zawartości ogólnej.

Dalej, również często spotykamy szpat polny w rozmaitych postaciach (ortoklaz, plagioklaz itp.) oraz stopniach rozkładu (mika, kaolin). Stanowią one mogą do 20% składu gruntu.

Poza tym spotykamy pyrokseny, amfibole, grupę kaolinitu, granatu, siarczków (np. gips), węglanów (kalcyt, syderyt, dolomit itp.).

Metody badań składu mineralogicznego gruntów należą do zakresu mineralogii i podane tu nie będą.

Wspomnieć tu należy, że przy badaniach mineralogicznych gruntów sypkich, w celu oddzielenia jednych minerałów od

drugich, można wykorzystać różnicę ciężaru właściwego poszczególnych minerałów i zastosować zanurzenie i wymulanie próbek gruntów w ciężkich płynach o ciężarze właściwym do 3,5.

W celu rozpoznania minerałów, okruchy skał bada się pod mikroskopem, bądź przygotowując szlify, bądź przeglądając je w świetle odbitym, wreszcie zastosować można analizę mikrochemiczną.

Skład chemiczny gruntów również ma niemały wpływ na ich właściwości; skład ten jest bardzo rozmaity i zawierać może wiele pierwiastków. Na własności, ważne pod względem budowlano-technicznym, wywiera duży wpływ obecność w gruntach związków rozpuszczalnych w wodzie, ich skład chemiczny i zawartość procentowa.

Jedne związki wywołują koagulację (łączenie się) cząsteczek, inne — pęcznienie (powiększenie objętości), inne — zwiększenie gęstości. Niektóre sole rozpuszczalne w wodzie, a wchodzące w skład gruntu, mogą powodować osiadanie warstw gruntów, niekiedy niebezpieczne dla budowli inżynierskich.

Zwięźłość gruntów w dużym stopniu zależy od składu chemicznego wody. Np. obecność w wodzie pewnych soli może wywołać koagulację cząsteczek gliny, zwłaszcza, gdy wody w gruncie będzie stosunkowo mało.

Przepuszczalność gruntów zależy w pewnym stopniu od składu chemicznego soli rozpuszczonych w wodzie.

Domieszka NaHCO_3 zmniejsza przepuszczalność, a CaCO_3 i CaSO_4 — powiększa ją.

Obecność w wodzie niektórych soli, zwłaszcza zawierających siarkę, może wpływać na trwałość podziemnych części budowli, składających się z betonu.

Poprzestaniemy na tych ogólnych uwagach o wpływie składu mineralogicznego i chemicznego gruntów, zaznaczając, że dla budowli inżynierskich mają one wpływ stosunkowo mniejszy, niż właściwości fizyczne lub mechaniczne.

5. Właściwości fizyczne gruntów

Właściwości fizyczne gruntów zależą od trzech podstawowych czynników:

- a) Sił, jakie się rozwijają na powierzchni cząsteczek gruntu.
- b) Wielkości, formy i ułożenia cząsteczek gruntów.
- c) Składu mineralogicznego.

Łącznie działając, czynniki te powodują takie lub inne właściwości fizyczne i mechaniczne gruntów. Mała ilość — przynajmniej dotychczas — materiału doświadczalnego nie daje możliwości określenia, w jakim stosunku wymienione czynniki mają wpływ na te lub inne właściwości gruntów.

Ze względów technicznych interesują nas następujące właściwości gruntów: 1) wodne właściwości gruntów, jak włoskowatość, hygroskopijność, przepuszczalność, wilgotność; 2) ciężar właściwy; 3) porowatość; 4) plastyczność; 5) lepkość; 6) zwężłość; 7) skurczliwość; 8) pęcznienie.

1. Wodne właściwości gruntów

Wpływ wody na właściwości gruntów jest bardzo poważny; obecność wody w gruncie nieraz w stosunkowo małej ilości może radykalnie wpływać na wartość techniczną gruntu, jako materiału budowlanego.

Woda w gruntach może znajdować się w różnych postaciach; znajdujemy wodę: a) w postaci pary wodnej, zawierającej się w wolnych przestrzeniach między cząsteczkami gruntu; b) w postaci wody hygroskopijnej; c) błonkowej (otaczającej poszczególne cząsteczki gruntu); d) włoskowatej; e) wolnej wody, mogącej spływać między cząsteczkami gruntu pod wpływem ciężaru własnego i f) wody w stanie stałym, tj. w postaci lodu.

a. Para wodna znajduje się w powietrzu wypełniającym wolną przestrzeń pomiędzy cząsteczkami gruntu; przechodzi z miejsca, gdzie jest niższa temperatura, do miejsc, gdzie jest wyższa temperatura; ilość pary wodnej zależy od wielu warunków: temperatury, wilgotności gruntu, napięć powierzchniowych, granulometrycznego składu gruntu itp. Para wodna, pod wpływem oziębienia się atmosfery i oziębienia wierzchnich warstw gruntu poniżej 0° , może skraplać się i nawet przechodzić w stan stały, tj. utworzyć lód.

b. Woda hygroskopijna. Nazywamy tak wodę, która zostaje przyciągnięta (zaabsorbowana) przez powierzchnię cząsteczek gruntu z pary wodnej powietrza i może być usunięta przez podgrzanie gruntu do temperatury 105° — 110°C .

Jeżeli grunt wysuszony przy temperaturze 105° — 110°C zetknie się z powietrzem wilgotnym, w ciągu pewnego czasu waga jego powiększy się.

Gdy w gruncie znajdzie się największa ilość wody, którą mogą przyciągnąć z pary wodnej z powietrza cząsteczki gruntu, stan gruntu nazywamy hygroskopijnie nasyconym.

Hygroskopijność poszczególnych gruntów jest różna; w dużym stopniu zależy od wymiaru cząsteczek: np. w gruntach piaszczystych jest mała, często wynosi mniej niż 1%, w glinie—dochodzi do 17%. Woda hygroskopijna jest przyciągana przez cząsteczki gruntu i dopiero po podgrzaniu do 105° — 110°C przechodzi w parę i uzyskuje swobodę ruchu.

c. Wodą błonkową nazywamy wodę, pokrywającą powierzchnię cząsteczek gruntu w postaci błonki i utrzymywanej przez przyciąganie cząsteczkowe; siła przyciągania jest tak znaczna, że woda ta nie może być usunięta nawet przy pomocy centryfugi, rozwijającej siłę odśrodkową parokrotnie większą, niż ciężar cząsteczek gruntu.

Woda błonkowa, jak dowiodły doświadczenia, może przechodzić z miejsc więcej wilgotnych do miejsc suchszych; waga tej wody nie gra tu roli, gdyż ruch jej może mieć miejsce zarówno z góry na dół, jak odwrotnie lub w kierunku poziomym.

Największa wilgotność w postaci wody błonkowej wynosi do $2\frac{1}{2}\%$ dla piasku, a dla gruntów gliniastych do 15%.

d. Wodą włoskową nazywamy taką wodę, która wypełnia kanaliki pomiędzy cząsteczkami gruntu i utrzymuje się dzięki napięciom powierzchniowym i przyleganiu do powierzchni cząsteczek.

Jeżeli suchą gliną wypełnimy rurkę szklaną i koniec rurki opuszczimy do naczynia z wodą, zauważymy, że glina zacznie wciągać wodę, która w rurce podniesie się ponad poziom wody w naczyniu. Zjawisko to jest analogiczne do znanego zjawiska podnoszenia się wody w rurkach cienkich o bardzo małej średnicy (włoskowatych), zanurzonych jednym końcem w wodę, ponad poziom tej ostatniej.

W rurkach włoskowatych wysokość podniesienia się poziomu wody jest odwrotnie proporcjonalna do średnicy rurek; szybkość podnoszenia się wody jest tym mniejsza, im węższa jest rurka; przy powiększeniu się temperatury wysokość po-

ziomu wody w rurce zmniejsza się, szybkość zaś podnoszenia się — powiększa się.

Wysokość podniesienia poziomu wody w poszczególnych gruntach zależy od składu granulometrycznego i porowatości.

W ciężkich gruntach gliniastych wysokość włoskowatego podniesienia się poziomu wody może osiągnąć 8—9 m, zwykle dla gruntów gliniastych wysokość tę przyjmuje się 1—2 m, dla drobnych piasków tylko 0,4—0,6 m.

Tablica III

(Doświadczenia Atterberga).

Średnica cząsteczek gruntu w mm	Wysokość włoskowatego podniesienia poziomu wody		Max. wysokości	Czas osiągnięcia maximum wysokości
	po 24 godz.	po 48 godz.		
5,0 — 2,0	22 mm	—	35 mm	3 dni
2,0 — 1,0	54 „	60	65 „	4 „
1,0 — 0,5	115 „	123	131 „	4 „
0,5 — 0,2	214 „	230	246 „	8 „
0,2 — 0,1	376 „	396	428 „	8 „
0,1 — 0,05	530 „	574	1055 „	72 „
0,05 — 0,02	1153 „	1360	2000 „	—
0,02 — 0,01	485 „	422	—	—
0,01 — 0,005	285 „	—	—	—

Dla gruntów piaszczysto-gliniastych i gliniasto-piaszczystych można przyjąć wartości pośrednie.

Znaczenie wody włoskowatej w gruntach jest bardzo ważne dla stanu gruntów, gdyż wskutek powierzchniowego napięcia w cząsteczkach wody w kanałach włoskowatych powstają różnego rodzaju wewnętrzne napięcia, powodujące kurczliwość, pęcznienie, zwięźłość gruntów itp.

Np. przy istnieniu w gruncie wody włoskowatej, grunt właściwie nie może być obciążany. Dlatego też drogi grunto-we nie mogą być budowane z gruntów, mających wilgotność zbliżoną do wilgotności gruntów z wodą włoskowatą.

Jeszcze jedna właściwość wody włoskowatej zasługuje na

podkreślenie: woda włoskowata w kanalikach bardzo wąskich [o średnicy mniejszej od 0,1 mikrona (0,1 mikrona = 0,0001 mm)] nie może w całości wyparować, gdy woda zawarta w kanalikach włoskowatych szerszych (np. w piasku) może być usunięta całkowicie przez wyparowanie.

e. Wodą wolną i gruntową nazywamy taką wodę, zawartą w gruncie, która pod wpływem swego ciężaru może spływać z warstw górnych do warstw dolnych lub też spływa w warstwie gruntu przepuszczalnego po powierzchni gruntu nieprzepuszczalnego pochyłonej do poziomu.

Ilość wody wolnej lub gruntowej, jak również szybkość jej ruchu zależy od wielu warunków, np. rodzaju gruntu, jego porowatości, ukształtowania terenu itp.

f. Woda w postaci lodu tworzy się w gruncie w powierzchniowych warstwach gruntu, gdy temperatura jego obniża się poniżej zera. Wtedy w lód przechodzi woda zawarta między cząsteczkami lub otaczająca je (np. w postaci wody błonkowej); w lód może przechodzić również para wodna zawarta pomiędzy cząsteczkami gruntu; para ta skrapla się na głębokości, na której temperatura jest obniżona odpowiednio i zamarza na głębokości, na której temperatura jest poniżej 0° C; przy niskiej temperaturze powietrza, trwającej dłuższy czas na pewnej głębokości, mogą się tworzyć warstewki lub soczewki lodu, które przy zamarzaniu mogą warstwę gruntu nad nim leżącą unieść w górę i wywołać tzw. pęcznienie gruntu; zjawisko to zwykle zauważa się przy odmarzaniu gruntu.

Przepuszczalność gruntów. Zdolność przepuszczania wody w poszczególnych rodzajach gruntów występuje w rozmaitych stopniach; przede wszystkim zależy od składu granulometrycznego; tak, np. grunty gliniaste są bardzo mało przepuszczalne i odwrotnie, piaski, żwiry itp., są przepuszczalne.

Gdy w piasku mamy domieszkę gliny, grunt taki przy zawartości gliny do 15% jest przepuszczalny, jak czysty piasek, ale, gdy glina w piasku stanowi 15 — 20%, przepuszczalność jest znacznie mniejsza, a przy 30% zawartości gliny w piasku grunt taki można uważać za zupełnie nieprzepuszczalny.

Na przepuszczalność gruntów wpływa obecność w nim pęczniących cząsteczek i niektórych soli rozpuszczalnych

w wodzie; również ma wpływ ubijanie gruntów: grunty ubite są mniej przepuszczalne, niż grunty luźne.

Określanie przepuszczalności gruntów wykonywa się laboratoryjnie przy pomocy różnych przyrządów.

Spółczynnik przepuszczalności, dający możność porównywania pod tym względem różnych gruntów, określa się z wzoru Darcy:

$$Q = k \cdot F \cdot j \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

We wzorze tym:

Q — ilość przepływającej wody przez grunt w ciągu 1 sek,

F — przekrój poprzeczny próbki gruntu,

$j = \frac{h}{l}$, gdzie h ciśnienie przepływającej wody, a l — grubość warstwy badanego gruntu,

k — współczynnik przepuszczalności.

Z wzoru (1) można łatwo obliczyć szybkość, z którą woda przepływa: znając powierzchnię F , iloraz $\frac{Q}{F}$ da nam szybkość przepływu $v = \frac{Q}{F}$.

Wzory powyższe stosować można tylko dla piasków drobnych i średnich; nie można stosować ich do glin i żwirów.

Dla określenia przepuszczalności gruntów piaszczystych i gliniastych prof. K. Terzaghi¹⁾ zaproponował dość złożone wzory na wół doświadczalne.

Wilgotność gruntów. Wilgotnością gruntów nazywamy procentową zawartość wagową wody w próbce z wzoru:

$$W = \frac{a - b}{b} \cdot 100, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

gdzie:

a — ciężar próbki wilgotnej,

b — ciężar próbki wysuszonej.

Najmniejsza wilgotność gruntu ma miejsce wtedy, gdy woda zawarta w gruncie jest w postaci wody błonkowej, tj. kiedy pokrywa w postaci cienkiej warstwy cząsteczki gruntu.

Włoskowata wilgotność ma miejsce wtedy, gdy woda wypełnia włoskowate kanaliki pomiędzy poszczególnymi ziarnami gruntu.

¹⁾ Erdbaumechanik. Prof. K. Terzaghi 1928.

Maksymalna wilgotność ma miejsce wtedy, gdy woda całkowicie wypełnia wolną przestrzeń pomiędzy cząsteczkami gruntu; zależna więc jest od wielkości i formy cząsteczek gruntu, gdyż od tego zależna jest porowatość gruntu.

Wollny¹⁾ podaje wielkości maksymalnej wilgotności, w zależności od wielkości cząsteczek według tablicy IV.

Tablica IV

Średnica cząsteczek gruntu w mm	Maksymalna wilgotność w % wagowych
0,010 — 0,071	32,05
0,071 — 0,114	32,05
0,114 — 0,117	28,87
0,117 — 0,250	25,99
0,250 — 0,500	24,67
0,500 — 1,000	22,45

Z tablicy powyższej widzimy, że maksymalna wilgotność w gruntach o cząsteczkach drobniejszych jest większa, niż w gruntach o cząsteczkach grubszych.

Poza tym należy pamiętać, że maksymalna wilgotność jest mniejsza w gruntach z zachowaną strukturą pierwotną o 3—10%, niż w tych samych gruntach z naruszoną strukturą.

Tablica V²⁾ daje nam również pojęcie o wilgotności maksymalnej różnych gruntów.

Badania nad wilgotnością gruntów wykazały: 1) że jest ona tym większa, im cząsteczki gruntu są drobniejsze; 2) że zależy od rodzaju cząsteczek gruntu: np. przy jednakowej wielkości cząsteczek jest największa w torfie, mniejsza — w glinie, jeszcze mniejsza — w gruntach, złożonych z pyłu kwarcowego.

Poza tym na wilgotność gruntów oddziałują szereg innych czynników, jak obecność w wodzie różnych soli rozpuszczalnych, temperatura itp.

¹⁾ E. Blanck. Handbuch der Bodenlehre. VI Band 1930.

²⁾ K. N. Łukaszew. Gruntowiedzenie. 1933.

Tablica V

R o d z a j g r u n t u	Wilgotność maksymalna w litrach/1 m ³
1. Wapienie	15 do 170
2. Żwir	360 — 377
3. Piasek gruboziarnisty (2 mm)	360
4. Piasek drobny	420
5. Piaszczysto-gliniasty	464
6. Margiel	175
7. Czarnoziem gliniasty	481
8. Piaszczysto-gliniasty czarnoziem	553
9. Gлина plastyczna	550
10. Torf	1100 do 1500

W zależności od wilgotności i przepuszczalności, grunty można podzielić na następujące kategorie:

a) grunty przepuszczalne niewilgotne: do nich należą piaski i żwiry; włoskowatość w tych gruntach bywa wtedy, gdy posiadają one odpowiednią domieszkę cząsteczek drobniejszych.

b) grunty przepuszczalne wilgotne: torf i grunty torfiaste.

c) grunty nieprzepuszczalne wilgotne: grunty gliniaste; przy napełnieniu kanałów włoskowatych wodą stają się grunty te zupełnie nieprzepuszczalne.

d) grunty nieprzepuszczalne niewilgotne: skały krystaliczne monolitowe i scementowane osadowe (piaskowce i wapienie).

e) na wpół przepuszczalne i na wpół wilgotne: lössy i grunty gliniaste o składzie podobnym do składu lössów; skład granulometryczny tych gruntów bywa różny, stąd i właściwości ich bywają różne.

Podany wyżej podział gruntów według ich przepuszczalności i wilgotności jest umowny (konwencjonalny), gdyż wobec wielkiej różnorodności gruntów pomiędzy poszczególnymi grupami nie ma ścisłych granic i istnieje mnóstwo gruntów o właściwościach pośrednich.

2. Ciężar właściwy i ciężar objętościowy gruntów

Ciężar właściwy gruntu — jest to stosunek wagi pewnej masy gruntu do wagi wody takiej samej objętości; cięż-

żar właściwy gruntu charakteryzuje tylko masę, z której składają się cząsteczki gruntu; wynosi on od 2,4 do 3,0 i czasami do 4,0, w zależności od składu mineralogicznego i chemicznego cząsteczek gruntu.

Np. ziarna piasku kwarcowego mają ciężar właściwy 2,5—2,7, a cząsteczki pyłowe i gliniaste 2,4—2,5.

Ciężar objętościowy gruntu jest to stosunek wagi pewnej objętości gruntu (wraz z wolną przestrzenią między jego cząsteczkami) do wagi takiejże objętości wody.

Wielkość ciężaru objętościowego zależy z jednej strony od składu mineralogicznego i granulometrycznego gruntu, z drugiej strony — od objętości wolnej przestrzeni pomiędzy cząsteczkami gruntu.

Istnieją tablice, podające ciężar objętościowy różnych gruntów.

Do obliczeń zwykłych, gdy nie chodzi o zbytnią dokładność przyjmujemy dane z tablicy VI¹⁾.

Tablica VI

R o d z a j g r u n t u	Ciężar objętościowy kg/m ³
Ziemia zwierzchnia (humus) normalnie wilgotna, spulchniona	1400
Ziemia ubita, lekko wilgotna	1700
Ziemia pulchna, nasiąknięta wodą	1800
Grunt próchnicowy, darnina	600—900
Grunt gliniasty, nieubity, suchy	1500
Grunt gliniasty, ubity, suchy	1700
Grunt gliniasty, nasycony wodą	1900
Piasek, żwir, tłuczeń suchy	1500—2000
Gлина tłusta	1800—2600
Piaskowiec w zwartej masie	1900—2700
Wapień w zwartej masie	2200—2800
Granit, bazalt w zwartej masie	2500—3000

3. Porowatość gruntów

Porowatością gruntów nazywamy stosunek objętości wolnej przestrzeni pomiędzy cząsteczkami do objętości gruntu mierzonej wraz z tą wolną przestrzenią:

¹⁾ Bryła. Podręcznik Inżynierski cz. I.

$$P = \frac{V_1}{V_2} \dots \dots \dots (1)$$

We wzorze tym:

P — porowatość,

V_1 — objętość wolnej przestrzeni w danej próbce gruntu, której objętość = V_2 .

Porowatość gruntu zależy od składu granulometrycznego: przy większej procentowej zawartości drobniejszych cząsteczek porowatość jest większa.

Np. badania prof. W. W. Ochotina dały wyniki podane w tabl. VII.

Tablica VII

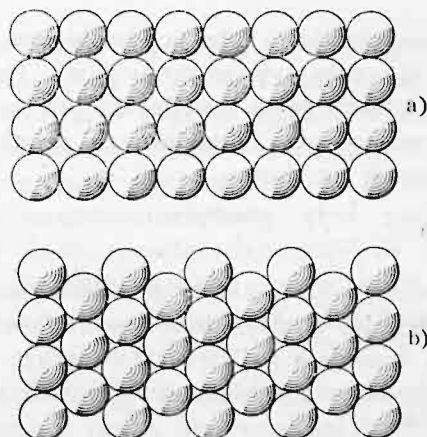
Mieszanina z frakcji: a) 2,0—1,0 mm w średnicy b) 0,05—0,01 mm "		Porowatość w %
} + 5% kaoliny		
Procentowa zawartość frakcji		
% frakcji 2,0—1,0 mm	% frakcji 0,005—0,01 mm	
95	0	34,70
85	10	30,47
75	30	25,03
55	40	26,76
45	50	29,61
35	60	31,98
30	65	37,11
0	95	41,99

Porowatość w znacznej mierze zależna jest nie tylko od wielkości, ale i od formy cząsteczek gruntu; gdyby one były jednakowe, porowatość możnaby łatwo obliczyć.

Gdyby cząsteczki gruntu miały formę kuleczek jednakowej średnicy, mogłyby się ułożyć rozmaicie: albo tak, jak na rys. 6a i wtedy teoretyczna porowatość takiego teoretycznego gruntu wynosiłaby aż 47,64% ogólnej objętości; może być również układ cząsteczek taki, jak na rys. 6b i wtedy porowatość gruntu będzie znacznie mniejsza: stanowić będzie już tylko 25,95%.

W rzeczywistości grunty składają się z cząsteczek najrozmaitszej wielkości, zmieszanych w najrozmaitszych stosunkach.

Dla ogólnej orientacji dla celów praktycznych wystarczają dane tablicy VIII¹⁾.



Rys. 6.

Tablica VIII

R o d z a j g r u n t u	Porowatość w $\frac{\text{cm}^3}{\text{dm}^3}$
Żwir o średnicy 7 mm	27,0
Piasek gruboziarnisty ze żwirem	38,0
Piasek gruboziarnisty 2 mm w średnicy	40,0
Piasek drobnoziarnisty $\frac{1}{3}$ mm w średnicy	42,3
Pył skalny	46,9
Grunt gliniasty	47,4
Gлина	52,7
Torf	81,0

Porowatość gruntów ma wpływ na wiele właściwości gruntów: np. w zależności od porowatości i wymiaru kanalików między cząsteczkami jest największa wilgotność i przepuszczalność gruntów, a w szczególności szybkość ruchu wody grunto-

¹⁾ K. Łukaszew. Gruntowidzenie 1933.

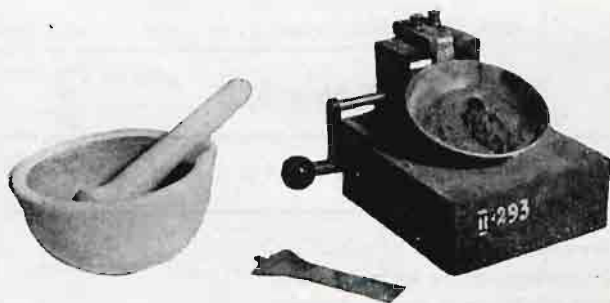
wej; porowatość gruntu ma również poważny wpływ na rozmywanie, skurczalność, wytrzymałość na ściskanie.

4. *Plastyczność gruntów*

Jest to właściwość gruntu pod wpływem sił zewnętrznych deformowania się, przy tym w gruncie nie tworzą się szczeliny i w ogóle poszczególne cząsteczki nie odłączają się od siebie, a po usunięciu sił zewnętrznych grunt ma właściwość utrzymania nadanej mu formy.

Aby grunty były plastyczne, muszą zawierać pewną ilość wody.

Plastyczność gruntów zależy przede wszystkim od wielkości cząsteczek gruntu: grunty, które zawierają większą ilość gliny ($d < 0,005 \text{ mm}$) posiadają największą plastyczność; płaska forma cząsteczek odgrywa w plastyczności gruntów rolę poważną.



Rys. 7.

Przy dodawaniu wody do gruntu plastycznego charakter plastyczności zmienia się w zależności od ilości wody.

Atterberg, który dużo zajmował się plastycznością gruntów, rozróżnia następujące stany plastyczności:

1. Górna granica płynności gruntu, gdy grunt jest rzadki i spływa strumieniem, jak gęsty płyn.

2. Dolna granica płynności, gdy dwa kawałki gruntu położone na miseczce zlepiają się pod wpływem uderzenia w miśeczkę lub potrząsania jej (specjalny przyrząd Atterberga (rys. 7).

3. Granica lepkości, gdy grunt traci lepkość.
4. Granica ugniatania, przy której ciasto z gruntu przestaje ugniatać się w cienkie wałeczki.
5. Granica zwięzłości, przy której wilgotne kawałki gruntów, pod wpływem ciśnienia zewnętrznego, przestają tworzyć jedną całość.

Stopień plastyczności gruntów Atterberg wyraża różnicą między zawartością wody w gruncie przy dolnej granicy płynności (p. wyżej p. 2.) i przy granicy ugniatania gruntu w cienkie wałeczki (p. wyżej p. 4.). Różnica ta wyrażona w procentach stanowi tak zwaną cyfrę plastyczności. Im grunt jest plastyczniejszy, tym różnica ta jest większa.

Największą plastycznością odznaczają się ciężkie grunty gliniaste. Piaski nie mają zupełnie plastyczności.

Według Atterberga grunty pod względem plastyczności dzielą się na trzy kategorie:

1. Bardzo plastyczne z liczbą plastyczności powyżej 15;
2. Plastyczne z liczbą plastyczności od 15 do 7;
3. Mało plastyczne z liczbą plastyczności < 7 .

Dla określenia liczby plastyczności gruntu używany jest najczęściej przyrząd Atterberga (rys. 7), którego opis pomijamy ze względu na ograniczoną objętość niniejszej książki; metoda ta polega: 1) na określeniu dolnej granicy płynności gruntu na specjalnie skonstruowanym przyrządzie, 2) na określeniu granicy ugniatania gruntu w cienkie wałeczki i 3) na określeniu różnicy procentowej zawartości wody, przy których te granice mają miejsce.

5. *Lepkość gruntów*

Jest to właściwość gruntów, będących w stanie wilgotnym, do przywierania do ciał twardych. Właściwość ważna w budownictwie drogowym (przywieranie mokrej ziemi do kół pojazdów i powiększanie współczynnika oporu ruchu) i w robotach ziemnych, gdyż lepkość gruntów może w znacznym stopniu utrudniać pracę narzędzi i maszyn.

Lepkość gruntów zależy od składu granulometrycznego, stopnia wilgotności, materiału, z którego utworzony jest przedmiot przylegający do gruntu.

Grunty gruboziarniste posiadają lepkość nieznaczną, drobnoziarniste, zwłaszcza z dużą domieszką cząsteczek, gliniastych — znaczną.

Lepkość gruntu w znacznym stopniu zależy od stopnia wilgotności, zwiększa się przy jej powiększaniu, jednak tylko do pewnej granicy, za którą zaczyna się zmniejszać.

Istnieją przyrządy do określania lepkości gruntów; lepkość winna być określana przy różnych stopniach wilgotności gruntów.

6. Zwięzłość gruntów

Zwięzłością gruntów nazywamy właściwość, dzięki której cząsteczki gruntu utrzymują się w stałym położeniu względem siebie; aby zmienić położenie wzajemne cząsteczek, trzeba użyć mniejszą lub większą siłę.

Stopień zwięzłości zależy od zawartości w gruncie cząsteczek gliniastych i koloidalnych, ich formy oraz od stopnia wilgotności; zawartość w gruncie niektórych soli rozpuszczalnych w wodzie również wpływa na stopień zwięzłości.

Największą zwięzłość posiadają grunty gliniaste, najmniejszą — piaski.

Bada się stopień zwięzłości poszczególnych gruntów przez zgniatanie na specjalnej precyzyjnej prasie hydraulicznej przygotowanych w specjalnych formach sześciątów z gruntów.

Według doświadczeń Atterberga dla zmiażdżenia takich sześciątów:

- | | | |
|--|---------|--------------------|
| 1. grunty gliniaste wymagają ciśnienia | 60 — 31 | kg/cm ² |
| 2. grunty piaszczysto-gliniaste mocne | 30 — 16 | " |
| 3. " " " lekkie | 15 — 8 | " |
| 4. piaski | 7 — 0 | " |

7. Skurczalność gruntów

Jest to właściwość zmniejszania objętości pod wpływem wysychania.

Jeżeli zawartość wody w gruncie zmniejszy się o tyle, że ilość jej będzie mniejsza, niż jest potrzebna dla granicy płynności (dolnej), wtedy grunt ze stanu plastycznego przechodzi do stanu półtwardego.

W miarę zmniejszania się ilości wody zmniejsza się objętość gruntu; zmniejszanie się objętości gruntu jest równe objętości wyparowanej wody. W pewnym momencie objętość gruntu przestaje się zmniejszać, gdy tymczasem ilość wody w gruncie wskutek parowania zmniejsza się w dalszym ciągu i jednocześnie zmniejsza się ciężar objętościowy gruntu. W tym stanie grunt ze stanu półtwardego przechodzi w stan twardy.

Zawartość wody odpowiadająca punktowi przejścia gruntu do stanu twardego, nazywa się granicą skurczalności gruntu (według Atterberga), którą określamy w procentach wagowych zawartości wilgoci w stosunku do wagi wysuszonej próbki gruntu.

Granice skurczalności danego gruntu możemy otrzymać, sporządzając wykres zależności ciężaru objętościowego gruntu od zawartości w nim wody. Odmierzając na jednej osi współrzędnych ciężar objętościowy gruntu, a na drugiej odpowiadającą mu zawartość wody, otrzymamy krzywą zmiany ciężaru objętościowego w zależności od zmiany zawartości wody.

Punkt zwrotny tej krzywej odpowiada granicy skurczalności gruntu.

Wielkość skurczalności zależy od formy i wymiarów cząsteczek i od zagęszczenia (ewentualnie ubicia) gruntu.

Im więcej w gruncie cząsteczek gliniastych i koloidalnych, tym skurczalność będzie większa: skurczalność gliny piaszczystej dochodzi do 20—25% wymiarów liniowych próbek.

8. Pęcznienie gruntów

Jest to właściwość niektórych gruntów — w zależności od ich składu granulometrycznego — powiększania objętości pod wpływem nasycenia wodą.

Stopień pęcznienia jest w związku z ilością cząsteczek gliniastych i pyłowych, zawartych w gruncie.

Np. ilowate, ciężkie gliniaste grunty powiększają swoją objętość więcej niż o 5%, kaolina — do 25%, a sypkie piaski — mniej niż 5%.

Z pęcznieniem gruntów trzeba się liczyć przy wykonywa-

niu bardzo wielu budowli inżynierskich, w szczególności przy robotach ziemnych i budownictwie drogowym.

Pęcznienie gruntów jest zjawiskiem złożonym, wpływającym z nierównomierności ciśnień hydrostatycznych na powierzchni i wewnątrz gruntu i innych zjawisk. Sprawa ta dotychczas jest mało zbadana.

6. Mechaniczne właściwości gruntów

Podajemy najogólniejsze wiadomości z tego działu, obecnie bardzo obszernego — dla ogólnego orientowania się przy wykonywaniu robót ziemnych.

1. Sprężystość gruntów

Grunty posiadają w pewnym stopniu sprężystość. Odkształcenia pod wpływem sił zewnętrznych, działających na grunty, podzielić można na sprężyste i stałe.

Jeżeli grunt pod działaniem pewnej siły zewnętrznej odkształca się, a po usunięciu tego obciążenia traci odkształcenie i wraca do stanu, w jakim był przed obciążeniem, odkształcenie takie nazywamy sprężystym.

Przy pewnej wielkości obciążenia (jednostkowego) grunt przestaje mieć odkształcenia sprężyste; przy powiększeniu tych obciążeń, grunt otrzymuje odkształcenia niesprężyste, stałe.

Wielkość obciążenia, przy którym odkształcenia przestają być sprężystymi, jest granicą sprężystości; nazywają go również wytrzymałością gruntu, jeżeli założymy, że grunt nie może być obciążany do tego stopnia, aby miały miejsce obciążenia stałe; w wielu wypadkach przy wznoszeniu budowli inżynierskich dopuszcza się obciążenia poza granicą sprężystości, o ile tych deformacji niesprężystych, jak np. osiadania budowli w pewnych granicach wskutek zbyt wielkiego obciążenia gruntów, nie obawiamy się. Często w podręcznikach inżynierskich znajdujemy tablice w rodzaju, jak tablica IX ¹⁾.

¹⁾ Förster. Taschenbuch für Bauingenieure. Berlin 1920.

Tablica IX

Rodzaj gruntu	Dopuszczalne obciążenie kg/cm^2
Twarda, mocna skała . . .	20—30
Piaskowiec, tuf, trachit. . .	7—15
Zbity żwir	6— 8
Zbity piasek.	4— 6
Zbity drobny piasek. . . .	4— 5
Gлина	3— 4
Naturalny grunt nasypany. .	0,5—1,0

Są to dane przyjęte przez poszczególnych autorów z praktyki; nie zawsze są one miarodajne; warunki, w jakich poszczególne grunty się znajdują, są tak różne, a grunty mają tak różny skład i właściwości, że normy oznaczane w takich tablicach są problematyczne, pomimo przewidywanego dużego zapasu bezpieczeństwa; nie można więc ręczyć, czy przy podanych w tablicach obciążeniach nie nastąpią odkształcenia stałe gruntu, które w pewnych wypadkach mogą być bardzo niepożądane dla budowli, które wznosimy.

Granica sprężystości jednego i tego samego gruntu może wahać się w szerokich granicach w zależności od warunków, w jakich grunt się znajduje, np. w zależności od stopnia wilgotności danego gruntu.

Sprężyste odkształcenia gruntu zależą od sprężystych odkształceń cząsteczek gruntów oraz częściowo od sprężenia powietrza w porach (wolnej przestrzeni) pomiędzy cząsteczkami gruntów.

Odształcenie ogólne, równe odkształceniu sprężystemu i stałemu, z początku jest w stosunku prostym do wielkości obciążenia, a następnie w miarę zbliżania się jego do granic wytrzymałości zaczyna szybko wzrastać.

Wielkość odkształceń zależy od rodzaju gruntu, jego wilgotności, wymiarów powierzchni zgniatanej i jej zagłębienia pod powierzchnią gruntu.

Sprawą sprężystości gruntów zaczęto w obszerniejszym zakresie zajmować się dopiero w ostatnich latach; istnieją badania liczne, na ogół jednak sprawa przedstawia się jeszcze

chaotycznie, tym bardziej, że jest bardzo trudna do ujęcia dla celów praktycznych ze względu na różnorodność warunków, w jakich grunty mogą się znajdować i na różnorodność samych gruntów. Np. bardzo wiele pozostawia do życzenia sprawa oznaczania modułu sprężystości gruntów. Na zasadzie znanego prawa Hooke'a wielkość odkształceń, w granicach sprężystości, jest w stosunku prostym do siły wywołującej te odkształcenia, stąd wypływa wzór:

$$A = \frac{P}{E}.$$

We wzorze powyższym oznacza:

E — moduł sprężystości w kg/cm^2 ,

P — siła zewnętrzna w kg ,

A — odkształcenie gruntu liniowe w kierunku działania siły.

Na zasadzie badań, przeprowadzonych przez różnych badaczy, moduł sprężystości E zależy od wielu czynników: składu granulometrycznego gruntu, wilgotności, wielkości ciśnienia, pierwotnego ubicia itp. Według prof. K. Terzaghi dla gliny, przy różnych stopniach jej wilgotności, moduł sprężystości waha się w dużych granicach, znacznie powiększając się w miarę zmniejszania się stopnia wilgotności (p. tablica X).

Tablica X

Wilgotność gliny w %	Moduł sprężystości E
27	115— 76
23	310— 195
14	3160—3460
3	7310—6100

Przy powiększaniu ciśnienia na grunt, E powiększa się. Pomiedzy modułem sprężystości E i ciśnieniem włoskowatym P_k istnieje ważny dla praktyki stosunek, mianowicie stosunek $\frac{E}{P_k} = \text{const.}$ — jest stały, niezależny od stopnia wilgotności: daje to możność określenia modułu sprężystości danego gruntu przy

dowolnym ciśnieniu włoskowatym P_k , o ile mamy moduł ten określony dla pewnej wartości P_k .

2. Ścisłość gruntów

Ścisłością gruntów nazywamy właściwość gruntów zmniejszania objętości pod wpływem zewnętrznej siły (obciążenia), bądź też pod wpływem sił wewnętrznych — przyciągania się wzajemnego cząsteczek gruntu.

Ścisłość zależy od wilgotności gruntów, ich rodzaju, ubicia, struktury itp.

Np. ścisłość piasku jest zwykle niewielka; gliny posiadają ścisłość znacznie większą; jeżeli przy tym ciśnienie zewnętrzne będzie zmniejszane lub usuwane, glina i grunty gliniaste rozszerzać się będą stosunkowo więcej, niż w tych samych warunkach grunty piaszczyste, co dowodzi większej sprężystości gruntów gliniastych, niż piaszczystych.

Wilgotność gruntu ma duży wpływ na jego ścisłość: przy powiększaniu ciśnienia na grunt i zmniejszaniu objętości gruntu, zmniejsza się jego wilgotność.

Ścisłość i wilgotność gruntu są w stosunku następującym: przy swobodnym odpływie wyciśniętej wody dla danego gruntu poszczególnym wartościom ciśnień na grunt odpowiada pewna wilgotność i na odwrót, każdej wilgotności odpowiada pewne odpowiednie jej ciśnienie na grunt. Ma to duże znaczenie praktyczne, gdyż pozwala, na podstawie badań laboratoryjnych, zestawiać wykresy zależności między ciśnieniem wywieranym na grunt i jego wilgotnością.

Na podstawie takiego wykresu, mając z pobranej próbki dla danego gruntu określoną wilgotność naturalną (stałą) na głębokości projektowanego fundamentu, możemy dla tego projektowanego fundamentu dobrać tak ciśnienie na grunt, aby ono odpowiadało tej wilgotności: po wykonaniu budowli nie nastąpi osiadanie fundamentu.

Jeżeli ciśnienie projektowanego fundamentu na grunt będzie większe, niż to wynika z wykresu, spodziewać się należy pewnego osiadania fundamentu wskutek kompresji gruntu pod fundamentem do stopnia wilgotności, odpowiadającego temu ciśnieniu.

3. Spulchnienie gruntu

Przy wydobywaniu ziemi z wykopu i po umieszczeniu jej w nasypie, wskutek naruszenia jej spójności, rozbicia na bryły, grudki i pył, wskutek rozluźnienia cząsteczek ziemi, powiększa nieraz znacznie swoją objętość w stosunku do tej objętości, jaką miała pierwotnie. To powiększenie objętości nazywane spulchnieniem — w zależności od rodzaju gruntu — bywa od 10% do 50%.

Spulchnienie składa się z 2 części: czasowego i stałego.

Ziemia wzruszona i świeżo usypana pod naciskiem warstw górnych, pod wpływem opadów atmosferycznych w ciągu pewnego, nieraz dość długiego, okresu czasu „osiada”, zmniejsza swoją objętość, tracąc czasowe spulchnienie.

Ubicie sztuczne świeżo usypanego gruntu — ręczne lub maszynowe — może skrócić okres osiadania.

Gdy ziemia w nasypie nie jest ubijana, po upływie pewnego okresu czasu, w zależności od rodzaju gruntu, traci spulchnienie czasowe; pozostaje spulchnienie stałe, tak nazywane z powodu, że pozostaje ono na bardzo długie okresy, a w pewnych razach na stałe (np. gdy skały przy dożywaniu rozbite są na odłamy).

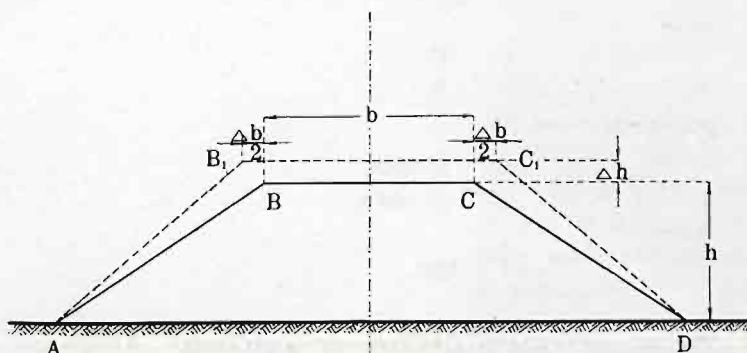
W podręcznikach inżynierskich podawane są tablice z wartościami spulchnienia czasowego i stałego dla różnych gruntów.

Dla ogólnej orientacji podana jest tablica XI.

Tablica XI

Rodzaj gruntu	Spulchnienie czasowe w % objętości	Spulchnienie stałe w % objętości
Grunty lekkie (piaski i grunty piaszczyste)	10 — 20	1—2
Grunty średnie (gliniasto-piaszczyste).	20 — 25	2—4
Grunty ciężkie (gliny, tłuczeń, kamień łamany	25 — 50	4—15 i więcej

Jeżeli więc mamy wykonać jakieś budowle ziemne i nie stosujemy ręcznego lub mechanicznego ubijania nasypów, a chcemy, aby nasypy miały wysokość wymaganą według projektu, należy nasypom dawać zapas na osiadanie i to zarówno na wysokość, jak i na szerokość; na rys. 8 przedstawiony jest przekrój poprzeczny projektowanego nasypu, $ABCD$ oraz po-



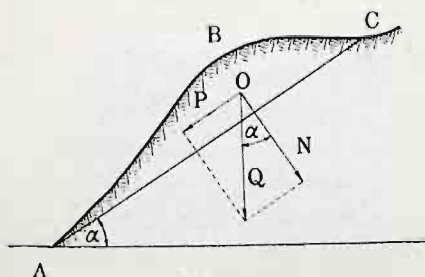
Rys. 8.

dany jest kontur nasypu AB_1C_1D , który należy wykonać, jeżeli chcemy, aby bez ubijania nasypu w czasie budowy, miał on, po upływie czasu niezbędnego dla osiadania nasypu, wymiary wymagane w projekcie.

Wartości Δh (podwyższeń) i Δb (poszerzeń) znajdujemy w podręcznikach inżynierskich w tablicach, ułożonych na podstawie danych z praktyki.

4. Tarcie w gruntach

Pewna masa gruntu $ABCA$ może być w równowadze (rys. 9), leżąc na powierzchni płaszczyzny AC z tego samego gruntu,

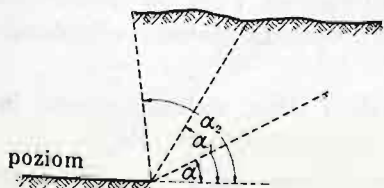


Rys. 9.

pochylonej do poziomu pod kątem α° , lub też pod wpływem wagi własnej Q może zsunąć się po tej płaszczyźnie.

Jeżeli siłę Q rozłożymy na dwie składowe: N — normalną do powierzchni AC i P — równoległą do niej, wtedy siła N wywoła tarcie między masą gruntu $ABCA$ na

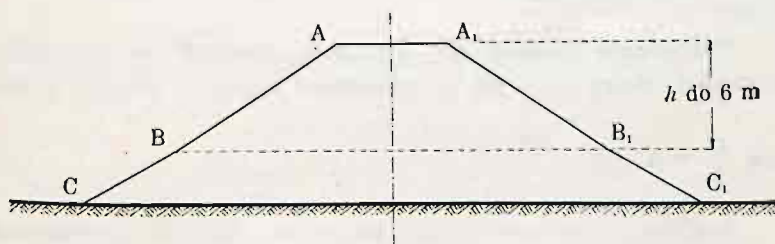
W zależności od tarcia pomiędzy cząsteczkami gruntu oraz zwięzłości niektórych gruntów, różne grunty mają różną stoczystość, tj. zdolność utrzymywania się w równowadze w skarpach (rys. 10), tj. płaszczyznach pochyłonych do poziomu pod różnymi kątami α , α_1 , $\alpha_2 \dots$



Rys. 10.

Jedne grunty mogą się trzymać w równowadze przy bardzo małym kącie α (np. mokre gliny lub drobne piaski), inne dopuszczają większy kąt α , (np. zwięzłe i niezbyt wilgotne grunty gliniasto-piaszczyste, suche lössy itp.). Suche lössy, np. mogą stać nawet w ścianach pionowych, o ile są zabezpieczone od wpływów wody atmosferycznej, wreszcie pokłady skał mogą mieć kąt $\alpha_2 > 90^\circ$ — mogą „wisieć” nad wykopem, o ile nie są uwarstwione i popękane w kierunkach, sprzyjających zsunięciu się odsłoniętej skały.

Kąt, pod którym grunty mogą się utrzymywać w równowadze w skarpie pochyłej, równy kątowi tarcia α [p. wzory (1) i (2) na str. 46], nazywany jest również kątem stoku naturalnego, a właściwość utrzymywania się gruntów w pochyłych skarpach — stoczystością gruntu.



Rys. 11a.

Stoczystość jest większa, im grunt jest zwięzlejszy i skarpom można nadać więcej strome pochylenie; stoczystość jest mniejsza, gdy grunt jest mało zwięzły (np. sypki lub nasiąknięty wodą) i skarpom trzeba nadać mniej strome pochylenie.

Pochylenie, jakie ze względu na trwałość nadaje się skarpom budowli ziemnych, zależy również: a) od siły i ilości

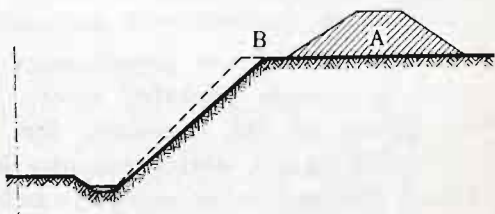
wstrząśnięć gruntu, jakie powoduje, np. ruch pociągów na kolei żelaznej lub pojazdów na drodze; b) od wysokości budowl ziemnych (nasypów lub wykopów); i c) od obciążenia powierzchni terenu w pobliżu skarp oraz od stopnia wilgotności gruntu na skarpach.

Jeżeli wstrząśnienia są częste i silne, dajemy skarpy łagodniejsze, niż tam, gdzie takich wstrząśnięć nie ma.

Gdy skarpy są długie — w dolnej części wykonujemy skarpe o pochyleniu mniejszym (np. dolna część skarpy $B_1 C_1$, przy nasypach wyższych niż 6 m, rys. 11a).

Gdy na powierzchni terenu mamy obciążenie w pobliżu śladu skarpy (B), np. od wału (A) odłożonej ziemi z wykopu (rys. 11b), skarpy również dajemy łagodniejsze.

Gdy skarpy są zawilgocone (w wykopach, gdy grunty są nasiąknięte wodą) lub zanurzone chociażby częściowo w wodzie (w nasypach zbudowanych w terenach zalewowych), również należy skarpom takim nadawać pochylenie łagodniejsze.



Rys. 11b.

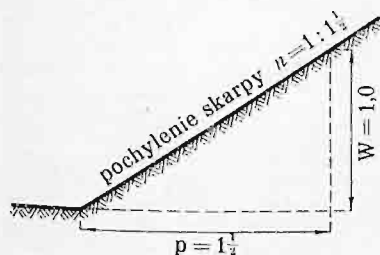
Pochylenie skarpy do poziomu oznacza się stosunkiem wysokości skarpy (w) do jej podstawy (p), (rys. 12), tj. stosun-

$$\text{kiem } \frac{w}{p} = n.$$

Praktykowane pochylenia skarp w różnych gruntach są następujące:

dla piasku drobnego	$n = 1:1,7$ do $1:1,5$
dla piasku gruboziarnistego	$n = 1:1,6$ do $1:1,3$
dla gliny suchej	$n = 1:1,7$ do $1:1,1$
dla gliny mokrej	$n = 1:5,7$ do $1:1,7$
dla kamienia narzutowego	$n = 1:1,5$ do $1:1,1$
dla kamienia łupanego	$n = 1:1,1$ do $1:0,9$

Dla skał w wykopach można stosować skarpy pionowe, a niekiedy „wiszące”, jeżeli jest pewność, że odłamy tych skał nie będą się tworzyć i nie będą miały tendencji do zsuwania się.



Rys. 12.

W zwykłych gruntach: piaskach, gruntach piaszczystych i gliniastych stosuje się zwykle pochylenie skarp $1:1\frac{1}{2}$.

Niekiedy pochylenie skarp zmienia się w zależności od wysokości nasypu lub głębokości wykopu ¹⁾:

przy wysokości od 0	do 4,0 m	pochylenie skarp	1:1
"	"	od 4,0 do 8,0 m	" " $1:1\frac{1}{4}$
"	"	od 8,0 i więcej	" " $1:1\frac{1}{2}$

Ze względu na różne czynniki destrukcyjne skarpy budowli ziemnych przeważnie się zabezpiecza przeciw działaniu tych czynników różnymi sposobami (p. rozdział VI).

¹⁾ Według przepisów dla kolei żelaznych francuskich i belgijskich.