

Część Pierwsza

Budowa i właściwości fizyczne gruntów

Część Druga

Właściwości Mechaniczne Gruntu

Część Trzecia

Metody modelowania procesów w ośrodkach gruntowych

Część Czwarta

Procesy mechaniczne w ośrodkach gruntowych

Część Pierwsza

Budowa i właściwości fizyczne gruntów

- 1. Miejsce i zadania mechaniki gruntów**
- 2. Budowa gruntów**
 - **Powstawanie gruntu**
 - **Trójfazowa budowa gruntu**
 - **Charakterystyka składników szkieletu gruntowego**
 - **Struktury gruntów**
- 3. Klasyfikacja gruntów**
 - **Uziarnienie i charakterystyki uziarnienia**
 - **Klasyfikacja gruntów wg starych norm**
 - **Klasyfikacja gruntów wg nowych norm**
- 4. Woda w gruncie**
 - **Rodzaje wód występujących w gruncie i ich charakterystyka**
 - **Kapilarność**
 - **Skurczalność i ekspansywność gruntu**
 - **Zjawiska mrozowe w gruncie**

Część Pierwsza

Budowa i właściwości fizyczne gruntów

5. Właściwości fizyczne gruntów

- Parametry opisujące własności fizyczne
- Parametry zagęszczenia gruntów
- Parametry plastyczności gruntów
- Karty plastyczności

6. Przepływ wody w gruncie

- Istota przepływu cieczy w gruncie
- Filtracja. Prawo Darcy'ego. Ograniczenia prawa Darcy'ego
- Metody wyznaczania współczynnika filtracji
- Podstawowe równanie przepływu w gruncie
- Siatka filtracyjna

7. Zjawiska związane z ruchem wody w gruncie

- Ciśnienie sphywowe
- Spadek krytyczny
- Zmiany w gruncie wywołane filtracją
- Zasady zabezpieczania gruntów przed szkodliwym działaniem filtracji

Część Druga

Właściwości Mechaniczne Gruntu

1. Właściwości odkształceniowe gruntu

- Opis stanu odkształcenia
- Ścisłość gruntu
- Konsolidacja gruntu
- Osiadanie gruntu

2. Właściwości wytrzymałościowe gruntu

- Warunek zniszczenia Coulomba – Mohra
- Parametry wytrzymałościowe gruntu
- Badania wytrzymałości gruntu na ścinanie

Część Trzecia

Metody modelowania procesów w ośrodkach gruntowych

1. Parcie gruntu

- Stany oddziaływania gruntu
- Parcie spoczynkowe
- Parcie czynne i bierne
- Parcie pośrednie gruntu
- Parcia silosowe

2. Nośność podłoża gruntowego

3. Stateczność skarp i zboczy

- Metody wyznaczania kształtu profilu statecznego
 - Metoda Masłowa FP
 - Metody stanów granicznych
 - Metoda Sokołowskiego-Senkowa

Część Trzecia

Metody modelowania procesów w ośrodkach gruntowych

- **Metody równowagi granicznej analizy stateczności**
 - **Założenia metod równowagi granicznej**
 - **Metoda Felleniusa**
 - **Metoda Bishopa**
 - **Metoda Janbu**
 - **Metoda Morgensterna-Price**
- **Procesy osuwiskowe**
- **Profilaktyka osuwiskowa**
- **Zwalczanie osuwisk**

Efekty kształcenia

Po ukończeniu kursu student powinien znać właściwości fizyczne i mechaniczne gruntów budowlanych wraz z metodami ich oznaczania, umieć wyznaczać naprężenia w obciążonym ośrodku gruntowym, rozumieć relacje pomiędzy naprężeniami i odkształceniami w gruncie, znać zasady obliczania parcia gruntów na konstrukcje oporowe oraz metody analizy stateczności skarp. Przedmiot daje teoretyczne podstawy projektowania fundamentów budowli i innych konstrukcji inżynierskich oraz budowli ziemnych.

Mechanika Gruntów

obejmuje teoretyczne podstawy zjawisk, które występują w gruncie stanowiącym podłoże budowli, ośrodek w którym wykonywane są roboty inżynierskie oraz materiał, z którego wznoszone są budowle ziemne.



Mechanika gruntów stanowi więc teoretyczną część **geotechniki**, dziedziny działalności inżynierskiej obejmującej roboty ziemne, fundamentowanie, budowle i konstrukcje ziemne oraz wzmocnianie i uszczelnianie podłoża.

Karl Terzaghi (1883-1963)

- **Ojciec nowoczesnej mechaniki gruntów**
- **Urodziny w Pradze, w 1925 roku pisze "Erdbaumechanick"**
- **Wykłada w MIT (1925-1929)**
- **Wykłada w Harvardzie (1938 i później)**



According to Terzaghi (1948): "Soil Mechanics is the application of laws of mechanics and hydraulics to engineering problems dealing with sediments and other unconsolidated accumulations of solid particles produced by the mechanical and chemical disintegration of rocks regardless of whether or not they contain an admixture of organic constituent."

Geotechnika, Inżynieria geotechniczna

Inżynieria geotechniczna zajmuje się naukową i praktyczną stroną tej części inżynierii cywilnej, która dotyczy materiałów naturalnych w sąsiedztwie powierzchni ziemi.

B.M. Das, 1985

Inżynieria geotechniczna jest gałęzią inżynierii cywilnej, która zajmuje się gruntami, skałami i wodą oraz ich powiązaniem z projektowaniem i wykonawstwem projektów inżynierskich

D.P. Coduto, 1999

Inżynieria geotechniczna zajmuje się zastosowaniem nauk takich jak: mechanika gruntów, mechanika skał oraz geologia inżynierska i im pokrewnych w inżynierii cywilnej, przemyśle wydobywczym oraz ochronie i inżynierii środowiska

N. Morgenstern, 2000

Miejsce i Zadania Mechaniki Gruntów w Inżynierii (Geotechnice)



Projektowanie i wykonawstwo budowli



Posadowienie budowli na gruntach



Składowiska odpadów



Specjalne problemy

Wykorzystanie mechaniki gruntów w rozwiązywaniu problemów geotechnicznych

PROJEKTOWANIE I WYKONAWSTWO BUDOWLI ZIEMNYCH

- dobór materiału do budowy zapór ziemnych, wałów, grobli, dróg, itp.
- wybór metod obliczania stateczności i odkształceń
- badanie i dobór parametrów do obliczeń
- kontrola stanu technicznego budowli

POSADOWIENIE BUDOWLI NA GRUNTACH

- rozpoznanie właściwości podłoża
- wybór metody posadowienia
- wzmacnianie podłoża
- dobór metod obliczeniowych w projektowaniu

SKŁADOWISKA ODPADÓW

- składowanie odpadów przemysłowych i komunalnych
- wykorzystanie odpadów przemysłowych w budownictwie
- zagospodarowanie terenów przemysłowych

SPECJALNE PROBLEMY

- posadowienie budowli na gruntach ekspansywnych
- dynamiczne obciążenia gruntów

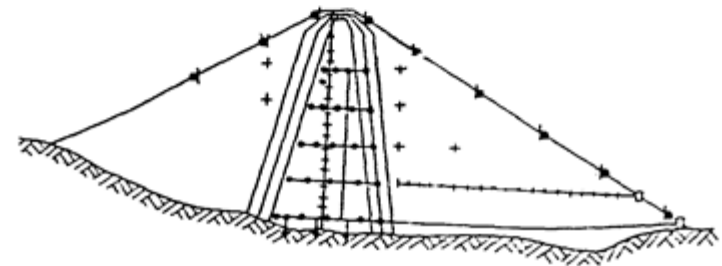
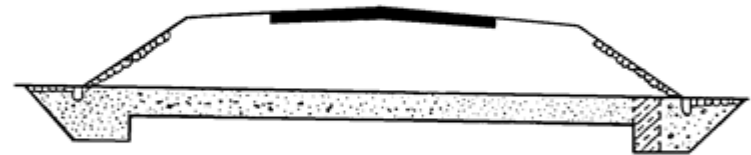
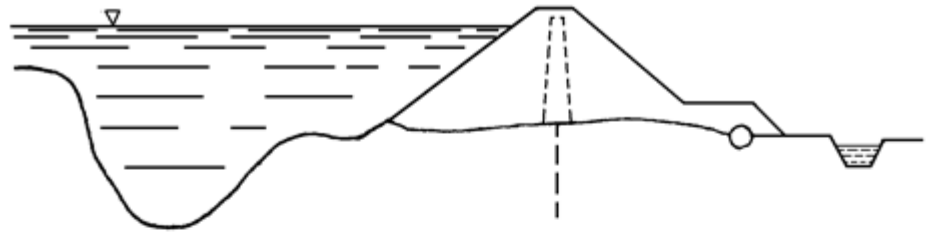
Projektowanie i wykonawstwo budowli ziemnych

dobór materiału do budowy zapór ziemnych, wałów, grobli, dróg, itp.

wybór metod obliczania stateczności i odkształceń

badanie i dobór parametrów do obliczeń

kontrola stanu technicznego budowli





AGH

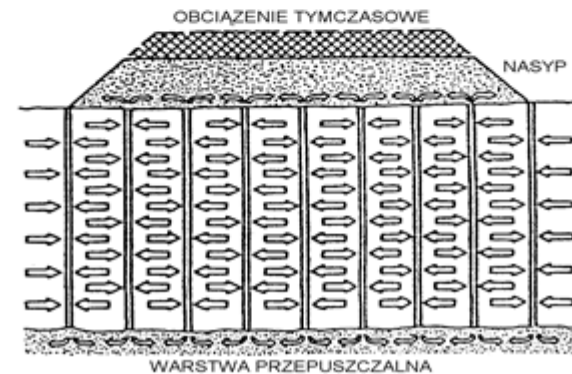
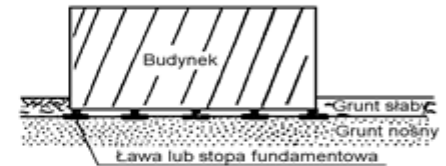
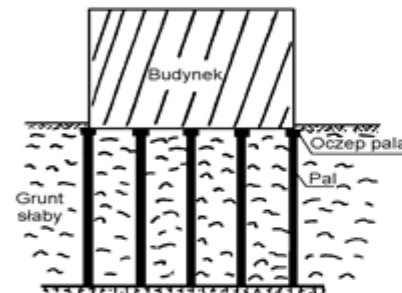
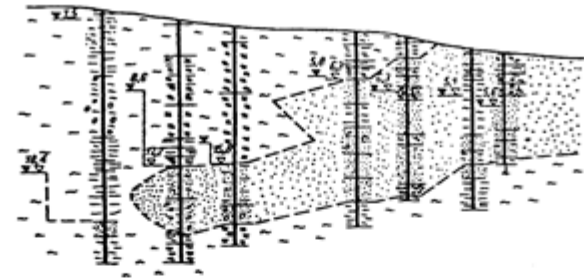
Posadowienie budowli na gruntach

rozpoznanie właściwości podłoża

wybór metody posadowienia

wzmacnianie podłoża

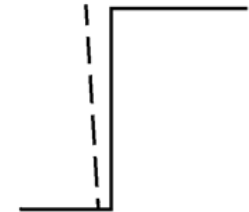
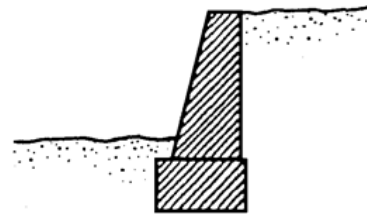
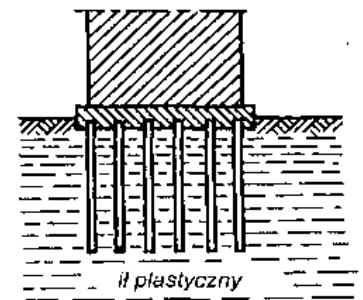
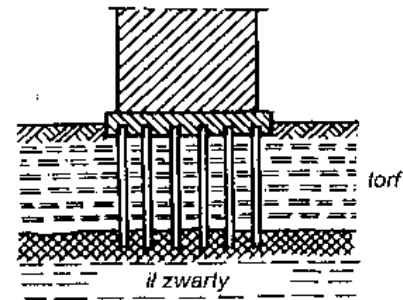
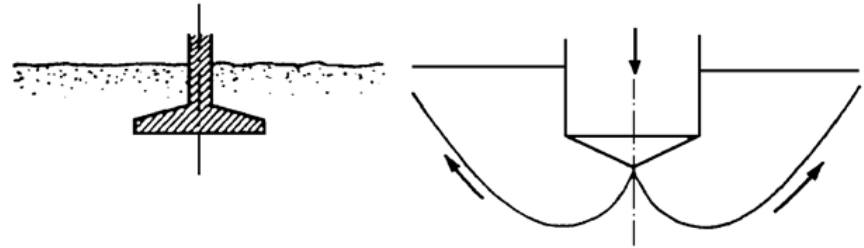
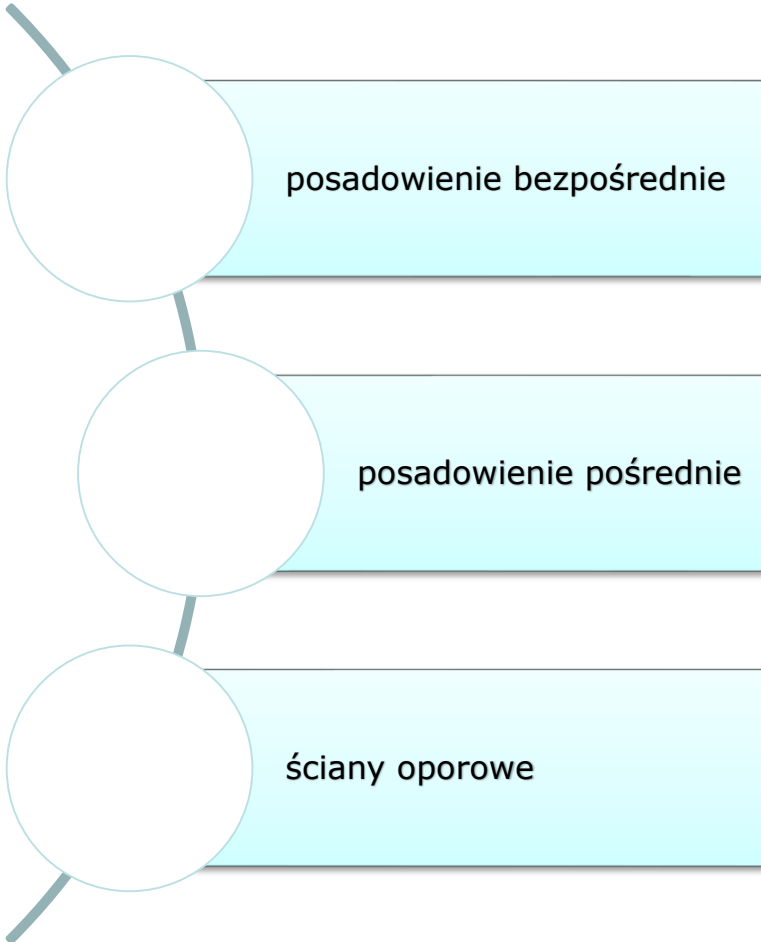
dobór metod obliczeniowych w projektowaniu





AGH

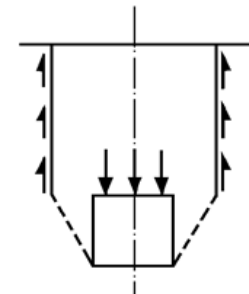
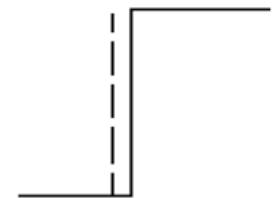
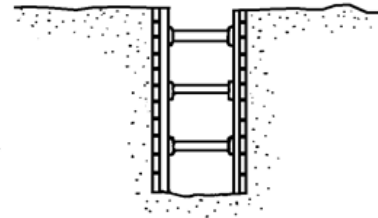
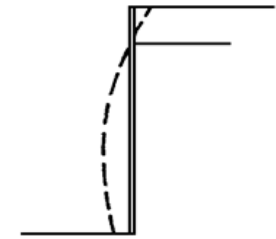
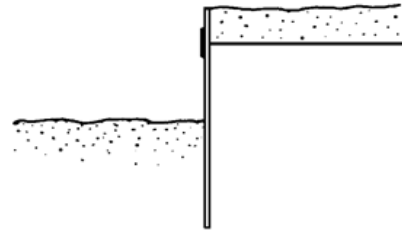
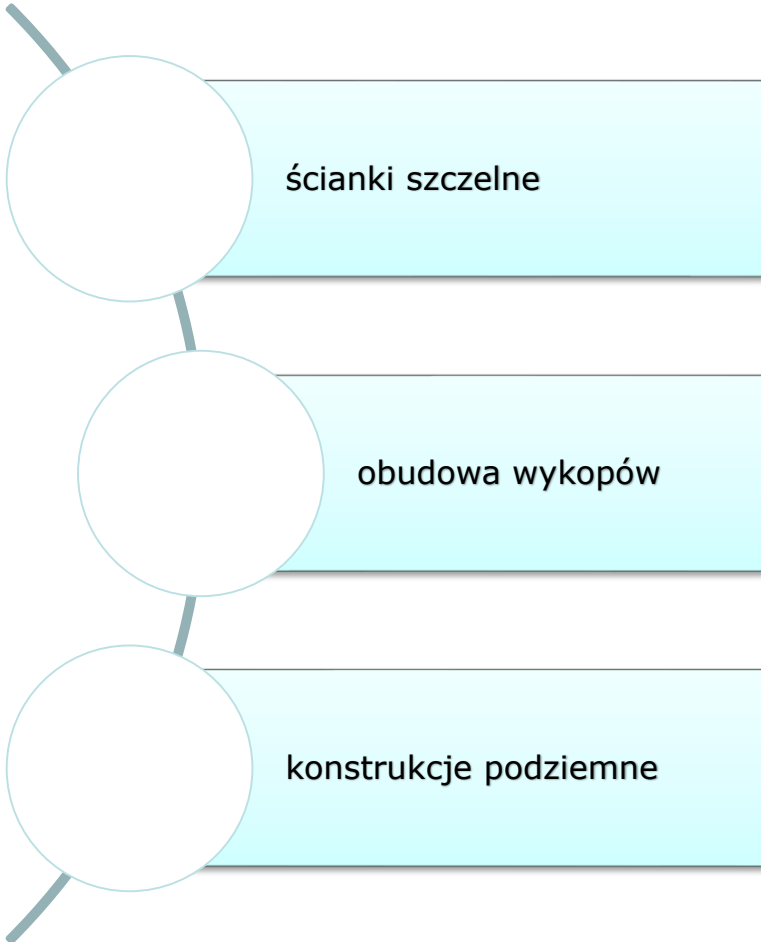
Posadowienie budowli na gruntach





AGH

Posadowienie budowli na gruntach





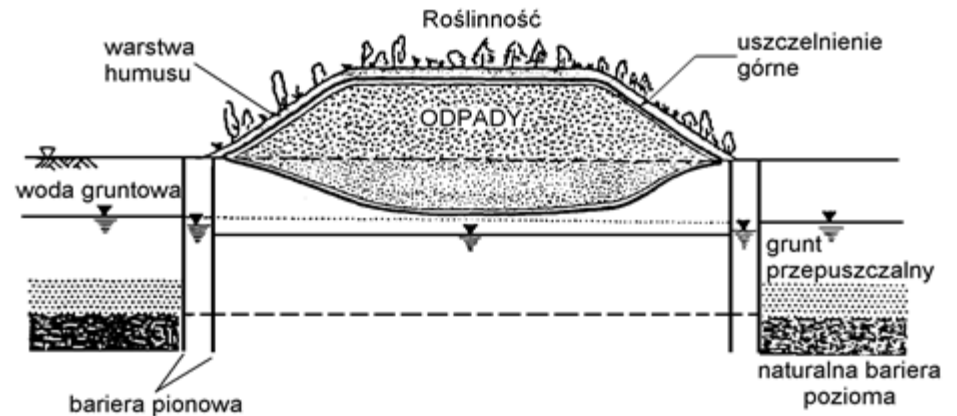
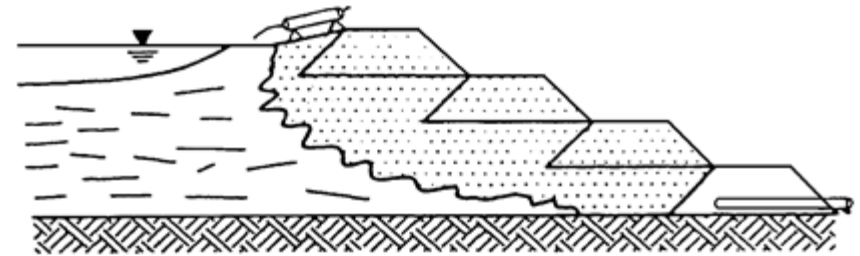
AGH

Składowiska odpadów

składowanie odpadów przemysłowych i komunalnych

zagospodarowanie terenów przemysłowych

wykorzystanie odpadów przemysłowych w budownictwie



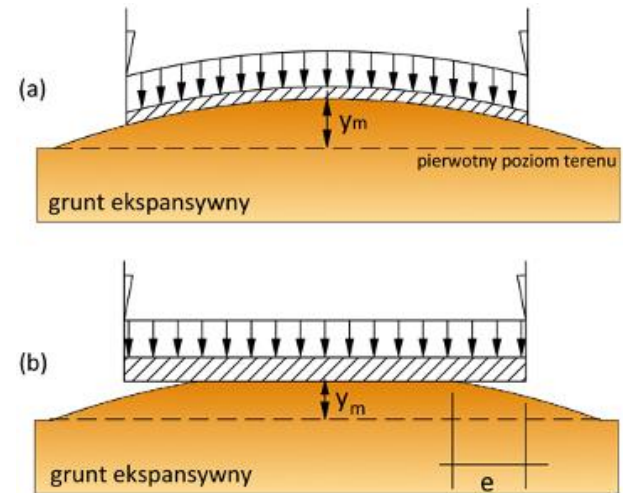


AGH

Specjalne problemy

posadowienie budowli
na gruntach
ekspansywnych

dynamiczne obciążenia
gruntów



Budowa gruntów

- 1. Powstawanie gruntu**
- 2. Trójfazowa budowa gruntu**
- 3. Charakterystyka składników szkieletu gruntowego**
- 4. Struktury gruntów**

Geneza gruntu

Dla **gleboznawcy** ... grunt (lub raczej gleba) jest substancją istniejącą na powierzchni ziemi, która umożliwia rozwój flory.

Dla **geologa** ... grunt jest cienką powłoką na powierzchni ziemi (tam gdzie występują korzenie roślin i drzew), pozostałą część skorupy ziemskiej określa się mianem skała, niezależnie od jej zwięzłości.

Dla **inżyniera** ... grunt jest niezwiązanym złożem mineralnych lub organicznych cząstek lub ziaren pokrywającym znaczną część skorupy ziemskiej.

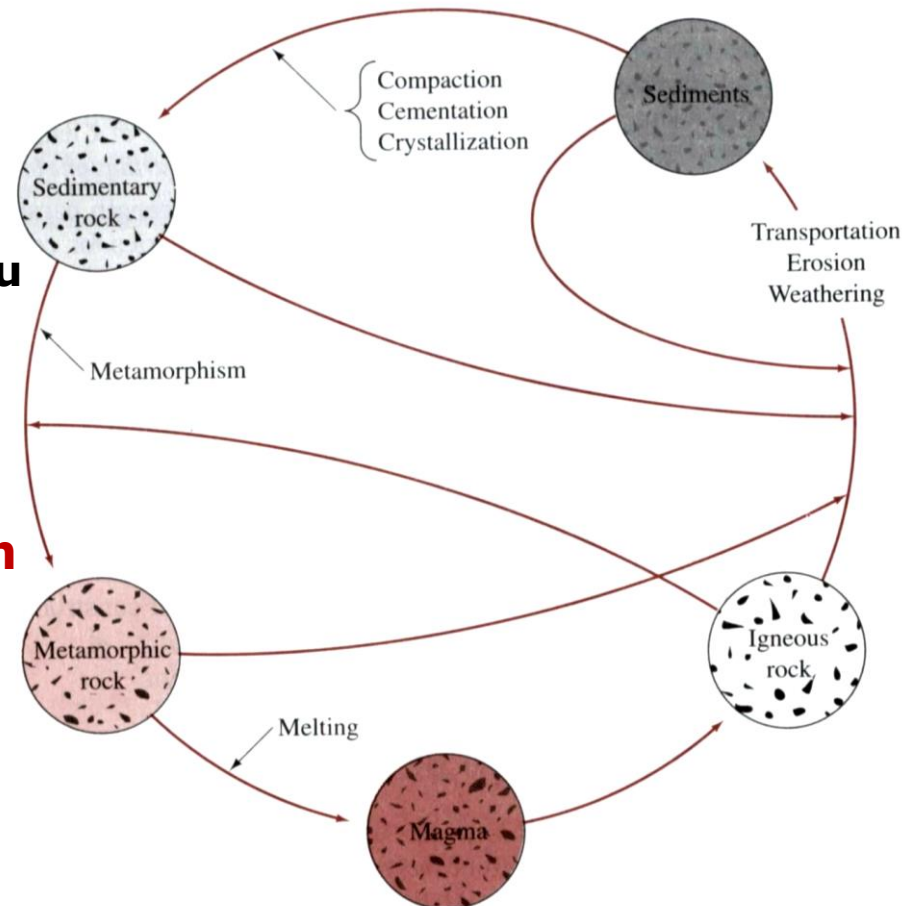
Dla **geotechnika** grunt jest akumulacją niezwiązanych lub słabo związanych cząstek mineralnych powstałą na skutek wietrzenia skał, pory pomiędzy cząstkami stałymi mogą być wypełnione wodą lub/i powietrzem.

Craig, 1996

Geneza gruntu

Ciągły cykl wietrzenia, erozji, transportu, sedymentacji, cementacji, kruszenia i cementacji, rekrytalizacji, konsolidacji, metamorfizmu lub topnienia dla przetworzenia gruntu w skałę.

Ostatecznym produktem wietrzenia jest grunt



Geneza gruntu

- **Grunty** tworzą wierzchnią warstwę litosfery, są to materiały powstałe z wietrzenia fizycznego, chemicznego i organicznego oraz rozdrobnienia mechanicznego skał pierwotnych.
- **Wietrzenie fizyczne** wywołane jest głównie wahaniami temperatury, zamarzaniem wody w porach a także działaniem rozsadzającym korzenie roślin. W wyniku działania tych czynników skały ulegają osłabieniu i rozpadowi na bloki a następnie na coraz drobniejsze okruchy.
- **Wietrzenie chemiczne** powoduje rozpad skał oraz zmiany w ich składzie chemicznym wskutek procesów chemicznych zachodzących wewnątrz skał. Głównymi czynnikami wywołującymi wietrzenie chemiczne jest woda oraz powietrze.
- **Wietrzenie organiczne** jest wywołane przez procesy życiowe zwierząt i roślin.
- **Procesy erozyjne i transport materiału** powodują rozdrobnienie okruchów występujących w skorupie ziemskiej oraz zmiany w podłożu macierzystym

Produkty wietrzenia skał oraz frakcje uziarnienia gruntów (wg PN - 86/B - 02480)

Produkty wietrzenia lub rozdrobnienia skały pierwotnej			Nazwa frakcji i ich wymiary
Wietrzenie fizyczne	Wietrzenie chemiczne	Rozdrobnienie mechaniczne przy transporcie	
bloki kamienne i głązy ostrokrawędziste	-	głązy otoczone i otoczaki	Kamienista (f_k) powyżej 40 mm
okruchy ostrokrawędziste	nie zwietrzałe okruchy ostrokrawędziste	okruchy obtoczone	Żwirowa (f_z) 40 ÷ 2 mm
ziarna ostrokrawędziste	kryształy odporne na wietrzenie	ziarna obtoczone	Piaskowa (f_p) 2 ÷ 0.05 mm
	drobne kryształy skały pierwotnej	mączka skalna powstała przy obtaczaniu ww. okruchów	Pyłowa (f_n) 0.05 ÷ 0.002 mm
	minerały iłowe	bardzo drobne cząstki mączki skalnej o wymiarach poniżej 0.002 mm	Iłowa (f_i) poniżej 0.002 mm

Produkty wietrzenia skał oraz frakcje uziarnienia gruntów (wg PN-EN ISO 14688-2)

Frakcje wg PN-EN ISO 14688-2

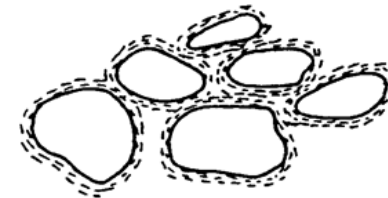
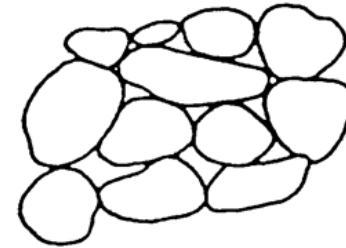
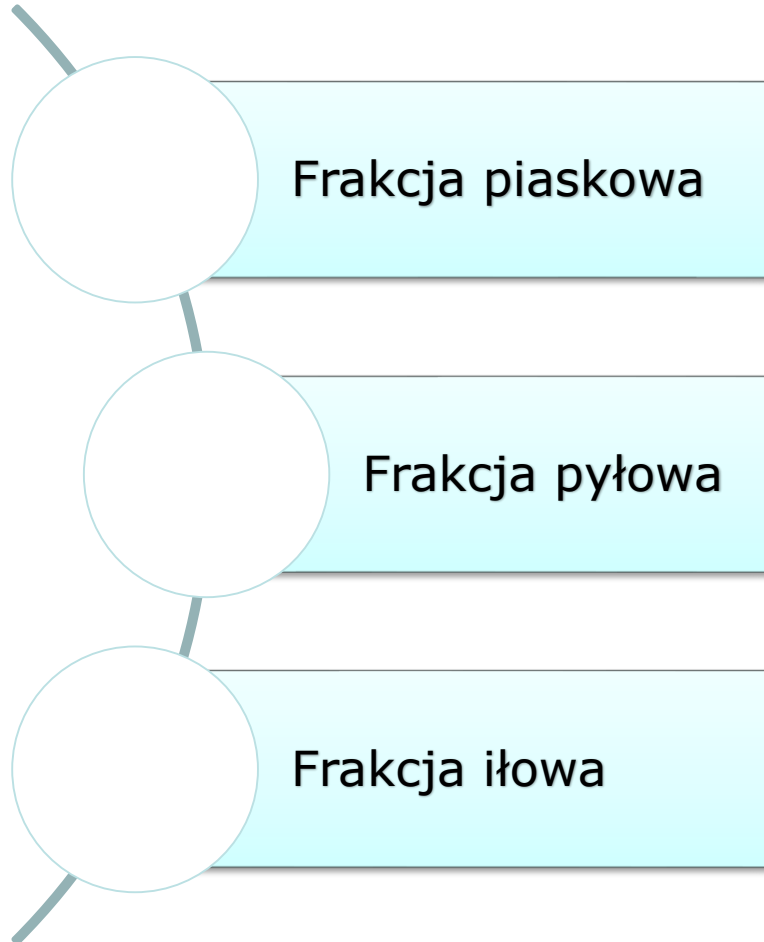
Frakcje wg PN-86/B-02480

Grunty	Rodzaj gruntu	Symbol	Wymiary cząstek w mm	Wymiary cząstek w mm	Symbol	Frakcje	Grunty
BARDZO GRUBOZIARNISTE	Duże głazy <i>(Large boulder)</i>	LBo	>630				KAMIENISTE
	Głazy <i>(Boulder)</i>	Bo	>200÷630				
	Kamienie <i>(Cobble)</i>	Co	>63-200				
GRUBOZIARNISTE	Żwir <i>(Gravel)</i>	Gr	>2,0÷63	>2,0÷40	f _z	żwirowa	GRUBO-ZIARNISTE
	Żwir gruby <i>(Coarse gravel)</i>	CGr	>20÷63				
	Żwir średni <i>(Medium gravel)</i>	MGr	>6,3÷20				
	Żwir drobny <i>(Fine gravel)</i>	FGr	>2,0÷6,3				
	Piasek <i>(Sand)</i>	Sa	>0,063÷2,0	>0,05÷2,0	f _p	piaskowa piasek gruby piasek średni piasek drobny	
Piasek gruby <i>(Coarse sand)</i>	CSa	>0,63÷2,0	>0,5÷2,0				
Piasek średni <i>(Medium sand)</i>	MSa	>0,2÷0,63	0,05÷0,25				
Piasek drobny <i>(Fine sand)</i>	FSa	>0,063÷2,0					
DRONOZIARNISTE	Pyl <i>(Silt)</i>	Si	>0,002÷0,06	0,002÷0,05	f _π	pyłowa	DRONO-ZIARNISTE
	Pyl gruby <i>(Coarse silt)</i>	CSi	3				
	Pyl średni <i>(Medium silt)</i>	MSi	>0,02÷0,063				
	Pyl drobny <i>(Fine silt)</i>	FSi	>0,0063÷0,02				
			>0,002÷0,0063				
	II <i>(Clay)</i>	Cl	≤ 0,002	≤0,002	f _i	iłowa	



AGH

Frakcje gruntu



Podział gruntów (w zależności od sposobu ich powstawania)

Grunty pochodzenia miejscowego

gliny zwietrzelinowe

rumosze zwietrzelinowe

Grunty naniesione

rzeczne

morskie

lodowcowe

eoliczne

zastoiskowe

organiczne

Grunty pochodzenia miejscowego

Są to grunty powstające na skutek wietrzenia skał pierwotnych i nie poddane procesom transportu. Należą do nich przede wszystkim gliny zwietrzelinowe i rumosze zwietrzelinowe.

Gliny zwietrzelinowe – składają się głównie z cząstek iłowych powstałych na skutek rozkładu skałeni oraz okruchów nie zwietrzałej skały. Występują w rejonach zbudowanych ze skał z przewagą minerałów skałeniowych, gdy niemożliwe jest wmywanie drobnych cząstek przez wodę.

Rumosze zwietrzelinowe – powstają wówczas, gdy możliwe jest wmywanie drobnych cząstek przez przepływającą wodę i osadzanie w nieckach bezodpływowych. Rumosze zwietrzelinowe składają się głównie z ostrokrawędzistych okruchów i odłamków skał pierwotnych.

Grunty naniesione

Pochodzenia rzecznego – powstają w wyniku transportu przez potoki i rzeki. Na skutek tarcia okruchy skalne zaokrąglają się tworząc **otoczaki** i **ziarna żwirowe**. Z mniejszych okruchów powstają **ziarna piaszczyste** oraz mączka skalna tworząca **cząstki pyłowe**. Wymienione produkty przenoszone są przez wody płynące i odkładane stopniowo w miarę zmniejszania się prędkości nurtu. W górnym biegu odkładane są **otoczaki, ziarna żwirowe i piaski grube**, w środkowym **piaski średnie** a w dolnym **piaski drobne i pyły**.

Grunty naniesione

Pochodzenia morskiego – transportowane przez płynącą wodę cząstki iłowe i pyłowe trafiają do mórz, gdzie po skoagulowaniu cząstek iłowych osadzają się na dnie, tworząc **namuły**. Warstwy namułów przedzielone są warstewkami drobnych piasków, przenoszonych przez rzeki w okresach powodziowych. Na dnie morskim osadzają się również skorupki i szkielety mikroorganizmów, które pod wpływem ciśnienia przekształcają się w **wapienie, dolomity** lub **margle** (jeżeli równocześnie osadzały się cząstki iłowe).

Z upływem czasu ciśnienie wody, zmiany temperatury i środowiska chemicznego powodują, że warstwy piasków zlepione lepiszczem przekształcają się w **piaskowce**, a namuły w **iły, łupki** lub **iłołupki**.

Grunty naniesione

Grunty lodowcowe (glacjalne) – powstałe w wyniku działalności lodowców, które wielokrotnie nasuwały się z nad Skandynawii, pokrywając znaczną część Europy Północnej warstwą o grubości przekraczającej 1000 m. Olbrzymie ciśnienia wywierane przez lodowiec (przekraczające 10 MPa) powodowały pofałdowania pierwotnej powierzchni terenu oraz porywanie części podłoża. W okresie topnienia (cofania się lodowca) odkładane były zawarte w nim masy skalne tworząc złoża **głazów narzutowych, glin zwałowych, porwaków iłów, piasków i żwirów.**

Utwory eoliczne – powstały w okresach polodowcowych w wyniku działalności wiatrów o dużej sile. Wiatry te w pustynnym, pozbawionym roślinności terenie przenosiły niezwiązane ziarna drobnych piasków oraz cząstki pyłowe, w wyniku czego powstały **piaski wydmowe** lub **lessy.**

Grunty naniesione

Utwory zastoiskowe i organiczne – mineralne cząstki gruntowe osadzone w zbiornikach bezodpływowych lub na tarasach rzecznych powodują tworzenie się **mułów jeziornych** i **mad rzecznych**. Jeżeli obok cząstek mineralnych znajdują się cząstki humusowe to powstają utwory organiczne zwane **namułami**. Bezodpływowe jeziora (np. polodowcowe) oraz stare koryta rzek zarastają i zamieniają się w **torfowiska**.

Rodzaje cząstek i minerałów

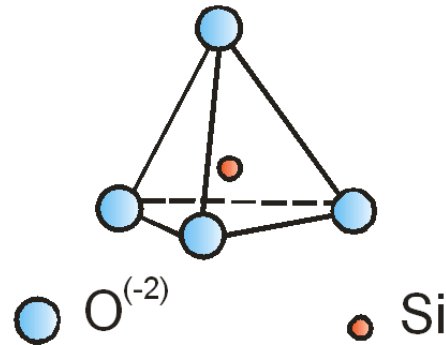
Skład mineralny gruntów zależy od minerałów budujących ziarna i cząstki, z których składają się poszczególne grunty rozdrobnione:

- **bloki, głązy skalne i ziarna żwirowe**, mają ten sam skład mineralny co skały macierzyste.
- **piaskowe** składają się z kwarcu i krzemionki, są dość odporne na wietrzenie chemiczne. Świeżo powstałe piaski mogą zawierać ziarna skaleni, podatne na wietrzenie chemiczne. Znane są piaski mikowe, gipsowe i wapienne.
- **cząstki pyłowe** (mączka skalna) powstają wskutek tarcia i zaokrąglenia krawędzi okruchów skalnych w czasie ich przenoszenia przez wodę i wiatr. Świeżo odłożone pyły zawierają znaczną ilość cząstek skaleniowych lub mikowych, które szybko ulegają procesowi wietrzenia chemicznego i są albo wymywane lub pozostają jako cząstki iłowe tworząc pyły ilaste (gliny pylaste).
- **cząstki iłowe** składają się przeważnie z minerałów iłowych, powstałych jak produkt chemicznego wietrzenia skaleni lub mik.

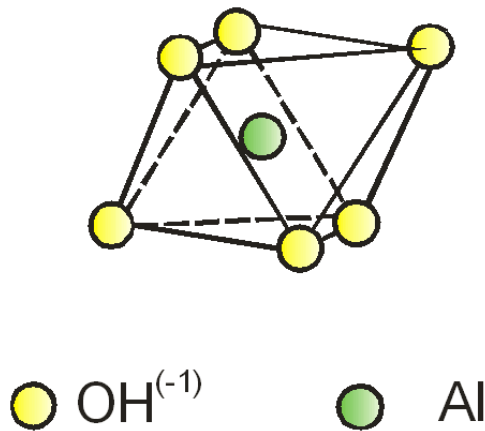


AGH

Składniki cząstek iłowych



tetraedr



oktaedr

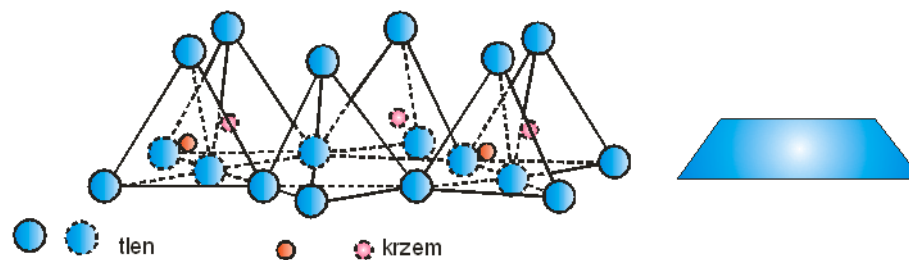
Składniki cząstek iłowych

Minerały ilaste charakteryzują się warstwową budową krystaliczną. Pojedyncze kryształy mają kształt płaskich blaszek o heksagonalnych zarysach.

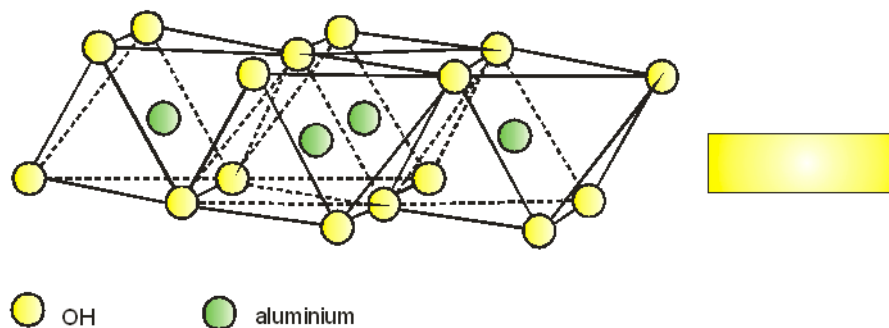
Tworzone są przez tetraedryczne warstwy krzemowo-tlenowe i oktaedryczne warstwy glinowo-tlenowo-wodorotlenowe lub magnezowo-tlenowo-wodorotlenowe, które łącząc się ze sobą tworzą pakiety.

W zależności od ilości warstw w pakiecie (pakiety dwu i trójwarstwowe) ich wzajemnego układu i innych występujących dodatkowo elementów, powstają różne odmiany minerałów ilastych (Pisarczyk S., 1999).

Składniki cząstek iłowych



Warstwa tetraedryczna



Warstwa oktaedryczna

Rodzaje cząstek i minerałów

Minerał	Powierzchnia właściwa [m ² /g]	Wymiar cząstek [μm]	
		długość	grubość
Kaolinit	10÷20	0.3÷3.0	0.03÷1.0
Illit	80÷100	0.1÷2.0	0.01÷0.2
Montmorylonit	800	0.1÷1.0	0.001÷0.01

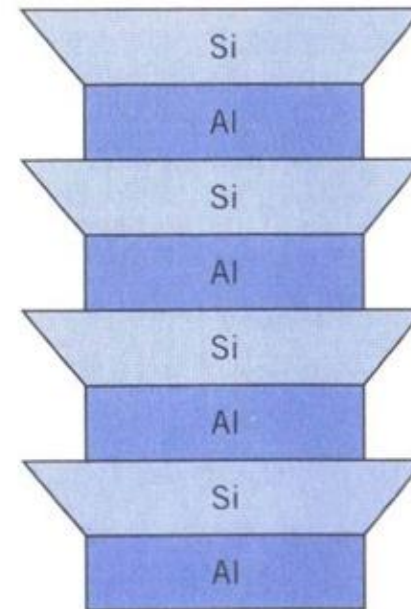
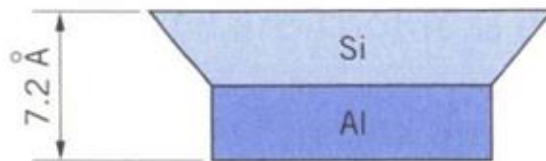
Minerały kaolinitowe

Minerały grupy kaolinitu powstają w wyniku chemicznego wietrzenia skał w środowisku kwaśnym. Zaliczyć do nich można minerały takie jak kaolinit, dickit, nakryt, haloizyt. Zbudowane są z pakietów dwuwarstwowych typu 1:1, w których jedna warstwa tetraedryczna połączona jest z warstwą oktaedryczną silnymi wiązaniami jonowo-atomowymi. Na kontakcie warstw z jednej strony występują atomy tlenu (warstwa tetraedryczna) a z drugiej grupy wodorotlenowe (warstwa oktaedryczna). Podstawowy pakiet kaolinitu jest elektrycznie obojętny. Pakiety połączone są ze sobą wiązaniami wodorowymi, których istnienie sprawia, że kaolinit jest minerałem charakteryzującym się dużą spójnością i odpornością na czynniki mogące dążyć do rozsunięcia pakietów – w związku z czym kaolinit jest odporny na działanie wody, która zwilża jedynie krawędzie kryształów. Z budowy kryształów kaolinitu wynika jego na ogół niska wilgotność, mała zdolność do pęcznienia oraz niewielka ściśliwość.



AGH

Minerały kaolinitowe



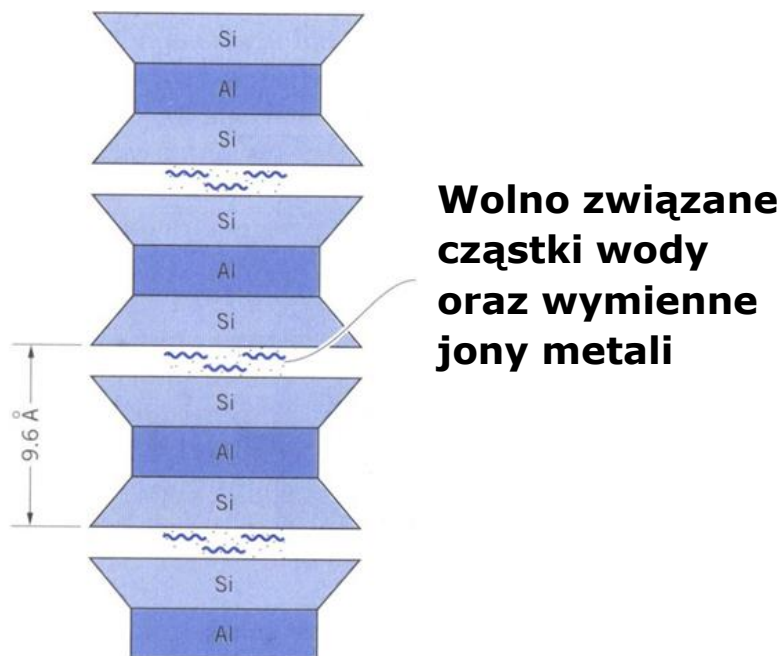
Minerały montmorylonitowe

Montmorylonit powstaje w wyniku wietrzenia tufów wulkanicznych w silnie alkalicznym i zasolonym środowisku. W Polsce w czystej postaci występuje rzadko, najczęściej jako domieszka w iłołupkach karbońskich, kredowych bądź też paleogeńskich fliszu karpackiego, iłach oligoceńskich okolic Szczecina, w iłach mioceńskich zapadliska przedkarpackiego oraz niektórych odmianach iłów plioceńskich.

Strukturę krystaliczną montmorylonitu zliczamy do typu 2:1. Składa się z pakietów trójwarstwowych, w których warstwa oktaedryczna znajduje się między dwiema warstwami tetraedrycznymi. Powierzchnie kontaktu pomiędzy elementarnymi pakietami obsadzone są atomami tlenu, co powoduje, że pakiety są ze sobą słabo związane, a co za tym idzie ułatwione jest wnikanie między nie kationów oraz cząstek wody, skutkiem czego zwiększają się odległości pomiędzy pakietami, co w konsekwencji prowadzi do pęcznienia.

Minerały montmorylonitowe

Kryształy montmorylonitu przejawiają silne właściwości hydrofilowe, co powoduje, że grunty zawierające w swoim składzie ich domieszkę wykazują zwykle wysoką wilgotność i wskaźnik plastyczności, dużą ściśliwość i zdolność do pęcznienia.



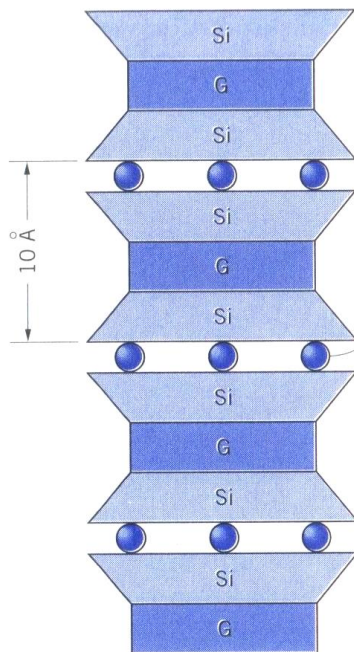
Minerały illitowe

Illit spotkać można przede wszystkim w skałach ilastych oraz łupkach ilastych powstających środowisku morskim. Znaleźć go można również w produktach wietrzenia skałeni i innych glinokrzemianów. Illit stanowi dominującą część frakcji ilastej różnych pod względem genetycznym i litologicznym gruntów spoistych.

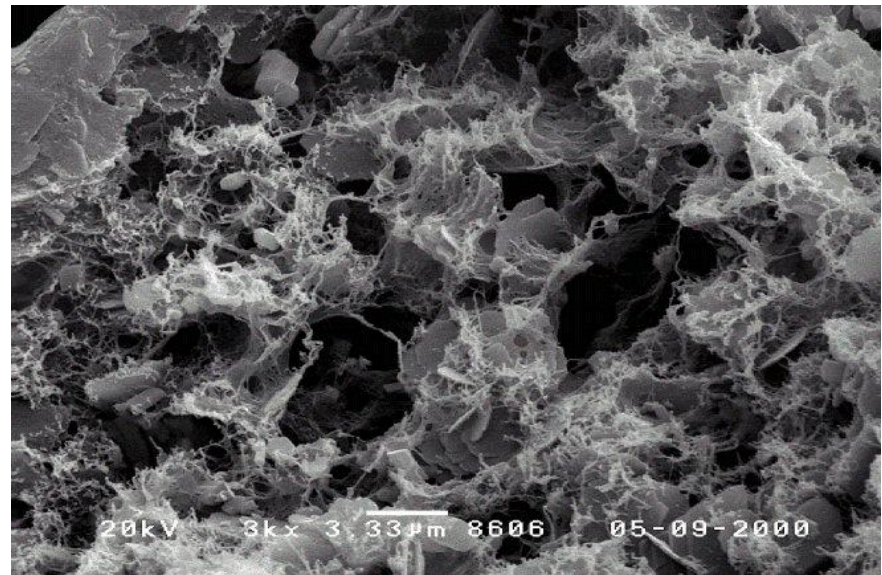
Jego struktura krystaliczna podobna jest do struktury montmorylonitu (typ 2:1). Między pakietami znajdują się jony potasu, które kompensują ujemny ładunek elektryczny powodowany występowaniem jonów tlenu. Pakiety są ze sobą silnie związane, co uniemożliwia przedostawanie się pomiędzy nie cząstek wody.

Możliwe jest jednak, w odpowiednich warunkach, częściowe wyługowywanie jonów potasu przez cząstki wody, co sprawia, że illit wykazuje średnią zdolność do pęcznienia.

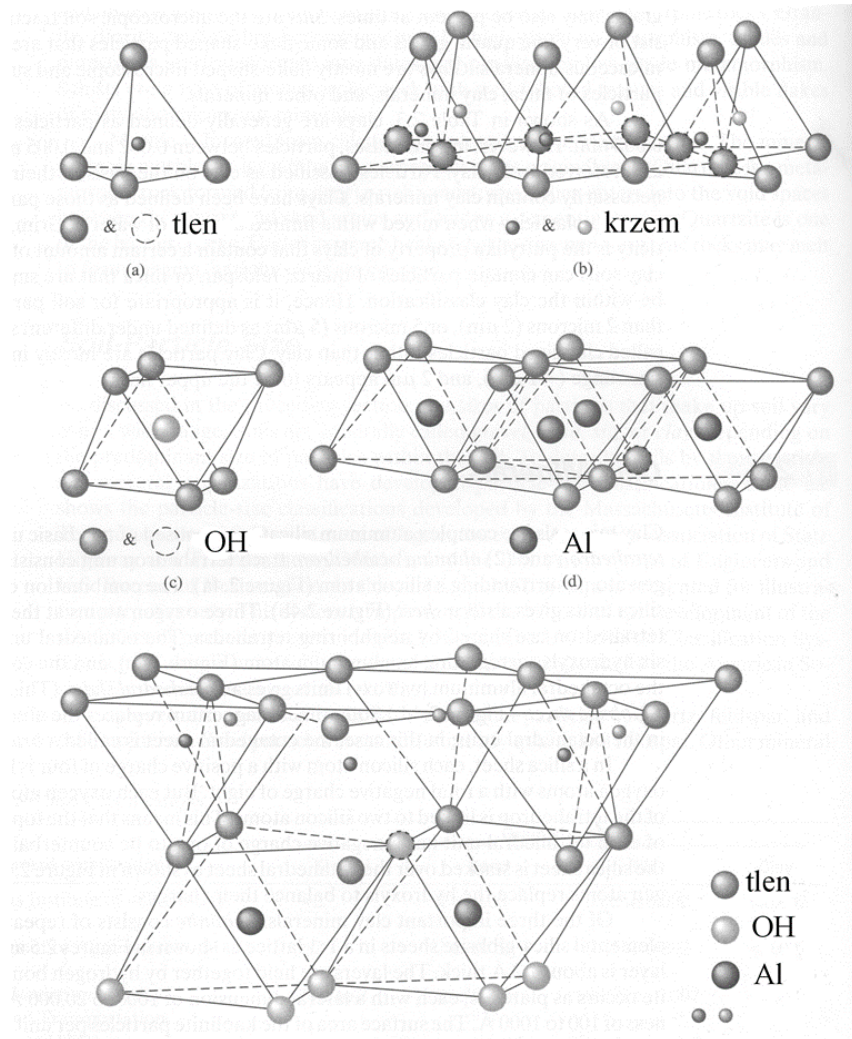
Minerały illitowe



Jony potasu K⁺ lub Na⁺



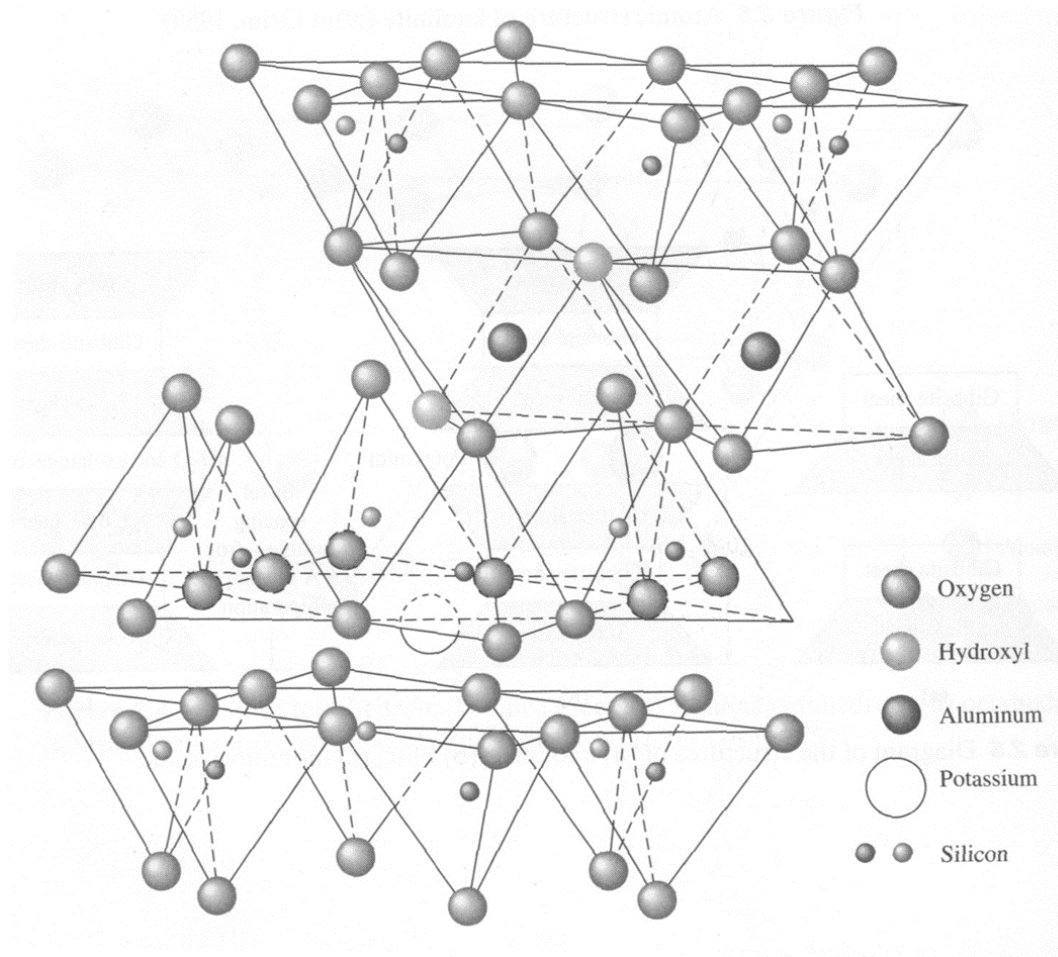
Struktura atomowa kaolinitu



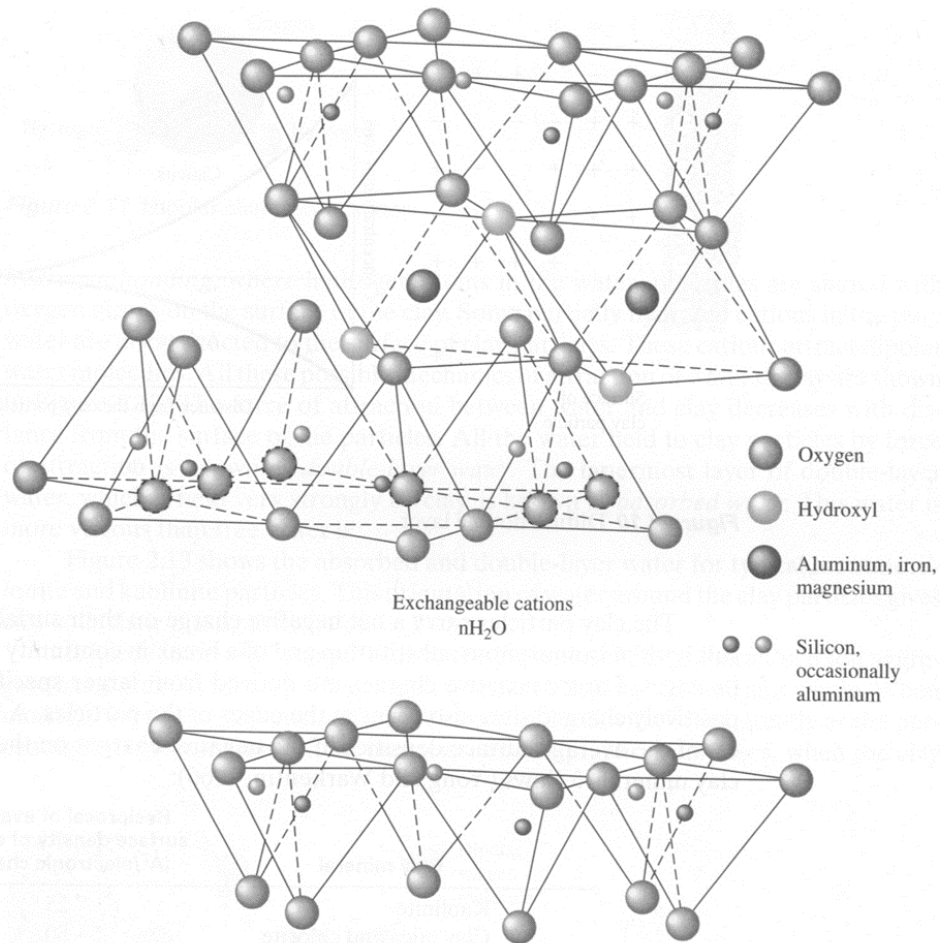


AGH

Struktura atomowa illitu

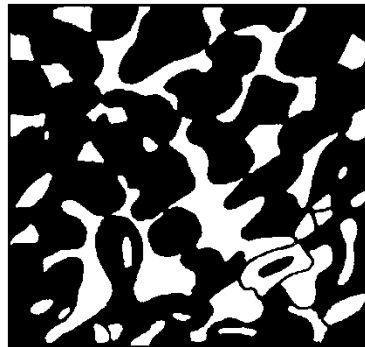


Struktura atomowa montmorylonitu

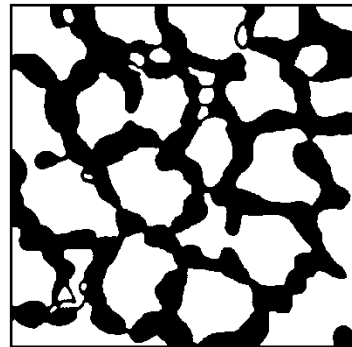


Grunt jako ośrodek trójfazowy

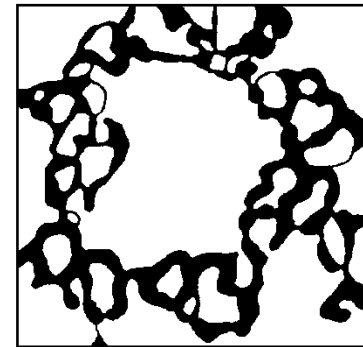
Struktura gruntu jest to wzajemny układ ziaren i cząstek gruntowych, tworzących szkielet gruntowy. Zależy ona od jakości i wymiarów cząstek oraz od warunków powstawania gruntu. Rozróżnia się trzy typowe struktury gruntów:



Ziarnistą

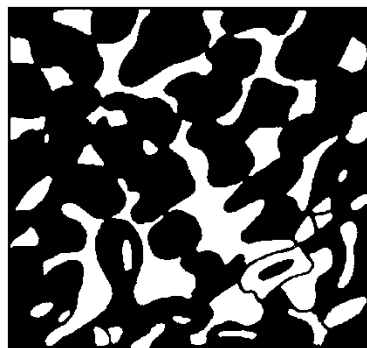


Komórkową

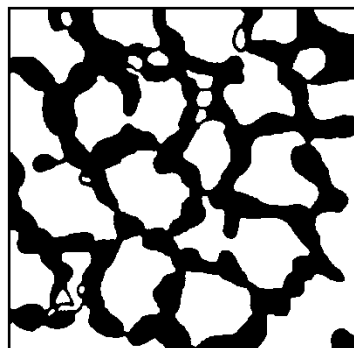


Kłaczkową

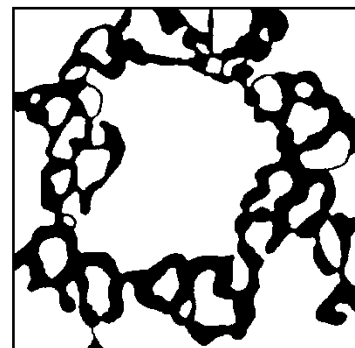
Grunt jako ośrodek trójfazowy



Ziarnista



Komórkowa



Kłaczkowa

Struktura ziarnista jest charakterystyczna dla piasków i żwirów o ziarnach wykazujących znikome wzajemne przyciąganie.

Struktura komórkowa jest charakterystyczna dla gruntów ilastych, odłożonych w wodzie bez uprzedniego skoagulowania się opadających cząstek.

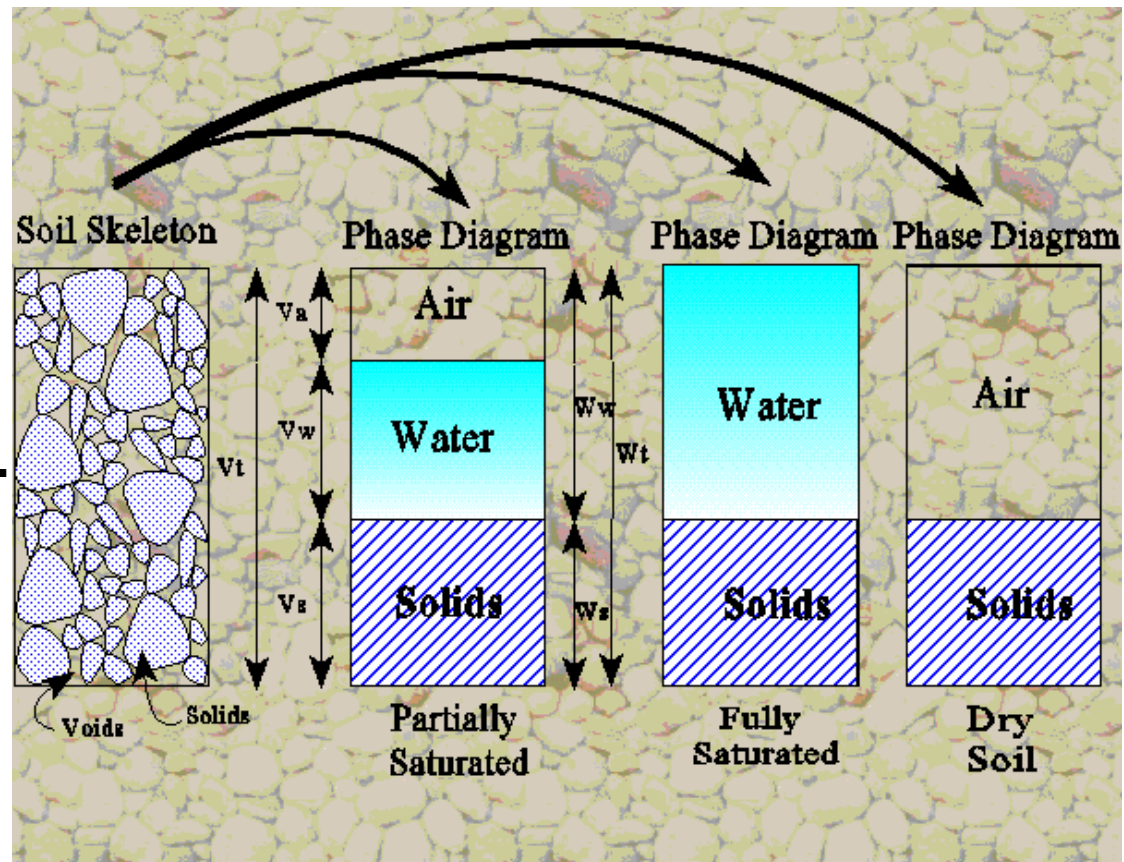
Struktura kłaczkowa powstaje z cząstek prawie wyłącznie iłowych, opadających w wodzie z rozpuszczonymi solami.

Grunt jako ośrodek trójfazowy

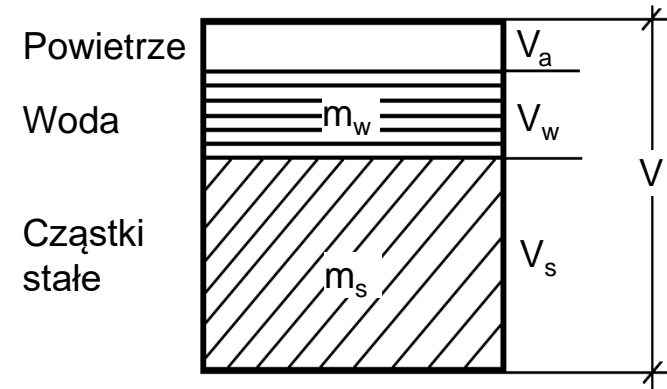
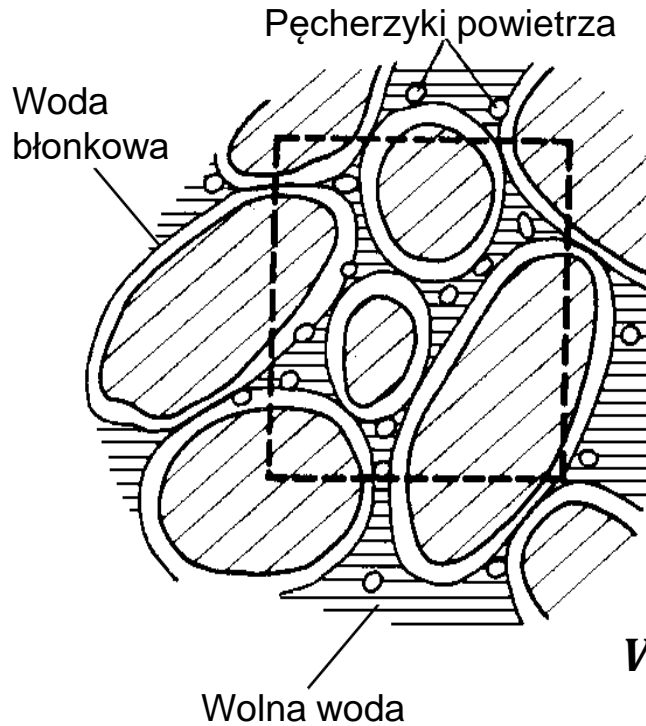
W gruncie wyróżnia się: **fazę stałą** (ziarna i cząstki), **fazę ciekłą** (woda) i **fazę gazową** (powietrze, para wodna i gazy).

Fazy w ośrodku gruntowym:

- pęcherzyki powietrza,
- woda wolna,
- cząstki stałe,
- woda błonkowa.



Grunt jako ośrodek trójfazowy



$$V = V_s + V_w + V_a = V_s + V_p$$

V – objętość gruntu

V_s – objętość szkieletu gruntowego

V_w – objętość wody

V_a – objętość powietrza

V_p – objętość porów

Grunt jako ośrodek trójfazowy

Cechy fizyczne gruntu można podzielić na **podstawowe** i od nich **pochodne**.

Do **podstawowych** cech fizycznych gruntów zalicza się:

- wilgotność w
- gęstość właściwą ρ_s
- gęstość objętościową ρ

Cechy te oznaczane są na podstawie badań laboratoryjnych

Do **pochodnych** cech fizycznych gruntu zalicza się:

- gęstość objętościową szkieletu gruntowego ρ_d
- porowatość n i wskaźnik porowatości e
- wilgotność całkowitą w_{sat} i stopień wilgotności S_r
- stopień zagęszczania I_D i wskaźnik zagęszczania I_s
- wskaźnik plastyczności I_p stopień plastyczności I_L

Wilgotność gruntu

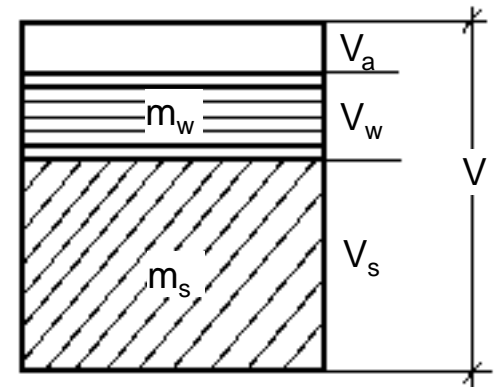
Wilgotnością gruntu w nazywamy procentowy stosunek masy wody m_w zawartej w jego porach do masy szkieletu gruntowego m_s :

$$w = \frac{m_w}{m_s} \cdot 100\%$$

gdzie:

m_w – masa wody

m_s – masa szkieletu gruntowego



Wilgotnością naturalną w_n nazywamy wilgotność, jaką ma grunt w stanie naturalnym.

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_c} \cdot 100\%$$

gdzie:

m_1 – masa wilgotnej próbki gruntu wraz z pojemnikiem

m_2 – masa wysuszonej próbki gruntu wraz z pojemnikiem

m_c – masa pojemnika

Gęstość właściwa gruntu Gęstość objętościowa gruntu

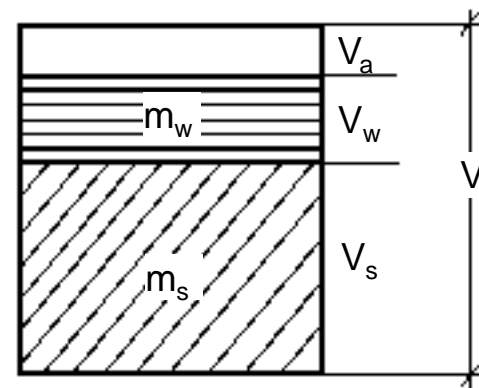
Gęstością właściwą gruntu ρ_s nazywa się stosunek masy szkieletu gruntowego m_s do jego objętości V_s .

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s}$$

gdzie:

m_s – masa szkieletu gruntowego

V_s – objętość szkieletu gruntowego



Gęstość objętościowa gruntu ρ jest to stosunek masy próbki gruntu m do objętości tej próbki łącznie z porami V .

$$\rho = \frac{m}{V}$$

gdzie:

m – masa próbki gruntu

V – objętość próbki gruntu

Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego

Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego ρ_d jest to stosunek masy szkieletu gruntu m_s w danej próbce do jej objętości pierwotnej V (razem z porami).

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} = \frac{\rho}{1 + w_n}$$

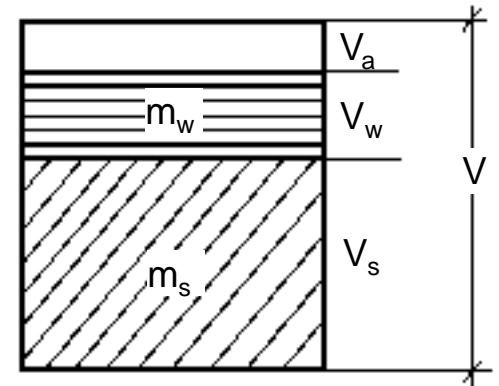
gdzie:

m_s – masa szkieletu gruntowego (masa próbki wysuszonej do stałej wagi w temperaturze $105 \div 110^\circ\text{C}$)

V – objętość próbki przed wysuszeniem

ρ – gęstość objętościowa gruntu

w_n – wilgotność naturalna gruntu



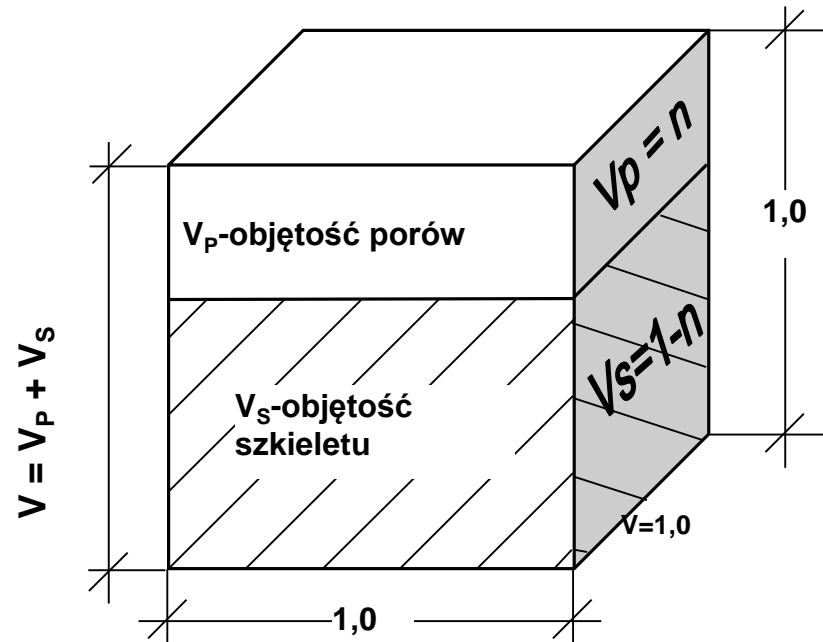
Znajomość gęstości objętościowej szkieletu jest konieczna do obliczenia porowatości, wskaźnika porowatości i wskaźnika zagęszczenia nasypów.

Porowatość gruntu

Porowatością gruntu n nazywamy stosunek objętości porów V_p w danej próbce gruntu do objętości całego gruntu V (szkielet gruntu + pory).

$$n = \frac{V_p}{V}$$

Wobec trudności bezpośredniego pomiaru objętości porów V_p i objętości szkieletu V_s wykorzystuje się metodę pośrednią, opartą na zależnościach wynikających z rysunku:



Porowatość gruntu

Wykorzystując następujące wzory:

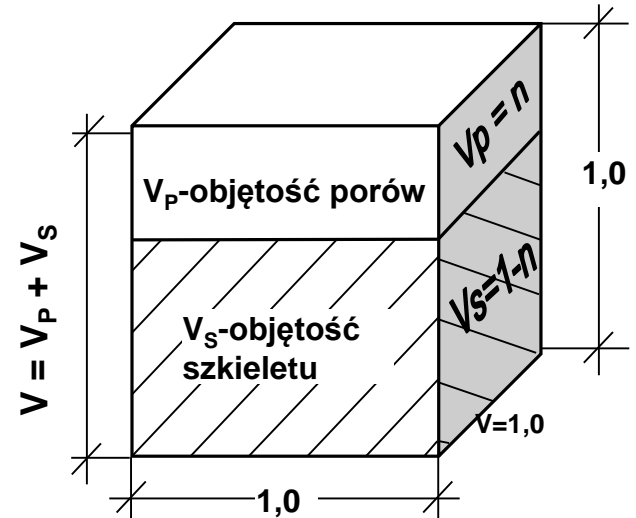
$$V = V_s + V_p$$

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s}$$

$$\rho_d = \frac{m_s}{V}$$

otrzymujemy

$$n = \frac{V_p}{V} = \frac{V - V_s}{V} = 1 - \frac{V_s}{V} = 1 - \frac{\frac{m_s}{\rho_s}}{V} = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s} = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s}$$



Wskaźnik porowatości gruntu

Wskaźnikiem porowatości gruntu e nazywamy stosunek objętości porów V_p do objętości cząstek gruntu (szkieletu gruntowego) V_s .

$$e = \frac{V_p}{V_s} = \frac{V_p}{V - V_p} = \frac{\frac{V_p}{V}}{1 - \frac{V_p}{V}} = \frac{n}{1 - n} = \frac{\frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s}}{\frac{\rho_s}{\rho_s} - \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s}} = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}$$

Pomiędzy wskaźnikiem porowatości e a porowatością n zachodzi:

$$n = \frac{e}{1 + e}$$

Wskaźnik porowatości e gruntów niespoistych waha się w granicach $0.3 \div 1.0$, a w gruntach spoistych może być znacznie większy.

Wypór wody w gruncie

Na szkielet gruntowy znajdujący się poniżej zwierciadła wody działa wypór wody zgodnie z prawem Archimedesesa, powodując wywieranie mniejszego nacisku na warstwę leżącą niżej niż na warstwę powyżej zwierciadła wody gruntowej. **Pozorny ciężar objętościowy szkieletu gruntowego** o objętości $(1-n)$ pod wodą gruntową, zgodnie z prawem Archimedesesa wyniesie:

$$\begin{aligned}\gamma' &= (1-n)\rho_s g - (1-n)\rho_w g = (1-n)(\rho_s - \rho_w)g = \\ &= (1-n)(\gamma_s - \gamma_w) = \gamma_{sat} - \gamma_w\end{aligned}$$

gdzie:

n – porowatość gruntu

ρ_s – gęstość właściwa szkieletu gruntowego

ρ_w – gęstość właściwa wody

g – przyspieszenie ziemskie, 9.81 m/s^2

γ_s – ciężar właściwy szkieletu gruntowego

γ_w – ciężar właściwy wody

Wilgotność całkowita (wilgotność w stanie pełnego nasycenia porów wodą)

Wilgotność całkowita w_{sat} gruntu istnieje wtedy, gdy jego pory są całkowicie wypełnione wodą (oblicza się ją w procentach).

$$w_{sat} = \frac{n\rho_w}{(1-n)\rho_s} \cdot 100\% = \frac{e\rho_w}{\rho_s} \cdot 100\%$$

Stopień wilgotności gruntu

Stopień wilgotności gruntu S_r określa stopień wypełnienia porów gruntu wodą:

$$S_r = \frac{V_w}{V_p} = \frac{\frac{V_w \rho_w}{m_s}}{\frac{V_p \rho_w}{m_s}} = \frac{w_n}{w_{sat}}$$

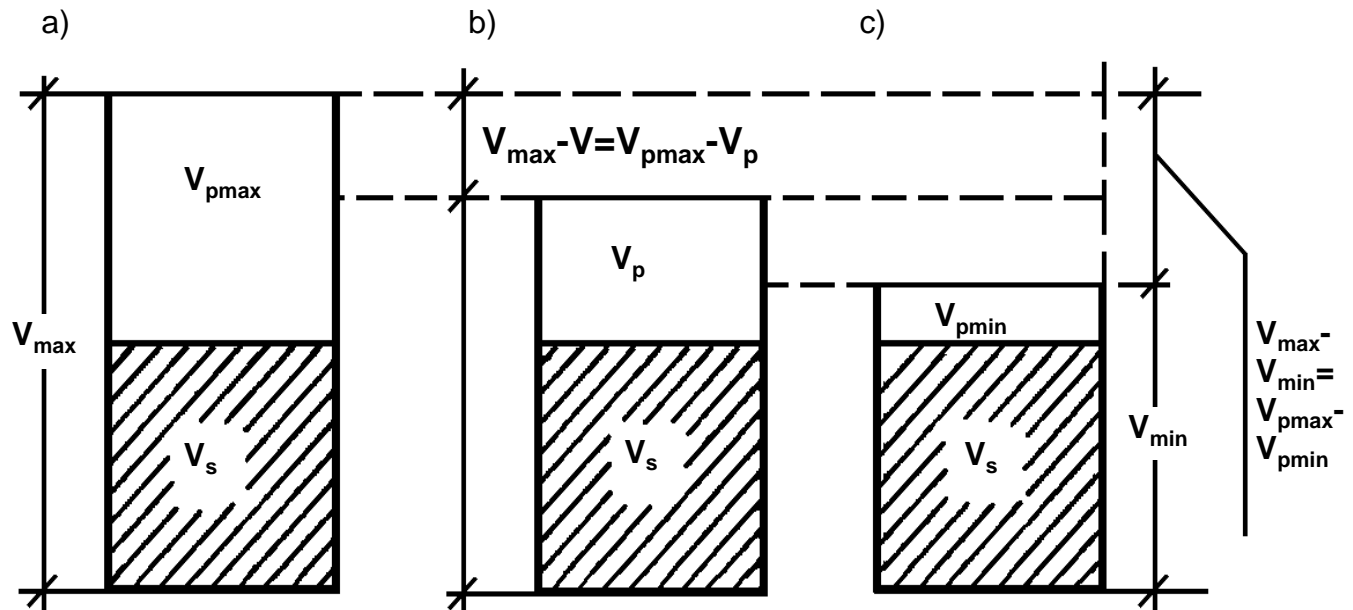
Zależnie od wartości S_r mamy stany zawilgocenia gruntów niespoistych:

suchy	$S_r = 0$
mało wilgotny	$0 < S_r \leq 0.4$
wilgotny	$0.4 < S_r \leq 0.8$
nawodniony	$0.8 < S_r \leq 1.0$

Maksymalna wartość stopnia wilgotności $S_r = 1$ (pory są całkowicie wypełnione wodą).

Parametry Zagęszczenia Gruntów

Stopień zagęszczenia gruntów niespoistych I_D jest to stosunek zagęszczenia występującego w stanie naturalnym do największego możliwego zagęszczenia danego gruntu.



Zmiana objętości porów w piasku w miarę jego zagęszczania:

- a) objętość piasku najbardziej luźnego,
- b) objętość w naturze (pośrednia),
- c) objętość piasku najbardziej zagęszczonego

Stopień zagęszczenia

$$I_D = \frac{V_{max} - V}{V_{max} - V_{min}} = \frac{V_{pmax} - V_p}{V_{pmax} - V_{pmin}} = \frac{\frac{V_{pmax}}{V_s} - \frac{V_p}{V_s}}{\frac{V_{pmax}}{V_s} - \frac{V_{pmin}}{V_s}}$$

$$= \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} = \frac{\rho_{dmax}}{\rho_d} \frac{\rho_d - \rho_{dmin}}{\rho_{dmax} - \rho_{dmin}}$$

e_{max} – wskaźnik porowatości maksymalnej obliczany dla gęstości objętościowej ρ_{dmin} przy najbardziej luźno usypanym gruncie suchym,

e_{min} – wskaźnik porowatości minimalnej obliczany dla gęstości objętościowej ρ_{dmax} przy możliwie największym zagęszczeniu gruntu suchego przez wibrację (bez zniszczenia ziarn),

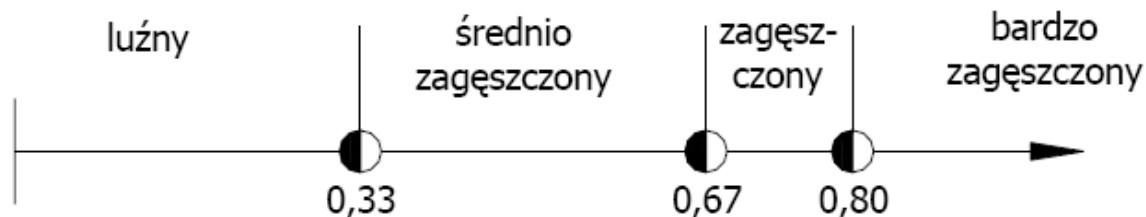
e – wskaźnik porowatości naturalnej odpowiadający ρ_d .



Stopień zagęszczenia

Stopień zagęszczenia I_D charakteryzuje stan gruntów niespoistych. Rozróżnia się cztery stany gruntów niespoistych wg PN - 86/B 02480:

Nazwa	Stopień zagęszczenia I_D
Luźny	$0 < I_D \leq 0,33$
Średnio zagęszczony	$0,33 < I_D \leq 0,67$
Zagęszczony	$0,67 < I_D \leq 0,8$
Bardzo zagęszczony	$I_D > 0,8$



Maksymalna wartość stopnia zagęszczenia $I_D = 1,0$

Stopień zagęszczenia

Wg PN – EN ISO 14688 rozróżnia się pięć stanów gruntów niespoistych:

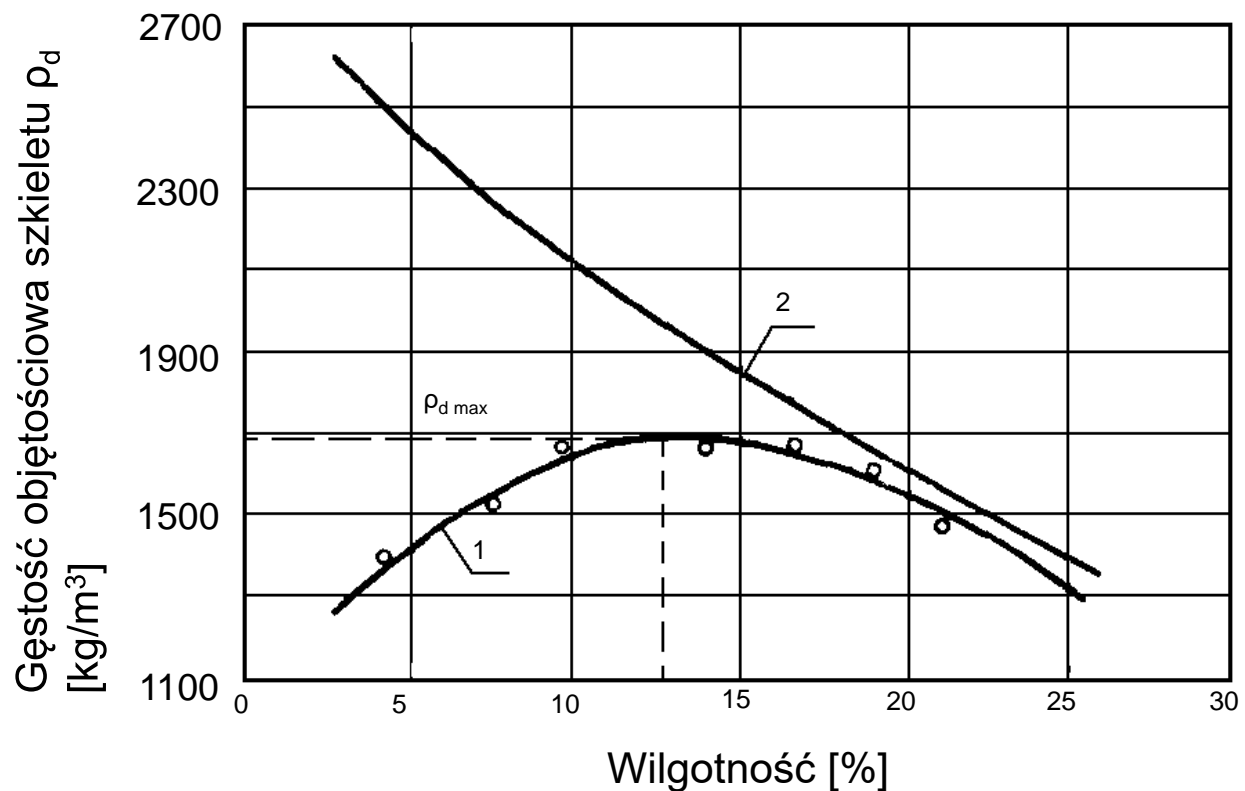
Nazwa	Stopień zagęszczenia I_D [%]
Bardzo luźne	0 do 15
Luźne	15 do 35
Średnio zagęszczone	35 do 65
Zagęszczone	65 do 85
Bardzo zagęszczone	85 do 100

Wilgotność optymalna

Wilgotność optymalna w_{opt} to taka, przy której uzyskuje się największe zagęszczenie w przypadku gruntów spoistych i niektórych gruntów niespoistych.

Zależność Proctora: gęstość objętościowa szkieletu gruntowego ρ_d zależy od wilgotności (przy stałej energii zagęszczania). **Maksymalne zagęszczenie jest tym większe, im większa jest energia zagęszczania. Wartości w_{opt} i ρ_d zależą od rodzaju gruntu.**

Wilgotność optymalna



Wpływ wilgotności na zagęszczenie gruntu:

1 – krzywa zagęszczenia,

2 – krzywa całkowitego nasycenia (teoretycznie max. zagęszczenie).

Wskaźnik zagęszczenia gruntów

Wskaźnik zagęszczenia gruntów I_s jest miernikiem charakteryzującym jakość zagęszczenia nasypu:

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

gdzie:

ρ_{dnas} – gęstość objętościowa szkieletu gruntu w nasypie,

ρ_{ds} – maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntu.

Wg Pisarczyka:

$$I_s = \frac{\beta}{\alpha[1 - I_D(1 - \beta)]}$$

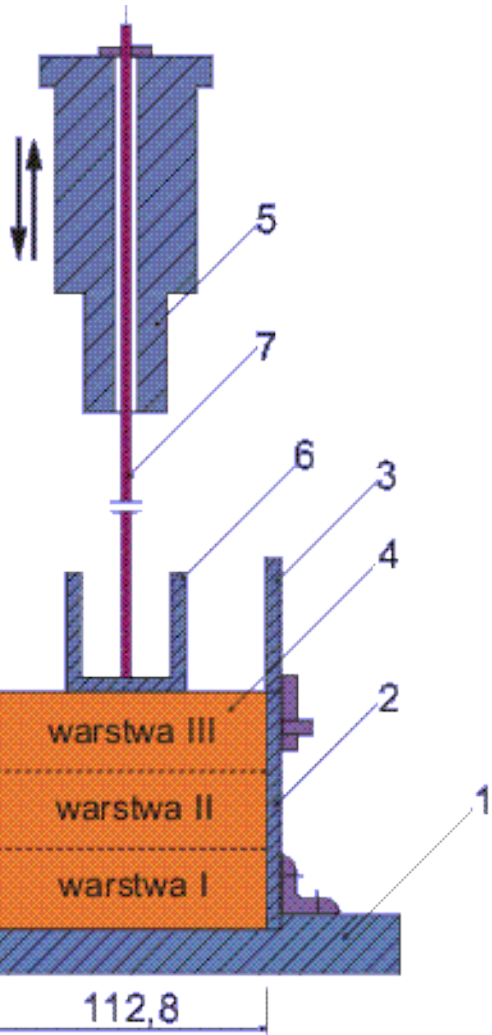
Dla gruntów drobnoziarnistych $\alpha=0.973$, $\beta=0.832$, więc:

$$I_s = 0.855 + 0.165I_D$$



AGH

Parametry zagęszczenia gruntów



- 1 - podstawa
- 2 - cylinder
- 3 - nadstawka
- 4 - warstwy gruntu
- 5 - ubijak
- 6 - podstawa ubijaka
- 7 - prowadnica



Granice konsystencji gruntów spoistych

Granice konsystencji są granicznymi wilgotnościami rozdzielającymi poszczególne konsystencje:

- granica płynności w_L – wilgotność na granicy między konsystencją płynną i plastyczną.
- granica plastyczności w_p – wilgotność na granicy między konsystencją plastyczną i zwartą.
- granica skurczalności w_s – wilgotność na granicy stanu półzwartego i zwartego

Granice konsystencji gruntów spoistych

Granica płynności

Granice płynności w_L wyznacza się w aparacie Casagrandego.

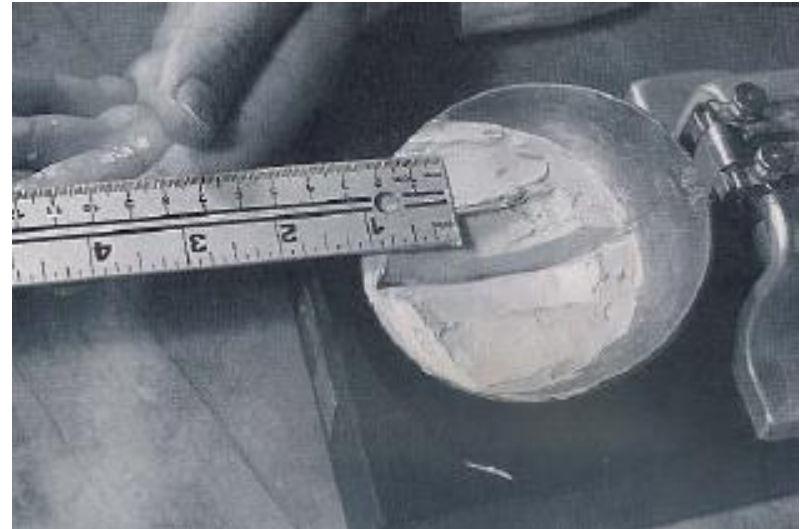
- Pobieramy próbkę gruntu o wilgotności naturalnej i rozrabiamy z wodą do konsystencji miękkoplastycznej pasty, przykrywamy i pozostawiamy na 16-20 h.
- Próbkę gruntu umieszcza się w miseczce podnoszonej na wysokość 10 mm i opuszczanej na podkładkę z twardej gumy.

**Aparat
Casagrande'a**

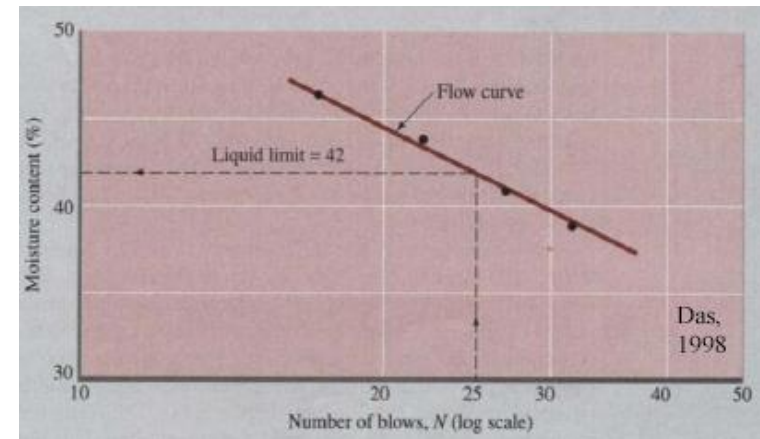


Granice konsystencji gruntów spoistych Granica płynności

- Pastę nakładamy do miseczki aparatu tak aby jej masa wraz z miseczką wynosiła równo 210 g.
- W paście wykonujemy znormalizowaną bruzdę o szerokości dołem 2 mm i górną 10 mm. Miseczka opada 2 razy na sekundę – liczymy uderzenia aż do momentu gdy bruzda zleje się na długości 10 mm i wysokości 1 mm.



- Z dna bruzdy pobiera się niewielką ilość pasty i wyznacza jej wilgotność.
- Pozostałą część pasty miesza się z niewielkim dodatkiem wody i ponownie powtarza się wszystkie czynności.
- Do wyznaczenia granicy płynności trzeba wykonać co najmniej 5 prób z których 2 powinny dać w wyniku 25÷40 uderzeń a 3 10÷25 uderzeń.
- Na podstawie wyników wykonuje się wykres zależności liczby uderzeń od wilgotności pasty gruntowej.
- Z wykresu odczytuje się wilgotność odpowiadającą 25 uderzeniem, którą umownie przyjmuje się za **granice płynności** badanego gruntu.



Granice konsystencji gruntów spoistych Granica plastyczności - wałeczkowanie

- Do badania pobieramy, ze środka większej bryłki mała grudkę bez ziaren żwirowych i formujemy kulkę o średnicy $7 \div 8$ mm.
- Z kuleczki formuje się wałeczek na wyprostowanej lewej dłoni, prawa naciskając nieznacznie wałeczkuje się grunt z szybkością 2 razy na sekundę.
- Wałeczkujemy aż do osiągnięcia średnicy 3 mm na całej długości.
- Jeżeli wałeczek nie wykazuje spękań i nie łamie się przy podniesieniu go w palcach do góry to ponownie zgniatamy go, formujemy kuleczkę i wałeczkujemy od nowa. Czynności te powtarza się aż wałeczek o średnicy 3 mm rozsypuje się lub zaczyna pękać.



Granice konsystencji gruntów spoistych

Granica plastyczności - wałeczkowanie

- Czynności te powtarza się aż wałeczek o średnicy 3 mm rozsypuje się lub zaczyna pękać.
- Wszystkie kawałeczki wałeczka wkłada się do naczynka wagowego i zamyka szczelnie doszlifowaną pokrywką.
- Badania powtarza się na następnej kulce gruntu. Wałeczkowanie powtarza się tyle razy aby zebrać co najmniej 5÷7 gramów gruntu.
- Następnie dokonuje się pomiaru wilgotności popękanych wałeczków. Oznaczona wilgotność jest równa granicy plastyczności w_p .



Parametry plastyczności gruntów

Plastycznością nazywa się zdolność gruntu do poddawania się trwałym (nieodwracalnym) odkształceniom przy stałej objętości, bez pęknięć i kruszenia się. Cechę tę wykazują tylko te grunty, które zawierają w swoim składzie cząstki minerałów ilastych.

Wskaźnik plastyczności I_p jest to różnica pomiędzy granicą płynności i granicą plastyczności (zakres wilgotności wyznaczony granicami), oznacza ile wody w procentach (w stosunku do masy szkieletu) wchłania dany grunt przy przejściu ze stanu półzwartego w półpłynny.

$$I_p = w_L - w_p$$

gdzie:

w_p – granica plastyczności,

w_L – granica płynności.

Parametry plastyczności gruntów

Między wskaźnikiem plastyczności i ilością frakcji iłowej istnieje następująca zależność:

$$A = \frac{I_P}{f_i}$$

gdzie:

A – „aktywność koloidalna”,

f_i – zawartość frakcji iłowej w danym gruncie (o uziarnieniu poniżej 2 mm) w %.

Zależnie od aktywności koloidalnej grunty dzieli się na 4 grupy:

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| ▪ nieaktywne | $A < 0.75$ |
| ▪ przeciętnie aktywne | $0.75 \leq A < 1.25$ |
| ▪ aktywne | $1.25 \leq A < 2$ |
| ▪ bardzo aktywne | $A \geq 2$ |

Podział gruntów wg spoistości

Rodzaj gruntów	Wskaźnik plastyczności
niespoisty	$I_p \leq 1\%$
spoisty	$1\% < I_p$
mało spoisty	$1\% < I_p \leq 10\%$
średnio spoisty	$10\% < I_p \leq 20\%$
zwięzło spoisty	$20\% < I_p \leq 30\%$
bardzo spoisty	$30\% < I_p$

Stopień plastyczności i wskaźnik konsystencji

Stopień plastyczności I_L jest to stosunek różnicy wilgotności naturalnej danego gruntu i granicy plastyczności do różnicy granicy płynności i granicy plastyczności. Określa on, jaką konsystencję ma badany grunt oraz odzwierciedla właściwości gruntu w stanie *in situ*.

$$I_L = \frac{W_n - W_P}{W_L - W_P}$$

Wskaźnik konsystencji I_C jest to stosunek różnicy granicy płynności i wilgotności naturalnej danego gruntu do różnicy granicy płynności i granicy plastyczności.

$$I_C = \frac{W_L - W_n}{W_L - W_P} = 1 - I_L$$



AGH

Stany gruntów spoistych

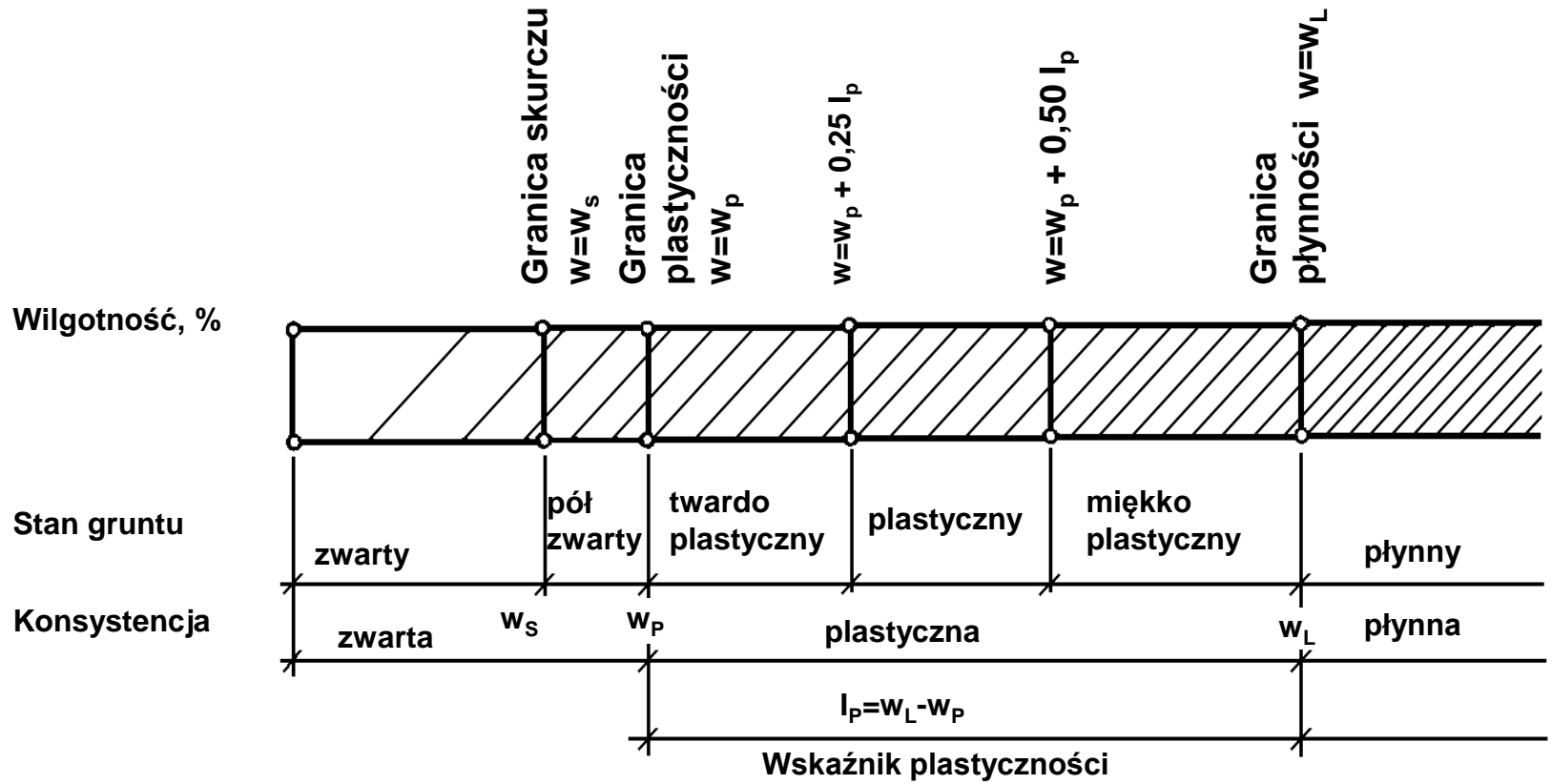
Wartości I_L i w_n	Stan gruntu
$I_L < 0$ oraz $w_n \leq w_s$	Zwarty
$I_L < 0$ oraz $w_s < w_n \leq w_p$	Półzwarty
$0 < I_L \leq 0.25$	Twardoplastyczny
$0.25 < I_L \leq 0.50$	Plastyczny
$0.50 < I_L \leq 1.00$	Miękkoplastyczny
$I_L > 1.00$ lub $w_n > w_L$	Płynny

Określenie	Wskaźnik konsystencji I_c
Płynna	< 0.25
Miękkoplastyczna	od 0.25 do 0.50
Plastyczna	od 0.50 do 0.50
Twardoplastyczna	od 0.75 do 1.00
Zwarta	> 1.00



AGH

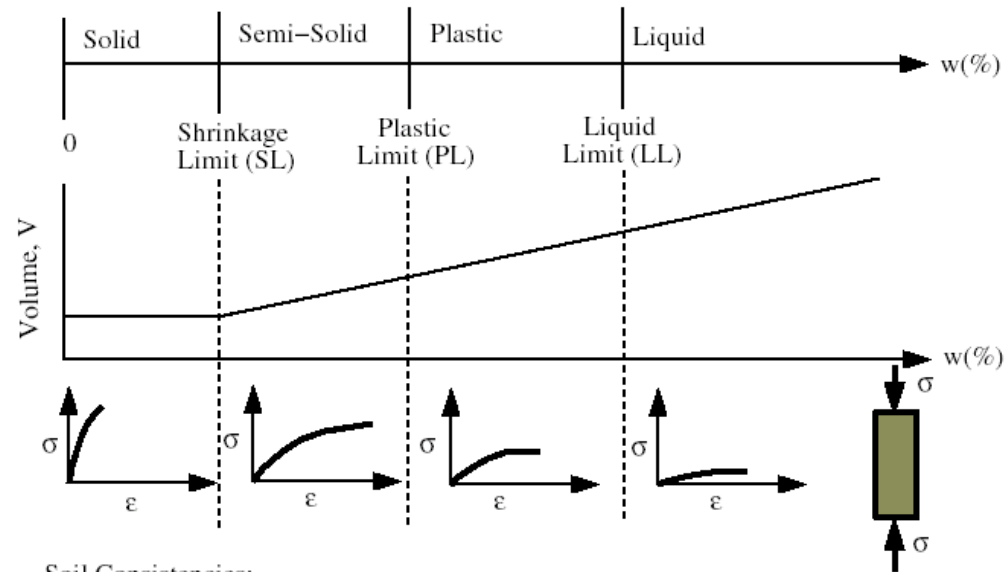
Granice konsystencji



Granice konsystencji

Rozróżnia się trzy konsystencje gruntów spoiстых:

- **płynną** – grunt zachowuje się jak ciecz i nie ma prawie żadnej wytrzymałości
- **plastyczną** – odkształca się przy pewnym nacisku, nie ulega przy tym spękanom i zachowuje nadany mu kształt
- **zwartą** – odkształca się dopiero przy dużych naciskach, przy czym odkształceniom towarzyszą spękania



Soil Consistencies:

- | | |
|-------------|--|
| Solid: | soil is hard and brittle |
| Semi-Solid: | soil has combined brittle/ductile behavior (like stiff cheese) |
| Plastic: | soil has very ductile, malleable behavior (like Play-Doh) |
| Liquid: | soil behaves like a thick or thin viscous fluid |

Granice konsystencji – porównanie norm PN-86/B/02480 i PN-EN ISO 14688-2

PN-EN ISO 14688-2		PN-86/B-02480	
Stan pyłów i ilów	Wskaźnik stanu I_c	Stopień plastyczności I_L	Stan gruntu spoistego
płynny	< 0.25	>1	płynny
miękkoplastyczny	0.25 do 0.50	0.50 do 1.0	miękkoplastyczny
plastyczny	0.50 do 0.75	0.25 do 0.50	plastyczny
twardoplastyczny	0.75 do 1.00	0 do 0.25	twardoplastyczny
półzwały	> 1.00	< 0; $w_n > w_s$	półzwały
zwały		< 0; $w_n < w_s$	zwały

Uziarnienie i Charakterystyki Uziarnienia

- Klasyfikacja gruntów wg PN (PN-86/B-02480 Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów).
- Klasyfikacja gruntów wg ISO/CEN oraz PN-EN-ISO 14688:2004 14688-1, 14688-2

Ziarna i cząstki gruntu dzielone są wg wielkości na grupy zwane **frakcjami**. Wg PN-86/B-02480 wyróżniamy pięć frakcji:

- kamienista o ziarnach $d > 40 \text{ mm}$
- żwirowa o ziarnach $d = 40 \div 2 \text{ mm}$
- piaskowa o ziarnach $d = 2 \div 0.05 \text{ mm}$
- pyłowa o cząstkach $d = 0.05 \div 0.002 \text{ mm}$
- iłowa o cząstkach $d < 0.002 \text{ mm}$

Uziarnienie i charakterystyki uziarnienia

Uziarnienie gruntu (skład granulometryczny) określa się procentową zawartością poszczególnych frakcji w stosunku do ciężaru całej próbki badanego gruntu. Określenie ilościowego podziału poszczególnych frakcji (ziaren, cząstek) w badanej próbce wykonuje się dwoma rodzajami metod:

- **metody bezpośrednie** – oparte na pomiarze rzeczywistych wymiarów cząstek gruntowych, do których należą:
 - analiza sitowa,
 - badania mikroskopowe (których celem jest określenie kształtu cząstek gruntu, a nie składu granulometrycznego gruntu).
- **metody pośrednie** – w których wielkość cząstek gruntu zastępuje się średnicami teoretycznych kulek. W grupie tych metod rozróżniane są metody oparte są na procesie sedymentacji oraz metody rozdziału frakcji w strumieniu cieczy lub gazu. Metodą pośrednią jest **analiza aerometryczna lub pipetowa**.



AGH

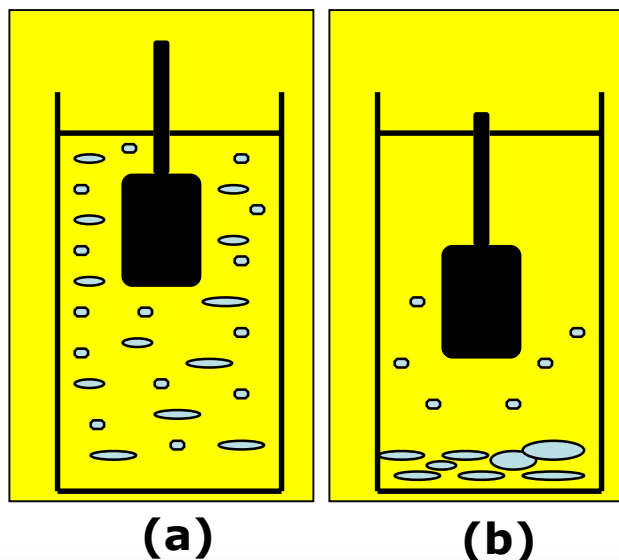
Uziarnienie i charakterystyki uziarnienia



Uziarnienie i charakterystyki uziarnienia

Analiza aerometryczna polega na przygotowaniu jednorodnej zawiesiny badanego gruntu i wyznaczeniu jej gęstości objętościowej, zmniejszającej się, w miarę opadania cząstek zawiesiny. Po dokładnym wymieszaniu zawiesiny w cylindrze otrzymuje się jednakową zawartość takich samych cząstek (a).

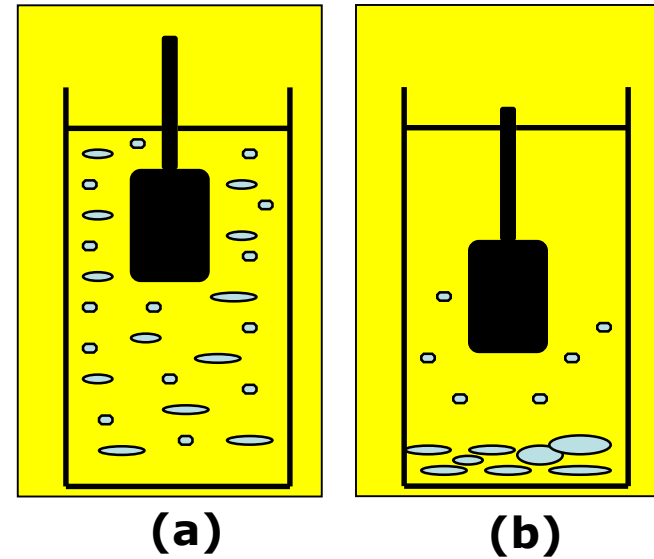
Z chwilą postawienia cylindra z zawiesiną na stole rozpoczyna się opadanie jej cząstek w dół (b).



Uziarnienie i charakterystyki uziarnienia

Kolejność czynności przedstawia się następująco:

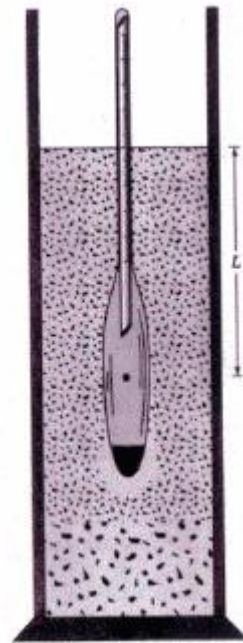
- wyznaczenie gęstości objętościowej zawiesiny (zależnej od masy zawartych w niej cząstek gruntu),
- wyznaczenie prędkości opadania cząstek (zależnej od ich średnicy i lepkości cieczy) ze wzoru Stokesa,
- obliczenie średnicy cząstek (zależnej od wyznaczonej głębokości H_i poniżej zwierciadła zawiesiny, czasu ich opadania oraz lepkości wody)



Uziarnienie i charakterystyki uziarnienia

Cząstki o jednakowych wymiarach opadają na całej wysokości cylindra z jednostajną prędkością. W dolnych partiach zawiesiny w miejsce cząstek, które opadły niżej, wchodzi od góry nowe cząstki o tych samych wymiarach. Czyli gęstość objętościowa zawiesiny na tych poziomach w początkowym okresie nie zmienia się. Zmienia się gęstość zawiesiny w górnych partiach cieczy bo w miejsce większych cząstek, które opadły na dół, nie mogą wejść od góry takie same następne cząstki, gdyż zdążyły już opaść poniżej rozpatrywanego poziomu.

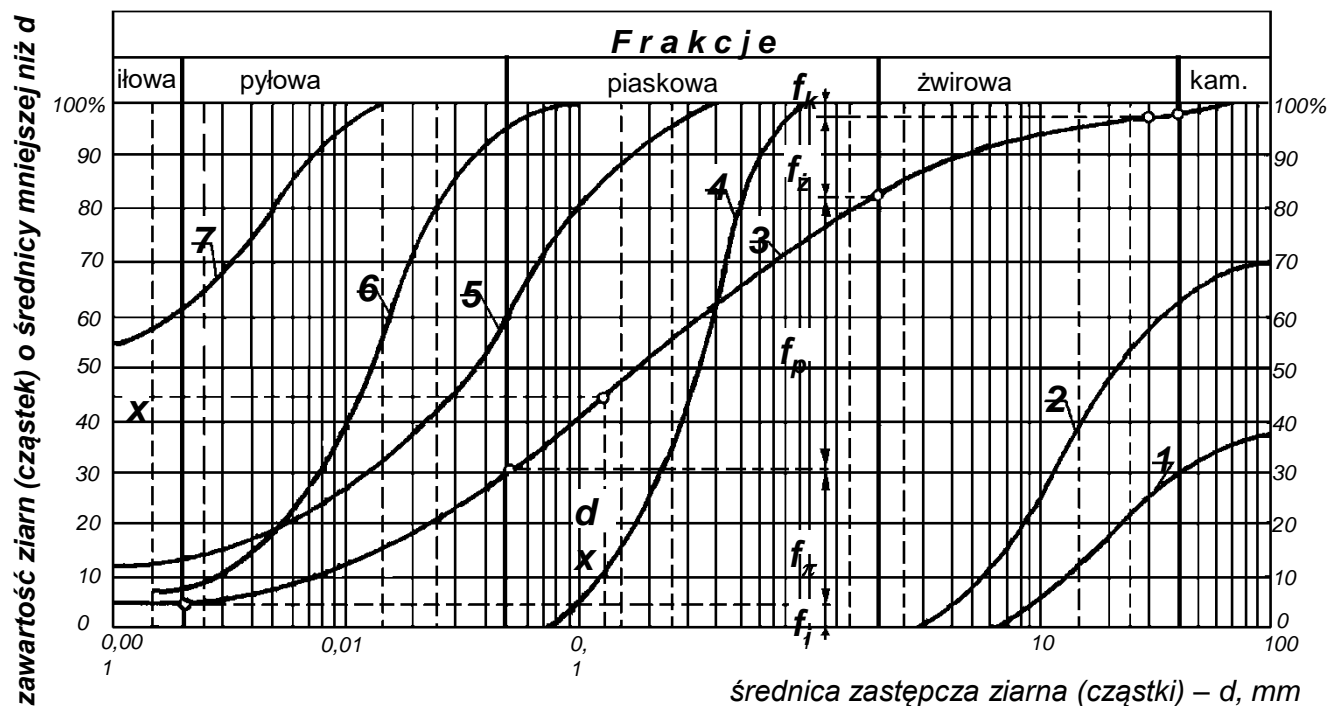
Czyli po upływie czasu t_i na głębokości H_i , poniżej zwierciadła zawiesiny nie będzie cząstek o średnicy równej lub większej niż $d_{i,}$ którą to średnicę można obliczyć ze wzoru Stokesa.



Uziarnienie i charakterystyki uziarnienia

Wykres uziarnienia (krzywe uziarnienia) sporządza się po wykonaniu analizy granulometrycznej (metodą sitową lub sitowo-aerometryczną) i obliczeniu procentowych zawartości masy ziaren i cząstek.

1,2 – żwir; 3 – pospółka; 4 – piasek; 5,6 – less; 7 – ił;



Uziarnienie i charakterystyki uziarnienia

Z wykresów krzywych uziarnienia można wyznaczyć:

- **procentowe zawartości poszczególnych frakcji** (niezbędne do określenia rodzaju gruntu),
- **średnice cząstek d_{10} , d_{30} , d_{60}** (niezbędne do określenia wskaźników uziarnienia gruntu) oznaczające średnice cząstek, które wraz z mniejszymi stanowią 10, 30, 60 %.

Uziarnienie gruntu charakteryzują dwa wskaźniki:

- **wskaźnik krzywizny uziarnienia:**

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10}d_{60}}$$

- **wskaźnik różnoziarnistości uziarnienia:**

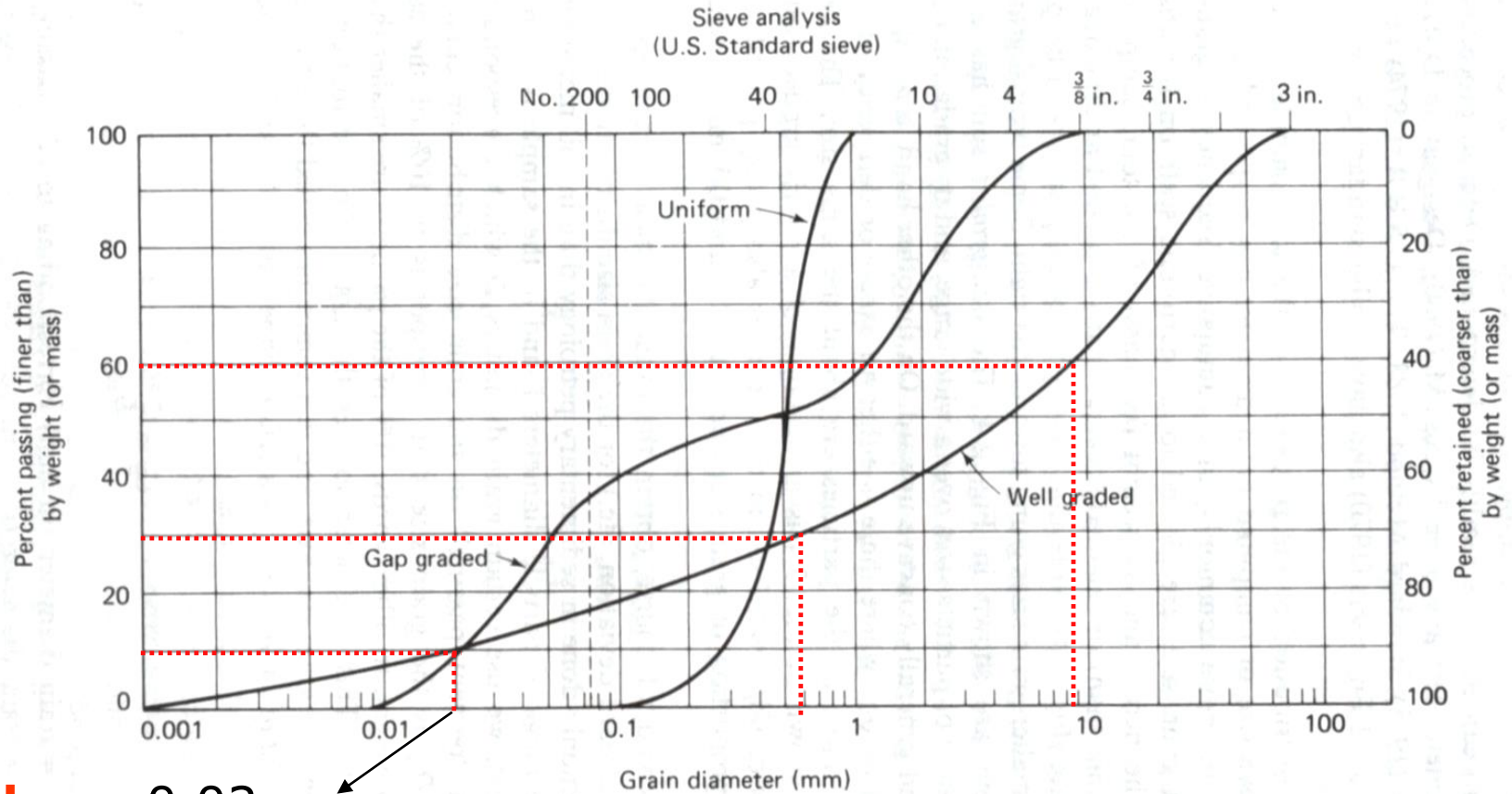
$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$





AGH

Uziarnienie i charakterystyki uziarnienia



$$d_{10} = 0.02 \text{ mm}$$

$$d_{30} = 0.6 \text{ mm} \quad d_{60} = 9 \text{ mm}$$

Fig. 2.4 Typical grain size distributions.

Uziarnienie i charakterystyki uziarnienia

Zależnie od wskaźnika różnoziarnistości grunty dzieli się na:

- **równoziairyste** gdy $1 \leq C_U \leq 5$ (np. piaski wydymowe, lessy),
- **różnoziairyste** gdy $5 < C_U \leq 15$ (np. gliny holoceni-skie),
- **bardzo różnoziairyste** gdy $C_U > 15$ (np. gliny zwałowe, pospółki).

Grunt jest dobrze uziarniony, jeżeli:

- $C_c = 1 \div 3$,
- $C_U > 4$ dla żwirów lub $C_U > 6$ dla piasków.

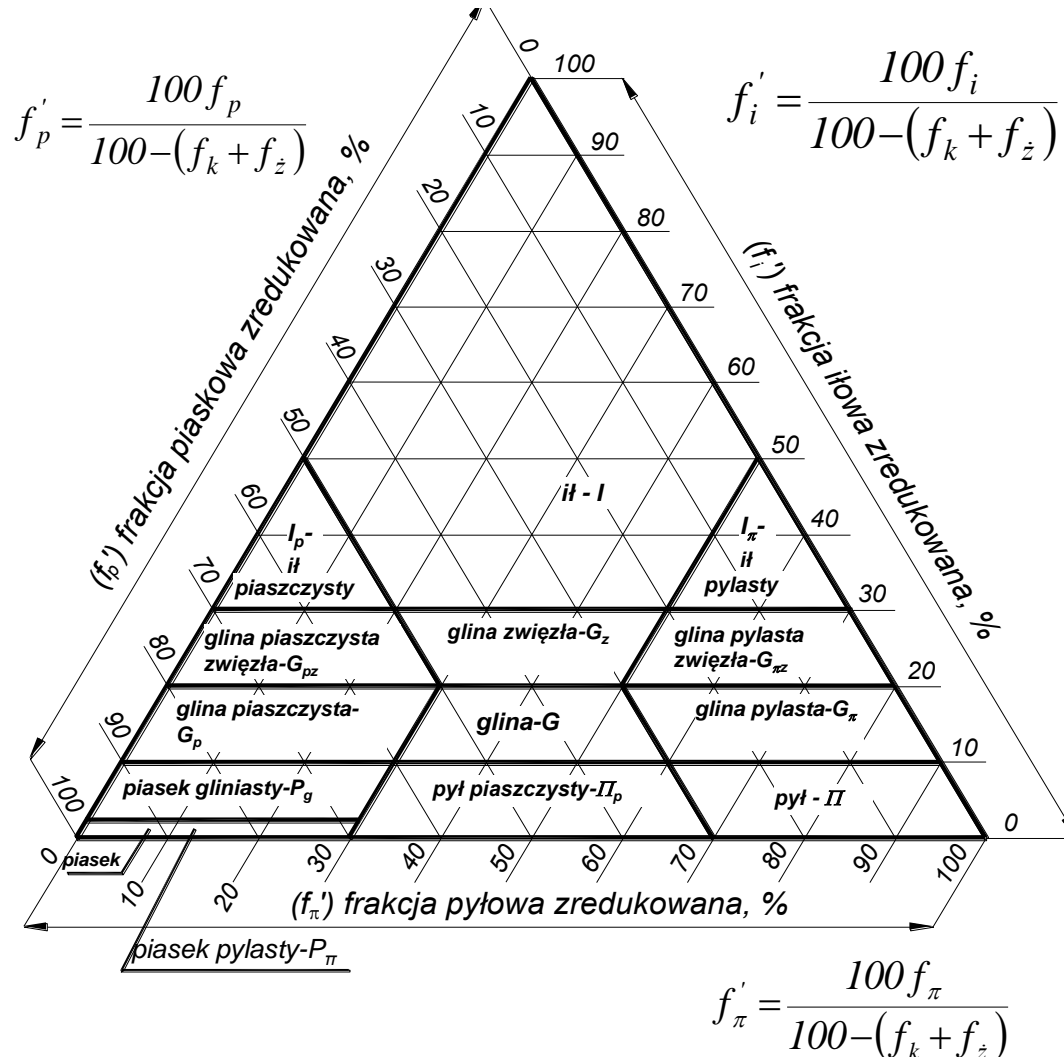
Wg PN-EN-ISO 14688:2004 14688-1, 14688-2

Charakterystyka krzywej uziarnienie	Wskaźnik uziarnienia (różnoziairystości)	Wskaźnik krzywizny uziarnienia
Grunty wielofrakcyjne	>15	1 do 3
Grunty kilkufrakcyjne	6 - 15	<1
Grunty jednofrakcyjne	<6	<1
Grunty źle uziarnione	Przeważnie wysoki	Różnie (przeważnie <0.5)



AGH

Klasyfikacja gruntów



Uziarnienie jest podstawowym kryterium podziału gruntów. Do określenia rodzaju gruntów według uziarnienia, stosuje się klasyfikację opartą na trzech najdrobniejszych frakcjach: piaszkowej, pyłowej i ilowej. Wzajemny stosunek zawartości tych frakcji w gruntach przedstawia **trójkąt Fereta.**

Klasyfikacja gruntów

- frakcja piaskowa zredukowana:

$$f'_p = \frac{100f_p}{100 - (f_k + f_z)}$$

- frakcja pyłowa zredukowana:

$$f'_\pi = \frac{100f_\pi}{100 - (f_k + f_z)}$$

- frakcja iłowa zredukowana:

$$f'_i = \frac{100f_i}{100 - (f_k + f_z)}$$

Klasyfikacja gruntów

Podział gruntów gruboziarnistych ze względu na uziarnienie

Nazwa gruntu	Symbol	Uziarnienie	
Żwir	Ż	$f_i \leq 2 \%$	$f_k + f_z > 50 \%$
Żwir gliniasty	Żg	$f_i > 2 \%$	
Pospółka	Po	$f_i \leq 2 \%$	$50 \% \geq f_k + f_z > 10 \%$
Pospółka gliniasta	Pog	$f_i > 2 \%$	

Klasyfikacja gruntów

Podział gruntów niespoistych ze względu na uziarnienie

Nazwa gruntu	Symbol	Uziarnienie
Piasek gruby	Pr	zawartość ziaren o średnicy większej niż 0,5 mm wynosi więcej niż 50% ($d_{50} > 0,5 \text{ mm}$)
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% ($0,5 \text{ mm} \geq d_{50} > 0,25 \text{ mm}$)
Piasek drobny	Pd	Zawartość ziaren o średnicy mniejszej niż 0,25 mm wynosi więcej niż 50% ($d_{50} \leq 0,25 \text{ mm}$)
Piasek pylasty	Pn	$f_p = 68 \div 90\%$ $f_n = 10 \div 30\%$ $f_i = 0 \div 2\%$

Klasyfikacja gruntów

Podział gruntów spoistych ze względu na uziarnienie

Nazwa gruntu	Symbol	Uziarnienie, %		
		f_p	f_n	f_i
Piasek gliniasty	Pg	60 ÷ 98	0 ÷ 30	2 ÷ 10
Pył piaszczysty	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	Gn	0 ÷ 30	30 ÷ 90	10 ÷ 20
Gлина pia. zwięzła	Gpz	50 ÷ 80	0 ÷ 30	20 ÷ 30
Gлина zwięzła	Gz	20 ÷ 50	20 ÷ 50	20 ÷ 30
Gлина pylasta zwięzła	Gnz	0 ÷ 30	50 ÷ 80	20 ÷ 30
Ił piaszczysty	Ip	30 ÷ 70	0 ÷ 20	30 ÷ 50
Ił	I	30 ÷ 70	0 ÷ 50	30 ÷ 100
Ił pylasty	In	30 ÷ 70	50 ÷ 70	30 ÷ 50



AGH

Frakcje, wymiary cząstek

Frakcje gruntu	Podfrakcje	Symbole	Wymiary cząstek
Grunty bardzo gruboziarniste	Duże głazy (<i>Large boulder</i>)	Lbo	> 630
	Głazy (<i>Boulder</i>)	Bo	> 200 – 630
	Głaziki (<i>Cobble</i>)	Co	> 63 – 200
Grunty gruboziarniste	Żwir (<i>Gravel</i>)	Gr	> 2,0 – 63
	Żwir gruby (<i>Coarse gravel</i>)	CGr	> 20 – 63
	Żwir średni (<i>Medium gravel</i>)	MGr	> 6,3 – 20
	Żwir drobny (<i>Fine gravel</i>)	FGr	> 2,0 – 6,3
	Piasek (<i>Sand</i>)	Sa	> 0,063 – 2,0
	Piasek gruby (<i>Coarse sand</i>)	CSa	> 0,63 – 2,0
	Piasek średni (<i>Medium sand</i>)	MSa	> 0,2 – 0,63
	Piasek drobny (<i>Fine sand</i>)	Fsa	> 0,063 – 2,0
Grunty drobne	Pył (<i>Silt</i>)	Si	> 0,002 – 0,063
	Pył gruby (<i>Coarse silt</i>)	CSi	> 0,02 – 0,063
	Pył średni (<i>Medium silt</i>)	MSi	> 0,0063 – 0,02
	Pył drobny (<i>Fine silt</i>)	Fsi	> 0,002 – 0,0063
	Il (<i>Clay</i>)	Cl	≤ 0,002

Zasady klasyfikacji gruntów

- Zasada jest podawanie symbolu **frakcji dominującej gruntu z dużej litery**. W gruntach niespoistych decyduje średnica ziarna, a w spoistych decyduje zachowanie gruntu. Grunt drobnoziarnisty (spoisty), którego właściwości są zdeterminowane przez drobne frakcje, można oznaczyć jako „pył” lub „ił” sprawdzając obecność składników drugorzędnych na podstawie ich plastyczności.
- Jeśli w przypadku gruntów gruboziarnistych występują dwie frakcje w przybliżeniu w równych proporcjach, pomiędzy odnośnymi nazwami powinien być umieszczony ukośnik, jak np. żwir/piasek (Gr/Sa) lub piasek drobny/średni (FSa/MSa). Zwykle grunty są gruntami złożonymi z różnych frakcji zatem składają się z frakcji głównej dominującej i frakcji drugorzędnych.

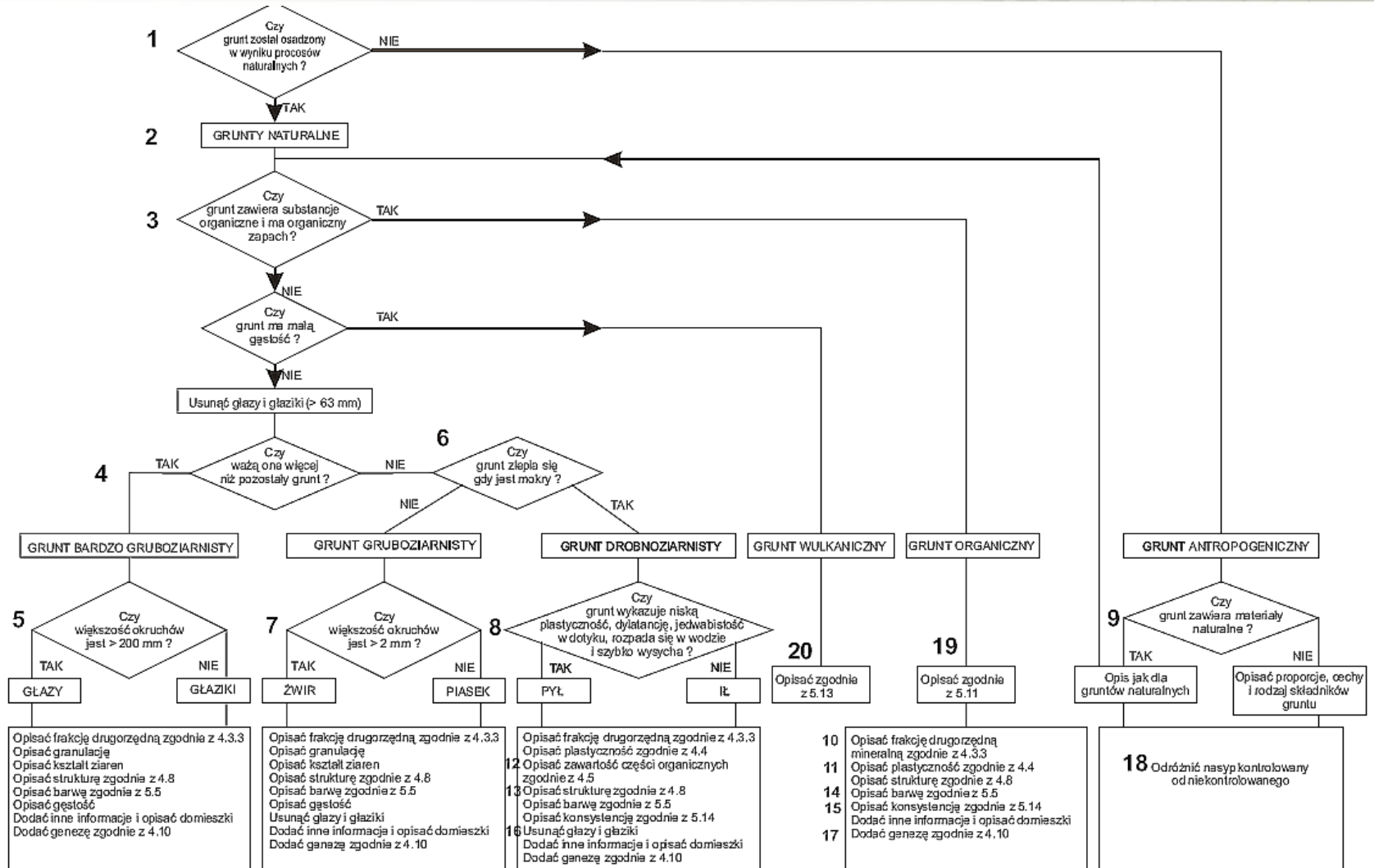
Zasady klasyfikacji gruntów

- **Nazwa frakcji głównej podawana jest w formie rzeczownikowej, a frakcja drugorzędna ma formę przymiotnikową (np. żwir piaszczysty saGr, ił pylasty siCl) lub dodatek „z” gdy mamy domieszki. Terminy oznaczające frakcje drugorzędne należy pisać małymi literami. Grunty stanowiące przewarstwienia mogą być pisane małymi podkreślonymi literami następującymi po głównej frakcji gruntu (np. ił pylasty przewarstwiony piaskiem siCl_{sa}).**



AGH

Schemat procedury oznaczania i opisu gruntów



Zasady klasyfikacji gruntów

Dla stwierdzenia obecności iłu lub pyłu, próbkę w jej naturalnym wilgotnym stanie należy rozciąć nożem. **Błyszcząca** nacięta powierzchnia wskazuje na zawartość **ilu**, podczas gdy **matowa** powierzchnia próbki jest charakterystyczna dla **pyłu** lub pyłu ilasto-piaszczystego o niskiej plastyczności. W celu szybkiej oceny, powierzchnię próbki można zarysować lub wygładzić paznokciem.

W celu oznaczenia plastyczności (spoistości) wilgotną próbkę gruntu powinno się wałeczkować na gładkiej powierzchni, aby otrzymać wałeczek o średnicy około 3 mm, następnie zlepić go z powrotem i powtarzać wałeczkowanie do chwili, kiedy na skutek utraty wody, grunt nie daje się wałeczkować, a tylko zlepiać. Osiąga się w ten sposób granicę plastyczności.

- niska spoistość: próbkę można zlepić, lecz nie daje się wykonać wałeczka o średnicy 3 mm.
- wysoka spoistość: próbka daje się wałeczkować do uzyskania cienkich wałeczków.

Zasady klasyfikacji gruntów

Wytrzymałość w stanie suchym dostarcza informacji o plastyczności gruntu, zatem o jego zachowaniu i oznaczeniu jako pyłu lub iłu.

W celu oznaczenia wytrzymałości w stanie suchym próbkę gruntu należy wysuszyć. Jej opór w czasie rozdrabniania lub sproszkowania pomiędzy palcami jest miarą wytrzymałości gruntu w stanie suchym. Rozróżnia się następujące wytrzymałości:

- **mała wytrzymałość w stanie suchym:** wysuszony grunt rozpada się pod lekkim lub średnim naciskiem palców;
- **średnia wytrzymałość w stanie suchym:** wysuszony grunt rozpada się pod wyraźnym naciskiem palców na bryłki, które nadal wykazują spoistość;
- **duża wytrzymałość w stanie suchym:** wysuszony grunt nie daje się rozdrobnić pod naciskiem palców, a może być jedynie rozłamany.

UWAGA: Pył charakteryzuje się niską wytrzymałością w stanie suchym. Wysoką wytrzymałość w stanie suchym wykazuje ił.

Proponowane polskie nazwy gruntów, symbole i zawartości frakcji wg klasyfikacji PN-EN 14688-2

Lp.	Nazwa gruntu	Symbol	Zawartość frakcji [%]			
			Cl (f_i)	Si (f_{π})	Sa (f_p)	Gr (f_z)
1	Żwir	Gr	do 3	0 – 15	0 – 20	80 – 100
2	Żwir piaszczysty	saGr	do 3	0 – 15	20 – 50	50 – 80
3	Piasek ze żwirem (pospólka)	grSa	do 3	0 – 15	50 – 80	20 – 50
4	Piasek drobny	F	do 3	0 – 15	85 – 100	0 – 20
	Piasek średni	M Sa				
	Piasek gruby	C				
5	Żwir pylasty	siGr	do 3	15 – 40	0 – 20	40 – 85
	Żwir gliniasty (pospólka gliniasta)	clGr				
6	Żwir pylasto-piaszczysty	sasiGr	do 3	15 – 40	20 – 45	40 – 65
	Żwir piaszczysto-pylasty (pospólka gliniasta)	sisGr				
7	Piasek pylasty (ilasty) ze żwirem	grsiSa grclSa	do 3	15 – 40	40 – 65	20 – 40
8	Piasek zapyłony	siSa	do 3	15 – 40	40 – 85	0 – 20
	Piasek zailony)	clSa				

Proponowane polskie nazwy gruntów, symbole i zawartości frakcji wg klasyfikacji PN-EN 14688-2

Lp.	Nazwa gruntu	Symbol	Zawartość frakcji [%]			
			Cl (f_l)	Si (f_π)	Sa (f_p)	Gr (f_z)
9	Żwir gliniasty pył ze żwirem	grSi grclSi siGr	0 – 8	40 – 80	0 – 20	20 – 60
10	Glina	saclSi saCl sasiCl	20 – 10	40 – 80	20 – 60	0 – 20
11	Glina pylasta	siCl	10 – 20	40 – 60	20 – 40	20 – 30
12	Glina piaszczysta	grsaSi grsaCl	10 – 20	40 – 60	20 – 30	20 – 40
13	Pył II	Si clSi Cl siCl	10 – 100	60 – 80	0 – 20	0 – 20
14	Grunty różnoziarniste	grsasiS	10 – 30	20 – 40	30 – 40	20 – 40
15	Symbolo dla zwietrzelin rumoszowych i gliniastych	sagrSi		20 – 40	20 – 40	30 – 40
			10 – 30	40 – 60	30 – 60	

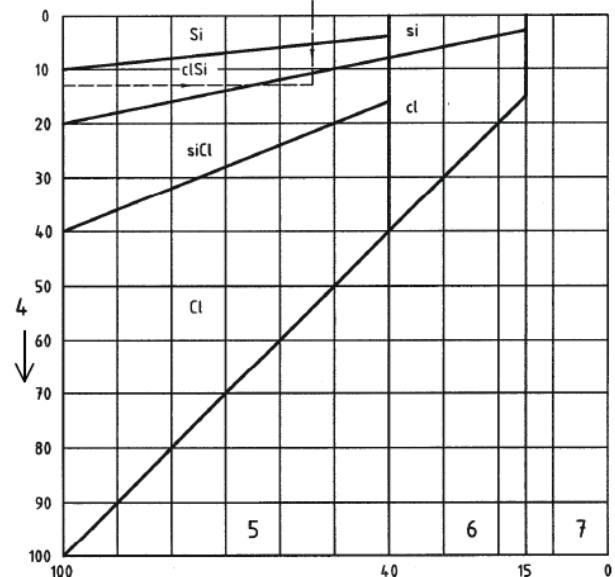
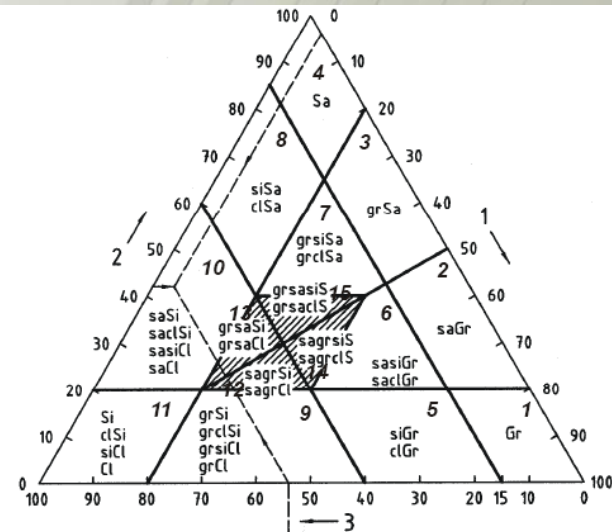


AGH

Klasyfikacja gruntów

Klasyfikacja gruntów oparta na wielkości ziaren wg EN-ISO 14688-2

- 1. zawartość ziaren żwirowych (2 mm do 63 mm);**
- 2. zawartość frakcji piaskowej (0,063 mm do 2 mm);**
- 3. zawartość frakcji drobnych (fine) (<0,063 mm);**
- 4. zawartość łu w % do masy pozostałych ziaren mniejszych 63 mm;**
- 5. grunty drobne (fine) pyły i łu;**
- 6. grunty różnoziarniste grube i drobne (pylaste lub ilaste żwiry i piaski);**
- 7. grunty gruboziarniste, żwiry i piaski kierunek wzrastania wartości**

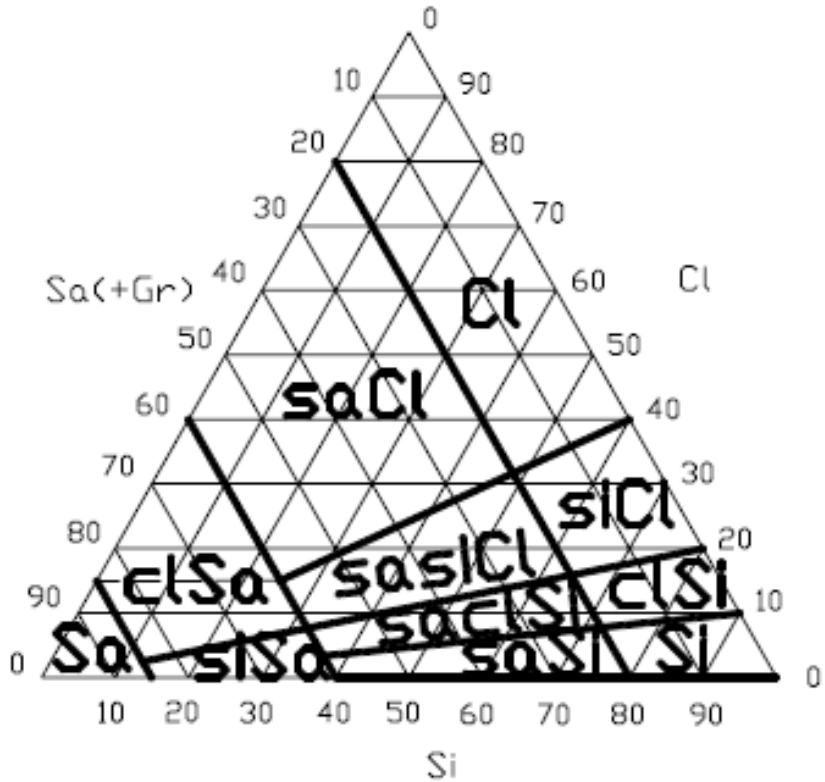
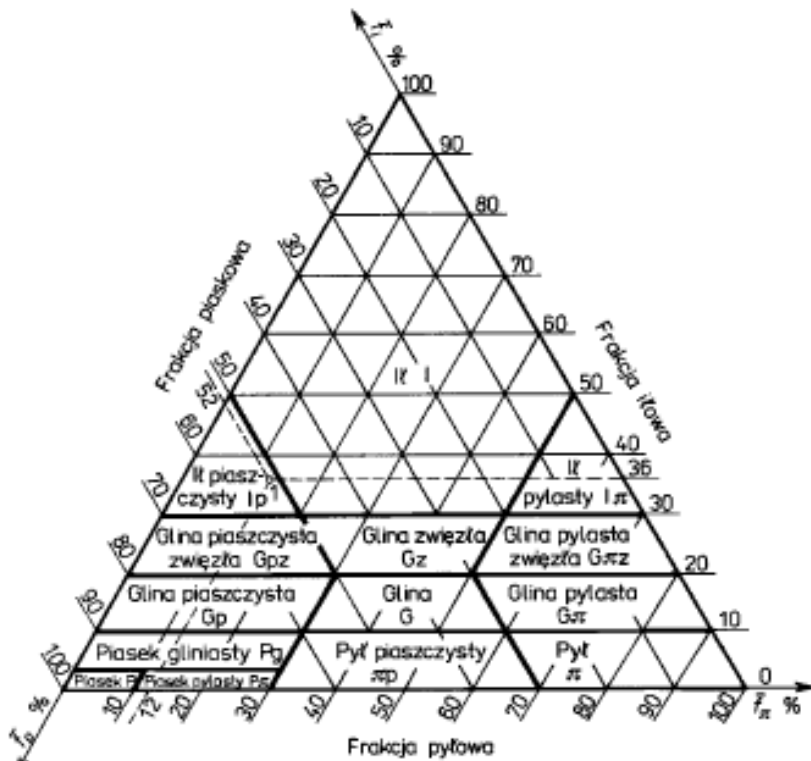




AGH

Klasyfikacja gruntów

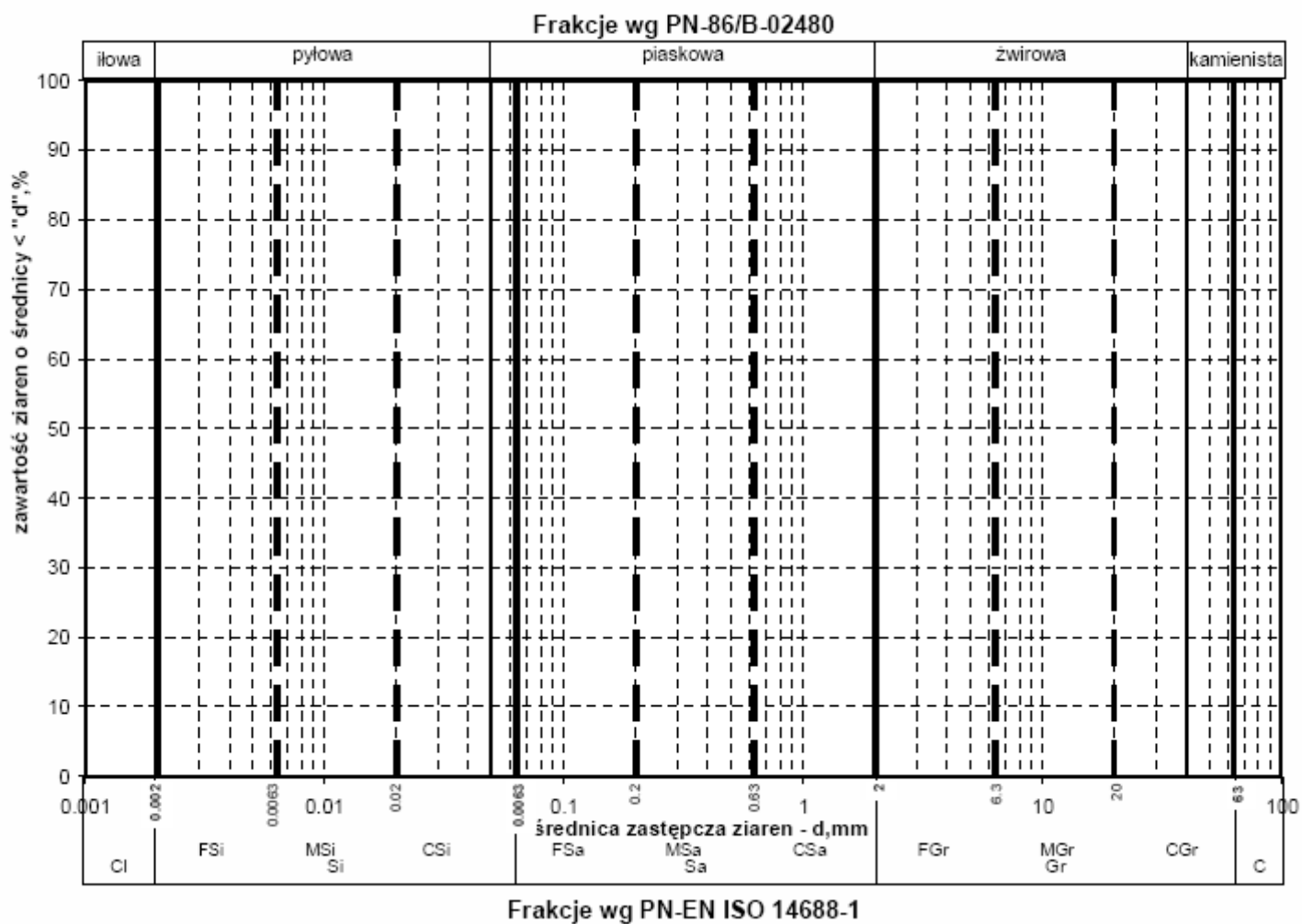
Nazwy i symbole gruntów wg dotychczasowej klasyfikacji polskiej i nowej klasyfikacji





AGH

Klasyfikacja gruntów - frakcje



- **Szymański A. – Wykłady z mechaniki gruntów i budownictwa ziemnego**
- **Wiłun Z. – Zarys geotechniki**
- **Lambe T. W. Whitman R.V (1976, 1977) Mechanika gruntów, Tom I i II, Arkady, Warszawa**
- **Verruijt A. 2001. Soil Mechanics**
- **Coduto D.P. 1999. Geotechnical Engineering.**
- **Coduto D.P. 2001. Foundation design.**
- **Jarominiak A. 1999. Lekkie konstrukcje oporowe.**
- **Myślińska E. 2001. Laboratoryjne badania gruntów.**
- **Obrycki M., Pisarczyk S. 1999. Zbiór zadań z mechaniki gruntów.**