



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

Wykład I

Mechanika Gruntów - repetytorium

Marek Cała, Jerzy Flisiak

**Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki
Wydział Górnictwa i Geoinżynierii**

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

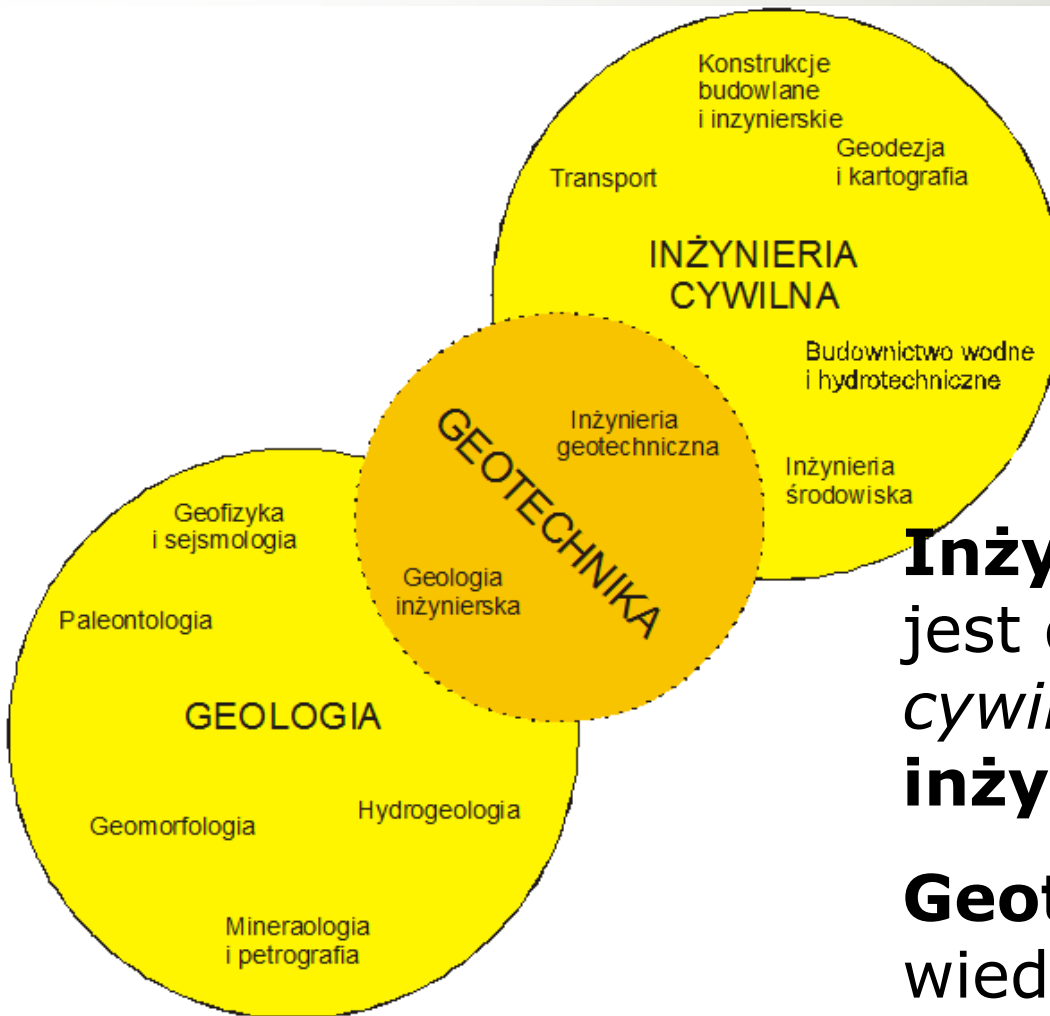
Inżynieria geotechniczna jest gałęzią inżynierii cywilnej, która zajmuje się gruntami, skałami i wodą oraz ich powiązaniem z projektowaniem i wykonawstwem projektów inżynierskich

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

Geotechnika, Inżynieria geotechniczna



Inżynieria geotechniczna jest działem *inżynierii cywilnej* zaś **geologia inżynierska** *geologii*

Geotechnika łączy w sobie wiedzę zawartą w obu tych działach

Historia magistra vitae!

***And we can
save 700 lira
by not taking
soil tests...***

Pisa, XII century



Miejsce i zadania mechaniki gruntów w geotechnice

**PROJEKTOWANIE
I WYKONAWSTWO BUDOWLI
ZIEMNYCH**

**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
- wzmocnianie podłoża
- dobór metod obliczeniowych w projektowaniu

SKŁADOWISKA ODPADÓW

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

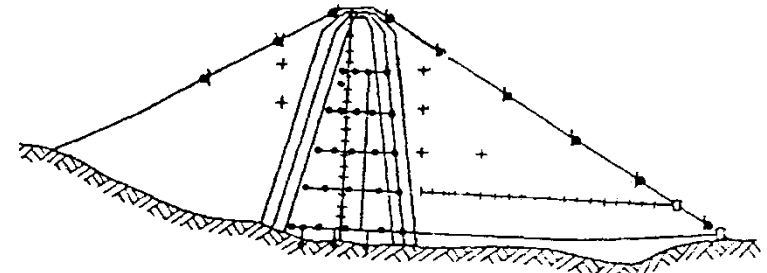
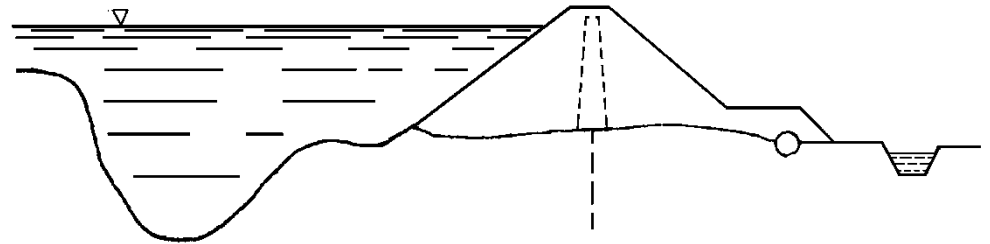
SPECJALNE PROBLEMY

- posadowienie budowli na gruntach ekspansywnych
- dynamiczne obciążenia gruntów

Problemy geotechniczne

PROJEKTOWANIE I WYKONAWSTWO BUDOWLI ZIEMNYCH

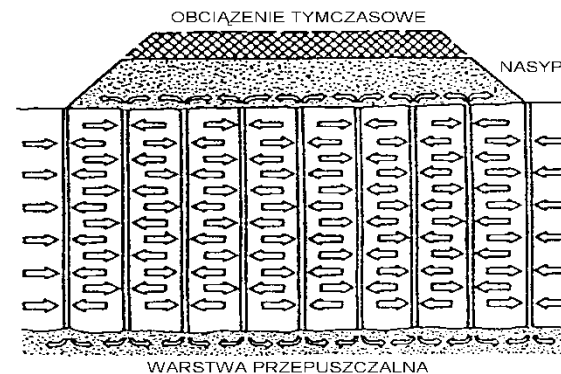
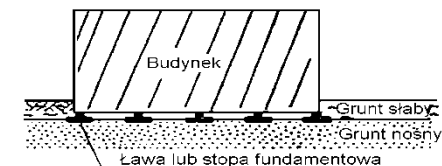
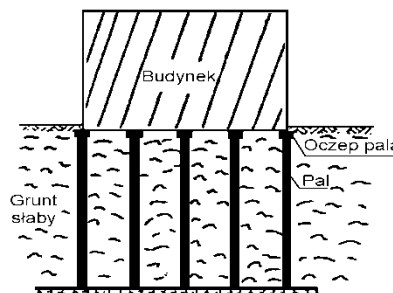
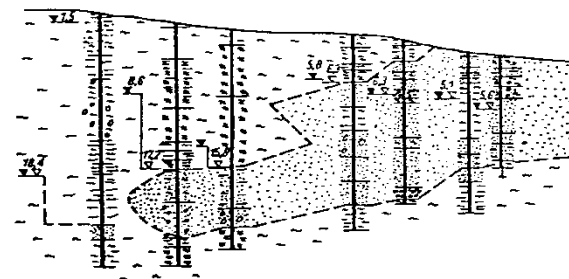
- ∅ DOBÓR MATERIAŁU DO BUDOWY ZAPÓR ZIEMNYCH, WAŁÓW, GROBLI, DRÓG, etc.
- ∅ WYBÓR METOD OBLICZANIA, STATECZNOŚCI, ODKSZTAŁCEN
- ∅ BADANIA I DOBÓR PARAMETRÓW DO OBLICZEŃ
- ∅ KONTROLA STANU TECHNICZNEGO BUDOWLI



Problemy geotechniczne

POSADOWIENIE BUDOWLI NA GRUNTACH

- Ø ROZPOZNANIE WŁAŚCIWOŚCI PODŁOŻA
- Ø WYBÓR METODY POSADOWIENIA
- Ø WZMACNIANIE PODŁOŻA
- Ø DOBÓR METOD OBLICZENIOWYCH W PROJEKTOWANIU



Problemy geotechniczne – posadawianie budowli na gruntach

Posadowienie
bezpośrednie

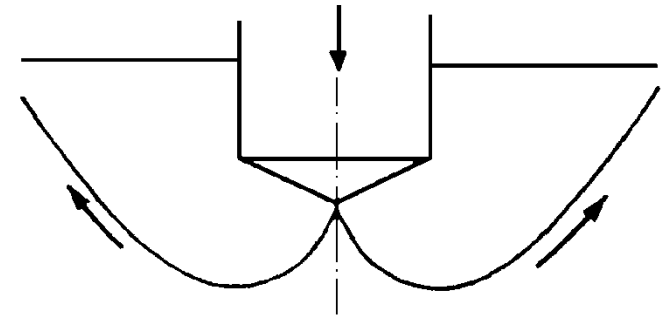
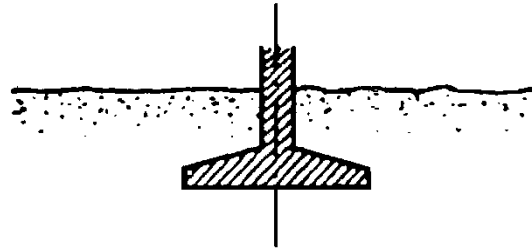
Ściany
oporowe

Ścianki
szczelne

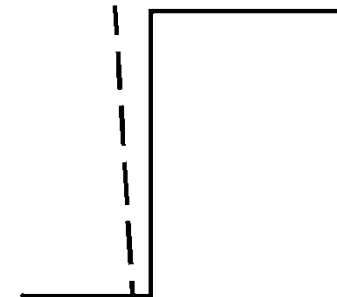
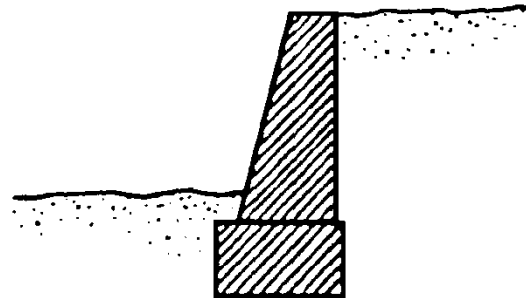
Obudowa
wykopów

Konstrukcje
podziemne

Posadowienie
bezpośrednie

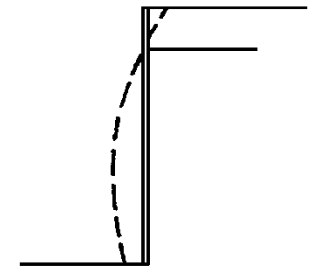
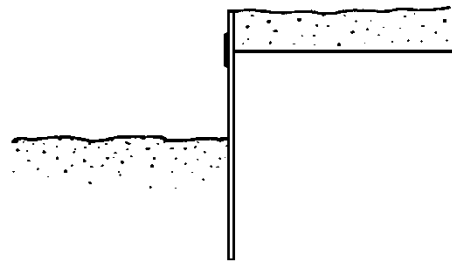


Ściany
oporowe

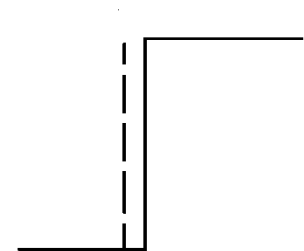
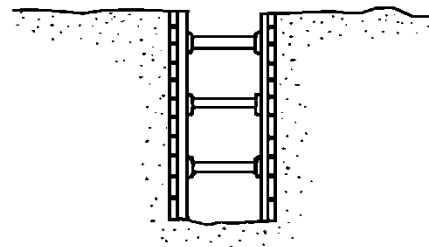


Problemy geotechniczne

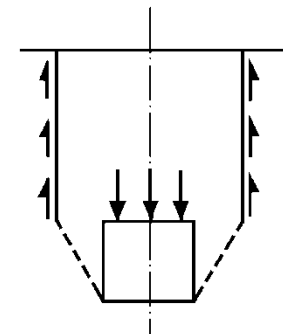
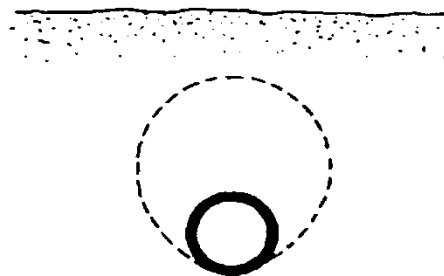
Ścianki
szczelne



Obudowa
wykopów



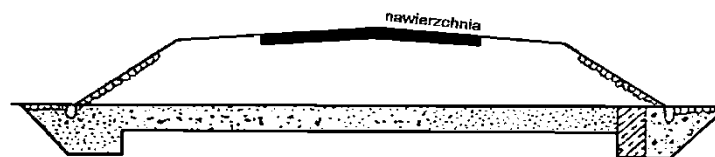
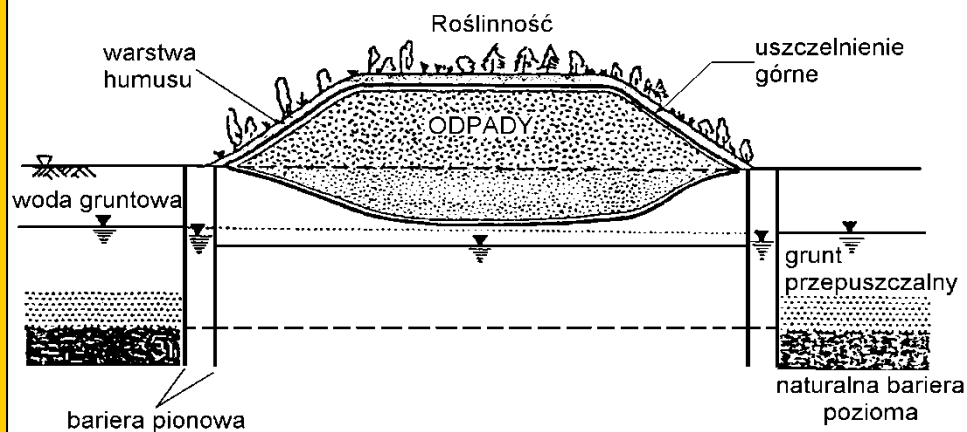
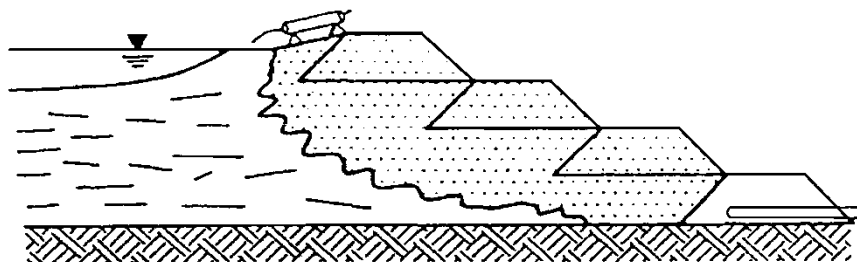
Konstrukcje
podziemne



Problemy geotechniczne

SKŁADOWISKA ODPADÓW

- Składowanie odpadów przemysłowych i komunalnych
- Zagospodarowanie terenów przemysłowych
- Wykorzystanie odpadów przemysłowych w budownictwie



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

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.

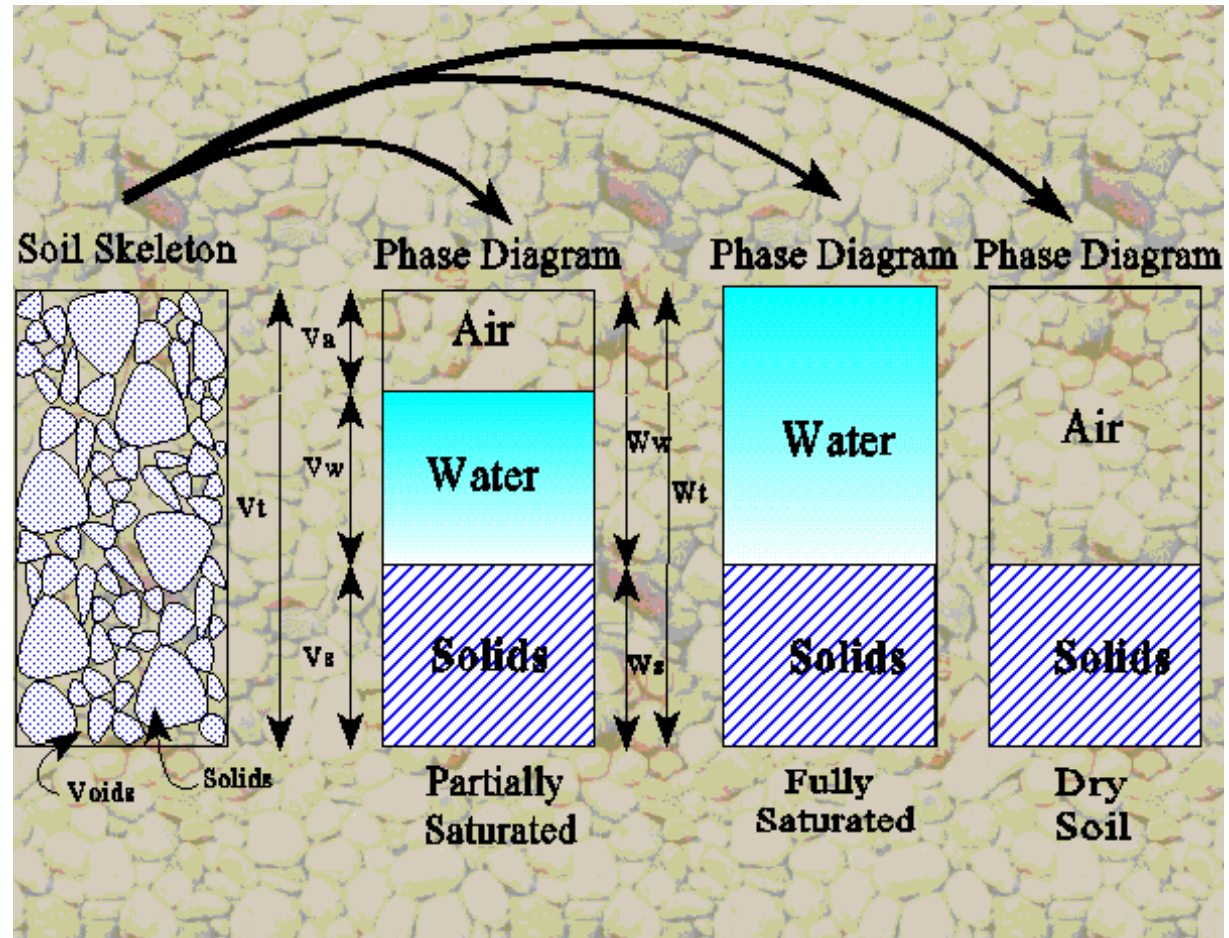
Craig, 1996

Trójfazowa Budowa Gruntu

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.





AGH

Parametry Opisujące Własności Fizyczne

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

Do podstawowych cech fizycznych gruntów zalicza się:

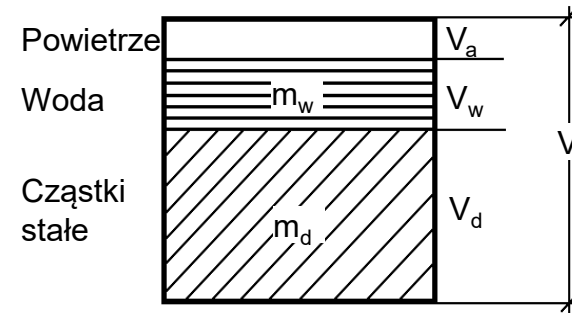
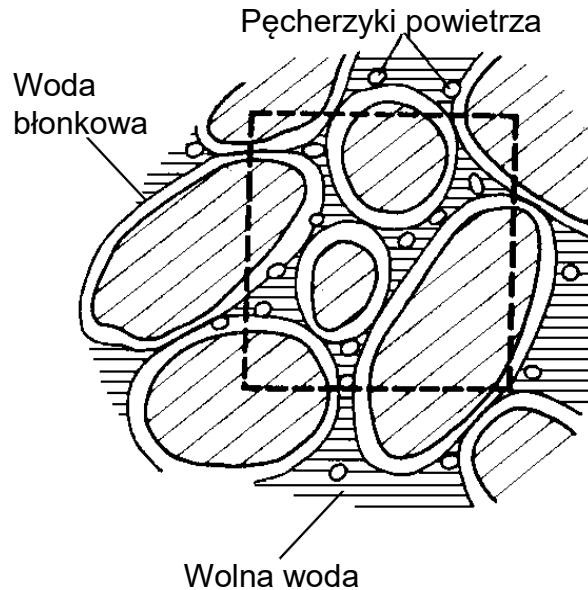
- **wilgotność w ,**
- **gęstość właściwą ρ_s**
- **gęstość objętościową ρ**

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_r i stopień wilgotności S_r**
- **stopień zagęszczania I_D i wskaźnik zagęszczania I_s**
- **wskaźnik plastyczności I_p stopień plastyczności I_L**

Grunt jako ośrodek trójfazowy



$$V = V_d + V_w + V_a = V_d + V_p = \text{const.} \quad m = m_d + m_w$$

gdzie:

V - objętość gruntu

V_d - objętość szkieletu gruntowego

V_w - objętość wody

V_a - objętość powietrza

$V_p = V_w + V_a$ - objętość porów

m_m - masa gruntu wilgotnego

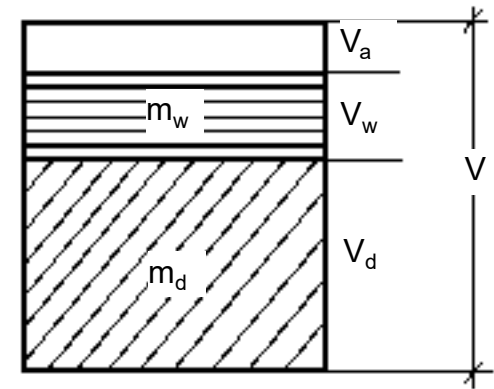
m_d - masa szkieletu cząstek gruntowych

m_w - masa wody

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

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

gdzie: m_w - masa wody
 m_d - masa szkieletu gruntowego



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

gdzie:

m_1 - masa wilgotnej próbki gruntu wraz z pojemnikiem,

m_2 - masa wysuszonej próbki wraz z pojemnikiem,

m_c - masa pojemnika

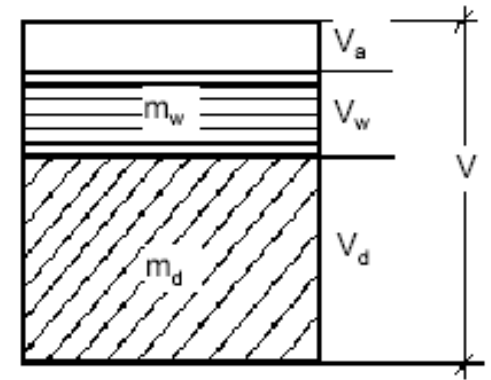
Wilgotnością naturalną w_n nazywamy wilgotność, jaką ma grunt w stanie naturalnym.

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

$$\rho_s = \frac{m_d}{V_d}$$

gdzie: m_d - masa cząstek gruntu

V_d - objętość samych cząstek (szkieletu gruntowego)



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

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

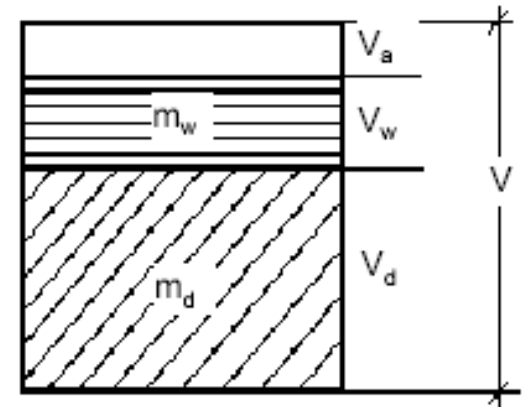
gdzie: m - masa próbki gruntu

V - objętość próbki gruntu

Cechy Fizyczne Pochodne od Cech Podstawowych

Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego ρ_d jest to stosunek masy szkieletu gruntu (masa ziaren i cząstek) w danej próbce do jej objętości pierwotnej (razem z porami).

$$\rho_d = \frac{m_d}{V} = \frac{100\rho}{100 + w_n}$$



gdzie: m_d - masa próbki wysuszonej do stałej wagi w

temperaturze $105 \div 110 \text{ }^\circ\text{C}$

V - objętość próbki gruntu przed wysuszeniem

ρ - gęstość objętościowa gruntu

W_n - wilgotność naturalna gruntu

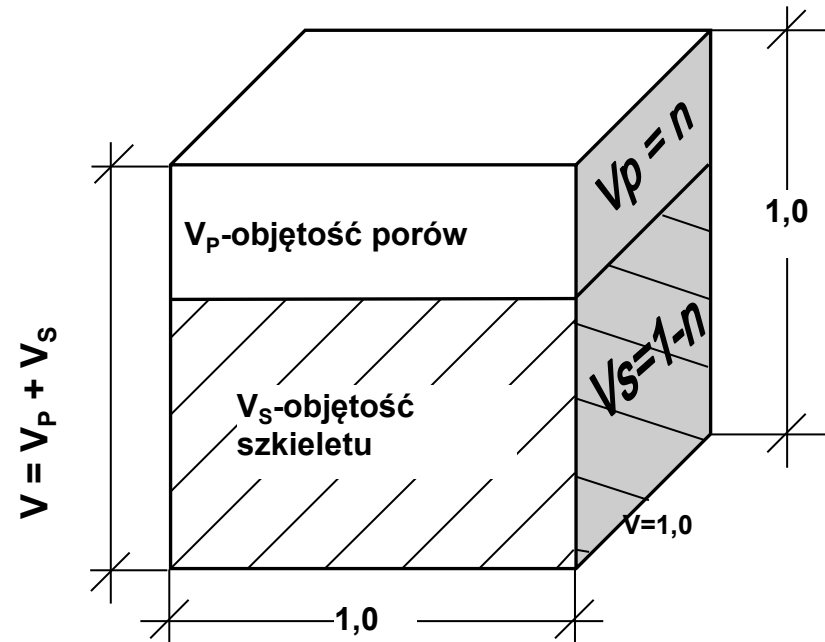
Znajomość gęstości objętościowej szkieletu jest konieczna do obliczenia porowatości, wskaźnika porowatości i wskaźnika zagęszczenia nasypów.

Cechy Fizyczne Pochodne od Cech Podstawowych

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:



Wykorzystując następujące wzory:

$$V = V_d + V_p \quad \rho_s = \frac{m_d}{V_d} \quad \text{oraz} \quad \rho_d = \frac{m_d}{V}$$

otrzymujemy:

$$n = \frac{V_p}{V} = \frac{V - V_d}{V} = 1 - \frac{m_d}{\rho_s V} = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s} = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s}$$

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

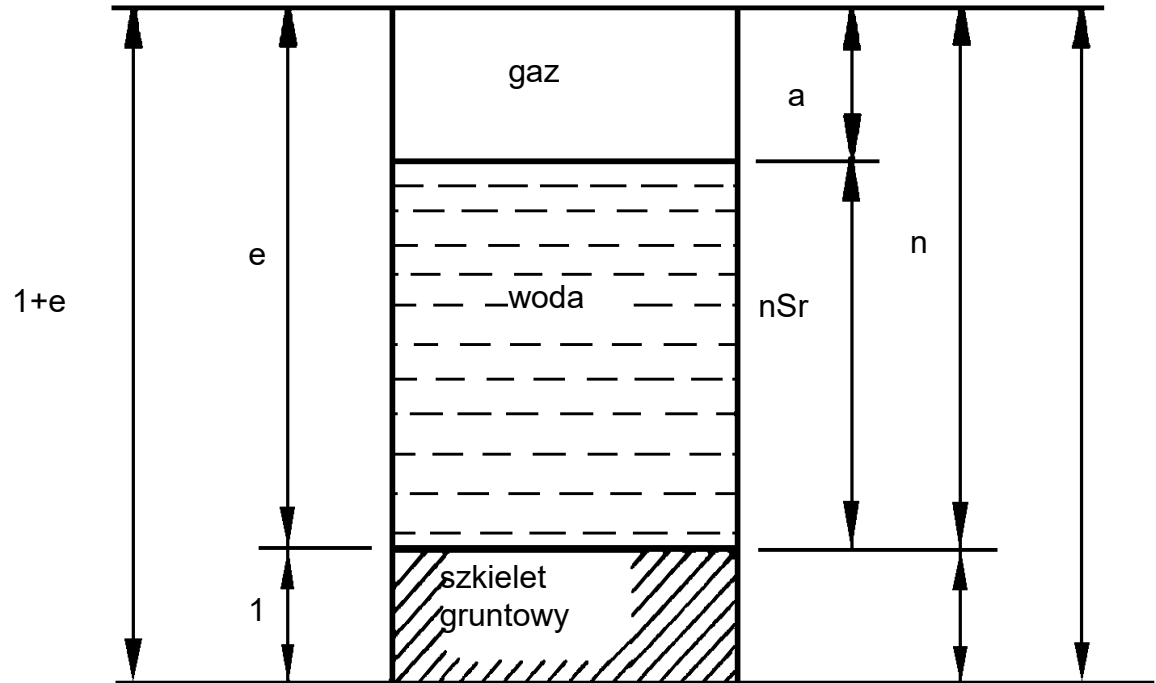
$$e = \frac{V_p}{V_d} = \frac{V_p}{V - V_p} = \frac{\frac{V_p}{V}}{1 - \frac{V_p}{V}} = \frac{n}{1 - n} = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}$$

Pomiędzy wskaźnikiem porowatości e a porowatością n zachodzi:

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

Cechy Fizyczne Pochodne od Cech Podstawowych

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



Wskaźnik porowatości e gruntów niespoistych waha się w granicach $0,3 \div 1,0$, a w gruntach spoistych może być znacznie większy.



AGH

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:

$$\gamma' = (1 - n)\rho_s g - (1 - n)\rho_w g = (1 - n) \cdot (\rho_s - \rho_w)g = (1 - n)(\gamma_s - \gamma_w) = \gamma_{sr} - \gamma_w$$

$$\gamma' = \gamma_{sr} - \gamma_w \quad \gamma_{sr} = (1 - n)\gamma_s + n\gamma_w$$

n - porowatość gruntu

ρ_s - gęstość właściwa szkieletu gruntowego

ρ_w - gęstość właściwa wody

g - przyspieszenie ziemskie, $9,81 \text{ m/s}^2$

γ_w - ciężar właściwy wody

γ_s - ciężar właściwy szkieletu gruntowego, $[\text{kN/m}^3]$

Cechy Fizyczne Pochodne od Cech Podstawowych

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 S_r określa stopień wypełnienia porów gruntu wodą.

$$S_r = \frac{V_w}{V_p} = \frac{\frac{V_w\rho_w}{m_d} \cdot 100}{\frac{V_p\rho_w}{m_d} \cdot 100} = \frac{w_n}{w_{sat}}$$

Zależnie od wartości S_r mamy stany zawilgocenia gruntów niespoistych:

suchy

$$S_r = 0$$

mało wilgotny

$$0 < S_r \leq 0,4$$

wilgotny

$$0,4 < S_r \leq 0,8$$

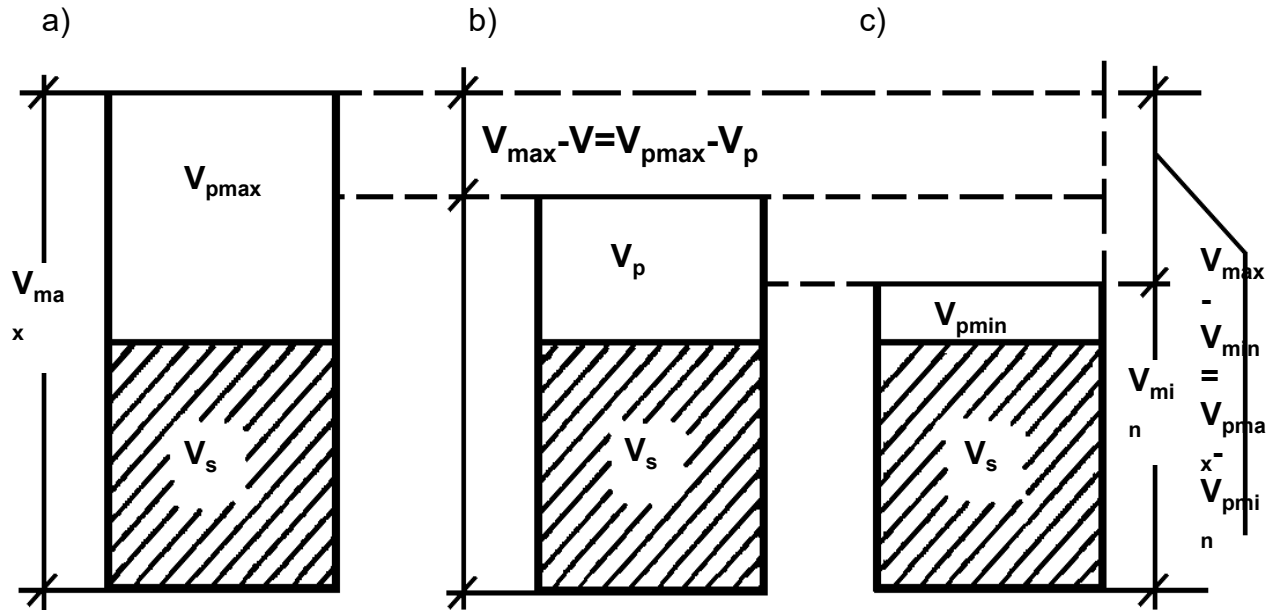
nawodniony

$$0,8 < S_r \leq 1,0$$

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

Parametry Zagęszczenia Gruntów

Stopień zagęszczenia I_D

$$I_D = \frac{V_{\max} - V}{V_{\max} - V_{\min}} = \frac{V_{p\max} - V_p}{V_{p\max} - V_{p\min}} = \frac{\frac{V_{p\max}}{V_d} - \frac{V_p}{V_d}}{\frac{V_{p\max}}{V_d} - \frac{V_{p\min}}{V_d}} = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} = \frac{\rho_{d\max}}{\rho_d} \cdot \frac{\rho_d - \rho_{d\min}}{\rho_{d\max} - \rho_{d\min}}$$

e_{\max} - wskaźnik porowatości maksymalnej obliczany dla gęstości objętościowej $\rho_{d\min}$ przy najbardziej luźno usypanym gruncie suchym,

e_{\min} - wskaźnik porowatości minimalnej obliczany dla gęstości objętościowej $\rho_{d\min}$ przy możliwie największym zagęszczeniu gruntu suchego przez wibrację (bez zniszczenia ziarn)

e - wskaźnik porowatości naturalnej odpowiadający ρ_d .



Parametry Zagęszczenia Gruntów

Stopień zagęszczenia I_D charakteryzuje stan gruntów niespoistych

Rozróżnia się cztery stany gruntów niespoistych wg PN - 86/B 02480:

grunt luźny

$$0 < I_D \leq 0,33$$

grunt średnio zagęszczony

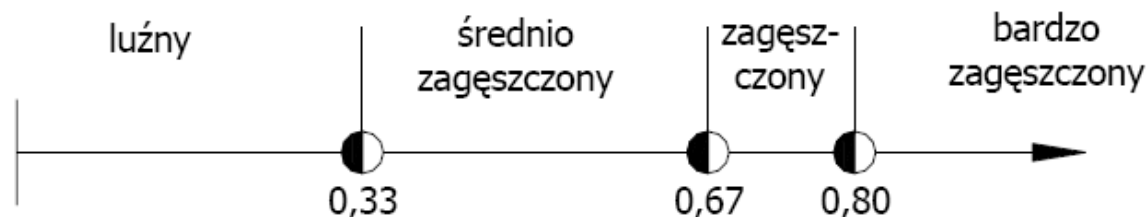
$$0,33 < I_D \leq 0,67$$

grunt zagęszczony

$$0,67 < I_D \leq 0,8$$

grunt bardzo zagęszczony

$$I_D > 0,8$$



Maksymalna wartość stopnia zagęszczenia $I_D = 1,0$

Parametry Zagęszczenia Gruntów

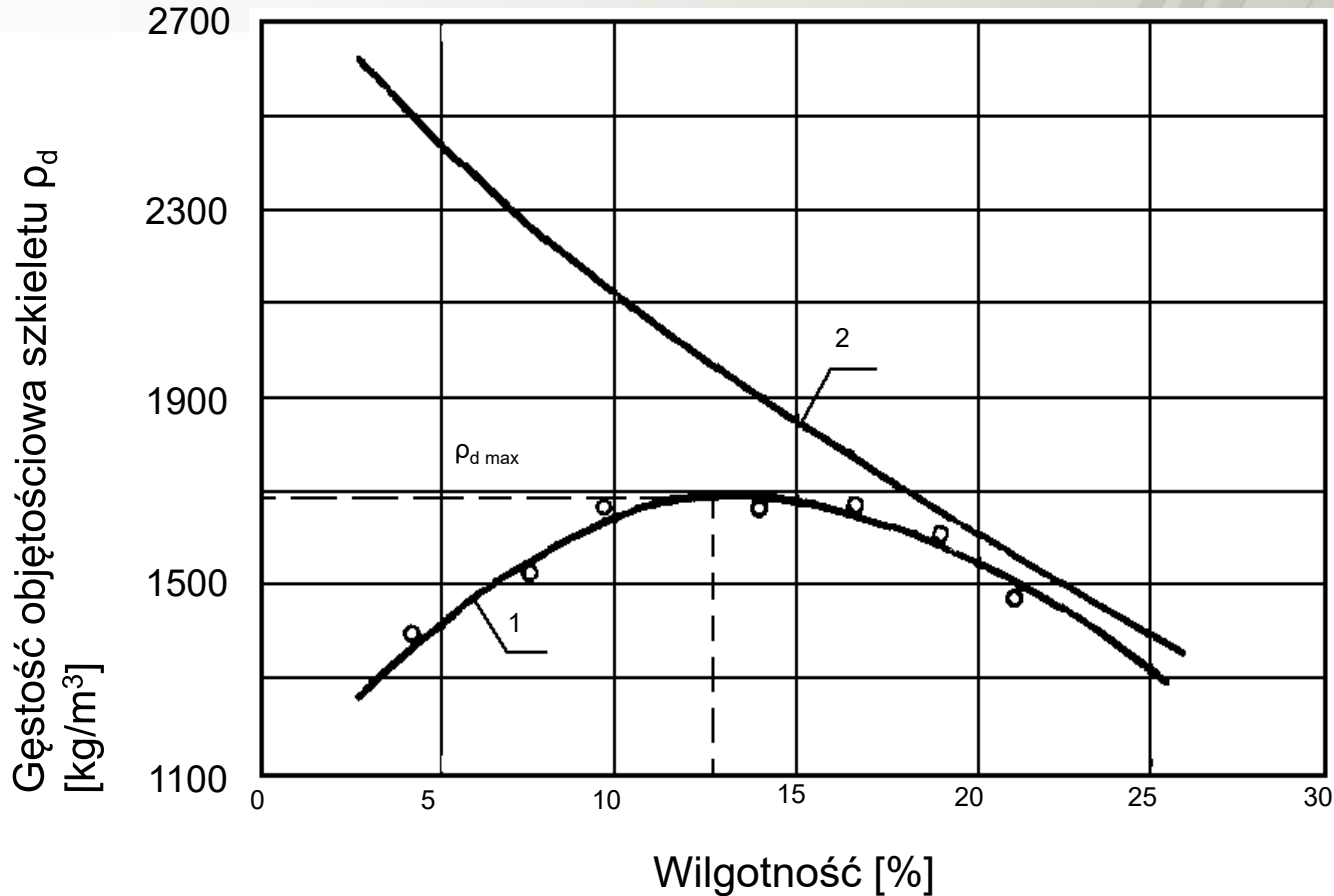
Wskaźnik zagęszczenia gruntów

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 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.**

Parametry Zagęszczenia Gruntów



Wpływ wilgotności na zagęszczenie gruntu:

- 1 – krzywa zagęszczenia,
- 2 – krzywa całkowitego nasycenia (teoretycznie max. zagęszczenie).

Parametry Zagęszczenia Gruntów

Wskaźnik zagęszczenia gruntów I_s jest miernikiem charakteryzującym jakość zagęszczenia nasypu:

$$I_s = \frac{\rho_{d\text{nas}}}{\rho_{ds}}$$

gdzie:

$\rho_{d\text{nas}}$ - gęstość objętościowa szkieletu gruntu w nasypie,

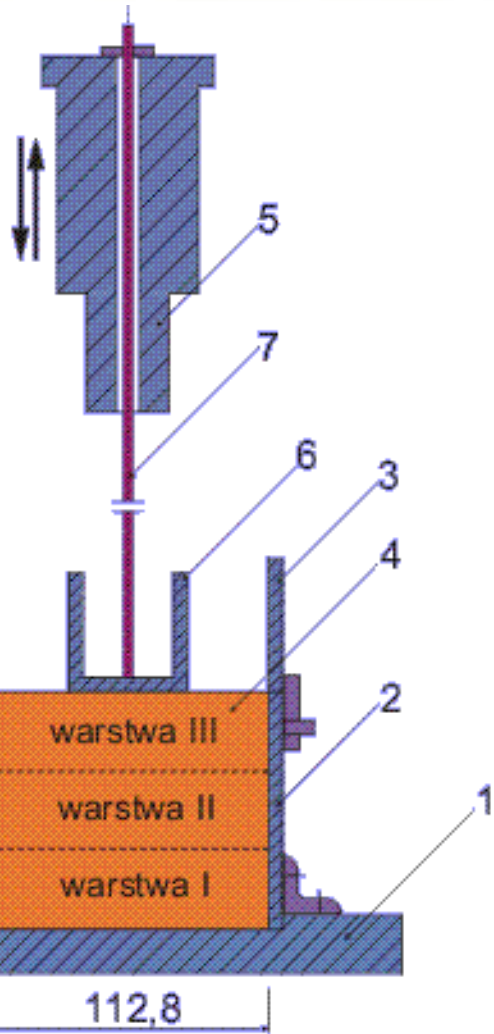
ρ_{ds} - maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntu.

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

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

$$I_s = 0.855 + 0.165I_D$$

Parametry Zagęszczenia Gruntów



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

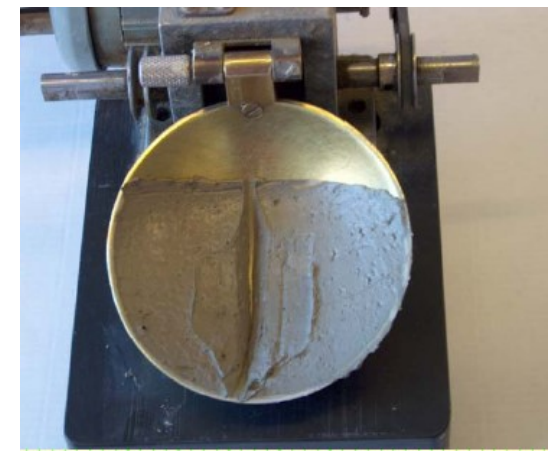


Granice konsystencji gruntów spoistych

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 półzwarłego i zwartego

Aparat Casagrande'a

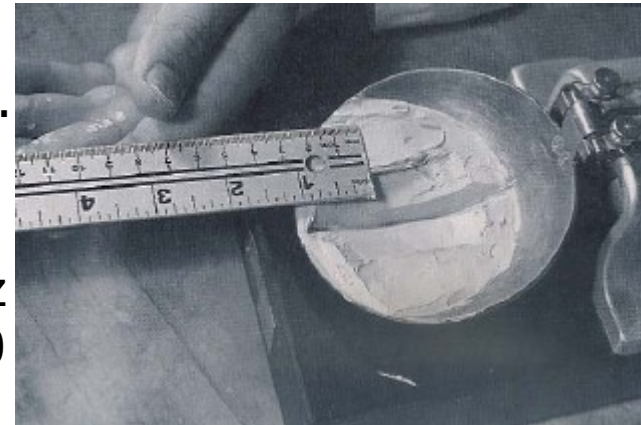
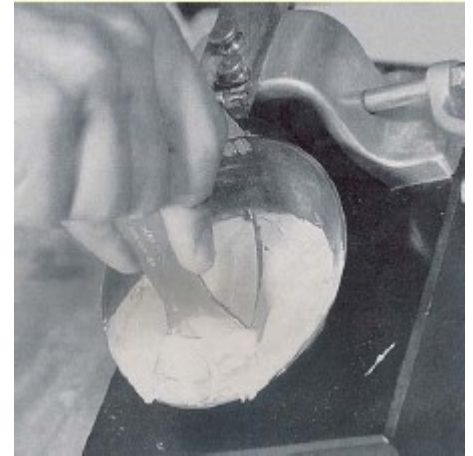


Granice konsystencji gruntów spoistych

Granica płynności

Granice płynności w_L wyznacza się w aparacie Casagrandego.

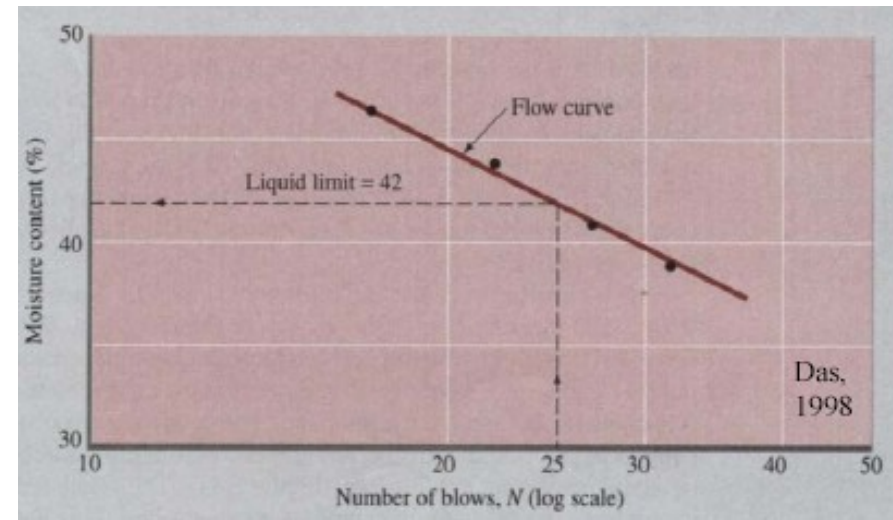
- Pobieramy próbkę gruntu o wilgotności naturalnej i rozrabiamy z wodą do konsystencji miękkoplastycznej pasty, przykrywamy i pozostawiamy na 16-20 h.
- Próbkę gruntu umieszcza się w miseczce podnoszonej na wysokość 10 mm i opuszczanej na podkładkę z twardej gumy.
- Pastę nakładamy do miseczki aparatu tak aby jej masa wraz z miseczką wynosiła równo 210 g.
- W paście wykonujemy znormalizowaną bruzdę o szerokości dołem 2 mm i górą 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.



Granice konsystencji gruntów spoistych

Granica płynności

- 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.



Wyznaczanie granicy płynności metodą jednopunktową w_L :

$$w_L = w_N \left(\frac{N}{25} \right)^{tg\beta} \approx w_N \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

Granice konsystencji gruntów spoistych

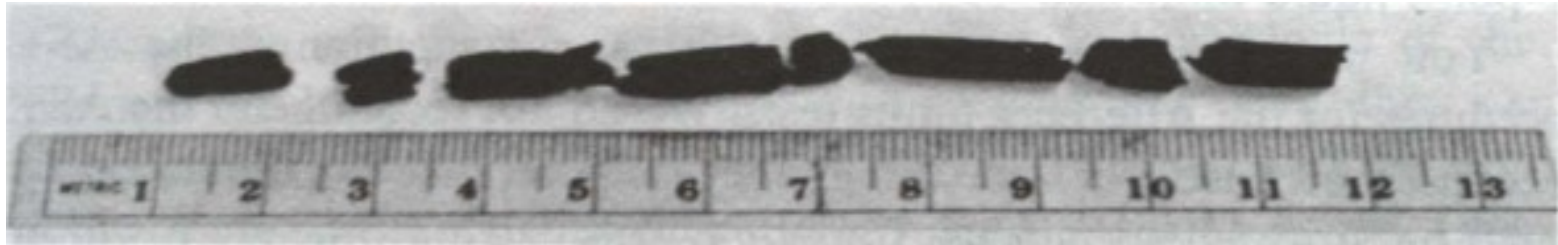
Granica plastyczności - wałeczowanie

- Do badania pobieramy, ze środka większej bryłki małą grudkę bez ziaren żwirowych i formujemy kulkę o średnicy 7 mm.
- Z kuleczki formuje się wałeczek na wyprostowanej lewej dłoni, prawa naciskając nieznacznie wałeczkuje się grunt z szybkością 2 razy na sekundę.
- Wałeczkuje się 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 wałeczkuje się 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 .





AGH

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

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_L jest to stosunek różnicy wilgotności naturalnej danego gruntu i granicy plastyczności do różnicy granicy płynności i granicy plastyczności. Wskaźnik ten określa, 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:

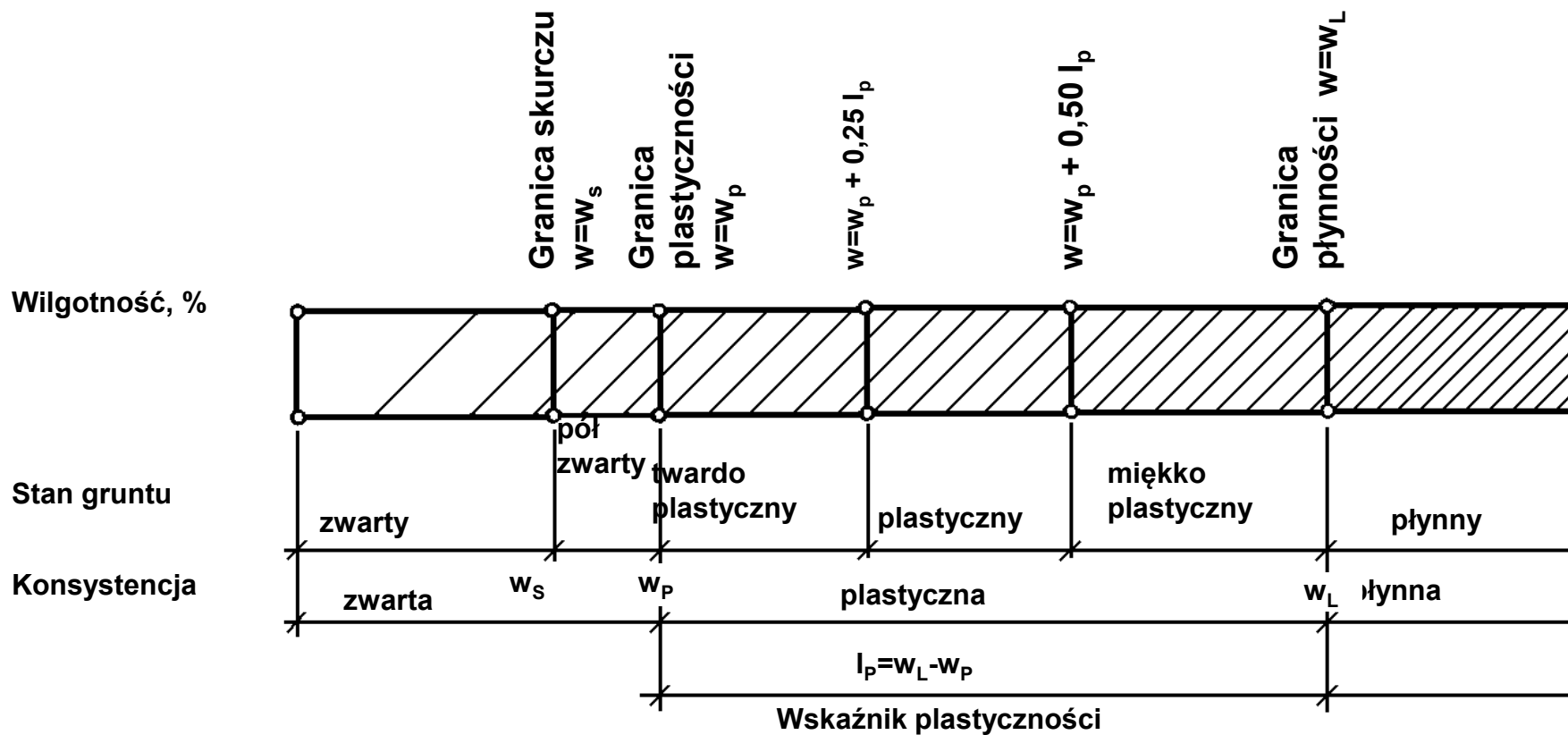
$$I_C = \frac{W_L - W_n}{W_L - W_P} = 1 - I_L$$

Parametry Plastyczności Gruntów

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

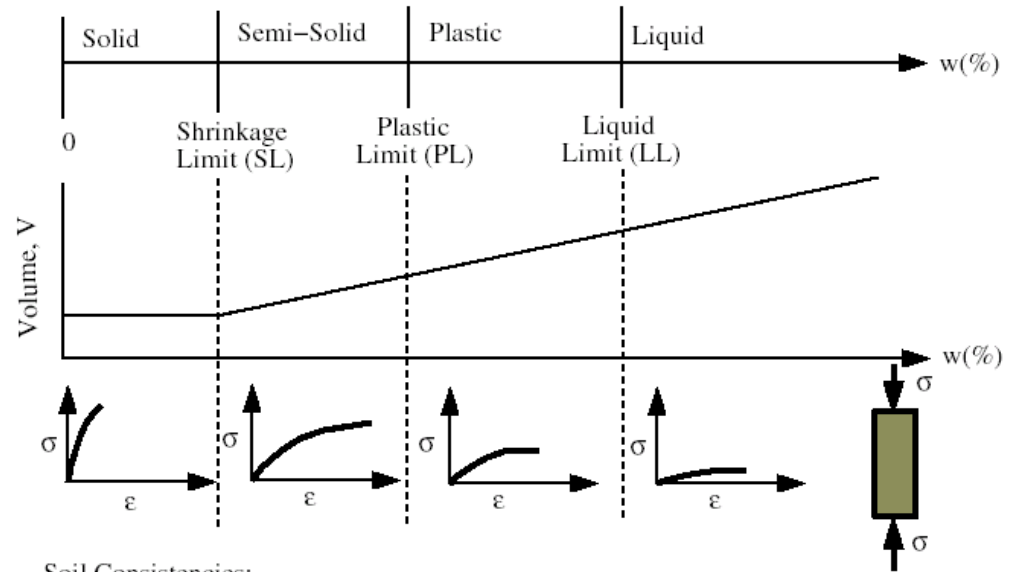
Określenie	Wskaźnik konsystencji I_c
Miękkoplastyczna	< 0.25
Plastyczna	od 0.25 do 0.50
Twardoplastyczna	od 0.50 do 0.50
Zwarta	od 0.75 do 1.00
Bardzo zwarta	> 1.00

Granice konsystencji



Rozróżnia się trzy konsystencje gruntów spoistych:

- **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 klasyfikacji stanu gruntów spoistych
wg norm PN-86/B/02480 i PN-EN ISO 14688-2

PN-EN ISO 14688-2		PN-86/B-02480	
Stan pyłów i łąw	Wskaźnik stanu I_c	Stopień plastyczności I_L	Stan gruntu spoistego
płynny	< 0.25	> 1	płynny
miękoplastyczny	0.25 do 0.50	0.50 do 1.0	miękoplastyczny
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 $d = 40 - 2 \text{ mm}$
- piaskowa o ziarnach $d = 2 - 0,05 \text{ mm}$
- pyłowa o cząstkach $d = 0,05 - 0,002 \text{ mm}$
- iłowa o cząstkach $d < 0,002 \text{ mm}$

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. Metoda pośrednią jest **analiza aerometryczna lub pipetowa.**

Uziarnienie i Charakterystyki Uziarnienia

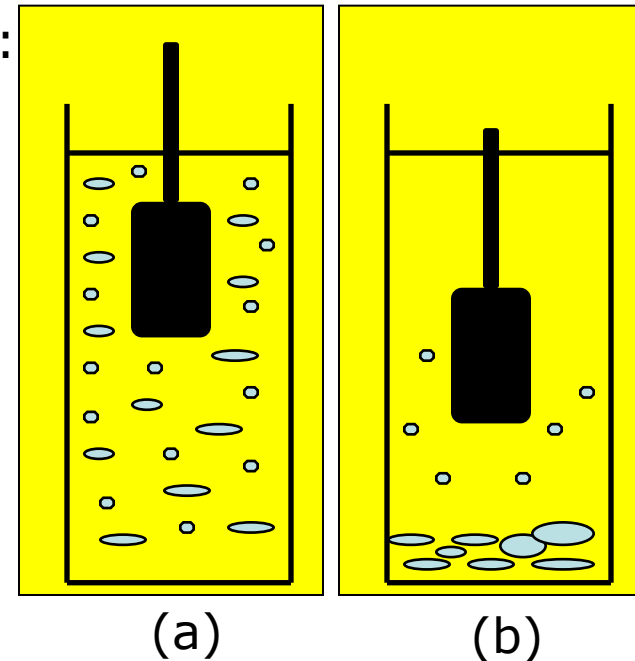


Uziarnienie i Charakterystyki Uziarnienia

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).

Kolejność czynności przedstawia się następująco:

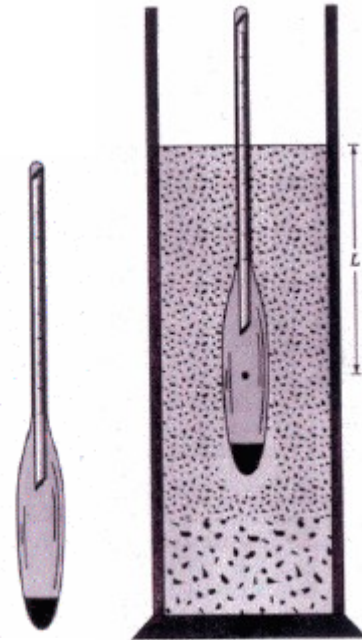
- wyznaczenie gęstości objętościowej zawiesiny (zależnej od masy zawartych w niej cząstek gruntu),
- wyznaczenie prędkości opadania cząstek (zależnej od ich średnicy i lepkości cieczy) ze wzoru Stokesa,
- obliczenie średnicy cząstek (zależnej od wyznaczonej głębokości H_i poniżej zwierciadła zawiesiny,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



Uziarnienie i Charakterystyki Uziarnienia

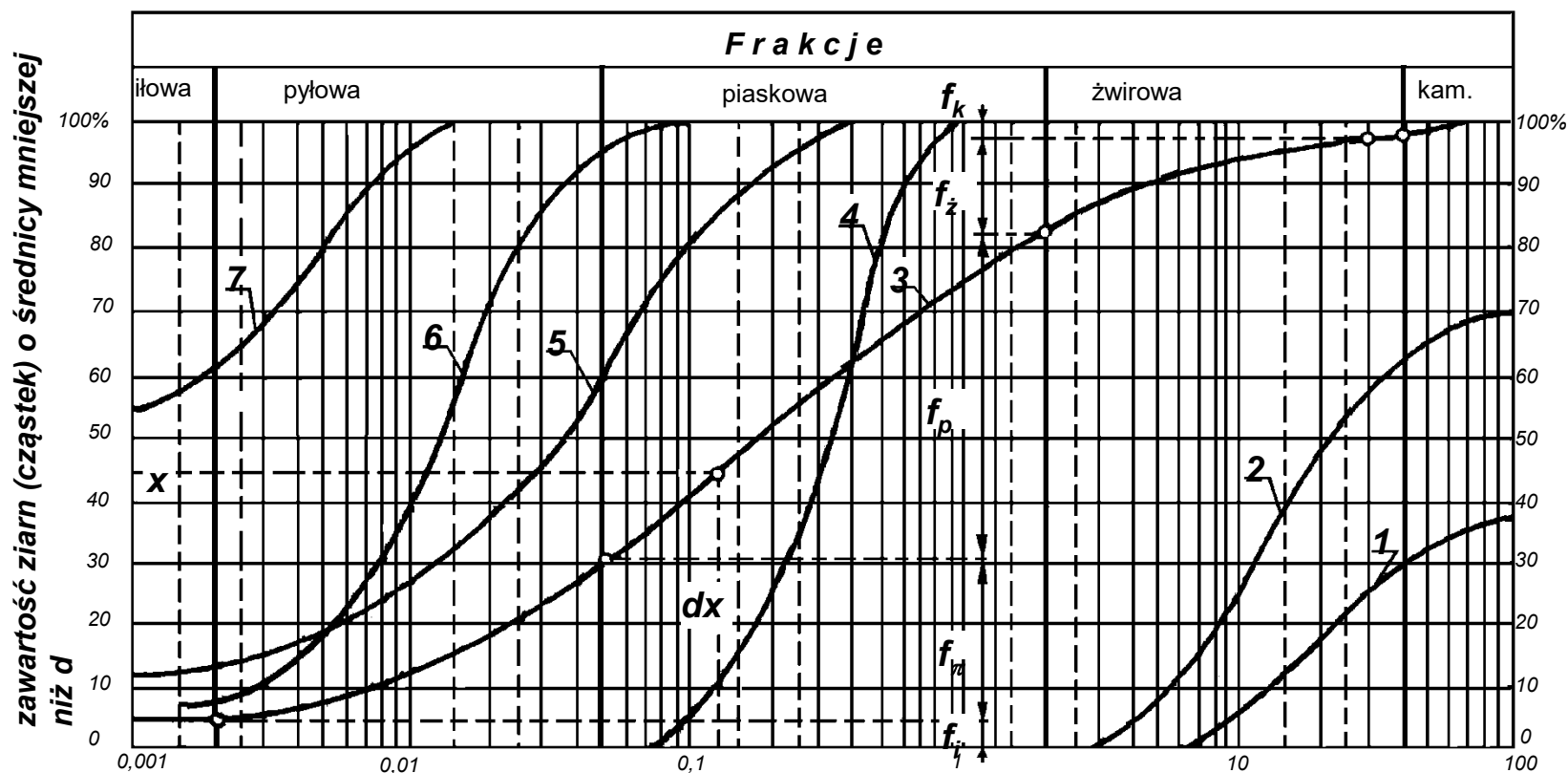
Cząstki o jednakowych wymiarach opadają na całej wysokości cylindra z jednostajną prędkością. W dolnych partiach zawiesiny w miejsce cząstek, które opadły niżej, wchodzą od góry nowe cząstki o tych samych wymiarach. Czyli gęstość objętościowa zawiesiny na tych poziomach w początkowym okresie nie zmienia 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 – il;
 średnica zastępcza ziarna (cząstki) – d , mm

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:

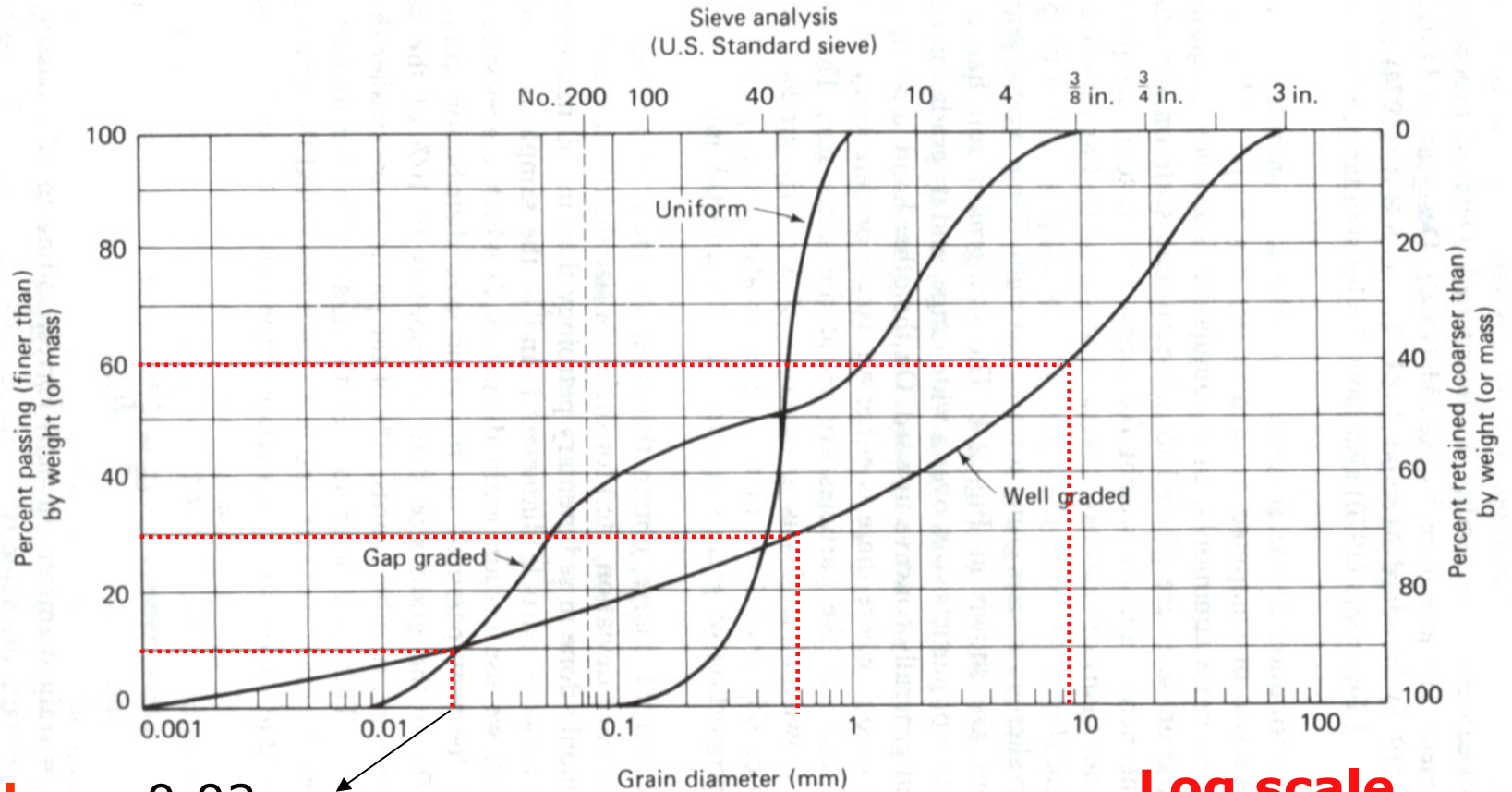
$$C = \frac{d_{30}^2}{d_{10}d_{60}}$$

- wskaźnik różnoziarnistości uziarnienia:

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



Uziarnienie i Charakterystyki Uziarnienia



Log scale

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

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

Fig. 2.4 Typical grain size distributions.

(Holtz and Kovacs, 1981)

Uziarnienie i Charakterystyki Uziarnienia

Zależnie od wskaźnika różnoziarnistości grunty dzieli się na:

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

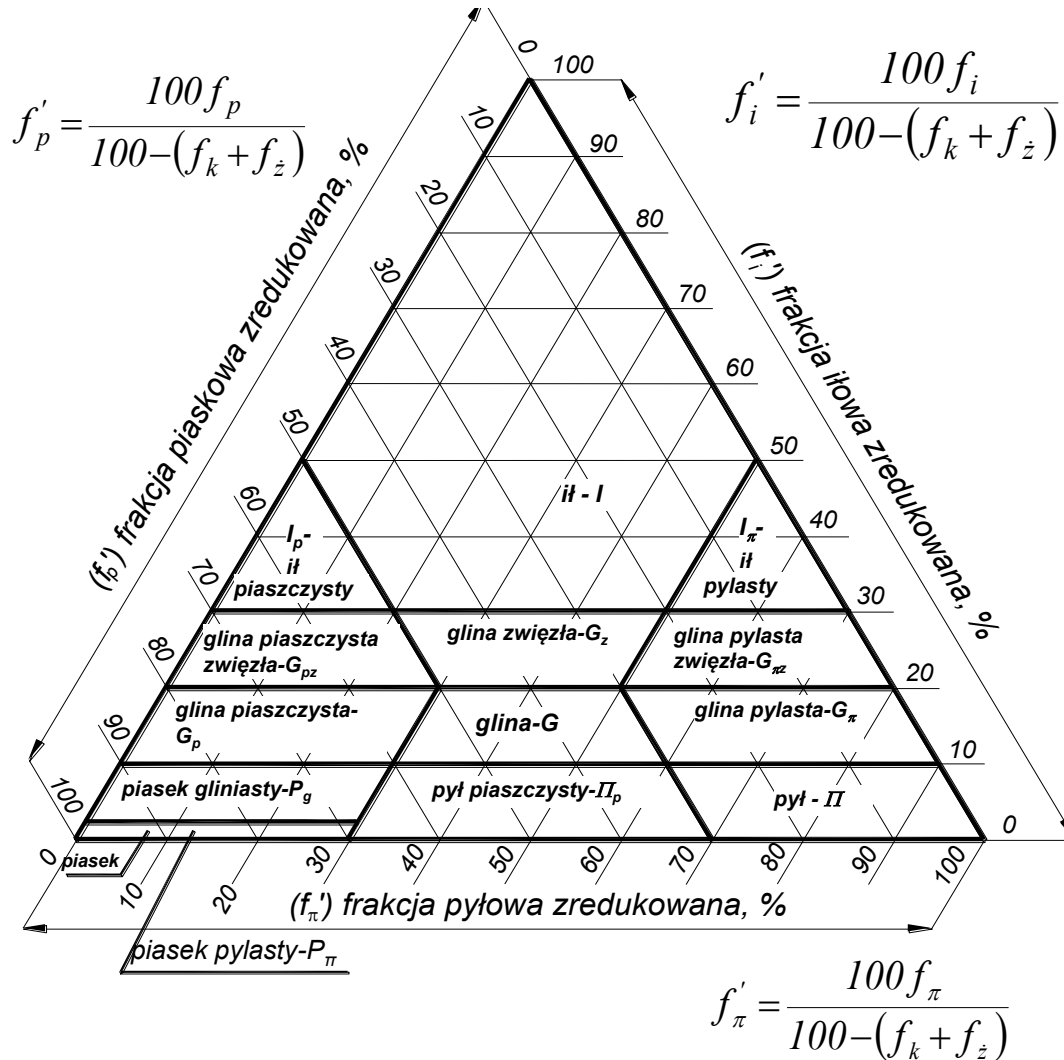
Grunt jest dobrze uziarniony, jeżeli:

- $C = 1 \div 3$
- $U > 4$ dla żwirów lub $U > 6$ dla piasków.

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

Charakterystyka krzywej uziarnienia	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 niski	Różnie (przeważnie <0.5)

Klasyfikacja Gruntów



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

- frakcja piaskowa zredukowana:

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

- frakcja pyłowa zredukowana:

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

- frakcja iłowa zredukowana:

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

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	$f_p = 68 \div 90\%$ $f_n = 10 \div 30\%$ $f_i = 0 \div 2\%$

Podział gruntów spoistych ze względu na uziarnienia.

Nazwa gruntu	Symbol	Uziarnienie, %		
		f_p	f_n	f_i
Piasek gliniasty	Pg	60 ÷ 98	0 ÷ 30	2 ÷ 10
Pył piaszczysty	np	30 ÷ 70	30 ÷ 70	0 ÷ 10
Pył	n	0 ÷ 30	60 ÷ 100	0 ÷ 10
Glina piaszczysta	Gp	50 ÷ 90	0 ÷ 30	10 ÷ 20
Glina	G	30 ÷ 60	30 ÷ 60	10 ÷ 20
Glina pylasta	Gn	0 ÷ 30	30 ÷ 90	10 ÷ 20
Glina pia. zwięzła	Gpz	50 ÷ 80	0 ÷ 30	20 ÷ 30
Glina zwięzła	Gz	20 ÷ 50	20 ÷ 50	20 ÷ 30
Glina pyl. 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



Porównanie stosowanych w świecie i Polsce symboli nazw gruntów z nową klasyfikacją wg normy 14688

Ujednolicony system ASTM D2487 – 93		Norma PN-86/B-02480	Klasyfikacja PN ISO EN 14688:2004		
Średnica ziaren		Ko	1500 mm	LBo	
			630 mm		
Średnica ziaren		Kr	200 mm	Co	
			63 mm		
GW	sita	40 mm	CGr	Gr	
GP			MGr		
GM		Ż	FGGr		
GC			Po		
SW		Pr	CSa	Sa	
			SP		MSa
SN	0,05 mm	FSa			
		0,063 mm			
SC	aparatury Casagrande'a	Pg, Gp,	CSi	Si	
ML		granica płynności <50 %	πp, π,		MSi
CL		G, Gπ	FSi		
MH	aparatury Casagrande'a	Gpz, Gz, Gπz	0,002 mm	CL	
CH		granica płynności >50 %	Ip, I, Iπ		
OH					
Średnica ziaren dla gruntów spoistych i wynik badania aparaturą Casagrande'a oraz granica płynności		Analiza makroskopowa, tylko średnice ziaren	Średnica ziaren + dla gruntów spoistych: spoistość, plastyczność, organika		

Kryterium	Grupa gruntów	Wydzielenie	Kwalifikacja w grupy o podobnych właściwościach		Dalszy podział
Grunty suche nie sklejające się	bardzo grube	większość ziaren >200 mm	Bo	xBo	wymagają specjalnego badania
		większość ziaren >63 mm	Co	boCo, saCo, grCo, coBo, sagrCo	
	grube	większość ziaren >2 mm	Gr	cosaGr, coGr, saGr, grSa	wielkość cząstek, mineralogia
		większość ziaren >0,063 mm	Sa	siGr, clGr, orSa, siSa, clSa, saclGr	
Grunty suche sklejające się	drobne	niskiej plastyczności dylatacja	Si	saSi, sagrSi, saclSi	plastyczność, wilgotność, wrażliwość, wytrzymałość, sztywność, sprężystość
		plastyczne bez dylatacji	Cl	clSi, siCl, orSi, orCl, sagrCl	
Ciemny kolor, mała gęstość	organiczne		Or	saOr, siOr, clOr	wymagają specjalnego badania
Sztuczne	nasypy	układane	Mg	xMg	jak dla gruntów naturalnych
				grunty wytworzone przez człowieka	
				naturalne grunty przerobione	
Klucz symboli typów gruntów:	główne składniki	domieszki			przypadki wymagające specjalnego badania opisuje się według norm obowiązujących w poszczególnych krajach
głazy	Bo	bo			
kamienie	Co	co			
zwiry	Gr	gr			
piaski	Sa	sa			
pyły	Si	si			
ił	Cl	cl			
Grunty organiczne	Or	or			
Grunty sztuczne	Mg	-			
		x – dowolne kombinacje składników			

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

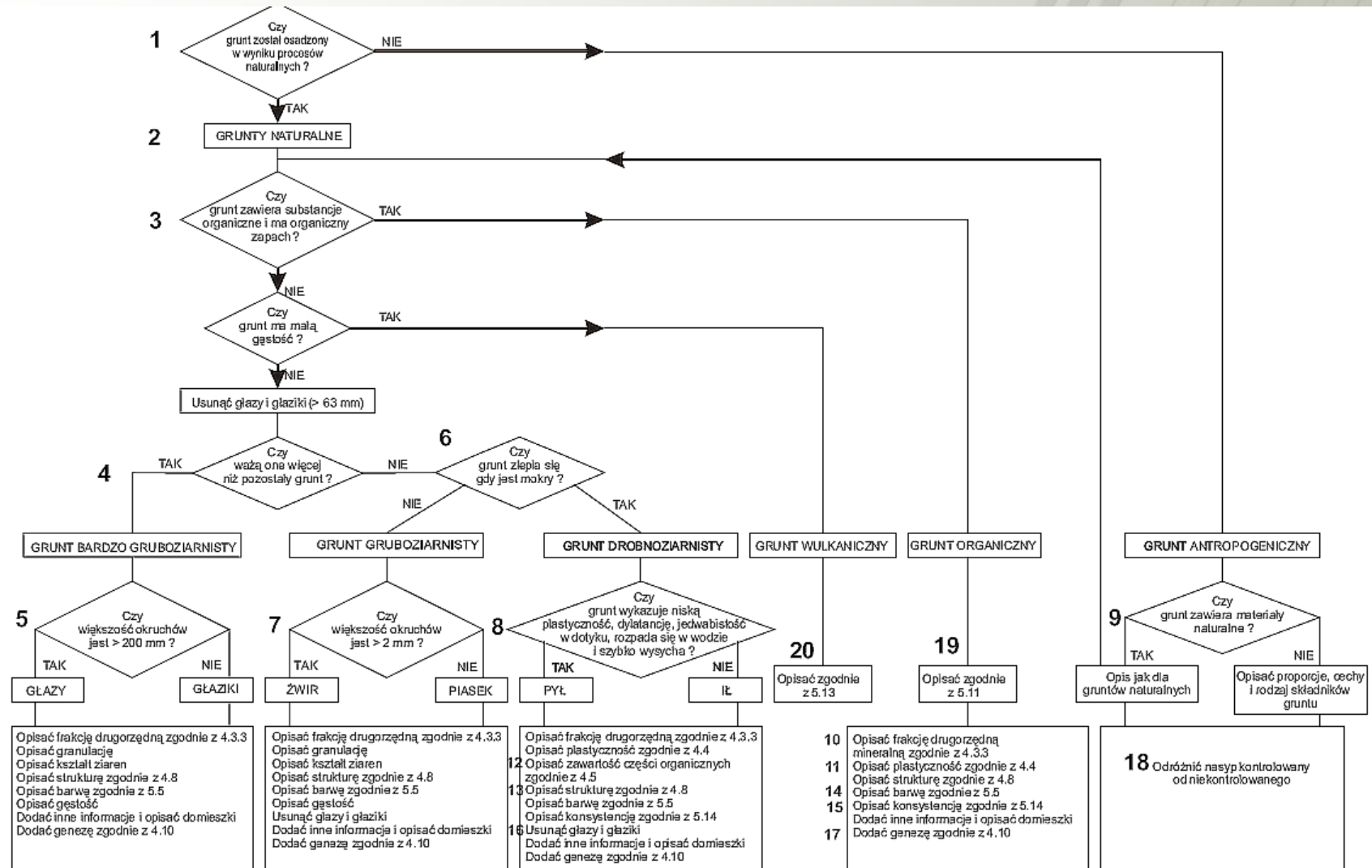


AGH

Zasady klasyfikacji gruntów

- Zasadą 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.
- 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 siClsa).

Schemat procedury oznaczania i opisu gruntów



Zasady klasyfikacji gruntów

Dla stwierdzenia obecności łu lub pyłu, próbkę w jej naturalnym wilgotnym stanie należy rozciąć nożem. **Błyszcząca** nacięta powierzchnia wskazuje na zawartość łu, podczas gdy **matowa** powierzchnia próbki jest charakterystyczna dla **pyłu** lub pyłu ilastopiaszczystego 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 zlepić. 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.

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

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 łu.

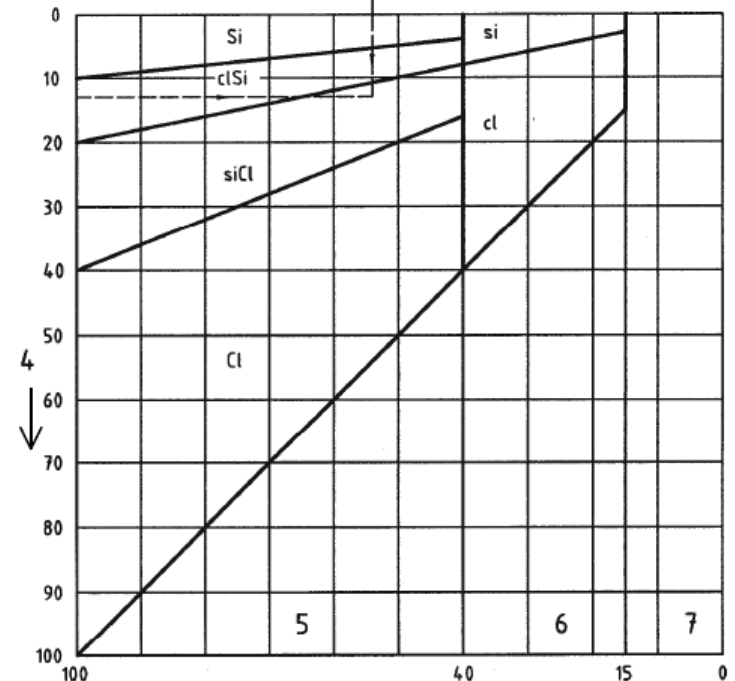
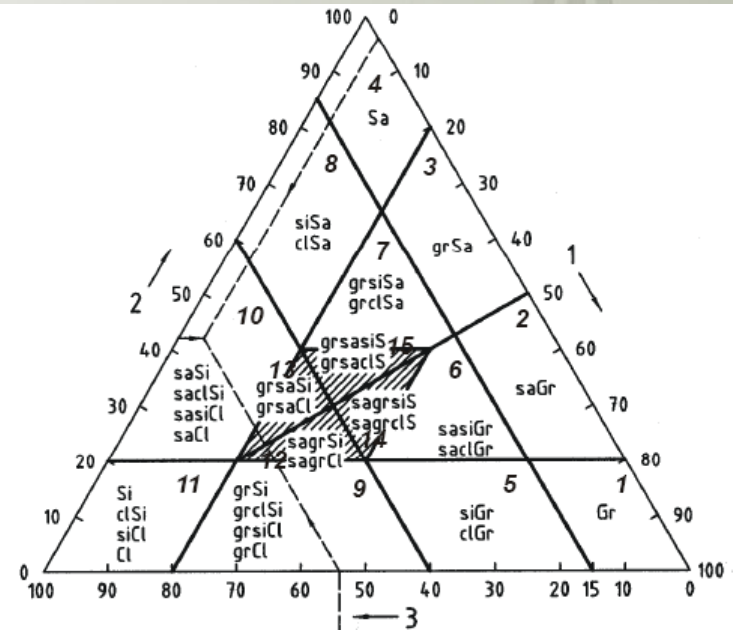
Proponowane polskie nazwy gruntów, symbole i zawartości frakcji wg klasyfikacji PN-EN 14688-2

Lp.	Nazwa gruntu	Symbol	Zawartość frakcji [%]			
			Cl (f_1)	Si (f_{π})	Sa (f_p)	Gr (f_2)
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 (pospółka)	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 (pospółka gliniasta)	clGr				
6	Żwir pylasto-piaszczysty	sasiGr	do 3	15 – 40	20 – 45	40 – 65
	Żwir piaszczysto-pylasty (pospółka 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				
9	Żwir gliniasty pył ze żwirem	grSi	0 – 8	40 – 80	0 – 20	20 – 60
		grclSi				
		siGr				
10	Glina	saclSi	20 – 10	40 – 80	20 – 60	0 – 20
		saCl				
		sasiCl				
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	10 – 100	60 – 80	0 – 20	0 – 20
		clSi				
		Cl				
		siCl				
14	Grunty różnoziarniste	grsasiS	10 – 30	20 – 40	30 – 40	20 – 40
15	Symbole dla zwietrzelin rumosзовych i gliniastych	sagrSi		20 – 40	20 – 40	30 – 40
			10 – 30	40 – 60	30 – 60	

Klasyfikacja Gruntów

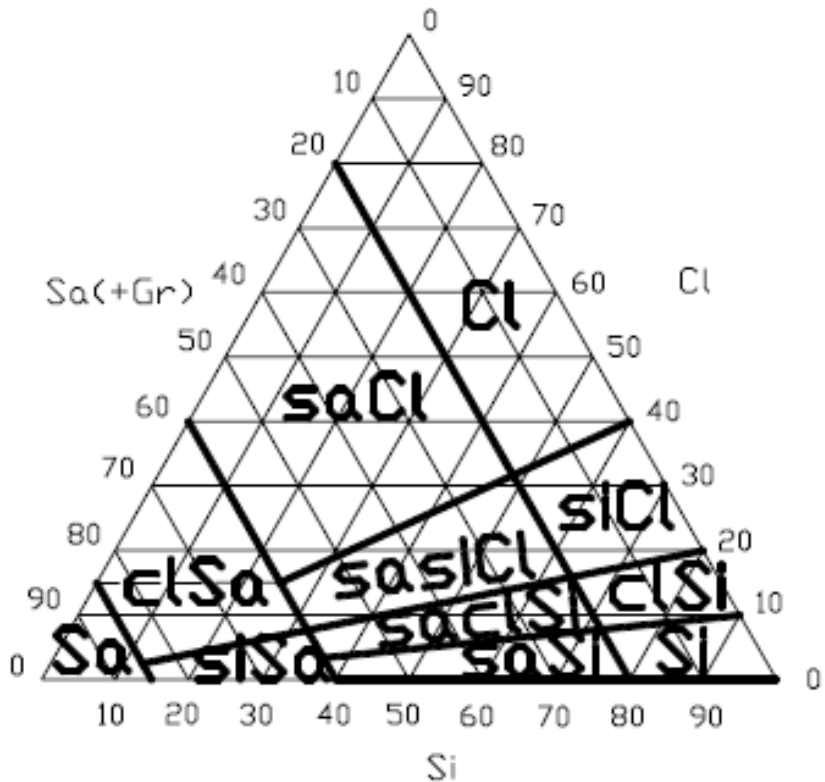
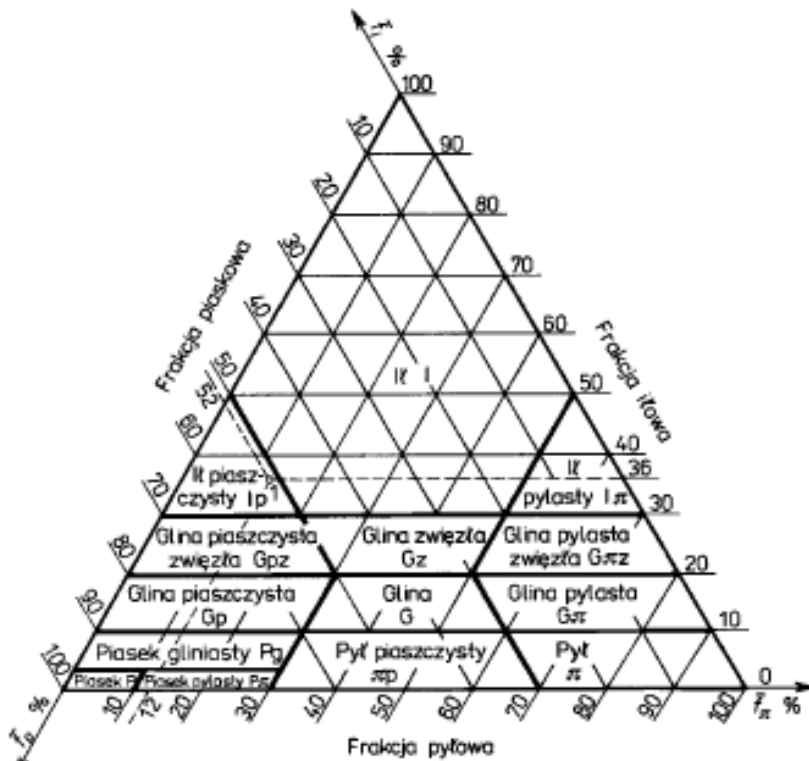
Klasyfikacja gruntów oparta na wielkości ziaren wg EN-ISO 14688-2

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



Klasyfikacja Gruntów

Nazwy i symbole gruntów wg dotychczasowej klasyfikacji polskiej i nowej klasyfikacji



Klasyfikacja Gruntów - frakcje

