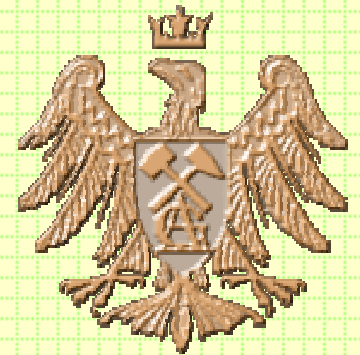


Mechanika Gruntów

Soil Mechanics



Mechanika gruntów

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.



Mechanika gruntów

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

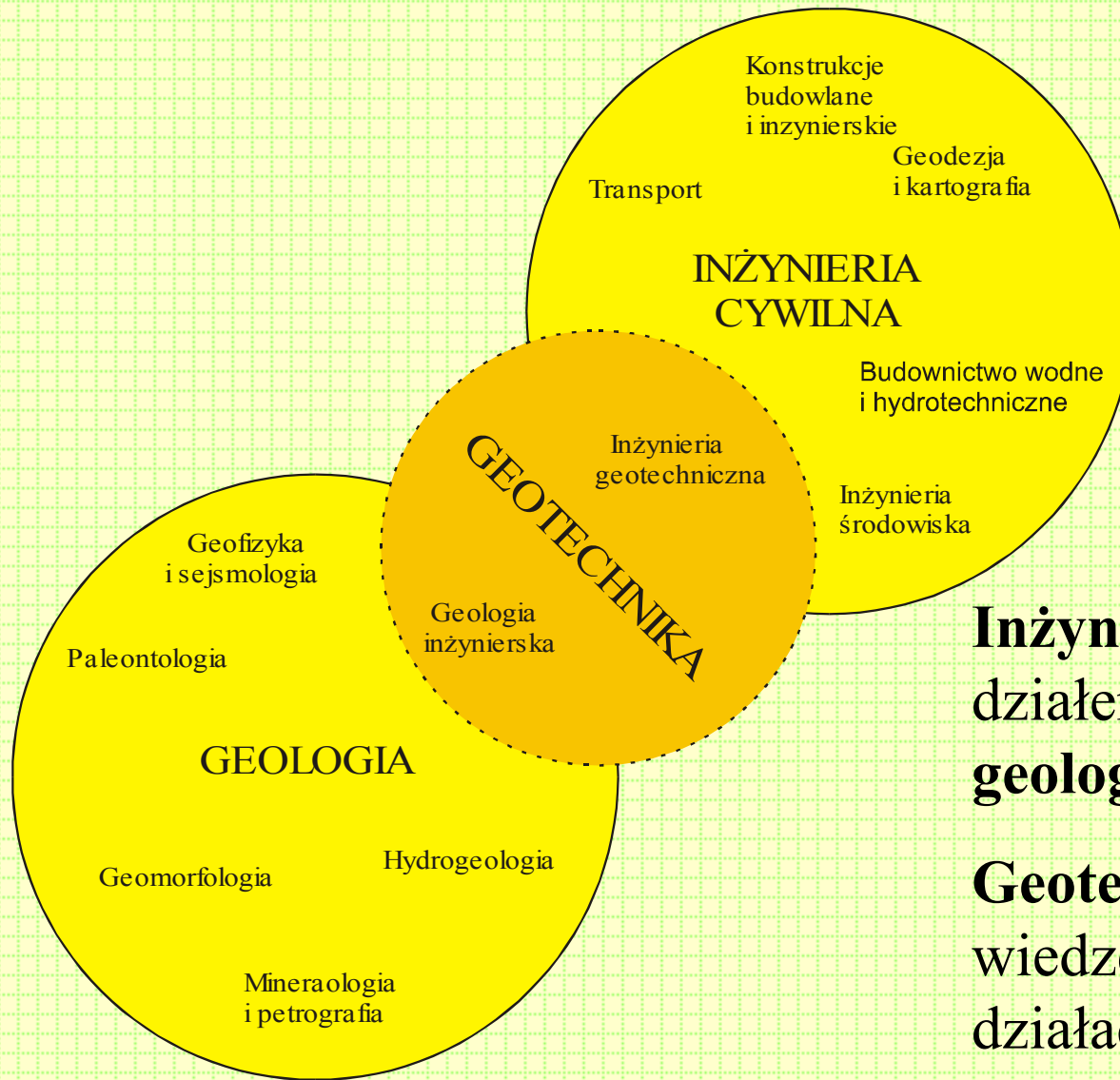
Inżynieria geotechniczna zajmuje się zastosowaniem nauk takich jak: mechanika gruntów, mechanika skał oraz geologia inżynierska i im pokrewnych w inżynierii cywilnej, przemyśle wydobywczym oraz ochronie i inżynierii środowiska

N. Morgenstern, 2000

Approved



Geotechnika, Inżynieria geotechniczna



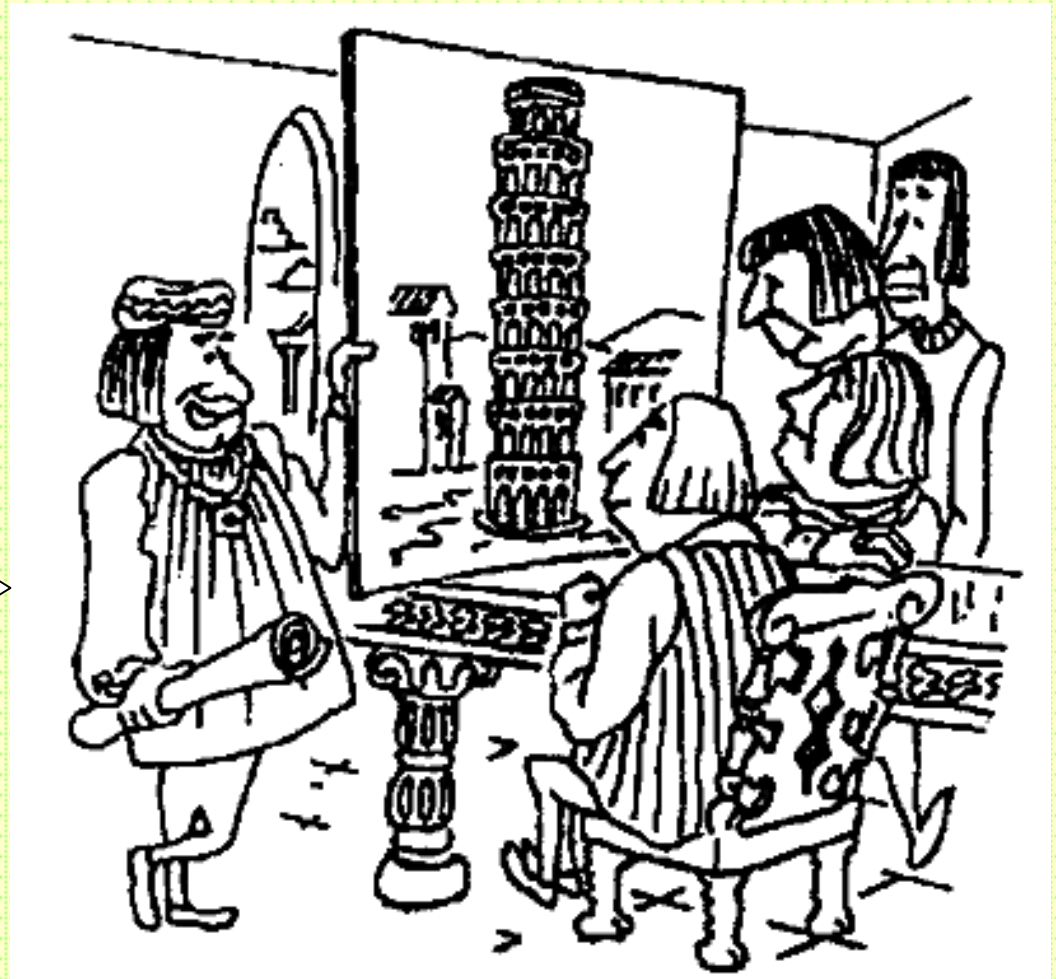
Inżynieria geotechniczna jest działem *inżynierii cywilnej* zaś **geologia inżynierska** *geologii*

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
- wzmacnianie podłoża
- dobór metod obliczeniowych w projektowaniu

SKŁADOWISKA ODPADÓW

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

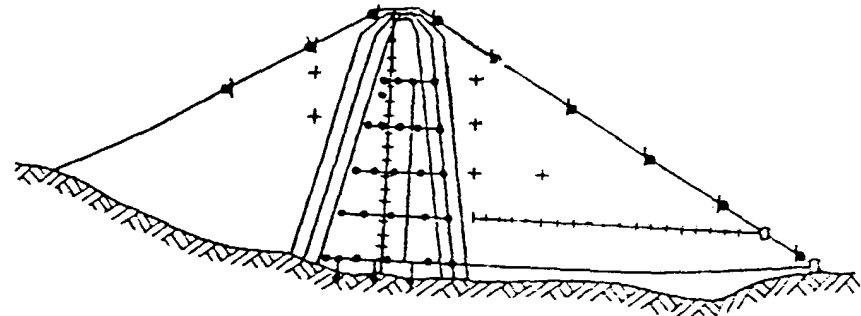
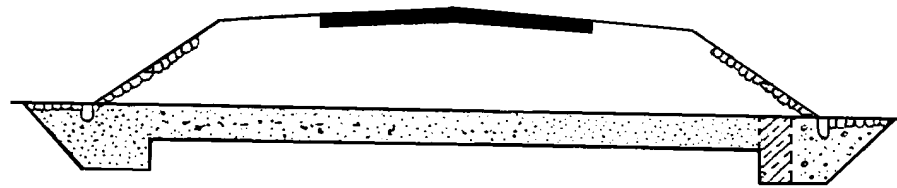
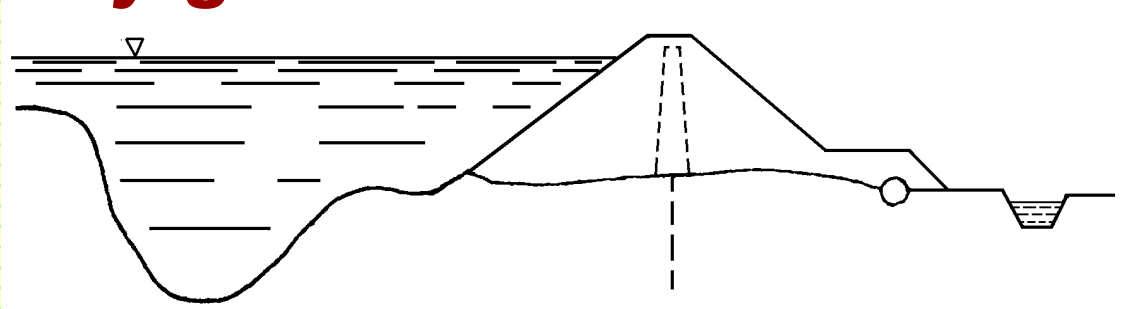
SPECJALNE PROBLEMY

- posadowienie budowli na gruntach ekspansywnych
- dynamiczne odciążenia gruntów

Problemy geotechniczne

PROJEKTOWANIE I WYKONAWSTWO BUDOWLI ZIEMNYCH

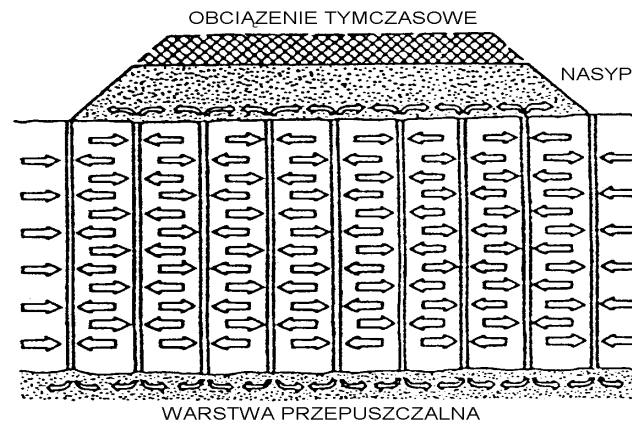
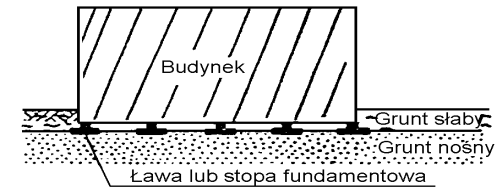
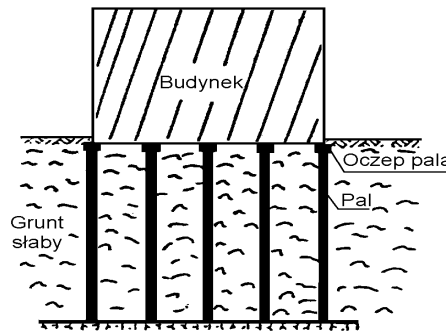
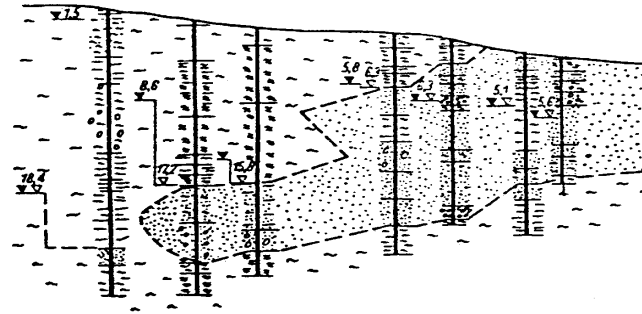
- DOBÓR MATERIAŁU DO BUDOWY ZAPÓR ZIEMNYCH, WAŁÓW, GROBLI, DRÓG, etc.
- WYBÓR METOD OBLICZANIA STATECZNOŚCI, ODKSZTAŁCEŃ
- BADANIA I DOBÓR PARAMETRÓW DO OBLICZEŃ
- KONTROLA STANU TECHNICZNEGO BUDOWLI



Problemy geotechniczne

POSADOWIENIE BUDOWLI NA GRUNTACH

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



Problemy geotechniczne

POSADOWIENIE BUDOWLI NA GRUNTACH

Posadowienie
bezpośrednie

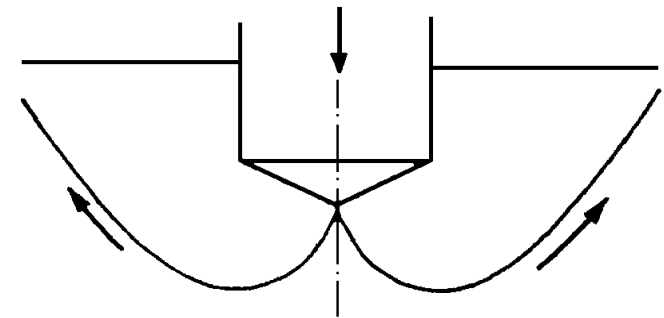
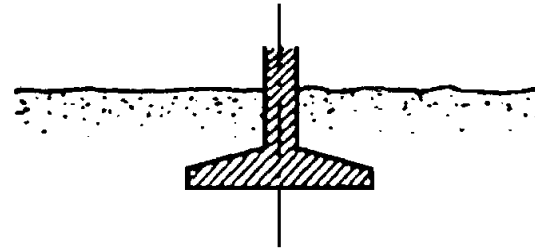
Ściany
oporowe

Ścianki
szczelne

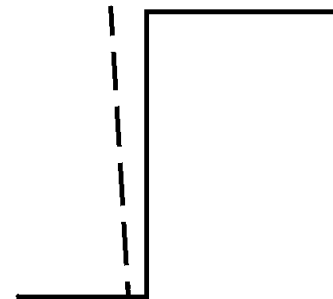
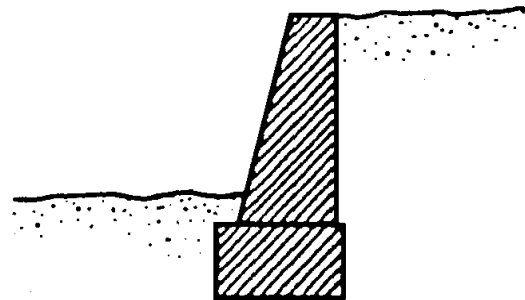
Obudowa
wykopów

Konstrukcje
podziemne

Posadowienie
bezpośrednie

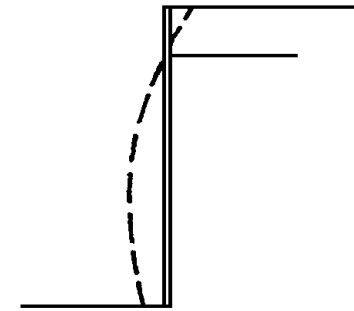
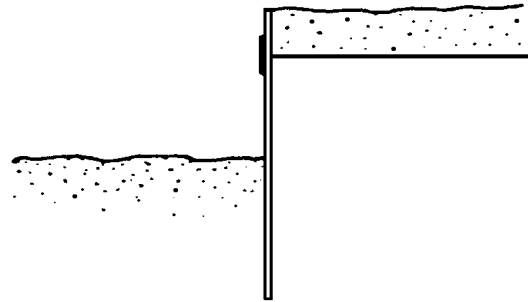


Ściany
oporowe

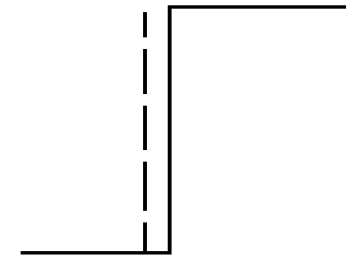
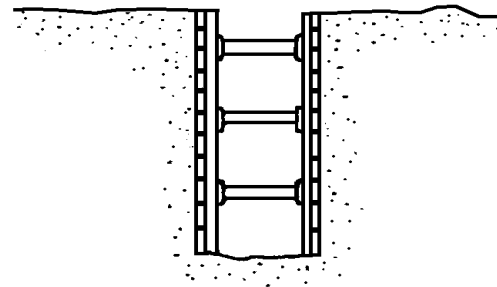


Problemy geotechniczne

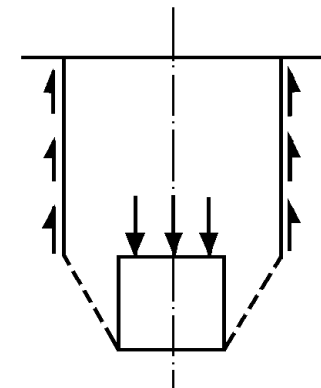
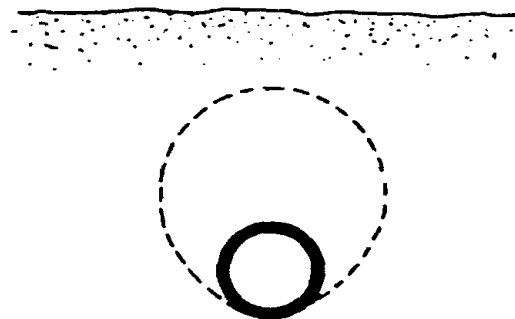
Ścianki
szczelne



Obudowa
wykopów



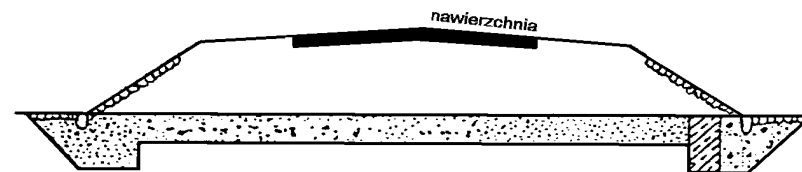
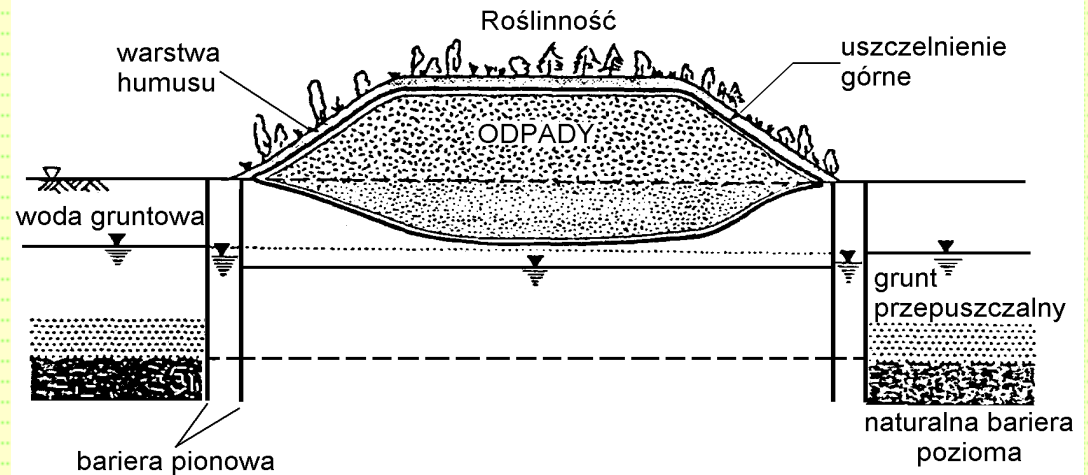
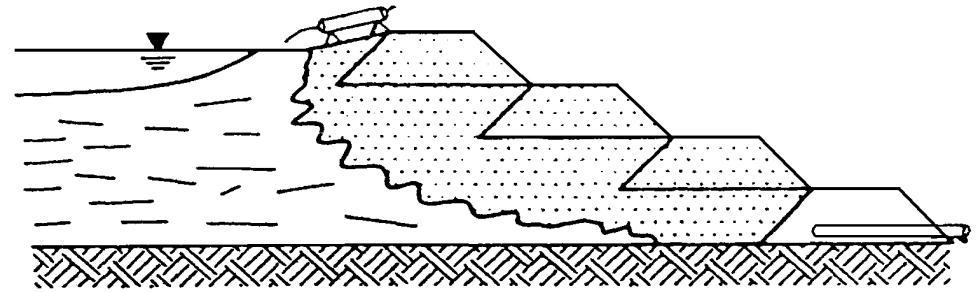
Konstrukcje
podziemne



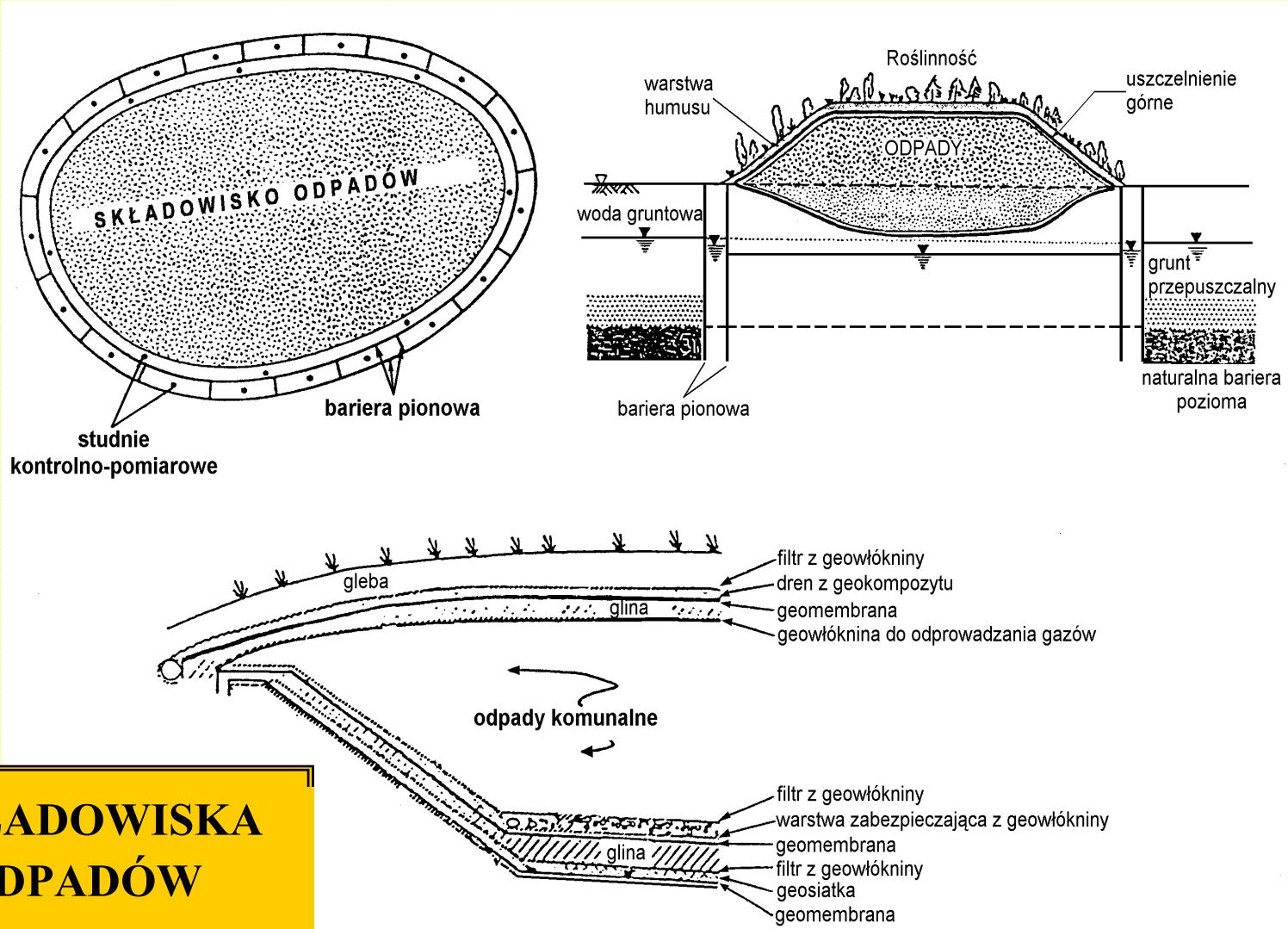
Problemy geotechniczne

SKŁADOWISKA ODPADÓW

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



Problemy geotechniczne



**SKŁADOWISKA
ODPADÓW**

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.

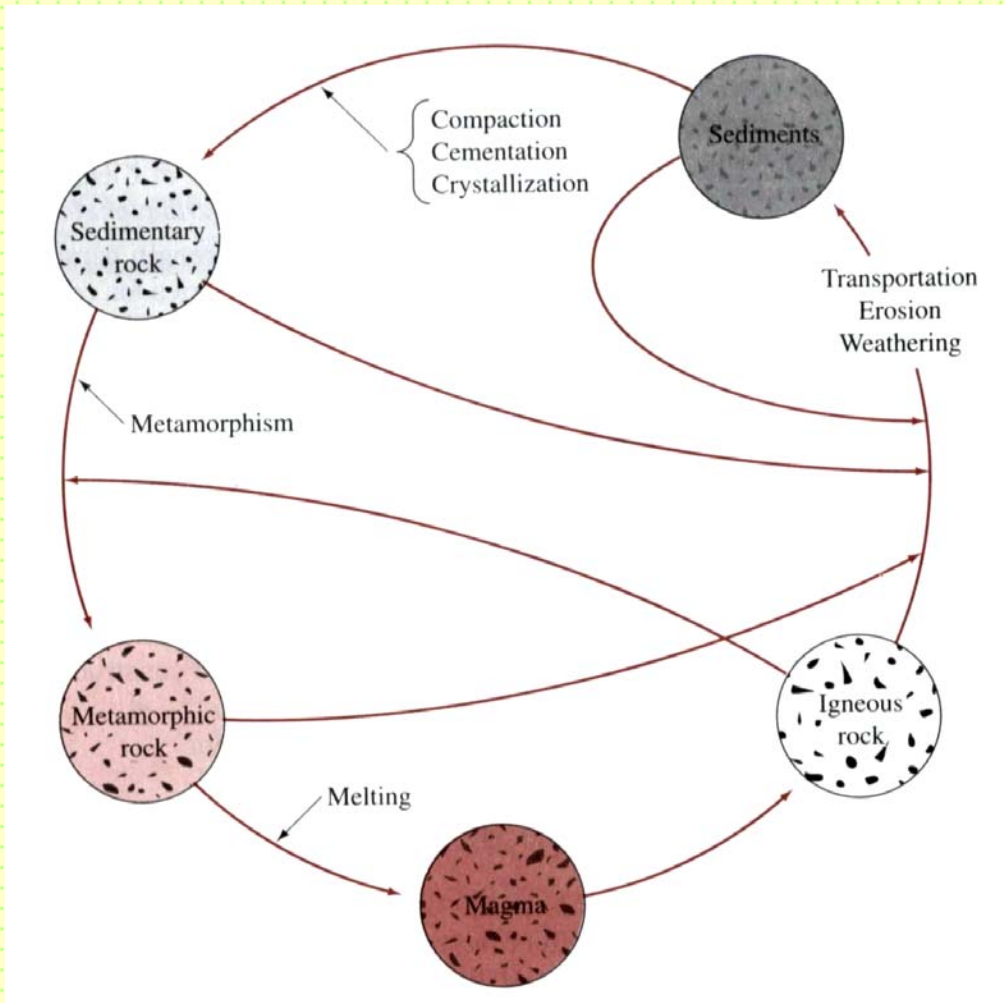
Dla *inżyniera* ... *grunt* jest niezwiązanym złożem mineralnych lub organicznych cząstek lub ziaren pokrywającym znaczną część skorupy ziemskiej.

Dla *geotechnika* *grunt* jest akumulacją niezwiązanych lub słabo związanych cząstek mineralnych powstała 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

Zjawiska fizyczne w gruncie-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 korzeni 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



Zjawiska fizyczne w gruncie-geneza gruntu

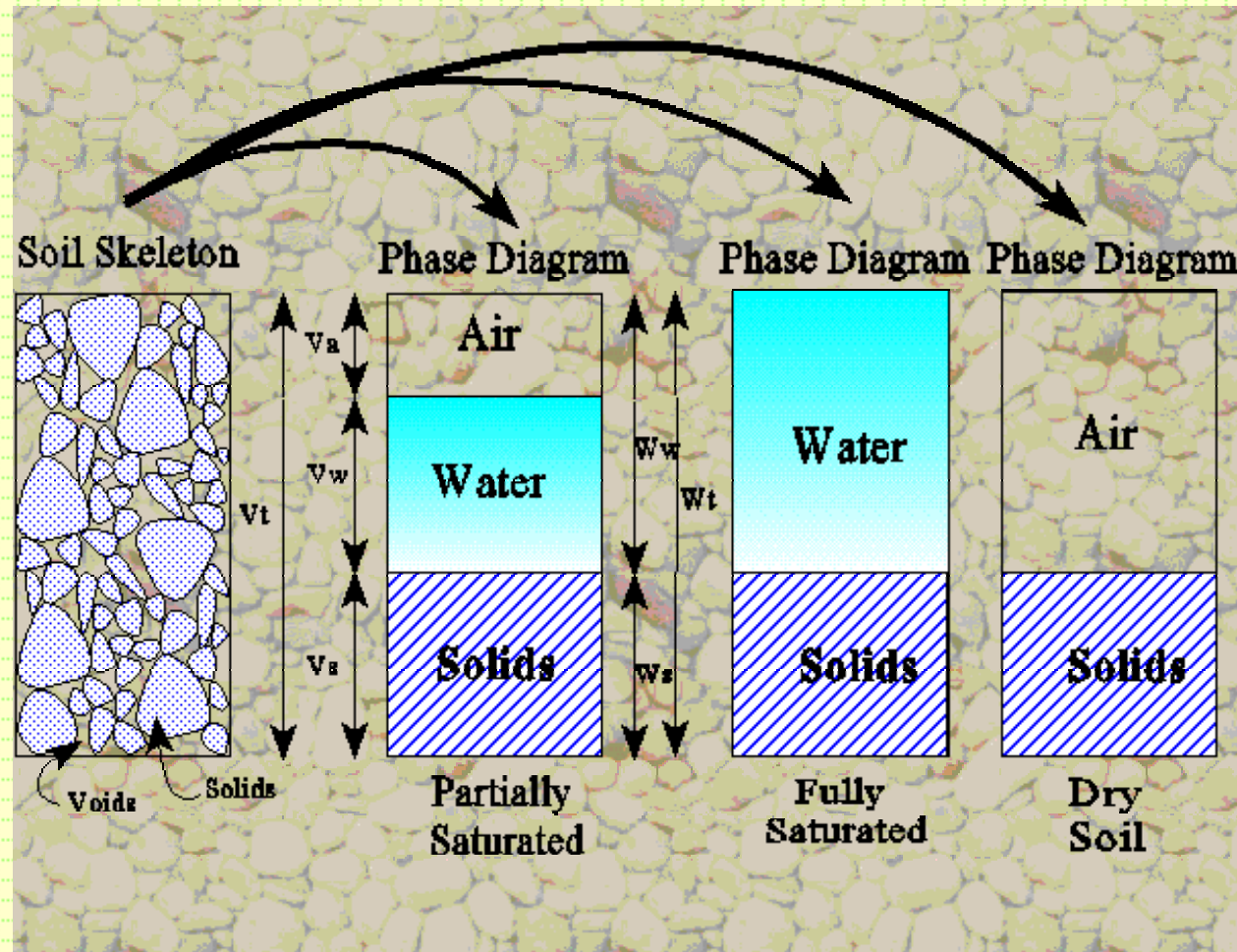
Produkty wietrzenia lub rozdrobnienia skały pierwotnej			Nazwa frakcji i ich wymiary
Wietrzenie fizyczne	Wietrzenie chemiczne	Rozdrobnienie mechaniczne przy transporcie	
Bloki kamienne i głazy ostrokrawędziste	-	głazy otoczone i otoczaki	Kamienista (f_k) powyżej 40 mm
Okruchy ostrokrawędziste	nie zwietrzałe okruszy ostrokrawędziste	okruszy 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. okruszów	Pyłowa (f_π) 0,05 ÷ 0,0002 mm
	minerały ilowe	bardzo drobne cząstki mączki skalnej o wymiarach poniżej 0.002 mm	Ilowa (f_i) poniżej 0.0002 mm

Grunt jako ośrodek trójfazowy

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

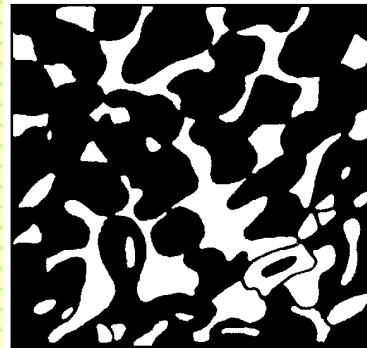
Fazy w ośrodku gruntowym:

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

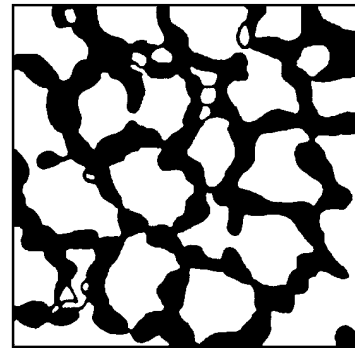


Grunt jako ośrodek trójfazowy

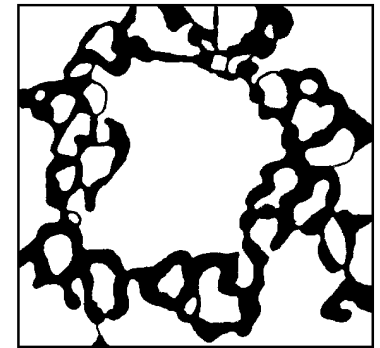
Struktura gruntu jest to wzajemny układ ziaren i cząstek gruntowych, tworzących szkielet gruntowy. Zależy ona od jakości i wymiarów cząstek oraz od warunków powstawania gruntu. Rozróżnia się trzy typowe struktury gruntów:



Ziarnistą



Komórkową



Kłaczkową

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 ilowych, opadających w wodzie z rozpuszczonymi solami.

Fizykochemiczne oddziaływanie cząstek gruntowych

Miejszem występowania zjawisk natury fizykochemicznej jest **powierzchnia graniczna** będąca powierzchnią kontaktu pomiędzy fazą stałą (cząstkami) i fazą ciekłą (wodą lub roztworem różnych związków chemicznych)

Wielkość powierzchni granicznej w przeliczeniu na jednostkę objętości danego gruntu nazywa się **powierzchnią właściwą**. Im drobniejsze są cząstki danego ośrodka, tym większa jest jego powierzchnia właściwa i tym większa jest jego aktywność fizykochemiczna.

Zjawiska fizykochemiczne mają wpływ na:

- **jakość i pracę gruntu,**
- **strukturę gruntu, ściśliwości i wytrzymałości.**

Intensywność zjawisk zależy od:

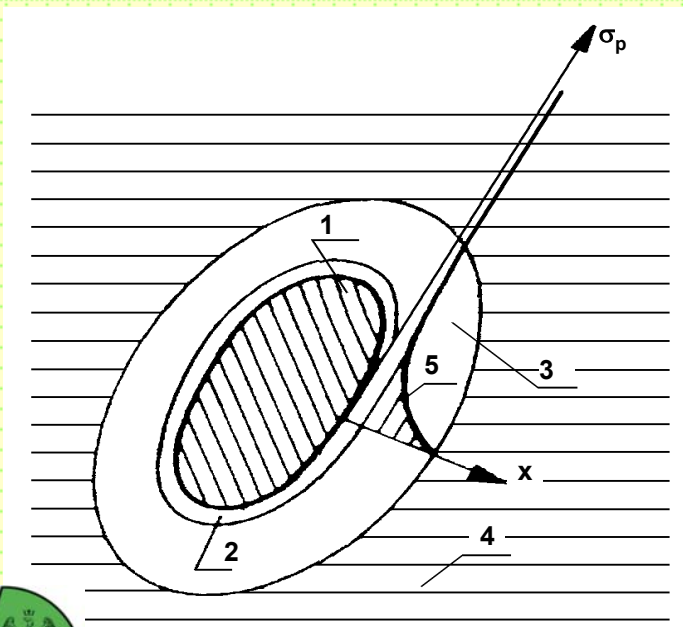
- **składu mineralnego ich ziaren i cząstek,**
- **składu chemicznego roztworu wodnego znajdującego się w porach gruntu,**
- **wielkości powierzchni granicznej.**



Fizykochemiczne oddziaływanie cząstek gruntowych

Warstwa wody związanej składa się z dwóch podwarstw:

- **woda adsorbowana (higroskopijna)** tworzy powłokę - warstwę kationów trwale związanych z powierzchnią cząstki gruntu na skutek przyciągania molekuł wodnych
- **woda błonkowa** związana słabiej z powierzchnią cząstki, przesuwa się z jednej cząstki na drugą niezależnie od siły ciężkości do chwili wyrównania grubości wodnej na obu cząstkach.



Rozkład sił przyciągających wodę związaną:

- 1 – cząstka stała,*
- 2 – woda adsorpcyjna (higroskopijna),*
- 3 – woda błonkowa, 4 – woda wolna,*
- 5 – wykres sił przyciągania molekularnego*

Fizykochemiczne oddziaływanie cząstek gruntowych

Warstwa podwójna jonowa jest to warstwa jonów utwierdzonych na powierzchni cząstki i warstwa dyfuzyjna z adsorbowanych jonów. Grubość warstwy podwójnej i warstwy wody związanej zależy od:

- **składu chemicznego cząstki stałej**
- **wartościowości adsorbowanych jonów.**

Na siłę przyciągania i odpychania cząstek gruntu ma wpływ:

- obecność lub brak warstwy kationów między cząsteczkami (jedna warstwa kationów osłabia wzajemne przyciąganie cząstek, a każda kolejna powoduje, że przyciąganie cząstek jeszcze bardziej maleje).
- wartościowości kationów adsorbowanych (im **większa wartościowość kationów**, tym mniej jest ich w warstwie dyfuzyjnej, tym lepsze właściwości mechaniczne ma grunt).



Fizykochemiczne oddziaływanie cząstek gruntowych

- Iły zawierające kationy sodu mają dużą nasiąkliwość wody i wykazują znaczne pęcznienie. Po **wymianie na kationy o wyższej wartościowości** (np. wapnia), grubość warstwy podwójnej w cząstkach zmniejsza się i ły mniej pęcznią.
- Wymiany kationów używa się do **wzmocnienia iłó**w (wyniki są tym lepsze im wyższa wartościowość wprowadzanych kationów). Wymiany kationów można dokonać elektrochemicznie za pomocą prądu stałego (anody z aluminium, katody z miedzi). Bernatzik uzyskał w ten sposób wzrost kąta tarcia wewnętrznego z 23° do 35° wraz ze znacznym spadkiem ściśliwości.
- Jakość kationów i **grubość błonek wodnych** ma bardzo duży wpływ na wodoprzepuszczalność gruntów- im grubsze są błonki wodne na cząstkach gruntu, tym mniejsza jest jego **wodoprzepuszczalność**, gdyż coraz większą objętość zajmuje woda błonkowa, mocno związana na powierzchni cząstek.



Fizykochemiczne oddziaływanie cząstek gruntowych

Grunty o dużej powierzchni właściwej mają zdolność **wiązania** jonów ciał rozpuszczonych w wodzie przy jednoczesnym **oddawaniu** do roztworu równoważnej liczby jonów. Wymiana jonów zachodzi w warstwach wody związanej, a także w sieci krystalicznej cząstek. Mechanizm wymiany jonów (kationów) zależy od charakteru sieci krystalicznej minerałów.

Pojemność wymienna jonów jest to liczba wymiennych jonów, wyrażonych w miliwalentach na 100 gramów suchej masy gruntu

Pojemność wymienna gruntów mieści się w granicach 0-100 mwal/100g. Przykładowo, dla minerałów iłowych wynosi ona:

Kaolinit	3-15 mwal/100g
Illit	20-40 mwal/100g
Montmorillonit	60-100 mwal/100g



Fizykochemiczne oddziaływanie cząstek gruntowych

Potencjał elektrokinetyczny ζ jest to różnica potencjału w warstwie dyfuzyjnej. Różnica potencjału pomiędzy powierzchnią cząstki a zewnętrzną granicą warstwy dyfuzyjnej nazywa się **potencjałem termodynamicznym ε** .

Wartość i znak potencjału elektrokinetycznego ζ zależy od:

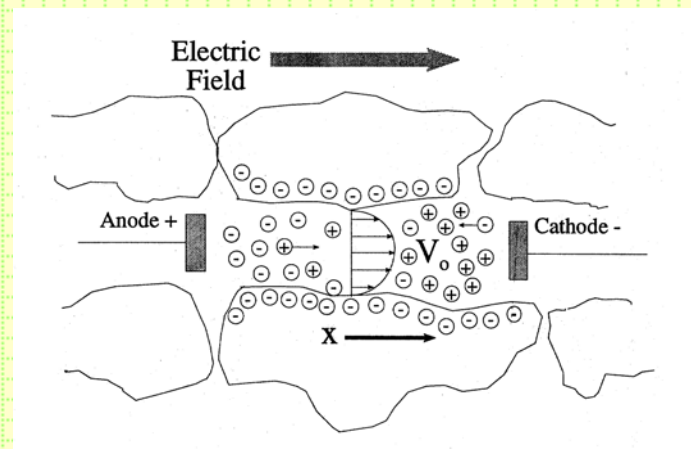
- **składu mineralnego cząstek gruntowych,**
- **wilgotności gruntu,**
- **jakości i ilości jonów znajdujących się w roztworze wodnym,**
- **pH roztworu wodnego,**
- **zawiesiny,**
- **temperatury gruntu.**



Fizykochemiczne oddziaływanie cząstek gruntowych

Zjawiska elektrokinetyczne

- **Przepływ elektroosmotyczny** jest to przemieszczenie pewnej części warstwy dyfuzyjnej kationów, stycznie do warstwy utwardzonej, pod wpływem stałego prądu elektrycznego. Nastąpi więc przepływ wody w kierunku elektrody o przeciwnym znaku.



Zjawisko to zostało odkryte przez Reussa w 1809 r. **Elektroforezą** lub **elektrokataforezą** nazywamy wędrówkę cząstek stałych, mających potencjał elektrokinetyczny, do elektrody odmiennego znaku.

- Zjawiskiem odwrotnym do elektroosmozy jest **potencjał przepływu**. Został on odkryty doświadczalnie przez Quincke, który przepuszczał wodę destylowaną przez różne grunty i uzyskał w obwodzie zamkniętym prąd elektryczny o napięciu 6.9 V dla piasku kwarcowego i 0.4 V dla gliny.

Fizykochemiczne oddziaływanie cząstek gruntowych

Zjawiska elektrokinetyczne

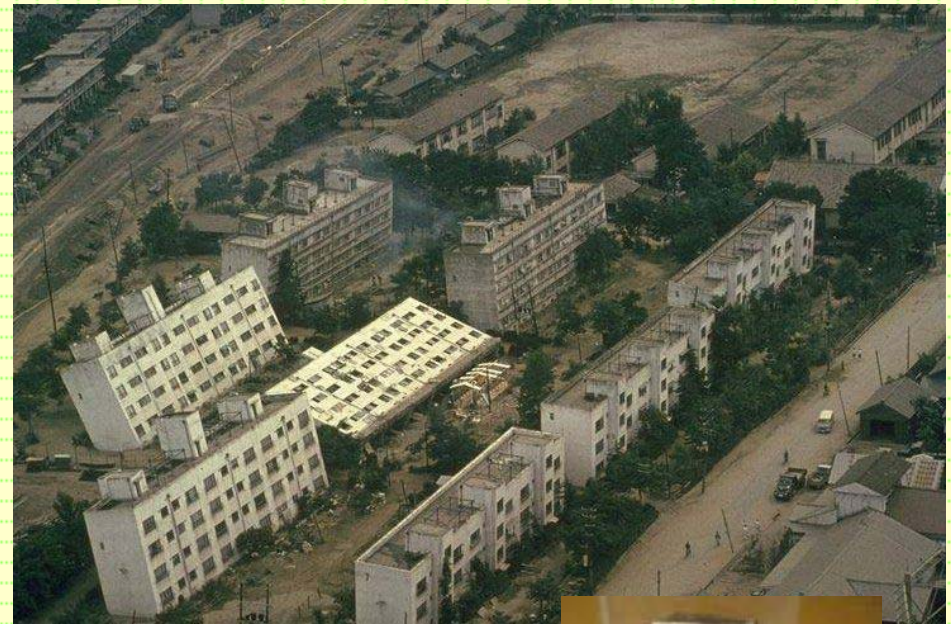
- Elektroosmozę można wykorzystać np. do osuszania gruntu, jego wzmocnienia lub uszczelnienia.
- W Polsce stosowano elektroosmozę do **wzmacniania i uszczelniania** piasków przez kilkukrotne wprowadzenie roztworów szkła wodnego oraz chlorku wapnia. Elektroosmoza zapewnia przenikanie roztworu do porów bez potrzeby stosowania dużych ciśnień (jak przy iniekcjach); dłuższe stosowanie prądu przyspiesza proces twardnienia żelu krzemionki.
- Zastosowanie elektroosmozy daje dobre wyniki przy osuszaniu gruntów pyłowych i iłowych o małej wodoprzepuszczalności. Przy zastosowaniu prądu elektrycznego o spadku napięcia 1 V/cm uzyskuje się prędkość przepływu wody około 5×10^{-5} cm/s, a więc 10-10000 razy większą od przepływu hydraulicznego. Osuszanie piasków tą metodą jest bezskuteczne, gdyż mają one większe wodoprzepuszczalności.



Fizykochemiczne oddziaływanie cząstek gruntowych

Zjawisko tiksotropii polega na przechodzenia żelu w zol i odwrotnie, wskutek mechanicznych oddziaływań (wibracji, wstrząsów, mieszania, działania ultradźwięków itp.) W tworzeniu się żelu udział biorą wszystkie cząstki zawiesiny, z których po pewnym czasie powstaje ciągła struktura komórkowa. **Właściwości tiksotropowe mają grunty zawierające cząstki iłowe o rozmiarach koloidów $< 0,0002$ mm.**

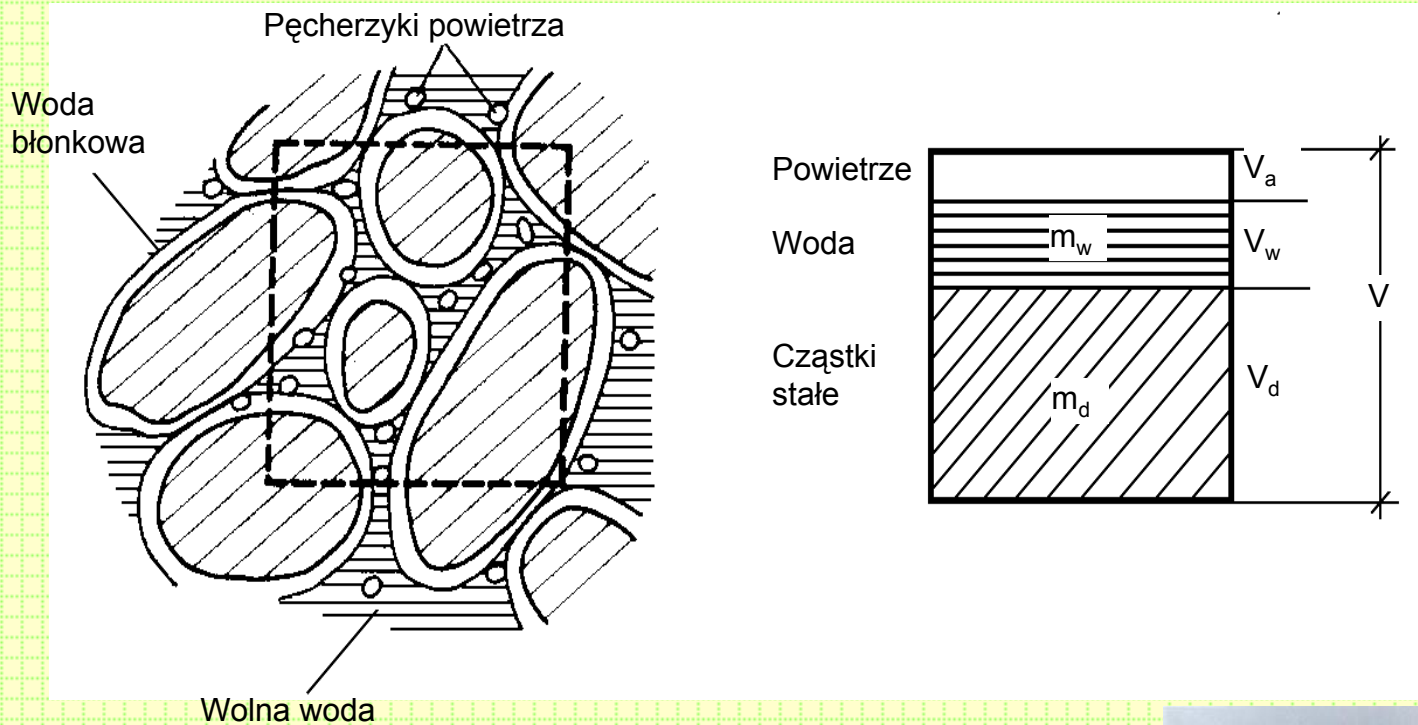
Cząstki iłowe i koloidalne tworzą pomiędzy większymi ziarnami tiksotropowe spoiwo w postaci ciągłej siatki przestrzennej, nadają gruntowi spoistość i wytrzymałość. Naruszenie struktury tiksotropowej spoiwa gruntu wskutek drgań i wibracji powoduje uplastycznienie gruntu, a nawet jego upłynnienie.



Niigata, 1964



Grunt jako ośrodek trójfazowy



Liczymy:

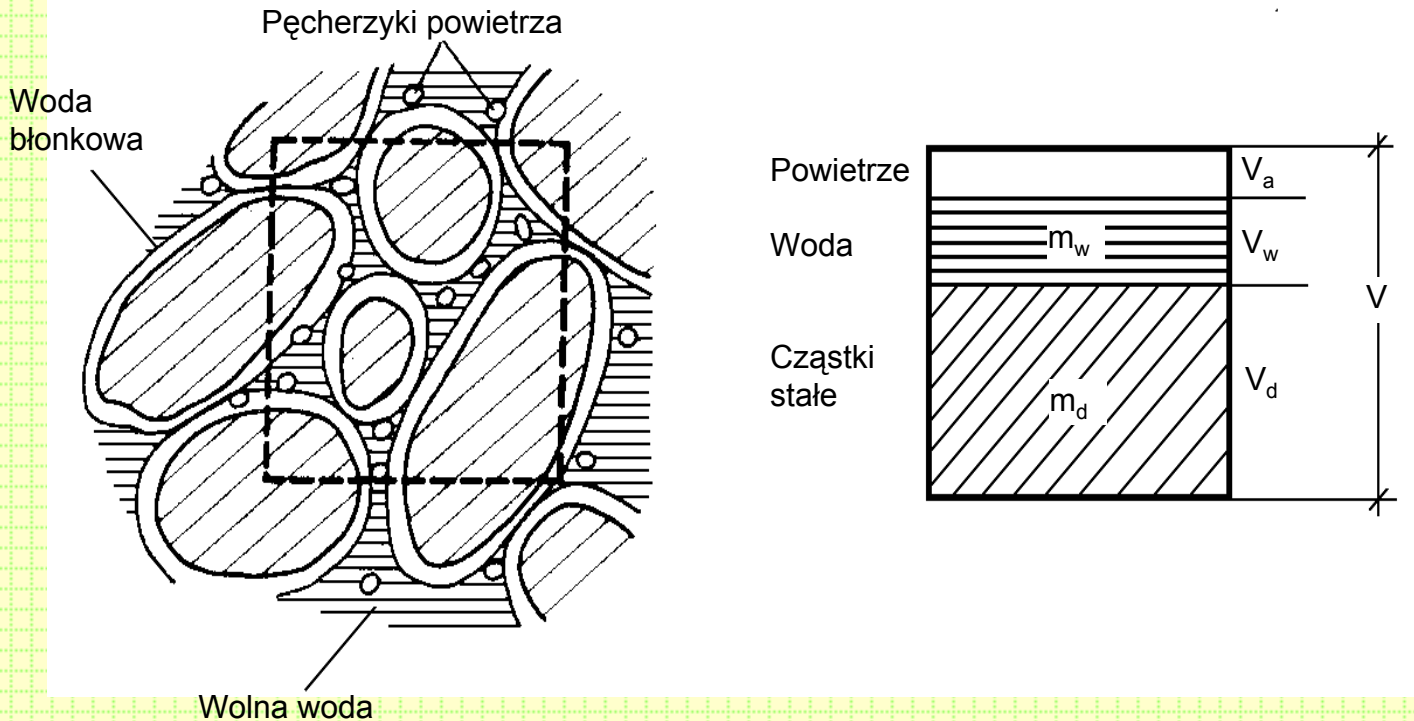
- Masę szkieletu,
- Objętość szkieletu,
- Objętość porów,
- Objętość powietrza,
- Gęstość.

Mierzymy:

- Całkowitą objętość,
- Masę wody
- Całkowitą masę



Grunt jako ośrodek trójfazowy



$$V = V_d + V_w + V_a = V_d + V_p$$

gdzie: V - objętość gruntu

$V_p = V_w + V_a$ - objętość porów

V_d - objętość szkieletu gruntowego

m_m - masa gruntu wilgotnego

V_w - objętość wody

V_a - objętość powietrza

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

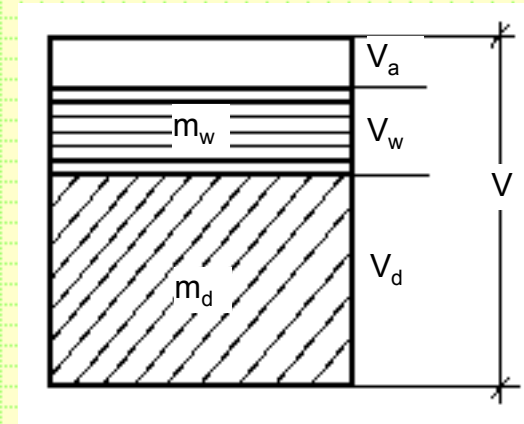
Grunt jako ośrodek trójfazowy

1. 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.

Grunt jako ośrodek trójfazowy

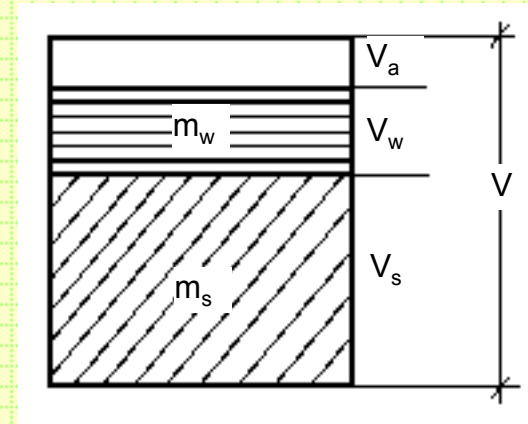
2. Stopień wilgotności gruntu S_r określa stopień wypełnienia porów gruntu wodą.

$$S_r = \frac{V_w}{V_p} = \frac{\frac{V_w \rho_w}{m_d} \cdot 100}{\frac{V_p \rho_w}{m_d} \cdot 100} = \frac{W_n}{W_{sat}}$$

Zależnie od wartości stopnia wilgotności gruntu S_r rozróżniono następujące 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 $0.8 < S_r \leq 1.0$

Jeżeli $S_r=1$ to grunt jest w pełni nasycony.



3. Ciężar objętościowy γ [kN/m³]:

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

W – ciężar gruntu, kN, W_w – ciężar wody, kN.

3a. Ciężar objętościowy wody

γ_w [kN/m³]:

$$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$$

słodka

$$\gamma_w = 9.81 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

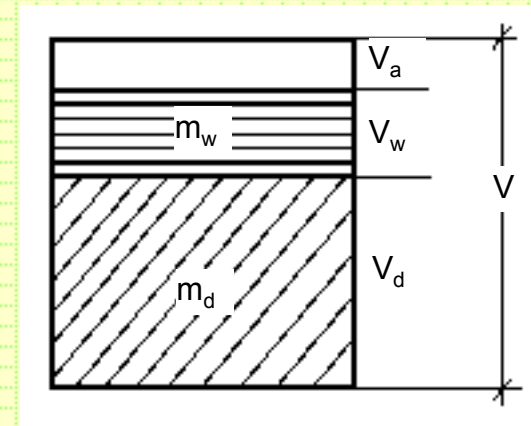
słona

$$\gamma_w = 10.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Grunt jako ośrodek trójfazowy

4. Gęstość objętościowa gruntu ρ , kg/m^3 .

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \gamma = \rho \cdot g$$



5. Gęstość właściwa, szkieletu gruntowego ρ_s [kg/m^3]:

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

6. Ciężar właściwy, γ_s [kN/m^3]:

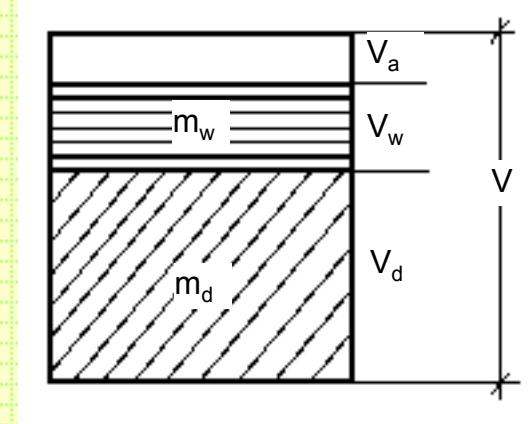
$$\gamma_s = \rho_s \cdot g$$

grunt	ρ_s [kg/m^3]	γ_s [kN/m^3]
żwir	2650	26
piasek	2650	26
glina	2670	26.2
pył	2670	26.2
ił	2720	26.7

Grunt jako ośrodek trójfazowy

7. Gęstość objętościowa, ρ_d [kg/m³] szkieletu gruntowego:

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



$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_d + m_w}{V} = \frac{m_d + \frac{w \cdot m_d}{100}}{V} = \rho_d + \frac{w}{100} \rho_d$$

skąd:

$$\rho_d = \frac{\rho}{100 + w} \cdot 100$$

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

8. Ciężar objętościowy, γ_d [kN/m³] szkieletu gruntowego:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{100 + w} \cdot 100$$

Grunt jako ośrodek trójfazowy

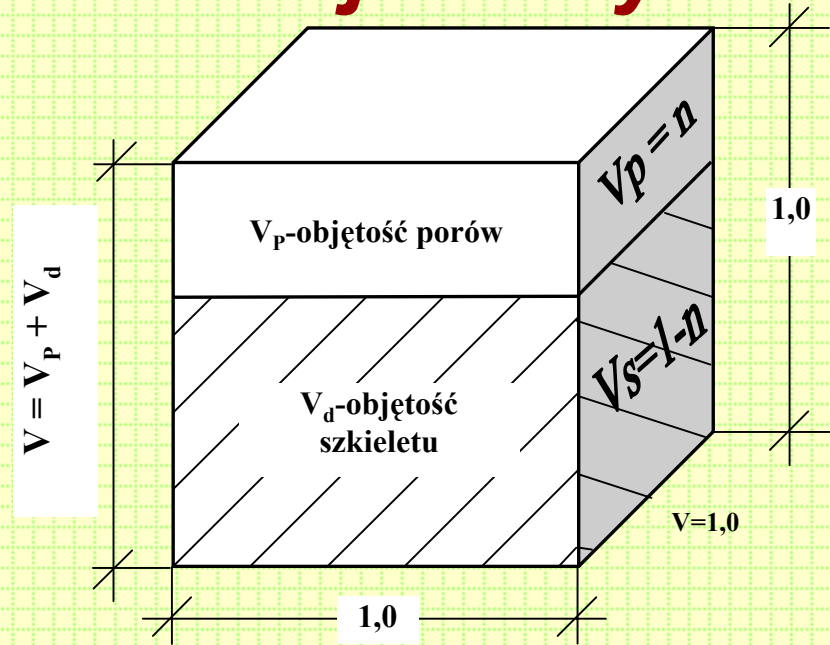
9. Porowatość, n :

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

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:

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

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



Grunt jako ośrodek trójfazowy

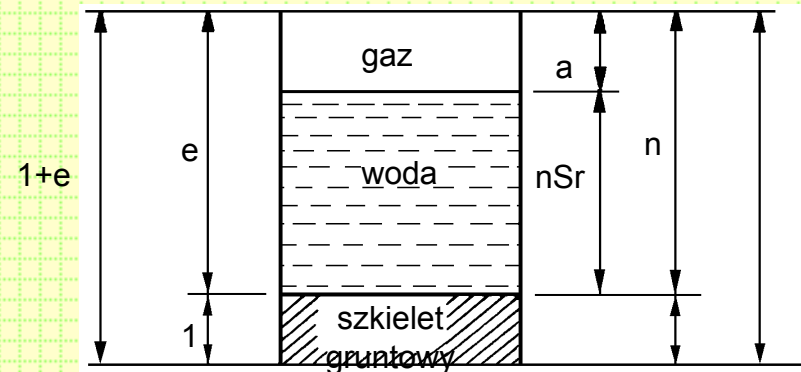
10. Wskaźnikiem porowatości gruntu e nazywamy stosunek objętości porów V_p do objętości cząstek gruntu (szkieletu gruntowego) V_d

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

Pomiędzy wskaźnikiem porowatości e a porowatością n istnieją zależności:

$$n = \frac{e}{1 + e} \cdot 100\% \quad e = \frac{n}{1 - n} \cdot 100\%$$

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



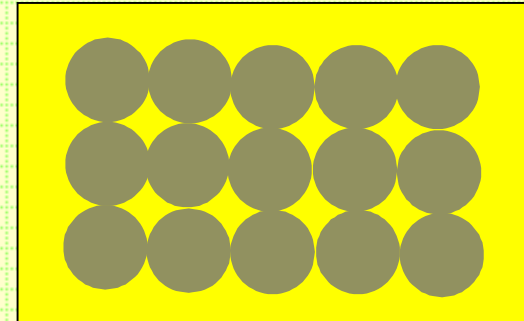
11. Wilgotność w stanie pełnego nasycenia wodą w_{sat} :

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

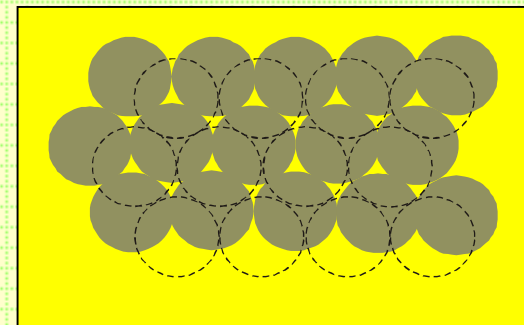
Grunt jako ośrodek trójfazowy

Description	Void Ratio		Porosity (%)		Dry Unit Weight (kN/m ³)	
	e_{max}	e_{min}	n_{max}	n_{min}	γ_{dmin}	γ_{dmax}
Uniform spheres	0.92	0.35	47.6	26.0	—	—
Standard Ottawa sand	0.80	0.50	44	33	14.5	17.3
Clean uniform sand	1.0	0.40	50	29	13.0	18.5
Uniform inorganic silt	1.1	0.40	52	29	12.6	18.5
Silty sand	0.90	0.30	47	23	13.7	20.0
Fine to coarse sand	0.95	0.20	49	17	13.4	21.7
Micaceous sand	1.2	0.40	55	29	11.9	18.9
Silty sand and gravel	0.85	0.14	46	12	14.0	22.9

After B. K. Hough, *Basic Soils Engineering*. Copyright © 1957, The Ronald Press Company, New York.

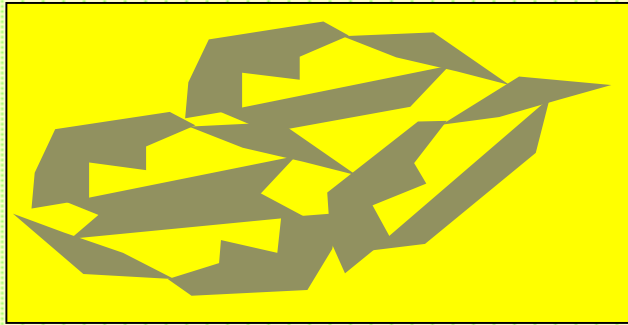


Układ „kula nad kulą”
 $e = 0.91$; $n = 0.476$

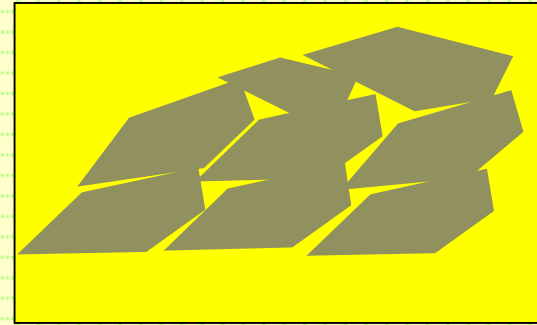


Układ „kula na trzech kulach”
 $e = 0.35$; $n = 0.2595$

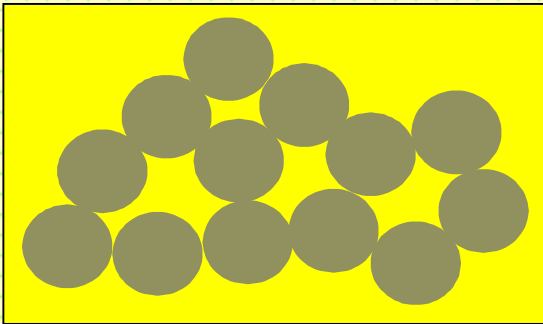
Grunt jako ośrodek trójfazowy – struktura gruntu



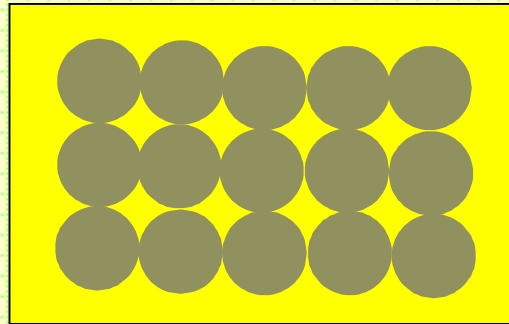
Rozluzowany, ziarna o ostrych krawędziach



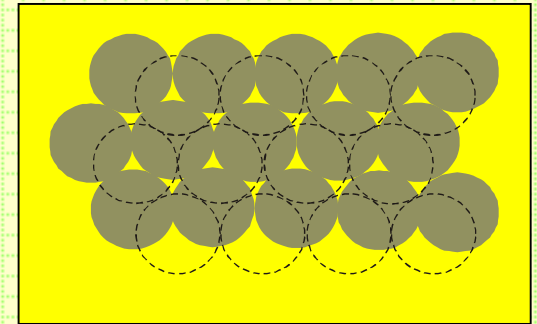
Zagęszczony, ziarna o ostrych krawędziach



Bardzo rozluzowany,
 $e > 0.90$



Rozluzowany,
 $e = 0.91$

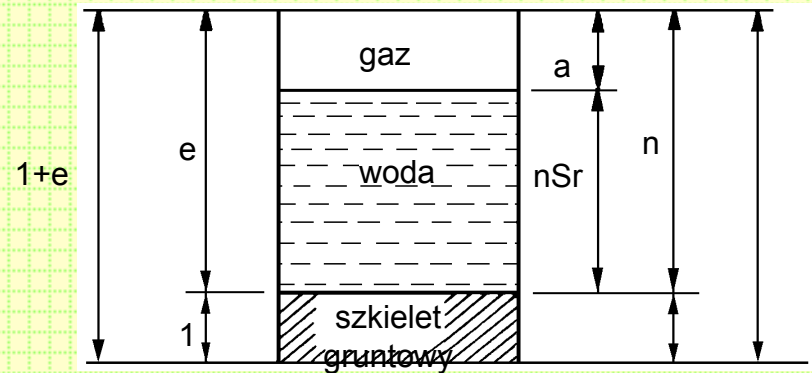


Zagęszczony,
 $e = 0.35$

Grunt jako ośrodek trójfazowy

12. Względny ciężar właściwy szkieletu gruntowego G_s

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{\rho_s}{\rho_w}$$



Wzory wyprowadzone na podstawie poznanych definicji:

$$S_r = \frac{wG_s}{e} \cdot 100\%$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}$$

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1 + \frac{wG_s}{S_r}}$$

$$S_r = \frac{w}{\frac{\gamma_w}{\gamma_d} - \frac{1}{G_s}} \cdot 100\%$$

Grunt jako ośrodek trójfazowy

$$m_d = \frac{m}{1 + w}$$

$$W_d = \frac{W}{1 + w}$$

$$w = S_r \left(\frac{\gamma_w}{\gamma_d} - \frac{1}{G_s} \right) \cdot 100\%$$

$$e = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1$$

Kilka prostych reguł i wskazówek do rozwiązywania zadań:

1. Pamiętaj o podstawowych definicjach w , e , ρ_s , S_r , *etc.*
2. Narysuj diagram trójfazowy (lub dwufazowy).
3. Załóż $V_d=1$ lub $V_t=1$, jeżeli nie są dane.

4. Stosuj często: $S_r e \rho_w = w \rho_s$ $S_r e = w G_s$

Grunt jako ośrodek trójfazowy

Przykład liczbowy: Dana jest gęstość objętościowa gruntu $\rho=1.92 \text{ g/cm}^3$, wilgotność $w=13 \%$, gęstość właściwa szkieletu gruntowego $\rho_s=2.65 \text{ g/cm}^3$.

Obliczyć: gęstość objętościową szkieletu gruntowego ρ_d , porowatość n , wskaźnik porowatości e , gęstość objętościową przy całkowitym nasyceniu porów wodą ρ_{sr} , wilgotność w stanie całkowitego nasycenia porów wodą w_r oraz stopień wilgotności gruntu S_r .

$$\rho_d = \frac{100\rho}{100+w} = \frac{100 \cdot 1.92}{100+13} = 1.70 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} = \frac{2.65 - 1.70}{2.65} = 0.358$$

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} = \frac{2.65 - 1.70}{1.70} = 0.559$$

$$\rho_{sr} = \rho_d + n \cdot \rho_w = 1.70 + 0.358 \cdot 1 = 2.058 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$w_r = \frac{100 \cdot \rho_w \cdot e}{\rho_s} = \frac{100 \cdot 1 \cdot 0.559}{2.65} = 21.09\%$$

$$S_r = \frac{w_n}{w_r} = \frac{12}{21.09} = 0.57$$

czyli grunt wilgotny



Literatura

- 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.

