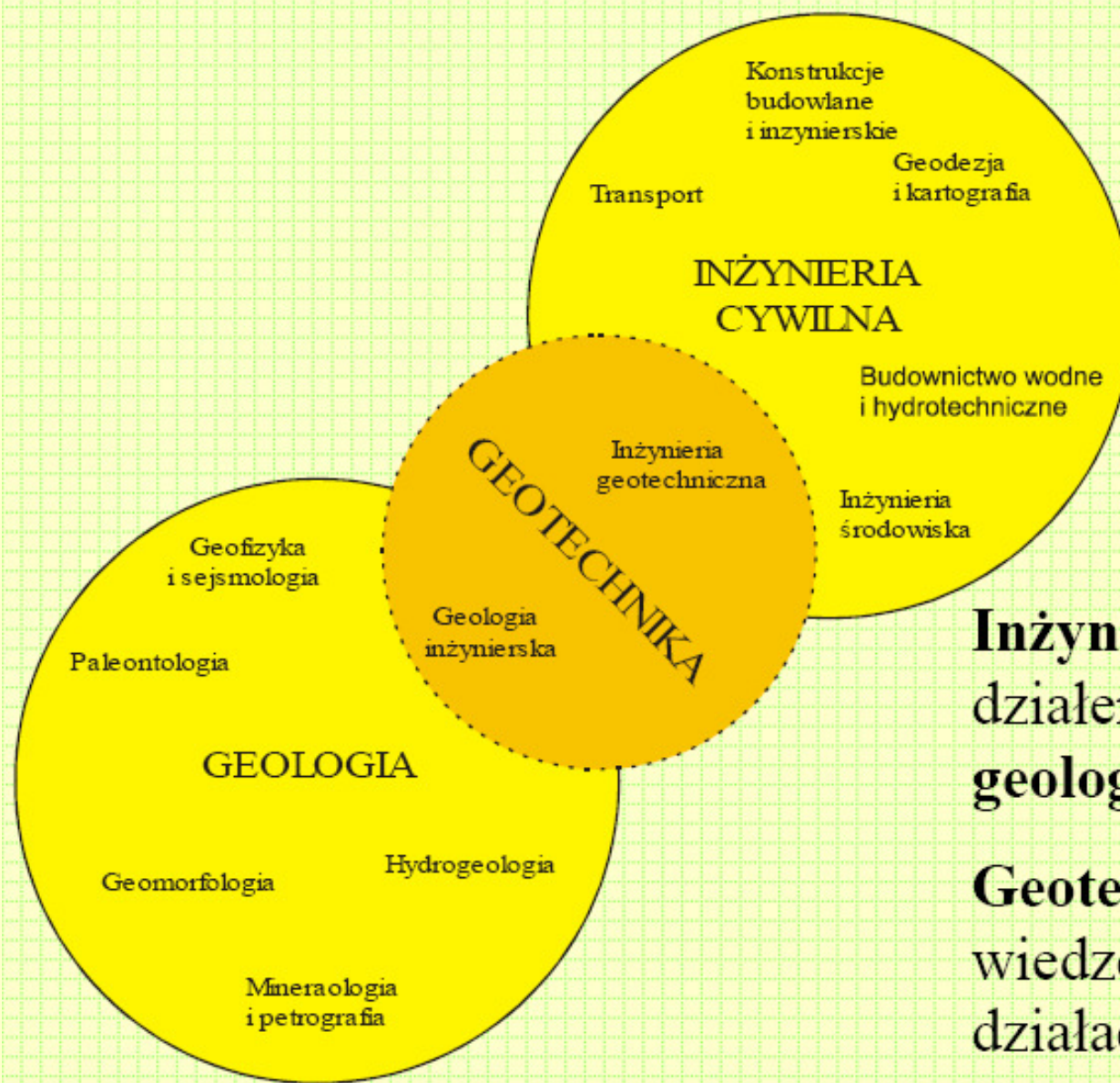


Część pierwsza

Właściwości fizyczne gruntu



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

Geotechnika łączy w sobie
wiedzę zawartą w obu tych
działach

Geotechnika jest bowiem nauką o pracy i badaniach ośrodka gruntowego. W skład geotechniki jako nauki interdyscyplinarnej wchodzi: geologia inżynierska, mechanika gruntów i fundamentowanie oraz geotechnika środowiska.

Mechanika gruntów obejmuje zatem 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. Stanowi więc teoretyczną część geotechniki, dziedziny działalności inżynierskiej obejmującej roboty ziemne, fundamentowanie, budowle i konstrukcje ziemne oraz wzmacnianie i uszczelnianie podłoża.

*Alojzy Szymański „Mechanika gruntów”, skrypt SGGW,
Warszawa 2001
<http://kg.sggw.pl/geotechnika/mechanika.pdf>*

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.

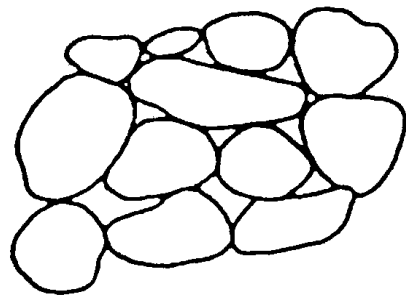
Procesy erozyjne i **transport materiału** powodują rozdrobnienie okruchów występujących w skorupie ziemskiej oraz zmiany w podłożu macierzystym.

Produkty wietrzenia skał oraz frakcje uziarnienia gruntów

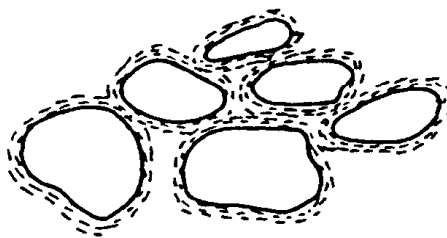
Produkty wietrzenia lub rozdrobnienia skały pierwotnej			Nazwa frakcji i ich wymiary
Wietrzenie fizyczne	Wietrzenie chemiczne	Rozdrobnienie mechaniczne przy transporcie	
Bloki kamienne i głązy ostrokrawędziste	-	głązy otoczone i otoczaki	Kamienista (f_k) powyżej 40 mm
Okruchy ostrokrawędziste	nie zwietrzałe 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 kryształki skały pierwotnej	mączka skalna powstała przy obtaczaniu ww. okruszów	Pyłowa (f_π) 0,05÷0,0002 mm
	minerały iłowe	bardzo drobne cząstki mączki skalnej o wymiarach poniżej 0,002 mm	Iłowa (f_i) poniżej 0,0002 mm

FRAKCJE UZIARNIENIA GRUNTÓW

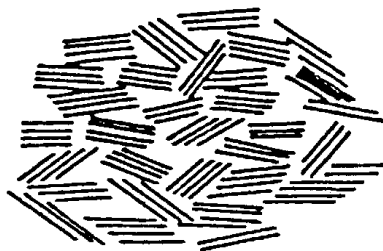
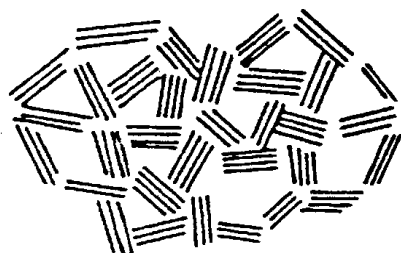
*Fracja
piaskowa*



*Fracja
pyłowa*



*Fracja
iłowa*



Ziarna i cząstki gruntu dzielone są wg wielkości na grupy zwane **frakcjami**.

Nazwa frakcji	Zakres średnic zastępczych d [mm]
Kamienista	$d > 40$
Żwirowa	$40 \geq d > 2$
Piaskowa	$2 \geq d > 0,05$
Pyłowa	$0,05 \geq d > 0,002$
İłowa	$0,002 \geq d$

Frakcje klasyfikacyjne według:

Grunty	Frakcje	Sym- bol	Wymiary cząstek [mm]
BARDZO GRUBOZIARNISTE	Duże głazy (Large boulder)	LBo	>630
	Głazy (Boulder)	Bo	>200-630
	Kamienie (Cobble)	Co	>63-200
GRUBOZIARNISTE	Żwir (Gravel)	Gr	>2,0 – 63
	Żwir gruby (Coarse gravel)	CGr	>20 – 63
	Żwir średni (Medium gravel)	MGr	>6,3 – 20
	Żwir drobny (Fine gravel)	FGr	>2,0 – 6,3
	Piasek (Sand)	Sa	>0,063 – 2,0
	Piasek gruby (Coarse sand)	CSa	>0,63 – 2,0
	Piasek średni (Medium sand)	MSa	>0,2 – 0,63
	Piasek drobny (Fine sand)	FSa	>0,063 – 0,2
DROBNOZIARNISTE	Pył (Silt)	Si	>0,002 – 0,063
	Pył gruby (Coarse silt)	CSi	>0,02 – 0,063
	Pył średni (Medium silt)	MSi	>0,0063 – 0,02
	Pył drobny (Fine silt)	FSi	>0,002 – 0,0063
	Ił (Clay)	Cl	≤ 0,002

PN-EN ISO 14688-1:2005 Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczanie i opis

PN-EN ISO 14688-2:2005 Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania

O nazwie gruntu decyduje frakcja główna, tj. frakcja o przeważającej masie w danym gruncie. Zapisuje się ją rzeczownikiem na początku nazwy gruntu

LITERATURA

- Glazer Z.: *Mechanika gruntów*. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1985.
- Lambe T.W., Whitman R.V.: *Mechanika gruntów*. Arkady, Warszawa 1997.
- Myślińska E.: *Laboratoryjne badania gruntów*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Wyd. II, Warszawa 1998.
- Pisarczyk S.: *Mechanika gruntów*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999.
- Wiłun Z.: *Zarys geotechniki*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1987.

NORMY

- PN-B-02479:1998 Geotechnika. Dokumentowanie geotechniczne.
- PN-86/B-02480 Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.
- PN-B-02481:1998 Geotechnika – Terminologia podstawowa, symbole literowe i jednostki miar.
- PN-81/B-03020 Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- **PN-88/B-04481 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.**

Badania makroskopowe

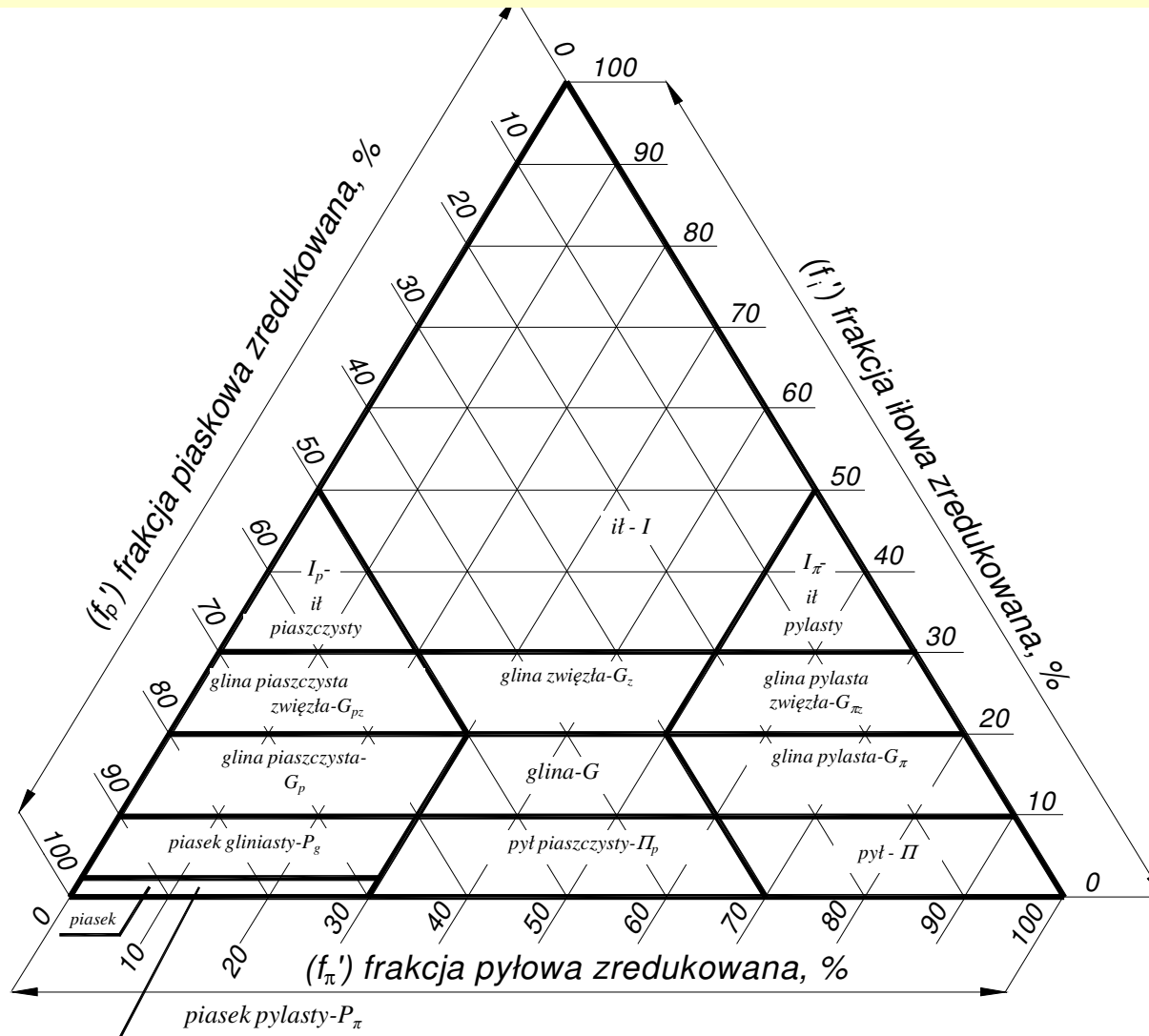
- polegają na ocenie gruntu bez pomocy specjalistycznego sprzętu, jedynie za pomocą wzroku oraz prostych narzędzi, mające na celu określenie nazwy, rodzaju gruntu i niektórych cech fizycznych.

Stosuje się je w terenie oraz jako badania wstępne w laboratorium.

Przy pomocy analizy makroskopowej oznacza się:

1. Rodzaj i nazwa gruntu.
2. Stan fizyczny gruntów spoistych (przybliżona wartość stopnia plastyczności I_p).
3. Barwa, przewarstwienia, zanieczyszczenia, domieszki.
4. Wilgotność (stan zawilgocenia).
5. Zawartość węgla wapnia (CaCO_3).

Klasyfikacja gruntów



Uziarnienie jest podstawowym kryterium podziału gruntów. Do określenia rodzaju gruntów według uziarnienia, stosuje się klasyfikację opartą na trzech najdrobniejszych frakcjach:

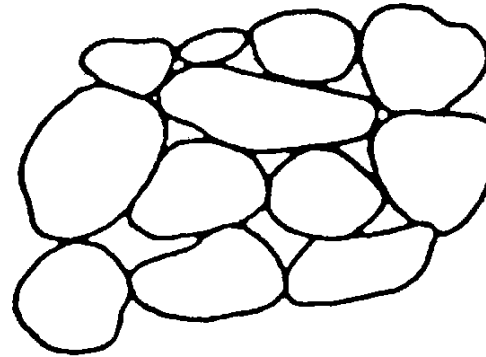
piaskowej,

pyłowej

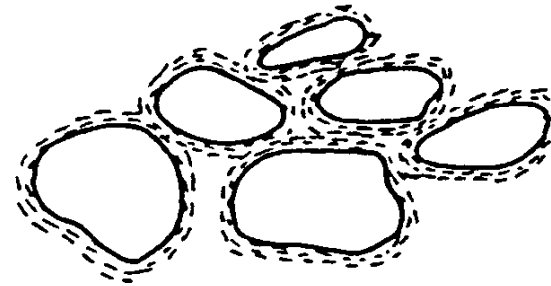
iłowej.

Wzajemny stosunek zawartości tych frakcji w gruntach przedstawia trójkąt Fereta:

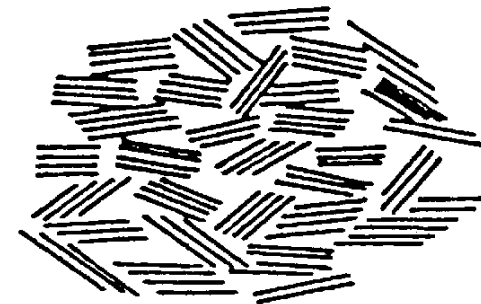
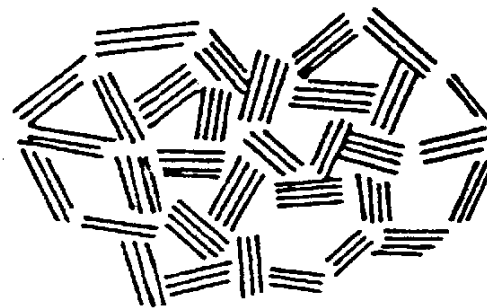
**Frakcja
piaskowa**



**Frakcja
pyłowa**



**Frakcja
iłowa**



Uziarnienie i charakterystyki uziarnienia

Ziarna i cząstki gruntu dzielone są wg wielkości na grupy zwane **frakcjami**. Wyróżniamy pięć następujących frakcji:

- kamienista o ziarnach $d > 25 \text{ mm}$
- żwirowa o ziarnach $d = 25 - 2 \text{ mm}$
- piaskowa o ziarnach $d = 2 - 0,05 \text{ mm}$
- pyłowa o cząstkach $d = 0,05 - 0,002 \text{ mm}$
- iłowa o cząstkach $d < 0,002 \text{ mm}$

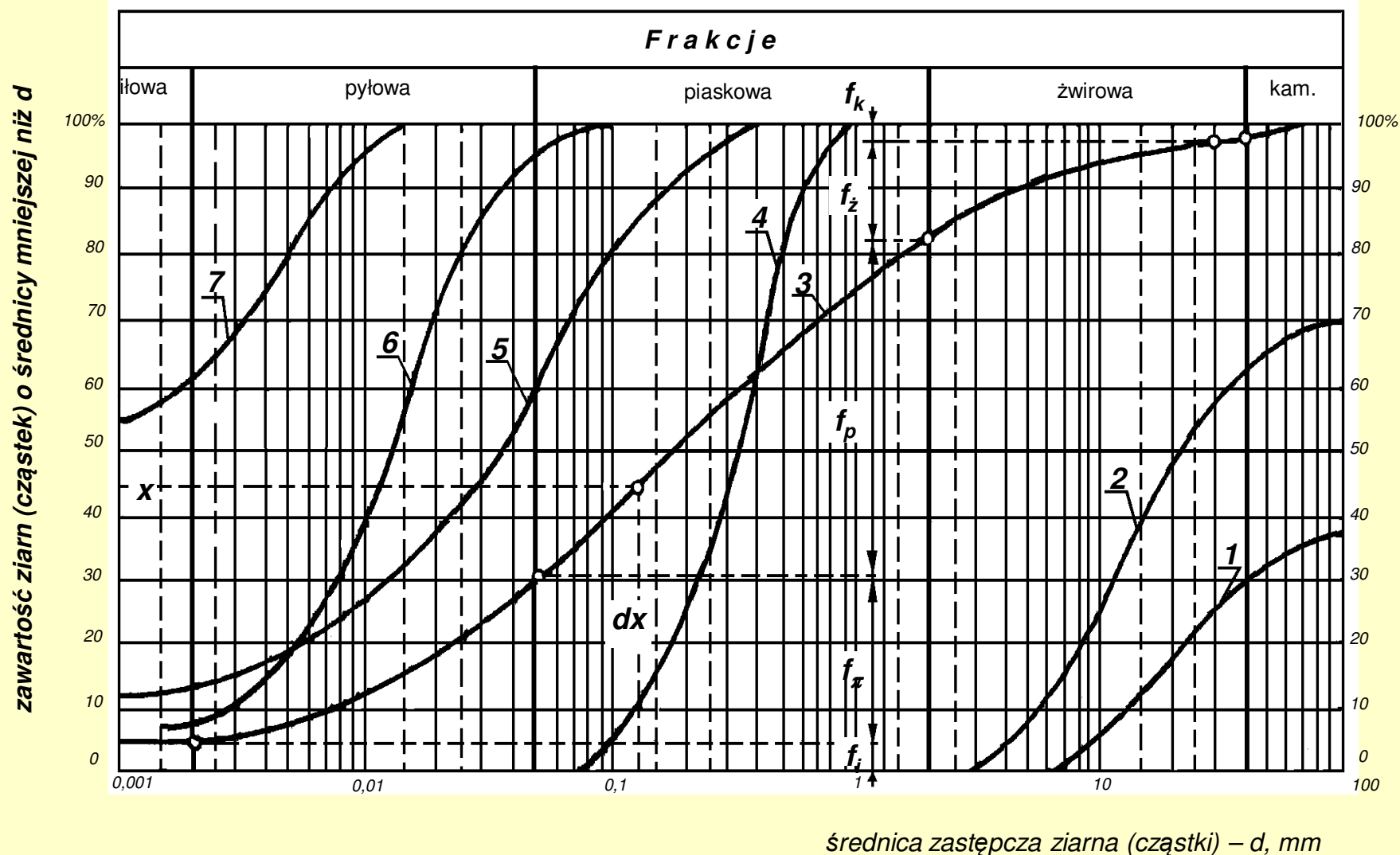
Uziarnienie gruntu (skład granulometryczny) określa się procentową zawartością poszczególnych frakcji w stosunku do ciężaru całej próbki badanego gruntu.

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.**

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



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:**

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

- **wskaźnik różnoziarnistości** (uziarnienia gruntu)

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

Zależnie od wskaźnika różnoziarnistości grunty dzieli się na:

równozziarniste gdy $1 \leq U \leq 5$ (np. piaski wydymowe, lessy),

różnoziarniste gdy $5 \leq U \leq 15$ (np. gliny holocenyckie),

bardzo różnoziarniste gdy $U > 15$ (np. gliny zwałowe, pospółki).

Grunt jest dobrze uziarniony, jeżeli:

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

Analizy granulometryczna metodą sitową

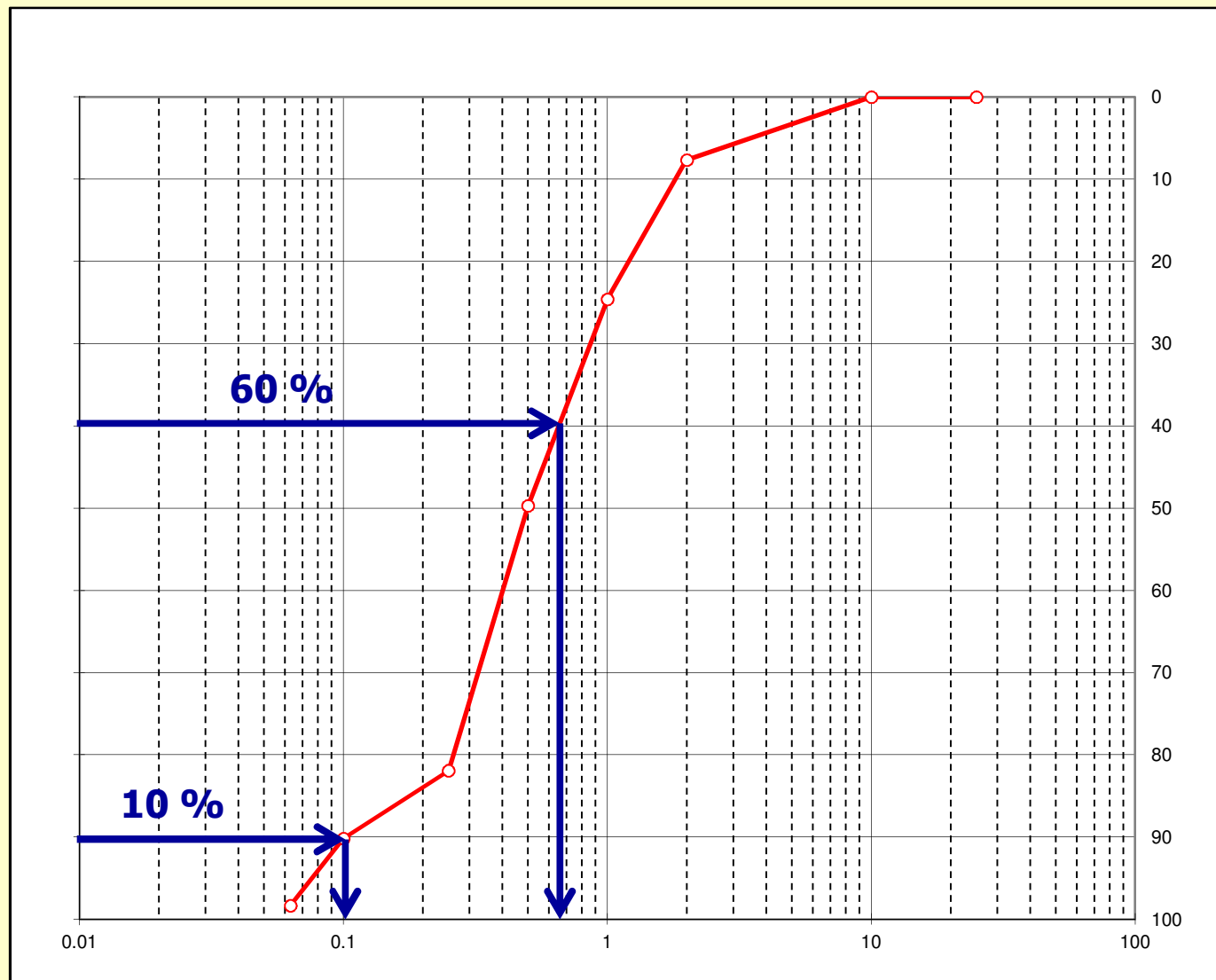
Wyniki badania:

Masa szkieletu gruntowego $m_d = 352.4 \text{ g}$

Wymiar oczek [mm]	Masa gruntu pozostała na sicie [g]	Rozrzucana różnica masy [g]	Poprawiona masa gruntu pozostała na sicie, m_i [g]	Zawartość frakcji $Z_i = \frac{m_i}{m_d} \cdot 100\%$	Suma zawartości [%]
25	0	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	26.8	0.18	26.98	7.65	7.65
1	59.3	0.39	59.69	16.94	24.59
0.5	87.9	0.58	88.48	25.11	49.70
0.25	112.8	0.74	113.54	32.22	81.92
0.1	28.9	0.19	29.09	8.25	90.17
0.063	28.6	0.19	28.79	8.17	98.34
pozostało	5.8	0.04	5.84	1.66	100.00
SUMA →	350.1	2.3	352.4	100	

Analiza granulometryczna metodą sitową

Wymiar oczek [mm]	Suma zawartości [%]
25	0.00
10	0.00
2	7.65
1	24.59
0.5	49.70
0.25	81.92
0.1	90.17
0.063	98.34
pozostało	100.00



$$d_{10} = 0.1 \text{ mm}$$

$$d_{60} = 0.7 \text{ mm}$$

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0.7}{0.1} = 7$$

Analiza granulometryczna metodą areometryczną

Czas odczytu	Temp zawiesiny	Skrócony wskaźnik odczytu R_T	ΔR	a	$R = R_T + \Delta R + a + c$	Droga cząstki H_R [cm]	Średnica wzorcowa dwz [mm]	Średnica zastępcza cząstek d_T [mm]	Średnia zawartość cząstek o $\phi < d_T$; Z_T [%]
30 sek	23,1	12	-0,29	0,52	12,23	13,43	0,073	0,066884	96,76
1 min	23,1	11,7	-0,30	0,52	11,92	13,53	0,051	0,046895	94,36
2 min	23,1	11,2	-0,30	0,52	11,42	13,69	0,036	0,033299	90,37
5 min	23,1	10,2	-0,31	0,52	10,41	14,01	0,023	0,021523	82,41
15 min	23,1	9	-0,31	0,52	9,21	14,40	0,013	0,012332	72,89
30 min	23,1	7,7	-0,31	0,52	7,91	14,82	0,0094	0,009045	62,61
1h	23,1	6	-0,30	0,52	6,22	15,36	0,0067	0,006565	49,21
2h	23	4,5	-0,29	0,5	4,71	15,85	0,0047	0,004677	37,28
4h	23	3,4	-0,28	0,5	3,62	16,20	0,0033	0,003321	28,68
24h	23	2	-0,26	0,5	2,24	16,65	0,0014	0,001428	17,76

gdzie: Z_T – procentowa zawartość cząstek o średnicach mniejszych niż d_T [%],

ρ_s – gęstość właściwa szkieletu gruntowego [g/cm³],

ρ_w – gęstość właściwa wody [g/cm³],

m_s – masa szkieletu gruntowego użytego do analizy [g],

R_T – skrócony wskaźnik odczytu dla czasu opadania T ,

ΔR – poprawka na podziałkę areometru,

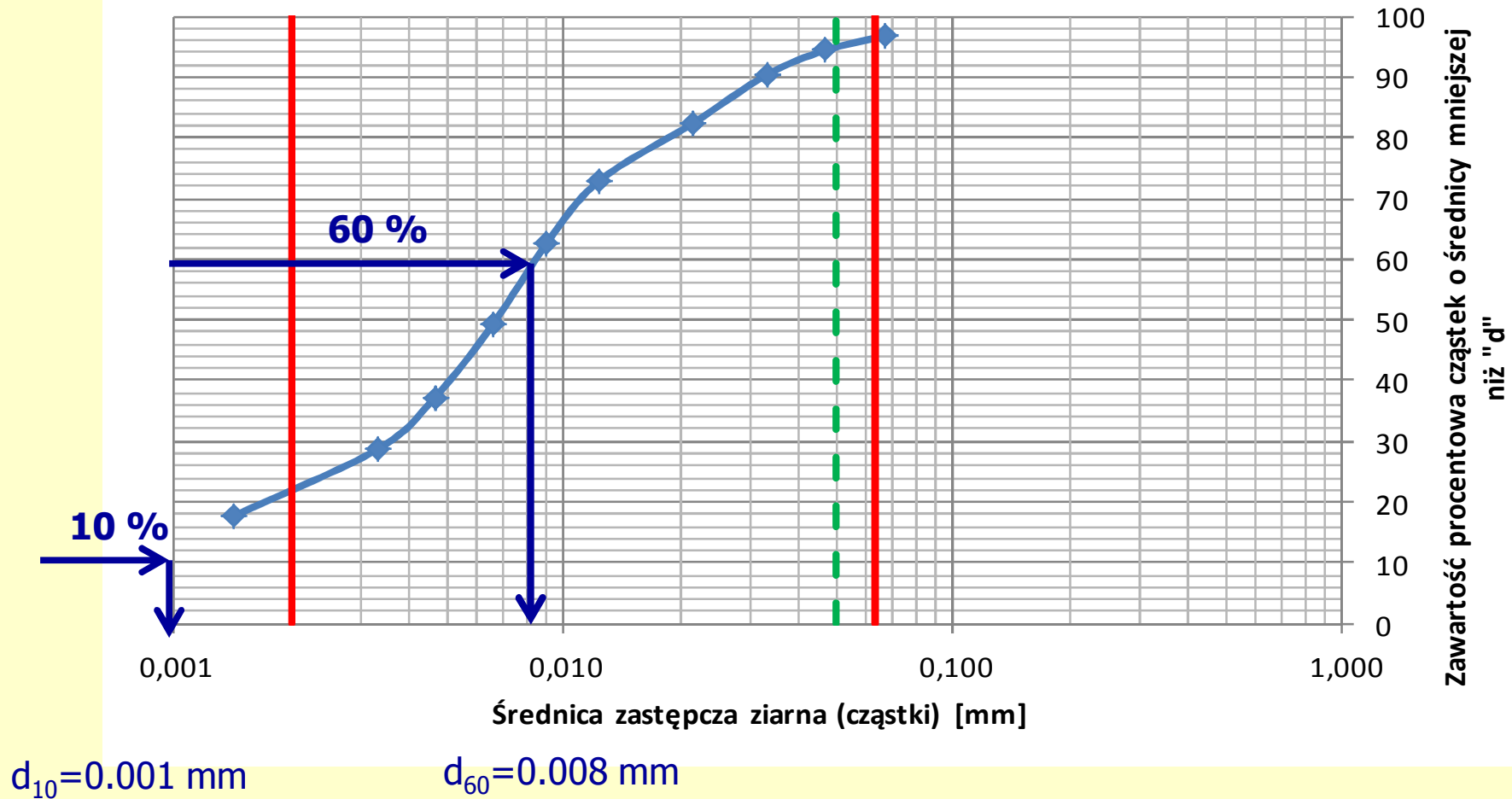
a – poprawka na temperaturę,

c – poprawka na menisk.

$$Z_T = \frac{\rho_s}{m_s (\rho_s - \rho_w)} (R_T + \Delta R + a + c) \cdot 100$$

Analiza granulometryczna metodą areometryczną

areometria grunt nr 1



$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0.008}{0.001} = 8$$

Parametry opisujące własności fizyczne

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

Do podstawowych cech fizycznych gruntów zalicza się:

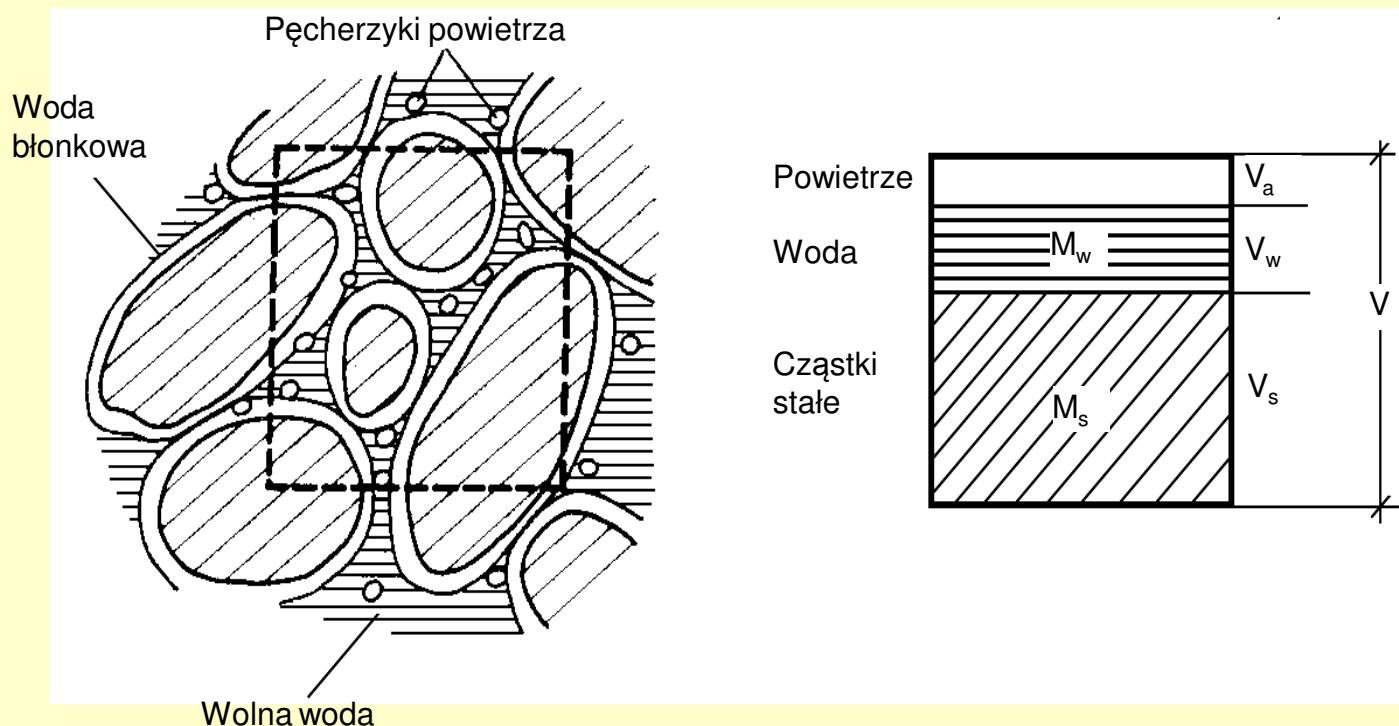
- wilgotność w
- gęstość właściwą ρ_s
- gęstość objętościową ρ

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

Składniki gruntu



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

$$m_m = m_s + m_w$$

gdzie: V - objętość gruntu

V_s - 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_s - masa szkieletu cząstek gruntowych

m_w - masa wody

Podstawowe cechy fizyczne 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 cząstek gruntu (szkieletu gruntowego)

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 .

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

gdzie: m_s - masa cząstek gruntu

V_s - objętość samych cząstek (szkieletu gruntowego)

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

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

gdzie: m_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).

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

gdzie: m_s - masa próbki wysuszonej do stałej wagi w temperaturze $105 \div 110^\circ\text{C}$

V - objętość próbki gruntu przed wysuszeniem

ρ - gęstość objętościowa gruntu

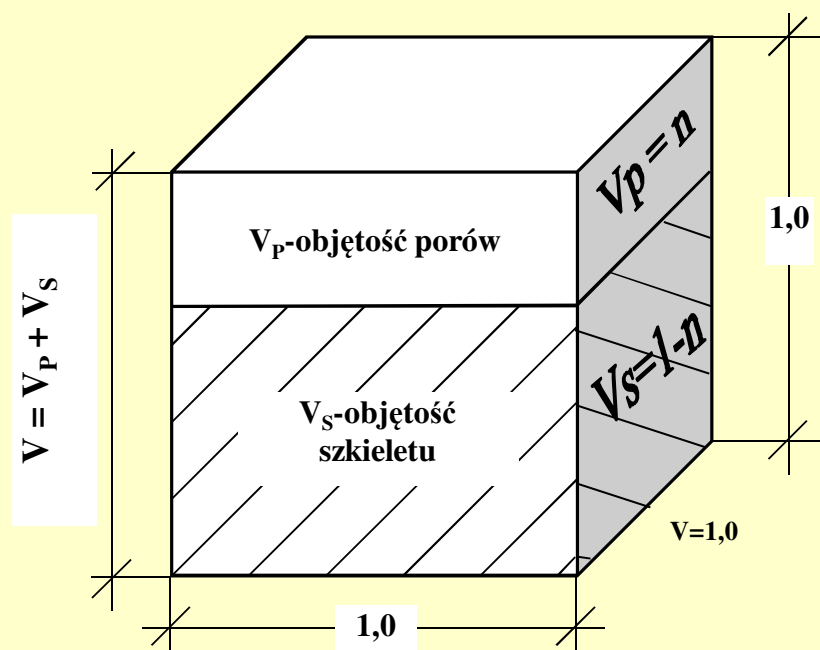
W_n - wilgotność naturalna gruntu

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

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:

$$V = V_s + V_p \quad \rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad \text{oraz} \quad \rho_d = \frac{m_s}{V}$$

otrzymujemy:

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

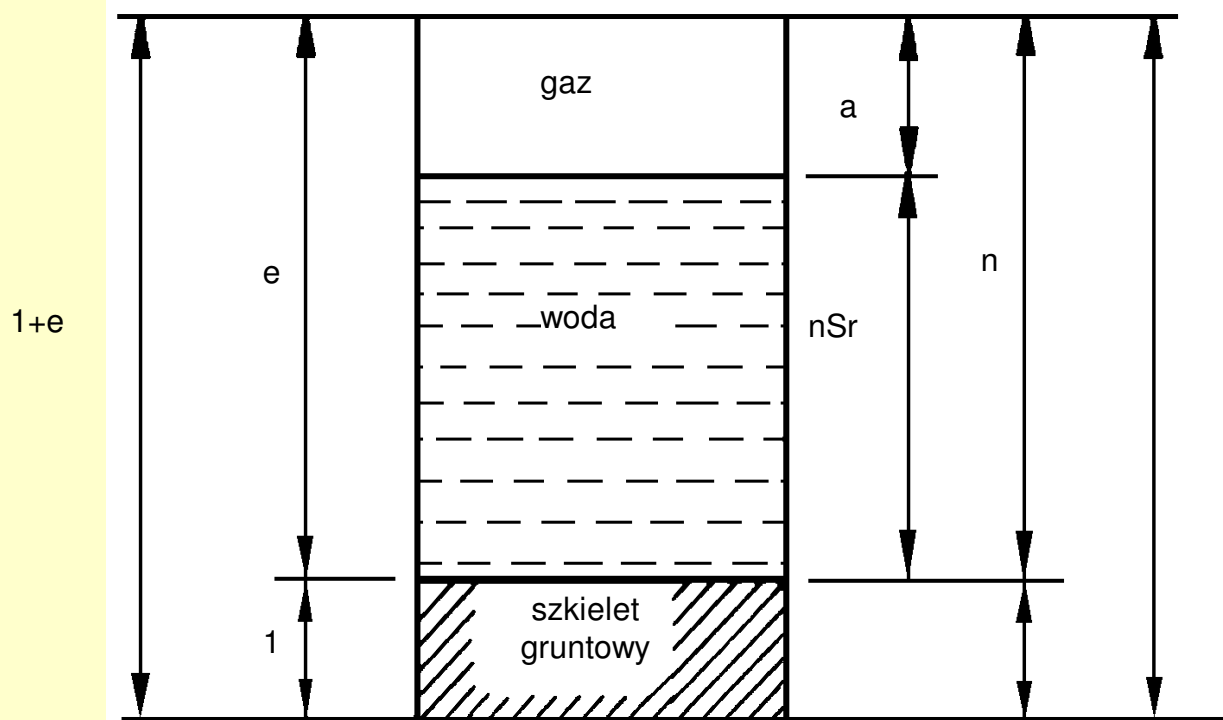
Wskaźnikiem porowatości gruntu e nazywamy stosunek objętości porów V_p do objętości cząstek gruntu (szkieletu gruntowego) V_s .

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

Pomiędzy wskaźnikiem porowatości e a porowatością n istnieją zależności:

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

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



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

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

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

Stopień wilgotności gruntu S_r określa stopień wypełnienia porów gruntu wodą.

$$S_r = \frac{V_w}{V_p} = \frac{\frac{V_w\rho_w}{m_s} \cdot 100}{\frac{V_p\rho_w}{m_s} \cdot 100} = \frac{w_n}{w_r}$$

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

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

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 półzwarłego w półpłynny.

$$I_P = W_L - W_P$$

gdzie: W_P - granica plastyczności,

W_L - granica płynności.

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 %.

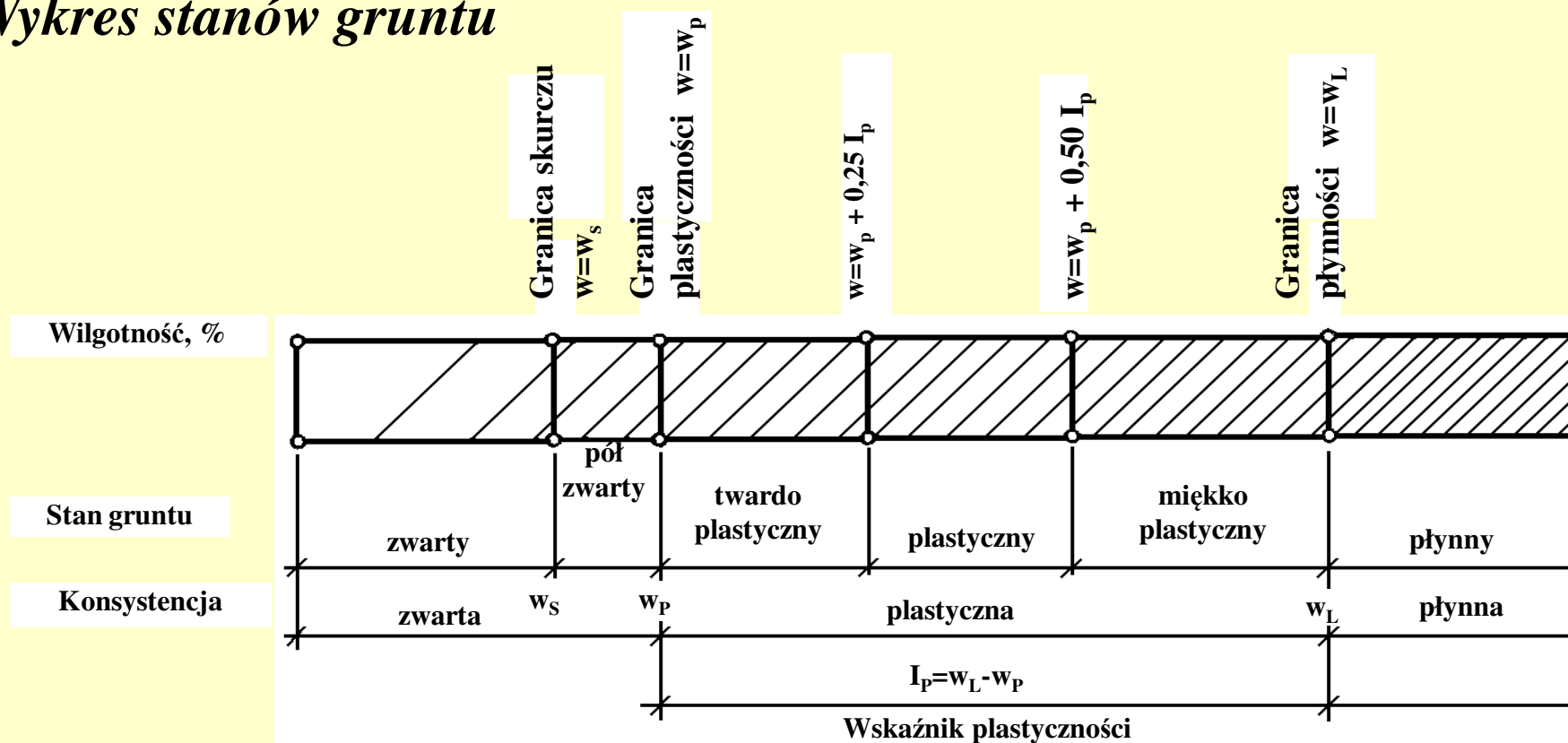
Zależnie od aktywności koloidalnej grunty dzieli się na 4 grupy:

- **nieaktywne** $A < 0,75$
- **przeciętnie aktywne** $0,75 \leq A < 1,25$
- **aktywne** $1,25 \leq A < 2$
- **bardzo aktywne** $A \geq 2$

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*.

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

Wykres stanów gruntu



Poszczególne stany gruntu stanowią określone konsystencje.

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

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

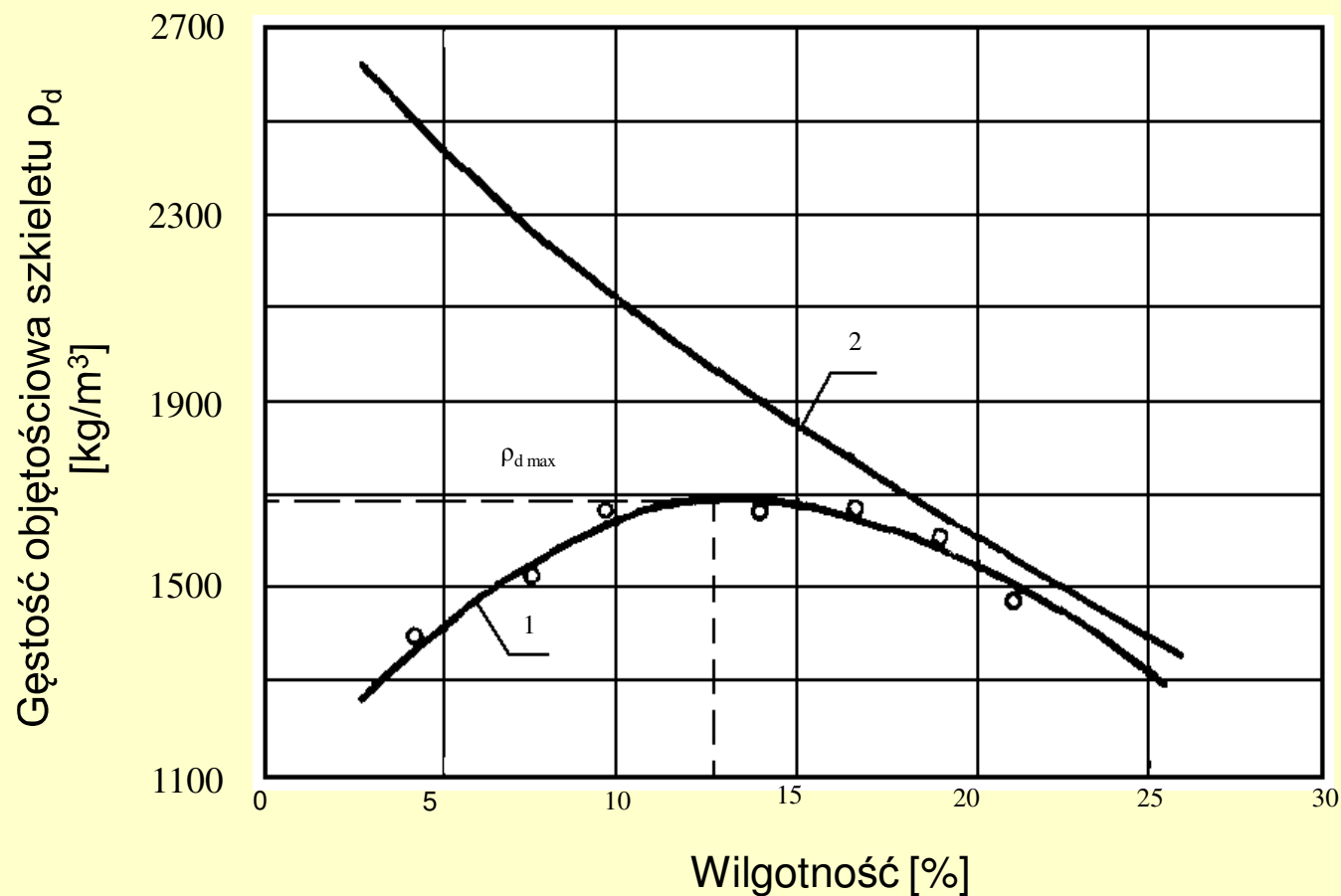
Podział gruntów wg spoistości.

Rodzaj gruntów	Wskaźnik plastyczności
Niespoisty	$I_p \leq 1\%$
Spoisty	$1\% < I_p$
mało spoisty	$1\% < I_p \leq 10\%$
średnio spoisty	$10\% < I_p \leq 20\%$
zwęziło spoisty	$20\% < I_p \leq 30\%$
bardzo spoisty	$30\% < I_p$

Parametry Zagęszczania Gruntów

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_{ds} zależą od rodzaju gruntu.**



Wpływ wilgotności na zagęszczenie gruntu:

1 – krzywa zagęszczenia,

***2 – krzywa całkowitego nasycenia (teoretycznie
maksymalne zagęszczenie).***

Wskaźnik zagęszczenia gruntów I_s jest miernikiem charakteryzującym jakość zagęszczenia nasypu:

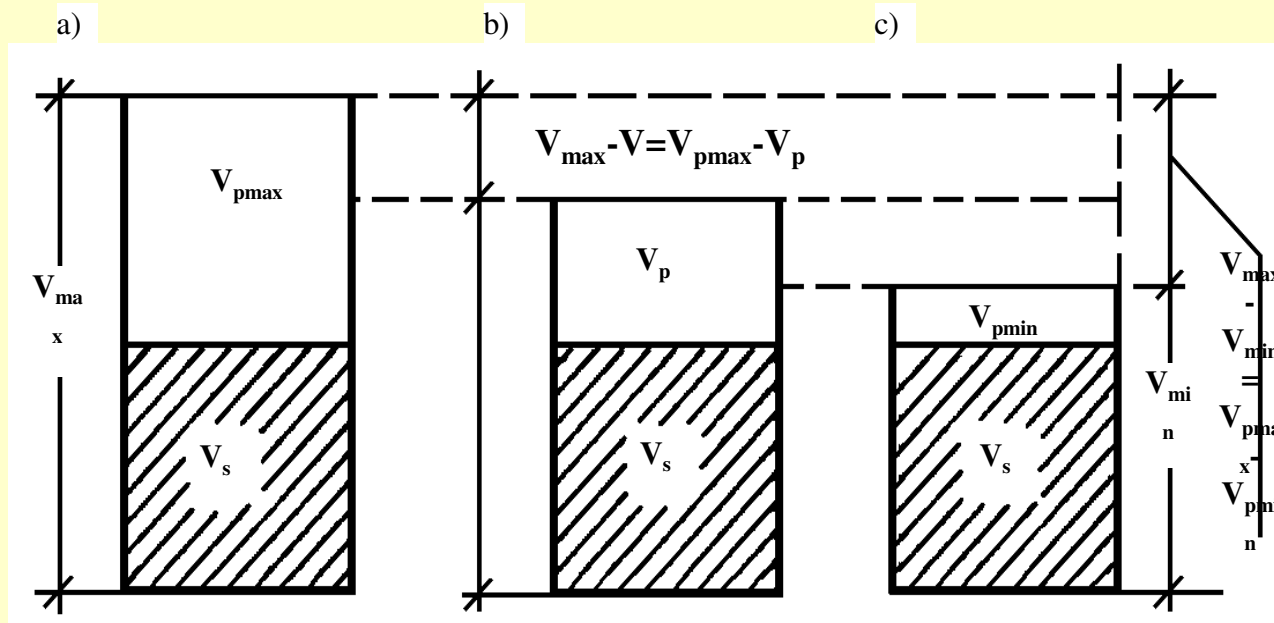
$$I_s = \frac{\rho_{dnas}}{\rho_{ds}}$$

gdzie:

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

ρ_{ds} - maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntu.

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 zagęszczania I_D oblicza się ze wzoru:

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

gdzie: $e_{\max}$ - 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 .

Stopień zagęszczenia I_D charakteryzuje stan gruntów niespoistych.

Rozróżnia się cztery stany gruntów niespoistych:

- **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 $I_D = 1,0$