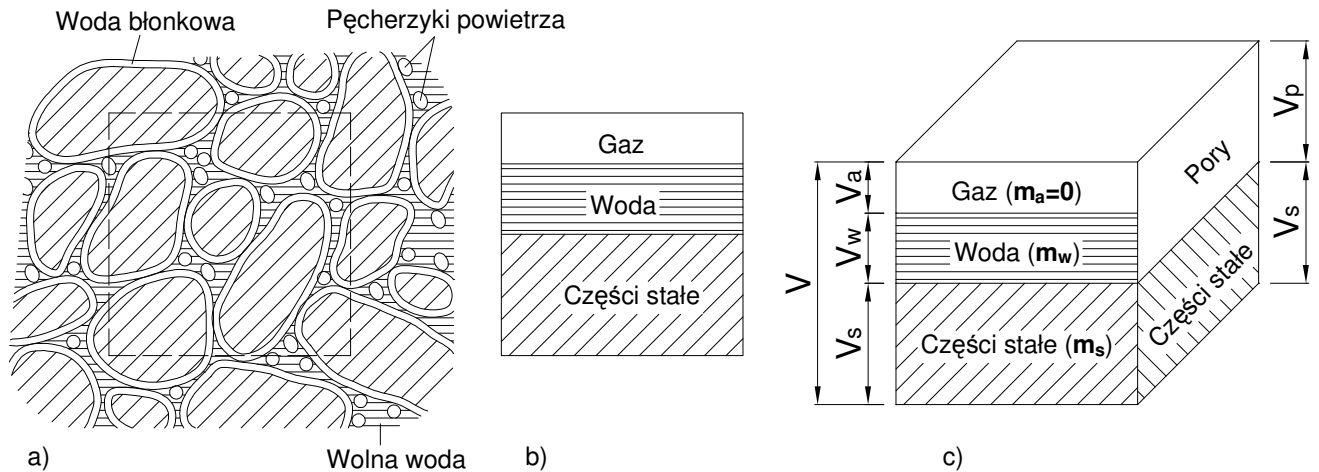


Cechy fizyczne gruntów



Trójfazowa struktura gruntu; a) składniki ośrodka gruntowego; b) wyodrębnienie poszczególnych faz gruntu: - fazy stałej (ziarna i cząstki), - fazy ciekłej (woda), - fazy gazowej (powietrze, para wodna i gazy); c) fazy gruntu w objętości jednostkowej V

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

Gęstość właściwa szkieletu gruntowego ρ_s – jest to stosunek masy szkieletu m_s $\{m_d\}$ do jego objętości V_s $\{V_d\}$

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad \frac{g}{cm^3}$$

Gęstość objętościowa gruntu ρ – jest to stosunek całkowitej masy próbki gruntu m do jej całkowitej objętości V

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \frac{g}{cm^3}$$

Wilgotność gruntu w – jest to stosunek masy wody m_w w porach gruntu do masy szkieletu gruntu m_s $\{m_d\}$ wyrażony w procentach

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

m_w – ubytek masy próbki gruntu równy masie odparowanej wody przy suszeniu gruntu w temperaturze $105 \div 110 \text{ } ^\circ\text{C}$ do stałej masy

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

Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego ρ_d – jest to stosunek masy szkieletu gruntowego m_s $\{m_d\}$ w próbce gruntu do objętości próbki V ; mamy z tym do czynienia w przypadku gruntu suchego (przy $w = 0$)

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} = \frac{100 \cdot \rho}{100 + w_n} \quad \frac{g}{cm^3}$$

Porowatość gruntu n – jest to stosunek objętości porów V_p zawartych w próbce gruntu do objętości tej próbki V

$$n = \frac{V_p}{V} = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s}, \quad n = 1 - \frac{\rho}{\rho_s(1 + w_n)}$$

w_n – wilgotność wyrażona w ułamku dziesiętnym

Wskaźnik porowatości gruntu e – jest to stosunek objętości porów zawartych w próbce gruntu V_p do objętości szkieletu gruntowego V_s { V_d }

$$e = \frac{V_p}{V_s} = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}, \quad e = \frac{\rho_s(1 + w_n) - \rho}{\rho}$$

w_n – wilgotność wyrażona w ułamku dziesiętnym

Relacje pomiędzy współczynnikiem a wskaźnikiem porowatości

$$n = \frac{e}{1 + e}, \quad e = \frac{n}{1 - n}$$

Rodzaj gruntu	Porowatość n , %	Wskaźnik porowatości e	<i>Orientacyjne wartości porowatości n i wskaźnika porowatości e gruntów budowlanych [1]</i>
Żwiry	30 ÷ 55	0,43 ÷ 1,22	
Pospółki	20 ÷ 40	0,25 ÷ 0,66	
Piaski	26 ÷ 45	0,35 ÷ 0,82	
Gliny	20 ÷ 35	0,25 ÷ 0,54	
Iły plastyczne	40 ÷ 70	0,66 ÷ 2,33	
Iły półzwarte	35 ÷ 50	0,54 ÷ 1,00	
Iły zwarte	18 ÷ 35	0,22 ÷ 0,54	

Stopień wilgotności gruntu S_r – jest to stosunek objętości wody zawartej w próbce gruntu (w porach) do objętości porów

$$S_r = \frac{V_w}{V_p} = \frac{w\rho_s}{e\rho_w}$$

Przy $S_r = 1,0$ (całkowite nasycenie porów gruntu wodą: $V_w = V_p$) grunt ma wilgotność zwaną wilgotnością całkowitą w_r

$$w_r = \frac{e \cdot \rho_w}{\rho_s} \cdot 100 \quad \% \quad \{w_{\text{sat}}\} \quad \rho_w - \text{gęstość wody}$$

Gęstość objętościowa gruntu przy całkowitym nasyceniu porów wodą. Sytuacja taka ma miejsce w gruncie znajdującym się w strefie podsiąku kapilarnych oraz poniżej zwierciadła wody gruntowej w warstwie wodonośnej. Dla tych gruntów $S_r = 1,0$:

$$\rho_{sr} = \rho_d + n\rho_w \quad \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad \{\rho_{\text{sat}}\}$$

Fizyka wyróżnia pojęcie *ciężaru objętościowego* γ , który tak jak *gęstość* ρ jest cechą fizyczną materiału. Podobnie w geotechnice, obok gęstości możemy mówić o ciężarze objętościowym gruntu. Obowiązuje tu znana zależność:

$$\gamma = \rho \cdot g, \text{ kN/m}^3,$$

gdzie:

γ – ciężar objętościowy, kN/m^3 ,

ρ – gęstość, Mg/m^3 (w praktyce, aby γ otrzymać w kN/m^3 , to ρ należy podstawić w t/m^3 {lub g/cm^3 }, a formalnie zgodnie z układem jednostek SI w Mg/m^3 , np. $1,8 \text{ t/m}^3 \{= 1,8 \text{ g/cm}^3\} = 1,8 \text{ Mg/m}^3$),

g – przyspieszenie ziemskie, $9,81 \text{ m/s}^2$, często przyjmowane $\approx 10 \text{ m/s}^2$.

Zatem przykładowo obok *gęstości objętościowej szkieletu gruntowego* ρ_d , możemy mówić o *ciężarze objętościowym szkieletu gruntowego* γ_d .

Ciężar objętościowy gruntu z uwzględnieniem wyporu wody γ' ; Szkielet gruntowy znajdujący się poniżej zwierciadła wody gruntowej poddany jest wyporowi wody zgodnie z prawem Archimedesesa. Tym samym jest on pozornie lżejszy i wywiera mniejszy nacisk na warstwę leżącą poniżej niż ten sam szkielet powyżej zwierciadła wody gruntowej [2,3].

$$\gamma' = (1-n)(\gamma_s - \gamma_w) \quad \text{kN/m}^3$$

γ_w – ciężar objętościowy wody, można przyjąć $\approx 10 \text{ kN/m}^3$

- dla gruntów spoistych można z wystarczającą dokładnością policzyć γ' według uproszczonego wzoru [3]:

$$\gamma' = \gamma_{sr} - \gamma_w \quad \text{kN/m}^3$$

W przypadku przepływu wody przez grunt należy przy obliczeniach ciężaru objętościowego γ'' uwzględnić ciśnienie sphywowe j . Ciężar objętościowy gruntu z uwzględnieniem oddziaływania ciśnienia sphywowego oblicza się według wzoru:

$$\gamma'' = \gamma' \pm j \quad \text{kN/m}^3$$

gdzie: j – ciśnienie sphywowe:

$$j = i \cdot \gamma_w \cdot \cos \beta \quad \text{kN/m}^3$$

$i = \Delta H/L$ – spadek hydrauliczny,

β – kąt odchylenia kierunku przepływu wody od pionu, w $^\circ$.

Znak „+” stosujemy, gdy przepływ wody odbywa się w dół, znak „-” gdy woda w gruncie przepływa w górę.

Przeptywając przez grunt woda napotyka na opór – musi opływać ziarna szkieletu gruntowego, czemu towarzyszy tarcie pomiędzy wodą i tym szkieletem. Dla porównania jeśli rozpatrzemy przekrój rury, przez którą płynie ciecz, to z podobnym tarcie będziemy mieli do czynienia tylko na jej obwodzie, czyli kontakcie cieczy z rurą. Żeby wyobrazić sobie jakie tarcie musi pokonać ciecz przepływająca przez grunt, to wspomnianą rurę musielibyśmy wypełnić

Materiały dydaktyczne na zajęcia z przedmiotu *Mechanika Gruntów i Fundamentowanie*.

Zakład Geotechniki i Geologii Inżynierskiej, IIL Politechniki Poznańskiej.

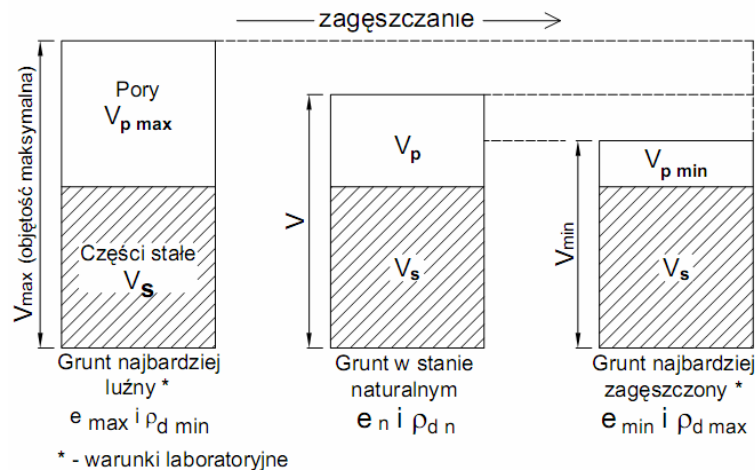
Opracował: mgr inż. Adam Duda

gruntem. Dokładniej to wyciąć myślowo taką „rure” w gruncie, przez który płynie woda. Jeżeli teraz rozpatrzemy jednostkową objętość (element) tego gruntu. Zastanowimy się jaka siła ciśnienia przepływającej wody jest potrzebna, aby pokonać opór tarcia woda – szkielet, to będziemy mieli do czynienia z *ciśnieniem sphywowym* – siłą ciśnienia wody, wywieraną na cząstki gruntowe zawarte w jednostce objętości. Ciśnienie które jest potrzebne do pokonania tego oporu jest różnicą ciśnienia hydraulicznego (wysokości piezometrycznych) przed rozpatrywanym elementem i za nim. *Ciśnienie sphywowe (hydrodynamiczne)* jak podano w powyższym wzorze, jest równe iloczynowi spadku hydraulicznego i ciężaru objętościowego wody. Kierunek działania tej siły jest styczny do linii przepływu, jest to siła objętościowa i ma miano kN/m^3 [3].

Stany gruntów

Zagęszczenie gruntów niespoistych

Stopień zagęszczenia gruntu I_D – jest to stosunek zagęszczenia istniejącego w naturze do zagęszczenia maksymalnego możliwego do uzyskania w warunkach laboratoryjnych.



$$I_D = \frac{e_{\max} - e_n}{e_{\max} - e_{\min}} = \frac{(\rho_d - \rho_{d \min}) \cdot \rho_{d \max}}{(\rho_{d \max} - \rho_{d \min}) \cdot \rho_d}$$

Zmodyfikowany stopień zagęszczenia

$$I_{DM} = I_D \cdot \frac{\rho_d}{\rho_{d \max}} = \frac{\rho_d - \rho_{d \min}}{\rho_{d \max} - \rho_{d \min}}$$

W zależności od wartości liczbowej stopnia zagęszczenia grunty syplkie dzieli się według stanów zagęszczenia.

Stan zagęszczenia gruntu	Symbol	Stopień zagęszczenia I_D
Luźny	ln	0 ÷ 0,33
Średnio zagęszczony	szg	0,34 ÷ 0,67
Zagęszczony	zg	0,68 ÷ 0,80
Bardzo zagęszczony	bzg	0,81 ÷ 1,00

Stany zagęszczenia gruntów niespoistych w zależności od stopnia zagęszczenia I_D [1]

Konsystencja gruntów spoistych

Aby określić stan gruntu spoistego, należy obliczyć wartość stopnia plastyczności według wzoru:

$$I_L = \frac{w_n - w_p}{w_L - w_p}$$

Drugim wskaźnikiem odnoszącym się do stanu gruntów spoistych jest stopień konsystencji:

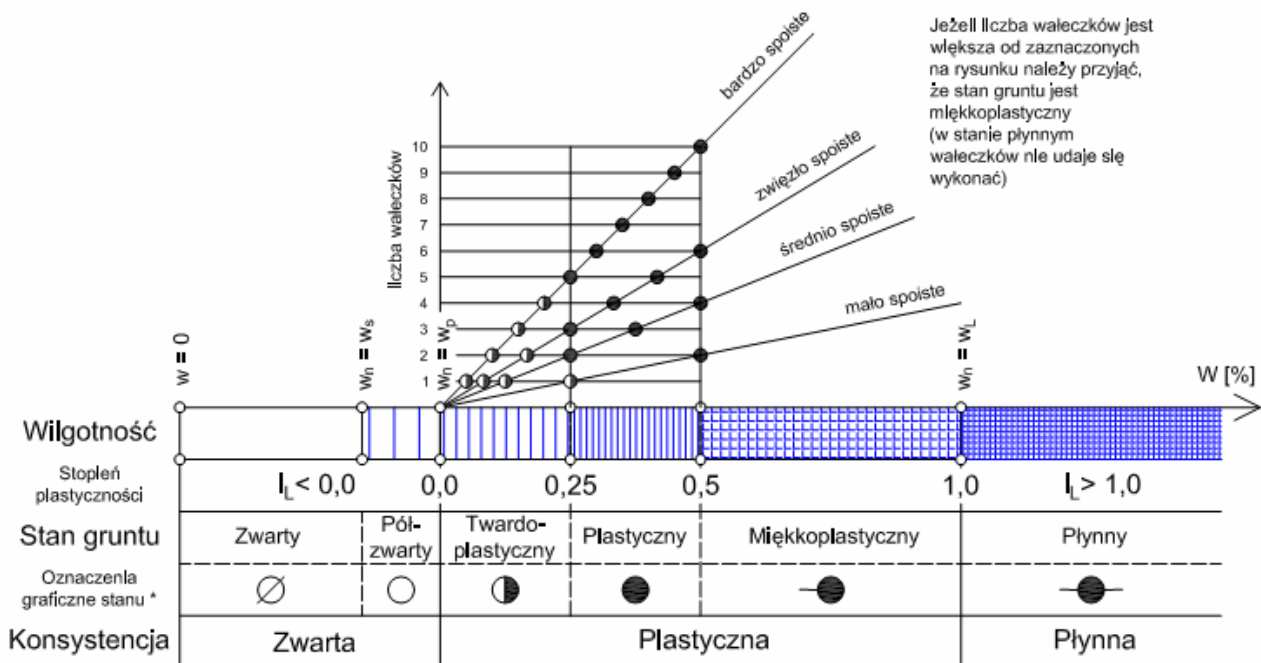
$$I_k = 1 - I_L = \frac{w_L - w_n}{w_L - w_p}$$

Granice konsystencji (Atterberga)

Granica płynności w_L - jest to wilgotność, jaką ma grunt na granicy stanu miękkoplastycznego i płynnego, przy której bruzda rozdzielająca próbkę gruntu w miseczce aparatu Casagrande'a złączy się po 25 uderzeniach miseczki na długości 10 mm i wysokości 1 mm.

Granica plastyczności w_p - jest to wilgotność, jaką ma grunt na granicy stanu twardoplastycznego i półzwarłego, przy której waleczek uformowany pęka w czasie waleczkowania po osiągnięciu średnicy 3 mm.

Granica skurczalności w_s - jest to wilgotność, jaką ma grunt na granicy stanu półzwarłego i zwartego, po osiągnięciu której pomimo dalszego wysychania tego gruntu nie zmniejsza już on swojej objętości.



* - stosowane na rysunkach profili i przekrojów geotechnicznych

Stany gruntów spoistych oraz liczba waleczków przy makroskopowym określaniu stanu w konsystencji plastycznej

Podział gruntów spoistych w zależności od stopnia plastyczności [1]

Stopień plastyczności I_L	Wilgotność gruntu w stosunku do granic konsystencji	Stan gruntu	Symbol	Konsystencja
$I_L < 0$	$w \leq w_s$	zwarty	zw	zwarta
$I_L \leq 0$	$w_s < w \leq w_p$	półzwarty	pzw	
$0 < I_L \leq 0,25$	$w_p < w \leq w_L$	twardoplastyczny	tpl	plastyczna
$0,25 < I_L \leq 0,50$		plastyczny	pl	
$0,50 < I_L \leq 1,00$		miękkoplastyczny	mpl	
$1,00 < I_L$	$w > w_L$	płynny	pł	płynna

Wskaźnik plastyczności to różnica pomiędzy granicą płynności i plastyczności

$$I_p = w_L - w_p$$

$I_p \leq 1\%$ – grunt niespoisty **ns**,

$I_p > 1\%$ – grunt spoisty **s**.

Podział gruntów spoistych w zależności od wskaźnika plastyczności [1]

Wskaźnik plastyczności I_p %	Zawartość frakcji iłowej (o średnicy mniejszej od 0,002 mm) %	Rodzaj spoistości	Symbol
$1 < I_p \leq 10$	$2 \div 10$	mało spoisty	ms
$10 < I_p \leq 20$	$11 \div 20$	średnio spoisty	ss
$20 < I_p \leq 30$	$21 \div 30$	zwięzły spoisty	zs
$30 < I_p$	$31 \div 100$	bardzo spoisty	bs

{ } – w nawiasach klamrowych podano równorzędne oznaczenie literowe według [4].

Literatura:

[1] W. Kostrzewski: *Parametry geotechniczne gruntów budowlanych oraz metody ich oznaczania*. WPP, Poznań 1988.

[2] S. Pisarczyk: *Gruntoznawstwo inżynierskie*. PWN, Warszawa 2001.

[3] Z. Wiłun: *Zarys geotechniki*. WKŁ, Warszawa 1976, 2001.

[4] PN-B-02481 01-1998: *Geotechnika. Terminologia podstawowa, symbole literowe i jednostki miar*.