

MEHANIKA TLA

2015/2016

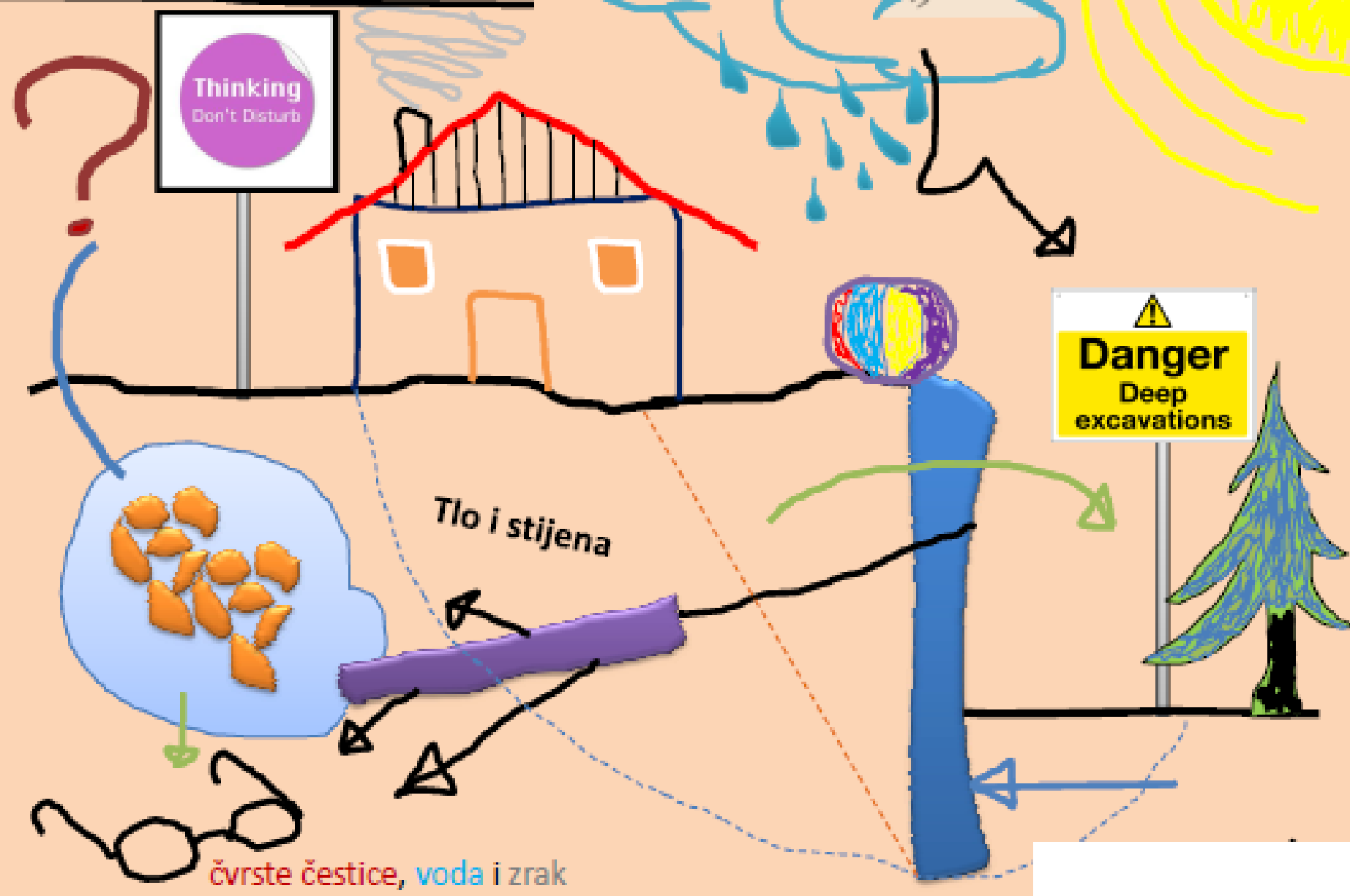
Literatura:

Maksimović M., **Mehanika Tla**, Orion, Beograd, 2005.

Nonveiller E., **Mehanika Tla i Temeljenje Građevina**, Školska knjiga, Zagreb, 1990.

Kvasnička P., Domitrović, D. **MEHANIKA TLA**, Interna skripta, Rudarsko geološko naftni fakultet sveučilišta u Zagrebu

ŠTA JE GEOTEHNIKA?



ISTRAŽNI RADOVI

cilj

Ulazni podaci za proračune

laboratorija



uzorci



vađenje uzoraka



SPT

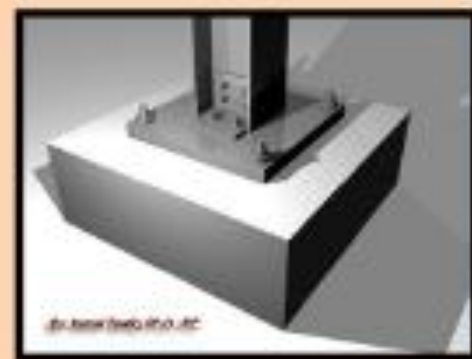


raskop

CPT - BAZA, PLAŠT, PORNÍ PRITISAK



PLITKO TEMELJENJE



Dr. Inga (bela) Stoj. Jč.



Za prenos sila sa konstrukcije na tlo

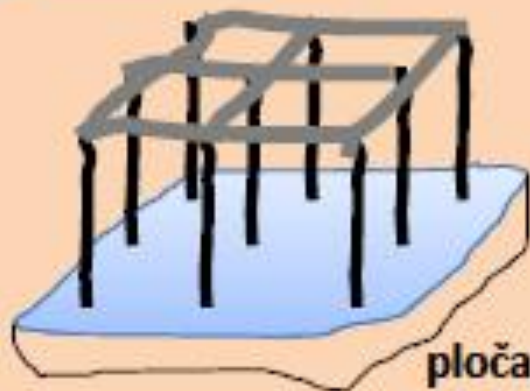
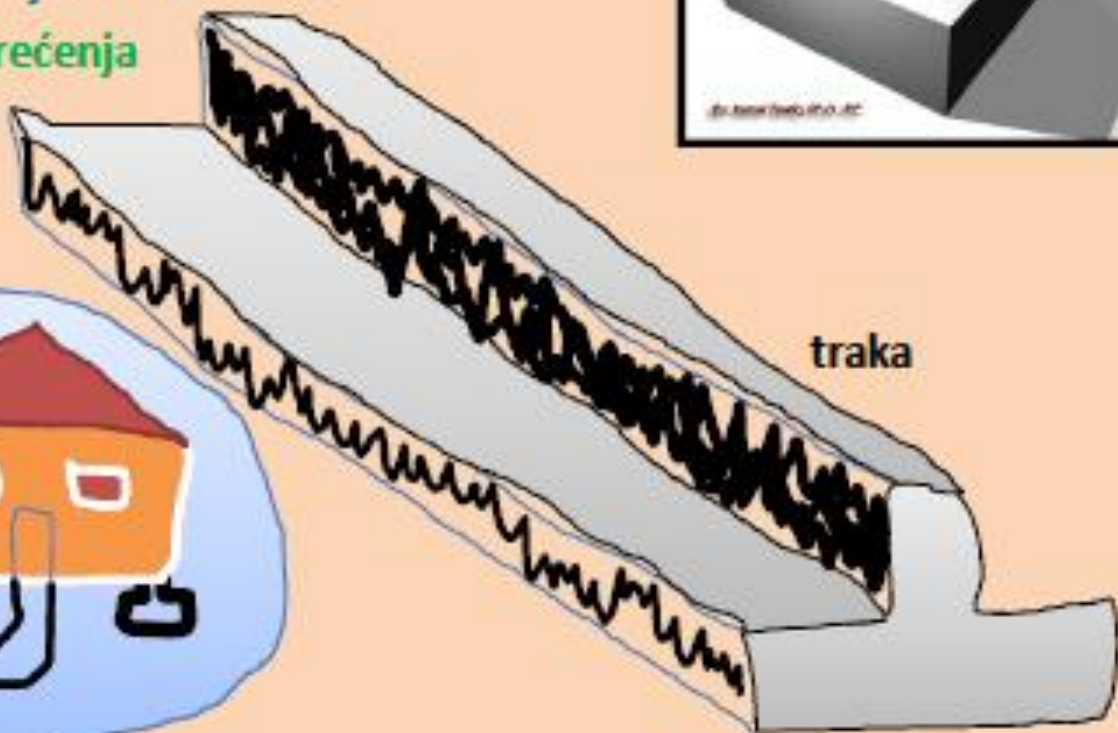


Za dobro tlo i manja opterećenja

stopa



traka

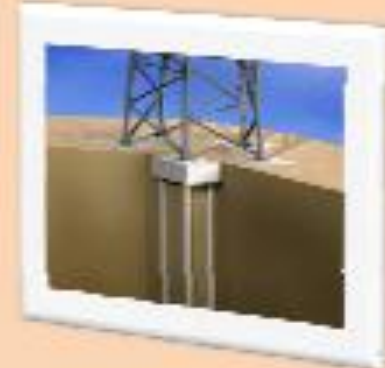


ploča



DUBOKO TEMELJENJE

- ➔ Za prenos sila na nosivo (dobro) tlo
- ➔ Za slaba tla i velika opterećenja



BAZA + PLAŠT = PRIJEM OPTEREĆENJA

šipovi (eng. piles)

POTPORNE KONSTRUKCIJE

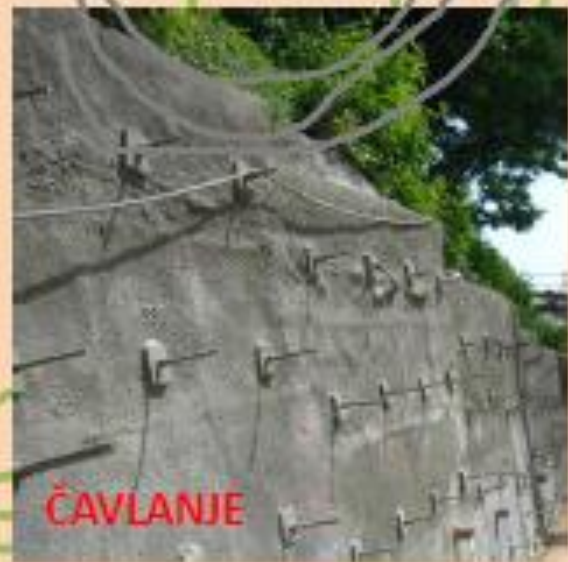
GABIONI



ARMIRANO TLO



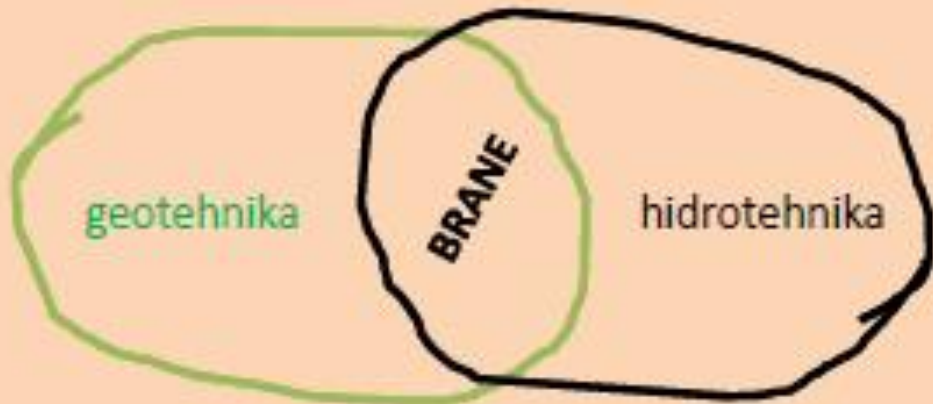
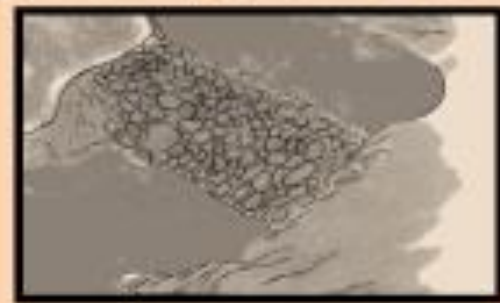
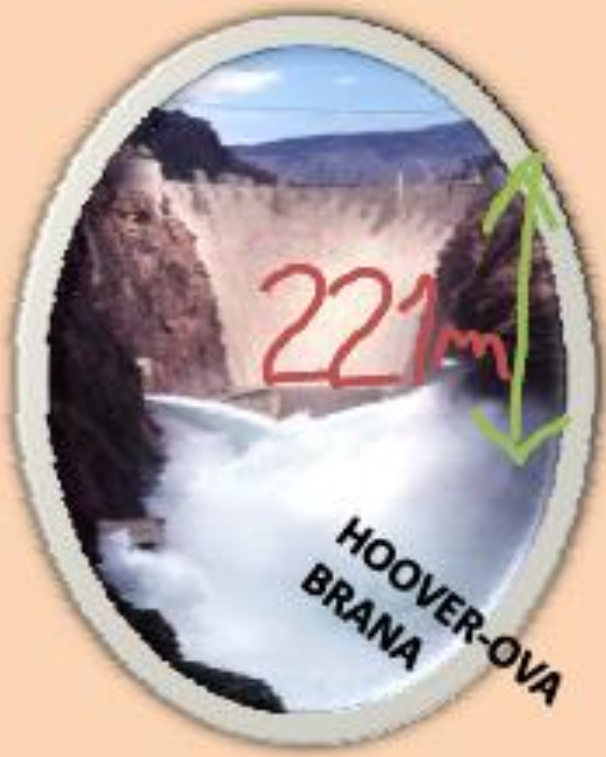
POTPORNI ZIDOVI



PRIVREMENE I STALNE ZAŠTITNE KONSTRUKCIJE

ČAVLANJE

BRANE



strujna mreža

TUNELI



KLIZIŠTA

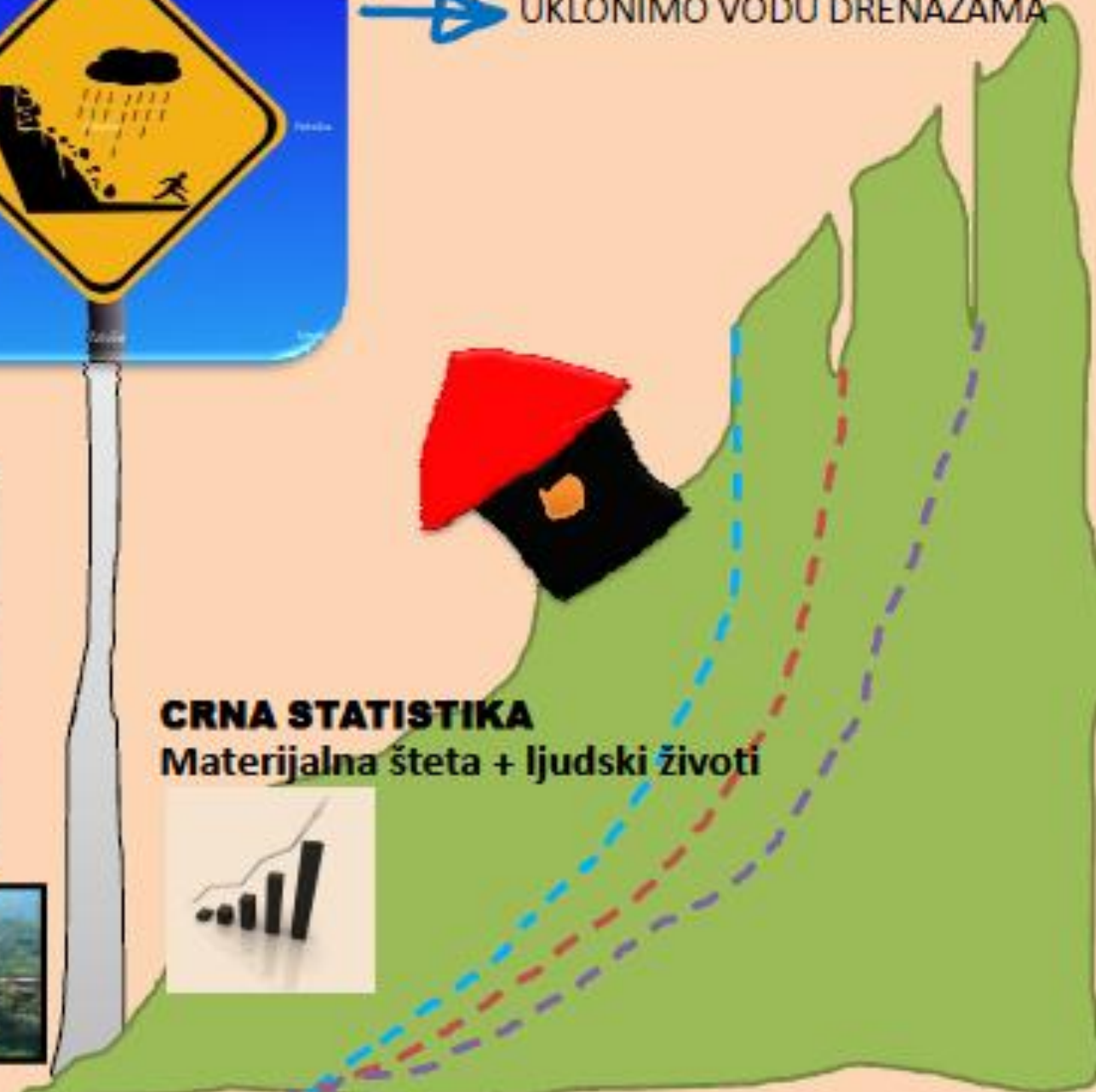


→ OSNOVNI PROBLEM : VODA

→ UKLONIMO VODU DRENAŽAMA

CRNA STATISTIKA

Materijalna šteta + ljudski životi



INTERAKCIJA TLA I KONSTRUKCIJE

EKSTRA POPULARNO 😊

geotehnika

INTERAKCIJA

konstrukterstvo

KONSTRUKCIJA

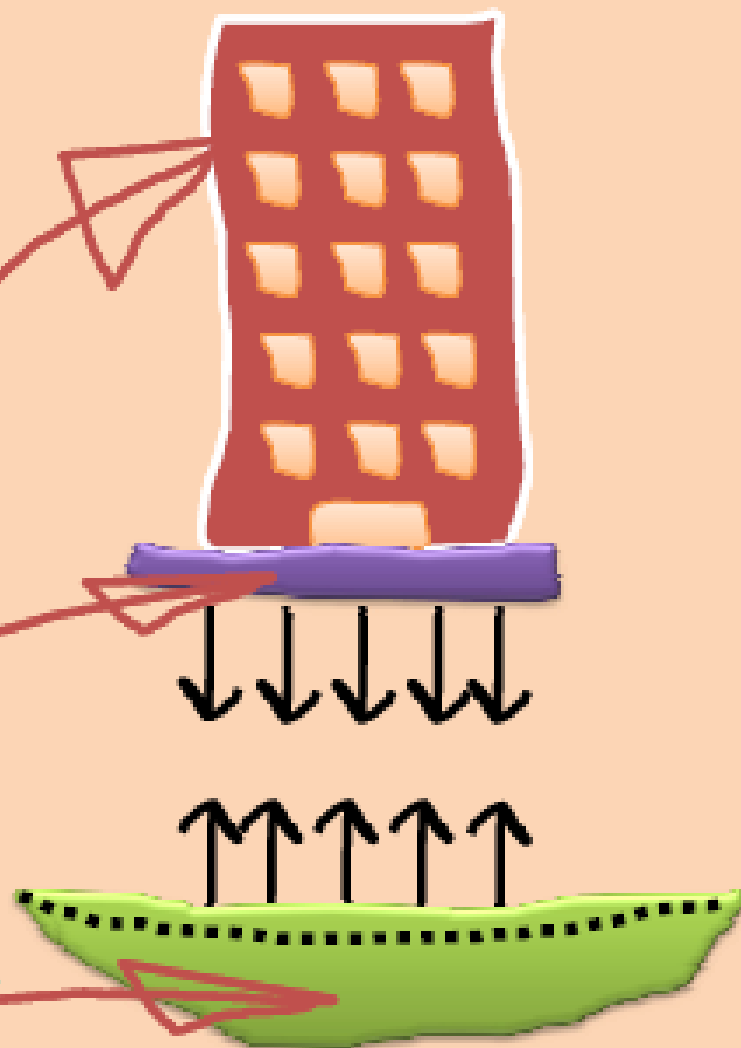
NADKONSTRUKCIJA

TEMELJNA
KONSTRUKCIJA

TLO - PODKONSTRUKCIJA

Tlo – slijeganja

Temelji – presječne sile



METODA ITERACIJE

Ne samo zgrade, nego svi objekti u kontaktu sa tlom

Terzaghi :“...Nema slave u temeljenju, greške i uspjesi su zakopani duboko pod zemljom...”



Istorijat:



Charles Augustine Coulomb (1736-1806), francuski vojni inženjer, poznatiji po istraživanjima elektriciteta i magnetizma, razmatrao je probleme pritisaka tla, potpornih zidova i posmične čvrstoće materijala.



William John Macquorn Rankine (1820-1872), škotski inženjer i fizičar, osim doprinosa u molekularnoj fizici, termodinamici i čvrstoći materijala, također se bavio pitanjima potpornih zidova i pritisaka tla – Rankine-ova granična stanja ravnoteže, tzv. aktivno i pasivno stanje.

Karl Culman (1821-1881), njemački inženjer, razvio grafičku metodu određivanja pritisaka tla na potporne zidove.

Henri Philibert Gaspard Darcy (1803-1858), francuski inženjer poznat po eksperimentalnom radu vezanom za problem propusnosti tla, kojeg prepoznajemo po poznatom Darcy-jevom zakonu.

Joseph Valentin Boussinesq (1842-1929), primijenjeni matematičar, unaprijedio je Rankinovu analizu problema zemljanih pritisaka, te se bavio analizom naprezanja u tlu uslijed vanjskog opterećenja – elastični, izotropni, homogeni poluprostor.

Otto Mohr (1835-1918), poznat je po grafičkoj metodi predstavljanja naprezanja tzv. Mohrovoj kružnici, kao i po Mohrovoj teoriji loma baziranoj na posmičnoj čvrstoći odnosno koheziji i uglu unutrašnjeg trenja



Temelje mehanike tla kao zasebne discipline dao je **Karl Terzaghi** (1882-1963) u knjizi “*Erdbaumechanik*” 1925. godine spojivši eksperimentalni i teoretski rad. Prije te publikacije, postojali su doprinosi drugih autora, no nisu bili integrisani u koherentnu disciplinu.

Nakon što je Karl Terzaghi objavio svoju knjigu 1925. godine, fond raspoložive literature o ovom području postaje ogroman, a publikuje se osim u knjigama, još i u stručnim časopisima te saopštenjima sa kongresa (ICSM, ECSMFE).

Navodimo samo neke značajnije:

ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, New York,

Canadian Geotechnical Journal, Ottawa,

Geotechnique – Institution of Civil Engineers, London,

ASTM Geotechnical Testing Journal.

Uvod

Mehanika tla je nauka (tj. primijenjena nauka) koja proučava i opisuje mehaničke osobine temeljnog tla, bilo da je ono:

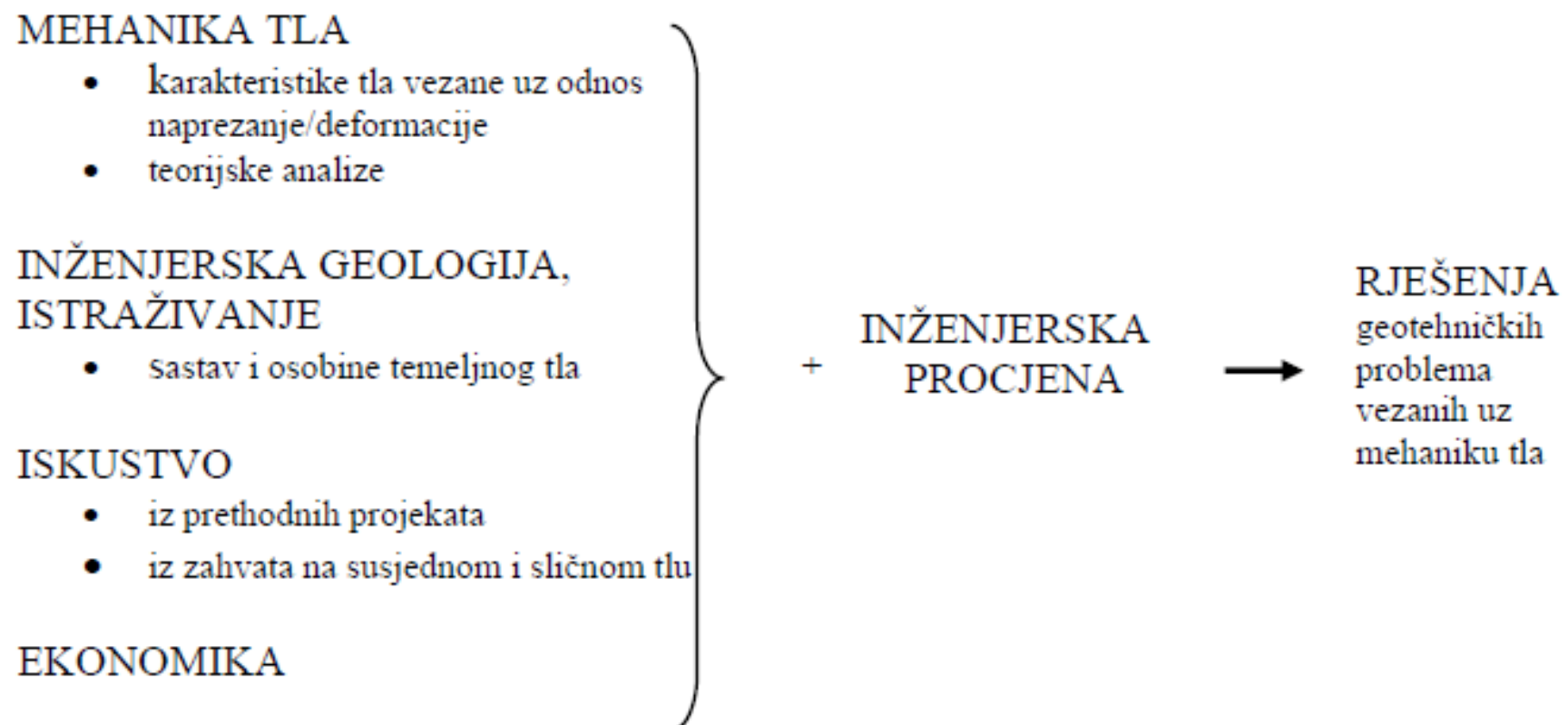
- prirodni oslonac građevini čiju težinu mora preuzeti bez štetnih slijeganja i deformacija:

- bilo da služi kao materijal pri građenju nasipa za ceste, željeznice ili brane.

Često se kaže i slijedeće: **mehanika tla bavi se objektima «na tlu, u tlu i od tla».**

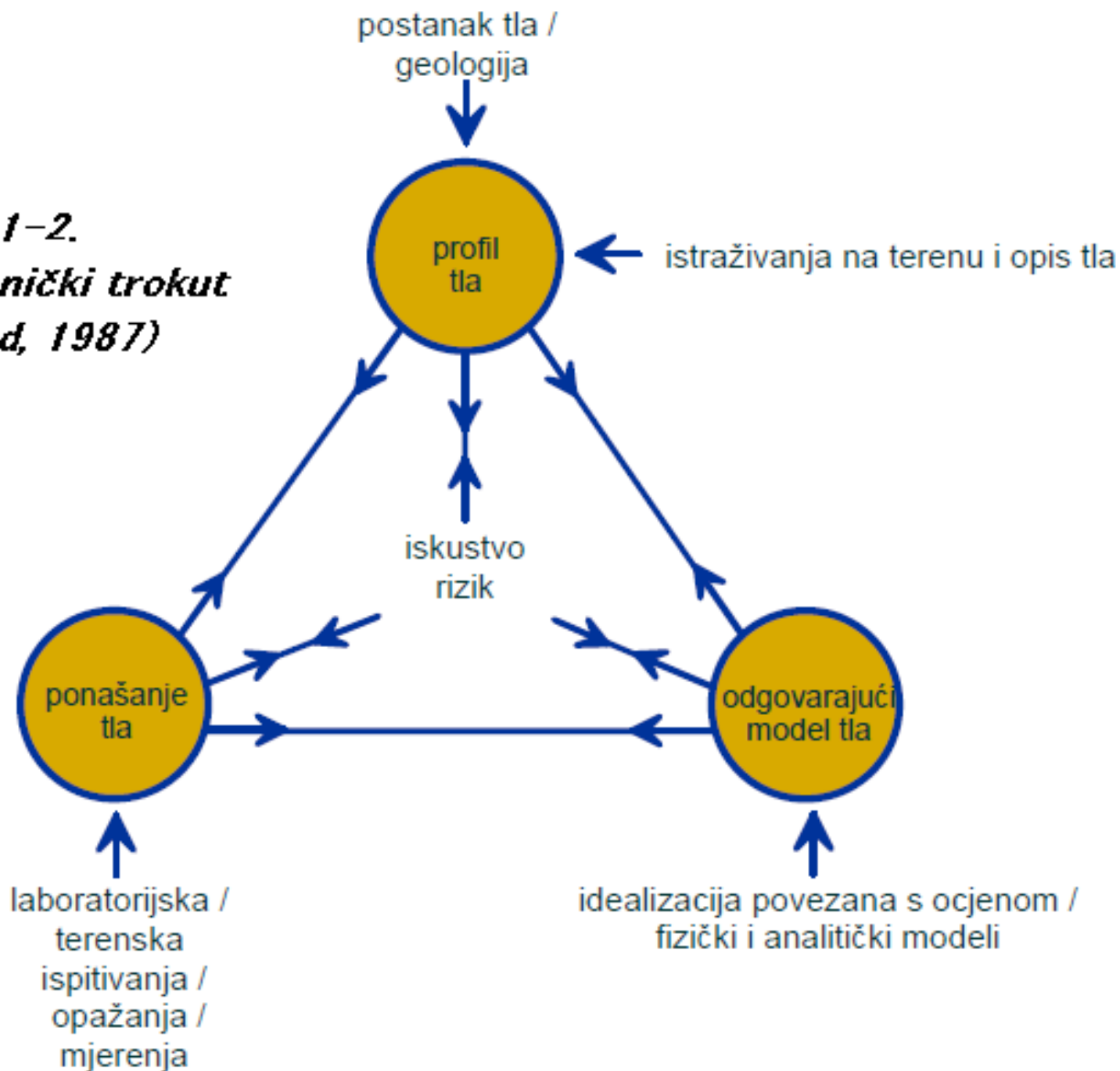
Za potrebe geotehnike, u mehanici tla se proučavaju teoretski modeli naprezanja, deformacija, tečenja i sl., pomoću kojih se predviđaju ponašanja geotehničkih objekata i procjenjuje koliko ta ponašanja zadovoljavaju postavljene kriterije

Ti su kriteriji, prema novim evropskim propisima –eurokodovima, **povezani s graničnim stanjima upotrebljivosti i nosivosti**, pa treba ustanoviti, **zadovoljavaju li predviđeni geotehnički zahvati kriterije za odgovarajuća granična stanja.**



Slika 1.1-1 Rješavanje geotehničkih inženjerskih problema možemo prikazati simbolički (Lambe & Whitman, 1969).

Slika 1.1-2.
Geotehnički trokut
(Burland, 1987)



2. FIZIČKE OSOBINE MATERIJALA TLA

Tlo je materijal koji se sastoji od tri komponente (faze): **čvrstih čestica** te **tekuće** i **plinovite** faze u porama između čestica.

Čestice tla su **zrna i pločice** vrlo različitih veličina, oblika i mineraloškog sastava

U ponašanju tla odražavaju se svojstva svih triju faza kao i njihove interakcije

Čestice tla

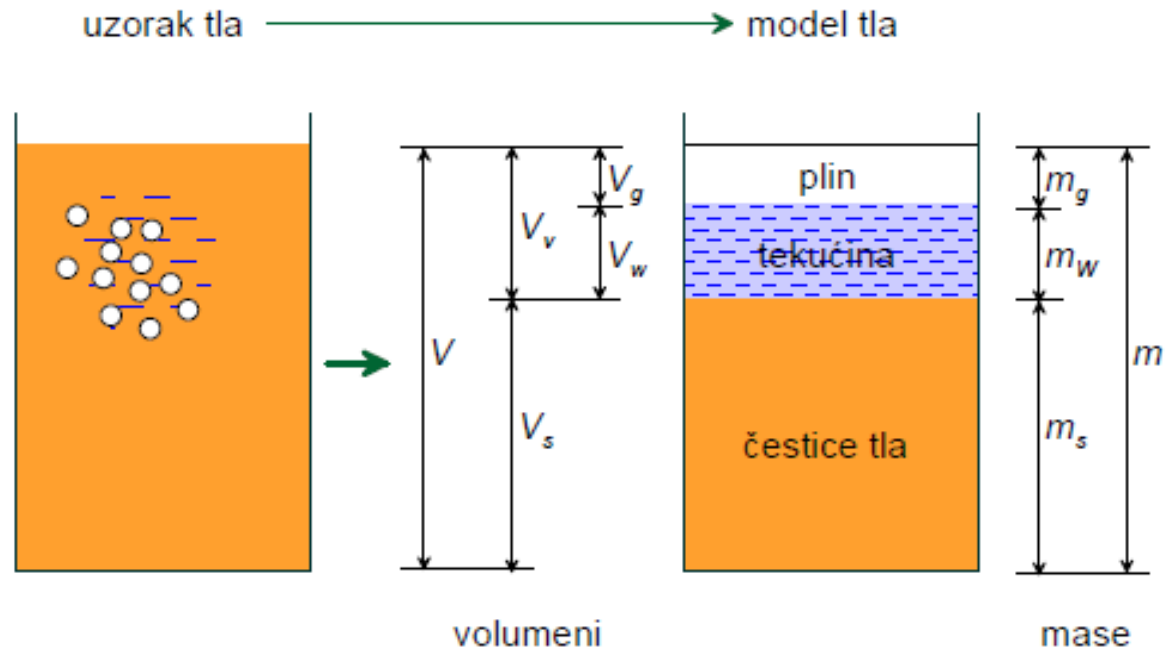
Osnovne karakteristike čestica tla su:

- **gustoća čestica tla** ili **masa jedinice volumena čestica tla** (nekad se to pogrešno zvalo “specifična težina”),
- **granulometrijski sastav**, što je raspodjela čestica tla po veličini, izražena u postotku mase i
- **boja, oblik i mineraloški sastav čestica.**

Tekućina u porama

Plin u porama

2. FIZIČKE OSOBINE MATERIJALA TLA



Oznake na slici su:

- V – ukupni volumen uzorka (sve tri faze), $[\text{m}^3]$,
- V_v – volumen pora (engl. “voids”), $[\text{m}^3]$,
- V_s – volumen čvrstih čestica (engl. “solids”), $[\text{m}^3]$,
- V_g – volumen plina (engl. “gas”), $[\text{m}^3]$,
- V_w – volumen vode (engl. “water”), $[\text{m}^3]$,
- m – ukupna masa uzorka, $[\text{g}]$,
- m_g – masa plina, $[\text{g}]$, masu plina u praktičnim problemima zanemarujemo,
- m_w – masa vode, $[\text{g}]$ i
- m_s – masa čvrstih čestica, $[\text{g}]$.

2. FIZIČKE OSOBINE MATERIJALA TLA

Volumni odnosi

relativni porozitet $n = \frac{V_v}{V}$

(raspon je, uglavnom, između $n_{min} = 0,10$ i $n_{max} = 0,55$)

koeficijent pora $e = \frac{V_v}{V_s}$

(raspon je uglavnom između $e_{min} = 0,10$ i $e_{max} = 1,20$)

stupanj zasićenosti $S_r = \frac{V_w}{V_v}$

(raspon mu je određen ispunjenošću pora vodom, $0 \leq S_r \leq 1$, ili u postocima)

Kako S_r mjeri ispunjenost pora vodom?

$S_r = 0$ → suho tlo,

$S_r = 100\%$ → potpuno zasićeno (saturirano) tlo,

$0 \leq S_r \leq 100\%$ → djelomično saturirano tlo.

2. FIZIČKE OSOBINE MATERIJALA TLA

Relativni porozitet i koeficijent pora su međusobno zavisne veličine. Njihova veza dobije se iz:

$n = \frac{V_v}{V_v + V_s}$, dijeljenjem i brojnika i nazivnika na desnoj strani s V_s dobiva se

$n = \frac{e}{1 + e}$, a također se dobije i

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

Maseni odnosi

Definisani su slijedeći odnosi masa ili maseni odnosi unutar uzorka tla:

vlažnost $w = \frac{m_w}{m_s}$

(vlažnost tla je obično $w < 100\%$, ako je $w = 0\% \Rightarrow$ suho tlo)

Slijede gustoće koje se izražavaju u jedinicama $[\text{kg}/\text{m}^3]$ ili $[\text{Mg}/\text{m}^3]$:

gustoća tla $\rho = \frac{m}{V}$

2. FIZIČKE OSOBINE MATERIJALA TLA

gustoća čestica tla

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

gustoća vode

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w}$$

Gustoća tla se može povezati s ostalim jediničnim veličinama na slijedeći način:

$$\rho = \rho_s \cdot (1 - n) + \rho_w \cdot S_r \cdot n$$

gustoća suhog tla ($S_r = 0$)

$$\rho_d = \rho_s \cdot (1 - n)$$

Indeks *d* dolazi od engleskog “dry”.

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} = \frac{m_s}{V_s + V_v}$$

2. FIZIČKE OSOBINE MATERIJALA TLA

Tablica 2.2-1
Rasponi
vrijednosti
gustoća tla.

gustoće	vrijednosti ² kg/m ³
ρ_s	2500-2800
ρ	1750-2000
ρ_d	1400-1700

Jedinična težina i gustoća se mogu, dakle, povezati na slijedeći način:

$$\gamma = \frac{m \cdot g}{V} = \rho \cdot g \quad [\text{kN/m}^3]$$

gdje je:

- γ – jedinična težina,
- m – masa uzorka,
- V – volumen uzorka,
- g – ubrzanje sile teže (gravitacija), $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ i
- ρ – gustoća.

2. FIZIČKE OSOBINE MATERIJALA TLA

Tablica 1. Izrazi za računanje stepena zasićenosti materijala (Nonveiller, 1981)

Vrijednosti gustoća bi se prema SI sistemu trebale izražavati u [g/m³], ali se u svrhu pojednostavljenja izražavaju u [g/cm³] odnosno [kg/m³], čak i u [t/m³].

Zadano	$S_r =$
γ_{ss}, γ_s, n	$\frac{\gamma - (1 - n) \cdot \gamma_s}{n \cdot \gamma_w}$
γ_s, γ_d, n	$\frac{\gamma - \gamma_d}{n \cdot \gamma_w}$
γ_{ss}, n, w	$\frac{w \cdot (1 - n) \gamma_s}{n \cdot \gamma_w}$
γ_d, n, w	$\frac{w \cdot \gamma_d}{n \cdot \gamma_w}$
γ_{ss}, γ_d, w	$\frac{w \cdot \gamma_s \cdot \gamma_d}{(\gamma_s - \gamma_d) \cdot \gamma_w}$

2. FIZIČKE OSOBINE MATERIJALA TLA

Zadano	Traži se					
	γ_s	γ_d	γ	w	n	e
$\gamma_s \gamma_d$	—	—	$\gamma_d - \frac{\gamma_w \gamma_d}{\gamma_s} + \gamma_w$	$\frac{\gamma_w}{\gamma_d} - \frac{\gamma_w}{\gamma_s}$	$\frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_s}$	$\frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_d}$
$\gamma_s \gamma$	—	$\frac{\gamma - \gamma_w}{1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s}}$	—	$\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma_s \cdot \left(\frac{\gamma}{\gamma_w} - 1\right)}$	$\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma_s - \gamma_w}$	$\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma - \gamma_w}$
$\gamma_s w$	—	$\frac{\gamma_w}{\frac{\gamma_w}{\gamma_s} + w}$	$\frac{\gamma_s (1 + w)}{1 + \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \cdot w}$	—	$\frac{1}{1 + \frac{\gamma}{\gamma_s w}}$	$\frac{\gamma_s}{\gamma_w} \times$
$\gamma_s n$	—	$(1 - n) \cdot \gamma_s$	$\gamma_s - (\gamma_s - \gamma_w) \cdot n$	$\frac{\gamma_w \cdot n}{\gamma_s \cdot (1 - n)}$	—	$\frac{n}{1 - n}$
$\gamma_s e$	—	$\frac{\gamma_s}{1 + e}$	$\frac{\gamma_s + \gamma_w \cdot e}{1 + e}$	$\frac{\gamma_w}{\gamma_s} \cdot e$	$\frac{e}{1 + e}$	—
$\gamma_d \gamma$	$\frac{\gamma_d \cdot \gamma_w}{\gamma_d + \gamma_w - \gamma}$	—	—	$\frac{\gamma}{\gamma_d} - 1$	$\frac{\gamma - \gamma_d}{\gamma_w}$	$\frac{\gamma - \gamma_d}{\gamma_w + \gamma - \gamma_d}$
$\gamma_d w$	$\frac{\gamma_d}{1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_w} \cdot w}$	—	$\gamma_d \cdot (1 + w)$	—	$\frac{\gamma_d}{\gamma_w} w$	$\frac{\gamma_d \cdot w}{\gamma_w - \gamma_d \cdot w}$
$\gamma_d n$	$\frac{\gamma_d}{1 - n}$	—	$\gamma_d + \gamma_w \cdot n$	$\frac{\gamma_w \cdot n}{\gamma_d}$	—	$\frac{n}{1 - n}$
$\gamma_d e$	$\gamma_d \cdot (1 + e)$	—	$\gamma_d + \gamma_w \cdot \frac{e}{1 + e}$	$\frac{\gamma_w}{\gamma_d} \cdot \frac{e}{1 + e}$	$\frac{e}{1 + e}$	—
γw	$\frac{\gamma}{1 - \frac{w}{\gamma_w} (\gamma - \gamma_w)}$	$\frac{\gamma}{1 + w}$	—	—	$\frac{\gamma \cdot w}{\gamma_w \cdot (1 + w)}$	$\frac{\gamma}{\gamma_w \left(1 + \frac{1}{w}\right)} - \gamma$
γn	$\frac{\gamma - \gamma_w \cdot n}{1 - n}$	$\gamma - \gamma_w \cdot n$	—	$\frac{n}{\frac{\gamma}{\gamma_w} - n}$	—	$\frac{n}{1 - n}$
γe	$\gamma \cdot (1 + e) - \gamma_w \cdot e$	$\gamma - \gamma_w \cdot \frac{e}{1 + e}$	—	$\frac{1}{\frac{\gamma}{\gamma_w} \cdot \left(1 + \frac{1}{e}\right) - 1}$	$\frac{e}{1 + e}$	—
$w n$	$\frac{\gamma_w \cdot n}{w \cdot (1 - n)}$	$\gamma_w \cdot \frac{n}{w}$	$\gamma_w \cdot n \cdot \frac{1 + w}{w}$	—	—	—
$w e$	$\gamma_w \cdot \frac{e}{w}$	$\gamma_w \cdot \frac{e}{w (1 + e)}$	$\gamma_w \cdot \frac{1 + w}{w} \cdot \frac{e}{1 + e}$	—	—	—

Tabela 2. Izrazi za računanje težina i poroziteta tla (Nonveiller, 1981)

Napomena:

Svi odnosi vrijede za potpuno zasićen materijal. Ako je on nepotpuno zasićen sa $S_r < 1$, u sve izraze treba uvrstiti $S_r \cdot \gamma_w$ umjesto γ_w .

2.3. LABORATORIJSKI OPITI KOJIMA SE ODREĐUJU FIZIČKE OSOBINE ČESTICA TLA

2.3.1. Gustoća čestica tla

U piknometar se prvo ulije voda; vaganjem se odredi masa piknometra s vodom (**mp**). U tu se istu bočicu usipa (rastresiti) uzorak, mase **mu** i izvaže piknometar s uzorkom (**mp+u**).

Zrna uzorka istisnu toliko vode koliki je njihov volumen.

Volumen istisnute vode odredimo preko mase vode koja je jednaka razlici zbroja mase i piknometra s vodom (**mu + mp**) i mase piknometra s uzorkom u vodi (**mp+u**).

$$V_u = \frac{m_u + m_p - m_{p+u}}{\rho_w}$$

Iz uslova $V_u = V_s$, a $m_u = m_s$, slijedi da je gustoća čestica tla:

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

a jedinična težina čestica tla

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



Slika 2.3-1 Piknometri.

2.3. LABORATORIJSKI OPITI KOJIMA SE ODREĐUJU FIZIČKE OSOBINE ČESTICA TLA

2.3.2 Granulometrijski sastav

Granulometrijski sastav je, za neki uzorak tla, veza (relacija, odnos) svih razreda promjera zrna i njihovih postotaka masa.

- vodopropusnost; - stišljivost; - kapilarnost; - filtarska svojstva; - osjetljivost na smrzavanje;
- nosivost; - podložnost eroziji, - upotrebljivost određene mehanizacije itd.

Osnovni koraci u određivanju granulometrijskog sastava su:

- odabiranje reprezentativnog uzorka,
- dispergovanje agregata na konačne čestice,
- mjerenje mase pojedinih frakcija..

Postupci za određivanje granulometrijskog sastava su:

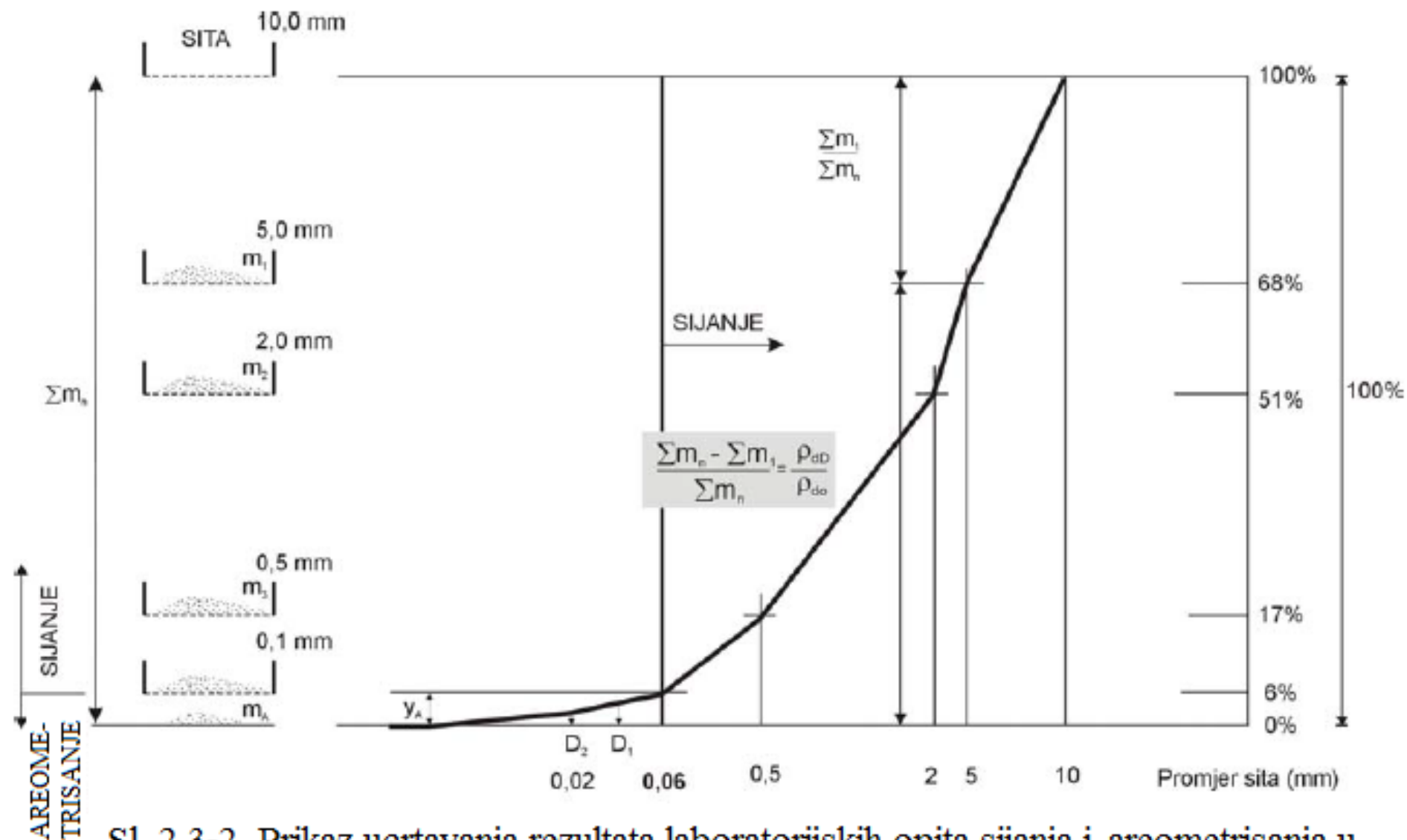
- sijanje* – za čestice veće od 0,06 mm;
- areometrisanje* (sedimentiranje čestica u vodi) – za čestice manje od 0,06 mm;
- kombinovana analiza* – ako materijal sadrži i krupne i sitne frakcije.

Tabela 2.3-1. Vrste materijala prema veličini čestica (ISO – Međunarodna organizacija za standardizaciju, USCS – Američki propisi):

VRSTA MATERIJALA		ISO/DIS 14688	USCS	BROJ SITA (USCS)
DROBINA (OBLUTCI)		60 mm	75 mm	
ŠLJUNAK	krupni	20 mm		
	srednji	6 mm		
	sitni	2 mm	4,75 mm	No. 4
PIJESAK	krupni	0,6 mm		
	srednji	0,2 mm		
	sitni	0,06 mm	0,075 mm	No. 200
PRAH	krupni	0,02 mm		
	srednji	0,006 mm		
	sitni	0,002 mm		
GLINA				

↑
areometriranje
↓
sijanje

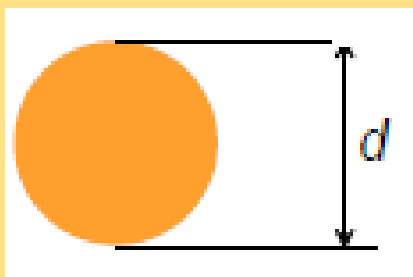
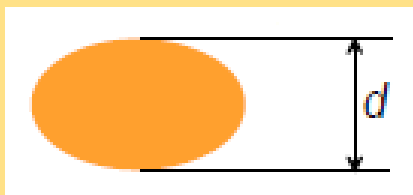
2.3.2.2. Sijanje



Sl. 2.3-2 Prikaz ucrtavanja rezultata laboratorijskih opita sisanja i areometrisanja u granulometrijski dijagram

2.3.2.2. Sijanje

efektivni promjer zrna



b)



a)

Slika 2.3-3. Sita.

a) Nekoliko vrsta sita s obzirom na vrstu otvora.

b) Shematski prikaz sijanja.

2.3.2.3. Areometrisanje

Stockes-ov zakon glasi:

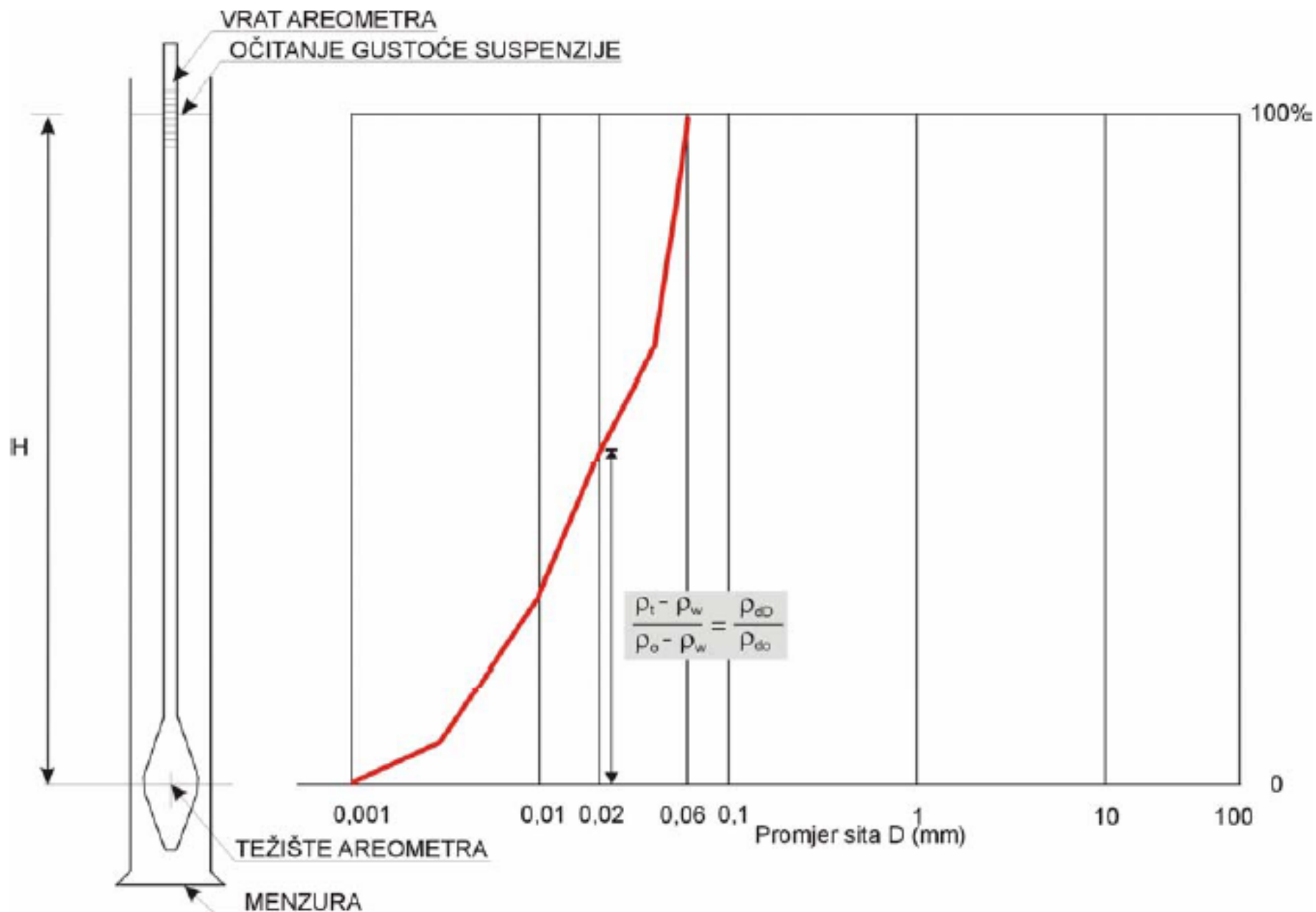
$$v = \frac{\rho_s - \rho_w}{18 \cdot \eta} \cdot D^2 \quad , \text{ a brzinu možemo pisati i kao}$$

$$v = \frac{H}{t} \quad , \text{ pa izjednačavanjem tih dvaju izraza dobijemo}$$

$$D_t = \sqrt{\frac{18 \cdot \eta \cdot H}{(\rho_s - \rho_w) \cdot t}} = \sqrt{\frac{18 \cdot \eta}{\rho_s - \rho_w}} \cdot \sqrt{\frac{H}{t}} = \text{const} \cdot \sqrt{\frac{H}{t}} \quad ,$$

gdje je

v	...	brzina padanja čestice,
D_t	...	promjer istaloženog zrna nakon vremena t ,
η	...	viskoznost vode na određenoj temperaturi (svojstvo materijala),
H	...	visina padanja zrna,
t	...	vrijeme i
ρ_s i ρ_w	...	gustoće čestica i vode.



Slika 2.3-3 Prikaz ucrtavanja rezultata laboratorijskih opita areometrisanja u granulometrijski dijagram

Razmaci (prema američkom standardu) očitavanja su: 75", 2', 5', 15', 45', 2 h, 5 h, 24 h.

Veza vremena, promjera i mase čestica u suspenziji dobije se na sljedeći način:

Početna gustoća suspenzije, ρ_0 , i početna gustoća suhog tla suspenzije, ρ_{d0} , mogu se povezati na sljedeći način:

$$\rho_0 = \rho_{d0} + S_r n \rho_w$$

gdje je početni volumen uzorka, zapravo volumen menzure, V_0 , a početni volumen vode jednak volumenu pora, a što je praktički opet V_0 , pa su i stepen zasićenosti i relativni porozitet jednaki jedan. Slijedi:

$$\rho_0 = \rho_{d0} + \rho_w \cdot$$

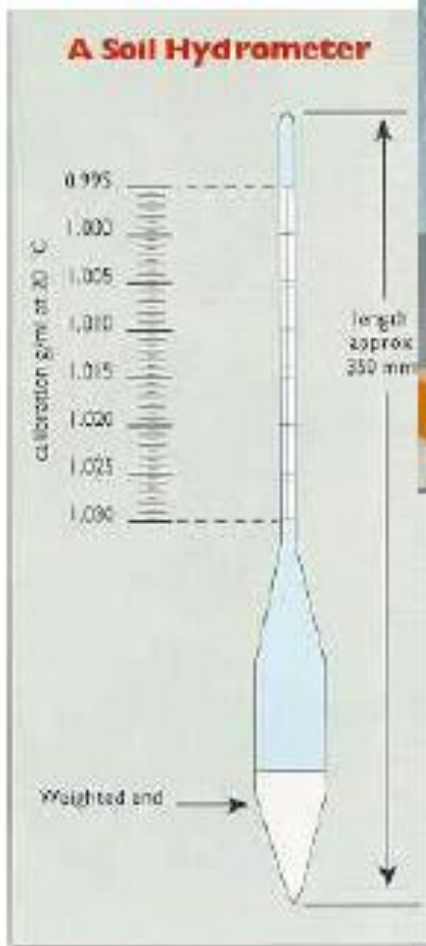
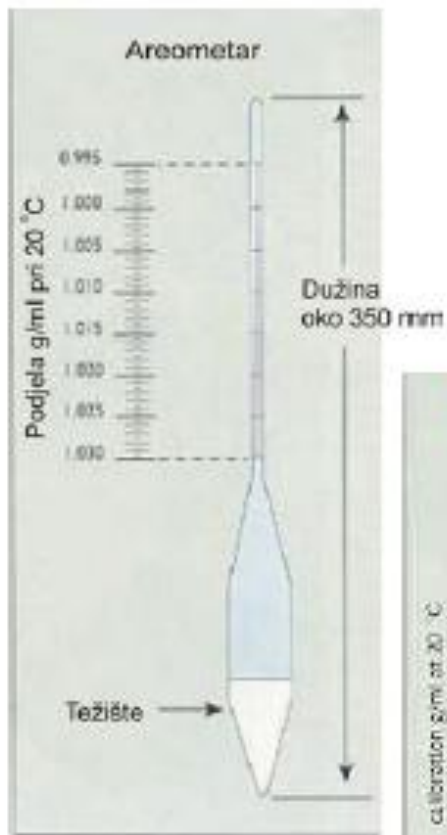
Koeficijent prolaska mase iz izraza $N_{Di} = \frac{\rho_{di}}{\rho_{d0}} \cdot 100$, može se tada napisati kao:

$$N_{Di} = \frac{\rho_{di}}{\rho_{d0}} \cdot 100 = \frac{\rho_{dt}}{\rho_{d0}} \cdot 100 = \frac{\rho_t - \rho_w}{\rho_0 - \rho_w} \cdot 100,$$

gdje su ρ_t i ρ_0 trenutna i početna gustoća suspenzije

Pretpostavke i ograničenja metode određivanja promjera zrna areometriranjem su:

- nema uticaja zrnaca jednog na drugo pri padanju (zato je važno da imamo ograničenu količinu uzorka u vodi - oko 50 g u 1 l);
- sferična zrnca – nije točno naročito za zrnca gline < 0,005 mm – pločasti oblik,
- u proračunu treba uzeti u obzir korekcije zbog temperature, viskoziteta tekućine i vrste antikoagulansa.



AREOMETRI

2.3.2.5. Koeficijenti granulometrijskog sastava tla

$$c_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \text{ Koeficijent jednoličnosti je}$$

$$c_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \text{ koeficijent zakrivljenosti}$$

Tablica 2.3-2. Termini za oblik granulomet. krive (ISO/CD14688-2)



termin	c_u	c_c
dobro graduiran (<i>multi-graded</i>)	$c_u > 15.0$	$1 < c_c < 3$
srednje graduiran (<i>medium-graded</i>)	6.0 do 15.0	$c_c < 1.0$
jednoliko graduiran (<i>even-graded</i>)	$c_u < 6.0$	$c_c < 1.0$
slabo graduiran (<i>gap-graded</i>)	obično visok	bilo koji (obično $c_c < 0.5$)

2.4 Indeksni pokazatelji

- indeks relativne gustoće – za nekoherentne materijale i
- granice plastičnih stanja – za koherentne materijale

2.4.2. Indeks relativne gustoće

Indeks relativne gustoće izračunavamo po formuli:

$$I_D = \frac{e_{\max} - e_0}{e_{\max} - e_{\min}}$$

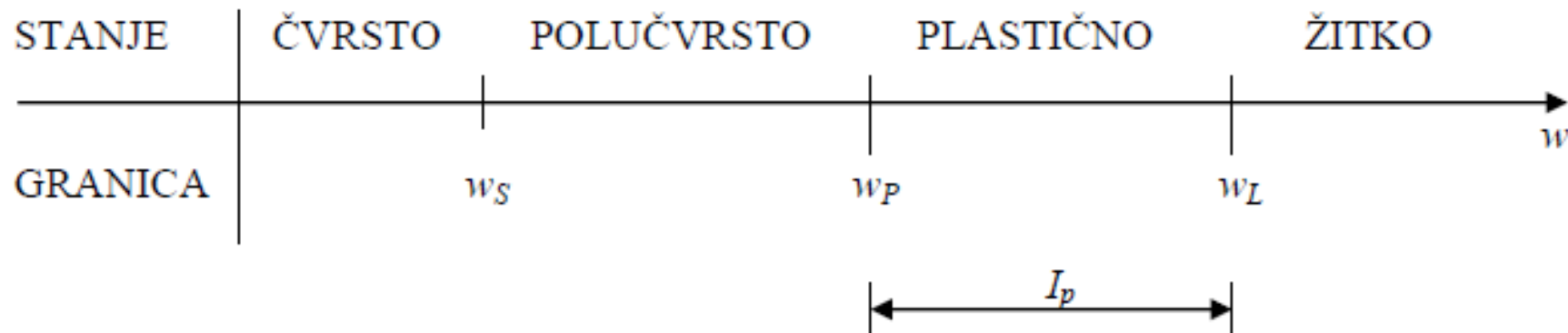
gdje su e_i koeficijenti pora uzorka:

- e_0 – u prirodnom stanju,
- e_{\min} – u najgušćem stanju,
- e_{\max} – u najrahlijem stanju.

Tabela 2.4-1. Stanja materijala tla prema zbijenosti (ISO/CD 14688-2)

STANJE	I_D [-]	SPT N_{30}	CPT q_c [MPa]	PMT p_l [MPa]
vrlo rahlo	< 0,20	< 4	< 2,5	< 0,30
rahlo (rastresito)	0,20 - 0,40	4 – 7	2,5 – 5,0	0,30 - 0,50
srednje zbijeno	0,40 - 0,60	7 – 15	5,0 – 10,0	0,50 - 1,0
zbijeno	0,60 – 0,80	15 – 30	10,0 – 20,0	1,0 – 2,0
vrlo zbijeno	>0,80	> 30	>20,0	>2,0

2.4.3. Granice plastičnih stanja (Atterbergove granice)



Granice plastičnih stanja su:

- w_S – granica stezanja (shrinkage limit), $w_S = 0 \div 30 \%$,
- w_P – granica plastičnosti (plastic limit), $w_P = 0 \div 100 \%$, uglavnom, $w_P < 40 \%$ i
- w_L – granica tečenja (liquid limit), $w_L = 0 \div 1000 \%$, uglavnom, $w_L < 100 \%$.

indeks plastičnosti $I_p = w_L - w_P$

Tabela 2.4-2. Klasificiranje koherentnih materijala prema plastičnosti (ISO/CD14688-2)

stupanj plastičnosti	granica tečenja u [%]	indeks plastičnosti, I_p
neplastično	-	$< 12,0$
nisko plastično	$< 12,0$	12,0 do 25,0
srednje plastično	30,0-50,0	25,0 do 40,0
visoko plastično	$> 50,0$	$> 40,0$

2.4.3. Granice plastičnih stanja (Atterbergove granice)

Važan je i *indeks konzistencije* (što je I_C veći materijal je manje deformabilan):

$$I_C = \frac{w_L - w_O}{I_P}$$

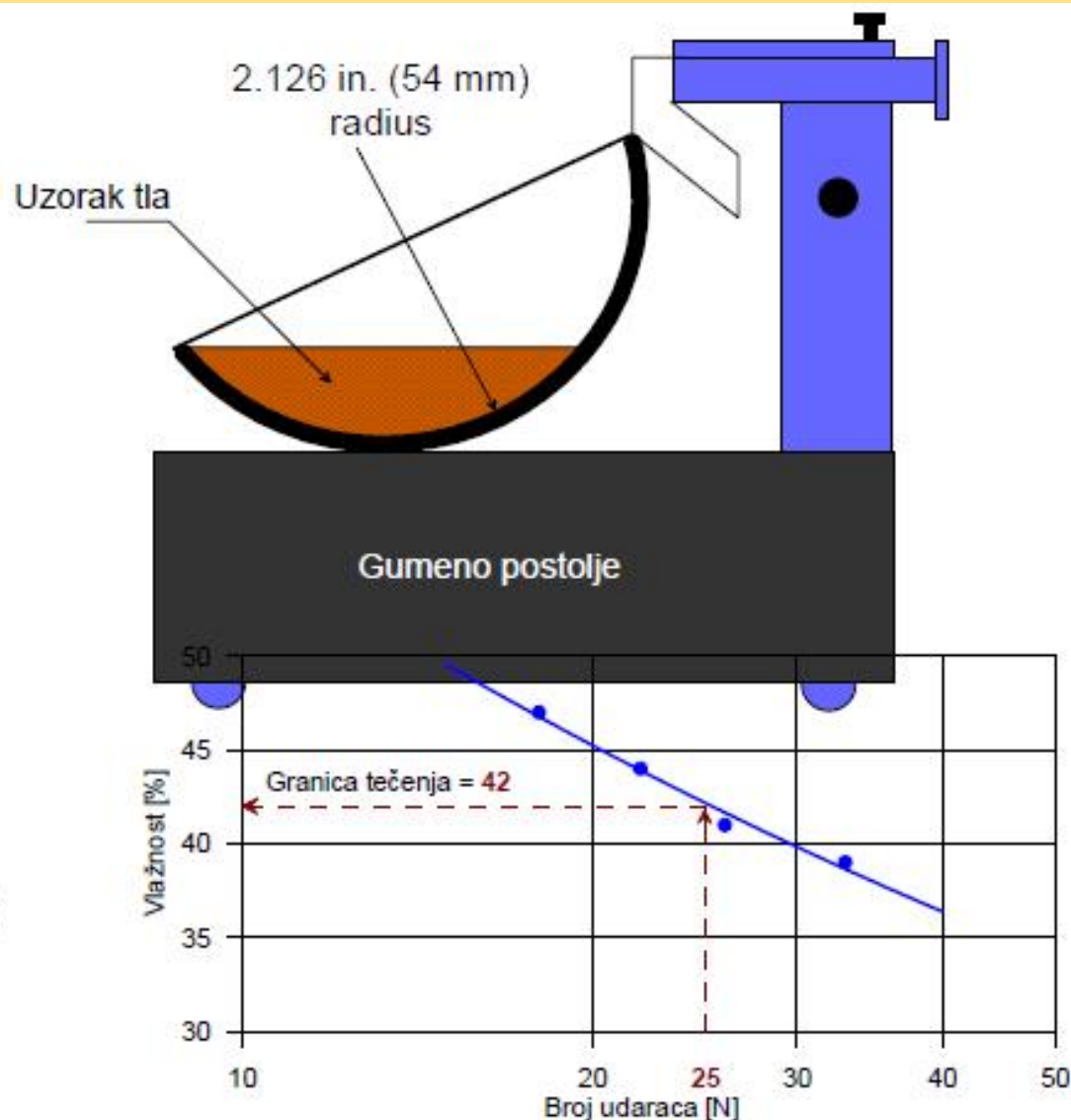
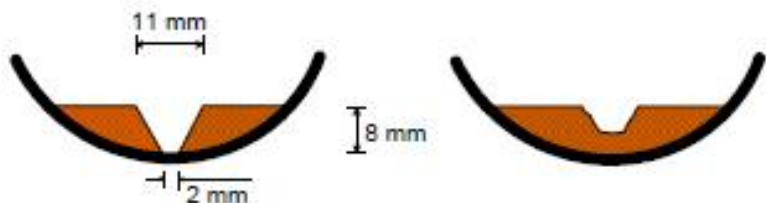
Gdje je w_0 prirodna vlažnost. Indeks konzistencije se, s povećanjem vlažnosti, kreće u rasponu od nule do jedinice, tj. od stanja u kojemu je uzorak praktički tekuć, do polučvrstog stanja. Suprotno od indeksa konzistencije je *indeks tečenja*:

$$I_L = \frac{w_0 - w_P}{I_P} \quad \text{tj. } I_L = 1 - I_C$$

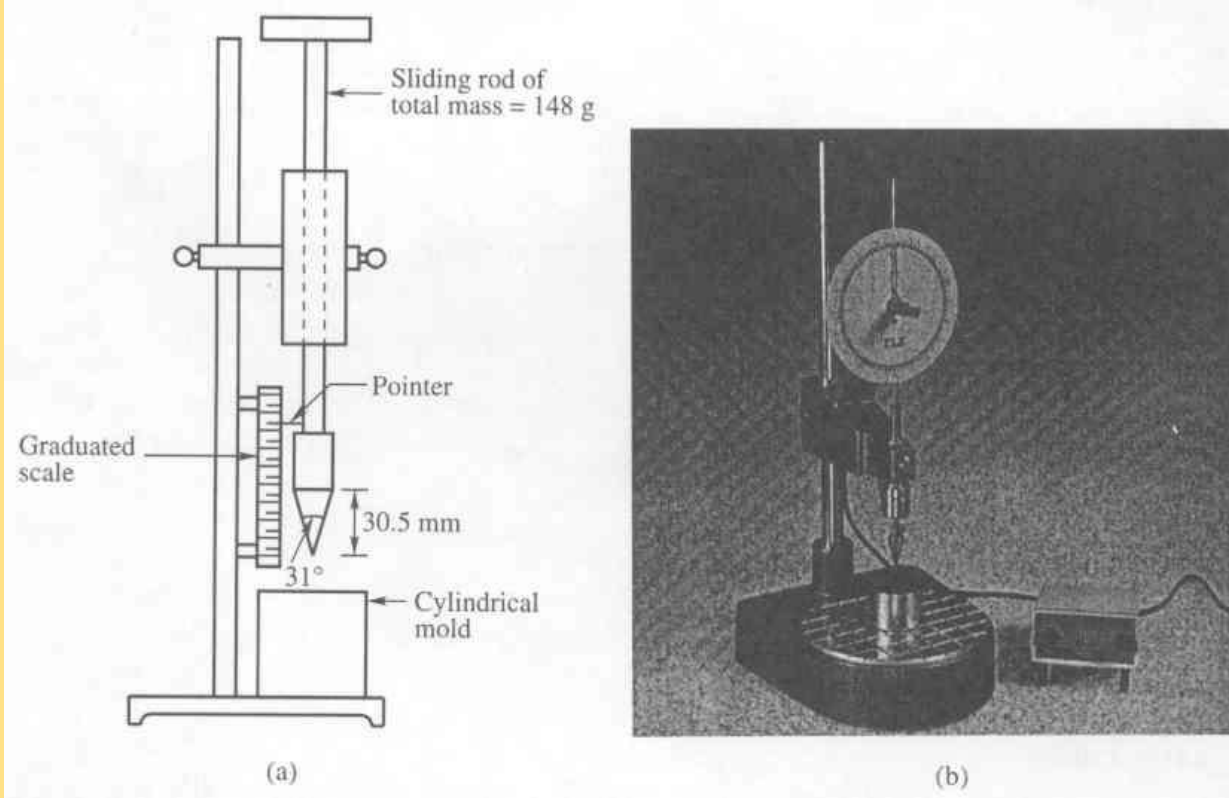
Tabela 2.4-3 Indeks konzistencije za prahove i gline(ISO/CD 14688-2)

konzistencije prahova i glina	indeks konzistencije, I_C
žitko (very soft)	<0,25
lako gnječivo (soft)	0,25 do 0,50
teško gnječivo (firm)	0,50 do 0,75
polučvrsto (stiff)	0,75 do 1,00
čvrsto (very stiff)	>1,00

2.4.2.1. Granica tečenja



Slika 2.4-1 Casagrandeov aparat (fotografija i presjek) i određivanje granice tečenja pomoću dijagrama (granica tečenja je za $N=25$)



$$w_l = w_y + 0.01(25 - y)(w_y + 15)$$

2.4.2.2. Granica plastičnosti

Granica plastičnosti (w_p) je vlažnost tla kad materijal prelazi iz polučvrstog u plastično stanje. To je minimalna vlažnost kod koje se valjčić uzorka tla promjera 3 mm još može plastično deformirati (bez da na površini nastanu pukotine).

Postupak za određivanje granice plastičnosti:

- uzorak materijala koji smo ostavili sa strane pripremimo u mekoplastičnom stanju (uzorak ne smije biti ni previše vlažan ni previše suh);
- od pripremljenog uzorka formiramo kuglice;
- ako su kuglice prevlažne (kada ih stavimo među dlanove ili na staklenu površinu za sobom ostavljaju vlažan trag)

2.4.2.2. Granica plastičnosti

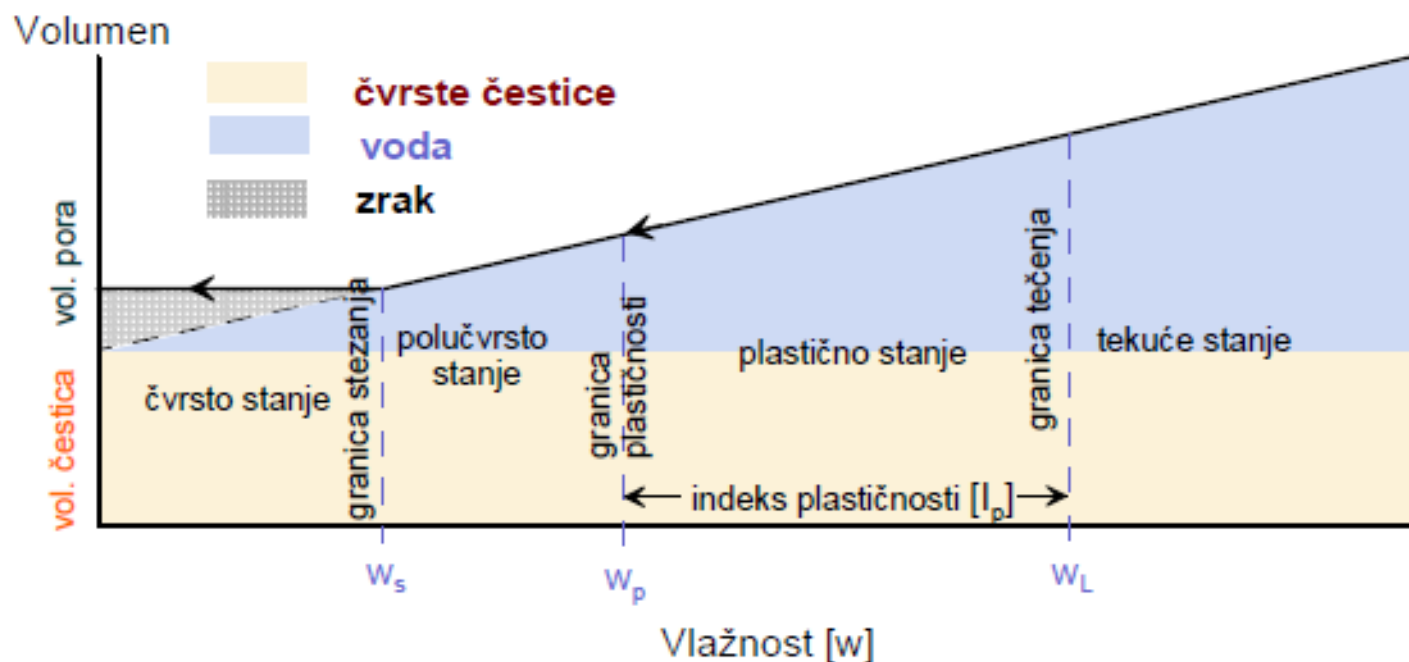
možemo ih osušiti pomoću fena ili valjanjem između dlanova;

- od kuglice, među prstima, formiramo valjak promjera oko 6 mm;
- valjak stavimo na staklenu ploču i uz stalni pritisak prstiju ili dlana valjamo ga u valjčić promjera 3 mm kada bi oni trebali početi pucati i kidati se;
- ako se valjčić nije počeo raspucavati na debljini od 3 mm uzorku treba dodati vode i ponoviti postupak;
- kad se valjčić počne raspucavati u tom trenutku se uzme uzorak za izračunavanje sadržaja vlage koja odgovara granici plastičnosti.

2.4.2.2. Granica plastičnosti



2.4.2.3. Granica stezanja



Slika 2.4-3. Granica stezanja, w_s , na mjestu gdje prestaje smanjenje volumena uzorka sa smanjenjem njegove vlažnosti.

2.3.2.4. Aktivnost

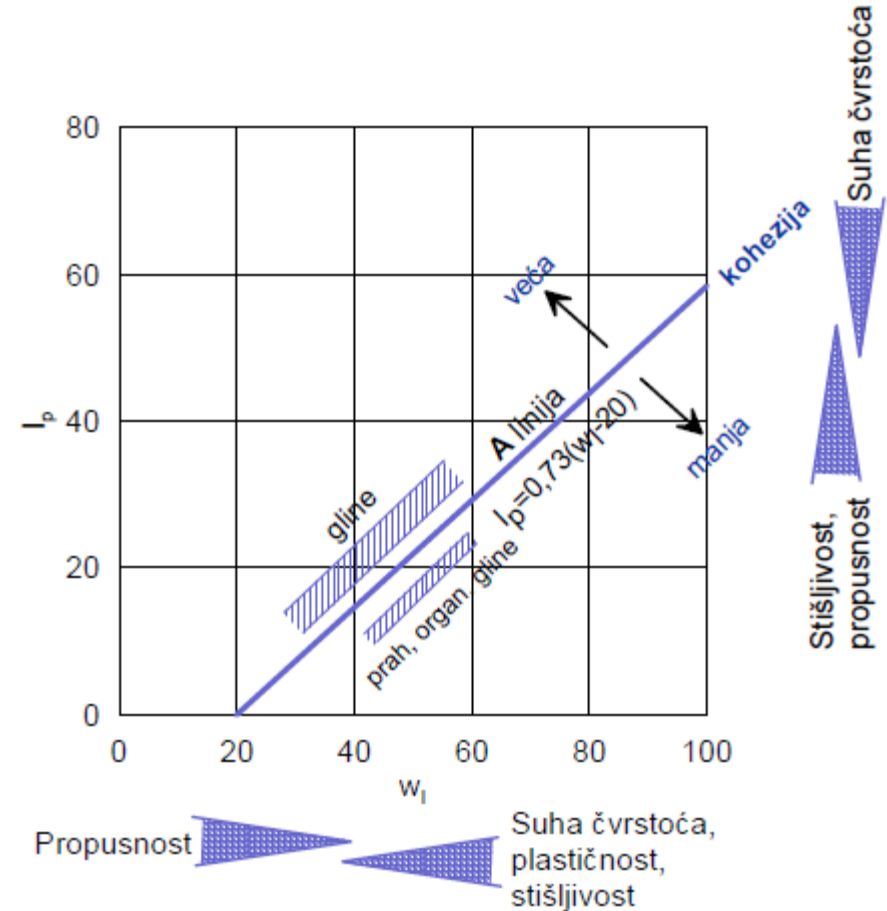
Aktivnost glinovite frakcije tla definiše se kao odnos indeksa plastičnosti, IP , i sadržaja frakcije promjera manjeg od 0,002 mm u postocima.

$$A = \frac{I_P}{N_{0,002}}$$

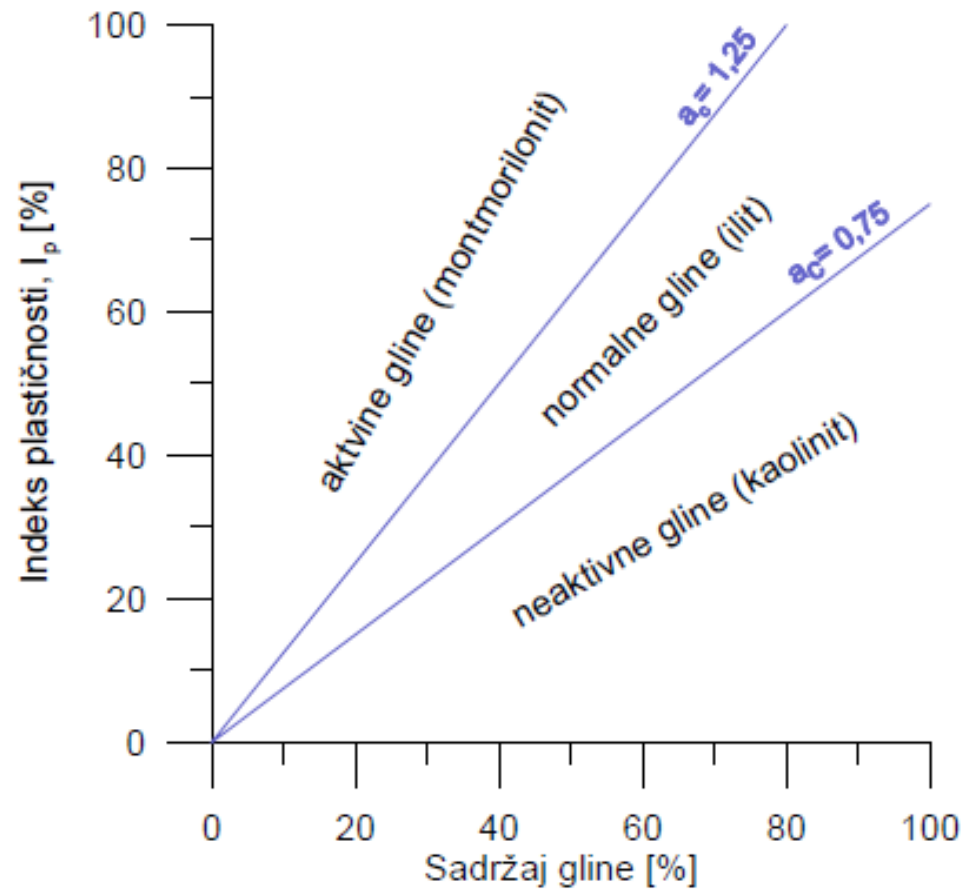
S obzirom na aktivnost gline dijelimo na:

- $A < 0,75$ neaktivne gline (kaolinit);
- $0,75 < A < 1,25$ normalne gline (ilit);
- $A > 1,25$ aktivne gline (montmorilonit).

2.3.2.4. Aktivnost



Slika 2.4-4. Dijagram plastičnosti (A – dijagram).



Slika 2.4-5. Dijagram aktivnosti gline.

2.4. Identifikacija i klasifikacija tla



2.4. Identifikacija i klasifikacija tla

Klasifikacija tla je metoda kojom se tlo sortira u grupe sličnog ponašanja u cilju što lakše komunikacije u razmjeni podataka o tlu.

Najpoznatije geomehaničke klasifikacije tla su:

- ACS (engl. Airfield Classification System), nastala tokom II svjetskog rata, razvio ju je dr. Artur Casagrande za potrebe američkog vazduhoplovstva;
- USCS (eng. Unified Soil Classification System, 1953);
- ASTM (eng. American Society for Testing Materials, 1983);
- BSCS (engl. British Soil Classification for Engineering Purposes, ANON., 1981);
- ISO 14688 (1997) i ISO 14688-2 (2000) – predlaže međunarodna organizacija za normizaciju

Danas se u svijetu najviše koristi klasifikacija koju je prihvatila i međunarodna geotehnička zajednica **USCS** (**U**nified **S**oil **C**lassification **S**ystem) – **Jedinstveni sistem klasifikacije tla**

2.4. Identifikacija i klasifikacija tla

Osnovna podjela između vrsta tla je na nekoherentna, krupnozrnata (šljunak i pijesak) i koherentna, sinozrnata (prah i glina) tla (Terzaghi, 1925)

vrsta tla	promjer zrna (mm)	oznaka	podjela	promjer zrna (mm)
<u>šljunak</u>	60 - 2	G	krupan	60 - 20
			srednji	20 - 6
			sitan	6 - 2
<u>pijesak</u>	2 - 0.06	S	krupan	2 - 0.6
			srednji	0.6 - 0.2
			sitan	0.2 - 0.06
<u>prah</u>	0.06 - 0.002	M	krupan	0.06 - 0.02
			srednji	0.02 - 0.006
			sitan	0.006 - 0.002
<u>glina</u>	< 0.002	C		

2.4. Identifikacija i klasifikacija tla

Oznaka za šljunak **G** dolazi od **G**ravel (engleska riječ za šljunak).

Oznaka za pijesak **S** od **S**and (engleska riječ za pijesak).

Oznaka za prah **M** od **M**jala (švedska riječ za prah budući da se prah na engleskom kaže silt).

Oznaka za glinu **C** od **C**lay (engleska riječ za glinu).

2.4. Identifikacija i klasifikacija tla

U klasifikaciji tla razlikujemo četiri grupe tla:

- 1) Krupnozrnato: šljunak - oznaka **G**
pijesak - oznaka **S**
- 2) Sitnozrnato: prah - oznaka **M**
glina - oznaka **C**
- 3) Organsko tlo - oznaka **O** (raspadnute biljne
tvari)
- 4) Treset - oznaka **Pt** (peat)(vlaknasto
močvarno tlo)

2.4. Identifikacija i klasifikacija tla

Krupnozrnata (nekoherentna-nevezana) tla su:

- šljunci (60 - 2 mm) i
- pijesci (2 - 0.06 mm).

To su tla čije čestice nisu vezane silama kohezije nego između njih djeluju samo sile trenja. Pojedina zrna mogu se raspoznati prostim okom.

Vodopropusnost im je velika i voda se slobodno kreće u porama (pa su slijeganja veća nego kod drugih vrsta tla).

Imaju veću otpornost na smicanje, tj. jače izraženo trenje.

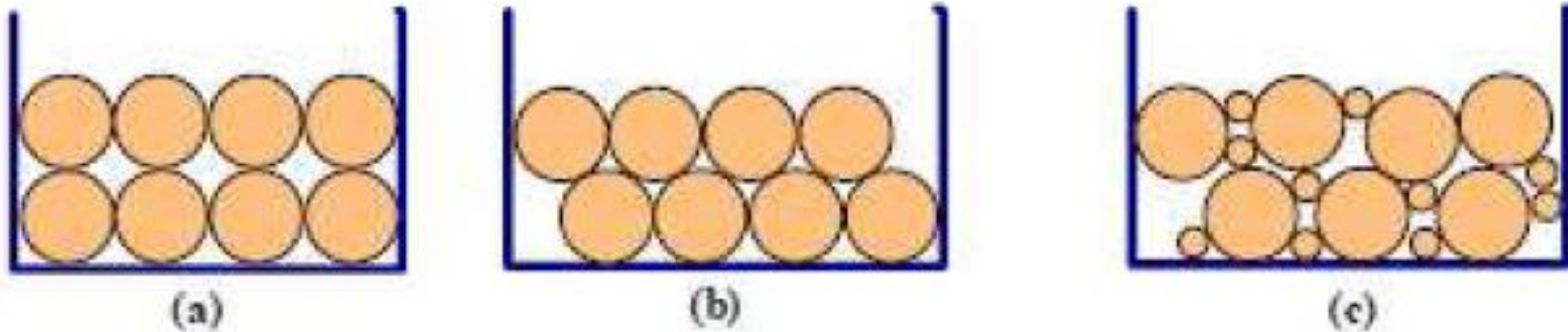
2.4. Identifikacija i klasifikacija tla

Najbitnije karakteristike su:

- mineralni (petrografski) sastav: monomineralna ili polimineralna
- granulometrijski sastav: dobro, slabo ili jednoliko,
- oblik zrna: sferoidan, pločast i štapičast,
- zaobljenost zrna: uglasto, poluuglasto, poluzaobljeno i zaobljeno,
- hrapavost (glatkoća) površine,
- zbijenost (gustoća slaganja zrna): rahlo do dobro zbijeno

2.4. Identifikacija i klasifikacija tla

Kod nekoherentnog tla, dominantan faktor koji utiče na formiranje strukture tla je gravitacija. Struktura tla se može prikazati nekim primjerima strukture za idealne kuglice



Neki primjeri strukture za idealne kuglice: (a) jednoliko graduiran materijal, rahla struktura, $n = 0,48$; (b) jednoliko graduiran materijal, gusta struktura, $n = 0,26$; (c) kuglice dvaju promjera, vrlo gusta struktura, $n < 0,26$

2.4. Identifikacija i klasifikacija tla

Sitnozrnata (koherentna-vezana) tla su gline i prahovi. Za njih je karakteristično da su čestice međusobno povezane silama kohezije.

Čestice se ne mogu prepoznati prostim okom.

Specifična svojstva sitnozrnatih naslaga su:

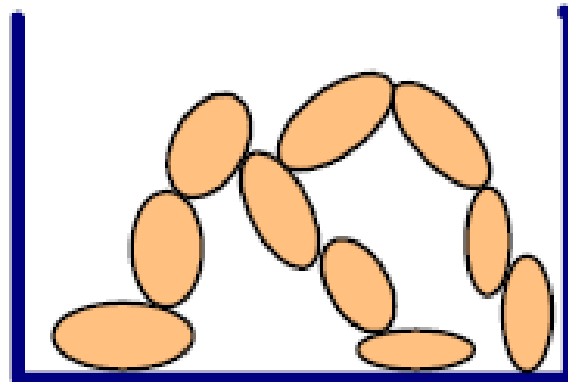
- plastičnost i fenomen puzanja (plastičnog tečenja).

Minerali glina su hidratni alumosilikati koji pripadaju skupini filosilikata. Najčešći minerali glina su: ilit, kaolinit, montmorilonit i klorit.

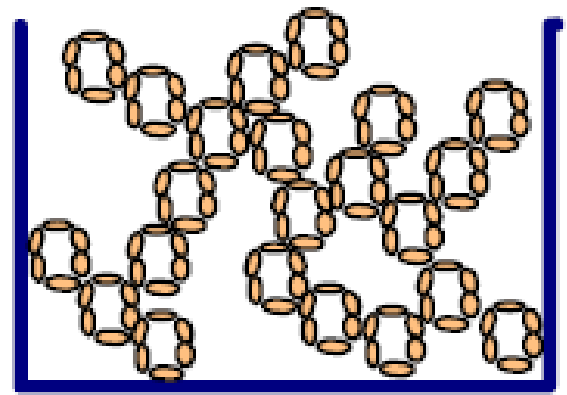
2.4. Identifikacija i klasifikacija tla

Kod koherentnog tla, na formiranje strukture tla važan uticaj ima ne samo gravitacija već i molekularne sile.

Struktura može biti sačasta ili pahuljasta. Najčešće postoje kombinacije jedne i druge strukture



(a)



(b)

Struktura taloženja vrlo sitnih čestica: (a) sačasta; (b) pahuljasta

2.4.1 Terenska klasifikacija tla

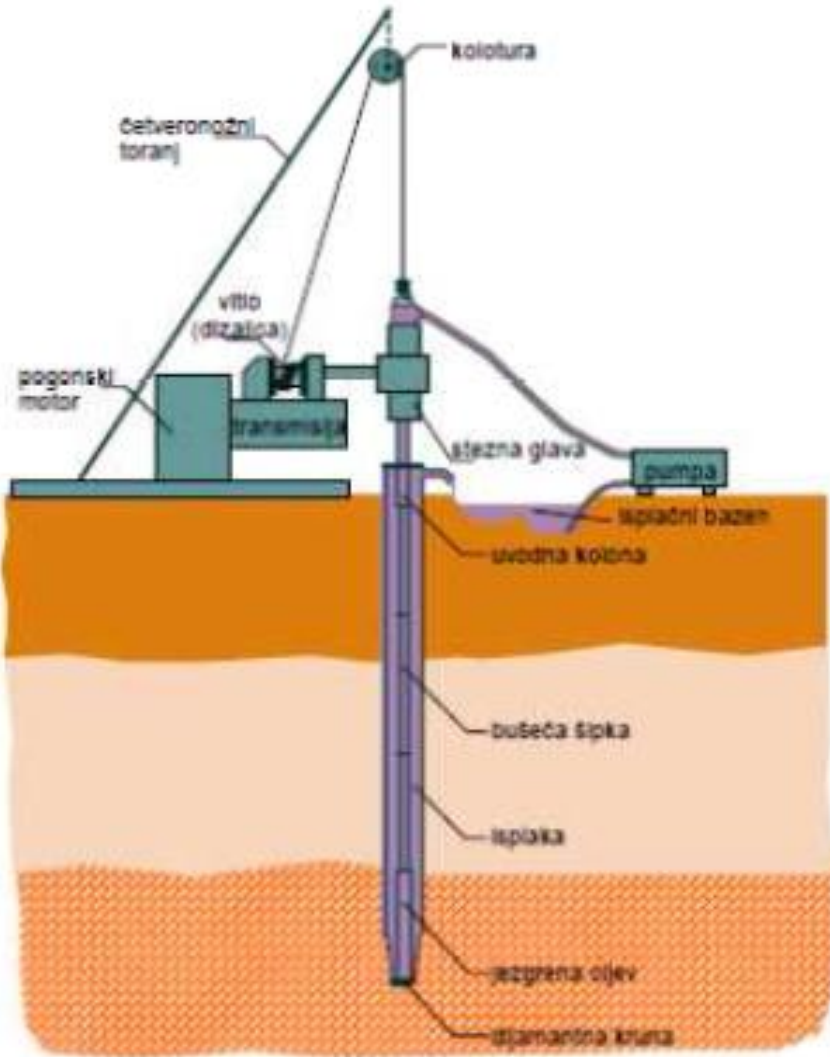
Bušotina je cilindrični otvor u zemljinoj kori izrađen pomoću mehaničkih uređaja bez prisutnosti čovjeka u njoj.

Istražna bušotina je zajednički naziv za cijelu skupinu istraživačkih objekata načinjenih raznim metodama bušenja, radi utvrđivanja svojstava i rasporeda pojedinih slojeva tla (stijena) i uzimanja uzoraka materijala na kojima će se vršiti identifikacija i klasifikacija tla

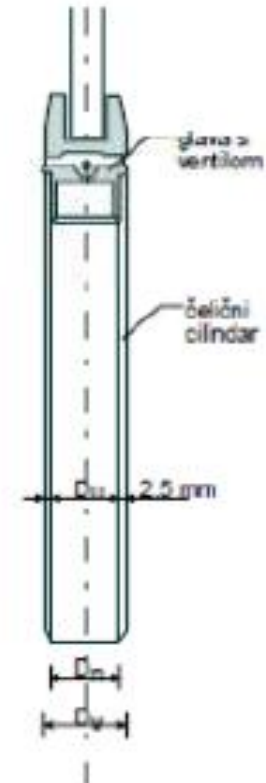
2.4.1 Terenska klasifikacija tla



2.4.1 Terenska klasifikacija tla



a) Vađenje uzoraka iz bušotine



b)

b) Tankostijeni cilindar za vađenje neporemećenih uzoraka

2.4.1 Terenska klasifikacija tla

Prilikom vađenja jezgre iz bušotine, dok je tlo u prirodnom stanju, potrebno ga je na određeni način opisati.

Taj postupak se naziva **identifikacija tla**

To je skup jednostavnih pokusa koji služe za svrstavanje uzoraka u klasifikacijske skupine, a izvode se rukama ili uz pomoć noža.

Ona je prvenstveno vizuelna što znači da je za njezino provođenje potrebno određeno iskustvo osobe koja ju obavlja.



2.4.1 Terenska klasifikacija tla

Prvi korak je da se tla podijele na osnovi dominantnih zrna:

- pojedinačna zrna vidljiva prostim okom ($d > 0.06 \text{ mm}$)
→ krupnozrnato (nekoheretno) tlo,
- pojedinačna zrna nevidljiva prostim okom ($d < 0.06 \text{ mm}$)
→ sitnozrnato (koheretno) tlo.

2.4.1 Terenska klasifikacija tla



2.4.1 Terenska klasifikacija tla

Identifikacija krupnozrnatih tala

Na osnovi vizuelnog pregleda procijenjujemo koje vrste čestica i u kojoj mjeri su zastupljene u izvađenom uzorku materijala.

Ako utvrdimo da prevladavaju veća zrna potrebno je odrediti zaobljenost zrna koji može biti:

- uglast,
- poluuglast,
- poluzaobljen,
- zaobljen.

Zatim pokušamo odrediti granulometrijski sastav, tj. da li je materijal dobro, loše ili jednoliko graduiran

2.4.1 Terenska klasifikacija tla

Identifikacija sitnozrnatih tala

Među prste uzmemo komadić uzorka tla na osnovi kojeg procijenjujemo:

- lijepljenje za prste;
 - miris, boja i sjaj;
 - reakcija na potresanje;
 - konzistentno stanje:
 - čvrsto konzistentno stanje,
 - polučvrsto konzistentno stanje,
 - teško gnječivo konzistentno stanje,
 - lako gnječivo konzistentno stanje,
 - žitko konzistentno stanje;

2.4.1 Terenska klasifikacija tla

Identifikacija sitnozrnatih tala

- sadržaj kalcijevog karbonata (CaCO_3)

Na površinu uzorka se kapne nekoliko kapi solne kiseline i prati reakcija (Nonveiller, 1981):

- ne šumi - < 1 % težinskog udjela,
- šumi slabo, kratko - 1-2 %,
- šumi jače, kratko - 2-4 %,
- šumi jako, dugo - >5 % ,
- suha čvrstoća:
 - vrlo velika,
 - srednja do velika,
 - mala.

2.4.1 Terenska klasifikacija tla

Predmet:							Garnitura: G-	Odgovorni bušać:	Geomehanički nadzor:	Datum:					
Sonda	Granulacija					Suha čvrstoća	S/a	Plasticitet	Reakcija na tresenje	Miris	Boja	Sadržaj CaCO ₃	Konzistentno stanje i aksija- lno čvrstoća	KLASIFIKACIJA S OPISOM	Simbol klasifikacije
	Dubina	Najveće zrno	Oblik zrna	Postotak											
			Šljunak	Pijesak	Prah glina										
Neporemećeni uzanci:							Standardni penetracijski pokusi:					Razina podzemne vode:			
												Opaska:			

VIZUALNA IDENTIFIKACIJA I KLASIFIKACIJA TLA

2.4.1 .2 Laboratorijski istražni radovi

Uzorci tla mogu biti **poremećeni** i **neporemećeni**



2.4.1 .2 Laboratorijski istražni radovi

Prirodna vlažnost

Prirodna vlažnost (w_0) je ona vlažnost koju tlo ima u prirodnom stanju.

Određuje se u laboratoriju kao masa vode u porama između čestica uzorka tla koja se može ukloniti sušenjem u peći na temperaturi 105°C izražena kao postotak od mase suhog uzorka tla.

Prirodna vlažnost

Postupak određivanja prirodne vlažnosti:

- odvojiti (odrezati) dio reprezentativnog uzorka;
- izvagati masu čiste i suhe posude (m_0);
- uzorak staviti u posudu i izvagati masu posude i uzorka (m_1);
- staviti posudu s uzorkom u pećnicu i sušiti na temperaturi 105°C kroz 24 h;
- izvagati posudu s uzorkom izvađenu iz pećnice i ohlađenu na sobnoj temperaturi (m_2).

Prirodna vlažnost

Prirodna vlažnost određuje se pomoću sljedeće formule:

$$w_0 = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \cdot 100[\%]$$

gdje je:

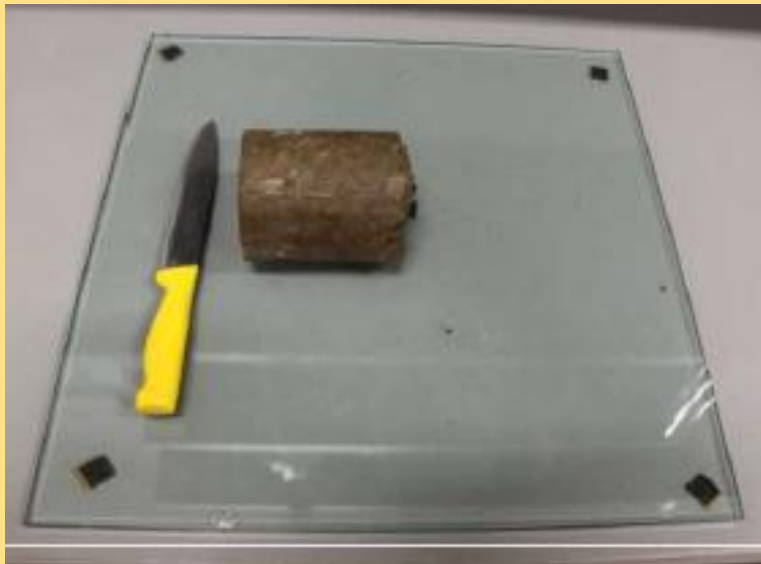
w_0 – prirodna vlažnost,

m_0 – masa posude,

m_1 – masa posude i vlažnog uzorka (VMB),

m_2 – masa posude i suhog uzorka (SMB).

Prirodna vlažnost

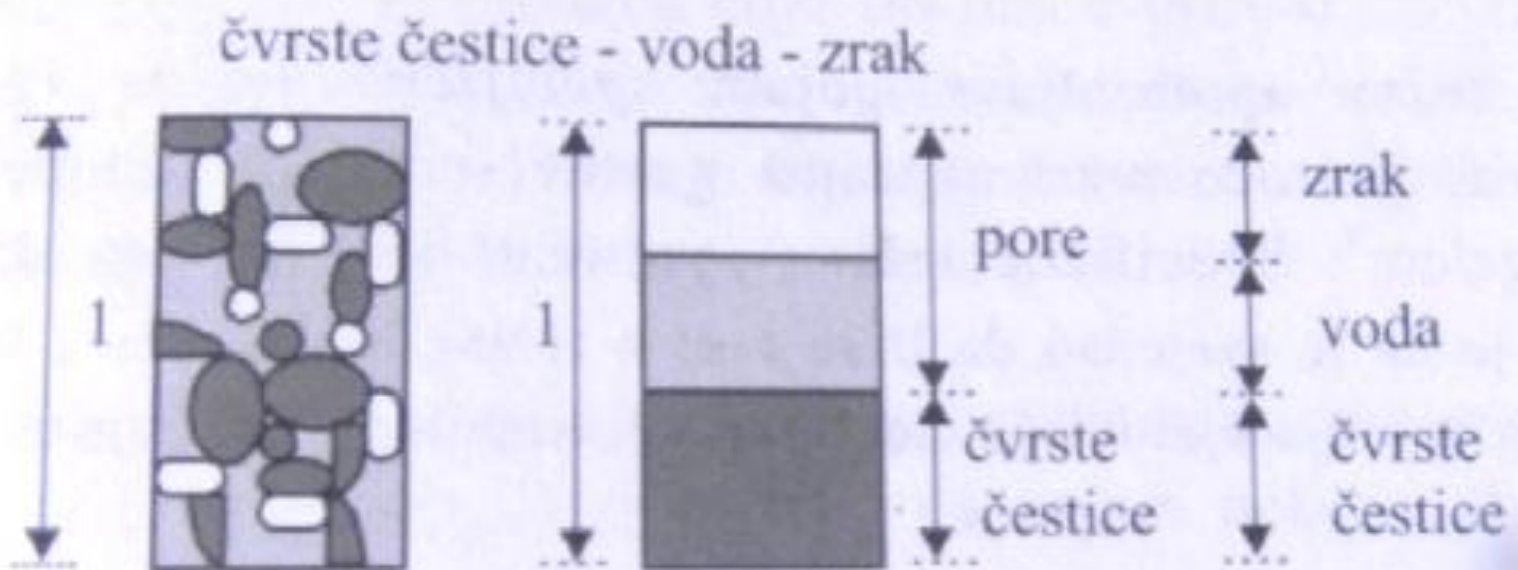


Gustoća čvrstih čestica

Trodijelni sistem

Tlo je trofazni materijal. Sastoji se od zrna i čestica koja tvore skelet tla i od pora koje mogu biti ispunjene vodom i/ili zrakom.

Tri faze koje promatramo su: čvrste čestice (indeks **s** – od eng. **S**olids što znači čvrste tvari), voda (indeks **w** – od engleskog **W**ater) i zrak (indeks **a** – od engleskog **A**ir).



Trodijelni sistem prikazan na modelu jedinične zapremine tla

Gustoća čvrstih čestica

Svaka tvar ima gustoću (ρ). Ako se masa (m) podijeli sa zapreminom (V) dobiti će se gustoća. Ona se izražava u $[\text{g}/\text{cm}^3]$ ili u $[\text{Mg}/\text{m}^3]$.

Gustoća dijelom ovisi o porijeklu odnosno vrsti čvrstih čestica u tlu, ali mnogo više ovisi o odnosima u trodijelnom sistemu i to između čvrstih čestica i pora i između pora i vode u njima.

Ovi odnosi ovise o porijeklu, vrsti i veličini čvrstih čestica.

Zbog toga je nužno odrediti vrstu i krupnoću čestica te odnose između čvrstih čestica i pora.

Ovi se odnosi kao i vrste i krupnoća čestica određuju nizom standardizovanih laboratorijskih opita, u laboratorijskim uslovima na uzorcima tla koji mogu biti poremećeni i neporemećeni.

Da bi se odredila gustoća tla u prirodnom stanju potrebno je odrediti gustoću čvrstih čestica.

Gustoća čvrstih čestica

Gustoća čvrstih čestica može se odrediti na tri načina zavisno o vrsti uzorka na kojem se određuje:

1. određivanje gustoće u malom piknometru – metoda koja se koristi za koherentna tla,
2. određivanje gustoće u staklenci istiskivanjem zraka (gas jar method) - metoda koja se koristi za koherentna i nekoherentna tla,
3. određivanje gustoće u velikom piknometru – metoda koja se koristi za nekoherentna tla.

Prve dvije metode se koriste samo u laboratoriju, a treća je jednostavna za korištenje i na terenu u slučajevima kada laboratorij nije dostupan ili ako su prihvatljivi i manje precizni rezultati

Gustoća čvrstih čestica

Postupak određivanja gustoće čvrstih čestica u malom piknometru:

- oprati svaki piknometar sa čepom. Isprati ih sa acetonom ili alkoholom i sušiti puhanjem toplog zraka u njih. Ohladiti ih te ih vagati dok se ne dobije konstantna masa (m_1);

Piknometri se ne smiju sušiti u pećnici jer bi se mogli deformirati.

- pripremiti deaeriranu vodu;
- pripremiti oko 30 g uzorka (ukoliko u uzorku ima šljunka potrebno je uzorak prosijati kroz sito od 2 mm) i staviti ga na sušenje u pećnicu na 105-110°C. Osušeni uzorak podijelimo na tri približno jednaka dijela;
- u svaki piknometar stavimo minimalno 10 g uzorka i izvažemo piknometar sa uzorkom - dobivamo (m_2);

Gustoća čvrstih čestica



Gustoća čvrstih čestica

- dodamo deaeriranu vodu u svaki piknometar tako da voda prekrije uzorak ali maksimalno do polovice piknometra (vodu treba dodavati laganim ulijevanjem uz rub piknometra kako se uzorak ne bi poremetio te se time uzrokovalo zarobljavanje zraka);
- nakon toga piknometre stavljamo pod vakuum odnosno stavljamo ih u desikator i deaeriramo tako dugo dok ne nestanu svi mjehurići zraka iz uzorka;
- piknometre izvadimo iz desikatora i punimo ih deaeriranim vodom do kontrolne crte koja se nalazi na čepu piknometra (koja je označena crvenom bojom);
- tako napunjene piknometre stavljamo u kadu u kojoj je voda ugrišana na 25°C i ostavljamo 30 min. ili duže, ako je to potrebno,

Gustoća čvrstih čestica

sve dok mješavina vode i uzorka ne dosegne temperaturu vode u kadi;

- piknometre izvadimo iz kade, dobro ih osušimo te ih izvažemo - dobivamo (m_3) - masa piknometra, uzorka i deaerirane vode;
- ispraznimo, očistimo i osušimo svaki piknometar;
- tako čiste i suhe piknometre napunimo deaeriranom vodom do kontrolne crte i stavljamo u kadu u kojoj je voda ugrijana na 25°C i ostavljamo 10 min. sve dok mješavina vode i uzorka ne dosegne temperaturu vode u kadi;
- piknometre izvadimo iz kade, dobro ih osušimo te ih izvažemo - dobivamo (m_4) - masa piknometra i deaerirane vode;

Gustoća čvrstih čestica

Gustoća čvrstih čestica određuje se pomoću sljedeće formule:

$$\rho_s = \frac{\rho_L (m_2 - m_1)}{(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)}$$

gdje je:

ρ_L – gustoća deaerirane vode pri konstantnoj temperaturi,

m_1 – masa piknometra (g),

m_2 – masa piknometra i suhog uzorka (g),

m_3 – masa piknometra, uzorka i deaerirane vode (g),

m_4 – masa piknometra i deaerirane vode (g).

Gustoća čvrstih čestica

- izračunati srednju vrijednost gustoća iz sva tri piknometra;
- ako jedna od tri vrijednosti odstupa od prosjeka za 0.03 Mg/m³, ispitivanje treba ponoviti.

Temperatura °C	Gustoća (g/cm ³)
0	0,99984
10	0,99970
20	0,99821
30	0,99565
40	0,99222
50	0,98803
60	0,98320
70	0,97778
80	0,97182
90	0,96535
100	0,95840

Gustoća vode pri različitim teperaturama.

Gustoća čvrstih čestica

Postupak određivanja gustoće čvrstih čestica u staklenci istiskivanjem zraka (gas jar method) :

- staklenke sa pripadajućim staklenim poklopcima moraju biti čiste i suhe, važno ih te dobivamo masu (m_1);
- pripremiti oko 1 kg uzorka (ukoliko se u uzorku nalaze krupnije čestice uzorak je potrebno prosijati kroz sito od 37.5 mm) i staviti ga na sušenje u pećnicu na 105-110°C. Osušeni uzorak podijelimo na dva približno jednaka dijela - masa svakog uzorka mora biti oko 200 g, ako se radi o sitnozrnatom materijalu ili oko 400 g, ako se radi o krupnozrnatom materijalu;
- u svaku staklenku stavimo min. 200 g uzorka ako se radi o sitnozrnatom materijalu ili min. 400 g, ako se radi o krupnozrnatom

Gustoća čvrstih čestica

- materijalu i izvažemo staklenku sa staklenim poklopcem i uzorkom - dobivamo (m_2);
- u staklenku dodajemo oko 500 ml vode sobne temperature, začepimo gumenim čepom i pustimo da odstoji 10 minuta. Nakon toga ručno pomoću staklenog štapića promiješamo suspenziju i stavljamo je u shaker gdje bi se uzorak trebao miješati 20 do 30 min.;
- ugasimo shaker, izvadimo staklenku i pažljivo uklonimo gumeni čep kako bi gubitak uzorka bio što manji. Ako postoje čestice koje su se zalijepile za čep potrebno ih je pažljivo vratiti u staklenku;
- staklenu posudu s uzorkom napuniti vodom do oko 2 mm ispod ruba staklenke;

Gustoća čvrstih čestica



Gustoća čvrstih čestica

- staklenu posudu ostaviti na ravnoj površini i pustiti je oko 30 min. kako bi se materijal u posudi slegnuo;
- napuniti posudu s vodom do vrha i zatvoriti je staklenim poklopcem vodeći računa da prilikom zatvaranja ne dođe do zarobljavanja zraka unutar nje;
- staklenka i poklopac se lagano obrišu s vanjske strane pomoću upijajućeg papira;
- izvažemo staklenku s poklopcem, uzorkom i vodom - (m_3);
- ispraznimo, očistimo i osušimo staklenke;
- tako čiste i suhe staklenke napunimo do vrha i postavljamo stakleni poklopac pazeći da ne ostane zarobljeni zrak unutar nje;
- staklenku s poklopcem obrišemo s vanjske strane te ih izvažemo - dobivamo (m_4) - masa staklenke s poklopcem i vodom;

Gustoća čvrstih čestica

Gustoća čvrstih čestica određuje se pomoću sljedeće formule:

$$\rho_s = \frac{m_2 - m_1}{(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)}$$

gdje je:

m_1 – masa staklenke s poklopcem (g),

m_2 – masa staklenke s poklopcem i suhog uzorka (g),

m_3 – masa staklenke s poklopcem, uzorka i vode (g),

m_4 – masa staklenke s poklopcem i vode (g).

Gustoća čvrstih čestica

- izračunati srednju vrijednost gustoće čvrstih čestica;
- ako jedna od vrijednosti gustoće odstupa od srednje vrijednosti za 0.03 Mg/m³ ili manje tada se rezultat prikazuje, zaokružen na dva decimalna mjesta, kao gustoća čvrstih čestica, ρ_s ;
- ako je odstupanje jedne vrijednosti veće od 0.03 Mg/m³ ispitivanje treba ponoviti.

Gustoća čvrstih čestica

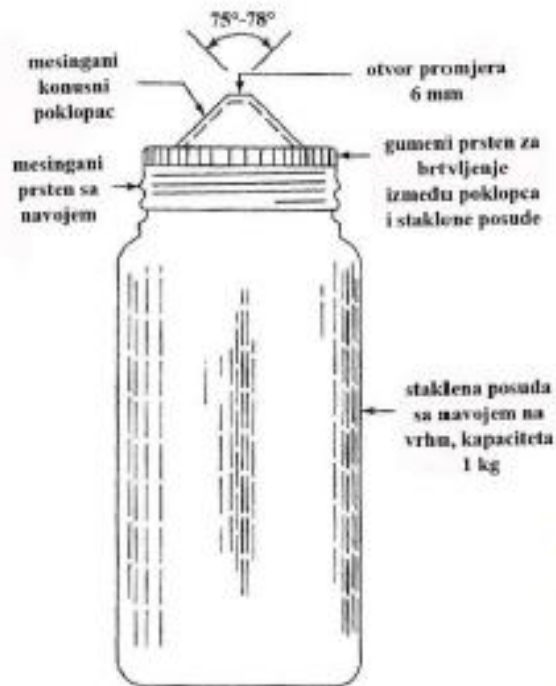
Postupak određivanja gustoće čvrstih čestica u velikom piknometru:

- očistiti veliki piknometar, uključujući i dijelove poklopca, osušiti, izvagati i dobivamo masu (m_1);
- provjeriti da li je gumeni brtveni prsten u dobrom stanju, ako je izgubio elastičnost potrebno ga je zamijeniti;
- pripremiti oko 1 kg uzorka (ukoliko se u uzorku nalaze krupnije čestice uzorak je potrebno prosijati kroz sito od 20 mm) i staviti ga na sušenje u pećnicu na 105-110°C. Osušeni uzorak podijelimo na dva približno jednaka dijela - masa svakog uzorka mora biti oko 400 g;
- uklonimo poklopac sa svakog piknometra i stavimo pripremljeni uzorak. Izvažemo piknometar zajedno sa dijelovima poklopca i uzorak te dobivamo (m_2);

Gustoća čvrstih čestica

- dodati vodu sobne temperature da prekrije polovicu piknometra;
- promiješati pažljivo sa staklenim štapićem kako bismo uklonili zarobljeni zrak unutar uzorka;
- zatvoriti piknometar i napuniti vodom;
- protresti piknometar držeći jedan prst na vrhu konusnog zatvarača i ostaviti da zrak iz piknometra izađe, a pjena koja je nastala trešnjom nestane;
- ostaviti piknometar da odstoji pola sata ili duže ako je to potrebno;
- napuniti piknometar do vrha. Zarobljeni zrak je najčešći uzrok dobivanja netačnih vrijednosti gustoće čvrstih čestica pomoću ove metode. Držanjem prsta na vrhu konusnog zatvarača piknometar se može rotirati po horizontalnoj podlozi i na taj način omogućiti bolje oslobađanje zraka;

Gustoća čvrstih čestica



Gustoća čvrstih čestica

- pažljivo obrisati vanjsku stranu piknometra, izvagati ga sa vodom i uzorkom – dobivamo masu (m_3);
- isprazniti piknometar, oprati ga i napuniti vodom dok voda ne izađe kroz vrh konusnog zatvarača;
- obrisati piknometar i izvagati - dobivamo (m_4) - masa piknometra s poklopcem i vodom;
- izračunati prosjek od dva testirana uzorka;
- ako se dvije dobivene vrijednosti razlikuju više od 0.05, potrebno je ponoviti test;

Gustoća čvrstih čestica

Gustoća čvrstih čestica određuje se pomoću sljedeće formule:

$$\rho_s = \frac{m_2 - m_1}{(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)}$$

gdje je:

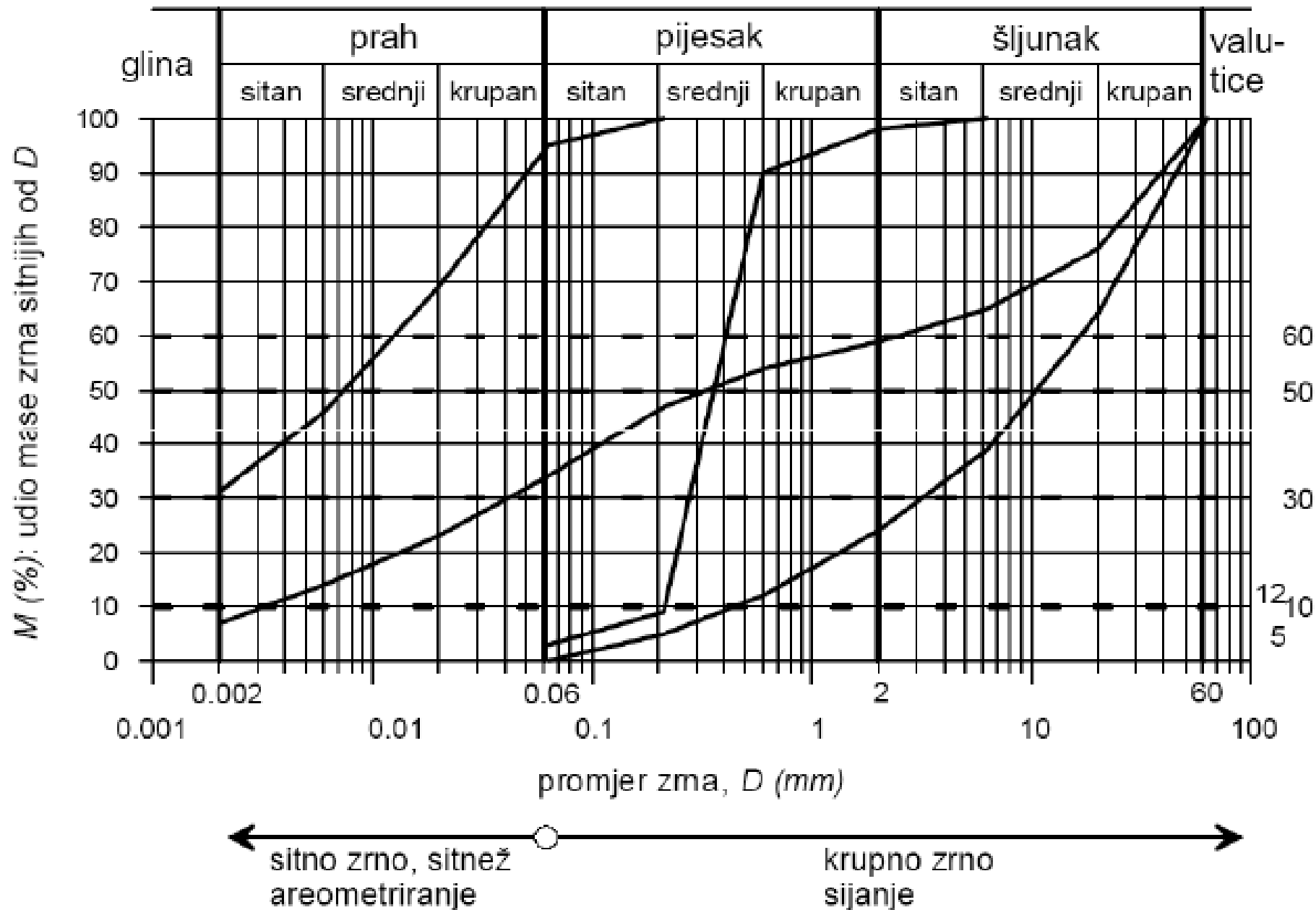
m_1 – masa piknometra s poklopcem (g),

m_2 – masa piknometra s poklopcem i suhog uzorka (g),

m_3 – masa piknometra s poklopcem, uzorka i vode (g),

m_4 – masa piknometra s poklopcem i vode (g).

Granulometrijski sastav tla



Granulometrijski sastav tla

Na osnovi oblika granulometrijske krivulje te uz pomoć koeficijenata zakrivljenosti i jednoličnosti nekoheretna tla se mogu podijeliti na:

- dobro graduirano tlo (**W**, simbol W - eng. well) - tlo u kojem su sve frakcije jednoliko zastupljene, od najvećih do najmanjih, (npr. **GW**, **SW**),
- slabo graduirano tlo (**P**, simbol P - eng. poorly) - tlo u kojem nedostaje neka frakcija unutar granulometrijskog područja, (npr. **GP**, **SP**),
- jednoliko (uniformno) graduirano tlo (**U**) – tlo kojeg čini samo jedna frakcija (npr. **GU**, **SU**).

Procedura za klasifikaciju nekoherentnog tla

Prvi korak u klasifikaciji tla je određivanje postotka mase uzorka sa zrnima promjera većeg (ili manjeg) od 0.06mm (veličina koja predstavlja granicu između nekoherentnog i koherentnog tla).

Ako više od 50% mase ima zrna promjera većeg od 0.06mm radi se o nekoherentnom tlu (simboli G i S).

Ako više od 50% mase ima zrna promjera manjeg od 0.06mm radi se o koherentnom tlu (simboli M i C).

Procedura za klasifikaciju nekoherentnog tla

Drugi korak u klasifikaciji nekoherentnog tla je određivanje postotka mase uzorka sa zrnima promjera većeg (ili manjeg) od 2 mm, što je granica između šljunka i pijeska.

Ako više od 50% mase ima zrna većeg promjera od 2 mm radi se o šljunku (simbol G).

Ako više od 50% mase ima zrna manjeg promjera od 2 mm radi se o pijesku (simbol S).

Procedura za klasifikaciju nekoherentnog tla

Treći korak u klasifikaciji je da za nekoherentno tlo još treba odrediti postotak mase uzorka sa česticama manjeg promjera od 0.06 mm odnosno postotak čestica koherentnog tla ili sitnozrnatog materijala.

Tu razlikujemo tri slučaja:

- 1) Nekoherentno tlo sadrži od 0 do 5% sitnozrnatog materijala.

Iz granulometrijske krivulje treba odrediti c_u i c_c , kako bi se moglo odrediti da li je tlo dobro (**W**) ili slabo (**P**) graduirano.

Procedura za klasifikaciju nekoheretnog tla

Ako se radi o šljunku i ako su ispunjena oba uslova:

$$1 < c_c < 3 \text{ i } c_u > 4,$$

onda je šljunak dobro graduiran (simbol **GW**), a ako barem jedan od ova dva uslova nije ispunjen onda je šljunak slabo graduiran (simbol **GP**).

Ako se radi o pijesku i ako su ispunjena oba uslova:

$$1 < c_c < 3 \text{ i } c_u > 6,$$

onda je pijesak dobro graduiran (simbol **SW**), a ako barem jedan od ova dva uslova nije ispunjen onda je pijesak slabo graduiran (simbol **SP**).

Procedura za klasifikaciju nekoherentnog tla

2) **Nekoherentno tlo sadrži između 5% i 12% sitnozrnatog materijala.**

U ovom se slučaju koriste dvostruki simboli. Prvi dio dvostrukog simbola označava da li je krupnozrnati dio materijala dobro ili slabo graduiran, a drugi dio označava karakter finih čestica (glina ili prah).

Primjer:

Dvostruki simbol **SP-SM** označava da se radi o slabo graduiranom pijesku sa 5% do 12% čestica praha.

Dvostruki simbol **GW-GC** označava dobro graduiran šljunak sa 5% do 12% čestica gline.

Procedura za klasifikaciju nekoherentnog tla

3) Nekoherentno tlo sadrži više od 12% sitnozrnatog materijala.

Ako je u dijagramu plastičnosti par vrijednosti (w_L, I_P) iznad A-linije i $I_P > 7$ onda je drugo slovo u simbolu za vrstu tla C (simbol **GC** ili **SC**).

Ako je u dijagramu plastičnosti par vrijednosti (w_L, I_P) ispod A-linije i $I_P < 4$ onda je drugo slovo u simbolu za vrstu tla M (simbol **GM** ili **SM**).

Ako je u dijagramu plastičnosti par vrijednosti (w_L, I_P) iznad A-linije i $4 \leq I_P \leq 7$ onda se radi o vrsti tla za koju se koristi dvostruki simbol **GM-GC** ili **SM-SC**.

Procedura za klasifikaciju nekoheretnog tla

	naziv	simbol	laboratorijski kriteriji			napom.			
			sitneži ⁹ (%)	gradacija	plastičnost ¹⁰				
krupnozrna tla (više od 50% zrna veća od 0,05 mm: $D_{50} > 0,06$ mm)	šljunci (više od 50% krupnozrne frakcije veličine šljunka)	dobro graduirani šljunci, pjeskoviti šljunci, s malo ili ništa sitneži	GW	0-5	$C_u > 4$ $1 < C_z < 3$	-	dvojni simboli za postotak sitneži između 5 % i 12 %, dvojni simboli ako iznad A-linije i $4 < I_p < 7$		
		slabo graduirani šljunci, pjeskoviti šljunci, s malo ili ništa sitneži	GP	0-5	ne zadovoljava GW kriterije	-			
		prašnasti šljunci, prašnasti pjeskoviti šljunci	GM	> 12	-	ispod A-linije ili $I_p < 4$			
		glinoviti šljunci, glinoviti pjeskoviti šljunci	GC	> 12	-	iznad A-linije i $I_p > 7$			
	pijesci (više od 50% krupnozrne frakcije veličine pijeska)	dobro graduirani pijesci, šljunkoviti pijesci, s malo ili ništa sitneži	SW	0-5	$C_u > 6$ $1 < C_z < 3$	-			
		slabo graduirani pijesci, šljunkoviti pijesci, s malo ili ništa sitneži	SP	0-5	ne zadovoljava SW kriterije	-			
		prašnasti pijesci	SM	>12	-	ispod A-linije ili $I_p < 4$			
		glinoviti pijesci	SC	>12	-	iznad A-linije i $I_p > 7$			
		sitnozrna tla (više od 50% zrna manja od 0,06 mm: $D_{50} < 0,06$ mm)	prašine i gline niske plastičnosti ($w_L < 50$)	neorganske prašine, prašnasti ili glinoviti sitni pijesci, niske plastičnosti	ML	plastičnost prema A-dijagramu: 			
				neorganske gline, prašnaste gline, pjeskovite gline, niske plastičnosti	CL				
organske prašine, organske prašnaste gline, niske plastičnosti	OL								
prašine i gline visoke plastičnosti ($w_L > 50$)	neorganske prašine visoke plastičnosti	MH							
	neorganske gline visoke plastičnosti	CH							
	organske gline visoke plastičnosti	OH							
visoko organska tla	treset i druga visoko organska tla	Pt							