

Granulometrijski sastav tla

Granulometrijski sastav je definisan krivom koja opisuje sadržaj zrna različite veličine izražen u procentima težine. Ovaj klasifikacioni sistem je jednostavan za definisanje graničnih veličina zrna (šljunk, pesak, prašina) i njihovih relativnih veličina (sitan, srednji, krupan). Veličina zrna *prečnik* se pripisuje zrnu koje može da prođe kroz skup sita sa različitim kvadratnim otvorima.

Opit sejanja i korišćenje sita nije moguće u slučaju da se tlo sastoji od glinenih i prašinih frakcija, veličina takvih zrna se obično određuje opitom hidrometriranja ili aerometriranja pomoću kojeg se veličini zrna sitnozrnog tla pripisuje prečnik kuglice koja tone u stubu vode brzinom posmatrane čestice u procesu sedimentacije (JUS U.B1.018.)

Osim oblika granulometrijske krive za opis krupnozrnog tla upotrebljavaju se i sledeći numerički pokazatelji:

d_{10} -efektivna veličina zrna predstavlja najveće zrno od kojeg je 10% materijala u uzorku manje od ove veličine.

d_{30} srednja veličina zrna

$d_{60}/d_{10}=C_U$ -koeficijent jednoličnosti (koeficijent uniformnosti).

Kaže se da je šljunak široko graduiran ako je $C_U > 4$ a pesak ako je $C_U > 6$. U tom slučaju može biti dobro graduiran ako je ispunjen dopunski uslov izražen koeficijentom zakrivljenosti.

Koeficijent zakrivljenosti se koristi za bliže definisanje graduiranosti:

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

Kaže se da tlo može biti dobro graduirano ako je **$C_z=1-3$** .

STRUKTURA TLA

Tlo je formirano od zrna i čestica i pora između njih. Pore mogu biti ispunjene vodom, vazduhom ili vodenom parom. Nekoherntna tla mogu biti rastresita ili dobro složena.

Poroznost tla je manja što je zastupljeno više različitih frakcija. Zavisnost između neke poroznosti i granične poroznosti se opisuje pokazateljem *relativna zbijenost* D_r :

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \cdot 100\%$$

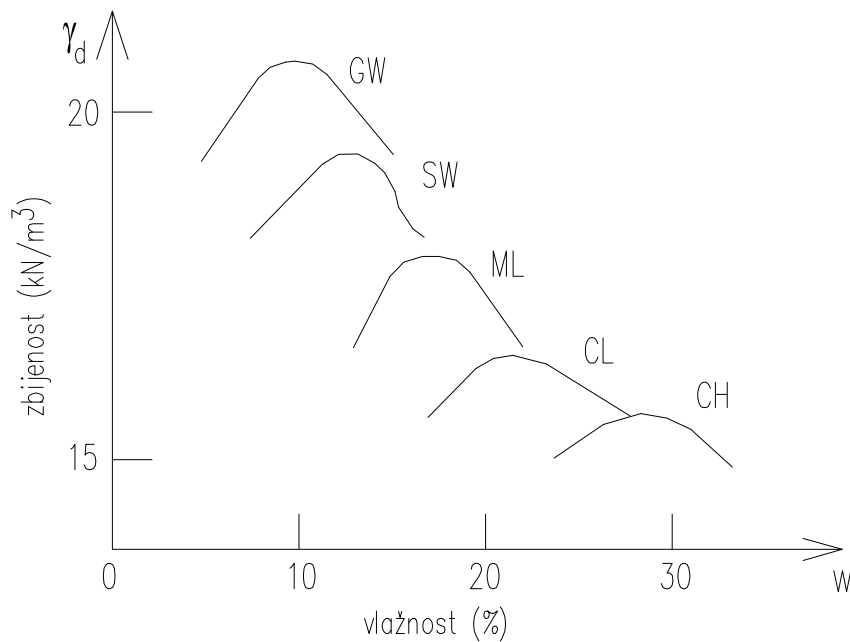
ili preko jedinične težine u suvom stanju:

$$D_r = \frac{\gamma_{d\max} (\gamma_d - \gamma_{d\min})}{\gamma_d (\gamma_{d\max} - \gamma_{d\min})} \cdot 100\%$$

Umesto pokazatelja D_r u novije vreme se koristi *indeks zbijenosti* I_D decimalan neimenovan broj 100 puta manji od D_r . Na primer ako je $D_r=75\%$ tada je $I_D=0.75$.

Relativna zbijenost (%)	Opis
0-15	veoma rastresito
15-50	rastresito
50-70	srednje zbijeno
70-85	zbijeno
85-100	jako zbijeno

Da bi se poboljšale karakteristike nasutog materijala on se podvrgava zbijanju. Zbijanje je postupak kojim se povećava gustina, tj zapreminska težina tla, zrna se pakuju bliže jedna drugom uz smanjivanje zapremine vazduha, ali zapremina vode se na ovaj način ne menja. Rastresito tlo se razastire u slojevima debljine 10-50cm, a zatim zbija valjanjem, vibracijama ili udarcima malja. Generalno ukoliko je zbijenost veća, veća će biti smičuća čvrstoća i manja deformabilnost tla.



Sl. 1.1. Kriva zbijanja za različite tipove tla

Stepen zbijenosti

$$R_c = \frac{\gamma_d}{\gamma_{dmax}} \cdot 100(\%)$$

Plastičnost tla

GRANICE KONSISTENTNIH STANJA ili *Aterbergove granice konsistencije* (*granice plastičnosti*). Odnose se isključivo na sitnozrna tla.

GRANICA TEČENJA w_L se određuje standardizovanim opitom u Kasagrande-ovoj treskalici. Kaže se da uzorak tla ima vlažnost na granici tečenja w_L ako se on nakon obrade profilisanim nožem u standardizovanoj posudi sa sferičnim dnom spoji na dužini od 10-11mm posle 25 udaraca generisanih uzastopnim udarcima pri padovima sa visine od 10mm brzinom od 2 udarca u sekundi. Rezultati se nanose na polulogaritamski dijagram sa koga se očitava tražena vlažnost za propisani broj udarca. Pomoću ovog pokazatelja sitnozrne frakcije tla mogu se podeliti na:

neplastično

$w_L < 20\%$

niska plastičnost

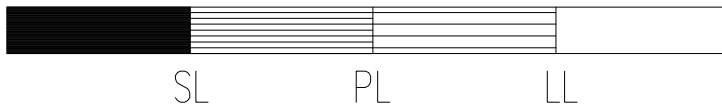
$20\% < w_L < 35\%$

srednja plastičnost

$35\% < w_L < 50\%$

visoka plastičnost

$w_L > 50\%$



GRANICA PLASTIČNOSTI w_p (*granica valjanja*) određuje se standardizovanim opitom. Kaže se da uzorak tla ima vlažnost na granici plastičnosti ako se od njega valjanjem na krutoj podlozi mogu napraviti valjčići prečnika oko 3mm i dužine oko 70mm, tako da se pri tome na njemu mestimično pojavljuju pukotine.

$$I_c = \frac{w_L - w}{I_p}$$

tako da se pomoću ovog indeksa mogu definisati sledeća konsistentna stanja:

<i>tečno stanje</i>	$I_c < 0$
<i>plastično stanje</i>	$0 < I_c < 1$
<i>polutvrdo stanje</i>	$1 < I_c < 1.25$
<i>tvrdost stanje</i>	$I_c > 1.25$

Tlo sa $I_c < 0$ je predmet izučavanja Mehanike fluida. U intervalu $I_c = 0-1$ mogu se bliže opisati empirijski kriterijumi.

$I_c = 0.00-0.25$	vrlo meko konzistentno stanje, može se utisnuti pesnica
$I_c = 0.25-0.50$	meko konzistentno stanje, može se utisnuti palac
$I_c = 0.50-0.75$	srednje plastično konzistentno stanje, može se utisnuti palac sa značajnim naporom
$I_c = 0.75-1.00$	tvrdoplastično konzistentno stanje, ne može se utisnuti palac, ali može vrh zašiljene olovke
$I_c = 1.00-1.25$	polutvrdo konzistentno stanje, tlo se praktično ne deformiše pod opterećenjima koja se nanose rukom ili zašiljenim predmetom
$I_c > 1.25$	tvrdost tlo, praktično nedeformabilno za uobičajena opterećenja od građevina uobičajenih dimenzija.

INDEKS TEČENJA I_L je alternativni pokazatelj konsistentnog stanja koji se ponekad koristi umesto indeksa konsistencije:

$$I_L = \frac{w - w_p}{I_p} \quad (1.6)$$

Ukoliko je $I_L > 1$ vlažnost prirodnog tla je veća od granice tečenja tako da se ponaša kao tečnost. Ukoliko je indeks tečenja negativan, vlažnost tla je manja od granice plastičnosti i zato je sitnozrno tlo u polučvrstom ili čvrstom stanju.

GRANICA SKUPLJANJA w_s sa fizičke tačke gledišta je vlažnost koja je dovoljna da vodom popuni sve pore kada je sitnozrno tlo neopterećeno spoljnim naponima dostiglo minimalnu zapreminu pri sušenju, najmanja vlažnost pri kojoj se neopterećeno tlo može potpuno zasititi vodom.

$$w_s = \frac{W_w - \Delta V \cdot \gamma_w}{W_s}$$

gde je

ΔV promena zapremine uzorka između dva opisana stanja

W_s težina čvrstih čestica

indeks stišljivosti $C_c=0.009$ ($w_L-10\%$)

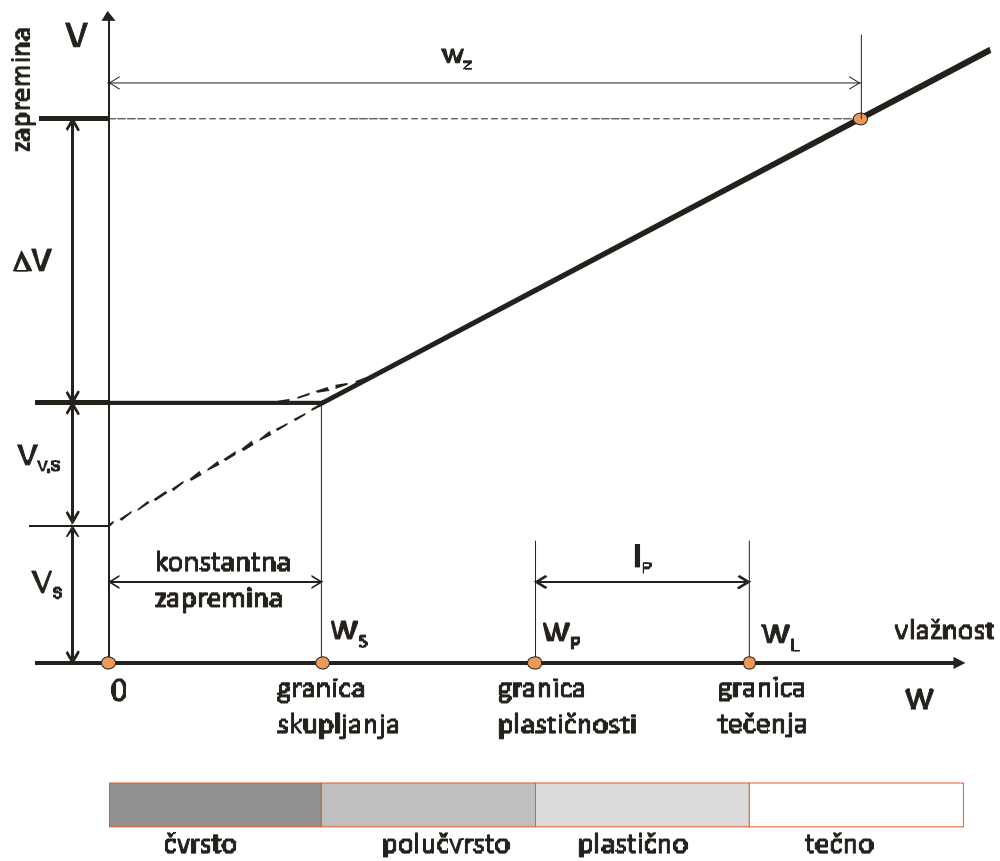
KOLOIDNA AKTIVNOST GLINE A (*aktivnost*) je indirektna mera specifične površine izražena empirijskim pokazateljem (Skempton, 1953):

$$A = \frac{I_p}{CF}$$

gde je CF procenat zrna manjih od 2 mikrona (0.002mm)

<i>Neaktivne gline</i>	$A < 0.75$
<i>Normalne gline</i>	$0.75 < A < 1.25$
<i>Aktivne gline</i>	$A > 1.25$

Tla sa većom aktivnošću imaju veću tendenciju da menjaju zapreminu pri promeni vlažnosti i bez značajne promene napona.



JEDINSTVENA KLASIFIKACIJA

Prvobitan predlog dao je Kasagrande, 1948. poznat kao *AC klasifikacija*, a naši domaći standardi su JUS U.B1.001/1990 i JUS U.B1.003/1190.

PRIMARNE OZNAKE		OPISNE OZNAKE	
Krupnozrna tla: sa preko 50% zrna većih od 0.075 mm			
		W	dobra graduiranost
ŠLJUNAK	G	U	jednolična graduiranost
PESAK	S	P	slaba graduiranost
Sitnozrna tla: sa preko 50% zrna manjih od 0.075 mm		primeše	
		F	prašinate primeše
		C	primeše gline
PRAŠINA	M	L	niska plastičnost
GLINA	C	I	srednja plastičnost
ORGANSKO TLO	O	H	visoka plastičnost
Vlaknasta struktura		Pt - treset	

Zadaci

1. Pesak mase 0,31 kg ima osobine $V_{\max}=207 \text{ cm}^3$ $V_{\min}=171 \text{ cm}^3$ što je ustanovljeno u laboratoriji.
 Prirodni pesak iz nasipa $V=450 \text{ cm}^3$ ima masu u suvom stanju $M_{d1}=0.78 \text{ kg}$ i $\gamma_s=27,10 \text{ kN/m}^3$. Odrediti relativnu zbijenost (D_r) i Stepen zbijenosti (R_c). Kolika je vlažnost ovakvog uzorka kada se zasiti vodom.

$$\gamma_{d\max} = \frac{M_d}{V_{\min}} \cdot g = \frac{310}{171} \cdot 9,807 = 17,8 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{d\min} = \frac{M_d}{V_{\max}} \cdot g = \frac{310}{207} \cdot 9,807 = 14,7 \text{ kN/m}^3$$

rastresit pesak zauzima $V_{\max}$ zapreminu i daje $\gamma_{d\min}$ zapreminsku težinu

zbijen pesak zauzima $V_{\min}$ zapreminu i daje $\gamma_{d\max}$ zapreminsku težinu

U prirodnom stanju

$$\gamma_d = \frac{M_{d1}}{V_1} \cdot g = \frac{780}{450} \cdot 9,807 = 17,0 \text{ kN/m}^3$$

sređivanje jedinica je pokazano u prethodnim vežbama

$$e_{\min} = \frac{\gamma_s - \gamma_{d\max}}{\gamma_{d\max}} = \frac{27,1 - 17,8}{17,8} = 0,522$$

$$e_{\max} = \frac{\gamma_s - \gamma_{d\min}}{\gamma_{d\min}} = \frac{27,1 - 14,7}{14,7} = 0,844$$

$$e = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_d} = \frac{27,1 - 17}{17} = 0,594$$

$$Dr = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} = \frac{0,844 - 0,594}{0,844 - 0,522} = 0,776$$

ili

$$Dr = \frac{\gamma_{d\max}(\gamma_d - \gamma_{d\min})}{\gamma_d(\gamma_{d\max} - \gamma_{d\min})} = \frac{17,8(17 - 14,7)}{17(17,8 - 14,7)} = 0,777$$

Stepen zbijenosti

$$R_c = \frac{\gamma_d}{\gamma_{d\max}} \cdot 100 = \frac{17}{17,8} \cdot 100 = 95,5\%$$

Vlažnost pri zasićenju

$$w_z = \left(\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{\gamma_s} \right) \cdot \gamma_w = \left(\frac{1}{17} - \frac{1}{27,1} \right) \cdot 9,807 \cdot 100 = 21,5\%$$

2. Peskovito tlo ima relativnu zbijenost $Dr=0,8$. U laboratoriji je ustanovljeno da je zapremina uzorka mase $M_s=300\text{gr}$ u najzbijenijem stanju $V_{\min}=175\text{ cm}^3$ a $V_{\max}=200\text{ cm}^3$
 Specifična težina je $G_s=2.65$
 Odrediti: Zapreminu uzorka u prirodnom stanju i zapreminske težine u suvom i zasićenom stanju.

Rešenje:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \rightarrow \gamma_s = G_s \cdot \gamma_w = 2,65 \cdot 9,807 = 25,99 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} = \frac{M_s \cdot g}{V_s} \rightarrow V_s = \frac{M_s \cdot g}{\gamma_s}$$

$$M_s \cdot g = 300 \cdot 9,807 = 2942,1 \text{ gr} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2,94 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = 2,94 \cdot 10^{-3} \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{2,94 \cdot 10^{-3}}{25,99} = 1.132 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 113,2 \text{ cm}^3$$

$$\text{kako je } e = \frac{V - V_s}{V_s} = \frac{V}{V_s} - 1 \quad \text{dobijamo}$$

$$e_{\max} = \frac{V_{\max}}{V_s} - 1 = \frac{200}{113,2} - 1 = 0,767$$

$$e_{\min} = \frac{V_{\min}}{V_s} - 1 = \frac{175}{113,2} - 1 = 0,546$$

iz

$$Dr = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \rightarrow e = e_{\max} - Dr(e_{\max} - e_{\min}) = 0,767 - 0,8(0,767 - 0,546) =$$

$$e = 0,59$$

$$e = \frac{V - V_s}{V_s} = \frac{V}{V_s} - 1 \rightarrow V = (e + 1)V_s = (0,59 + 1) \cdot 113,2 = 180 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{2.942 \cdot 10^{-3}}{180 \cdot 10^{-6}} = 16,35 \text{ kN/m}^3$$

$$n = \frac{e}{1 + e} = \frac{0,59}{1 + 0,59} = 0,371$$

$$\gamma_z = \gamma_d + n \cdot \gamma_w = 16,35 + 0,371 \cdot 9,807 = 19,99 \approx 20 \text{ kN/m}^3$$

3. Dat je indeks plastičnosti glinovitog tla $I_p=20\%$, indeks stišljivosti $C_c=0.36$ i indeks konsistencije $I_c=0.90$.

Odrediti:

- prirodnu sadržinu vode u tlu $w=?$
- granicu plastičnosti $w_p=?$
- indeks tečenja $I_L=?$

Rešenje:

$$C_c = 0,009(w_L - 10\%)$$

$$0,36 = 0,009(w_L - 10\%) \rightarrow (w_L - 10) = \frac{0,36}{0,009} \rightarrow w_L = 40 + 10 = 50\%$$

$$I_c = \frac{w_L - w}{w_L - w_p}$$

$$I_p = w_L - w_p \rightarrow w_p = w_L - I_p = 50 - 20 = 30\%$$

$$0,9 = \frac{50 - w}{50 - 30} \rightarrow 50 - w = 18 \rightarrow w = 50 - 18 = 32\%$$

$$I_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p} = \frac{0,32 - 0,3}{0,5 - 0,3} \cdot 100 = 0,1 \cdot 100 = 10\%$$

kontrola:

$$I_c + I_L = 1$$

$$0,9 + 0,1 = 1$$

$$\frac{w_L - w}{w_L - w_p} + \frac{w - w_p}{w_L - w_p} = \frac{w_L - w + w - w_p}{w_L - w_p} = \frac{w_L - w_p}{w_L - w_p} = 1$$

4. Za dato tlo određeni su:

- indeks skupljanja $I_s=4,0$
- indeks plastičnosti $I_p=14,0$
- indeks konsistencije $I_c=1,0$
- indeks stišljivosti $C_c=0,2$

Kolika je prirodna sadržina vode ovog tla?

Koliki su:

- indeks tečenja $I_L=?$

- granica tečenja $w_L=?$
- granica plastičnosti $w_p=?$
- granica skupljanja $w_s=?$

Rešenje:

$$C_c = 0,009(w_L - 10\%)$$

$$0,20 = 0,009(w_L - 10\%) \rightarrow (w_L - 10) = \frac{0,20}{0,009} \rightarrow w_L = 22,22 + 10 = 32,22\%$$

$$w_L = 32,22\% \text{ -granica tečenja}$$

$$I_p = w_L - w_p \rightarrow w_p = w_L - I_p = 32,22 - 14 = 18,22\%$$

$$w_p = 18,22\% \text{ -granica plastičnosti}$$

$$I_s = w_p - w_s \rightarrow w_s = w_p - I_s = 18,22 - 4 = 14,22\%$$

$$w_s = 14,22\% \text{ -granica skupljanja}$$

$$I_c = \frac{w_L - w}{I_p} \rightarrow I_c I_p = w_L - w \rightarrow w = w_L - I_c I_p = 32,22 - 1,0 \cdot 14,0 = 18,22\%$$

$$w = 18,22\% \text{ -prirodna vlažnost ista kao granica plastičnosti}$$

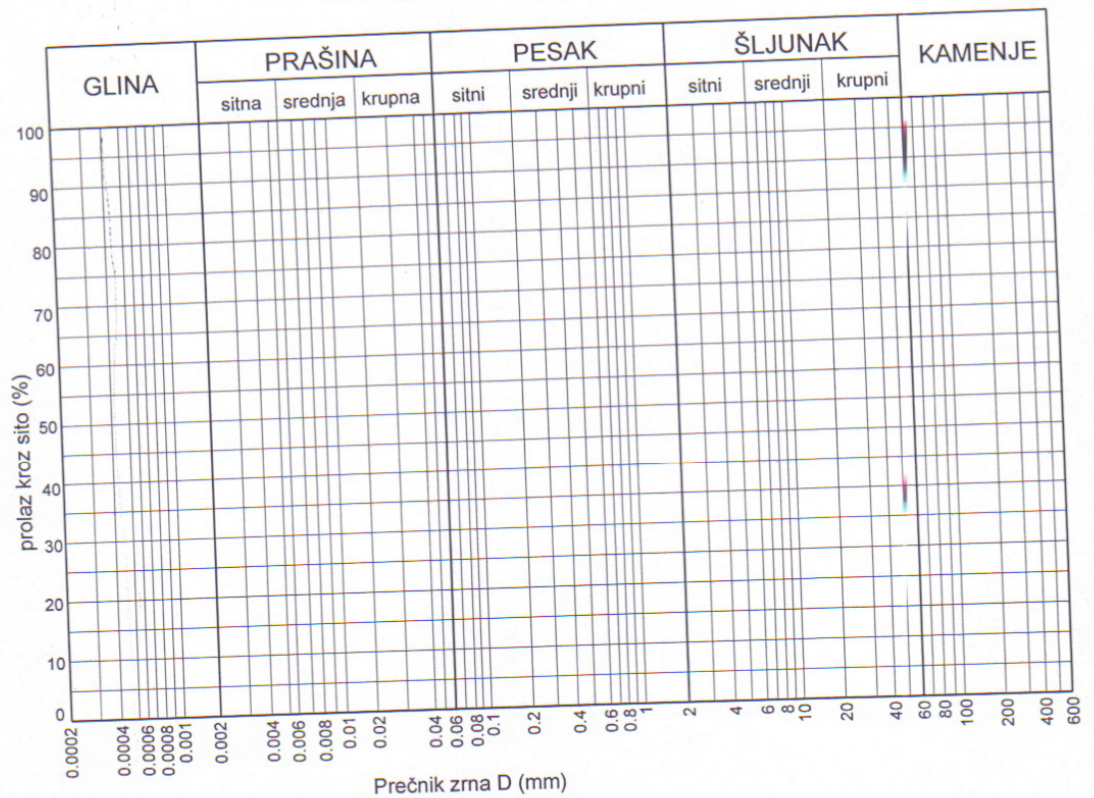
kontrola:

$$I_c + I_L = 1$$

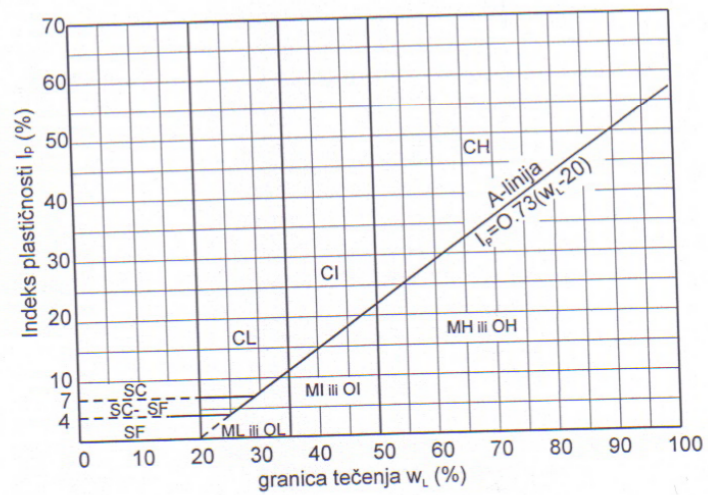
$$I_L = \frac{w - w_p}{I_p} = \frac{0,1822 - 0,1822}{14} \cdot 100 = 0 \cdot 100 = 0\%$$

$$1,0 + 0,0 = 1,0$$

Tabela granulometrijskog sastava tla

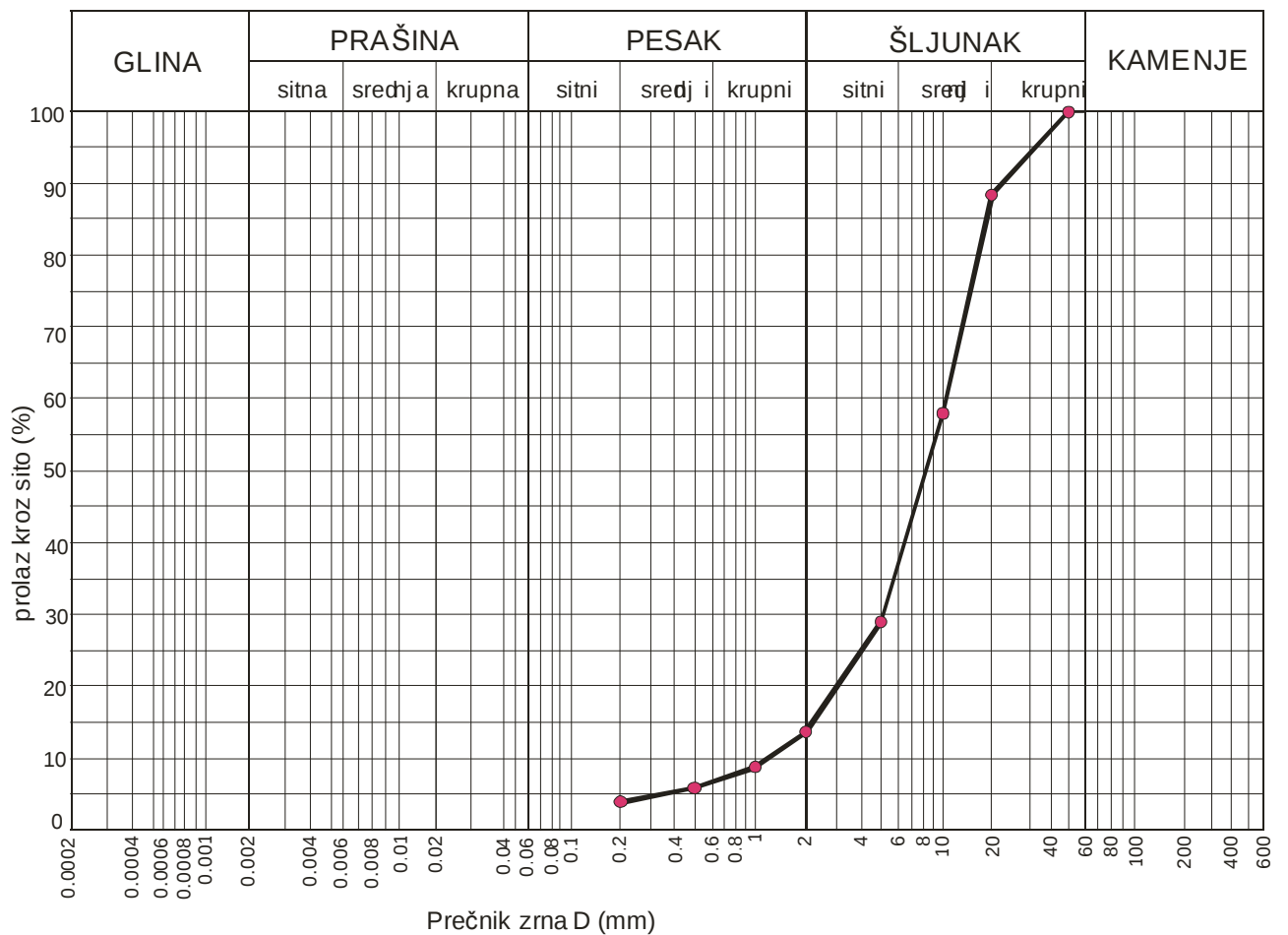


Casagrandeov dijagram plastičnosti



Uzorak 1

Tabela granulometrijskog sastava tla



Opis tla:

- Više od 50% zrna krupnijih od 0.075mm - **KRUPNOZRNO TLO**
 Više od 50 % zrna krupnijih od 2mm – šljunak G
 Manje od 5% sitnozrnih primesa – GW, GU ili GP

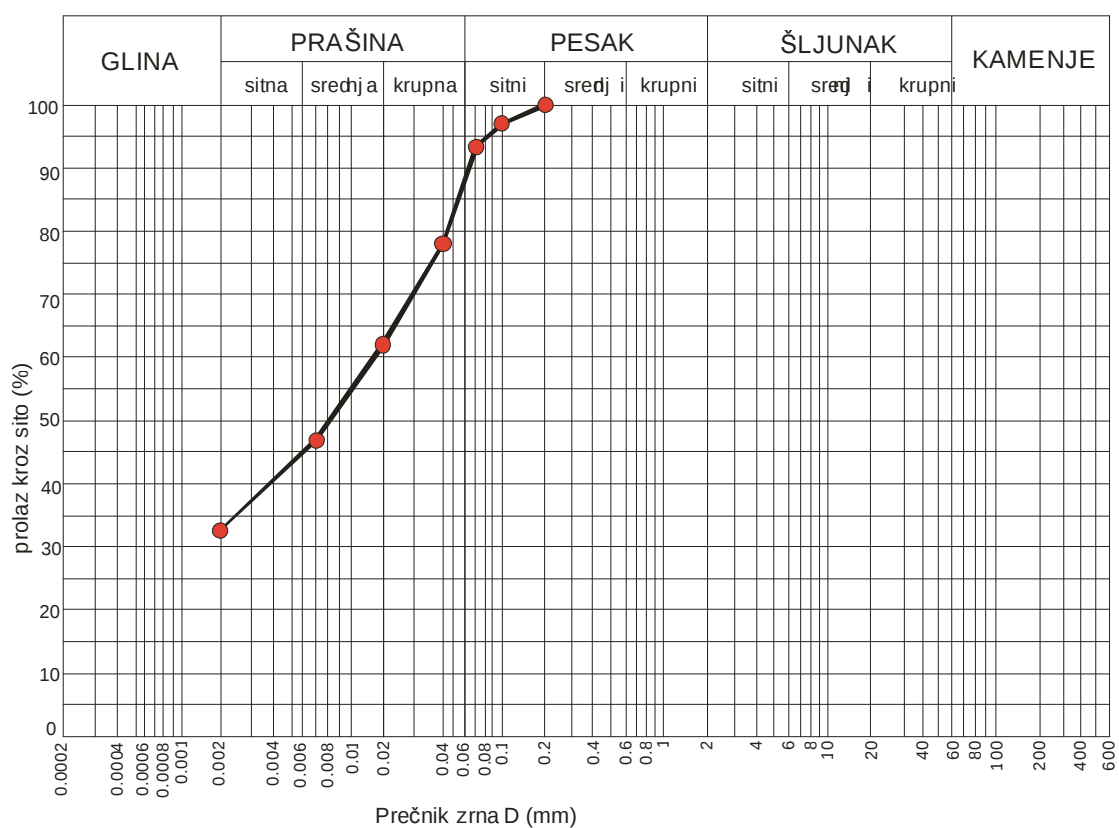
2. $C_u = D_{60}/D_{10} = 11\text{mm}/1.2\text{mm} = 9.2 > 4$ tlo nejednakog sastava

$$C_z = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = \frac{5.2^2}{11 \cdot 1.2} = 2.05 \text{ izmedju 1 i 3}$$

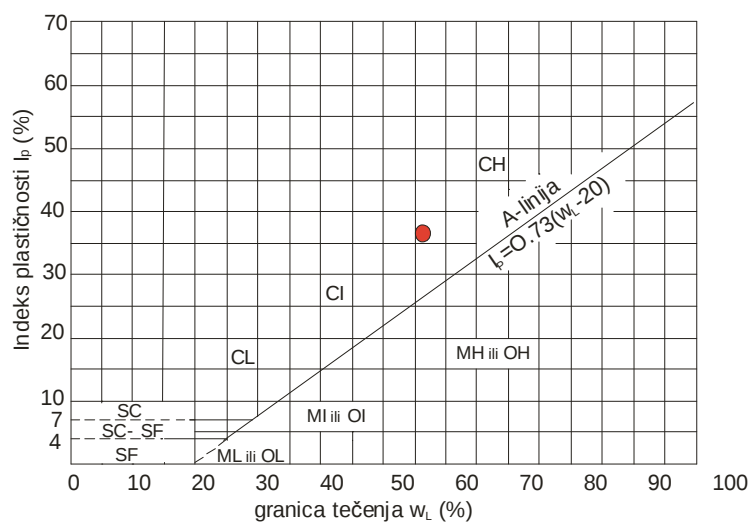
Tlo je dobro graduirani šljunak GW

Uzorak 2

Tabela granulometrijskog sastava tla



Casagrandeov dijagram plastičnosti



Opis tla:

- Više od 50% zrna sitnijih od 0.075mm - **SITNOZRNO TLO**
Granica tečenja ≥ 50 % - prašine, gline i organska tla visoke plastičnosti

2. Na dijagramu plastičnosti tlo pada iznad A linije ($W_L=57\%$ i $I_p=36\%$) u gline visoke plastičnosti.

Tlo je CH – visoko plastična glina