

•FIZIČKA SVOJSTVA TLA  
za razliku od!!!

INŽENJERSKA SVOJSTVA TLA

Deskriptivni opis tla  
primjenu u inženjerstvu

## volumni i težinski odnosi

Tlo se sastoji od tvari u 3 agregatna stanja:

1. čvrste čestice (mineralna tvar +- organska tvar)
2. zrak ili plin u porama
3. voda ili tekućina u porama

Podjela jedinične mase tla na te tri komponente, na osnovi volumnih ili težinskih odnosa

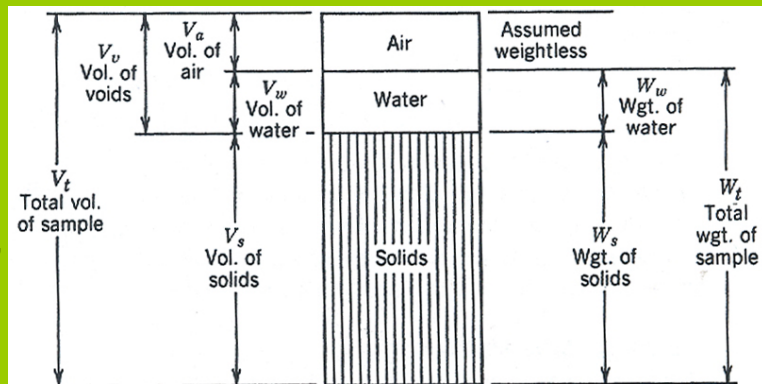


Figure 3.2 Phase diagram of a soil mass representing the volume and weight components for air, water, and solids.

## volumni i težinski odnosi

na temelj volumnih i težinskih odnosa određuju se određene fizičke značajke

- određivanjem deskriptivnih značajki određuju se **inženjerska svojstva tla**

osnovna svojstva:

**jedinična težina;**

**specifična težina**

**(gravity);**

**porozitet**

**koeficijent pora,**

**vlažnost**

**saturiranost**

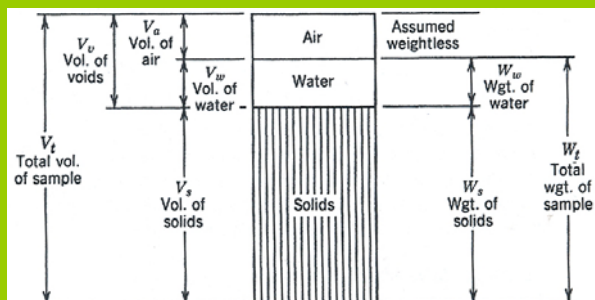


Figure 3.2 Phase diagram of a soil mass representing the volume and weight components for air, water, and solids.

## JEDINIČNA TEŽINA ili gustoća tla

$\gamma$  = težina materijala / volumen materijala



$$\gamma_m = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_w + W_s}{V_v + V_s} \quad (a)$$

$\gamma_m$  = **vlažna jedinična težina tla**



$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_t} = \frac{W_s}{V_v + V_s} \quad (b)$$

$\gamma_d$  = **suha jedinična težina**

(težina potpuno osušenog tla, u pećnici)



$$\gamma_{sat} = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_w + W_s}{V_v + V_s} \quad (c)$$

$\gamma_{sat}$  = **saturirana jedinična težina**

(težina potpuno saturiranog tla)

$\gamma_w$  = **jedinična težina vode** = 62.4 lb/ft<sup>3</sup>

(1 ft<sup>3</sup> vode teži 62.4 lb)

**Figure 3.3** (a) Phase diagram representing moist unit weight of soil. (b) Phase diagram representing dry unit weight of soil. (c) Phase diagram representing saturated unit weight of soil.

## SPECIFIČNA TEŽINA

$G_s$  = težina jediničnog volumena tla / težina jediničnog volumena vode

(voda na 4°C)

-u sebi sadrži i težinu i volumen;

-omogućava da se mjerenjem težine odrede svojstva tla koja su definirana volumnim odnosima (u labosu lakše izvagati materijal nego odrediti volumen)

**Reprezentativne vrijednosti relativnog poroziteta i koeficijenta pora**

Table 3.1 Some Porosity and Void Ratio Values for Different Soils

	Voids <sup>(1)</sup>				
	Void Ratio			Porosity (%)	
	e <sub>max</sub>	e <sub>cr</sub>	e <sub>min</sub>	n <sub>max</sub>	n <sub>min</sub>
	loose		dense	loose	dense
<i>Granular Materials</i>					
Uniform Materials					
a. Equal spheres (theoretical values)	0.92	—	0.35	47.6	26
b. Standard Ottawa SAND	0.80	0.75	0.50	44	33
c. Clean, uniform SAND (fine or medium)	1.0	0.80	0.40	50	29
d. Uniform, Inorganic SILT	1.1	—	0.40	52	29
Well-graded Materials					
a. Silty SAND	0.90	—	0.30	47	23
b. Clean, fine to coarse SAND	0.95	0.70	0.20	49	17
c. Micaceous SAND	1.2	—	0.40	55	29
d. Silty SAND & GRAVEL	0.85	—	0.14	46	12
<i>Mixed Soils</i>					
Sandy or Silty CLAY	1.8	—	0.25	64	20
Skip-graded Silty CLAY with stones or r/fgms	1.0	—	0.20	50	17
Well-graded GRAVEL, SAND, SILT & CLAY mixture	0.70	—	0.13	41	11
<i>Clay Soils</i>					
CLAY (30% – 50% clay sizes)	2.4	—	0.50	71	33
Colloidal CLAY (< 0.002 mm: 50%)	12.0	—	0.60	92	37
<i>Organic Soils</i>					
Organic SILT	3.0	—	0.55	75	35
Organic CLAY (30% – 50% clay sizes)	4.4	—	0.70	81	41

Source: Reprinted with permission from Basic Soils Engineering, 2nd ed., B. K. Hough, 1969, John Wiley & Sons, Inc.

## VLAŽNOST

određivanje količine vode u tlu važno za mnoge inženjerske probleme zbog toga jer se na temelju vlažnosti može procijeniti PONAŠANJE TLA

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

raspon vrijednosti od 0 do beskonačno  
izražava se u postocima

standardnim pokusima može se odrediti optimalna vlažnost ( $w_o$ ); to je vlažnost koja daje maksimalnu suhu gustoću tla u uvjetima određenog opterećenja

## STUPANJ ZASIĆENOSTI ili SATURIRANOST

S definira proporciju ukupnog volumena u tlu koji sadrži vodu

$$S = \frac{V_w}{V_v}$$

u saturiranom tlu sav volumen pora je ispunjen vodom (=100%);

saturiranost može biti i 0% ukoliko je tlo potpuno suho, a pore su ispunjene zrakom

ovaj volumni odnos tkđ. je moguće odrediti mjerenjem težine:

$$S = WG_s/e$$

$$S = \frac{WG_s}{e}$$

$W$  = vlažnost

$S$  = stupanj zasićenosti

$G_s$  = specifična težina tla

## granulometrijski sastav tla ili graduiranost

najjednostavniji opis tla pomoću **opisa distribucije veličine čestica**, tj. graduiranosti

slika: rasponi veličine čestica

Table 3.3 A Comparison of Particle-Size Classes Used by Geologists, Engineers, and Soil Scientists

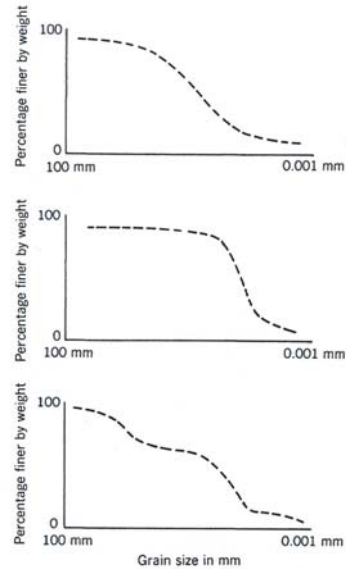
Geology	Engineering	Soil Science
Boulders	Boulders	
-256 mm-	-305 mm-	
Cobbles	Cobbles	
-64 mm-	-76.2 mm-	-76.2 mm-
Pebbles	Gravel	Gravel
-2 mm-	-4.75 mm-	-2 mm-
Sand	Sand	Sand
-0.062 mm-	-0.074 mm-	-0.050 mm-
Silt	Silt	Silt
-0.004 mm-	-0.005 mm-	
Clay	Clay	-0.002 mm- Clay

## granulometrijski sastav tla ili graduiranost

određivanje graduiranosti tla SIJANJEM

na granulometrijskom dijagramu se obično plotu postotak tla koji je prošao kroz sito

slika: granulometrijske krivulje za različite vrste tla



**Figure 3.4** Cumulative particle-size distribution curves for three soils. Uppermost curve is uniform or well-graded, middle curve shows a poorly graded soil, and the lower curve is a gap, or skip-graded, soil.

## granulometrijski sastav tla ili graduiranost

**DOBRO GRADUIRANO TLO:**

jednoliko zastupljene sve čestice, od najmanjih do najvećih

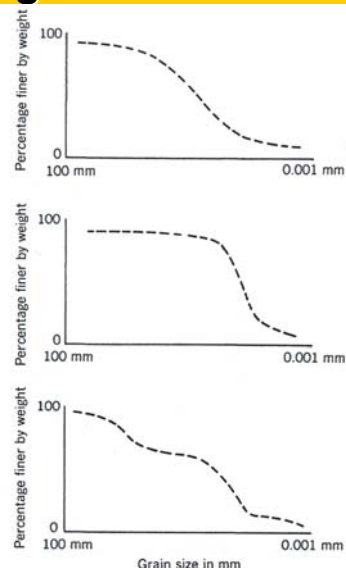
**SLABO GRADUIRANO:** tlo

sastavljeno uglavnom od jedne veličine čestica

**SLABO GRADUIRANO-**

**NEUJEDNAČENO:** ako su zastupljene čestice u širom rasponu, pri čemu nedostaju neke

geolozi obično određuju SORTIRANOST, što je obrnuto od graduiranosti; tlo sastavljeno od jedne veličine čestica je 'dobro sortirano'; a 'slabo sortirano' je ono koje ima čestice u širokom rasponu paziti u komunikaciji!!!



**Figure 3.4** Cumulative particle-size distribution curves for three soils. Uppermost curve is uniform or well-graded, middle curve shows a poorly graded soil, and the lower curve is a gap, or skip-graded, soil.

## koherentna i nekoherentna tla

važna je razlika među tlima na temelju njihovog ponašanja kad su suha i kad su mokra

tla koja su sljepljena, i kad su suha i kad su vlažna – imaju **KOHEZIJU**

kohezija ovisi o graduiranosti, tj. o veličini čestica

**KOHERENTNA TLA** imaju značajnu količinu sitnozrnatih čestica; sitnozrnate čestice u koherentnom tlu su sljepljene čak i kad nema vode (osobito ako je značajna količina gline)

tla bez sitnozrnatih čestica bit će sljepljena kad su vlažna, ali će se 'rasuti' nakon sušenja

**NEKOHERENTNA TLA**

## ATTERBERGOVE GRANICE

razlika između koherentnih i nekoherentnih tala je važna da bi se razumjelo kako će se tla deformirati pod naprežanjem

količina vode u tlu uvjetuje ponašanje tla za vrijeme deformacije; ovo ponašanje naziva **KONZISTENCIJA TLA**

tlo se uslijed naprežanja može ponašati kao:

-neplastičan

-plastičan

-viskozni materijal

## ATTERBERGOVE GRANICE

tlo se uslijed naprezanja može ponašati kao:

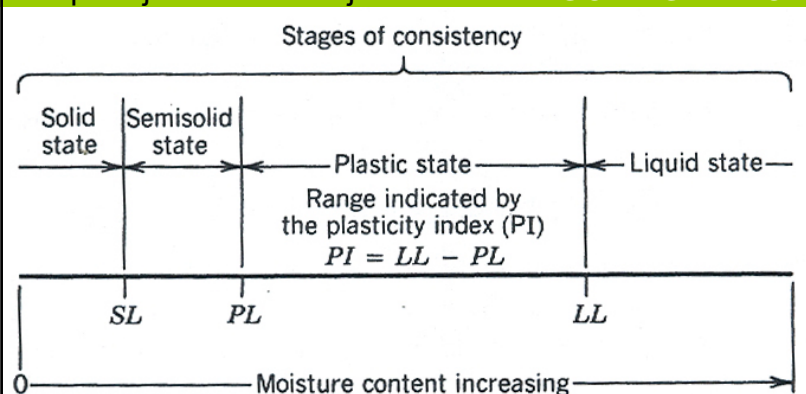
- neplastičan
- plastičan
- viskozni materijal

Koherentna tla se prelaze iz neplastičnog, u plastično i u viskozno stanje s povećanjem sadržaja vode

Nekoherentna tla nisu plastična, neovisno o sadržaju vode; s visokim sadržajem vode ona se mogu deformirati kao viskozni fluid

**KONZISTENCIJA TLA** se definira kao sadržaj vode u trenutku kada tlo mijenja svoje ponašanje u odnosu na neko naprezanje

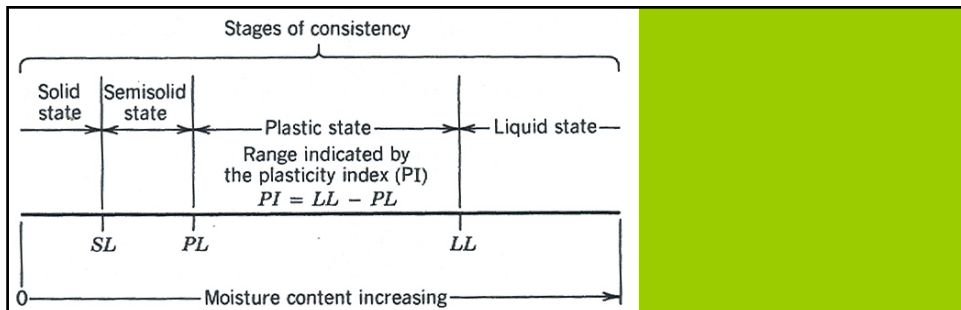
ove promjene se nazivaju **ATTERBERGOVE GRANICE**



**Figure 3.5** Diagram showing the Atterberg limits and the states of soil consistency defined by them. (From USBR, 1968)

slika: Atterbergove granice i stanja konzistencije





**Figure 3.5** Diagram showing the Atterberg limits and the states of soil consistency defined by them. (From USBR, 1968)

između vlažnosti od 0% i **GRANICE PLASTIČNOSTI (PL)** tlo se ponaša neplastično

između granice plastičnosti i **GRANICE TEČENJA (LL)** tlo se ponaša plastično

ovaj raspon vlažnosti naziva se **PLASTIČNOST ili INDEKS PLASTIČNOSTI (PI)**

$$PI = LL - PL$$

iznad granice plastičnosti tlo se ponaša kao tekućina ili viskoznan materijal

## ULOGA MINERALNOG SASTAVA GLINA

mineralni sastav gline tkđ. dominantan faktor koji utječe na plastičnost glinovitog tla

**neekspanzivni minerali glina:** kaolinit, ilit

imaju manje vrijednosti PI

**ekspanzivni mineral gline:** montmorilonit

Ca bogat montmorilonit ima manji PI nego

Na bogat montmorilonit

Gillott (1968): Clay in Engineering Geology

## klasifikacija inženjerskog tla

neke stijene (geol.) se klasificiraju kao INŽENJERSKO TLO ukoliko nemaju cement ili je kemijsko trošenje uništilo 'jake i stalne sile kohezije' (koje su uvjet za inženjersku definiciju stijene)

### brojne inženjerske klasifikacije tla

sve se baziraju na 2 kriterija:

**-VELIČINI ČESTICA i**

**-PLASTIČNOSTI**

na temelju ove klasifikacije inženjeri procjenjuju INŽENJERSKA SVOJSTVA TLA:

kompakcija, slijeganje, mogućnost dreniranja, osjetljivost na smrzavanje, mogućnost iskopavanja i značajke nasipa(vanja)

## klasifikacija inženjerskog tla

općenito: sa smanjenjem veličine zrna, povećavaju se inženjerski problemi; tkđ. sve je teže odrediti i granulometrijski sastav

zbog toga se udjeli i svojstva tzv. **SITNOZRNATE FRAKCIJE** u tlu određuju više na temelju plastičnosti (zbog dugotrajne sedimentacije tijekom određivanja granulometrijskog sastava)

Atterbegove granice su izravno primjenjive kod projektiranja i građenja u tlu (dok veličina čestica nije)

Inženjersko tlo se dijeli u **2 glavne grupe** na osnovi veličine zrna dominantne frakcije:

-**KRUPNOZRNATA TLA** (sastoje se od čestica veličine pijeska ili većih); njihov udjel se određuje sijanjem, a raspon im je do veličine BLOKOVA;

-**SITNOZRNATA TLA** (sastoje se od čestica veličine praha ili gline, a razlikuju se na temelju plastičnosti; ne sija se ili areometriranja)

Značajke najraširenijih INŽENJERSKIH KLASIFIKACIJA:

-tla klasificiraju na grupe ili klase koje su uređene, lako se pamte i imaju slična fizička i inženjerska svojstva

-mogu se identificirati jednostavnim i jeftinim pokusima

-grupe tla se opisuju alfabetskim simbolima radi što brže identifikacije prilikom bušenja i jednostavno se prikazuju na crtežima

## USC

### (eng. UNIFIED SOIL CLASSIFICATION)

-razvio ju USBR, dr. A. Casagrande 1953. g.

-modificiralo ju društvo American Society for Testing Materials (ASTM) i standardiziralo za inženjersku primjenu (ASTM, 1983)

-privatila ju međunarodna geotehnička zajednica

Table 3.4 USC System Chart

Major Divisions		Group Symbols	Typical Names
Coarse-Grained Soils More than 50% retained on No. 200 sieve*	Gravels 50% or more of coarse fraction retained on No. 4 sieve	Clean Gravels	GW Well-graded gravels and gravel-sand mixtures, little or no fines
			GP Poorly graded gravels and gravel-sand mixtures, little or no fines
		Gravels With Fines	GM Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures
			GC Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures
	Sands More than 50% of coarse fraction passes No. 4 sieve	Clean Sands	SW Well-graded sands and gravelly sands, little or no fines
			SP Poorly graded sands and gravelly sands, little or no fines
		Sands With Fines	SM Silty sands, sand-silt mixtures
			SC Clayey sands, sand-clay mixtures
Fine-Grained Soils 50% or more passes No. 200 sieve*	Sills and Clays Liquid limit 50% or less	ML Inorganic silts, very fine sands, rock flour, silty or clayey fine sands	
		CL Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays	
		OL Organic silts and organic silty clays of low plasticity	
	Sills and Clays Liquid limit greater than 50%	MH Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sands or silts, elastic silts	
		CH Inorganic clays of high plasticity, fat clays	
		OH Organic clays of medium to high plasticity	
Highly Organic Soils	PT Peat, muck and other highly organic soils		

\*Based on the material passing the 3-in. (75-mm) sieve.

Source: Reprinted with permission from the Annual Book of ASTM Standards, 1983. Copyright © ASTM, 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103.

## USC

### (eng. UNIFIED SOIL CLASSIFICATION)

**Table 3.5 Selected Sieve Sizes and Corresponding Particle Sizes Used in Engineering Soil Classifications**

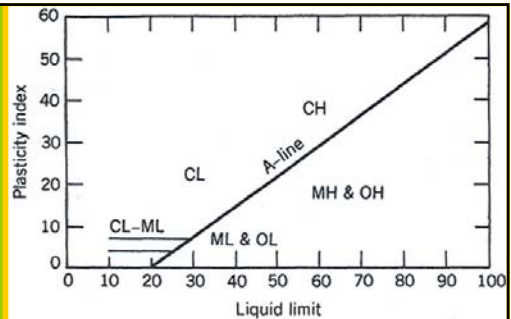
U.S. Standard Sieve Size	Particle Size (diameter in mm)
4	4.75
10	2.0
40	0.42
200	0.075

2  
0.6  
0.2  
0.02

**Table 3.6 Key to Symbols Used by USC System**

Primary Group Symbols	Modifying Group Symbols
G—Gravel size	W—Well-graded coarse materials
S—Sand size	P—Poorly graded coarse materials
M—Silt size	M—Silt fines
C—Clay size	C—Clay fines
O—Organic material	L—Low plasticity
	H—High plasticity

laboratorijsko određivanje granice tečenja i indeksa plastičnosti pomoću **DIJAGRAMA PLASTIČNOSTI**



**Figure 3.8** Plasticity chart for classification of fine-grained soils from Atterberg limits using USC system notation.

**Table 3.7 Summary of Field Tests for Assignment of Fine-grained Soils to USC Groups**

Fine-Grained Soils More than half of material is smaller than No. 200 sieve size	Identification Procedures on Fraction Smaller Than No. 40 Sieve Size				
	Silts and Clays Liquid limit less than 50	Dry Strength (Crushing Characteristics)	Dilatancy (Reaction to Shaking)		Toughness (Consistency Near Plastic Limit)
Silts and Clays Liquid limit greater than 50	None to slight	Quick to slight	Quick to slow	None	ML
	Medium to high	None to very slow	None to very slow	Medium	CL
	Slight to medium	Slow	Slow	Slight	OL
	Slight to medium	Slow to none	Slow to none	Slight to medium	MH
	High to very high	None	None	High	CH
	Medium to high	None to very slow	None to very slow	Slight to medium	OH
Highly Organic Soils	Readily identified by color, odor, spongy feel and frequently by fibrous texture.			PT	

pružni pokusi za određivanje plastičnosti prethode laboratorijskom određivanju