

# Poglavlje 1

## PRIRODA TLA i OSNOVNI POKAZATELJI

### 1.1 POSTANAK TLA

Sa građevinske tačke gledišta, tlo je prirodna mešavina mineralnih zrna, koja se mogu razdvojiti mehaničkim postupkom, na primer, mešanjem u vodi. Tlo je, najčešće, necementirani skup granularnog (zrnastog) materijala mineralnog i organskog porekla. Cementne veze između zrna mogu u izvesnoj meri uticati na mehaničko ponašanje mase tla ali se podrazumeva da su cementne veze između zrna relativno slabe. Ukoliko su cementne veze znatne čvrstoće, tada se najčešće može govoriti o steni, a ne o tlu, i zato je takav materijal predmet razmatranja u Mehanici stena. Granice između Mehanike tla i Mehanike stena, dve srodne geotehničke discipline, nisu veoma oštre. Mehanika stena se bavi medijem koji se sastoji od stene izdvojene na komade diskontinuitetima a Mehanika tla se bavi materijalom koji se sastoji od relativno čvrstih zrna između kojih su šupljine, pore tla, u potpunoj komunikacionoj vezi.

Zrna tla mogu biti različitih veličina, oblika i mineralnog sastava, pri čemu se podrazumeva da u ukupnoj zapremini znatan prostor zauzimaju intergranularne šupljine - pore. U porama se može nalaziti vazduh, voda ili mešavina vazduha i vode. Stena se od tla razlikuje po tome što se sastoji od relativno kompaktnih blokova stenske mase koja je izdvojene praznim ili zapunjenim diskontinuitetima.

Tlo nastaje kao proizvod mnogih hemijskih i fizičkih, mehaničkih procesa raspadanja površinskih delova stena koji su izloženi spoljnim uticajima. Genezom tla bi trebalo da se bavi geologija. Zrna tla nastaju u cikličnom procesu raspadanja čvrstih stena usled uticaja temperaturnih promena, sunca, vode i hemijskih procesa. Prema tome, destruktivni procesi u formiranju tla od osnovne stene mogu biti fizički i hemijski.

**FIZIČKI PROCESI** izazivaju raspadanje osnovne stene na fragmente, komade stena različitih veličina. Zamrznuta voda u prslinama, usled delimično sprečenog širenja, izaziva velike napone povećavajući prslinu koja je odvajaju od mase stene. Ciklično mržnjenje i kravljenje može izazvati degradaciju do znatne dubine. Ukoliko se proces odvija na padini, komadi se odvajaju i pomeraju nizbrdo ostavljajući novu površinu izloženu procesu daljeg raspadanja. U drugim ekstremnim uslovima visokog zagrevanja površine u pustinjama kamen se zagreje do relativno visoke temperature u toku dana, a posle se u toku noći ponovo relativno brzo hladi. Temperaturne razlike izazivaju promene napona, a one mogu izazvati raspadanje komada stena. Fizički procesi pri nastanku tla nakon degradacije osnovne stene mogu se opisati erozijom usled dejstva vetra, vode ili glečera. Rezultat fizičkog raspadanja su čestice koje imaju isti sastav kao i stena od koje su nastale i proporcije karakterističnih dimenzija zrna su relativno bliske.

Dalja modifikacija oblika i veličine zrna nastaje pri njihovom transportu i deponovanju do mesta na kojima ih nalazimo.

**HEMIJSKI PROCESI** izazivaju promenu tipa minerala osnovne stene usled dejstva vode. Hemijsko raspadanje proizvodi nove minerale, mehanički slabije i veće zapemine od minerala u zdravoj steni. Krupnija zrna su čvršća i mineral je najčešće kvarc. Manja zrna su verovatno slabija. Gline čine tla sastavljena od mekih sitnih čestica da se optičkim mikroskopom ne mogu jasno videti. Ove pokazuje da se može očekivati izvesna razlika u mehaničkom ponašanju. Peskovi, u kojima je predominantan kvarc, su manje stišljivi od glina. Svi zrnasti materijali poseduju osobine trenja, koje zavise od tipa minerala i najmanje je kod glina. Da trenja nema, tlo bi se ponašalo kao teška tečnost.

Kakva se nalaze u prirodi, tla se dele se na transportovana i rezidualna. Transportovana tla su nastala na jednom mestu, a zatim su transportovana i deponovana na drugo, dok su rezidualna tla ostala na mestu gde su nastala raspadanjem stene.

### 1.2 IDENTIFIKACIJA i KLASIFIKACIJA TLA

Klasifikovanje podrazumeva proces grupisanja i etiketiranja. Pri tome je moguće zamisliti više različitih klasifikacionih sistema zavisno od namene. Klasifikacioni sistem za potrebe mehanike tla mora da pruži informacije o očekivanim inženjerskim osobinama tla pošto se ono klasifikuje. Inženjerske osobine koje su od primarnog interesa u građevinarstvu su *kompresibilnost*, *čvrstoća*, *vodopropusnost* i *ugradljivost*. Direktno određivanje navedenih osobina zahteva dosta vremena, specijalnu opremu i kvalifikovanu radnu snagu. Ako bi se izvršila masovna ispitivanja inženjerskih svojstava na svim raspoloživim uzorcima, prestala bi potreba da se tlo klasifikuje. Krajnji cilj nije klasifikacija, već sagledavanje mogućeg ponašanja mase tla u uslovima od interesa. Prema tome, biraju se kriterijumi za klasifikaciju koji omogućuju klasifikovanje uz minimalni napor i trošak, tako da se nakon završene klasifikacije može dobiti orijentaciona predstava o mogućem ponašanju i svojstvima tla. Standardizovani klasifikacioni opiti omogućuju da se relativno jednostavnim opitima vrste tla rasporede u tipove sa sličnim geotehničkm osobinama.

Rezultati klasifikacionih ispitivanja služe, između ostalog, i za izbor uzoraka za ispitivanje inženjerskih svojstava, kao i za ocenu reprezentativnosti rezultata u odnosu na masu tla i broj ispitanih uzoraka. Jedan od razloga za masovnu primenu klasifikacionih ispitivanja je mogućnost da se iz jednog skupa identifikacionih pokazatelja ocene geomehanički parametri primenom odgovarajućih empirijskih korelacija.

Osnovni klasifikacioni pokazatelji za ove namene su, pre svega, *veličina zrna* tla a zatim eventualna "lepljivost" ili, striktnije, *plastičnost* tla.

Rezidualna i transportovana tla se pojavljuju u beskonačnim varijacijama veličina zrna od hiljaditih delova milimetara do decimetarskih dimenzija. Kao generalna osnova za klasifikaciju normalnog, pretežno neorganskog tla, usvojena je podela na *dve glavne*

*klase* sa graničnom vrednošću veličina zrna od *0,075 mm*, a u nekim zemljama za granicu se usvaja veličina zrna od *0,074* ili *0,06 mm*, tako da:

- *krupnozrna tla* sadrže preko 50% zrna većih od *0,075 mm* (ili *0,06 mm*)
- *sitnozrna tla* sadrže preko 50% zrna manjih od *0,075 mm* (ili *0,06 mm*)

Ova granica od *0,075 mm*, (odnosno *0,06 mm*), prvo je potekla iz praktičnih razloga jer se kaže da prosečno ljudsko oko bez optičkog pojačanja prepoznaje u granularnoj masi individualana zrna veća od navedene granične vrednosti, dok se manja zrna vide samo kao amorfna masa. Iako ovaj kriterij izgleda sasvim proizvoljan sa mehaničke tačke gledišta, pokazalo se da postoje i znatne razlike u ponašanju ova dva tipa tla. Osim toga, u prirodi se nailazi i na treset, materijal koji ima vlaknastu strukturu i nepovoljne karakteristike, tako da se o njemu u ovom tekstu neće mnogo govoriti, jer se veoma retko ispituje u mehanici tla.

**KRUPNOZRNA TLA** variraju sa veličinama zrna od komada stene do šljunka i peska. Kvarc, zbog svoje tvrdoće i postojanosti, je mineral koji preovladava u sadržaju mnogih šljunkova i peskova, ali se pojavljuju i drugi minerali sa različitim relativnim učešćem. Terenska identifikacija je relativno jednostavna, jer se skoro sva zrna vide golim okom uz eventualno i veoma retko korišćenje lupe. Krupnozrno tlo može da sadrži primese sitnih frakcija.

**SITNOZRNA TLA** se najvećim delom sastoje od zrna prašine i gline. Čist prah je po veličini zrna između peska i gline i ima specifične osobine po kojima ga samo u maloj meri razlikuje od peska. Ali već i mala količina primesa glinenih čestica od samo nekoliko procenata daje mešavini sitnozrnog tla nove karakteristike, tako da se ono u znatnoj meri razlikuje od krupnozrnih materijala. Ne mogu se sva zrna videti golim okom, tako da se primenjuju indirektni opiti za identifikaciju, a zasnivaju se na osobini da sitnozrni materijali, naročito ako sadrže glinene čestice, menjaju konzistentno stanje sa promenom sadržaja vode. Za ovu osobinu, koju nemaju krupnozrni materijali, koristi se u Mehanici tla izraz *plastičnost*. Plastičnost, kao pojam, se koristi i za opis naponsko deformacijskog ponašanja u sasvim drugom i znatno preciznijem kontekstu.

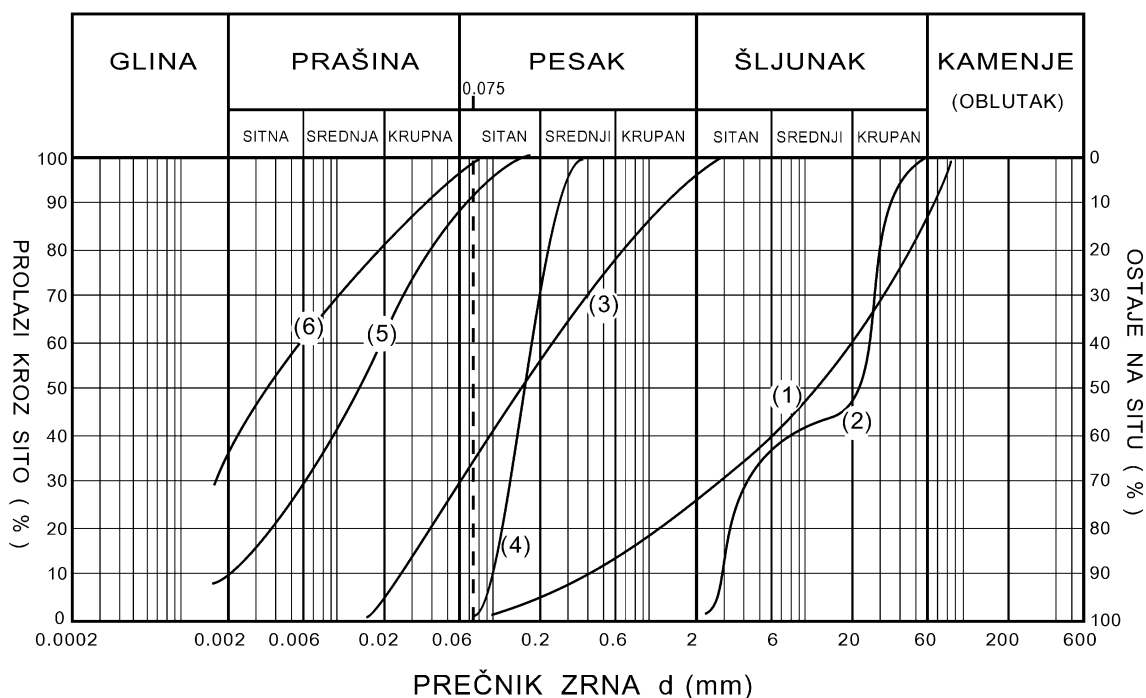
**ORGANSKA TLA** u našem podneblju uvek sadrže organske materije, koje se najvećim delom pojavljuju u delimično raspadnutim oblicima vegetacije uz humus, amorfni materijal nastao raspadanjem biljnih i životinjskih produkata. Ove organske materije su od vitalnog značaja za poljoprivrednu upotrebu zemljišta i od manjeg značaja su za građevinskog inženjera, jer se površinska zona tla uklanja pre izgradnje većine građevinskih objekata. Ipak, relativno visoko prisustvo organskih materija reda 5% do 10% može ukazivati na relativno veliku kompresibilnost. Ponekad se u prirodi pojavljuje treset, materijal sa *vlaknastom* strukturom u kome preovlađuju materije organskog porekla. Ova tla su izrazito nepovoljna sa građevinske tačke gledišta.

## GRANULOMETRIJSKI SASTAV TLA

Granulometrijski sastav je definisan krivom koja opisuje sadržaj zrna različite veličine izražen u procentima težine (Slika 2.1). Ovaj klasifikacioni sistem je jednostavan jer za definisanje graničnih veličina frakcija zrna, (šljunak, pesak, prašina), i njihovih relativnih veličina, (sitan, srednji, krupan), primenjuje samo brojeve 2 i 6, što se lako pamti.

Sasvim intuitivno, može se očekivati da će se skup veoma malih zrna ponašati različito od agregacije velikih čestica, što predstavlja osnovu za primenu veličine zrna kao kriterija za klasifikaciju tla. Prvo treba definisati veličinu zrna. Zbog takvih različitih oblika mora se arbitrarno definisati mera veličine zrna. Veličina zrna, koje se vide golim okom, tj. pesak i krupnija zrna, opisuje se "prečnikom" koji se pripisuje zrnu koje može da prođe kroz skup sita sa različitim otvorima kvadratnog oblika. **"Prečnik", koji se pripisuje zrnu, je prečnik najveće kuglice, koja može da prođe kroz kvadratni otvor sita iste veličine kroz koji prolazi i zrno.** Opit sejanja i korišćenje sita nije moguće ako se tlo sastoji od glinenih i prašinih frakcija, jer su ona isuviše sitna i krhka da bi se mogla uspešno i jednostavno mehanički izdvojiti po veličini. Veličina takvih zrna se određuje "opitom hidrometrisanja" ili "areometrisanja".

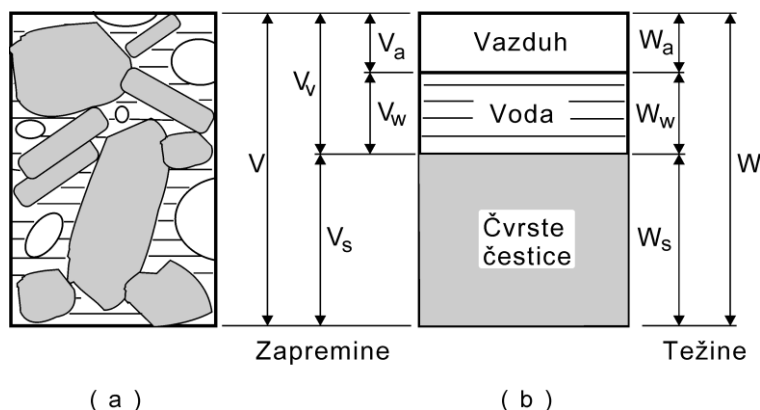
DIJAGRAM GRANULOMETRIJSKOG SASTAVA



Slika 2.1. Granulometrijski dijagram

## 1.3 ODNOSI FAZA i POKAZATELJI FIZIČKOG STANJA TLA

Tlo se sastoji od tri faze: od *čvrstih zrna, vode i vazduha* pa se njihovo relativno učešće u masi tla opisuje odgovarajućim pokazateljima. Radi opisivanja osnovnih odnosa uzorak tla sa fazama koje ga čine može se predstaviti modelom prikazanim na Slici 2.2. Čvrstu fazu čine mineralna zrna različitog sastava i oblika. Tečnu fazu čini voda, koja u prirodi ne mora biti hemijski čista. Gasovitu fazu čini najčešće vazduh i vodena para.



Slika 2.2. Model tla sa učešćem pojedinih faza. (a) Element prirodnog tla, (b) Element tla izdijeljen na faze

SPECIFIČNA TEŽINA  $G_s$  u mehanici tla je naziv za odnos između jedinične težine čvrstih čestica  $\gamma_s$  i jedinične težine vode  $\gamma_w$ , te je, uprkos neadekvatnom nazivu, neimenovan broj:

$$G_s = \frac{W_s / V_s}{\gamma_w} = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

gde je

$W_s$  težina suvog uzorka tla  
 $V_s$  zapremina čvrstih čestica

Jedinična težina čvrstih čestica je:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} = G_s \gamma_w$$

Jedinična težina vode zavisi od temperature, pritiska i geografske širine. U mehanici tla se kao merodavna veličina generalno usvaja da je  $\gamma_w = 9.807 \text{ kN/m}^3$ . Ova brojka je lako prepoznatljiva konstanta, i nije uobičajeno, niti se preporučuje da se za jediničnu težinu vode  $\gamma_w$ , pri obradi rezultata laboratorijskih opita, i u svim geomehaničkim proračunima, koji pretenduju na izvesnu tačnost, koristi zaokružena veličina od  $10 \text{ kN/m}^3$ , osim kada sa radi o gruboj proceni neke izvedene veličine.

Specifična težina zrna tla se najčešće kreće u relativno uskim granicama, tako da je za prirodna tla  $G_s = 2.6 \text{ do } 2.8$ .

U pogledu relativnog učešća pojedinih faza, uzorak tla se može opisati sa jednim od sledeća tri stanja:

- (a) SUV. Šupljine, tj. pore mogu biti potpuno suve i ispunjene samo vazduhom. Za takvo stanje uzorak se izlaže sušenju, najčešće u sušnici, na temperaturi od oko  $105^{\circ}\text{C}$ . Tada je  $V_w = 0$ , odnosno  $V_v = V_a$ .
- (b) ZASIĆEN. Šupljine mogu biti potpuno ispunjene vodom, i zato se kaže da je tlo zasićeno. Takvi uslovi su tipični za prirodne uslove, ispod nivoa podzemne vode i u zoni kapilarnog penjanja vode u tlu. Tada je  $V_v = V_w$ .
- (c) NEZASIĆEN. Uzorak tla može biti delimično zasićen, kada pore sadrže i vodu i vazduh. Tada je  $V_w < V_v$ .

POROZNOST ili RELATIVNA POROZNOST,  $n$  je odnos zapremine pora i ukupne zapremine uzorka, ponekad se množi sa  $100$  i izražava u procentima:

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

KOEFICIJENT POROZNOSTI  $e$  predstavlja odnos između zapremine pora i zapremine čvrstih čestica:

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

Očigledno, s obzirom na prikazane definicije, između  $e$  i  $n$  mora da postoji jednoznačna veza. Može se pokazati da je:

$$n = \frac{e}{1+e} \quad (x100\%)$$

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

Iako se ova dva pokazatelja mogu ravnopravno upotrebljavati, izvesnu prednost ipak treba dati koeficijentu poroznosti  $e$ , jer on definiše sadržaj pora u odnosu na zapreminu čvrstih čestica. Pri deformisanju uzorka znatno se menja samo zapremina pora, dok je zapremina čvrstih čestica praktično konstantna. Ukoliko bi se promena zapremine opisivala sa promenom poroznosti  $n$ , u definiciji promene zapremine menjali bi se i brojitelj i imenitelj, a u definiciji koeficijenta poroznosti menja se samo brojitelj.

SADRŽAJ VODE ili VLAŽNOST  $w$  se definiše kao odnos između težine vode  $W_w$  i težine čvrstih čestica u uzorku tla  $W_s$  i najčešće se izražava u procentima:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \quad (x100\%)$$

Sadržaj vode u nekim materijalima kao što su meke i žitke gline, najčešće normalno konsolidovane i visoke plastičnosti, može biti i veći od  $100\%$ .

STEPEN ZASIĆENJA,  $S_r$  je odnos između zapremine vode  $V_w$  i zapremine pora  $V_v$ , koji se može izraziti i procentima, tj.:

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \quad (x100\%)$$

Može se pokazati da je:

$$S_r = \frac{w}{w_z} \quad (x100\%)$$

gde je  $w_z$  vlažnost uzorka pri potpunom zasićenju.

Stepen zasićenja se može izraziti preko vlažnosti  $w$  i koeficijenta poroznosti  $e$  u obliku korisnog izraza:

$$S_r = \frac{w G_s}{e}$$

U slučaju potpuno zasićenog tla  $S_r = 1$ , dakle:

$$e = w_z G_s$$

Prema definiciji stepena zasićenja, moguća su tri karakteristična stanja uzorka koja se opisuju ovim pokazateljem, ili:

$$\begin{aligned} S_r = 0 & \quad \text{suvo tlo,} \\ 0 < S_r < 100\% & \quad \text{nezasićeno ili delimično zasićeno tlo,} \\ S_r = 100\% & \quad \text{zasićeno tlo,} \end{aligned}$$

TEŽINE i ZAPREMINE. S obzirom na gore opisana moguća stanja uzorka tla uzorak date zapremine može za isti sadržaj čvrstih čestica imati različitu težinu, tj. i različitu težinu u jedinici zapremine.

---

Treba imati u vidu da se kod laboratorijskih merenja masa meri u gramima i zapremina u  $cm^3$ , a sve zapreminske težine izražavaju u jedinicama sile po jedinici zapremine u  $kN/m^3$ . Za laku konverziju rezultata,  $1 g/cm^3$  odgovara  $9.807 kN/m^3$ .

---

JEDINIČNA TEŽINA TLA ili *zapreminska težina tla*  $\gamma$  je odnos između ukupne težine uzorka  $W$  i njegove ukupne zapremine  $V$ :

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_w + V_a} \quad [kN/m^3]$$

U slučaju potpuno suvog tla, kada je  $W_w = 0$  i  $V_w = 0$ , jedinična težina uzorka tla u suvom stanju  $\gamma_d$  je odnos između težine čvrstih čestica  $W_s$  i ukupne zapremine  $V$ :

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{W_s}{V_s + V_a} \quad [kN/m^3]$$

Merenjima i elementarnim proračunima određuju se veličine  $G_s$ ,  $\gamma_s$ ,  $\gamma$  i  $\gamma_d$ , a ostali pokazatelji se iz njih mogu izračunati. Zavisnost između  $\gamma$ ,  $\gamma_d$  i  $w$  se može izvesti iz osnovnih definicija.

Jedinična težina tla u zavisnosti od vlažnosti:

$$\gamma = (1 + w) \gamma_d$$

Kada su sve pore ispunjene vodom, ( $S_r = 1$ ), jedinična težina tla u zasićenom stanju je:

$$\gamma_z = \frac{W_z}{V} = \frac{W_s + W_{w,z}}{V_s + V_w} \quad [kN/m^3]$$

Ako je  $w = w_z$ , tada je *težina tla u zasićenom stanju*:

$$\gamma_z = (1 + w_z) \gamma_d$$

gde je  $w_z$  vlažnost uzorka tla (decimalni broj) u stanju potpunog zasićenja.

Efektivna zapreminska težina tla pri potapanju u vodu sledi iz Arhimedovog zakona, tako da je *potopljena težina tla*:

$$\gamma' = \gamma_z - \gamma_w$$

Ovde do sada definisani pokazatelji  $G_s$ ,  $\gamma_s$ ,  $n$ ,  $e$ ,  $w$ ,  $S_r$ ,  $\gamma$ ,  $\gamma_d$ ,  $\gamma_z$  i  $\gamma'$  nisu sve međusobno nezavisne veličine, jer između njih postoji niz jednoznačnih relacija. Pri tome treba imati u vidu da se neke veličine direktno mere, a druge su izvedene prema odgovarajućim definicijama.

S obzirom da je pri potpunom zasićenju, kada je zapremina vazduha u porama jednaka nuli, vlažnost uzorka tla je:

$$w_z = \frac{V_v \gamma_w}{W_s} = \frac{(V - V_s) \gamma_w}{W_s} = \left( \frac{V}{W_s} - \frac{V_s}{W_s} \right) \gamma_w$$

Iz gornjeg izraza sledi da je vlažnost tla pri potpunom zasićenju:

$$w_z = \left( \frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{\gamma_s} \right) \gamma_w$$

Karakteristične vrednosti nekih osnovnih pokazatalja za tipične uzorke tla date su u Tabeli 2.1.



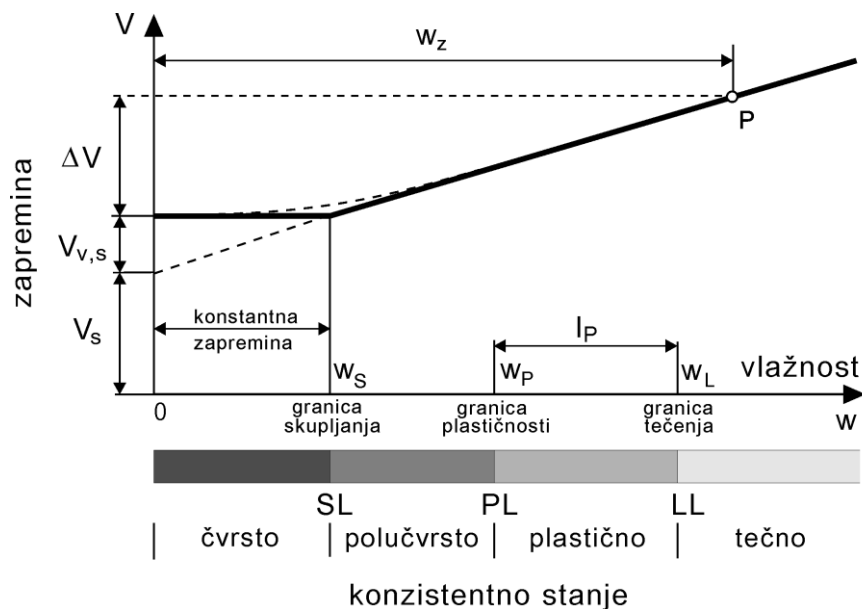
**Tabela 2.1 Karakteristične vrednosti nekih osnovnih pokazatelja**

Br. Opis tla	$e$	$w_z$ %	$\gamma_d$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_z$
1 Pesak jednoličan rastresit	0.85	32	14.1	18.5
2 Pesak jednoličan zbijen	0.51	19	17.1	20.4
3 Pesak graduiran rastresit	0.67	25	15.6	19.5
4 Pesak graduiran zbijen	0.43	16	18.2	21.2
5 Les kolapsibilan	0.99	36	13.4	18.2
6 Les i lesoidna glina	0.65	24	15.8	19.6
7 Meka (neorganska) glina	1.2	45	11.9	17.3
8 Tvrdna (neorganska) glina	0.6	22	16.7	20.2
9 Meka glina sa malo org. materija	1.9	70	9.1	15.4
10 Meka glina sa mnogo org. materija	3.0	110	6.8	14.0
11 Meka montmorijonitska glina	5.2	194	4.2	12.6
12 Pepeo termoelektrana ( $G_s=2.15$ )	2.1	98	6.9	13.5

Za GRANICE KONZISTENTNIH STANJA, ili *Aterbergove granice konzistencije*, često se koristi i uži termin - *granice plastičnosti* ili *granice konzistentnih stanja*. Kao što je već naglašeno, ove granice se odnose isključivo na *sitnozrna tla*. Aterbergove granice služe da se bliže definišu, na indirektan način, osobine glinovitih komponenti u tlu. Za glinovite materijale je karakteristično da menjaju konzistentno stanje pri promeni sadržaja vode. Raspon promena konzistentnih stanja ilustrovan je na Slici 2.2.

Zamislimo da smo izvesnu količinu glinovitog tla izmešali u znatnoj količini vode koja odgovara vlažnosti  $w_z$ , (tačka *P* na Slici 2.2), tako da dobijemo žitku tečnost koja po gustini, primera radi, asocira na krem-supu, čija je smičuća čvrstoća jednaka nuli. Ako bi, na primer, ovoj masi smanjivali sadržaj vode, omogućavajući joj da se voda isparava, uz povremenu homogenizaciju mešanjem, ukupna zapremina bi se smanjila, masa postala gušća, povećao bi se viskozitet tako da bi pri nekoj vlažnosti materijal dobio izvesnu, istina sasvim malu ali merljivu smičuću čvrstoću reda veličine od 1.6 - 2 kN/m<sup>2</sup>, kakvu, na primer, ima zubna pasta, tada možemo reći da materijal ima vlažnost na *granici tečenja* (granici tečnosti)  $w_L$  ili *LL*. Pri daljem smanjivanju sadržaja vode masa postaje još gušća, sve do granice pri kojoj se oblik mase ne može menjati bez narušavanja kontinuiteta materijala, pa se kaže da je materijal na *granici plastičnosti*  $w_P$  ili *PL* i smičuću čvrstoću reda veličine od 170 - 200 kN/m<sup>2</sup>. U intervalu vlažnosti od *LL* do *PL* materijal je *plastičan*, kao na primer, margarin na sobnoj temperaturi, te nakon deformisanja zadržava nametnut deformisani oblik i posle prestanka delovanja opterećenja. Ako se sušenje nastavi, smanjuje se zapremina do stanja kada se zrna počinjaju međusobno oslanjati na način da se zapremina više ne menja i voda se evakuise iz pora bez promene zapremine skeleta. Kaže se da zapremina skeleta tla, koju čine

zapremina čvrstih čestica i zapremine pora, ostaje približno konstantna pri svim vlažnostima manjim od *granice skupljanja*  $w_s$  ili *SL*.



Slika 2.2. Konzistentna stanja sitnozrnog tla u zavisnosti od vlažnosti

Kada je vlažnost sitnozrnog tla u intervalu između *PL* i *SL*, materijal ima konzistenciju tvrdog sira, plastično se deformiše pri opterećivanju, ali se na njemu pri tome pojavljuju pukotine. Ukoliko je vlažnost sitnozrnog tla manja od granice skupljanja, tlo ima tvrdi konzistenciju, drobi se pri deformisanju kao tvrda bombona. Granice između konzistentnih stanja nisu oštre. One su arbitrarno definisane pokazateljima koji se određuju standardizovanim opitima na frakciji zrna koja su manja od 0.425mm (JUS U.B1.020, JUS U.B1.022).

Pomoću ovog pokazatelja, koji se označava sa *LL* ili  $w_L$ , sitnozrne frakcije tla mogu se podeliti na sledeće osnovne grupe:

- $w_L < 20\%$  - neplastično (*NP*)
- $20\% < w_L < 50\%$  - niska plastičnost (*L*)
- $w_L > 50\%$  - visoka plastičnost (*H*).

U verziji nešto proširene klasifikacije, srednja grupa (*L*) iz gornje liste se može deliti na dve i to tako da je

- $20\% < w_L < 35\%$  - niska plastičnost (*L*),
- $35\% < w_L < 50\%$  - srednja plastičnost (*I*).

Oznake gore označenih grupa *NP*, *L*, *I* i *H* prikazane su na odgovarajućim poljima na Slici 2.3 i Slici 2.4 u okvirima Kasagrandeovog dijagrama plastičnosti.

INDEKS PLASTIČNOSTI definiše interval  $I_p = LL - PL$ . Najznačajniji ili najveći deo mehanike sitnozrnog tla bavi se područjem u granicama vlažnosti tla u ovom rasponu od  $LL$  do  $PL$ .

INDEKS KONZISTENCIJE je pokazatelj kojim se numerički definiše stanje konzistencije izrazom:

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

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

$I_C < 0$	<i>tečno stanje</i>
$0 < I_C < 1.00$	<i>plastično stanje</i>
$1 < I_C < 1.25$	<i>polutvrdo stanje</i>
$I_C > 1.25$	<i>tvrdno stanje</i>

Podrazumeva se da bi tlo sa  $I_C < 0$  bilo predmet izučavanja mehanike fluida, jer se tlo ponaša kao, manje ili više, gusta ili retka tečnost. U intervalu  $I_C = 0$  do  $1$ , koji se najčešće ima u vidu kada se razmatra ponašanje sitnozrnog tla, mogu se bliže opisati empirijski kriterijumi za orijentacionu terensku ocenu indeksa konzistencije, od koje u najvećoj meri zavisi nedrenirana smičuća čvrstoća, kao što sledi:

$I_C = 0.00 - 0.25$  *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 većim naporom.*

$I_C = 0.75 - 1.00$  *Tvrdo-plastično konzistentno stanje, ne može se utisnuti palac, ali može vrh zaoštrene olovke.*

$I_C = 1.00 - 1.25$  *Polutvrdo konzistentno stanje, tlo se praktično ne deformiše pod opterećenjima koja se mogu naneti rukom, ili zašiljenim predmetom.*

$I_C > 1.25$  *Tvrdo tlo, praktično nedeformabilno za tipična opterećenja od građevina uobičajenih dimenzija.*

#### 1.4 JEDINSTVENA KLASIFIKACIJA

U prirodi postoje veoma raznolike vrste tla. Zato je uočena potreba da se definiše neki sistem pomoću kojeg bi se pojedine vrste tla svrstavale u grupe, klase ili kategorije, sa sličnim osobinama. Postoji više različitih klasifikacionih sistema, ali prednost treba dati onoj sistematizaciji koja je u svetu najrasprostranjenija, jer ona omogućava komunikaciju između inženjera i relativno brzu razmenu najvažnijih tehničkih informacija.

Za potrebe mehanike tla u građevinarstvu i građevinske geotehnike najpogodnija je tzv. "jedinствена klasifikacija". Ovaj klasifikacioni sistem se zasniva na predlogu koji

je dao Kasagrande (Casagrande 1948), i u prvobitnom obliku poznat je kao *AC klasifikacija (Airfield Clasification)*. U pojedinim zemljama primenjuju se različite varijacije ovog klasifikacionog sistema, ali je osnovni princip veoma sličan, a često identičan sa izvornim. Osnovni princip: svaki tip tla se može opisati sa dva slova, dve oznake, a mogu se upotrebiti i dvojni simboli prema šemi prikazanoj u Tabeli 2.2.

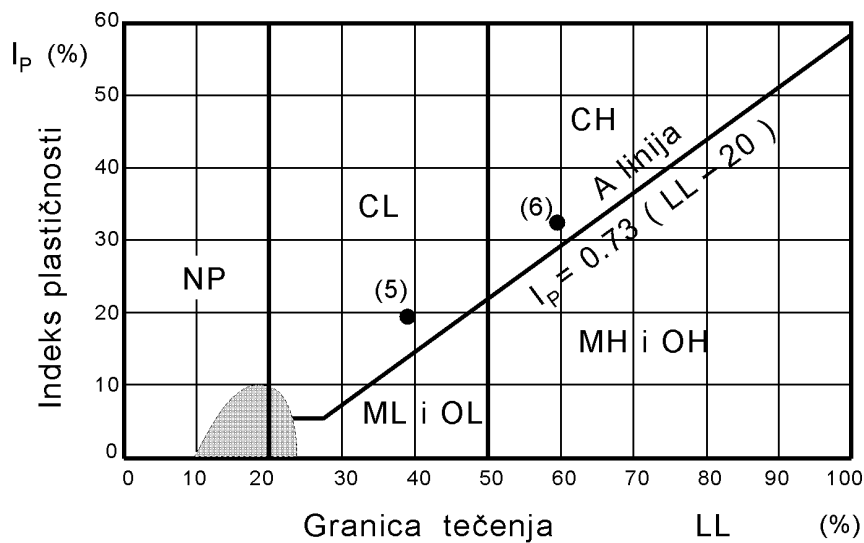
**Tabela 2.2. Oznake koje se koriste za formiranje klasifikacionih simbola.**

PRIMARNA OZNAKA		OPISNA OZNAKA	
Krupnozrna tla sa preko 50 % zrna većih od 0,075 mm	G (šljunak)	W	dobra
	S (pesak)	U	jednolična graduiranost
		P	slaba
		F	prašine primese
		C	gline
Sitnozrna tla sa preko 50 % zrna manjih od 0,075 mm	M (prašina)	L	niska
	C (glina)	(I)	(srednja) plastičnost
	O (organsko tlo)	H	visoka
Vlaknasta struktura		P <sub>t</sub>	(treset)

Tabela jedinstvene klasifikacije prikazane na Slici 2.4 sadrži rezime svih relevantnih laboratorijskih kriterija sa odgovarajućim simbolima i opisima

Krupnozrna tla se klasifikuju prema veličini zrna, obliku granulometrijske krive izražene koeficijentom jednoličnosti  $C_U$  i koeficijentom zakrivljenosti  $C_Z$ , ukoliko je sadržaj primesa sitnozrnih frakcija relativno mali. Iz Tabele 2.2 se vidi da se krupnozrna tla, a to su ona sa prvim slovom *G* ili *S*, klasifikuju drugim slovom, opisnom oznakom koja proističe iz granulometrijskog sastava (*W* ili *U* ili *P*), ili na osnovu količine primesa sitnijih frakcija (*F* ili *C*), ukoliko one postoje. Na primer, kriva (1) na Slici 2.1 je dobro granulisan šljunak, simbol je *GW*, jer je više od 50% zrna veće od 2 mm, ima manje od 5% zrna manjih od 0,075 mm,  $C_U > 4$  i  $C_Z$  je između 1 i 3. Ako, međutim, uslov za  $C_Z$  nije ispunjen i tlo sadrži preko 12% zrna manjih od 0.075 mm, takav šljunak bi se klasifikovao kao *GF* ili *GC*, zavisno od plastičnosti primesa sitnih čestica. Na Slici 2.1 kriva (2) opisuje *GP*, kriva (3) je *SF*, a kriva (4) je *SU*.

Sitnozrna tla, tj. ona koja sadrže preko 50% zrna manjih od 0,075 mm, kakva su na primer prikazana krivama (5) i (6) na Slici 2.1, ne klasifikuju se primenom pokazatelja granulometrijske kompozicije. Prvo slovo klasifikacionog simbola je *C* ili *M* ili *O*, a drugo slovo je ili *L* ili (*I*) ili *H*. Oba slova, koja zajedno čine klasifikacioni simbol sitnozrnog tla, proističu isključivo iz pokazatelja granica konzistentnih stanja prema Kasagrandeovom dijagramu plastičnosti prikazanom na Slici 2.3 ili Slici 2.4.



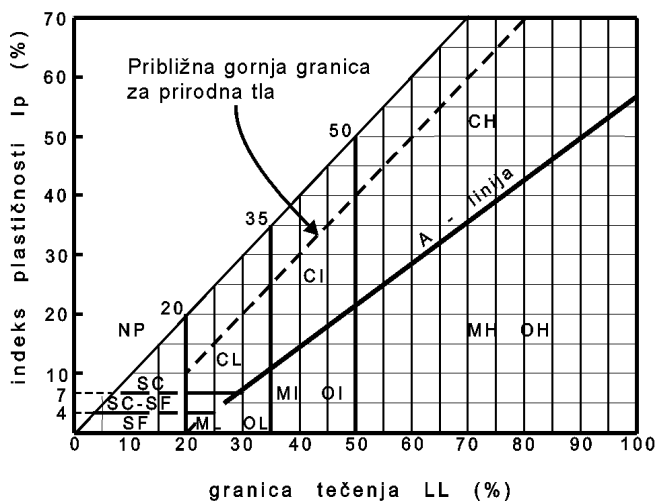
Slika 2.3. Kasagrandeov dijagram plastičnosti

Na primer, kriva (5) na Slici 2.1 bi opisivala prašinu ako bi se uzimao u obzir samo granulometrijski sastav, jer ima najviše prašinih frakcija, međutim, ovakvo tlo se klasifikuje kao glina niske odnosno srednje plastičnosti (CL ili CI) prema pokazateljima prikazanim tačkom (5) na Slici 2.7. Možda nije suvišno ponoviti da, na primer, kriva (6) na Slici 2.1, ukazuje da tlo sadrži najviše prašinovitih frakcija, recimo oko 60% zrna između 0,002 i 0,075 mm, pa se ipak ne klasifikuje kao prašina, čak iako ima skoro dva puta manje glinovitih frakcija, tj. zrna manjih od 0,002 mm. Ako se na dijagramu plastičnosti tačka (6) za ovo tlo na Slici 2.3 se nalazi iznad "A linije", tlo se klasifikuje kao CH, glina visoke plastičnosti.

Ovde opisan AC sistem se pokazao kao veoma koristan za klasifikovanje tla u različitim primenama kao što je građenje puteva, aerodroma, nasutih brana i temeljenje građevinskih objekata. U praksi se svakom klasifikacionom tipu tla mogu pripisati određene tipične osobine i u takvom obliku mogu da posluže kao koristan pokazatelj pri projektovanju i građenju. Mnoga tla se mogu klasifikovati vizuelno, na terenu. Za tačniju klasifikaciju potrebno je samo odrediti granulometrijski sastav i granice konzistentnih stanja  $w_L$  i  $w_p$ . Klasifikacija ne predstavlja zamenu za opite inženjerskih svojstava i analizu rezultata takvih ispitivanja. Za potpunu klasifikaciju tla za potrebe temeljenja građevinskih objekata i druge geotehničke radove neohodno je i tačnije utvrđivanje osobina kao što su smičuća čvrstoća sitnozrnog tla, relativna zbijenost krupnozrnog tla, kompresibilnost ili stišljivost, ugradljivost, vodopropusnost, i dr. Ispitivanja ovih karakteristika vrše se odgovarajućim opitima koji su opisani u narednim poglavljima, a parametri koji se takvim ispitivanjima dobijaju zavise, između ostalog, i od mikrostrukture tla.

1. PRIRODA TLA i OSNOVNI POKAZATELJI

GLAVNA PODELA TLA		LABORATORIJSKI KLASIFIKACIONI KRITERIJUMI TLA		SIMBOL GRUPE TLA		
<b>K R U P N O Z R N A T L A</b> Više od 50 % zrna je krupnije od 0,075 mm	ŠLJUNKOVI I ŠLJUNKOVITA TLA Više od 50 % krupnozrne frakcije je veće od 2 mm	ČISTI ŠLJUNKOVI	Cu > 4 i Cz između 1 i 3	GW		
			Ne zadovoljava oba gore navedena uslova za GW	Preovladava jedna frakcija	GU	
				Nedostaje jedna frakcija	GP	
		ŠLJUNKOVI SA SITNIM FRAKCIJAMA	Atterbergove granice ispod "A" linije i $I_p < 4$	Atterbergove granice iznad "A" linije i $I_p$		GF
			Atterbergove granice iznad "A" linije i $I_p > 7$	između 4 i 7 zahtevaju dvojne simbole		GC
			Cu > 6 i Cz između 1 i 3		SW	
	PESKOVI I PESKOVITA TLA Više od 50 % krupnozrne frakcije je manje od 2 mm	ČISTI PESKOVI	Ne zadovoljava oba gore navedena uslova za SW		Preovladava jedna frakcija	SU
			Nedostaje jedna frakcija		SP	
			Atterbergove granice ispod "A" linije i $I_p < 4$	Atterbergove granice iznad "A" linije i $I_p$		SF
		Atterbergove granice iznad "A" linije i $I_p > 7$	između 4 i 7 zahtevaju dvojne simbole		SC	
		PESKOVI SA SITNIM FRAKCIJAMA	Klasifikacija na osnovu procenta sitnih frakcija Manje od 5 % GW, GU, GP, SW, SU, SP Više od 12 % GF, GC, SF, SC			
			Od 5 % do 12 % granični slučajevi zahtevaju dvojne simbole			
<b>S I T N O Z R N A T L A</b> Više od 50 % zrna je sitnije od 0,075 mm	PRAŠINE, GLINE I ORGANSKA TLA NISKE PLASTIČNOSTI Granica tečenja 35 % ili manje			ML		
				CL		
				OL		
	PRAŠINE, GLINE I ORGANSKA TLA SREDNJE PLASTIČNOSTI Granica tečenja između 35 % i 50 %			MI		
				CI		
				OI		
	PRAŠINE, GLINE I ORGANSKA TLA VISOKE PLASTIČNOSTI Granica tečenja 50 % ili više			MH		
				CH		
				OH		
JAKO ORGANSKA TLA	Na osnovu vizuelne makroklasifikacije			Pt		



Slika 2.4. Jedinstvena klasifikacija, laboratorijski kriterijumi i simboli