

2. LABORATORIJSKA IDENTIFIKACIJA I KLASIFIKACIJA TLA

2.1 Uvod

Kao što je već rečeno, generalna osnova za klasifikaciju usvojena je podela na dve glavne klase sa graničnom vrednošću veličine zrna od **0.075 mm**, tako da razlikujemo:

- **krupnozrna tla:** koja sadrže preko 50% zrna većih od 0.075 mm, i
- **sitnozrna tla:** koja sadrže preko 50% zrna manjih od 0.075 mm.

Krupnozrna tla, u koja spadaju pesak (*S*) i šljunak (*G*), uglavnom se mogu raspoznati golim okom tako da je terenska identifikacija relativno jednostavna. Krupnozrno tlo u sebi može sadržati primese sitnijih zrna (frakcija), ali su veličina i oblik zrna ipak najčešće dovoljni pokazatelji za identifikaciju. Za laboratorijsku identifikaciju i klasifikaciju krupnozrnog tla primenjuje se opit granulometrijskog sastava tla (SRPS U.B1.018;2005).

Sitnozrna tla, u koja spadaju prašina (*M*) i glina (*C*), uglavnom se ne mogu raspoznati golim okom tako da se koriste indirektni opiti za njegovu identifikaciju. Ovo tlo, naročito ako sadrži glinene čestice, menja konzistentno stanje sa promenom sadržaja vode. Ova osobina, koju inače nemaju krupnozrna tla, naziva se **plastičnost**. Laboratorijska identifikacija i klasifikacija sitnozrnog tla vrši se na osnovu Aterberg-ovih granica konzistencije (SRPS U.B1.020;1980).

2.2 Granulometrijski sastav tla (SRPS U.B1.018;2005)

Prisustvo zrna određenih veličina (*frakcija*) u masi tlu određuje se laboratorijskim opitom određivanja granulometrijskog sastava tla. Granulometrijski sastav je definisan krivom koja opisuje veličinu zrna različite veličine izraženu u procentima težine. Iako se na granulometrijskom dijagramu pored veličina zrna krupnozrnog tla prikazuju i veličine zrna sitnozrnog tla, on se isključivo koristi za klasifikaciju **krupnozrnog tla**. Osim oblika granulometrijske krive, za opis krupnozrnog tla upotrebljavaju se i sledeći numerički pokazatelji:

Koeficijent jednoličnosti ili uniformnosti:

$$C_U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Koeficijent zakrivljenosti:

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

gde je:

- d_{10} - *efektivna veličina zrna*; od kojeg je 10% materijala u uzorku manje od ove veličine
- d_{60} - *dominantna veličina zrna*; kojeg je 60% materijala u uzorku manje od ove veličine
- d_{30} - *veličina zrna*; od kojeg je 30% materijala u uzorku manje od ove veličine

Beleške:

Za određivanje granulometrijskog sastava tla koristimo dve metode:

- **metoda sejanja**; koristi se za krupnozrna tla, koja se sastoje najvećim delom od čestica (zrna) većih od 0.075 (0.06) mm.
- **metoda sedimentacije**; koristi se za sitnozrna tla, koja se sastoje najvećim delom od čestica (zrna) manjih od 0.075(0.06) mm.

Kombinovanje metode sejanja i sedimentacije omogućava dobijanje kontinualne krive granulometrijskog sastava tla, počevši od najkrupnijih pa do nasitnijih čestica tla, koja se koristi pri:

- klasifikaciji tla
- određivanju vodopropusnosti tla
- određivanju osetljivosti tla na mraz, i
- projektovanju filtra.

2.1.1 Metoda sejanja

Razlikujemo dva postupka unutar metode sejanja:

- **mokro sejanje**, za tla sastavljena uglavnom od krupnozrnih čestica tla, i
- **suvo sejanje**, za tla sastavljena uglavnom od krupnozrnih čestica tla ali koja sadrže beznačajnu količinu frakcija prašine i gline.

Postupak mokrog sejanja

Deo uzorka za određivanje granulometrijskog sastava dobija se četvrtanjem uzorka koji se zatim suši na temperaturi od 105 °C do 110 °C da da bi se dobila količina u skladu sa Tabelom I ili Prilogom A standarda.

- izmeri se masa osušenog dela uzorka tla koji se ispituje (m_1), sa tačnošću od 0.1 %.
- stavi se uzorak koji se ispituje na sito otvora 20 mm i očetka svaka krupna čestica koja ne može da prođe kroz sito, čeličnom četkom ili nekom tvrdom četkom, dok ne bude čista od sitnozrnog materijala.
- frakcija zadržana na situ otvora od 20 mm se proseje na odgovarajućim većim sitima, izmeri se količina zaostala na svakom situ, (m), i upiše u kolonu 2 zapisnika o rezultatima ispitivanja.
- izmeri se osušeni deo materijala koji je prošao kroz sito 20 mm (m_2), sa tačnošću od 0.1% od mase (m_1) i upiše u kolonu 2 zapisnika o rezultatima ispitivanja.
- podeli se osušeni materijal, tako da se dobije deo uzorka za ispitivanje odgovarajuće mase (oko 2 kg). Izmeri se umanjeni deo uzorka (m_3) do tačnosti 0.1% od mase (m_1) i upiše u kolonu 2 zapisnika o rezultatima ispitivanja.
- umanjena frakcija se stavi u odgovarajuću posudu i potpuno potopi u vodu. Ukoliko umanjena frakcija sadrži sitnozrnu frakciju (prašine i gline) u vodu se predhodno doda natrijum-heksametafosfat u koncentraciji od 2 g na litar vode. Umanjena frakcija mora da odstoji u rastvoru najmanje 1 sat, uz povremeno mešanje.

Beleške:

- materijal se ispere, malo pomalo, kroz sito otvora 2 mm, ispod koga je postavljeno sito otvora od 0.063 mm. Frakcije koje prođu kroz sito otvora 0.063 (0.075) mm odbacuju se sa vodom. Ispiranje se nastavlja sve dok voda kojom se ispira ne bude bistra. Posebna pažnja se mora obratiti na to da sita ne budu preopterećena čvrstim česticama i vodom.
- sav materijal zadržan na sitima premesti se u ravnu posudu i osuši u sušari na temperaturi od 105 °C do 110 °C.
- kada se ohladi na sobnu temperaturu, osušena frakcija se izmeri (m_4) do tačnosti od 0.1% od mase (m_3) i upiše u kolonu 2 zapisnika o rezultatima ispitivanja.
- osušena frakcija se proseje kroz odgovarajuća sita do sita sa otvorom 6.3 mm. Zadržana količina na svakom situ (m) se izmeri do tačnosti 0.1% od mase (m_3) i upiše u kolonu 2 zapisnika o rezultatima ispitivanja.
- ako frakcija koja je prošla kroz sito sa otvorom 6.3 mm ne sadrži više od 150 g, seje se na suvo na odgovarajućim manjim sitima, uključujući i sito od 0.063 mm. Izmeri se zadržana količina materijala na svakom situ (m), kao i fine čestice (m_F) koje prođu kroz sito otvora 0.063 mm do tačnosti 0.1% od mase (m_3) i upiše u kolonu 2 zapisnika o rezultatima ispitivanja.
- ako je frakcija koja je prošla kroz sito otvora 6.3 mm veća od 150 g, ova masa se izmeri (m_5) i upiše u kolonu 2, zatim se uz pomoć razdelne kutije ili četvrtanjem količine materijala smanji na 100 do 150 g. Ova umanjena masa se izmeri (m_6) i upiše u kolonu 2, a zatim se proseje na odgovarajućim sitima manjeg otvora, uključujući i sito sa otvorom 0.063 mm. Zadržane količine na svakom situ se izmere, kao i prolaz finih čestica kroz sito otvora 0.063 mm (m_E). Ukoliko proba nije smanjena, m_6 je isto kao m_5 . Merenja se vrše do tačnosti 0.1% od mase (m_6) i upiše u kolonu 2 zapisnika o rezultatima ispitivanja.

Postupak suvog sejanja

Deo uzorka za određivanje granulometrijskog sastava dobija se četvrtanjem uzorka koji se zatim suši na temperaturi od 105 °C do 110 °C da bi se dobila odgovarajuća količina u skladu sa Tabelom ili Prilogom A standarda.

- izmeri se osušeni deo ispitanog uzorka tla (m_I), sa tačnošću do 0.1 %.
- spoji se sa dnom ono sito kroz koje je prošla celokupna masa dela uzorka koji se ispituje.
- sito se protrese tako da se materijal kotrlja u njemu. Čestice tla se mogu ručno postaviti u otvore sita da bi se videlo da li će propasti, ali se ne smeju gurati da prođu. Mora se voditi računa o tome da na situ ostanu samo pojedinačne čestice. Količina zrna zadržanih na situ (m) izmeri se sa tačnosti do 0.1 %, mase (m_I) i upiše u kolonu 2 zapisnika o rezultatima ispitivanja.
- materijal iz dna se premesti u odgovarajuću posudu, a dno se ponovo pričvrsti za sledeće sito manjeg otvora. Sadržaj iz posude se ponovo sipa na sito i ponovi se predhodno opisan postupak.
- postupak se ponavlja na svim sitima koja se koriste.
- ukoliko se neko od sita preoptereti, sejanje se vrši parcijalno, tako da pojedinačni delovi ne prelaze mase propisane standardom.

Beleške:

2.1.2 Metoda sedimentacije (hidrometrisanje)

Koristi se za određivanje sadržaja i raspodele tla čije su čestice manje od 2 mm, a sadrže više od 10% čestica manjih od 0.075 (0.063) mm.

Postupak hidrometrisanja

Kada dno čini deo uzorka prethodno već prethodno prosejanih kroz sita otvora 0.075 (0.063) mm i kada je utvrđeno da tlo sadrži više od 10% čestica manjih od 0.075 (0.063) mm, za ispitivanje se koristi samo deo uzorka čije su čestice manje od 0.075 (0.063) mm i koji je sačuvan u obliku suspenzije. Ispitni uzorak dobija se ukuvavanjem, a zatim sušenjem.

- potrebna suva masa dela uzorka zavisi od vrste tla koje se ispituje. Potrebna masa je oko 100 g za peskovita tla i oko 50 g za prašine i gline.
- izmeri se suva masa dela uzorka koji se ispituje do 0.01 g tačnosti, što predstavlja početnu suhu masu (m_0).
- postavi se deo uzorka koji se ispituje u erlenmajer.
- doda se 100 cm³ disperzivnog sredstva pipetom u erlenmajer sa tлом. Intezivno se meša sve dok čestice tla ne budu razdvojene u suspenziji. Ako se koristi mehanička mućkalica, posudu treba mućkati najmanje 4 h ili preko noći, ukoliko je to potrebno.
- prenese se suspenzija iz elenmajera ili suda u kome je vršeno razdvajanje na sito sa otvorom 0.075 (0.063) mm i sabirnom posudom. Tlo na situ ispere se mlazom destilovane vode iz prskalice. Za ovo ispiranje ne bi trebalo koristiti više od 500 cm³ vode.
- prenese se suspenzija iz sabirne posude u menzuru zapremine 1000 cm³ i dopuni destilovanom vodom do oznake 1000 cm³. Ovako pripremljena suspenzija koristi se za ispitivanje sedimentacije.
- menzura sa suspenzijom zatvori se gumenim čepom, snažno promeša, a zatim spusti u vodeno kupatilo konstantne temperature, tako da bude uronjena do oznake od 1000 cm³. U slučaju nedostatku vodenog kupatila, ispitivanje se vrši u prostoriji u kojoj ne postoji mogućnost velikih temperaturnih promena.
- u drugu menzuru od 1000 cm³ doda se ista količina disperzivnog sredstva koje se koristi za disperziju čestica u prvoj menzuri i dopuni destilovanom vodom. Menzura se spusti u kupatilo pored menzure sa suspenzijom.
- posle jednog sata ili kada se temperature suspenzije i rastvora sa disperzivnom sredstvom izjednače sa temperaturom kupatila, izvadi se menzura sa disperzivnim sredstvom, promeša se i odmah se vrati u kupatilo. Izvadi se menzura sa suspenzijom, snažno izmeša obrtanjem gore-dole 60 puta za 2 minuta i vrati u vodeno kupatilo.
- u trenutku kada je menzura sa suspenzijom vraćena u kupatilo, sekundomer se pušta u rad i pažljivo se skidaju gumeni čepovi sa menzura.
- kalibrisani hidrometar se uroni u suspenziju 15 s pre svakog čitanja, do dubine malo ispod njegove plutajuće pozicije, i pusti da slobodno pluta.
- ekvivalentno čitanje hidrometra (R_h) za gornji rub meniska očitava se posle 2 min, 5 min, 15 min, 45 min, 2 h, 5 h i 24 h od trenutka početka sedimentacije i još dva puta narednih dana,

Beleške:

ukoliko je to potrebno. Zabeleži se proteklo vreme u kolonu 3, a čitanja u kolonu 5 zapisnika o rezultatima ispitivanja.

- nakon svakog čitanja, hidrometar se polako izvadi, opera potapanjem u destilovanu vodu i spusti u menzuru sa disperzivnim sredstvom koje je na istoj temperaturi kao i suspenzija. Ekvivalentno čitanje gornjeg ruba meniska se očita i zabeleži se vrednost (R_0') u kolonu 6 zapisnika o rezultatima ispitivanja.
- temperatura suspenzije se kontroliše i zapisuje u kolonu 4 zapisnika o rezultatima ispitivanja nakon prvih 15 minuta od početka, a kasnije prilikom svakog merenja. Temperatura mora biti sa tačnošću $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ukoliko se temperature razlikuje za više od $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, izvrši se očitavanje hidrometra u menzuri sa disperzivnim sredstvom u skladu sa predhodno navedenim postupkom.

2.3 Aterberg-ove granice konzistencije (SRPS U.B1.020;1980)

Iako se veličine zrna sitnozrnog tla prikazuju na granulometrijskom dijagramu, ova tla se ne klasifikuju na osnovu granulometriskog sastava tla. Za ova tla karakteristično je da sa promenom sadržaja vode u tlu, odnosno **vlažnosti (w)**, menjaju konzistentna stanja od vrlo tvrdog do žitkog konzistentnog stanja. Zato se za klasifikaciju sitnozrnog tla, ocenu konzistentnog stanja i kao pomoćni podatak za pri oceni drugih fizičkih i mehaničkih osobina tla koriste *Aterberg-ove granice konzistencije*:

- granica tečenja (w_L),
- granica plastičnosti (w_P), i
- granica skupljanja (w_S).

Vlažnost tla (w) (SRPS U.B1.012;1979)

Definicija: odnos između mase vode u uzorku tla i mase suvog uzorka tla naziva se vlažnost (w) i izražava se u procentima (%). Vlažnost tla se određuje na osnovu dva ispitivanja, a kao rezultat se uzima prosečna vrednost. Izračunava po sledećem obrascu:

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W} \cdot 100 \quad [\%]$$

gde je:

- W – masa Petrijeve posudice u gramima (g)
- W_1 – masa posudice sa poklopcem i sa vlažnim uzorkom u gramima (g)
- W_2 – masa posudice sa poklopcem i sa suvim uzorkom u gramima (g)

Beleške:

Postupak određivanja vlažnosti (w)

- uzima se vlažan neporemećen ili poremećen uzorak materijala u količini od 50 do 100 g, za peskovite materijale 500 g
- stavi se u Petrijevu posudicu, kojoj se prethodno izmeri masa W
- posudica se poklopi i izmeri uzorak tla zajedno sa posudicom i poklopcem, mase W_1
- sa posudice se skinu poklopac i stavi pod posudicu a potom se sve stavi u sušnicu i suši na $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ najmanje 24 sata ili do stalne mase
- posudica sa poklopcem se izvadi iz sušnice, poklopi, stavi u eksikator, ohladi i izmeri masa W_2

2.3.1 Granica tečenja (w_L)

Definicija: sadržaj vode u sitnoznom tlu, prikazan kao procenat mase potpuno suvog tla, pri kojem sitnozrni materijal ili koloidi tla prelaze iz plastičnog u tečno konzistentno stanje.

Postupak određivanja granice tečenja (w_L)

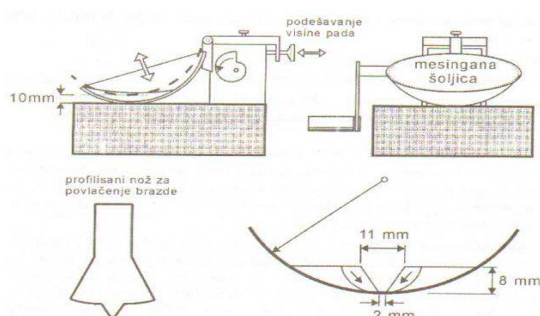
Može se izvoditi na osušenim i fino usitnjenim uzorcima, kao i na uzorcima u prirodnom stanju. Organaska tla treba ispitivati isključivo u prirodnom stanju. Ispitivanje se izvodi pomoću *Kasagrande*-ovog aparata (Slika 2.1).

- iz uzorka tla izdvoje se zrna koja ne prolaze kroz sito otvora okaca 0.5 mm
- uzorku od 200 g dodaje se 15 – 20 ml destilovane vode i posle mešanja od 5 – 20 min. uzorak se stavlja u hermetički zatvorenu posudu da izvesno vreme stoji u posudi
- zatim se uzorku dodaje postepeno od 1 – 3 ml destilovane vode dok se ne postigne željeno konzistentno stanje
- pripremljena masa uzorka tla se pomoću pljosnatog noža unese u sud aparata, tako da na sredini suda uzorak bude debljine 1 cm
- zatim se profilisanim nožem ureže žleb upravno na osovinu oko koje rotira sud. Širina žleba u dnu iznosi 2 mm
- okretanje ručice brzinom 2 o/sec registruje se broj udaraca suda (N) u trenutku kada se žleb zatvorio na dužini od 12 do 13 mm.
- iz zone gde se žleb zatvorio uzme se 20-30 g mase ispitivanog materijala i odredi sadržaj vode (w), prema standardu SRPS U.B1.012;1979.
- postupak se ponavlja 3 – 5 puta.

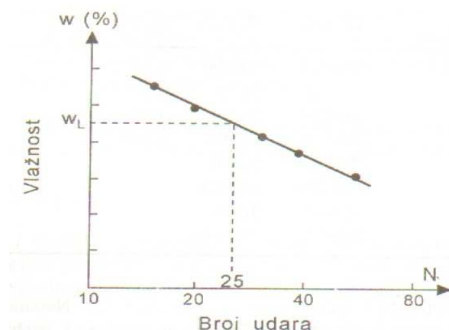
Rezultati se nanose na dijagram u kordinatnom sistemu gde se na apcisu nanosi u logaritamskoj podeli broj udaraca suda (N), a na ordinati sadržaj vode (w) u procentima u linearnoj razmeri, Slika 2.2. Presek prave linije sa ordinatom koja odgovara broju od 25 udaraca daje sadržaj vode u procentima koji odgovara **granici tečenja** (w_L).

Podela tla na osnovu veličine granice tečenja:

$w_L < 20\%$	neplastično
$20\% < w_L < 35\%$	tla niske plastičnosti
$35\% < w_L < 50\%$	tla srednje plastičnosti
$w_L > 50\%$	tla visoke plastičnosti



Slika 2.1 Kasagrande-ova treskalica



Slika 2.2 Odeđivanje granice tečenja

2.3.2 Granica plastičnosti (w_p)

Definicija: sadržaj vode u sitnoznom tlu, prikazan kao procenat mase potpuno suvog tla, pri kojem sitnozrni materijal ili koloid tla prelazi iz plastičnog u polučvrsto konzistentno stanje.

Postupak određivanja granice plastičnosti (w_p)

Može se izvoditi na osušenim i fino usitnjenim uzorcima, kao i na uzorcima u prirodnom stanju, dok organska tla treba ispitivati isključivo u prirodnom stanju.

- iz uzorka tla izdvoje se zrna koja ne prolaze kroz sito otvora okaca 0.5 mm
- uzorku od 50 g dodaje se izvesna količina destilovane vode i posle mešanja od 5 – 20 min. uzorak se stavlja u hermetički zatvorenu posudu da izvesno vreme stoji u posudi
- zatim se uzorku dodaje postepeno od 1 – 3 ml destilovane vode dok se ne postigne željeno konzistentno stanje
- od pripremljene mase uzorka formira se kugla, koja se valjanjem na staklenoj ploči oblikuje u valjak prečnika oko 6 mm
- valjanjem pomoću dlana ruke, napred – nazad, formira se valjak prečnika 3 mm
- kada se na valjku pojave pukotinicе, na uzorku se određuje sadržaj vode (w) prema standardu SRPS U.B1.012;1979.

Postupak se ponavlja na najmanje dva uzorka, a kao rezultat se uzima proseak.

Beleške:

2.3.3 Granica skupljanja (w_s)

Definicija: sadržaj vode u sitnoznom tlu, prikazan kao procenat mase potpuno suvog tla, pri kojem sitnozrni materijal ili koloid tla prelazi iz polučvrstog u čvrsto konzistentno stanje, odnosno stanje u kojem pri daljem gubitku vode usled sušenja uzorak tla ne menja svoju zapreminu.

Postupak određivanja granice skupljanja (w_s)

Može se izvoditi na osušanim i fino usitnjenim uzorcima, kao i na uzorcima u prirodnom stanju, dok organaska tla treba ispitivati isključivo u prirodnom stanju.

- iz uzorka tla izdvoje se zrna koja ne prolaze kroz sito otvora okaca 0.5 mm
- uzorku od 150 g dodaje se izvesna količina destilovane vode i posle mešanja od $5 - 20\text{ min.}$ uzorak se stavlja u hermetički zatvorenu posudu da izvesno vreme stoji u posudi
- zatim se uzorku dodaje postepeno od $1 - 3\text{ ml}$ destilovane vode dok se ne postigne konzistentno stanje pri čemu vlažnost odgovara granici tečenja (w_L) ili je malo veća.
- manji deo uzorka se stavlja u porcelanski sud koji se prethodno premaže tankim filmom sislkanske masti
- laganim udarcima suda pušta se da uzorak teče do ivica suda i postupak se ponavlja uz povremeno dodavanje delova uzorka sve dok uzorak ne ispunji sud
- gornja površina uzorka i suda se potavna čeličnim nožem ili lenjirom
- napunjeni sud se izmeri (m_1) a zatim se uzorak sa sudom suši na $60\text{ }^\circ\text{C}$ do konstantne mase i meri (m_2)
- prazan sud se napuni i izmeri zapremina vlažnog uzorka (V). Zatim se sud sa živom stavi u posudu za sušenje, u živu se pažljivo stavi osušeni uzorak
- izmeri se zapremina istisnute žive pomoću menzure i odredi zapremina suvog uzorka (V_d).

Granica skupljanja se računa iz izraza:

$$w_s = w - \frac{V - V_d}{m_d} \cdot 100 \quad [\%]$$

gde je:

- w - vlažnost,
- V - zapremina vlažnog tla,
- V_d - zapremina suvog tla,
- m_o - masa porculanskog suda
- $m_d = m_2 - m_o$ - masa suvog tla

Vlažnost se računa iz izraza:

$$w = \frac{m - m_d}{m_d} \cdot 100 \quad [\%]$$

gde je:

- $m = m_1 - m_o$ - masa suvog tla

Beleške:

2.3.4 Indeks plastičnosti (I_P)

Definicija: razlika između vlažnosti na granici tečenja (w_L) i vlažnosti na granici plastičnosti (w_P) naziva se **indeks plastičnosti**.

$$I_P = w_L - w_P$$

2.3.5 Indeks konzistencije (I_C)

Definicija: odnos između razlike vlažnosti pri granici tečenja (w_L) i prirodne vlažnosti (w_o) i indeksa plastičnosti (I_P) naziva se **indeks konzistencije**.

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

2.3.6 Indeks tečenja (I_L)

Definicija: odnos između razlike prirodne vlažnosti (w_o) i vlažnosti na granici plastičnosti (w_P) i razlike vlažnosti pri granici tečenja (w_L) i granici plastičnosti (I_P) naziva se **indeks tečenja**.

$$I_L = \frac{w_o - w_L}{w_L - w_P}$$