

1. GEOTEHNIČKI ISTRAŽNI RADOVI

Tlo (ili stena) je nastalo kroz svoju dugu geološku istoriju raznim hemijskim, fizičkim i mehaničkim procesima što je uslovalo veliku brojnost njegovih osobina i raznolikost prostornog i vremenskog rasporeda. Upravo zbog velikog broja osobina međusobna interakcija građevinskog objekta i tla (stene) koja se ostvaruje u fazi izgradnje i kasnije eksploatacije u velikoj meri zavisi od tih osobina, pa je veoma važno poznavati pouzdane informacije o njima. Za obezbeđenje ovih informacija sprovode se **geotehnički istražni radovi** koji su obavezni za sve vrste građevinskih objekata bez obzira da li se oslanjaju na tlo (zgrade, mostovi, tuneli i sl.) ili se tlo koristi kao materijal za građenje objekata (putevi, nasute brane i sl.). Ovim istražnim radovima posvećen je deo Eurokoda 7 koji u jedinstvenom sistemu evropskih normi zajedno sa Eurokodom 0 i 8 čini obavezujući deo normi za sve građevinske konstrukcije.

Eurokod 7 se za sada sastoji od dva dela:

EN 1997-1 Geotehničko proračun - Deo 1: Opšta pravila,

EN 1997-2 Geotehnički proračun - Deo 2: Istraživanje i ispitivanje tla,

ali se očekuje i treći deo,

EN 1997-3 Geotehnički proračun - Deo 3: Proračun pomoću terenskih ispitivanja (nacrt)

1.1 Cilj, svrha i planiranje geotehničkih istražnih radova

Geotehnički istražni radovi izvode se na terenu i u laboratoriji. Terenskim radovima određuje se prostorni položaj slojeva tla, njihova debljina, dubina nivoa podzemne vode, izvode se odgovarajući terenski opiti, dok se u laboratoriji provode laboratorijski opiti kojima se ispituju fizičke i mehaničke osobine tla. Obim i sadržaj istražnih radova treba biti primeren i u skladu sa veličinom, važnosti i namenom objekta za koji se provode. Zato geotehničke istražne radove treba pažljivo planirati, i ako je potrebno mogu se izvoditi u fazama, npr. preliminarna, glavna ili detaljna i dopunska ili kontrolna istraživanja. Na žalost, vrlo često obim i vrsta radova zavisi od predviđenih novčanih sredstava, a ponekad i od tehničke opremljenosti i stručnosti samog izvođača radova.

Pre izvođenja terenskih geotehničkih istražnih radova potrebno je prethodno prikupiti i analizirati sve druge podatke koji mogu biti važni za planiranje istih ili su veoma bitni za budući objekat. To podrazumeva prikupljanje:

- topografskih, hidroloških, geoloških i seizmoloških podataka,
- podataka o podzemnim i nadzemnim objektima,
- podataka o objektima infrastrukture (vodovod, kanalizacija, telefon, toplovod, gas, energetika, itd.),
- razne arhivske dokumente ili arheološke podatke,
- podatke o istražnim radovima za susedne objekte,
- podatke iz geotehničkog katastra, ako on postoji i sl.

Ponekad je vrlo korisno razgovarati sa ljudima, pogotovu starijim, koji žive u neposrednoj blizini budućeg objekta, jer ovo je nekada i jedini izvor ovih prethodnih informacija koji svakako treba kritički prihvatiti.

Nakon prikupljanja svih dostupnih podataka a imajući u vidu objekat za koji se planiraju istražni radovi, radi se **program istražnih radova** kojima se predviđa vrsta i obim radova, vrsta opreme za izvođenje kao i preliminarna cena koštanja. Osim toga predviđa se vrsta i kvalifikovanost radne snage kao i stručni nadzor nad izvođenjem istražnih radova. S obzirom na specifičnost ovih radova nekad je potrebno u toku izvođenja korigovati sam program istražnih radova ili izvršiti odgovarajuća prilagođavanja u skladu sa novonastalom situacijom na terenu.

1.2 Metode istražnih radova

Obim i vrsta terenskih geotehničkih istražnih radova zavise od dimenzija objekta, njegove važnosti kao i osobenosti terena na kome se planira izgradnja objekta.

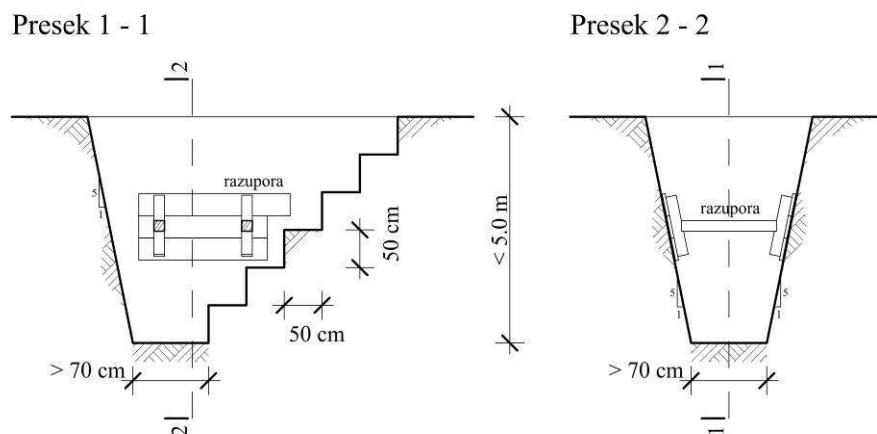
Uobičajeni su sledeći istražni radovi:

- izvođenje sondažnih jama, sa uzimanjem uzoraka. Koriste se kod lakših građevinskih objekata, saobraćajnica, pozajmišta, plitkih kanala i sl.
- izvođenje sondažnih bunara i/ili galerija. Izvode se vrlo retko.
- sondažno bušenje sa uzimanjem uzoraka. Primenjuje se kod većine građevinskih objekata.
- standardni penetracioni opiti (SPT) u bušotinama
- statičko penetraciono sondiranje (CPT) u kombinaciji sa bušotinama
- geofizička ispitivanja (ne često)

1.2.1 Sondažne jame

U zavisnosti od vrste tla sondažne jame je moguće skoro uvek izvesti, mašinski ili ručno, ali je njihova dubina relativno ograničena i uslovljena obezbeđenjem od zarušavanja (Slika 1.1). Najčešće su dubine od 1-3 m, izuzetno do 5 m. Prilikom izvođenja posebnu pažnju treba obratiti na bezbednost radnika prilikom iskopa ili uzimanja (kartiranja) uzoraka, osiguranjem strana jame od zarušavanja odgovarajućim podgradama. Ukoliko se iskop jame izvodi ispod nivoa podzemne vode a tlo je velike vodopropusnosti mora se obezbediti njeno crpljenje (uklanjanje), što nekad predstavlja razlog zbog kojeg ih uopšte i nije moguće izvoditi.

Sondažne jame su veoma pogodne jer je moguće vizuelno sagledati granice slojava tla, njihovu uslojenost, debljinu, boju i sl. Iz njih se mogu uzimati poremećeni i neporemećeni uzorci (cilindri, kocke) tla, a mogu se raditi i neki terenski opiti u samoj jami u zavisnosti od vrste tla, kao što je opit džepnim penetrometrom, minijaturnom krilnom sondom ili opit probnog opterećenja kružnom pločom na dnu sondažne jame.



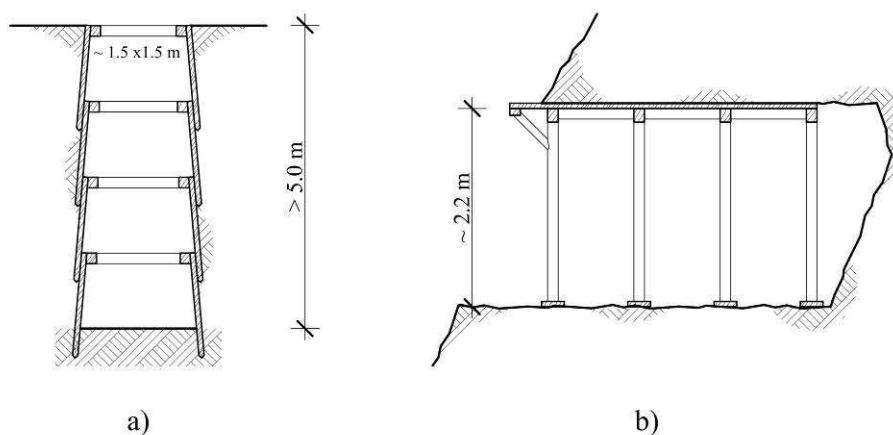
Slika 1.1. Sondažna jama

1.2.2 Sondažni bunari

Ssondažni bunari se primenjuju za veće dubine sondiranja (preko 5 m) uz obavezno i sistematsko podgrađivanje i mogu se izvoditi u svim vrstama tla (Slika 1.2a). Dobra strana sondažnih bunara je mogućnost veoma detaljnog i tačnog kartiranja granica slojeva, vrste i stanja tla. Moguće je njihovo izvođenje ispod nivoa podzemne vode ali uz obavezno crpljenje, pri čemu treba voditi računa da ne dođe do hidrauličkog sloma dna bunara.

Galerije se izvide u horizontalnom pravcu obično izvide uz neku padinu ili sa nekog nivoa prethodno iskopanog sondažnog bunara (Slika 1.2b). Posebnu pažnju pri izradi galerija treba posvetiti osiguranju od zarušavanja. Ako se izvodi ispod nivoa podzemne vode mora se osigurati njeno dreniranje, dok u veoma vodopropusnim tlu čak nije ni moguće njeno izvođenje.

Iz obe vrste ovih „iskopa,, moguće je uzimanje poremećenih i neporemećenih uzoraka dok je u galeriji moguće i izvođenje nekih terenskih opita.



Slika 1.2. a) sondažni bunar; b) sondažna galerija

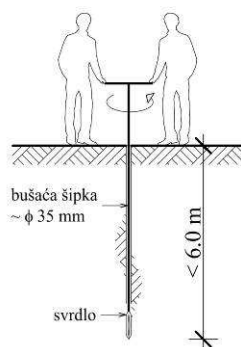
Beleške:

1.2.3 Sondažno bušenje

Sondažno bušenje primenjuje se u skoro svim vrstama tla, relativno lako se izvodi i pojava podzemne vode ne izaziva veće zastoje u radu. Za izvođenje se primenjuju ručne ili mašinske bušaće garniture pa tako razlikujemo dva načina bušenja: *ručno*, do dubine od nekoliko metara i *mašinsko*, gde se može postići dubina bušenja i do nekoliko kilometara (naftne bušotine, ispitivanja rudnih ležišta i sl.). Uopšte, sondažno bušenje može biti:

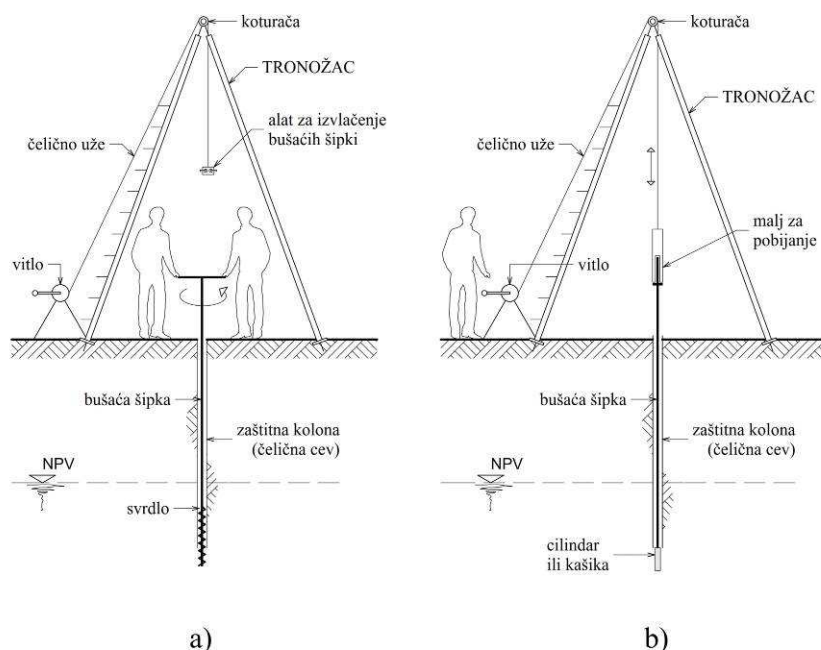
- **perkusiono** (udarno),
- **rotaciono**, i
- **kombinovano** (primenjivo za oba načina bušenja, ručno i mašinsko).

Laka ručna garnitura (Slika 3.1) za sondažno bušenje zbog svoje male težine, pokretljivosti i brzine rada veoma je pogodna za rad na nepristupačnim terenima ili u uslovima ograničene visine, npr. u podrumskim prostorijama postojećeg objekta. Koristi se za preliminarna istraživanja, za potrebe fundiranja lakših objekata. Dubina bušenja koja se mogu postići ručnim garniturama se kreću od 5 – 7 m, pod uslovom da su zidovi bušotine stabilni odnosno da nema njihovog zarušavanja. Ispod nivoa podzemne vode, u krupnozrnim materijalima kao što je pesak ili šljunak, primena ovog načina sondiranja je veoma ograničena ili skoro nemoguća. Iz ovakvih bušotina uglavnom se uzimaju poremećeni uzorci dok je u sitnozrnim materijalima moguće i uzimanje malih neporemećenih uzoraka.



Slika 1.3. Laka ručna garnitura za bušenje

Kada je potrebno bušiti na većim dubinama i ispod nivoa podzemne vode, naročito ako su u pitanju krupnozrni materijali, onda se zidovi bušotine moraju stabilizovati zaštitnim kolonama (čelične cevi) da ne bi došlo do zarušavanja zidova bušotine. To zahteva veće i teže ručne garniture za bušenje u vidu jednog tronošca (trougoni toranj) sa vitlom, užetom koje je prebačeno preko koturače na vrhu tronošca i povezano sa bušaćim šipkama. Na kraju tih bušaćih šipki mogu se pričvrstiti razni alati za bušenje i uzimanje uzoraka (Slika 1.4).



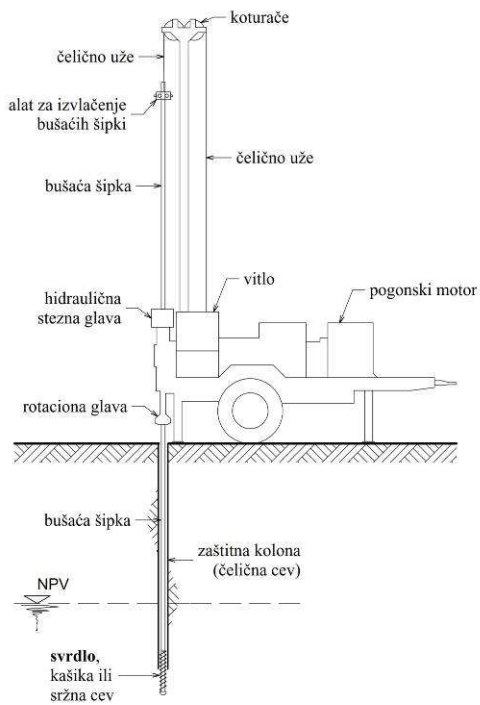
Slika 1.4. Ručna garnitura za bušenje; a) rotaciono bušenje; b) perkusiono (udarno) bušenje

Ako se istražno bušenje izvodi mašinski onda je to uglavnom bušačim garniturama koje primenjuju rotaciono bušenje za napredovanje po dubini i to nanošenjem torzionog momenta pomoću rotacione glave na bušači pribor-šipke (Slika 1.5). Razlikujemo bušaće garniture koje koriste razna *spiralna svrdla* i one koje koriste *sržne cevi sa krunom* za napredovanje bušenja po dubini.

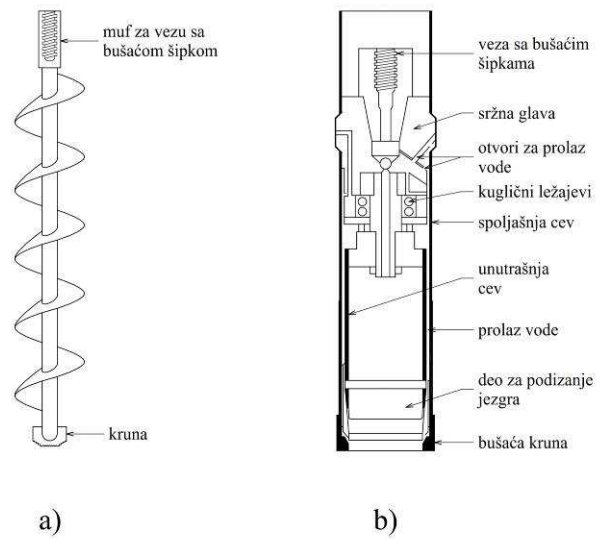
Na Slici 1.6a prikazano je jedno uobičajeno spirarno svrdlo koje se montira na kraj bušaće šipke i zajedno sa njom se uvrće u tlo pomoću rotacione glave na bušačkoj garnituri. Pri tom na svrdlu ostaje potpuno poremećen materijal sa kog se može uzeti poremećen uzorak. Ako je bušotina stabilna na bušačo šipku se može montirati čelični cilindar i sa dna bušotine uzeti neporemećen uzorak. U pogodnom tlu dubina bušenja koja se može postići iznosi od 30 – 50 m. Kad se bušenje izvodi ispod nivoa podzemne vode u krupnozrnim materijalima, npr. pesak, za osiguranje zidova bušotine koriste se zaštitne kolone (čelične cevi).

Za bušenje pomoću sržnih cevi može se koristiti ista bušača garnitura za rotaciono bušenje spiralnim svrdlima (Slika 1.5), ali se na kraj bušačih šipki montira druga vrsta pribora za bušenje, sržna cev za krunom na svom donjem kraju (Slika 1.6b). Ovaj način bušenja podrazumeva primenu bušaćeg „fluida“, koji se pod pritiskom ubacuje između spoljnje i unutrašnje cevi do mesta delovanja krune za bušenje, da bi se nakon toga kretanjem naviše iznosio na površinu usitnjen materijal koji je bušača kruna svojim rotacionim delovanjem usitnila. Istovremeno sa napredovanjem po dubini u unutrašnju cev se utiskuje tlo koje se nakon punjenja cevi izvlači zajedno sa priborom na površinu i odlaže u posebne sanduke za uzorke. Bušači fluid može biti voda ili glinovita (bentonitna) suspenzija. I u ovom slučaju ako je potrebno za obezbeđenje zidova bušotine od zarušavanja koriste se zaštitne kolone od čeličnih cevi. Na ovaj način iz tla se vadi kontinualno jezgro po celoj dubini bušotine koje je praktički nepremećeno iz koga se mogu uzimati i poremećeni i neporemećeni uzorci.

Beleške:



Slika 1.5. Mašinska garnitura za rotaciono bušenje



Slika 1.6. Uobičajeni alati za rotaciono bušenje
a) spralno svrdlo; b) sržna cev sa krunom

Beleške:

1.3 Uzimanje uzoraka (SRPS U.B1.010;2000)

1.3.1 Vrste, kategorije i klase uzoraka

U gotovo svim geotehničkim istražnim radovima podrazumeva se uzimanje uzoraka koji služe za ispitivanje fizičkih i mehaničkih osobina tla. Postoje dve glavne vrste uzoraka koji se uzimaju iz sondažnih bušotina ili skopa (jama, bunara, galerija i sl.):

- **poremećeni uzorci**, i
- **neporemećeni uzorci**

Za uzimanje uzoraka tla primenjuju se sledeće kategorije metoda:

- **kategorija A:** bez ili sa vrlo malo poremećaja strukture. Vlažnost i poroznost odgovara prirodnom stanju.
- **kategorija B:** imaju poremećenu strukturu ali isti sastav i vlažnost kao u prirodnom stanju
- **kategorija C:** uzorci sa potpuno poremećenom strukturom tla. Koriste se samo za određivanje sekvence slojeva.

Kvalitet uzoraka se klasira u pet (5) klasa. Klasiranje je pre svega zasnovano na mogućnosti provođenja određenih laboratorijskih ispitivanja (vidi tabelu 1: SRPS U.B1.010:2000)

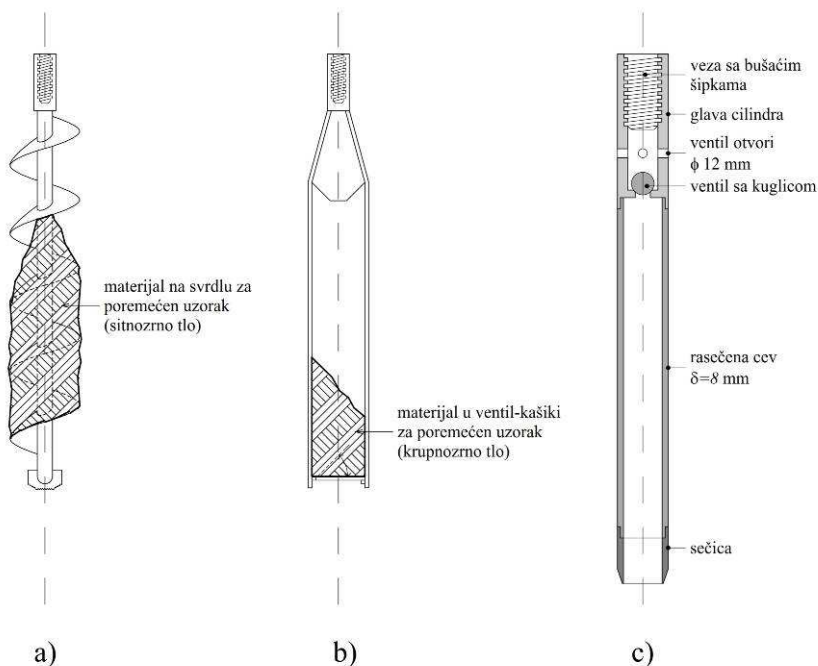
Klasa 1:	vlažnost, zapreminska masa, čvrstoća, deformacione i konsolidacione karakteristike	Kategorija A
Klasa 2:	vlažnost, zapreminska masa, čvrstoća.	Kategorija A
Klasa 3:	vlažnost	Kategorija A, B
Klasa 4:	ugradljivost	Kategorija A, B
Klasa 3:	sekvence (rasprostranje) slojeva.	Kategorija A, B, C

1.3.2 Poremećeni uzorci

Ovi uzorci imaju poremećenu strukturu tla usled njihovog načina uzimanja. Uzimaju se najčešće sa bušačeg pribora ili alata, ali se mogu uzeti i iz neporemećenih uzoraka prilikom određivanja karakteristika čvrstoće i deformabilnosti. Koriste se uglavnom za terensku identifikaciju, laboratorijska klasifikaciona ispitivanja i opite zbijanja tla. Uzorci klase 3, 4 i 5 po pravilu smatraju se poremećenim uzorcima i odgovaraju kategoriji metode B uzimanja uzoraka.

Poremećeni uzorci se uzimaju iz svakog sloja, u količinama koje zavise od predviđene vrste ispitivanja i od vrste tla. Svaki uzorak koji se uzme mora se na odgovarajući način obeležiti, skladištiti i transportovati do mesta ispitivanja. Ako je potrebno, da bi se očuvala prirodna vlažnost stavljaju se u hermetičke posude ili PVC kese. Za uzimanje poremećenih uzoraka tla iz **sitnozrnog tla** mogu se primeniti mašinski i ručni postupci rotacionog istražnog bušenja, iskopi iz istražnih jama, bunara i sl. uz korišćenje odgovarajućeg alata (Slika 1.7a).

Za uzimanje poremećenih uzoraka tla iz **krupnozrnog tla** mogu se primeniti mašinski postupci udarnog bušenja, rotaciono bušenje ili bušenje sa ispiranjem vodom uz korišćenje odgovarajućeg alata, npr. ventil-kašike („bučkalica,„) i sl. (Slika 1.7b).



Slika 1.7. Poremećeni uzorci uzeti sa uobičajenim alatima
 a) spiralo; b) ventil-kašika („bučkalica,„)
 c) kašika za standardno penetraciono ispitivanje

1.3.3 Neporemećeni uzorci

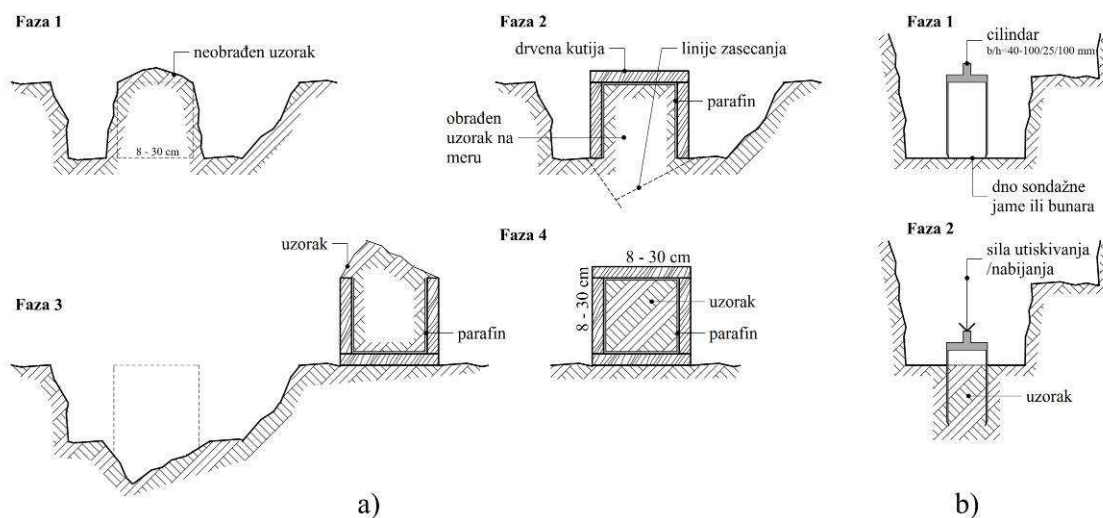
Neporemećeni uzorci su uzorci tla kod kojih nema značajnije promene strukture svojstava u odnosu na tlo iz kojeg su uzeti. Oni reprezentuju što je moguće bliže stvarnu strukturu, vlažnost i poroznost originalnog tla. Kvalitet ovih uzoraka zavisi od primenjene tehnike njihovog uzimanja i terenskih uslova. Uzorci klase 1 i 2 smatraju se neporemećenim uzorcima. Ovi uzorci se obavezno uzimaju iz svakog sloja tla, mašinskim bušenjem ili ručno.

Beleške:

Ručno uzimanje neporemećenih uzoraka iz sitnozrnog tla vrši se iskopom većih blok-uzoraka (Slika 1.8a), ili utiskivanjem/nabijanjem metalnih cilindra u sondažnim jamama, bunarima i galerijama (Slika 1.8b). Ovim postupkom dobijaju se uzorci najvišeg kvaliteta, tj. kase I, (kategorije A).

Ako se koriste naoštreni cilindri za uzimanje ovakvih uzoraka (Slika 1.9) onda treba težiti da se cilindri utiskuju u tlo zbog manjeg poremećaja u odnosu na cilindre koji se nabijaju u tlo.

Svaki ovakav uzorak obavezno se mora zaštititi na odgovarajući način od gubitka prirodne valžnosti, zalivanjem uzorka parafinom sa svih strana ili pakovanjem u PVC kese. Transport ovih uzoraka mora biti veoma pažljiv pa se u tu svrhu sanduci u kojima se transportuju ispunjavaju piljevinom ili strugotinom da bi se što više amortizovalo njihovo pomeranje unutar sanduka. Uzorak se mora zaštititi od vetra i direktnog sunčevog zračenja a orijentacija i njegov položaj se mora jasno označiti tokom uzimanja i pakovanja.



Slika 1.8. Ručno uzimanje neporemećenih uzoraka

- a) faze uzimanja blok-ka
b) postupak pomoću metalnog cilindra

Za uzimanje neporemećenih uzoraka iz bušotina koriste se cilindri različite konstrukcije i mera (Slika 1.9) pomoću kojih se dobijaju uzorci klase 1 i 2, kategorije metoda A. U tu svrhu koriste se sledeće vrste cilindara:

- otvoreni debelozidni cilindar,
- otvoreni tankozidni cilindar, i
- tankozidni cilindar sa klipom

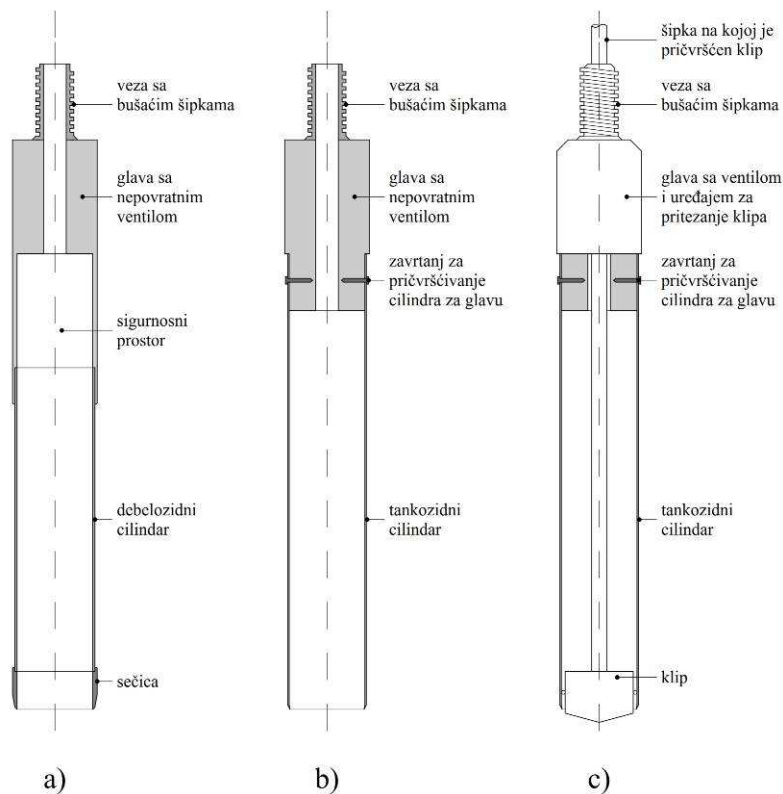
Postupak uzimanja obuhvata nekoliko postupaka. Nakon bušenja do dubine sa koje se želi uzeti uzorak tla pomoću cilindra, dno bušotine se očisti od poremećenog tla. Potom se cilindar spusti na dno bušotine i utiskuje hidrauličkim kontinualnim pritiskom ili udarcima malja.

Beleške:

Pri tom se beleži sila utiskivanja odnosno energija pobijanja koja može biti indikator stanja tla iz koje se uzima uzorak tla. Prilikom utiskivanja obavezno se meri dubina utiskivanja da bi se u cilindru sačuvalo sigurnosni prostor tako da ne dođe do kompresije tla u njemu. Posle utiskivanja cilindar se lagano izvuče, izmeri dužina uzorka i uporedi sa dubinom do koje je bušaći pribor utisnut.

Naročtu pažnju treba posvetiti ako se uzorci tla uzimaju ispod nivoa podzemne vode. Tada je potrebno održavati pritisak vode u bušotini iznad pritiska podzemne vode na dnu bušotine što može zahtevati upotrebu bentonitne suspenzije umesto vode ili pak upotrebu obložnih čelečnih kolona (cevi) za zaštitu zidova bušotine od zarušavanja usled visokih pijezometarskih nadpritisaka u tlu.

Neporemećeni uzorci koji su uzeti cilindrima transportuju se do mesta ispitivanja u istim cilindrima. Da bi se sačuvala prirodna vlažnost na krajeve cilindara stavlja se rastopljeni parafin, poklopac ili se komplet pakuju u PVC kese. Svi uzorci se moraju propisno obeležiti sa napomenom šta predstavlja dno a šta vrh uzorka. Transport ovih uzoraka mora biti veoma pažljiv kako se ne bi poremetila njihova struktura usled udara ili vibracija prilikom transporta.

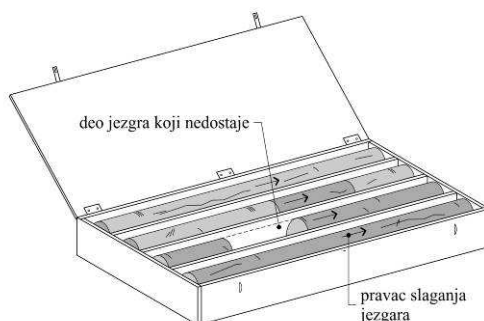


Slika 1.9. Cilindri za uzimanje uzoraka tla
a) otvoreni debelozidni,
b) otvoreni debelozidni, i
c) tankozidni sa klipom

Beleške:

Neporemećeni uzorci mogu se uzeti i izborom delova jezgra dobijenih rotacionim bušenjem pomoću dvostrukih ili trostrukih sržnih cevi. Presek jedne dvostruke sržne cevi dat je na Slici 1.6. Spoljašnja cev na svom donjem kraju ima bušaću krunu koja se može menjati. Unutrašnja cev je pričvršćena za sržnu glavu pomoću zglobne veze koja joj omogućuje da ostane nepokretna dok se spoljna cev sa bušaćom krunom okreće. Dužina sržne cevi se obično kreće od 1.5-3.0 m a istiskivanje jezgra tla iz cevi vrši se pritiskom usklađene veličine. Istiskivanje se vrši u sud koritastog oblika kaji na vrhu ima otvor za isticanje vode.

Za čuvanje jezgara dobijenih rotacionim bušenjem postupkom jezgrovanja, koriste se drveni, limeni ili plastični sanduci dužine od 1 - 1.5 m, sa poklopcem (Slika 1.10). Jezgra se međusobno odvajaju daščicama a na mestima gde je jezgro izgubljeno obavezno se ostavlja prazan prostor uz podatak da je jezgro izgubljeno. Na sličan način se obeležavaju mesta sa kojih je uzet poremećen ili neporemećen uzorak iz samog jezgra. Ako je potrebno jezgro ili njegovi komadi mogu se upakovati u parafin da bi se sačuvala njihova prirodna vlažnost. Sanduk sa uzorcima se obavezno fotografiše sa jasnom naznakom pravca slaganja jezgra koji u stvari pokazuje početak i kraj jezgra odnosno bušotine.



Slika 1.10. Sanduk za čuvanje jezgra

Uzorci koji se na ovakav način dobijaju mogu pripadati klasi 1 ili 2 što se utvrđuje nakon istiskivanja i pregleda istisnutog jezgra. Ovaj način istražnog bušenja je veoma pogodan zato što se vadi celokupno jezgro iz bušotine što omogućava vizuelno sagledavanje rasprostiranje slojeva tla po dubini pa samim tim i odabir reprezentativnih uzoraka je kvalitetniji.

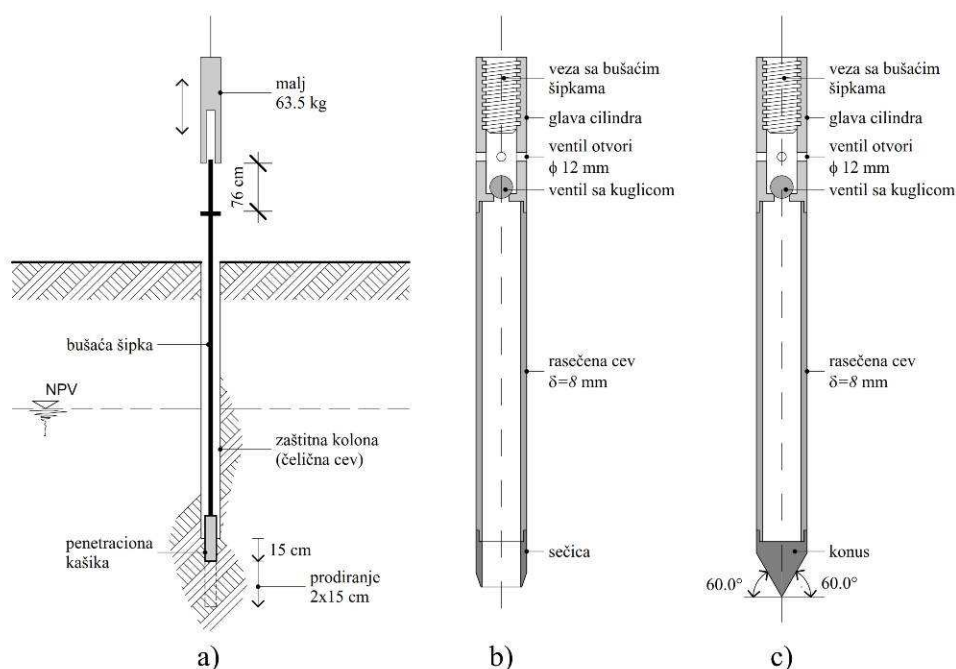
1.4 Terenski opiti (opiti „in situ„)

Kako uzimanje neporemećenih uzoraka tla nije moguće iz svih vrsta tla, što je uglavnom slučaj kod krupnozrnog tla (pesak, šljunak), provode se odgovarajući terenski opiti radi utvrđivanja inženjerskih (mehaničkih) osobina tla. Širu primenu u praksi našli su sledeći terenski opiti:

- standardni penetracioni opit (SPT)
- statički penetracioni opit (CPT)
- opit krilnom sondom
- dilatometar

1.4.1 Standardni penetracioni opit (SPT)

Ovaj opit se izvodi u prethodno izbušenoj i očišćenoj bušotini, tako što se na kraj bušačih šipki montira standardizovana „penetraciona kašika“, (cilindar, slika 1.7c) koja se spusti na dno bušotine a potom udarcima malja propisane težine (63.5 kg) i visine pada (76 cm), pobija u dno bušotine (Slika 1.11a). Pri tom se meri broj udaraca N , potreban za tri sukcesivna prodiranja od po 15 cm. Prvo brojanje se ne uzima u obzir zbog mogućih poremećaja dna bušotine tako da konačan rezultata N predstavlja prosek drugog i trećeg brojana pri ukupnom prodiranju od 30 cm. Nakon svakog pobijanja iz bušotine se izvuče cilindar iz kojeg se može uzeti poremećen uzorak koji služi za identifikaciju i klasifikaciju tla.



Slika 1.11. a) šematski prikaz SPT opita; b) i c) penetraciona kašika

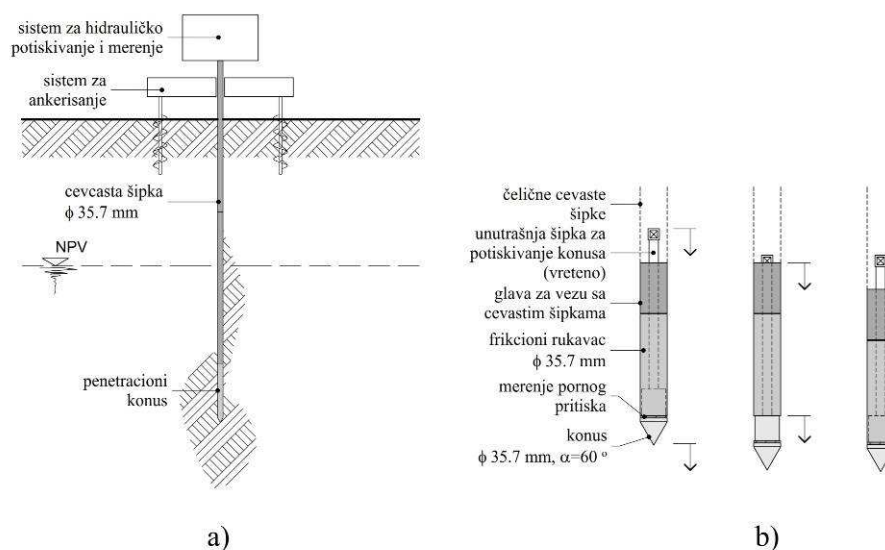
Beleške:

U šljunkovitom tlu, vrh penetracione kašike (sečica) zamenjuje se masivnim konusom (Slika 1.11c) koji sprečava da slučajan komad većeg šljunka ne zapne za nož i ne proizvede slučajaj otpor. Uobičajeno odstojanje izvođenja ovih opita u bušotini je 1.5 m, a maksimalno odstojanje ne treba prelaziti 3.0 m.

1.4.2 Statički penetracioni opit (CPT) (SRPS U.B1.031;1989)

Opitom statičke penetracije vrši se utiskivanje u tlo konusnog vrha penetrometra sa uglom od 60° koji se montira na vrh čelične cevaste šipke odgovarajućeg prečnika. Pri tom se registruje, odnosno meri, otpor koji tlo pruža prilikom utiskivanja konusnog vrha. Merena veličina otpora vrha konusa ima dimenziju napona (kN/m^2) i označava se sa q_c , pri čemu brzina utiskivanja po pravilu iznosi cca 2 cm/s . Osim obaveznog merenja otpora tla prilikom utiskivanja konusa može se meriti i bočno trenje po omotaču cevaste šipke ili na njenoj ograničenoj dužini. Šematski prikaz ovog uređaja prikazan je na Slici 1.12. Opit se izvodi na dva načina:

- kontinualno, tako što se svi elementi penetrometra (konus, frikcioni rukavac, cevi) utiskuju u tlo istovremeno, i
- sukcesivno, gde se u prvoj fazi preko unutrašnje šipke (vretena) koja prolazi bez trenja kroz cevaste šipke utiskuje konus, dok za to vreme cevaste šipke miruju. Pri ovoj operaciji se registruje sila utiskivanja preko koje se izračunava otpor tla pri prodiranju konusa. U sledećoj fazi konus miruje, a vrši se potiskivanje cevastih šipki sve dok se ne postigne kontakt sa bazom konusa, Slika 112b.



Slika 1.12. a) šematski prikaz CPT (CPTU) opita; b) faze utiskivanja penetrometra

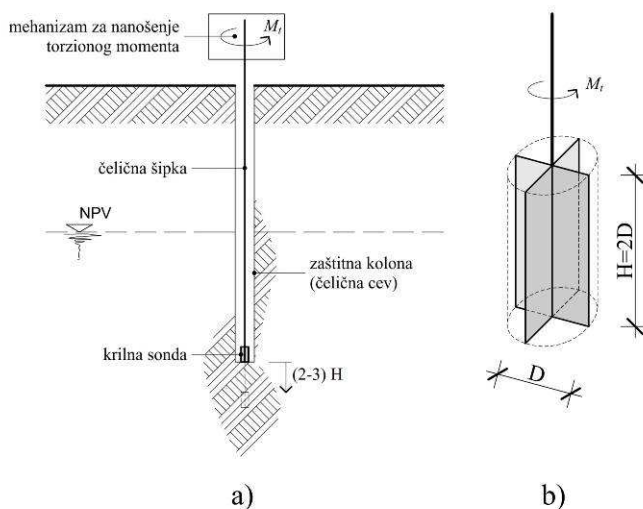
Beleške:

U slučajevima kada se žele meriti porni pritisci koji se generišu prilikom opita onda se koriste penetrometri sa poroznim keramičkim elementom (fileterom) smeštenim iznad konusa gde se i mere porni pritisci (Slika 1.12b). Da bi se ovaj penetrometar razlikovao od klasičnog CPT opita koristi se oznaka CPTU. Pomoću ovog penetrometra mogu se meriti i hidrostatički porni pritisci tako što se konus zaustavi na određenoj dubini i miruje do dostizanja ravnotežnog stanja pornih pritisaka.

Preporučljivo je ovaj opit izvoditi u kombinaciji sa bušotinama i nezamenjiv je pri ispitivanju u peskovima.

1.4.3 Opit krilnom sondom

Opit krilnom sondom izvodi se sa površine terena ili u sondažnoj bušotini kad nije moguće uzimanje neporemećenih uzoraka. Koristi se za određivanje nedrenirane smičuće čvrstoće neispucalih i potpuno zasićenih gлина. Krilna sonda se sastoji od tankih čeličnih limova standardnih dimenzija $H/D=100 \times 75$ ili 100×50 mm, pričvršćenih za kraj čelične šipke. Na gornji kraj šipke se nanosi torzioni momenat preko odgovarajućeg mehanizma, sve dok ne dođe do smičućeg loma gline po omotaču i bazi cilindra koji opisuju krilca sonde (Slika 1.13). Iz uslova ravnoteže torzionog momenta i otpora po bazi i omotaču opisanog cilindra dobija se veličina nedrenirane smičuće čvrstoće.



Slika 1.13. a) šematski prikaz opita krilnom sondom; b) krilna sonda

1.5 Opšta klasifikacija tla (SRPS U.B1.001:1990)

Tlo u zavisnosti od postanka i mineraloškog sastava predstavlja mešavinu zrna različitih veličina i oblika. Pri tom jedan deo u ukupnoj zapremini zauzimaju intergranularne šupljine (*pore*), u kojima se može nalaziti vazduh, voda ili mešavina vazduha i vode. Ove osnovne činjenice ukazuju na različito mehaničko ponašanje tla, i zato postoji sasvim opravdana potreba da se ono **identifikuje i klasifikuje**.

Klasifikacija podrazumeva svrstavanje uzoraka tla dobijenih sondiranjem u određene grupe, klase ili kategorije sa sličnim osobinama a na osnovu nekog klasifikacionog sistema. Za potrebe mehanike tla i građevinske geotehnike najpogodniji klasifikacioni sistem je tkz. "jedinstvena klasifikacija" poznatija kao **AC klasifikacija** (A.Casagrande 1948) koja je usvojena i našim standardom SRPS U.B1.001:1990, (Prilog 1).

Klasifikacija je bazirana na laboratorijskom određivanju granulometrijskog sastava tla, granice tečenja i indeksa plastičnosti, kao i na terenskoj identifikaciji tla. Svaka vrsta tla može se opisati oznakom sa dva slova. Prvo slovo predstavlja glavni naziv tla a drugo označava neku bitnu osobinu tog tla, koja ga bliže karakteriše. Kao generalna osnova za klasifikaciju usvojena je podela na dve glavne grupe sa graničnom vrednošću veličine zrna od **0.075 mm**, tako da razlikujemo:

- **krupnozrna tla:** koja sadrže preko 50 % zrna većih od 0.075 mm, u koja spadaju:
 - **šljunak (G)**, više od 50% zrna veće od 2 mm, i
 - **pesak (S)**, više od 50% zrna manje od 2 mm,a koji mogu imati graduiranost:
 - dobru (W)
 - jednoličnu (U), i
 - slabu (P)ili primese:
 - prašine (F), i
 - gline (C)

Primer klasifikacije: (GW) – šljunak, dobro granulisan
(SF) – pesak, sa primesama prašine

- **sitnozrna tla:** koja sadrže preko 50% zrna manjih od 0.075 mm, u koja spadaju:
 - **prašina (M)**,
 - **glina (C)**, i
 - **organsko tlo (O)**koja na osnovu granica tečenja mogu imati:
 - nisku plastičnost (L), granica tečenja $w_L < 35\%$
 - srednju plastičnost (I), granica tečenja $35\% < w_L < 50\%$, i
 - visoku plastičnost (H), granica tečenja $w_L > 50\%$

Primer klasifikacije: (ML) – prašina, niske plastičnosti
(CH) – glina, visoke plastičnosti

Napomena: Pored ove dve glavne grupe razlikujemo i grupu izrazito organskih tla koja su jako stišljiva i imaju nepoželjne karakteristike u građevinske svrhe. Tipična tla su **treset (Pt)** i druga izrazito organska tla sa visokoorganskom strukturom (delovi lišća, trave, korenja i druge vlaknaste biljne materije).

1.6 Terenska identifikacija uzoraka tla (SRPS U.B1.003:1990)

Podrazumeva prepoznavanje i razvrstavanje tla u određene grupe klasifikacionog sistema jednostavnim terenskim opitima. Krupnozno tlo razlikuje se golim okom od sitnozrnog tla. Organsko tlo karakteriše tamna boja i neprijatan miris. Nakon identifikacije tlu se uz opis dodeljuje oznaka koju određuje standard SRPS U.B1.001, a mogu se primeniti i dvojne oznake ako se proceni da je tlo na granici dve različite klasifikacione grupe (mešana tla).

Identifikacija **krupnozrnog tla** vrši se vizuelno i sredstvima kao što su čekić, metar, lupa i hlorovodična kiselina. Suv uzorak materijala razastre se na ravnu površinu i utvrđuje se:

- granulacija
- veličina zrna
- oblik zrna sadržaj CaCO_3
- tvrdoća zrna
- stepen zahvaćenosti raspadanjem

Identifikacija **sitnozrnog tla** je znatno teža jer se čestice gline, prašine i sitnog peska ne mogu raspoznavati golim okom, zato se koriste sledeći opiti:

- opit trešenja
- opit plastičnosti
- opit konzistentnog stanja
- opit sjaja
- suva čvrstoća
- opit kiselinom, i
- opit mirisa i boje

Prilog 1: „verzija,, AC klasifikacije (SRPS U.B1.001:1990)

GLAVNA PODELA TLA		TERENSKI IDENTIFIKACIONI I KLASIFIKACIONI KRITERIJUMI TLA				
K R U P N O Z R N A T L A 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	Širok spektar svih krupnih frakcija prisutnih jednakomerno u tlu			
			Preovladava jedna veličina zrna među krupnim frakcijama			
			Neke međufrakcije zrna nedostaju među krupnim frakcijama			
	PESKOVI I PESKOVITA TLA Više od 50% krupnozrne frakcije je manje od 2 mm	ŠLJUNKOVI SA SITNIM FRAKCIJAMA	Primese sitnih frakcija neznatne plastičnosti među krupnim zrnima			
			Primese glinovite frakcije određene plastičnosti vezuju krupna zrna			
			Širok spektar svih krupnih frakcija prisutnih jednakomerno			
PESKOVI I PESKOVITA TLA Više od 50% krupnozrne frakcije je manje od 2 mm	ČISTI PESKOVI	Preovladava jedna veličina zrna među krupnim frakcijama				
		Neke međufrakcije zrna nedostaju među krupnim frakcijama				
		Primese sitnih frakcija neznatne plastičnosti među krupnim zrnima				
PESKOVI SA SITNIM FRAKCIJAMA	PESKOVI SA SITNIM FRAKCIJAMA	Primese glinovite frakcije određene plastičnosti vezuju zrna peska				
		Primese sitnih frakcija neznatne plastičnosti među krupnim zrnima				
		Primese glinovite frakcije određene plastičnosti vezuju zrna peska				
S I T N O Z R N A T L A Više od 50% zrna je sitnije od 0,075 mm	PRAŠINE, GLINE I ORGANSKA TLA NISKE PLASTIČNOSTI Granica tečenja 35% ili manje	REAKCIJA NA TREŠENJE	PLASTIČNOST VALJČIĆA	SUVA ČVRSTOĆA	SJAJ	
		Brza	Vrlo slaba lako se mrvli	Nikakva	Nikakav do mutan	
		Nikakva ili spora	Slaba malo se lepi	Mala do srednja	Slab do srednji	
		Nikakva ili spora	Mekana i slaba malo se lepi	Mala	Nikakav	
	GLINE I ORGANSKA TLA SREDNJE PLASTIČNO STI Granica tečenja između 35% i 50%	Polagana do srednja	Slaba i mekana	Nikakva do mala	Nikakav do vrlo mutan	
		Nikakva	Srednje tvrda lepi se	Srednja do velika	Srednji do sjajan	
		Nikakva	Mekana lepi se	Mala do srednja	Maten do srednji	
	PRAŠINE, GLINE I ORGANSKA TLA VISOKE PLASTIČNO STI Granica tečenja 50% ili više	Polagana ali jasna	Slaba srednje tvrda	Mala do srednja	Nikakav do mutan	
		Nikakva	Vrlo tvrda jako se lepi	Velika do vrlo velika	Vrlo sjajan	
		Nikakva do vrlo spora	Srednje tvrda lepi se	Umerena do jaka	Srednji do sjajan	
JAKO ORGANSKA TLA	Nikakva	Vrlo mekana vlaknasta sluzava	Mala	Nikakav do mutan		

Beleške:

NAZIV I OPIS GRUPE TLA	LABORATORIJSKI KLASIFIKACIONI KRITERIJUMI TLA		SIMBOL GRUPE TLA		
Dobro gaduirani šljunkovi šljunkovito-peskovite mešavine sitnih frakcija malo ili ništa	$C_u > 4$ i C_z između 1 i 3		GW		
Slabo graduirani šljunkovi uniformnog granulometrijskog sastava sitnih frakcija malo ili ništa	Ne zadovoljava oba gore navedena uslova za GW	Preovladava jedna frakcija	GU		
Slabo graduirani šljunkovi šljunkovito-peskovite mešavine sitnih frakcija malo ili ništa		Nedostaje jedna frakcija	GP		
Slabo graduirani šljunkovi šljunkovito-peskovite mešavine sa prekomerno sitnih frakcija	Atterbergove granice ispod "A" linije i $I_p < 4$	Atterbergove granice iznad "A" linije i I_p između 4 i 7 zahtevaju dvojne simbole	GF		
Dobro graduirani šljunkovi šljunkovito-peskovite mešavine sa malom sadržinom gline	Atterbergove granice iznad "A" linije i $I_p > 7$		GC		
Dobro graduirani peskovi šljunkoviti peskovi sitnih frakcija malo ili ništa	$C_u > 6$ i C_z između 1 i 3		SW		
Slabo graduirani peskovi uniformnog granulometrijskog sastava sitnih frakcija malo ili ništa	Ne zadovoljava oba gore navedena uslova za SW	Preovladava jedna frakcija	SU		
Slabo graduirani peskovi šljunkoviti peskovi sitnih frakcija malo ili ništa		Nedostaje jedna frakcija	SP		
Slabo graduirani peskovi sa prekomerno sitnih frakcija	Atterbergove granice ispod "A" linije i $I_p < 4$	Atterbergove granice iznad "A" linije i I_p između 4 i 7 zahtevaju dvojne simbole	SF		
Dobro graduirani peskovi sa malom sadržinom gline	Atterbergove granice iznad "A" linije i $I_p > 7$		SC		
Prašine, anorganske prašine, vrlo fini peskovi, kameno brašno niske plastičnosti	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); font-size: small; margin-right: 5px;">Indeks plastičnosti I_p [%]</div> </div>		ML		
Gline, anorganske prašinaste gline niske plastičnosti			CL		
Organske prašine, organske prašinaste gline niske plastičnosti			OL		
Glinovita anorganska prašina, peskovita glina niske plastičnosti			MI		
Mršava glina, anorganska glina srednje plastičnosti			CI		
Organske gline srednje plastičnosti			OI		
Liskunska i dijatomejska tla fini peskovi, elastične prašine visoke plastičnosti			MH		
Masna glina, anorganske gline visoke plastičnosti			CH		
Organske gline visoke plastičnosti			OH		
Treset, tresetasta tla i ostala jako organska tla			Na osnovu vizuelne makroklasifikacije		Pt

Beleške: