

6 INŽENJERSKA SVOJSTVA TLA

GEOMEHANIČKA KLASIFIKACIJA TLA

Tla se klasificiraju kao krupnozrnata i sitnozrnata.

Krupnozrnata (koherentna) tla su šljunci i pijesci. Kada su saturirani i bez bočnog ograničenja, oni ne mogu zadržati negativne porne tlakove, zbog čega nemaju nedreniranu čvrstoću ili prividnu koheziju.

Sitnozrnata (koherentna) tla su gline i prahovi. Kada su saturirani oni mogu zadržati upijenu vodu u pokusima bez bočnog ograničenja, pa time mogu imati prividnu koheziju.

Ako dobro građirano tlo sadrži dovoljno sitnozrnatih čestica koje ispunjavaju prostor između krupnih zrna, tada se ono klasificira kao sitnozrnato tlo.

Ako dobro građirano tlo ne sadrži dovoljno sitnozrnatih čestica koje bi ispunile prostor između krupnih zrna, tada se ono klasificira kao krupnozrnato tlo.

Značajke tla ovise o veličini krupnozrnatih čestica i plastičnosti sitnozrnatih čestica; ova svojstva igraju glavnu ulogu u određivanju inženjerskih svojstava tla i stoga su osnova za klasifikaciju tla.

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*	Sils 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	
	Sils 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.

Najpoznatije geomehničke klasifikacije tla za inženjerske svrhe, jesu USCS (engl. Unified Soil Classification System, ANON., 1960) i BSCS (engl. British Soil Classification for Engineering Purposes, ANON., 1981).

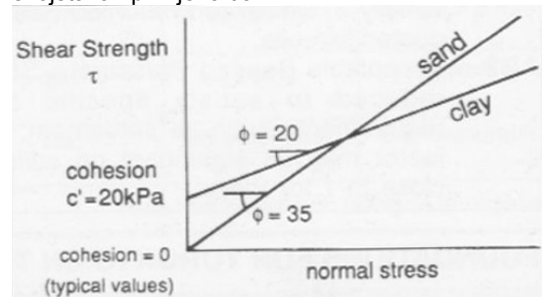
USC (eng. UNIFIED SOIL CLASSIFICATION) razvio je USBR, dr. A. Casagrande 1953. g; modificiralo ju je društvo American Society for Testing Materials (ASTM) i standardiziralo za inženjersku primjenu (ASTM, 1983); privatila ju međunarodna geotehnička zajednica.

Glavne grupe tala izdvajaju se prema veličini zrna. Za daljnju podjelu glavnih grupa na podgrupe koriste se dva parametra: (a) veličina zrna za krupnozrna tla; i (b) plastičnost za sitnozrnata tla.

Kriteriji različitih geomehničkih klasifikacija uglavnom su isti (veličina zrna i plastičnost), ali se razlikuju s obzirom na granične vrijednosti, nomenklaturu grupa tala i pripadajuće simbole.

✓ Geomehnička klasifikacija tla je sastavni dio inženjerskogeološkog opisa tla.

Postoji povezanost USC grupa tla i inženjerskih svojstava i primjena tla.



Geomehnička klasifikacija tla		veličina zrna (mm)	tipične vrijednosti		
vrsta tla	oznaka		LL	PI	φ
šljunak	G	2-60	/	/	>32
pijesak	S	0.006-2	/	/	>32
prah	ML	0.002-0.006	30	5	32
glinoviti prah	MH	0.002-0.06	70	30	25
glina	CL	<0.002	35	20	28
visokoplastična glina	CH	<0.002	70	45	19
organsko tlo	O	-			<10

Normalno naprezanje ima presudan utjecaj na posmičnu čvrstoću, ali porni tlak (pwp) preuzima dio opterećenja na tlo, pri čemu umanjuje normalna naprezanja.

•Efektivno naprezanje (σ')=normalno naprezanje (σ) – pwp

POSMIČNA ČVRSTOĆA

Sva tla će se slomiti prilikom smicanja.

Posmična čvrstoća je kombinacija kohezije i kuta unutarnjeg trenja; izražava se Coulombovom anvelopom sloma. **Kohezija** (c) je posljedica veze među česticama; značajna je u glinama, a jednaka je 0 u čistim pijescima. **Kut unutarnjeg trenja** (φ) je posljedica trenja među česticama; viši je u pijescima nego u glinama.

Posmična čvrstoća=kohezija+normalno naprezanje x tanφ

Svojstva koherentnih, glinovitih tala							
materijal	stanje (kohezija)	LI	SPT, N	CPT, Mpa	c, kPa	mv, m2/MN	ABP, kPa
aluvijalne gline	meko	>0.5	2-4	0.3-0.5	20-40	>1	<75
	čvrsto	0.2-0.5	4-8	0.5-1	40-75	0.3-1	75-150
til i terciarne gline	kruto	-0.1-0.2	8-15	1-2	75-150	0.1-0.3	150-300
	vrlo kruto	-0.4-0.1	15-30	2-3	150-300	0.05-0.1	300-600
	tvrd	<-0.4	>30	>4	>300	<0.005	>600

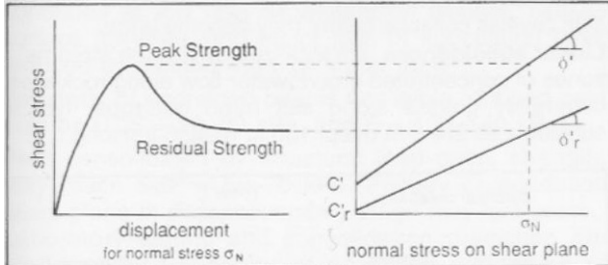
Kohezija (c) jednaka je kratkotrajnoj posmičnoj čvrstoći

SMANJENJE ČVRSTOĆE U GLINAMA

Dreniranje opterećene gline je vrlo bitno, budući da svako povećanje pornog tlaka može dovesti do sloma; što je vrlo značajno kod novih iskopa i nasipa.

Vršna čvrstoća se smanjuje do rezidualne čvrstoće uslijed promjena u strukturi tla; uglavnom se mijenja orijentacija lističastih minerala. Ova promjena dovodi do gotovopotpunog gubitka kohezije, ali i smanjenja kuta unutarnjeg trenja. Ovo je značajan proces u svim glinama, a osobito onima s višim vrijednostima PI.

- krtost = % smanjenja u odnosu na vršnu čvrstoću



Osjetljive gline gube velik dio njihove čvrstoće prilikom promjene strukture cijele mase; one imaju visok LI i malu veličinu čestica, tako da se ne mogu brzo drenirati, tako da opterećenje preuzima porni tlak; posmična čvrstoća se približava nuli.

- osjetljivost = omjer neporemećene: poremećenoj čvrstoći i ovisan je o nedreniranoj krtosti.

KONSOLIDACIJA

Ovo je smanjenje volumena uslijed naprezanja.

Primarna konsolidacija je velika i brza; uslijed istiskivanja vode sve dok porni tlak ne postane jednak nuli.

Sekundarna konsolidacija je mala i spora; uslijed promjena u strukturi i bočnih pomicanja; isto je što i drenirano puzanje. **Normalno konsolidirana** glina je ona koja je kompaktirana uslijed još uvijek postojećeg nadsloja sedimenata. **Prekonsolidirana** glina je ona koja je bila podvrgnuta većoj kompaktaciji u prošlosti, nakon čega je erozijom (ili otapanjem leda) maknut nadsloj tla; ona može nositi opterećenje koje je jednako naprezanju prvotnih nadslojeva, uz minimalnu kompresiju i slijeganje.

Koeficijent kompresije = m_v = redukcija debljine pri povećanju naprezanja; u uskoj je korelaciji s LL.

Nekoharentna tla

Pjeskovita tla i šljunci nemaju koheziju, osim one koju mogu steći od glinovitog matriksa i vode koju upiju.

Pijesci mogu biti stabilni i pri vrlo strmim kutovima nagiba kada su vlažni, i to zbog negativnog pornog tlaka (važno prilikom građenja kula u pijesku); ali neće stajati kada su suhi ili saturirani vodom.

Čvrstoća, stabilnost kosina i kapacitet nosivosti potječu od kuta unutarnjeg trenja; raspon ϕ za krupnozrnata tla (pjeske i šljunke) varira u rasponu 30-45°; povećava se s graduiranošću, gustoćom pakiranja i uglatosti zrna. Slijeganje je malo i brzo; obično se ne razmatra, osim u slučaju vrlo rahlih pijesaka i kod umjetnih nasipa. Njihova svojstva najbolje je procijeniti na terenu pomoću SPT pokusa; broj udaraca (N vrijednost) je u funkciji gustoće pakiranja i graduiranosti.

Kapacitet nosivosti pjeskovitih tala moguće je povećati dinamičkom konsolidacijom (opetovano spuštanje tijela težine 20 tona s kрана) ili pomoću vibro-kompakcije.

svojstva pjeskovitih tala					
pakiranje, slaganje zrna	RD	SPT	CPT	ϕ	SBP
vrlo rahlo	<0.2	<5	<2	<30	<30
rahlo	0.2-0.4	5-10	2-4	30-32	30-80
srednje gusto	0.4-0.6	11-30	4-12	32-36	80-300
gusto	0.6-0.8	31-50	12-20	36-40	300-500
vrlo gusto	>0.8	>50	≥ 20	≥ 40	≥ 500

CPT POKUS PENETRACIJE

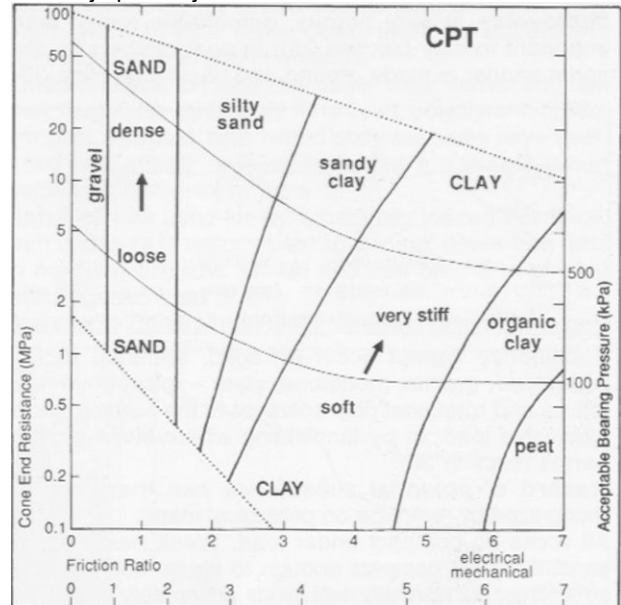
CPT od engleskog *cone penetration test*. U tlo u geotehničkoj bušotini se utiskuje tijelo stožastog oblika (60°; promjera 36 mm) pri čemu je usmjereno kroz cijev valjkastog oblika.

Mjeri se otpor na vrhu i otpor na cijevi:

Omjer trenja = (bočni otpor/otpor na vrhu) / 100;

postoje elektronički i mehanički (rjeđi) sustavi, a njihovi rezultati se razlikuju.

Vrijednosti se mogu korelirati s vrstom tla, građom tla i daju indicaciju prihvatljive nosivosti.



PRIHVATLJIVA NOSIVOST

Ova vrijednost uveliko ovisi o vlažnosti tla i povijesti konsolidacije.

Također ovisi o prihvatljivom slijeganju.

- Slijeganje = $m_v \times$ debljina \times očekivano naprezanje.

Brzina slijeganja ovisi o propusnosti; spora je u glinovitim tlima koja se ne mogu brzo drenirati.

Slijeganje na glinama može biti veliko: tada se opisuje kao usijedanje, zajedno s drugim procesima karakterističnim za gline.

STANDARDNI PENETRACIJSKI POKUS (SPT)

U geotehničku bušotinu utiskuje se cijev promjera 51 mm i to do dubine od 150 mm. Sila utiskivanja stvara se spuštanjem čekića teškog 64 kg s visine od 760 mm. Pri tome se broji broj udaraca čekića (N vrijednost) potreban da se cijev utisne tri puta po 150 mm (ukupno 450 mm). Jednostavan i učinkovit pokus; N vrijednosti je u bliskoj korelaciji sa svojstvima pijeska; a uz ograničenja se može koristiti i u glinama.

Relativna gustoća je mjera gustoće pakiranja, a izražava nizom izraza, od najrahlijeg do najzbijenijeg mogućeg stanja kompaktacije.

CPT vrijednosti su za otpor vrha, izražene u MPa, za sitne pijeske. Ove vrijednosti su inače niže u prahovima. Kutovi unutarnjeg trenja su za prosječne pijeske; treba dodati po 2° za uglata zrna; oduzeti 3° za zaobljena zrna; dodati 5° za šljunke. SBP vrijednosti (kPa) su za temelje širine 3 m uz slijeganje <25 mm; pomnoži s 1.4 za trakaste temelje širine 1 m; vrijednosti treba prepоловити za pijeske ipod razine podzemne vode.