

# 8 INTAKTNA STIJENA

U inženjerstvu se stijene dijele u 2 grupe.

**Intaktna stijena** je stijena koja nema diskontinuitete, kao što su pukotine ili plohe slojevitosti; sinonim **materijal stijene**. **Stijenska masa** je masa stijene isprekidana diskontinuitetima, sastoji se od odvojenih blokova koji imaju svojstva intaktne stijene.

Između ove dvije grupe stijena postoje značajne razlike u inženjerskim svojstvima.

Slučajevi kada su važna svojstva intaktne stijene:

- predviđanje veličine i brzine deformacije otvora u stijeni koja je pod velikim naprezanjem i jako je elastična;
- učinak strojeva za bušenje tunela ovisi o mineralnom sastavu, teksturi, veličini zrna i folijaciji intaktnog uzorka;
- čvrstoća i elastičnost intaktne stijene koriste se u projektiranju brana i tunela, jer su deformacija i značajke sloma korisne za projektiranje i ponašanje građevine pod pritiskom;
- je li potrebno i nakon koliko vremena zaštititi svježe otkrivenu površinu stijene da bi se spriječilo njezino kalanje (cijepanje).

## ČVRSTOĆA STIJENE

**Čvrstoća intaktne stijene** ovisi o čvrstoći mineralnih komponenti i načinu na koji su one vezane – uklještenjem ili cementom. **Čvrstoća stijenske mase** odnosi se na masu raspucane stijene i uveliko ovisi o oslabljenim pukotinama.

Čvrstoća je osnovno kvantitativno inženjersko svojstvo uzroka stijene; to je veličina naprezanja u trenutku sloma.

**Slom stijene** se događa prilikom smicanja; tijekom laboratorijskih pokusa na uzorak se nanosi tlačno naprezanje što rezultira posmičnim slomom po kosoj plohi.

Tlačna čvrstoća nije jedinstvena vrijednost nekog uzroka, već je izravno proporcionalna ograničavajućim pritiscima i brzini nanošenja opterećenja.

Tlačna čvrstoća većine stijena > inženjerskog naprezanja; izuzetak predstavljaju slabe gline i bilo koja jako trošna ili gusto raspucana stijena. (UCS betona=40 N/mm<sup>2</sup>=40 MPa)

## Svojstva čvrstoće stijena

stijena	suha gustoća (t/m <sup>3</sup> )	porozitet (%)	raspon UCS-a (MPa)	srednji UCS (MPa)	saturirani UCS (MPa)	modul elastičnosti (GPa)	vlačna čvrstoća (MPa)	posmična čvrstoća (MPa)	kut trenja (°)
granit	2.7	1	50-350	200		75	15	35	55
bazalt	2.9	2	100-350	250		90	15	40	50
grauvaka	2.6	3	100-200	180	160	60	15	30	45
pješčenjak (kreda)	2.2	12	30-100	70	50	30	5	15	45
pješčenjak (trijas)	1.9	25	5-40	20	10	4	1	4	40
vapnenac (kreda)	2.6	3	50-150	100	90	60	10	30	35
vapnenac (jura)	2.3	15	15-70	25	15	15	2	5	35
kreda	1.8	30	5-30	15	5	6	0.3	3	25
muljnjak (kreda)	2.3	10	10-50	40	20	10	1		30
šejl (kreda)	2.3	15	5-30	20	5	2	0.5		25
prekonsolidira glina	1.8	30	1-4	2		0.2	0.2	0.7	20
ugljen	1.4	10	2-100	30		10	2		
gips	2.2	5	20-30	25		20	1		30
sol	2.1	5	5-20	12		5			
hornfels	2.7	1	200-350	250		80			40
mramor	2.6	1	60-200	100		60	10	32	35
gnajs	2.7	1	50-200	150		45	10	30	30
škrljavac	2.7	1	20-100	60		20	2		25
slejt	2.7	1	20-250	90		30	10		25

Sve se vrijednosti u tablici tipične su za Veliku Britaniju i istočni SAD, a odnose se na intaktnu stijenu koja nije oslabljena trošenjem. Vrijednosti koje nisu navedene indiciraju ekstremne varijacije ovisno o orijentaciji i sl., ili su nedostajali odgovarajući podaci. Vrijednosti  $\phi$  su za intaktnu stijenu, pri čemu nisu uzete u obzir frakture. Sedimentne stijene postaju jače što su starije, a također i uslijed tektonskih naprezanja. Većina stijena slične starosti jača je u područjima koja se deformiraju na granicama ploča, kao što su Alpe u Europi i u zapadnoj Americi.

## Neograničena tlačna čvrstoća ( $q_u$ , UCS)

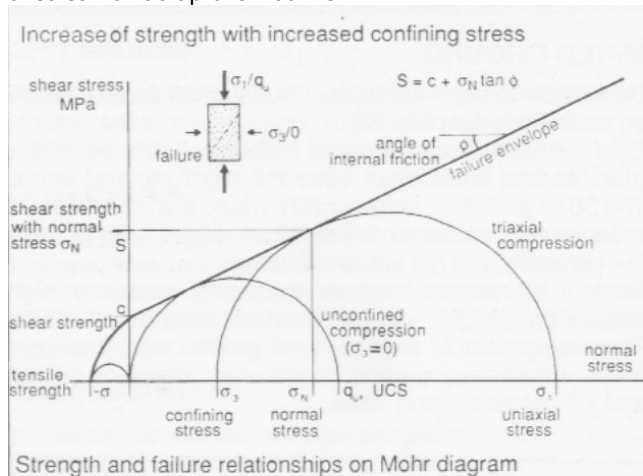
Tlačna čvrstoća bez ograničenja je **jednoosna** ili **neograničena tlačna čvrstoća** (eng. UCS = uniaxial/unconfined compressive strength).

UCS suhe stijene je norma za definiranje čvrstoće stijene. Uveliko ovisi o porozitetu, a time i o suhoj gustoći.

Većina magmatskih stijena ima porozitet <1%, UCS>200 MPa. Sedimentne stijene s gustoćom <2.3 t/m<sup>3</sup> uglavnom imaju UCS<70 MPa.

UCS raste sa starosti stijene kod većine sedimentnih stijena i to zbog povećanja stupnja litifikacije i smanjivanja poroziteta.

Prosječne vrijednosti jednoosne čvrstoće određene vrste stijene ne mogu se izravno primijeniti u inženjerstvu, ali rasponi jednoosne tlačne čvrstoće za pojedine vrste stijena su važni jer daju uvid u to koja su detaljnija istraživanja potrebna, tj. koji pokusi. Srednje ili tipične vrijednosti treba uzeti samo kao aproksimativne.



## UTJECAJ VODE

Prisustvo vode i bilo koje povećanje pornog tlaka značajno reducira čvrstoću stijene.

Voda prekida veze među mineralima i omogućava slom glinenog cementa u nekim sedimentnim stijenama.

**Porni tlak vode** djeluje u suprotnom smjeru od ograničavajućeg napreznja, što umanjuje efektivno normalno napreznja u stanju troosnog napreznja; a time reducira ograničavajuću posmičnu čvrstoću. Ovo je važno kod glina i tala. Saturacija neznatno reducira  $\phi$  i jako reducira prividnu koheziju.

Voda značajno reducira čvrstoću slabih, poroznih sedimentnih stijena, ali ima minimalni utjecaj na jake stijene s malim porozitetom.

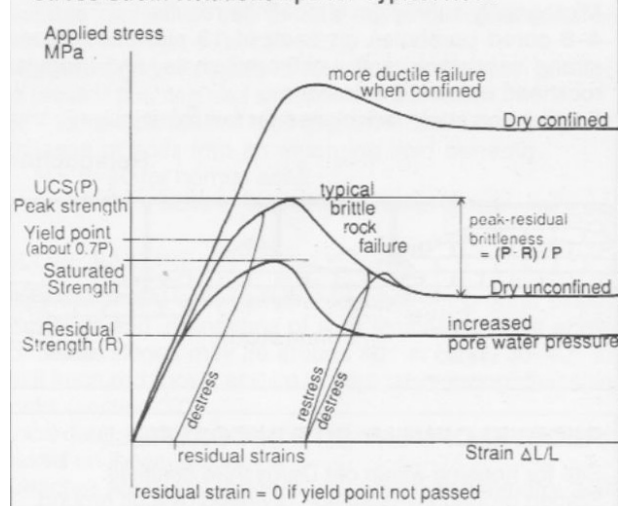
### Vlačna čvrstoća ( $T_o$ , $S_t$ )

Rijetko se mjeri; vlačno napreznja se rijetko izravno nanosi. U pravilu iznosi oko UCS/20 do UCS/8 za stijene.

Čvrstoća svijanja povezana je s vlačnom čvrstoćom na vanjskoj plohi, te ju nije jednostavno izmjeriti ili definirati.

Elastične pločice tinjca slejtu daju visoku čvrstoću svijanja.

## Stress Strain Relationships for Typical Rock



## POSMIČNA ČVRSTOĆA STIJENA

Može ju se rastaviti na dvije komponente:

- koheziju (i vlačnu čvrstoću) uslijed uklještenja
- unutarnje trenje, koje se povećava zbog ograničenog opterećenja

### Ograničena troosna čvrstoća

Općenito se može reći da je čvrstoća stijene veća ako postoji ograničenje u podzemlju i to do vrijednosti koje značajno premašuju inženjersko opterećenje.

Troosno ispitivanje odnosi se na posmičnu čvrstoću pri normalnom napreznju. Rijetko se mjeri u stijenama (ali je važna za tla).

### Posmična čvrstoća ( $S_i$ , $S_s$ )

Otpor na izravno smicanje kada nije ograničeno.

Najopćenitiji odnos je:  $UCS = 2S_s \tan(45 + \phi/2)$ .

$S_s$  varira od UCS/6 za jake stijene do UCS/2 za meke gline.

**Vršna čvrstoća** postignuta pri inicijalnom smicanju smanjuje se na rezidualnu čvrstoću po posmičnoj plohi; ne postoji prihvaćena mjera krstosti stijene (smanjenje čvrstoće nakon postizanja vršne čvrstoće).

### Kut unutarnjeg trenja $\phi$

Odnosi se na ograničenu posmičnu čvrstoću pri normalnom opterećenju, i to prema Coulombovoj jednadžbi:  $s = c + \sigma_n \tan \phi$  što znači:

- posmična čvrstoća = kohezija + normalno napreznja  $\times \tan \phi$

Posmična čvrstoća tala izjednačava se s kohezijom (c).

## DEFORMACIJA STIJENE

Podaci o deformaciji uzorka iz pokusa ispitivanja čvrstoće koriste se za računanje **statičkih modula elastičnosti** intaktne stijene.

### Moduli elastičnosti (E)

Porast povećanja napreznja po povećanju deformacije, pa je stoga izravno povezana sa čvrstoćom. Poznato kao Youngovi moduli. Plastični slom počinje kada je pritisak ograničenja  $> UCS$ .

## ISPITIVANJE ČVRSTOĆE

Na laboratorijske pokuse za određivanje čvrstoće stijene nepovoljno utječe heterogenost stijena (osobito izraženo kod slabijih sedimentnih stijena) a posljedica toga je greška u iznosu  $\pm 20\%$ . Također se pri pokusima na intaktnoj stijeni ne uzimaju u obzir pukotine koje dominantno utječu na čvrstoću stijenske mase. U praksi je stoga uobičajeno identificirati vrstu stijene i preuzeti vrijednost čvrstoće iz tablica.

### Neograničena tlačna čvrstoća

Kocka ili valjak stijene s odrezanim ravnim, glatkim i paralelnim bazama jednoosno se opterećuje između ravnih čeličnih ploča; promjer uzorka je  $\geq 54$  mm. Ovo je najčešći i najjednostavniji pokus čvrstoće stijene.

### Troosni pokus

Valjak stijene opterećuje se osno ( $\sigma_1$ ) uz jednako bočno napreznja, koje se nanosi pomoću fluida ( $\sigma_3$ ). Rezultati se prikazuju na Mohrovom dijagramu kako bi se odredili c i  $\phi$ .

### Brazilski pokus

Valjak stijene opterećuje se po osi promjera uzorka između dviju ravnih čeličnih ploča. Jednostavniji od izravnog vlačnog pokusa.

### PLT pokus (eng. Point Load Test)

Valjak stijene se opterećuje po osi promjera između dva vrha čeličnog stoca ( $60^\circ$ ; radijus vrha je 5 mm). Standardizirani portabl uređaj idealan je za brzo izvođenje pokusa na jezgri iz bušotina i to izravno na terenu. Također se može primijeniti na nepravilnim komadima stijena čije dimenzije su približno 1:1:2. Koristi se uzorak promjera 54 mm ili se uvodi faktor korekcije (što je veća jezgra, to su manje vrijednosti), a najniže vrijednosti rezultata se odbacuju jer nastaju zbog sloma po pukotinama. Point Load čvrstoća ( $I_s$ ) približno je jednaka UCS/20.

### Schmidtov čekić

Mjerenje se provodi držanjem uređaja u ruci pri čemu se mjeri broj odskoka od površine stijene; vrijednosti odskoka se koreliraju s UCS, a značajno padaju kod raspucanih stijena. Vrlo brzi terenski pokus kojim je moguće identificirati slabije ili trošne stijene, ili rahle raspucane blokove na površini izdanaka.

