

INŽENJERSKA SVOJSTVA STIJENA

inženjerstvu se stijene dijele u 2 grupe:
INTAKTNA STIJENA – stijena koja
nema diskontinuitete, kao što su
pukotine ili plohe slojevitosti; sinonim

MATERIJAL STIJENE

uzorak



**2. STIJENSKA
MASA** – masa
stijene
isprekidana
diskontinuitetima,
sastoji se od
odvojenih
blokova koji

izdanak



Između INTAKTNE STIJENE I
STIJENSKE MASE

postoje značajne razlike u
inženjerskim svojstvima

uzorak



izdanak



Intaktna stijena

- čvrstoća stijene
- deformacija stijene

čvrstoća INTAKTNE stijene

ČVRSTOĆA je osnovno kvantitativno inženjersko svojstvo uzroka stijene

to je **veličina naprezanja u trenutku sloma**

naprezanje koje se nanosi na uzorak može biti tlačno, posmično i vlačno, tako da i čvrstoća može biti:

-**TLAČNA**

-**POSMIČNA**

-**VLAČNA**

najveće je tlačno naprezanje, najjednostavnije za odrediti, izravno ili neizravno, i najčešće se koristi u inženjerskoj primjeni

TLAČNA ČVRSTOĆA

Tlačna čvrstoća nije jedinstvena vrijednost nekog uzroka, već je izravno proporcionalna:

- ograničavajućim pritiscima
- brzini nanošenja opterećenja

tlačna čvrstoća bez ograničenja je **JEDNOOSNA ili NEOGRANIČENA TLAČNA ČVRSTOĆA**

(eng. *UCS = unaxial / unconfined compressive strength*)

najčešće korištena tlačna čvrstoća (za razliku od troosne čvrstoće)

standardizacijom pokusa eliminiran je problem varijacije čvrstoće zbog različite brzine nanošenja naprezanja
(ISRM preporučuje 0.5-1.0 MPa/s)

JEDNOOSNA TLAČNA ČVRSTOĆA

standardizacijom pokusa eliminiran je problem varijacije čvrstoće zbog različite brzine nanošenja napreznja (ISRM preporučuje 0.5-1.0 MPa/s)

standardni OBLIK uzorka je **cilindar**, jer se većina uzoraka dobiva bušenjem

standardno prihvaćena VELIČINA uzorka:

omjer duljine i promjera u rasponu 2.5-3.0;

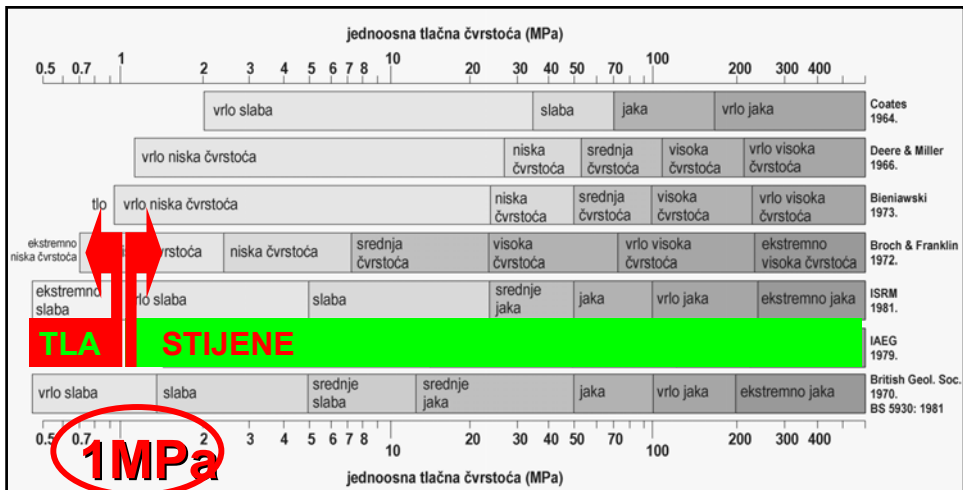
promjer ne smije biti manji od NX veličine (približno 54 mm)

(različite proporcije visine i promjera uzorka daju različite rezultate)

ČVRSTOĆA INTAKTNE STIJENE – materijala tla

- laboratorijski pokus jednoosne tlačne čvrstoće





različite klasifikacije jednoosne čvrstoće

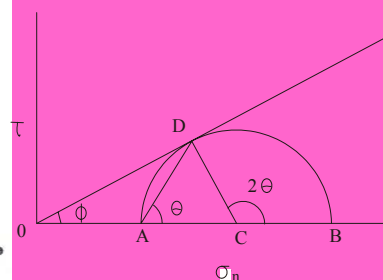
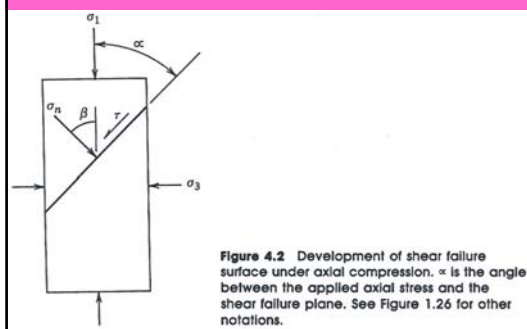
prilikom korištenja kvantitativnih termina obavezno navesti i raspon!

donja granica čvrstoće? **1.0 MPa** ili manje; to je **granica između stijena i tala**

POSMIČNA ČVRSTOĆA

posmični slom na intaktnom uzorku rezultat je premašenja posmične čvrstoće materijala na nagnutoj plohi prikazanoj na slici

posmična čvrstoća se indirektno određuje ovakvim pokusima



kut plohe sloma u odnosu na ravninu tlačnog napreznja je β , a može se dobiti grafički iz ograničenih trijaksijalnih pokusa na uzorku

podaci iz triksijalnih pokusa, prikazani na Mohrovom dijagramu, omogućavaju procjenu kuta ravnine posmičnog sloma u odnosu na primijenjeno tlačno naprezanje

kut β koji se nalazi između osi σ_1 i naprezanja okomitog na plohu posmičnog sloma je polovica kuta između osi glavnog naprezanja i normale na liniju sloma na Mohrovom dijagramu

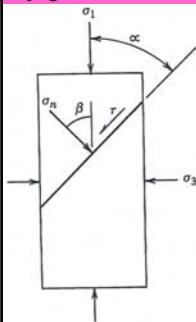


Figure 4.2 Development of shear failure surface under axial compression. α is the angle between the applied axial stress and the shear failure plane. See Figure 1.26 for other notations.



Figure 5 - Sample set on loading frame.

standardizacija triksijalnih pokusa:

- The American Society for Testing and Materials (ASTM)
- The International Society for Rock Mechanics (ISRM)

VLAČNA ČVRSTOĆA

intaktnog uzorka je svojstvo čvrstoće koje se najrjeđe određuje
vlačna čvrstoća je važna kod projektiranja podgrade stropova u podzemnim iskopima i kod predviđanja iznenadnog sloma uslijed vlaka kad se ograničena jako elastična stijena oslobodi naprezanja i rezultira raspucavanjem stijene (eng. *rock bursts*)

vlačna čvrstoća ovisi o istim faktorima kao i tlačna i posmična čvrstoća:

sastav, tekstura, veličina zrna i količina cementa i vlažnost

VLAČNA ČVRSTOĆA

Vlačna čvrstoća je najmanja od tri tipa čvrstoće kod svih vrsta stijena

prisutnost orijentiranih obilježja, kao što su folijacija i laminacija u intaktnom uzorku umanjit će vlačnu čvrstoću, ali i tlačnu i posmičnu

tablica: usporedba vlačne i tlačne čvrstoće stijena

Table 4.4 Comparison of Mean Tensile and Compressive Strengths for Selected Sedimentary Rock Types

	Tensile Strength (MPa)	Compressive Strength (MPa)
Limestone	18.00 ± 0.62 (20) ^a	41.45 ± 3.52 (4)
Sandstone	19.17 ± 0.21 (23)	77.59 ± 1.59 (5)
Sandstone	23.10 ± 0.48 (19)	80.83 ± 2.21 (10)
Sandstone	24.21 ± 0.83 (8)	90.48 ± 3.86 (4)
Mudstone	35.17 ± 3.17 (4)	50.07 ± 3.79 (4)
Limestone	36.28 ± 1.24 (24)	142.55 ± 6.14 (5)
Limestone	38.76 ± 2.69 (23)	142.97 ± 19.10 (8)
Ironstone	44.28 ± 4.48 (5)	190.69 ± 17.93 (4)
Sandstone	65.66 ± 0.83 (11)	167.66 ± 9.86 (5)

^a Number of samples are in parenthesis; ± values are standard errors of means.

Source: Reprinted with permission from Intl. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 1, D. W. Hobbs, The Tensile Strength of Rocks. Copyright © 1964, Pergamon Press.

deformacija stijene

STATIČKI MODULI ELASTIČNOSTI

DEFORMACIJA STIJENA: podaci o deformaciji uzorka iz pokusa ispitivanja čvrstoće koriste se za računanje **STATIČKIH MODULA ELASTIČNOSTI INTAKTNE STIJENE**

razlika u određivanju SME od dinamičkog modula elastičnosti je u tome što se kod dinamičkog napreznja nanose puno većom brzinom

Moduli su:

1. modul elastičnosti (E) ili Youngov modul

2. Poissonov modul (ν)

deformacija stijene

STATIČKI MODULI ELASTIČNOSTI

Moduli su:

modul elastičnosti (E) ili Youngov modul

Poissonov modul (ν)

modul elastičnosti se dobiva iz nanijetog jednoosnog tlačnog naprezanja i rezultirajućih jednoosnih deformacija

Poissonov modul se računa iz jednoosnih i dijametralnih deformacija koje nastaju kao rezultat jednoosnog tlačnog naprezanja

Oba ova modula su korisna za procjenu elastičnog ponašanja intaktne stijene kod tlaka *in situ*, građenja i postgrađevinskih naprezanja

primjer postgrađevinskih naprezanja su naprezanja u bokovima brane uslijed pritiska vode

STATIČKI MODUL ELASTIČNOSTI

aksijalna deformacija koja nastaje kao rezultat aksijalne kompresije prikazuje se dijagramom naprezanje-deformacija (slika)

linearni dio krivulje predstavlja elastično ponašanje materijala

modul elastičnosti (E) dobiva se iz jednadžbe

$$E = \text{naprezanje} / \text{deformacija} = \sigma / \varepsilon$$

$$E = \sigma / \varepsilon$$

σ = jednoosno tlačno naprezanje kod jednoosnih napreznja ili devijatorsko naprezanje ($\sigma_1 - \sigma_3$) kod triaksijalnih pokusa (N/m² ili Pa)

ε = jednoosna deformacija (mm/mm ili %)

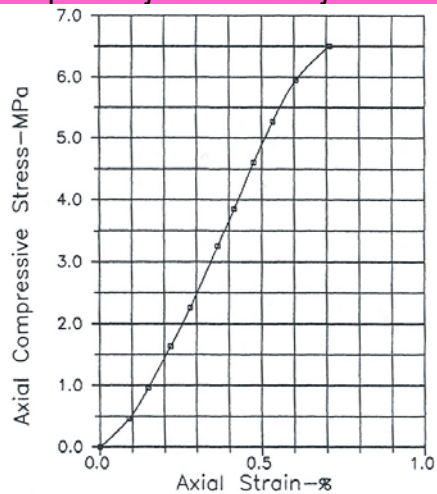


Figure 4.5 Plot of unconfined compressive test stress-strain data for a specimen of clay shale, Bearpaw Formation, Cretaceous, Montana. (Adapted from Fleming et al., 1970)

SVOJSTVA STIJENA

- smanjenje tlačne čvrstoće – najvažnija geotehnička posljedica kemijskog trošenja/alteracije intaktne stijene;
- tlačna čvrstoća različitih stupnjeva trošnosti granita:
 - svježi >250 MPa;
 - izmijenjene boje 100-200 MPa;
 - trošan 2.5-100 MPa;
 - tlo <2.5 MPa

SVOJSTVA STIJENA

- smanjenje modula elastičnosti s povećanjem stupnja trošnosti;
- promjena čvrstoće i elastičnosti kao posljedica kemijskog trošenja/alteracije ovisna je o osjetljivosti sastava stijene na trošenje (tkđ. faktor vremena i klima)
- rasponi brzine kompresijskih valova ovisno o trošnosti granta i gnajsa:
 - svježi 3050-5500 m/sec;
 - slabo trošni 2500-4000 m/sec;
 - srednje trošan 1500-3000 m/sec;
 - jako trošan 1000-2000 m/sec
 - rezidualno tlo 500-1000 m/sec

čvrstoća stijene

U primjeni stijena u inženjerstvu (iskopi i tuneli, stabilnost kosina) radi se u stijenskim masama čije inženjerske značajke više ovise o diskontinuitetima nego o fizičkim značajkama intaktne stijene

izdanak

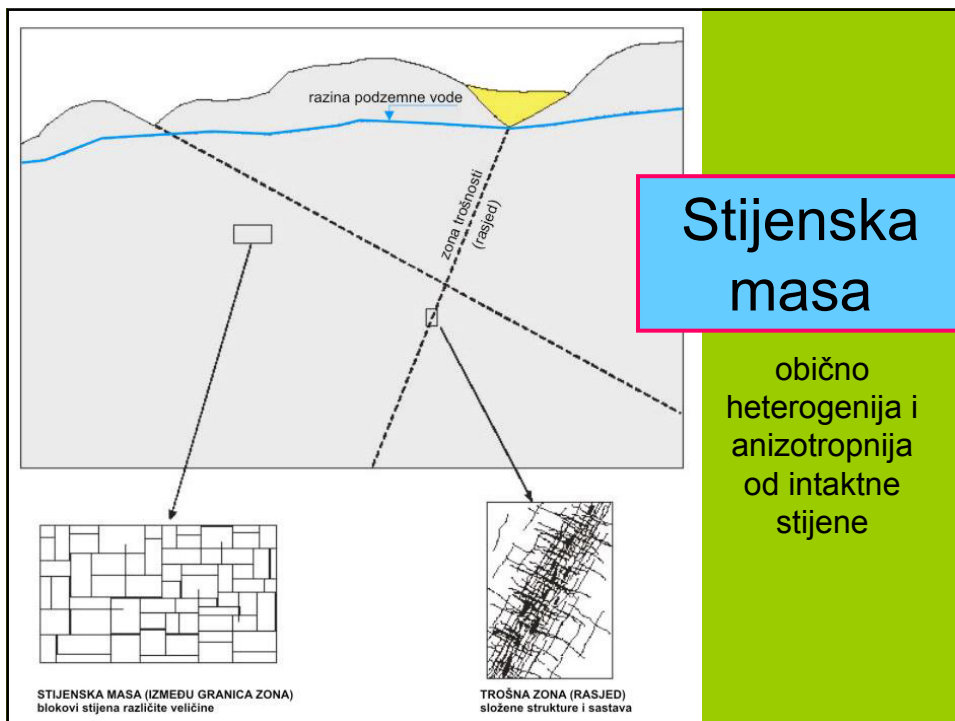


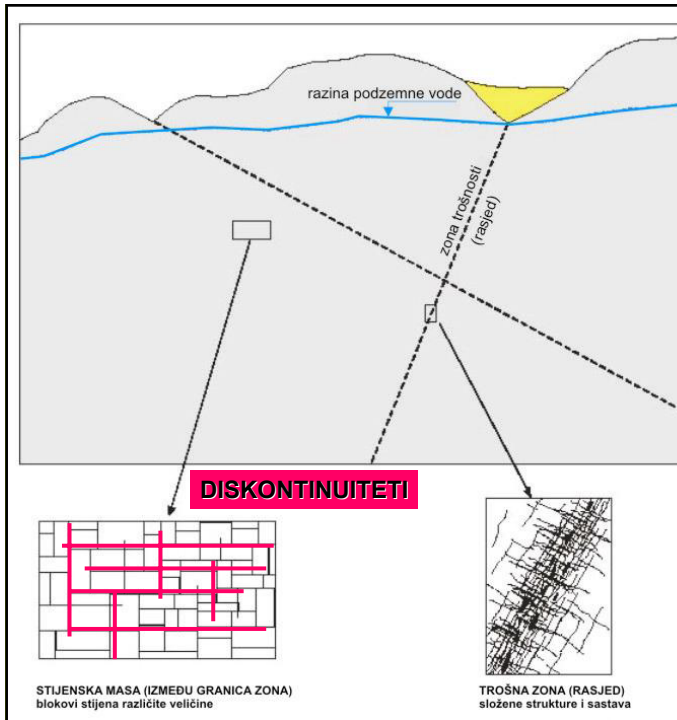
uzorak



Stijenska masa

- čvrstoća stijene
- deformacija stijene





**stijenska
masa –**
obično
heterogenija i
anizotropnija
od intaktne
stije