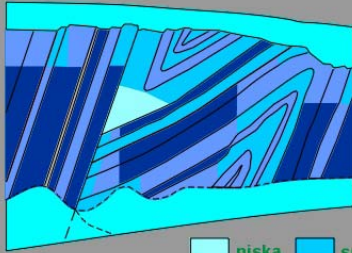


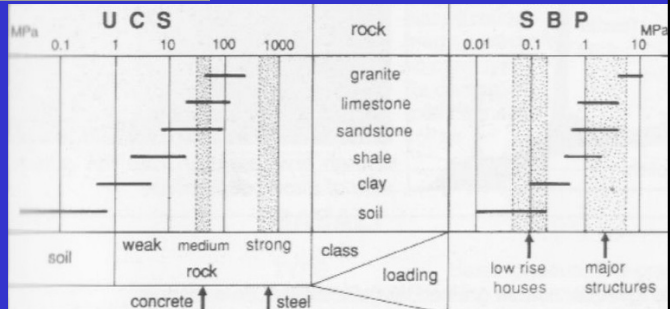
ČVRSTOĆA (PLT pokus)



■ niska ■ srednja
■ visoka ■ ekstremno visoka

ČVRSTOĆA STIJENE/TLA

UCS (eng. *unaxial compressive strength*):
Neograničena (ili jednoosna) tlačna čvrstoća

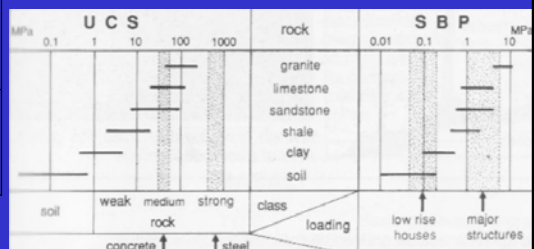


ČVRSTE STIJENE	SLABE STIJENE
UCS > 100 MPa	UCS < 10 MPa
slabo raspucane	raspucane i uslojene
minimalno trošne	duboko trošenje
stabilni temelji	problemi usijedanja
stabilne strme kosine	slom već pri malim nagibima kosina
izvor agregata	iziskuju inženjerski tretman

ČVRSTOĆA STIJENE/TLA

UCS = jednoosna tlačna čvrstoća

NOSIVOST STIJENE/TLA



2: NAPREZANJE I DEFORMACIJA

principi naprezanja i deformacije

uz popratnu reakciju materijala

osnova su za razumijevanje

kvantitativnih i kvalitativnih

značajki materijala stijena i tala

naprezanje

-prirodne sile koje djeluju na mase stijena i tala, kao rezultat građenja

SILA

-sile koje primjenjujemo na uzorke za vrijeme laboratorijskih pokusa

PRIMJERI SILA KOJE UZOKUJU DEFORMACIJU I KONAČNO SLOM STIJENE/TLA

deformacija

...naprezanje

-STOGA SE KORISTI...

SILA

ZANIMA NAS:

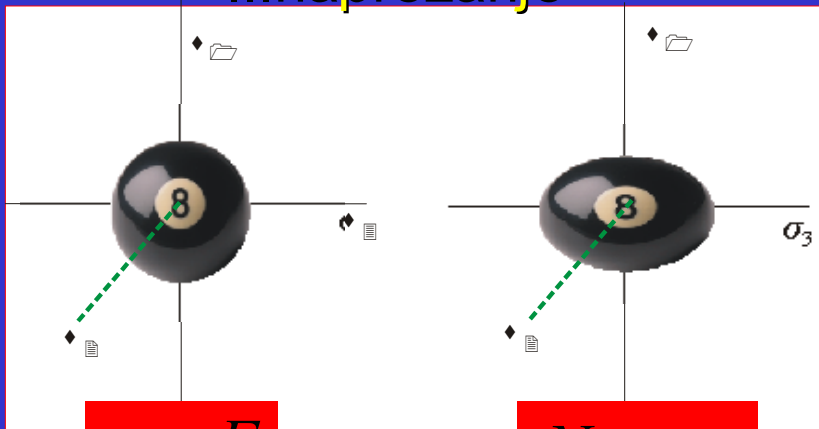
Koja je sila potrebna za određenu deformaciju materijala?

ODGOVOR:

Da bismo za određenu silu znali koliku deformaciju će prouzročiti, potrebno je znati na koliku površinu se primjenjuje?

deformacija

...naprezanje



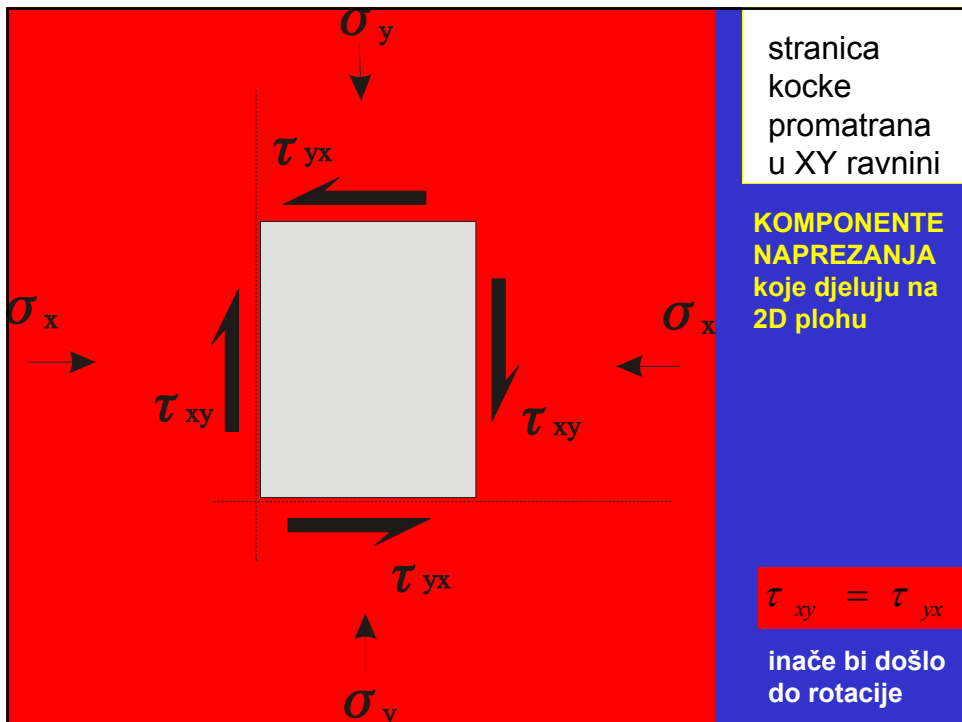
$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\frac{N}{m^2} = Pa$$

KOMPONENTE VEKTORA NAPREZANJA u odnosu na neku plohu:

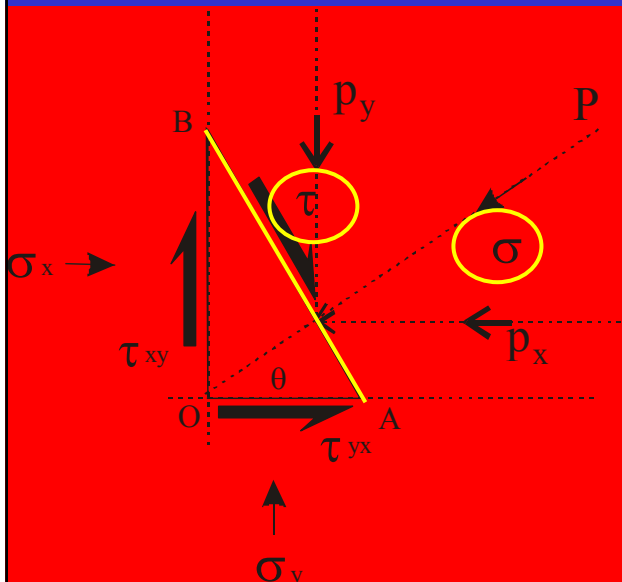
1. normalna
(okomita)

2. posmična
(paralelna)



dvodimenzionalna analiza naprezanja

u tijelu ima mnoge praktične primjene u analizi čvrstoće stijena



P - vektor naprezanja
(okomit na promatranu plohu)

θ - kut između vektora naprezanja (P) i osi X

P_x, P_y komponente vektora naprezanja

$\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}, \tau_{yx}$ -
komponente naprezanja -
POZNATE!

σ i τ - normalna i posmična naprezanja na plohu- **TRAŽE SE!**

uvjet statičke ravnoteže:

sile koje djeluju na trokut moraju biti jednake u smjeru X i Y

$$AB \cdot p_{(x)} = OB \cdot \sigma_x + OA \cdot \tau_{yx}$$

P_x, P_y
komponente vektora naprezanja

$$p_{(x)} = \sigma_x \cos \theta + \tau_{yx} \sin \theta$$

$$p_{(y)} = \sigma_y \sin \theta + \tau_{xy} \cos \theta$$

$$\sigma = p_{(x)} \cos \theta + p_{(y)} \sin \theta$$

$$= \sigma_x \cos^2 \theta + 2\tau_{xy} \sin \theta \cos \theta + \sigma_y \sin^2 \theta$$

σ i τ -
normalna i posmična naprezanja na plohu-
TRAŽE SE!!!

$$\tau = p_{(y)} \cos \theta - p_{(x)} \sin \theta$$

$$= (\sigma_y - \sigma_x) \sin \theta \cos \theta + \tau_{xy} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta)$$

$$= \frac{1}{2} (\sigma_y - \sigma_x) \sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta$$

u analizi naprezanja uobičajeno da su X i Y osi u smjeru glavnih naprezanja:

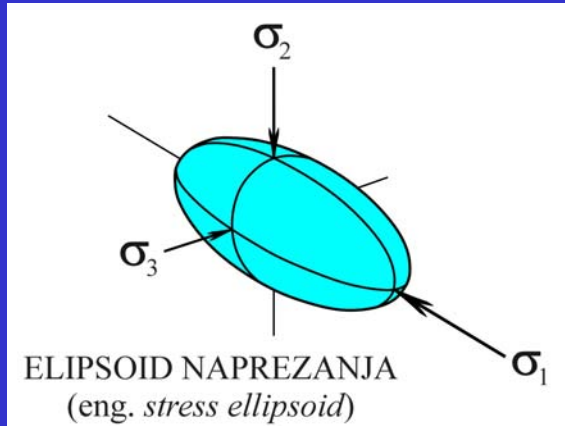
smjerovi u kojima su posmična naprezanja = 0

su smjerovi **GLAVNIH NAPREZANJA**

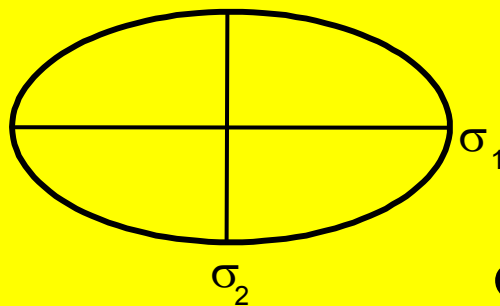
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$

GLAVNA NAPREZANJA

...definiraju elipsoid naprezanja



promatrano u 2 dimenzije: ELIPSA NAPREZANJA



u analizi naprezanja uobičajeno je postaviti
osi X i Y u smjerovima σ_1 i σ_2

... tom slučaju:

izrazi za σ i τ – normalna i posmična naprezanja na plohu (to smo tražili!!!!) u funkciji komponenta naprezanja i to glavnih naprezanja:

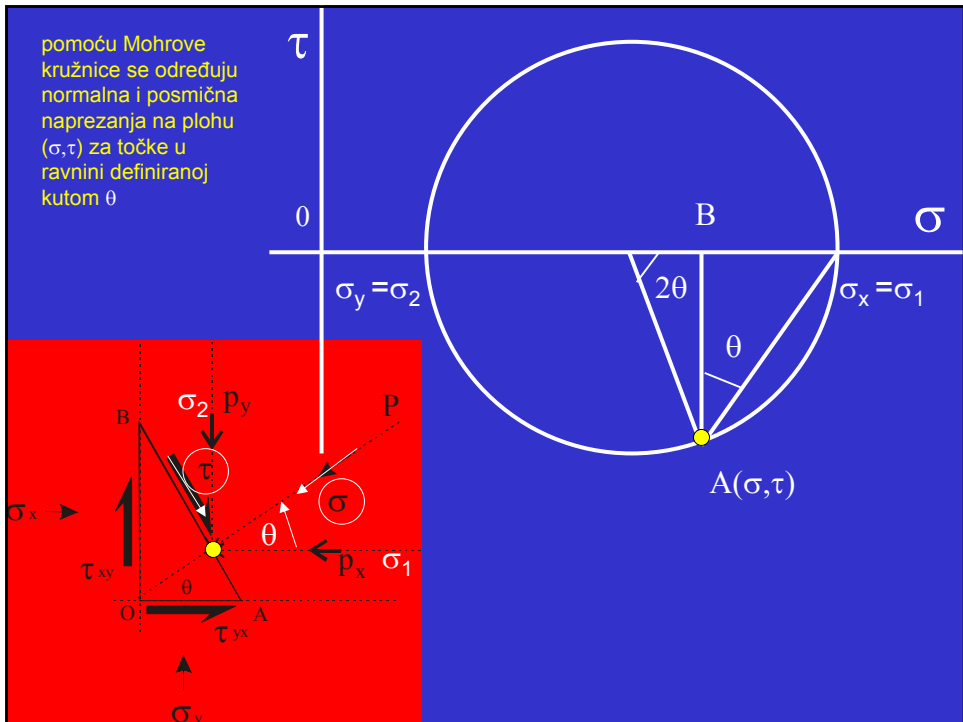
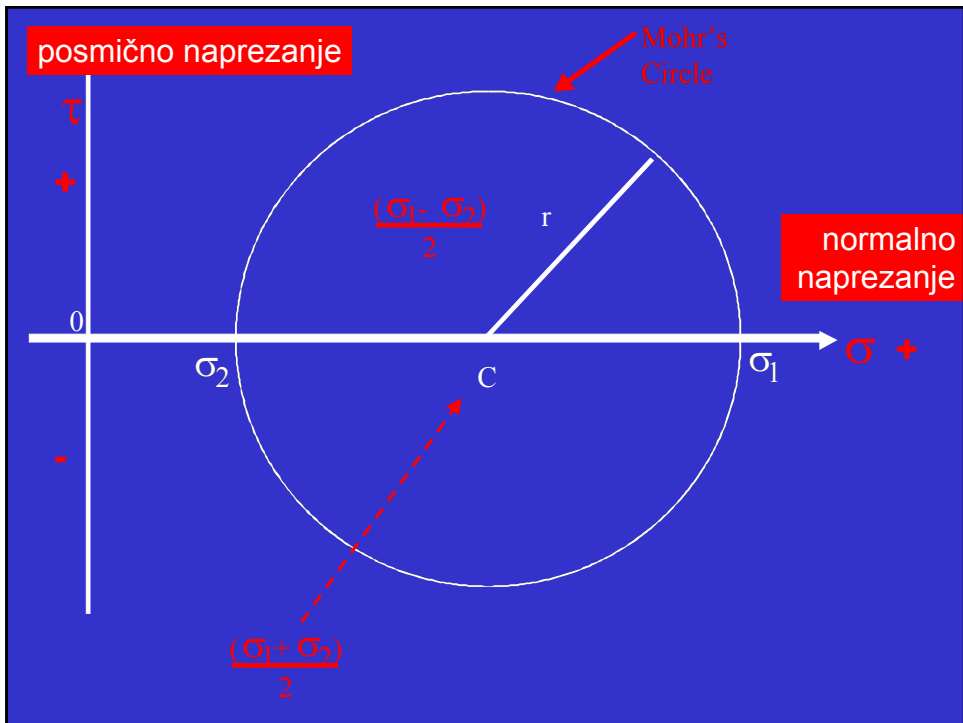
$$\sigma = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) + \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2)\cos 2\theta$$

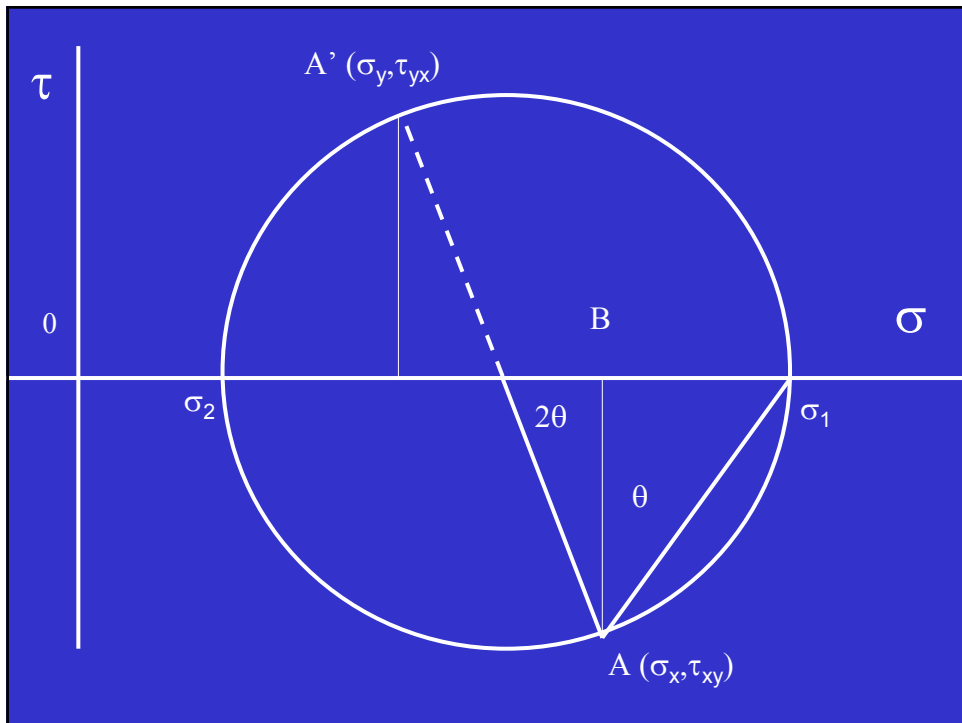
$$\tau = -\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2)\sin 2\theta$$

Mohrova kružnica naprezanja

Mohrova kružnica naprezanja

- grafički prikaz stanja
naprezanja u jednoj točki tijela

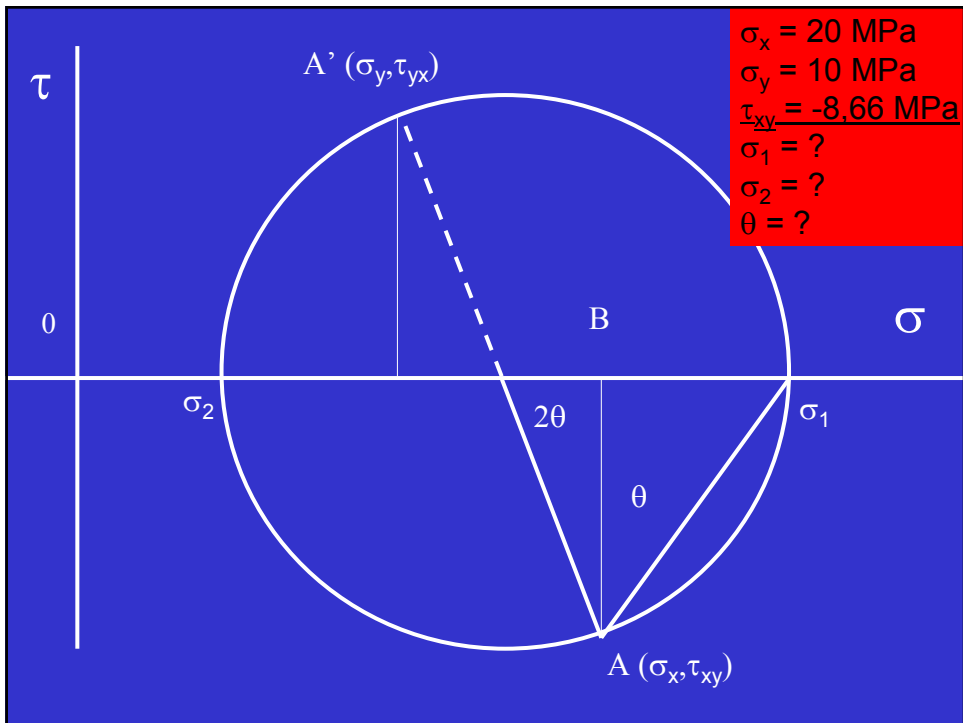




Pomoću Mohrove kružnice moguće je riješiti:

1. stanje naprezanja u točki $(\sigma_x, \sigma_y$ i $\tau_{xy})$ bilo koje ravnine, ukoliko su poznata glavna naprezanja σ_1 i σ_2 .

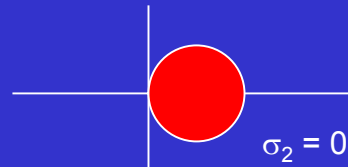
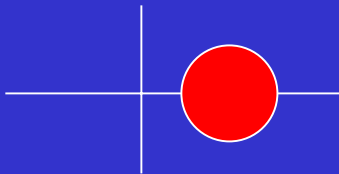
2. veličinu i smjer glavnih naprezanja (σ_1, σ_2) ukoliko su poznati σ_x, σ_y i τ_{xy} u nekoj točki.



Mohrova kružnica - različita stanja napreznja

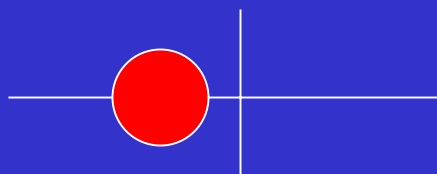
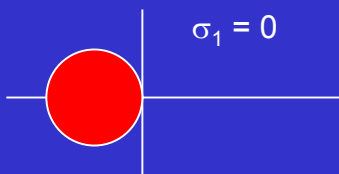
pozitivna ili TLAČNA napreznja

jednoosna kompresija



jednoosno vlačno napreznje

vlačno napreznje



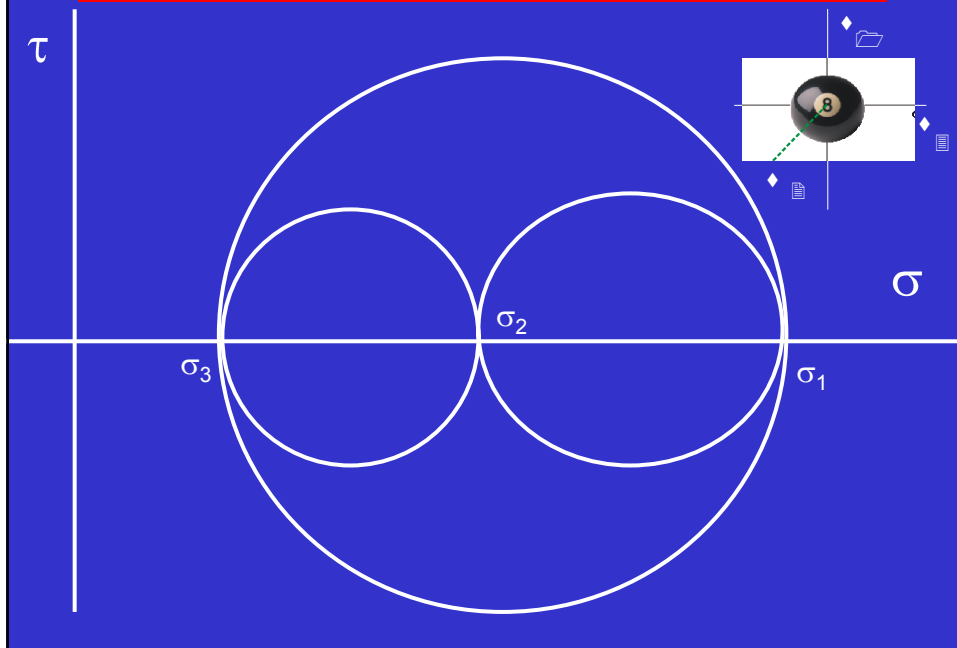
nema posmičnog naprezanja
- HIDROSTATSKO STANJE
NAPREZANJA

$$\tau = 0$$

$$\sigma_1 = \sigma_2$$

posmično naprezanje moguće samo u slučaju
kada su glavna naprezanja različita - tzv.
devijatorsko naprezanje

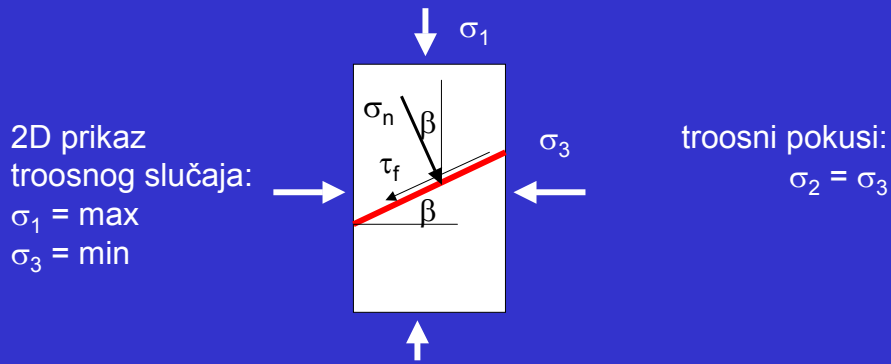
Mohrova kružnica: TROOSNO STANJE NAPREZANJA



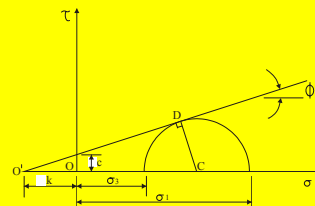
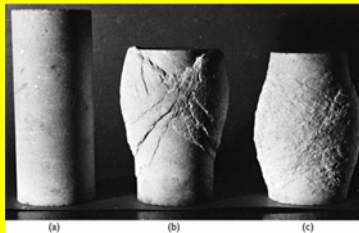
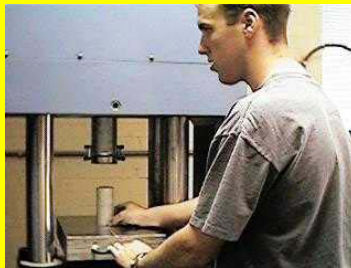
Mohr-Coulombova anvelopa sloma

zbog interakcije NORMALNOG NAPREZANJA na neku plohu i POSMIČNOG NAPREZANJA po toj plohi dogodit će se PLANARNI POSMIČNI SLOM u tlu ili stijeni

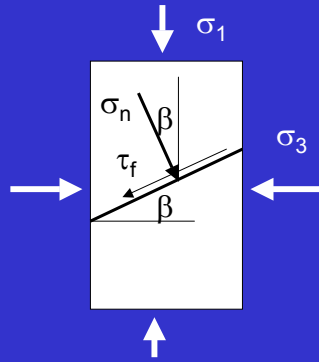
stanje naprezanja može biti JEDNOOSNO ili TROOSNO



Uniaxial Compressive Strength (UCS)



Start of first circle should be at 0 for UCS test.



kriterij planarnog sloma uveo je COULOMB

$$\tau_f = c + \sigma_n \tan \phi$$

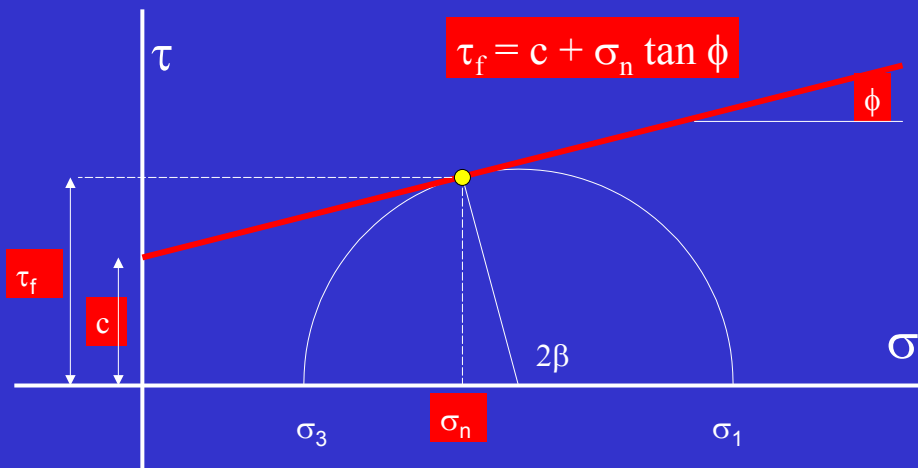
τ_f - posmično naprezanje na plohi sloma

c - kohezija materijala

$\sigma_n \tan \phi$ - koef. unutarnjeg trenja materijala

ϕ - kut unutarnjeg trenja materijala

Mohr-Coulombova anvelopa sloma



vrijednosti:

c - kohezija materijala

σ_n - normalno naprezanje

ϕ - kut unutarnjeg trenja materijala

neophodne za $\tau_f = c + \sigma_n \tan \phi$

dobivaju se iz

JEDNOOSNIH I TROOSNIH POKUSA NA UZORCIMA

POKUS 1 - jednoosni

$\sigma_1 = 140$ MPa

$\sigma_3 = 0$ MPa

$c = ?$ MPa

$\phi = ?$

$\tau_f = ?$ MPa

$\sigma_n = ?$ MPa

POKUS 2 - troosni

$\sigma_1 = 550$ MPa

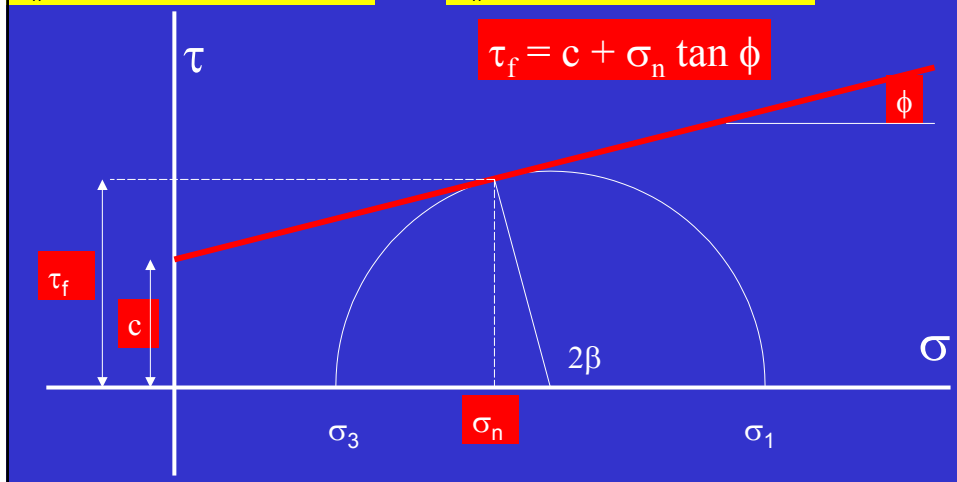
$\sigma_3 = 100$ MPa

$c = ?$ MPa

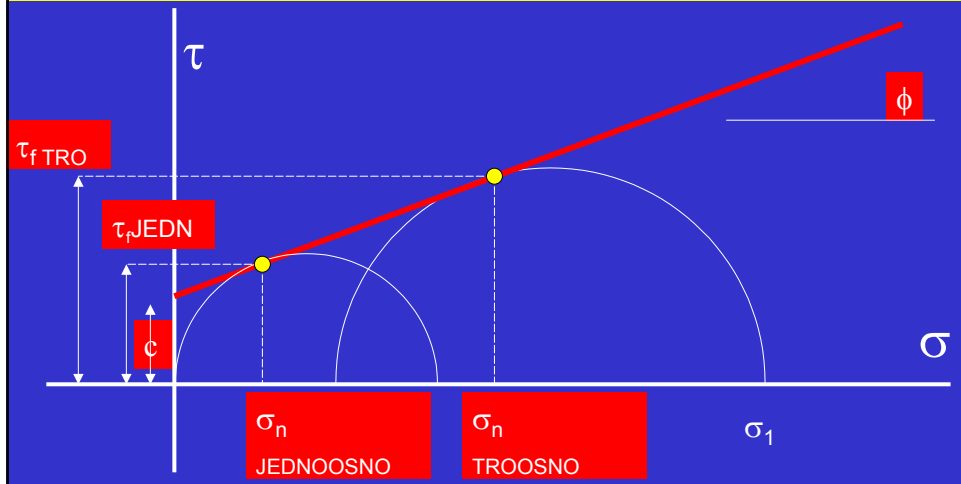
$\phi = ?$

$\tau_f = ?$ MPa

$\sigma_n = ?$ MPa



OBRATI PAŽNJU!!!
iako je kohezija ista,
(tlačno) normalno i posmično naprezanje
se povećava s povećanjem σ_3



Što je naprezanje i deformacija?

- **naprezanje**

- sustav sila unutar nekog tijela koje se javljaju kao reakcija na vanjske sile koje djeluju na tijelo

- **deformacija**

- mjera promjene oblika tijela koja je nastala kao rezultat sile koje su djelovale na tijelo

DEFORMACIJA može biti

- **normalna deformacija**
(eng. *pure shear*)
- **posmična deformacija**
(eng. *simple shear*)

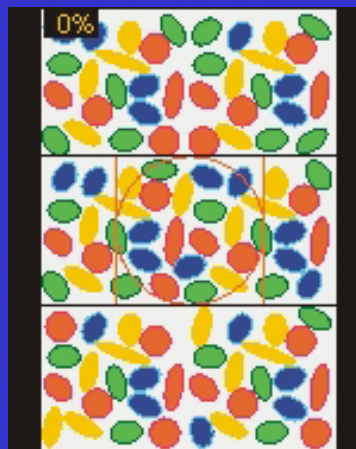
NORMALNA deformacija

-promjena oblika
tijela

-bez promjene
volumena

-glavne osi
deformacije ne
rotiraju

-ostali pravci
rotiraju prema osi
X

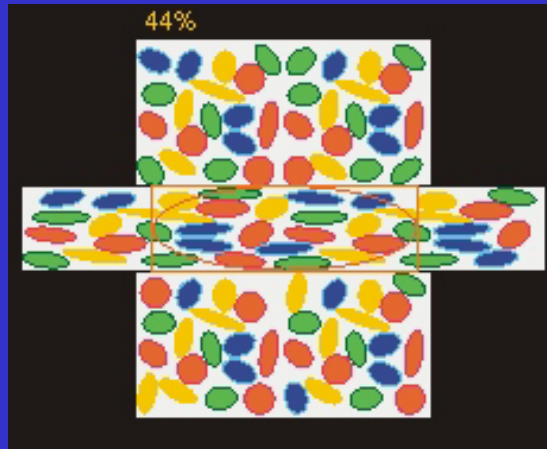


ELIPSOID/ELIPSA
DEFORMACIJE

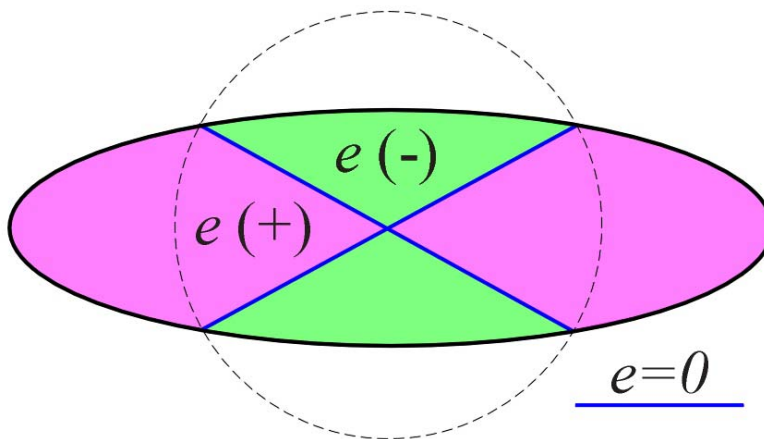
- $\gamma=1$;

-deformacija
paraleno ravnini
XZ

NORMALNA deformacija



Po završetku deformacije, u XZ ravнини postoje dva pravca čija je duljina jednaka njihovoj početnoj duljini ($e=0$). Ovi pravci dijele elipsu deformacije u polja – kompresijske i tenzijske kvadrante, u kojima leže pravci čija je konačna duljina kraća (e^-), odnosno duža (e^+), u odnosu na njihovu prvotnu duljinu.



POSMIČNA deformacija



ELIPSOID/ELIPSA
DEFORMACIJE

- $\gamma=1$;
-deformacija
paraleno ravnini
XZ

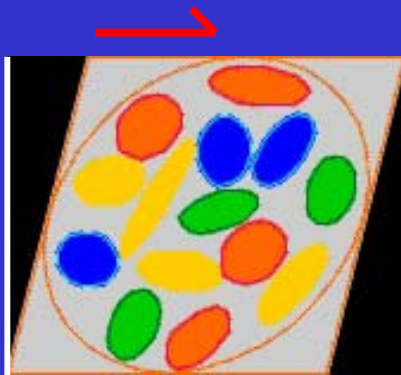
-promjena oblika
tijela

-bez prvotne
promjene
volumena

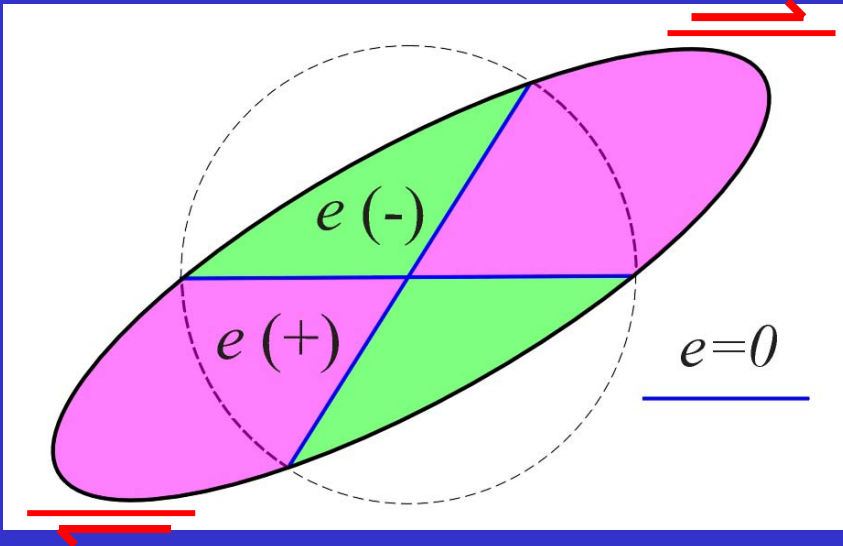
-glavne osi
deformacije
ROTIRAJU

-ostali pravci
također rotiraju

POSMIČNA deformacija



I pri ovoj deformaciji, u XZ ravnini uvijek postoje dva pravca čija je duljina jednaka njihovoj početnoj duljini ($e=0$), od kojih je jedan uvijek paralelan posmičnoj plohi, kojima je elipsa razdijeljena u tenzijske ($e+$) i kompresijske kvadrante ($e-$).

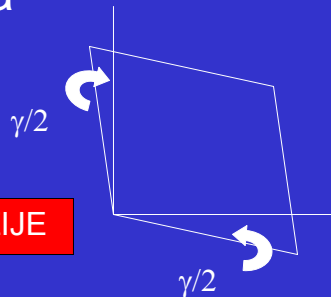


normalna deformacija
(promjena duljine)

$$\varepsilon = \frac{l_{orig} - l_{deform.}}{l_{orig}}$$

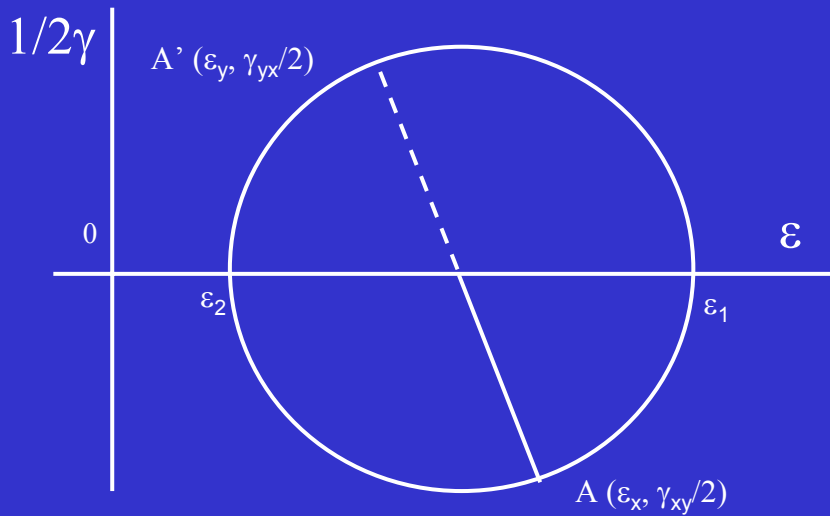
DEFORMACIJA

posmična deformacija

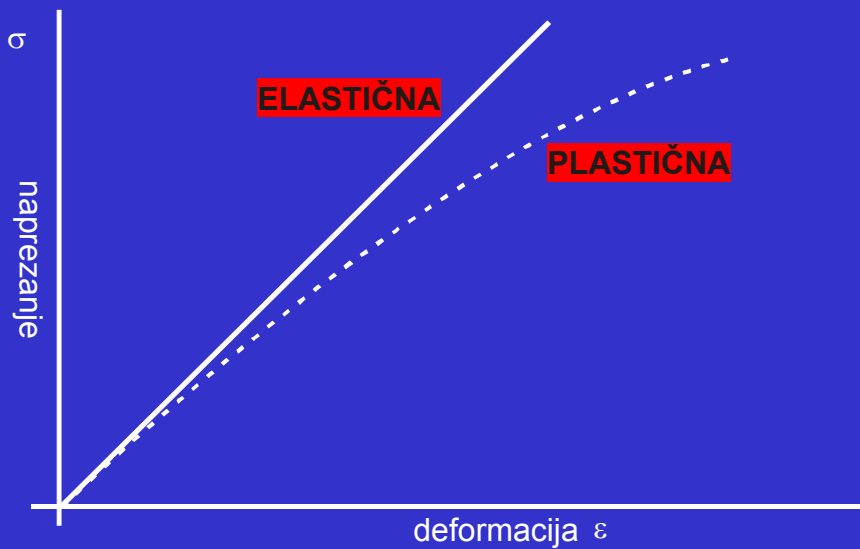


KUT DISTORZIJE

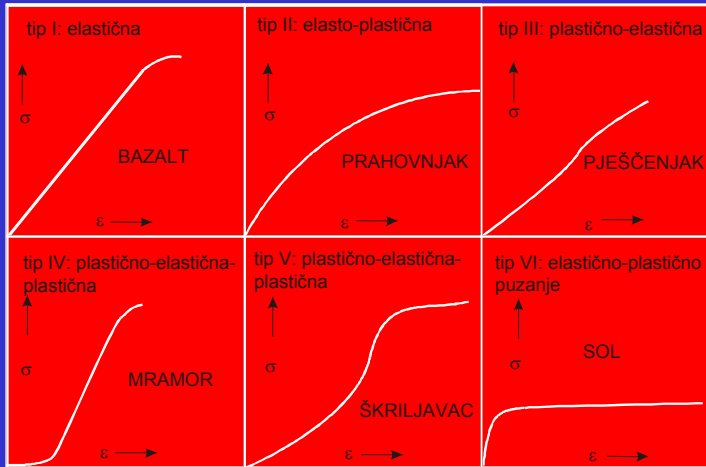
Mohrova kružnica: komponente deformacije



Postojanost deformacije



naprezanje : deformacija - slom



Konstante elastičnosti

karakteriziraju elastičnost materijala nastalu kao odgovor na primijenjeno naprezanje

$$E = \frac{\sigma_n}{\epsilon} \quad \bullet \text{ Youngov modul elastičnosti}$$

- definira elastičnu normalnu deformaciju

$$\nu = \frac{\Delta l}{\Delta d} \quad \bullet \text{ Poissonov koeficijent}$$

- definira bočnu deformaciju za vrijeme promjene duljine (max 0,5)

$$G \text{ ili } \mu = \frac{\tau}{\gamma} \quad \bullet \text{ posmični modul ili modul krutosti}$$

- mjera posmične deformacije

$$K = \frac{\sigma_0}{\epsilon_v} \quad \bullet \text{ volumetrijska deformacija ili dilatacija}$$

- modul stižljivosti
(hidrostatski pritisak/volumetrijska deformacija)