



Sveučilište u Zagrebu  
RUDARSKO  
GEOLOŠKO  
NAFTNI FAKULTET



# STRUKTURNA GEOLOGIJA

**Bruno Tomljenović**

**Uvod -  
Deformacijske  
strukture u  
stijenama**

# STRUKTURNA GEOLOGIJA

je grana geologije koja proučava građu Zemljine kore, odnosno građu stijena i stijenskih tijela od kojih je izgrađena Zemljina kora. Ovaj temeljni cilj najčešće se postiže:

- analizom primarnih i sekundarnih (deformacijskih) struktura i strukturnih elemenata u stijenama i stijenskim tijelima, definiranjem njihove orijentacije, prostornog rasporeda i morfoloških značajki (veličine, oblika i sl.)  
⇒ DESKRIPTIVNA STRUKTURNA ANALIZA
- analizom pokreta kojim su stijene i/ili stijenska tijela nakon svog postanka promijenile orijentaciju, prostorni položaj, oblik i veličinu  
⇒ KINEMATIČKA STRUKTURNA ANALIZA ili *analiza deformacije* (engl. *strain analysis*)
- analizom sila i naprezanja koja su prouzročila deformacijske pokrete, odnosno deformaciju stijena ⇒ DINAMIČKA STRUKTURNA ANALIZA ili *analiza naprezanja* (engl. *stress analysis*)

# POVEZANOST S DRUGIM GRANAMA GEOLOGIJE

Strukturalna geologija temelji se na analizi primarnih i sekundarnih (deformacijskih) struktura i strukturalnih elemenata u stijinama i stijenskim tijelima Zemljine kore, pa je stoga dobro predznanje iz **Petrologije sedimentnih, magmatskih i metamorfnih stijena** od velike važnosti za razumijevanje i interpretaciju geneze deformacijskih struktura u svim vrstama stijena.

Također, budući da vrlo slične ili čak istovrsne deformacijske strukture mogu opetovano nastajati tijekom geološke prošlosti, za odredbu relativne i apsolutne starosti struktura i deformacijskih pokreta nužno je poznavanje metoda i principa utemeljenih u okviru **Stratigrafske geologije**.

U modernoj strukturalnoj geologiji koristi se velik broj istraživačkih metoda i postupaka iz **Geofizike i Geodezije** (npr. gravimetrija, seizmika, paleomagnetizam, mjerenje pomaka pomoću GPS-a i dr.), pa je i poznavanje temeljnih principa na kojim se temelje ove metode također od izrazite važnosti.

Strukturalna geologija je usko povezana s **Tektonikom!**

# STRUKTURNA GEOLOGIJA vs. TEKTONIKA

*struere (lat.) = graditi*  
*tektos (grč.) = graditelj*

Strukturalna geologija i tektonika su grane geologije koje se temelje na istim znanstveno-istraživačkim principima i metodama, a razlikuju se jedino prema mjerilu u okviru kojeg istražuju građu i interpretiraju deformacijske pokrete u Zemljinoj kori.

**Strukturalna  
geologija**

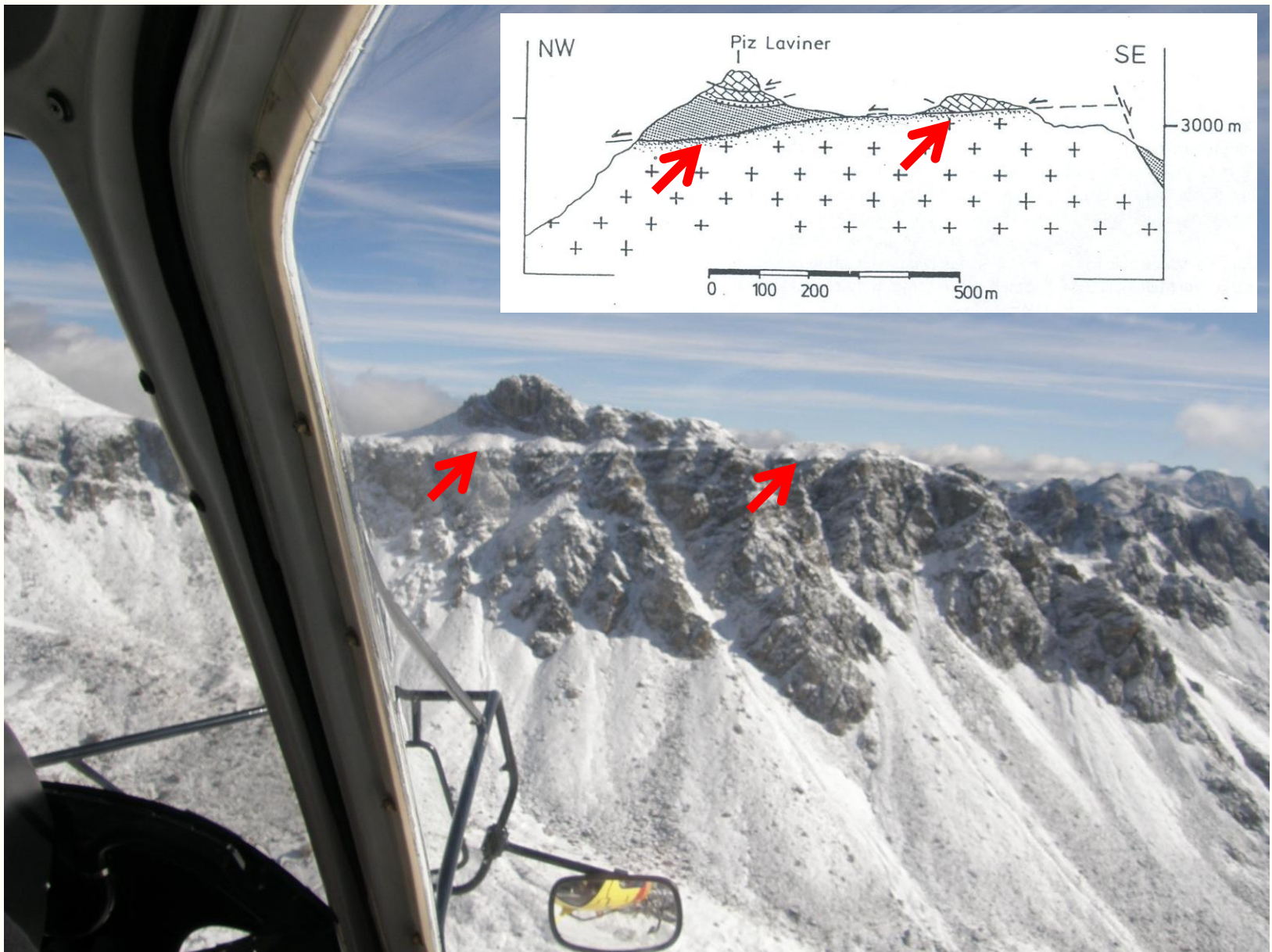


u domeni submikroskopskog  
pa do **regionalnog** mjerila

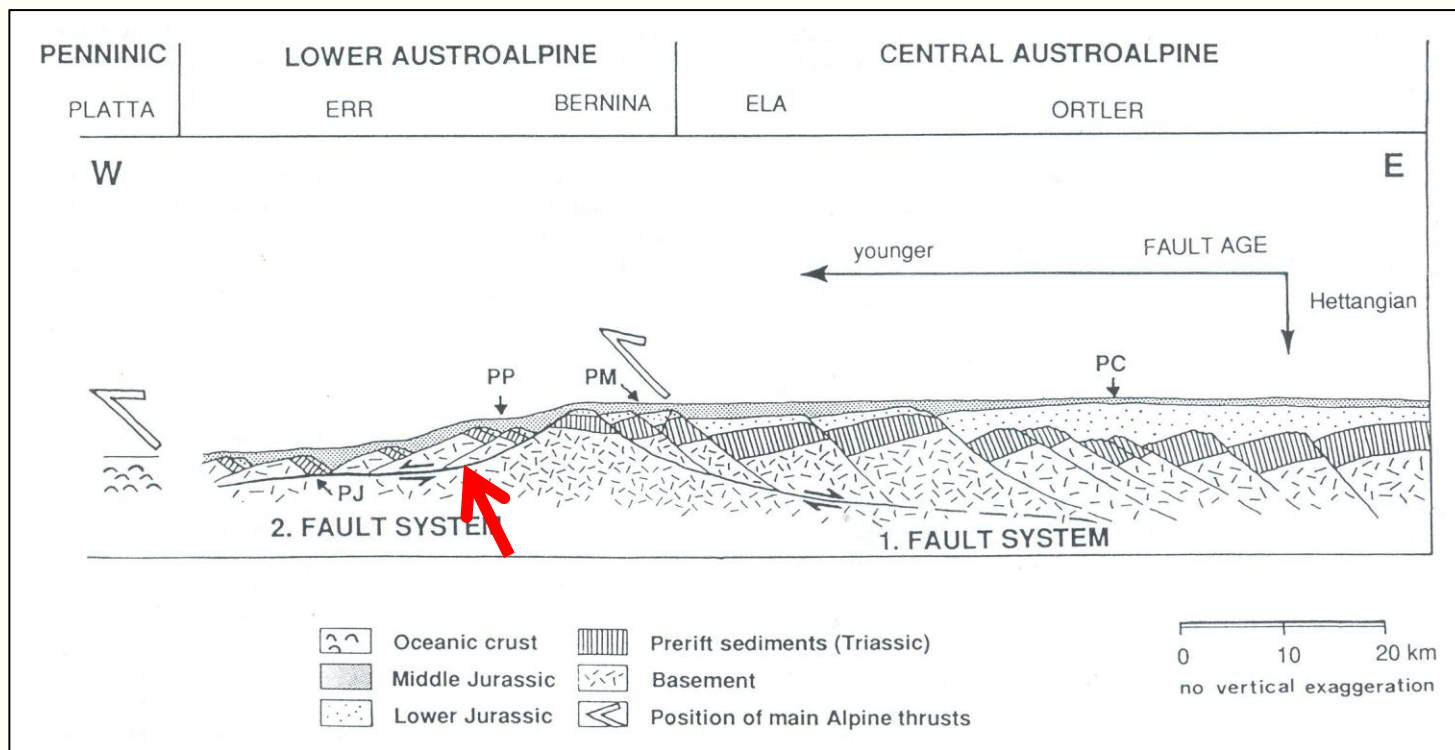
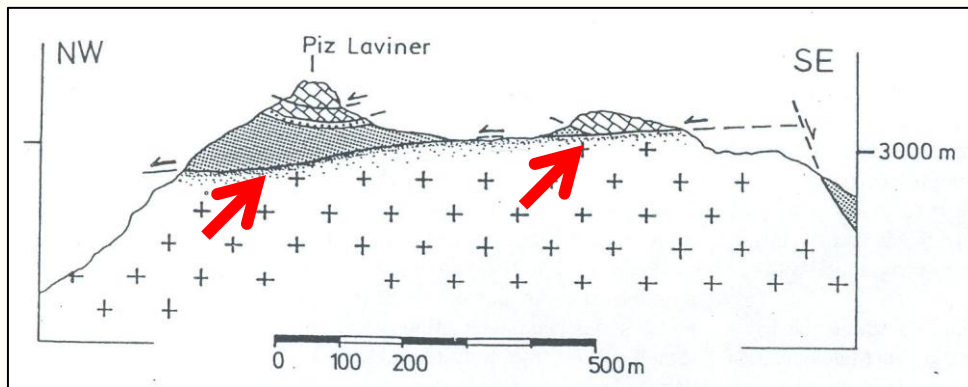
**Tektonika**



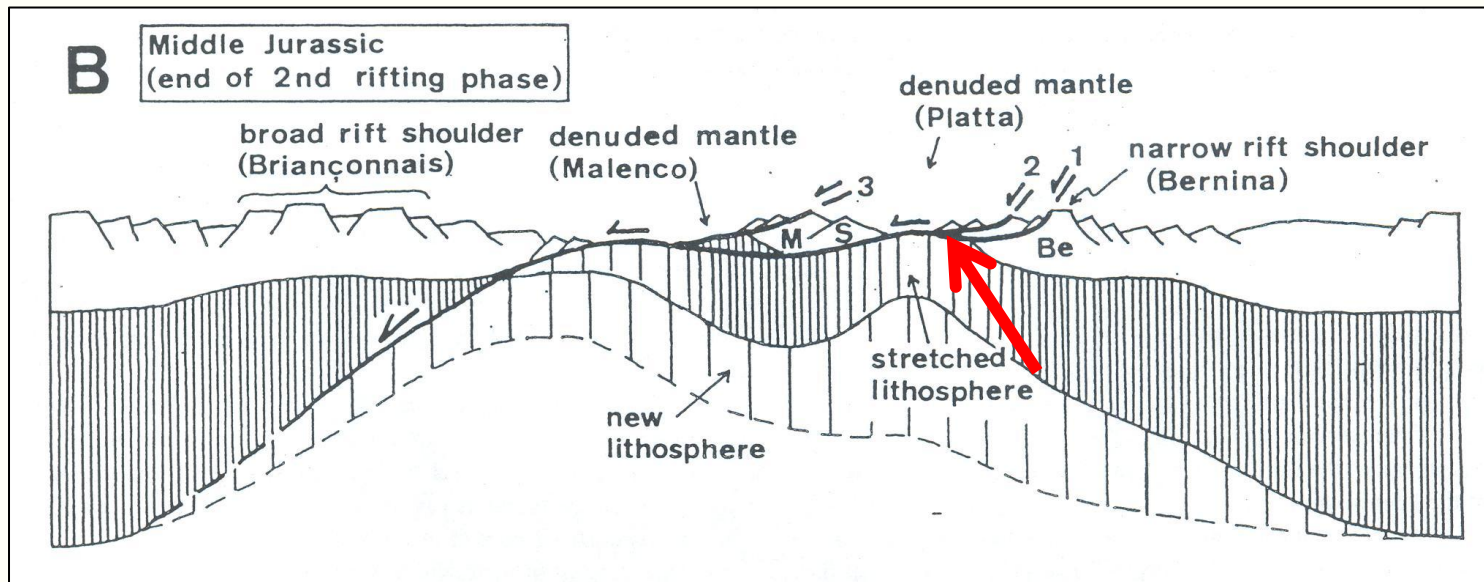
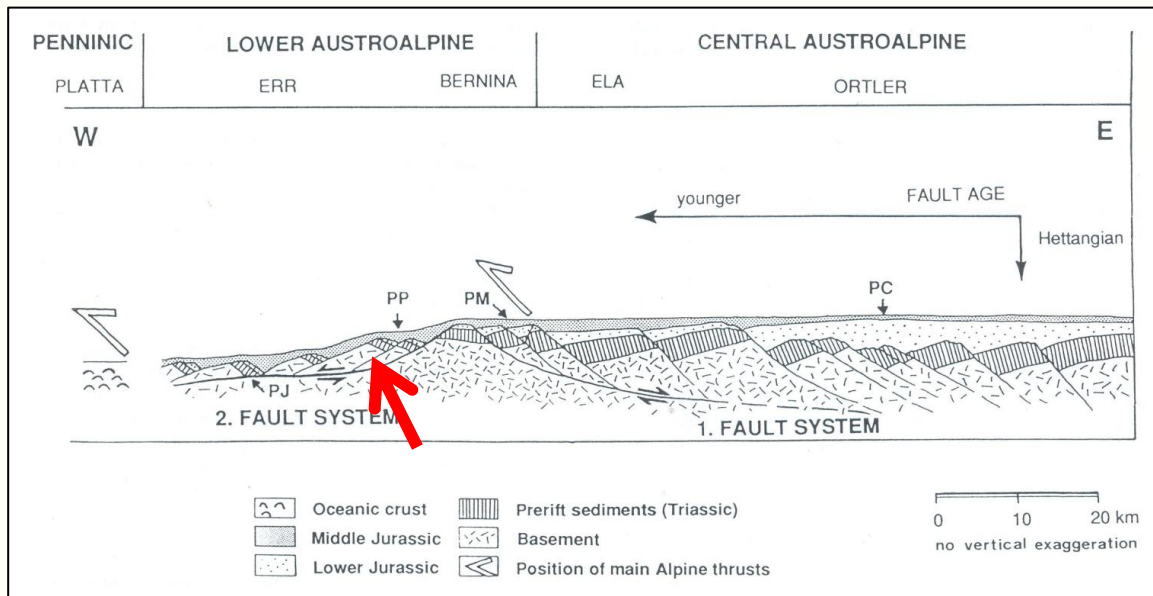
u domeni **regionalnog** i  
globalnog mjerila



Subhorizontalni normalni rasjed u švicarskim Alpama.



Interpretacija regionalnog značenja istog rasjeda prema Froitzheim & Eberli( 1990).



Interpretacija regionalnog značenja istog rasjeda prema Froitzheim & Manatschal (1996).

# PRIMJENA STRUKTURNE GEOLOGIJE

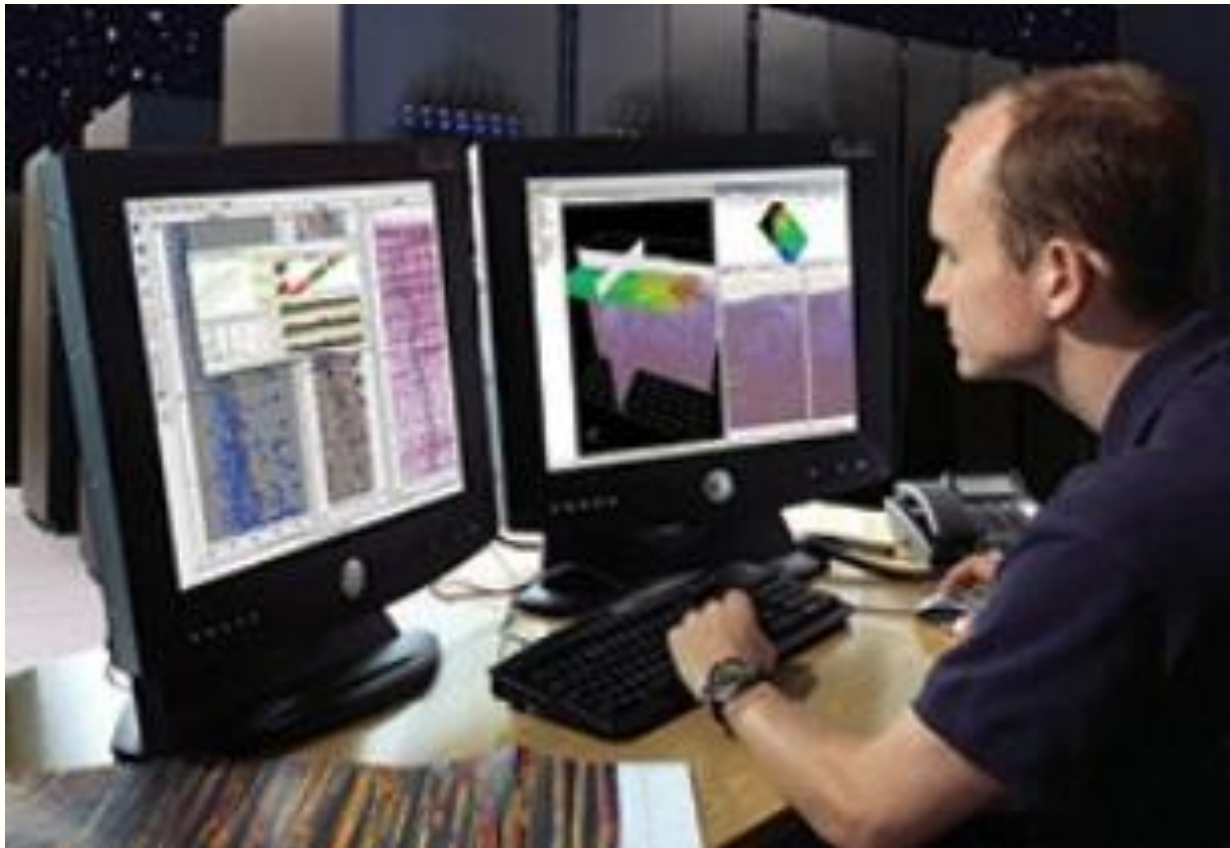
Znanja i postupci na kojima se temelji deskriptivna strukturna analiza (npr. klasifikacija deformacijskih struktura, mjerenje i prikazivanje položaja i orijentacije strukturnih elemenata na kartama i dijagramima i dr.), osim u strukturnoj analizi stijenskih tijela, izravno se primjenjuju i u **Geološkom kartiranju**.





# PRIMJENA STRUKTURNE GEOLOGIJE

Analiza i rekonstrukcija strukturne građe nekog područja i/ili podzemlja ima praktičnu primjenu u istraživanju i eksploataciji **rudnih ležišta**, **ležišta ugljikovodika**, **ležišta građevinskog i arhitektonskog kamena**.



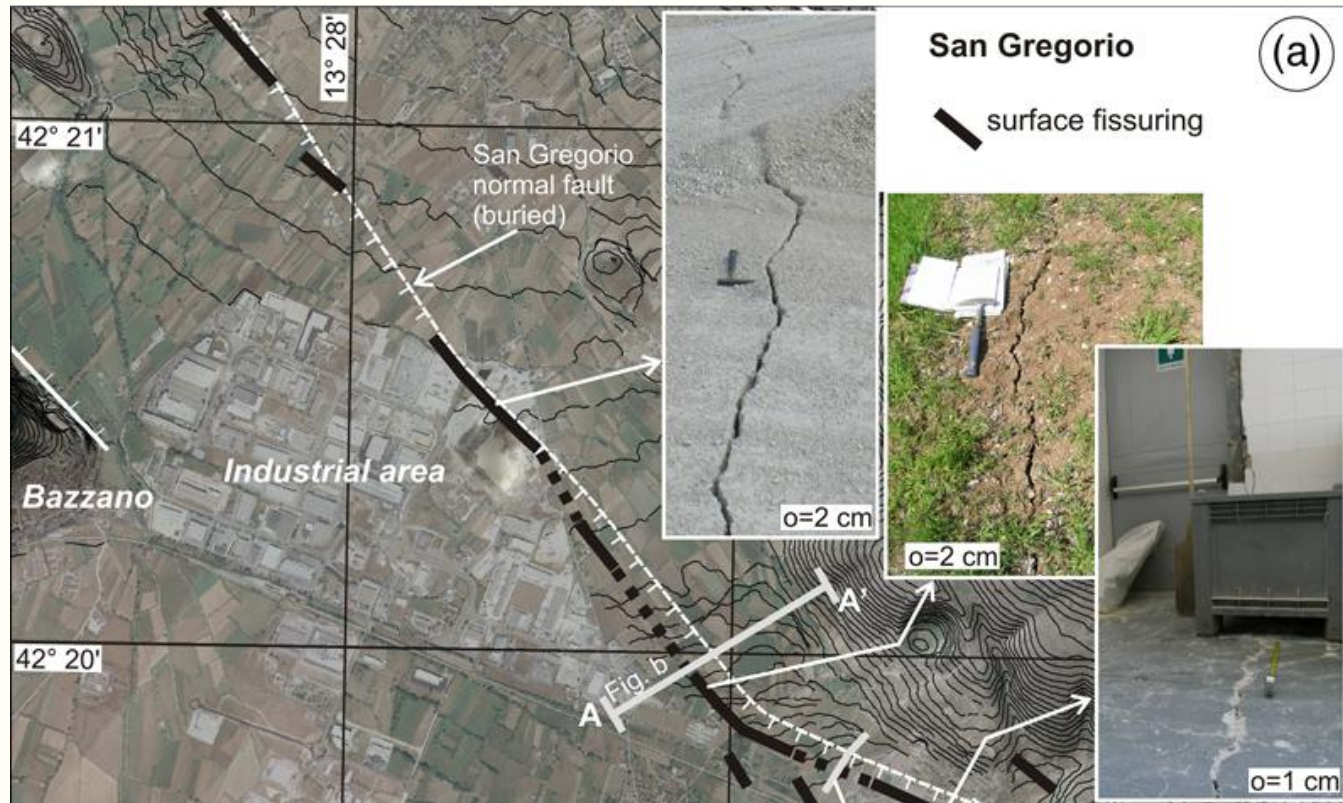
# PRIMJENA STRUKTURNE GEOLOGIJE

Analiza diskontinuiteta, naročito pukotina koje utječu na fizičko-mehanička svojstva stijena i migraciju fluida u stijenama, predstavlja sastavni dio istraživanja u **Inženjerskoj geologiji** i u **Hidrogeologiji**.



# PRIMJENA STRUKTURNE GEOLOGIJE

Strukturno-geološki podaci o **recentno aktivnim rasjedima** u kombinaciji s podacima seizmičke aktivnosti, čine temelj za interpretaciju **seizmotektonske aktivnosti, seizmičkog hazarda i rizika** u seizmički aktivnim područjima.



(iz Boncio et al., 2012)

# OSNOVNE VRSTE "GEOLOŠKIH STRUKTURA"

Tri su glavne kategorije "geoloških struktura" u stijenama i stijenskim tijelima:

- **Primarne strukture**
- **Sekundarne, deformacijske strukture**
- **Kontakti među stijenskim tijelima**

U okviru ovog predmeta će se pojam "**primarne strukture**" koristiti za sve one teksturne i strukturne značajke koje nastaju u stijenama u najranijoj fazi njihova postanka, tijekom njihove dijageneze, litifikacije i kristalizacije.

Za razliku od toga, pod pojmom "**sekundarne strukture**" bit će obuhvaćene sve one strukture i strukturne značajke koje nastaju u stijenama kao posljedica **naknadne deformacije minerala i stijena nakon njihova postanka**.

Iako se strukturna geologija u najvećoj mjeri bavi proučavanjem **sekundarnih (deformacijskih) struktura**, dobro poznavanje primarnih tekstura i struktura u stijenama, kao i karaktera kontakata među stijenskim tijelima od presudne je važnosti pri rekonstrukciji strukturne građe terena ili dijela Zemljine kore koji istražujemo.

Primarne teksture i strukture detaljno se opisuju u okviru Petrologije sedimentnih, magmatskih i metamorfnih stijena. Najčešće među njima, koje susrećemo i koristimo u analizi strukturne građe terena, prikazane su i sažeto opisane u poglavlju "**Primarne strukture**", koje je sastavni dio ovog nastavnog sadržaja.

- Sekundarne, deformacijske strukture u stijenama

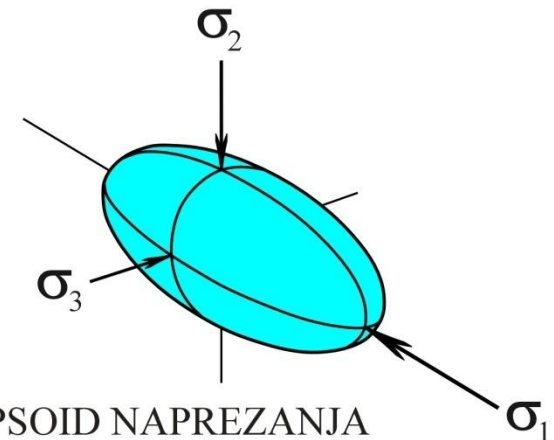
Sekundarne, deformacijske strukture nastaju u stijenama kao rezultat njihove naknadne deformacije (odnosno deformacije njihovih sastavnih minerala) pod utjecajem naprezanja u Zemljinoj kori.

Režim (stanje) naprezanja u Zemljinoj kori nije posvuda jednak. Promatran u nekoj zamišljenoj točki u prostoru režim naprezanja slikovito opisuje **elipsoid naprezanja** koji definiraju tri, međusobno okomite glavne osi:

$\sigma_1$  ili najdulja os naprezanja, odnosno vektor najvećeg normalnog naprezanja

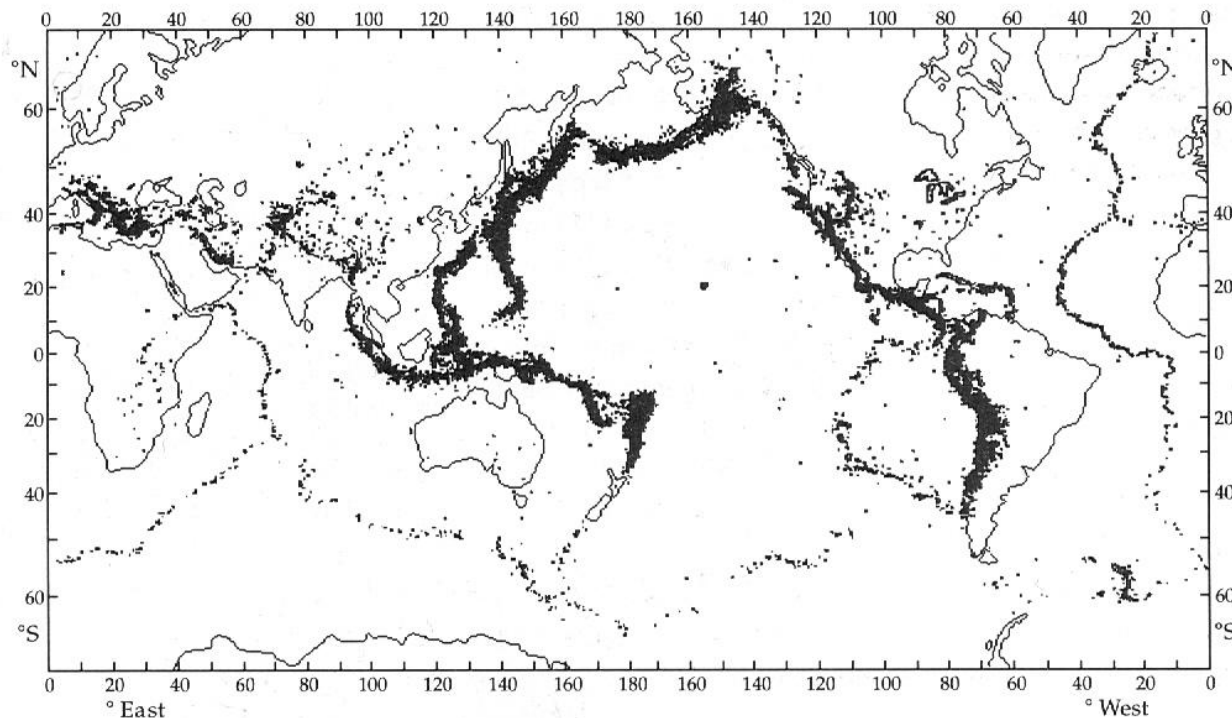
$\sigma_3$  ili najkraća os naprezanja, odnosno vektor najmanjeg normalnog naprezanja

$\sigma_2$  ili srednja os naprezanja, odnosno vektor srednjeg normalnog naprezanja



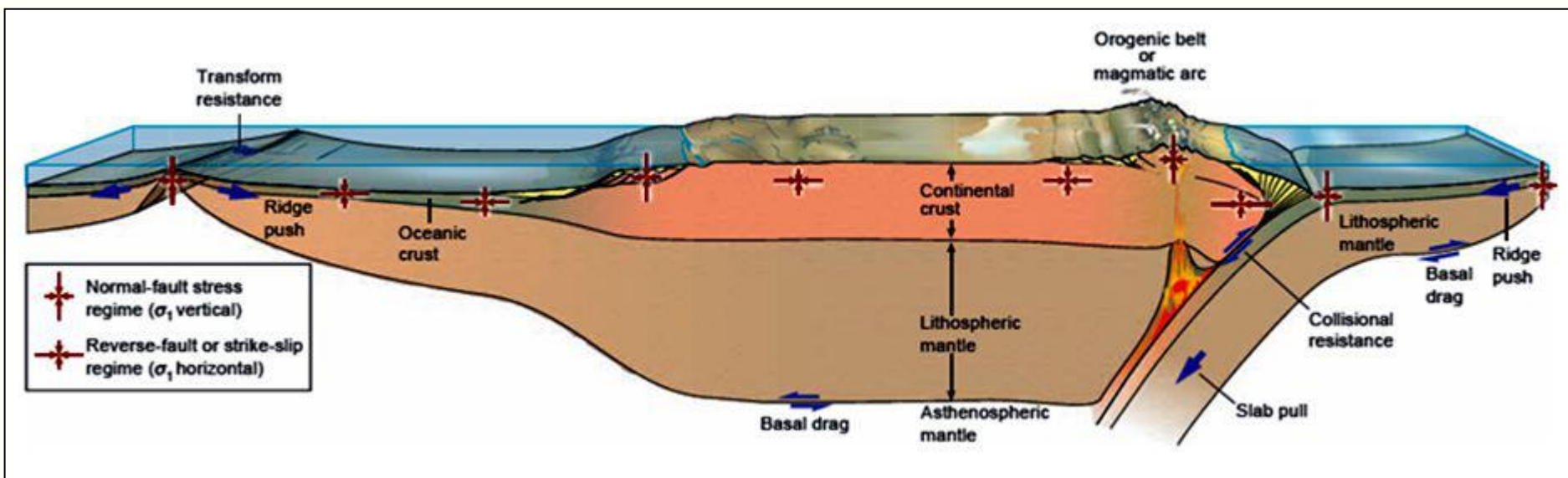
ELIPSOID NAPREZANJA  
(eng. *stress ellipsoid*)

Promatrano u globalnom mjerilu, naprezanje u Zemljinoj kori je neravnomjerno raspoređeno, o čemu svjedoči i neravnomjeran raspored epicentara potresa kojim se naprezanje, tijekom vremena koncentrirano u kori, povremeno i naglo oslobađa. Učestalost potresa, kao odraz najveće koncentracije naprezanja, najveća je duž granica među tektonskim pločama (tzv. tektonski aktivna područja), za razliku od središnjih dijelova ploča u kojima su potresi rijetki ili praktički potpuno izostaju (tektonski neaktivna područja).



Globalni raspored epicentara potresa u periodu između 1961.-1967. godine koji ukazuje na neravnomjeran raspored naprezanja u Zemljinoj kori (prema Barazangi & Dorman, 1969). Najveća koncentracija potresa je duž granica među tektonskim pločama.

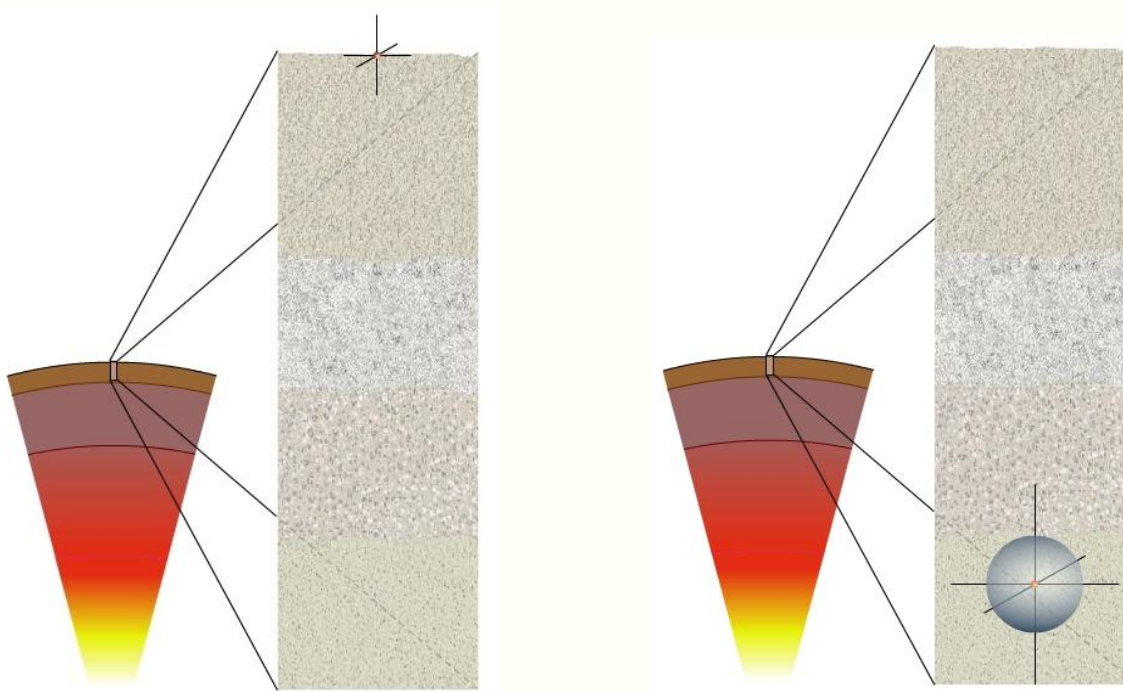
Raspored sila i vrste naprezanja u kori i u litosferi ovise o tipu granica (rubova) među tektonskim pločama. Idući od granice među pločama, naprezanja se prenose u unutrašnje dijelove ploča, ali i uz mogućnost promijene tipa naprezanja.



(iz Fossen, 2010)

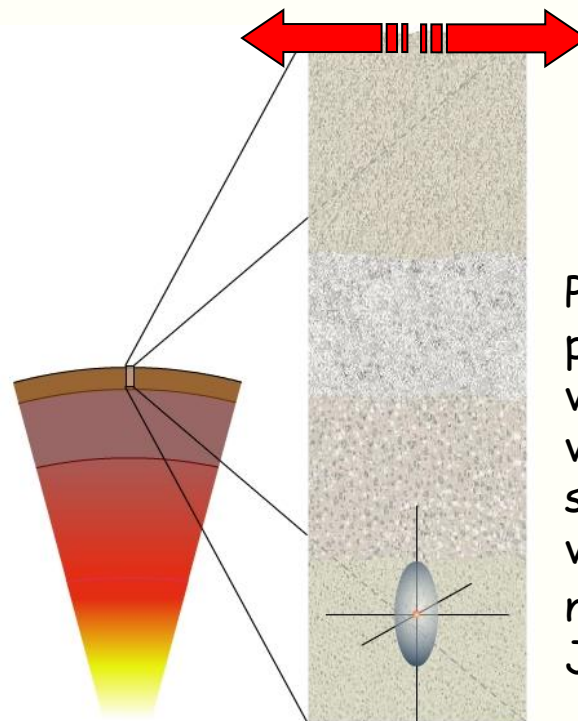
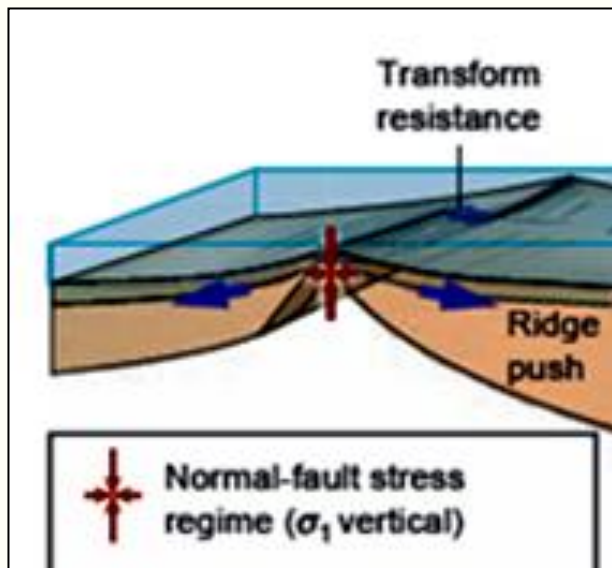


U tektonski neaktivnim, stabilnim područjima, odnosno **kratonima** kao što su Baltički i Kanadski štit (vidi na slajdu br. 9), režim naprezanja u kori približno odgovara onom koji vlada u vodenoj sredini - tj. vrijednosti vektora naprezanja približno su jednake u svim smjerovima, uz porast veličine s porastom dubine. Ovaj tip naprezanja u Zemljinoj kori naziva se **litostatskim naprezanjem**.



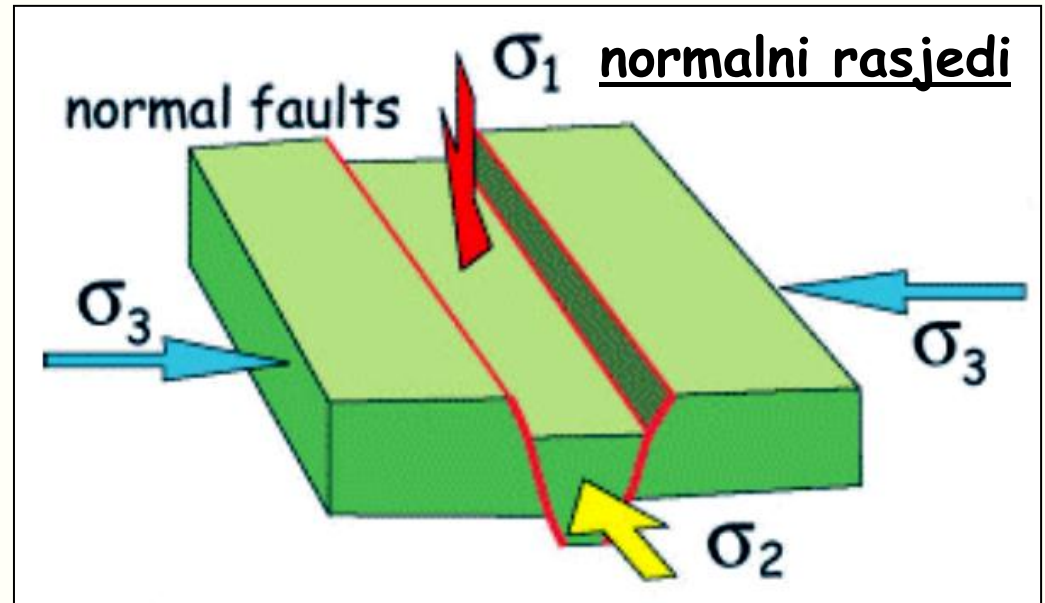
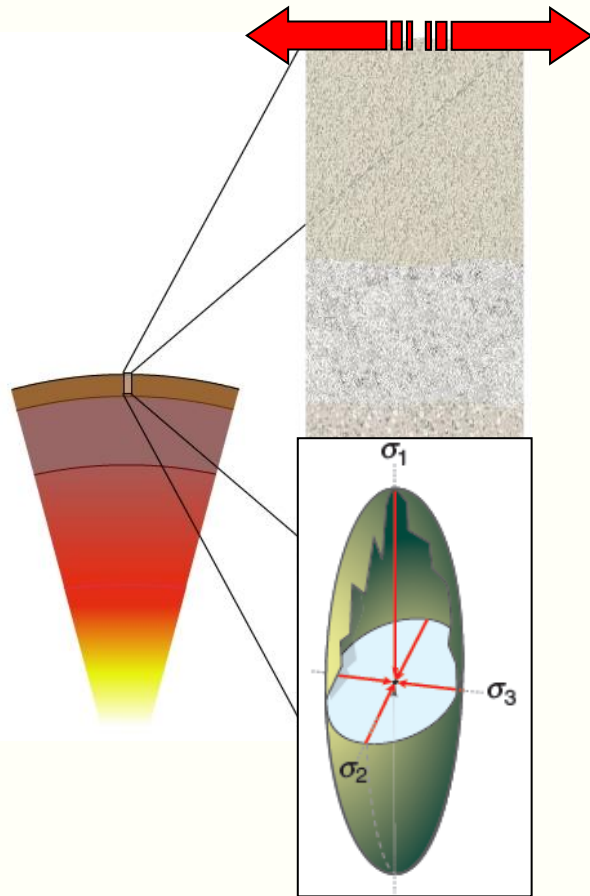
Litostatsko naprezanje u stabilnim, tektonski neaktivnim područjima. S porastom dubine povećavaju se i vrijednosti vektora naprezanja bez obzira na njihovu orijentaciju (iz Fossen & Johansen, 2005).

Duž divergentnih granica među tektonskim pločama, poput **srednjo-oceanskih riftova** i zalučnih "back-arc" bazena, te u područjima **intra-kontinentalnih bazena** i **riftova** poput Basin and Range provincije u Sjevernoj Americi, Istočnoafričke riftne doline i Rajnske grabe, vrijednosti horizontalnih vektora naprezanja uvijek su manje od vrijednosti vertikalnog vektora naprezanja. Drugim riječima, u ovim područjima vlada **ekstenzijski režim naprezanja** s najduljom osi elipsoida naprezanja ( $\sigma_1$ ) koja je vertikalne orijentacije.

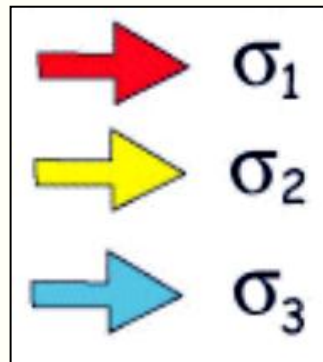


Premda s porastom dubine prelazi u **tlačno napezanje**, vrijednosti horizontalnih vektora naprezanja uvijek su manje od vrijednosti vertikalnog vektora naprezanja  $\sigma_1$  (iz Fossen & Johansen, 2005).

Kao posljedica ekstenzijskog režima naprezanja u krutom dijelu kore nastaju normalni rasjedi (engl. *normal faults*)



glavne osi naprezanja:

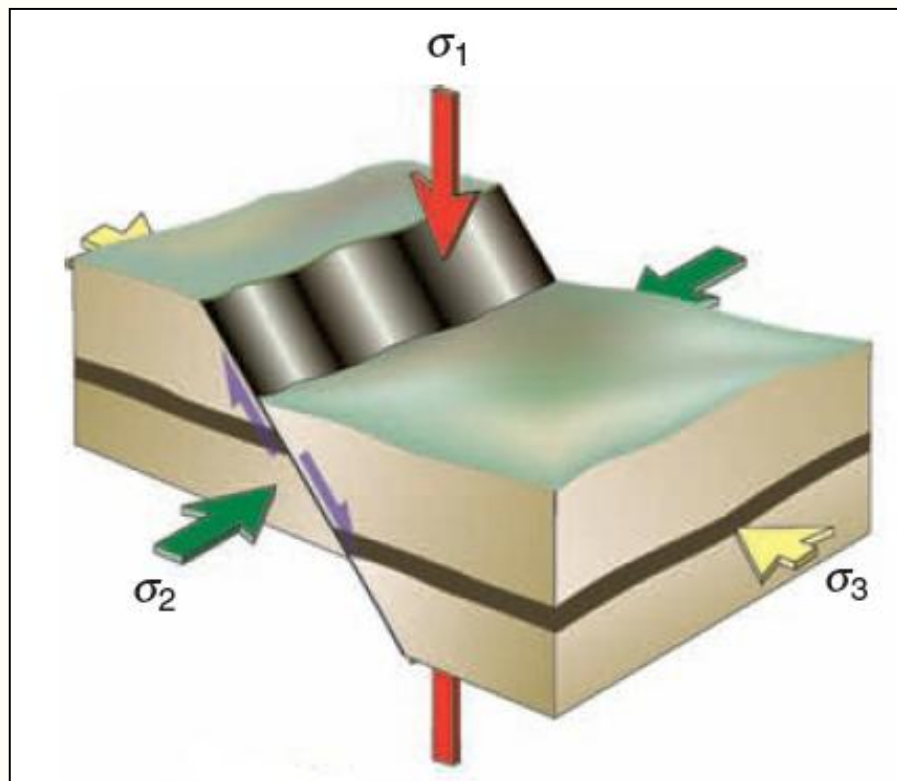


najveća os

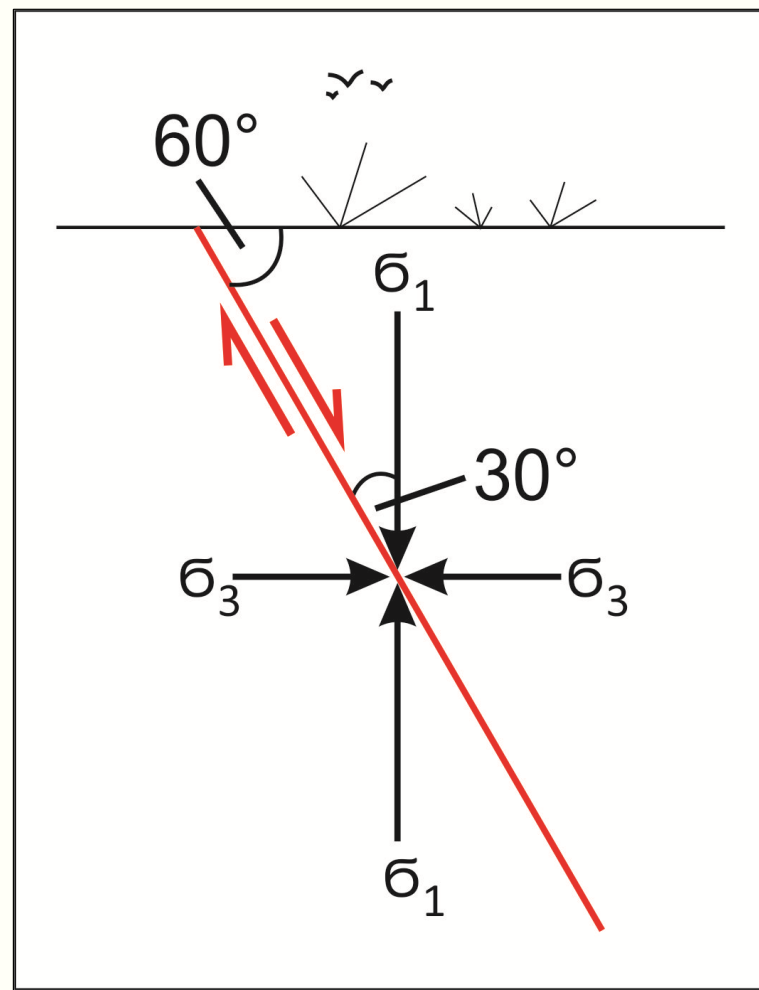
srednja os

najmanja os

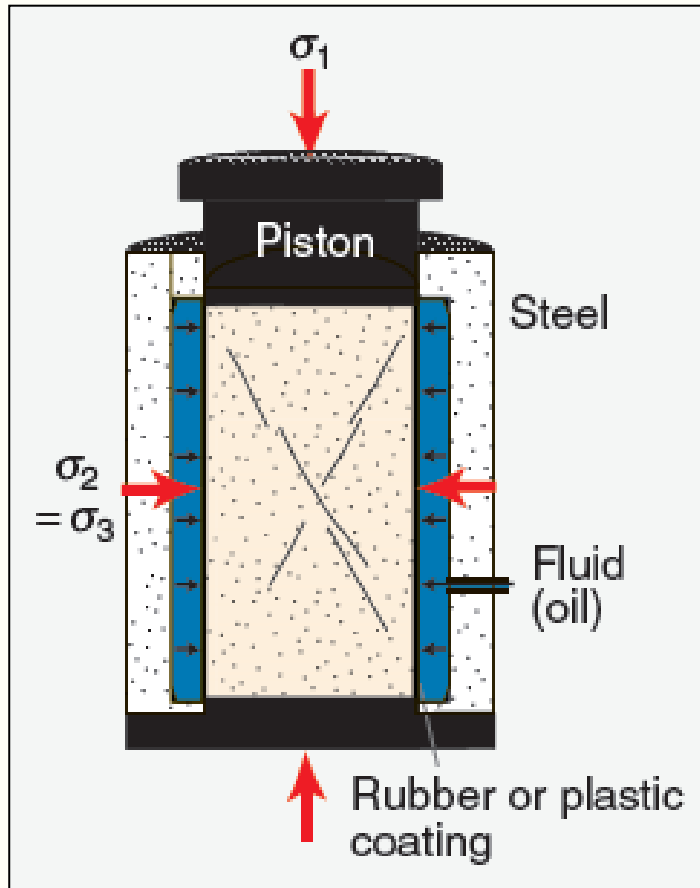
U idealnim uvjetima normalni rasjedi nastaju pod kutom od  $30^\circ$  u odnosu na najveću os naprezanja  $\sigma_1$



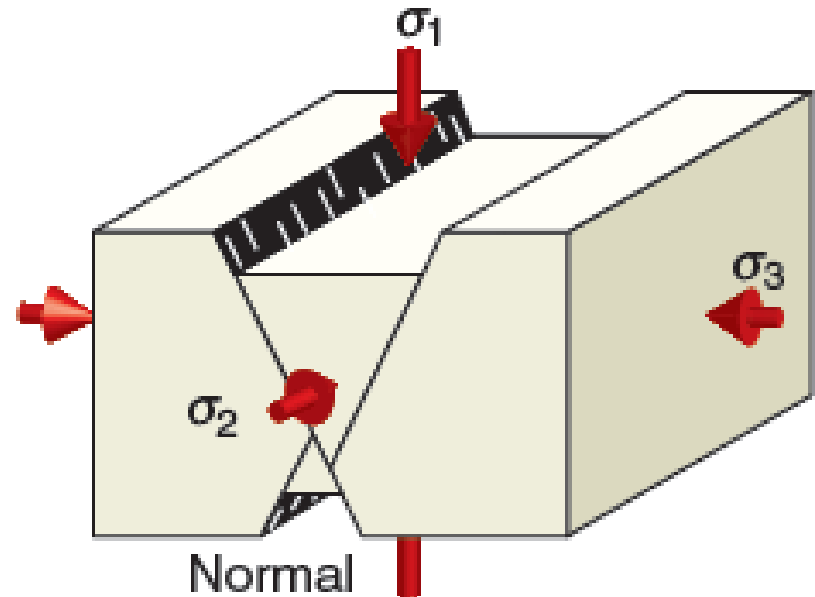
(iz Fossen, 2010)



# Konjugirani par normalnih mikro- rasjeda u uzorku ispitanom u hidrauličnoj preši

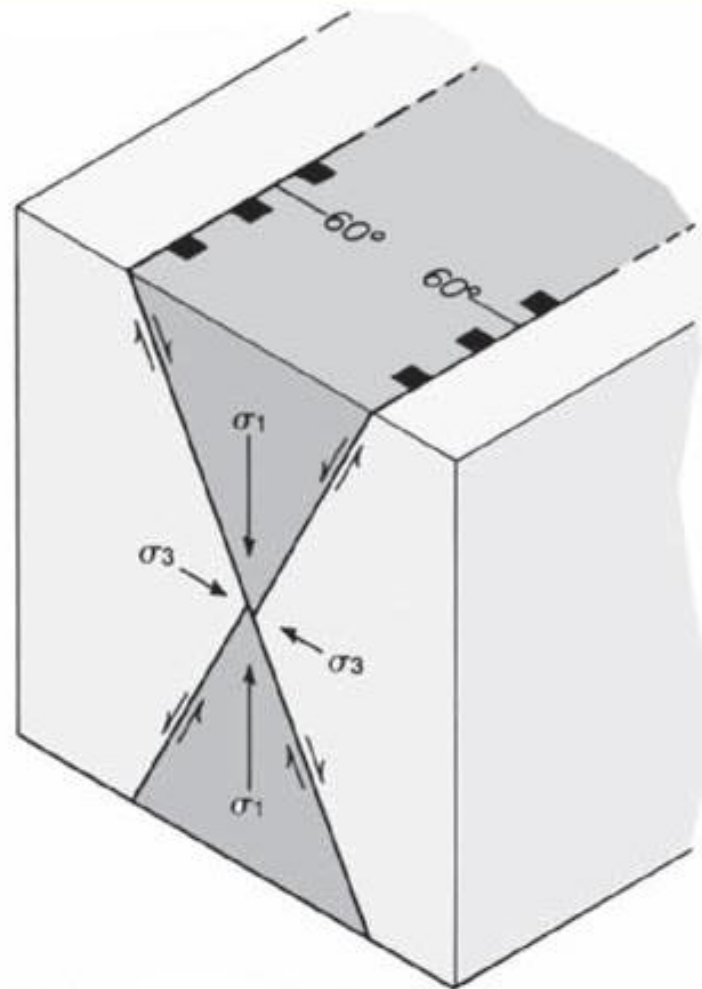
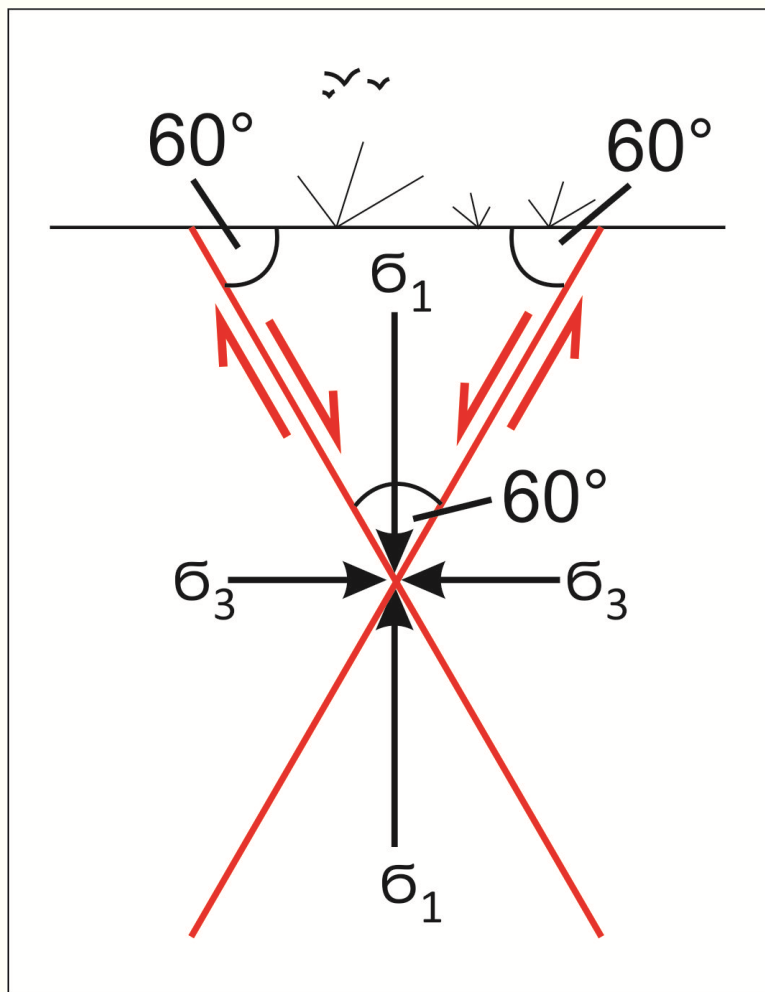


# Konjugirani par normalnih rasjeda



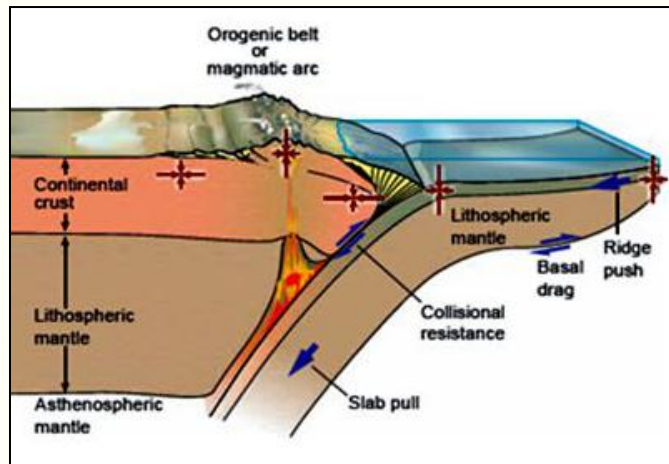
(iz Fossen, 2010)

# Konjugirani parovi normalnih rasjeda

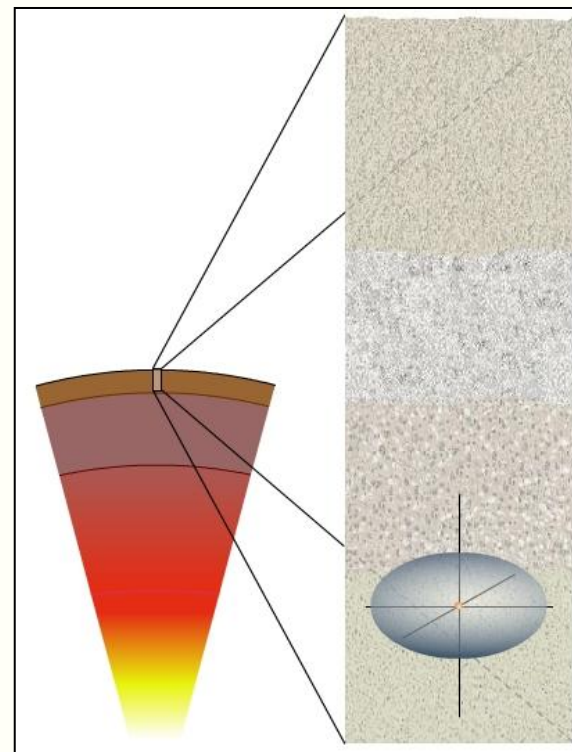


(iz Davis & Reynolds, 1996)

Duž konvergentnih granica među tektonskim pločama, u **zonama subdukcije** i u **zonama kolizije**, vrijednosti horizontalnih vektora naprezanja uvijek su veće od vrijednosti vertikalnog vektora naprezanja. U ovim područjima vlada **kompresijski režim naprezanja** s najkraćom osi elipsoida naprezanja ( $\sigma_3$ ) koja je vertikalne orijentacije.

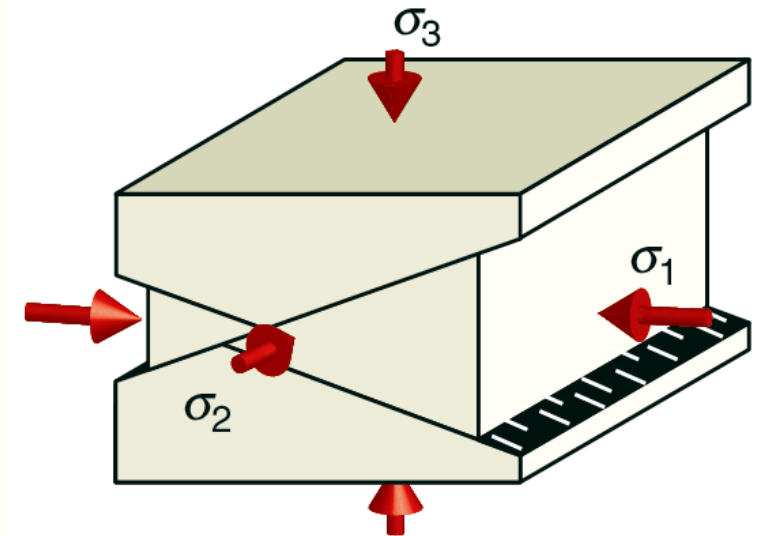
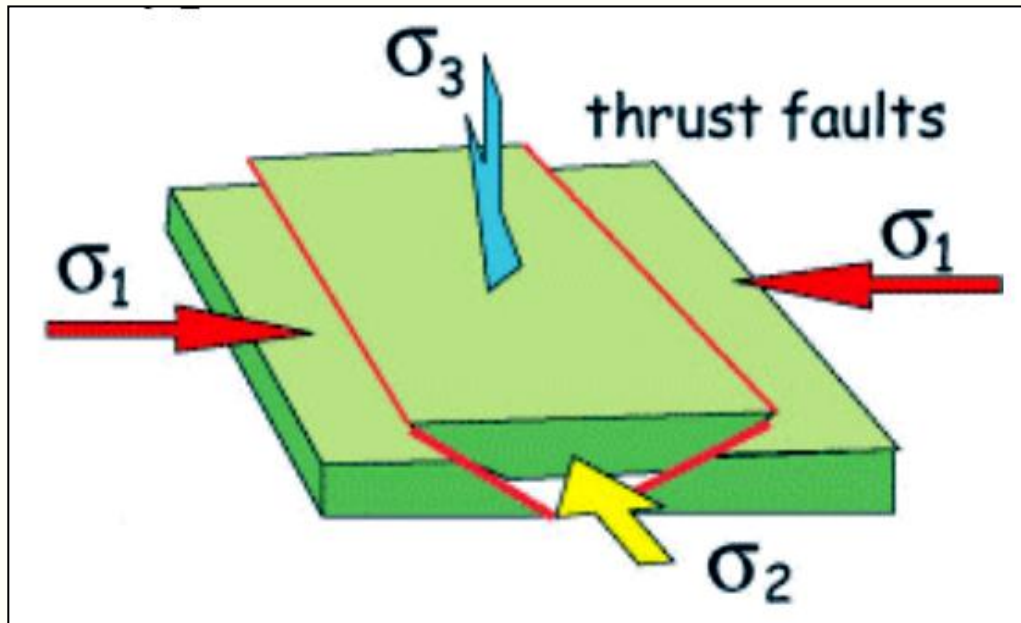


(iz Fossen, 2010)



U područjima s kompresijskim režimom naprezanja u kori vlada **tlačno napezanje**, kod kojeg je vrijednost vertikalnog vektora naprezanja  $\sigma_3$  uvijek manja od vrijednosti horizontalnih vektora naprezanja (iz Fossen & Johansen, 2005).

Kao posljedica kompresijskog režima naprezanja u krutom dijelu kore nastaju reversni rasjedi (engl. *reverse faults* ili *thrust f.*)



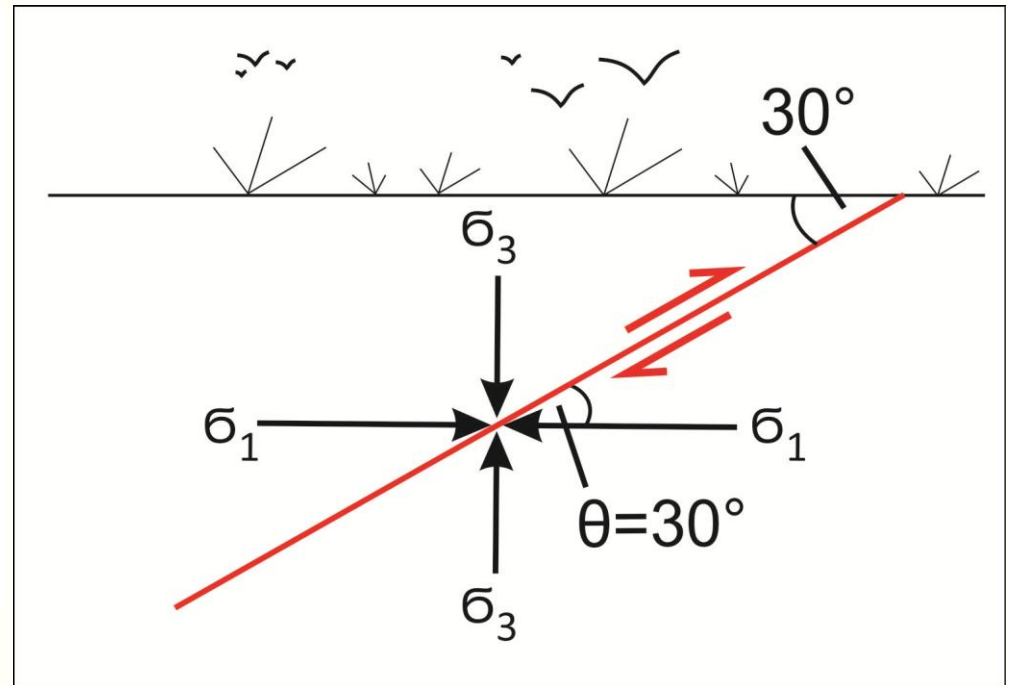
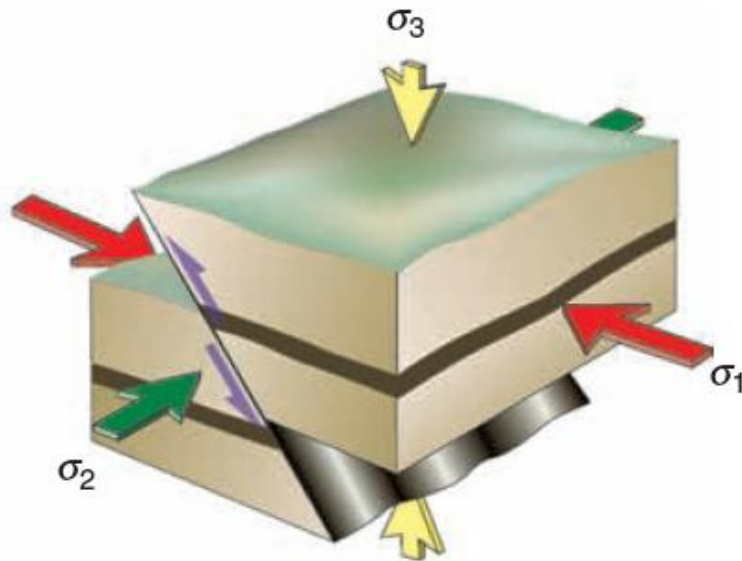
glavne osi naprezanja:



(iz Fossen, 2010)

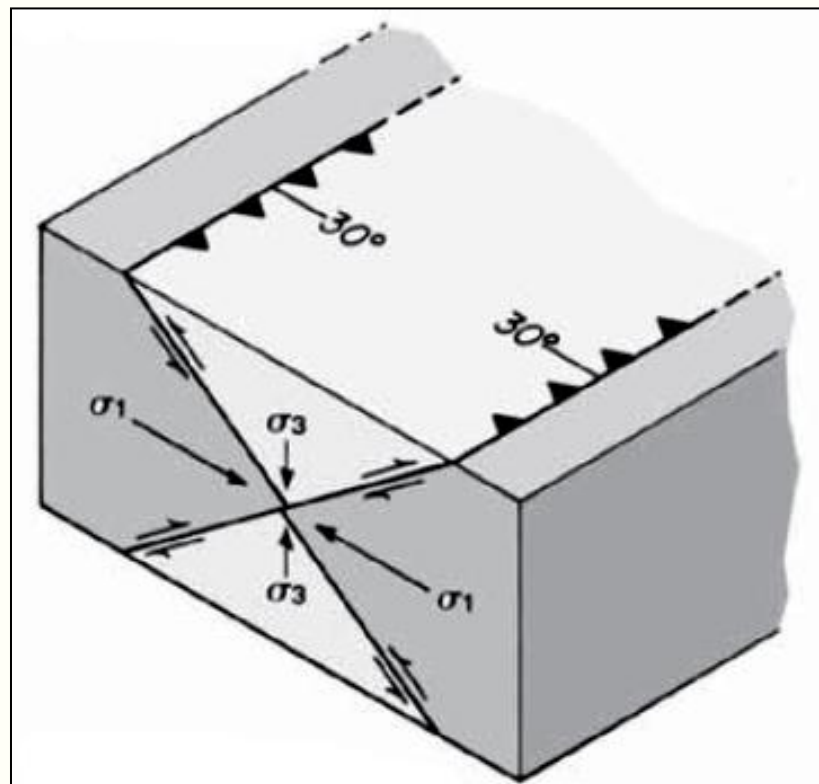
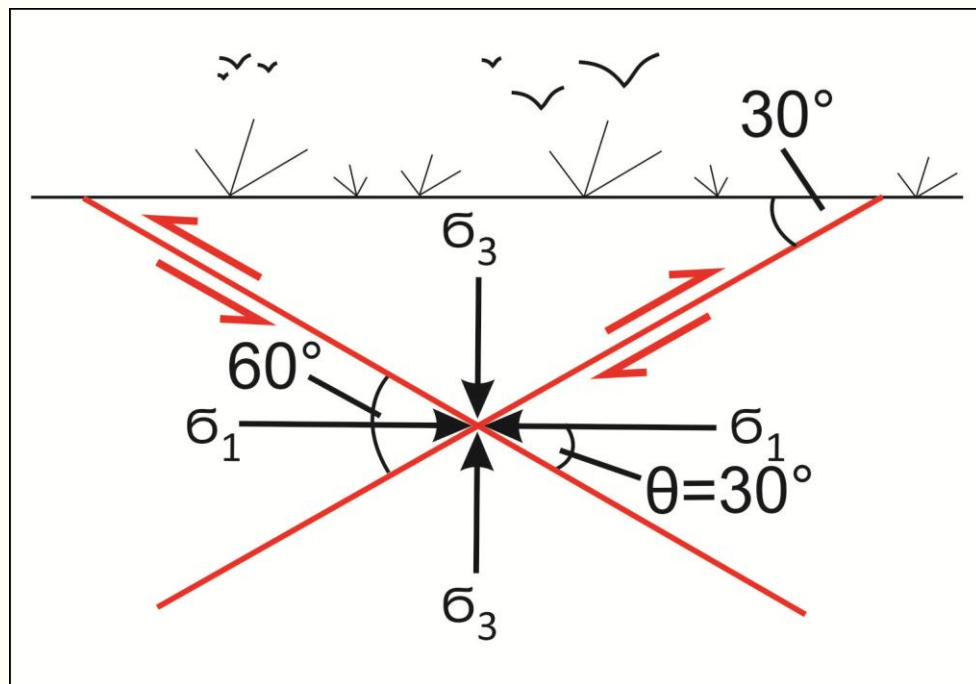


Kao i kod normalnih rasjeda, u idealnim uvjetima reversni rasjedi u pravilu nastaju pod kutom od  $30^\circ$  u odnosu na najveću os naprezanja  $\sigma_1$



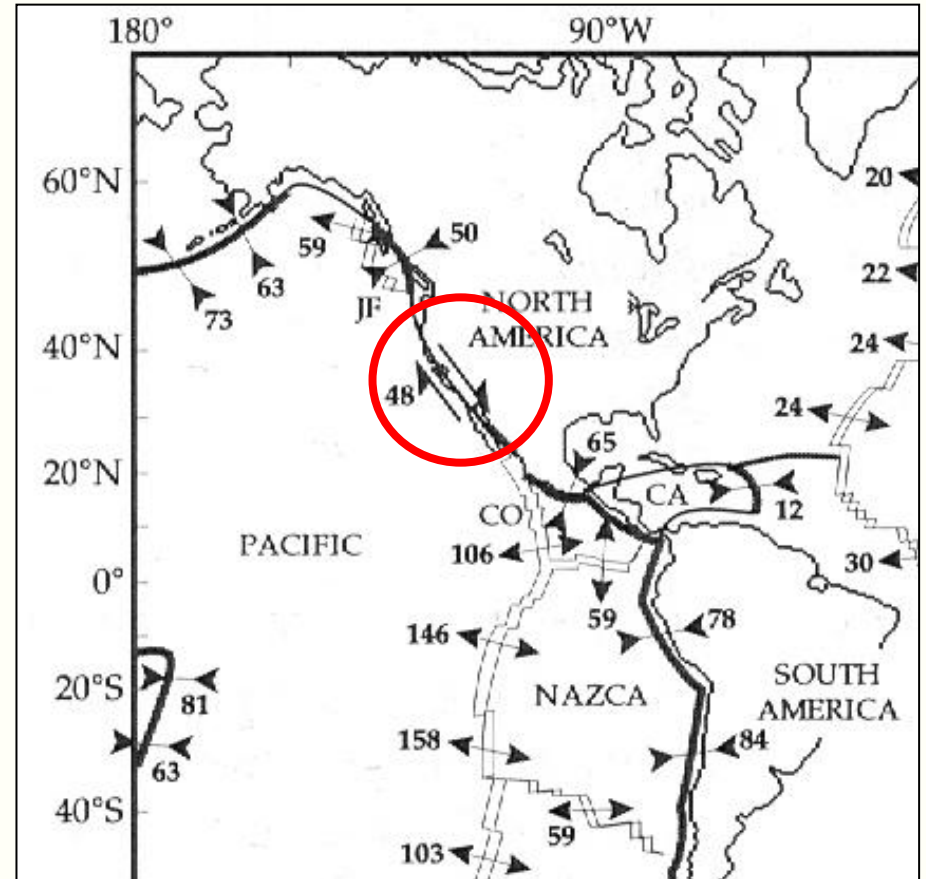
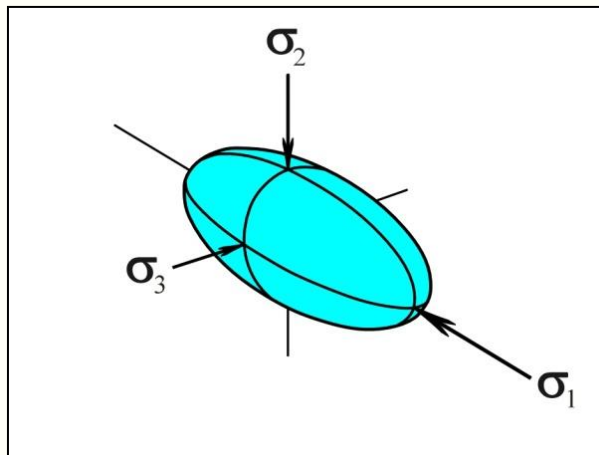
(iz Fossen, 2010)

# Konjugirani parovi reversnih rasjeda



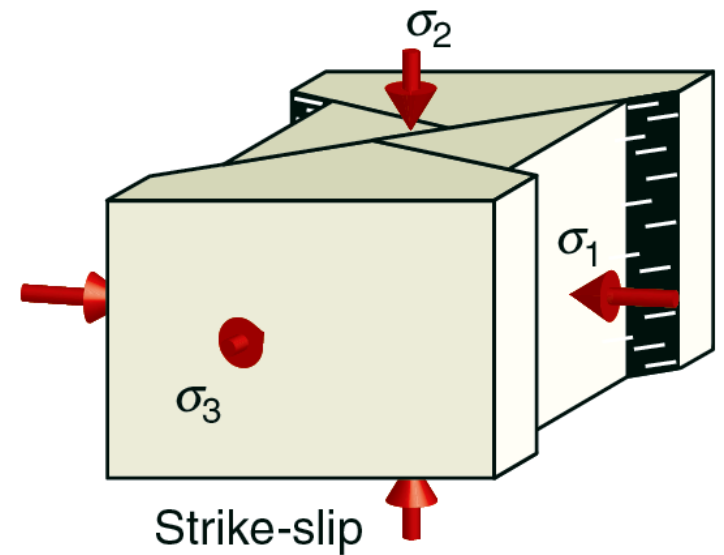
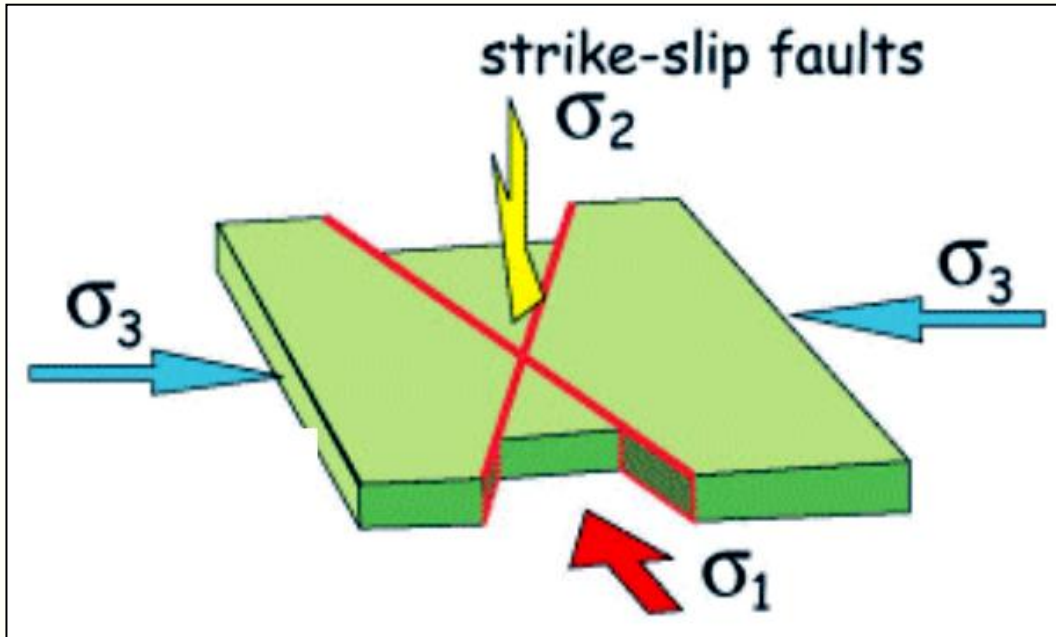
(iz Davis & Reynolds, 1996)

Duž transformnih granica među tektonskim pločama, poput one između Pacifičke i Sjeverno-američke ploče uzduž San Andreas rasjeda u Kaliforniji, vektori najvećeg i najmanjeg naprezanja položeni su u horizontalnoj ravnini. U ovim područjima vlada **transpresijski i/ili transtenzijski režim naprezanja**, sa srednjom osi naprezanja ( $\sigma_2$ ) vertikalne orijentacije.



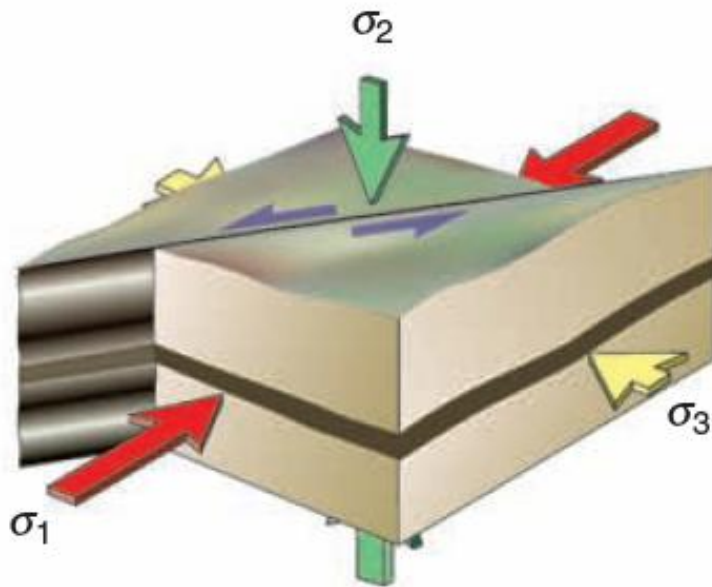
Transformna granica u zoni San Andreas rasjeda između Pacifičke i Sjeverno-američke ploče (iz Lowrie, 1997).

Kao posljedica transpresijskog ili transtenzijskog režima naprežanja u krutom dijelu kore nastaju rasjedi s pomakom po pružanju (engl. *strike-slip faults*), među kojim se s obzirom na pomak razlikuju lijevi i desni rasjedi (engl. *sinistral & dextral faults*)

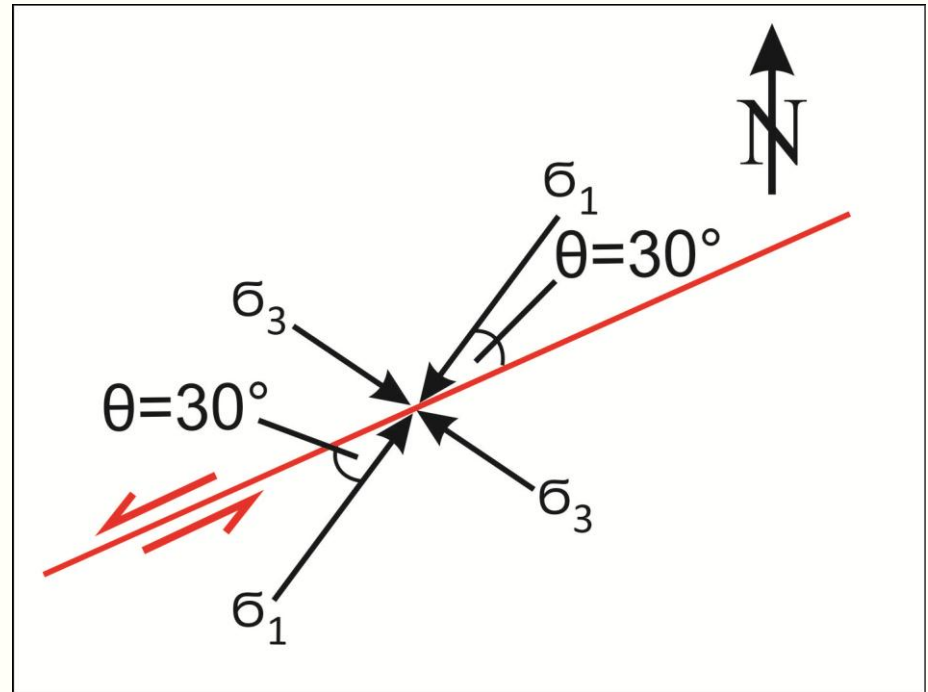


(iz Fossen, 2010)

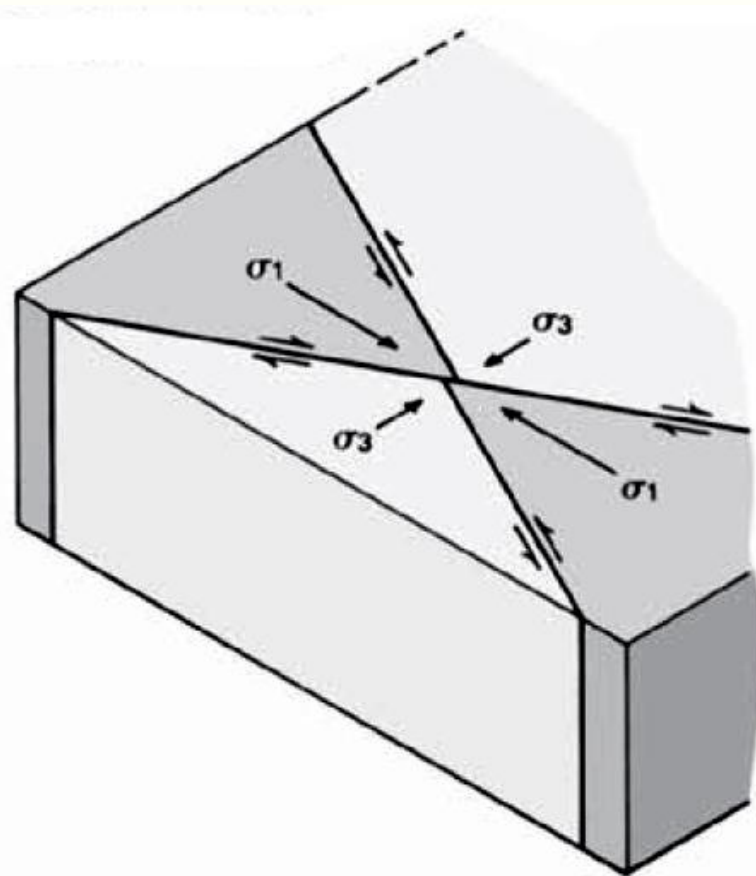
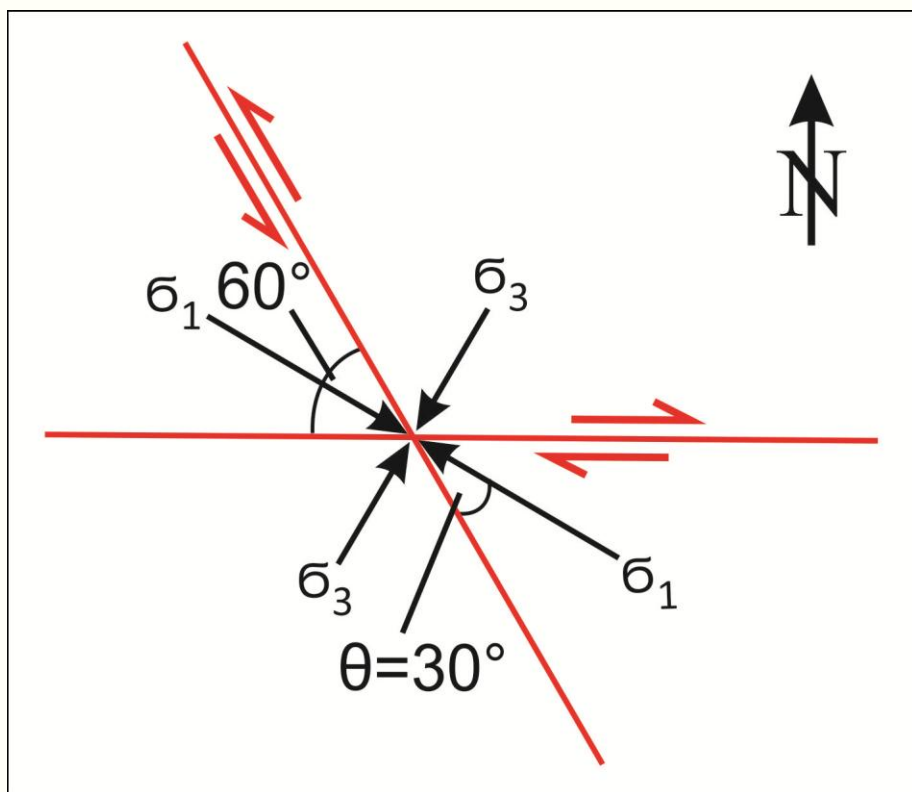
Kao i kod normalnih i reversnih rasjeda, u idealnim uvjetima i ovaj tip rasjeda u pravilu nastaje pod kutom od  $30^\circ$  u odnosu na najveću os naprezanja  $\sigma_1$



(iz Fossen, 2010)



Kao i kod prethodno opisanih rasjeda i rasjedi s pomakom po pružanju mogu nastati kao konjugirani parovi rasjeda, pri čemu vrijedi da je jedan od njih lijevi, a drugi desni rasjed

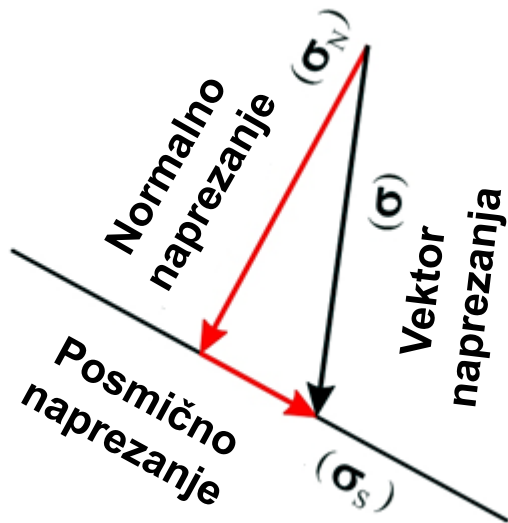
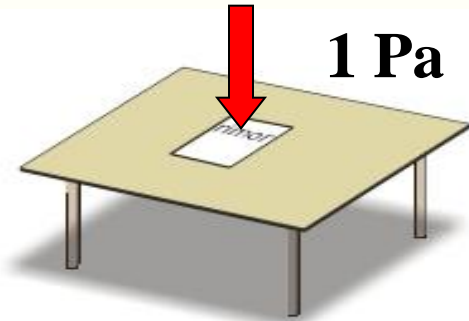


(iz Davis & Reynolds, 1996)

- **Osnovni tipovi naprezanja (napetosti) u strukturalnoj geologiji:**

**Naprezanje** ili kraće **napetost** je fizikalna veličina kojom se u mehanici opisuje stanje tijela na koje djeluju sile. Pojednostavljeno, naprezanje možemo opisati kao djelovanje sile ( $F$ ) na površinu ( $A$ ),

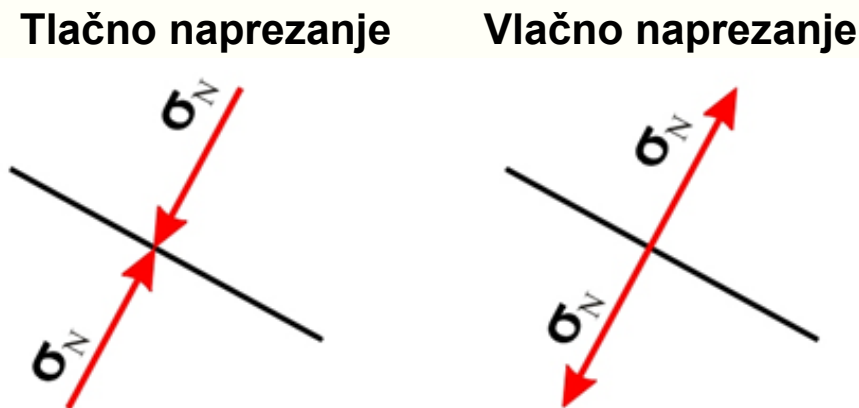
$$\sigma = \frac{F}{A}$$



pri čemu se vektor naprezanja rastavlja u dvije komponente:

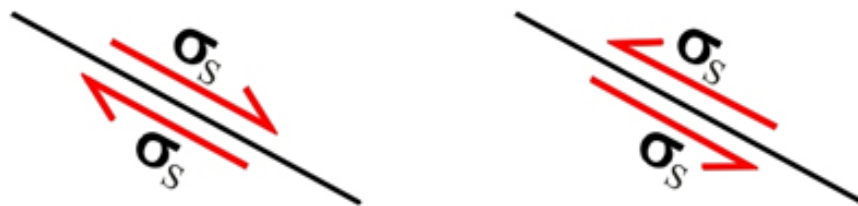
- A) Komponentu koja djeluje okomito na ravninu, odnosno **normalno naprezanje**,
- B) Komponentu koja djeluje paralelno s ravninom, odnosno **tangencijalno** ili **posmično naprezanje**.

U strukturnoj geologiji vrijedi da u slučaju kad vektori normalnog naprezanja imaju pozitivan predznak, djeluju prema promatranoj ravnini i izazivaju **kompresijsko ili tlačno naprezanje**, odnosno kad su negativnog predzaka, djeluju od ravnine i tvore **tenzijsko ili vlačno naprezanje**.



Vektori posmičnog naprezanja s pozitivnim predznakom izazivaju naprezanje koje može dovesti do **desnog smicanja** duž promatrane ravnine, dok vektori posmičnog naprezanja s negativnim predznakom izazivaju naprezanje koje može dovesti do **lijevog smicanja**.

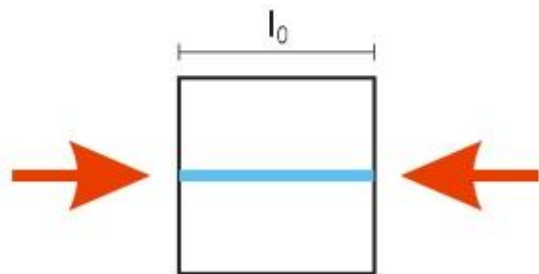
+ posmično naprezanje      - posmično naprezanje





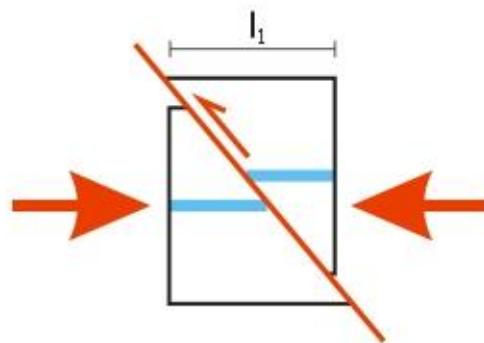
• Naprezanje:

tlačno (kompresijsko)



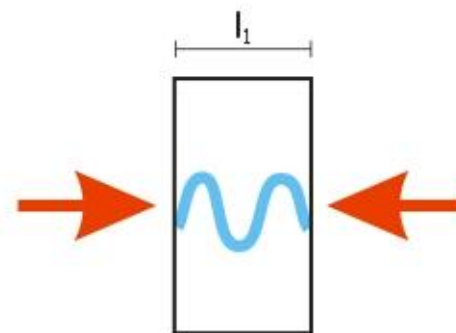
• Deformacija:

skraćenje putem loma



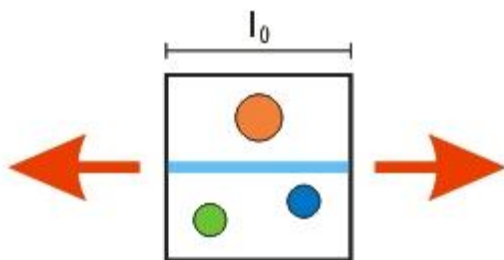
rasjedanje

skraćenje putem  
plastične deformacije

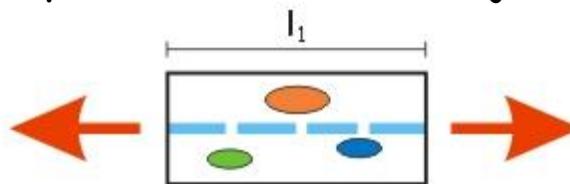


boranje

vlačno (tenzijsko)

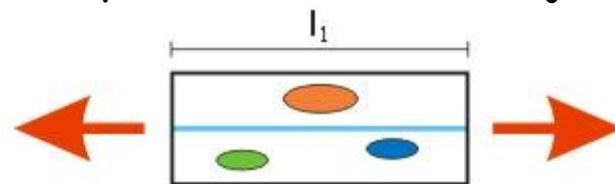


izduženje putem loma i  
plastične deformacije



budinaž i folijacija

izduženje putem  
plastične deformacije



folijacija

• **Naprezanje:**

posmično (+)



rotacija  
krtog tijela

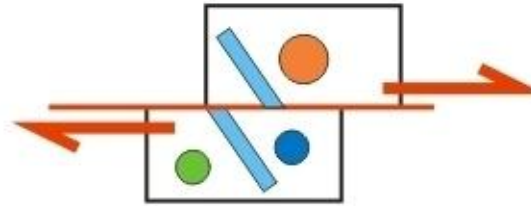


posmično (-)

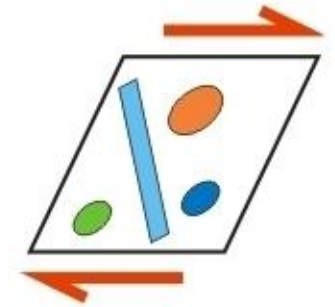


• **Deformacija:**

putem loma uz  
smicanje

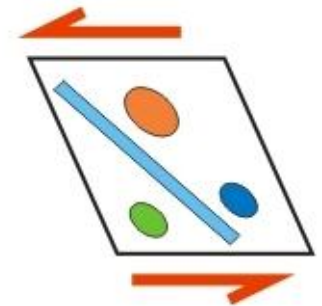
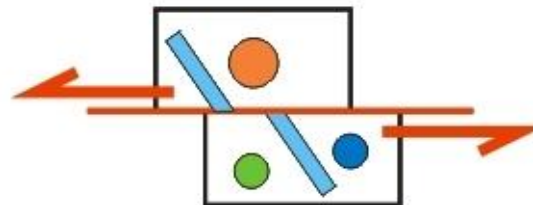


putem plastične  
deformacije



rasjedanje

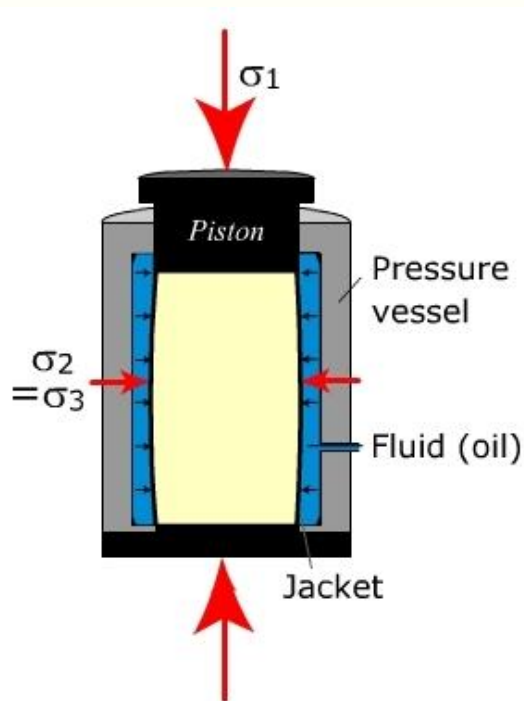
folijacija



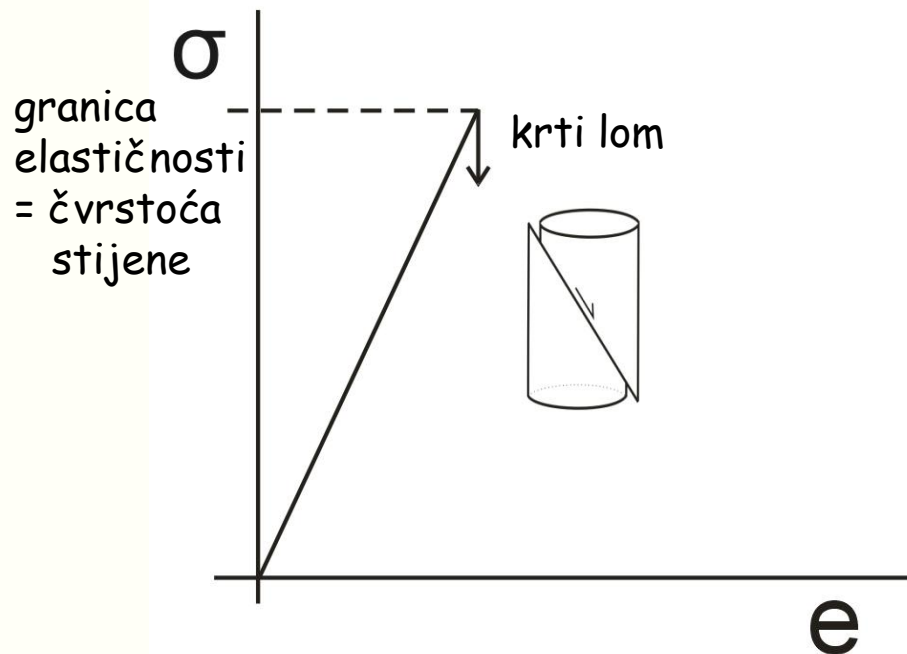
Na temelju prethodno prikazanih primjera želi se prije svega naglasiti da **istovjetni režim naprezanja** može rezultirati pojavom **bitno različitih tipova deformacija i deformacijskih pokreta** u stijenama i njihovim sastavnim mineralima. Općenito, stijene i njihovi sastavni minerali mogu se u odgovarajućim uvjetima napreznjima ponašati kao **elastične, krte i/ili plastične tvari**. Fizičke zakonitosti i čimbenici koji utječu na ponašanje stijena u uvjetima napreznja analiziraju se u **laboratorijima za geomehaničko ispitivanje stijena**, pa se detaljno i izučavaju u okviru **Mehanike stijena**. Na temelju ovih ispitivanja poznati su čimbenici koji utječu na ponašanje stijena (deformabilnost) u uvjetima napreznja među kojim su najvažniji:

- **Vrsta stijene, tj. petrografski sastav i homogenost stijene;**
- **Veličina bočnih napreznja**
- **Brzina i vremensko trajanje napreznja;**
- **Prisutnost fluida (vode)**
- **Temperatura**

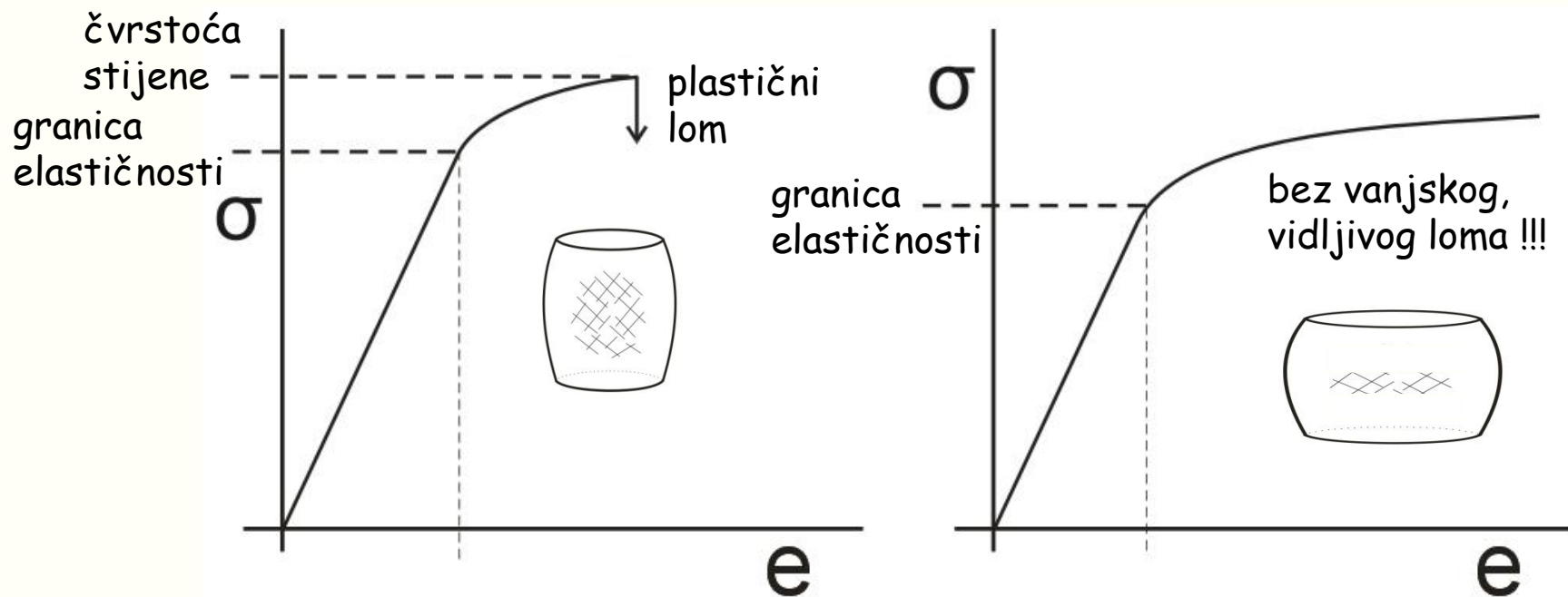
Ponašanje stijena u prirodnim uvjetima naprezanja u Zemljinoj nastojimo razumijeti i opisati pomoću modela kojim se u **mehanici stijena** i u **reologiji** (grana mehanike) opisuje odnos između naprezanja i deformacije u stijenama utvrđen laboratorijskim ispitivanjima. Slikovito, ovaj odnos prikazuje se pomoću **dijagrama naprezanja i deformacije**:



Test jednoosnog tlačnog naprezanja (iz Fossen & Johansen, 2005).



Dijagram naprezanja ( $\sigma$ ) i deformacije ( $e$ ) za krtu stijenu.



Dijagram naprezanja ( $\sigma$ ) i deformacije ( $e$ ) za plastičnu (lijevo) i izrazito plastičnu stijenu (desno).

Dakle, **krte stijene** obilježava **lom** po jasno vidljivim pukotinama, koji slijedi nakon što stijene pretrpe određeni stupanj elastične deformacije. **Plastične stijene** obilježava izrazita promjena prvotnog oblika zbog **plastične deformacije minerala i/ili sloma mineralnih zrna**, koja slijedi nakon elastične deformacije. U tom slučaju nema jasno vidljivih pukotina na uzorku stijene.

neporemećeni  
uzorak

plastični  
lom

deformirani uzorak bez  
izrazitog, vanjskog loma



Deformacija stijenskog uzorka jednoosnim tlačnim naprežanjem u laboratoriju za geomehaničko ispitivanje stijena

Da bi se opisala **relativna razlika** u ponašanju između **krtih i plastičnih stijena** u strukturalnoj geologiji se koriste pojmovi **kompetentna** (više krta), odnosno **nekompetentna** (više plastična) stijena. Općenito, kompetentne stijene su stijene veće čvrstoće, nekompetentne stijene su stijene manje čvrstoće.

Relativan odnos kompetentnosti među stijenama pri sobnoj temperaturi i niskim vrijednostima bočnih naprezanja (iz Davis & Reynolds, 1996).

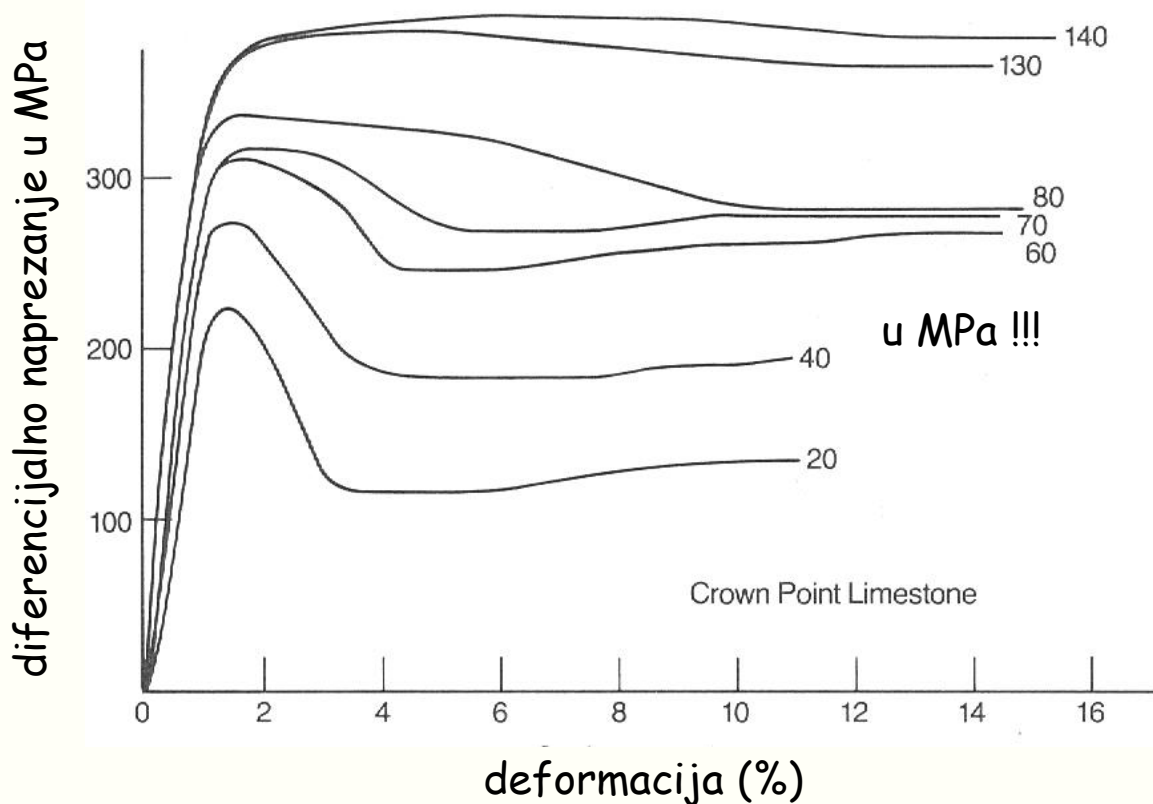
---

<b>Kompetentne stijene</b>	kvarcit, dolomit granit kvarcni pješčenjak bazalt vapnenac kalkarenit škriljavac mramor
<b>Nekompetentne stijene</b>	šejl, glina gips, anhidrit halit

---

Međutim, treba upamtiti da relativan odnos kompetentnosti među stijenama, kao i kompetentnost svake pojedine stijene **može bitno varirati** u ovisnosti od sljedećih čimbenika:

- Veličina bočnih napreznja (engl. *confining pressure*)

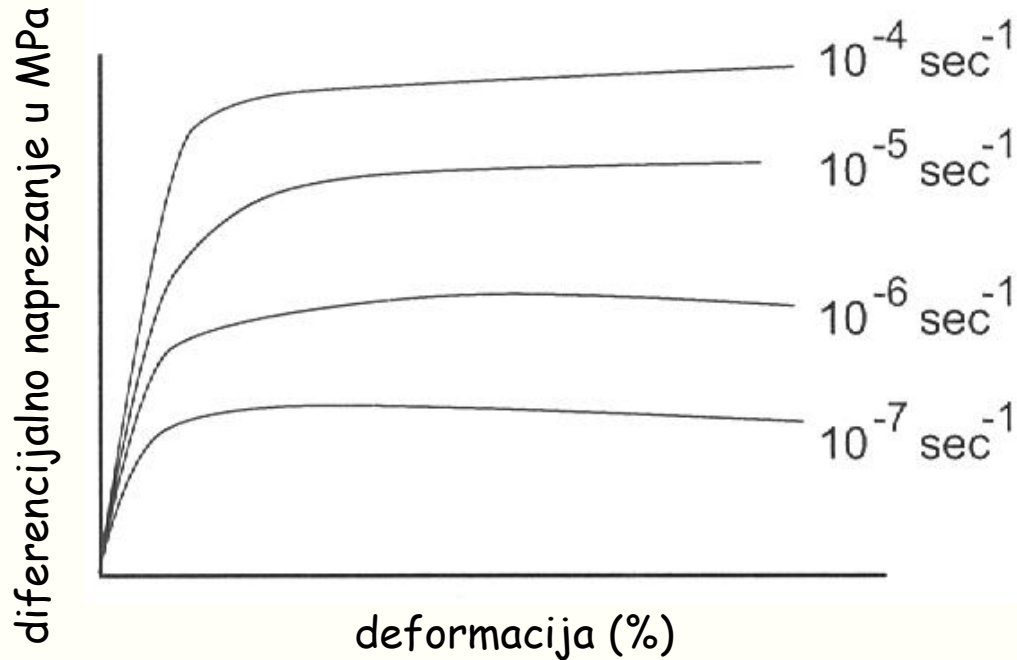


Dijagram napreznje-deformacija za Crown Point vapnenac pri različitim vrijednostima bočnih napreznja (vrijednosti uz krivulje su u MPa; iz Donath, 1970).

Valja uočiti da s porastom vrijednosti bočnih napreznja **raste čvrstoća i plastičnost stijene** (smanjuje se kompetentnost stijene !)



- Brzina i trajanje naprezanja (engl. *strain rate*)



Dijagram naprezanje - deformacija za stijenu pri različitom trajanju naprezanja (iz Allmendinger, 1999). Valja uočiti da sa sniženjem brzine naprezanja **pada i vrijednost granice elastičnosti**, a stijena se deformira **plastično!!!**)

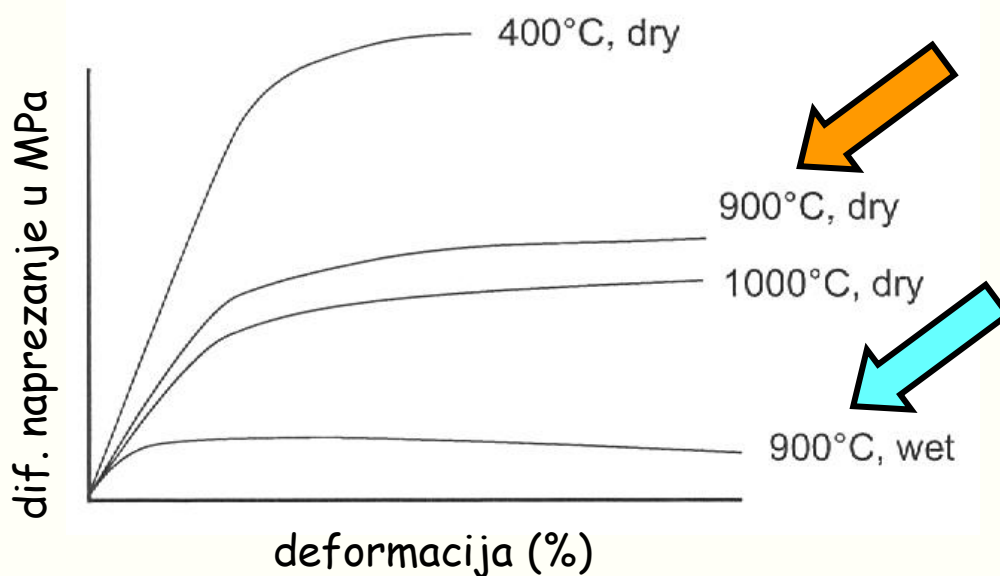


Plastična deformacija (boranje) mramornih ploča na fasadi Zagrepčanke!!!

- Prisutnost fluida (vode) u stijeni (konstitucijska voda)

Prisutnost fluida (vode) u stijeni može dvojako utjecati na mehanička svojstva i ponašanje stijene pri istim uvjetima naprezanja.

U slučaju kad su stijene građene od minerala koji sadrže **konstitucijsku, kristalnu ili adsorpcijsku vodu** (tj. općenito vodu koja je vezana za kristalnu rešetku u obliku hidroksid-iona ( $\text{OH}^-$ ), odnosno molekula  $\text{H}_2\text{O}$ ), **smanjuje se kompetentnost stijene**, odnosno stijene se **deformiraju plastično**.

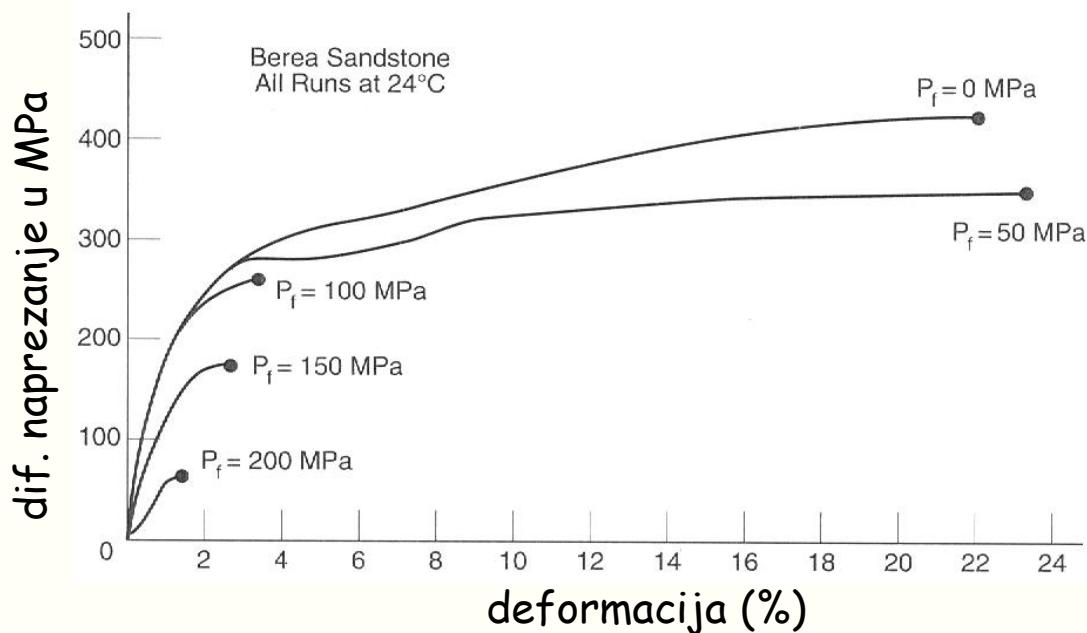


Dijagram naprežanje-deformacija za stijenu sa i bez kristalne vode (iz Allmendinger, 1999). Prisutnost kristalne vode **snižava granicu elastičnosti**, a stijena se **deformira plastično!!!**

- Prisutnost fluida (vode) u stijeni (voda pod pornim tlakom)

U slučaju kad stijene sadrže **pornu vodu** (tj. vodu saturiranu u pornom prostoru između zrna i čestica u stijeni), porast **pornog pritiska** dovodi do **sniženja efektivnog naprezanja**, jer se time **manjuju bočna naprezanja**:

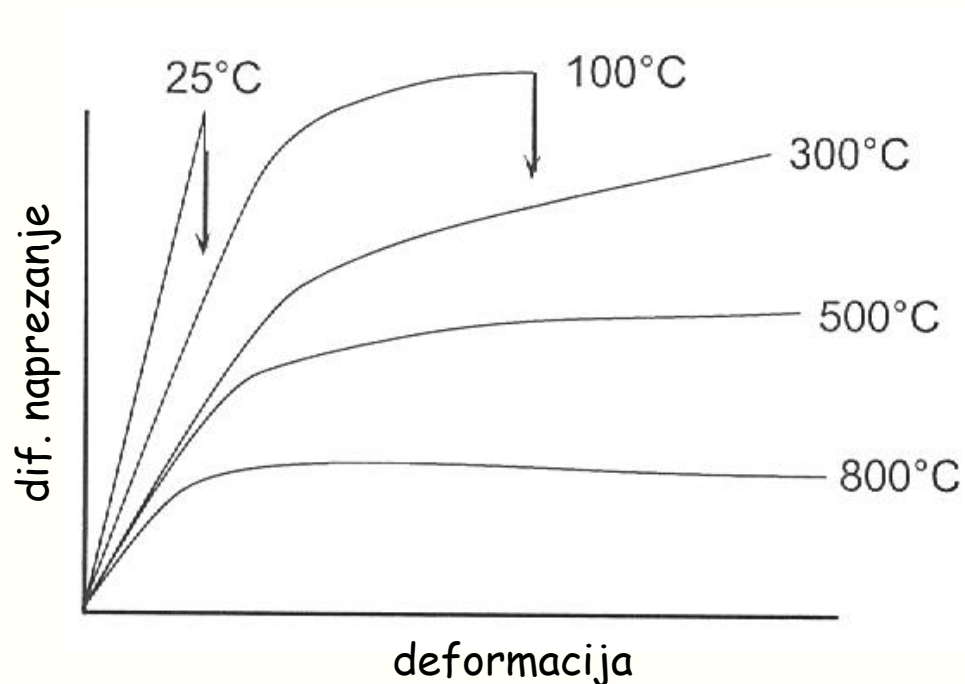
Efektivno naprezanje = bočno naprezanje - porni pritisak



Dijagram naprezanje-deformacija za Berea pješčenjak pri različitim vrijednostima pornog pritiska i temperaturi od 24 °C (iz Handin et al., 1963). Viši porni pritisak **manjuje čvrstoću i plastičnost stijene** (stijena se lomi pri nižim vrijednostima diferencijalnog naprezanja!)

- Temperatur !!!

Temperatura je presudan čimbenik o kojem ovisi ponašanje stijena pri istim uvjetima naprezanja. **Porastom temperature** snižava se granica elastičnosti stijene, a stijena se **deformira plastično !!!**

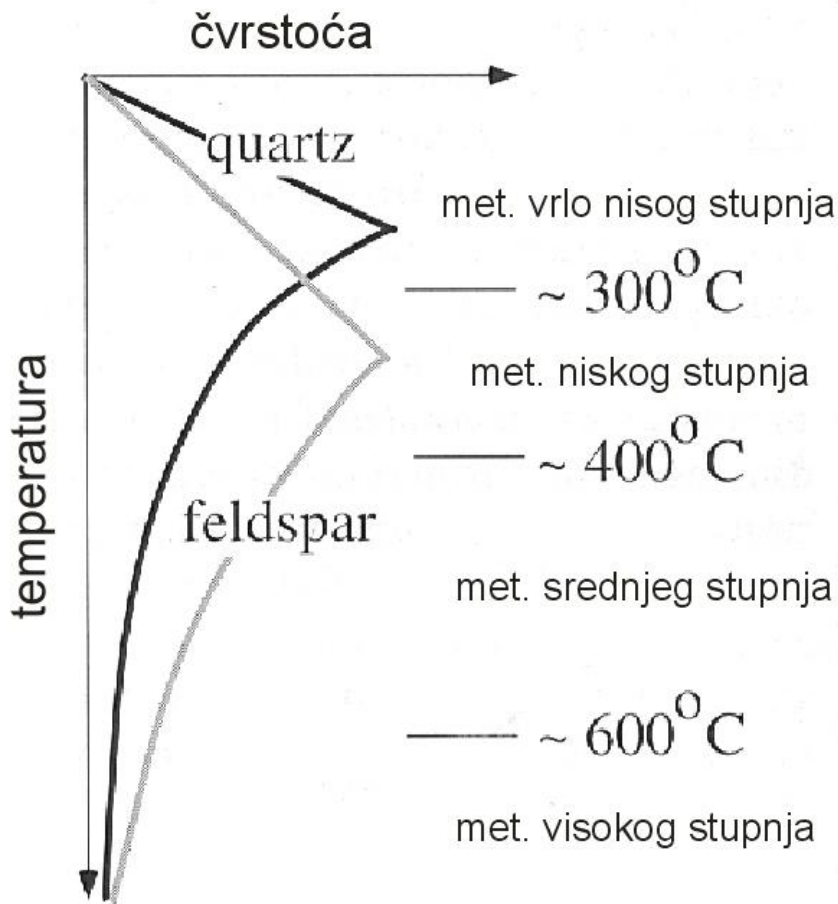


Dijagram naprezanje-deformacija pri različitim vrijednostima temperature (iz Allmendinger, 1999).

Povećanjem temperature dolazi do izrazite **plastične deformacije stijena**

(pri vrijednostima od 300-800 °C većina stijena je nekompetentna, tj. praktički se ne može lomiti !!!)

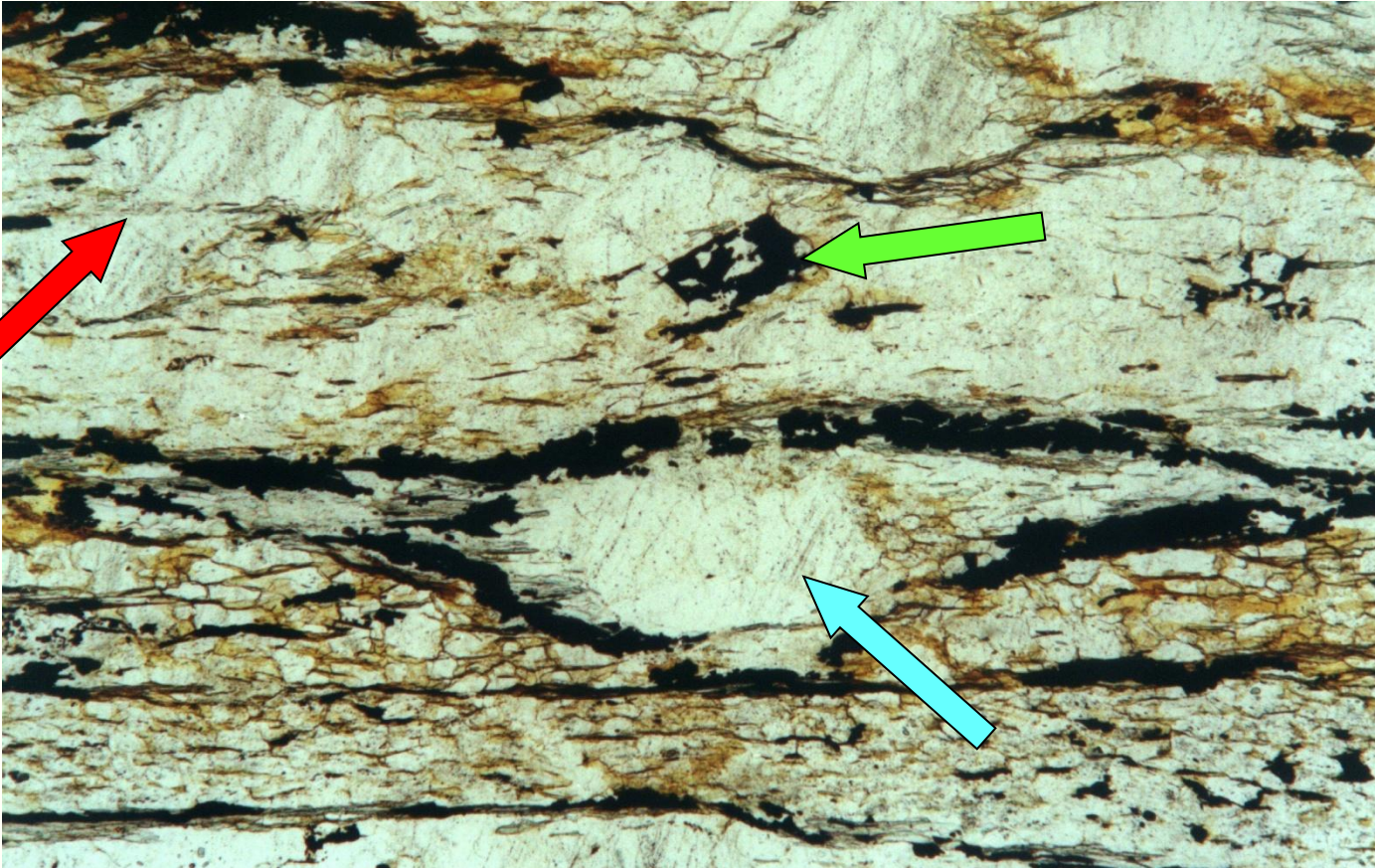
- Temperatura !!!



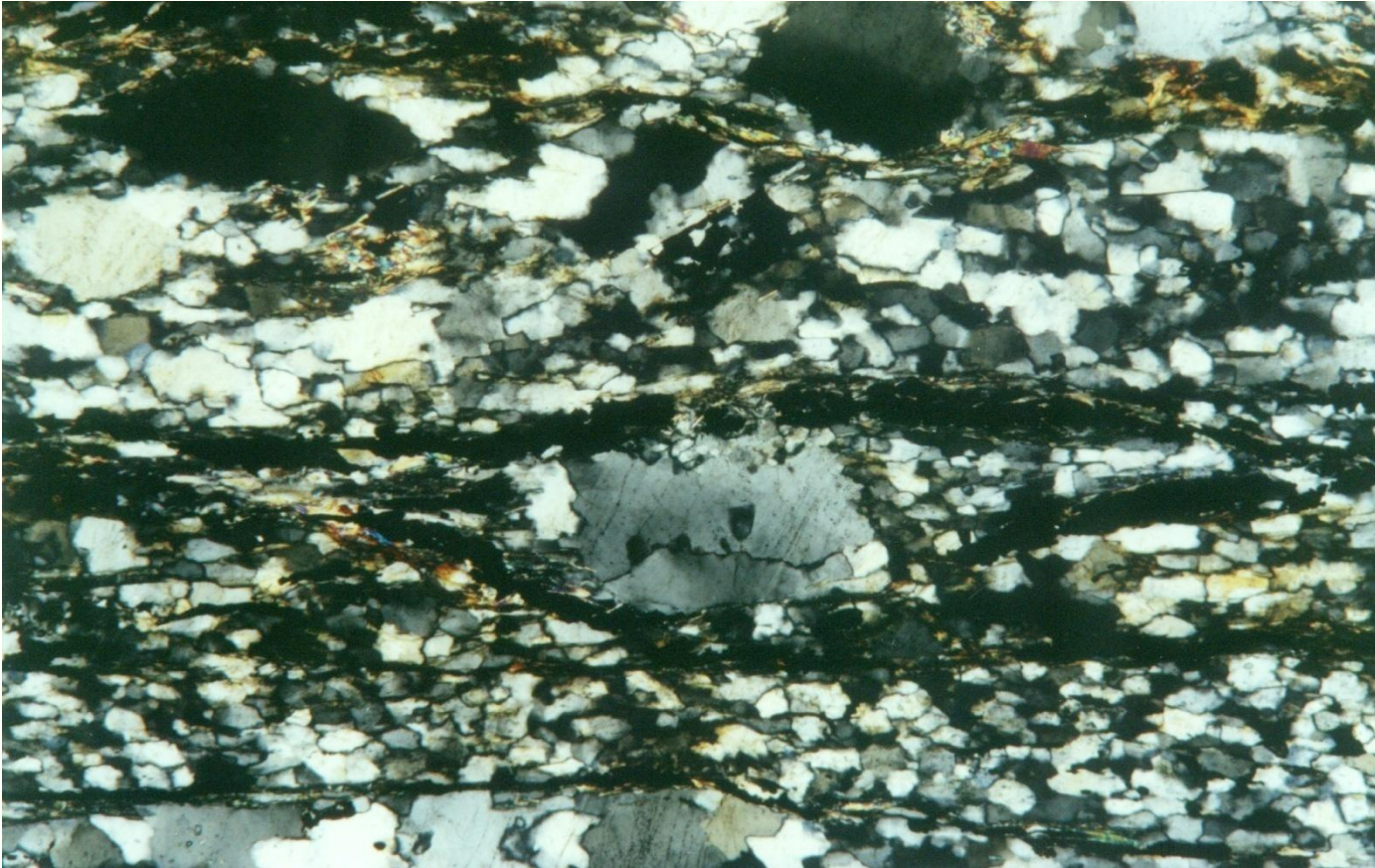
Dijagram koji opisuje mehanička svojstva minerala kvarca i feldspata u ovisnosti od temperature (iz Passchier & Trouw, 1996). Linearni dio krivulja pokazuje vrijednosti temperature kod kojih se minerali deformiraju kao krte tvari, zakrivljeni dio odgovara plastičnoj deformaciji !

Treba uočiti da mineral kvarc pri temperaturama iznad 250 °C više nije kruti mineral, već se deformira plastično naročito kod temperatura iznad 300 °C !!!

Isto vrijedi za feldspat, ali pri temperaturama iznad 350 °C !



Izbrusak kvarcita s Medvednice. Uočava se izrazito plastična deformacija kvarcnih zrna, s mnoštvom mikropukotina (lamela) u zrnima (plava strelica), uz tek sporadičnu pojavu mikro-rasjeda (crvena strelica). Zrno pirita (zelena strelica) se u istim uvjetima napreznja i temperature ponašalo kao izrazito krto tijelo bez vidljivih deformacija.



Isto pod ukrštenim nikolima. Uočava se izražena plastična deformacija kvarcnih zrna putem rekristalizacije i migracije rubova podzrna, pri tom i uz formiranje novih izrazito izduženih podzrna (engl. *subgrains*) čija orijentacija i raspored dovode do izrazite folijacije u stijeni.

Budući da je kvarc bitan petrogeni mineral u stijenama koje izgrađuju kontinentalnu koru, za većinu stijena kontinentalne kore (osim karbonata i izrazito nekompetentnih evaporita !!!), pri istim uvjetima naprezanja, u pravilu vrijedi da kod:

- niskih vrijednosti temperature ( $t < 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) podliježu elastičnoj deformaciji nakon koje dolazi **do krtog loma** (engl. *brittle deformation*)
- relativno visokih vrijednosti temperature ( $250\text{ }^{\circ}\text{C} > t < 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) mijenjaju prvotni oblik putem rekristalizacije minerala i/ili stvaranjem mikropukotina u mineralima, što se promatrano u mjerilu uzorka očituje kao izrazita **plastična (duktilna) deformacija** (engl. *ductile deformation*)



S obzirom na opisano ponašanje stijena u uvjetima naprezanja moguće je i sekundarne, deformacijske strukture u stijenama svrstati u dvije temeljne grupe, i to na one koje nastaju:

- **krtim lomom (npr. pukotine i rasjedi)**, odnosno
- **plastičnom deformacijom (npr. bore, različiti tipovi folijacija i lineacija i dr.)**.



Rasjedi u gornjotrijaskim dolimitima u Samoborskom gorju.



Borani slojevi gornjokambrijskih sedimenata (<http://billy.geo.uib.no/struct/Figures.html>)

# IZVORI SLIKA, TABLICA I CRTEŽA:

- Allmendinger, R.W. (1999): Introduction to Structural Geology.- Cornell University, 279 str.
- Barazangi, M. & Dorman, J. (1969): World seismicity maps compiled from ESSA, Coast and Geodetic Survey, epicenter data, 1961-1967.- Bull. Seism. Soc. Amer., 59, 369-380.
- Davis, G.H. & Reynolds, S.J. (1996): Structural Geology of Rocks and Regions.- John Wiley & Sons, Inc., New York, 776 str.
- Donath, F.A. (1970): Some information squeezed out of rock.- American Scientist, 58, 54-72.
- Fossen, H. (2010): Structural Geology.- Cambridge Uni. Press, 463 str.
- Fossen, H. & Johansen, T.E.S. (2005): Structural geology: e-learning modules. <http://billy.geo.uib.no/struct/emodules.html>
- Handin, J., Hager, R.V., Friedman, M. & Feather, J.N. (1963): Experimental deformation of sedimentary rocks under confining pressure: pore pressure tests.- Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 47, 717-755.
- Herak, D., Herak, M. & Tomljenović, B.: Seismicity of Northern Croatia. Tectonophysics, 465, 212-220.
- Lowrie, W. (1997): Fundamentals of Geophysics.- Cambridge Univ. Press, Cambridge, 354 str.
- Passchier, C.W. & Trouw, R.A.J. (1996): Microtectonics.- Springer-Verlag, Berlin, 289 str.