



Sveučilište u Zagrebu  
RUDARSKO  
GEOLOŠKO  
NAFTNI FAKULTET

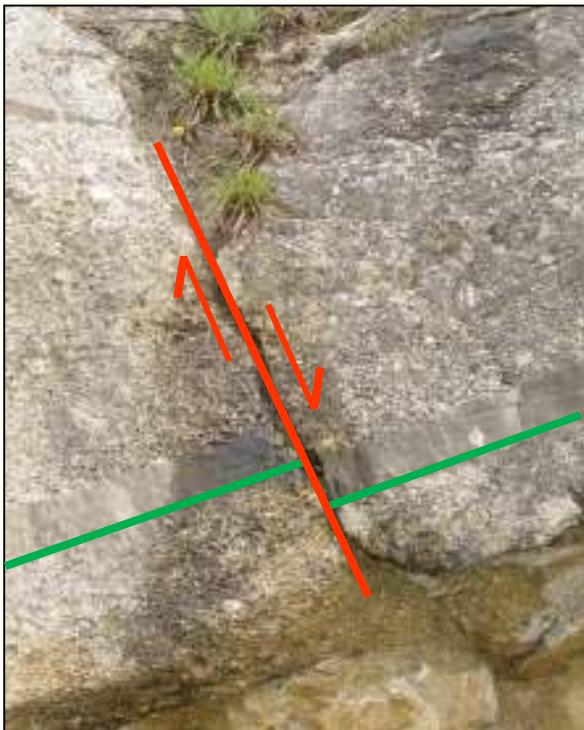


# STRUKTURNA GEOLOGIJA

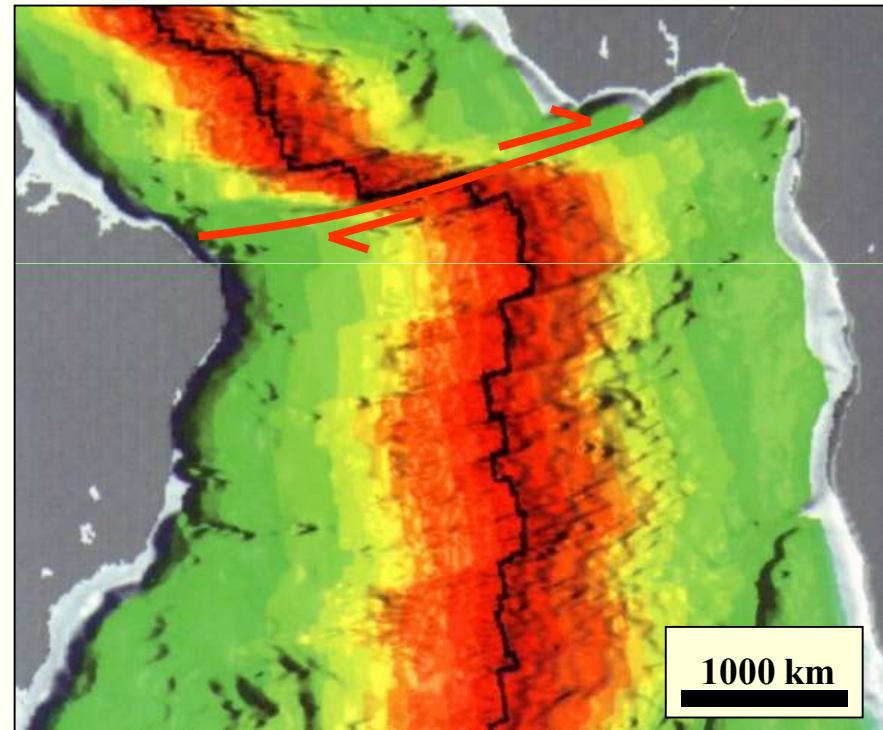
Bruno Tomljenović

RASJEDI -  
morfološke &  
kinematske značajke  
i klasifikacija

Rasjedi su posmične pukotine duž kojih su stijene ili stjenska tijela pomaknuta s jedne u odnosu na drugu stranu pukotine u iznosu većem od par centimetara. Smjer i veličinu pomaka po rasjedu definira vektor pomaka rasjeta.



Normalni rasjed u gornjokrednom konglomeratu s pomakom od 10 cm.

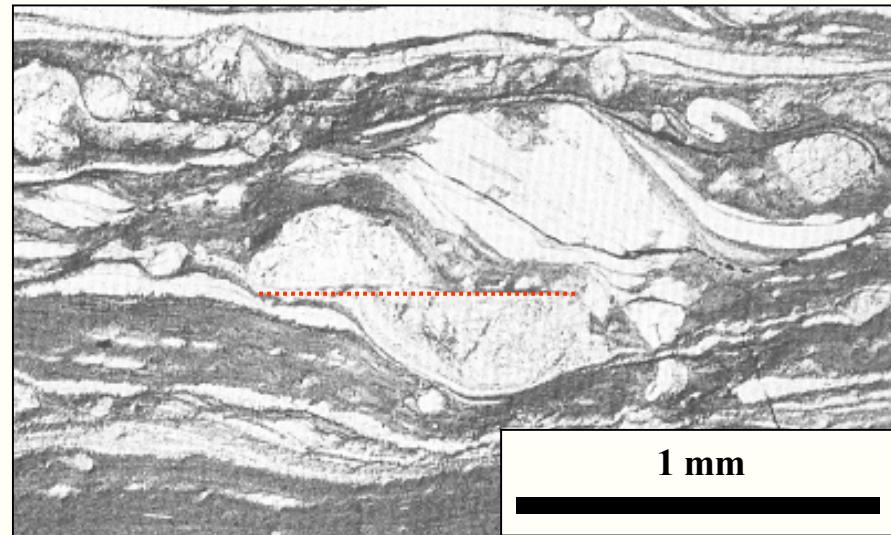


Transformni rasjed u Atlantskom oceanu s pomakom od oko 3000 km (iz Lowrie, 1997).

Genetski i morfološki identične deformacijske strukture  
koje nalazimo u stijenama, ali kod koji je veličina pomaka  
manja od 1 cm nazivaju se  
**posmičnim pukotinama ili mikrorasjedima.**

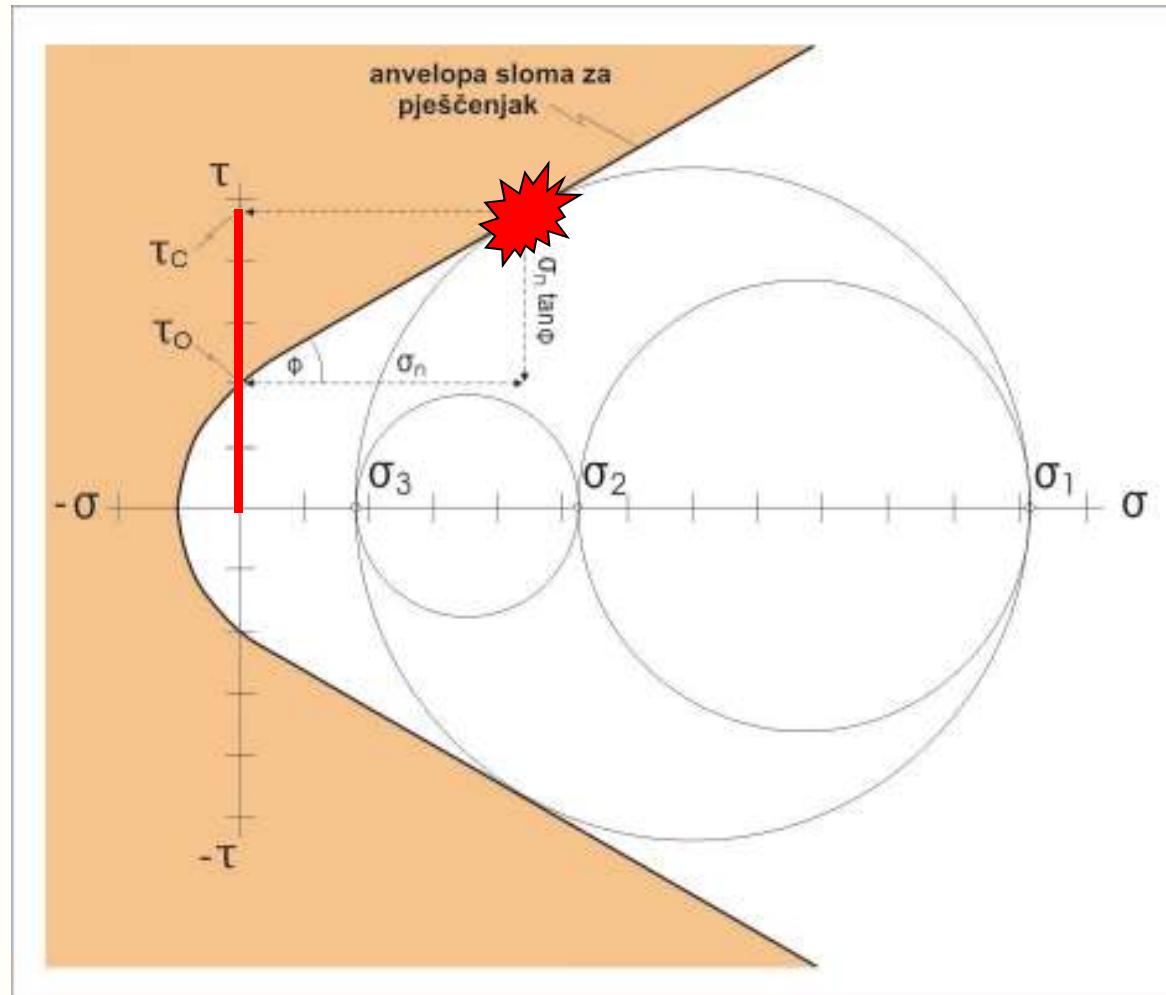


Posmične pukotine ili mikrorasjedi s pomakom  
od par mm u laporu s laminama ugljena.

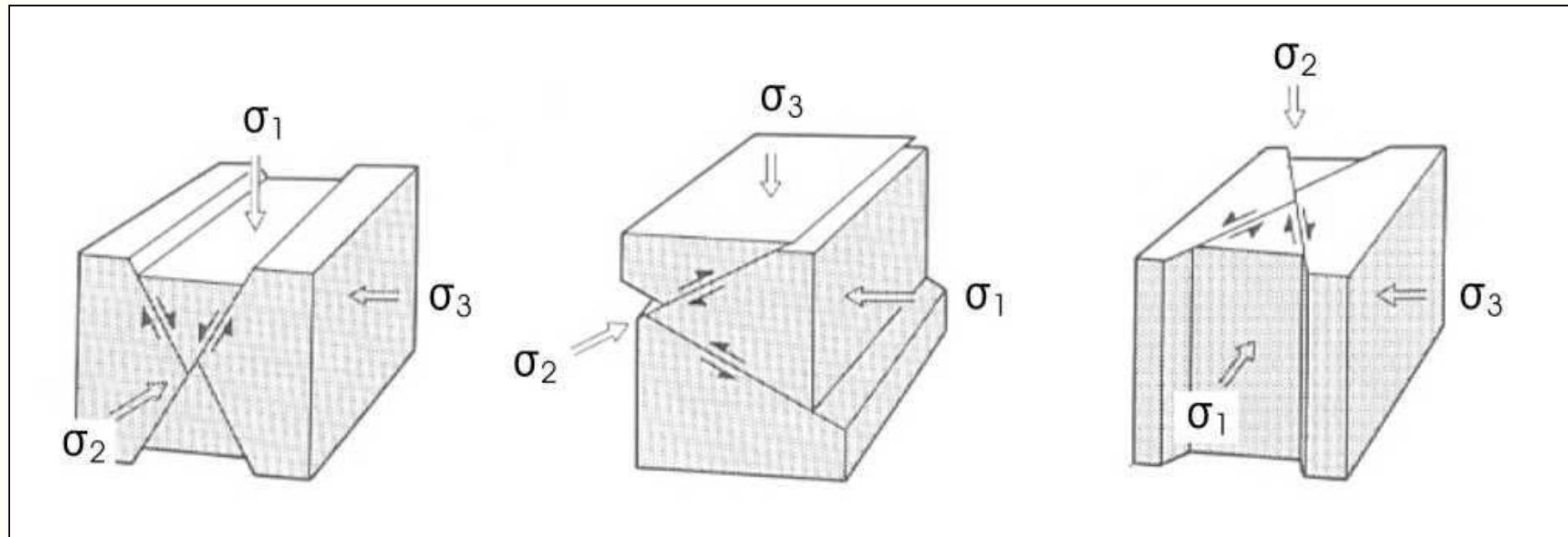


Mikrorasjed u preparatu s pomakom manjim od 1  
mm (iz Passchier & Trouw, 1996).

Rasjedi nastaju kao posljedica diferencijalnog naprezanja u Zemljinoj kori kad posmično naprezanje premaši posmičnu čvrstoću stijene.



U idealnim uvjetima očekujemo da određeni tip rasjeda nastaje u određenom polju naprezanja, koje definiraju tri glavne osi naprezanja:

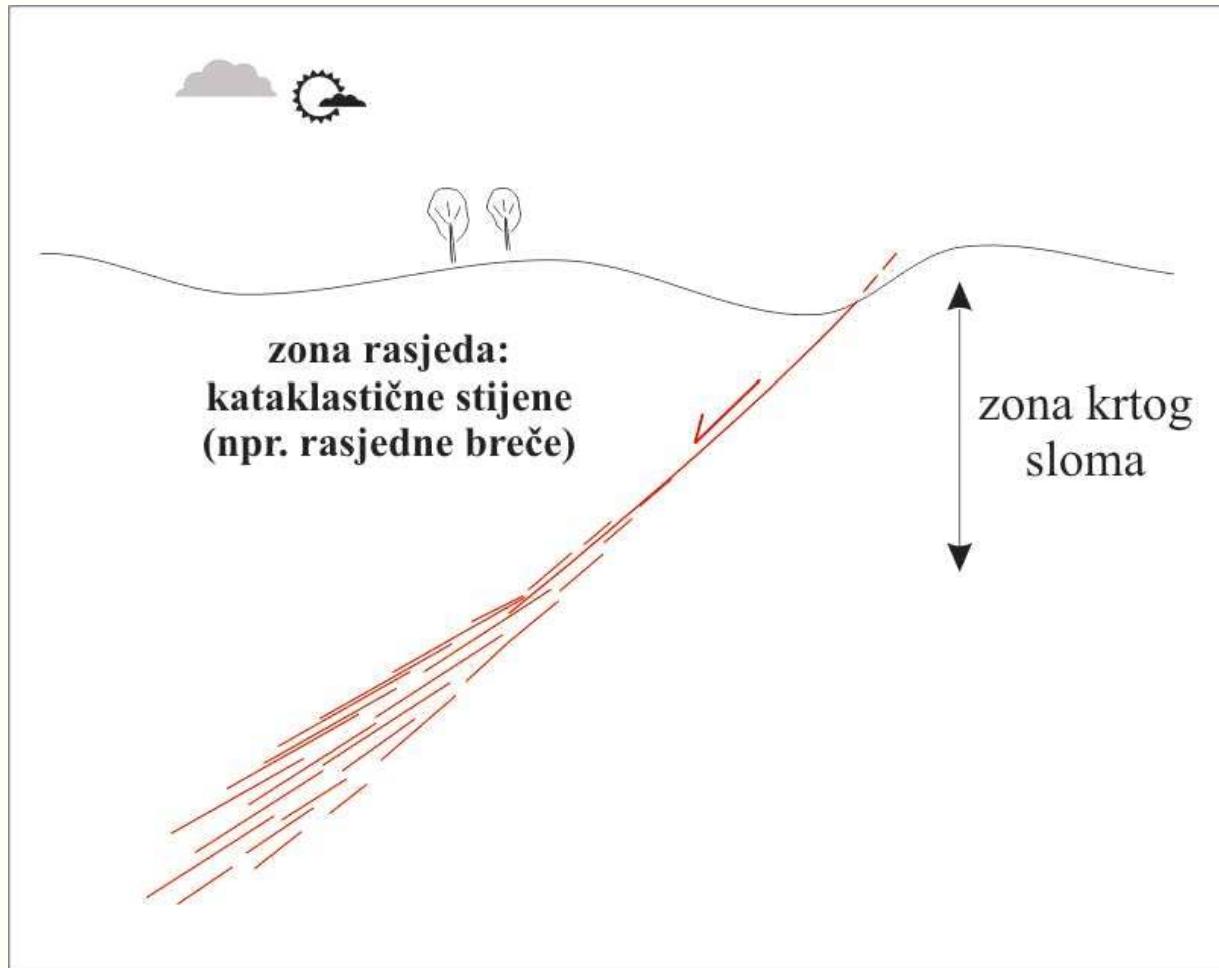


konjugirani par normalnih  
rasjeda u ekstenzijskom  
polju naprezanja

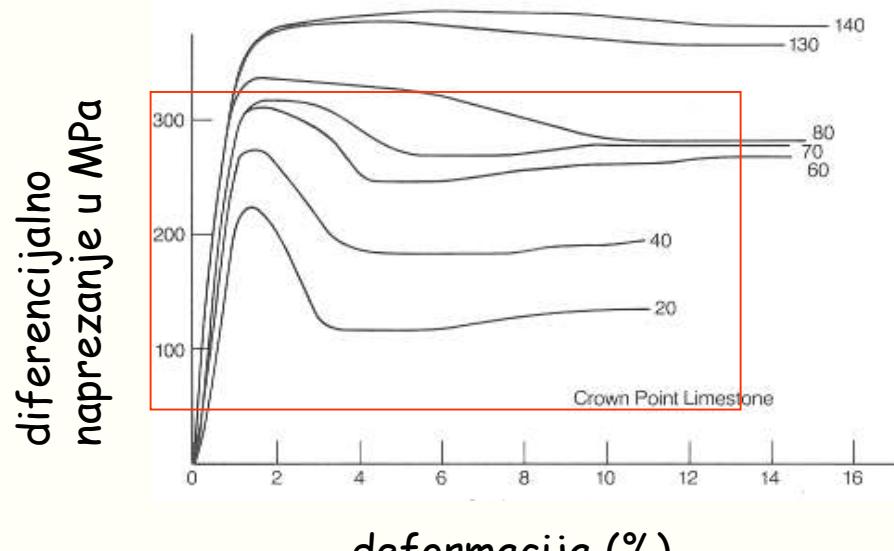
konjugirani par reversnih  
rasjeda u kompresijskom  
polju naprezanja

konjugirani par rasjeda s  
horizontalnim pomakom u  
transpresijskom ili  
transtenzijskom polju  
naprezanja

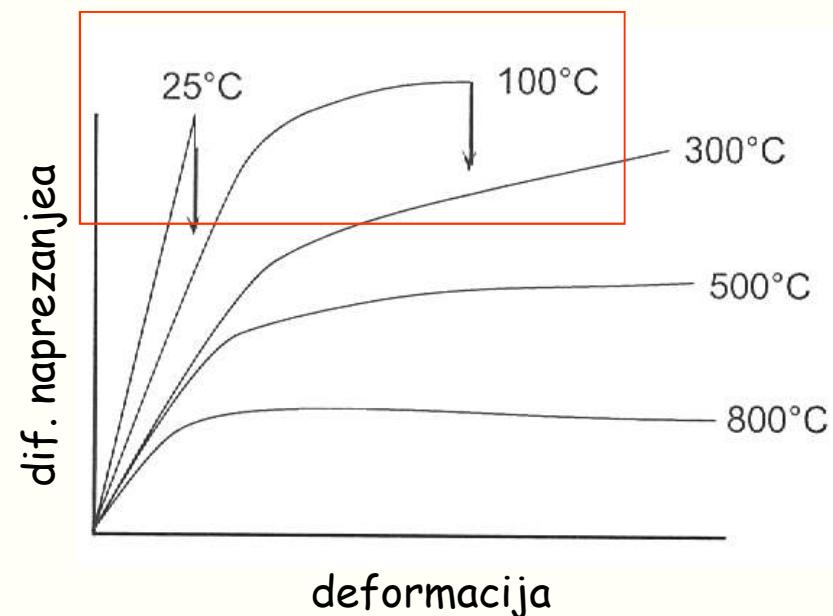
Gledano u profilu kroz Zemljinu koru, pojava rasjeda ograničena je na onaj dio kore u kojem se stijene pretežito ponašaju kao elastične i krte tvari.



Kako je to opisano u poglavlju "Uvod - Deformacijske strukture u stijenama", stijene se ponašaju kao elastične i krte tvari (koje se pri deformaciji lome) samo do određenih vrijednosti bočnih pritisaka i temperature.



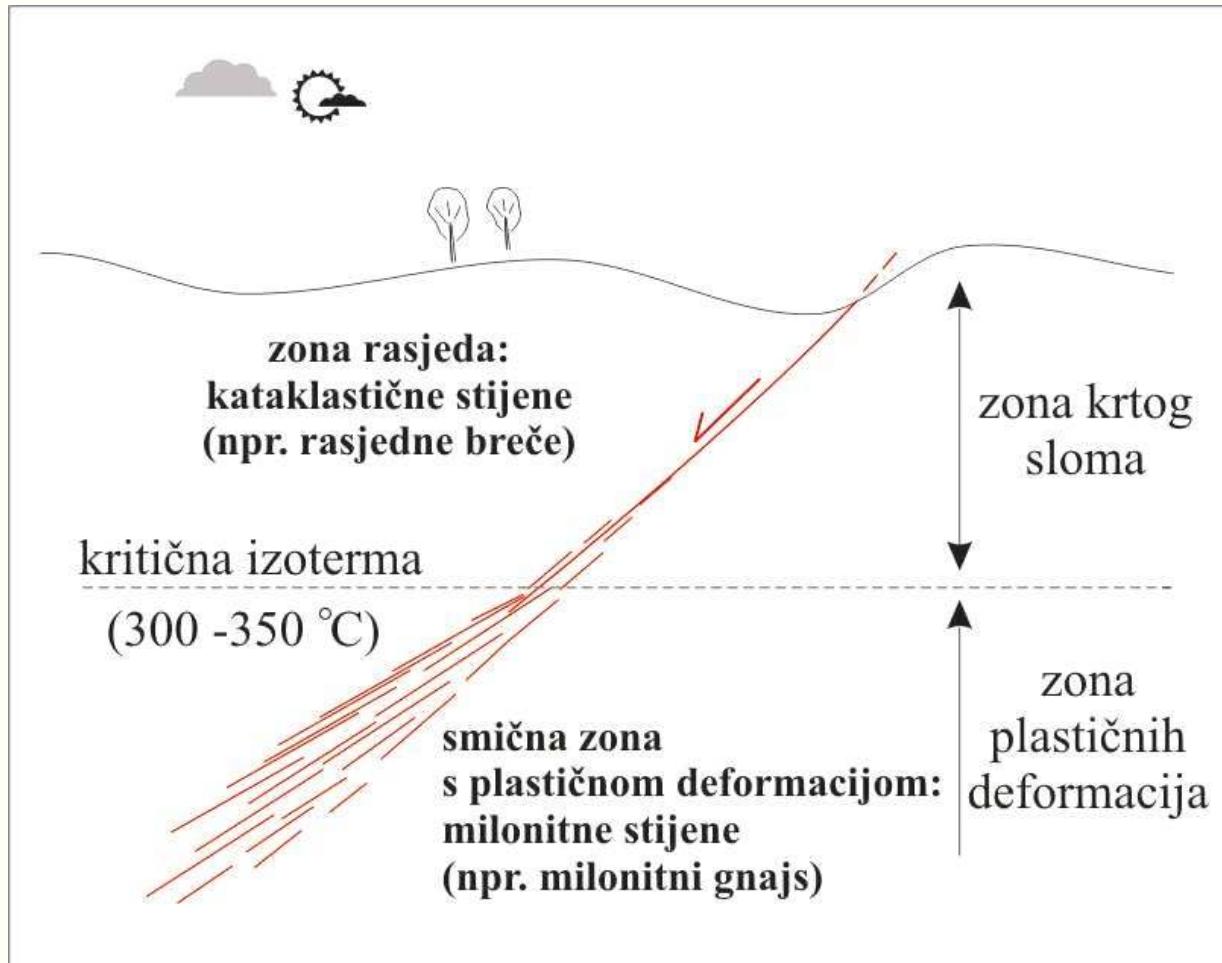
(iz Donath, 1970)

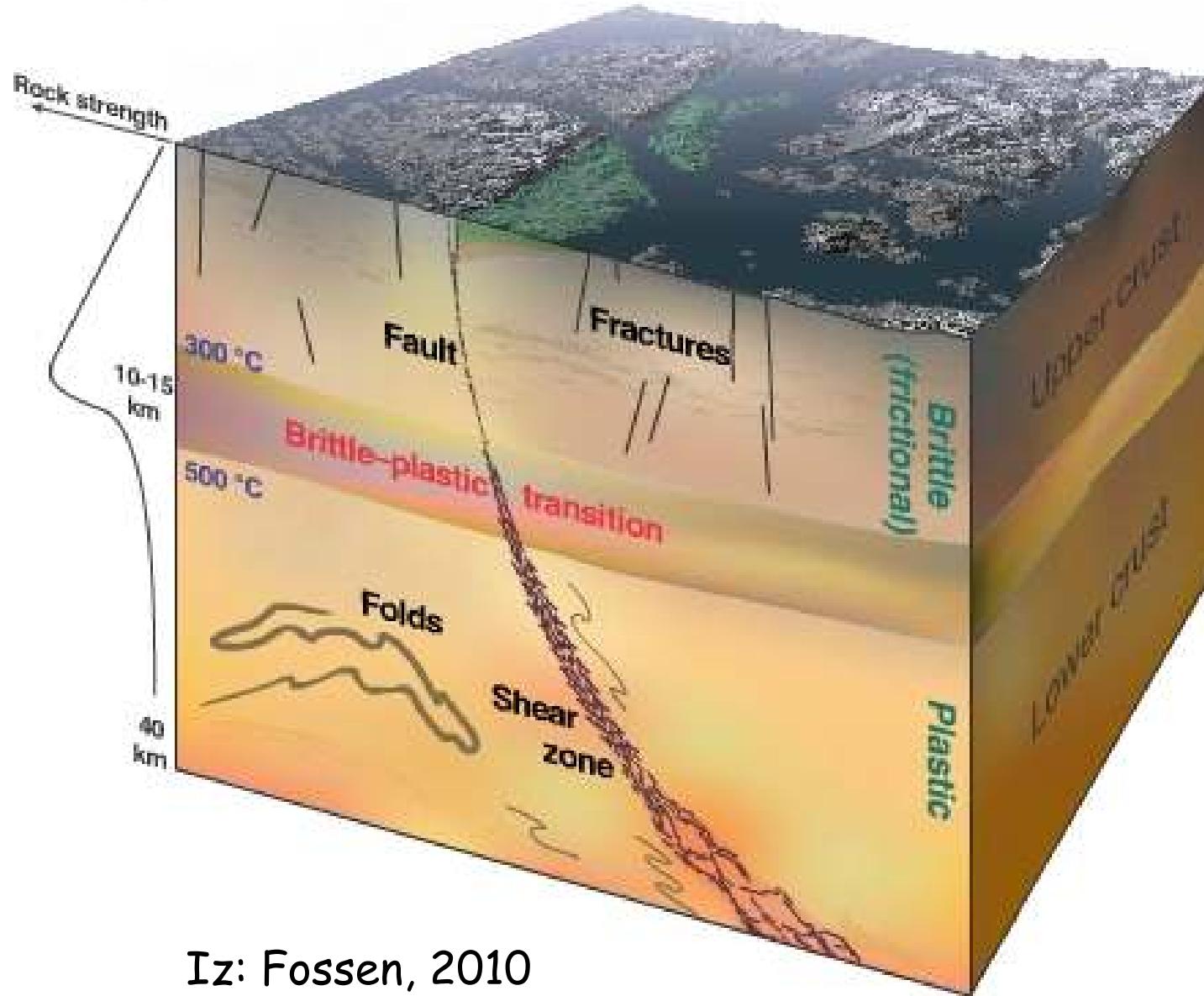


(iz Allmendinger, 1999)



U dubljim dijelovima kore, porastom bočnih pritisaka i temperature iznad izoterme od  $300-350^{\circ}\text{C}$ , stijene se pretežno deformiraju plastično, pa rasjedi postupno prelaze u smične zone s plastičnom deformacijom stijena.



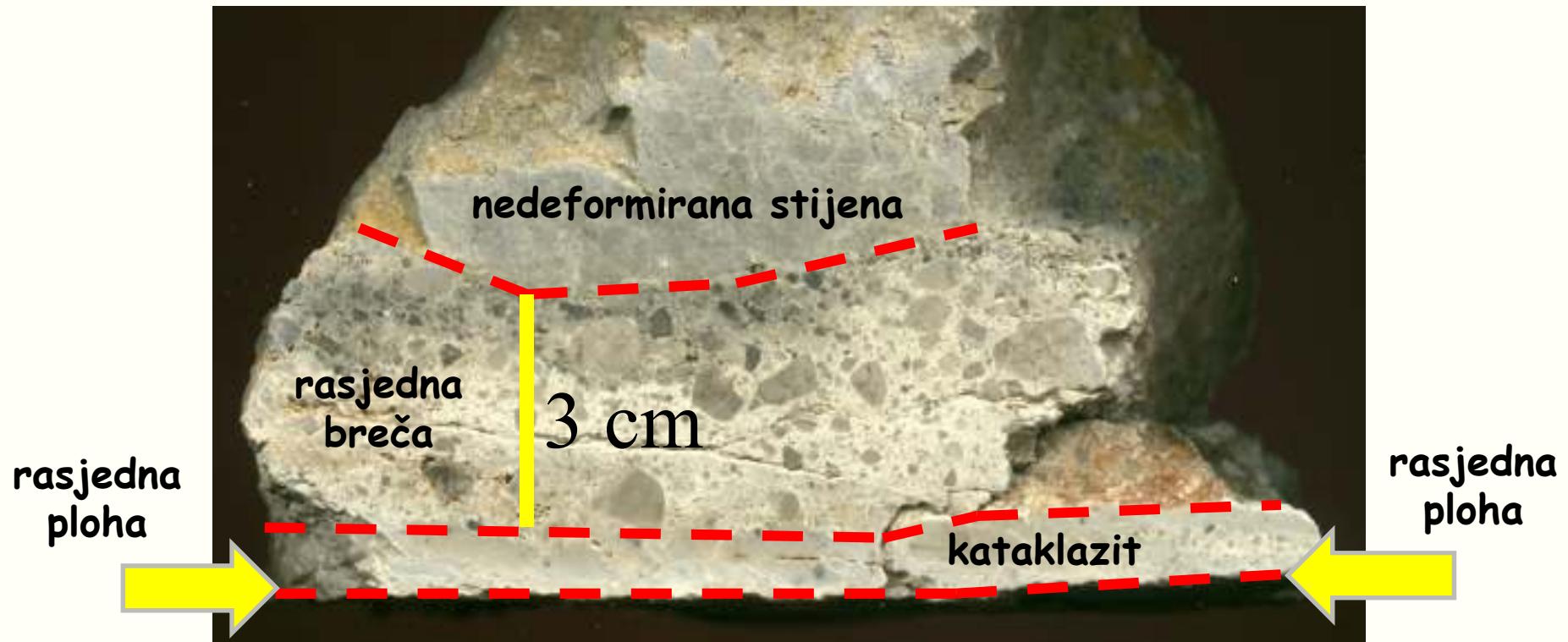


Iz: Fossen, 2010

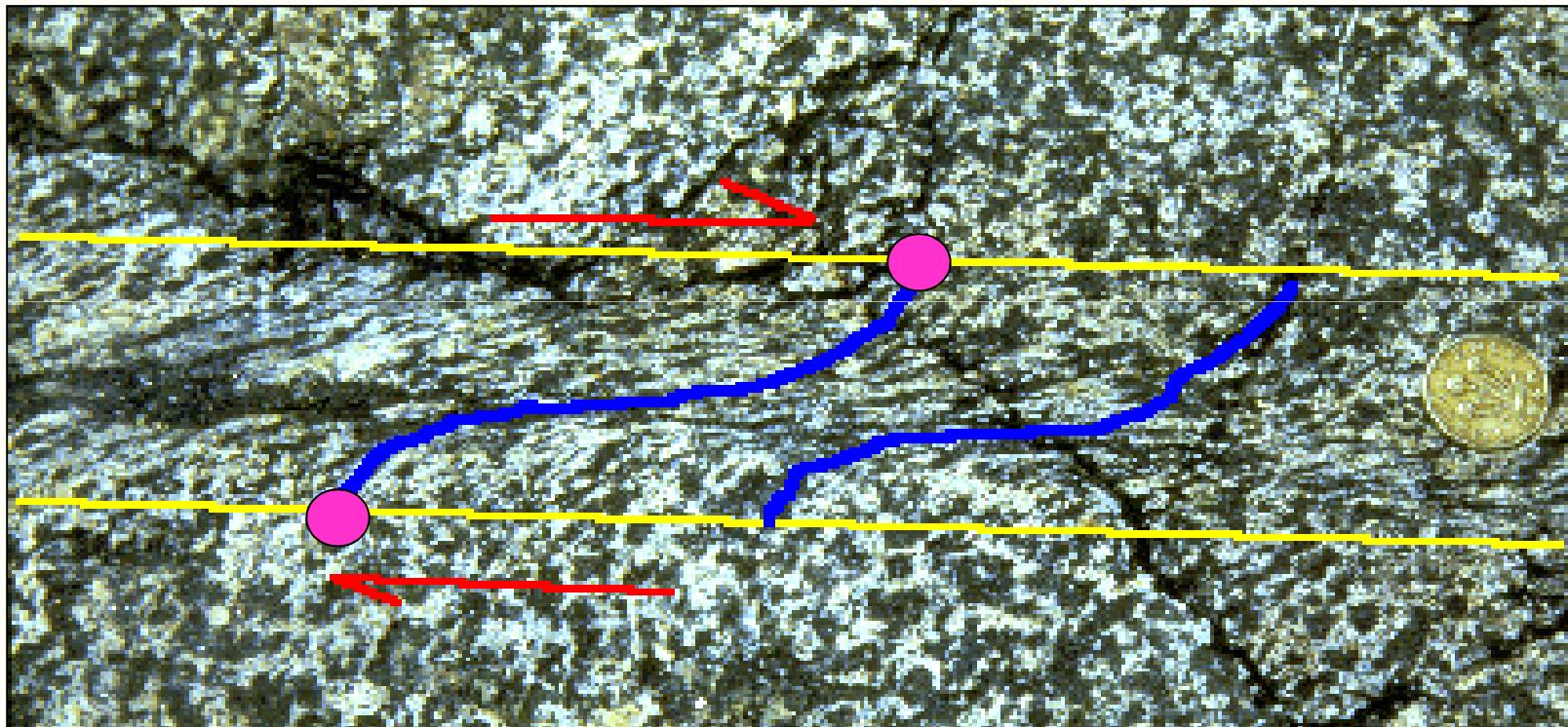


Stoga na rasjedima i u rasjednim zonama nalazimo **kataklastične stijene**, koje nastaju kao posljedica loma i drobljenja rasjedom zahvaćenih stijena. Kataklastične stijene čine uglati, nezaobljeni, loše sortirani fragmenti i blokovi, vezani sitnozrnastim matriksom ili sinkinematskim cementom.

Ovisno o omjeru fragmenata i matriksa, među kataklastičnim stijenama razlikuju se **rasjedna ili tektonska breča** ( $< 30\%$  matriksa), odnosno **kataklazit** ( $> 30\%$  matriksa).

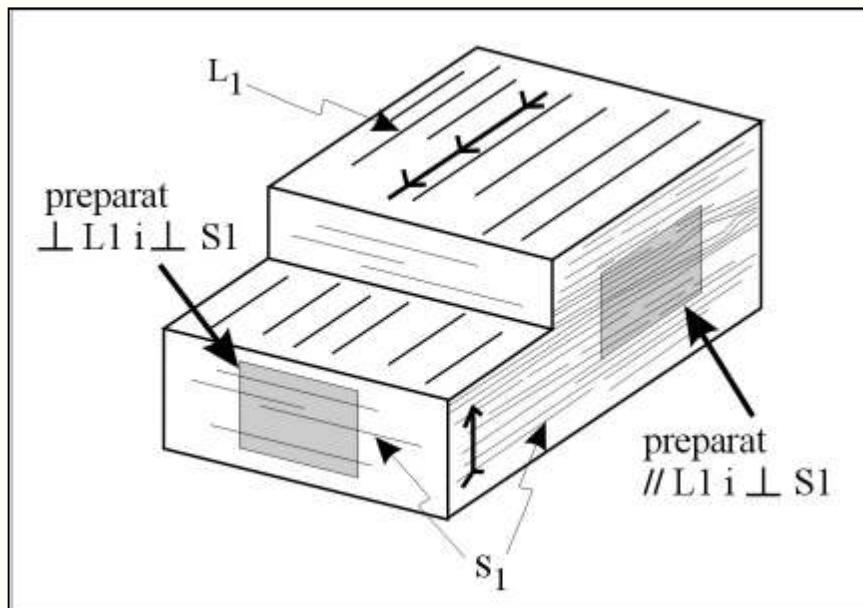


Smične zone s plastičnom deformacijom (engl. shear zones) obilježava pojava milonitnih stijena ili kraće milonita, metamorfnih stijena s jasno izraženom folijacijom i lineacijom.

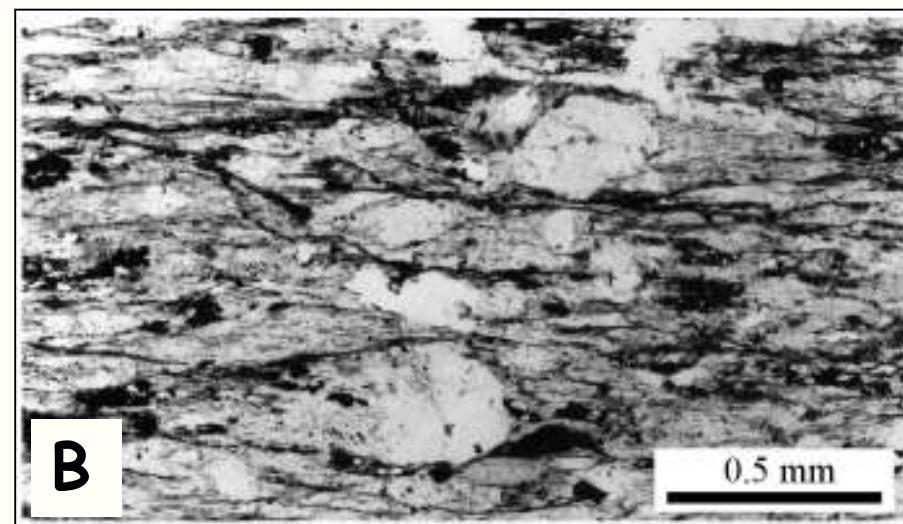
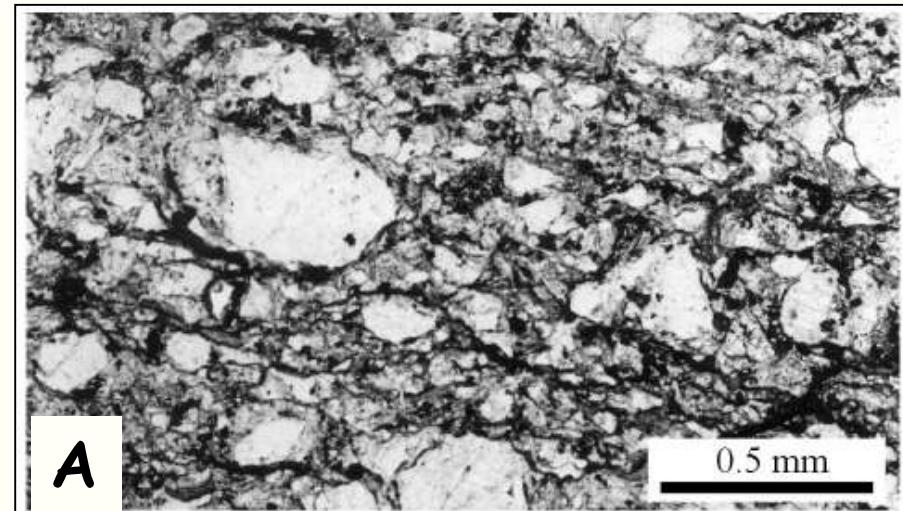


Smična zona s plastičnom deformacijom u metagabru (iz Ramsay & Huber, 1987)

# Struktурно обилježje milonita



Dva okomito orientirana preparata iz milonitnog metapješčenjaka (položaj preparata prikazuje gornja skica). Uočava se bitna razlika strukturnih obilježja ovisno o orijentaciji preparata: A - preparat okomit na folijaciju i lineaciju; B - preparat okomit na folijaciju, a paralelan s lineacijom.



(iz Tomljenović, 2002)

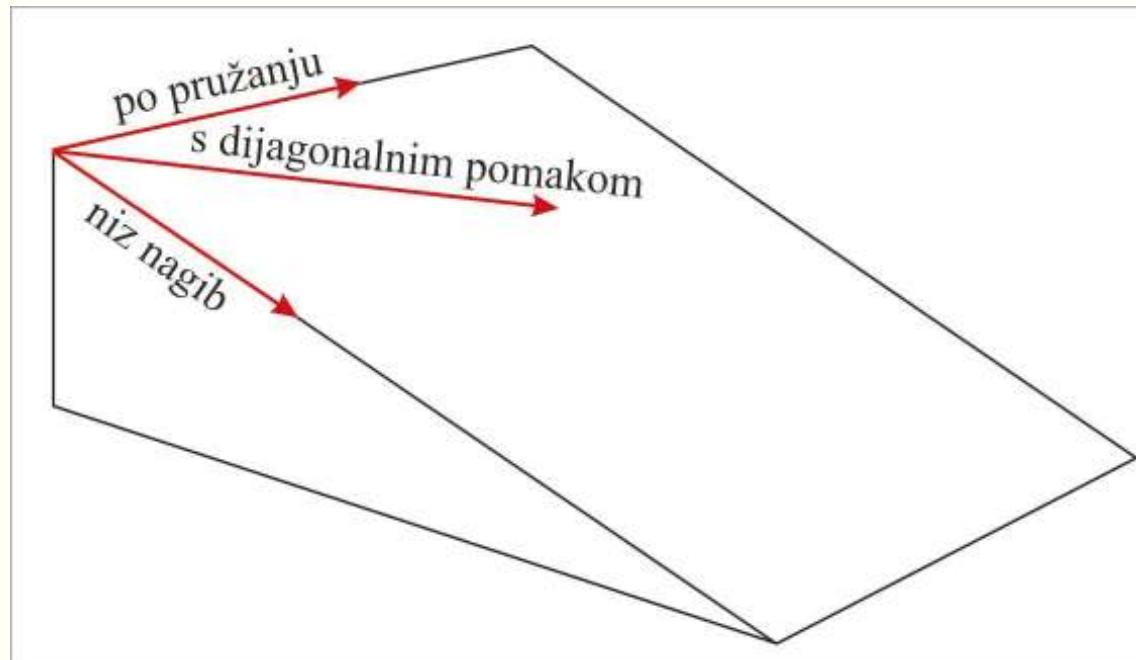


# Klasifikacija i vrste rasjeda



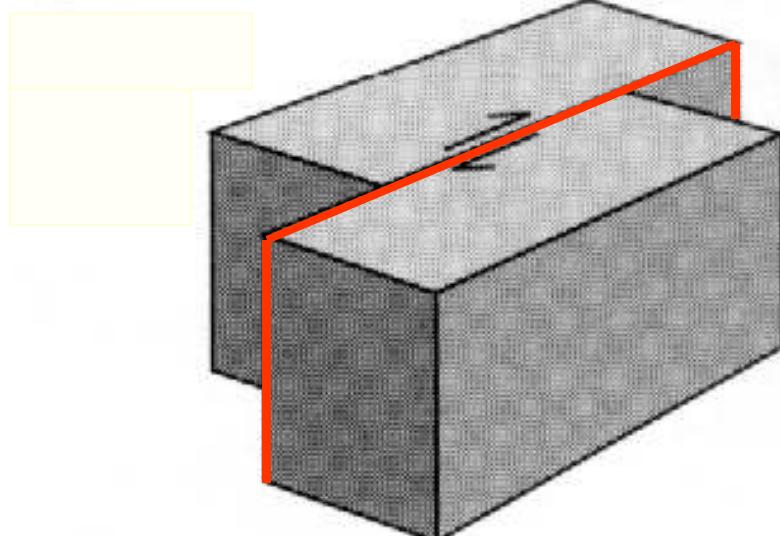
Prema relativnom pomaku rasjednih krila u odnosu na pružanje rasjedne plohe razlikuju se:

- rasjedi s pomakom po pružanju
- rasjedi s pomakom okomito na pružanje  
(niz i uz nagib rasjedne plohe)
- rasjedi s pomakom dijagonalno na pružanje

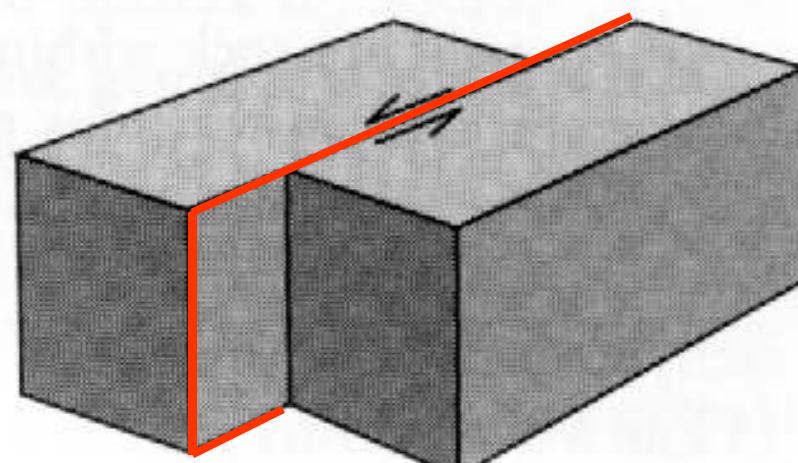


## A) Rasjedi s pomakom po pružanju (engl. *strike-slip faults*):

desni rasjed



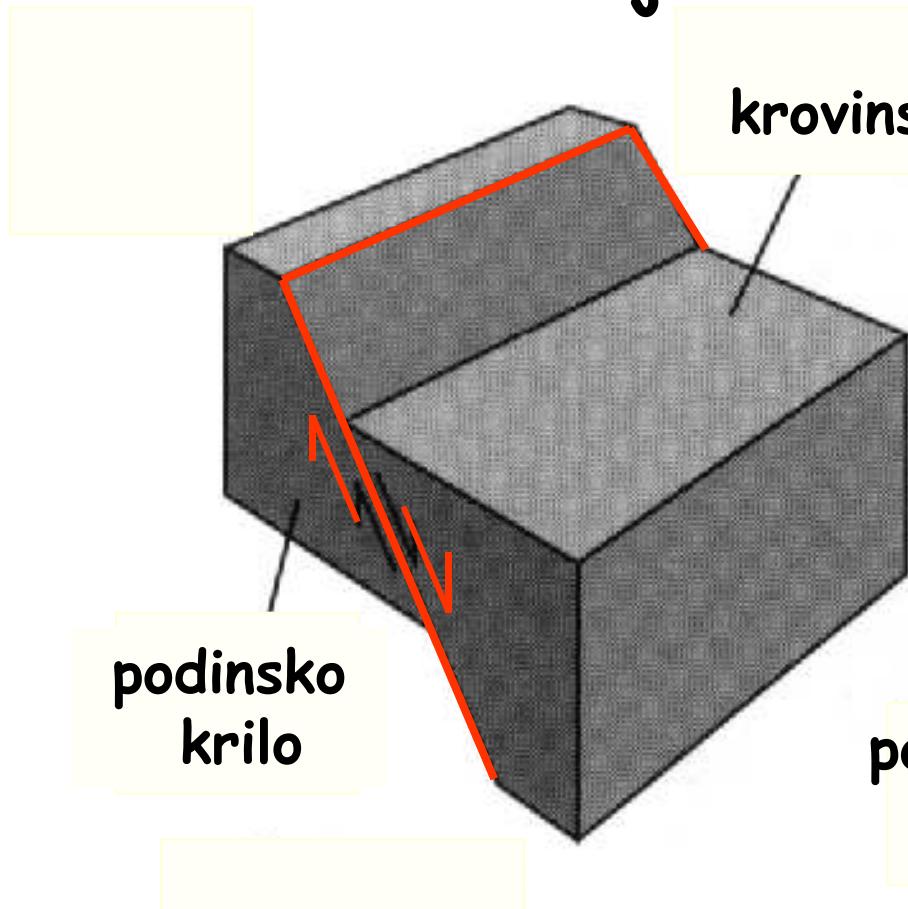
lijevi rasjed



**NAPOMENA:** Pri odredbi vrste rasjeda s pomakom po pružanju promatra se kako se relativno pomaknulo krilo na suprotnoj strani rasjedne plohe u odnosu na mjesto opažanja rasjeda.

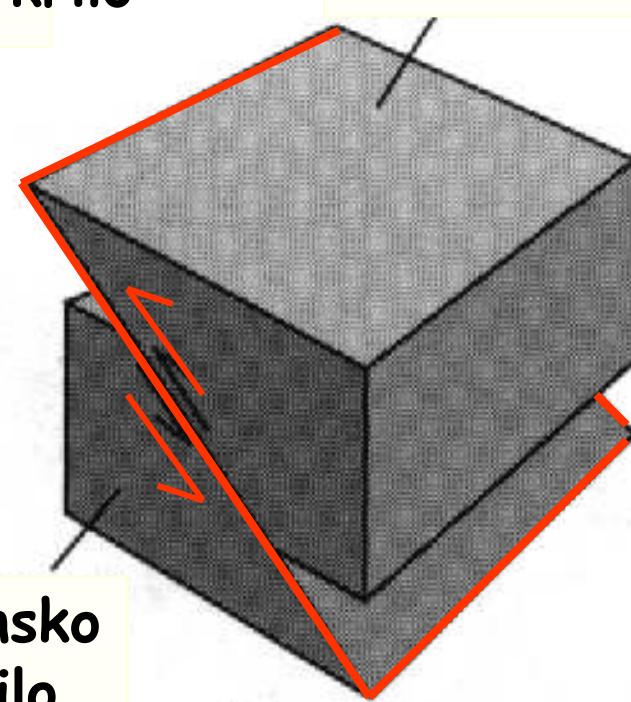
## B) Rasjedi s pomakom okomito na pružanje:

normalni rasjed



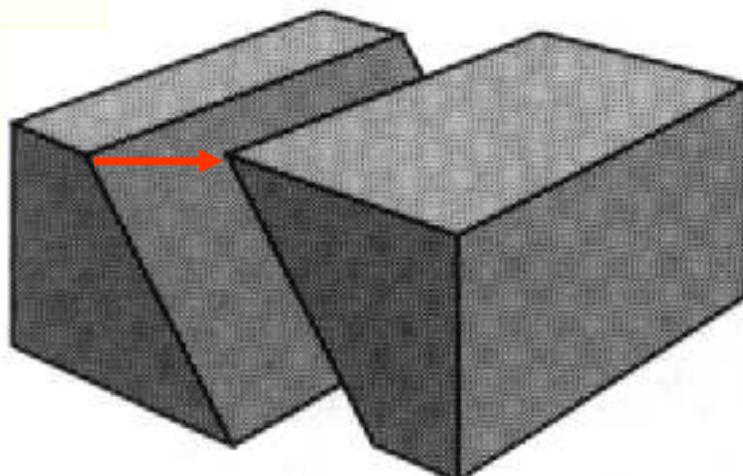
reversni rasjed

krovinsko krilo      krovinsko krilo

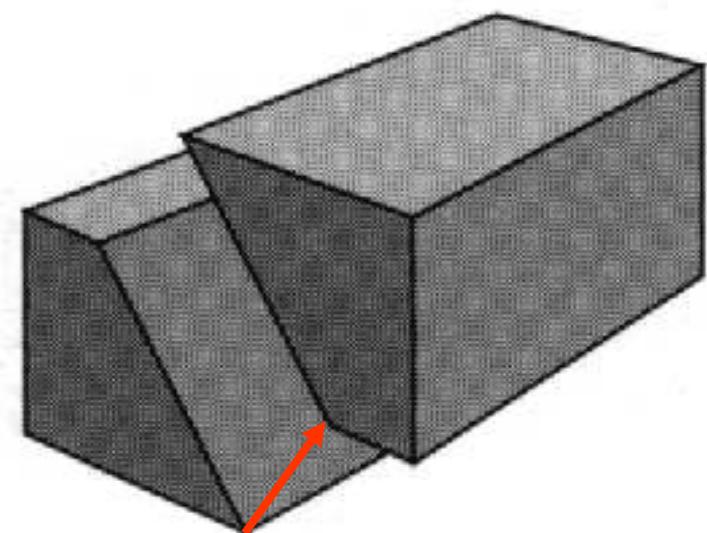


### C) Rasjedi s pomakom dijagonalno na pružanje:

- normalni-lijevi, normalni-desni rasjedi
- reversni-lijevi, reversni-desni rasjedi



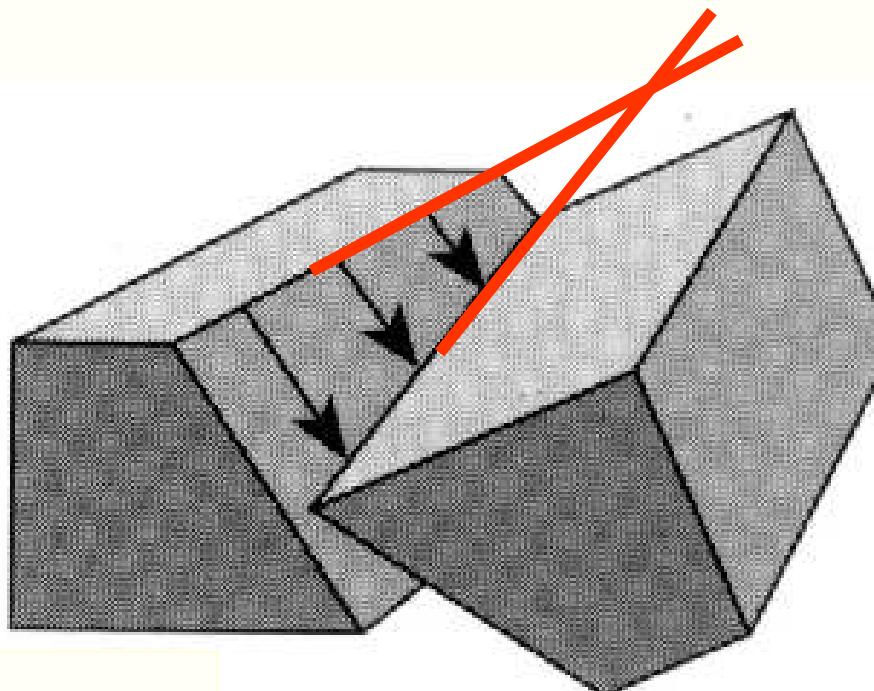
normalni-lijevi  
rasjed



reversni-lijevi  
rasjed

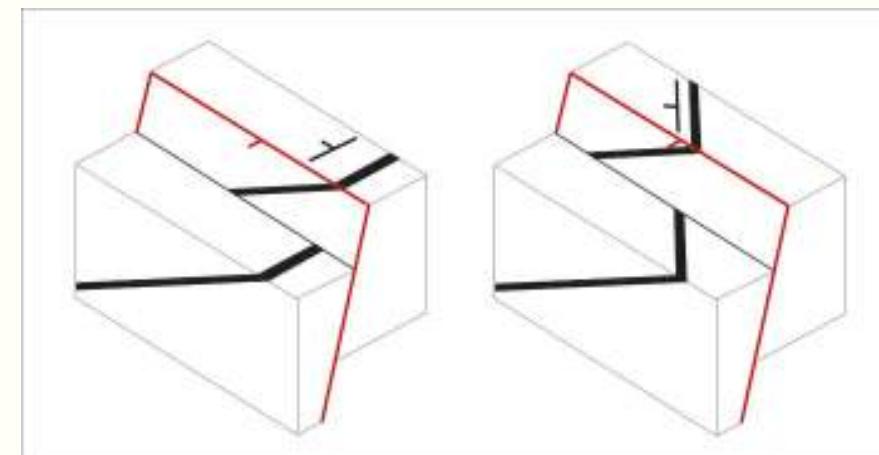
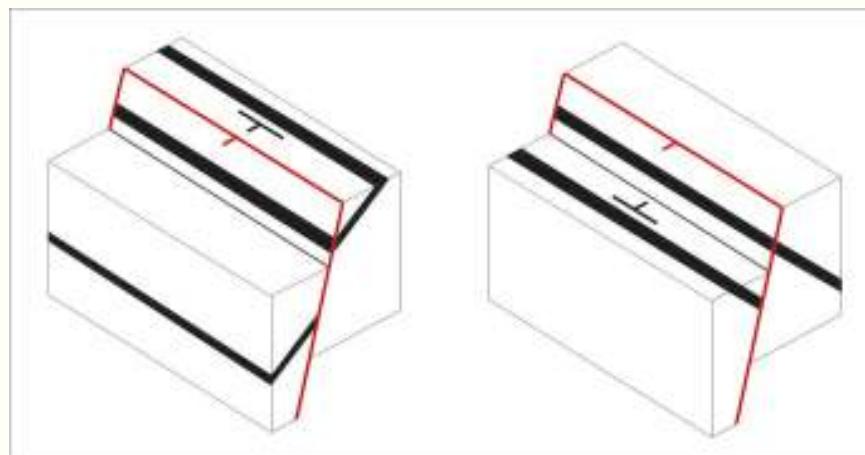
## D) Rasjedi s rotacijom krila:

- Škarasti ili rotacijski rasjedi



Prema pružanju rasjedne plohe u odnosu na pružanje slojeva, struktura ili strukturnih elemenata koji su prekinuti i pomaknuti rasjedom razlikuju se:

- uzdužni rasjedi: istosmjerni ili protusmjerni
- poprečni rasjedi
- dijagonalni rasjedi



# Način prikazivanja pojedinih tipova rasjeda u stereografskoj projekciji

- Orientacija rasjedne plohe najčešće se prikazuje tragom, rjeđe polom normale
- Orientacija strija prikazuje se polom koji leži na tragu rasjeda
- Vektor pomaka rasjeda prikazuje se strelicom čiji je vrh u smjeru relativnog kretanja krovinskog krila rasjeda, a strelica leži na pravcu koji povezuje pol strija sa središtem dijagrama
- Za prikaz desnih i lijevih rasjeda koristi se par polustrelica koje svojim vrhom pokazuju smjer kretanja odgovarajućeg rasjednog krila
- Za prikazivanje pomaka po vertikalnim rasjedima čiji vektori pomaka nisu horizontalni, vektor pomaka se prikazuje kružićem čija zatamnjena polovina označava relativno spušteno krilo

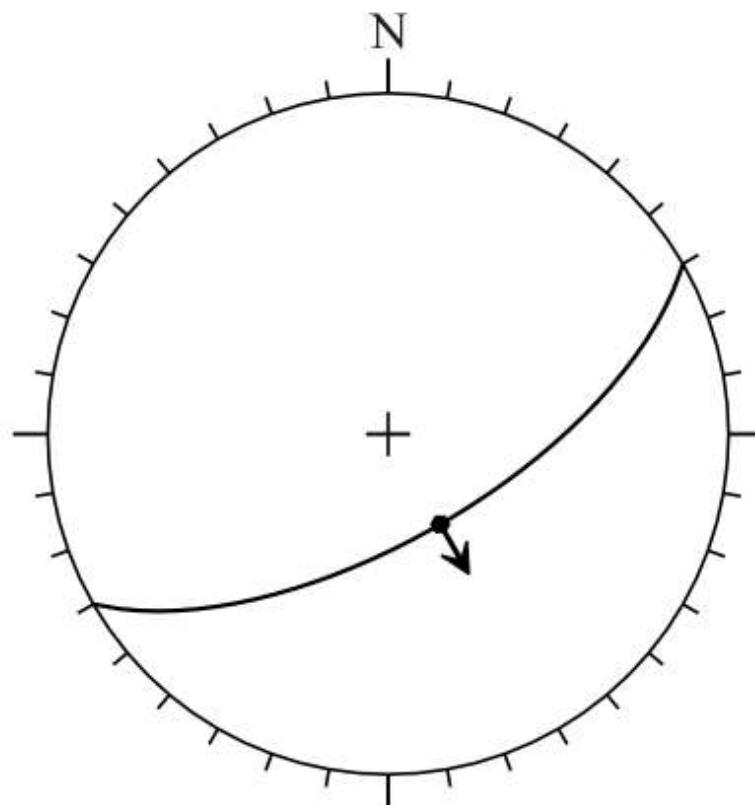


# Stereografska projekcija normalnog rasjeda s pomakom okomito i dijagonalno na pružanje

## NORMALNI RASJED

R=150/65

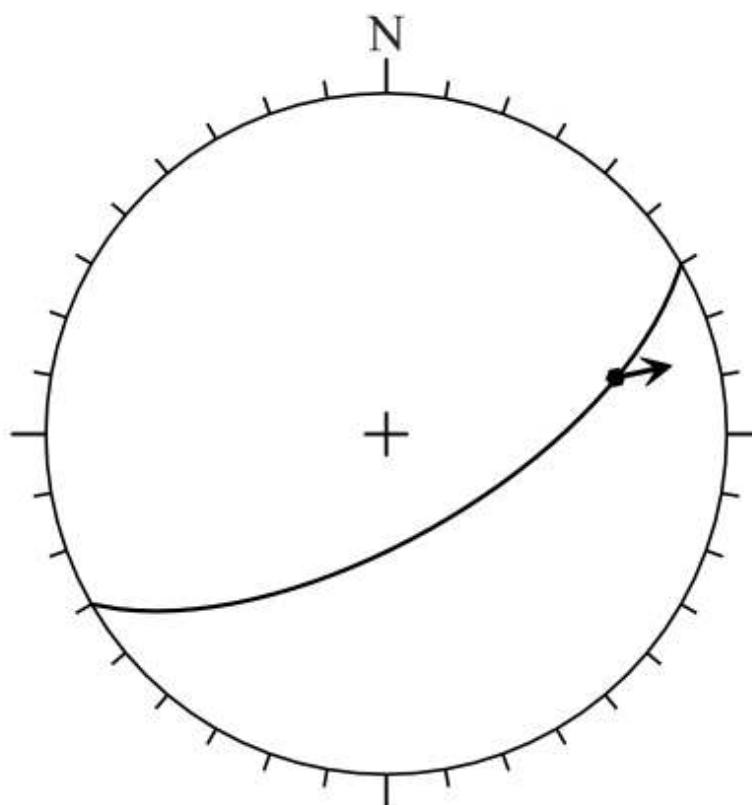
ls=150/65 (90 od NE)



## NORMALNI, LIJEVI RASJED

R=150/65

ls=35 od NE



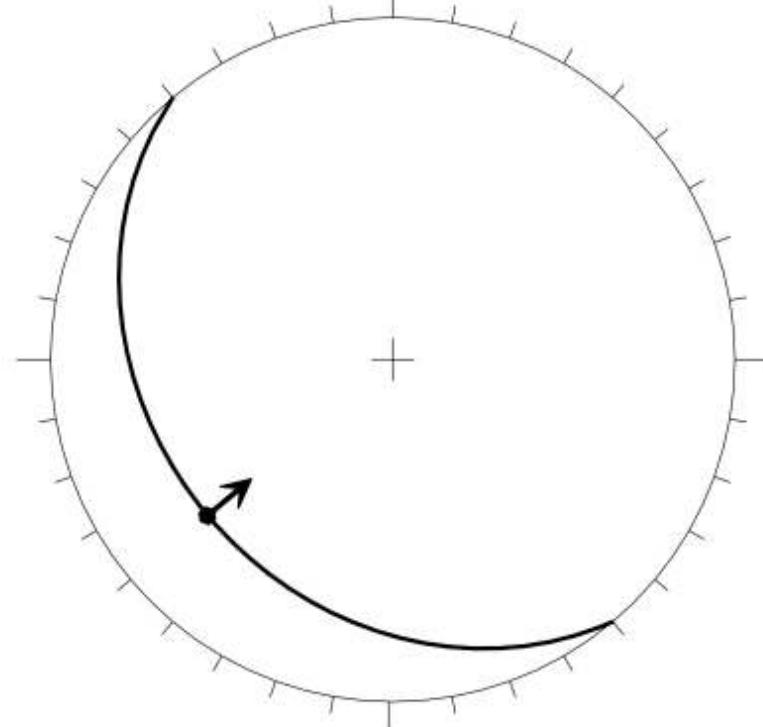
# Stereografska projekcija reversnog rasjeda s pomakom okomito i dijagonalno na pružanje

## REVERSNI RASJED

R=230/30

ls=230/30 (90 od SE)

N

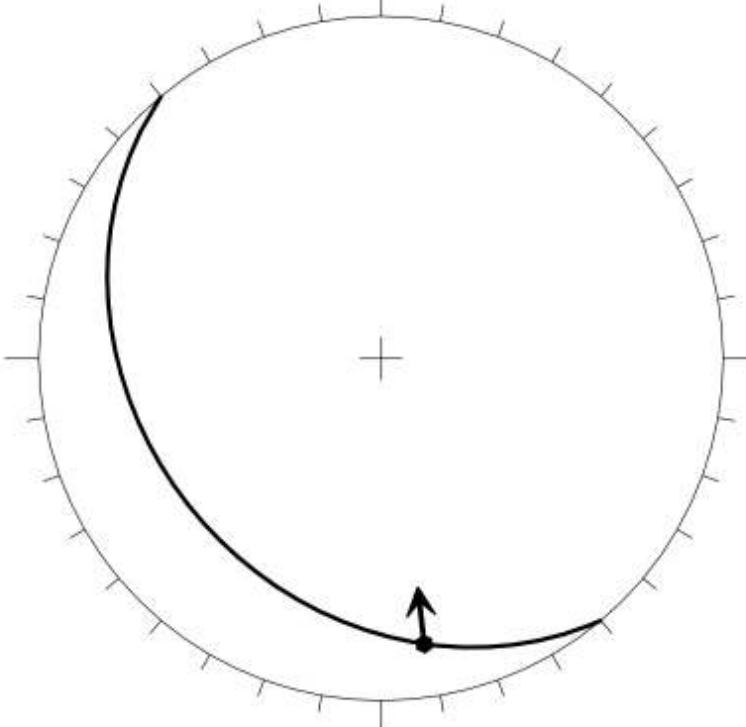


## REVERSNI, DESNI RASJED

R=230/30

ls=35 od SE

N

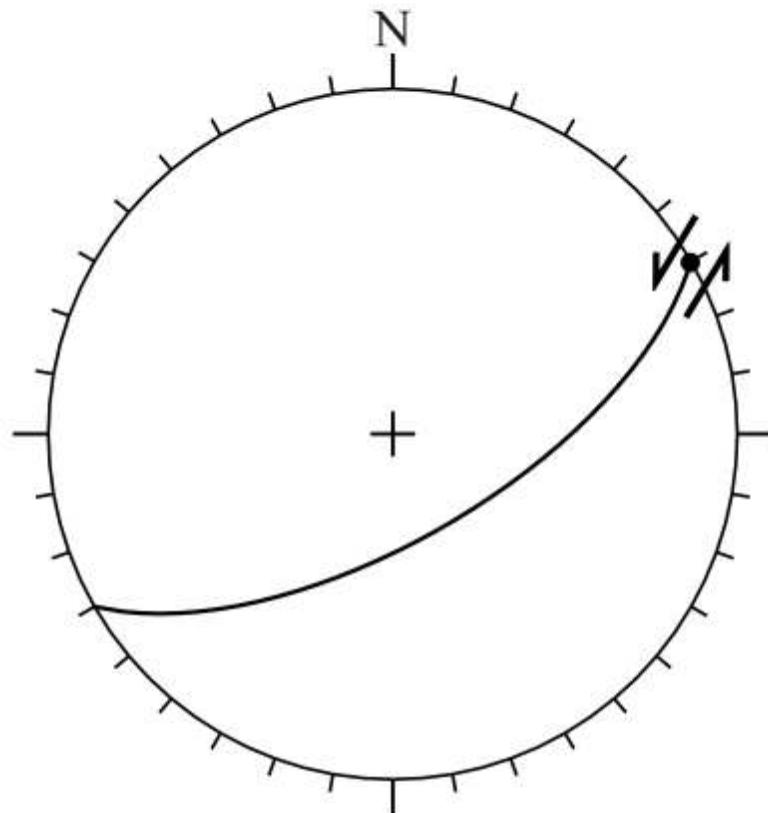


# Stereografska projekcija rasjeda s pomakom po pružanju (engl. *strike-slip faults*)

## LIJEVI RASJED

R=150/65

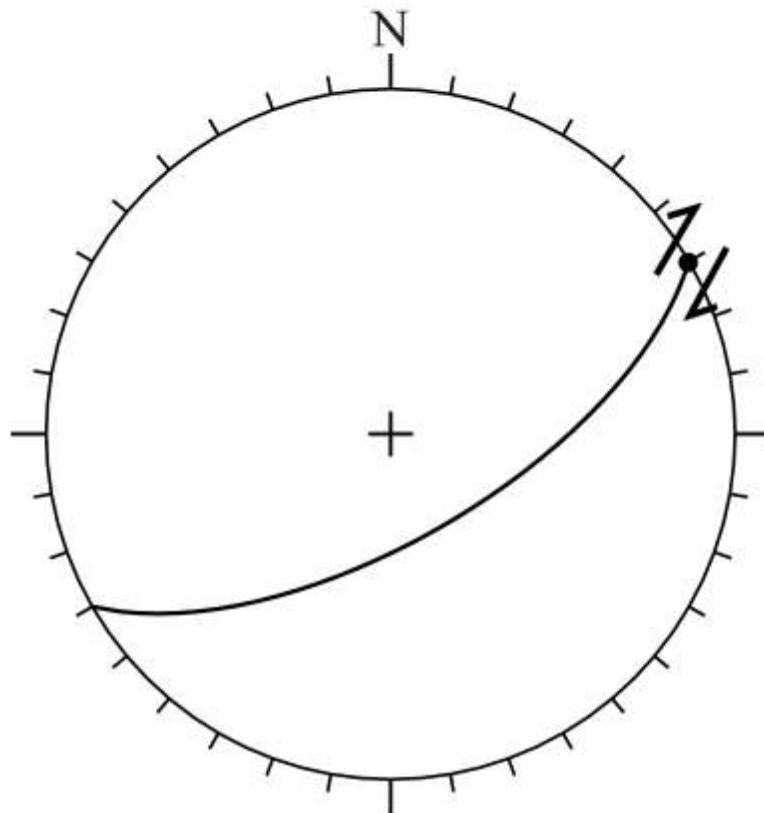
ls=60-240 (0 od NE)



## DESNI RASJED

R=150/65

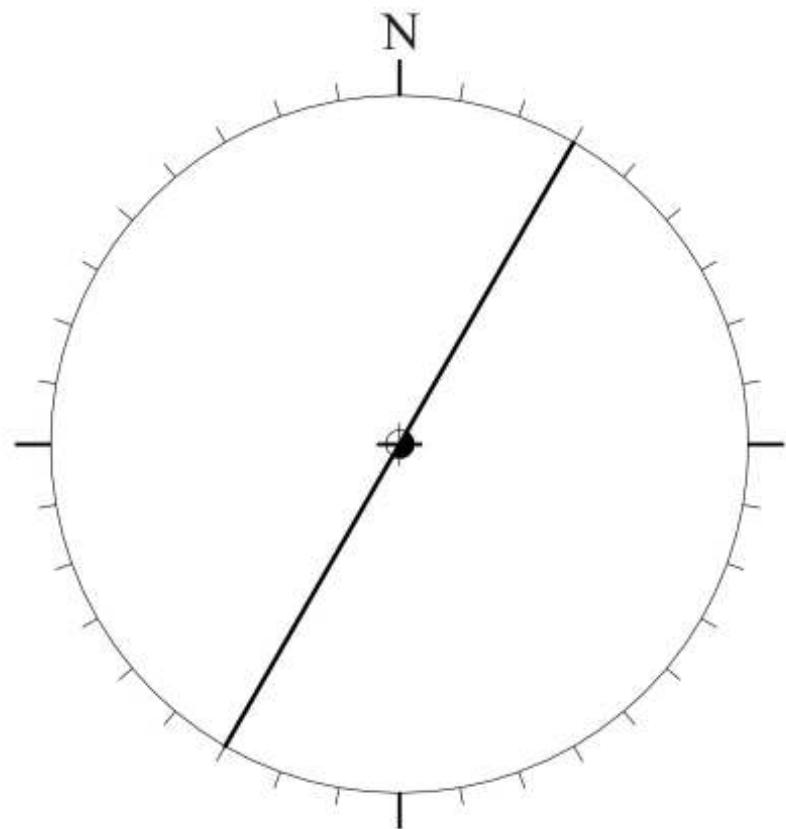
ls=60-240 (0 od NE)



# Neki specifični primjeri

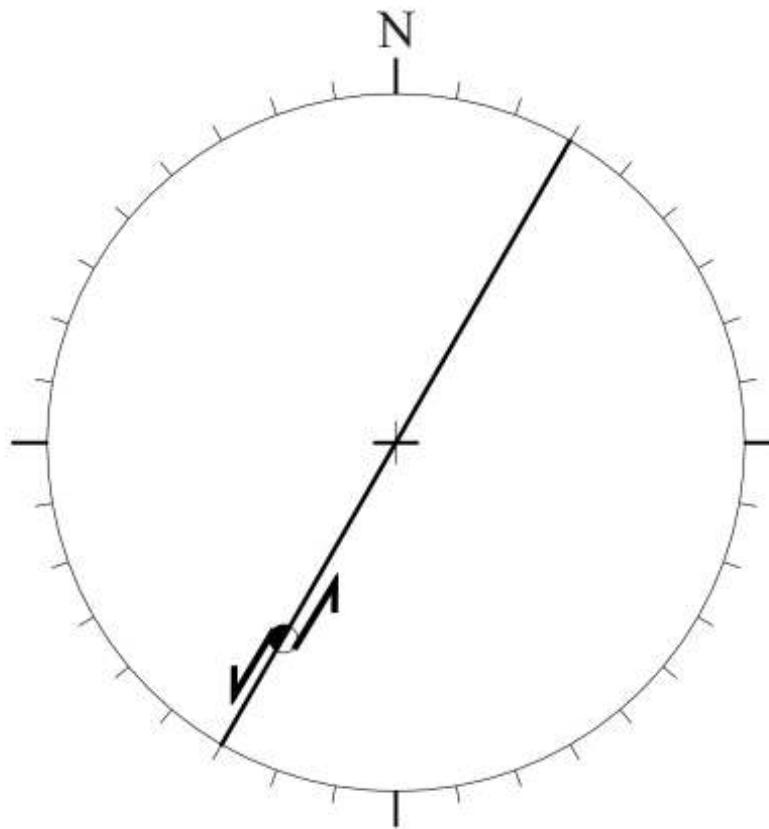
## VERTIKALNI RASJED (ESE krilo spušteno)

R=30-210  
ls=90 od NE



## VERTIKALNI, LIJEVI RASJED (WNW krilo spušteno)

R=30-210  
ls=35 od SW



# Kako prepoznati rasjede?



## A) Odraz u reljefu

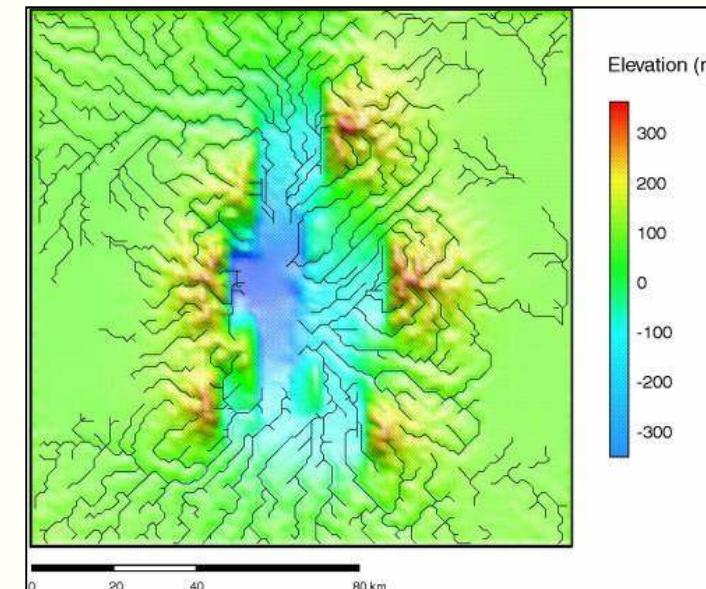
- uske zone s naglom,  
skokovitom promjenom  
reljefa (npr. lokalne  
depresije,  
pravocrtne,  
uske doline i sl.)



- pomak korita rijeka i potoka, anomalije u reljefu
- specifičan tip drenažne mreže i dr.

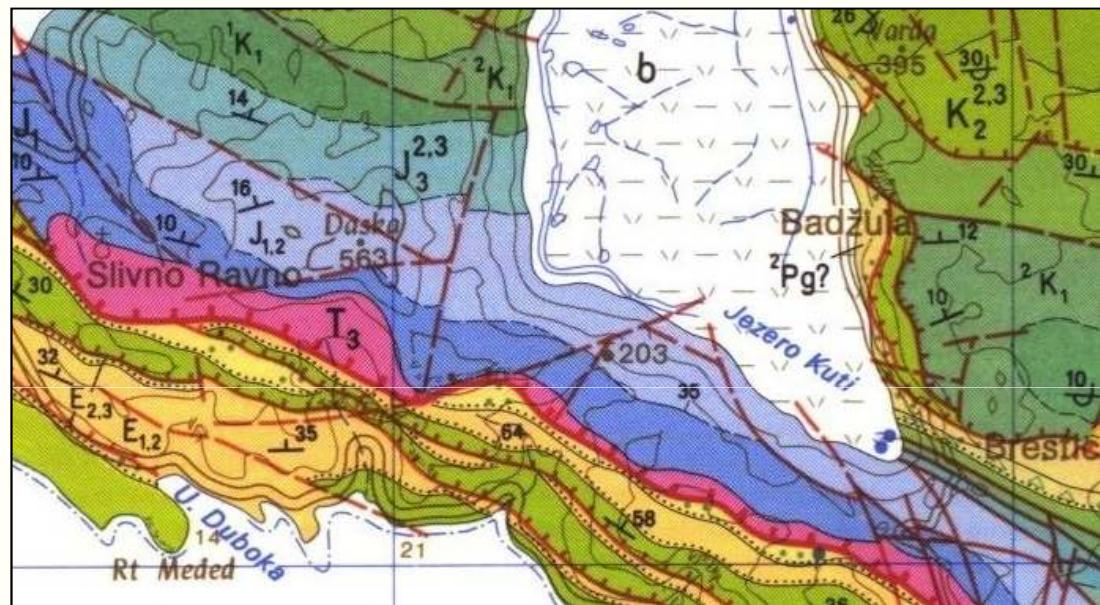


## Struktturna geomorfologija



## B) Odraz u geološkoj građi terena

- nagli prekid i pomak stratigrafskih granica
- izrazito, lokalno povećanje ili smanjenje primarne debљine pojedinih stratigrafskih jedinica i dr.



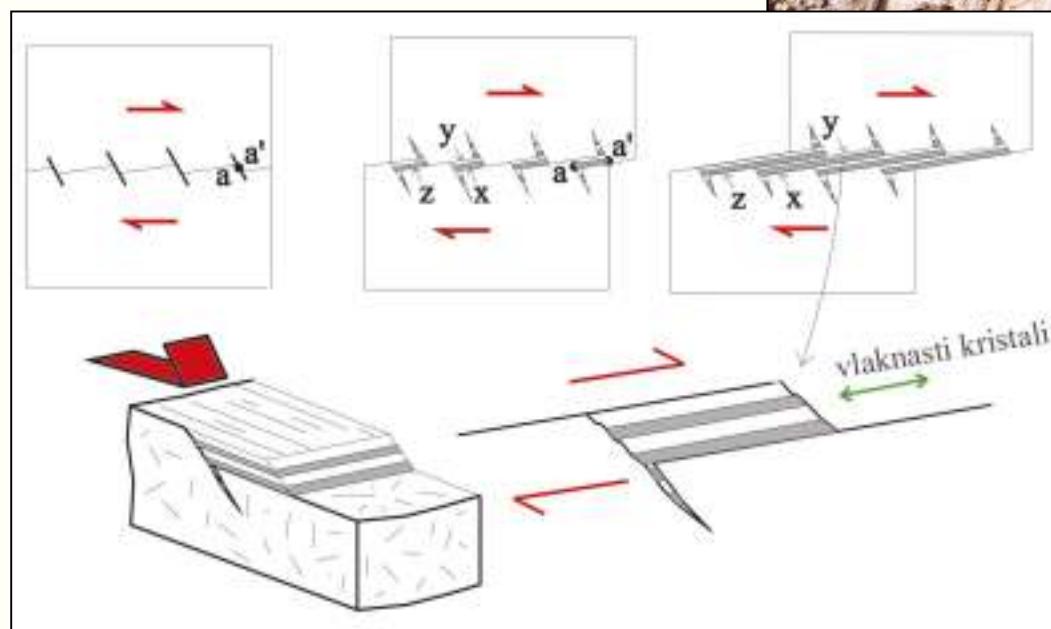
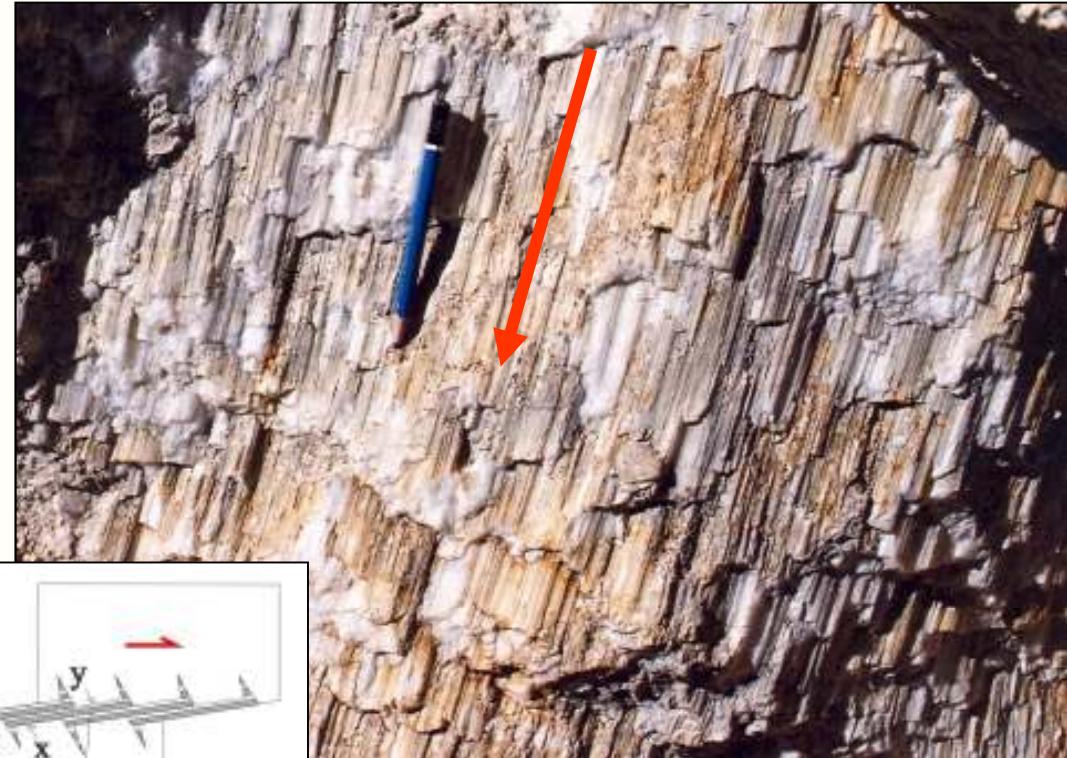
→ Geološko kartiranje

## C) Kogenetske deformacijske strukture na rasjednim plohamama i uz rasjedne plohe

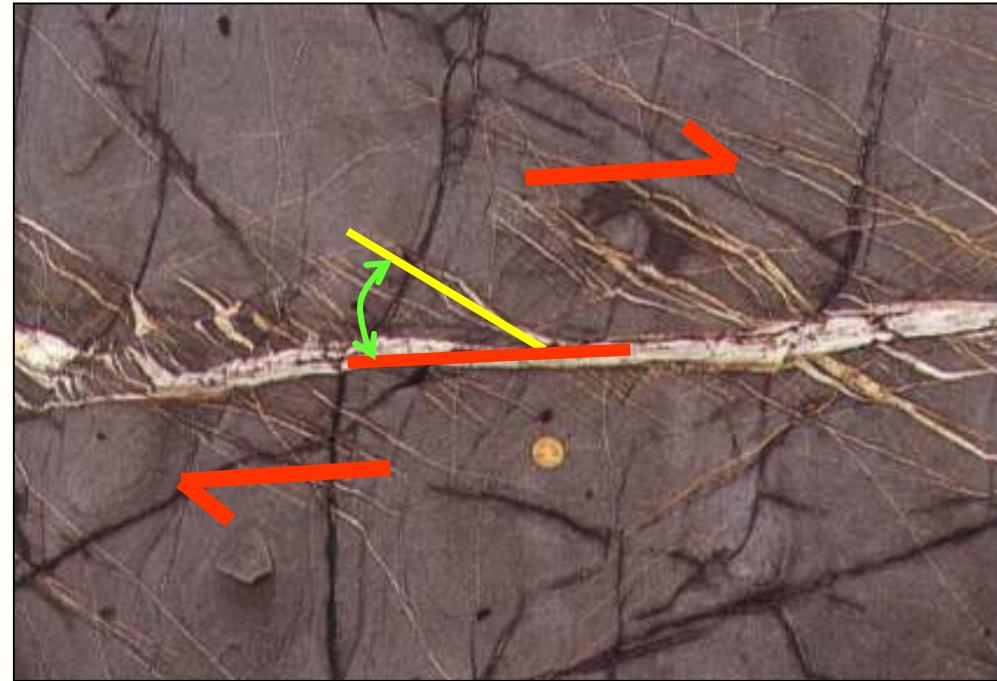
- polirane, gotovo idealno ravne plohe ("gorska zrcala") s vidljivim strijama



- strije i agregati minerala vlaknastog (fibroznog) habitusa (npr. kalcita, kvarca, klorita i dr.)



- **peraste pukotine** - set ešaloniranih, vlačnih pukotina/žila uz rasjednu plohu



- **vlačne bore** - bore nastale smicanjem slojeva po rasjednoj plohi

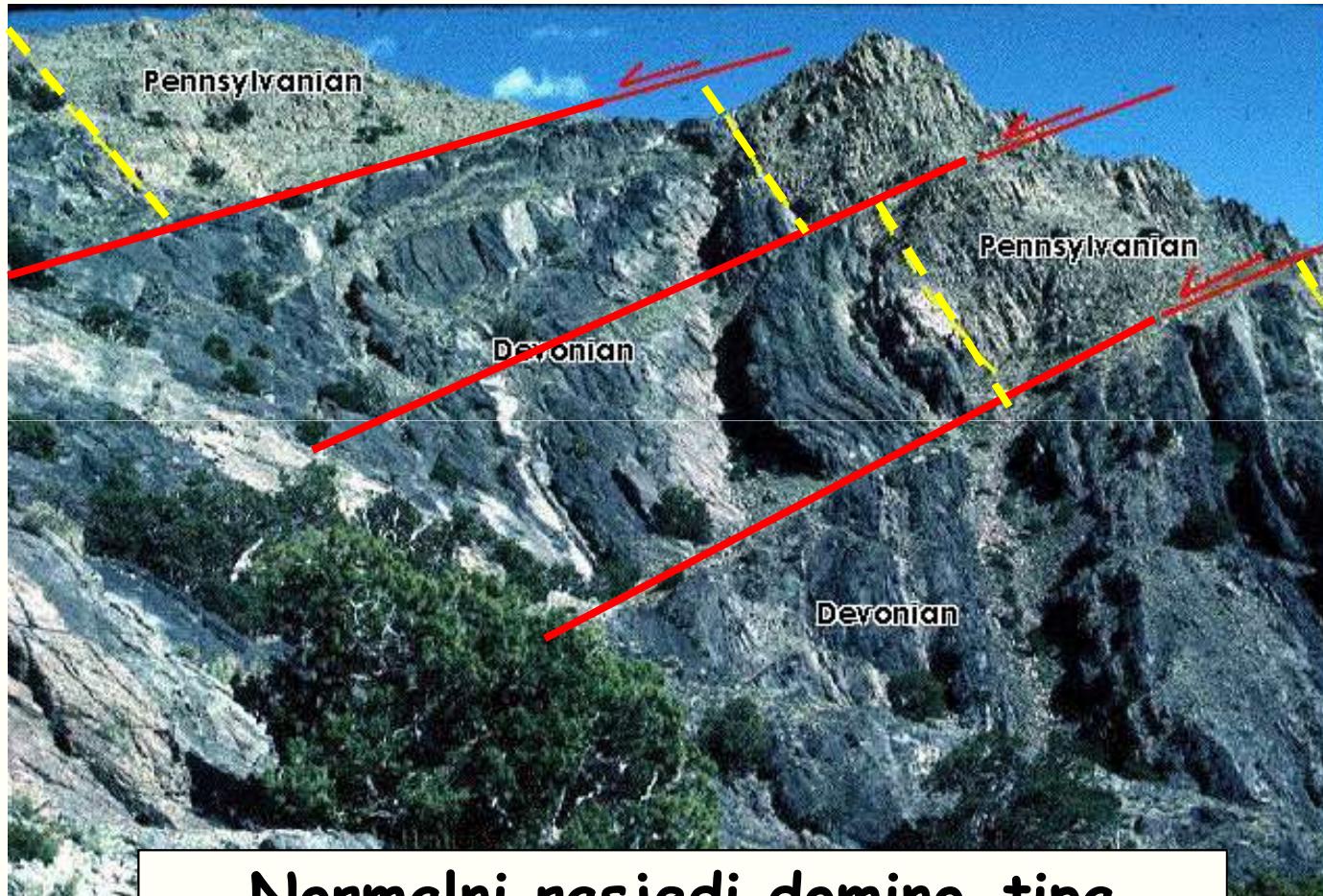


# Morfološke i kinematske značajke rasjeda



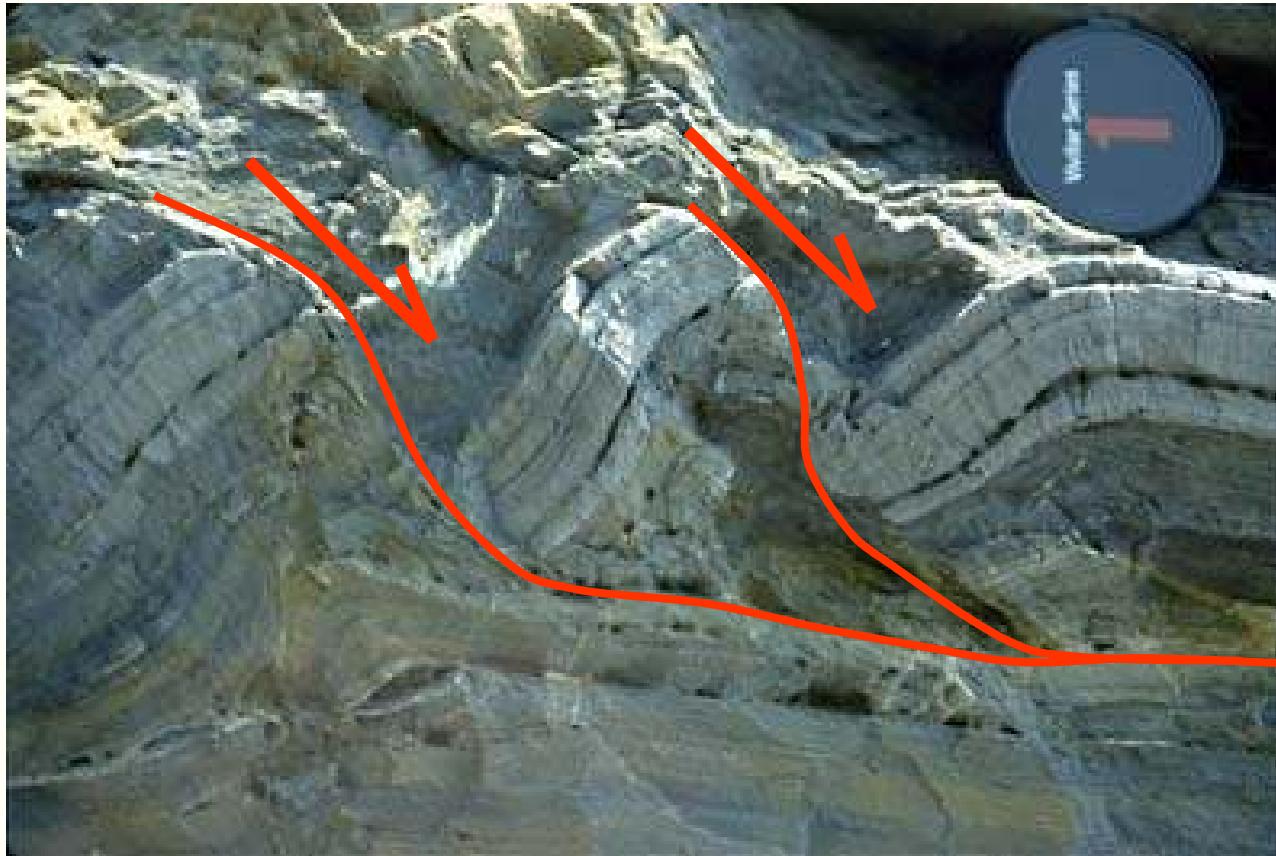
# Geometrija rasjednih ploha

- pravilne, izrazito ravne rasjedne plohe



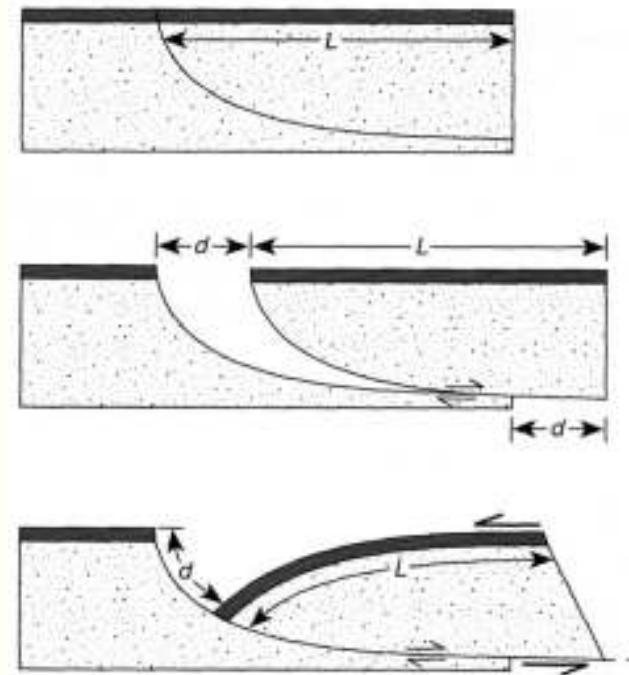
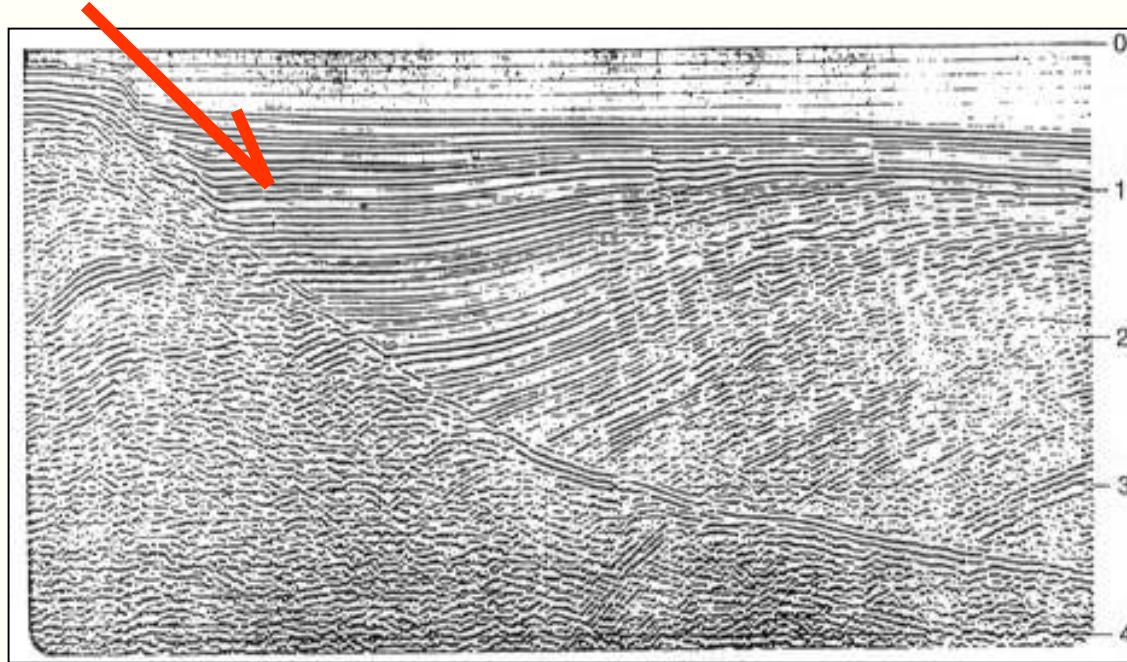
Normalni rasjedi domino-tipa

- izrazito zakrivljene rasjedne plohe - listrički rasjedi:

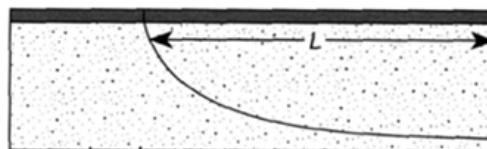


Sve blaži nagib s povećanjem dubine rezultira konkavnim oblikom rasjedne plohe

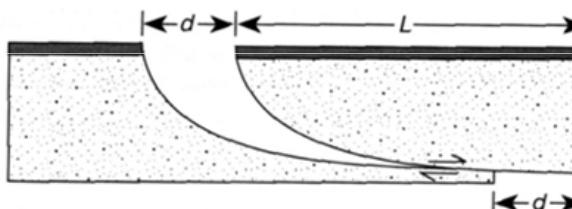
- kod normalnih, listričkih rasjeda u krovinskom krilu često dolazi do boranja i stvaranja tzv. "roll-over" antiklinale kao posljedice pretežno plastične deformacije naslaga u krovinskim krilima takovih rasjeda



- međutim, u slučaju krte deformacije u krovinskim krilima normalnih listričkih rasjeda moguće je očekivati nastanak ko-genetskih protusmjernih (slika C) ili istosmjernih normalnih rasjeda (slika D), koji čine set normalnih rasjeda domino tipa (engl. *domino fault system*)

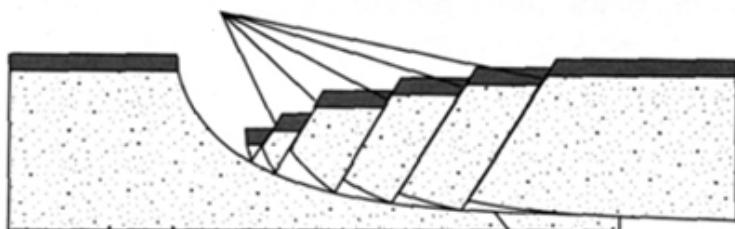


A.



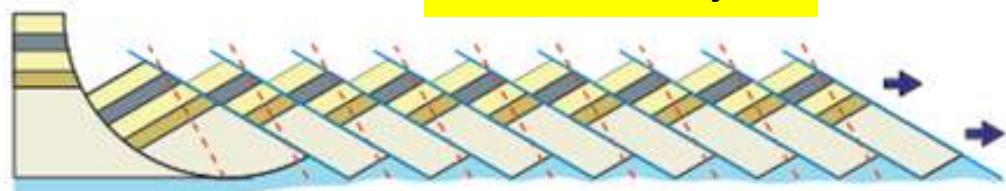
B.

set protusmjernih  
normalnih rasjeda



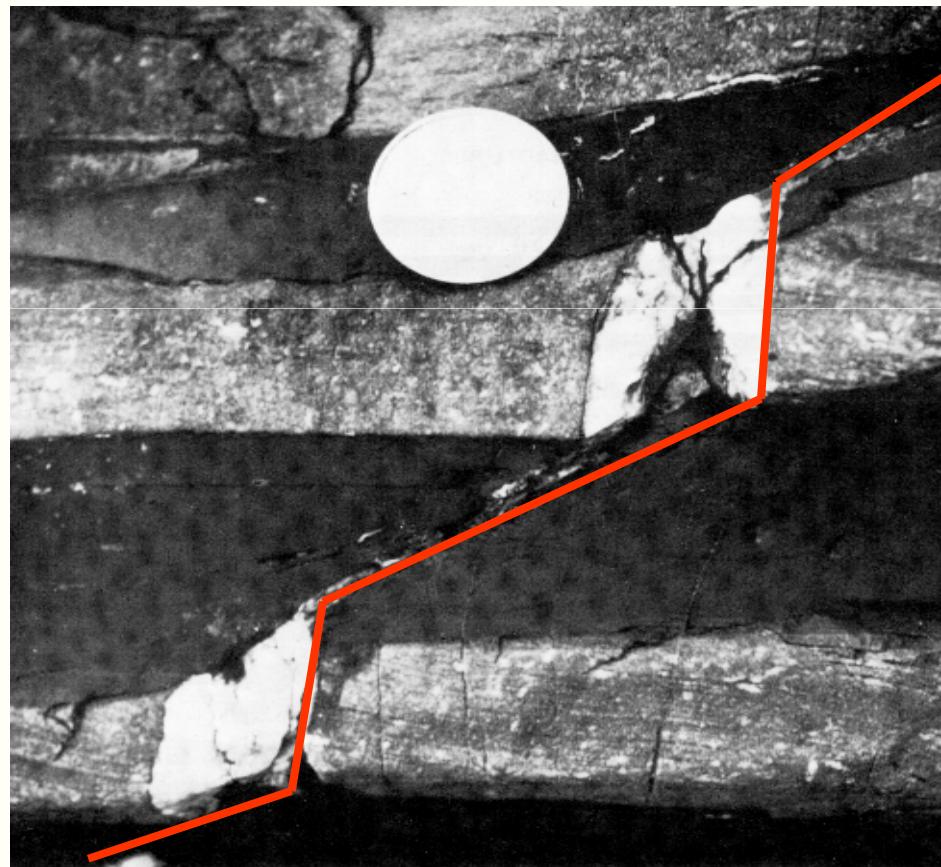
C.

set istosmjernih  
normalnih rasjeda

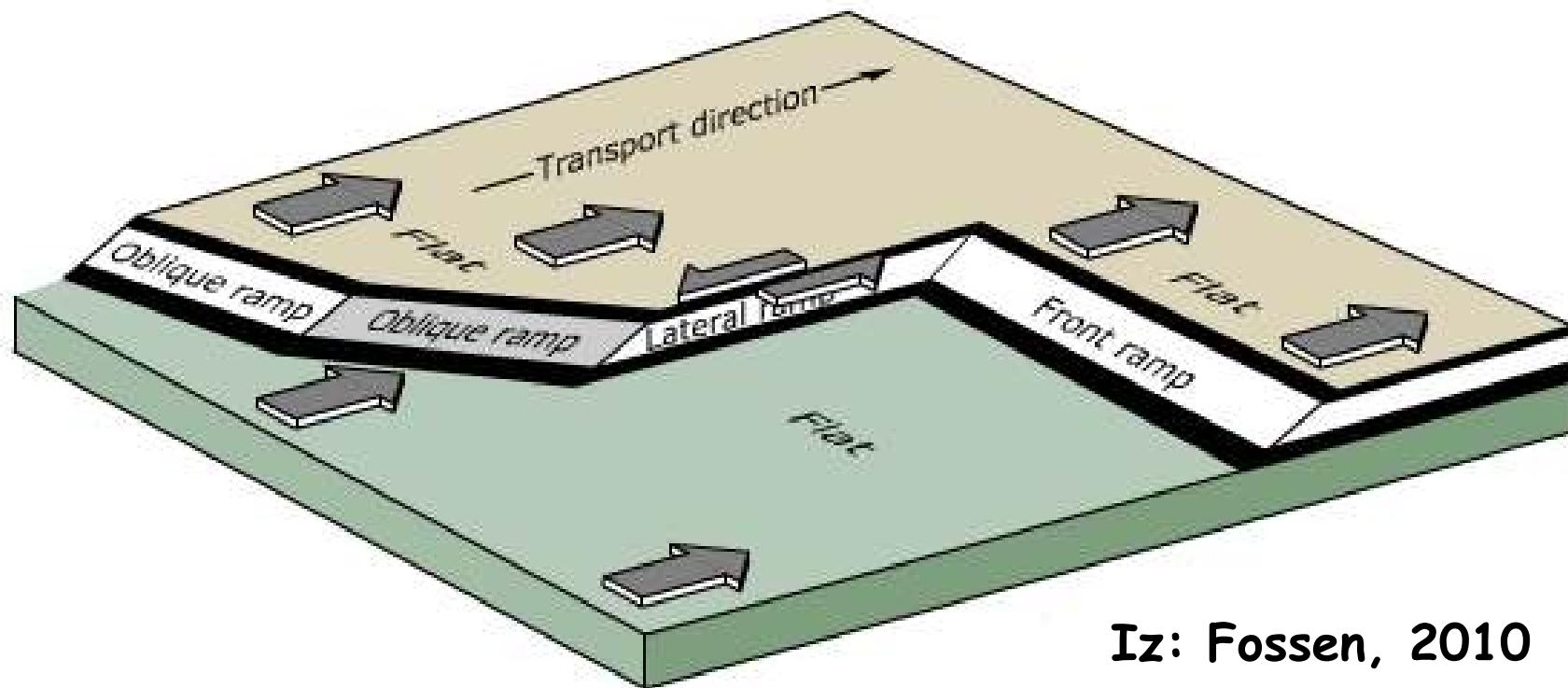


D.

- rasjedne plohe s naglim i opetovanim promjenama nagiba – stepenast oblik rasjedne plohe:
  - rasjedne zaravni (segmenti rasjedne plohe blažeg nagiba)
  - rasjedne rampe (segmenti rasjedne plohe strmijeg nagiba)

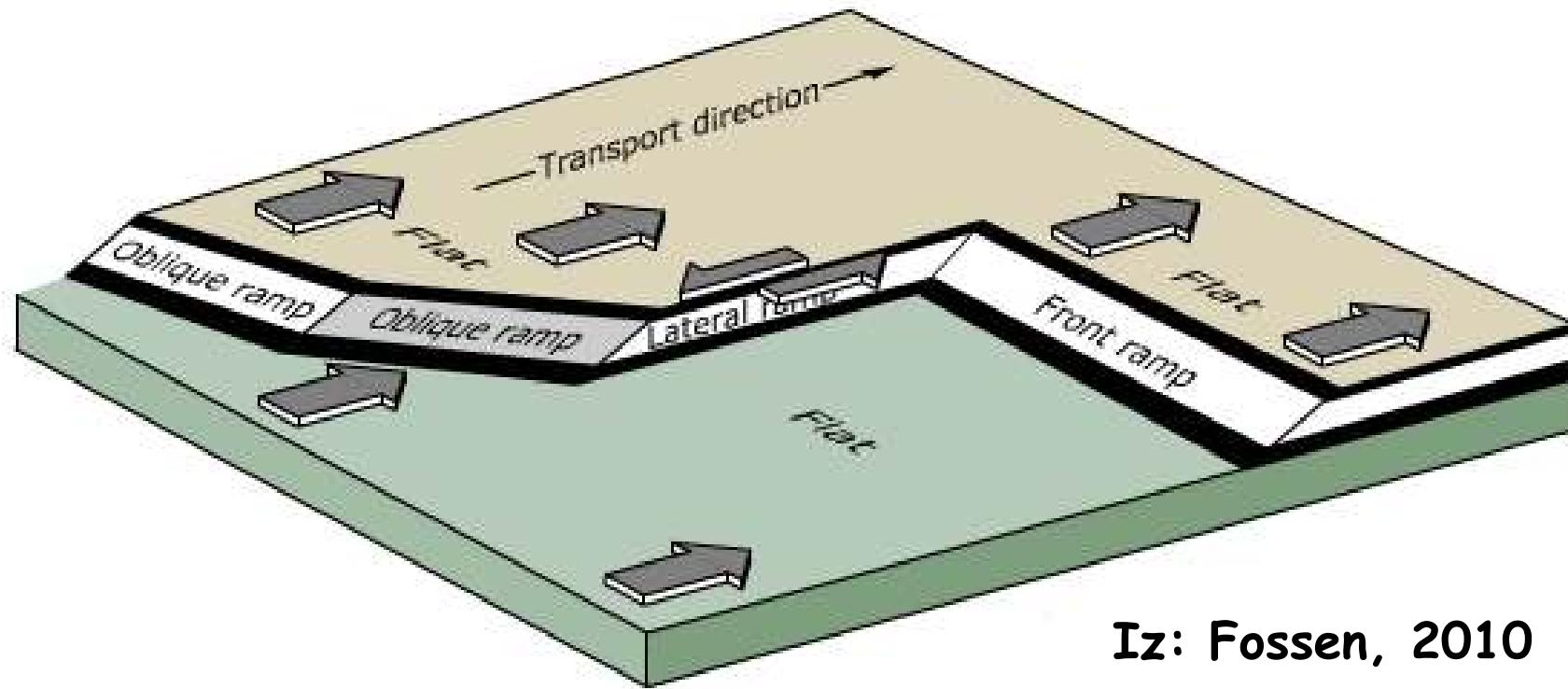


Prema orientaciji u odnosu na smjer glavnog vektora pomaka po rasjedu razlikuju se:



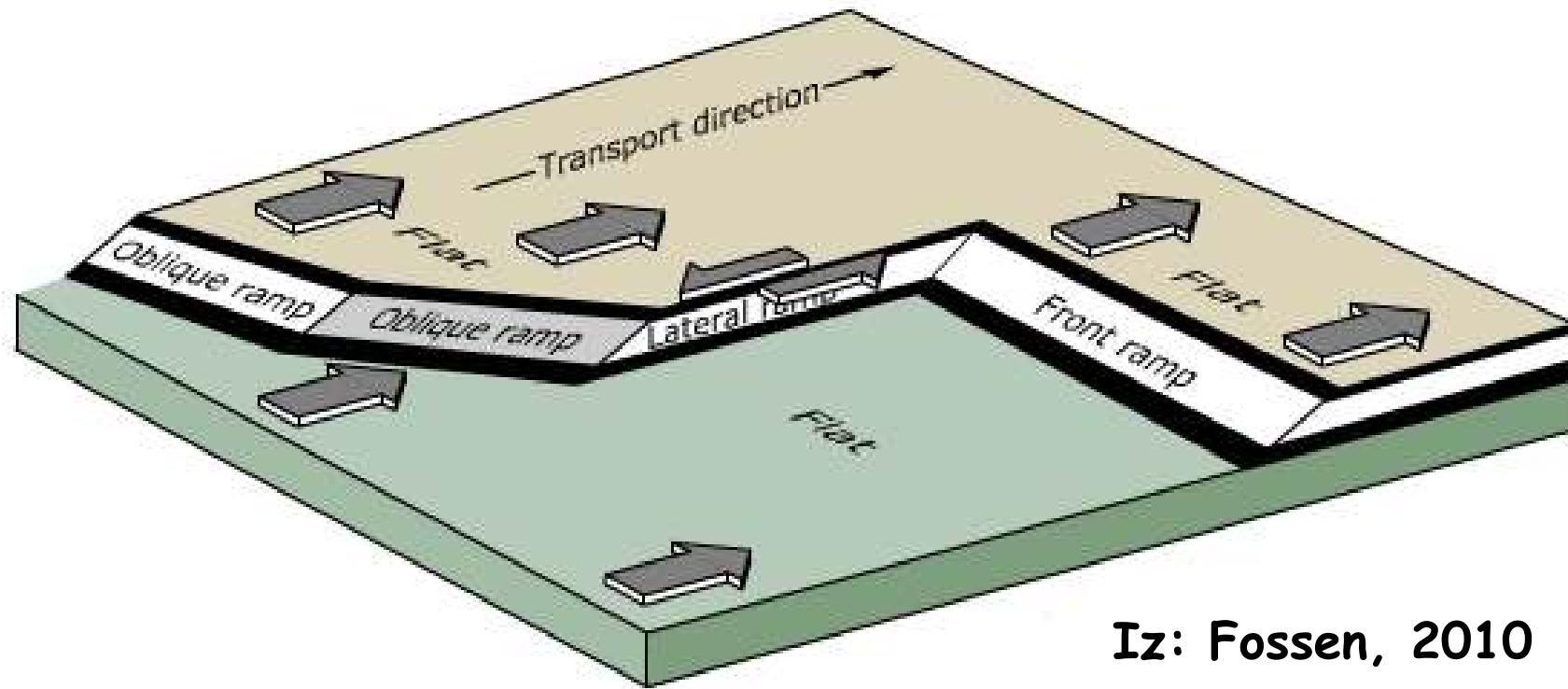
Iz: Fossen, 2010

Čeona ili frontalna rampa (engl. *frontal ramp*): segment rasjedne plohe čije je pružanje okomito na vektor pomaka rasjeda



Iz: Fossen, 2010

**Bočna rampa** (engl. lateral ramp): segment rasjedne plohe čije je pružanje paralelno s vektorom pomaka rasjeta

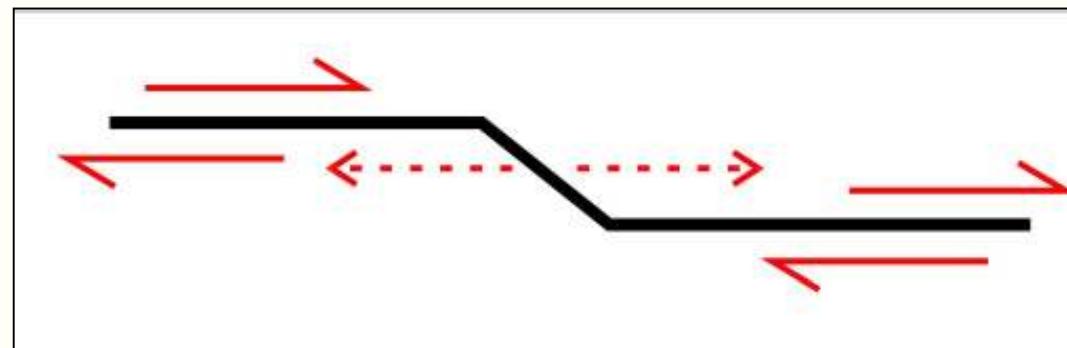


Iz: Fossen, 2010

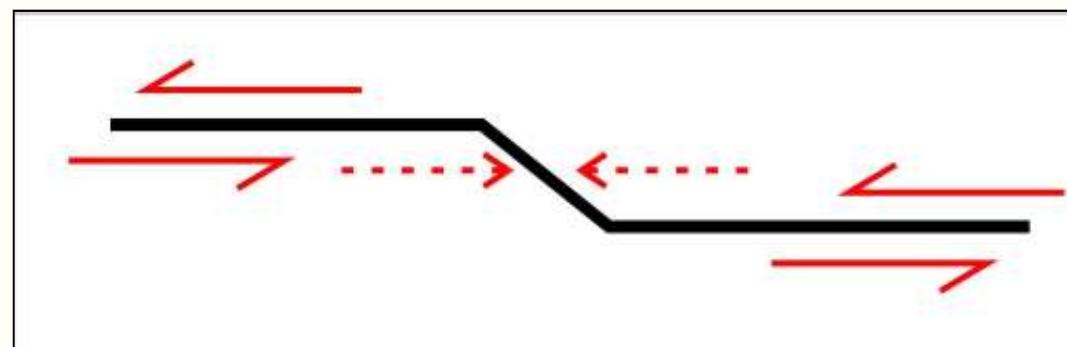
Dijagonalna rampa (engl. oblique ramp): segment rasjedne plohe čije je pružanje dijagonalno u odnosu na vektor pomaka po rasjedu

Rasjedne rampe također čine zone lokalne deformacije rasjednih krila, pri čemu tip deformacije ovisi o orijentaciji rampe i smjeru vektora pomaka rasjeda. Pri tom se razlikuju:

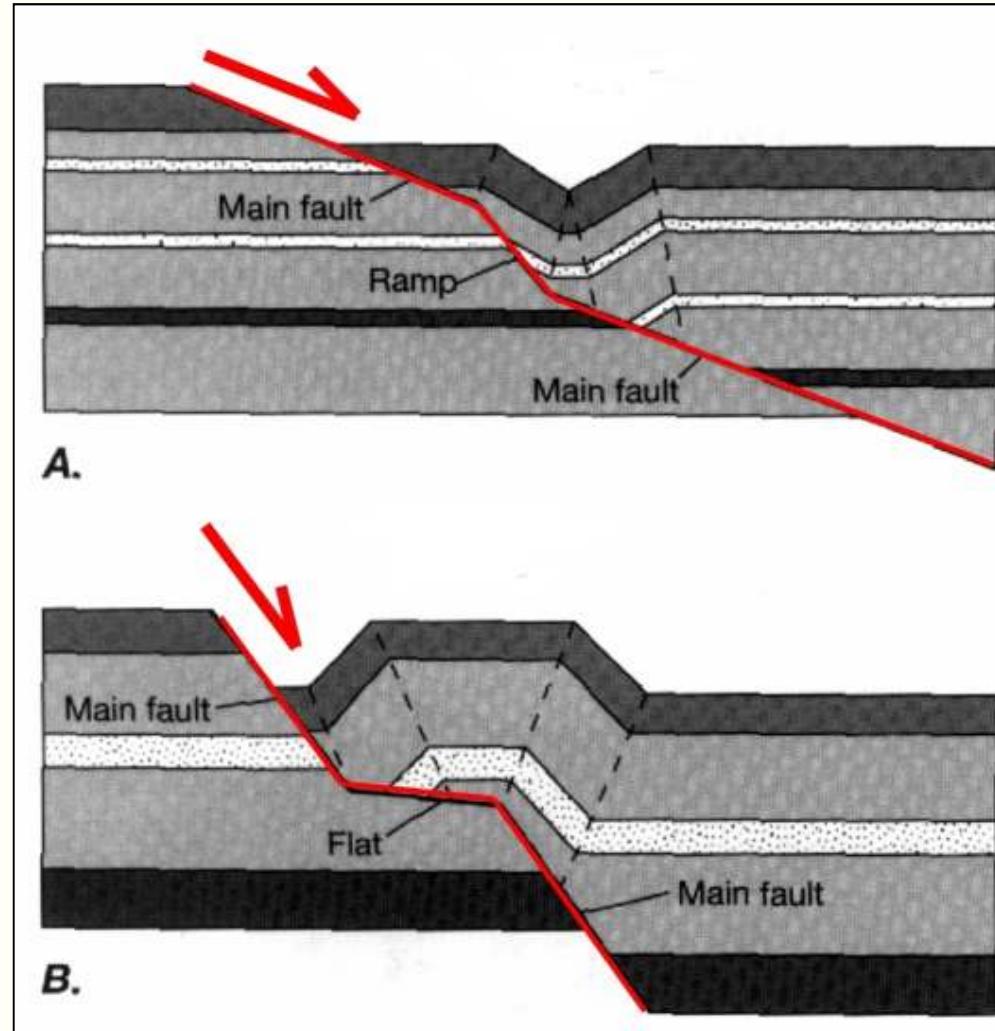
- A. **Ekstenzijske rampe**, kod kojih dolazi do lokalne ekstenzije u rasjednim krilima;



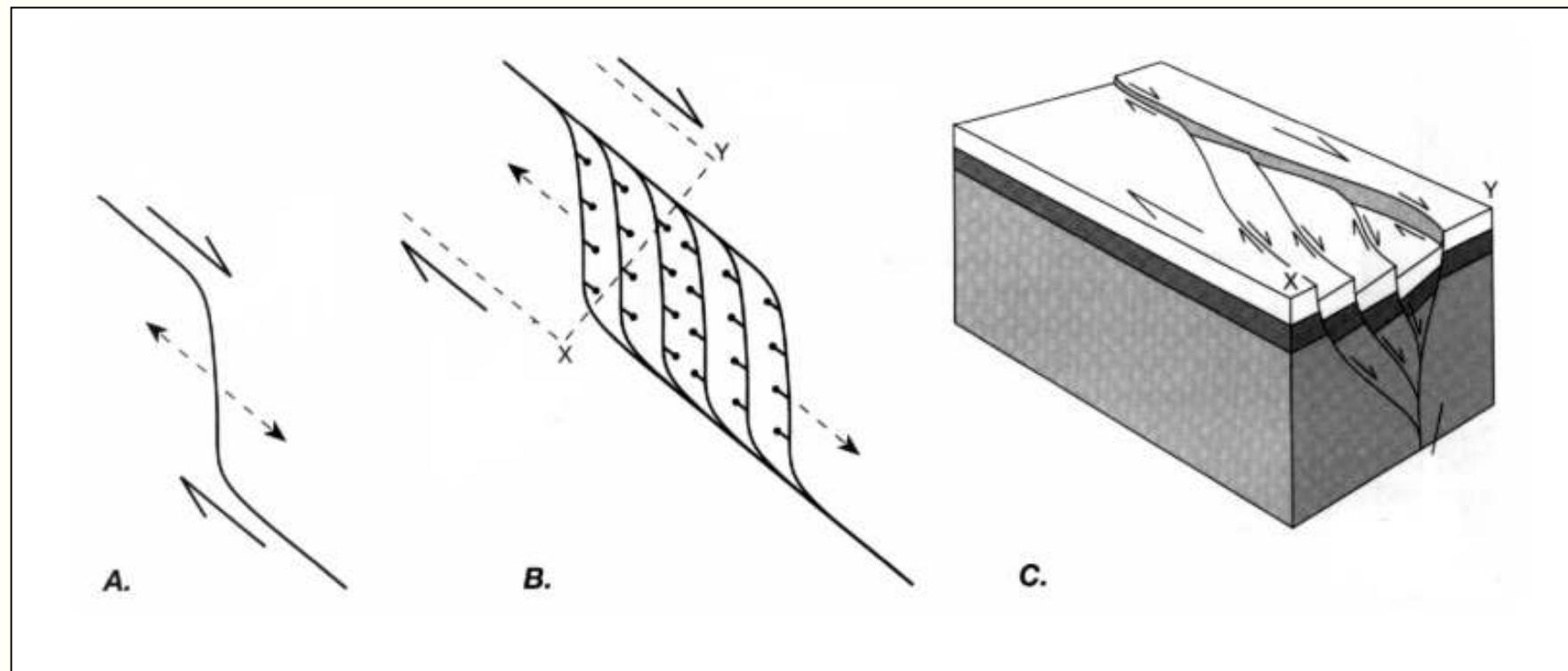
- B. **Kompresijske rampe**, kod kojih dolazi do lokalne kompresije u rasjednim krilima.



- Primjer lokalne deformacije krovinskih krila kod stepenastih normalnih rasjeda

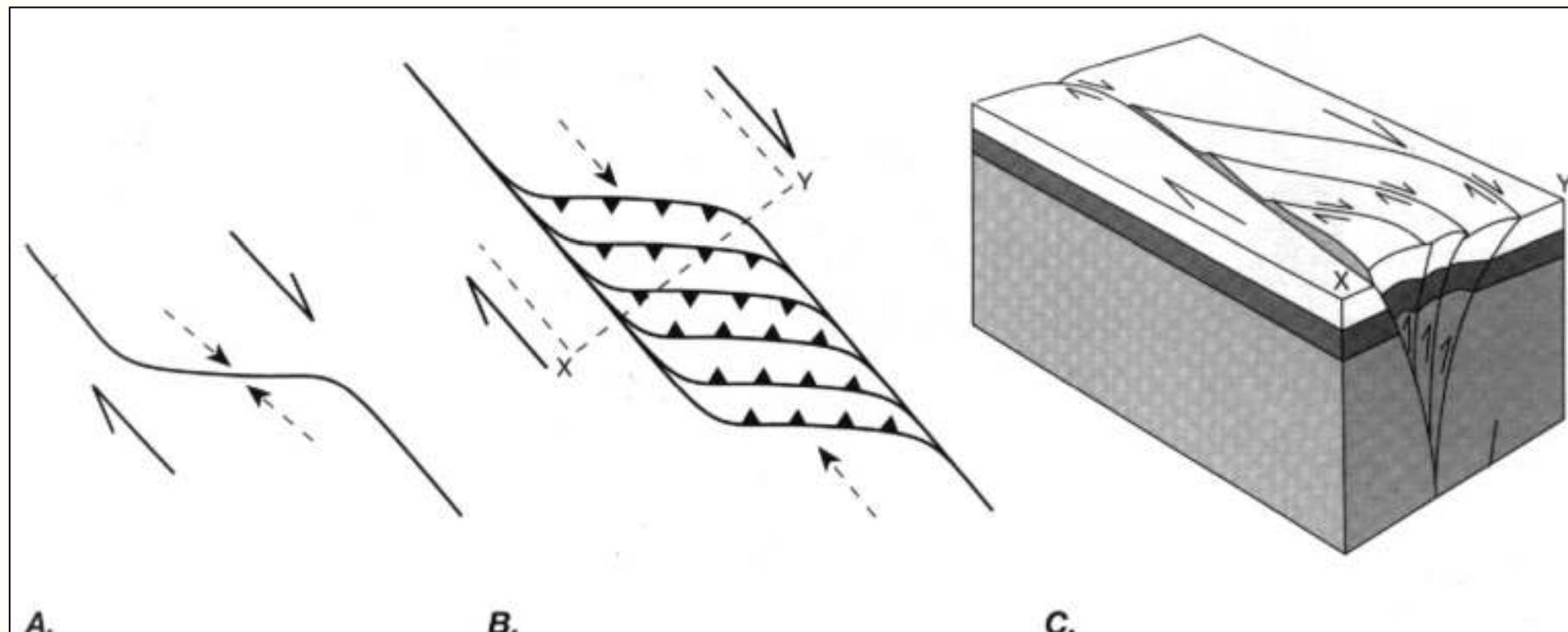


- Na desnim i lijevim rasjedima rampe su oni segmenti rasjeda na kojim se naglo mijenja pružanje rasjeda.
- **Lokalna ekstenzija** na takvim rampama rezultira stvaranjem **negativnih cvjetnih struktura ili romboidnih graba** (*engl. pull-apart basin*)



Kinematski model postanka negativne cvjetne strukture (iz Twiss & Moores, 1992)

- Lokalna kompresija na takvim rampama rezultira stvaranjem pozitivnih cvjetnih struktura (engl. positive flower structure)

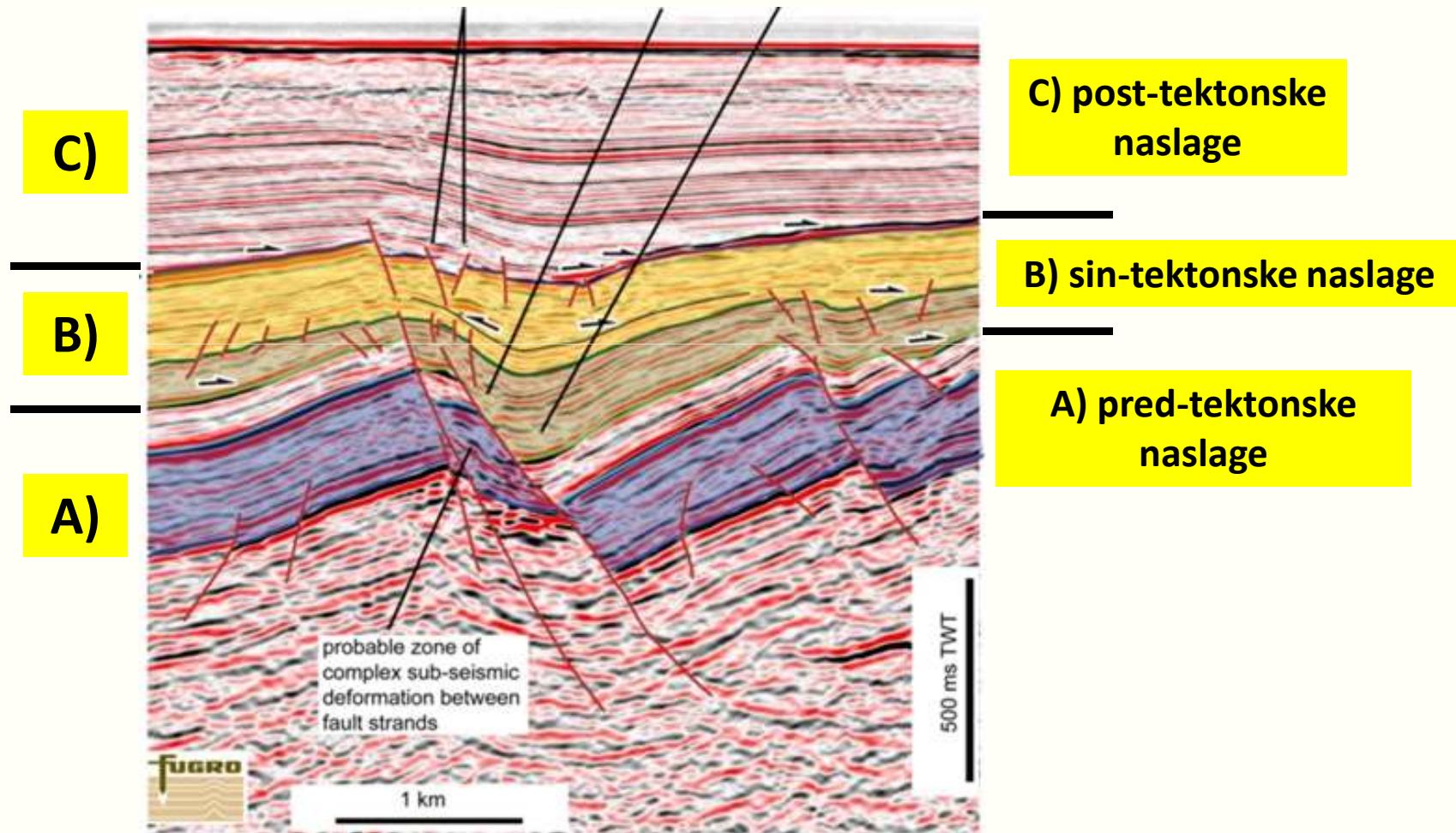


Kinematski model postanka pozitivne cvjetne strukture (iz Twiss & Moores, 1992)

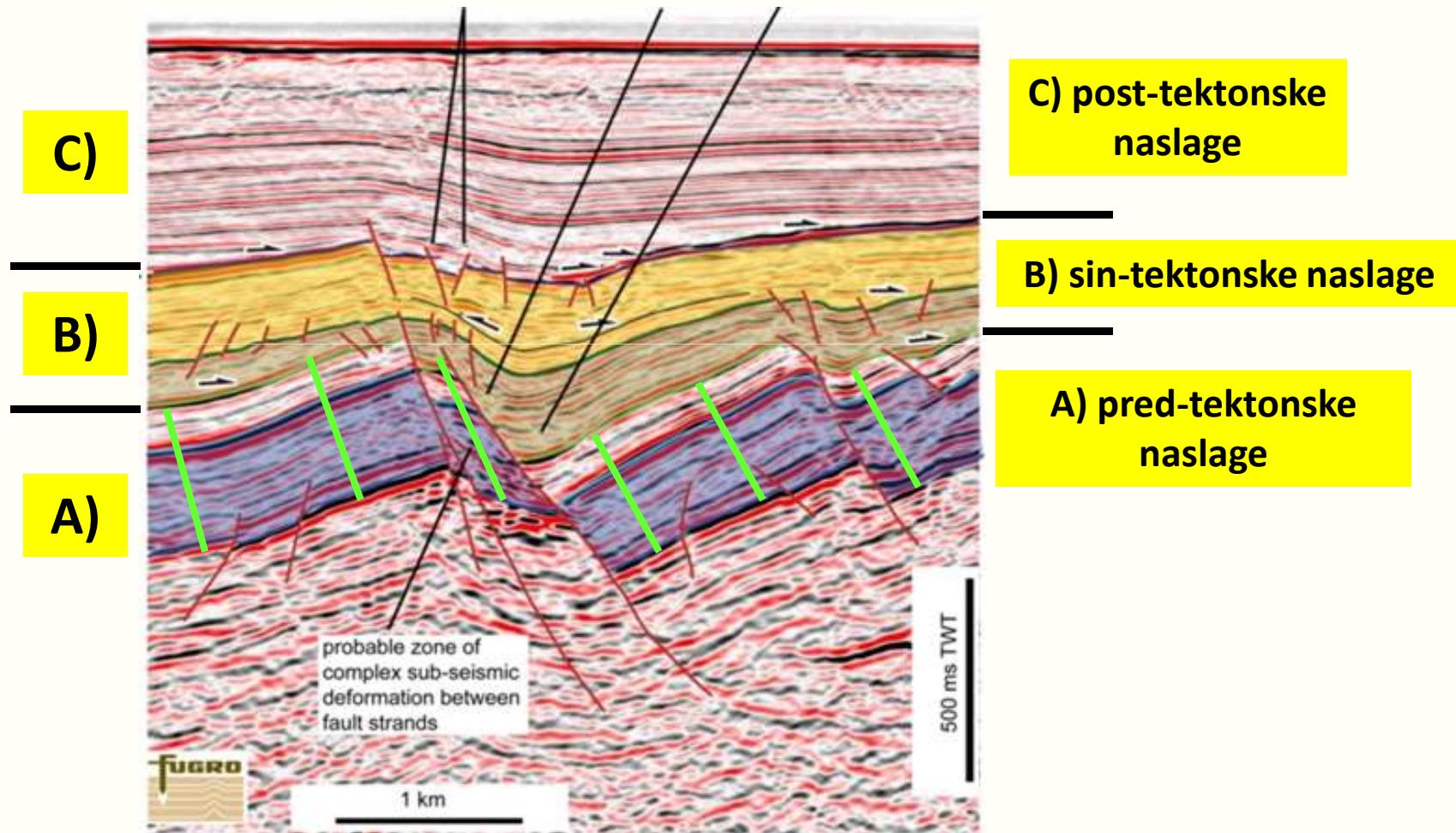
# Pozitivna cvjetna struktura (Imperial Valley, California)



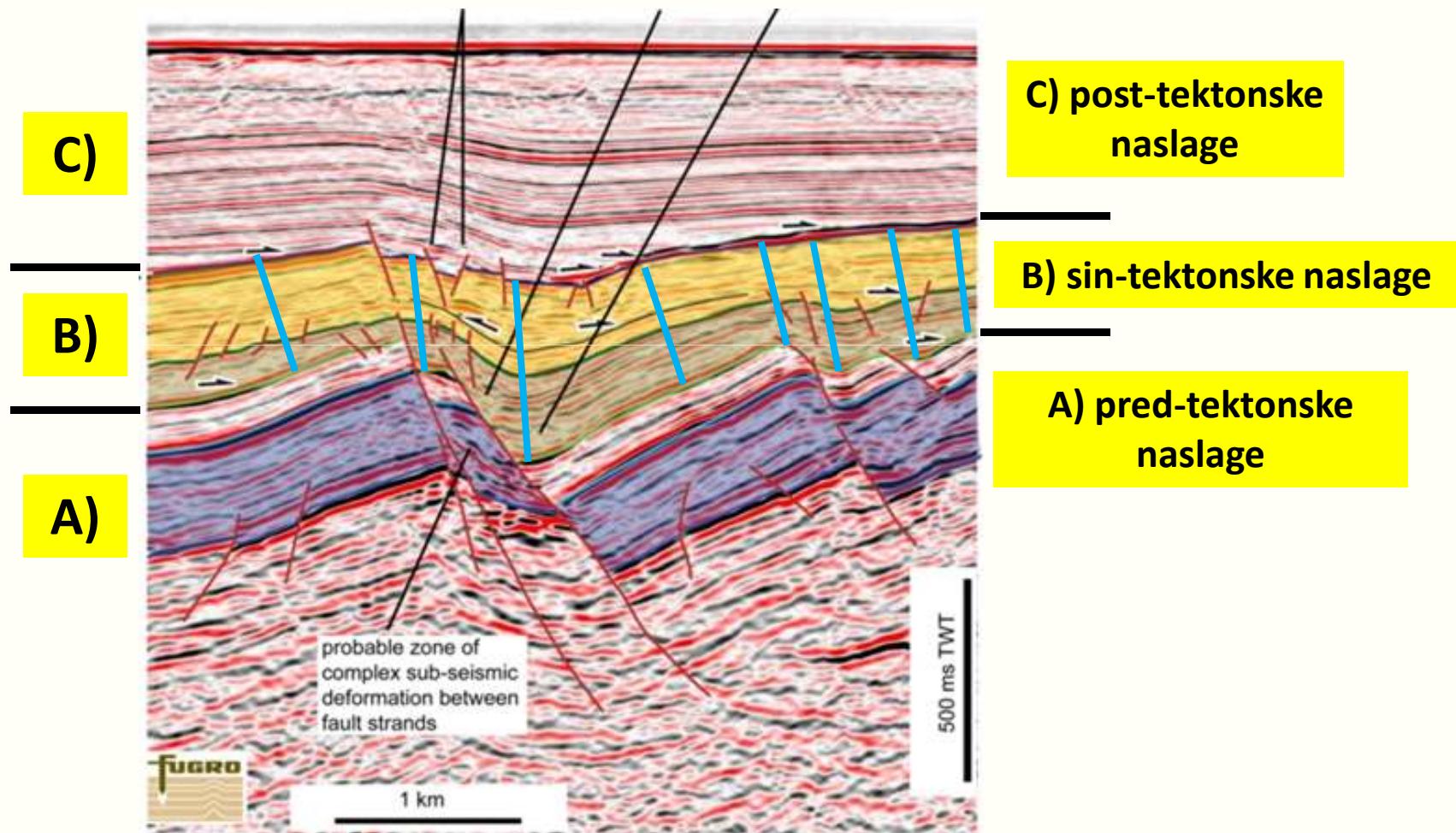
- vrijeme aktivnosti rasjeda moguće je odrediti na temelju starosti naslaga koje su nastale prije aktivnosti rasjeda (**pred-tektonske naslage**), za vrijeme aktivnosti rasjeda (**sin-tektonske naslage**) i nakon aktivnosti rasjeda (**post-tektonske naslage**)



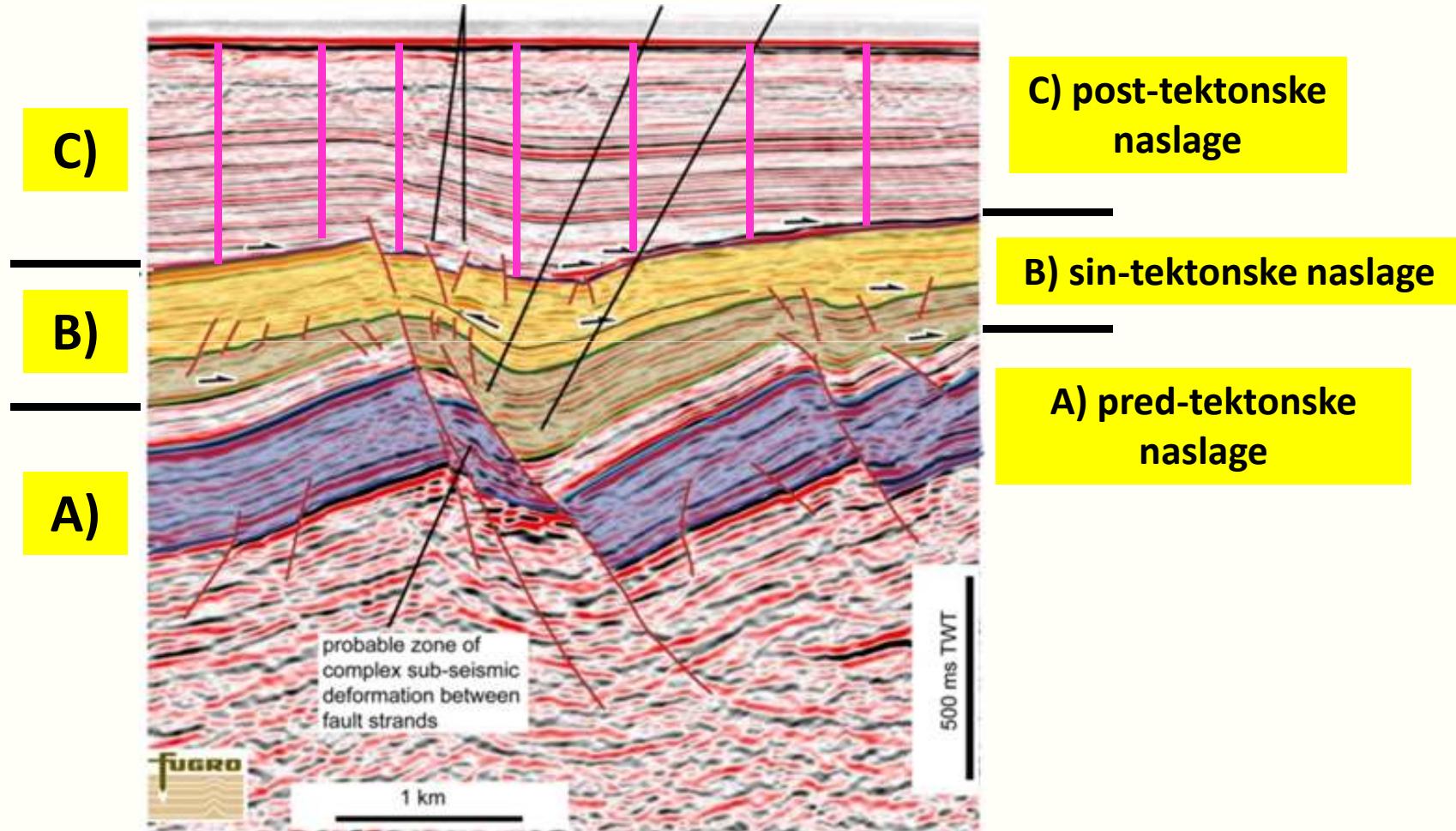
- za pred-tektonske naslage očekujemo da su prostorno ujednačene debljine bez obzira na njihov položaj u odnosu na promatrani rasjed



- za sin-tektonске наслаге очекујемо да је њихова **дебљина просторно уједнаћена**; у случају нормалних расједа те су наслаге најдебље у кројинском крилу нормалног расједа непосредно уз расједну плочу, а латерално поступно станjuju



- za post-tektonske naslage očekujemo da je njihova **debljina prostorno ujednačena** bez obzira na promatrani rasjed te da u pravilu diskordantno leže preko sin-tektonskih naslaga



## IZVORI SLIKA I CRTEŽA:

- Allmendinger, R.W. (1999): Introduction to Structural Geology.- Cornell University, 279 str.
- 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.
- Haakon Fossen (2010): Structural geology.- Cambridge Univ. Press, Cambridge, 463 str.
- 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.
- Ramsay, J.G. & Huber, M.I. (1987): The Techniques of Modern Structural Geology, Vol. 1: Strain Analysis.- Academic Press, Inc., London, 307 str.
- Tomljenović, B. (2002): Strukturne značajke Medvednice i Samoborskog gorja.- Doktorska disertacija, RGN fakultet Sveuč. Zagreb, 207 str.
- Twiss, R.J. & Moores, E.M. (1992): Structural geology.- W.H. Freeman and Co., New York, 532 str.

**SRETNO !**