



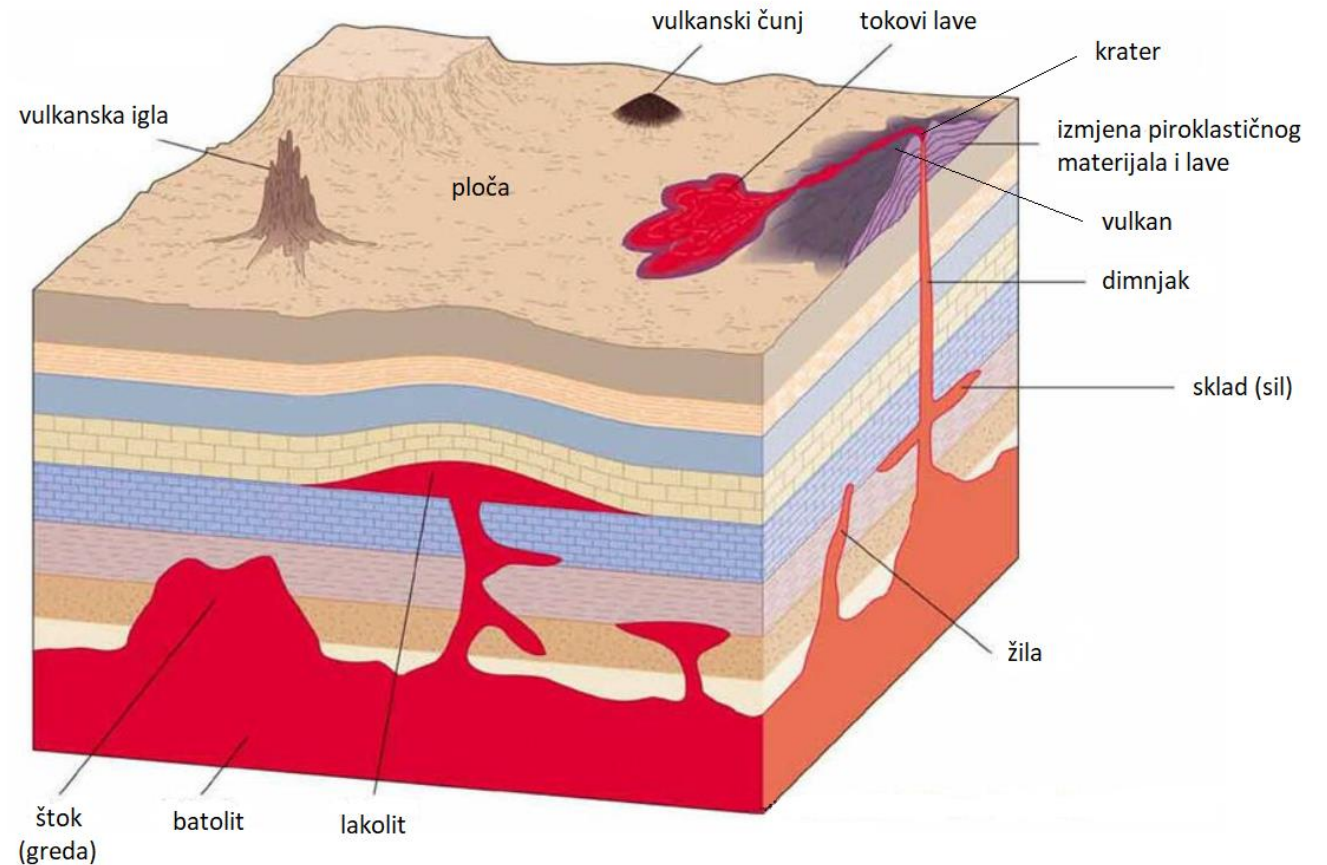
GEOLOŠKE STRUKTURE

Geološke strukture

- **Strukturalna geologija** – bavi se proučavanjem i međusobnim odnosom strukturne građe stijena i stijenskih tijela od kojih je izgrađena Zemljina kora (litosfera)
- **Prostorni odnosi među stijenama litosfere ovisi:** fizičkim i kemijskim svojstvima, prostoru u kojem su nastale i promjenama kojim su bile zahvaćene od postanka do danas
- **Primarni strukturni oblici litosfere**
- **Sekundarni strukturni oblici litosfere**

Primarni strukturni oblici magmatskih stijena

- Pojavni oblici **magmatskih stijena** uvjetovani su mjestom njihova postanka, te se razlikuju: **dubinski i površinski oblici**
- **dubinski** oblik pojavljivanja intruziva:
 - **batolit**
 - **greda ili štok**
 - **lakolit**
 - **Sklad ili sil**
 - **Žila ili žica – ogranci apofize**
- Primarni **površinski** oblici efuziva: **izljevi lave** a vezani su uz veće pukotine
- **Ploče** su produkt relativno mirnog, obilnog i višekratnog izlivanja lave



Primarni strukturni oblici sedimentnih stijena

- Primarni pojavni oblici **sedimentnih** stijena su:
 - **slojevi,**
 - **grebeni**
 - **nepravilne nakupine klastičnog materijala**
- Primarni položaj sedimentnih stijena je **horizontalan**
- **Kosa i unakrsna slojevitost** nastaje u područjima s jakim dinamičkim utjecajem transportnog sredstva, posebice vode i vjetra



Horizontalna slojevitost



Kosa i unakrsna slojevitost

Primarni strukturni oblici metamorfnih stijena

- mogu biti **masivne** (homogene) ali najčešće se odlikuju **škriljavošću** kao vlastitim pojavnim oblikom, što je posljedica uvjeta njihova nastanka

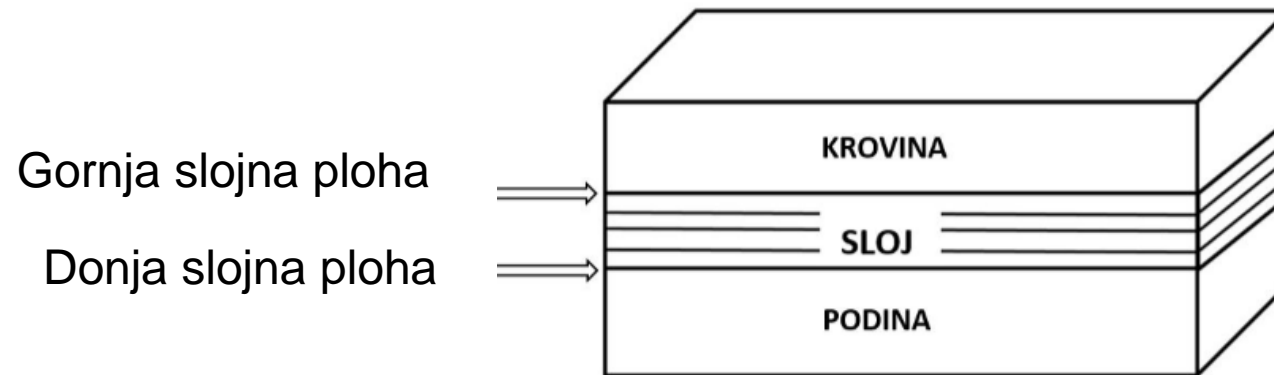


Sekundarni strukturni oblici litosfere

- **Sekundarni strukturni** oblici litosfere su elementi koji su **nastali nakon formiranja stijena** zbog tektonskih poremećaja različitih vrsta.
- Takvim poremećajima nastaju tri glavne strukturne jedinice: **bore, rasjedi i navlake.**
- Najveće značenje u njihovu koncipiranju imali su **slojevi.**

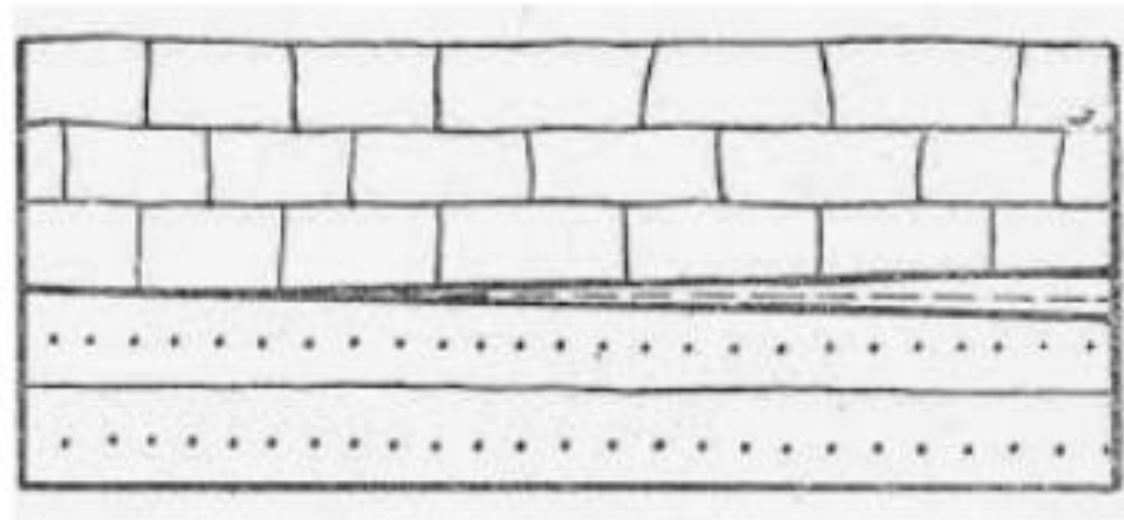
Sloj

- **Sloj** – geološko tijelo omeđeno jasno izraženim diskontinuitetima (slojnim ploham) od naslaga ispod i iznad njega (istovrsni materijal, jednaki uvjeti taloženja)



Sloj

- **Isklinjavanje sloja** – prirodni prestanak, odnosno završetak nekog sloja, obilježen stanjivanjem



Primjer: Isklinjavanje sloja - Litološki profil 1-1': Velika Kопanica - Zorice – Novo Selo

Isklinjavanje sloja

Sloj

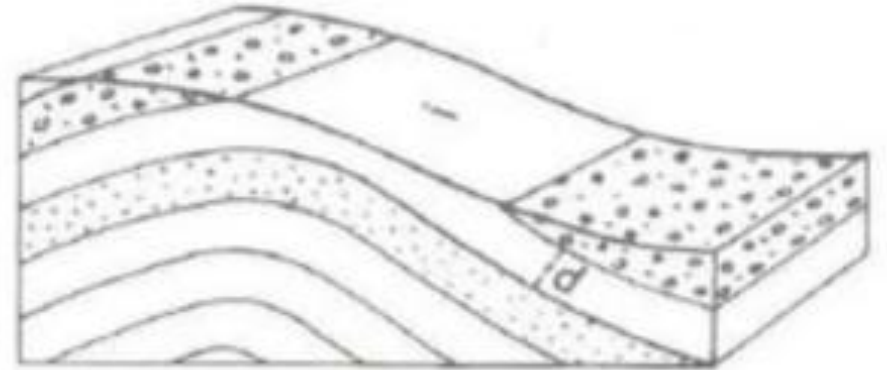
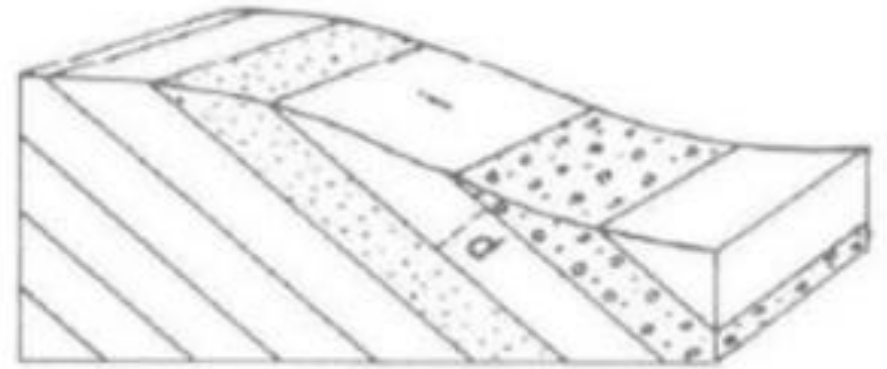
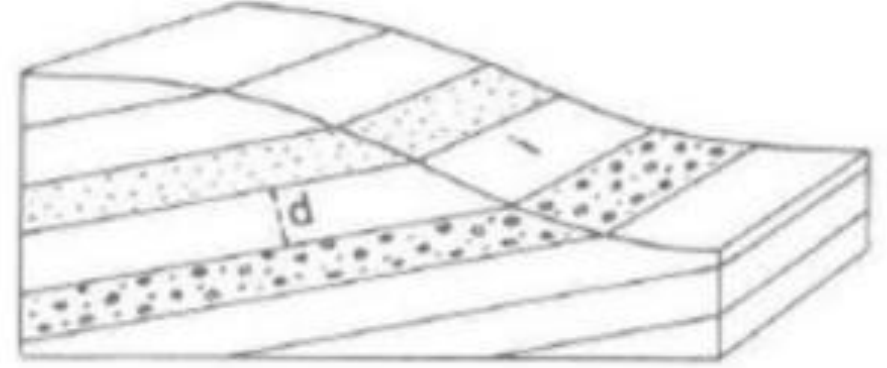
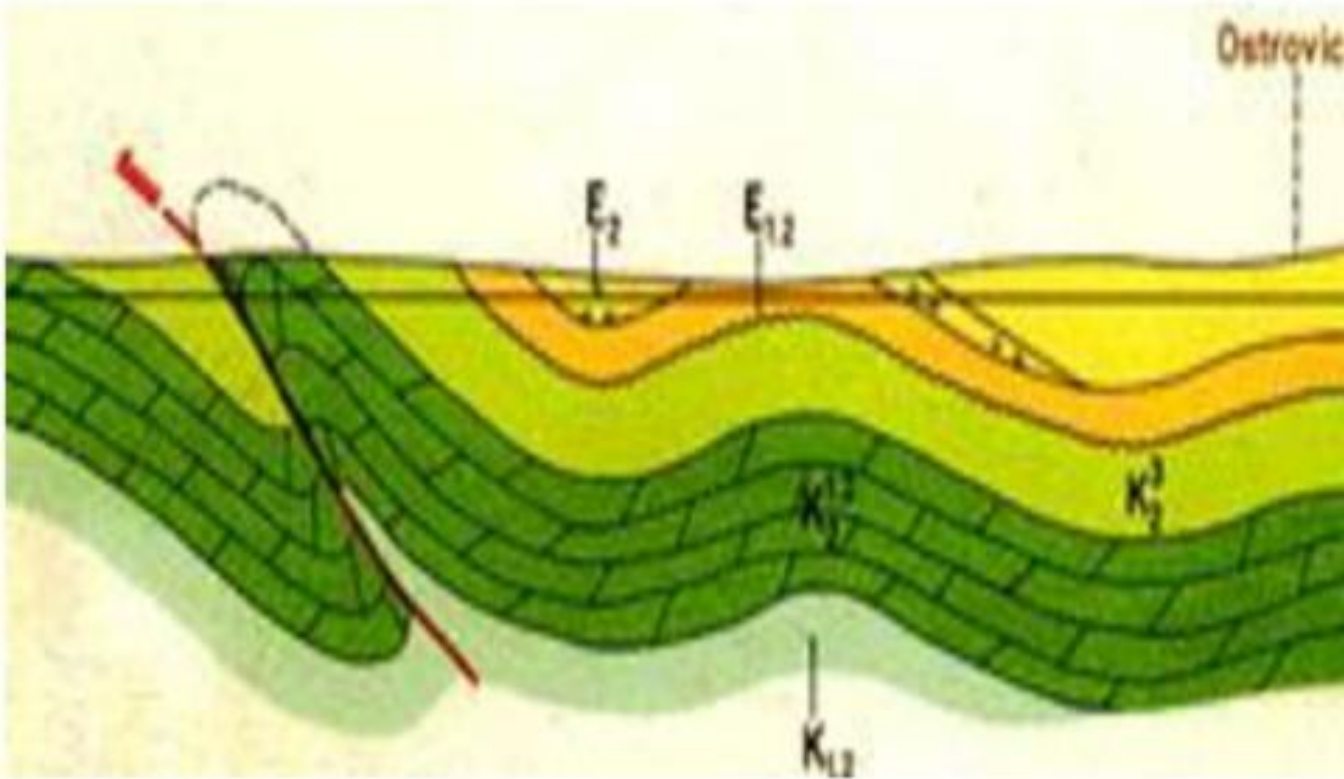
- **Izdanak** – pojava sloja na površini (omogućuje određivanje položaja slojeva)



preuzeto iz: Plummer, Ch.C., McGeary, D. (1993): Physical Geology

Sloj

- Kod svakog **izdanka** nagnutog sloja potrebno je razlikovati **pružanje sloja**, **smjer nagiba (azimut)** i **kut nagiba**

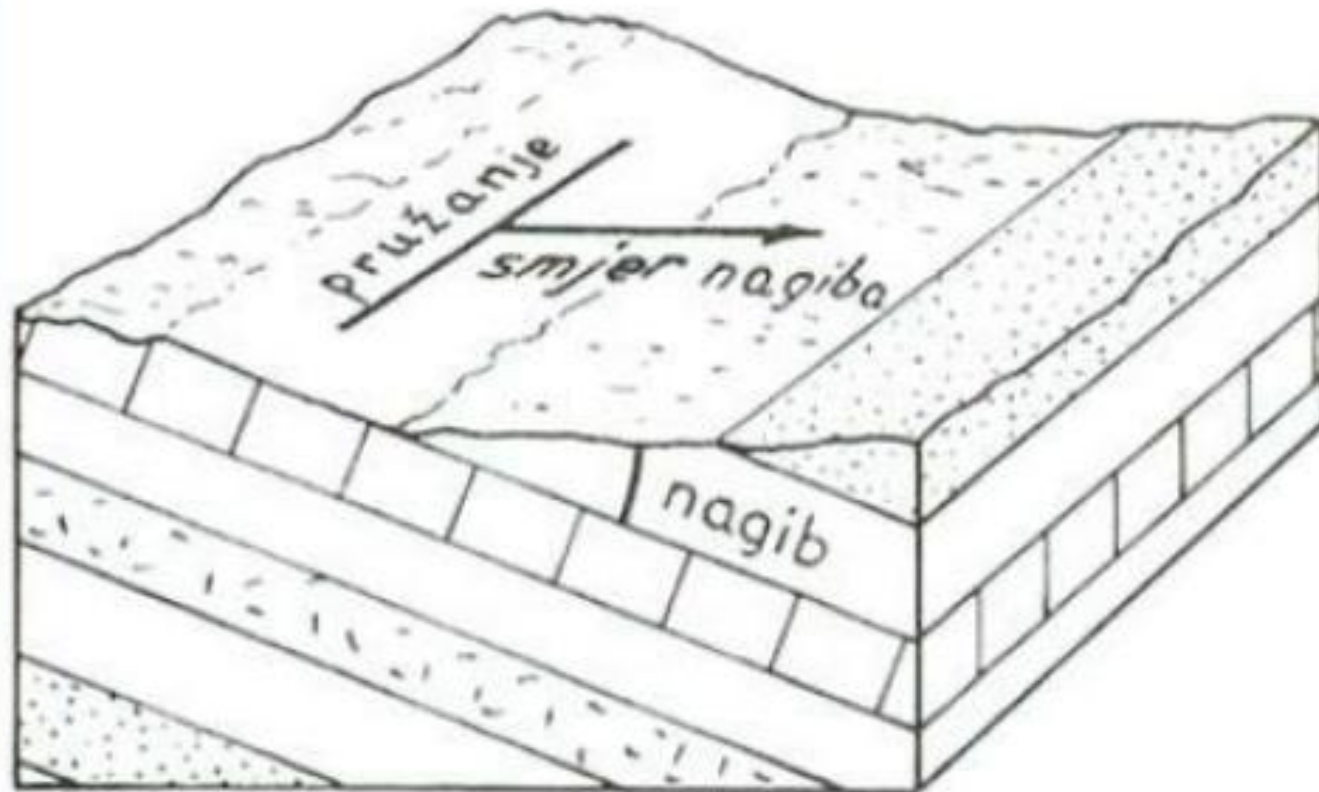


i Odnos debljine (d) i izdanka (i) sloja u različitim položajima

svi prikazi preuzeti iz Herak, 1990

Položaj sloja

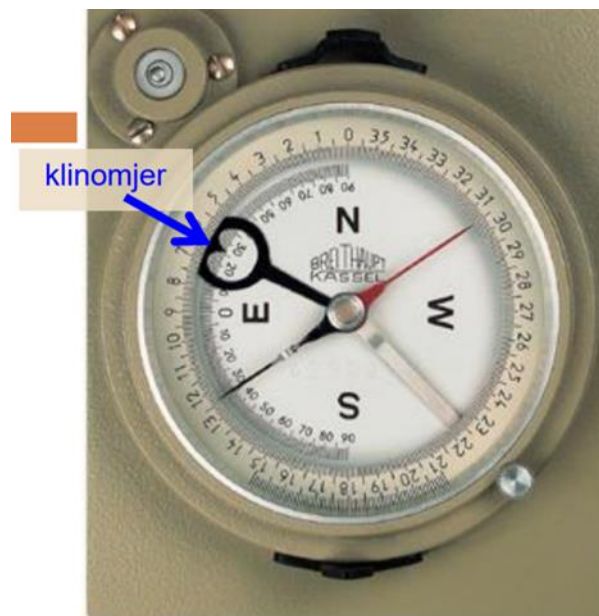
- **Pružanje sloja** – označava njegovo sjecište s horizontalnom ravninom.
- **Smjer nagiba** – definira stranu svijeta prema kojoj je sloj nagnut.
- **Kut nagiba sloja** – je kut što ga sloj zatvara s horizontalnom ravninom.



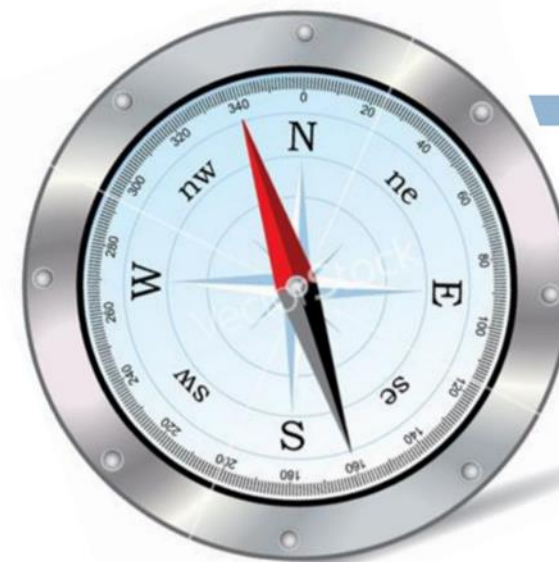
preuzeto iz: Herak, M. (1990): Geologija

Geološki kompas

- Svi elementi se određuju se **geološkim kompasom**.
- **Geološki kompas** - oznake za istok i zapad su zamijenjene, stupnjevi rastu suprotno od smjera kazaljke na satu, odnosno podjela od **0° do 360°** označena je obrnuto od smjera kazaljke na satu.



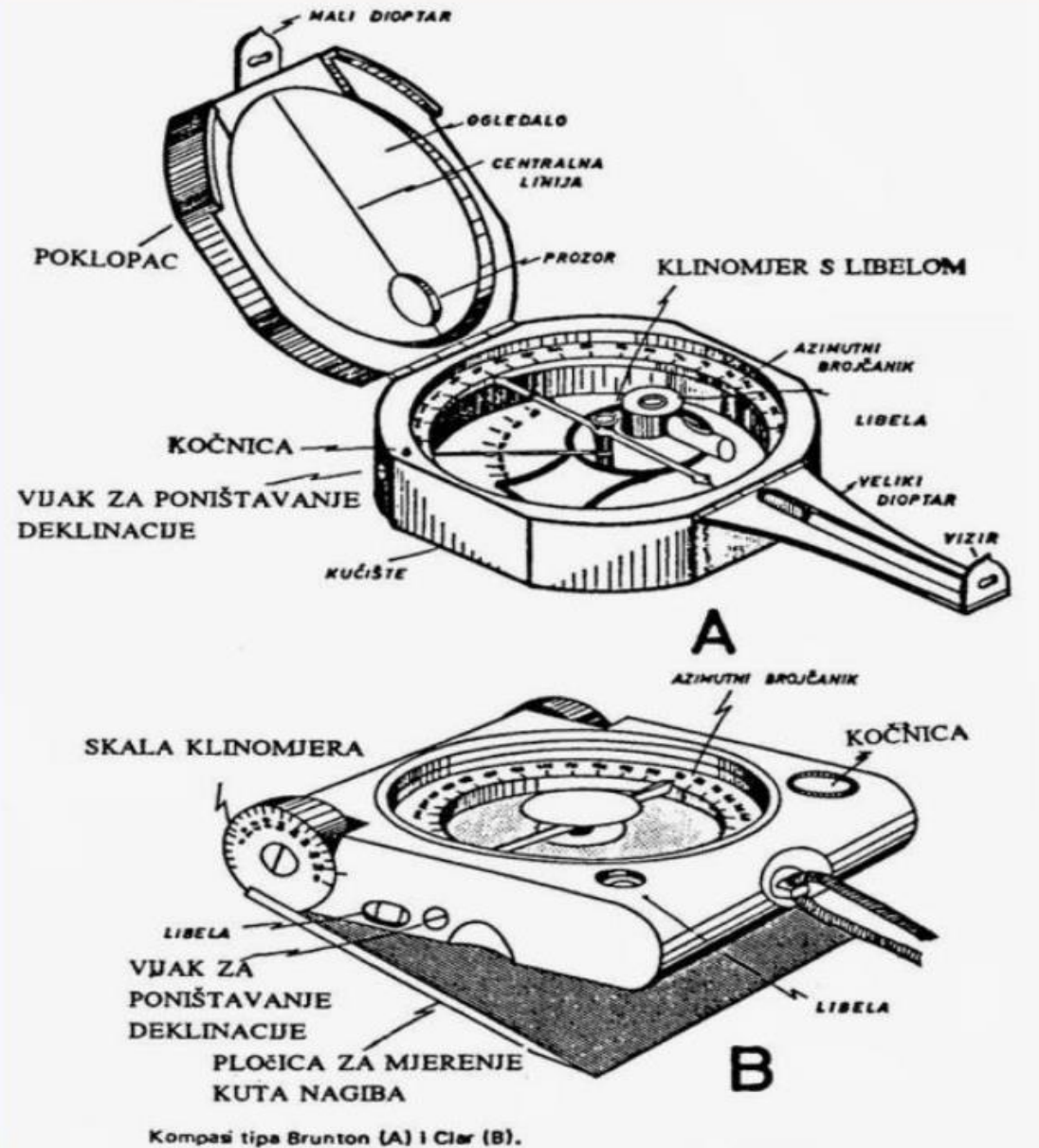
Geološki kompas



Geografski kompas

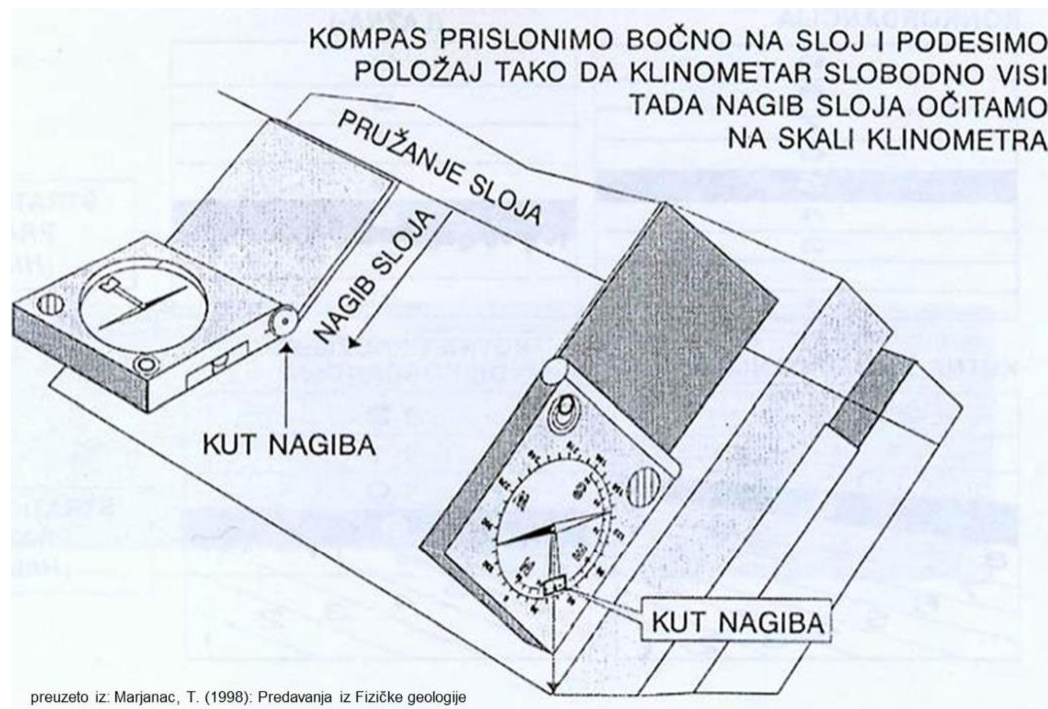
Geološki kompas

Na geološkom kompasu ugrađen je klinomjer, dio kojim mjerimo nagib sloja. Ima svoju posebnu ljestvicu s podjelom od 0° do 90° . Na geološkom kompasu postoji i libela kojom kontroliramo horizontalnost kompasa.



Mjerenje položaja sloja

- Kod nagnutog sloja mjerimo dva njegova elementa: **smjer nagiba** i **kut nagiba** - ili samo nagib.
- Kod verikalnog sloja mjerimo pružanje
- Kod horizontalnog sloja provjeravamo njegovu horizontalnost libelom i klinomjer.

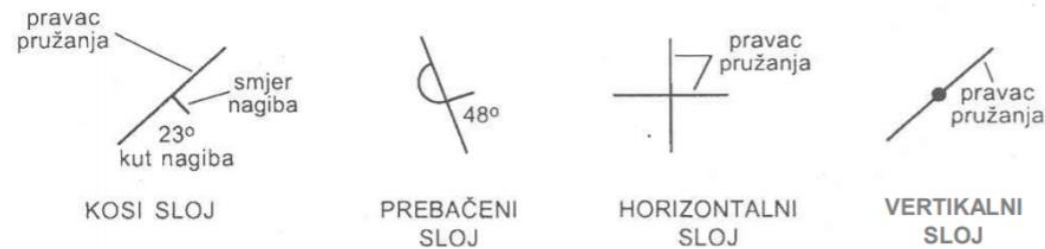


Mjerimo azimut smjera nagiba i kut nagiba.



Ucrtavanje položaja sloja na karti

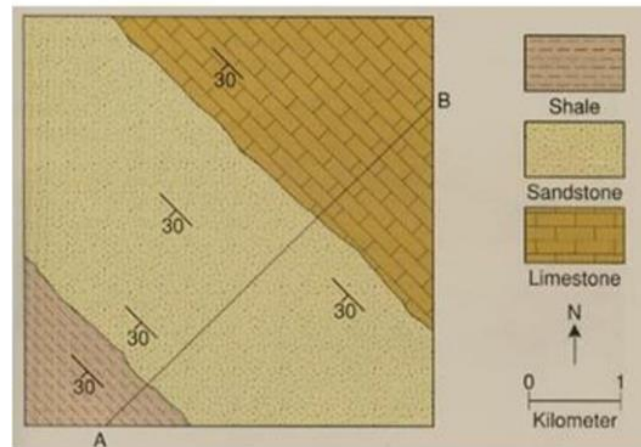
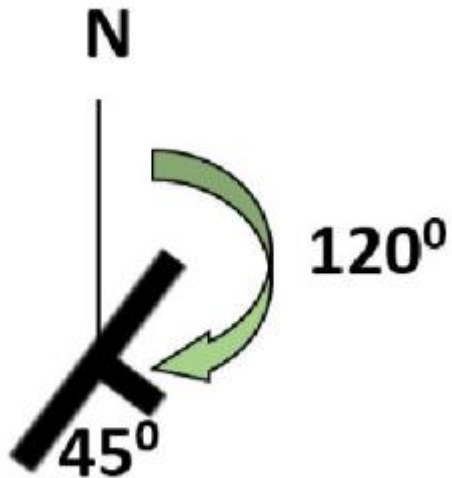
- **Horizontalni sloj** – nema ni smjera ni kuta nagiba, oznaka je 0/0
- **Vertikalni sloj:**



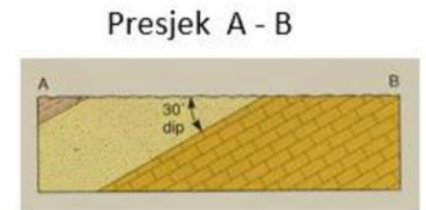
Standardizirane oznake za položaj sloja

Ucrtavanje položaja sloja na karti

- Primjer:
- Azimut smjera nagiba/kut nagiba npr. **120/45**



preuzeto iz: Plummer, C.C. & McGeary, D. (1993): Physical Geology



Geološka karta s ucrtanim smjerom nagiba slojeva (jugozapad)/kut nagiba 30°



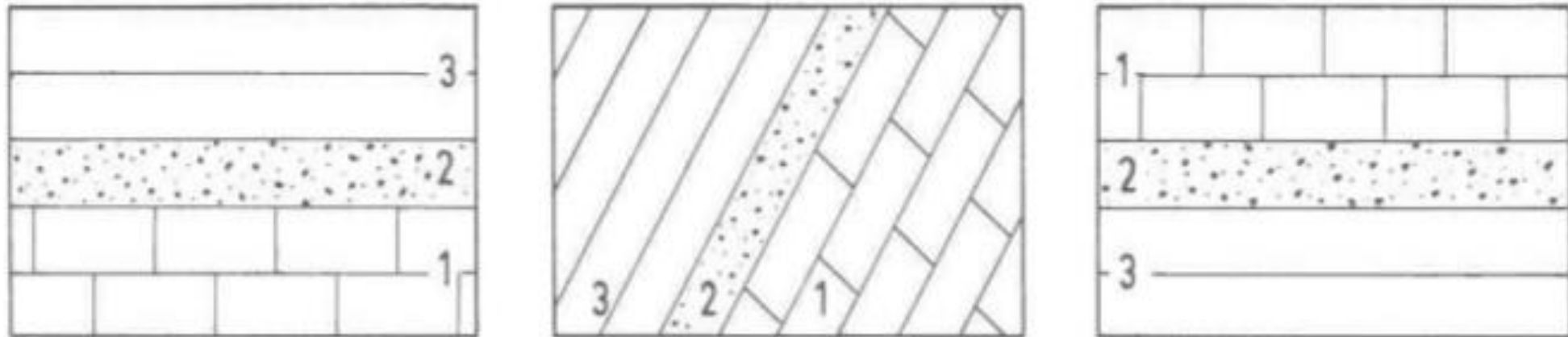
Krovina i podina sloja

Sloj

- Kad u nizu slojeva promatramo jedan, onda svi slojevi iznad njega čine njegovu **KROVINU**, a slojevi ispod njega **PODINU**.
- Slojevi u prirodi mogu biti prevrnuti, odnosno prebačeni stoga razlikujemo – **topografsku podinu i krovinu od stratigrafske podine i krovine**.

Sloj

- **Topografska podina i krovina** – određuju se na temelju **prostornog položaja**, bez obzira na njihovu starost.
- **Stratigrafska podina i krovina**- određuje se s obzirom na **starosni slijed** naslaga.

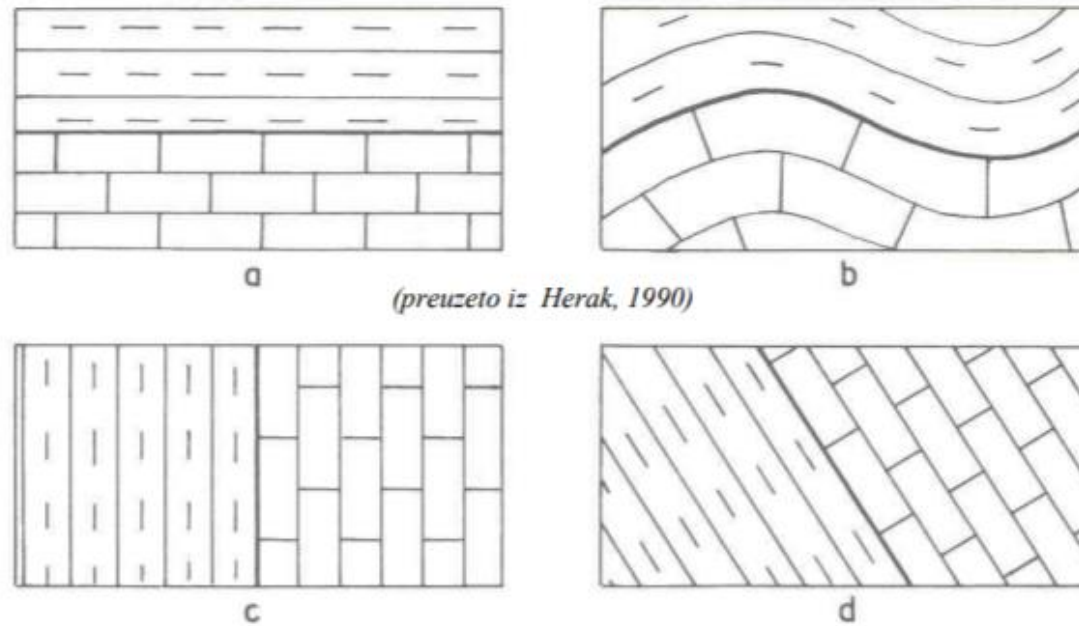


(preuzeto iz Herak, 1990):

Krovina i podina sloja; lijevo i u sredini; 1 – topografska i stratigrafska podina, 2 – promatrani sloj, 3 – topografska i stratigrafska krovina; desno, prevrnuti slojevi: 1 – topografska krovina i stratigrafska podina, 2 – promatrani sloj, 3 – topografska podina i stratigrafska krovina

Sloj

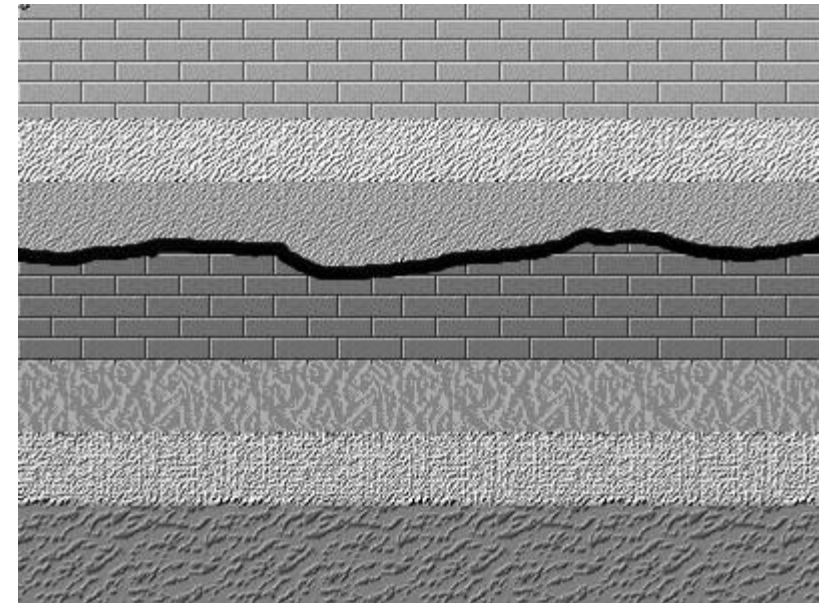
- Međusobno paralelni slojevi koji su vremenski kontinuirano taloženi, bez obzira na njihov nagib, nazivaju se **konkordantnim ili konformnim slojevima**.



Konkordantni slojevi: a – vodoravni, b – borani, c – uspravni, d – prebačeni

Sloj

- U prirodi su ipak češće slojevi ili skupine slojeva koji su međusobno položeni pod nekim kutom divergencije i nisu vremenski kontinuirano taloženi nazivaju se **diskordantni** slojevi.
- Diskordancija može biti **erozijska i kutna**.
- **Erozijska diskordancija** – položaj slojeva nije bitno promijenjen, nedostaje dio naslaga zbog erozije, mlađe naslage talože se na starije erodirane naslage



erozijska diskordancija

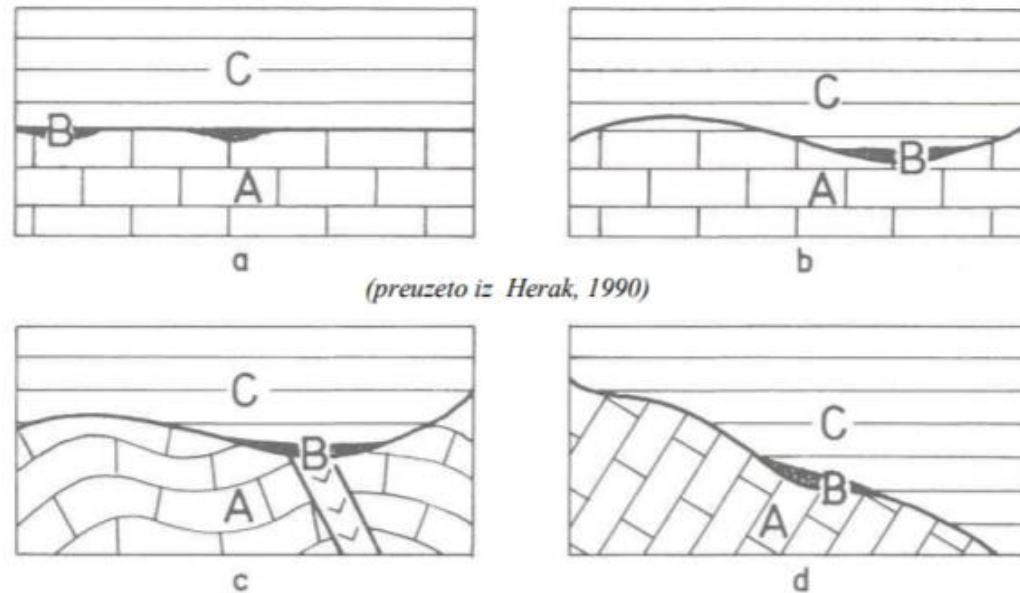
Sloj

- **Kutna diskordancija** – mlađi slojevi pod kutom u odnosu na starije, erodirane i tektonikom poremećene naslage

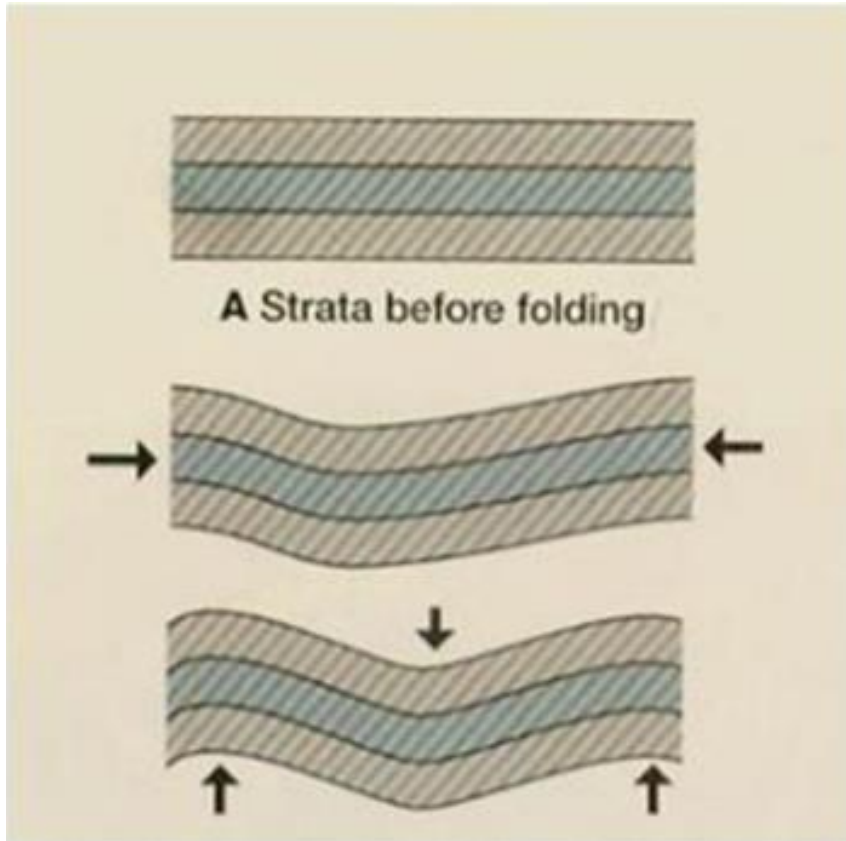


Sloj

- **Stratigrafska praznina**- nastaje zbog nepostojanja kontinuiranosti u taloženju, pa nastaje *prividna konkordancija*



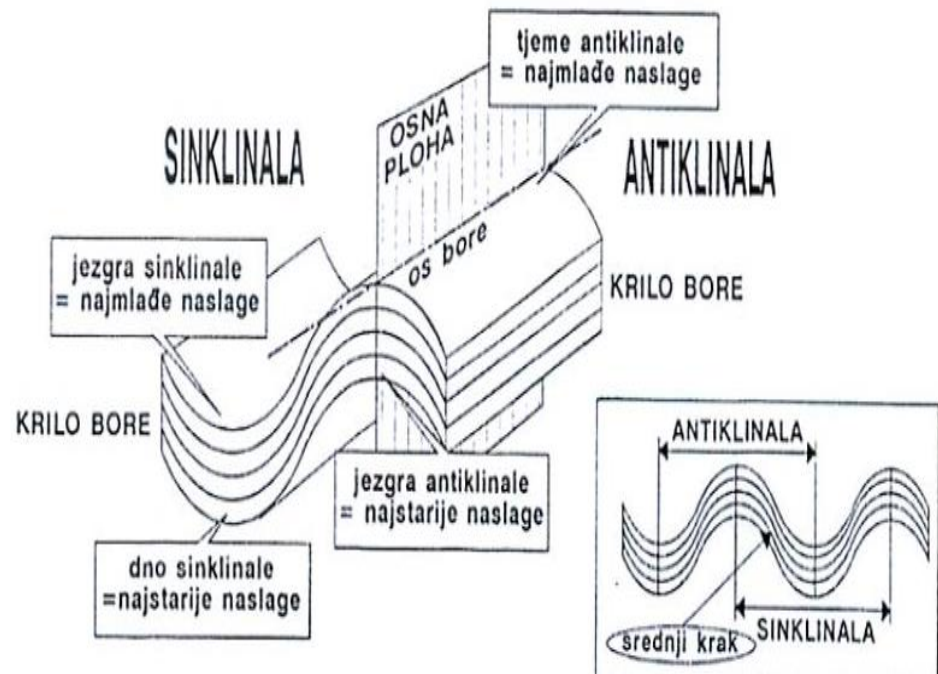
Prividno konkordantni i diskordantni slojevi: A i C – morske taložine, B – kopnene taložine; a – prividno konkordantni slojevi, b–d – diskordantni slojevi



preuzeto iz: Plummer, C.C. & McGeary, D. (1993): Physical Geology

Sekundarni strukturni elementi

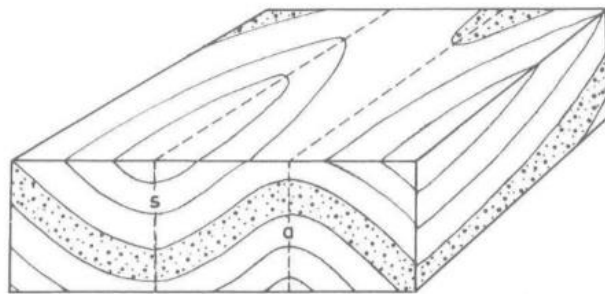
- Na temelju proučavanja odnosa slojeva, kod sedimentnih stijena razlikujemo tri osnovne strukture: **bore, rasjede i navlake.**
- **Bore** su strukturne jedinice litosfere nastale savijanjem slojeva, koji se pri tome nisu kidali, najčešće pod utjecajem **sila kompresije (tlačnih)** koje se prenose po slojevima.
- Potpuna bora sastoji se od jednog **izbočenog** (konveksnog) i jednog **udubljenog** (konkavnog) dijela.



Slika: preuzeto iz Marjanac, T. (1998)

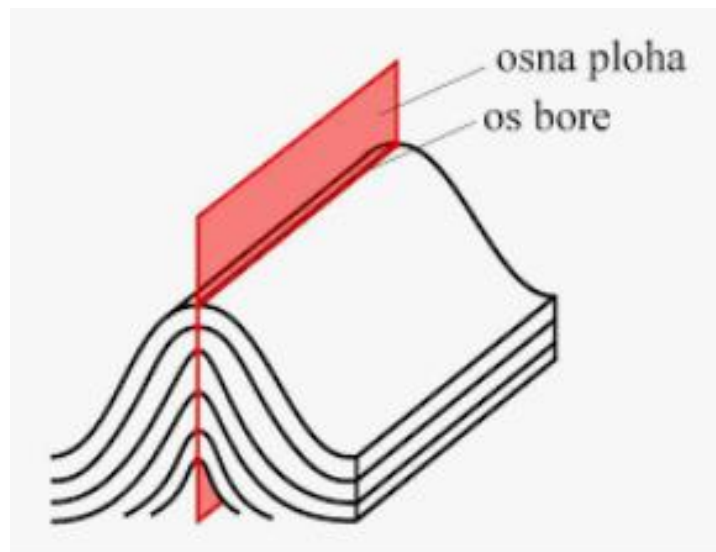
Bore

- **Antiklinala** – izbočeni dio (A)
- **Sinklinala** – udubljeni dio (S)
- **Srednji krak** – spoj sinkinale i antiklinale
- Središnji dio bore koji se nalazi između njezinih krila naziva se **jezgrom**.
- Kod **antiklinale** u **jezgri** se nalaze **najstarije naslage**, a kod **sinklinale** **najmlađe**.
- Najviši izbočeni dio antiklinale je **tjeme**, a najniži ulegnuti dio sinklinale **dno**.



Sl. 20. Isječak boranoga terena s naznačenim osnim ploham sinklinale (s) i antiklinale (a)

(preuzeto iz Herak, 1990)



Bora

- **Osna ploha ili osna ravnina** antiklinalu i sinklinalu uzdužno dijeli na dva krila.
- **Os bore** pravac koji prolazi sjecištem osne plohe i bilo kojeg sloja sinklinale ili antiklinale, te definira njezino pružanje.

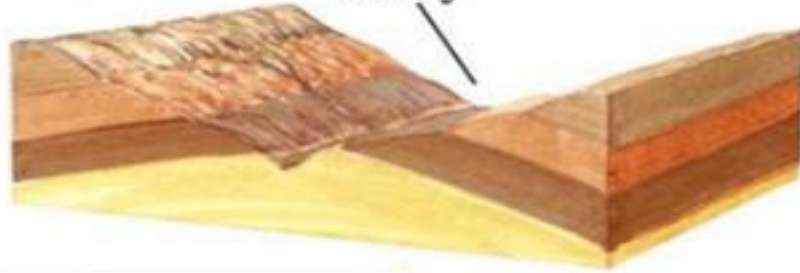
Reljef može biti inverzan u odnosu na geološke strukture

ridge crest



1 Before erosion

Anticlinal valley



2 After erosion



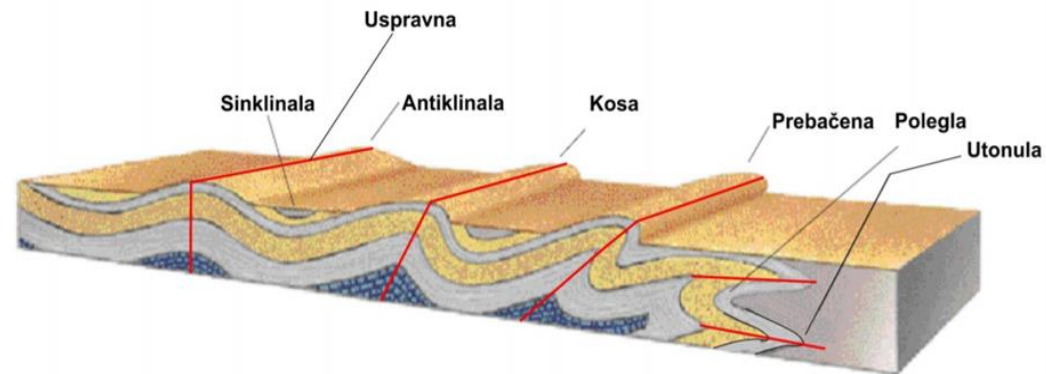
Bore

- Obzirom na **nejednolike uvjete postanka** razlikujemo više tipova bora koji se temelje na:

1. Odnos položaja osne plohe prema horizontalnoj ravnini

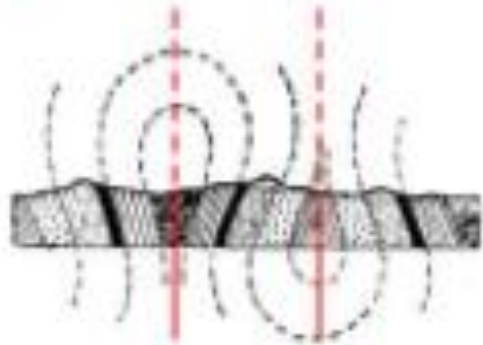
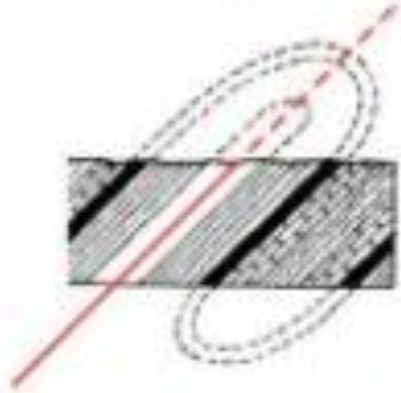
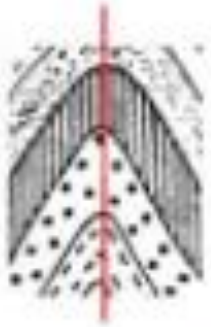
Razlikuju se:

- **Uspravne** – osna ploha okomita na horizontalu
- **Kose** – osna ploha nagnuta na horizontalu
- **Prebačene** – osna ploha također nagnuta ali su krila skoro paralelna (oba krila padaju na istu stranu)
- **Pogle** – osna ploha približno u horizontalnom položaju, pa je jedno krilo u podini jedno u krovini
- **Utonule** – krila nagnuta suprotno od prebačene bore



Thompson i Turk, 2007.





Bore

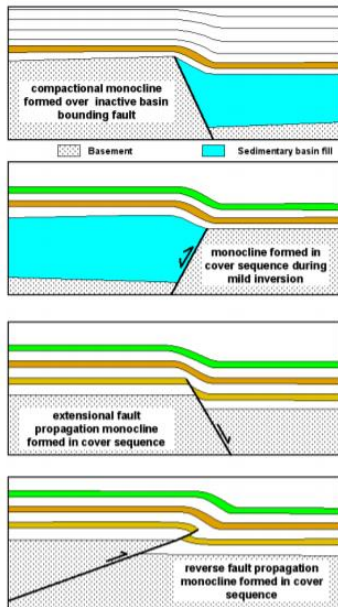
2. Odnos položaja krila antiklinale i sinklinale prema osnoj plohi bore

- Razlikuju se:
- **Normalne bore** – krila divergiraju pravilno od osne ravnine
- **Izoklinale bore** – krila su paralelna sa osnom plohom
- **Lepezaste bore** - krila bore savijene u obliku lepeze

Bore

• Monoklina –

bora „stepeničaste” geometrije gdje su dva sub-horizontalna krila bore odijeljena strmije nagnutim segmentom bore (*diferencijalna kompakcija sedimenta, rasjedna aktivnost*)



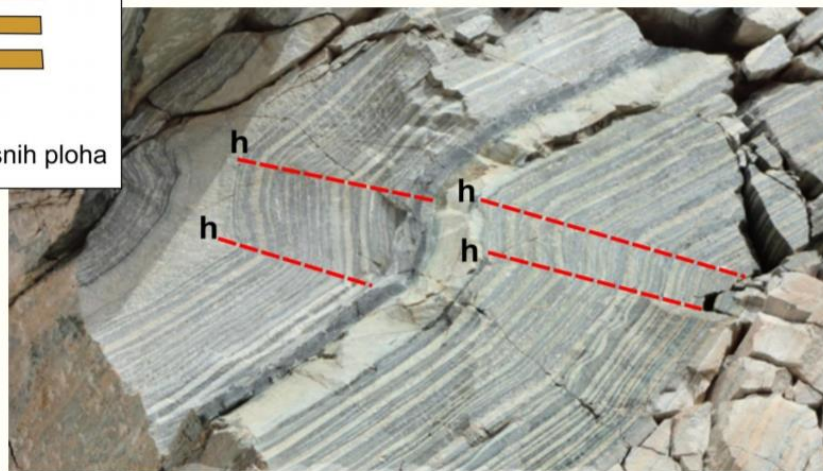
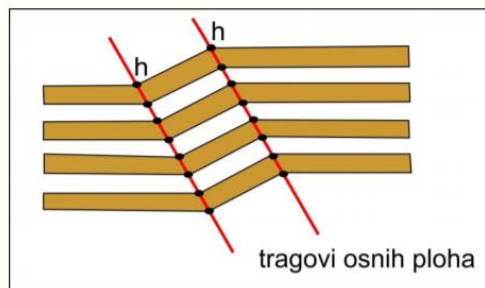
Navajo Rug, Utah, SAD.

- **Monokline** – nastaju radijalnim kretanjem krila koje u manjoj ili većoj udaljenosti mogu zadržati horizontalni položaj.

Bora

- **Koljeničasta bora (engl. Kink fold) –**

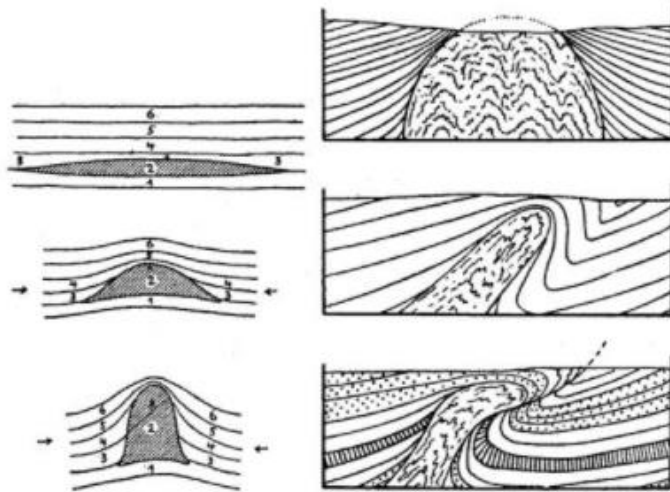
bora izražene asimetrije, ravnih krila koja čini dva dulja segmenta krila razdvojena strmo nagnutim segmentom.



Franklin Mts., SAD.

Bore

NASTANAK DIJAPIRSKE BORE



preuzeto iz: Herak, M. (1990): Geologija

glina, sol, gips – pod pritiskom (geostatski) – plastične supstance

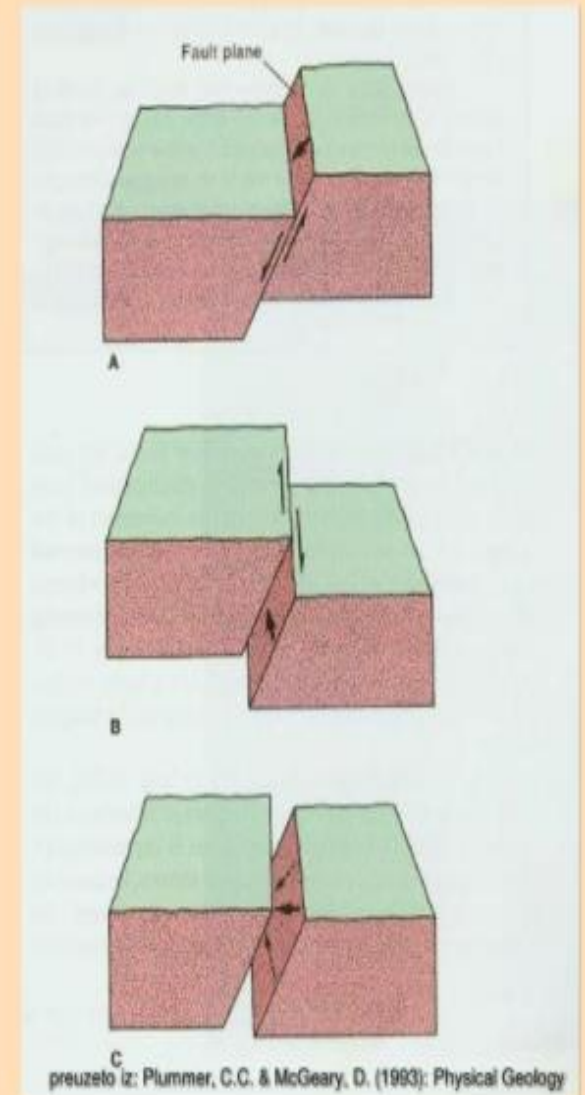
dijapir – masa koja prodire prema površini

krovinske naslage predstavljaju zapreku – izdiže ih i usvođuje – **dijapirska bora** pokrovnih naslaga

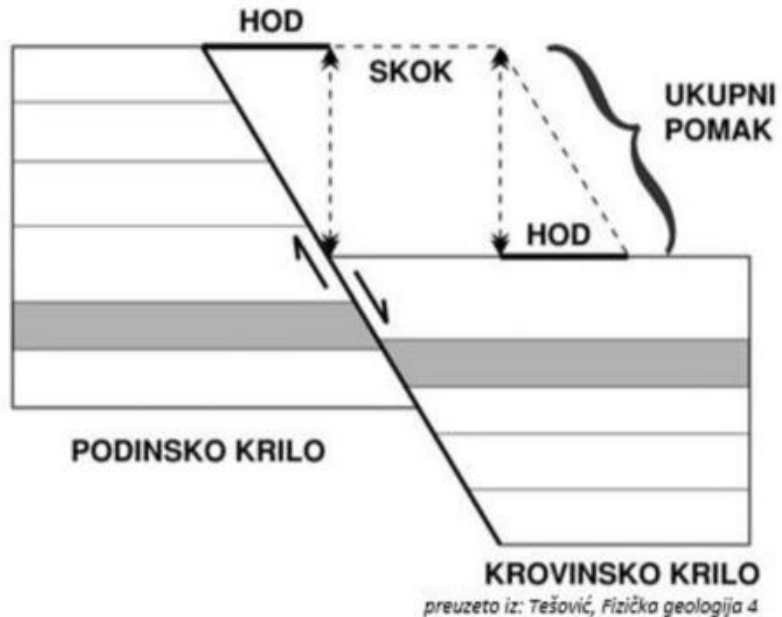
- **Dijapirske bore** rezultat su prodora pojedinih tijela prema površini

Rasjedi

- Rasjedi nastaju pucanjem i pomicanjem dijelova stijenske mase pod utjecajem **sila gravitacije, ekspanzije, kompresije ili njihovom kombinacijom**.
- kad posmično naprezanje dosegne vrijednost posmične čvrstoće stijene, dolazi do pucanja stijene i stvaranja dvaju stijenskih blokova, odnosno **krila rasjeda**.
- **Paraklaza ili rasjedna ploha/ravnina** – pukotina duž koje se krila rasjeda počinju izdizati, spuštati ili uzdužno pomicati nakon pucanja.
- Paraklaza može biti **uspravna ili nagnuta pod različitim kutovima**.
- Položaj paraklaze određuje se **pružanjem**, a ako je kosa, onda i **smjerom nagiba i kutom nagiba**.



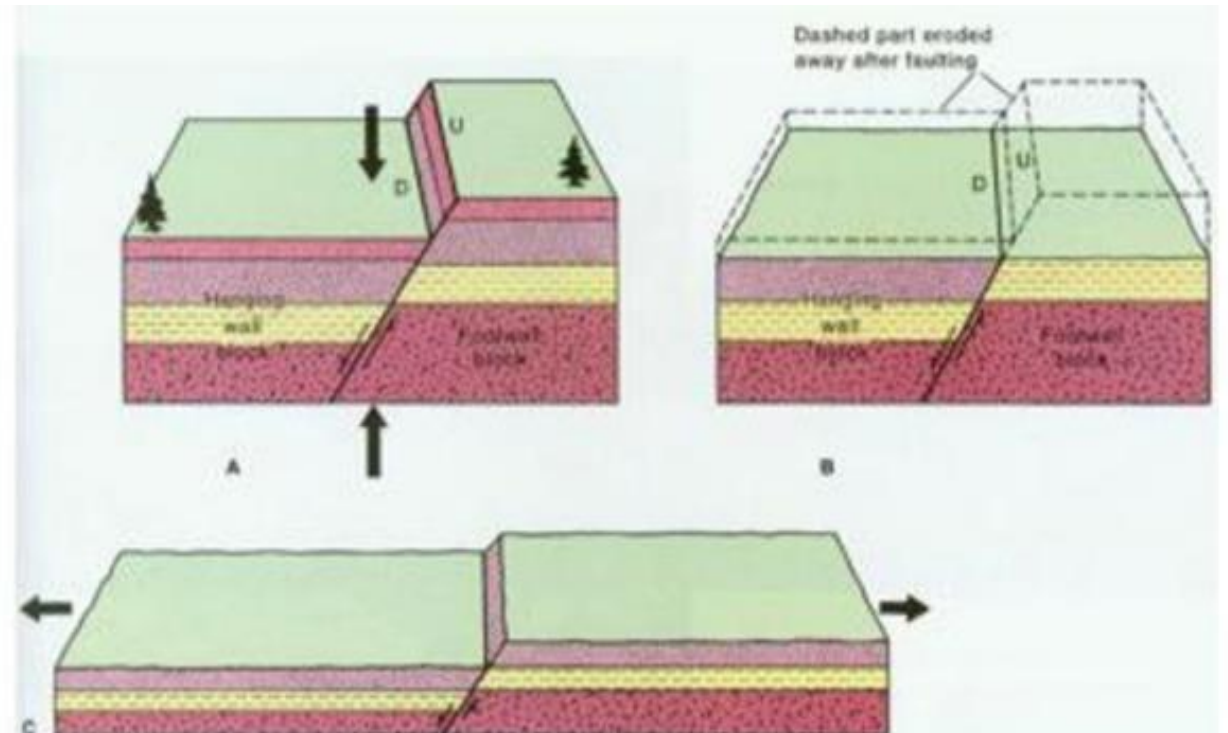
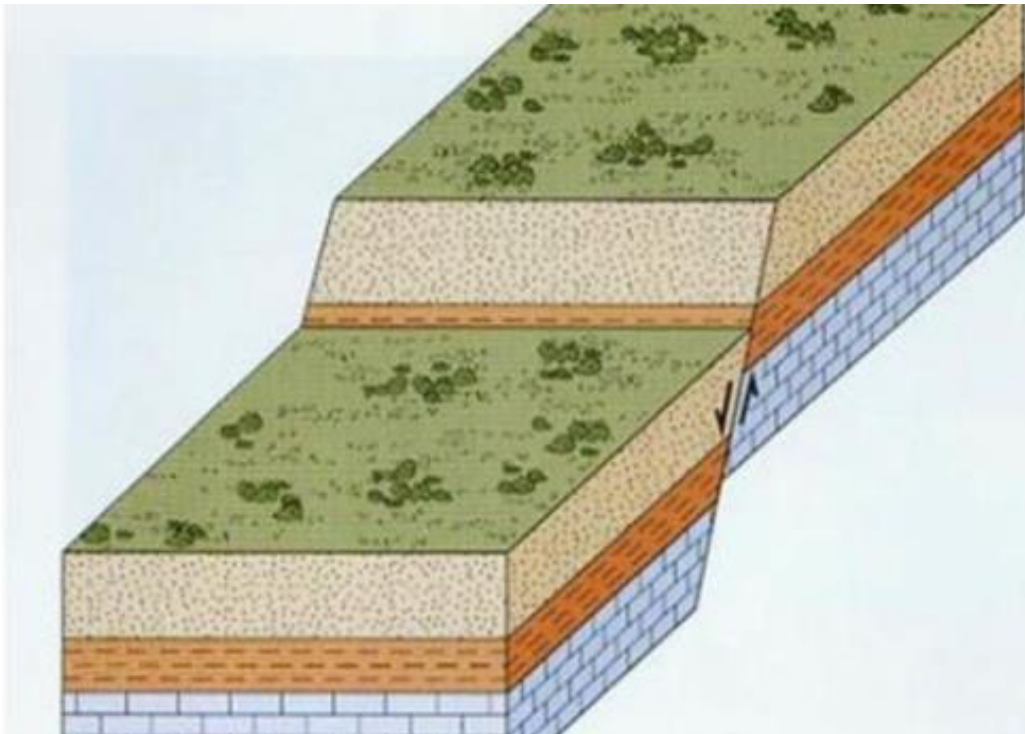
Rasjedi



- U rasjedima sa nagnutim paraklazama krila se označavaju prema njoj, tako da se razlikuje **podinsko** i **krovinsko krilo** rasjeda
- Ako se krilo rasjeda pomiče u smjeru nagiba paraklaze, dolazi do međusobnog horizontalnog udaljavanja ili približavanja krila – **HOD rasjeda**, te njihova vertikalna udaljavanja – **SKOK rasjeda**.
- **Horizontalni pomak** – kretanje paralelno s pružanjem paraklaze, bez skoka i hoda
- S obzirom na kretanje krovinskog krila prema podinskom uz nagnute paraklaze, rasjedi se dijele na **normalne i reverzne**, te rasjede s **horizontalnim kretanjem**.

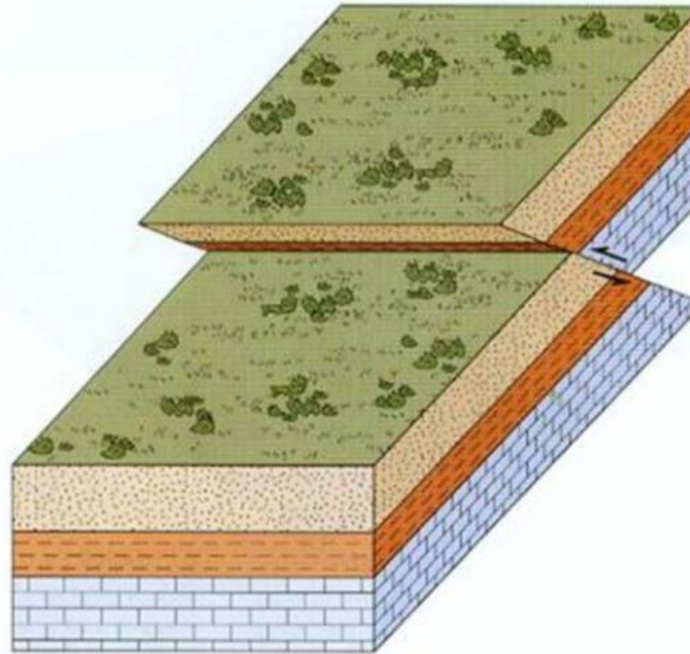
Normalni rasjedi

- Obuhvaćaju sve vertikalne rasjede (bez hoda) i rasjeda kose paraklaze s hodom, kod kojih se po paraklazi **krovinsko krilo spustilo u odnosu na podinsko**.
- Horizontalni pomak obično rezultira **udaljavanjem krila**, odnosno **širenjem stijenske mase**.
- Posljedica su ekspanzije i gravitacije



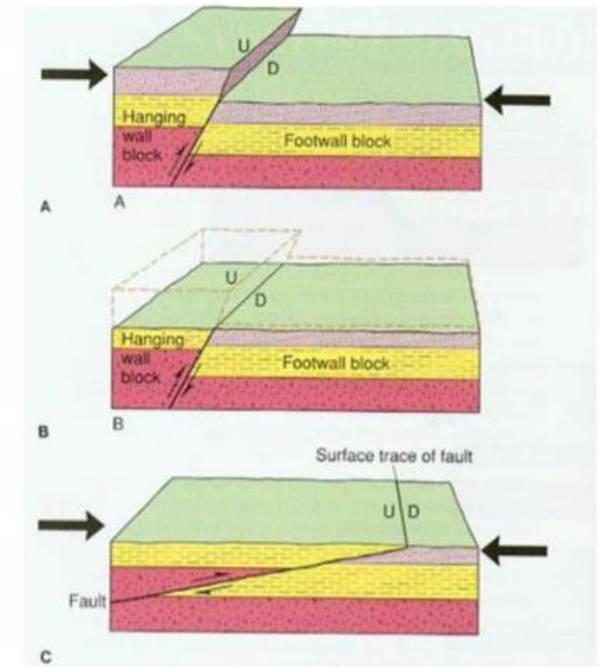
Reversni rasjedi

- **Krovinsko krilo se uzdiže** po nagnutoj paraklazi, a **podinsko spušta**.
- Zbog kompresije horizontalno kretanje obično rezultira približavanjem krila.



(b) Reverse fault

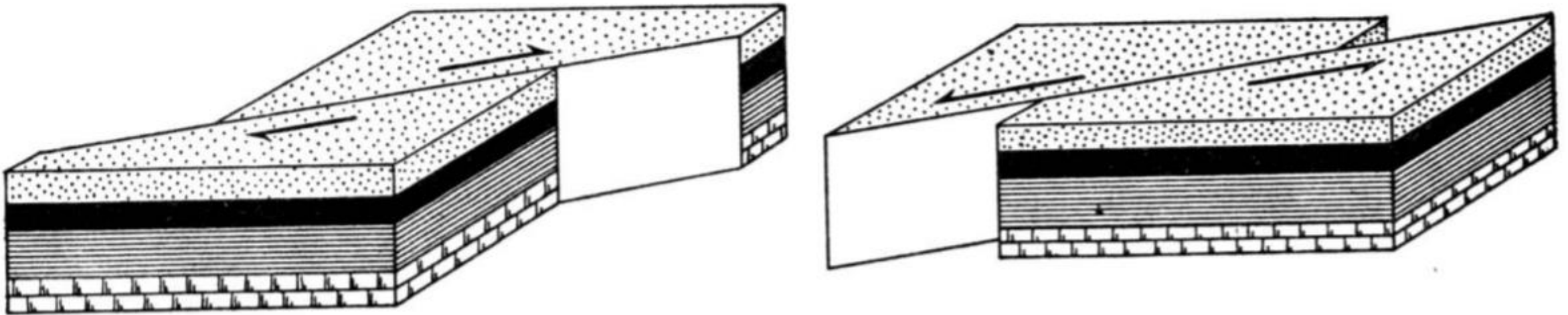
preuzeto iz: Wicander, R. & Monroe, J.S. (1999): Essentials of Geology



preuzeto iz: Plummer, C.C. & McGeary, D. (1993): Physical Geology

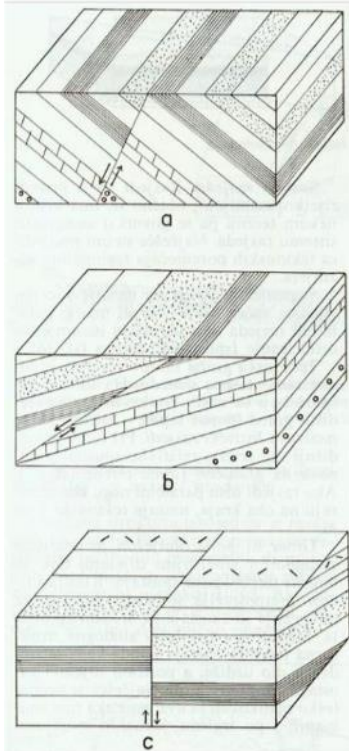
Rasjedi s horizontalnim kretanjem

- Obilježeni su samo kretanjem krila **u pravcu pružanja paraklaze**, bez skoka i hoda.
- Pomak može biti u dva smjera pa razlikujemo **desne i lijeve**, ovisno kako su krila pomaknuta jedna prema drugome - **transkurentni rasjedi**.
- Rasjedi s horizontalnim kretanjem kod kojih na obje strane u pružanju pomak naglo prestaje ili se mijenja oblik i smjer - **transformni rasjedi**.



... Desni i lijevi rasjedi (po Holmesu)

Rasjedi s horizontalnim kretanjem

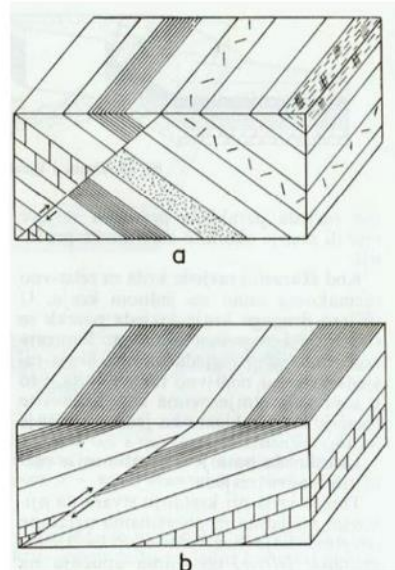


Protusmjerni rasjed – paraklaza nagnuta u suprotnom smjeru nagiba sloja.

Istosmjerni rasjed – paraklaza nagnuta u smjeru sloja, isti smjer ali ne isti nagib.

Normalni i reversni rasjed:

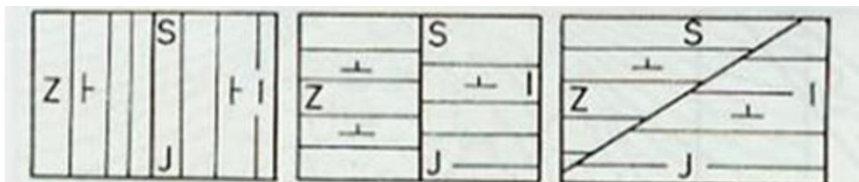
- a) Protusmjerni
- b) Istosmjerni
- c) Uspravni



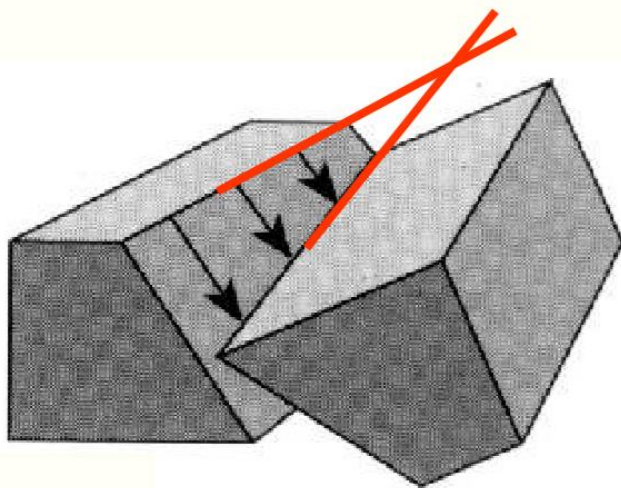
preuzeto iz: Herak, M. (1990): Geologija

REVERSNi

- Ovisno o odnosu paraklaze i slojeva u krilima, rasjedi, normalni i reverzni mogu se podijeliti na **istosmjerne i protusmjerne**.



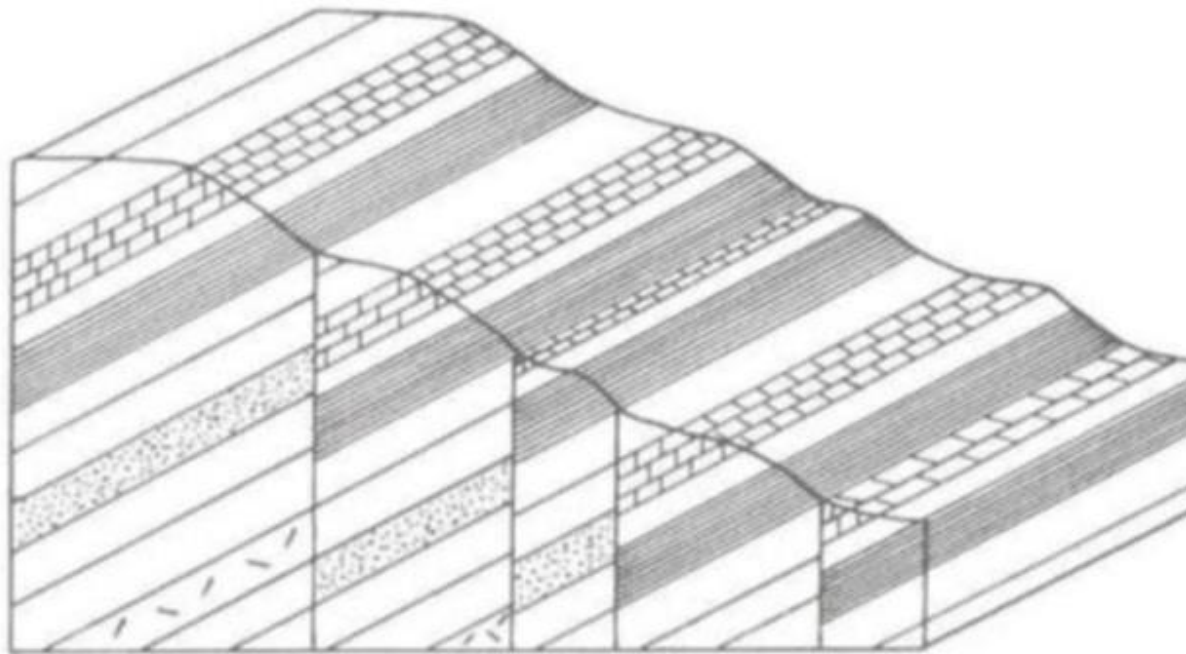
preuzeto iz: Herak, M. (1990): Geologija



Rasjedi

- Rasjedi u odnosu na pružanje slojeva, struktura ili strukturnih elementa odnosno na horizontalne pomake razlikuju se:
- **Uzdužni**: paraklaza se pruža paralelno s pružanjem slojeva ali sa drugačijim nagibom nego slojevi
- **Poprečni** – paraklaza okomita na pružanje slojeva
- **Dijagonalni** – paraklaza se pruža koso u odnosu na slojeve
- Prema relativnom pomaku krila u odnosu na pružanje paraklaze razlikuju se rasjedi s rotacijom krila, odnosno **škarasti i rotacijski rasjedi**.

Sustavi rasjeda

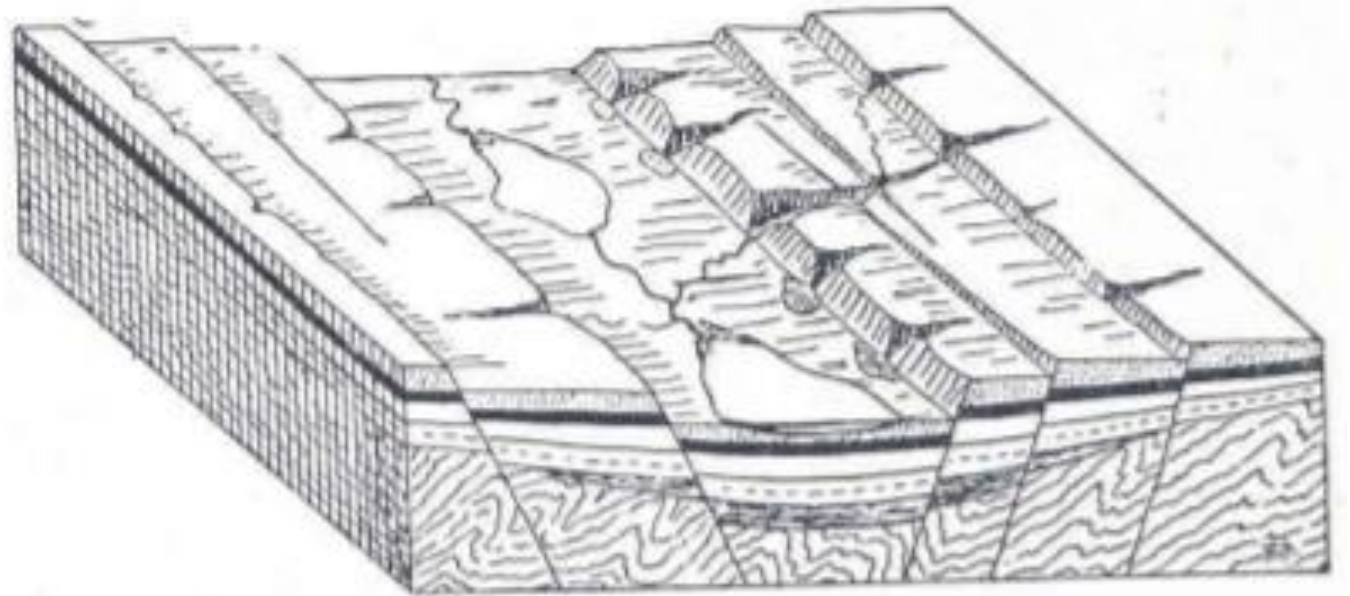


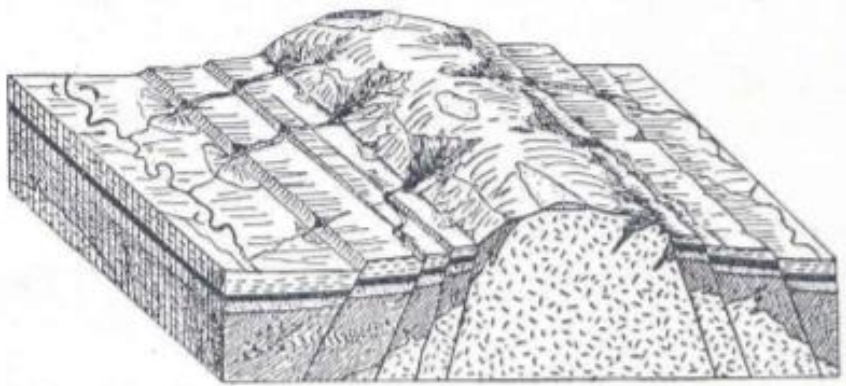
Herak, 1990

- Sustavi rasjeda: **stepeničaste strukture, tektonske grabe, timore ili horstove i ljuskave strukture.**
- **Stepeničasta struktura:** rezultat je većeg broja normalnih rasjeda koji se pretežito paralelno nižu jedan do drugog uzrokujući istosmjerno spuštanje terena

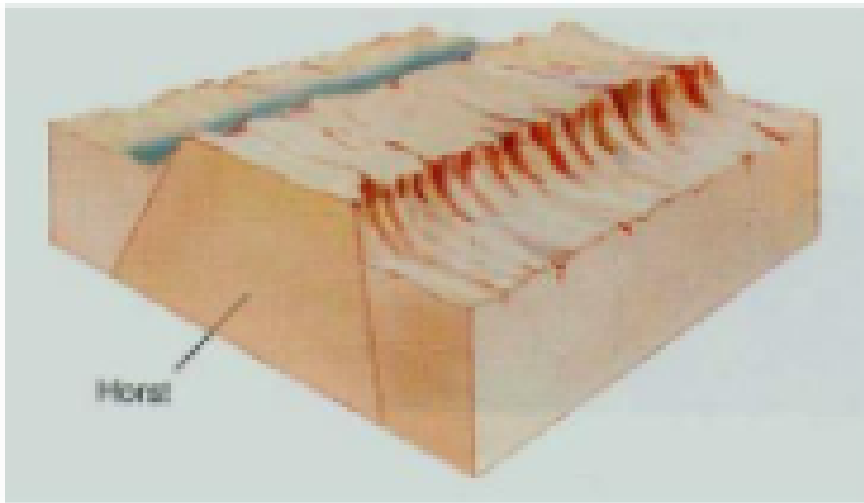
Tektonska graba ili rovd

- **Tektonska graba ili rovd:** nastaje između dvaju ili više paralelnih normalnih rasjeda čijim pomakom je središnji dio terena relativno spuštenu odnosu na rubne dijelove.



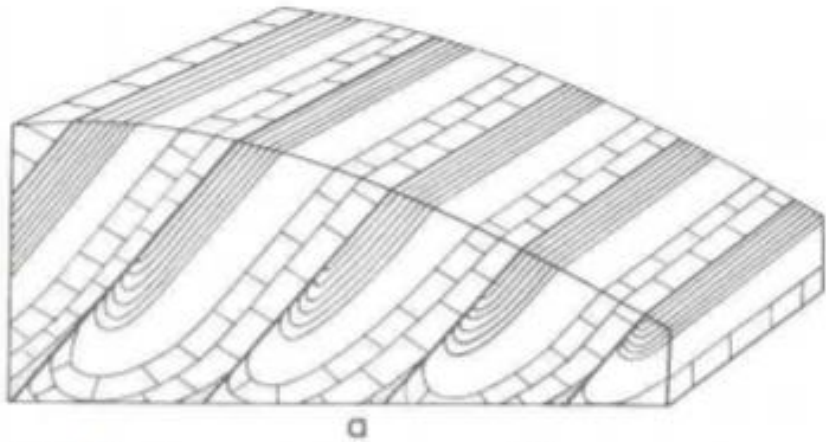


Timor ili horst (po Ketneru)

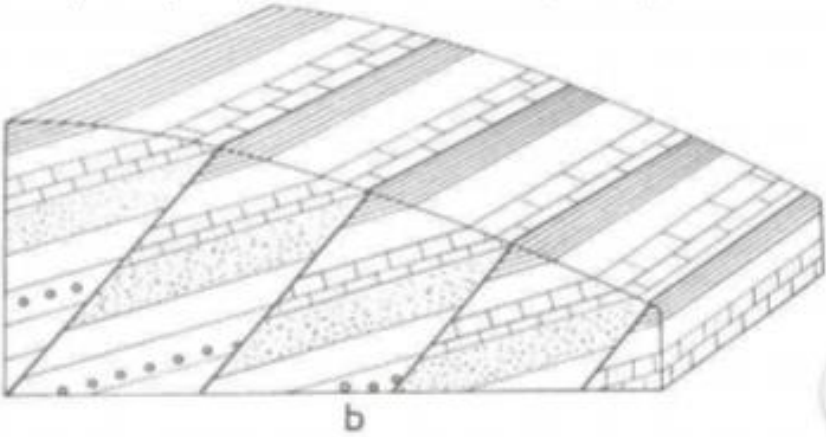


Timor ili horst

- **Timor ili horst:** nastaje sustavom normalnih rasjeda, a obilježen je relativno uzdignutim središnjim dijelom, dok se bokovi stepeničasto spuštaju.



(a) Ljuskava struktura nastala reverznim rasjedanjem bora, ili (b) samo reverznim rasjedanjem (preuzeto iz Herak, 1990).



Ljuskava struktura

- Ljuskava struktura je posljedica reverznih rasjeda
- Naslage između dviju paraklaza nazivamo ljuskom.



Earthquake Faults, Plate Boundaries, & Stress

What is stress?

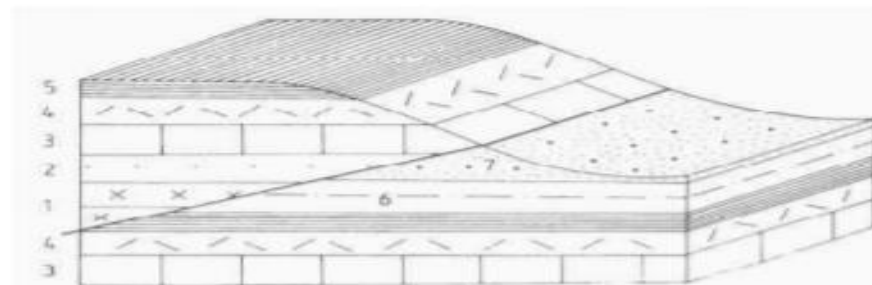
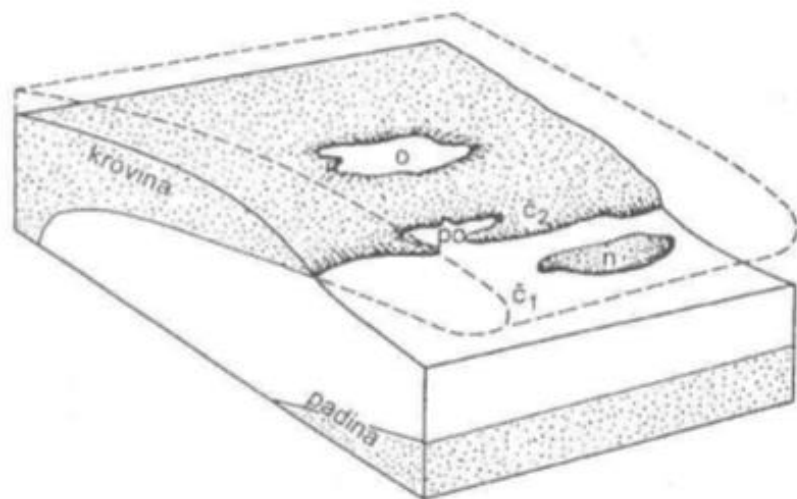
Why do faults form in Earth's crust?

How are faults related to plate boundaries?

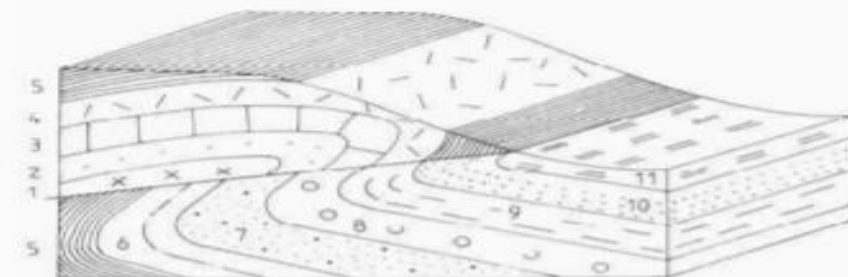


Navlake

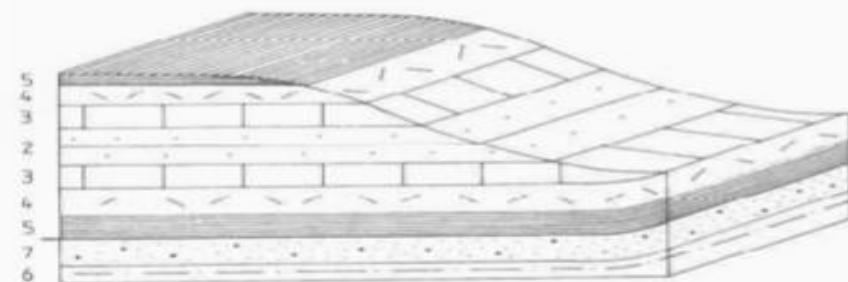
- Strukturne jedinice litosfere u kojoj se tereni što su bili primarni jedan uz drugoga, nalaze jedan na drugome.



a



b

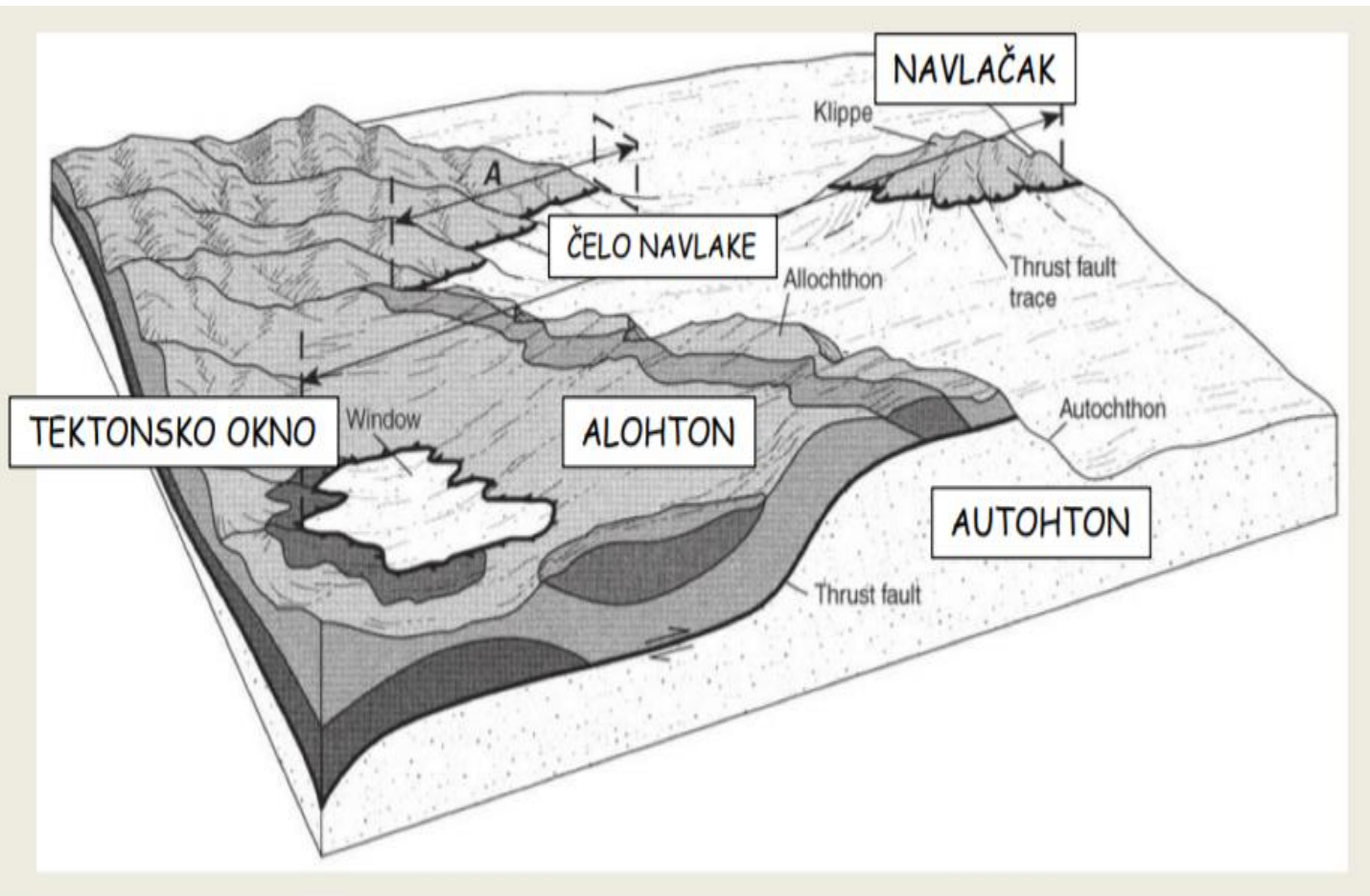


(Herak, 1990).

c

Ponavljanje slojeva kod različitih tipova navlake: a – navlaka putem reversnog rasjedanja, b – navlaka nakon boranja i reversnog rasjedanja, c – navlaka u obliku velike pogle (prekrilne) bore; starost slojeva od 1 prema 7

Navlake



- Pri navlačenju razlikuje se **autohton** (relativno ne pokrenuti dio, podloga) i **alohton** (navučeni dio)

Pukotine

- Pukotine su plohe diskontinuiteta u magmatskim i sedimentnim stijenama uzduž kojih **nije došlo do znatnijih pomaka u stijenskoj masi.**



Pukotine

Razlikujemo:

- **Dijaklaze** - pukotine nešto većih dimenzija
- **Leptoklaze** - manje pukotine koje se nalaze u površinskom dijelu stijene
- **Prsline** - sitne pukotine, jedva vidljive

Uzroci postanka pukotina su; **ekspanzija, apsorpcija vode, hlađenje, stezanje i rastezanje** a često i **popratna pojava drugih tektonskih pojava** (rasjedi, boranje, navlake).

Za njihovo cjelovito definiranje potrebno je poznavati njihove značajke:

- **Način postanka (geneza)**
- **Položaj i orijentacija prostora**
- **Oblik i dimenzija**
- **Zijev**
- **Vrsta i svojstva ispune**
- **Stanje plohe pukotine**



Pukotine

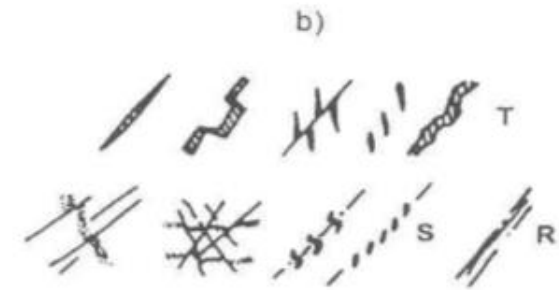
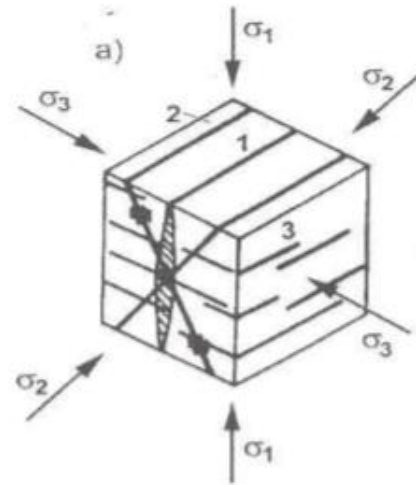
- Postoji nekoliko klasifikacija pukotina prema **načinu postanka**.
- **Primarne pukotine**- nastale u fazi formiranja stijene
- **Sekundarne pukotine** -nastale zbog djelovanja endodinamskih i egzodinamskih faktora na već formiranu stijenu
- Za građevinare su osobito važne one pukotine koje su nastale **zbog djelovanja tlaka u stijenama**.

Slika: Tenzijske pukotine sa zakrivljenim završecima u zoni preklapanja na lokalitetu Krafla na Islandu (iz Acocella et al., 2000).

Pukotine

Prema kinematici nastanka razlikuju se:

1. **Vlačne (tenzijske) pukotine** – nastaju **okomito na smjer najmanjeg tlaka**, otvorene, bez ispuna, ili naknadno ispunjene različitim materijalom, mogu biti **nepravilne, lećaste ili peraste**
2. **Tlačne (kompresijske) pukotine**- nastaju **okomito na smjer najvećeg tlaka**, zatvorene su ravne
3. **Pukotine smicanja** – nastaju **paralelno sa smjerom srednje jakog tlaka**, a sa smjerom najvećeg tlaka zatvaraju oštri kut, glatke su i stisnute



Pukotine po kinematici nastanka
(preuzeto iz Šestanović, 2001).

a = položaj pukotina prema kinematici nastanka i njihov izgled (σ_1 = smjer najvećeg tlaka, σ_2 = smjer srednje jakog tlaka, σ_3 = smjer najmanjeg tlaka; 1 = tenzijske pukotine, 2 = pukotine smicanja, 3 = relaksacijske pukotine), b = izgled pukotina (T = tenzijske pukotine, S = pukotine smicanja, R = relaksacijske pukotine)

Pukotine

Položaj pukotine u prostoru određen je koordinatama x, y, z točke u kojoj se ona nalazi. Kod dulje pukotine njezin se položaj određuje s dvije točke ili više.

Orijentacija pukotine mjeri se geološkim kompasom, a određena je njezinim elementima položaja (smjerom i kutom nagiba za nagnute pukotine, pravcem pružanja za vertikalne, a utvrđivanjem horizontalnosti za horizontalne).

Oblik pukotine određuje se njezinim oblikom po pružanju (ravna, valovita, stepeničasta, zupčasta) i oblikom njezine površine (glatka, hrapava).

Dimenzija pukotine definirana je njezinom duljinom i širinom.

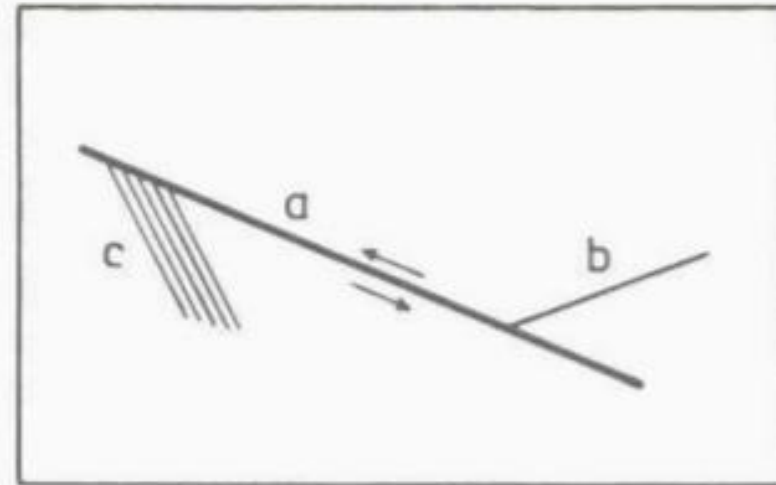
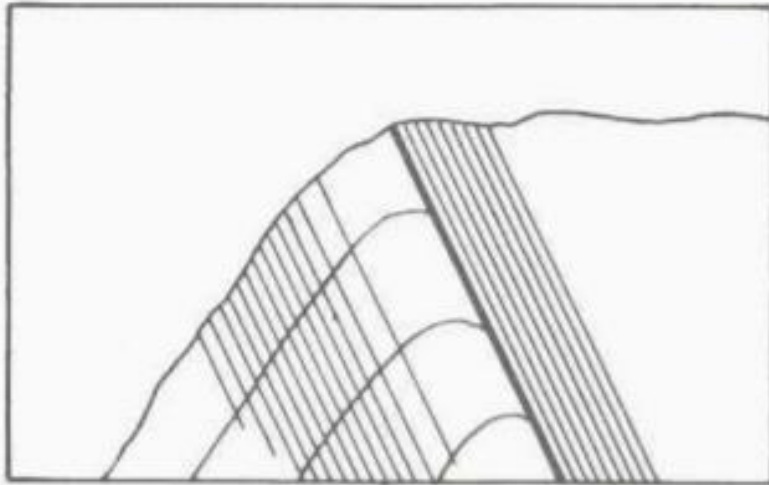
Zijev označava otvorenost pukotine, tj. razmak mjeren dužinom okomice na plohe pukotine.

Vrstu i značajke ispune definira materijal ispune pukotine, i to prema mineralnom sastavu, granulometriji, čvrstoći i stupnju vlažnosti.

Stanje plohe pukotine podrazumijeva njezinu trošnost ili nepromijenjen izgled u odnosu na okolnu stijenu.

Pukotine

- pri boranju i rasjedanju terena u slojevitim stijenama **nastaje sustav uskih, gustih, paralelno poredanih pukotina koji se zove pukotinski klivaž.**
- sustav pukotina česta je popratna pojava boranja, a ako su pritom nastale pukotine paralelne s osnom ravninom bore, nazivaju se **klivažom osne ravnine.**



Odnos klivaža prema rasjedima (po Nevinu); lijevo: klivaž paralelan s rasjedom; desno: a – glavni rasjed, b – sporedni rasjed, c – klivaž