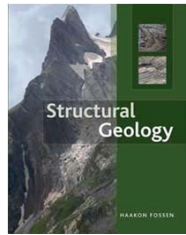


Koristno!!!!!!!!!!!!
e-pripomočki za učenje (Haakon Foosen):
<http://folk.uib.no/nglthe/Emodules.html>



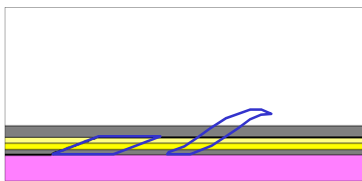
KINEMATSKA ANALIZA

Kinematska analiza se ukvarja z rekonstrukcijo gibanja, ki se je odvijalo med deformacijo kamnin. Kinematska analiza opisuje gibanje samo po sebi in se ne ukvarja z napetostmi, ki so povzročile deformacije.



KINEMATSKA ANALIZA

Kinematska analiza se ukvarja z rekonstrukcijo gibanja, ki se je odvijalo med deformacijo kamnin. Kinematska analiza opisuje gibanje samo po sebi in se ne ukvarja z napetostmi, ki so povzročile deformacije.



Vrste deformacij

Deformacije togega telesa

Kamnina se med deformacijo premika, vendar se oblika in velikost geoloških teles med deformacijo ne spremenita (**translacija** in **rotacija**).

Ne-toge deformacije

Spremenita se oblika in/ali velikost geološkega telesa - spremeni se konfiguracija točk v telesu (distorcija in dilatacija).

To je tisto, kar si v vsakdanjem jeziku predstavljamo kot deformacijo.



Predavanja iz Tektonike, lekcija 2: KINEMATSKA ANALIZA

4

Translacija

Geološko telo se premika tako, da se vse točke telesa gibljejo po vzporednih poteh (trajektorijah).

Primeri:

- premikanje blokov ob prelomu
- premiki plasti pri fleksivnem gubanju (od merila opazovanja je odvisno, ali deformacijo smatramo za translacijo ali distorcijo)
- premikanje litosferskih plošč

02 - premik ob prelomu.swf

03 - fleksivno gubanje.swf

03a - translacija_plasti.swf

04 - translacija_ploste.swf

Predavanja iz Tektonike, lekcija 2: KINEMATSKA ANALIZA

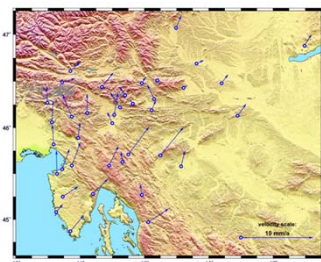
5

Translacija

Vektor premika

podaja dolžino, usmerjenost in smisel (polarnost) premika.

Primer: aktivne deformacije na ozemlju Slovenije



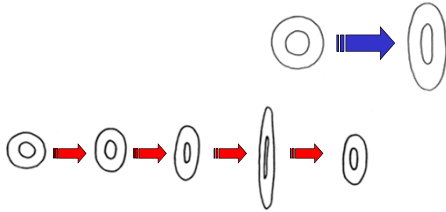
Predavanja iz Tektonike, lekcija 2: KINEMATSKA ANALIZA

6

O problemu analize geoloških deformacij

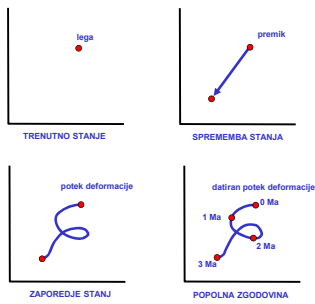
Zanesljivo poznamo le **končno** (današnje) stanje sistema
 (⇒ geometrijska analiza). S kinematsko analizo pogosto moremo ugotoviti prvotno
 (nedeformirano) stanje sistema, ni pa nujno, da je bila pot med začetnim in
 končnim stanjem ravna, potek pa stacionaren!

Primer: deformiran presek krinoida



O problemu analize geoloških deformacij

Štirje nivoji poznavanja poteka deformacije



O problemu analize geoloških deformacij

Primer strukture, ki omogoča neposredno rekonstrukcijo poteka deformacije:
 sintaksialna vlakna v natezni žili, ki kažejo potek odpiranja razpoke.



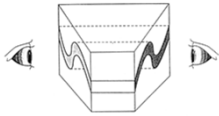
Rotacija

Rotacija je deformacija togega telesa, ko točke telesa krožijo okoli skupne osi.

Rotacijo matematično opišemo, če podamo:

- **lego** in **orientacijo (vpad)** osi rotacije
- **smisel rotacije** (urni ali protourni)
- **iznos (kot)** rotacije

Pozor: smisel rotacije je odvisen od tega, s katere strani gledamo!



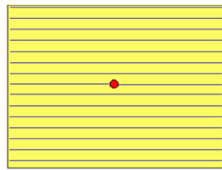
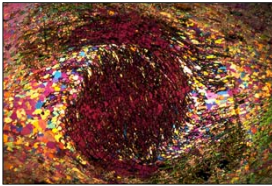
Dogovor: smisel rotacije določamo v smeri tonjenja osi; če je horizontalna, pa povemo, za katero smer smo smisel določili.

Predavanja iz Tektonike, lekcija 2: KINEMATSKA ANALIZA

10

Rotacija

Rotacija v mikroskopskem merilu: rotirano zrno granata ("snežna kepa")



Rotacija zrna kaže smer striga pri deformaciji kamnine (kinematski indikator). Zelo pomembno v strukturalni analizi! Primer: so položne tektonske ploskve v NE Sloveniji narivi ali normalni prelomi?

Predavanja iz Tektonike, lekcija 2: KINEMATSKA ANALIZA

11

Rotacija

Rotacija v mezoskopskem merilu: rotacija plasti pri gubanju in premikanju ob prelomih (rotacija okoli horizontalne osi).

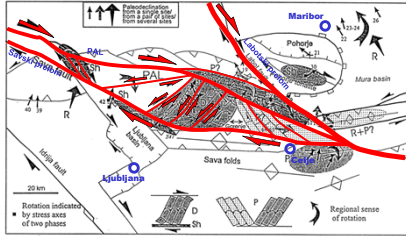


Predavanja iz Tektonike, lekcija 2: KINEMATSKA ANALIZA

12

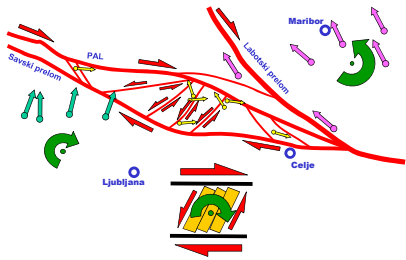
Rotacija

Rotacija v regionalnem merilu: rotiranje prelomnih blokov (rotacija okoli vertikalne osi).
Primer: tektonika osrednje Slovenije (Fodor et al., 1998)



Rotacija

Rotacija v regionalnem merilu: rotiranje prelomnih blokov (rotacija okoli vertikalne osi).
Primer: tektonika osrednje Slovenije (Fodor et al., 1998)



Ne-toge deformacije

Dilatacija

sprememba **velikosti** telesa. Točke telesa se hkrati razmaknejo ali primaknejo, tako, da so premiki vseh točk enako dolgi. Oblika telesa tako ostane nespremenjena.



Distorcija

sprememba **oblike** telesa. Točke telesa spremenijo svojo lego, tako, da se spremeni oblika, lahko tudi velikost telesa.



“Strain” in “deformacija”



V angleščini:

“DEFORMATION” = deformacije togega telesa + “strain”

“strain” = dilatacija + distorcija

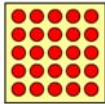
V slovenščini posebnega izraza za “strain” nimamo, zato bomo namesto njega uporabljali besedo “deformacija”, pri čemer se bomo zavedali, da s tem mislimo na deformacije v ožjem smislu (spremembo oblike in velikosti telesa), in ne na celotno deformacijo, ki vključuje tudi translacijo in rotacijo.

“Deformacija”

Homogene in nehomogene deformacije

Homogena deformacija je enakomerno porazdeljena po telesu. Geometrijske posledice:

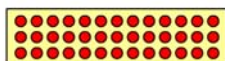
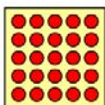
- ravne črte ostanejo ravne
- vzporedne črte ostanejo vzporedne
- krogi se deformirajo v elipse



“Deformacija”

Homogene in nehomogene deformacije

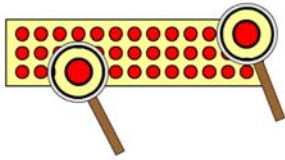
Geološke deformacije so večinoma nehomogene. Pri preučevanju nehomogenih deformacij si pomagamo tako, da jih razdelimo na majhna območja, za katera moremo smatrati, da se deformirajo homogeno.



“Deformacija”

Homogene in nehomogene deformacije

Geološke deformacije so večinoma nehomogene. Pri preučevanju nehomogenih deformacij si pomagamo tako, da jih razdelimo na majhna območja, za katera moremo smatrati, da se deformirajo homogeno.



“Deformacija”

Mere za deformacijo - linearna deformacija

Specifična deformacija e (extension):
sprememba dolžine na dolžinsko enoto.

$$e = \frac{l_k - l_0}{l_0}$$

Linearna deformacija

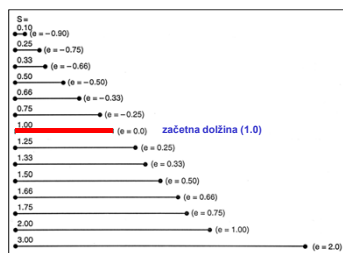


Raztezek s (stretch):
razmerje med dolžino po deformaciji in prvotno dolžino.

$$s = \frac{l_k}{l_0} = 1 + e$$

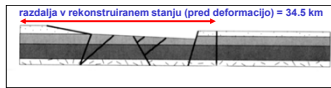
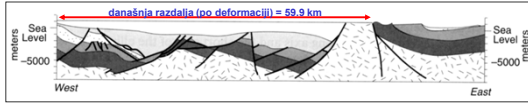
“Deformacija”

Linearna deformacija - vrednosti parametrov e in s



“Deformacija”

Primer: določanje linearne deformacije zaradi ekstenzije ozemlja.



$$s = \frac{l_k}{l_0} = \frac{59.5 \text{ km}}{34.5 \text{ km}} = 1.72$$

“Deformacija”

Mere za deformacijo - strižna deformacija

Oblika telesa se lahko spremeni, ne da bi se s tem spremenila dolžina (pravzaprav volumen) telesa.



01 - komponente deformacije.swf

Strižno deformacijo lahko pripravno opišemo, če spremljamo, kako se spreminja orientacija dveh prvotno pravokotnih linij v telesu.

Strižni kot ψ : kot, za katerega novi kot med linijama odstopa od pravega kota.

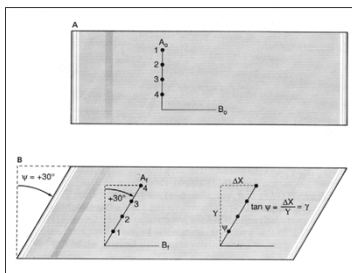
Strižna deformacija

Strižna deformacija: $\gamma = \tan \psi$



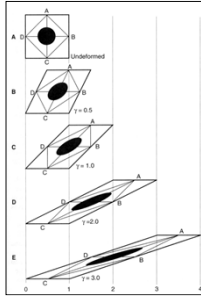
“Deformacija”

Mere za deformacijo - strižna deformacija



“Deformacija”

Mere za deformacijo - strižna deformacija



Predavanja iz Tektonike, lekcija 2: KINEMATSKA ANALIZA

25

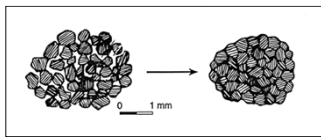
“Deformacija”

Mere za deformacijo - dilatacija (volumska deformacija)

Pri deformaciji se lahko spremeni tudi volumen telesa/kamnine.

Primeri:

- kompakcija (manjšanje volumna)



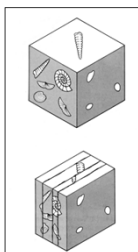
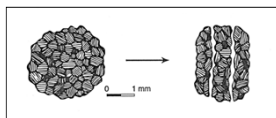
Predavanja iz Tektonike, lekcija 2: KINEMATSKA ANALIZA

26

“Deformacija”

Dilatacija

- raztapljanje pod pritiskom (manjšanje volumna)



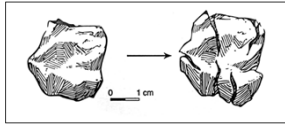
Predavanja iz Tektonike, lekcija 2: KINEMATSKA ANALIZA

27

“Deformacija”

Dilatacija

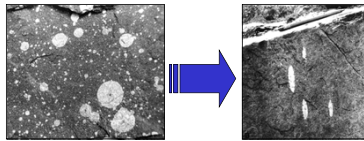
- lomna deformacija (razpokanje) kamnine (večanje volumna)



Mera za volumsko deformacijo:
$$\Delta = \frac{\Delta V}{V_0}$$

Deformacijska elipsa

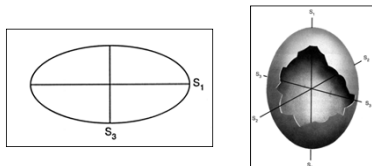
Najprej: podrobneje bomo obravnavali le ravninske deformacije, zato bomo največ govorili o **deformacijski elipsi**. Deformacije v treh dimenzijah opisuje **deformacijski elipsoid**, principi pa so enaki.



Okrogel objekt se pri homogeni deformaciji deformira v eliptičnega. Taka elipsa pravzaprav karakterizira deformacijo: nakazuje nam, v kateri smeri in za koliko se je kamnina skrčila oziroma raztegnila.

Deformacijska elipsa

Kakršnokoli homogeno deformacijo lahko kvantitativno opišemo z **deformacijsko elipso**, ki prikazuje, kakšni sta linearna in strižna deformacija poljubno orientirane linije v **točki ravnine**.

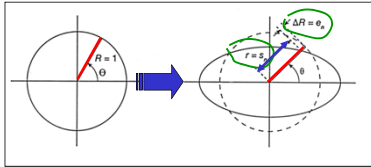


Glavne osi deformacijske elipse ustrezajo glavnim osem deformacije: os maksimalnega raztezka s_1 , os minimalnega raztezka s_3 (os maksimalnega skrčka); v tretji dimenziji obstaja še srednja os deformacije s_2 .

Deformacijska elipsa

Kakršnokoli homogeno deformacijo lahko kvantitativno opišemo z **deformacijsko elipso**, ki prikazuje, kakšni sta linearna in strižna deformacija poljubno orientirane linije v **točki ravnine**.

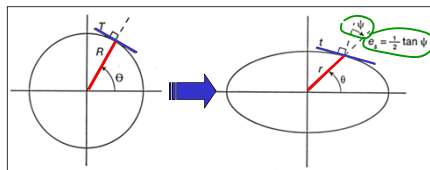
Kako deformacijska elipsa podaja **LINEARNO** deformacijo:



Deformacijska elipsa

Kakršnokoli homogeno deformacijo lahko kvantitativno opišemo z **deformacijsko elipso**, ki prikazuje, kakšni sta linearna in strižna deformacija poljubno orientirane linije v **točki ravnine**.

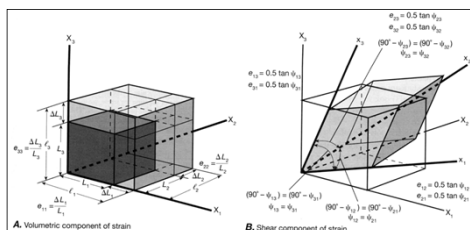
Kako deformacijska elipsa podaja **STRIŽNO** deformacijo:



Deformacijska elipsa

Numerično opišemo deformacijo z **deformacijskim tenzorjem**:

$$X_i = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} e_{11} & \frac{1}{2} \gamma \\ \frac{1}{2} \gamma & e_{22} \end{bmatrix} \quad \begin{aligned} x_1 &= X_1 e_{11} + X_2 \frac{1}{2} \gamma \\ x_2 &= X_1 \frac{1}{2} \gamma + X_2 e_{22} \end{aligned}$$



Deformacijska elipsa

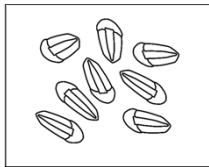
Za popoln opis homogene ravninske deformacije v točki je torej treba poznati le raztezek dveh linij, vzporednih koordinatnima osema, in strižno deformacijo ene od njih.

(\Rightarrow ti trije podatki nam zadostujejo za konstrukcijo deformacijske elipse oziroma za določitev deformacijskega tenzorja).

*N.B.: morda se iz mehanike spomnite napetostnega elipsoida. Intuitivno domnevamo, da so glavne osi napetostnega in deformacijskega elipsoida med sabo pravokotne (torej, da denimo maksimalni tlačni napetosti ustreza največji skrčitev).
POZOR, V SPLOŠNEM TO NE DRŽI!*

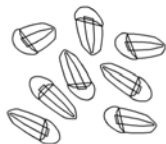
Deformacijska elipsa

KVIZ: je prikazana deformacija homogena ali nehomogena?

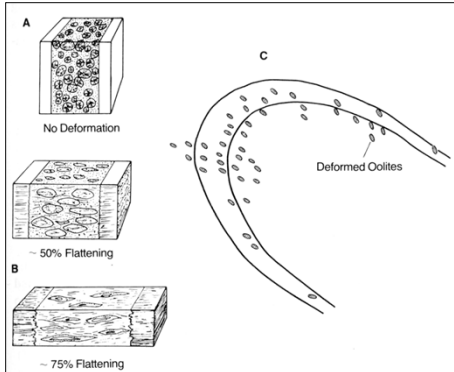


Deformacijska elipsa

KVIZ: je prikazana deformacija homogena ali nehomogena?



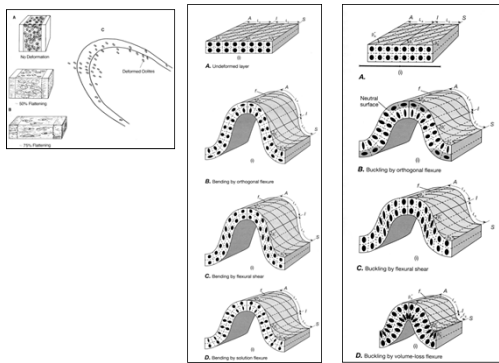
Pomen analize deformacij v strukturi analizi



Predavanja iz Tektonike, lekcija 2: KINEMATSKA ANALIZA

37

Pomen analize deformacij v strukturi analizi



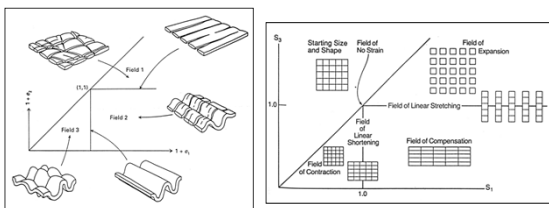
Predavanja iz Tektonike, lekcija 2: KINEMATSKA ANALIZA

38

Pomen analize deformacij v strukturi analizi

Komponente deformacije ostanejo zapisane tudi v nekaterih drugih strukturah. Tipičen primer: vložek kompetentne (relativno bolj toge, teže deformabilne) kamnine v nekompetentni (lahko deformabilni, duktilni/"tekoči") osnovi.

V odvisnosti od razmerja med glavnimi osmi deformacije in njihovo orientacijo glede na plastnatost, nastanejo različne strukture (budinaž, "čokoladna struktura", gube,...); možne variacije prikladno prikazuje Ramsayev diagram.



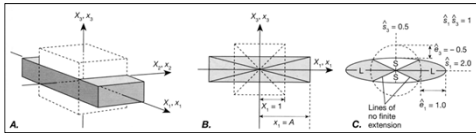
Predavanja iz Tektonike, lekcija 2: KINEMATSKA ANALIZA

39

Recepti za homogeno deformacijo

Čisti strig ("pure shear")

Ravninska deformacija, konstantni volumen; krčenje telesa v eni smeri se kompenzira z raztezanjem v pravokotni smeri (primer: kvadrat se deformira v pravokotnik).

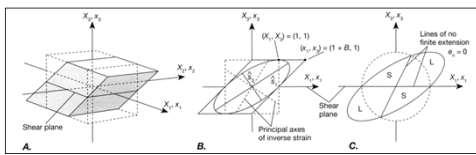


14 - čisti in enostavni strig.svg

Recepti za homogeno deformacijo

Enostavni strig ("simple shear")

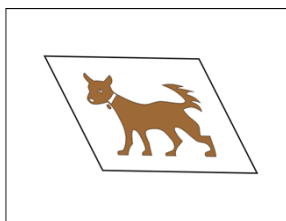
Ravninska deformacija, konstantni volumen; potek deformacije je analogen zmičkanju kupčka kart (primer: kvadrat se deformira v romb).



14 - čisti in enostavni strig.svg

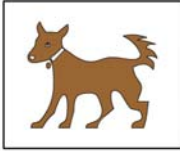
Recepti za homogeno deformacijo

Kviz: čisti ali enostavni strig?



Recepti za homogeno deformacijo

Kviz: čisti ali enostavni strig?



Recepti za homogeno deformacijo

Kompleksne (sestavljene) deformacije

Čisti in enostavni strig sta le dva enostavna primera izmed neskončnega števila možnih načinov deformiranja.

Končni rezultat **katerekoli**, še tako kompleksne homogene deformacije moremo izraziti s kombinacijo translacije, rotacije in krčenja/raztezanja.

Progresivna (napredujoča) deformacija

Doslej smo se ukvarjali le s končnim stanjem po deformaciji - s tistim, kar vidimo na izdanku, ter z začetnim stanjem - s tistim, za kar mislimo, da je bilo nedeformirano stanje. Deformacijska elipsa, ki nam je služila prikazu deformacije iz začetnega v končno stanje, je torej **elipsa končne deformacije** (ali elipsa skupne ali "neto" deformacije) in nam pravzaprav kaže končni rezultat vseh deformacij, ki so preoblikovale kamnino.

Pokazali smo že, da lahko do enake končne deformacije pridemo na mnogo različnih načinov. **Potek deformacije** vpliva na to, katere (in kakšne) strukture bodo nastale. Z rekonstrukcijo poteka deformacije se ukvarja **analiza progresivne (napredujoče) deformacije**. Napredek deformacije v majhnem časovnem razdobju **dt** nam kaže **elipsa inkrementalne deformacije**.

Progresivna (napredujoča) deformacija

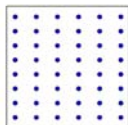
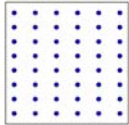
Naloga: s pomočjo računalniške animacije analiziraj potek čistega striga in enostavnega striga kvadratnega telesa. Opazuj in opiši:

- gibanje točk v telesu
- obnašanje linij v telesu
- spreminjanje deformacijske elipse med deformacijo in odnose med elipsami različnih stadijev deformacije
- odnos med deformacijsko elipso končne deformacije in elipsami napredujoče deformacije

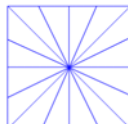
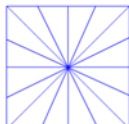
<http://www.geo.ntf.uni-lj.si/myrabec/gradiva/>

vstrainz.exe
deformacije.zip

Progresivna (napredujoča) deformacija



Progresivna (napredujoča) deformacija



Progresivna (napredujoča) deformacija



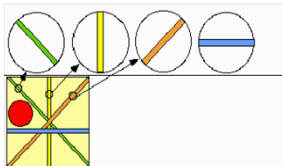
Progresivna (napredujoča) deformacija

Nekaj definicij in ugotovitev:

- materialne linije v telesu pri napredujoči deformaciji v splošnem rotirajo (*interna rotacija*, razlikovati od rotacije telesa!)
- pri napredujočem enostavnem strigu rotirata tudi glavni osi deformacije (*rotacijska deformacija*), pri čistem strigu pa ne
- pri čistem strigu sta osi napredujoče deformacije vedno vzporedni osem končne deformacije (*koaksialna deformacija*), pri enostavnem strigu pa ne (*nekoaksialna deformacija*)
- pri napredujoči deformaciji se nekatere linije raztezajo, nekatere krčijo, nekatere pa med deformacijo preidejo iz enega območja v drugo! (*O tem podrobno v poglavju o strižnih conah*)
- sedaj tudi bolje razumemo, zakaj osi napetostnega in deformacijskega elipsoida v splošnem niso pravokotne/vzporedne: pri nekoaksialni deformaciji osi deformacije progresivno rotirajo, in to zaradi narave deformacije same.

Progresivna (napredujoča) deformacija

Pri procesu progresivne deformacije lahko nastanejo različne, na prvi pogled nezdržljive strukture!



Progresivna (napredujoča) deformacija?

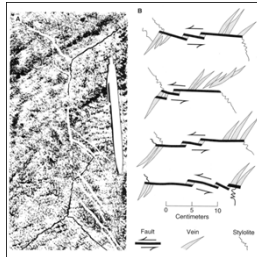


Predavanja iz Tektonike, lekcija 2: KINEMATSKA ANALIZA

52

O strukturi kompatibilnosti

Strukture v Zemljini skorji so med seboj kinematsko povezane. Primer: premik ob prelomu se mora pri zaključku preloma nekako kompenzirati (npr. z gubanjem ali nateznimi razpokami, odvisno od smeri premika).



Predavanja iz Tektonike, lekcija 2: KINEMATSKA ANALIZA

53



Predavanja iz Tektonike, lekcija 2: KINEMATSKA ANALIZA

54

O strukturni kompatibilnosti

Princip strukturne kompatibilnosti lahko uporabimo tudi pri geometrijski rekonstrukciji: 3D geometrija in kinematika vseh struktur mora biti "kinematsko uravnotežena".

(Primer uporabe teh principov v narivni tektoniki sledi na vajah pri poglavju o uravnovežanju profilov!)