

# Reologické vlastnosti a spôsoby deformácie materiálov



# Reologické vlastnosti a spôsoby deformácie

**Reológia** - náuka o chovaní sa materiálov pri namáhaní deformačnými silami v rôznych PT podmienkach

- zaoberá sa reakciami pevných a tekutých materiálov na deformačné sily v čase

- je základom pre pochopenie podstaty deformačných procesov geologických štruktúr.

Spôsob deformácie materiálov závisí hlavne od týchto faktorov:

- **mechanické (reologické) vlastnosti materiálu**

- fyzikálne (PTS) podmienky deformácie

- geologický čas

- veľkosť deformovaných štruktúr

# Spôsoby deformácie materiálov

Testovanie reologicky odlišných :

- **guma** sa odrazí, tvar vzorky sa trvalo nedeformuje, materiál sa chová **pružne -elasticky**
- **íl** sa pri dopade deformuje trvalo **plasticky**, ale neporuší sa kohézia
- **med** sa roztečie a tečenie pokračuje - chová sa **viskózne**
- **kamenná soľ** sa rozbije - deformuje sa **krehko**
- Horniny počas deformačného procesu prechádzajú štádiom elastickej, duktilnej a krehkej deformácie.
- Ohyby deformačnej krivky sa označujú **kritické medze deformácie**. Predstavujú napätie, ktoré už spôsobuje odlišné chovanie od predchádzajúceho, realizovaného pri nižšom napätí.
- Kritickými medzami deformácie je definovaná **pevnosť hornín**.

# Pevnosť materiálov

- Pevnosť materiálov je charakterizovaná veľkosťou napätia, potrebného na jeho deformáciu. Rozlišujeme:
  - **pevnosť v plasticite** – hornina sa chová plasticky
  - **pevnosť v lome, trieštení** – *nad touto hranicou sa hornina láme*
- väčšina hornín má definované obe medze pevnosti.
- horniny sú odolnejšie voči kompresnému ako voči tenznému napätiu (pevnosť hornín je najväčšia v tlaku, menšia v strihu a najmenšia v ťahu).
- pevnosť hornín je vyššia pre krátkodobé namáhanie - okamžitú deformáciu, ako pre dlhodobú deformáciu. Hornina, ktorá krátkodobo odoláva nízkym deformačným napätiam, sa deformuje pri dlhodobom pôsobení tých istých napätí – “**creep**”.

# Typy deformácie

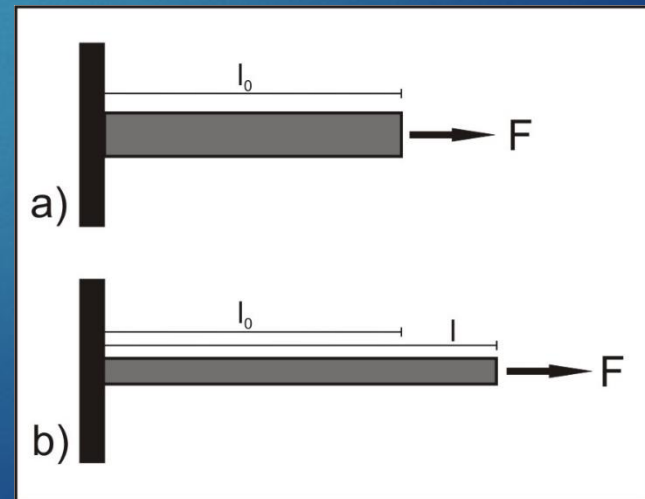
**Elastická (pružná) deformácia** - je vratná (reverzibilná). Po uvoľnení deformačného napätia sa štruktúra materiálu vráti do pôvodného stavu. Je typická pre deformácie hornín spojené so seizmickými otrasmi. Väčšina materiálov sa elasticky chová len po **medzu plasticity**, za ňou stráca elastické vlastnosti a deformuje sa plasticky, alebo krehko. Ideálne elastické materiály (guma) sa chovajú podľa Hookeovho zákona => deformácia je priamo

úmerná napätiu:  $e = \sigma / E$

$e$  – deformácia

$\sigma$  – napätie

$E$  – Youngov modul pružnosti

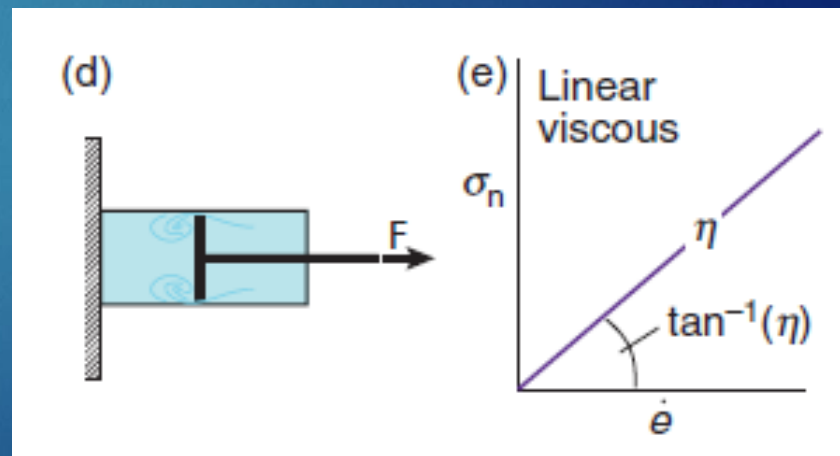


**Viskózna deformácia** - je permanentná (ireverzibilná). Po uvoľnení deformačného napätia sa materiál nevráti do pôvodného stavu (kvapaliny). Pri viskóznom chovaní materiálov je medzi deformačnou rýchlosťou a napätím lineárny vzťah.

**Viskózne chovanie** - tok fluída je definovaný rovnicou:  $\sigma = \eta \cdot \dot{\epsilon}$

$\sigma$  - napätie,  $\eta$  - viskozita (konštanta),  $\dot{\epsilon}$  - deformačná rýchlosť

Čím je väčšie napätie, tým rýchlejšie sa viskóznym materiál deformuje. Konečná deformácia závisí od veľkosti deformačného napätia a od doby pôsobenia. Aj pri konštantnom napätí bude deformácia rásť s časom.



- **Viskoplastický alebo Binghamovský materiál (kvapalina)** sa správa ako tuhé teleso pôsobením nízkeho napätia. Po prekonaní medze plasticity sa chová plasticky a dochádza k deformácii. V geológii sa ako viskoplastická tekutina správa napr. kremičitá láva, ktorá musí prekonať medzu plasticity kvôli vysokému obsahu kryštalických komponentov.
- **Viskoelastický materiál** má vlastnosti elastického aj viskózneho charakteru. Proces je reverzibilný, ale akumulácia napätia a návrat do pôvodného stavu sú oneskorené. Ide o materiál, ktorý sa správa elasticky v krátkom časovom intervale a viskózne počas dlhšej doby. Viskoelastické materiály je možné považovať za medzistupne medzi kvapalinami a tuhými látkami.

- **Plastická deformácia** - materiál sa pri nízkych hodnotách napätia chová elasticky. Po prekročení kritickej medze napätia – **medza plasticity** sa *materiál* deformuje viskózne.
- Pri väčšine hornín sa kombinujú ideálne reakcie (elastické, viskoelastické,...) materiálov na deformačné napätia. Podľa medze plasticity sa materiály rozdeľujú na:
  - **krehké** - strácajú súdržnosť pod medzou plasticity, hneď po elastickej deformácii sa porušujú **ruptúrne (zlomovo)**, t.j. materiál stráca kohéziu a vznikajú fraktúry (zlomy, pukliny).
  - **duktálne** - deformujú sa bez prerušenia kohézie materiálu a porušujú sa ruptúrne pri vysokých napätiach, až nad medzou plasticity.



# Fyzikálne podmienky deformácie

Väčšina hornín je schopná reagovať pri deformácii krehko aj duktilne. Spôsob, akým sa hornina deformuje závisí od:

- veľkosti diferenciálneho napätia ( $\sigma_1 - \sigma_3$ )
- teploty
- veľkosti hydrostatického (všesmerného) tlaku P
- deformačnej rýchlosti
- tlaku fluída

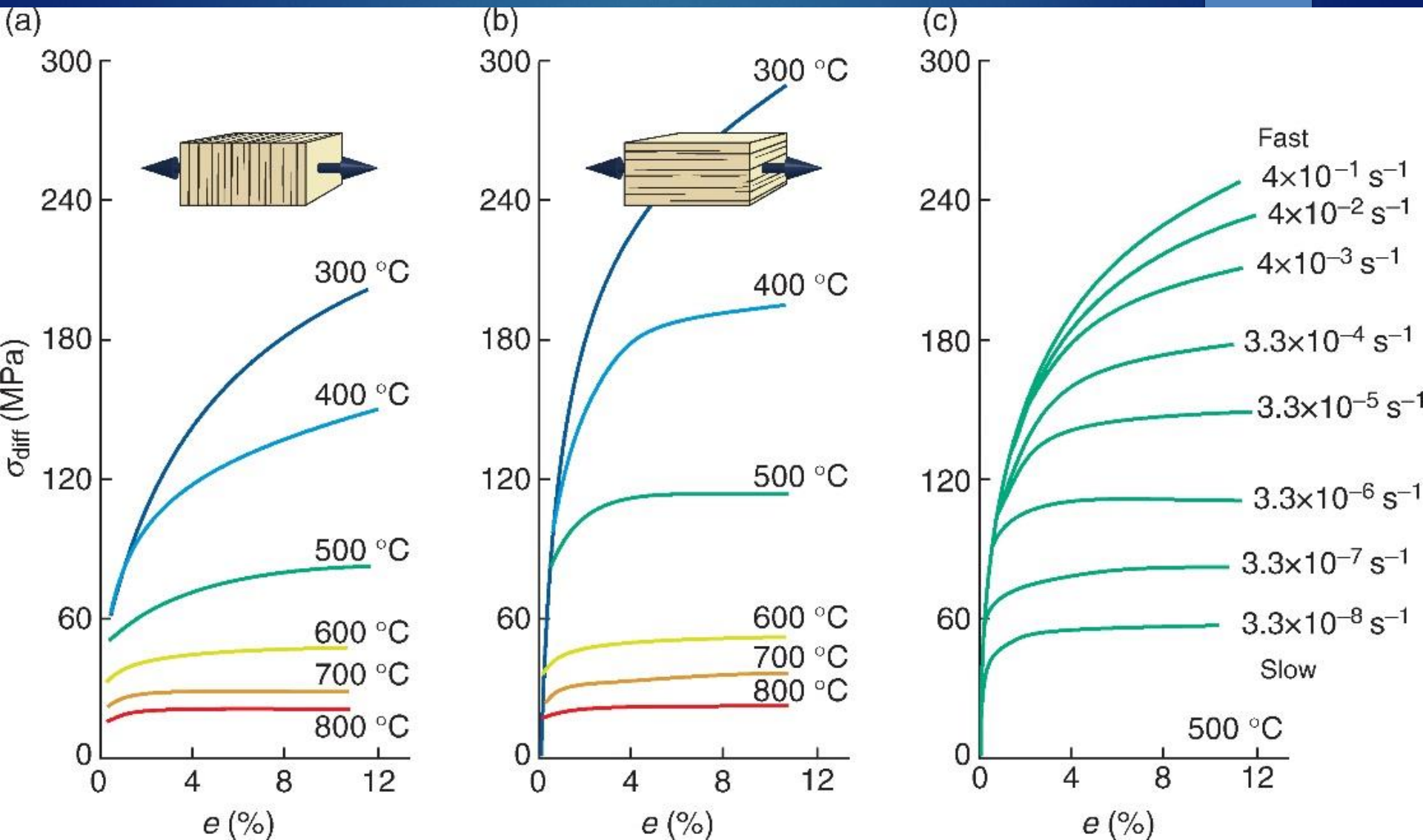
# Vplyv diferenciálneho napätia

- pri nízkych hodnotách diferenciálneho napätia ( $\sigma_A$ ) sa hornina sa deformuje len elasticky, resp. viskoelasticky ( $\sigma_B$ ).
- nad určitou kritickou hladinou diferenciálneho napätia - **medzou plasticity**  $\sigma_Y$  - materiál reaguje na deformáciu najprv viskoelasticky a so zvyšovaním napätia ( $\sigma_C, \sigma_D$ ) **viskózne**.
- Pri napätiach nad druhou kritickou medzou – **medzou pevnosti**  $\sigma_R$  - hornina vykazuje akceleráciu viskózneho toku, až dôjde pri vyšších napätiach ( $\sigma_E, \sigma_F$ ) k porušeniu kohézie horniny.
- zvyšovaním napätia hornina postupne prechádza cez tri polia deformácie a to elastickej, viskóznej a zlomovej.

# Vplyv teploty

- zvyšovanie **teploty** znižuje pevnosť v plasticite a zároveň oslabuje horninu. To znamená, že ak sa hornina dostane do prostredia so zvýšenou teplotou, rýchlejšie prejde za medzu plasticity a k deformácii nebude potrebné napätie ako za bežných okolností.
- zvyšovanie teploty aktivuje procesy, ktoré prebiehajú na úrovni kryštalickej mriežky (difúzia a dislokácia), znižuje pevnosť horniny, ktorá sa takto stáva duktilnou.
- zvyšovaním teploty klesá napätie potrebné na jeho deformáciu. To vo všeobecnosti platí aj pre metamorfózu hornín, ktorá prebieha pri zvýšených teplotách. Takto zmenené horniny vykazujú znaky duktilnej deformácie pri pôsobení napätia, ktoré v krehkej vrchnej kôre za normálnych teplotných podmienok deformuje horniny krehko.

# Krivky testovania mramoru pri meniacej sa teplote



# Vplyv deformačnej rýchlosti

- zvyšovanie **deformačnej rýchlosti**, čiže zníženie času počas ktorého je hornina vystavená deformácii, znamená zvýšenie napätia pôsobiaceho na horninu,
- zvýšená miera deformácie spôsobí, že hornina sa stáva odolnejšou voči duktilnej deformácii a deformuje sa krehko,
- pri nízkej deformačnej rýchlosti (v prípade dlhodobej deformácie) sa znižuje pevnosť a hornina sa deformuje duktilne pri nízkom diferenciálnom napätí,
- Napätia, ktoré môžu krátkodobým pôsobením spôsobiť v materiáli elastické zmeny, ju dlhodobým pôsobením trvalo deformujú,
- predlžovaním času, počas ktorého je hornina vystavená deformačným silám, t.j. znižovaním **deformačnej rýchlosti** sa zvyšuje duktilita a znižuje pevnosť hornín.

# Vplyv všesmerného tlaku

- za bežných okolností sú horniny v zemskej kôre okrem deformačného napätia vystavené pôsobeniu **litostatického tlaku** nadložných hornín.
- tento tlak je všesmerný a izotrópny. Spôsobuje objemové zmeny a má významný vplyv na pevnosť hornín.
- pod vplyvom všesmerného tlaku sa jednotlivé zrná v hornine pritláčajú k sebe, hornina je kompaktnejšia a odolná voči sklzu.
- jeho veľkosť závisí od hĺbky pochovania a hustoty hornín.
- Nárastom litostatického tlaku a teda aj hĺbky pochovania sa materiál chová plastickejšie a je odolný voči krehkej deformácii.
- Vo všeobecnosti platí, že s nárastom litostatického tlaku rastú aj obe medze pevnosti hornín (v plasticite, aj v lome).

# Vplyv tlaku pórových fluíd

- zvýšená **prítomnosť fluíd** (predovšetkým vody) môže v horninovom prostredí výrazne ovplyvniť celkovú deformáciu.
- prítomnosť fluid v kryštálovej mriežke znižuje pevnosť v plasticite a znižuje veľkosť potrebného diferenciálneho napätia,
- tlak pórových fluíd pôsobí proti všesmernému tlaku a vytvára protitlak, ktorý redukuje alebo eliminuje všesmerné napätie.
- tlak pórových fluid je príčinou krehkej deformácie v hĺbkach.
- niekedy dochádza k rozpučaniu hornín vysokým tlakom fluíd, čo označujeme ako hydrofrakturácia.

# Reologické vlastnosti a pevnosť litosféry

- charakter deformácie v litosfére závisí od pevnosti hornín a mení sa s hĺbkou.
- pre litosféru vo všeobecnosti platí, že vrchná časť zemskej kôry je krehká a smerom do plášťa so stúpajúcou teplotou a tlakom nadobúda duktilny charakter. Preto sa pre jednotlivé časti litosféry vybrali tri minerály, ktoré sú v nich obzvlášť bežné, a preto majú osobitný význam.
- najvýznamnejším minerálom vrchnej kôry je **kremeň**, ktorý je súčasťou množstva hornín. Kremeň má relatívne malú pevnosť a preto sa deformuje krehko až do teploty cca 300 – 350° C, čo zodpovedá hĺbke kôry okolo 10 – 12 km.
- spodnú časť kôry kontroluje **živec** s dobre vyvinutou klivážou. Deformuje sa krehkým spôsobom až do 500° C v hĺbkach 20 – 30 km. Potom sa správajú duktilne a určujú charakter celej deformácie.
- vo vrchnom plášti dominuje **olivín**, ktorý je krehký až do hĺbky ~ 50 km, potom prechádza do duktilnej deformácie.



- významnú úlohu má prítomnosť fluíd, ktoré znižujú pevnosť,
- väčšie množstvo fluíd vo vrchnej kôre môže spôsobiť duktilnú deformáciu kremeňa pri nízkom diferenciálnom napätí,
- podľa prítomnosti fluíd sa rozlišuje "suchá" a "vlhká" báza kôry,
- vrchná kôra je kontrolovaná reológiou mokrého kremeňa a preto je najslabšia, ľahko odolná krehkej deformácii,
- pomerne pevná je spodná kôra, kde dominuje suchý plagioklas, správajúci sa duktilne,
- najpevnejšie sa prejavuje vrchný plášť, ktorý je kontrolovaný olivínom. Oceánska kôra je oveľa pevnejšia, ako kontinentálna aj napriek menšej hrúbke.

