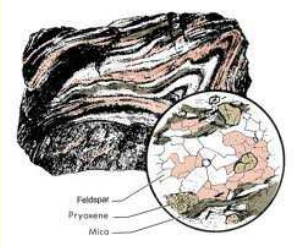
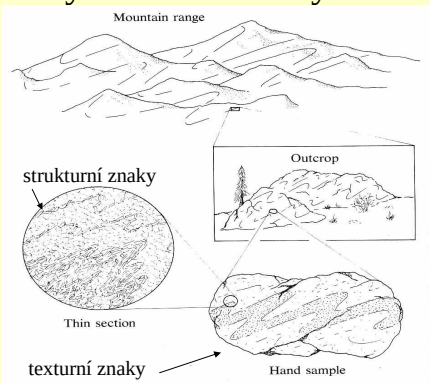
Petrologie G3021

2. Stavby metamorfovaných hornin



Stavby metamorfovaných hornin

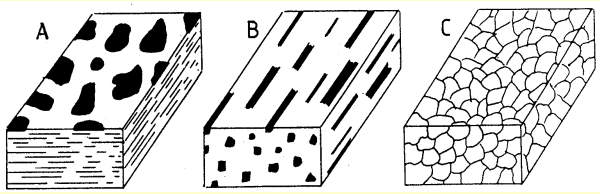


Dnes někteří autoři nerozlišují textury a struktury ale zahrnují tyto stavební prvky pod jeden společný název **STAVBA**.

- **Hlavním dělítkem je makroskopicky patrná isotropie nebo anisotropie horniny:**

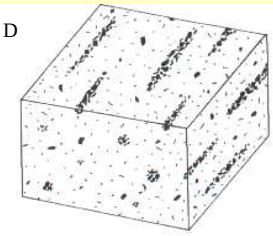
- **všesměrná** (masivní) — v horninách bez lineace a foliace (karbonáty, serpentinity, eklogity).
- **lineárně paralelní** — v horninách s lineací a bez foliace (stébelnatá rula, některé amfibolity)
- **plošně paralelní** — v horninách s foliací a bez lineace
- **lineárně - plošně paralelní** — je vyvinuta lineace i foliace

Podle výraznosti paralelní textury je možno rozlišovat paralelní texturu velmi výraznou, málo výraznou a nevýraznou.



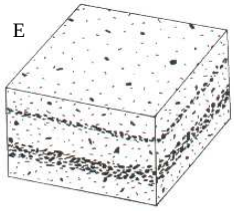
A - plošně paralelní (foliace), B - lineárně paralelní (lineace), C - všesměrná

D



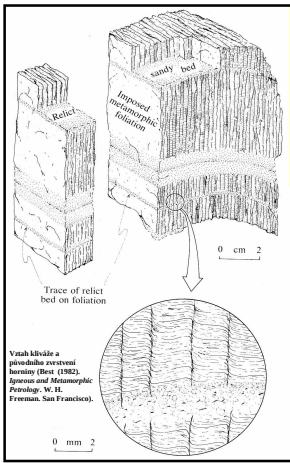
stébelnatá — hornina se skládá z rovnoběžných, tence válcovitých útvarů

E



páskovaná — střídání poloh lišících se barvou, zrnitostí apod.
- jemně páskovaná (pásky v mm)
- hrubě páskovaná (pásky v cm)
- lavicovitě páskovaná (pásky v dm)

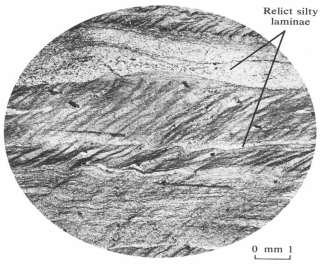
D - stébelnatá, E - páskovaná



Vztah kliváže a původního uvrstvení horniny (Best (1982). *Igneous and Metamorphic Petrology*. W. H. Freeman. San Francisco).

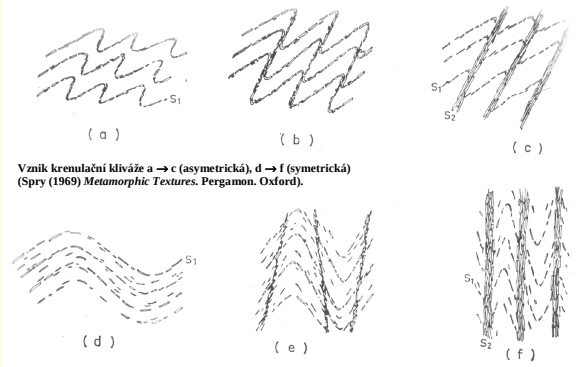
Kliváž

- hustá soustava paralelních nebo subparalelních trhlin, které pronikají celým tělesem.
- jde o druhotně vzniklé plochy skutečného nebo častěji jen potenciálního rozpadu hornin (např. po zvětrání)
- jejich vznik není doprovázen celkovou rekrystalizací horniny



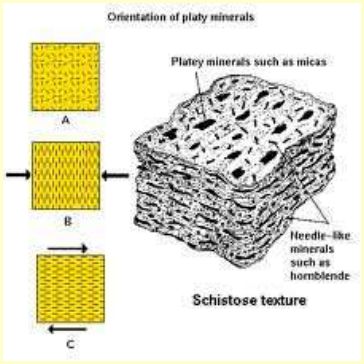
Krenulační kliváž:

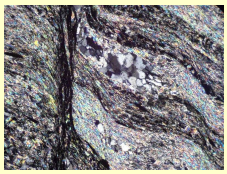
- Vzniká v jemně zvrásněných (krenulovaných) horninách redistribucí fylosilikátů do ramen drobných vrásek a světlých minerálů do zámků těchto vrásek.



Vznik krenulační kliváže a → c (asymetrická), d → f (symetrická) (Spry (1969) *Metamorphic Textures*. Pergamon. Oxford).

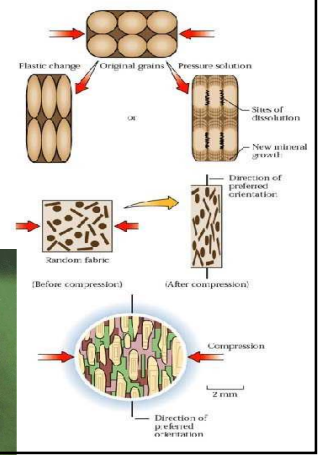
- **Foliace:** plošně paralelní uspořádání destičkovitých minerálů (převážně fylosilikátů) v důsledku působení orientovaného tlaku.





Vznik metamorfní foliace

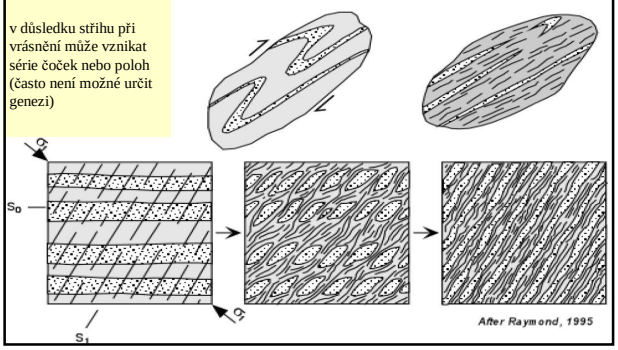
1) Mechanická rotace tabulkovitých a protažených zrn
2) Tlakové rozpouštění, plastická deformace
3) Orientovaný růst vnucený napěťovým polem.



Vznik nové metamorfní foliace

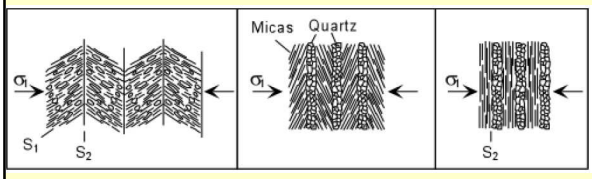
1) Původní zvrstvení (páskování, žilky) je ovlivněno směrným tlakem
2) V důsledku směrného tlaku vzniknou čočky
3) Protažením a rekrystalizací čoček vzniká nové páskování (foliace)

v důsledku střihu při vrásnění může vznikat série čoček nebo poloh (často není možné určit genezi)

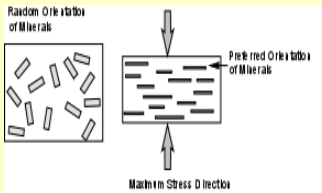


Vznik nové metamorfní foliace

1) V důsledku směrného tlaku vzniknou pásy zalomení „kink-bands“
2) Nová foliace vzniká podél osních rovin těchto pásy zalomení
3) Dochází k tlakovému rozpouštění křemene a vzniká nové páskování (foliace)

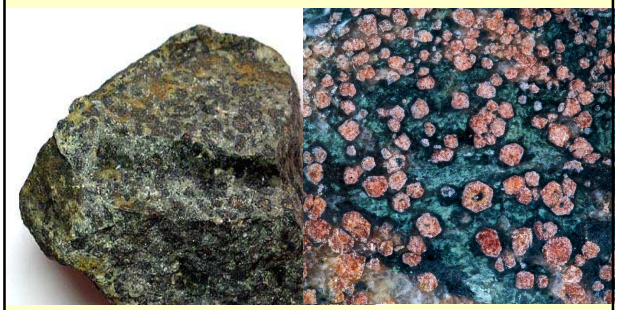


- **Lineace:** přednostní uspořádání sloupcovitých minerálů (např. amfibolů)

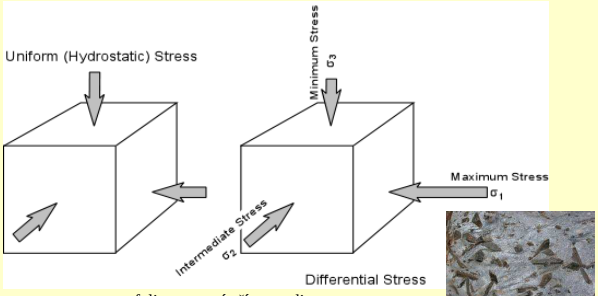


- Stébelnatá rula - lineárně paralelní textura

- **Všesměrná stavba**



- Eklogit - všesměrná textura

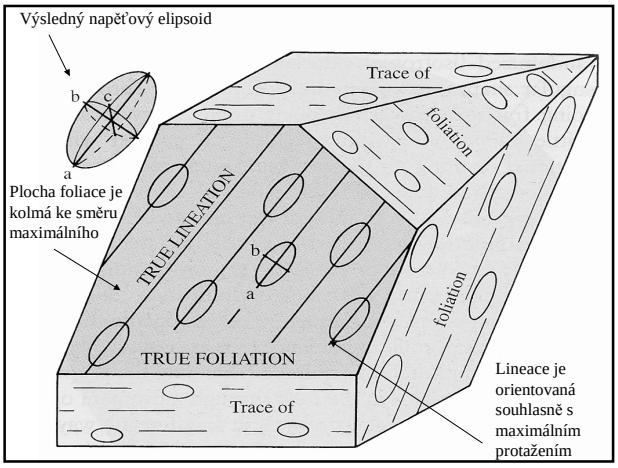


- $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 \rightarrow$ foliace a není přítomna lineace
- $\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3 \rightarrow$ lineace a není přítomna foliace
- $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 \rightarrow$ foliace a lineace

- Stébelnatá rula - lineárně paralelní textura

- Fylit - plošně paralelní textura

- Eklogit - všesměrná textura



Speciální texturní znaky

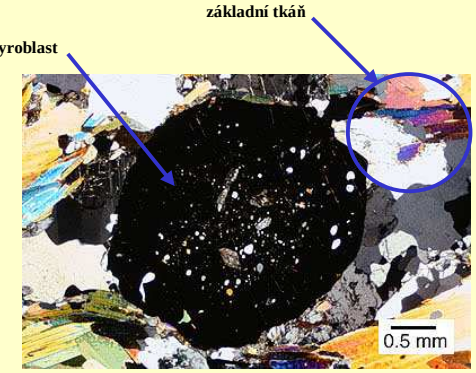
- 1) Skvrnitá
- 2) Okatá
- 3) Plodová
- 4) Plástevnatá

- **plástevnatá** — tabulkovitě odlučné polohy potaženy slídami
- **stébelnatá** — hornina se skládá z rovnoběžných, tence válcovitých útvarů
- **dynamofluidální** — připomíná fluidální texturu vyvřelin, ale vznikla tektonickým pohybem (hlavně v mylonitech).
- **okatá** — vzájemně se nedotýkající okrouhlé nebo mírně protáhlé útvary (oka), složené z jednoho nebo více zrn, uložené v jemnozrnnější hmotě
- **čočkovitá** — čočkovité útvary nahloučené jeden na druhém
- **brekciovitá** — ostrohranné úlomky
- **skvrnita** — barevná nestejnorodost podmíněná shluky minerálů, grafitického nebo rudního pigmentu apod.
- **pórovitá (kavernosní)** — vzniká v metamorfovaných horninách většinou jen druhotně selektivním vyvětráváním, vzácně se vytváří i při metasomatóze, např. při dolomitizaci krystalických vápenců (zmenšení objemu)

STRUKTURY METAMORFOVANÝCH HORNIN

Základní termíny:

- **krystaloblast** — minerál vzniklý během metamorfózy (bez ohledu na velikost, tvar a stupeň idiomorfie)
- **holoblast** — krystaloblast, který se během metamorfosy vytvořil jako úplně nová součást, nikoli dorůstáním zárodku z výchozí horniny
- **idioblast** — krystaloblast omezený vlastními krystalografickými plochami
- **xenoblast** — krystaloblast bez vlastního krystalografického omezení
- **porfyroblast** — krystaloblast, převyšující svou velikostí značně krystaloblasty ostatní (může být idioblastický i xenoblastický)
- **glomeroblast** — shluk několika krystaloblastů téhož minerálu
- **komuloblast** — shluk krystaloblastů různých minerálů, tvořící v hornině samostatné útvary
- **základní tkáň** —souhrn menších krystaloblastů vyplňujících prostor mezi porfyroblasty popř. glomeroblasty nebo kumuloblasty, ekvivalent základní hmoty vyvřelin (obdobně jako porfyroblast je ekvivalent porfyrické vyrostlice).



Krystaloblastické struktury dělíme podle toho, zda se předmetamorfní struktura uchovala (aspoň zčásti), nebo neuchovala:

I) reliktní struktury

- blastoporfyrická, blastopsamitická, blastogranitická, blastoaleuritická, blastoofitická, blastopelitická, blastopsefitická atd.

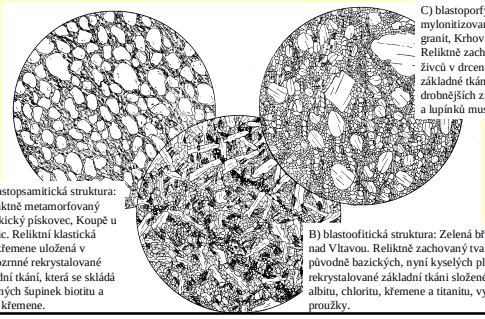
Reliktní struktura - metakonglomerát *obsahující deformované valouny.*

II) rekrystalizační

- granoblastická, nematoblastická, lepidoblastická atd.

I) Reliktní struktury

- vyskytují se v horninách v nichž metamorfóza zcela nesetřela původní strukturní nebo minerální uspořádání horniny
- horninu pojmenujeme stejným názvem jako její nemetamorfovaný ekvivalent pouze užijeme předponu meta- (např. metagabro, metakonglomerát)
- struktury mají předponu blasto- (blastopsamitická).



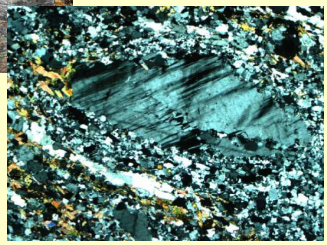
C) blastoporfyrická struktura: mylonitizovaný muskovitický granit, Krhovice u Znojma. Reliktně zachované vyrostlice živců v drcené a rekrystalované základné tkáni složené z drobnějších zrn živců, křemene a lupínků muskovitu.

A) blastopsamitická struktura: Kontaktně metamorfovaný algonkický pískovec, Koupě u Hudčic. Reliktní klastická zrna křemene uložená v jemnozrnné rekrystalované základní tkáni, která se skládá z jemných šupinek biotitu a zrnek křemene.

B) blastoofitická struktura: Zelená břidlice, Kralupy nad Vltavou. Reliktně zachovaný tvar a uspořádání lišt původně bazických, nyní kyselých plagioklasů v rekrystalované základní tkáni složené z drobného albitu, chloritu, křemene a titanitu, vytvářejícího proužky.

- **Porfyroklast:** relikty původních vyrostlic v deformované hornině

Porfyroklast draselného živce v ortorule (Mongolsko)



Porfyroklast draselného živce v mylonitu (Mongolsko)

II) Rekrystalizační struktury

- Rekrystalizační struktury rozlišujeme podle několika hledisek:

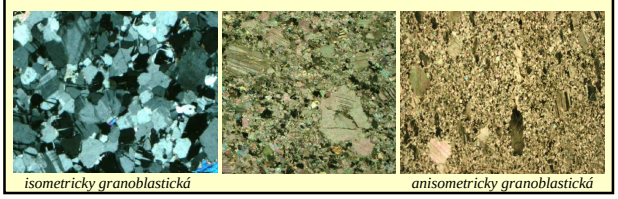
1. Podle tvaru minerálních součástek:

a) Granoblastická - součástky mají tvar zrn, tj. nejsou omezeny rovnoběžnými plochami

- *isometricky granoblastická* - zrna mají tvar blížící se kouli
- *anisometricky granoblastická* - zrna jsou protáhlá (asi jako zrna pšenice) pro přechodné případy se ponechá jen základní termín - struktura granoblastická
- ➢ *odrůdy granoblastické struktury podle omezení zrn:*

1) dlažbovitá - omezení zrn rovné

2) suturovitá - okraje zrn jsou výrazně členité, vykrajované

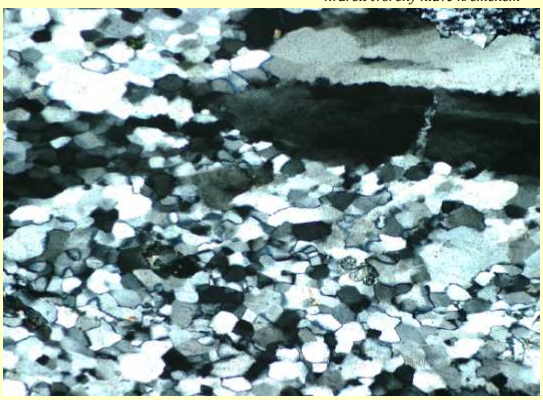


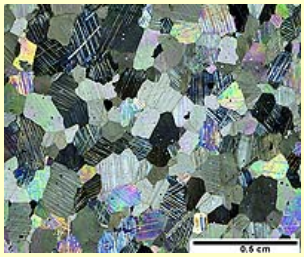
isometricky granoblastická *anisometricky granoblastická*

a) Granoblastická struktura

- tvořena minerály s izometrickými zrny

kvarcit tvořený hlavě křemenem

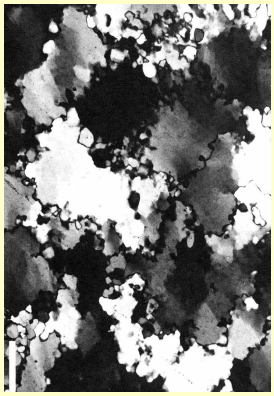




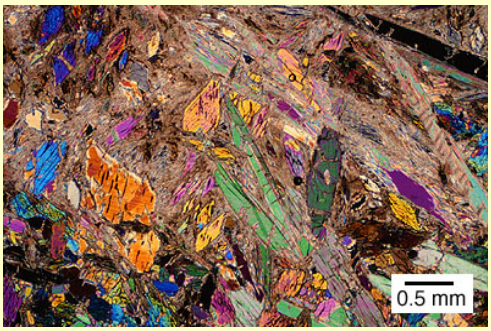
dlažbovitá struktura: mramor

Krajními případy suturovité struktury jsou:

1) struktura zubovitá (okraje zrn jsou ostrohraně členité)
2) laločnatá (okraje zrn jsou oble členité)

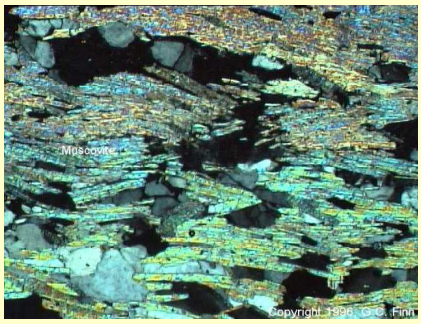


suturovitá struktura: kvarcit



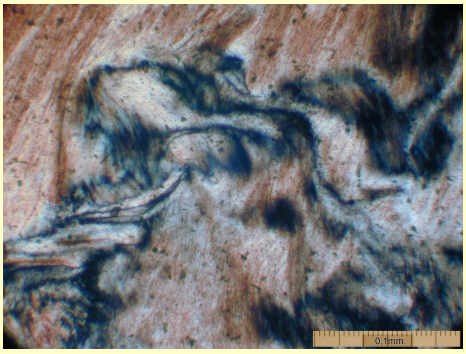
b) Nematoblastická struktura

- charakterizována převahou sloupcovitých nerostů
- *na obrázku je tremolitová břidlice s mastkem (lepidonematoblastická struktura)*



c) Lepidoblastická struktura

- převaha lupenitých součástek většinou fylosilikátů (např. slídy, chlority).
- *na obrázku je sericitická břidlice (muskovit + křemen) s granolepidoblastickou strukturou*

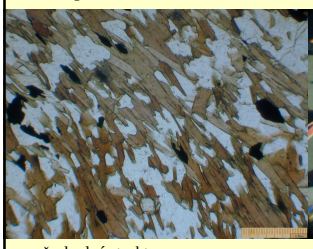


d) Fibroblastická struktura

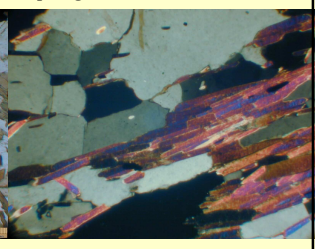
- odrůda struktury nematoblastické (sillimanit)

- velmi často jde o kombinaci dvou struktur
- první část nazvu obsahuje méně podstatný znak

Granolepidoblastická



Lepidogranoblastická

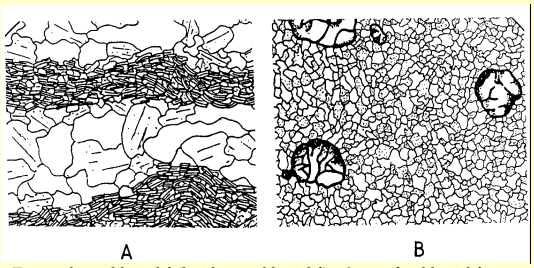


přechodné struktury

- ➢ lepidogranoblastická - zrnitých součástek více než lupenitých
- ➢ granolepidoblastická - lupenitých součástek více než zrnitých,
- ➢ nedoporučuje se skládat název víc jak ze dvou předpon, třetí nejméně významnou strukturní složku vynechat, pokud není zvlášť potřeba ji vyjádřit

2) Podle relativní velikosti minerálu vyskytujících se v hornině

- ***a) homeoblastická:*** přibližně stejně velké součástky
- ***b) heteroblastická:*** různě velké součástky, netvoří se však porfyroblasty
- **c) *porfyroblastická*** v hornině se vytvářejí relativně velká minerální zrna - porfyroblasty vzhledem k velikosti minerálních zrn základní hmoty

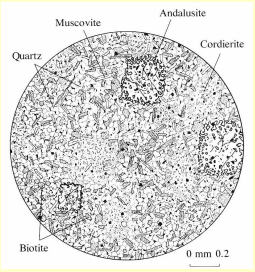


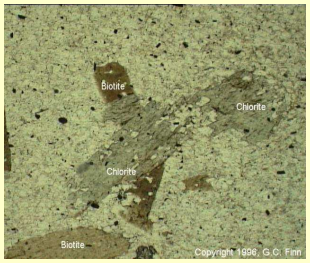
Textura heteroblastická (lepidogranoblastická) - **A** a porfyroblastická s granoblastickou základní hmotou - **B**.

Porfyroblast

- zrno výrazně větší velikosti než okolní minerály
- rostou při metamorfóze jde o minerály s velkou krystalizační silou

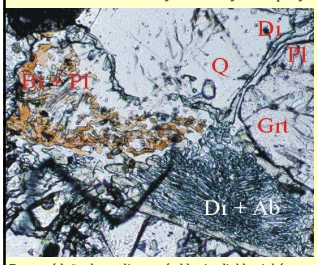
- porfyrogranoblastická — porfyroblasty ve tvaru zrn
- porfyrolepidoblastická — porfyroblasty ve tvaru lupínků
- porfyronematoblastická — porfyroblasty ve tvaru sloupců
- základní tkáň se obvykle charakterizuje zvlášť (např.: struktura porfyroblastická s lepidogranoblastickou strukturou základní tkáně)



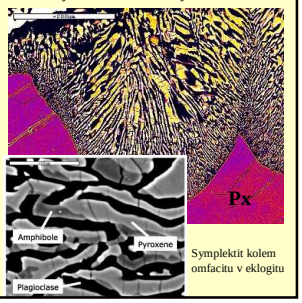


3) Podle vzájemného sepětí součástek

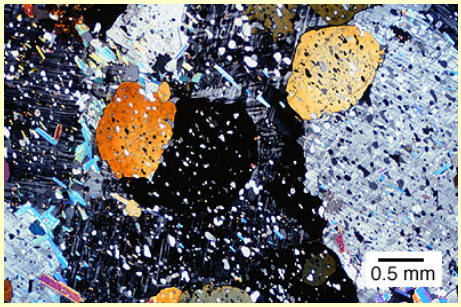
- poikiloblastická — větší krystaloblasty uzavírají mnoho krystaloblastů drobných
- glomeroblastická — shluky složené z několika individuí téhož minerálu
- kumuloblastická — shluky složené z několika individuí různých minerálů
- diablastická (symplektitická)—součástky se detailně prorůstají
- kokardová — větší krystaloblasty obklopeny obrubou krystaloblastů drobnějších korosní



Retrográdně rekrystalizovaný eklogit: diablastická (symplektitická) struktura Di+Ab



Symplektit kolem omfacitu v eklogitu



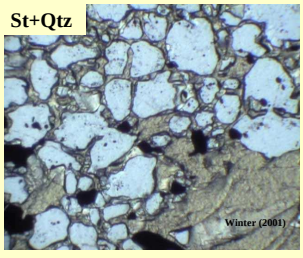
Poikiloblast

- zrno metamorfního minerálu, které v sobě uzavírá drobná zrna jiného minerálu

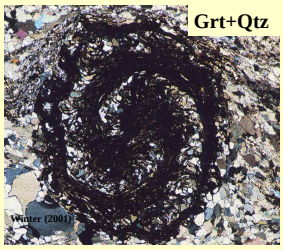
cedníkovitá (odrůda poikiloblastické s.)

- větší krystaloblasty uzavírají velké množství isometrických krystaloblastů
- někdy mohou objemově převažovat uzavíraná zrna nad uzavírajícím minerálem a vzniká tak skeletovitá struktura

St+Qtz



Grt+Qtz



helicitická

- zrna obsahují uzavřeniny seřazené do rovnoběžných (rovných i zprohýbaných) pruhů

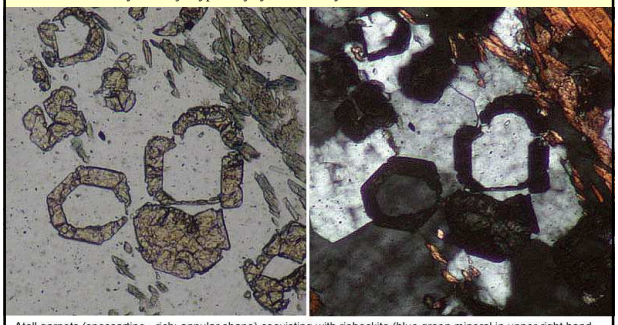
Speciální struktury

kelyfitická

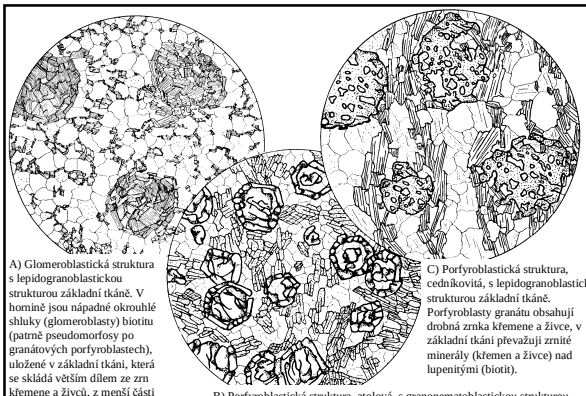
- zrna granátu jsou na okrajích druhotně přeměněna na obrubu vláknitých minerálů - serpentinity

atolová

- vnitřek okrouhlých zrn je vyplněn jinými minerály



Atoll garnets (spessartine - rich; annular shape) coexisting with riebeckite (blue green mineral in upper right hand corner of image) and quartz. Protolith: chert.



A) Glomeroblastická struktura s lepidogranoblastickou strukturou základní tkáně. V hornině jsou nápadné okrouhlé shluky (glomeroblasty) biotitu (patrně pseudomorfosy po granátových porfyroblastech), uložené v základní tkáni, která se skládá větším dílem ze zrn křemene a živců, z menší části z lupínků biotitu.

C) Porfyroblastická struktura, cedníkovitá, s lepidogranoblastickou strukturou základní tkáně. Porfyroblasty granátu obsahují drobná zrnka křemene a živce, v základní tkáni převažují zrnité minerály (křemen a živce) nad lupenitými (biotit).

B) Porfyroblastická struktura, atolová, s granonematoblastickou strukturou základní tkáně Vnitřky porfyroblastů granátu jsou místy vyplněny jinými minerály (hlavně křemen), které v porfyroblastu vytvářejí jakousi „lagunu"; v základní tkáni je sloupcovitého amfibolu o něco více než zrn křemene a plagioklasu.

- **4) Podle stupně idiomorfie součástek**

- idioblastická - všechny krystaloblasty nebo jejich značná většina má vlastní krystalografické omezení
- hypidioblastická - část má vlastní omezení, část ne
- xenoblastická - všechny krystaloblasty bez vlastního omezení

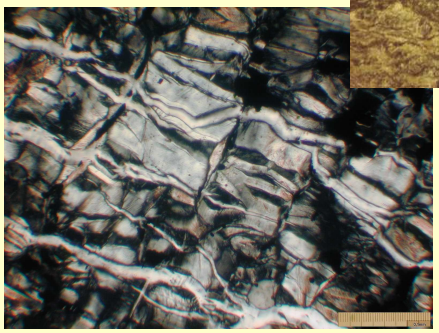
- **5) Podle absolutní velikosti minerálu vyskytujících se v hornině**

- makro ... (např. makrogranoblastická) — součástky jsou pouhým okem zřetelně viditelné. Předpony makro... se však užívá jen výjimečně, když je makroskopickou velikost součástek třeba zvlášť zdůraznit; nepoužije-li se předpony, pokládáme tuto velikost za samozřejmou
- mikro... (např. mikrolepidoblastická) — rozměry součástek jsou pod hranicí rozlišovací schopnosti lidského oka, přibližně pod 0,1 mm
- krypto... (např. kryptoblastická) — součástky mají velikost na hranici rozlišovacích možností polarizačního mikroskopu (pod tisícinami mm).

- **tyto pojmy se požívají vzácně většinou se hornina charakterizuje označením zrnitosti.**

Průměrná velikost zrna v mm	Označení zrnitosti
> 33	velkozrnná
33 – 10	velmi hrubozrnná
10 – 3,3	hrubozrnná
3,3 – 1	středně zrnitá
1 - 0,33	drobnozrnná
0,33 – 0,1	jemnozrnná
0,1 – 0,01	velmi jemnozrnná
0,01 – 0,001	celistvá

Struktury typické pro serpentinizované peridotity

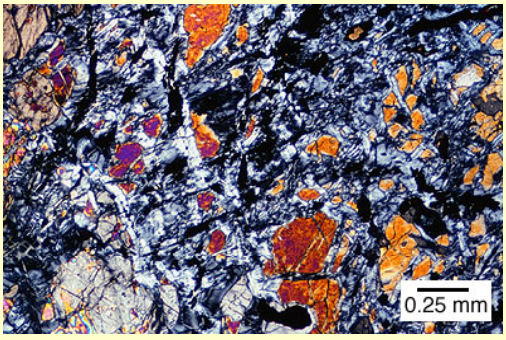


Mřížovitá struktura

- síťovité uspořádání minerálů serpentinové skupiny,
- polygony mezi touto sítí vyplňují také minerály serpentinové skupiny

Smyčková struktura

- ostrůvkovité relikty olivínu rozděleny nepravidelně probíhajícími pruhy



- *Minerály serpentinové skupiny obklopují zrna relikty zrn olivínu.*

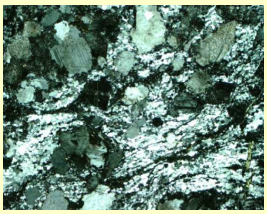
Deformační struktury:

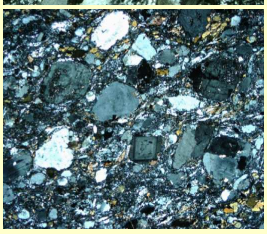
Podle charakteru deformace:

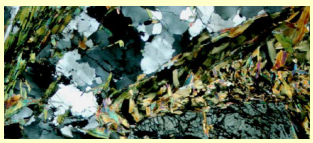
- tektonoplastická — deformace (stlačení, ohnutí) součástek bez rozpadu na drobnější zrna
- tektonoklastická — součástky drceny
- tektonoblastická — deformace s rekrystalizací

Podle intenzity deformace:

- kataklastická — zrna ohnuta, rozpraskána, částečně drcena, ale neztrácejí svůj tvar a velikost
- maltovitá — okraje zrn rozbity v drť
- porfyroklastická — v drti se zachovávají jen jednotlivá větší zrna, připomínající vyrostlice
- mylonitická — drť bez reliktů větších zrn





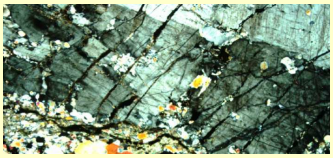


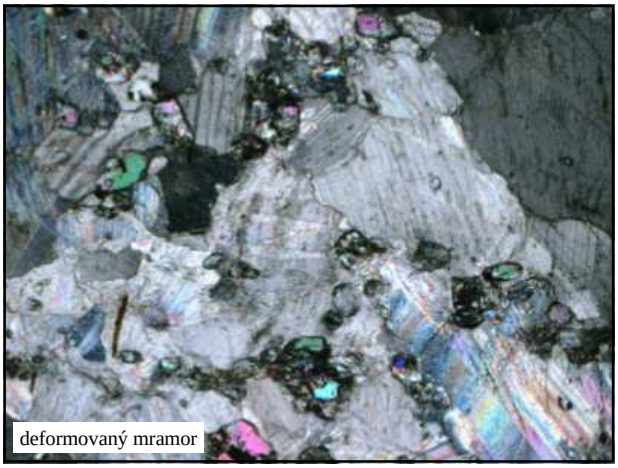
Deformace a metamorfóza

- během deformace a současné metamorfózy se mění velikost a tvar minerálních zrn.
- to je řízeno: 1) rychlostí deformace
  2) velikostí diferenciálního tokového napětí
  3) teplotou a všesměrným tlakem

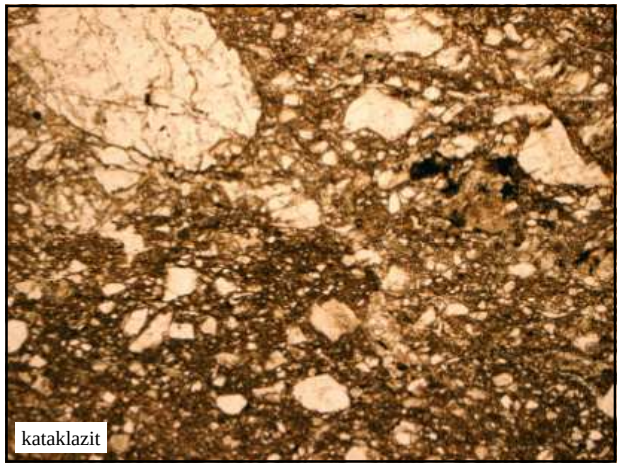
a) Kataklastické mikrostruktury

- ***Nízké teploty a vysoká rychlost deformace***
- ➢ jemné základní hmota a klasty ze zbylých nejodolnějších zrn → **kataklazity**
- rozlamovaná zrna vykazují silné undulózní zhášení, způsobené ohybem krystalové mřížky.
- ohyb mřížky vede často ke vzniku tzv. pásů zalomení (kink bands) u vrstevných silikátů,
- vznikají deformační lamely (plagioklasy, karbonáty) → mají vzhled velmi jemných linií uzavírajících čočkovitě nedeformované plochy

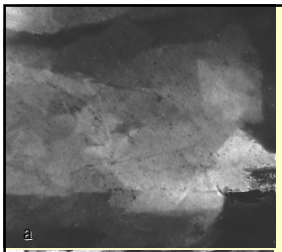


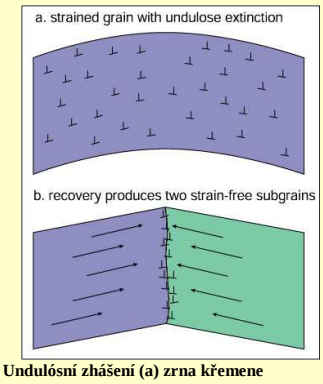


deformovaný mramor



kataklazit

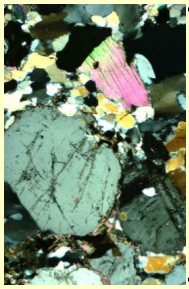




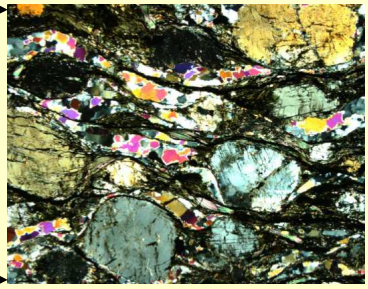
Undulósní zhášení (a) zrna křemene (undulose extinction) a rozpad zrna na řadu protažených subzrn (b). (Winter (2001) An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall.)

b) Dynamická rekrystalizace

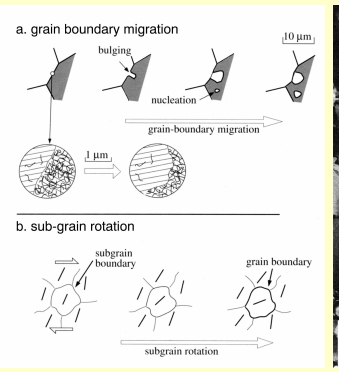
- při zvýšení teploty a/nebo snížení rychlosti deformace se zrno zmenšuje a vznikají subzrna
- subzrna mají podobnou velikost, kulaté tvary a nevykazují žádnou nebo malou interní deformaci
- zbylé klasty (porfyroklasty) naproti tomu vykazují silné undulozní zhášení
- při úplné rekrystalizaci agregátu může vzniknout polykrystalinní agregát tvořený stejně velkými okrouhlými zrny podobného zhášení

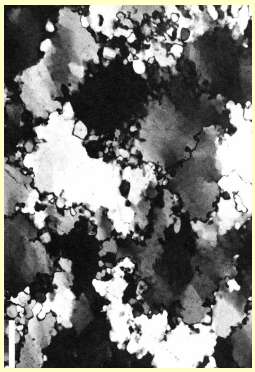


REKRYSTALIZACE



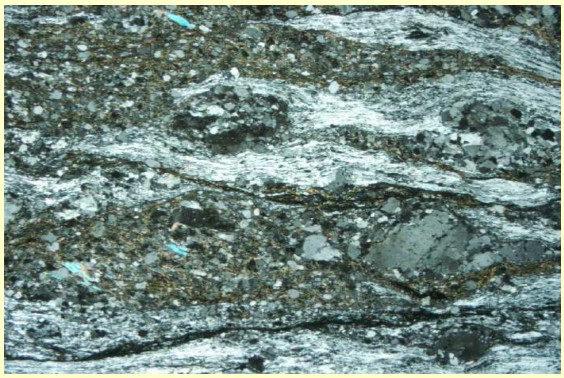
Rekrystalizace a rotace zrn

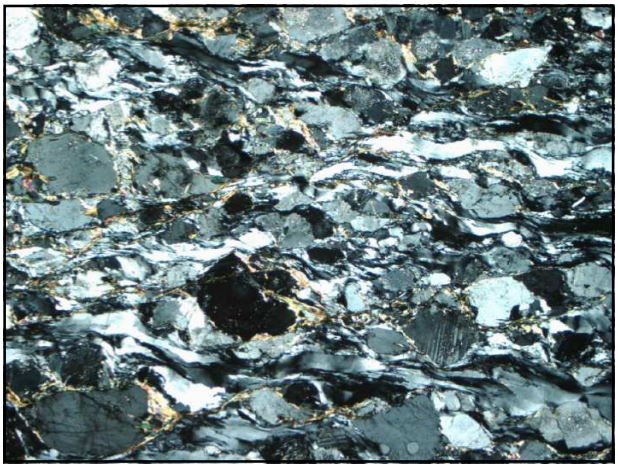


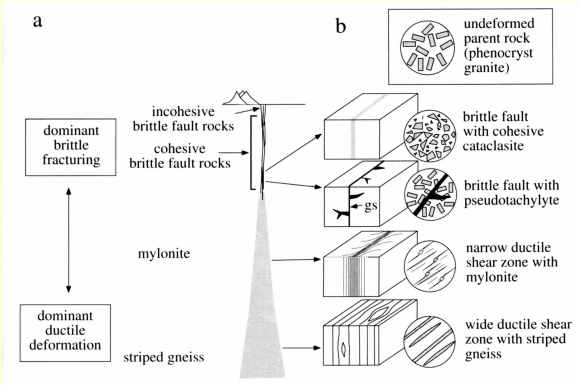


- v mylonitech nedochází jen k rozpadu větších zrn na menší a jejich rotaci
- mnohdy také rostou nová zrna často s jinou orientací než měla zrna v protolitu

- ***Nárůst teploty při vysoké rychlosti deformace vede k plastické deformaci***
- křemen se mění na silně protáhlá zrna
- minerály nerozlamují ale plasticky deformují







- Vývoj struktur na střižné zóně s hloubkou od křehké deformace po páskovanou rulu

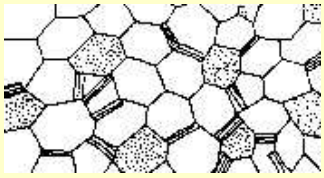
C) Statická rekrystalizace

- po ukončení deformace mají krystaly větší množství dislokací
- typická jsou nepravidelné hranice s vysokou povrchovou energií
- za vyšších teplot a vyšší aktivity fluid dojde k zotavení = statická rekrystalizace
- statická rekrystalizace se projevuje:

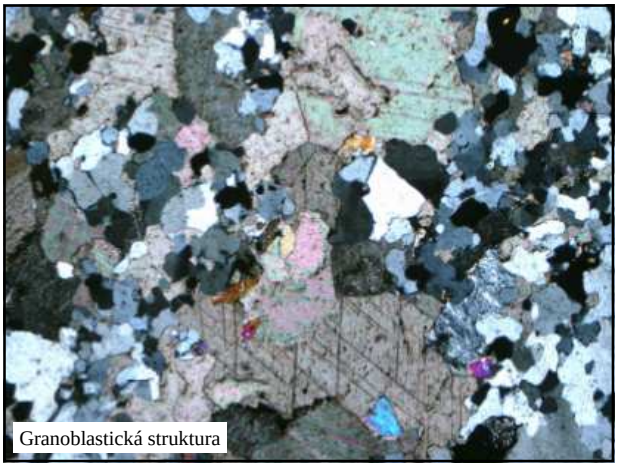
1) redukcí mřížkových defektů bez zhrubnutí zrna - primární rekrystalizace
2) zhrubnutím zrna - sekundární rekrystalizace

- statická krystalizace může vytvořit polygonální granoblastickou strukturu
- je typická pro kontaktní metamorfózu

dynamická rekrystalizace



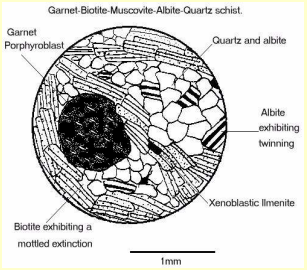
statická krystalizace

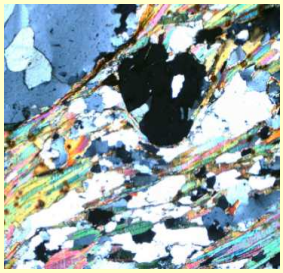


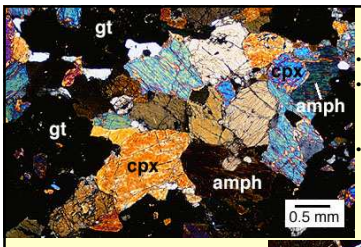
Granoblastická struktura

Jak charakterizovat stavbu horniny ?

- název struktury se volí podle toho hlediska, které je pro danou horninu nejvýznamnější, nikoli podle všech možných hledisek
- pokud je to vhodné, je možné sestavovat název podle dvou i více hledisek — např.: struktura xenoblasticky granoblastická, atolová nematogranoblastická
- složených názvů užíváme jen pokud jsou jazykově únosné
- v mnohých případech je vhodné vyjádřit názvem jen hlavní strukturní rys horniny a podrobnosti uvést v popisu



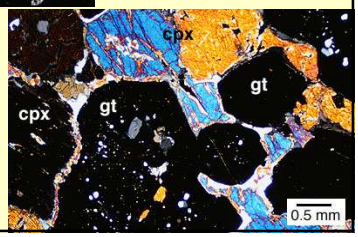




Retrográdní přeměny

- reliktní stavby
- původní minerální asociace se stane v podmínkách nižšího tlaku a teploty nestabilní
- je nahrazována minerální asociací za daných podmínek stabilnější

Retrográdně metamorfovaný eklogit. *Původní klinopyroxen je nahrazován amfibolem. Spodní obrázek ukazuje eklogit bez retrográdních přeměn (minerální asociace eklogitu je: cpx + gt + sp a retrográdně přeměněného je: cpx + gt + sp + amph).*

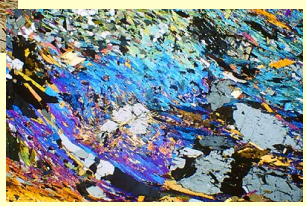


STRUKRURY INDIKUJÍCÍ NESTABILITU MINERÁLU

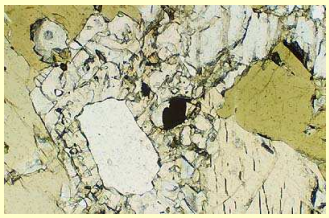
minerál za daných podmínek nestabilní

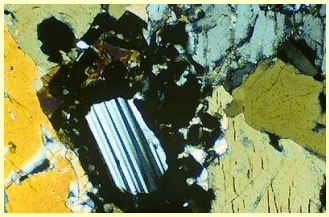
přemění se na minerál nebo několik minerálu, které jsou za daných podmínek stabilní

jestliže nové minerály zachovávají vnější tvar původního minerálu mluvíme o **pseudomorfóze**



Obr. 1 Pseudomorfóza muskovitu po kyanitu. Kyanit je v centru pseudomorfózy zachován (v rovnoběžných a zkřížených nikolech).



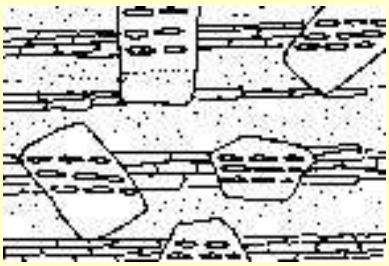


2) **Reakční koróny**

- vznikají kolem minerálů, které jsou v minerální asociaci dané horniny nestabilní
- koróna uchránila tento minerál před úplnou přeměnou
- koróny bývají většinou složeny ze dvou komplikovaně prorostlých minerálních fází

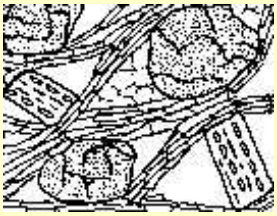
1/b) Koróna vznikla mezi plagioklasem a amfiboly obklopujícími plagioklasové zrno. Rovnoběžné a zkřížené nikoly.

Vztah metamorfózy a deformace



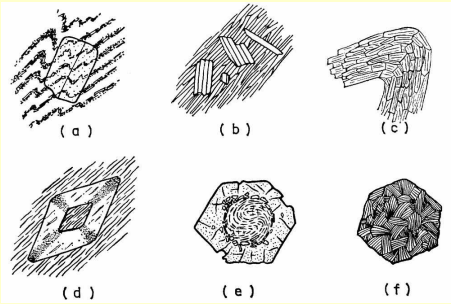
- 1) **Post-tektonická** stavba: Nová minerální asociace vznikla až po deformaci. Proto nové minerály přerůstají deformační stavby jako je foliace nebo vrásy.

- 2) **Syn-tektonická** stavba: Minerály nové minerální asociace rostou během deformace (např. rotovaný granát vznik foliace).

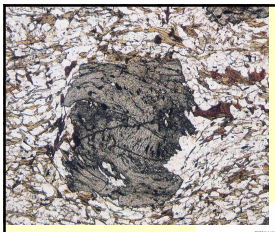


- 3) **Pre-tektonická** stavba minerály byly po svém vzniku postiženy deformací (vznikají tlakové stíny a undulózní zhášení).

Post-tektonické struktury

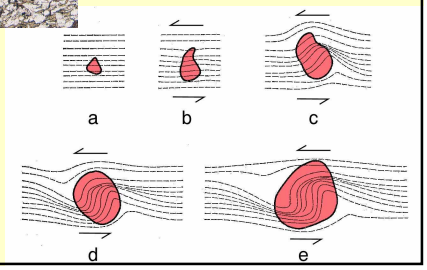


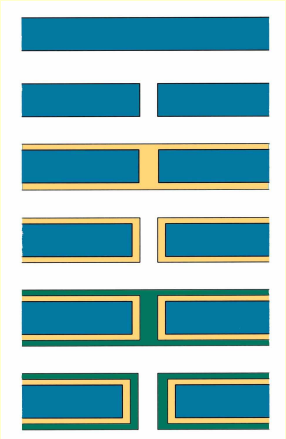
- **a.** Krystal přerůstající starší foliaci **b.** Náhodně orientované krystaly **c.** Polygonální vrásy **d.** Chiastolity **e.** Pozdní lem kolem granátu neobsahující inkluze **f.** Náhodně orientované agregáty v pseudomorfóze



Syn-tektonické struktury

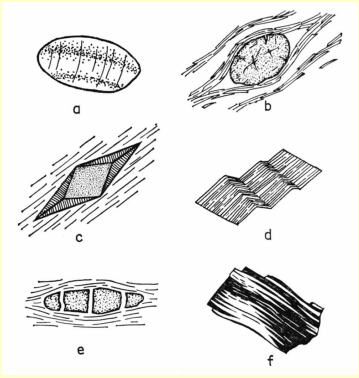
- Vznik rotovaného porfyroblastu



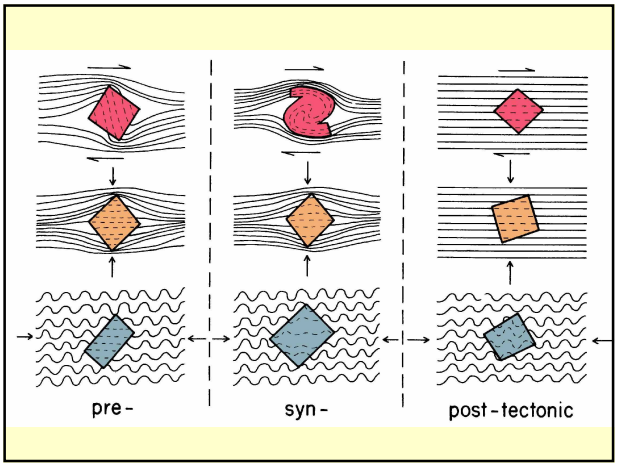


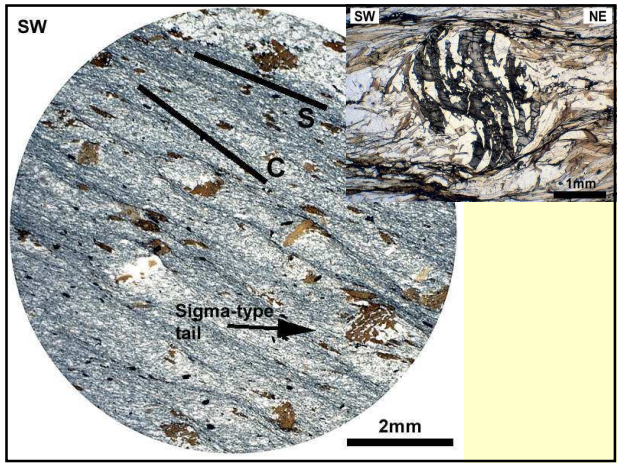
- **Syn-krystaliní mikrobudináž**
- struktura vzniká neustálým protahováním krystalu který současně dorůstá.

Pre-tektonické struktury



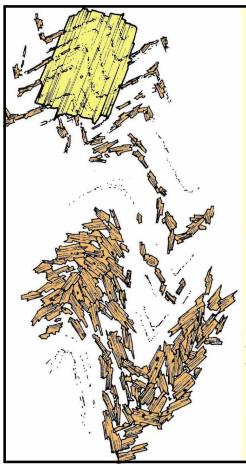
- a) Ohnutý krystal s undulosním zhášením
- b) Foliace obalená kolem porfyroblastu.
- c) Tlakové stíny
- d) Lomené vrstvy nebo plochy (Kink bands)
- e) Mikroboudiny
- f) Deformační dvojčatění



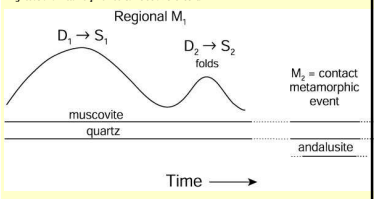


Deformační analýza metamorfovaných hornin

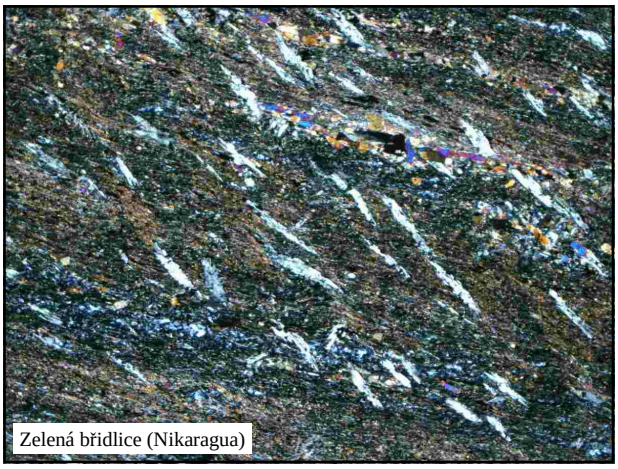
- Deformační událost: D_1 D_2 D_3 …
- Metamorfní událost: M_1 M_2 M_3 …
- Foliace: S_o S_1 S_2 S_3 …
- Lineace: L_o L_1 L_2 L_3 …



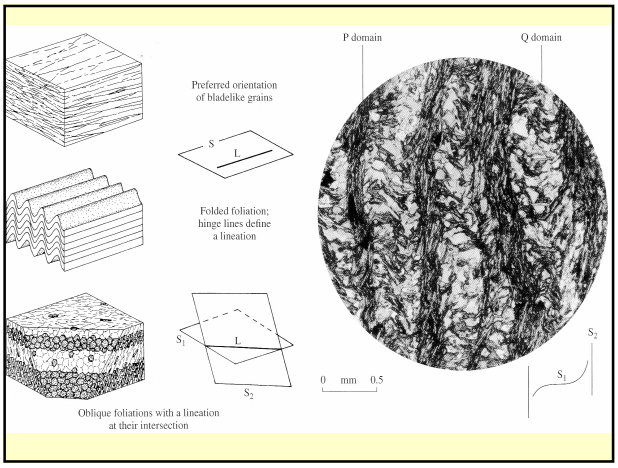
Struktura hypotetického svoru s porfyroblasty andalusitu. Bard (1986) *Microtextures of Igneous and Metamorphic Rocks*. Reidel. Dordrecht.



Grafická analýza vztahu mezi deformací (D), a metamorfózou (M). Winter (2001) *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall.

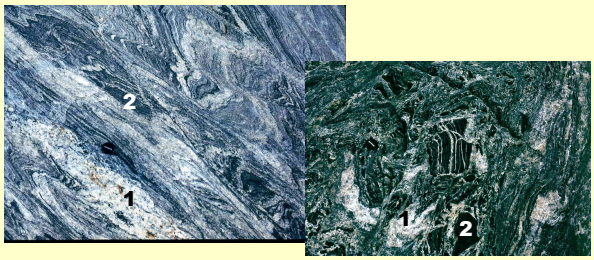


Zelená břidlice (Nikaragua)

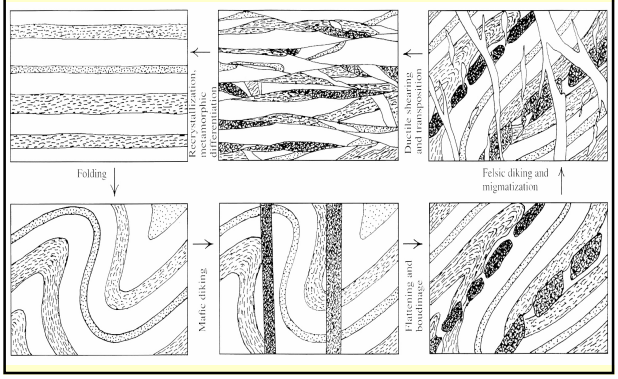


Migmatity

- migmatitizace postihuje hlavně pelity a bazické horniny
- 1) leukosom: tavenina (pelity: Qtz + Pl + Kfs ± slídy)
- 2) melanosom (restit): hornina ochuzená o taveninu (pelity: Grt + Bt + Sil + Pl + Qtz ± Cdr).



Polymetamorfní vývoj vulkanosedimentárního metamorfovaného komplexu



Literatura

- Dudek, A. - Fediuk F. - Palivcová M. (1962): Petografické tabulky
- Hejtman, B. (1962): Petrografie metamorfovaných hornin
- Konopásek, J. – Štípská P. – Klápová H. – Schulmann K . (1998): Metamorfní petrologie
- Naprostá většina obrazového materiálu pochází z celé řady internetových stránek věnujících se metamorfní petrologii