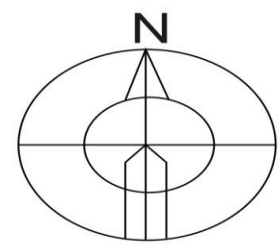
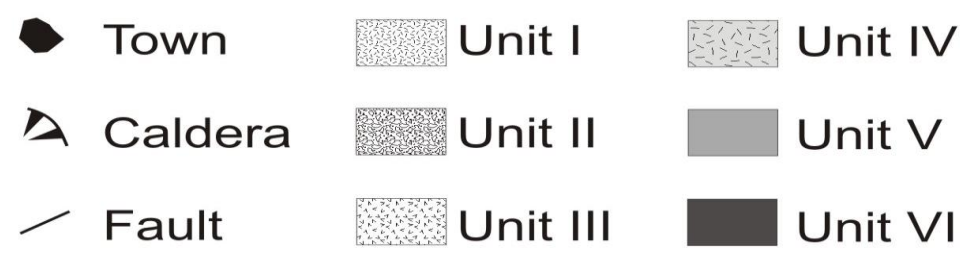
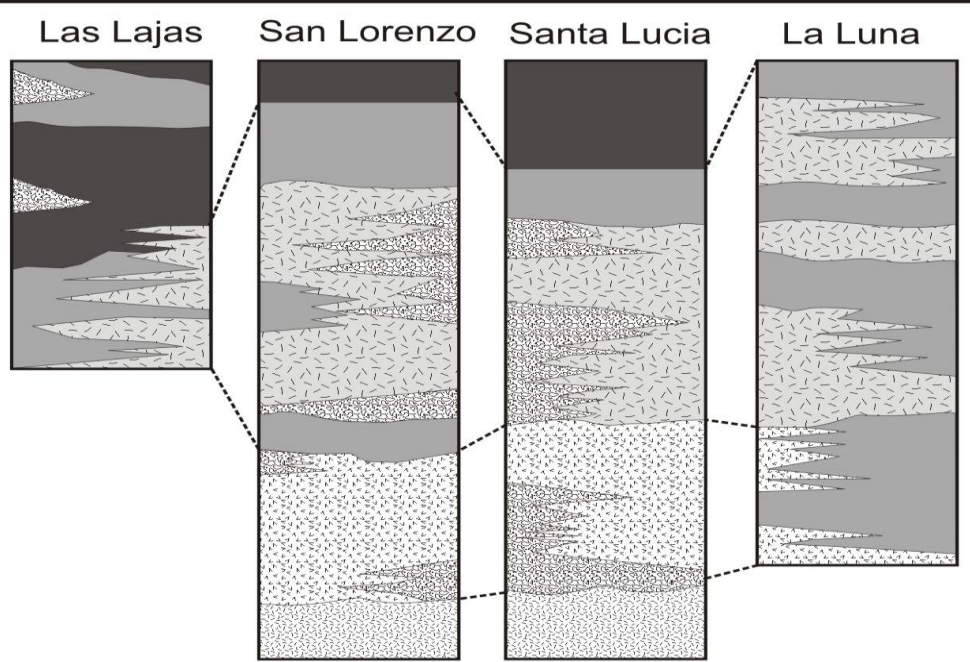
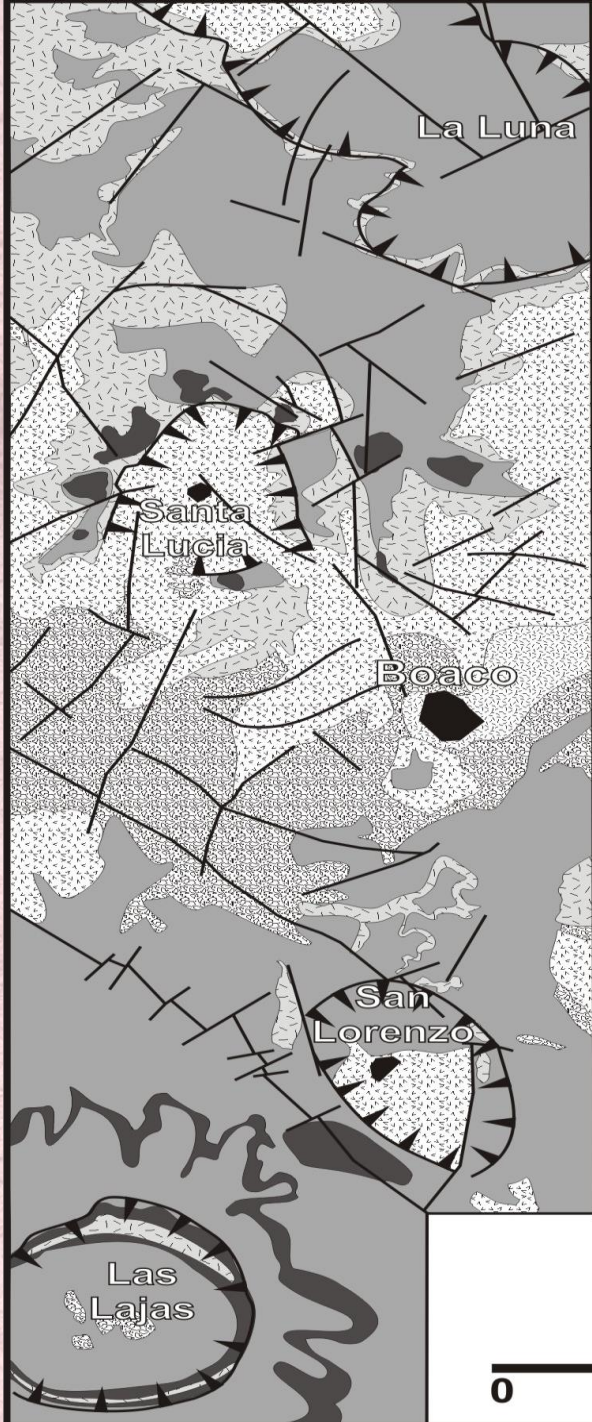


Vulkanizmus a jeho následky

I.

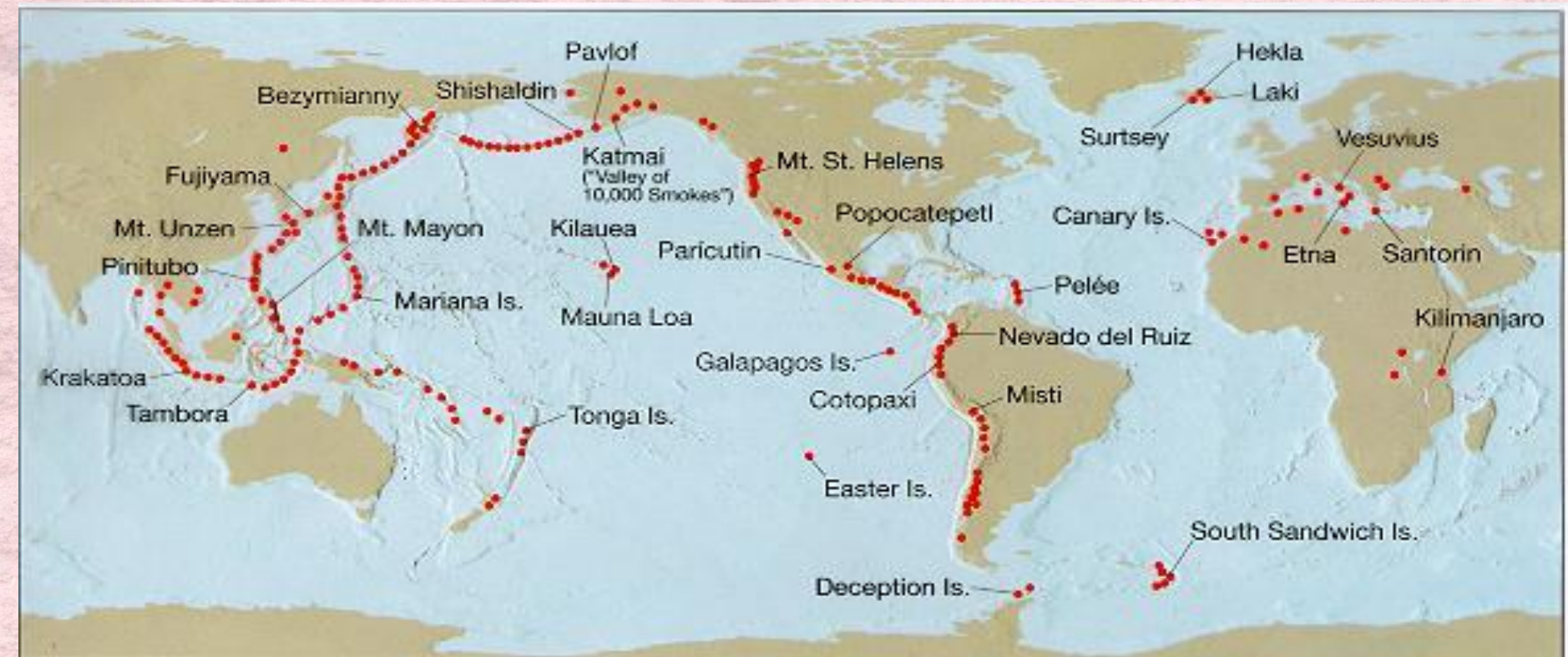
Úvod

David Buriánek

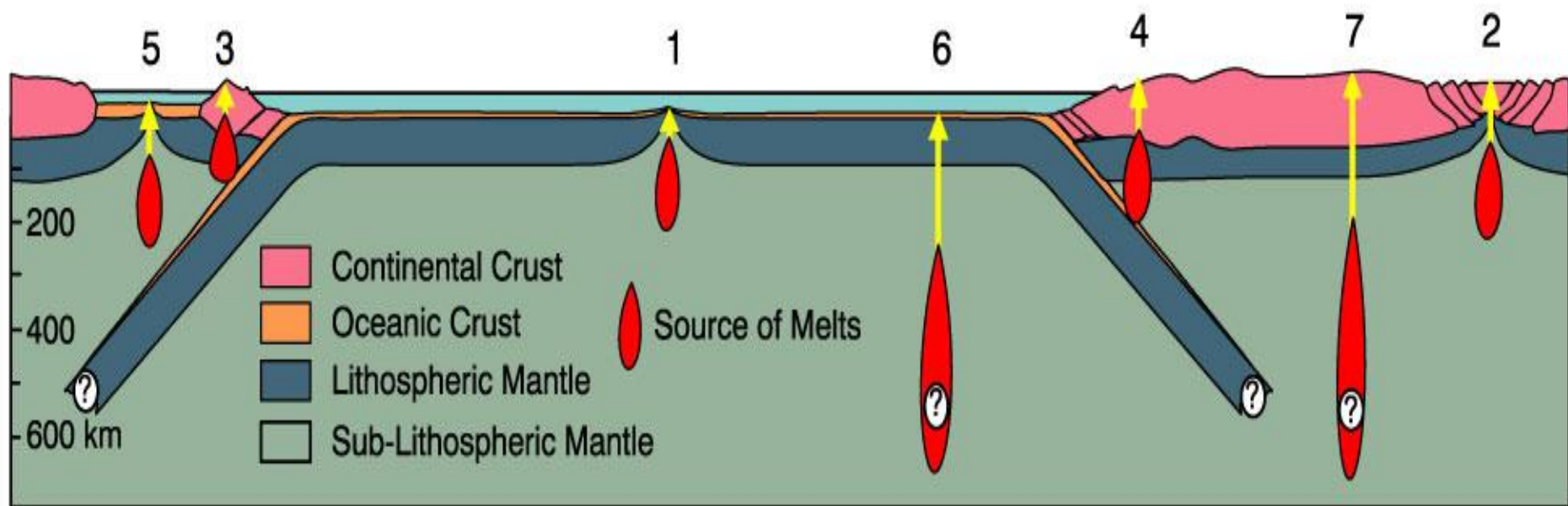


A. Kde najdeme vulkány?

- vznik většiny vulkanických hornin souvisí s deskovou tektoniku
- kolem 95% všech vulkanitů nachází na deskových rozhraních (Wyllie, 1971)
- vulkány uvnitř oceánské nebo kontinentální desky mají zdroj v plášti (Christiansen, 1987)
- v různých typech geotektonického prostředí je magma generováno:
 - odlišnými procesy
 - v různých hloubkových úrovních pláště nebo kůry



- I. u magmatu na horkých skvrnách se zdroj nachází v hloubkách nad 50 km
- II. u kontinentálního riftů je magma generováno z pláště a tavením kůry
- III. magma vázané na vulk. oblouky vzniká ve střední hloubce - několik desítek km
- IV. magma v orogenních oblastech vzniká magma v důsledek zvětšení mocnosti kůry



1. Středoocéánský rift (Mid-ocean Ridges), 2. Intrakontinentální rift (Intracontinental Rifts), 3. Ostrovní oblouk (Island Arcs), 4. Aktivní kontinentální okraj (Active Continental Margins), 5. Zaobloukový bazén (Back-arc Basins), 6. Vulkanické ostrovy (Ocean Island Basalts), 7. Různé intrakontinentální vulkanity (Intra-Continental Activity) = kimberlity, karbonatity, anortozity)

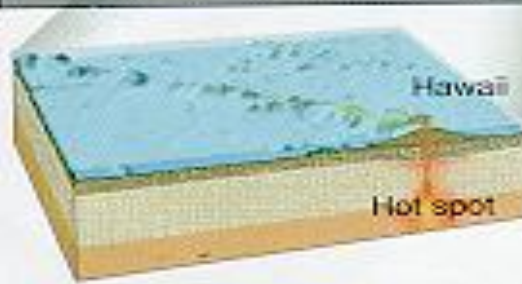
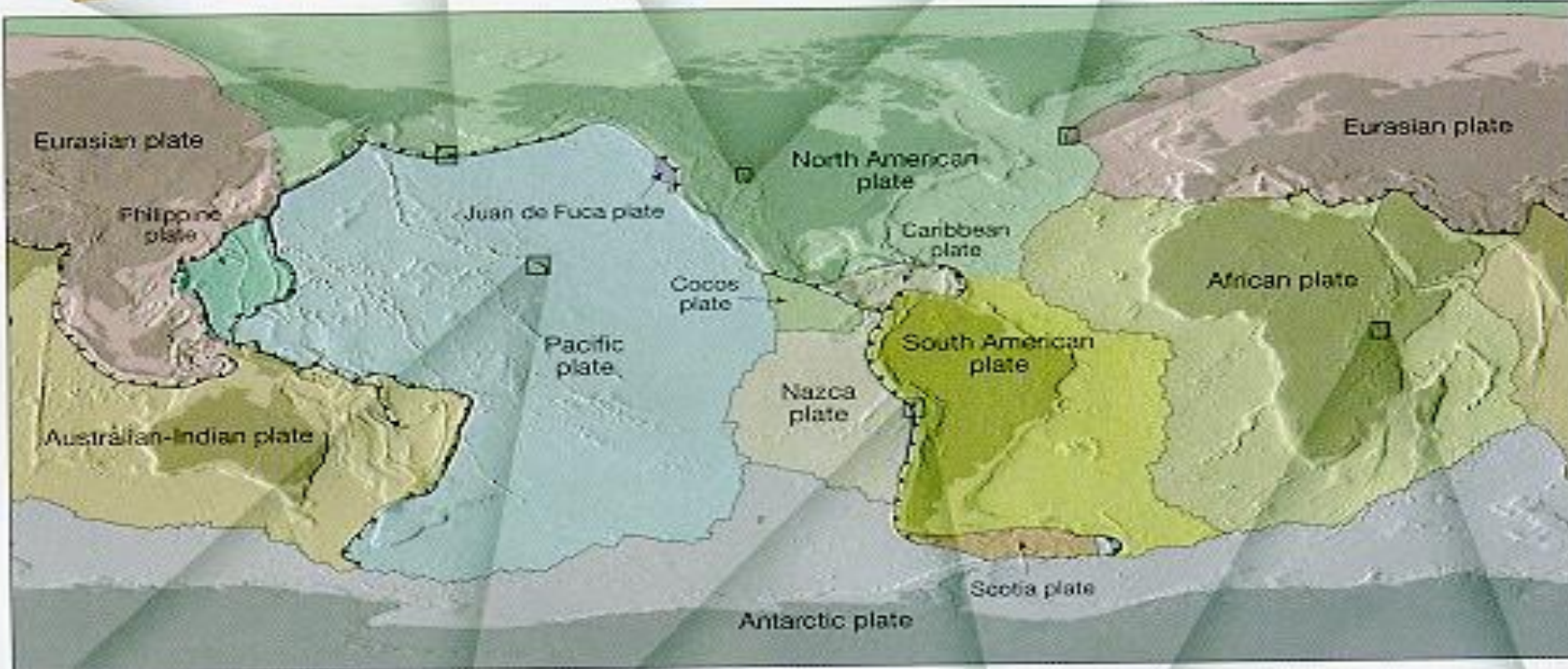
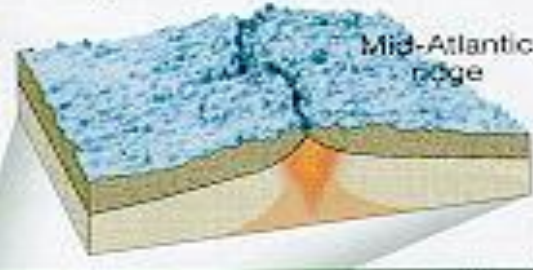
Subduction zone volcanism



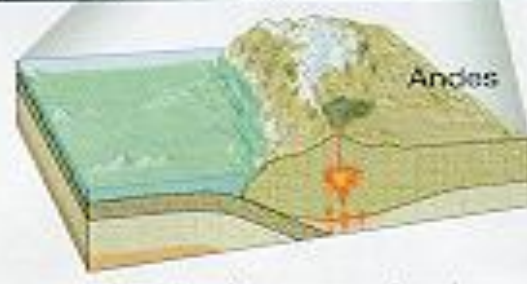
Intraplate volcanism (continental)



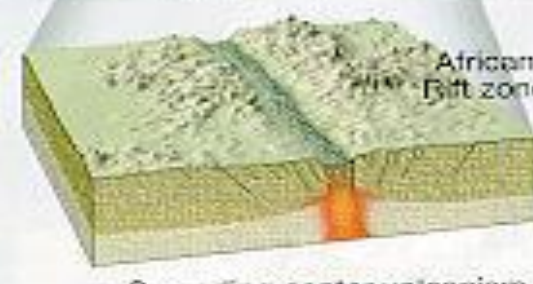
Spreading center volcanism



Intraplate volcanism (oceanic)



Subduction zone volcanism



Spreading center volcanism

• Magma může vznikat v různých tektonických prostředích:

• **1) divergentní desková rozhraní**

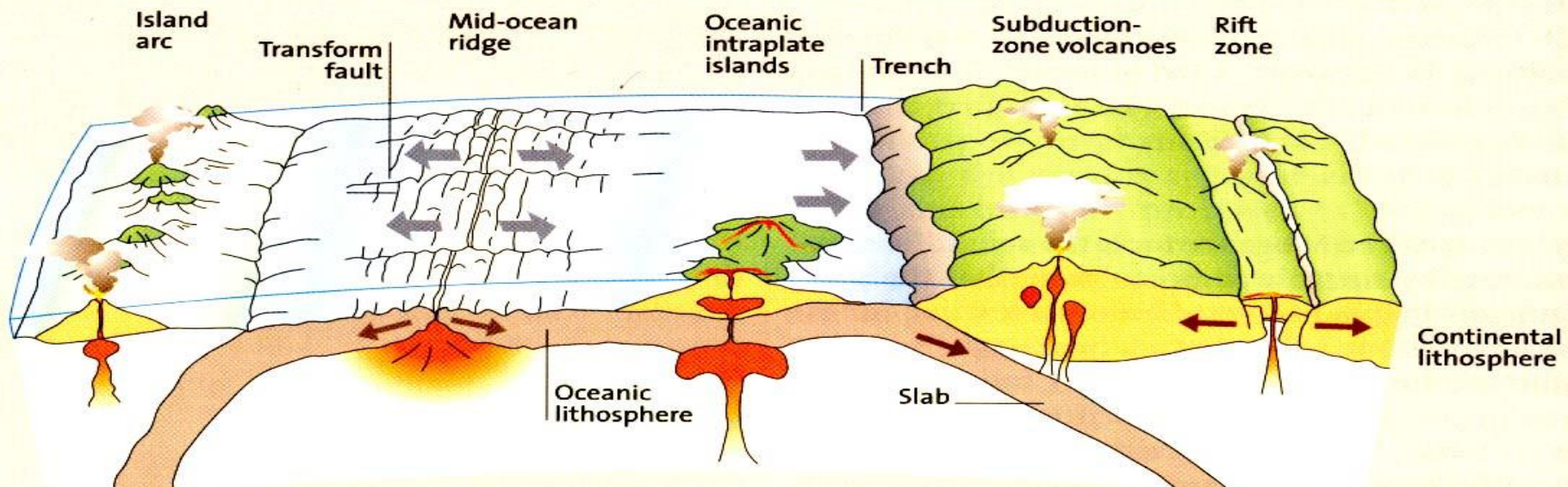
- A) středoocéánské rift
- B) kontinentální riftové zóny
- C) zaobloukový bazén

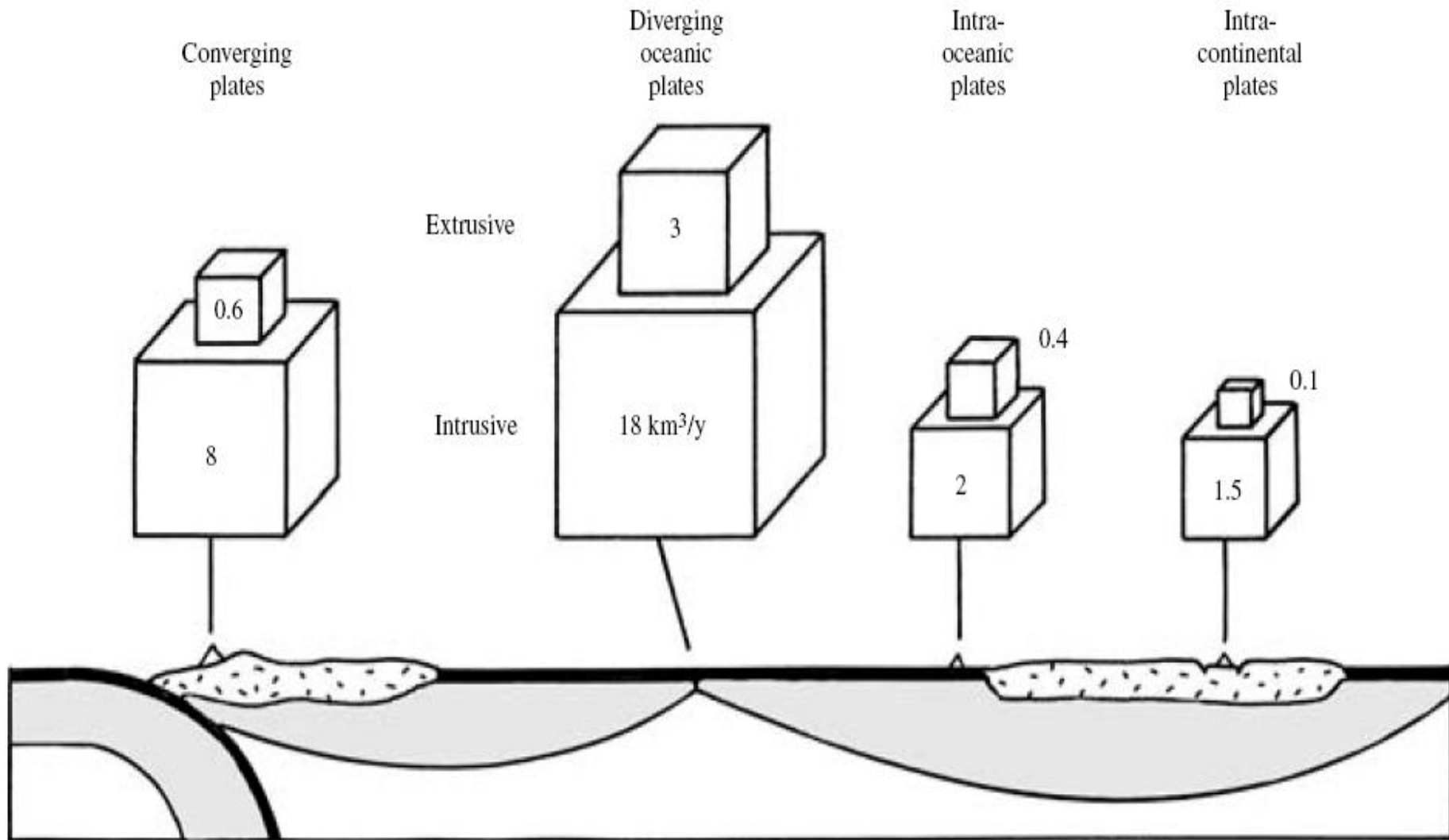
• **2) konvergentní desková rozhraní**

- A) subdukční zóny na aktivním okraji kontinentů
- B) subdukční zóny pod ostrovními oblouky
- C) orogenní pásma

• **3) uvnitř desek**

- A) horké skvrny intrakontinentální (platóbazalty)
- B) vulkanické ostrovy



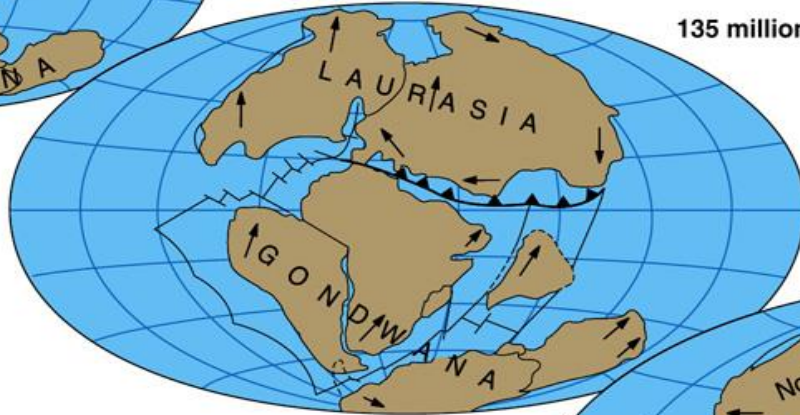


Odhad množství magmatu generovaného v různých geotektonických prostředích (odhad je v kubických kilometrech za rok, Schmincke H-U, Vulkanismus)

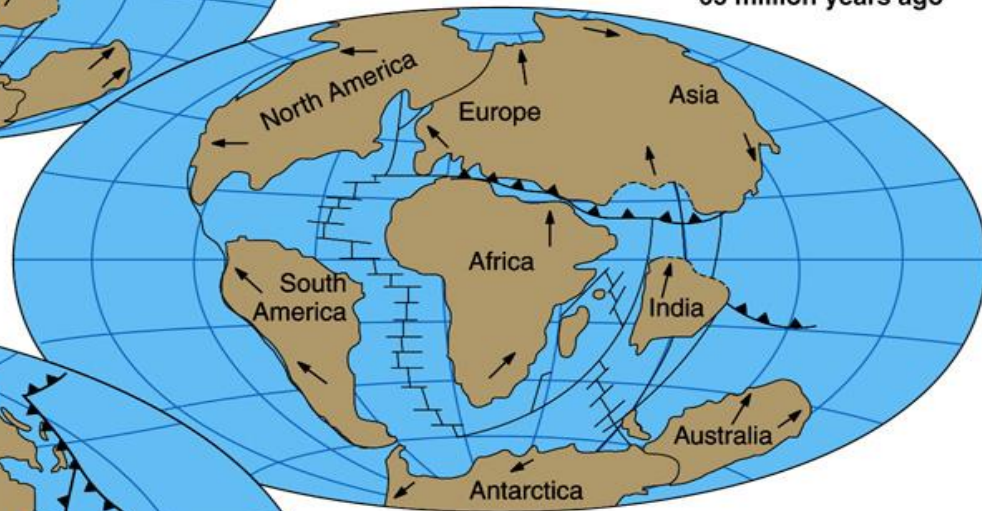
225 million years ago



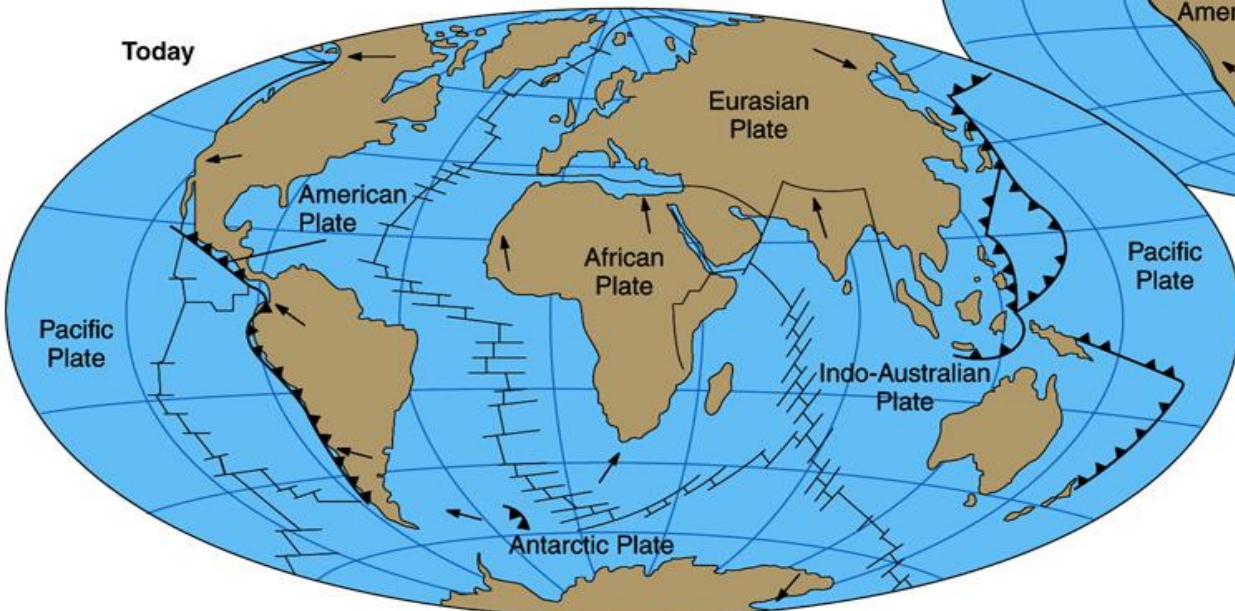
135 million years ago

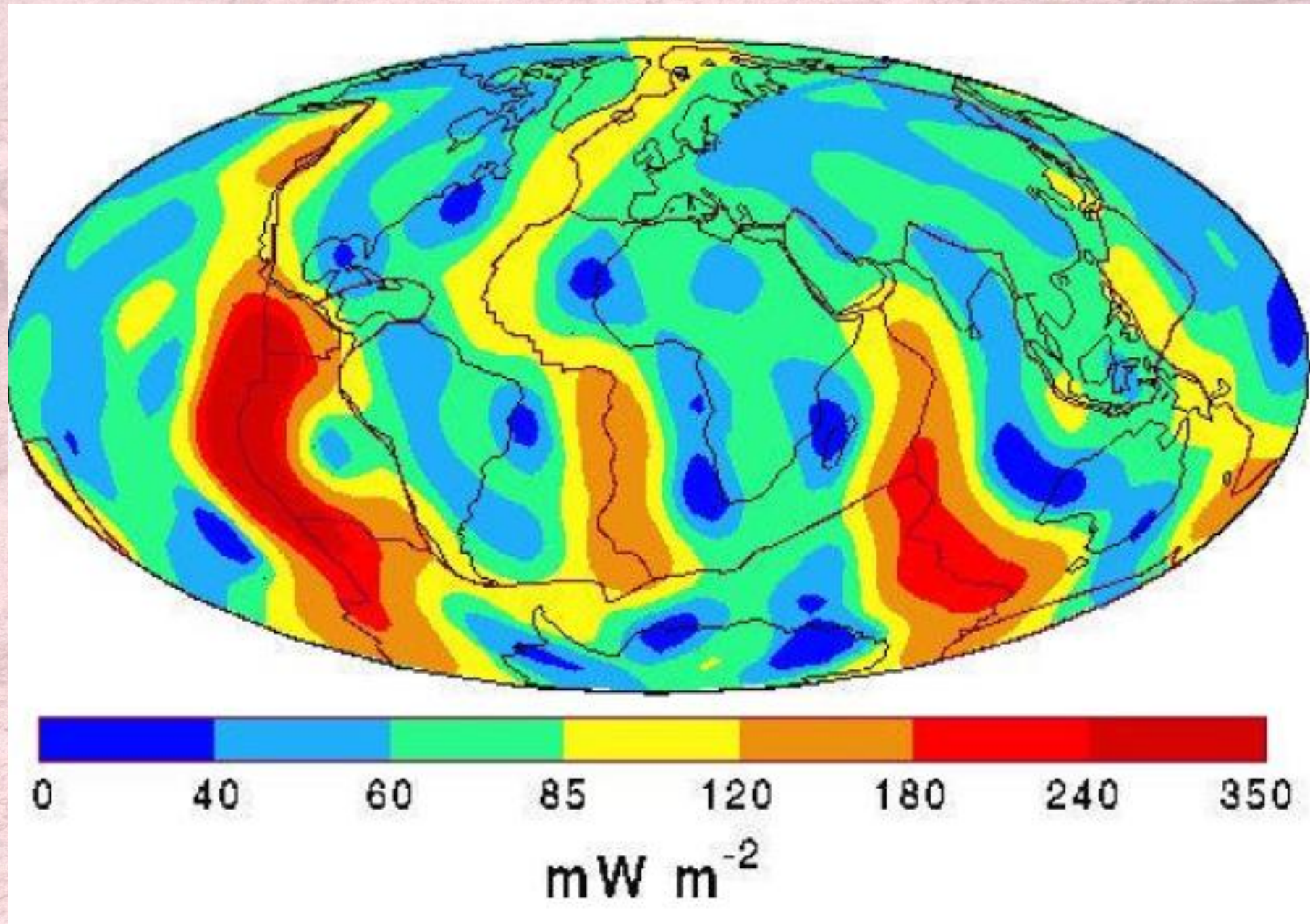


65 million years ago

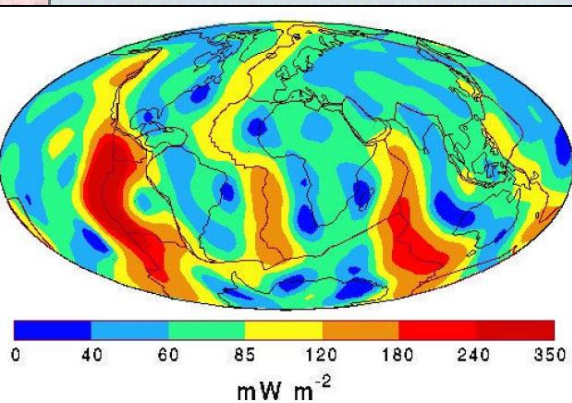
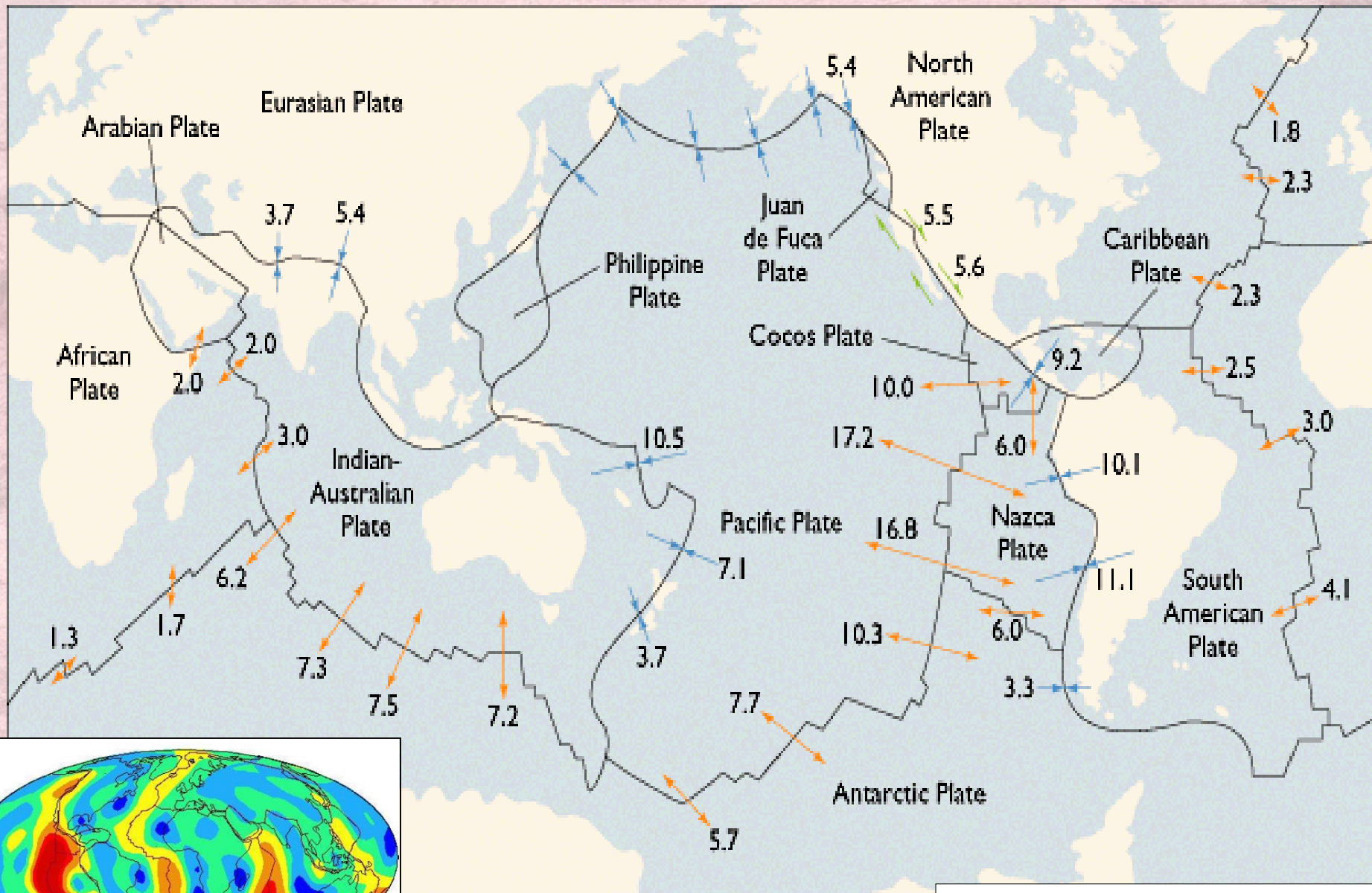


Today



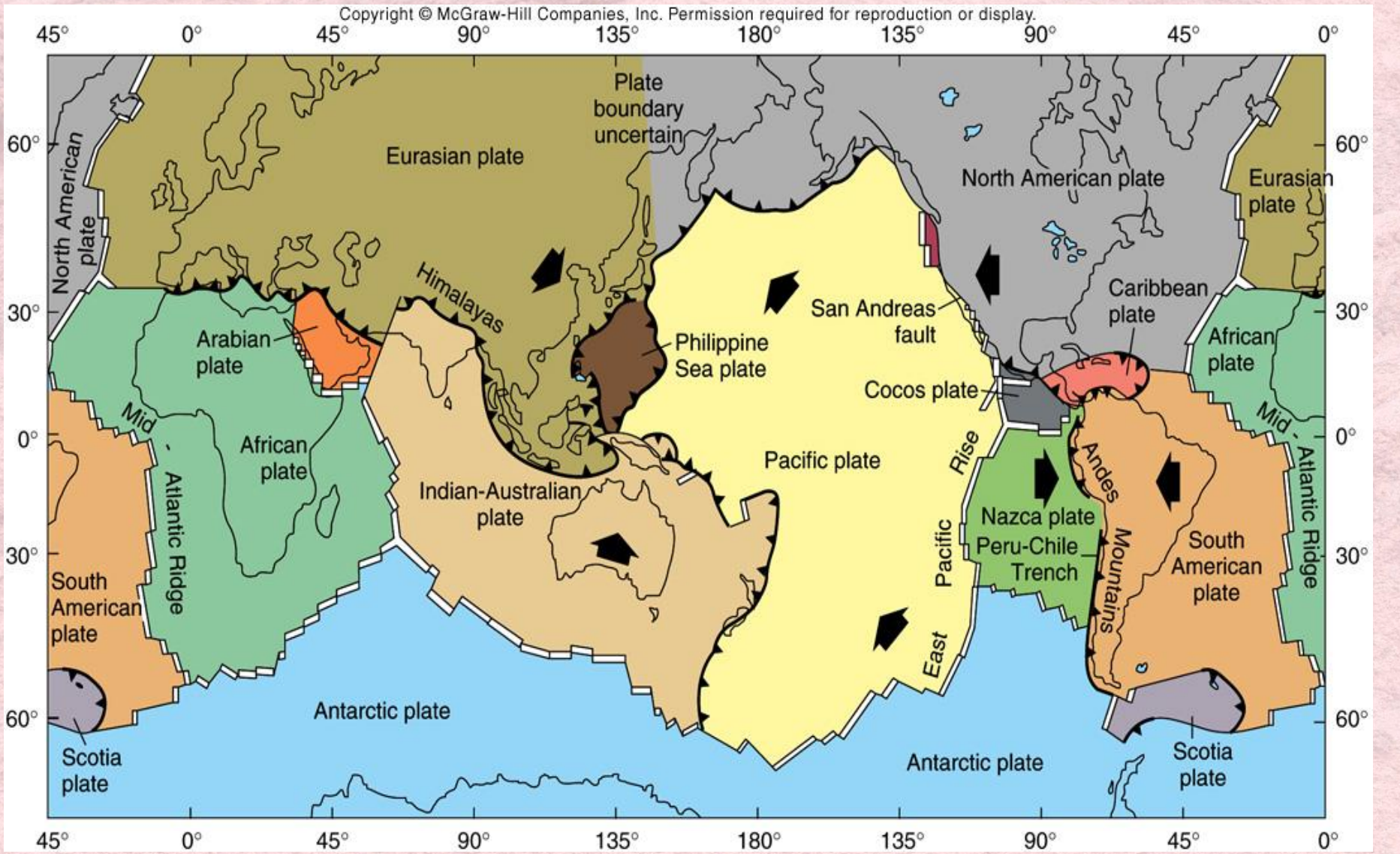


Tepelný tok



oranžová: divergence
 modrá: konvergence
 zelená: transformní zlomy

- rozdílný mechanismus vzniku magmatu na konvergentních a divergentních rozhraních

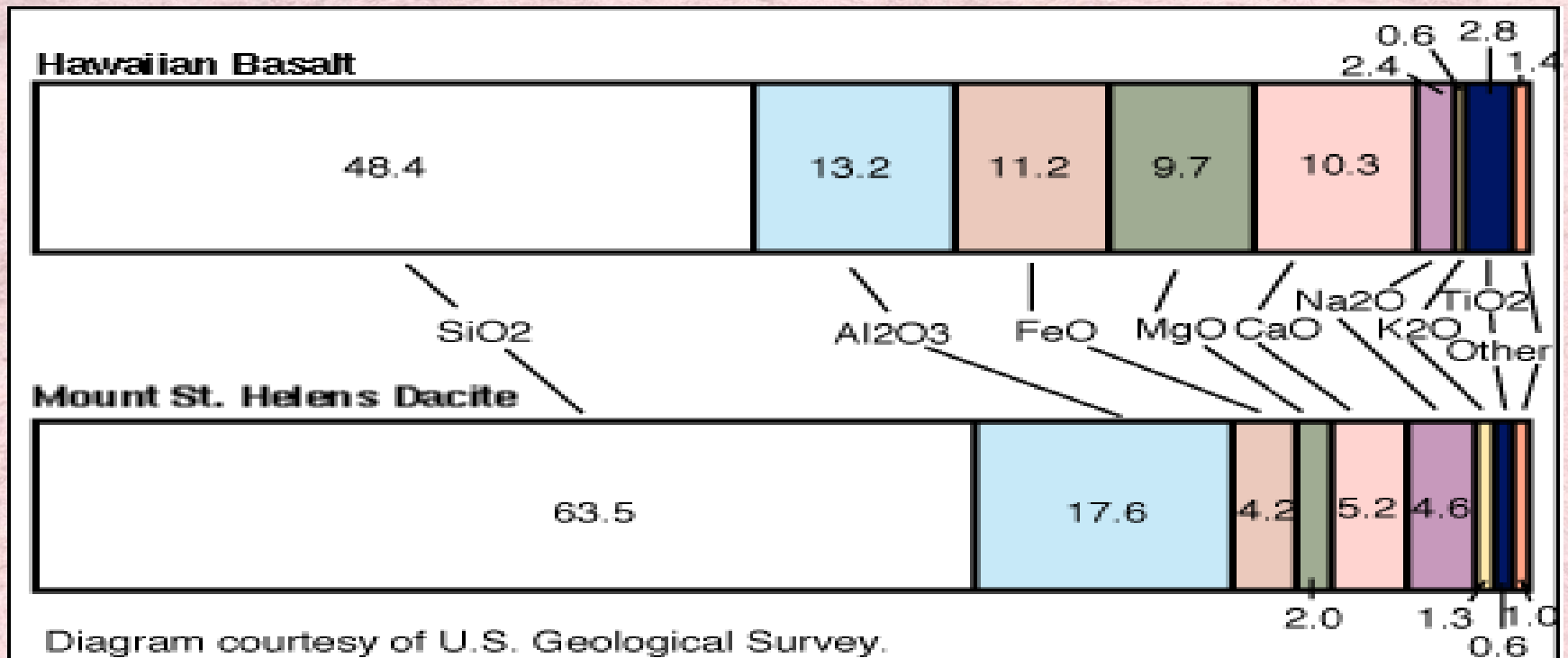


B. Co je magma ?

Magma

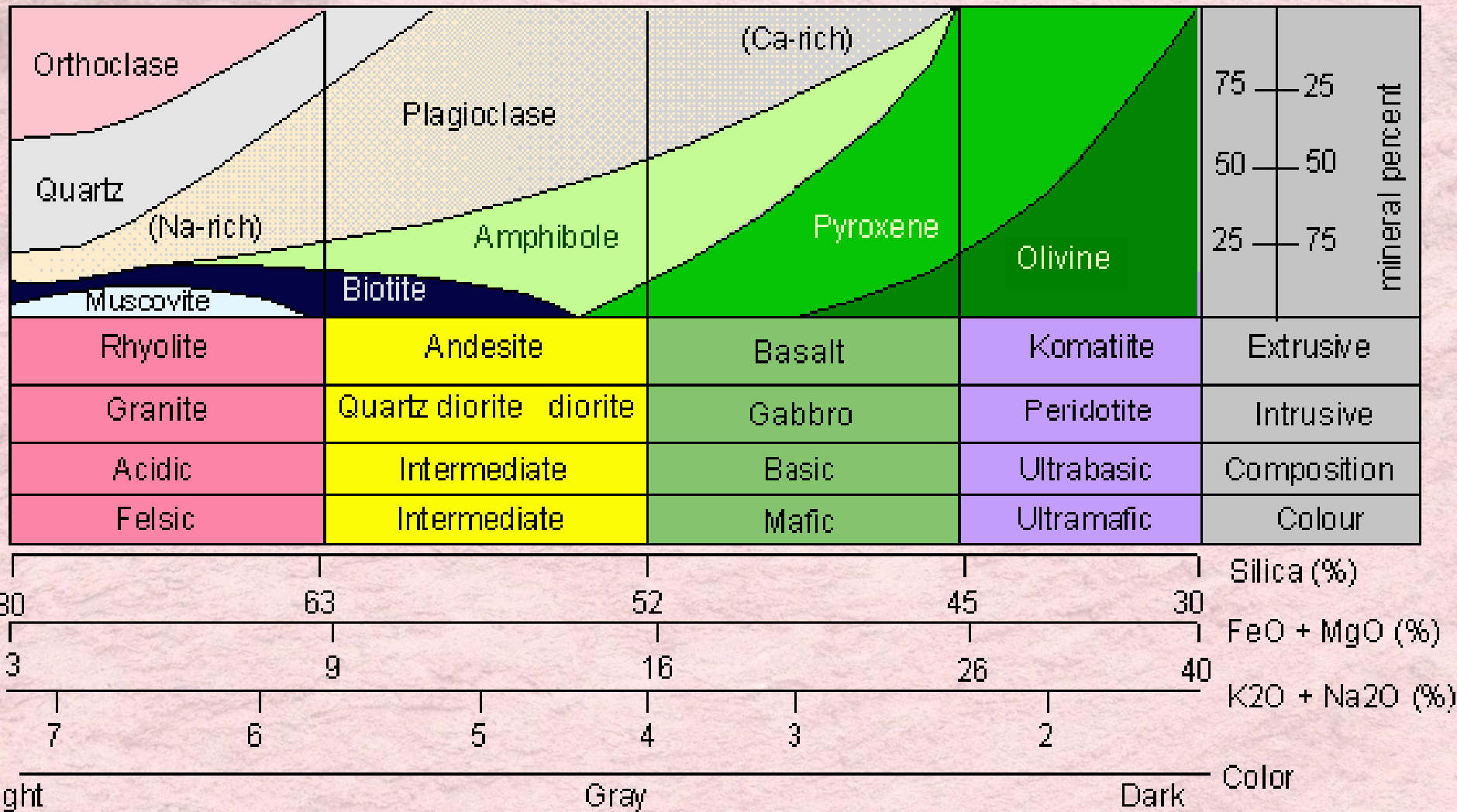
směs roztavené horniny, krystalů a plynů

- řecké slovo = *plastický, tvarovatelný*
- magma má nižší hustotu než okolní horniny a proto stoupá k povrchu
- Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, Ti, H a O tvoří 99 hm.% většiny magmat
- teplota běžných magmat 650–1200 °C
- *karbonatity ale tuhnou až kolem 600 °C a komatity 1600 °C*



• **Typy magmat**

1. **Bazaltové** (1000-1200°C) - SiO₂ 45-55 wt%, vysoké obsahy Fe, Mg, Ca, nízké K, Na
2. **Andezitové** (800-1000°C) - SiO₂ 55-65 wt%, střední obsahy Fe, Mg, Ca, Na, K
3. **Ryolitové** (650-800°C) - SiO₂ 65-75%, nízké obsahy Fe, Mg, Ca, vysoké obsahy K, Na



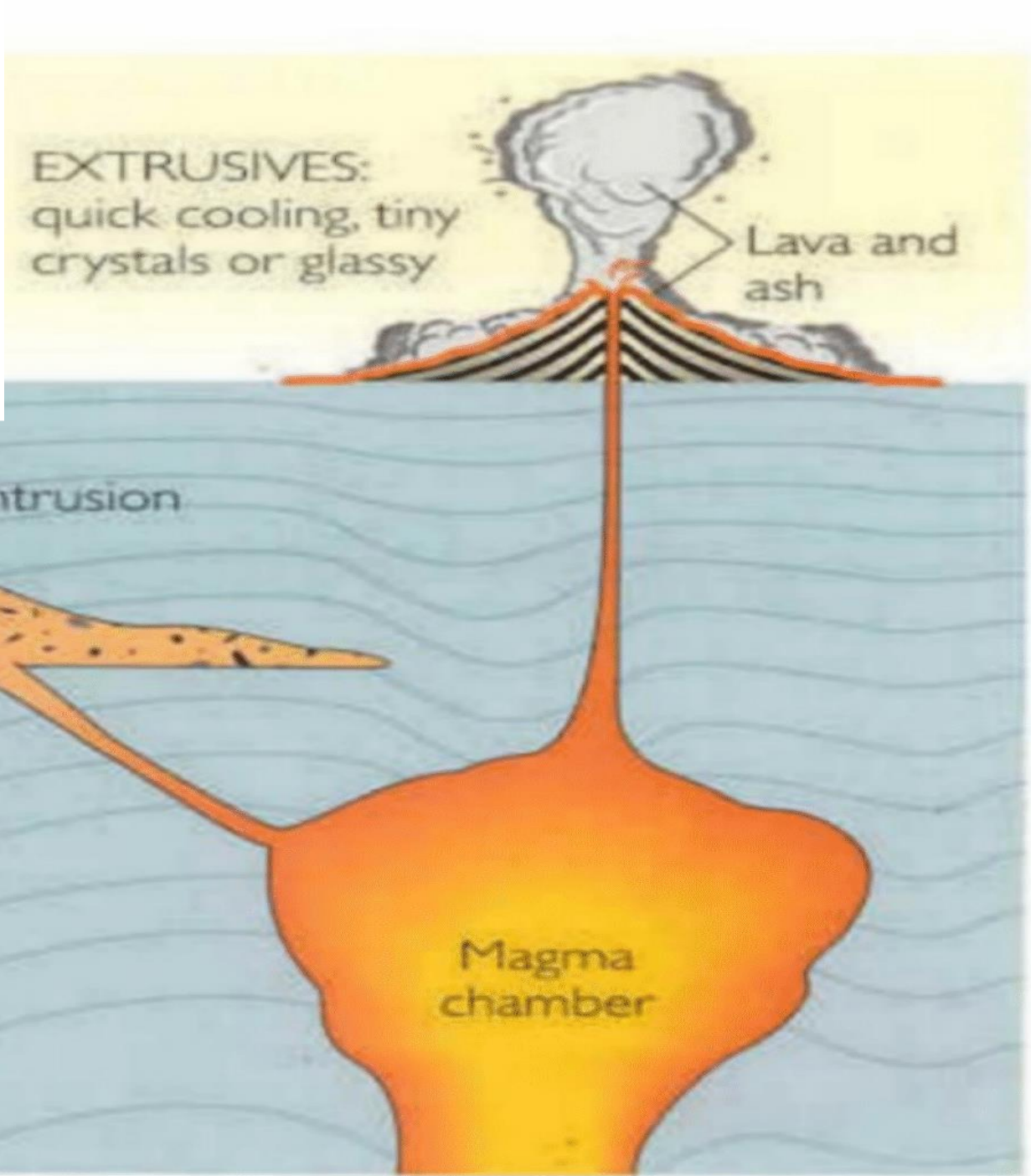
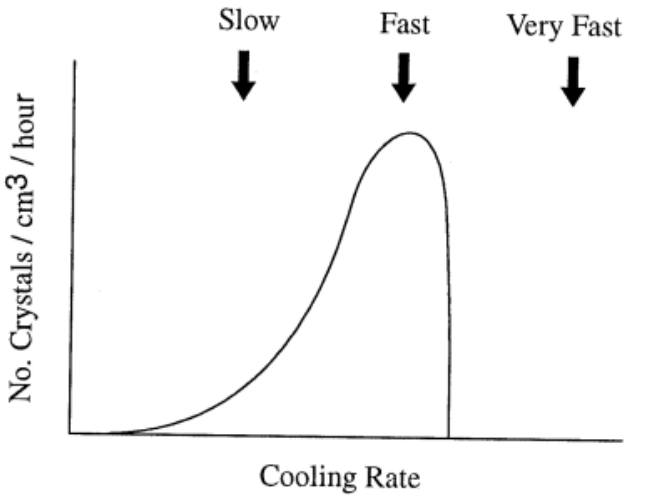
- magma může krystalovat odlišnou rychlostí a v různých PTX podmínkách což ovlivňuje strukturu a texturu horniny:
- Výlevné (vulkanické): krystalizují na povrchu - rychle (*extrusive or volcanic*)
- Hlubinné (plutonické): krystalizují pod povrchem - pomalu (*intrusive or plutonic*)



Pegmatitová žíla proráží gabro Mongolsko



Žíla bazaltu proráží andezitovou žílu (Perm)
Mongolsko

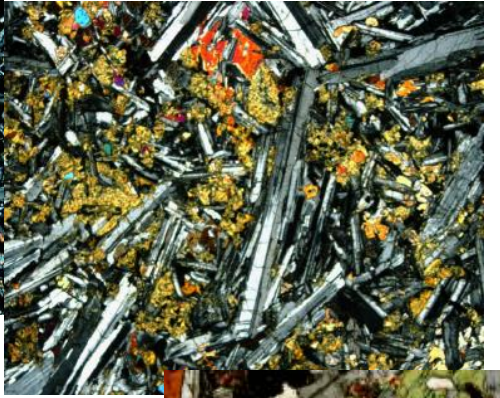
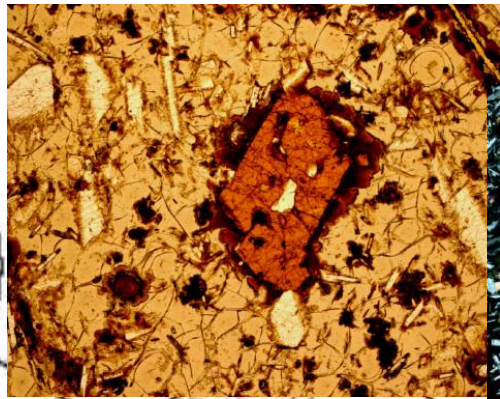
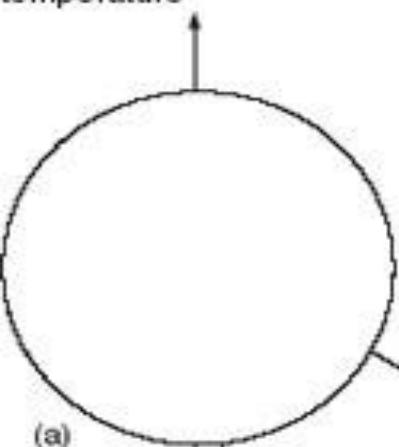


temperature ↑

Sklovitá – sklo a jen ojedinělé vyrostlice

Hemikrystalická - sklovitá základní hmota a lištovité krystaly živce

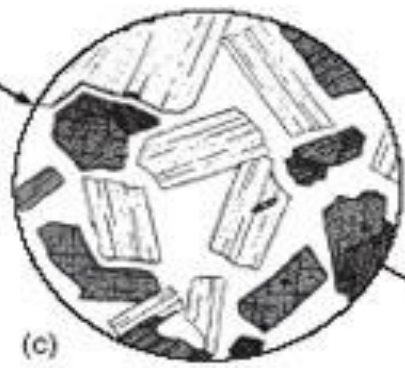
Holokrystalická



(a)



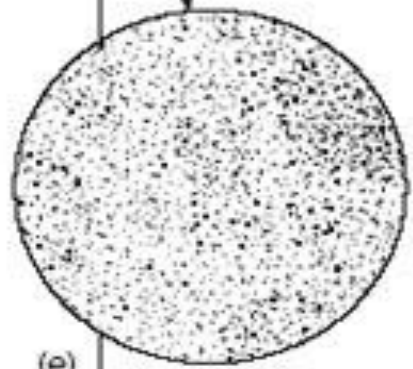
(b)



(c)



(d)

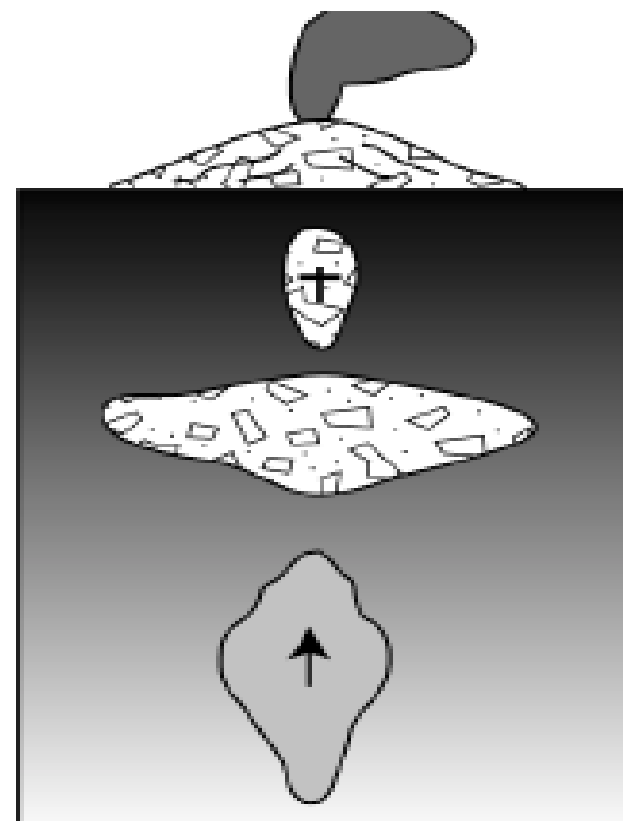
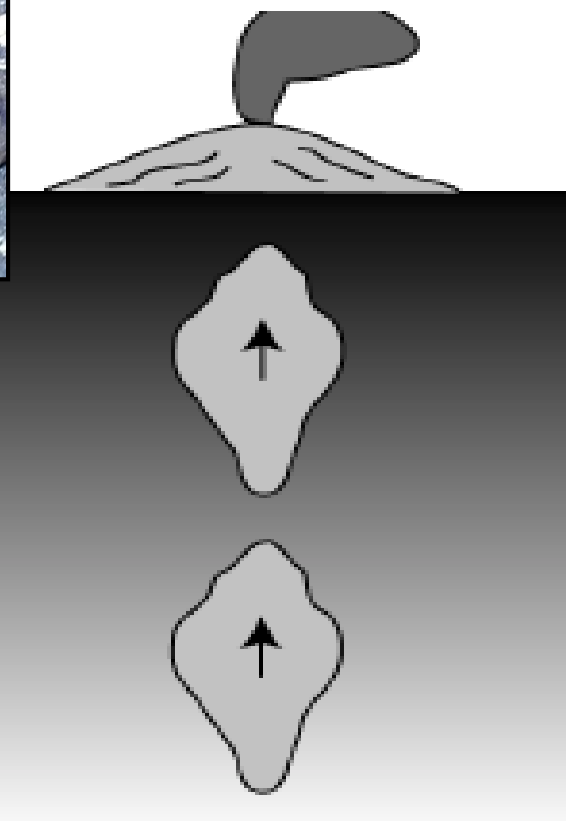


(e)



time →

Struktury hornin indikují jejich vývoj



Case I (Plutonic)

Magma "Stalls"
Slow Cooling
Phaneritic Texture

Case II (Volcanic)

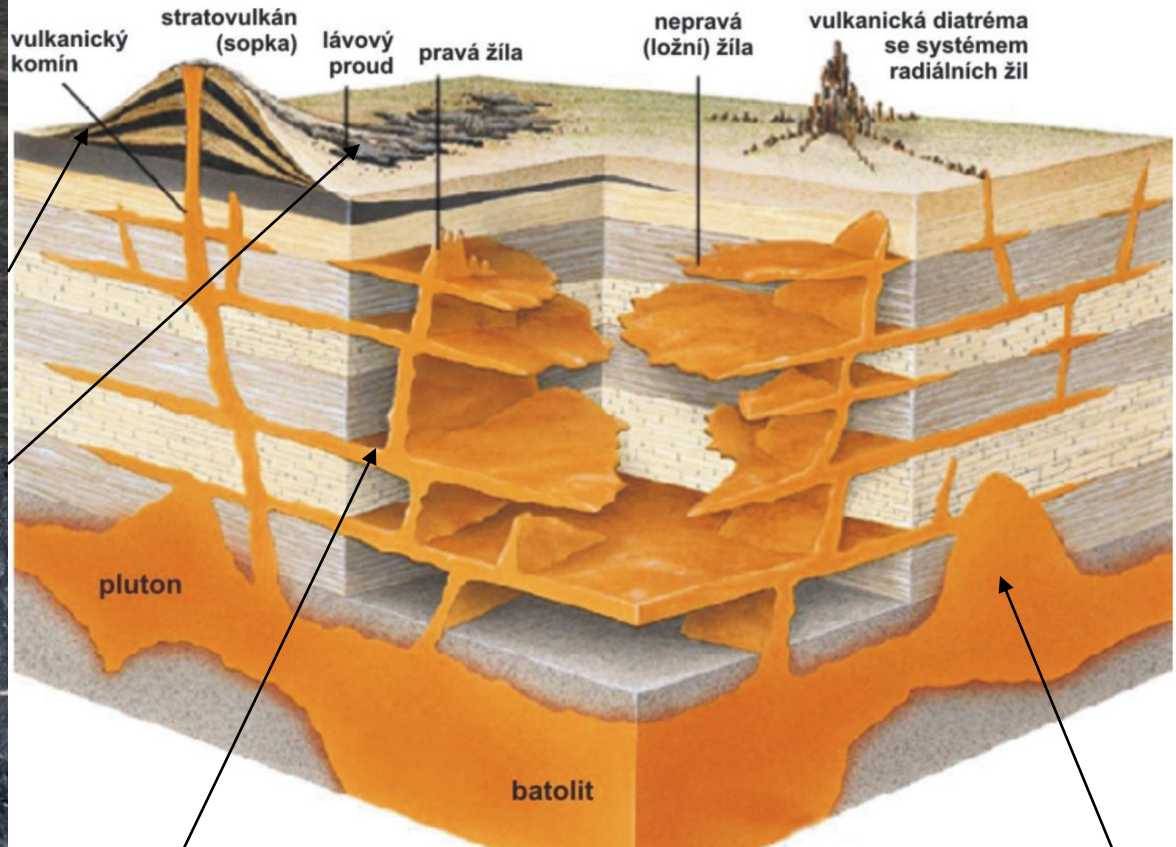
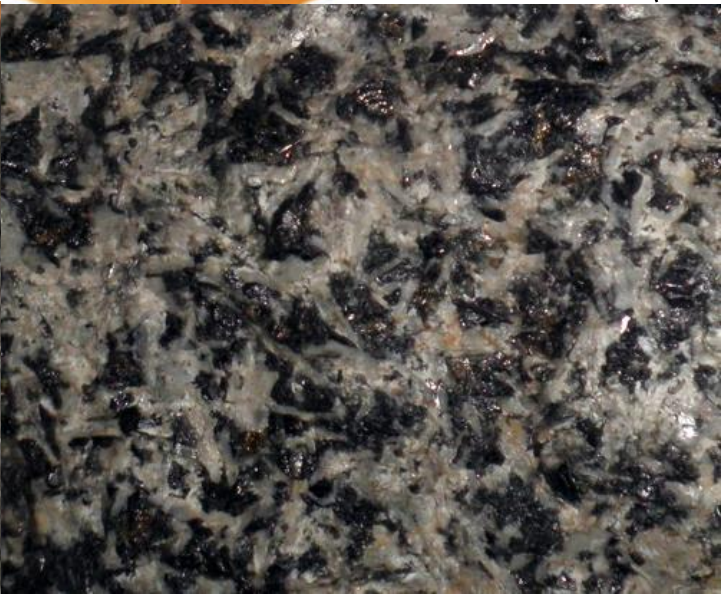
Magma Erupts on Surface
Rapid or Very Rapid Cooling
Aphanitic or Glassy Texture

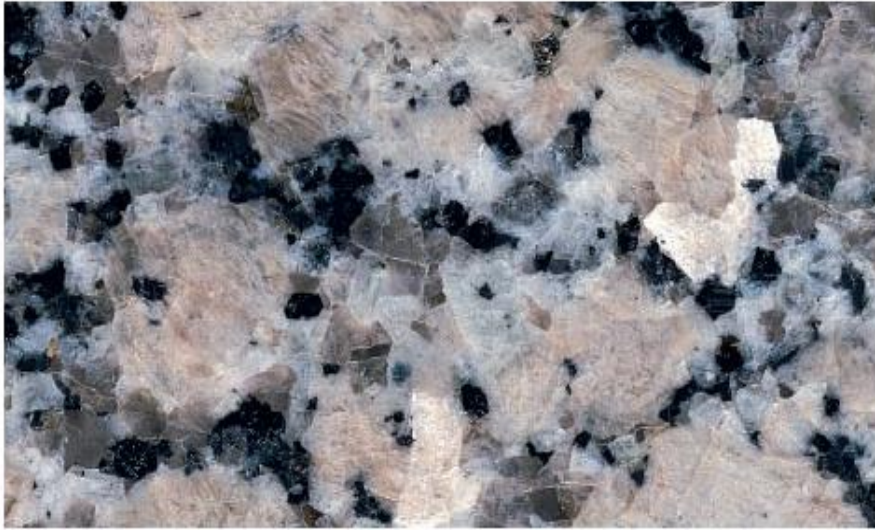
Case III (Volcanic)

Magma "Stalls"
Slow Cooling
Magma Erupts on Surface
Rapid or Very Rapid Cooling
Porphyritic Texture



Porfyrický andezity - Kostarika





(A) Granite: K-feldspar, quartz, plagioclase, and biotite.



(B) Rhyolite: K-feldspar, plagioclase, quartz, biotite, and light-colored fine-grained groundmass.



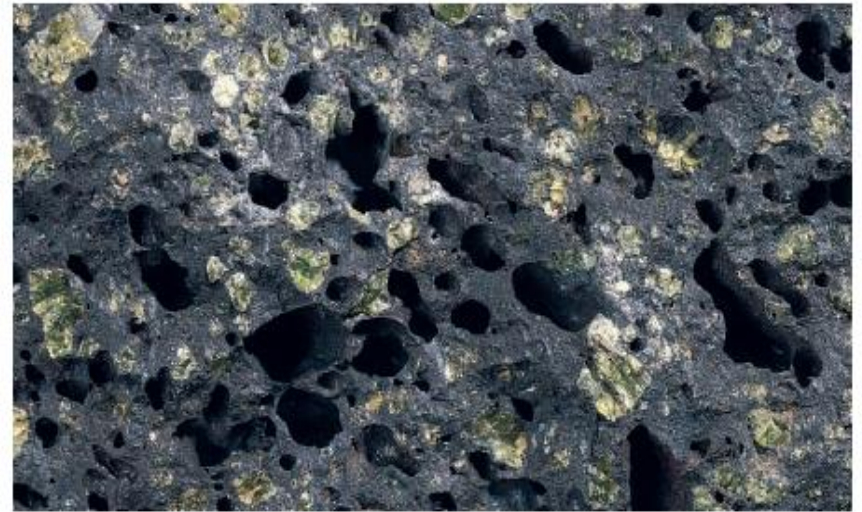
(C) Diorite: plagioclase, amphibole, quartz, and biotite.



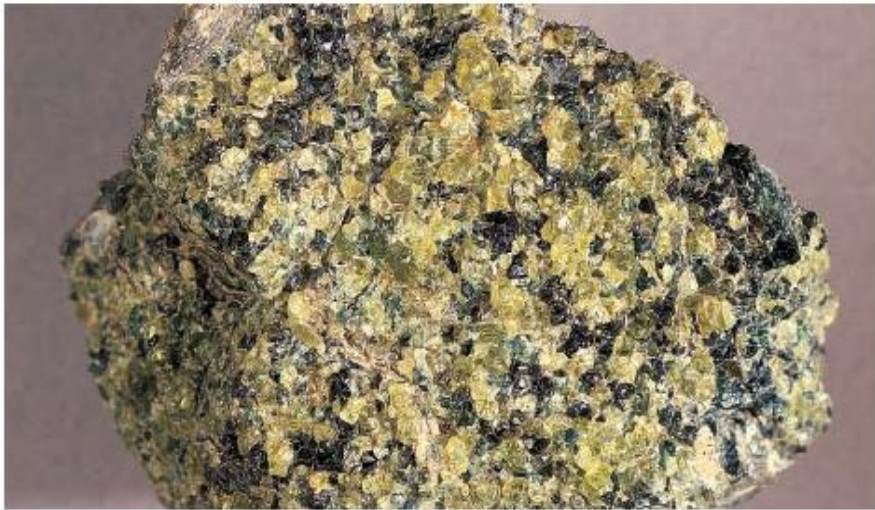
(D) Porphyritic andesite: plagioclase, pyroxene, and amphibole along with fine-grained, gray groundmass.



(E) Gabbro: pyroxene, plagioclase, and olivine.



(F) Porphyritic basalt: pyroxene, plagioclase, and olivine along with black vesicles and gray groundmass.



(G) Peridotite: olivine and pyroxene.



(H) Komatiite: olivine and pyroxene. (Photograph by D. A. Williams)

D. Magmatické procesy

1) Vznik magmatu

- a) závislý na tektonické pozici,
- b) je produktem parciálního tavení sv. pláště (100-150 km) nebo kůry (10-20 km)

2) Diferenciace a výstup k povrchu

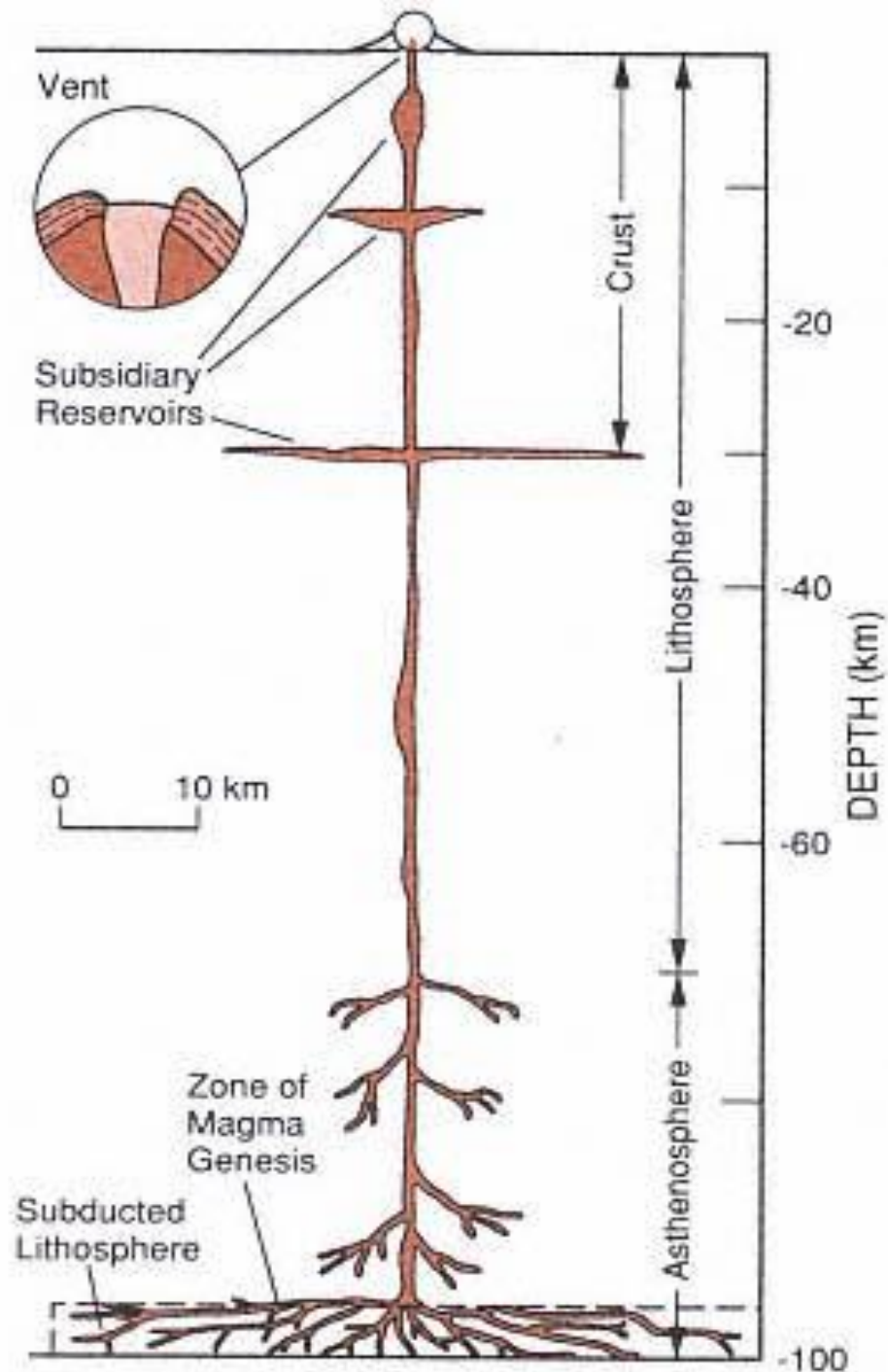
- a) frakční krystalizace
- b) asimilace
- c) míšení

3) Procesy v magmatickém krbu

- a) frakční krystalizace
- b) asimilace
- c) míšení
- d) gravitační separace

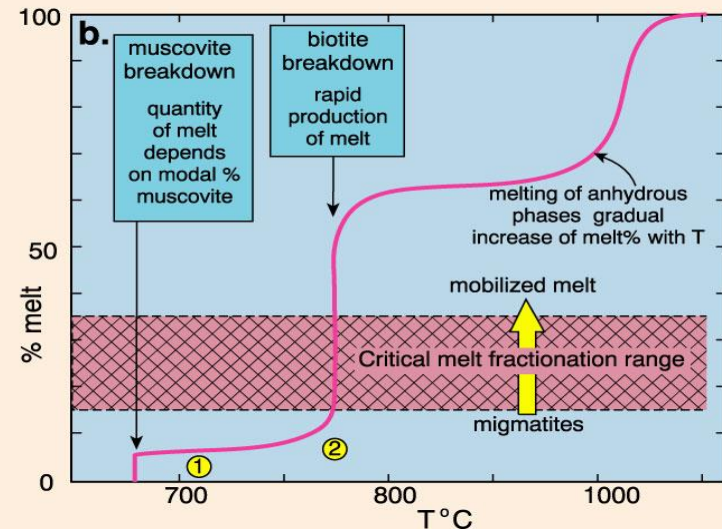
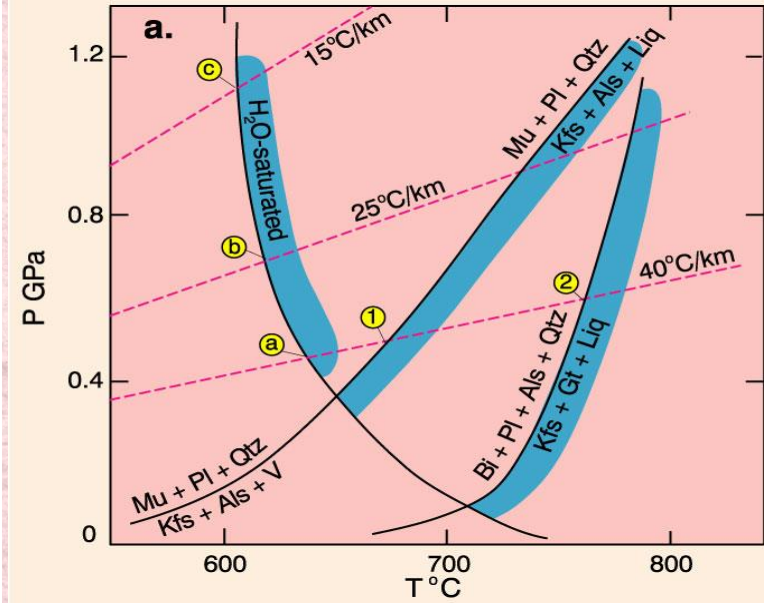
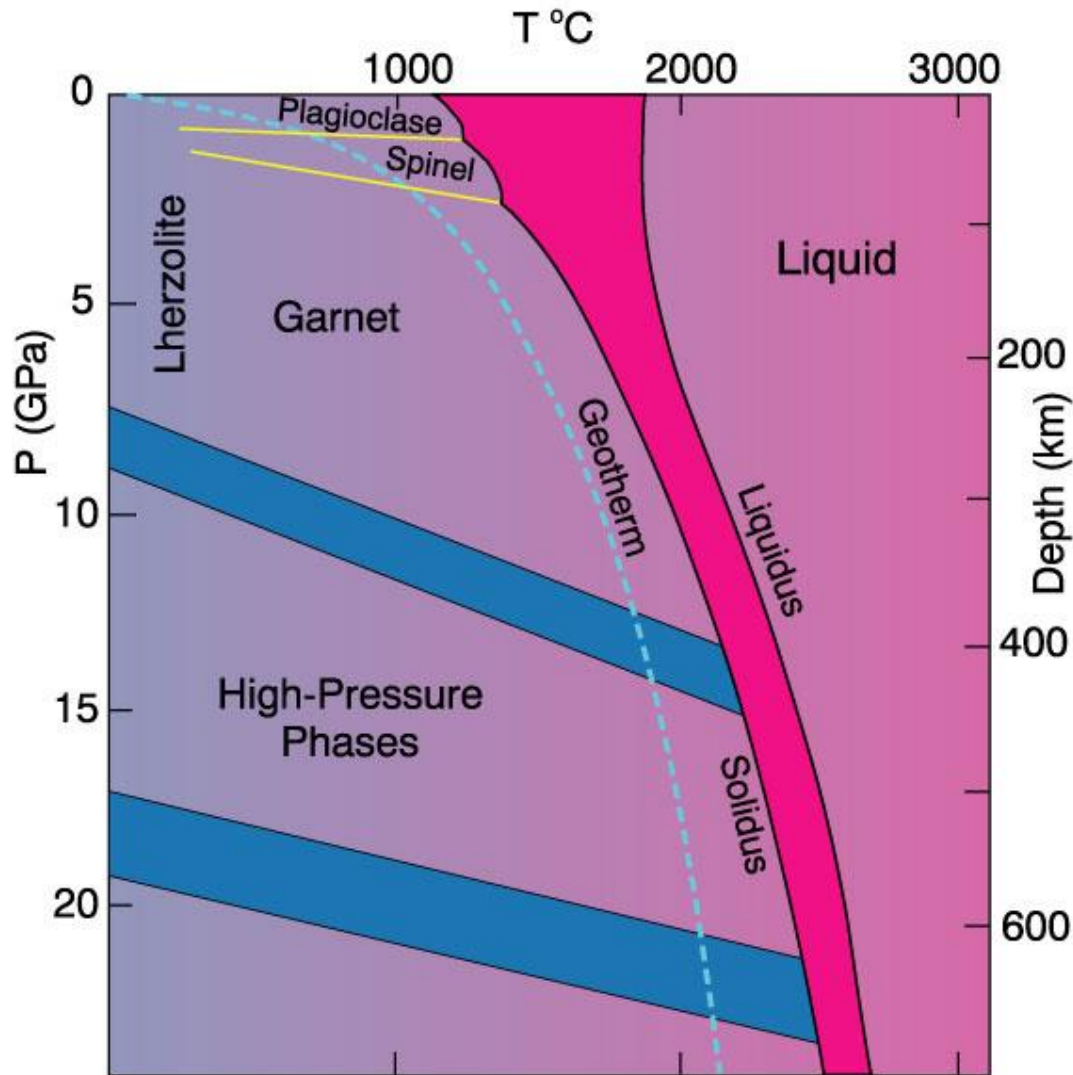
4) Procesy spojené s vmístěním magmatu

- a) ztráta plynů
- b) sekundární alterace



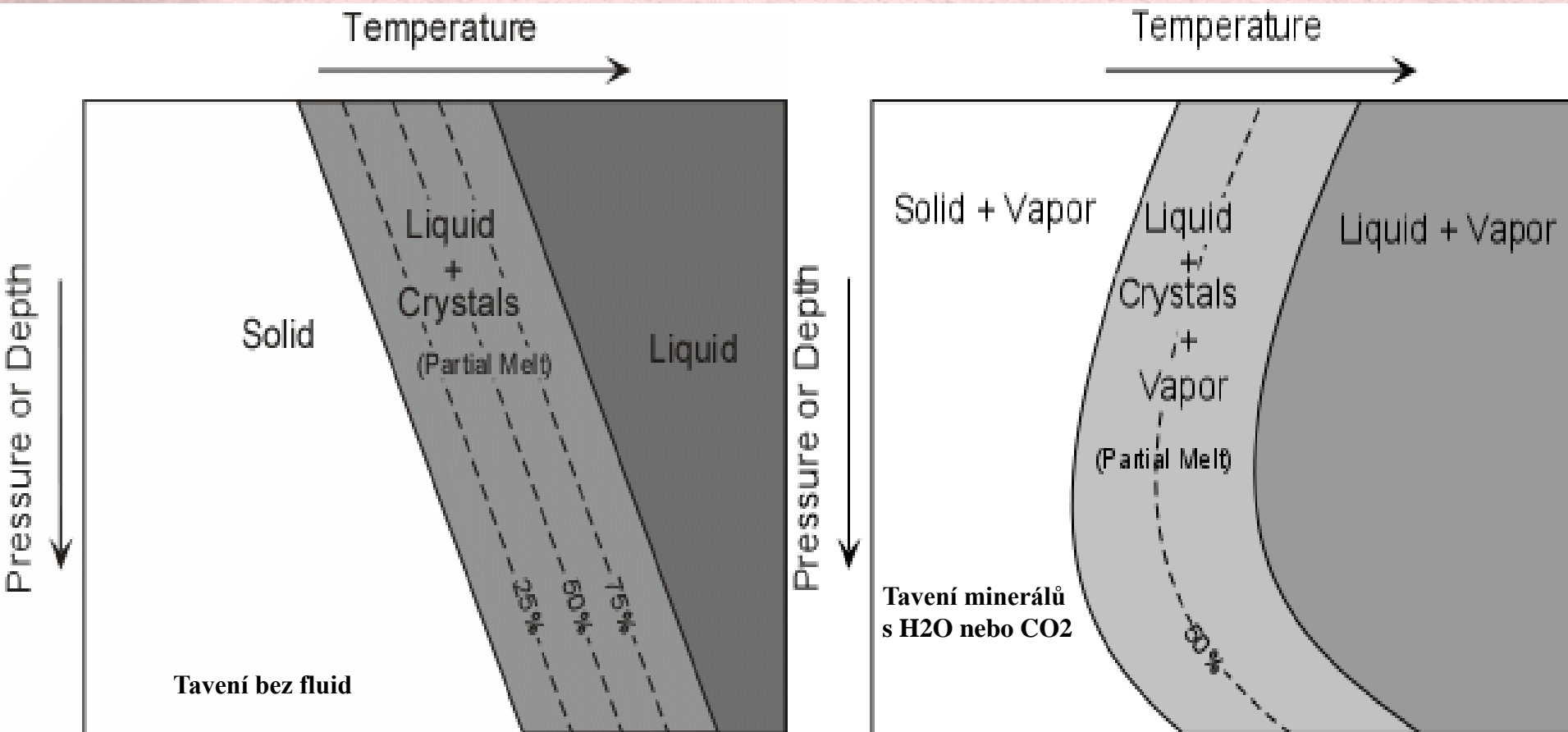
D. 1. Jak vzniká magma?

- bazalty vznikají parciálním tavením pláště
- ryolity parciálním tavením kontinentální kůry nebo diferenciací bazaltové taveniny



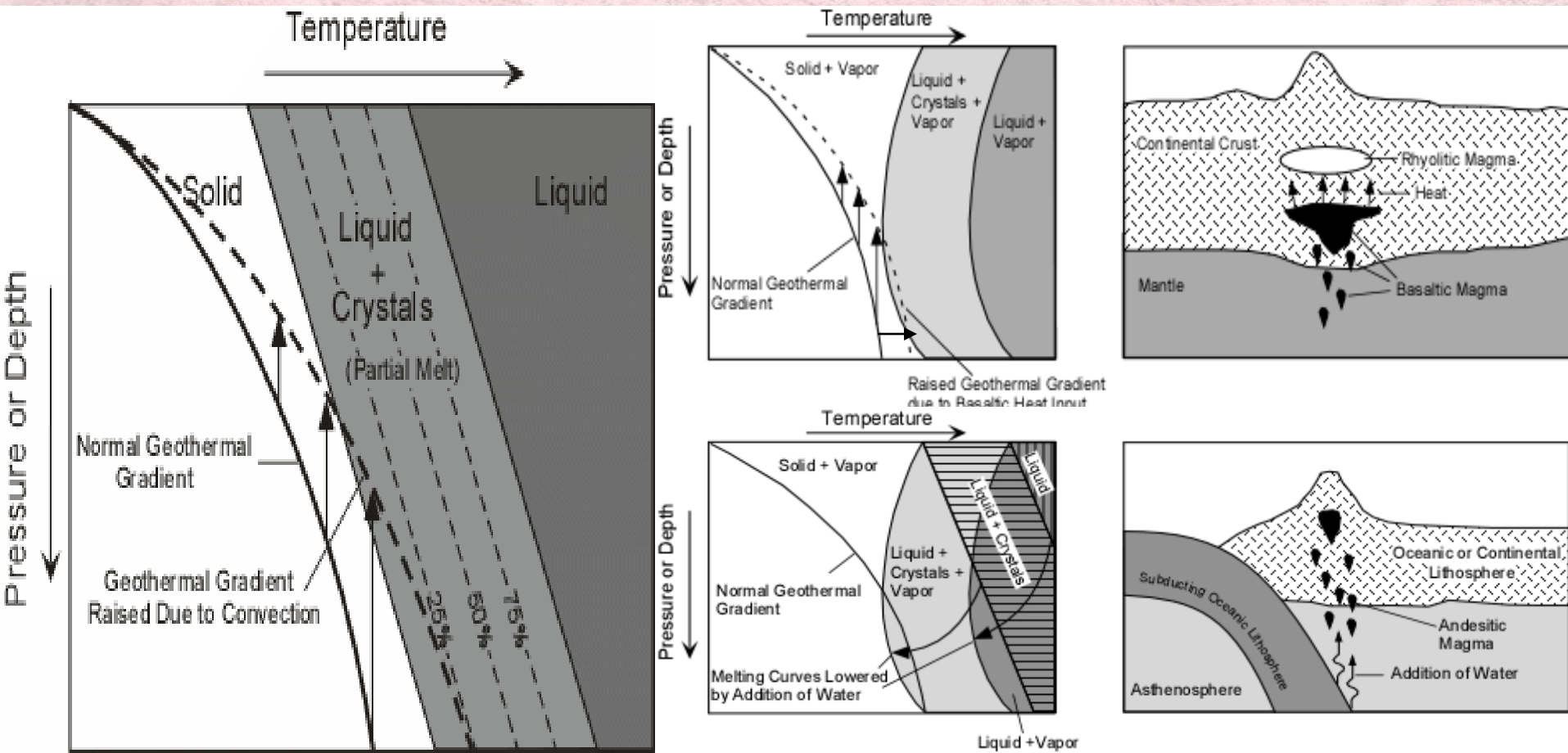
Parciální tavení

- teplota roste v zemském tělese s hloubkou podle geotermálního gradientu
- tavení je ovlivněno přítomností fluid v systému



Mechanismy tavení

- 1) **Dekompresní tavení:** prudké vyzdvižení horniny z vyšších hloubek
- 2) **Přínos tepla:** do kůry intruduje horké plášťové magma
- 3) **Přínos fluidní fáze:** teplota tavení se snižuje jestliže do systému vstupuje voda



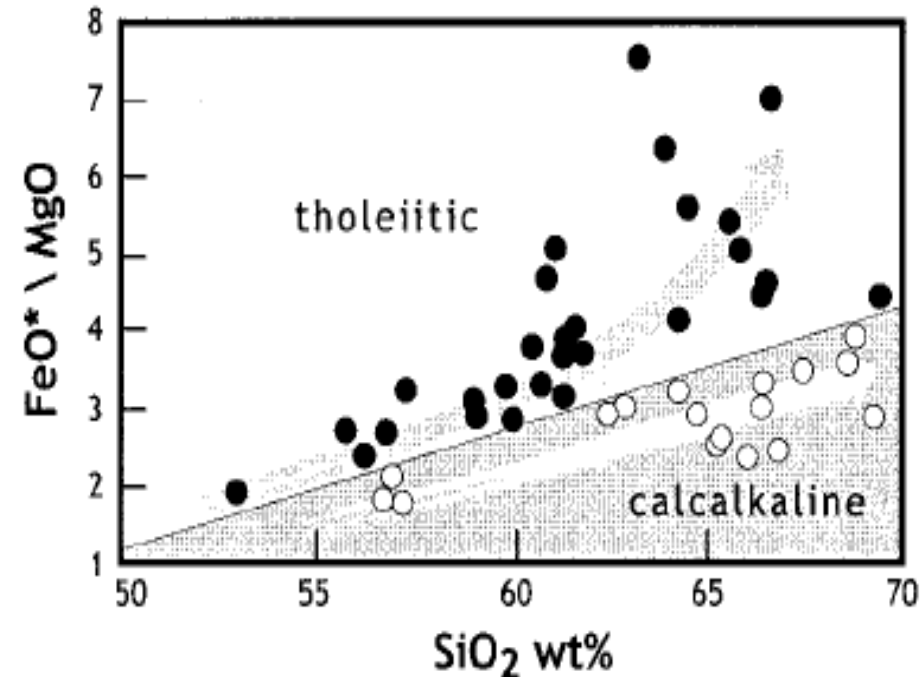
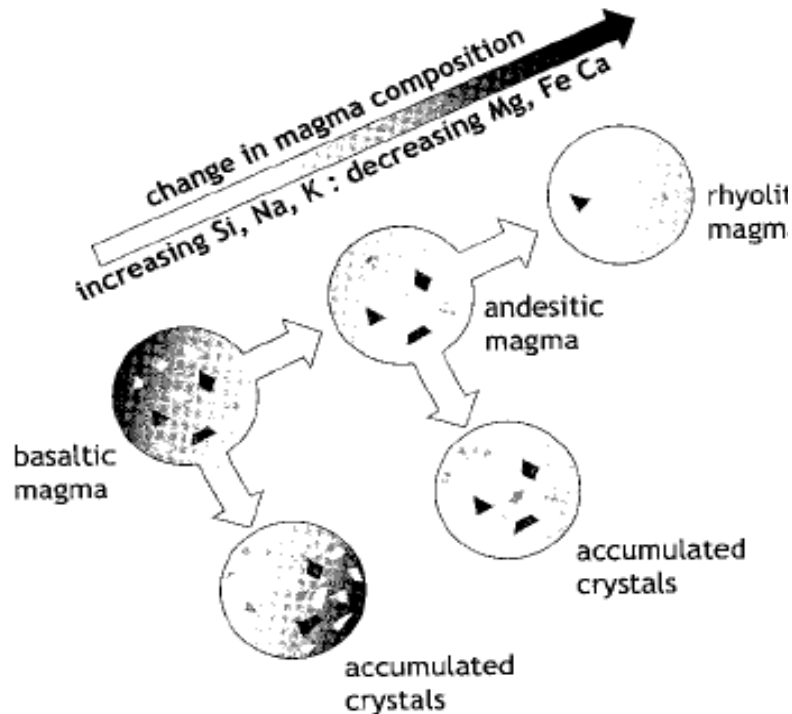
D.2. Co se děje s magmatem během výstupu k povrchu

- modifikují ho procesy které probíhají během jeho výstupu k povrchu
- důležitý je způsob transportu k povrchu a procesy v magmatickém krbu

Důležité pojmy

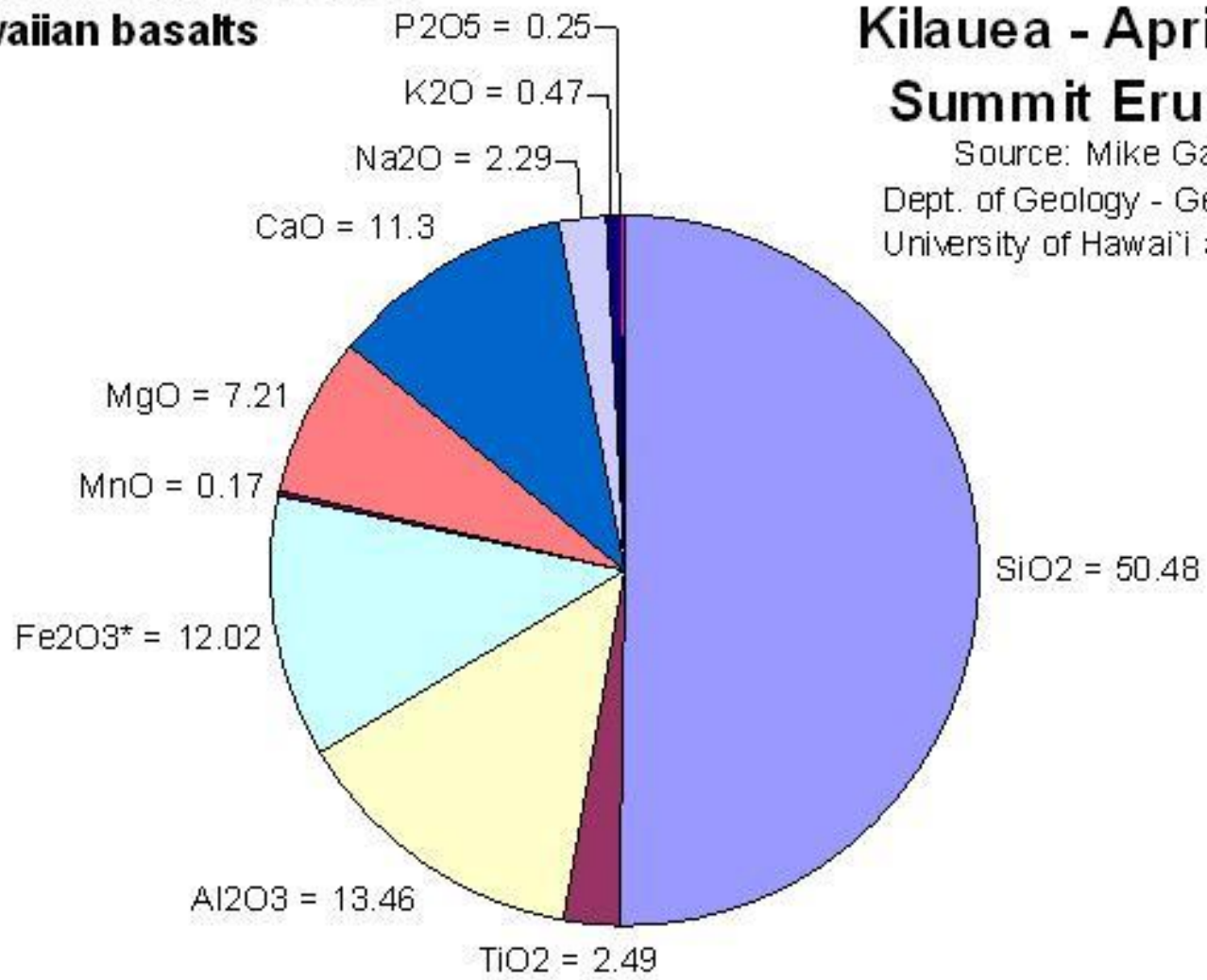
Primární tavenina (Primary melts): je to tavenina vzniká roztavením horniny a neprošla žádnou diferenciací (leukosom v migmatitu)

Mateřská tavenina (Parental melts): je to magma jehož frakcionací vznikla pozorovaná diverzita horninového komplexu (někdy jde o hypotetickou taveninu) nemusí být vždy totožná s primární taveninou.



C. Jaký je rozdíl mezi intruzivní a extruzivní horninou ?

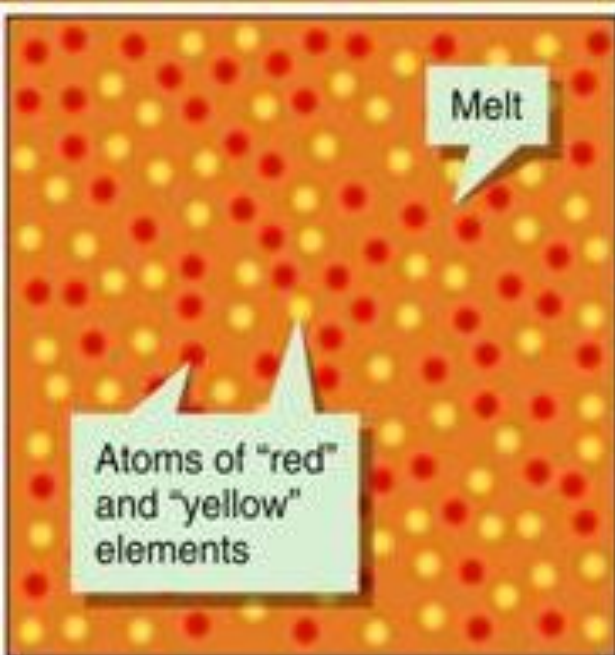
Typical chemical compositions of Hawaiian basalts



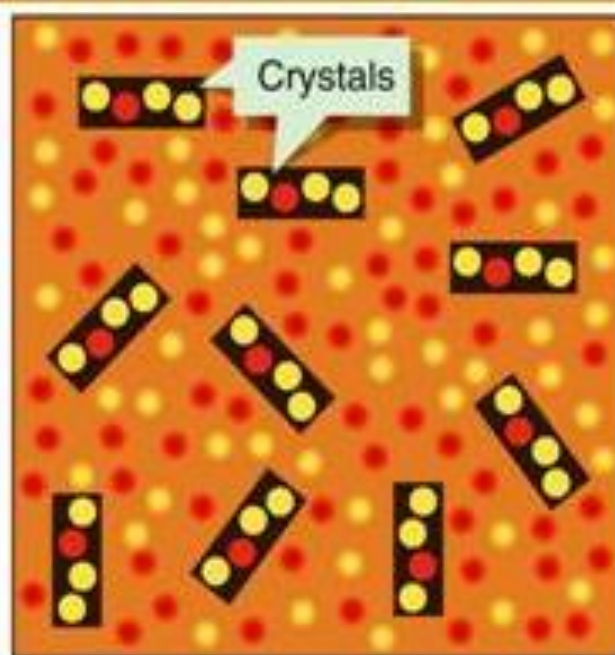
Kilauea - April 1982 Summit Eruption

Source: Mike Garcia
Dept. of Geology - Geophysics
University of Hawai'i at Manoa

Values represented as total amount per volume



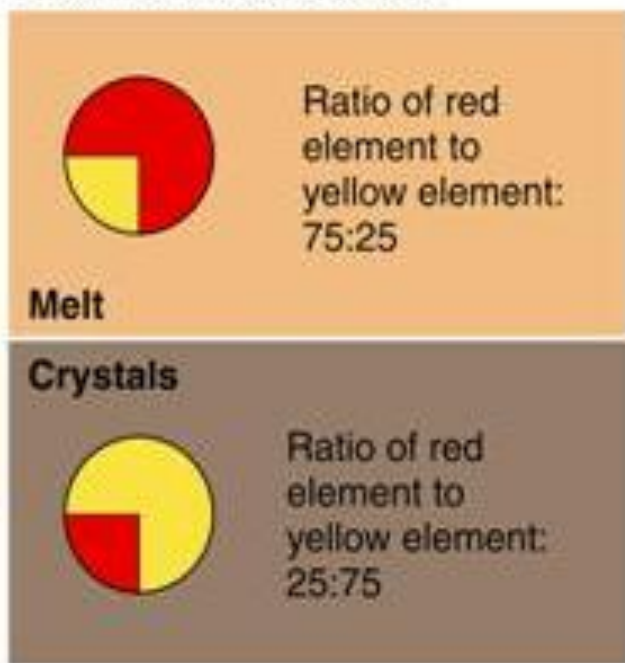
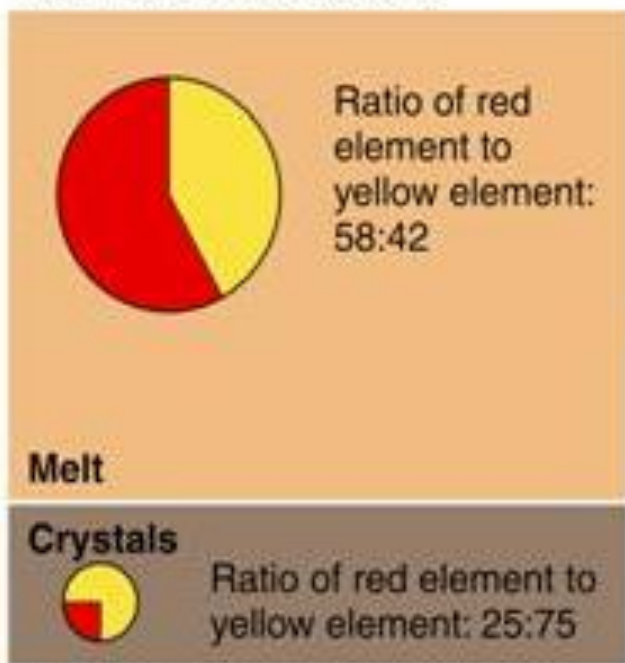
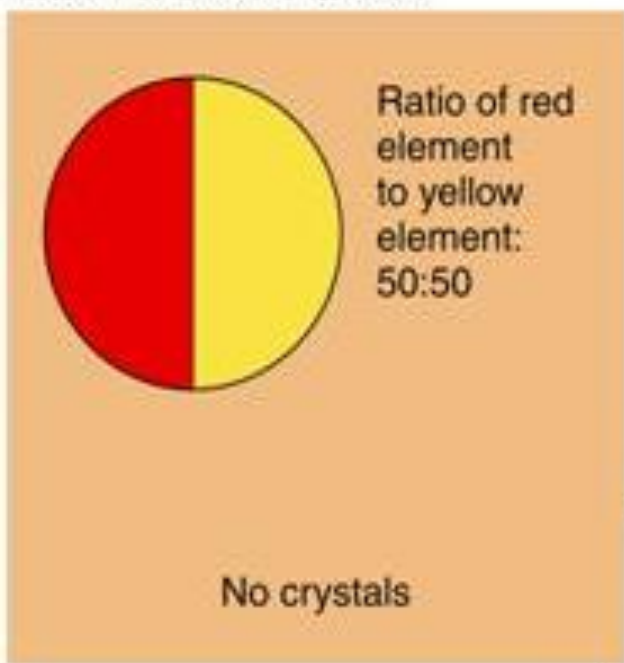
100% Melt, 0% Crystals

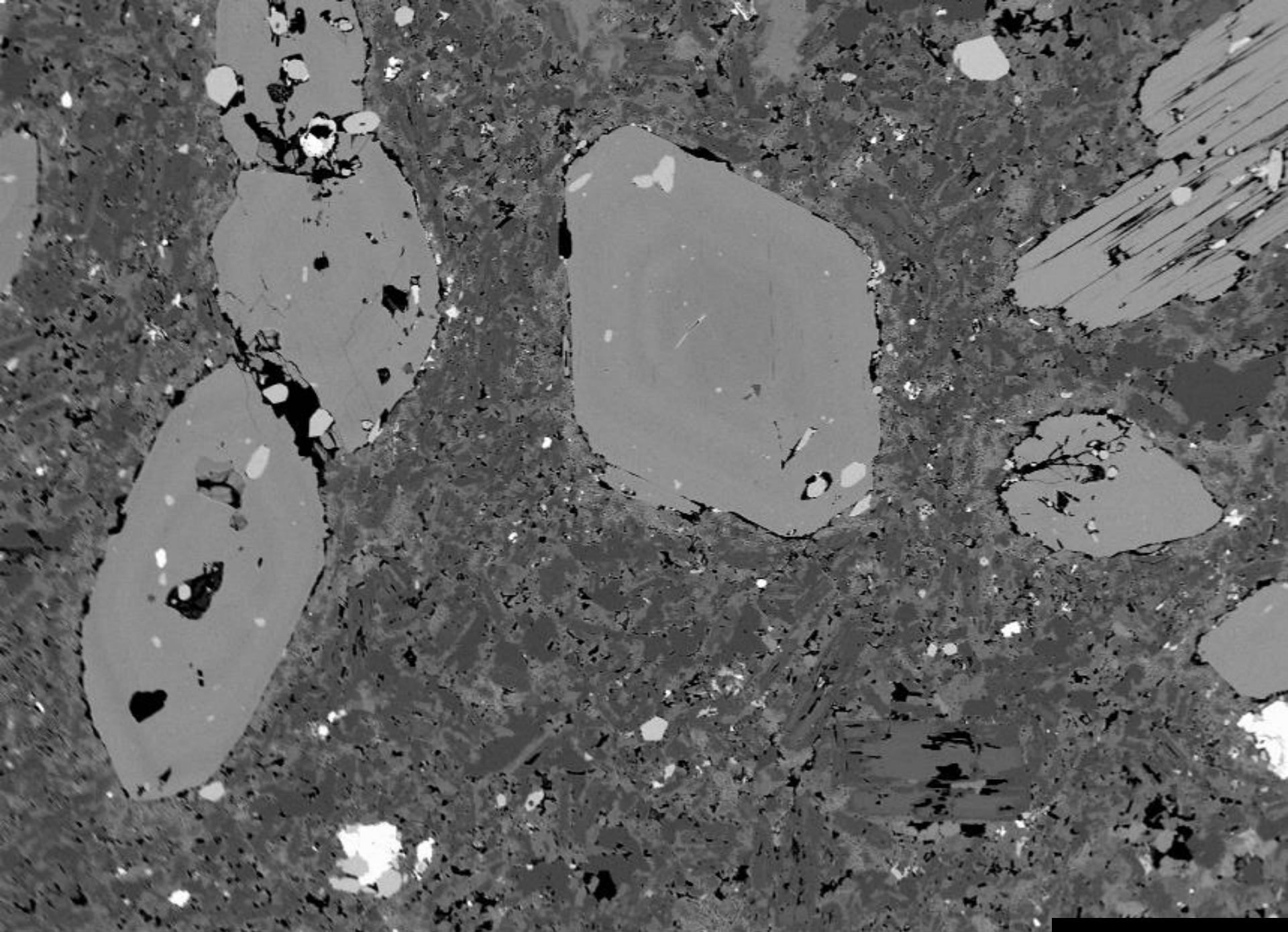


75% Melt, 25% Crystals



50% Melt, 50% Crystals



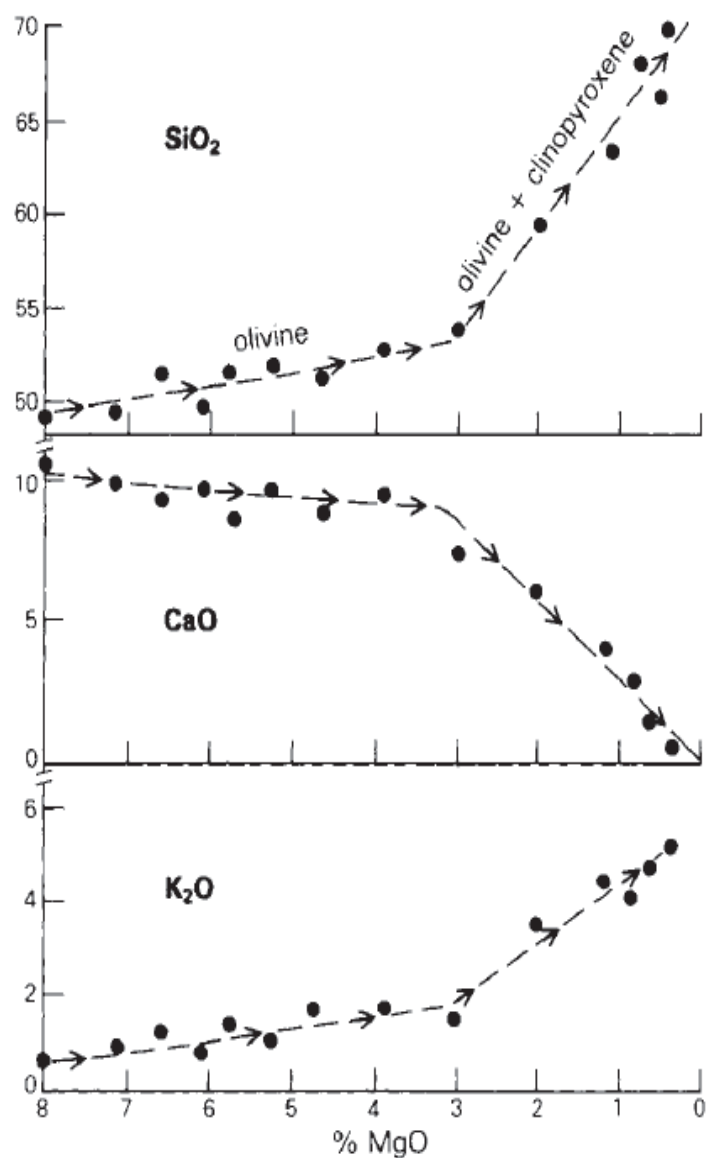


500. μm BSE 15. kV

Andezit (Komňa)

D.3. Jak se chovají horniny v magmatickém krbu?

• Během krystalizace jednotlivých minerálů se mění složení taveniny



Bazalt = Olivín: $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$

Augit: $\text{Ca}(\text{Mg,Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$

Plagioklas $(\text{Ca,Na})(\text{Al,Si})_4\text{O}_8$

Enstatit $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$

Ilmenit: FeTiO_3

jednotlivé minerály ovlivňují chování různých prvků

Ni, Co, Cr – typické pro plášťové horniny

úbytek Ni indikuje krystalizaci olivínu a Cr krystalizaci chromitu nebo klinopyroxenu

V, Ti – frakcionace Fe-Ti oxidů (ilm, Ti-magnetit)

když se V a Ti chovají rozdílně tak je tam titanit a rutil

Zr, Hf – v plášťových minerálech se nekumulují,

mohou nahrazovat Ti ve spinelu a rutilu,

v kyselých horninách zirkon

Ba - substituce za K v Kfs, Amp, Bt

Rb - substituce za K v Kfs, Amp, Bt

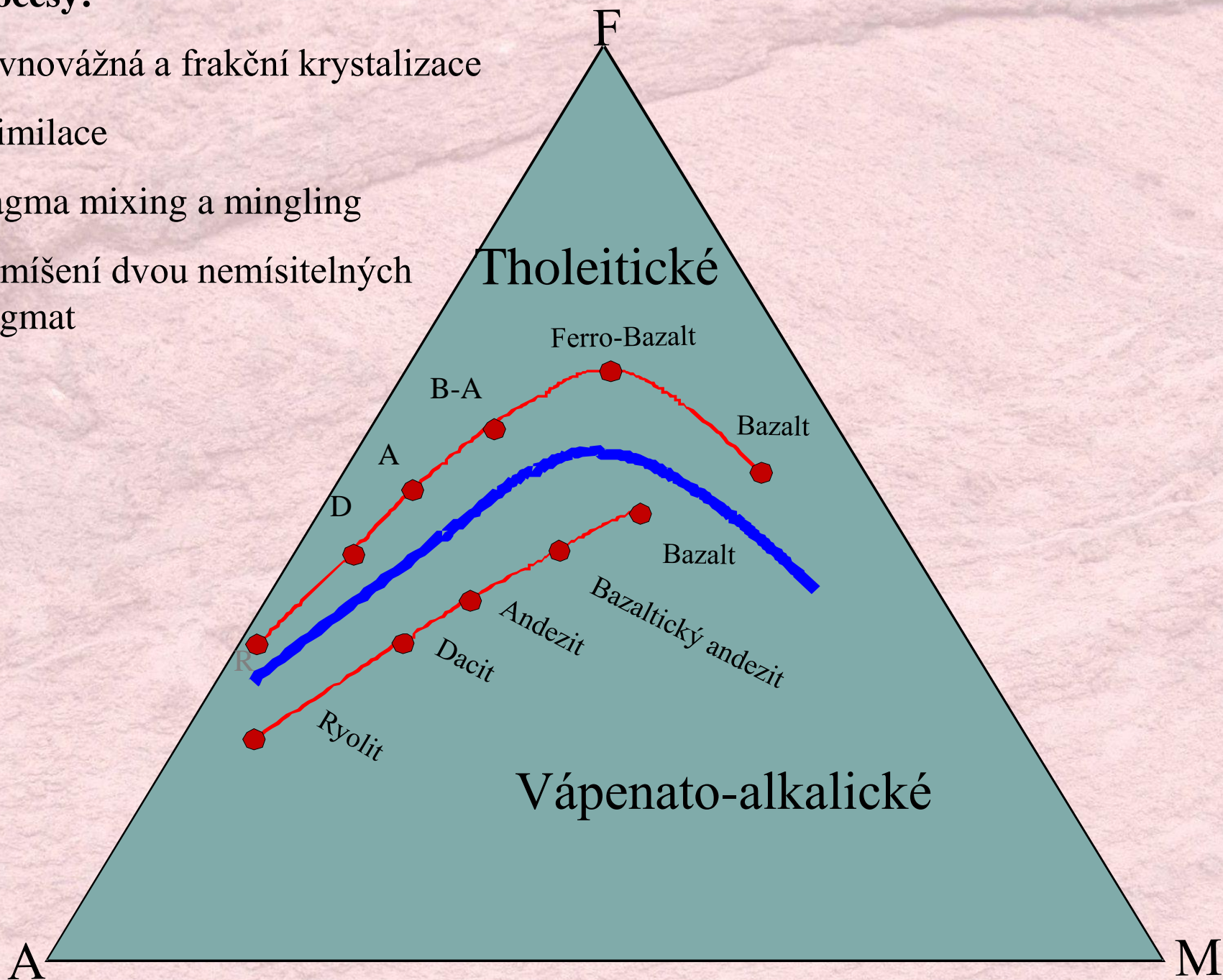
Sr - substituce za Ca v Pl nebo K v Kfs

REE – Grt a Amp (HREE), Ttn (LREE), akcesorie

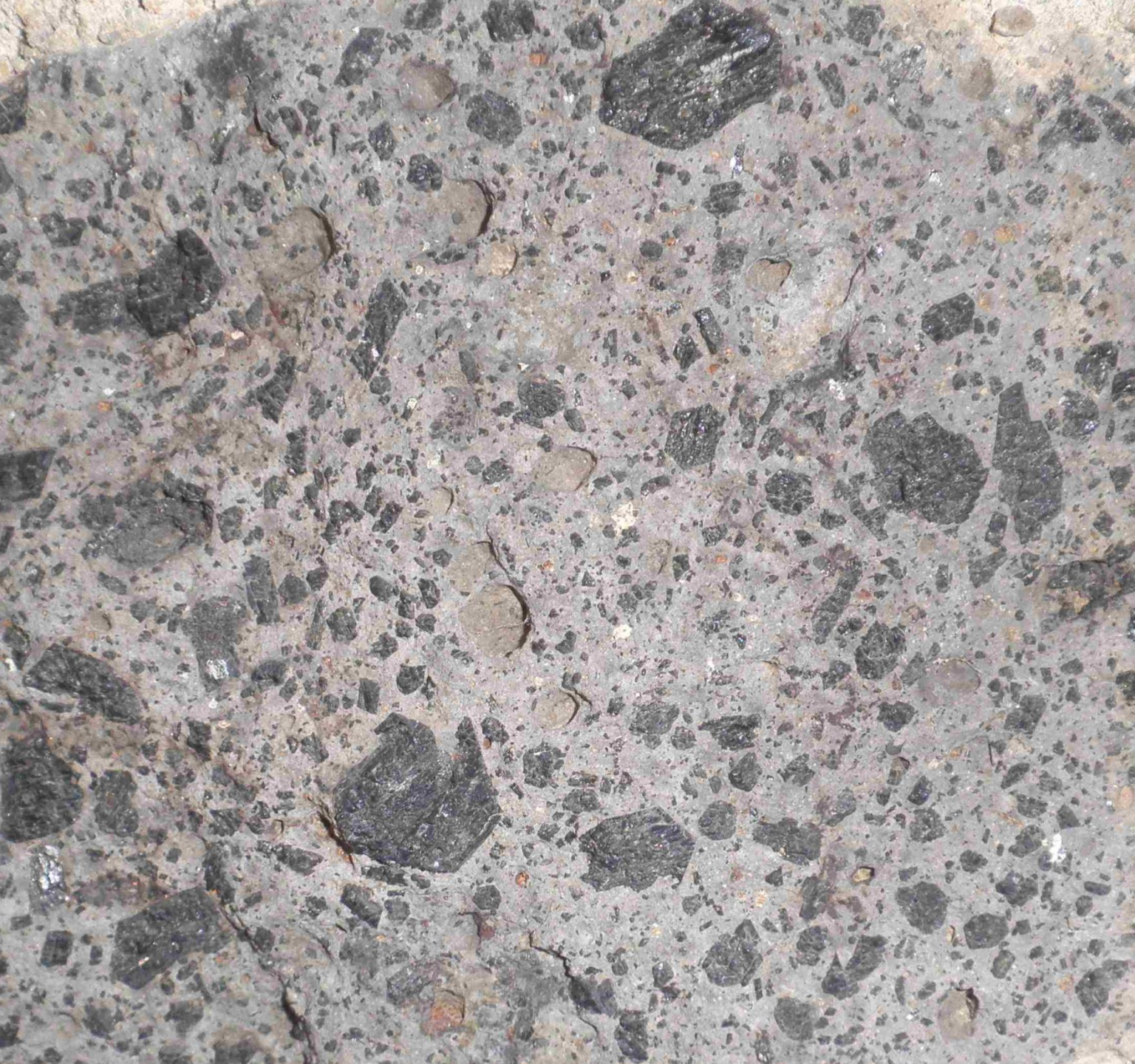
Mnz atd, živce hlavně Eu.

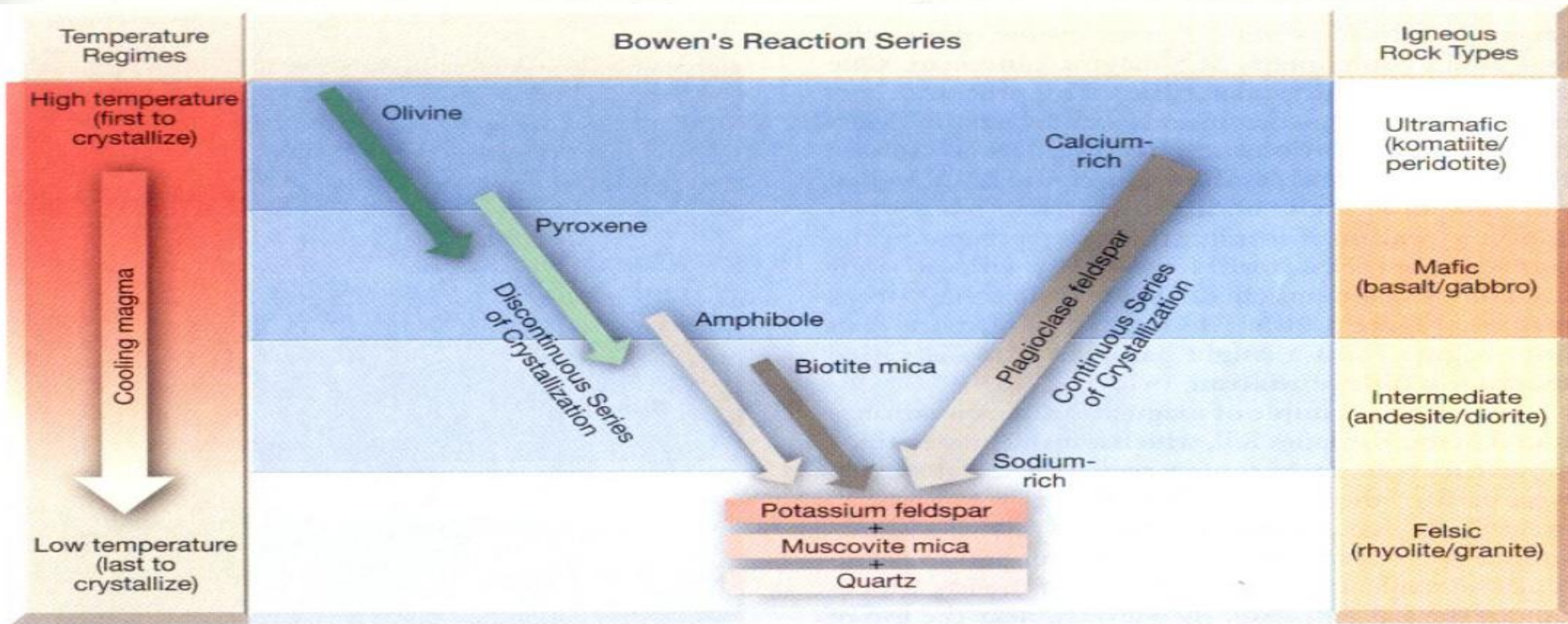
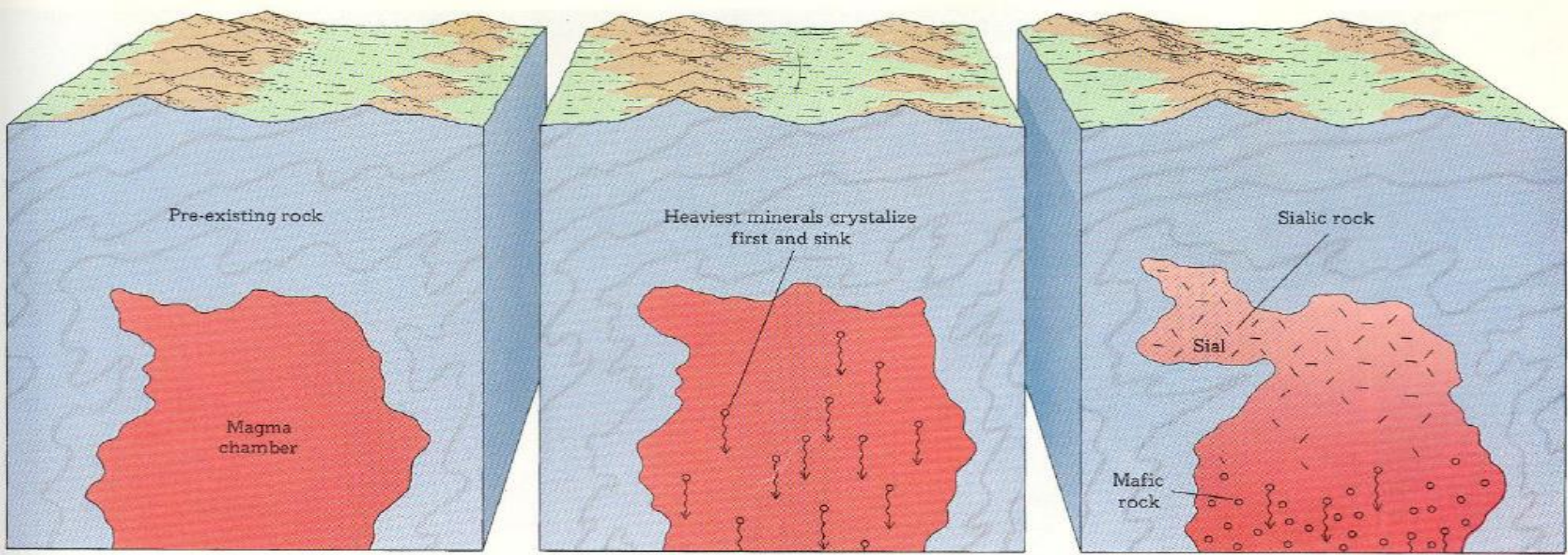
• **Procesy:**

- 1) Rovnovážná a frakční krystalizace
- 2) Asimilace
- 3) Magma mixing a mingling
- 4) Odmíšení dvou nemísitelných magmat



Porfyrický analcimit
– Doupovské hory





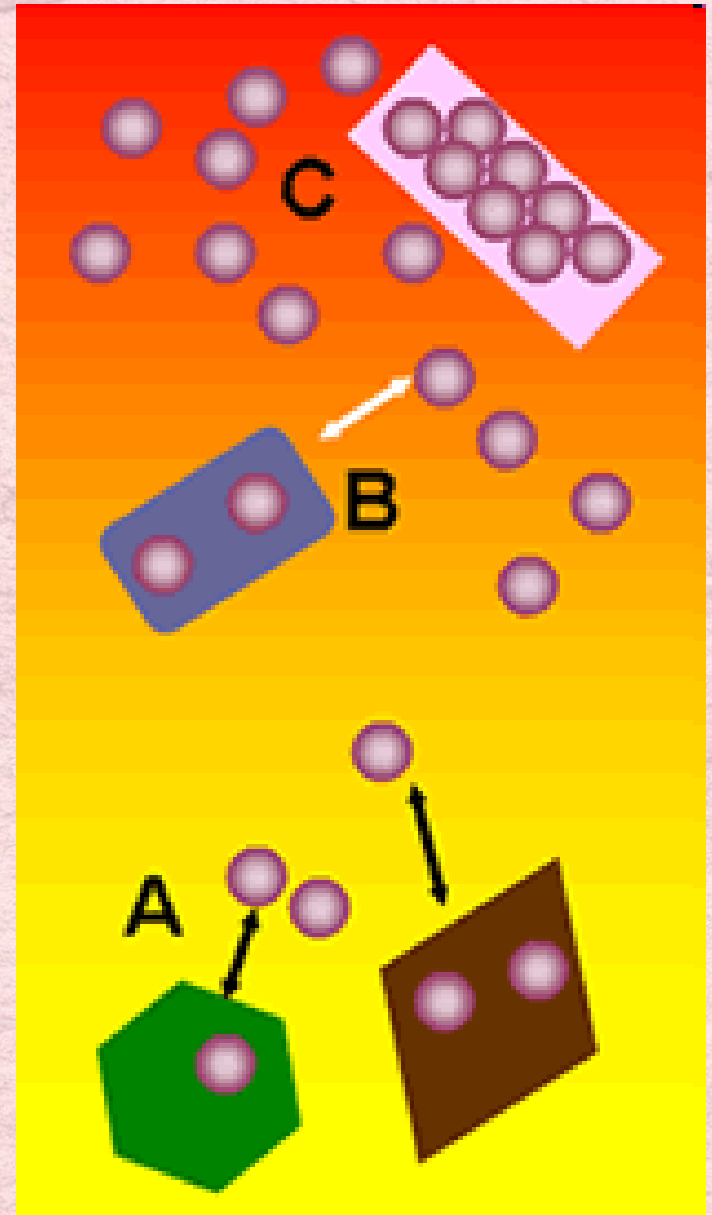
1) Rovnovážná a frakční krystalizace krystalizace

rovnovážná krystalizace

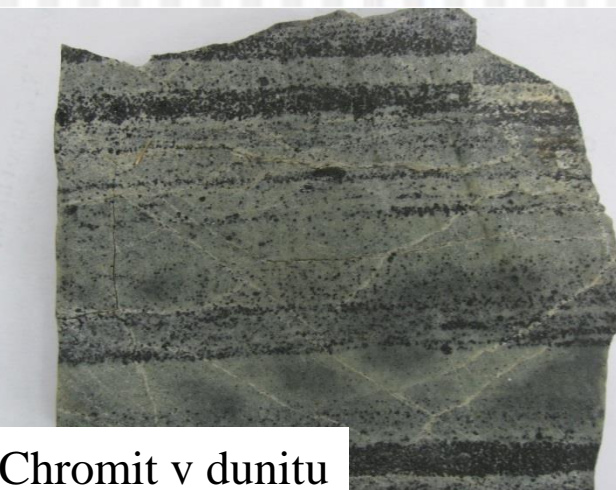
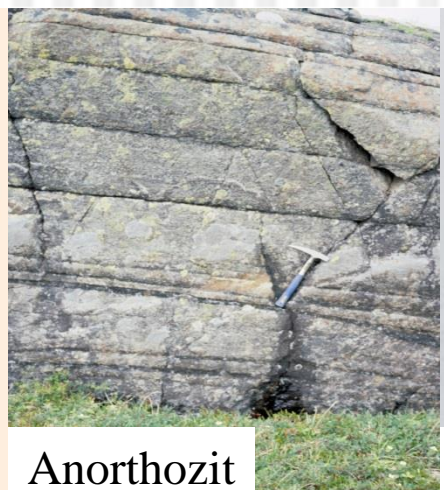
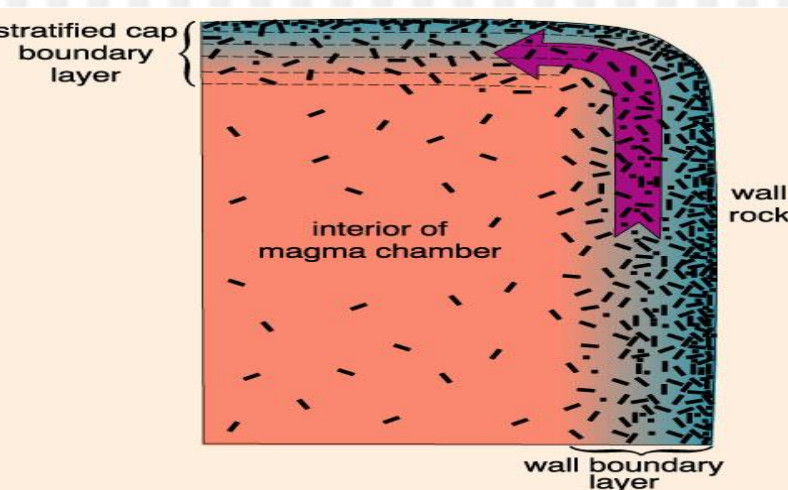
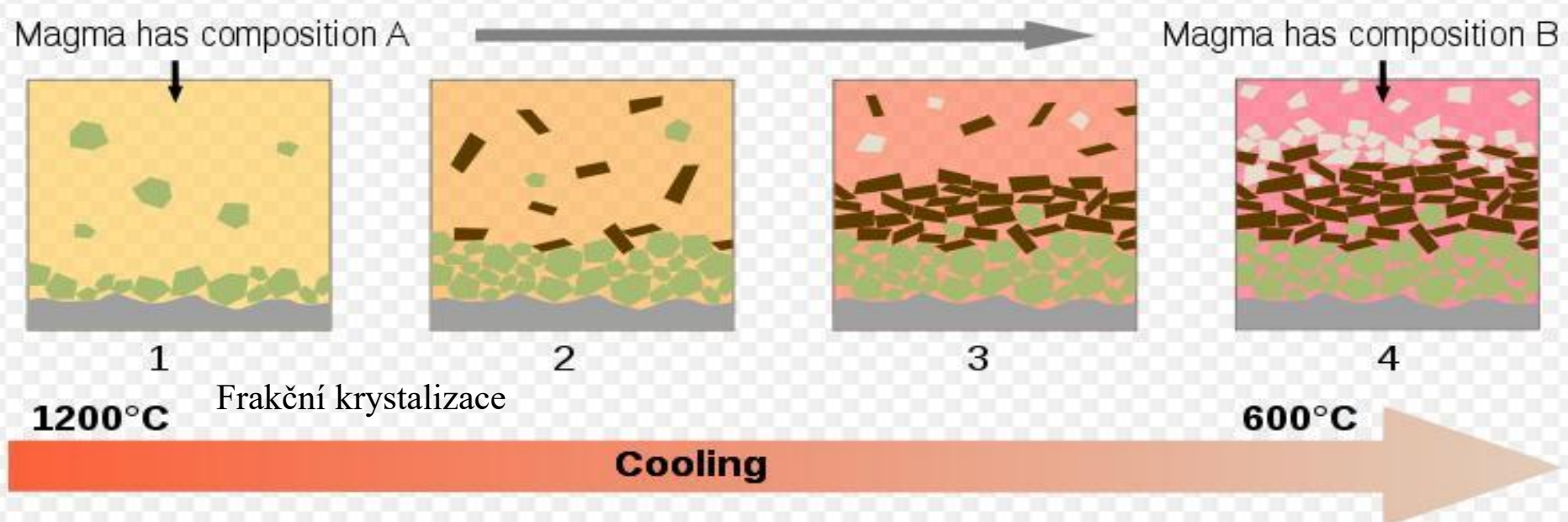
- tavenina je v rovnováze s krystaly

frakční krystalizace

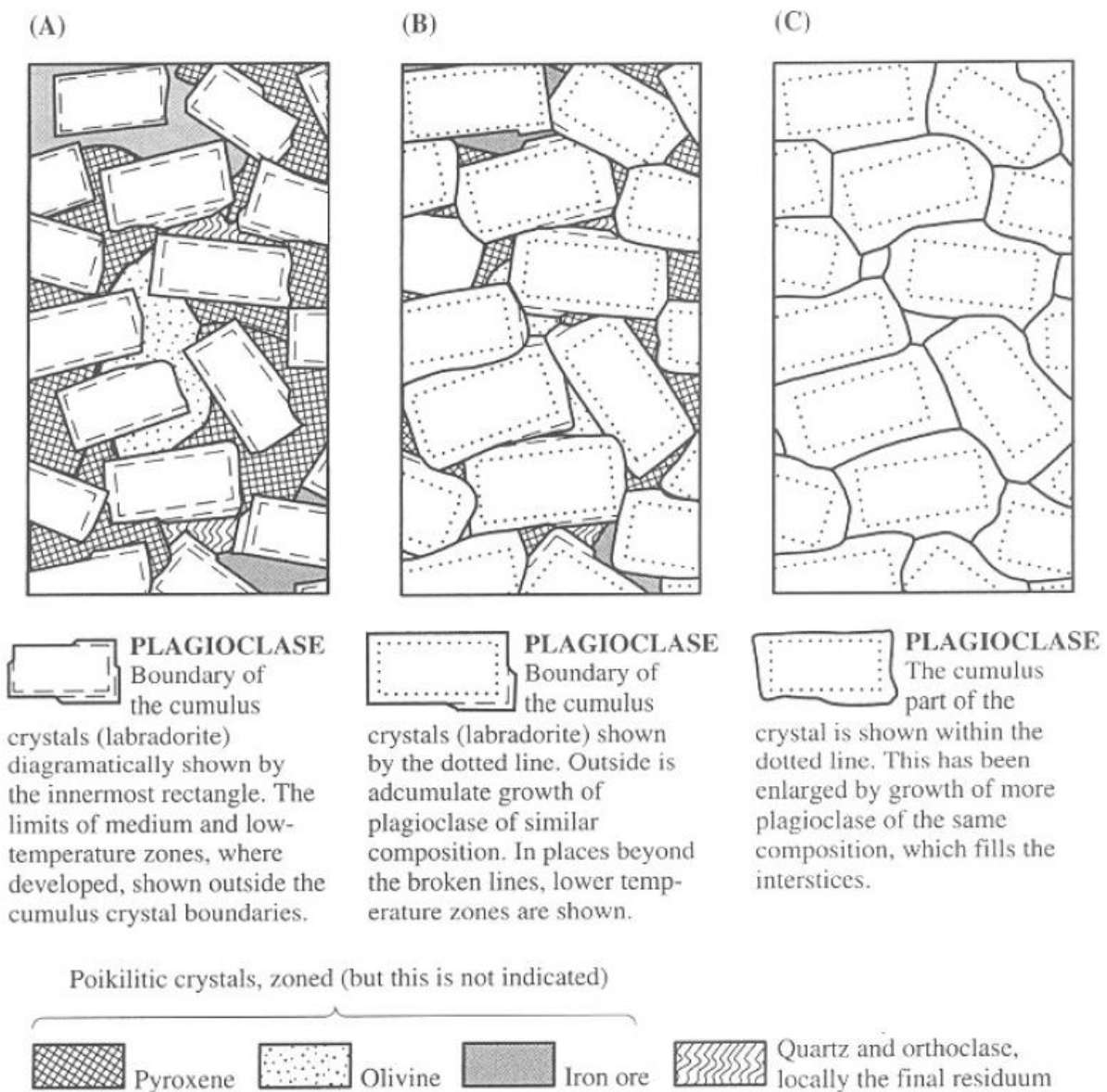
- dochází k separaci dříve krystalizujících minerálů od taveniny
- tavenina se ochuzuje o prvky přítomné v těchto minerálech



- **Frakční krystalizace (Fractional crystallization):**
- při frakční krystalizaci se z taveniny odděluje část krystalů
- složení krystalů závisí na chemickém složení taveniny,
- také na tlaku teplotě a složení koexistující fluid. fáze



- **Vznik kumulátové stavby**
- dochází ke gravitační sedimentaci dříve krystalovaných minerálů
- sedimentace je často ovlivněna prouděním v mag. krbu



- **Kumulátové stavby**

- **Plagioklasový ortokumulát**

- krystaly plagioklasu-An
- obklopeny taveninou jiného složení
- interkumulus 25-50 %
- tavenina reagovala s Pl

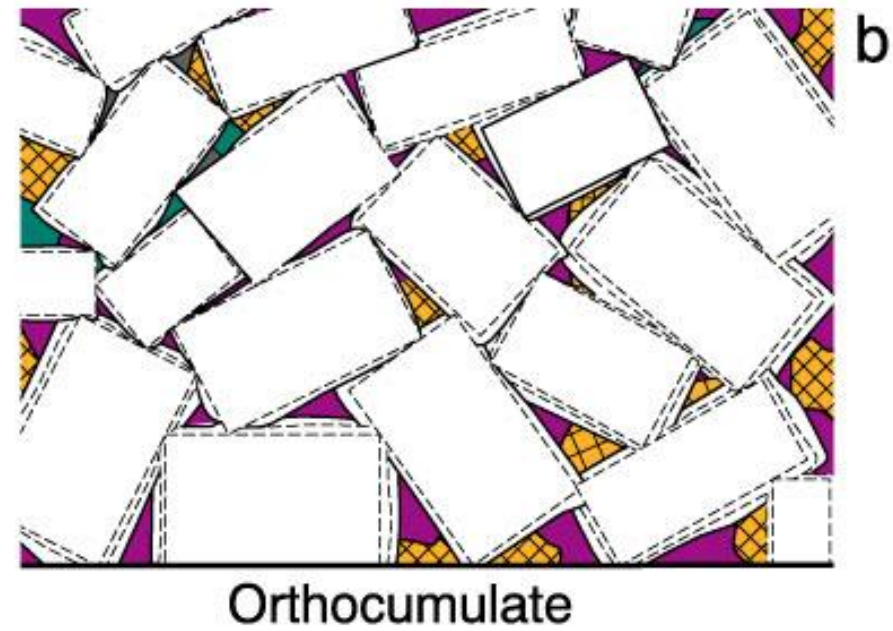
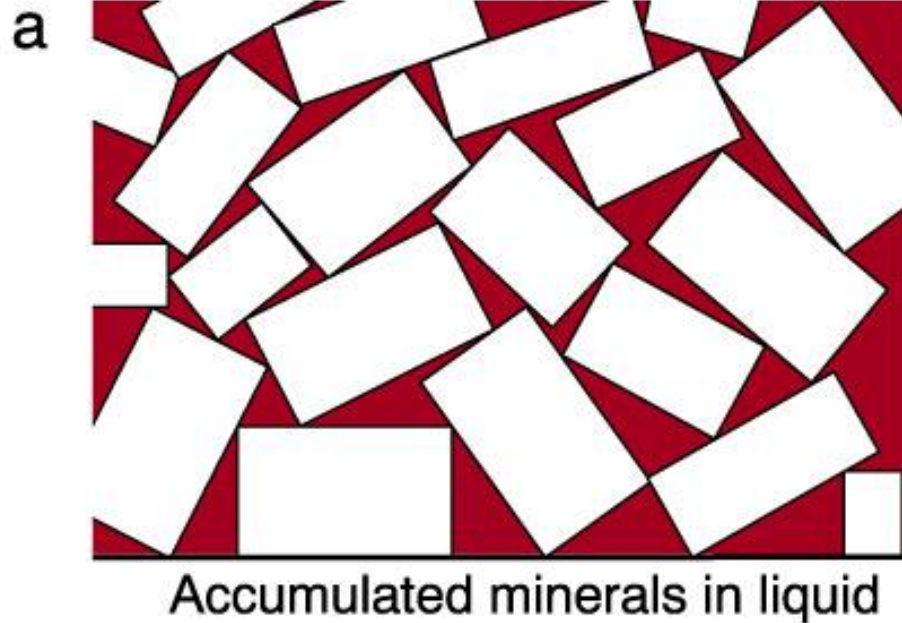
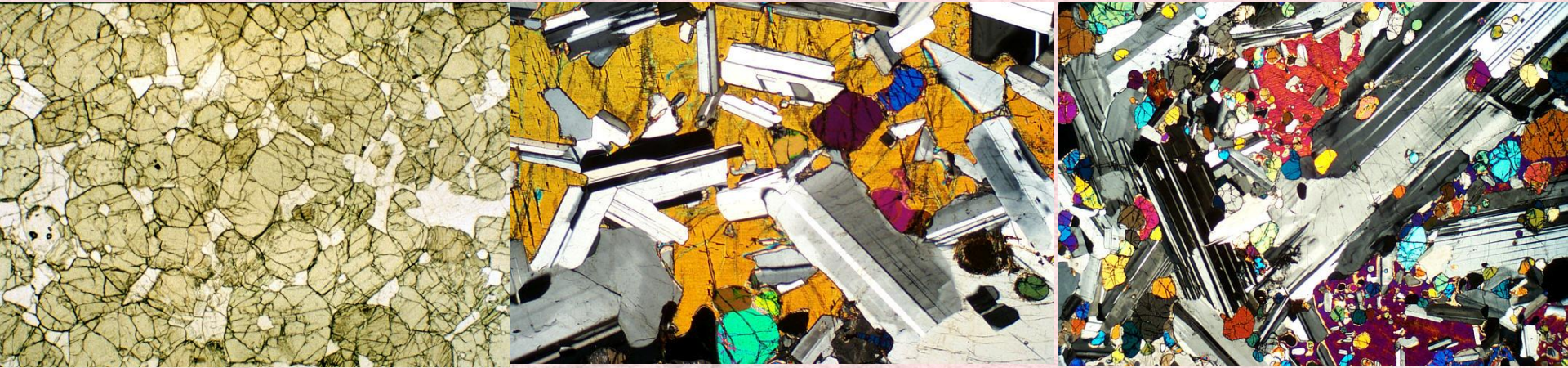
- **Plagioklasový mesokumulát**

- středně bazický plagioklas
- roste ještě během krystalizace interkumulů
- inerkumulus 7-25 %
-

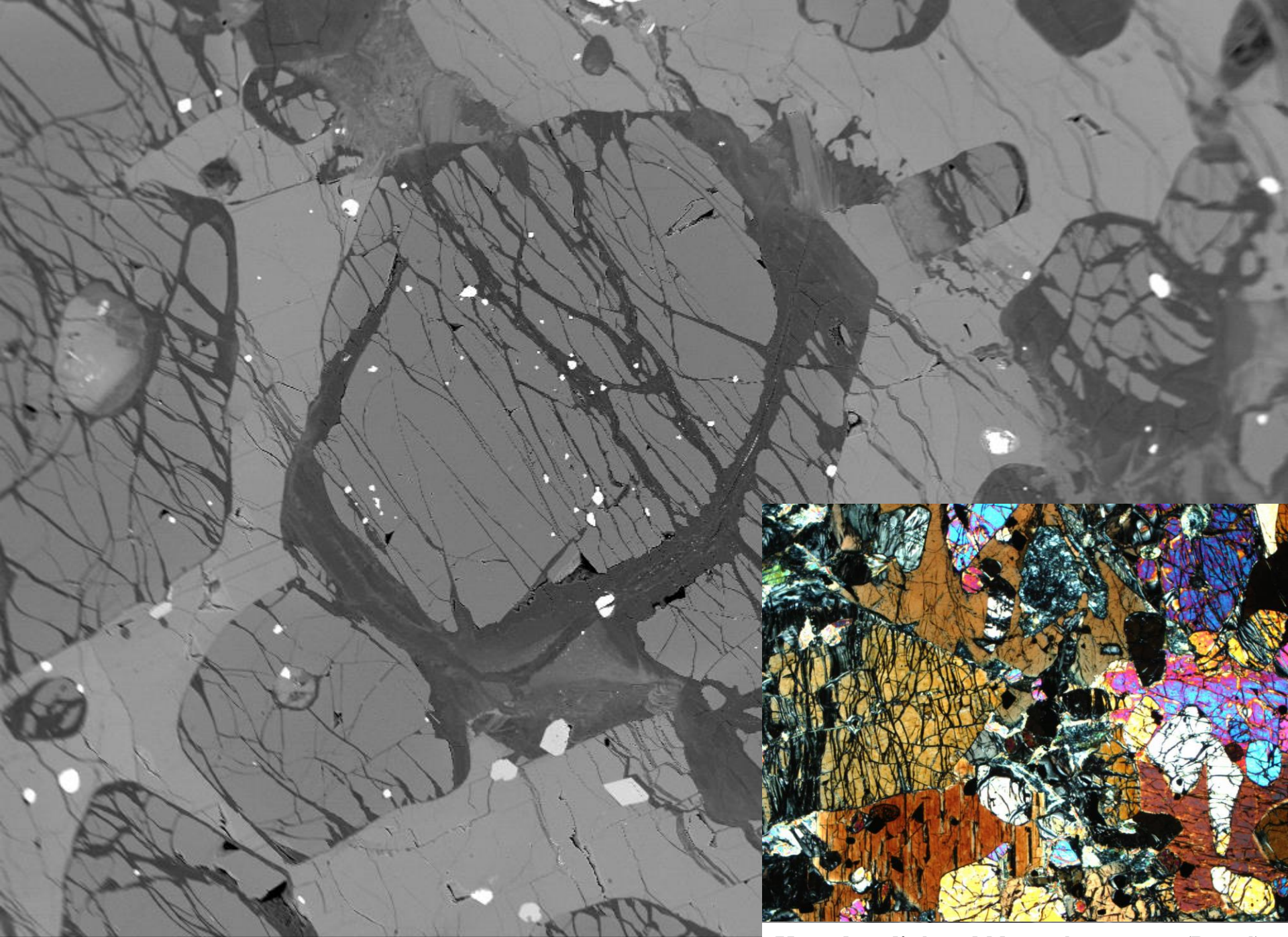
- **Plagioklasový adkumulát**

- postkumulátový Pl
- růstem vytlačil většinu intersticiální taveniny

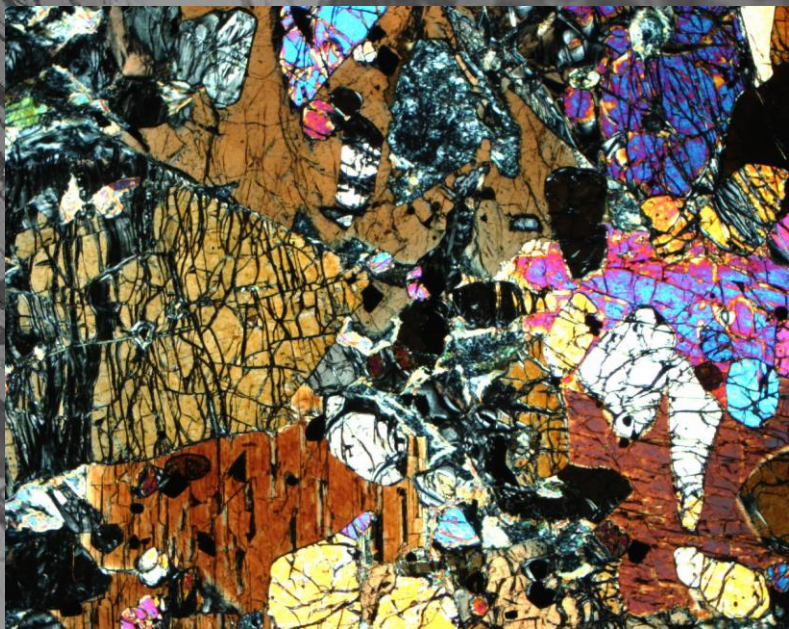
- **Kumulus** (cumulus): automorfně omezené krystaly které v magmatu sedimentují
- **Interkumulus** (intercumulus): minerály nebo tavenina které vyplňují prostor mezi těmito krystaly



(a) krystaly plagioklasu sedimentují na okraji magmatického krhu, (b) tavenina mezi krystaly tuhne



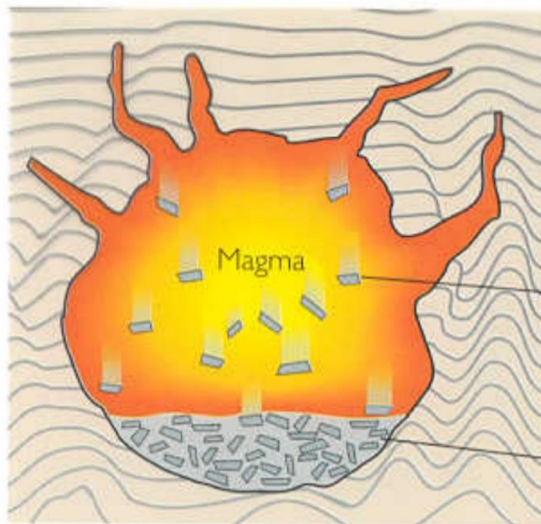
1000. μm BSE 15. kV



Kumulus olivínu obklopený pyroxeny (Perná)



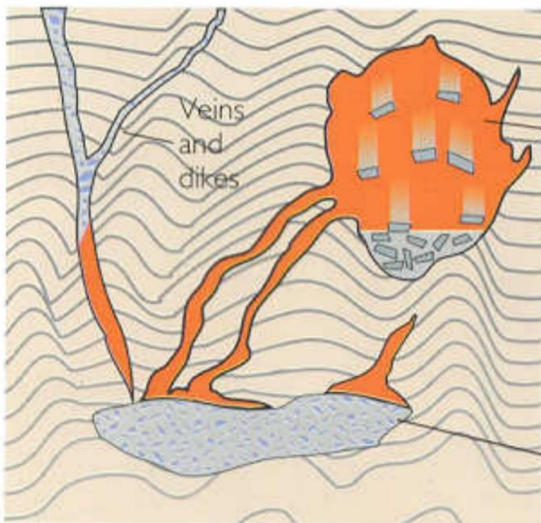
Kumulátové gabro, Mongolsko



Crystals form from magma cooling and settle to floor of chamber

Crystals from early cooling accumulate

(a) Early crystallization



Magma migrates to secondary chamber, where it continues to crystallize

Mass of crystals formed early are segregated and compressed to form separate intrusive body

(b) Later deformation squeezes remaining liquid from crystal mush

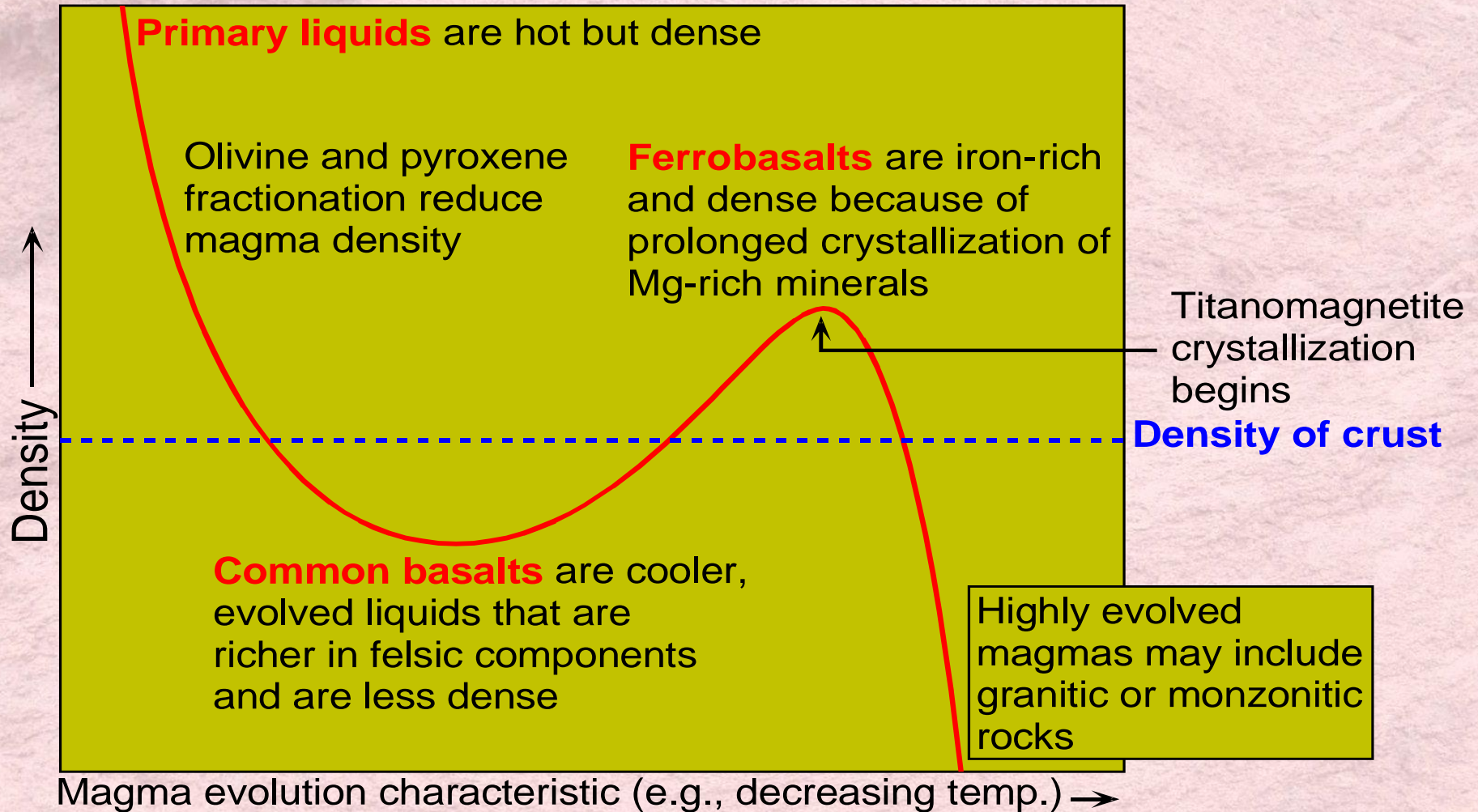


běžné bazalty jsou velmi hojné

méně vyvinutá primární magmata (Mg) a více vyvinuté Fe bazalty jsou vzácné

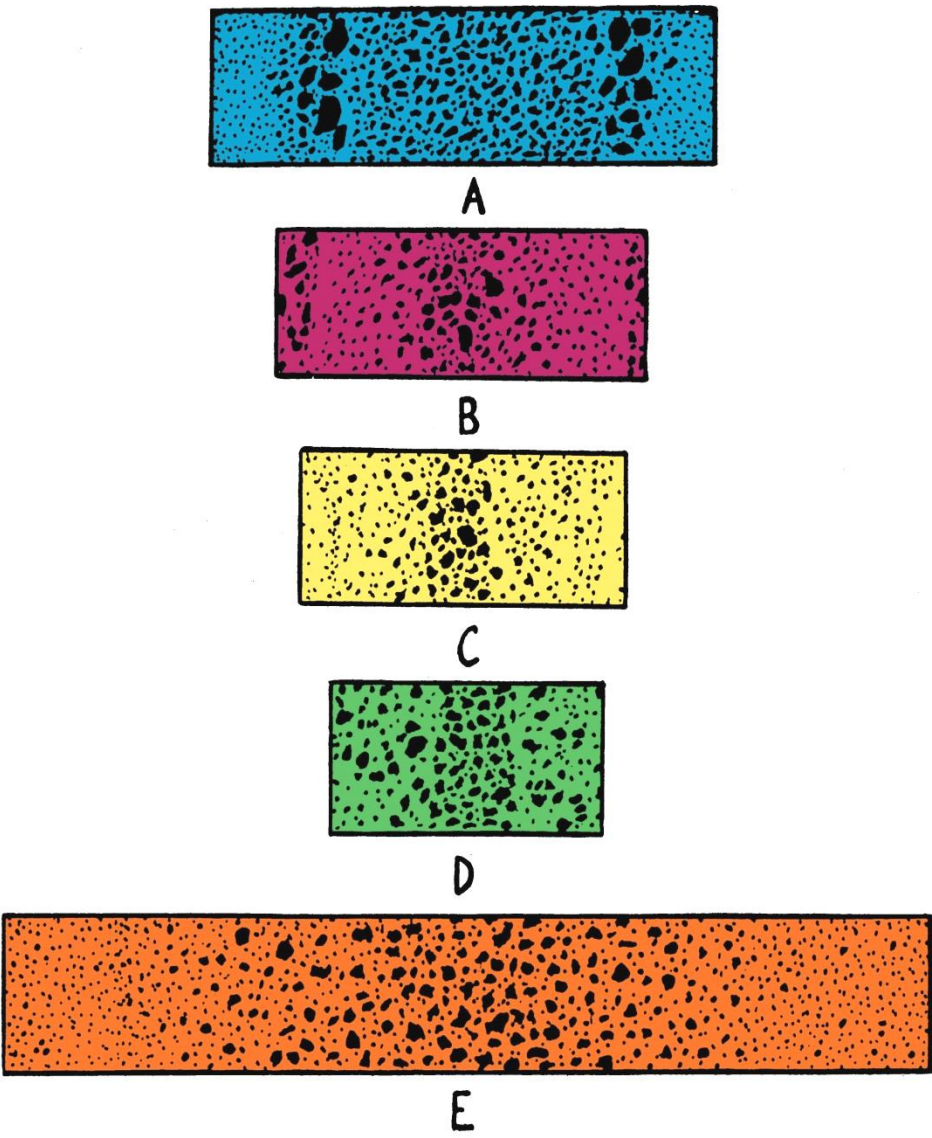
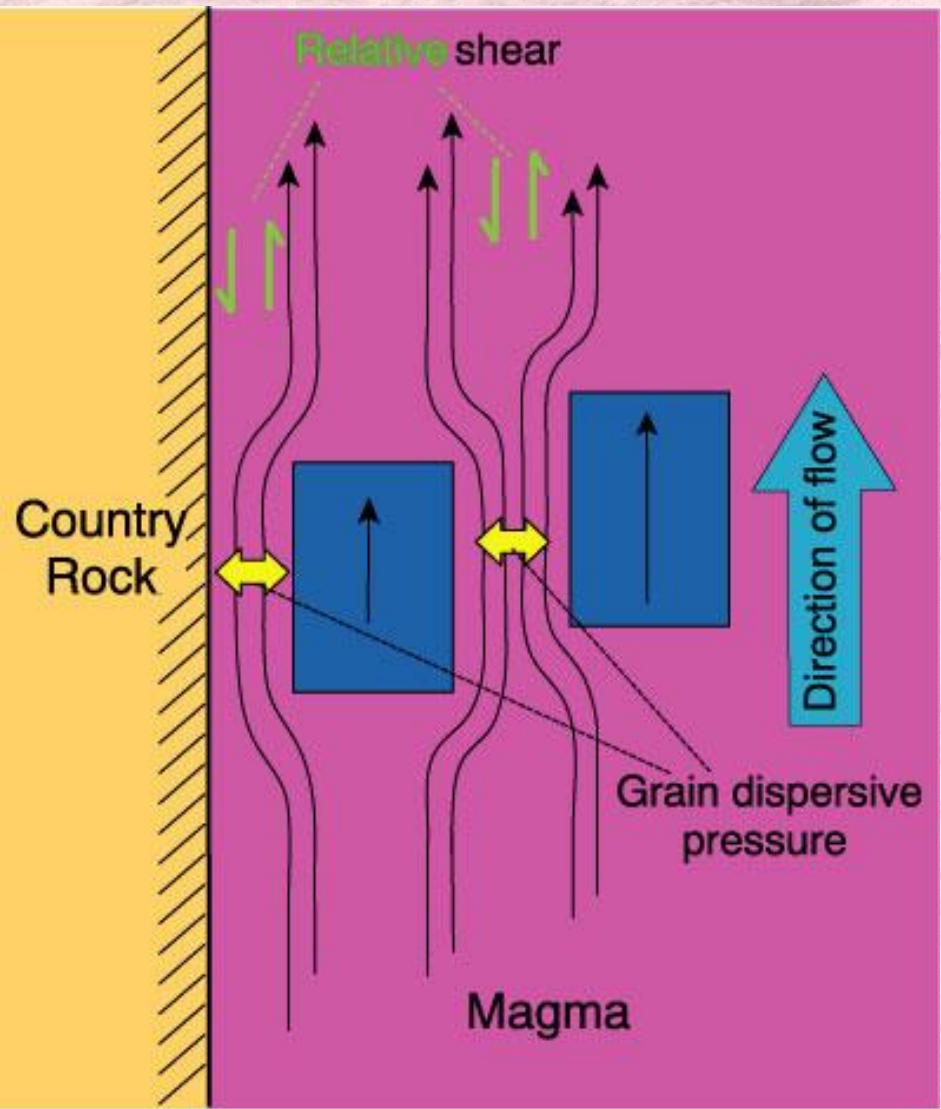
jedním z možných důvodů může být fakt že kůra hraje roli hustotního filtru

jen běžné bazaltové magma je méně husté než primární nebo železem bohaté magma



• **Separaci krystalů a taveniny může také způsobit tok magmatu**

na okraji žíly je větší hustota a nižší rychlost toku takže rychlost pohybu krystalů je nižší proud kolem těchto krystalů není laminární – větší krystaly jsou vytlačovány ke středu žíly

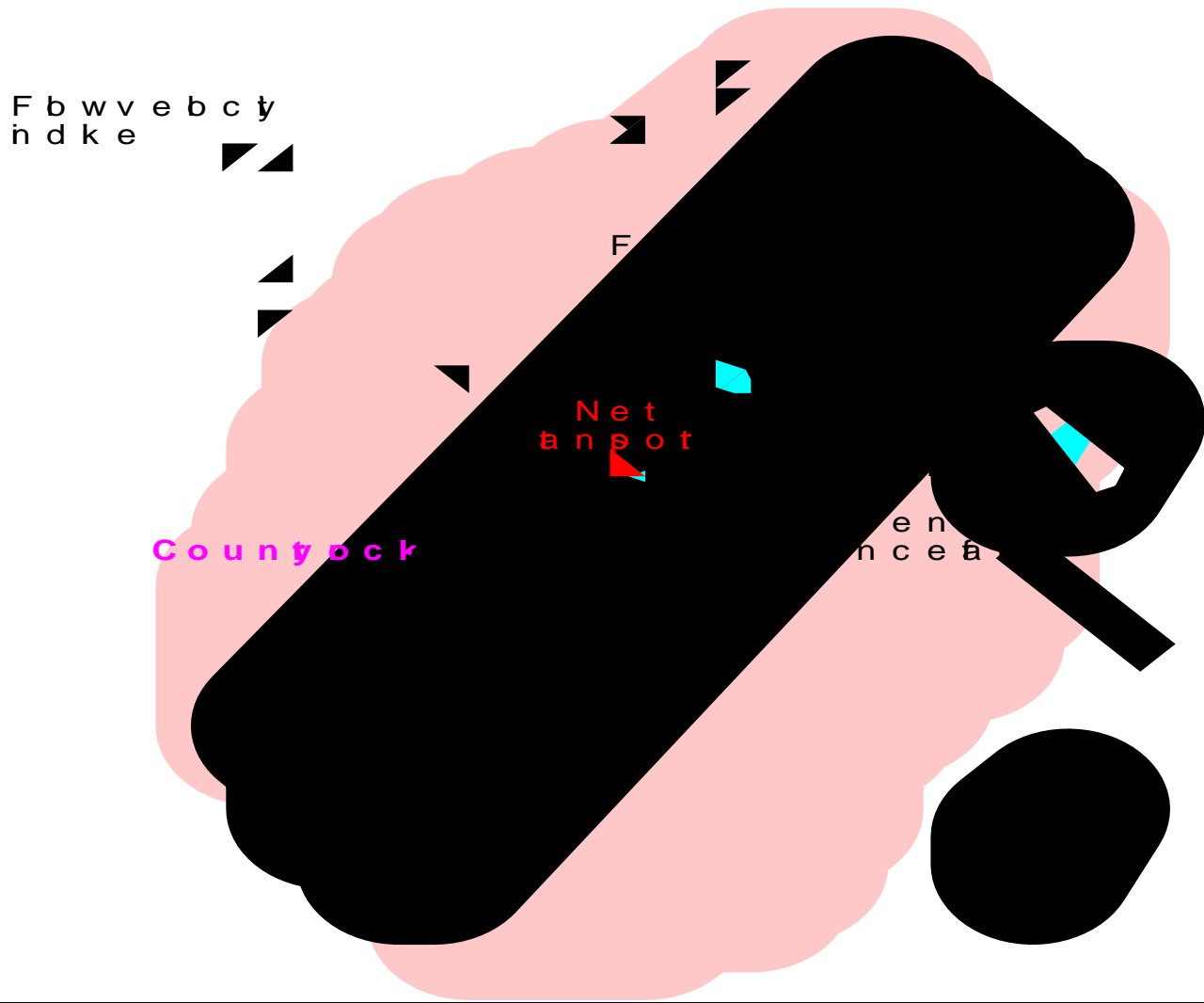




rozdílná rychlost toku magmatu na okrajích a ve středu žíly

xenolity a krystaly migrují od okraje žíly

podobný princip jako udržuje letadlo ve vzduchu



D k e o s l

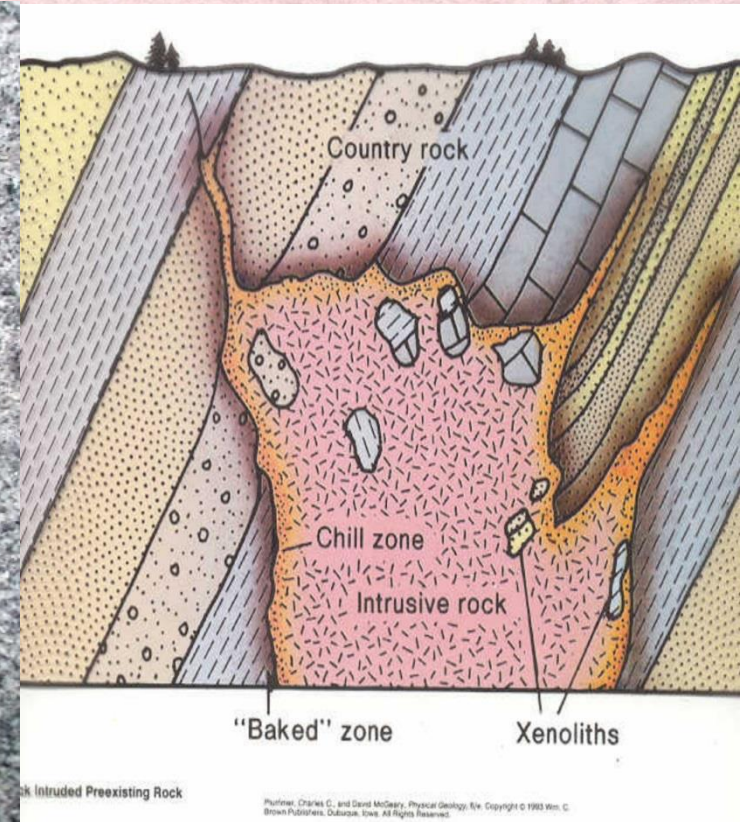
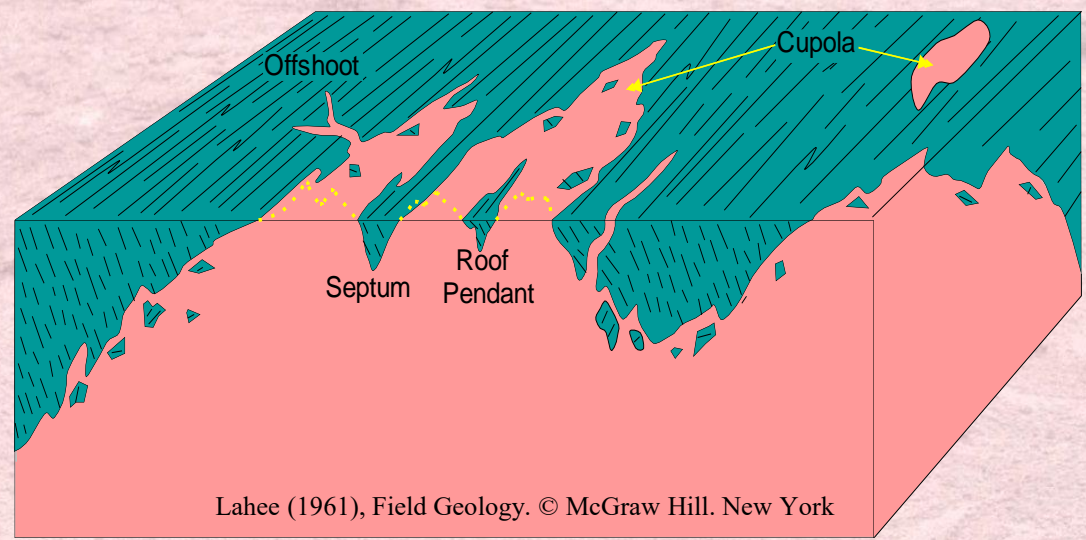
F b w v e b c y
n d k e

Net
a n s o t

Counterclockwise

en
nce a

- **2) Assimilace (Assimilation):**
- horké magma intruduje do studené kůry, kterou taví
- míšení obou tavenin
- xenolity nebo xenokrasty



Assimilace xenolitů migmatitů granitem , Rácov

D k e o s l

S i n g l e c y s t a l

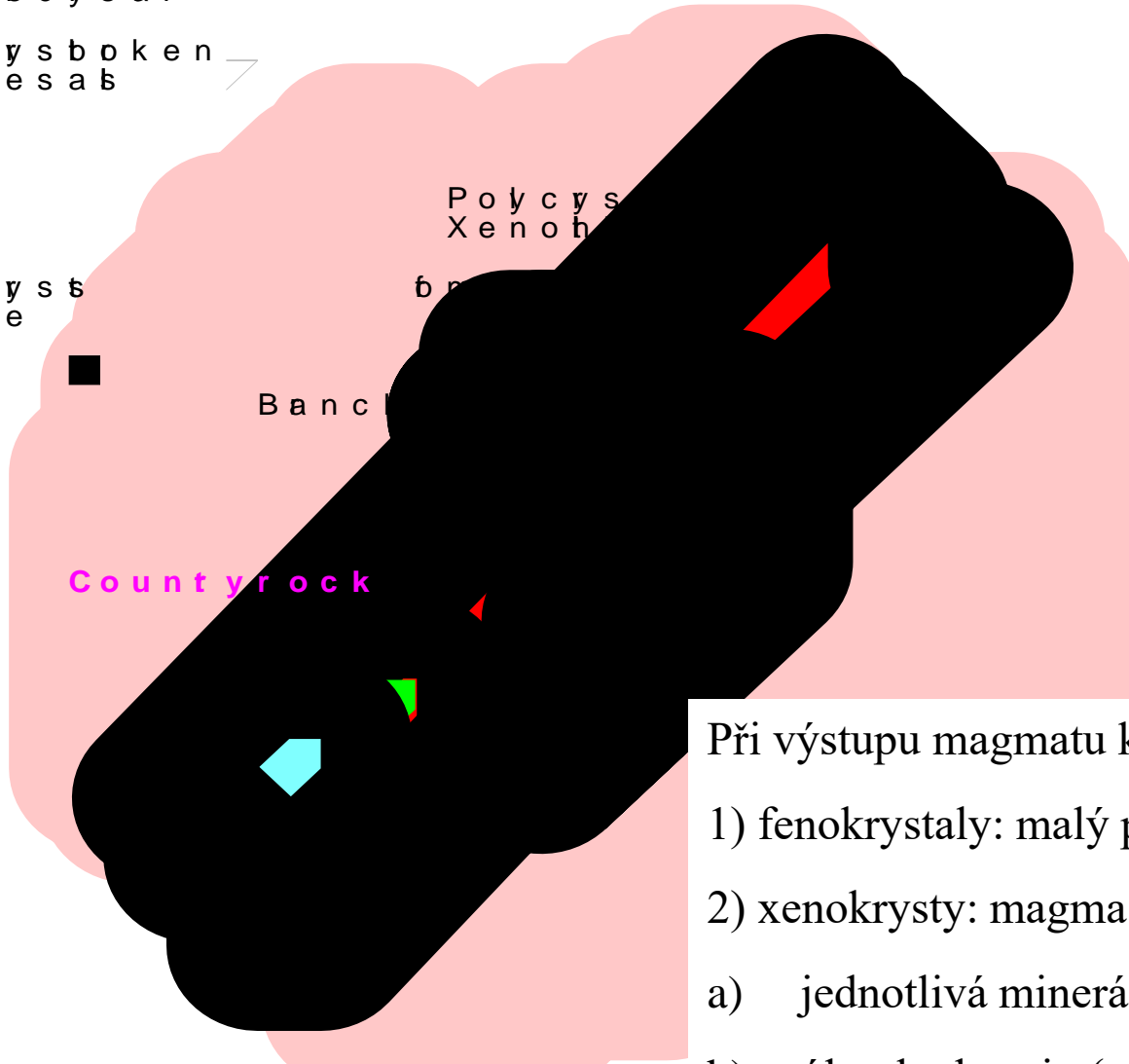
x e n o c y s t a l
b m h e d k e s a b

P h e n o c y s t
g o w b m h e
q u i d

P o l y c y s
X e n o l

B a n c

C o u n t y r o c k



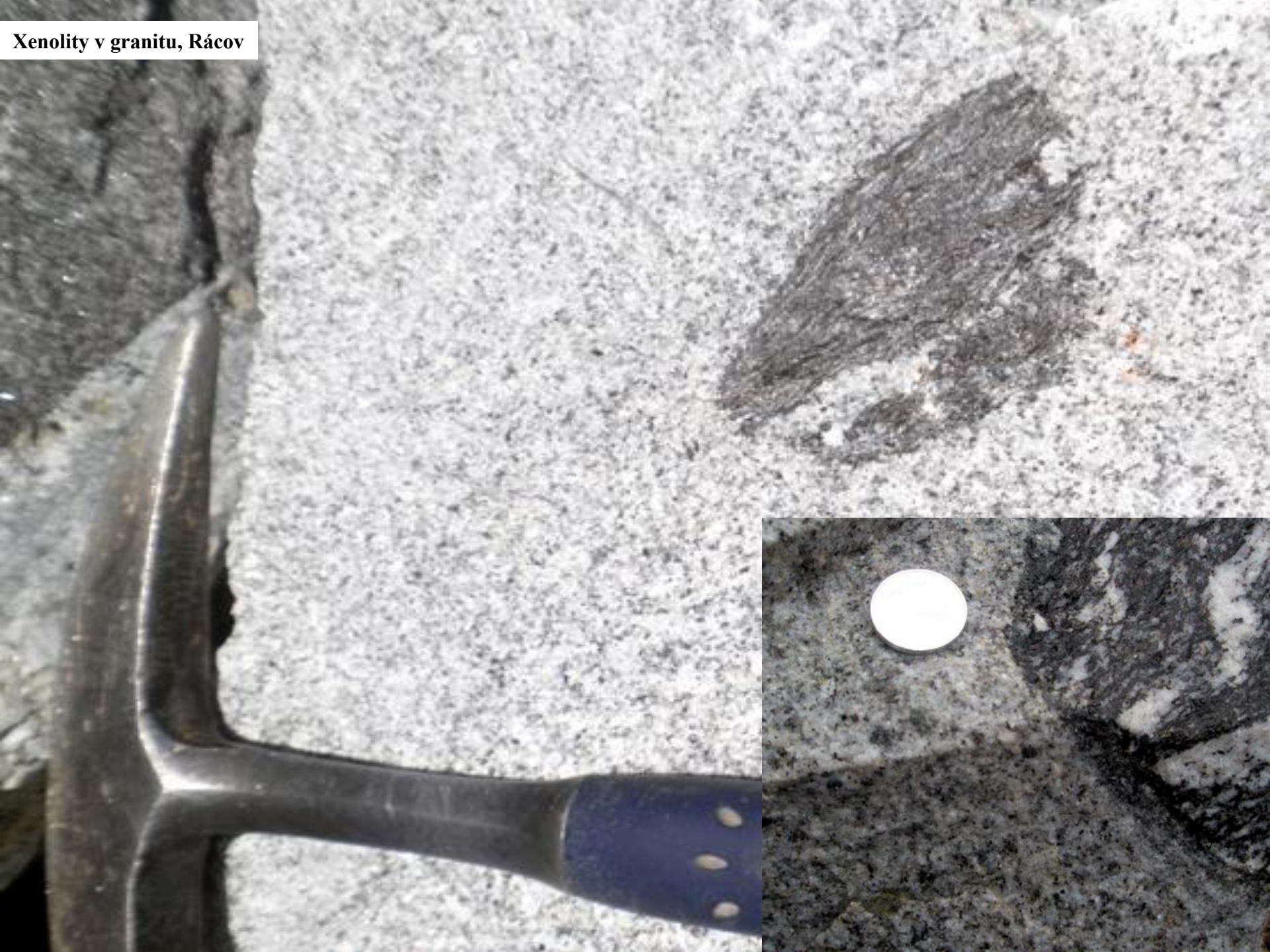
Při výstupu magmatu k povrchu vznikají:

- 1) fenokrystaly: malý počet nukleačních center
- 2) xenokrysty: magma odtrhává ze stěn žíly
 - a) jednotlivá minerální zrna (xenokrysty)
 - b) úlomky hornin (xenolity)



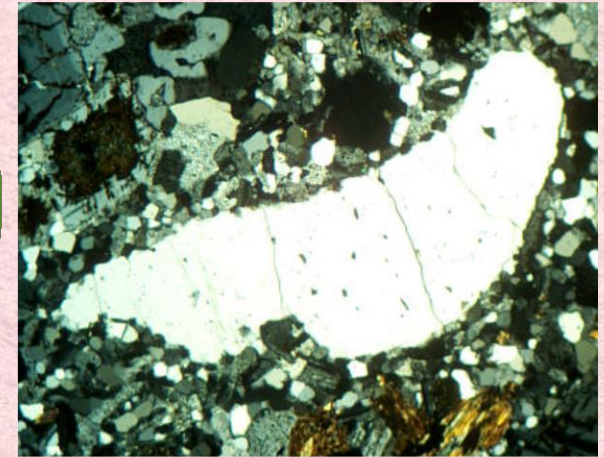
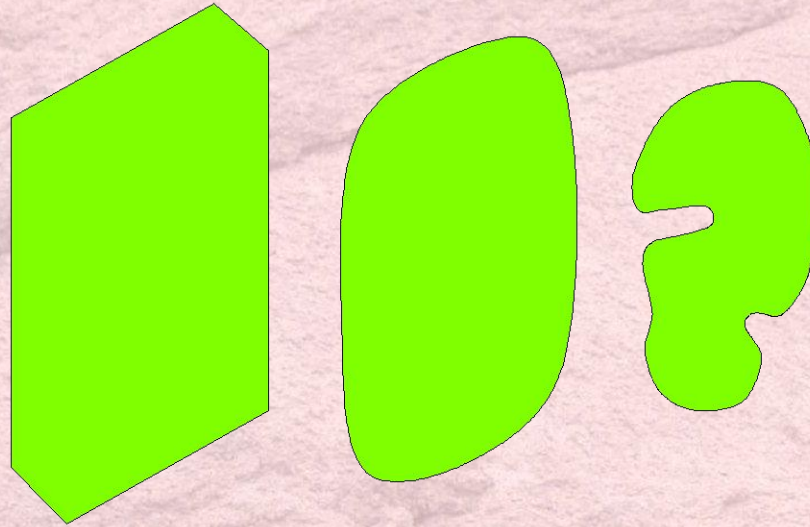
Xenokrysty cordieritu v granitu, Roštejn

Xenolity v granitu, Rácov



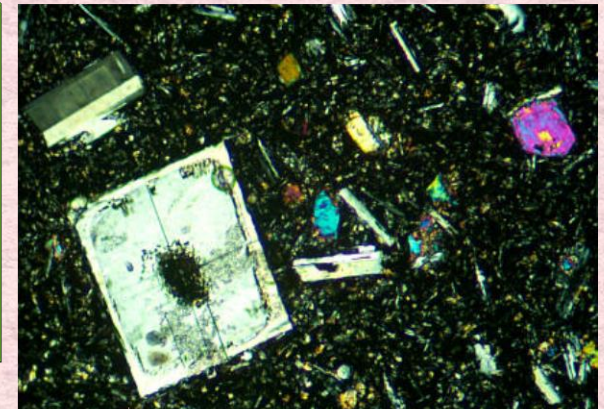
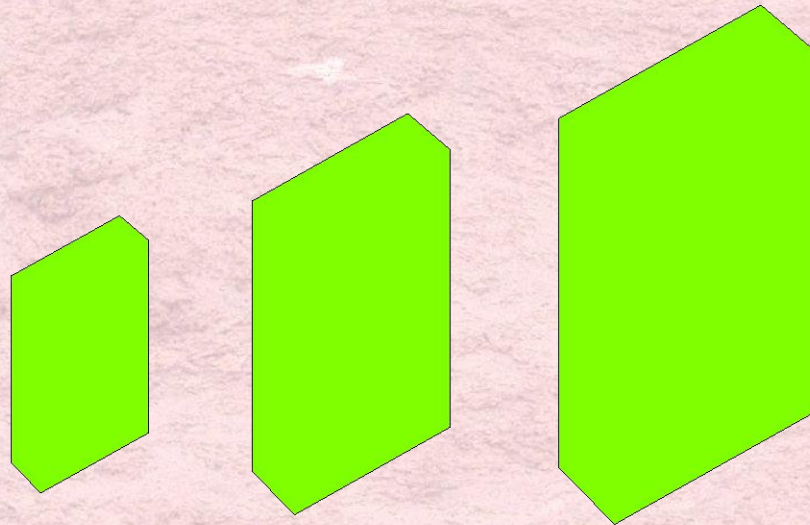
Rozpouštění vs. magmatická krystalizace

Dissolution
(resorption) of
phenocrysts or
xenocrysts

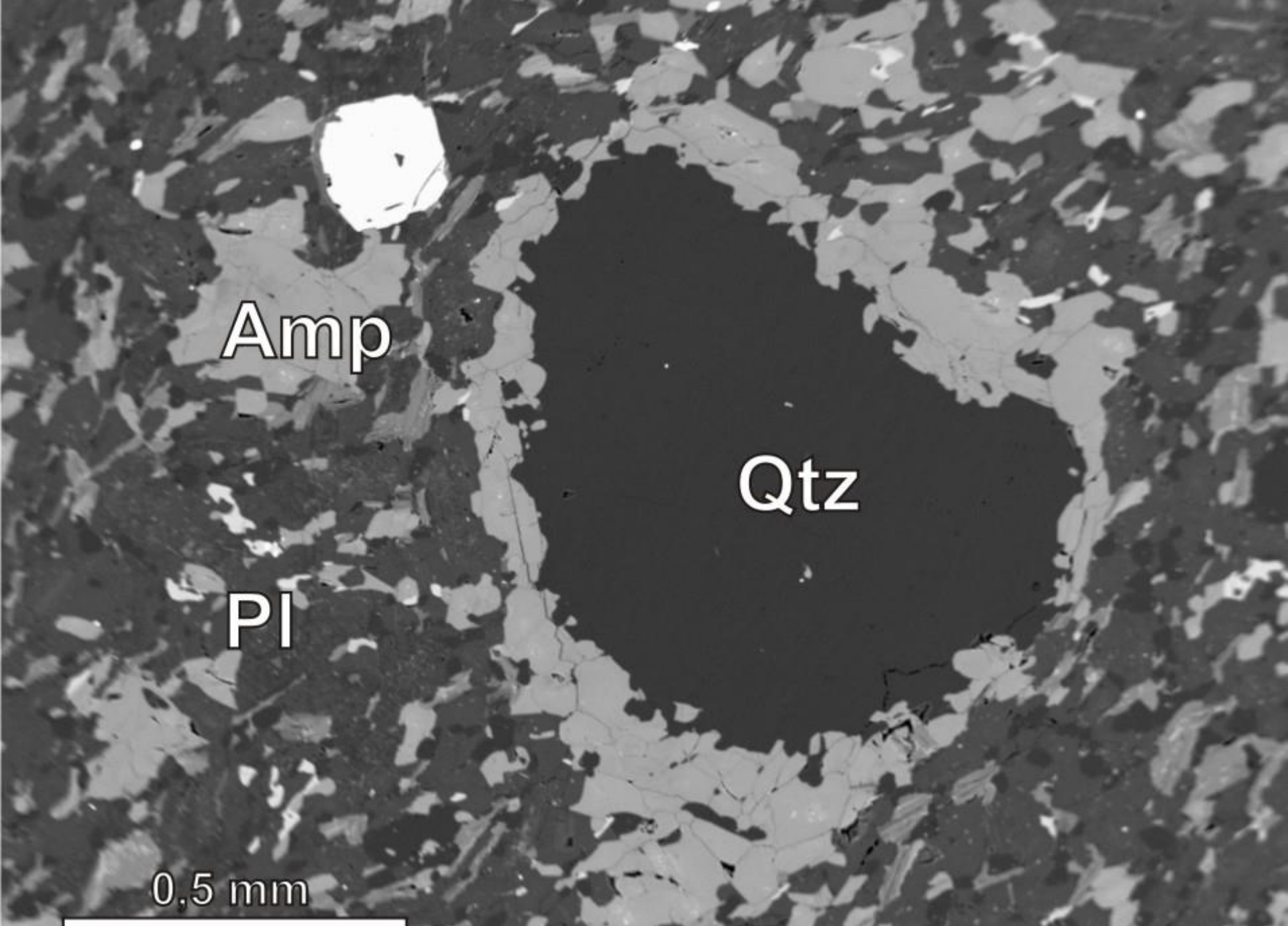


Resorbed quartz phenocryst in a dacite porphyry.

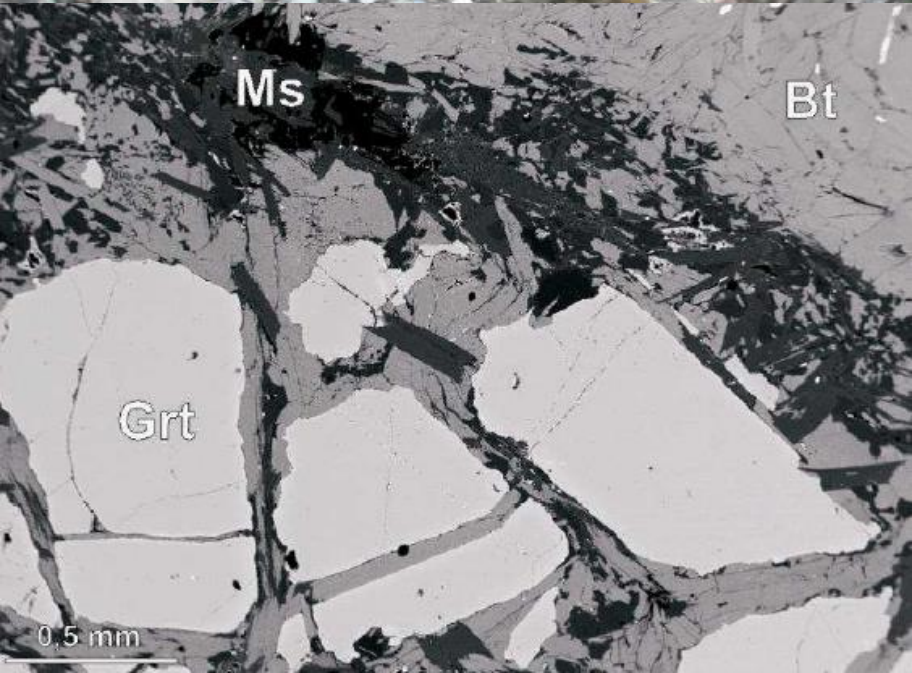
Regular growth



Euhedral phenocrysts of plagioclase and olivine in a basalt.



Xenokryst křemene lemovaný amfibolem v žíle bazaltu z výchozu v. od Omic



Xenolit Grt-Cdr rohovce v granitu, Jalapa

- **3) Magma mixing a mingling (Magma mixing, mingling)**
- dochází k míšení dvou magmat s rozdílným chemickým složením



Enklávy jemnozrnného gabra v granitu, z lomu Omice

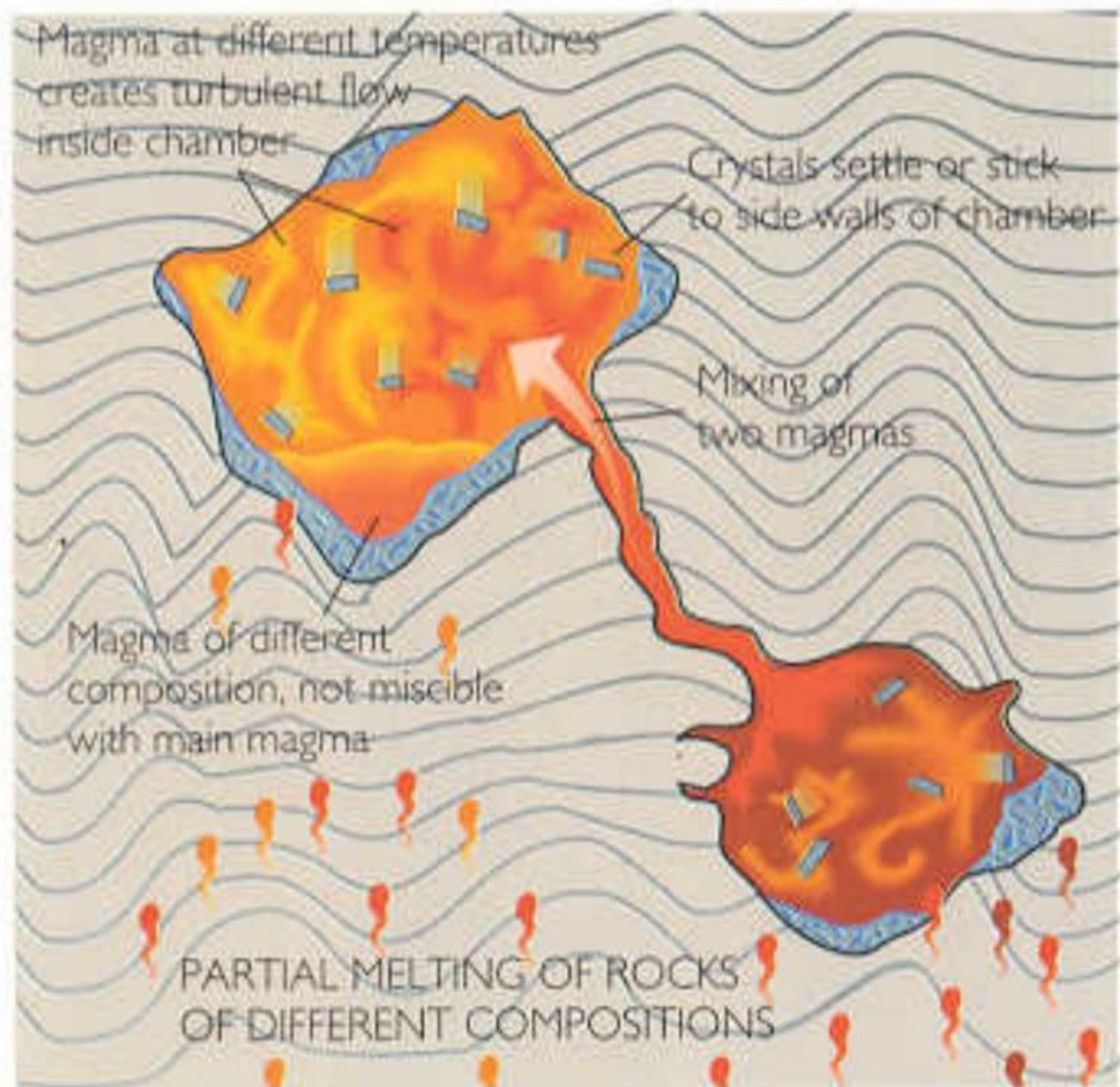
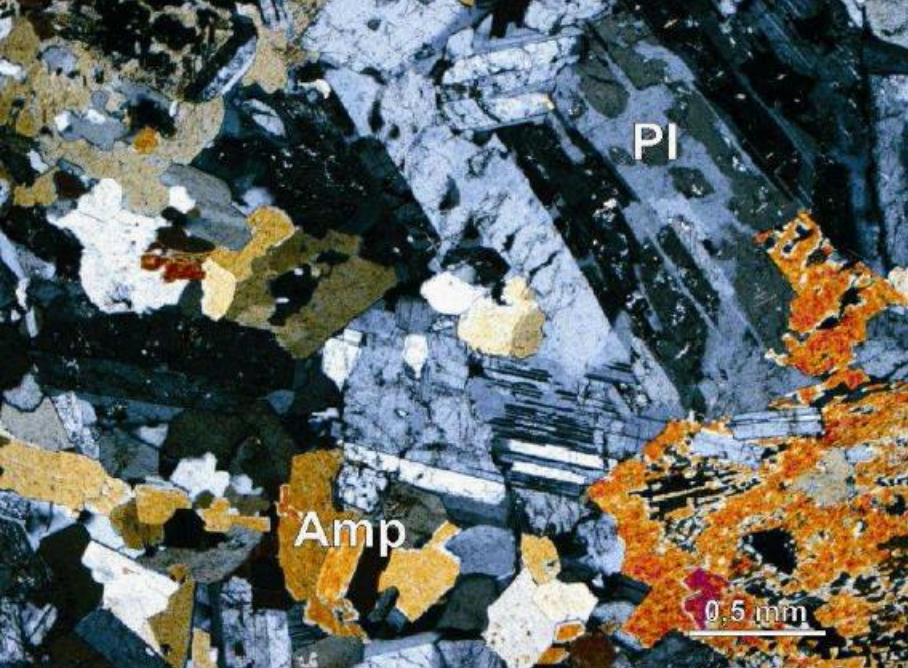


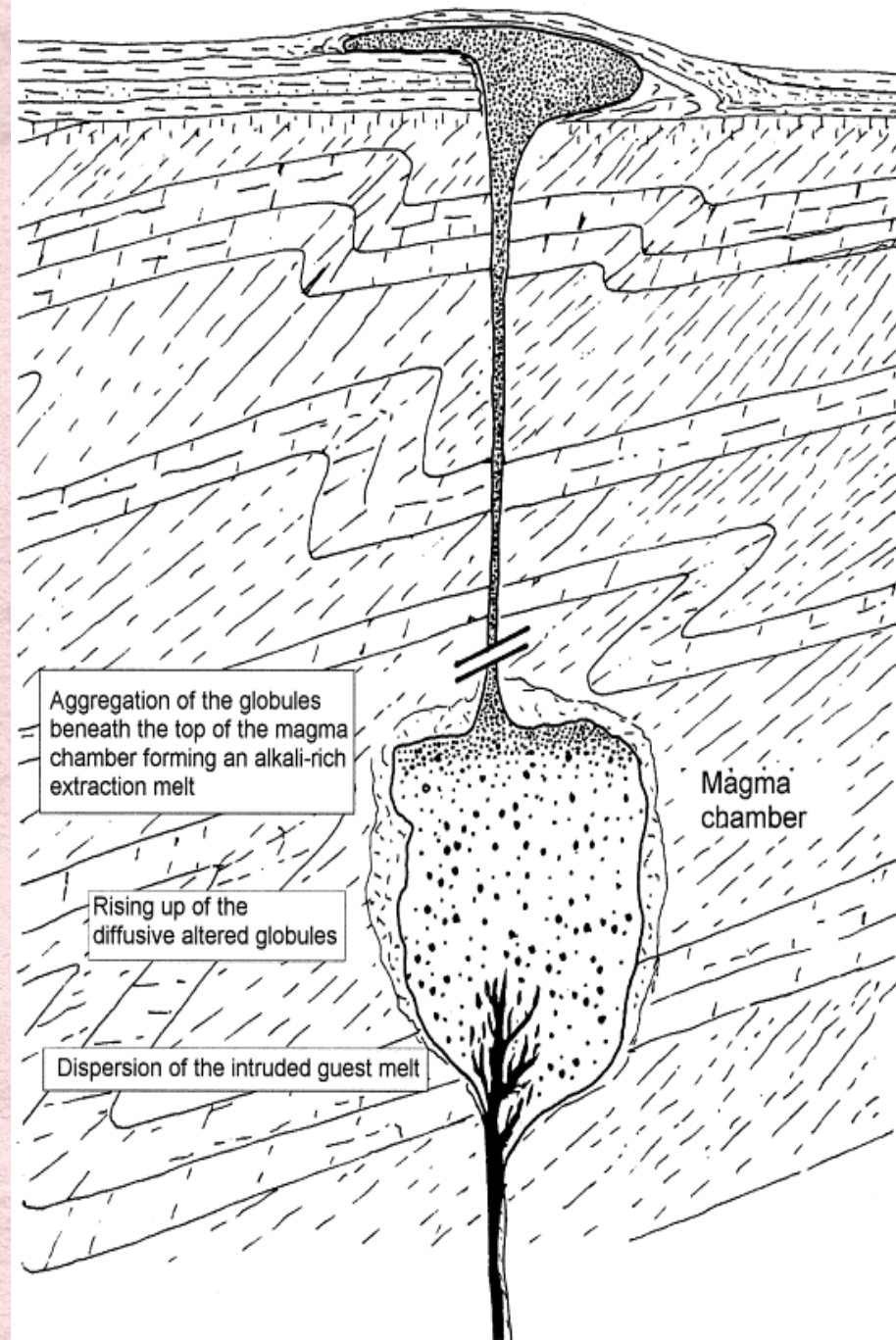
Figure 4.13, 4.14

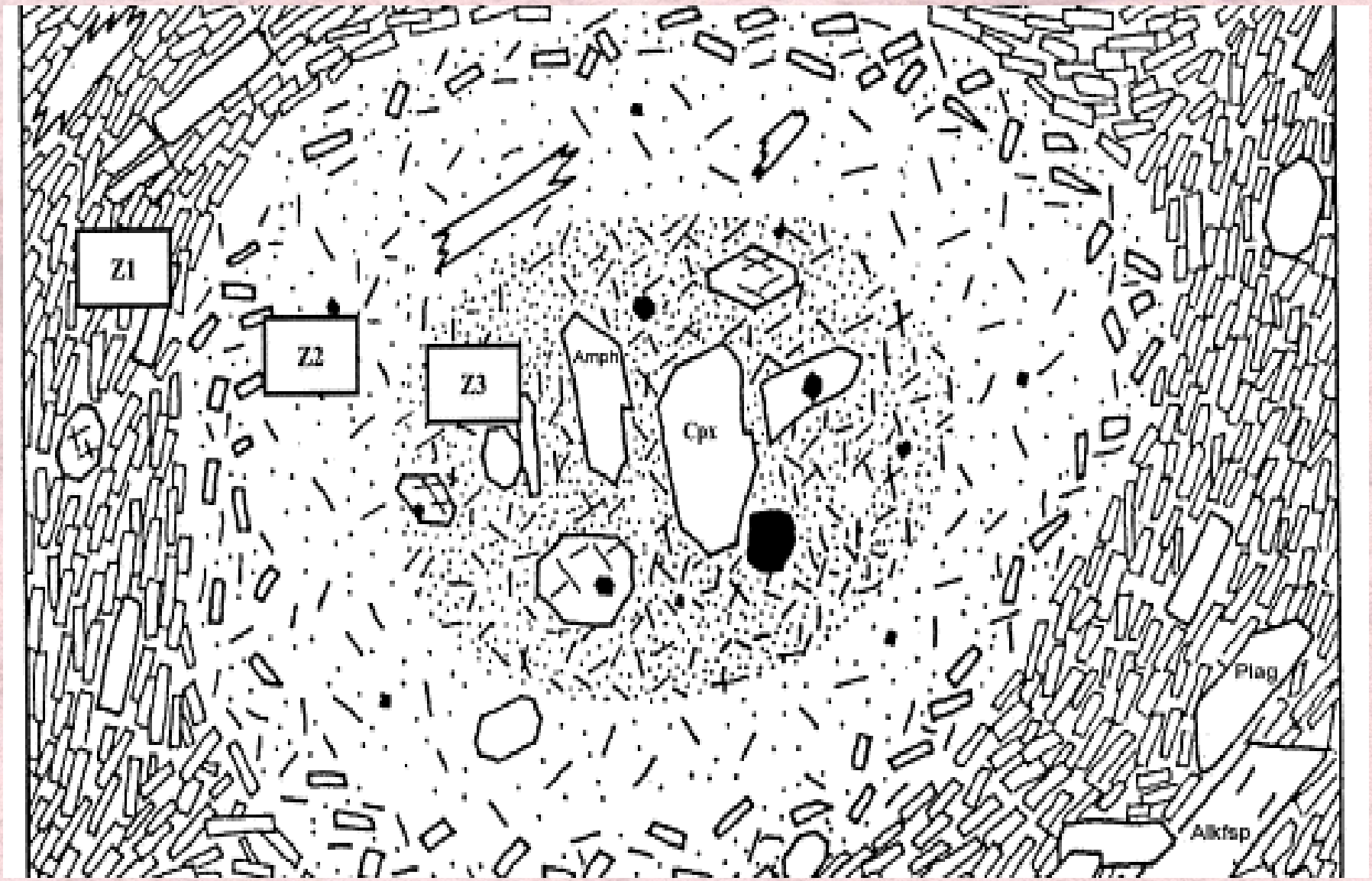
Press and Siever: *Understanding Earth*

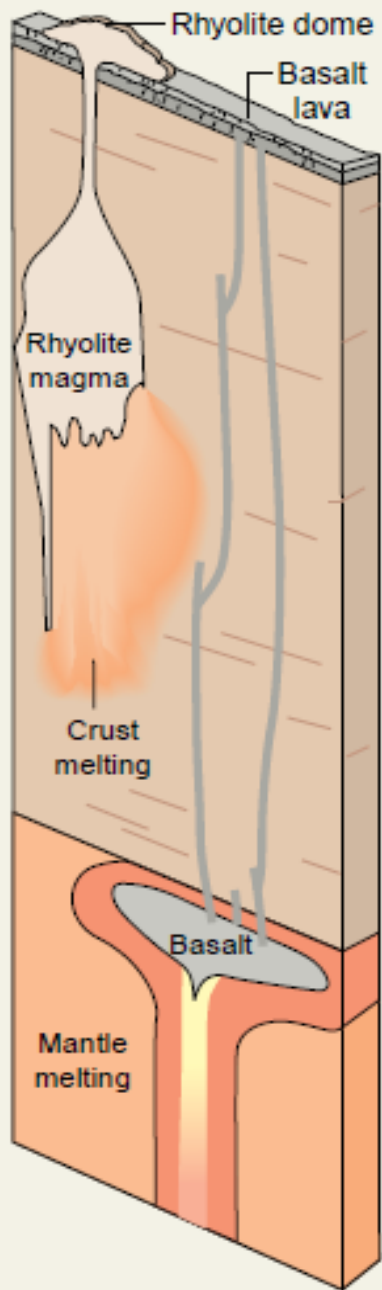
Enkláva Amp-Bt gabra v granodioritu, Jalapa



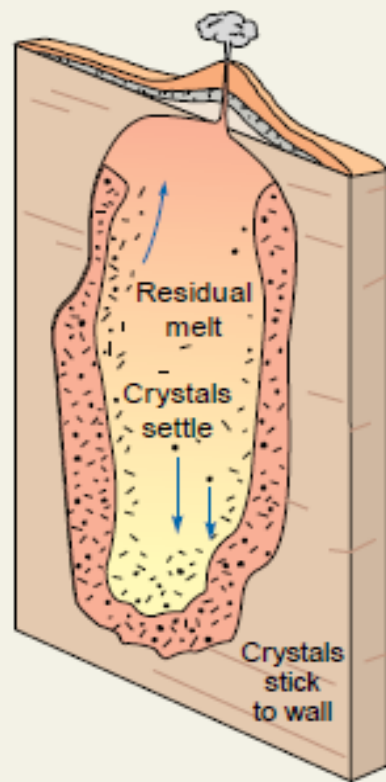
- **4) odmíšení dvou nemísitelných magmat:**
- dvě magmata jsou chem. odlišná (např. hustota)
- nedochází k jejich míšení (olej a voda)
- nebo dojde k tvorbě nějaké přechodné fáze (globule granitického složení v bazaltové matrix)
- tento proces byl v interpretacích využíván v minulém století a dnes již není populární.
- jsou známy případy kdy se uplatnil:
- měsíční bazalty basalt ==> 'granitické' globule
- v alkalických intruzích dochází k odmíšení dvou silikátových tavenin
- silikátové a karbonátové taveniny
- v bazických intruzích dochází k odmíšení silikátové s sulfidické taveniny



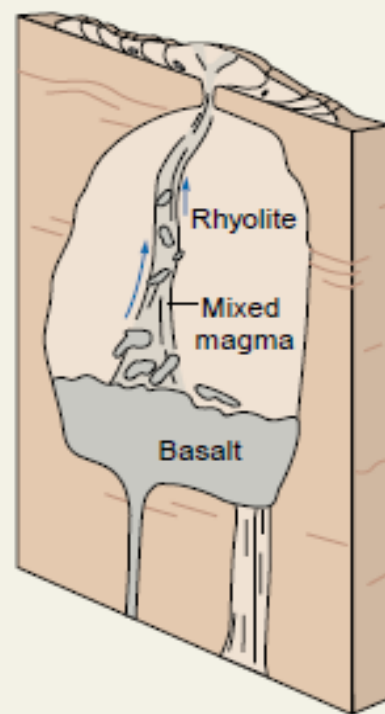




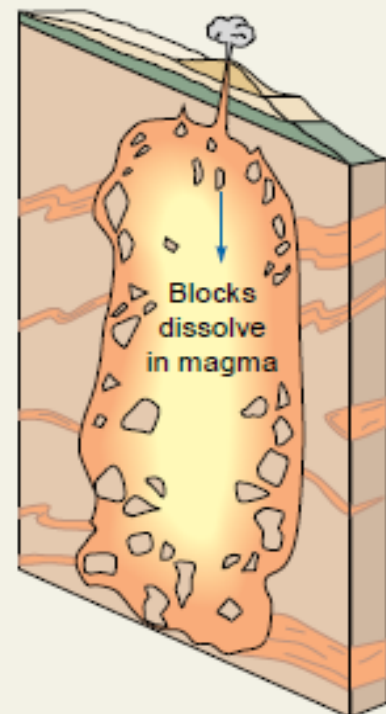
Different sources



Fractional crystallization

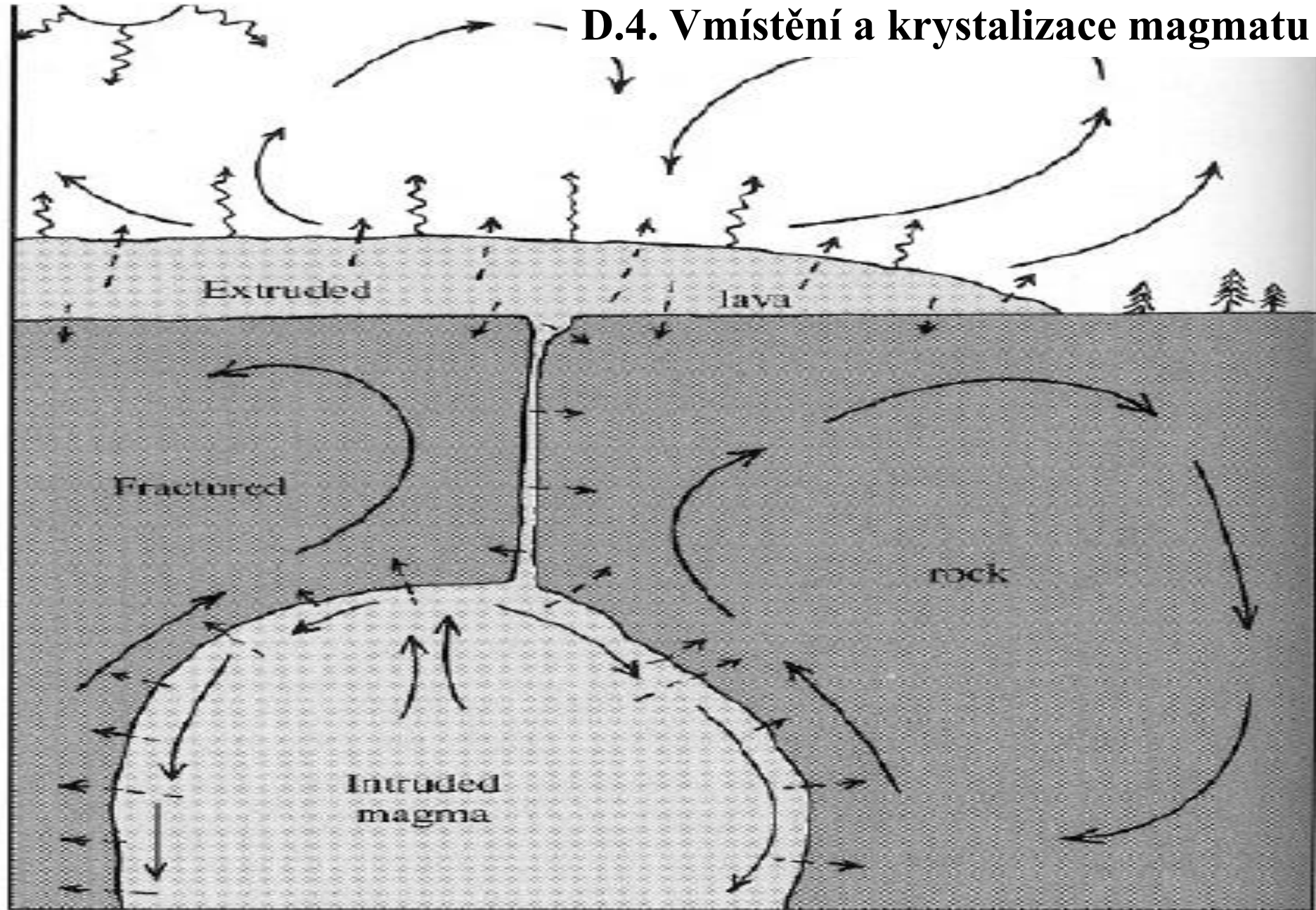


Magma mixing



Assimilation

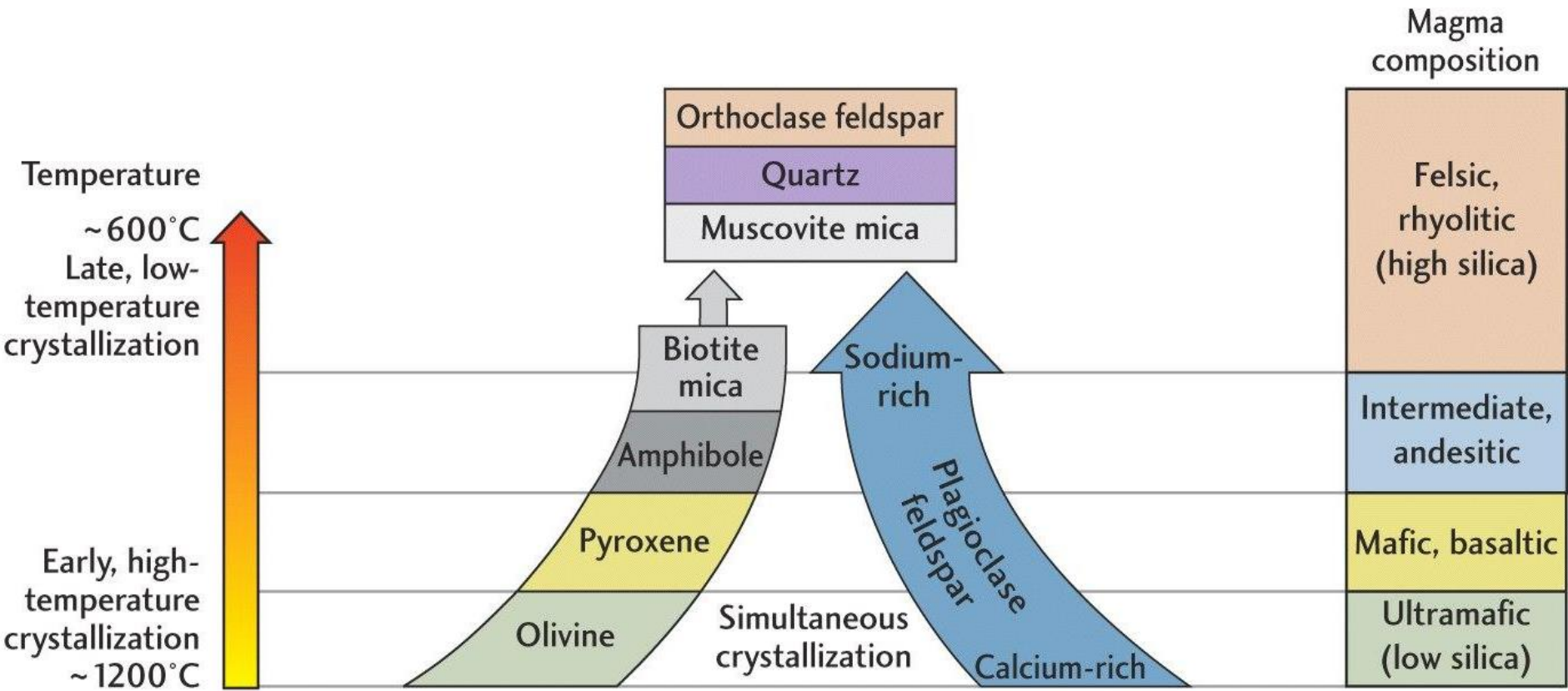
D.4. Vmístění a krystalizace magmatu



~~~~~  
Radiation

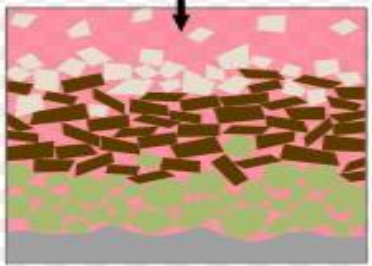
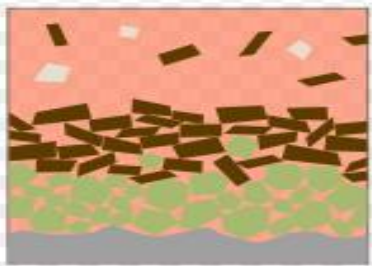
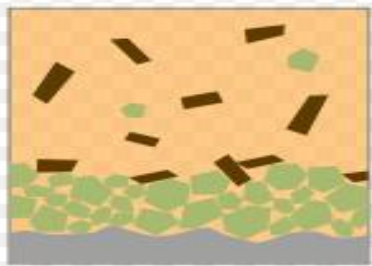
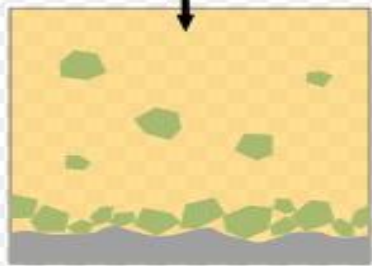
—————  
Convection

- - - - -  
Conduction



Magma has composition A

Magma has composition B



1

2

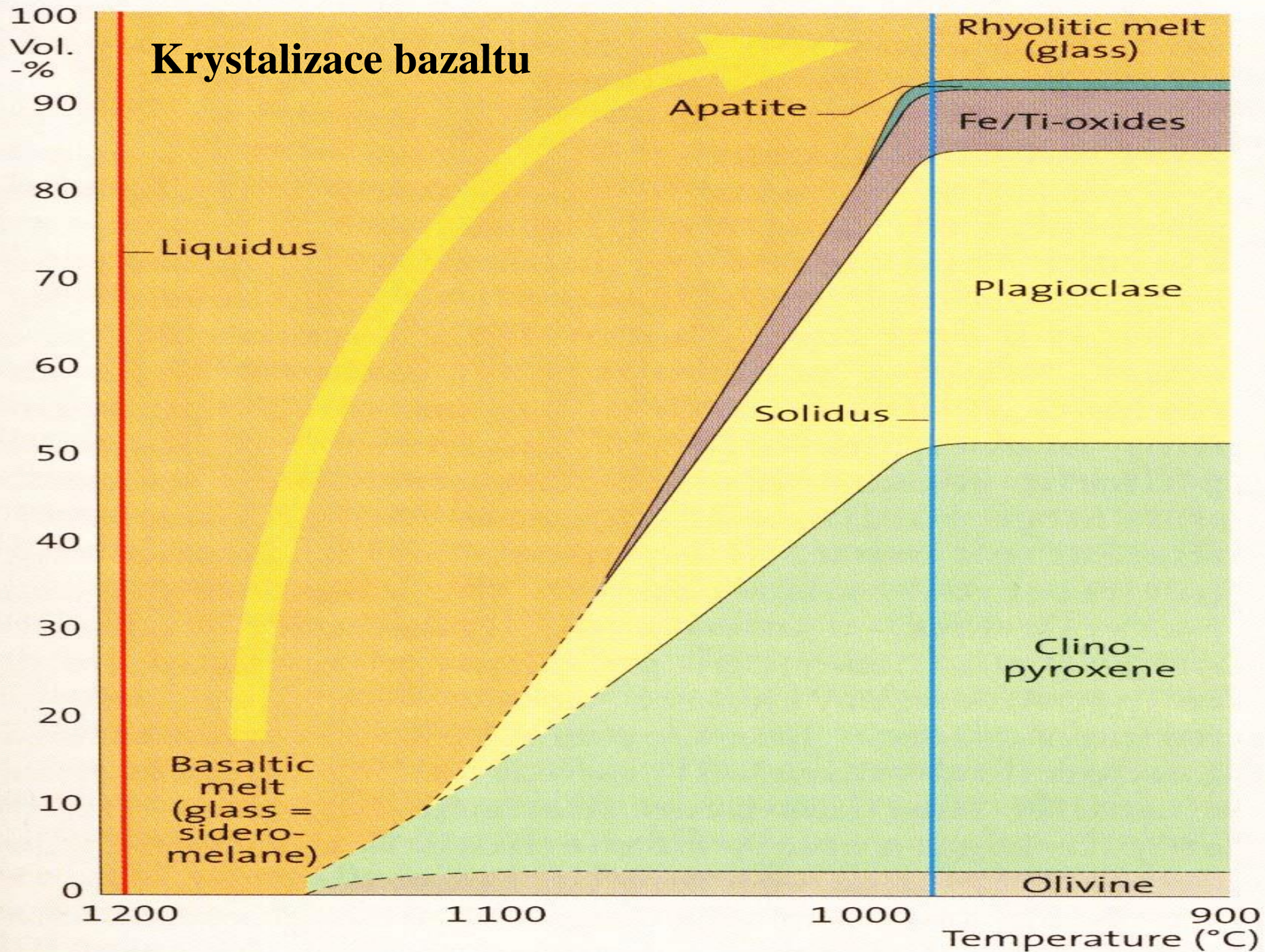
3

4

1200°C

600°C

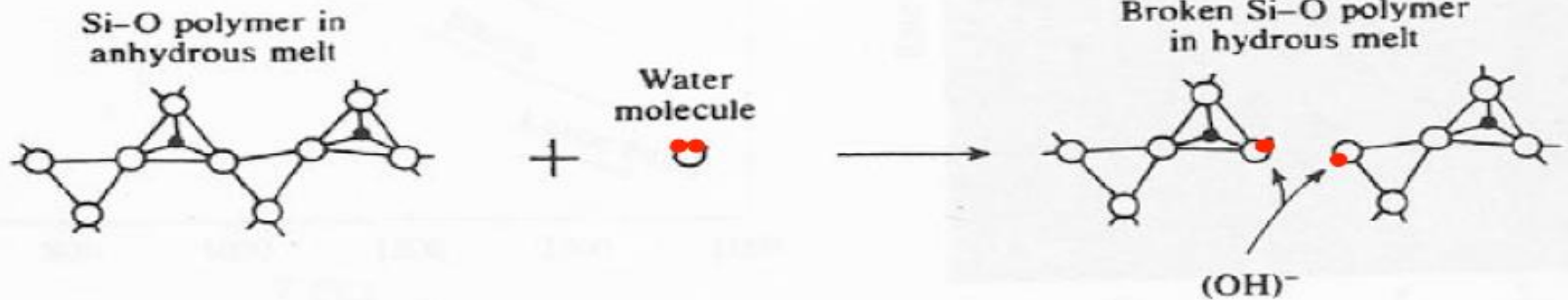
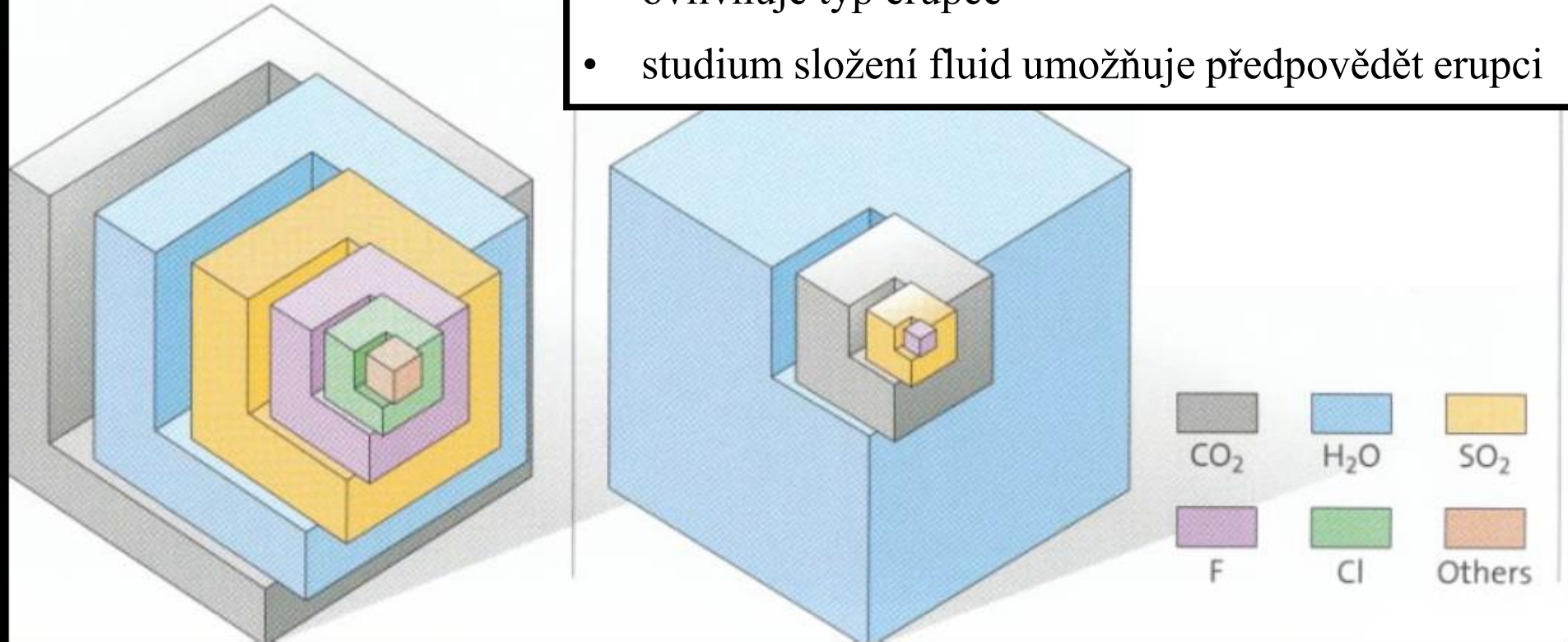
**Cooling**

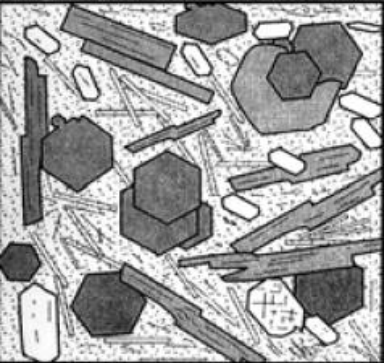


▼ Fig. 4.18. Volatile composition of basaltic (*left*) and rhyolitic (*right*) magmas

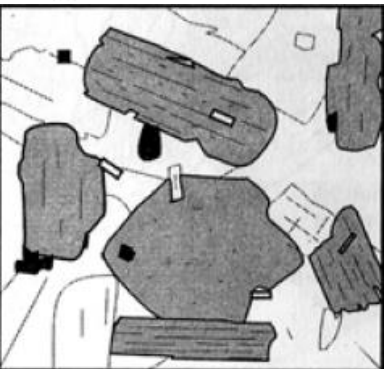
## Význam fluidní fáze

- snižuje viskozitu magmatu
- ovlivňuje typ erupce
- studium složení fluid umožňuje předpovědět erupci

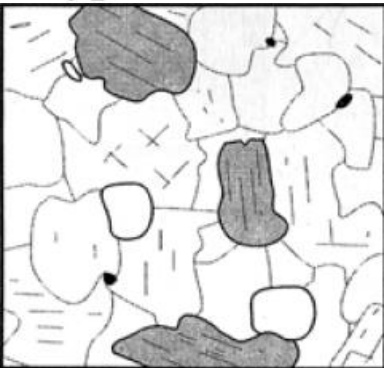




panautomorfně

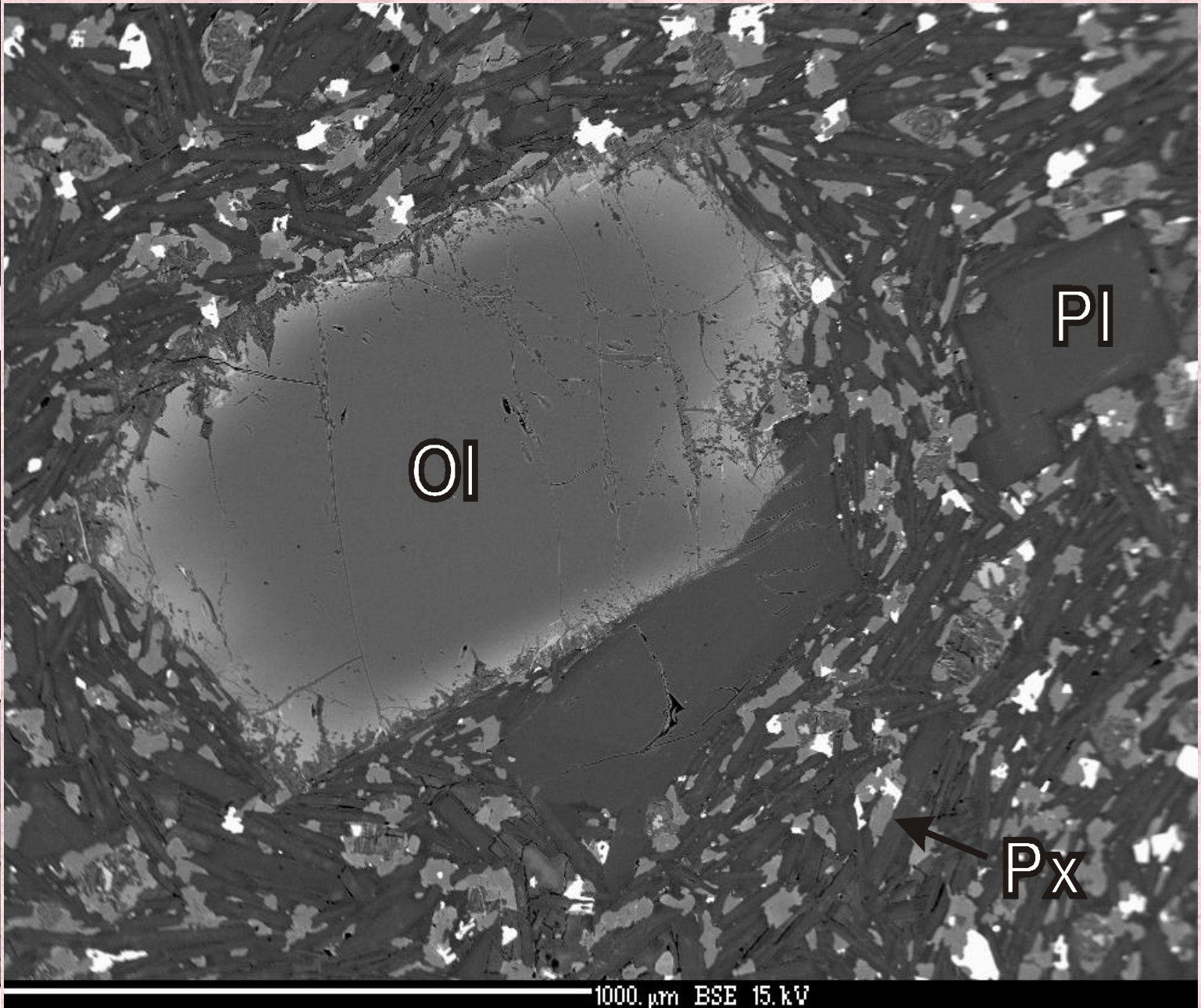


hypautomorfně



panxenomorfně

zrnitá



Pl

Ol

Px

1000. μm BSE 15. kV

Porfyrický olivinický bazalt - "svrchní andezity" vulkanické struktury Santa Lucia (D0136), BSE snímek.

# Magma směřuje na povrch

## Ballooning

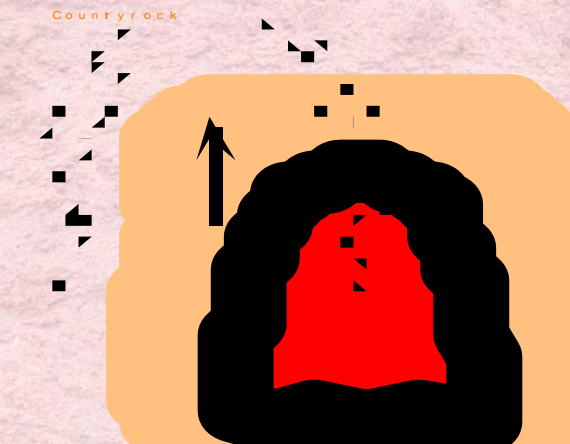
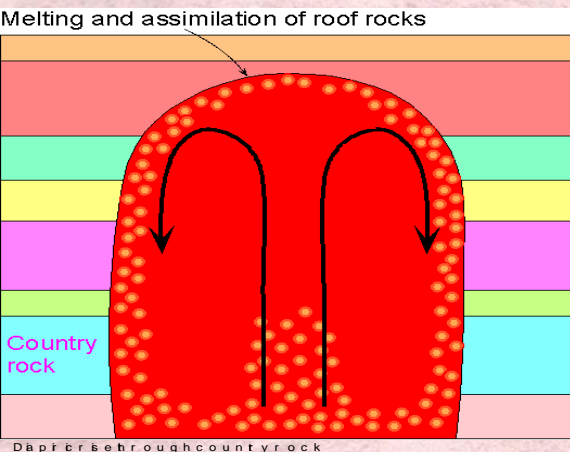
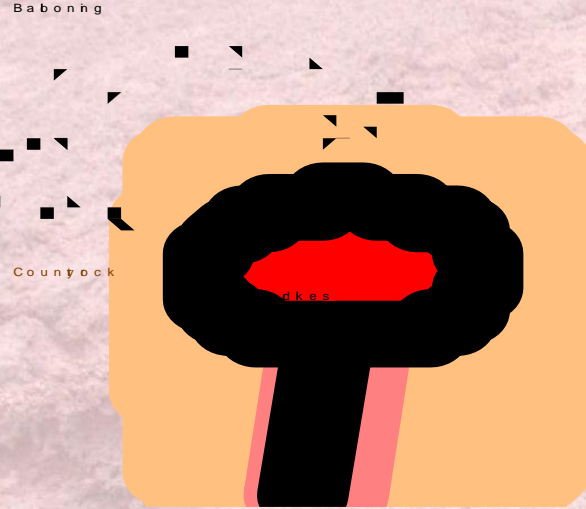
- rychlý přínos magmatu žilami do určité hloubky
- hloubka závislá na:
  - a) hustotě magmatu a okolních hornin
  - b) plasticitě a pevnosti okolních hornin

## Výstup v důsledku tavení a asimilace okolí

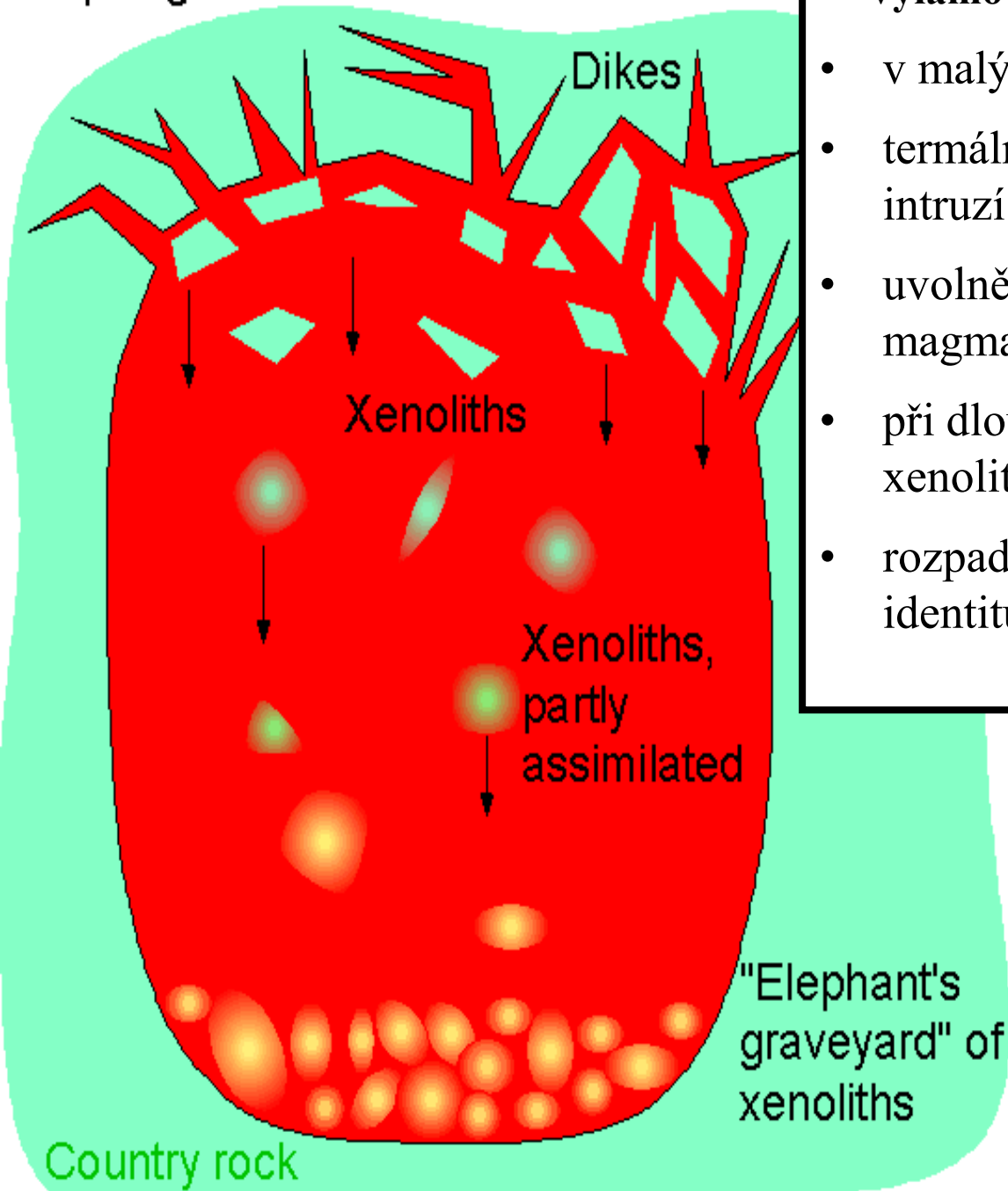
- tavenina interaguje přímo s okolní horninou
- konvektivní proudění usnadňuje tavení okolí

## Diapirický výstup magmatu

- výstup lehkého magmatu přes hustší okolí
- podobně jako diapiry na solných ložiscích
- magma většinou není dost viskózní aby tento mechanismus probíhal
- mechanicky je snazší penetrovat strop mag. krby v tenkých žilách než jako jedna kapka



Stopeing

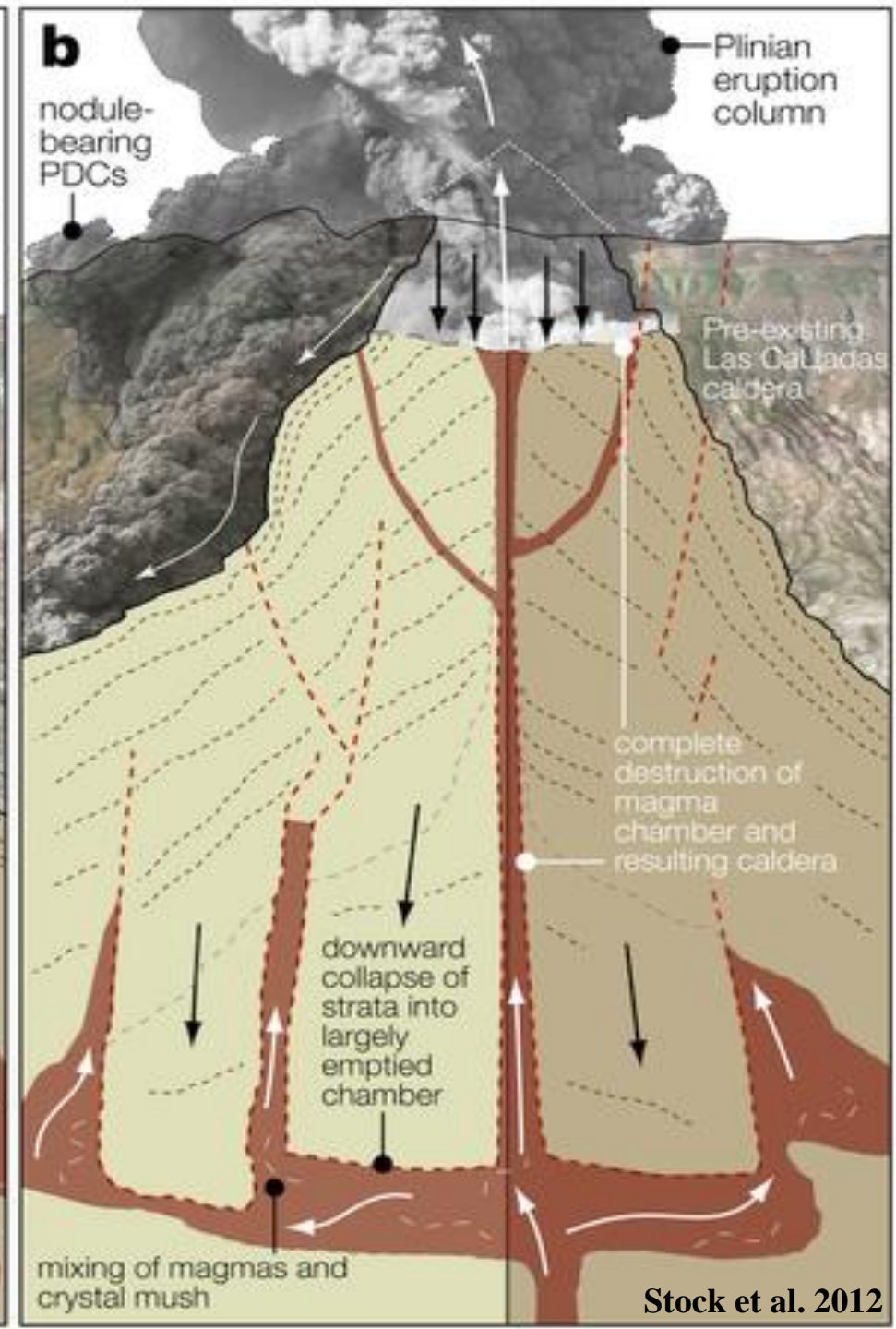
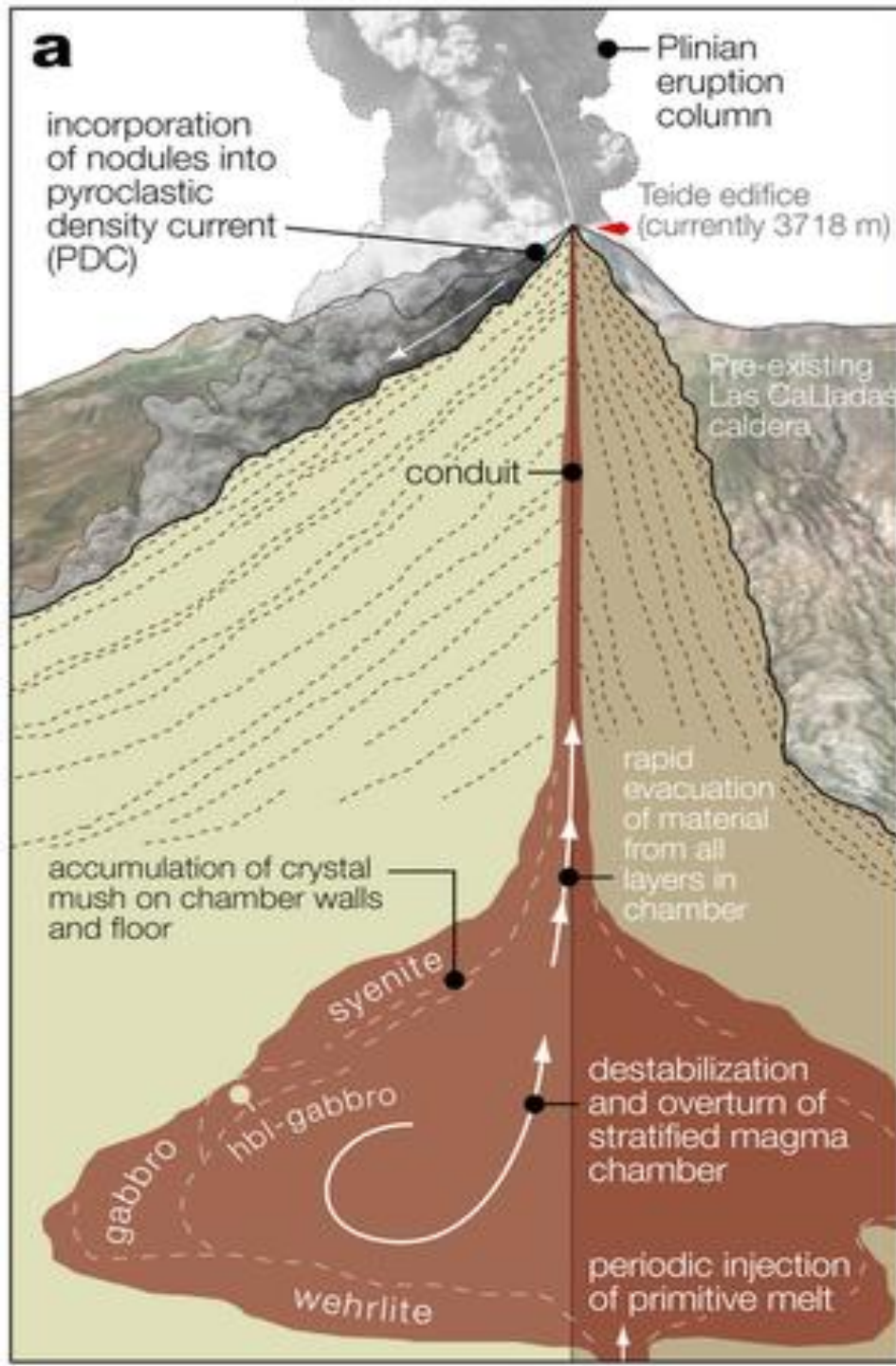


## Vylamování

- v malých hloubkách jsou horniny křehké
- termální a mechanický stres spojenému s intruzí plutonu horniny rozláme
- uvolněné bloky mají vyšší hustotu než magma a zapadají do magmatického krbu
- při dlouhém pobytu v magmatu jsou xenolity částečně nataven
- rozpadají se a postupně ztrácí svou identitu (sloní hřbitov)

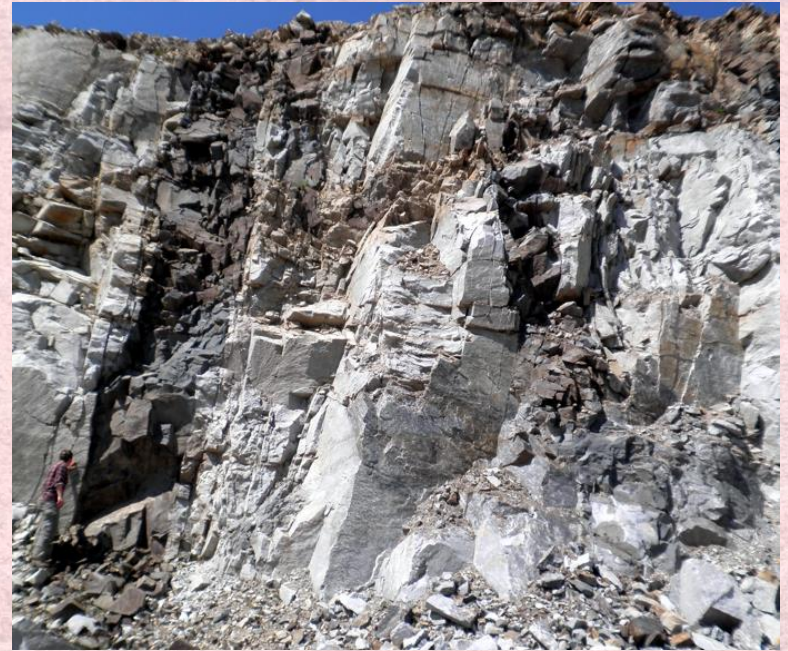






ht usvedke

Pravé žíly (dikes) jsou ke svému okolí orientovány diskordantně

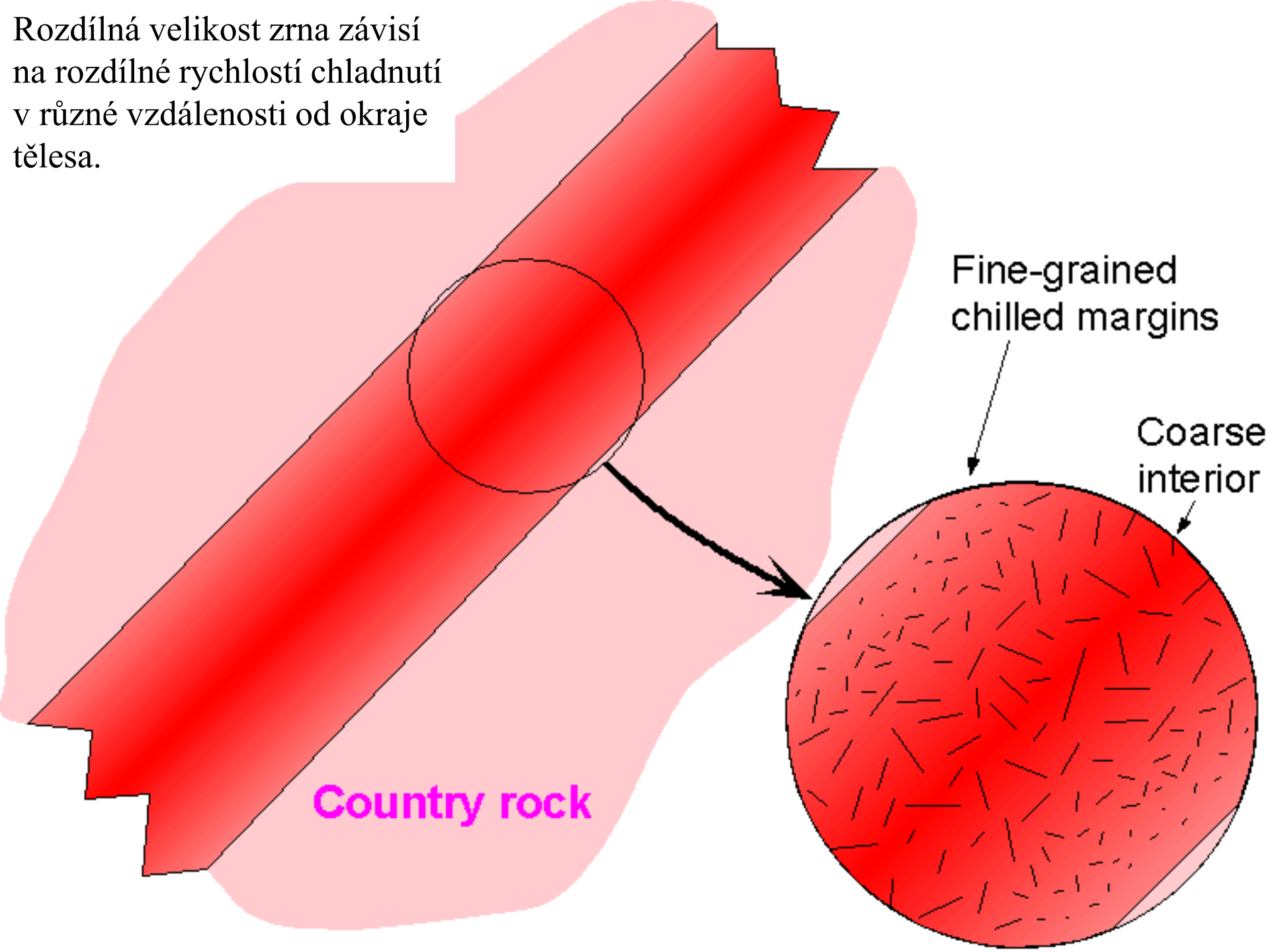


ht usivesl

Ložní žíly (sills) jsou ke svému okolí orientovány konkordantně



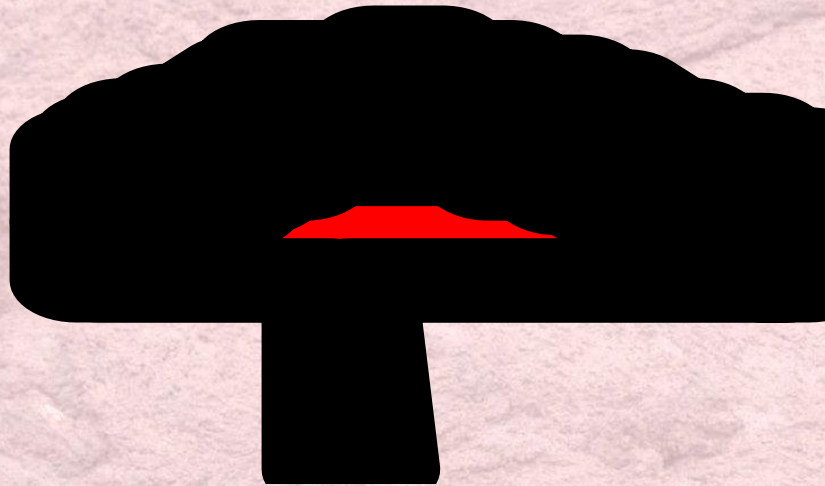
Rozdílná velikost zrna závisí  
na rozdílné rychlosti chladnutí  
v různé vzdálenosti od okraje  
tělesa.





Schlazený okraj žíly, Rácov

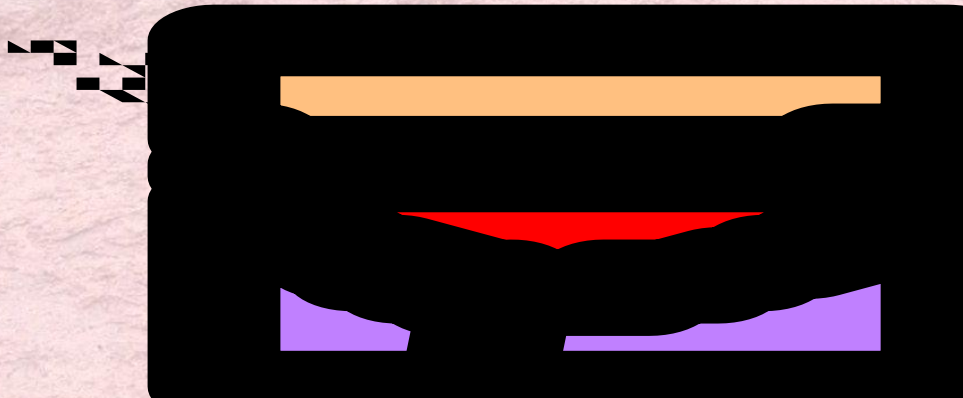
ht usiveaccoh( ticks)



## Lakolity

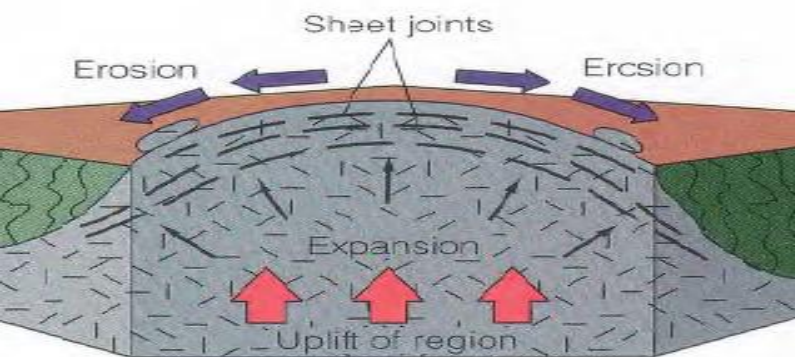
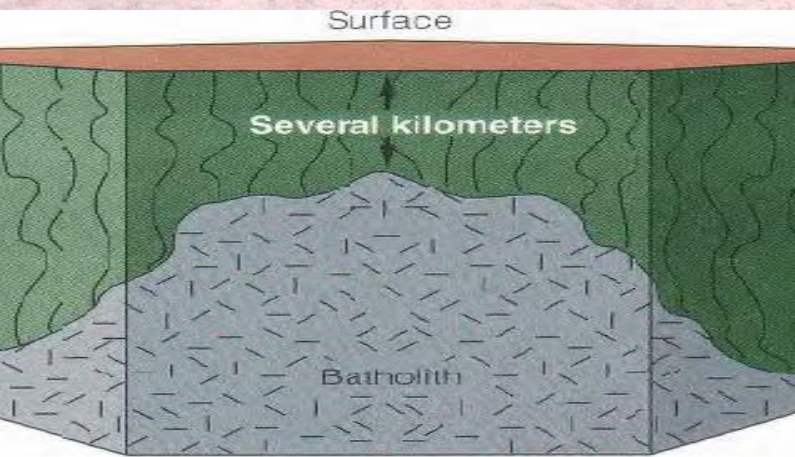
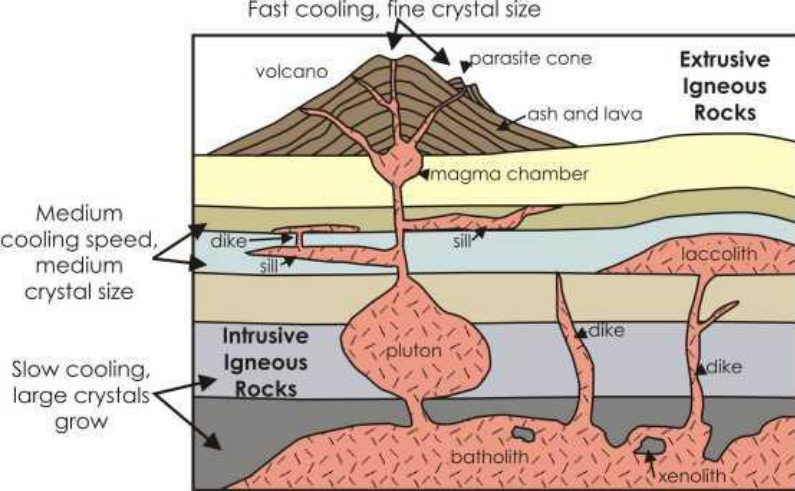
- speciálním typ ložních žil
- magma vydouvá nadložní vrstvy
- tento jev je typický pro viskózní kyselá magmata

ht usivebpch



## Lopolit

- má mísovitý tvar
- ten je typický pro páskované mafické intruze kumulátových hornin



## • Pluton

- rozsáhlé magmatické těleso (několik km až stovek km velké)
- většina plutonů je složena z více než jednoho typu vyvřelin (složené plutony – composite pluton)
- vznikají:
  - A) intruze několika typů magmat
  - B) intruze jednoho magmatu, které ztuhlo v několika etapách diferenciace

## • Batholit

- větší složená tělesa o velikosti několik tisíc čtverečních kilometrů
- bývají složeny z celé řady menších plutonických těles
- tvoří se v regionech kam bylo dodáváno velké množství magmatu po dlouhou dobu (např. subdukční zóny nebo kontinentální rifty)

# Magma na povrchu

## 1. Neexplozivní

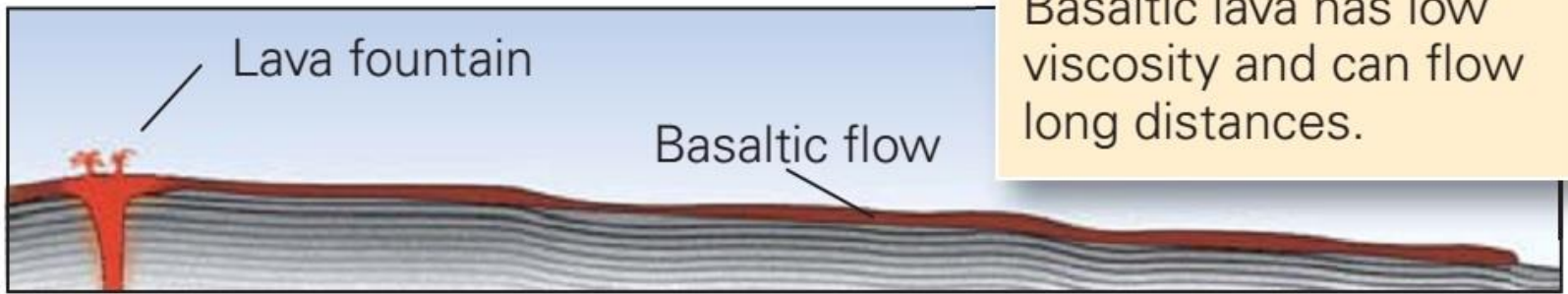
- charakteristický je nízký obsah plynů a nízká viskozita magmatu (bazické až andezitové)
- magma se vylévá na povrch v podobě rozsáhlých lávových proudů nebo kup
- plyny se uvolňují ohnivými fontánami
- pod vodou vznikají polštářové lávy (Pillow lavas)

## 2. Explozivní

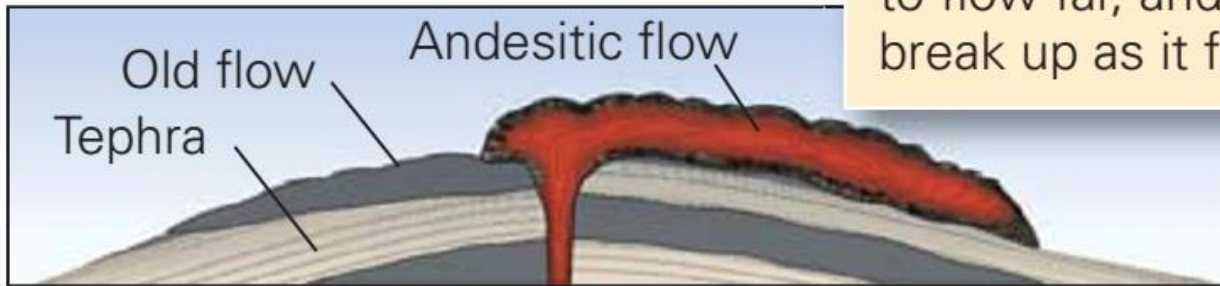
- magmata s vysokým obsahem plynů a vysokou viskozitou (andezitové až ryolitové magma).
- plyny jsou drženy vysokou viskozitou magmatu pouze v magmatickém krbu pod povrchem
- při povrchu bubliny plynů expandují – exploze a vznik pyroklastik
- nad sopkou vznikne erupční pyroklastický sloupec, který stoupá až do výšky 45 km (*eruption column*)



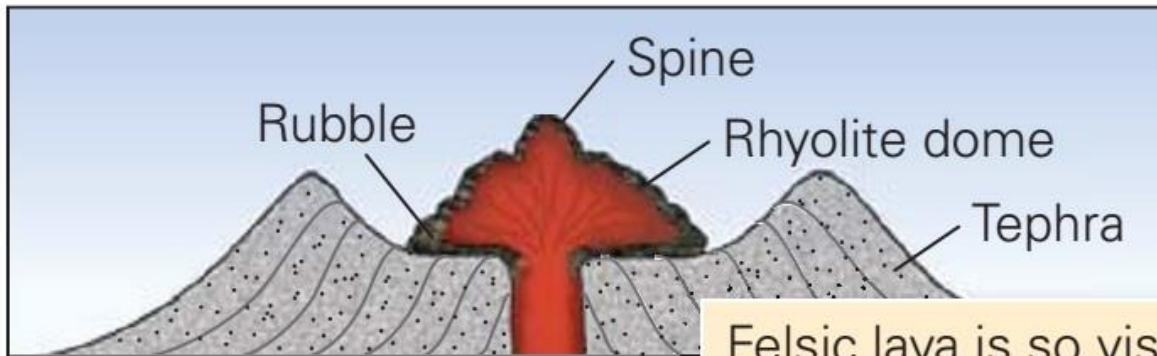
Less  
Viscosity  
More



Basaltic lava has low viscosity and can flow long distances.



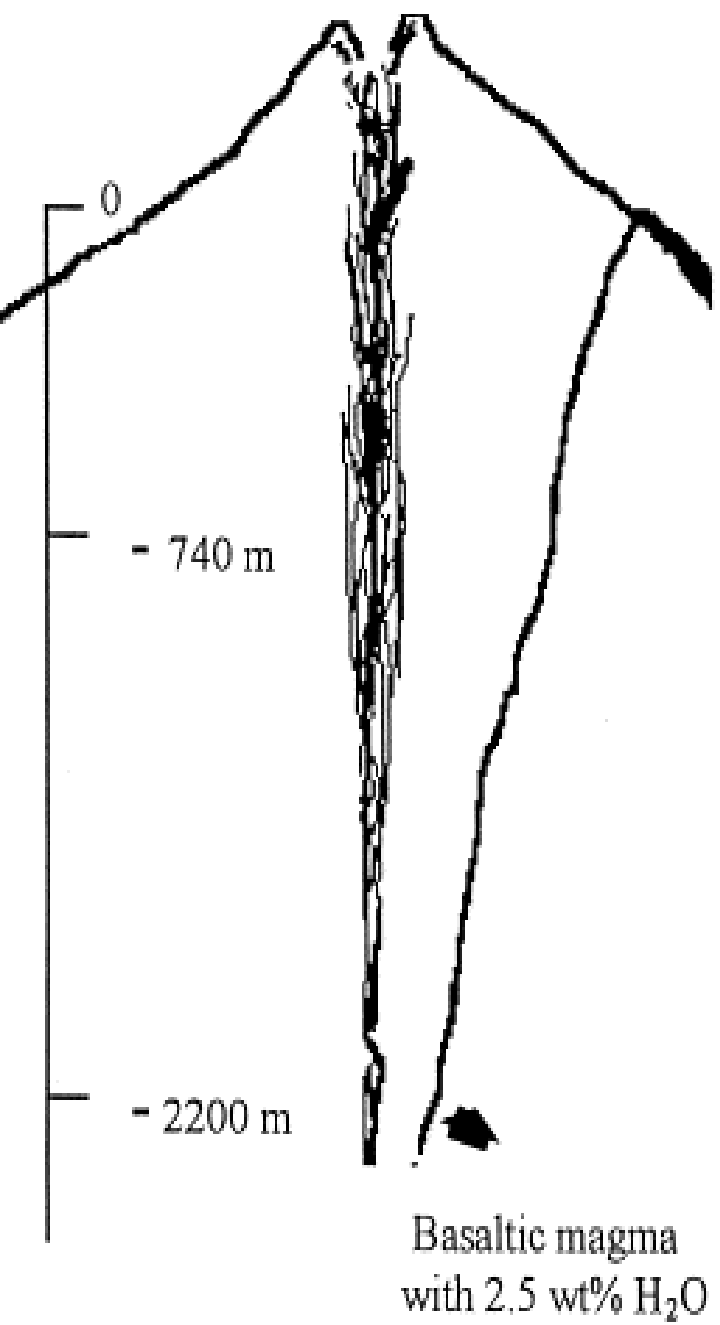
Andesitic lava is too viscous to flow far, and tends to break up as it flows.



Felsic lava is so viscous that it may pile up in a dome-shaped mass.



Summit craters



Fraction (wt%) of solid  
0.8 0.6 0.4 0.2 0

Ol. + Cpx. + plag. + mgt.

Ol. + Cpx.

Ol.

Melt composition wt%

0 1 2 3 4

200

400

600

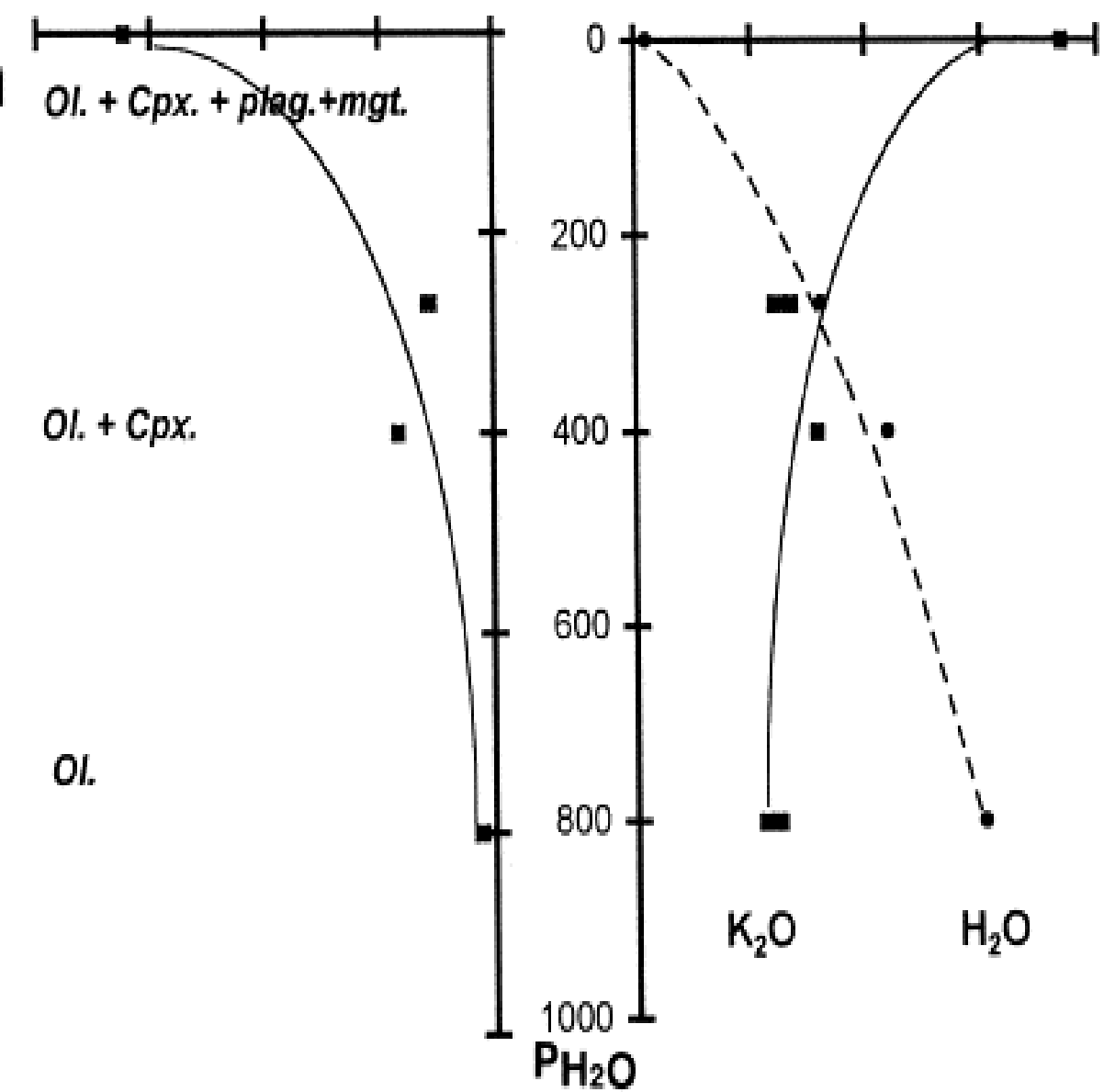
800

1000

P<sub>H<sub>2</sub>O</sub>

K<sub>2</sub>O

H<sub>2</sub>O



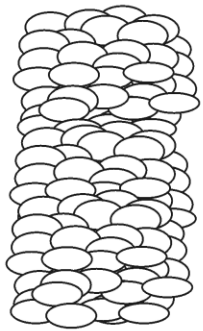
# Volcanic Rocks

## Massive Lava Flows

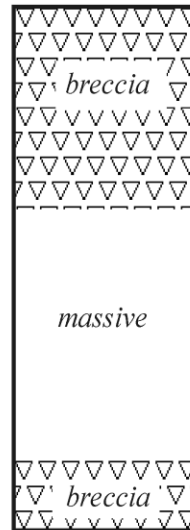
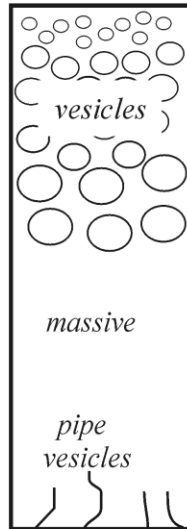
**pillowed**

**ropy-topped  
"pahoehoe"**

**breccia-topped  
"aa"**



1 m



## Fragmental

*coarse-grained*  
> 64 mm

*fine-grained*  
< 64 mm

*monomictic  
clast-supported  
breccia*

*clast  
supported*

*matrix  
supported  
layering absent*

*frequently  
layered*

**breccia**  
*talus*

**agglomerate**  
*pyroclastic*

**lahar**  
*or mud flow  
cold*

**ignimbrite**  
*or ash flow  
hot  
columnar joints  
fiamme*

**lapilli**  
> 2 mm

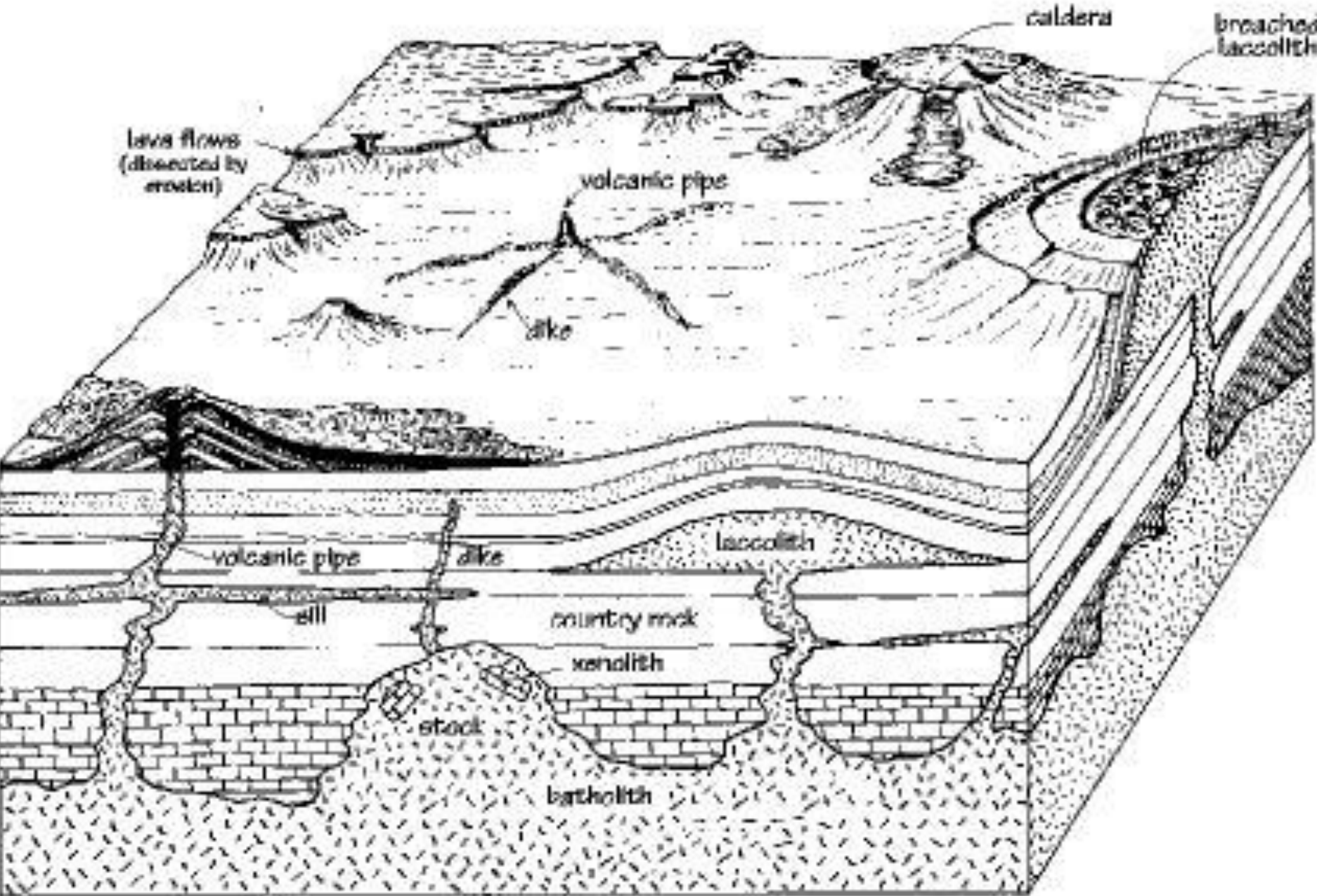
**ash**  
< 2 mm

*lithic*

*vitric*

*crystal*

# Alterace a zvětrávání



## Použitá literatura

- řada prezentací volně dostupná na internetu
- Strahler, A. (1999): *Introducing Physical Geography*. Wiley, New York
- Karásek, J. (2001): *Základy obecné geomorfologie*. Přírodovědecká fakulta MU, Brno, 216 s.
- Demek, J. (1987): *Obecná geomorfologie*. Academia, Praha, 476 s.
- <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie>
- [http://www.geology.sdsu.edu/how\\_volcanoes\\_work/](http://www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/)
- <http://volcanoes.usgs.gov/>
- <http://en.wikipedia.org/>
- <http://volcano.und.nodak.edu>
- <http://www.sopky.cz/>