

# **Vulkanizmus a jeho následky**

## **III.**

### **Produkty vulkanické aktivity**

**David Buriánek**

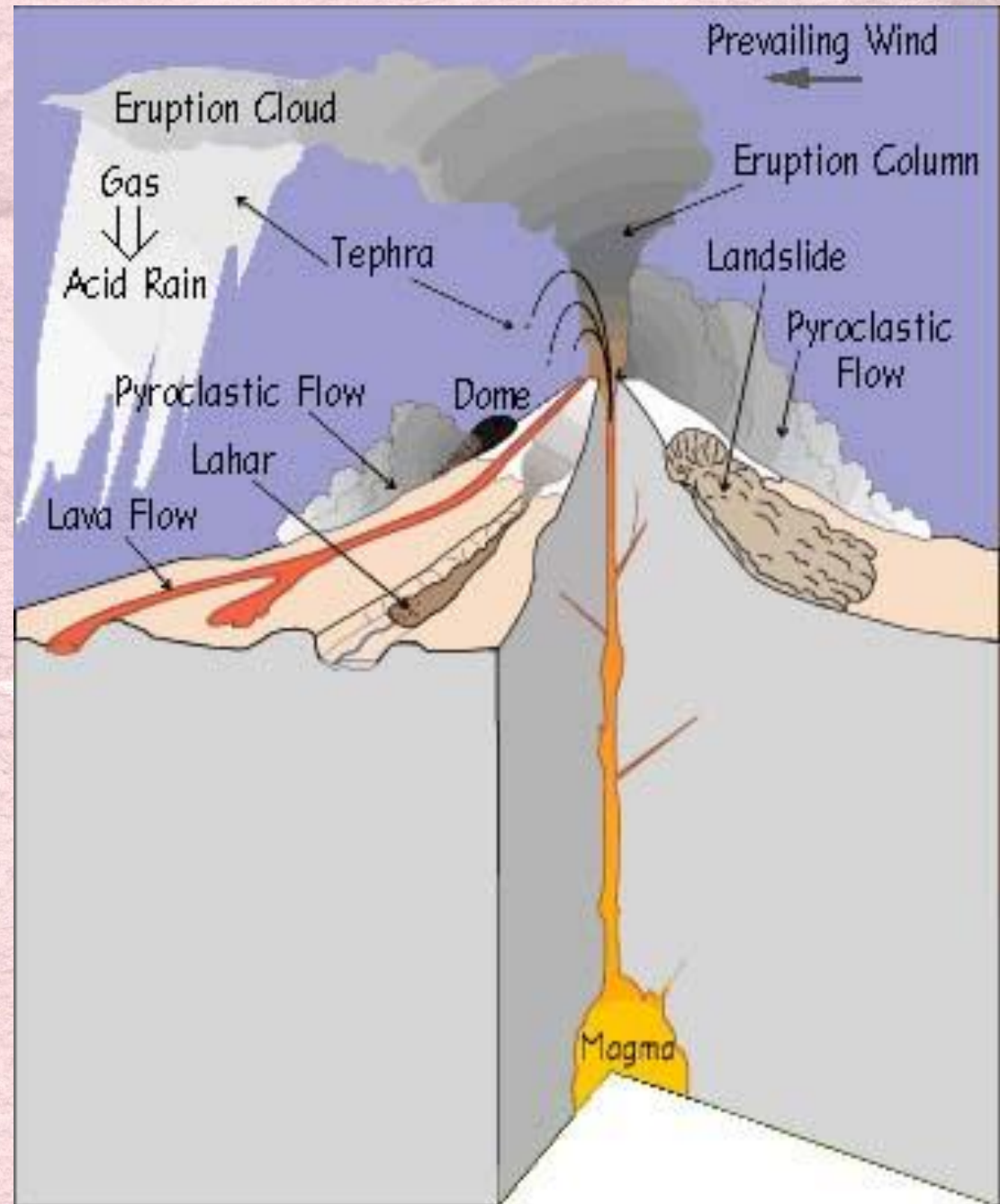
# Produkty erupcí

## A. Lávy

- 1) Kyselá lávové proudy a dómy
- 2) Bazické a intermediální lávové proudy

## B. Produkty sopečných explozí

- 1) tefra
- 2) ignimbrity
- 3) lahary
- 4) hyaloklasty
- 5) epiklastika



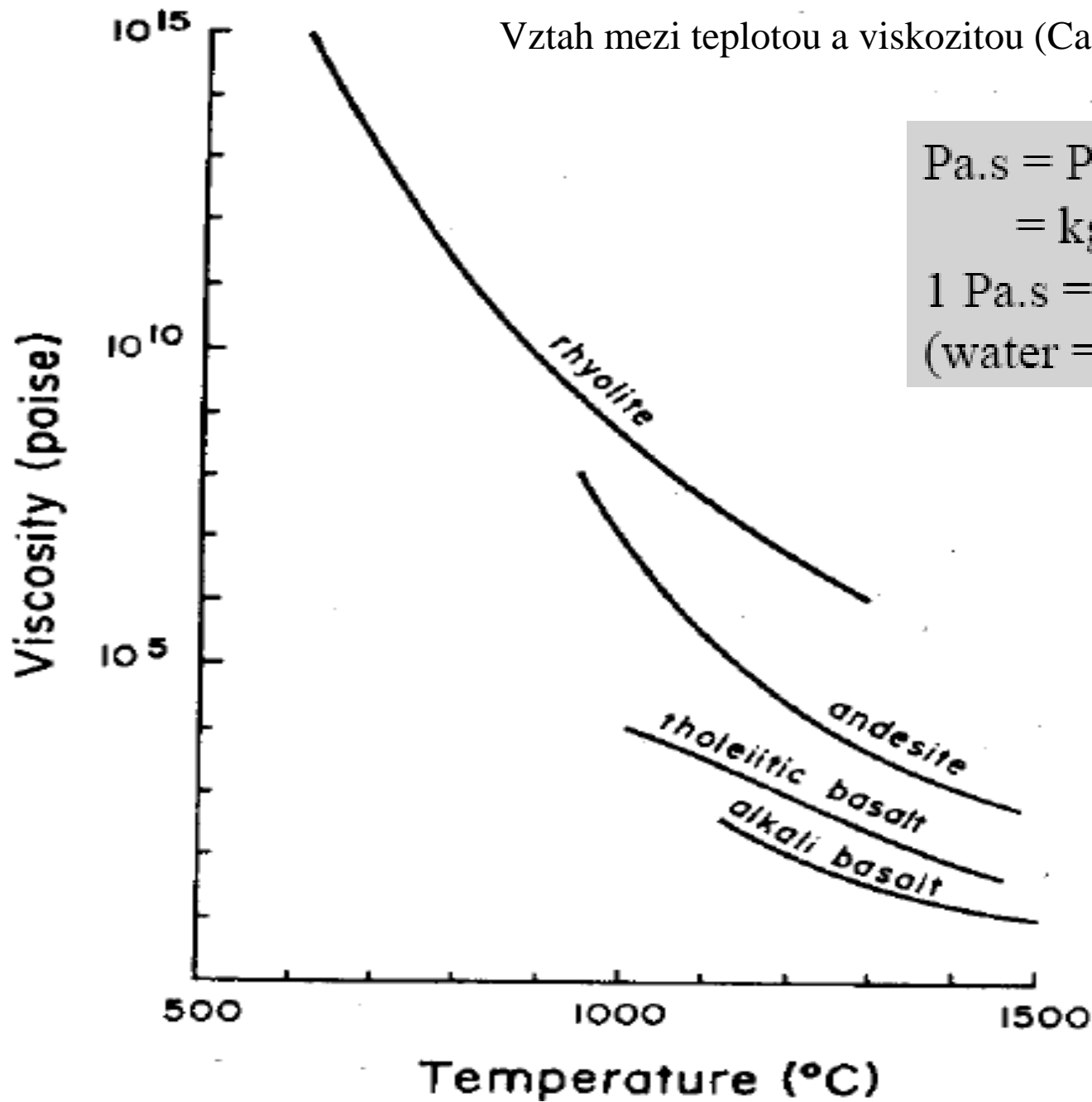


Střídání lávových proudů a jezerních sedimentů (Mongolsko)

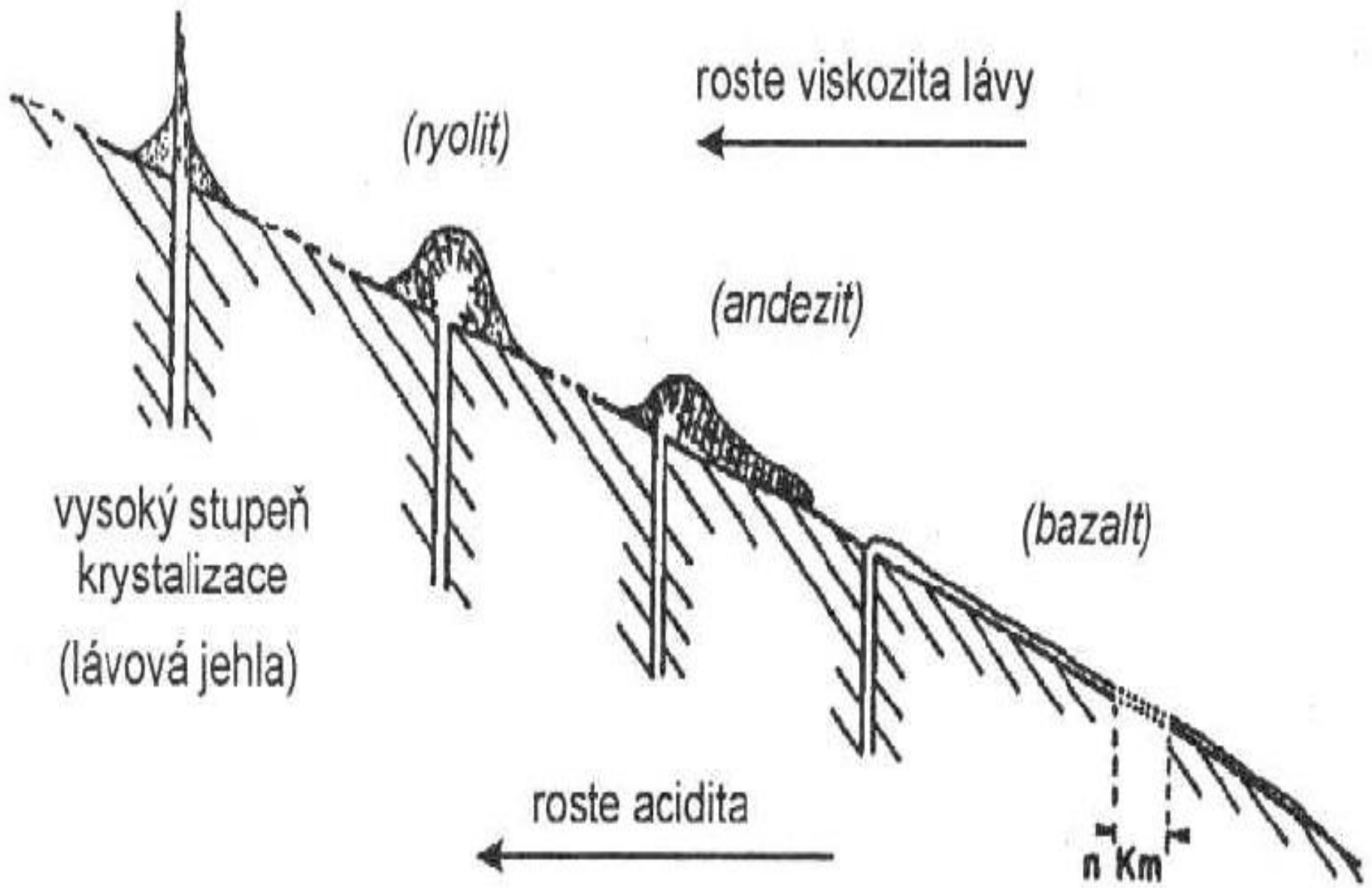


Střídání lávových proudů a jezerních sedimentů (Mongolsko)

Vztah mezi teplotou a viskozitou (Cas a Wright, 1987)



Pa.s = Pascal Seconds  
= kg/m/sec  
1 Pa.s = 10 poise  
(water =  $10^{-3}$  Pa.s)



roste viskozita lávy  
←

(ryolit)

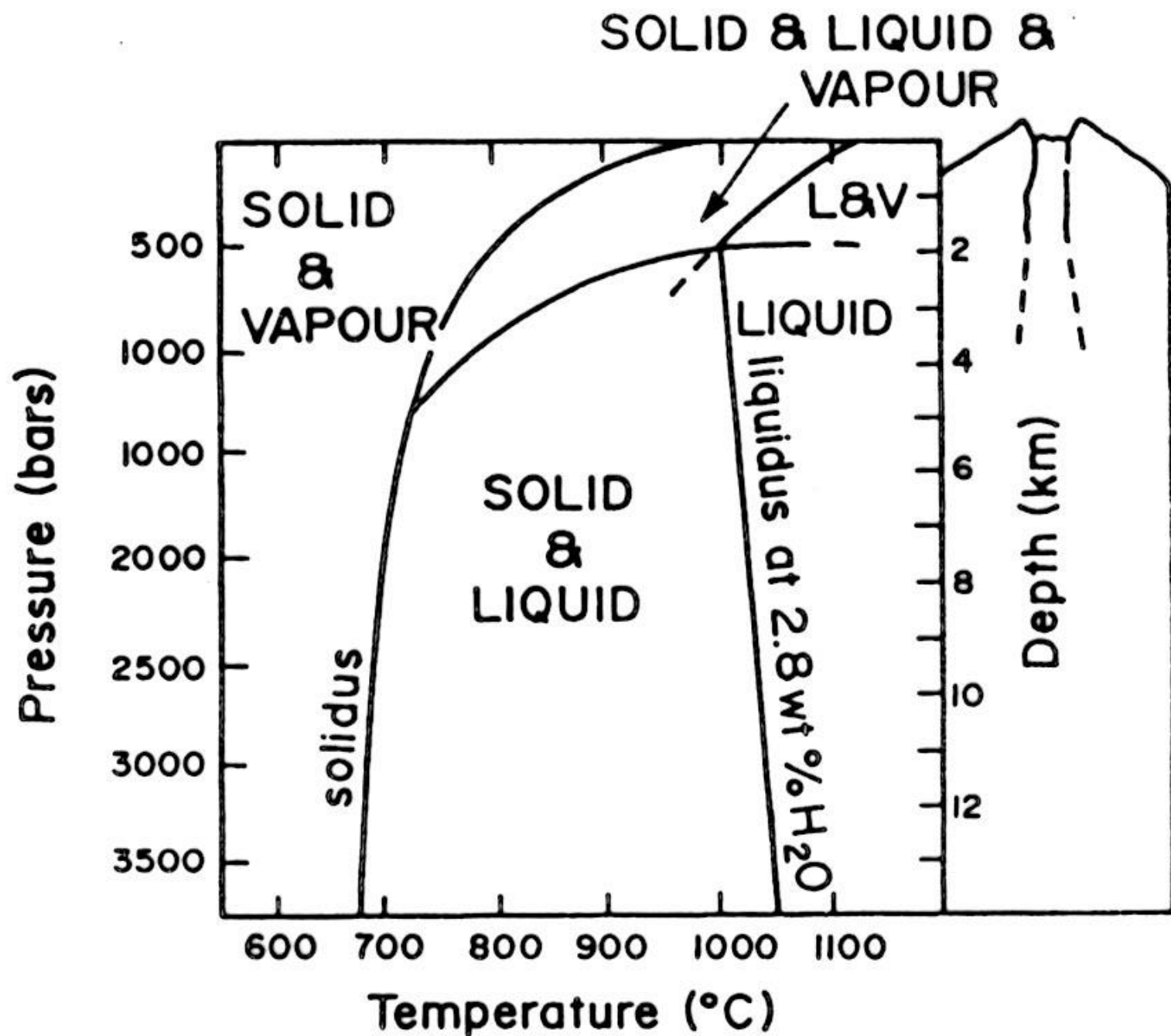
(andezit)

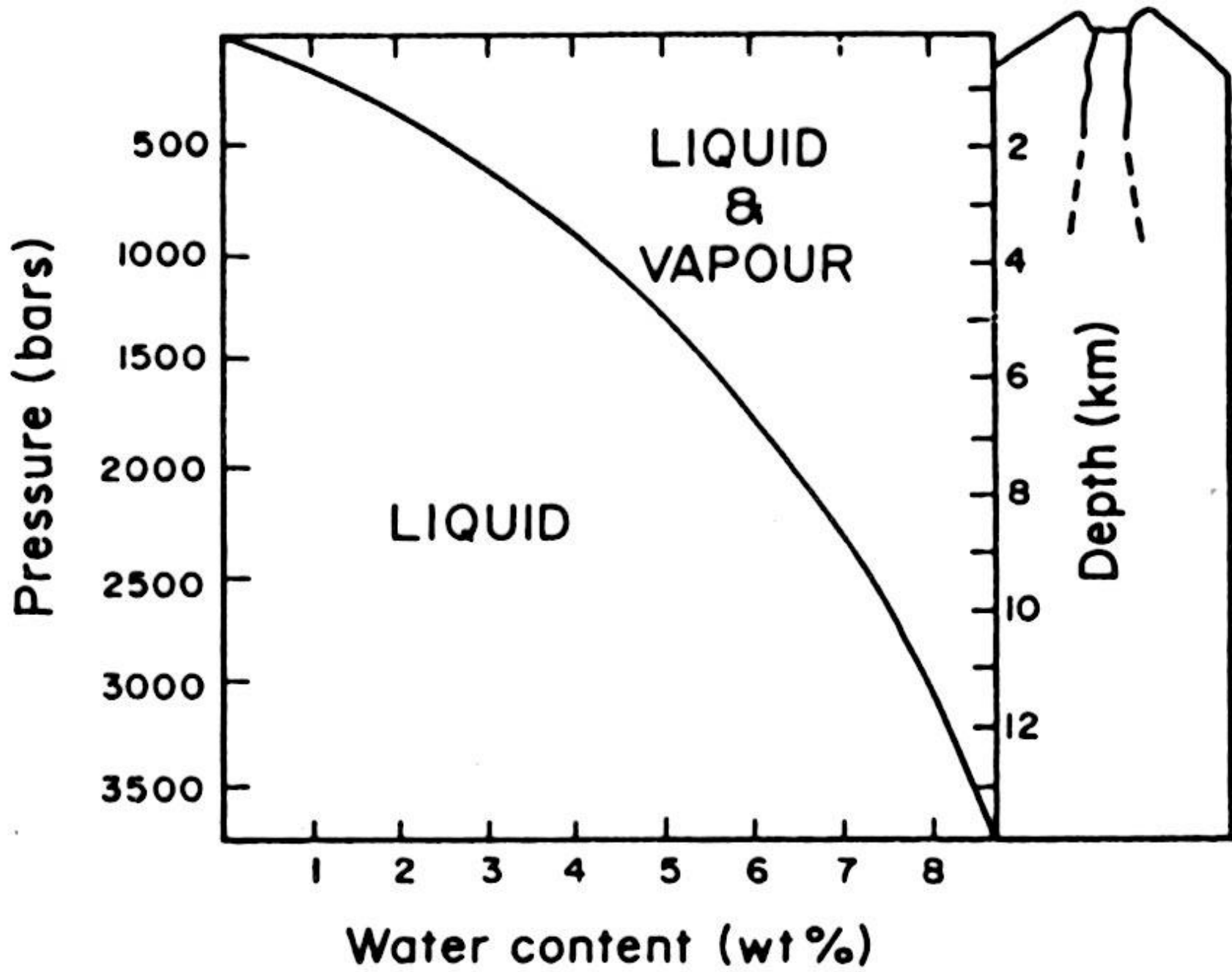
vysoký stupeň  
krystalizace  
(lávová jehla)

(bazalt)

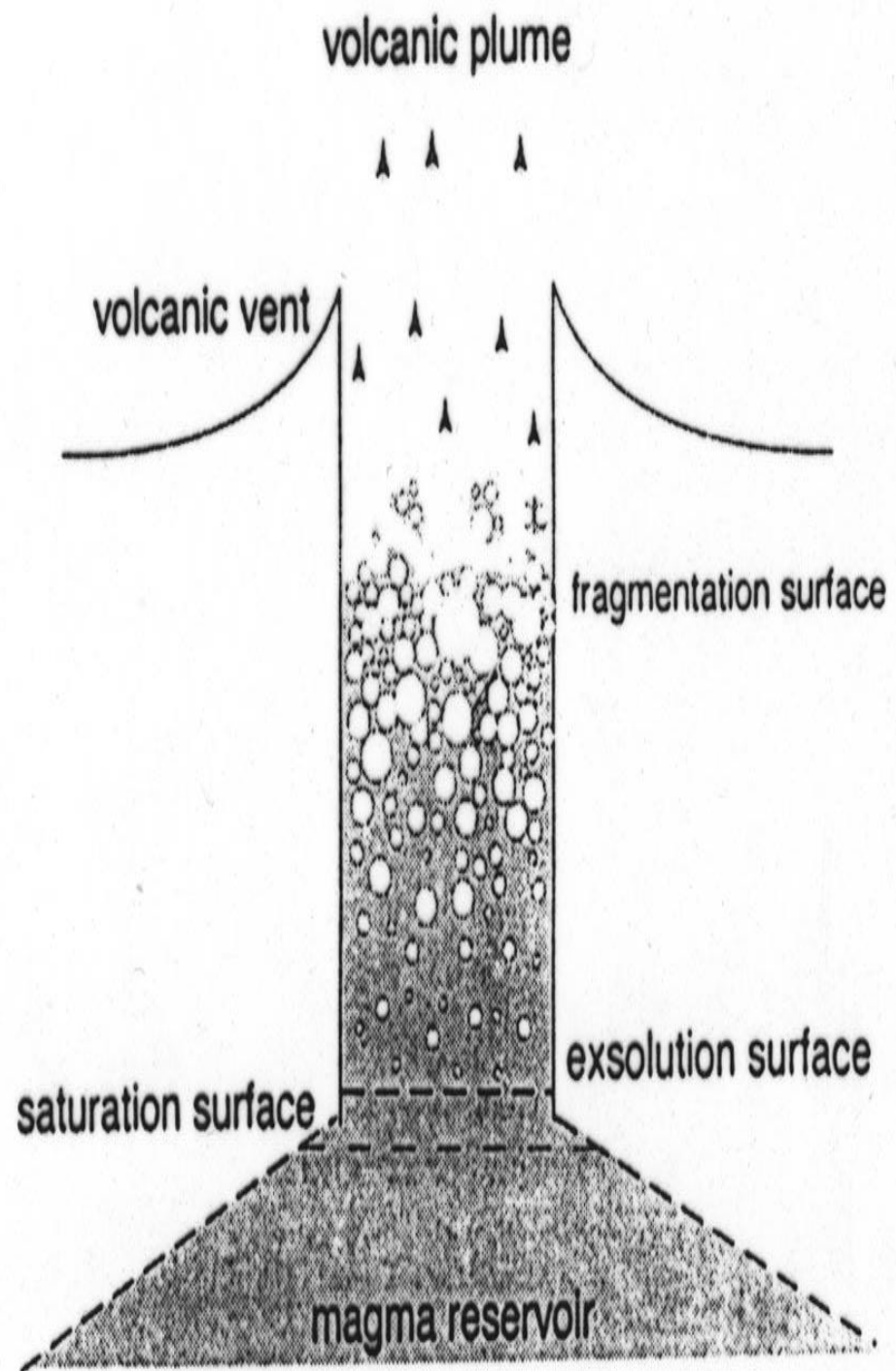
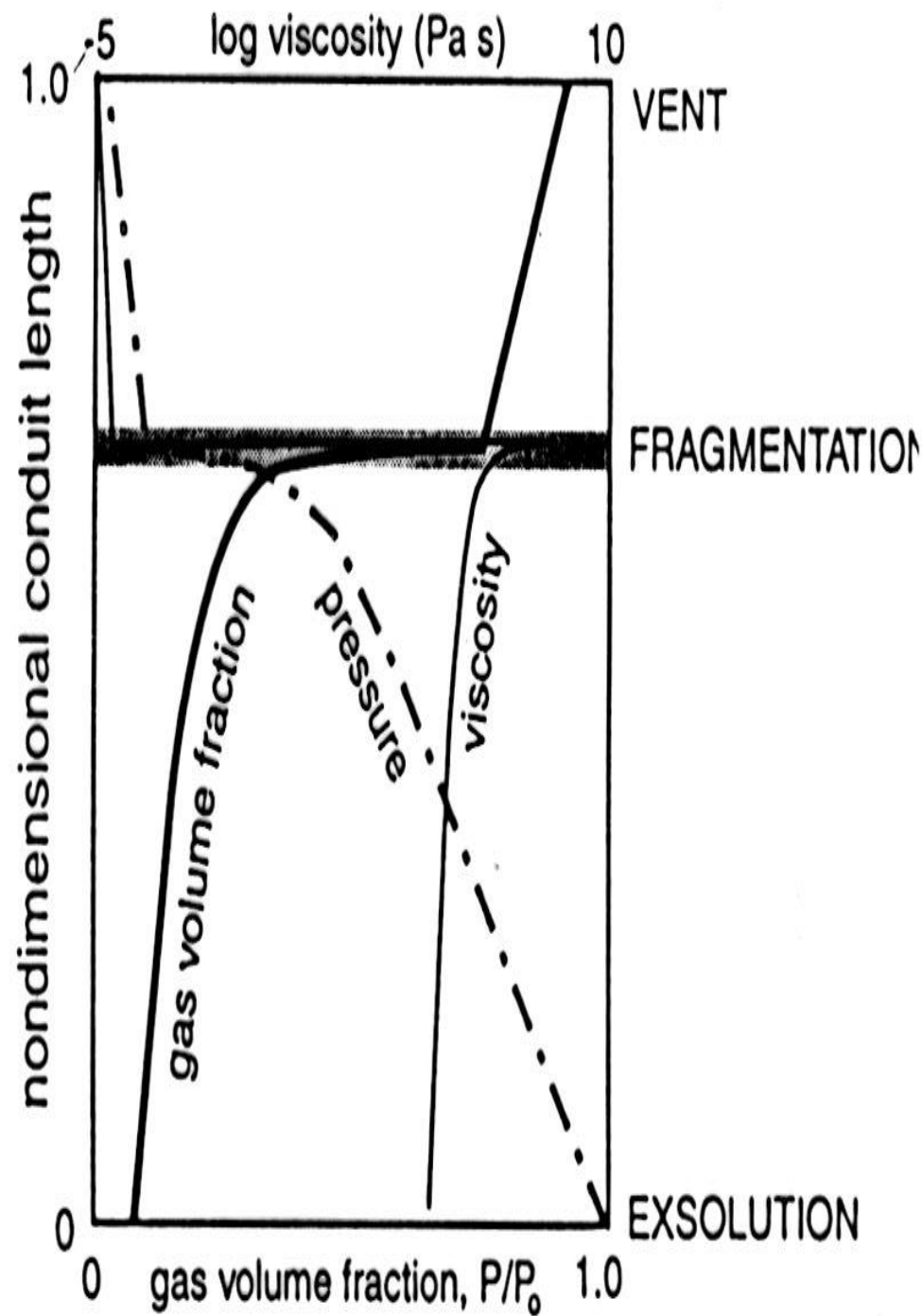
roste acidita  
←

$n$  Km







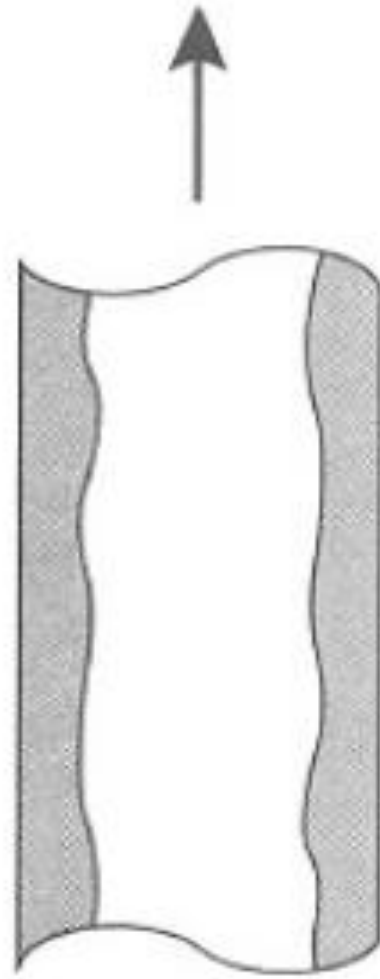




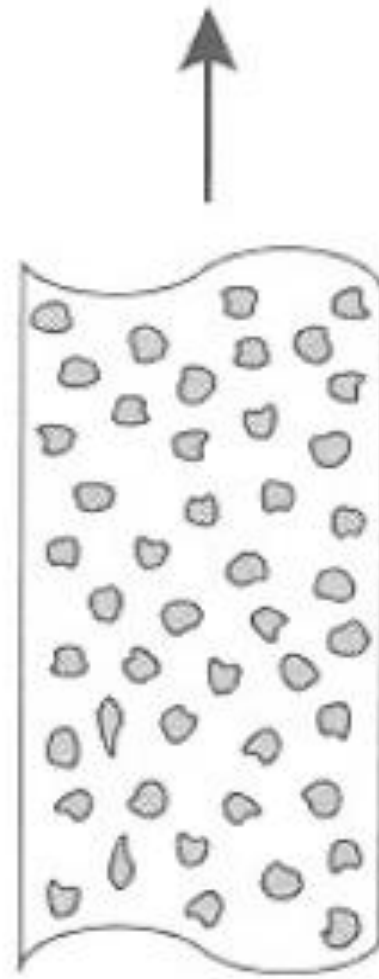
Bubbly flow  
(gas bubbles  
carried by magma)



Slug flow  
(gas pockets)

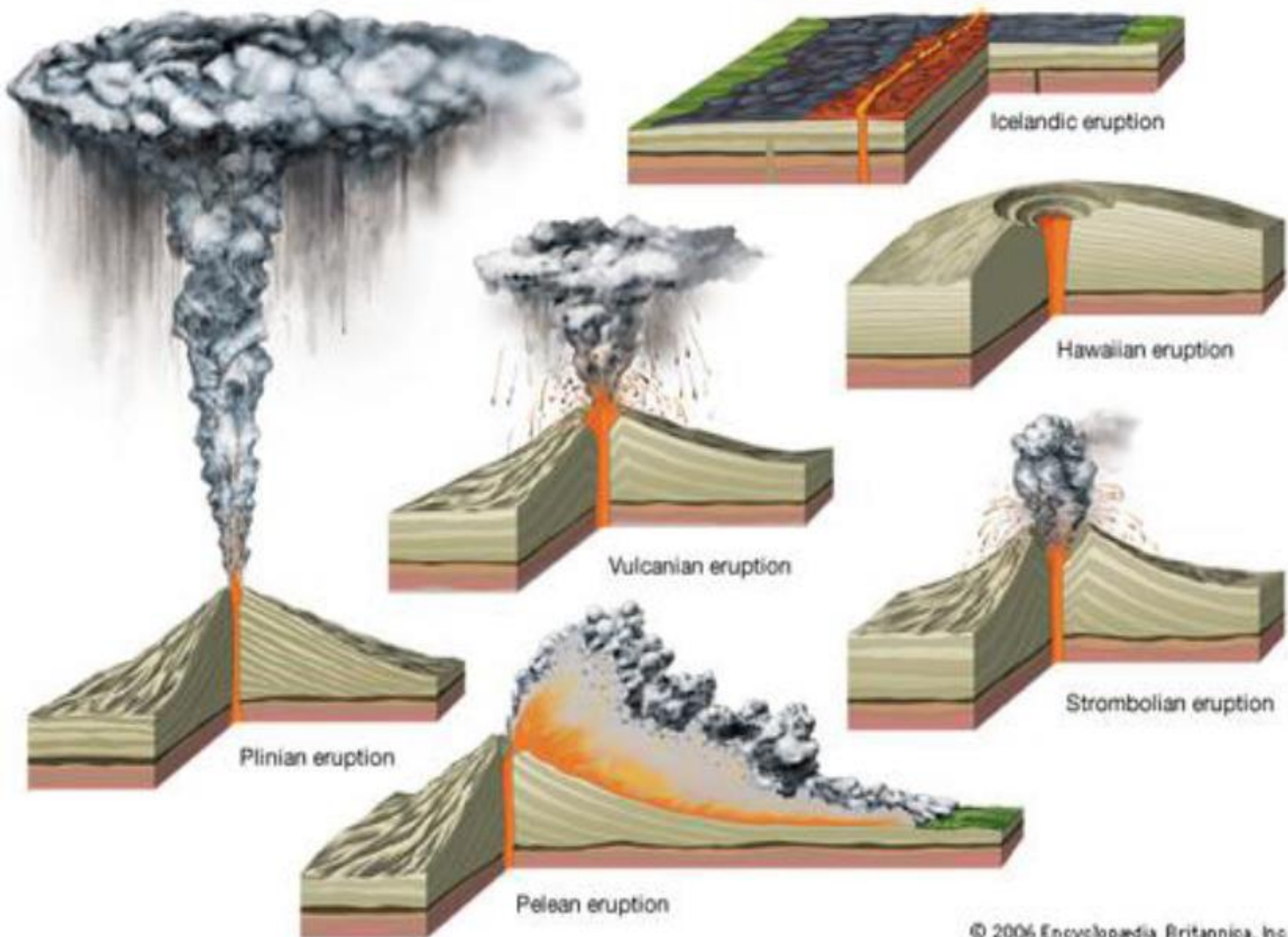


Annular flow

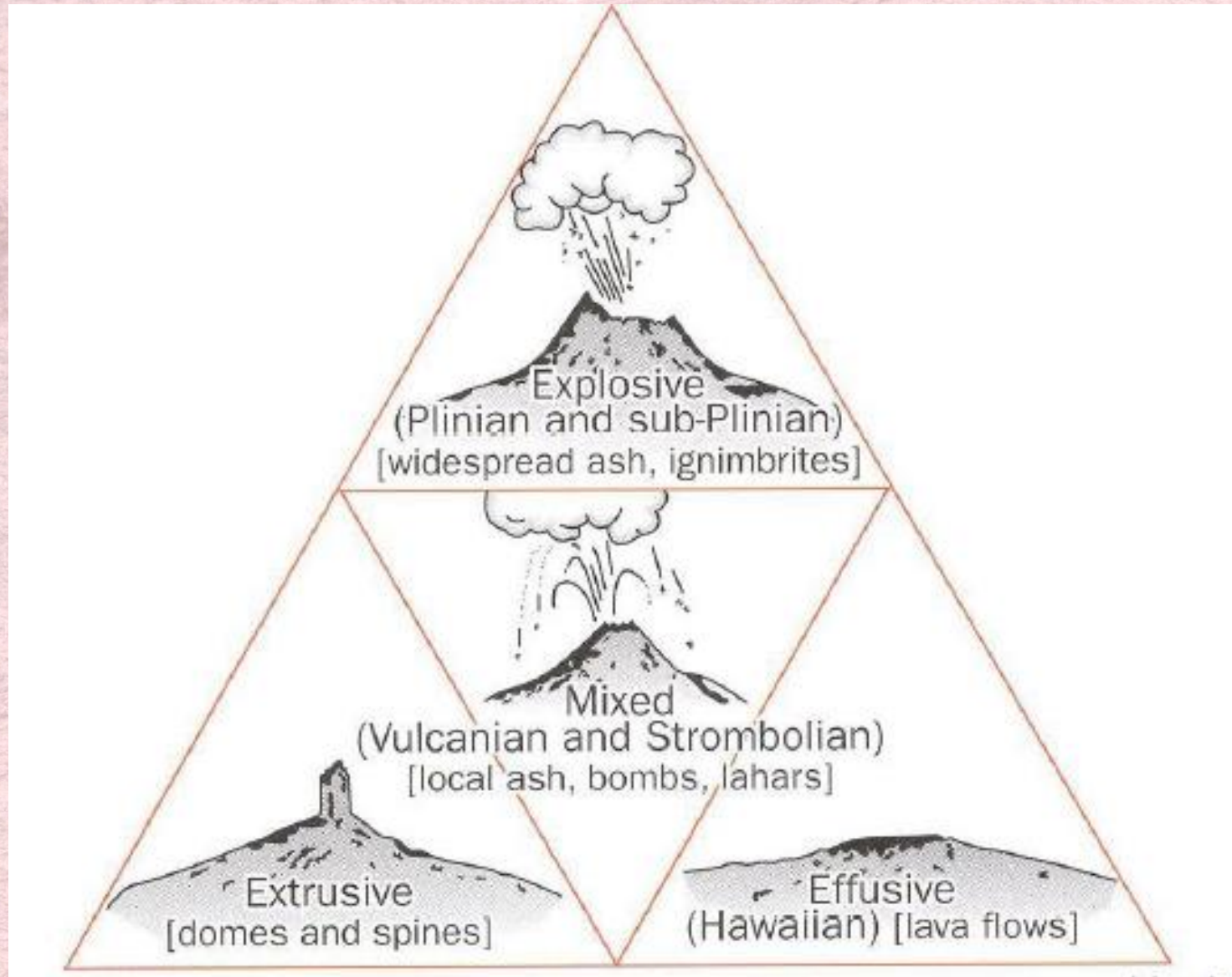


Dispersed flow  
(magma fragments  
carried by gas)

**Několik možných způsobů transportu fluid v magmatu v ústí sopky**

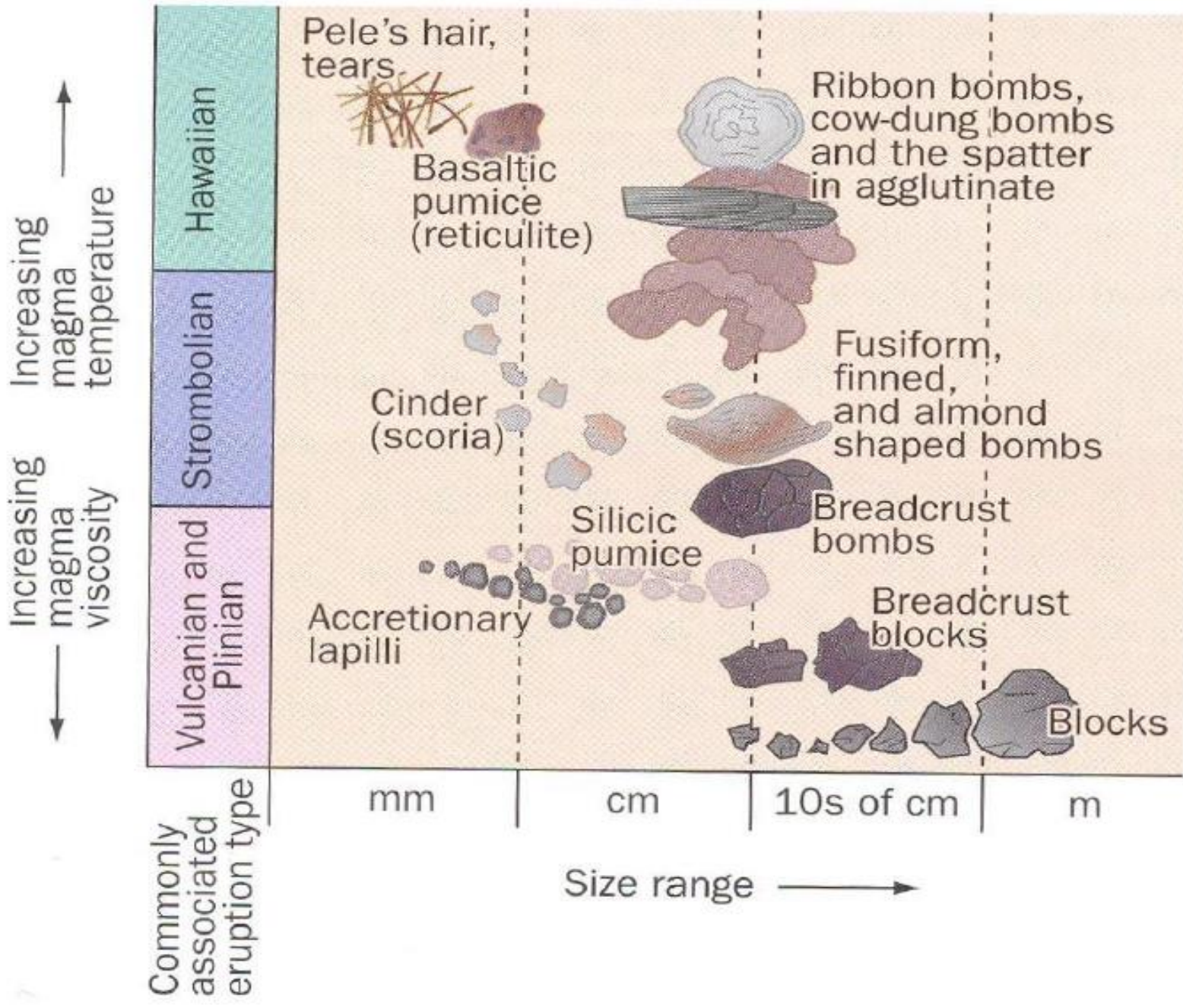


**plyn**



**pevná hornina**

**tavenina**



# VOLCANIC ERUPTION

EFFUSIVE

*lava flows*  
*(syn-volcanic intrusions)*

*coherent lava*  
*(or intrusion)*

*autoclastic*  
*deposits*

EXPLOSIVE

mass-flow

*pyroclastic*  
*flow deposits*

*welded*

*non-welded*

traction

*pyroclastic*  
*surge deposits*

*welded*

*non-welded*

suspension

*pyroclastic*  
*fall deposits*

*welded*

*non-welded*

RESEDIMENTATION

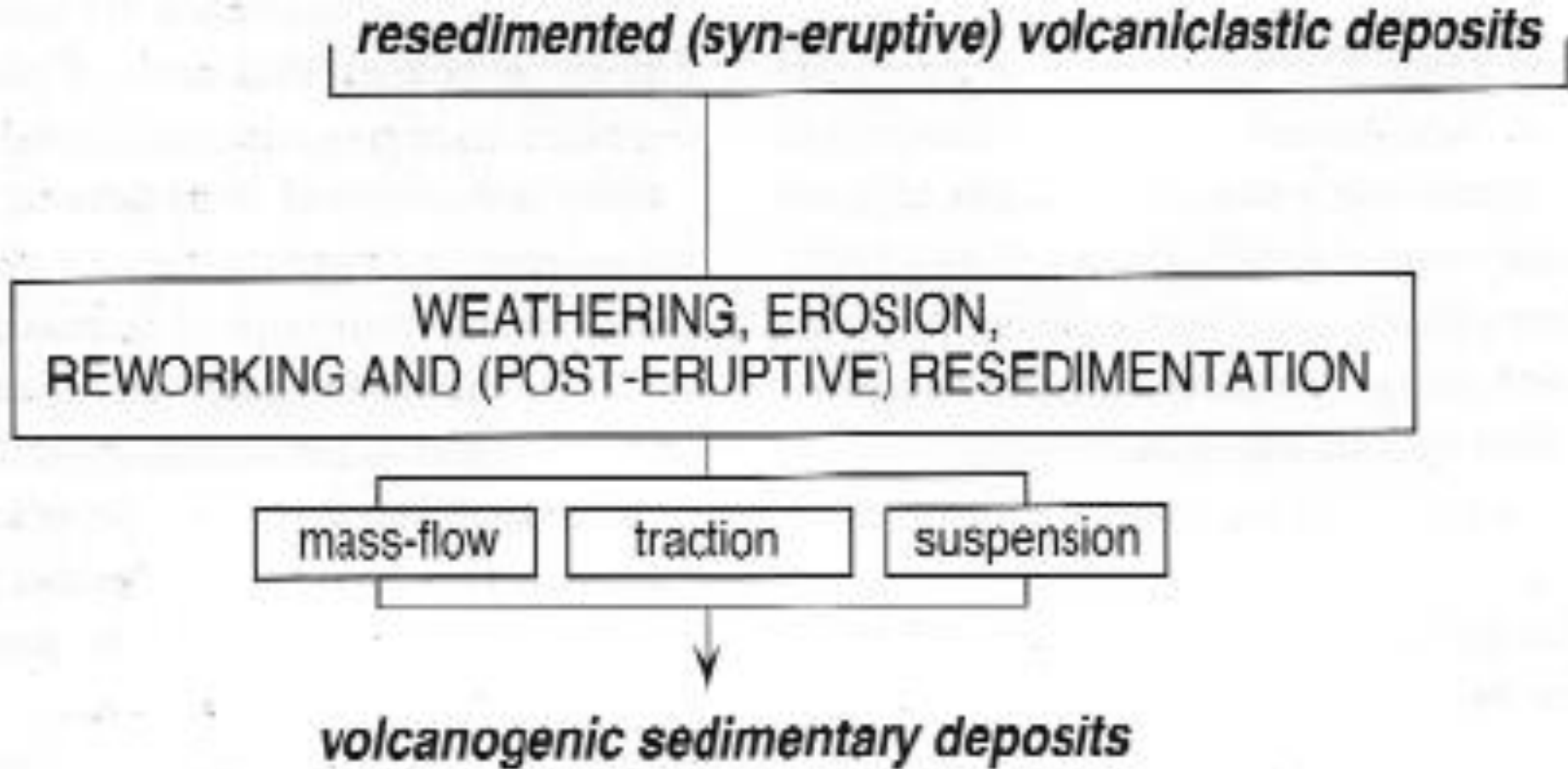
mass-flow

traction

suspension

Boxes: processes  
Italics: deposits





Genetická klasifikace vulkanických uloženin (McPhie et al. 1993).  
Transportní procesy jsou stejné pro primární i resedimentované  
pyroklastické horniny: tok celé hmoty, vlečení, tok v suspenzi)

# A. Lávy

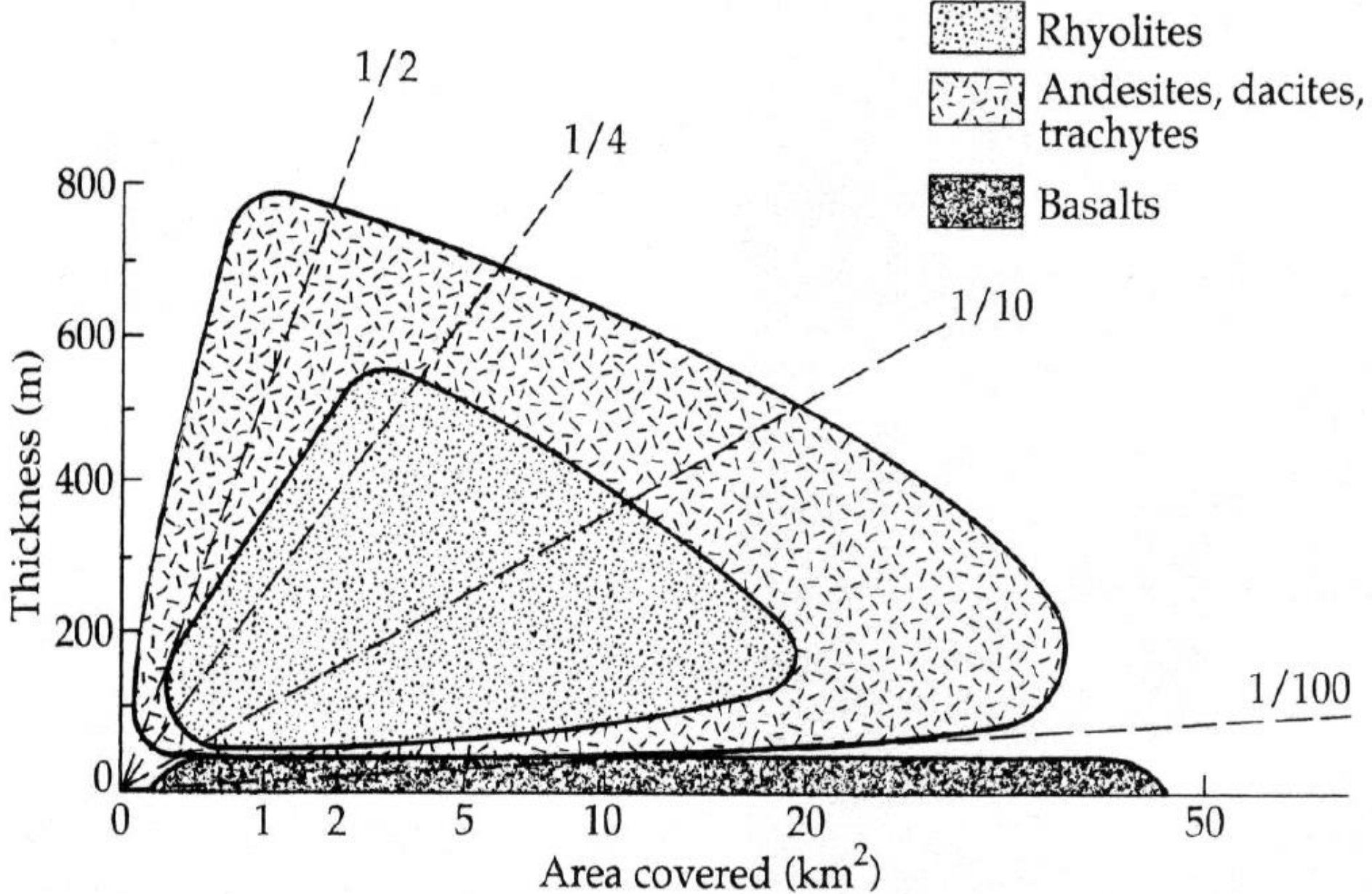


Eruptions of Kilauea volcano, Hawaii, are mainly effusive. Pahoehoe lava flow July 1991. Photo: J. Alean





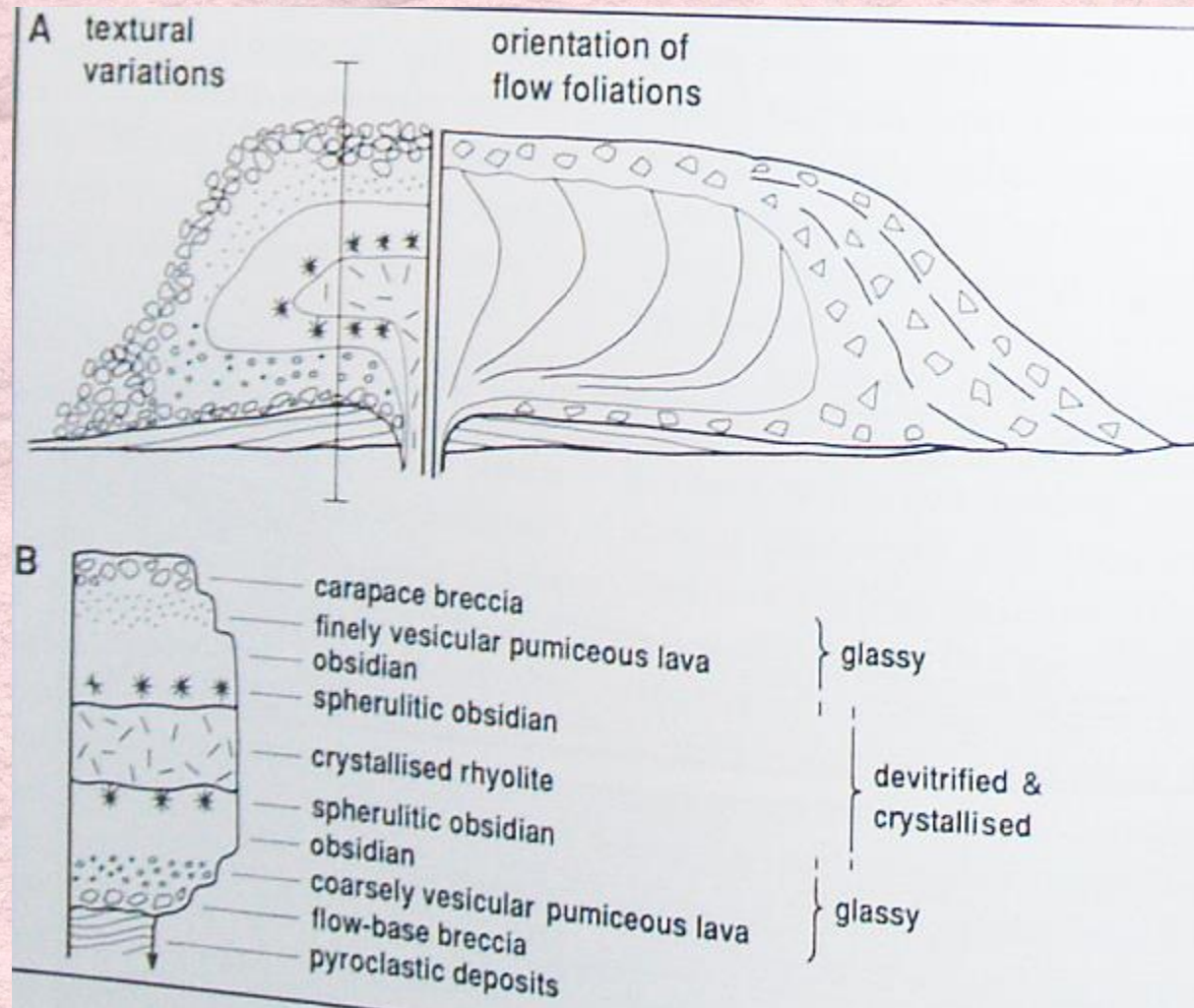
Lávový proud Vulkáno (Itálie)



- Viskozita ovlivňuje mocnost a rozlohu lávových proudů (Walker 1973)

# 1) Kyselá lávová proudy a dómy

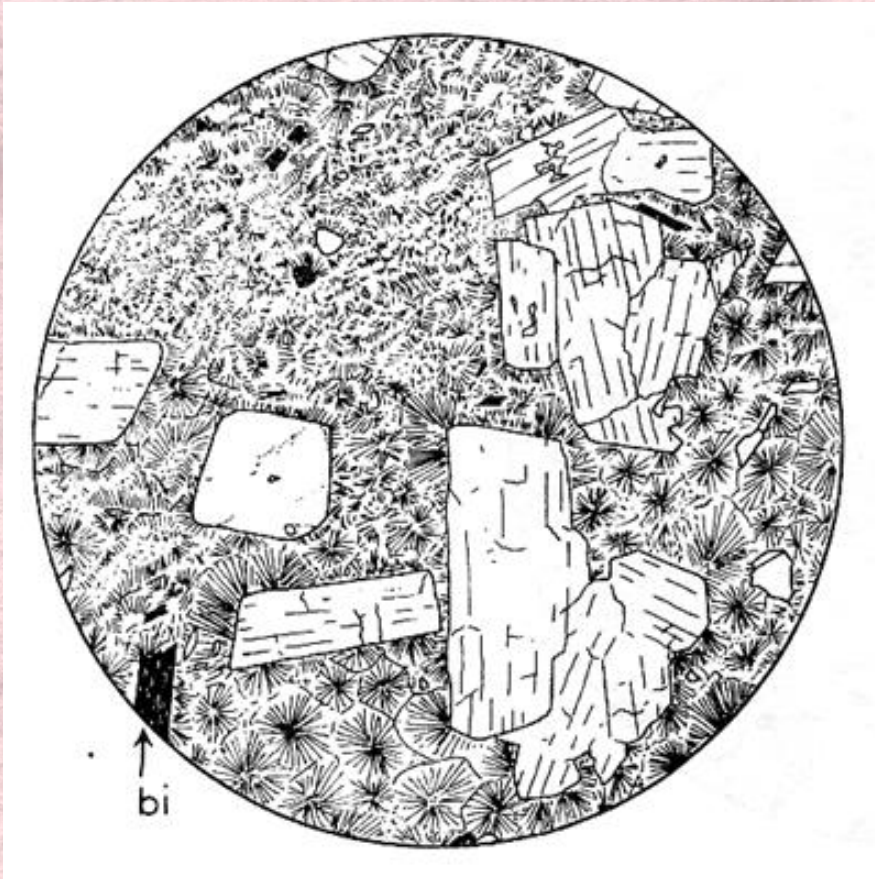
- Kyselá láva většinou vytváří kupovitá tělesa nebo krátké lávové proudy.
- Schopnost toku těchto láv je řízena teplotou taveniny (nejnižší je na bázi a na povrchu proudu), množstvím volatilních komponent a rychlostí deformace.
- Typická jsou deskovitá tělesa která mají laminární tokovou stavbu, někdy vrásky toku, protažené fenokrysty a protažené dutiny (vše výsledkem kombinace vysoké viskozity a laminárního stříhu).
- Tato struktury jsou přetištěny puklinami vzniklými během chladnutí.



(A) Průřez kyselým lávovým proudem. Levá část ukazuje texturní rozdíly od zóny fragmentace přes zónu bohatou na dutiny až po devitrifikaci, pravá strana ukazuje orientaci tokové foliace a hrubého zvrstvení v suťové brekci.

(B) Hlavní zóny lávového proudu (Fink a Manley 1987, Duffield a Dalrymple 1990)

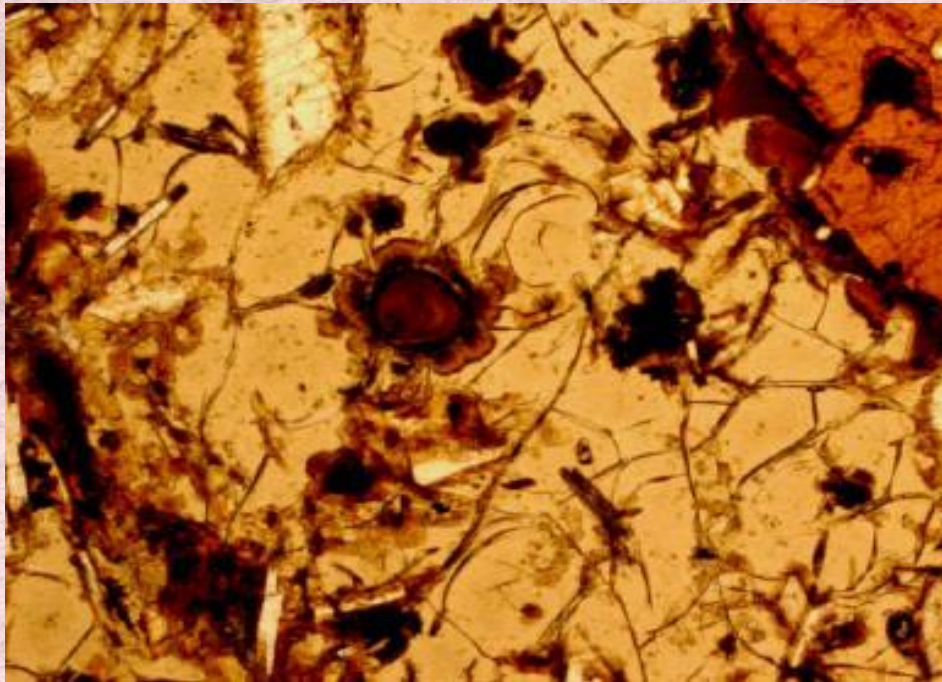
- Ryolit kyselá výlevná hornina svým chemickým složením blízká granitu (nazývaná paleoryolit, je-li před-kenozoické stáří),



Ryolit - vyrostlice živce (štěpné), křemene (vlevo od středu obrázku, neštěpný) a biotitu (bi) jsou uloženy v základní (sklovité) hmotě sférolitické struktury.

- v jemnozrnné nebo sklovité základní hmotě se objevují vyrostlice sanidinu, křemene (často korodovaného), amfibolu a biotitu
- ryolity bývají šedé až červenavé barvy s fluidální popř. pórovitou strukturou
- odrůdami ryolitu, cele složenými ze skla, jsou obsidián, smolek a perlit.
- ubýváním křemene ryolity přecházejí v trachyty
- syn. ryolitu je liparit; místo paleoryolit se dříve užíval termín porfyr.
- protože ryolitová láva je silně viskózní, tvoří jen krátké lávové proudy nebo spíše dómy a ignimbrit
- ryolity bývají časté v tektonicky aktivních okrajích kontinentů a ostrovních obloucích, pospolu s andezity, trachyty a ryodacity.

- **Pemza** je označení pro světlé, lehké, pěnové sklo (pórů je tolik že má menší specifickou hmotnost než voda), s malým obsahem vody, obsahuje v malém množství mikrokrystaly, nebo fluidálně uspořádané mikrolity
- **Obsidián** je přírodní vulkanické sklo se skelným leskem a lasturnatým lomem, má velmi nízký obsah vody (1 - 2%).
- **Smolek** má typicky smolný lesk a nepravidelný až lasturnatý lom, obvykle obsahuje malé množství drobných porfyrických vyrostlic (křemen, živce, biotit) nebo jejich mikrolity, obsah vody obvykle mezi 4-10%
- **Perlit** je sklo s kuličkovitou odlučností, která vzniká v důsledku vnitřního pnutí při jeho ochlazování



Bazické vulkanické sklo křídového stáří, Mongolsko (D0204)

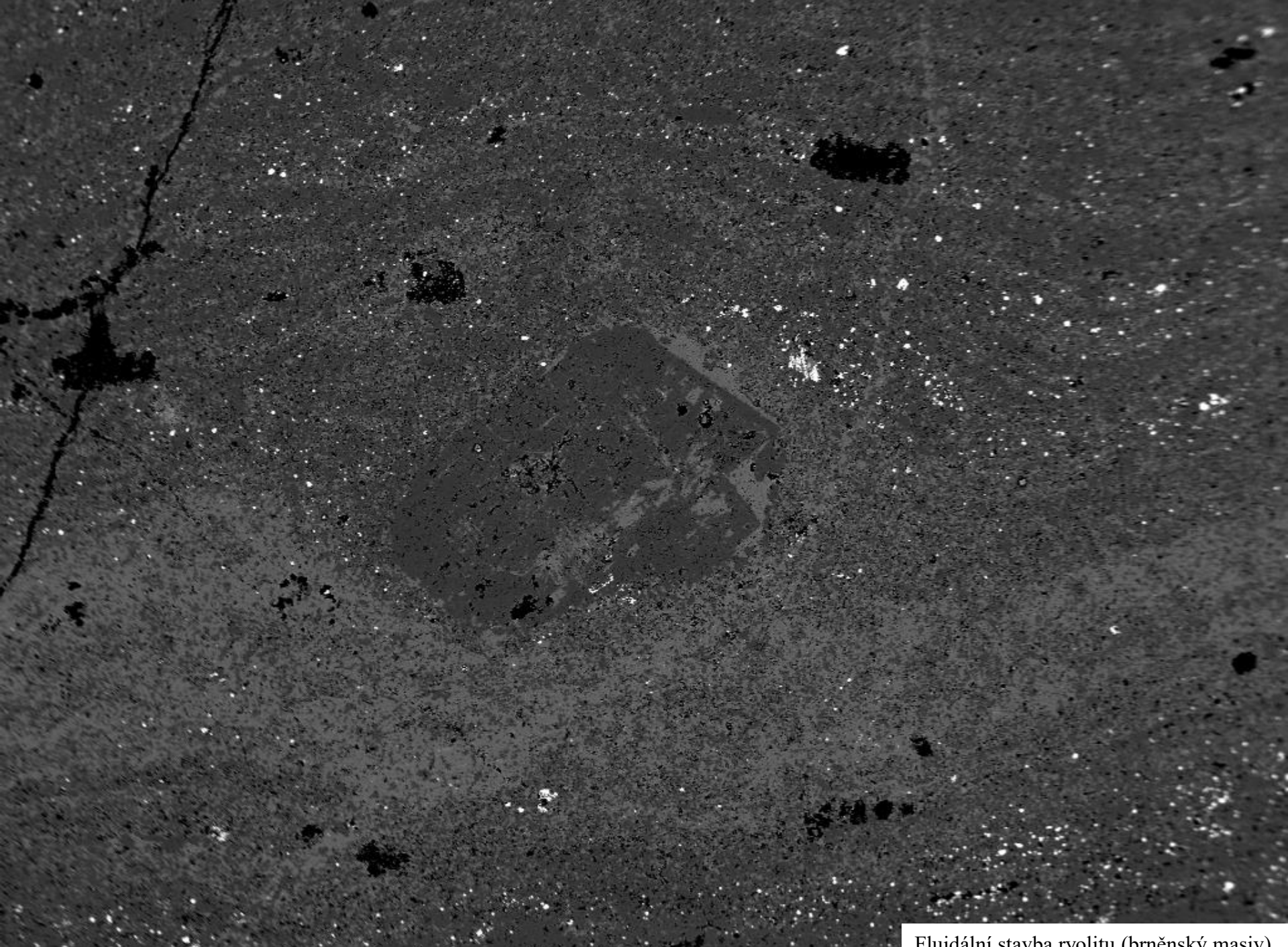


Obsidián, Nikaragua



## Proudovitá textura (fluidální)

- Přednostní orientace lávy (uspořádáním krystalů nebo protažením pórů) ve směru pohybu lávy.
- Většinou je zřetelné páskování které je způsobeno změnami ve složení, velikosti pórů, velikosti zrna atd.
- Může se vyskytnout v lávových proudech i v žilách



1000. µm BSE 15. kV

Fluidální stavba ryolitu (brněnský masív)

- Ryolitický lávový proud obsidianový



- Okraj ryolitového proudu ve spodní má sloupcovitou odlučnost (J).
- Ve svrchní části je patrné toková foliace (F).
- Toková foliace je definována polohami sférulí.
- Ryolit neobsahuje fenokrysty což indikuje erupci za teplot nad likvidem taveniny.



# • Rheomorfický ignimbrit

- toková foliace vznikla intenzivním spečením a celkovým tokem během a po uložení
- podobá se to toku lávy a rozeznání pyroklastického původu bývá někdy problematické
- pyroklastický proud má rychlé schlazení, přítomnost klastů (litické lapily) a méně spečená bázi (lávy mohou obsahovat také litické fragmenty ale ty jsou vzácné a rovnoměrně rozptýlené).

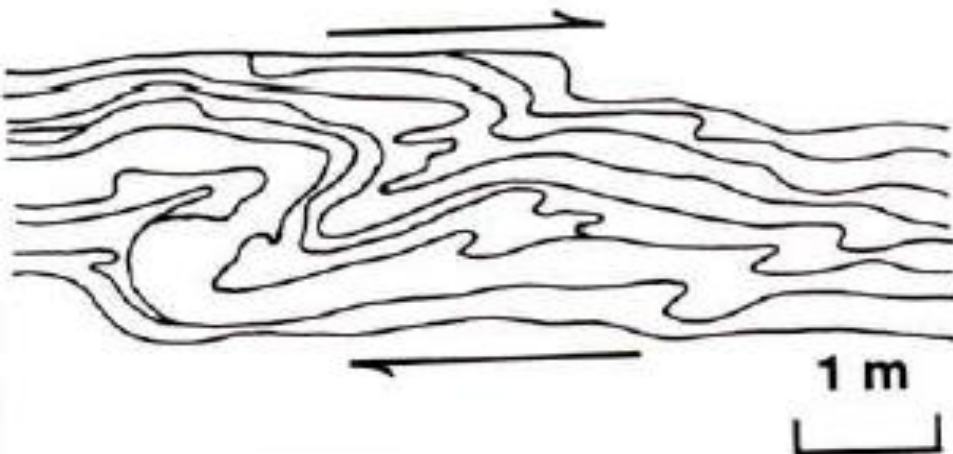




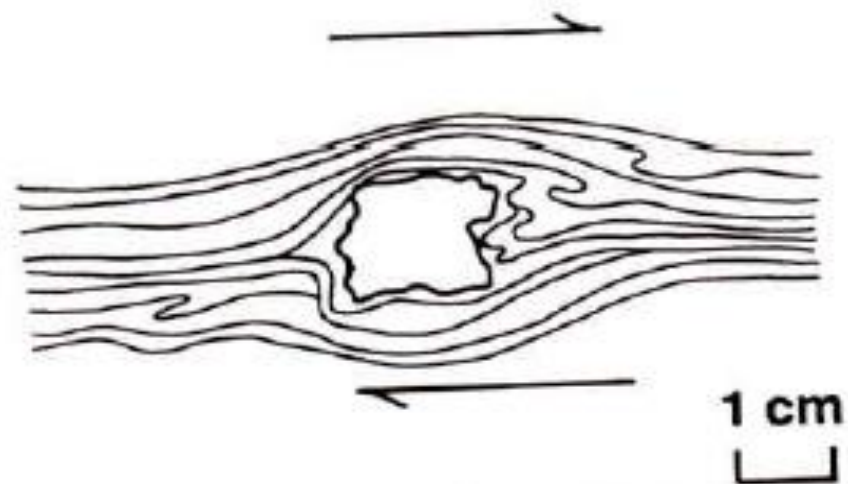
Reomorfní vrásy v ryolitové lávě, Kostarika

Indikátory směru toku v ryolitové lávě

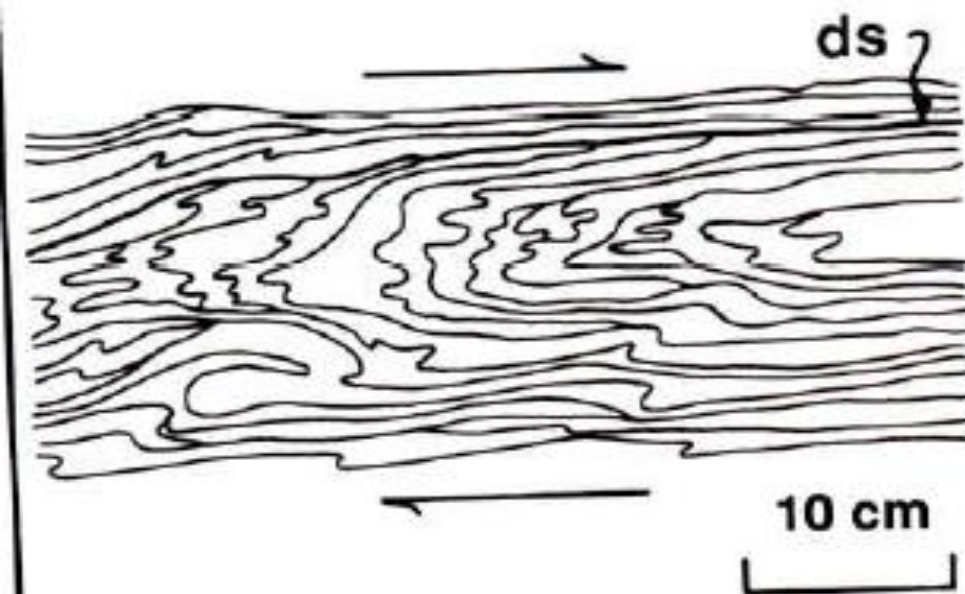
**continuous asymmetrical folds**



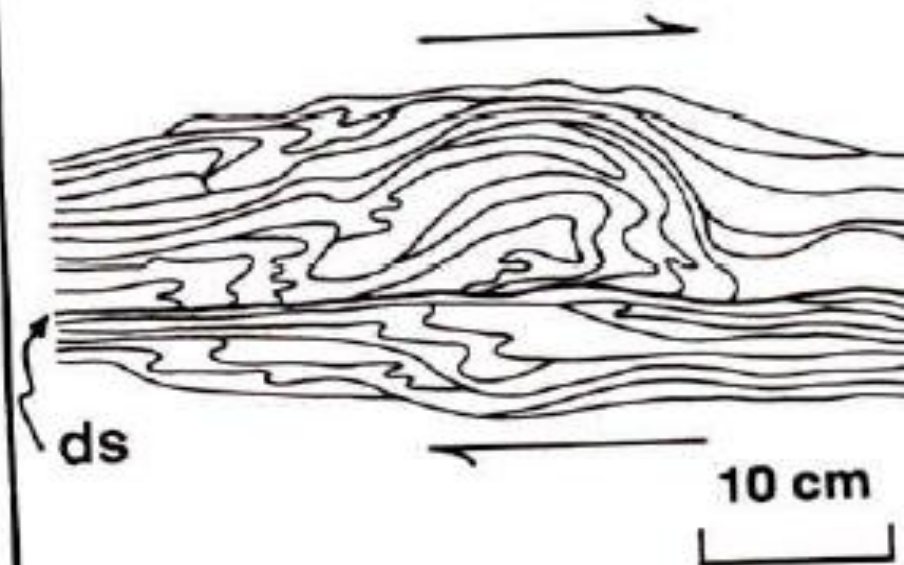
**rotated inclusion**



**detached synform**



**detached antiform**



# • Sfěruly nebo Sfěrulity (SPHERULITES)

- sfěruly (S) vznikají při devitrifikaci vulkanického skla
- sklo může zůstat zachováno jen v malých kapsách (Ob) a zbytek tvoří sfěruly a litofýzy
- radiální zonálnost sferulí je dána přítomností velmi drobných inkluzí
- sfěruly složená z jehlic živců a krystobalitu někdy obrůstá krystal plagioklasu (C)
- tvorba sfěrulí je výrazně závislá na obsahu vody v magmatu i pozdější hydrotermální alteraci skel
- jsou typické pro kyselé lávy a ignimbrity



Sférule v ryolitu permského stáří (Mongolsko)





Spherulites from a welded tuff at Valles, N. Mex. The concentric banding in the spherulites is due to variations in grain size of the aggregates of cristobalite and feldspar. The radial aggregates of cristobalite and feldspar are well displayed in this very large spherulite. Note also the growth of secondary minerals generating a plumose structure along the spherulite's outer margin.

fragments.[http://www.geology.sdsu.edu/how\\_volcanoes\\_work/](http://www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/)

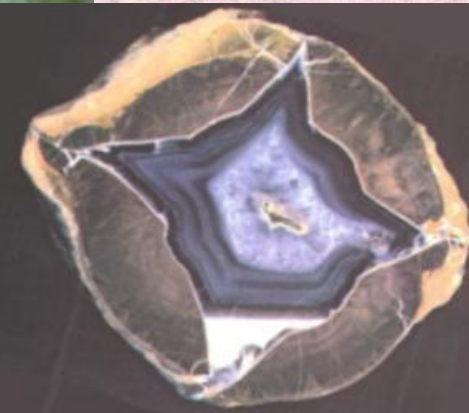


Sférule v ryolitu permského stáří (Mongolsko)



Litofýzy (Lithophysae)  
dutiny pokryté drobnými  
krystalky minerálů (sanidin,  
tridimit), jsou výsledkem  
vysokoteplotní devitrifikace  
skla

Někdy jsou dutiny druhotně  
vyplněny chalcedonem



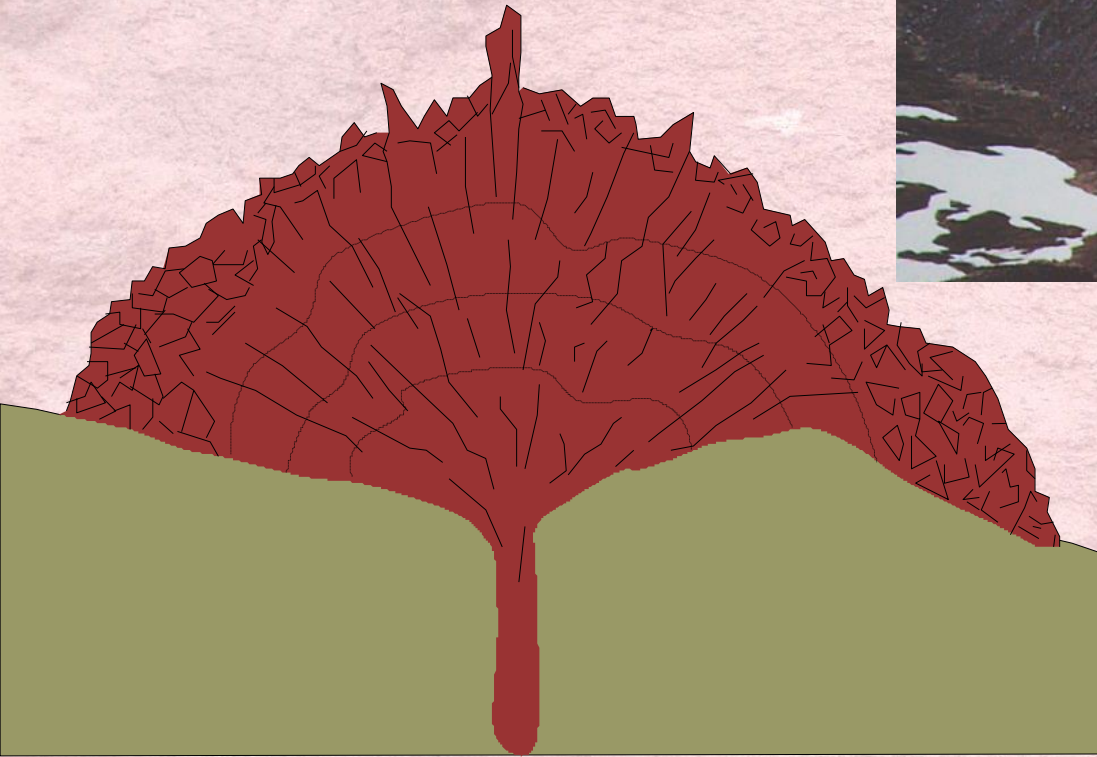




Litofýzy, ryolit (Mongolsko)

## Lávový dóm

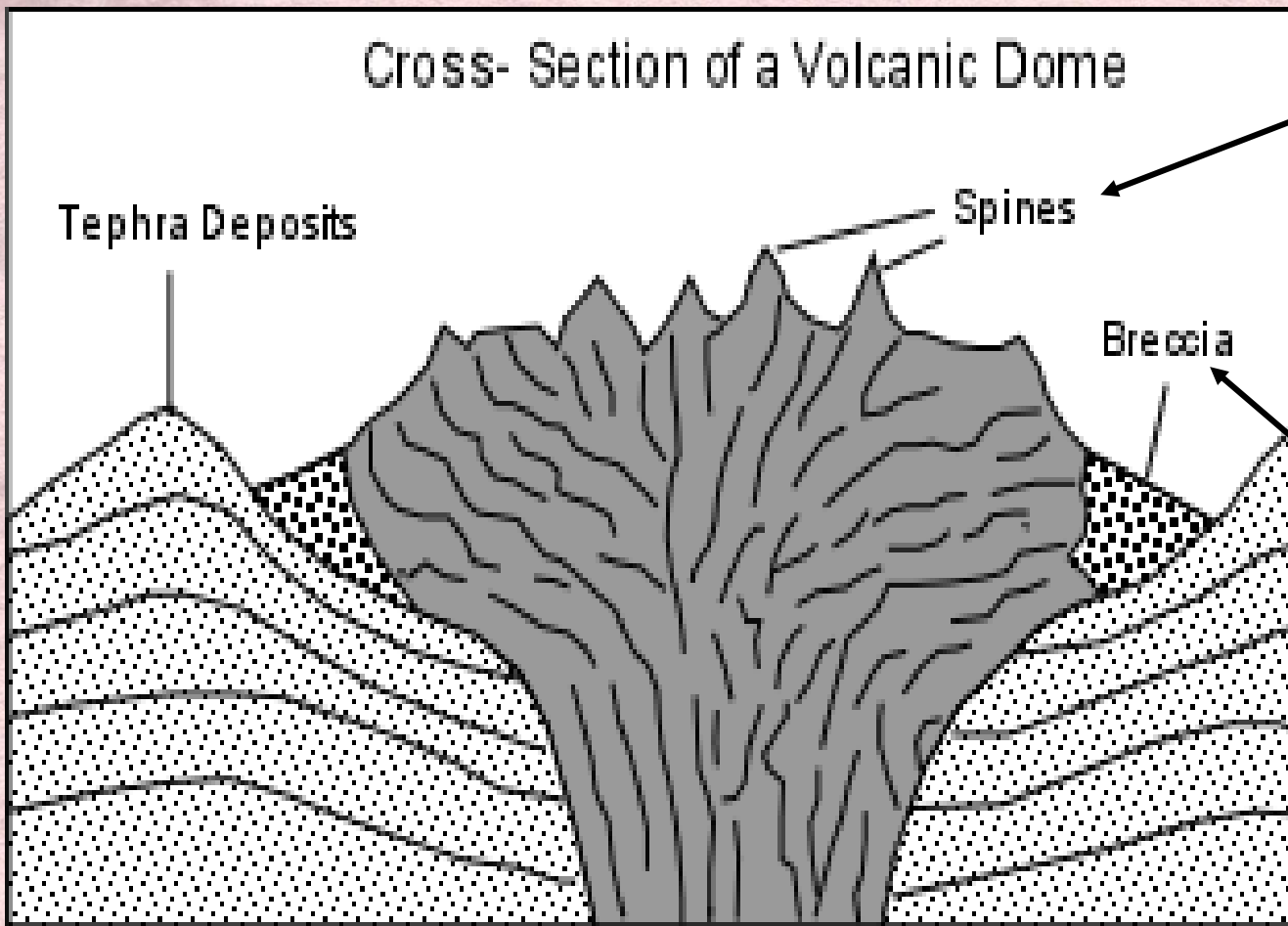
podobá se svým tvarem kopuli a vzniká vytlačáním značně viskózní lávy, která neodtéká a hromadí se často ve vulkanickém sopouchu (kyselé lávy – trachyt, ryolit)



Ryolitový dóm 380 m v průměru a vysoký 65 m (Aljaška, USA) je pokryt krustou tvořenou autobrekci místy s jehlami (spines) v horní části a lemován talus brekcií (T).

Dóm je lemován vrstvou pyroklastického materiálu hlavně pemzy který vznikl bezprostředně před extruzí dómu.

- Vyskytují se ve stádiích v před i po kolapsu kaldery, nebo vystupují podél tektonických lineamentů, často jsou typické pro pozdní stádia vývoje vulkanických kuželů.
- Velmi často extrudují na hlavních strukturních poruchách jako jsou ringové zlomy na okraji kaldery.
- Indikují přítomnost velkých diferenciovaných těles magmatu.
- Andezitové až ryolitové magma které tvoří dómy má vysokou viskozitu (105 až 1012 Pa/s; Murase and McBirney, 1973).
- Uvnitř a pod kyselými dómy je často výrazná hydrotermální aktivita. Charakterizovaná fumarolami a výraznou alterací.





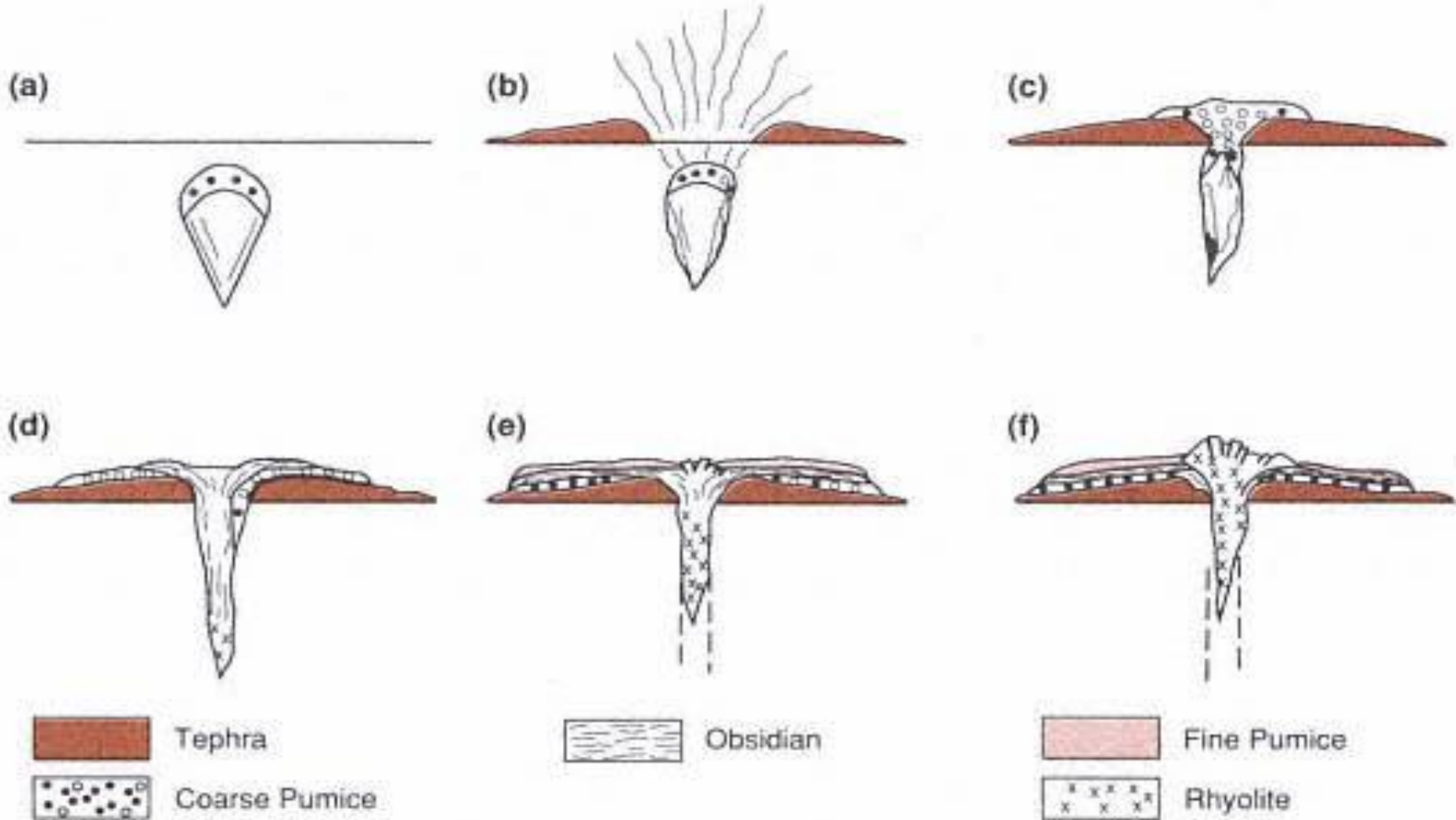
Ryolitový dóm (Mongolsko, perm)



Pyroklastika při kontaktu s ryolitovým dómem (Mongolsko, perm)

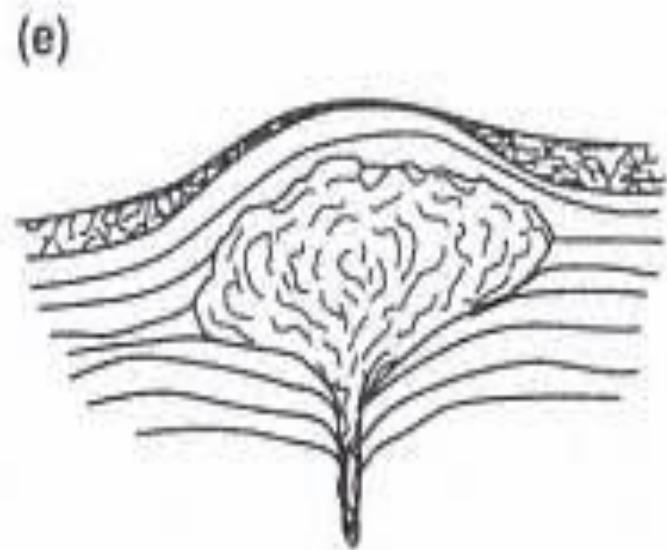
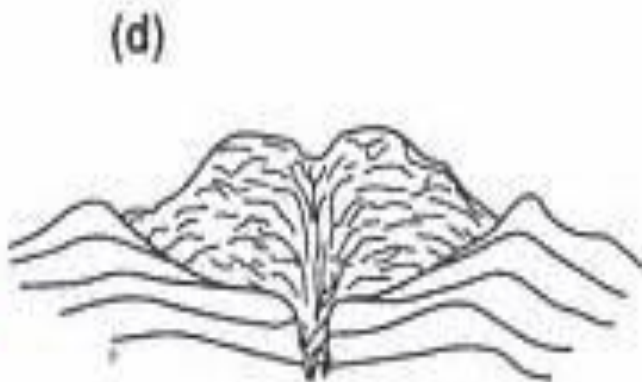
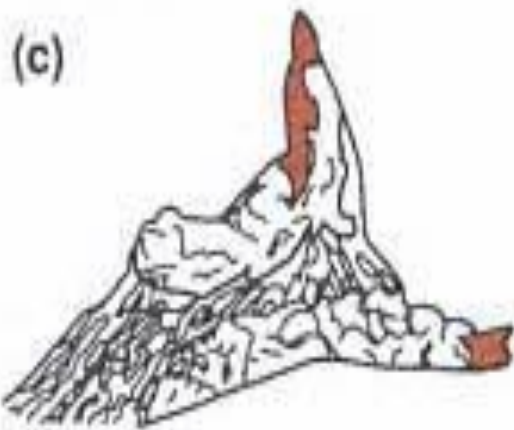


Vulkanická bomba (Mongolsko, perm)



Idealizovaný diagram ukazuje vývoj kyselého dómu:

- magma bohaté na volatilní komponenty vystupuje k povrchu,
- iniciální pyroklastická erupce kdy rhyolitová láva a pemza vytvoří tufový prstenec,
- skončení explozivní erupce dochází k vmístění pemzy a rhyolitové lávy,
- extruze obsidiánu,
- vývoj lemu z jemné pemzové lávy,
- Závěrečná extruze ryolitu (Fink, 1983).



Tvary endogenních a exogenních dómů které obsahují různé puklinové odlučnosti:

a) vytlačený endogenní dóm (typ Nautilus, Santorin),

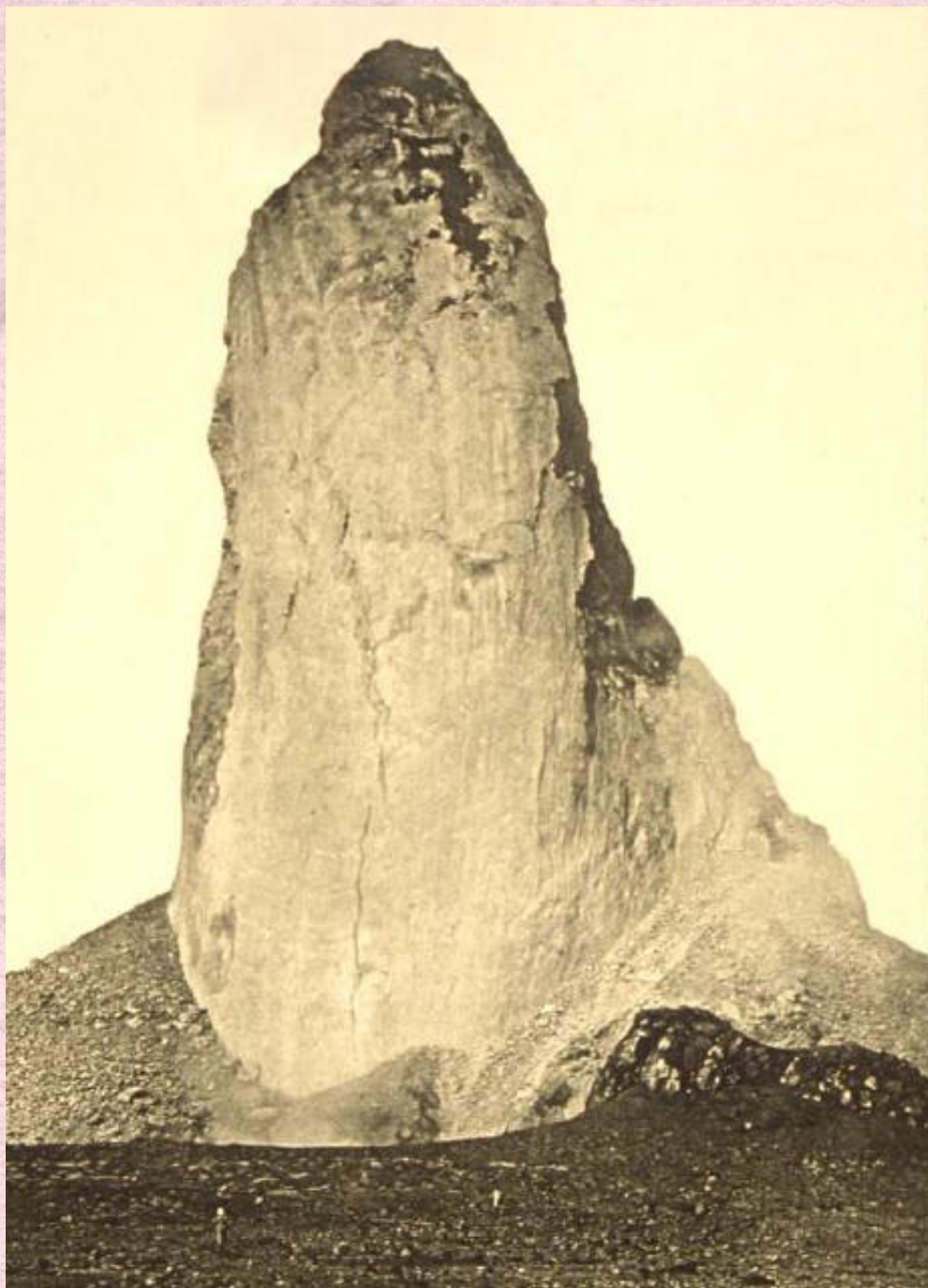
b) Peléský dóm s jehlou vzniklou blokovým rozpadem,

c) detail vrcholové jehly blokujícího ústí vulkánu Mont Pelée (Lacroix, 1904),

d) endogenní dóm který vznikl rozdělením viskozních laloku z vrcholového ústí – tlačená kupole,

e) intruzivní dóm kde se magma vmístilo pod povrchem (Williams and McBirney, 1979)





Mt. Pelee, 1903

# Las Lajas

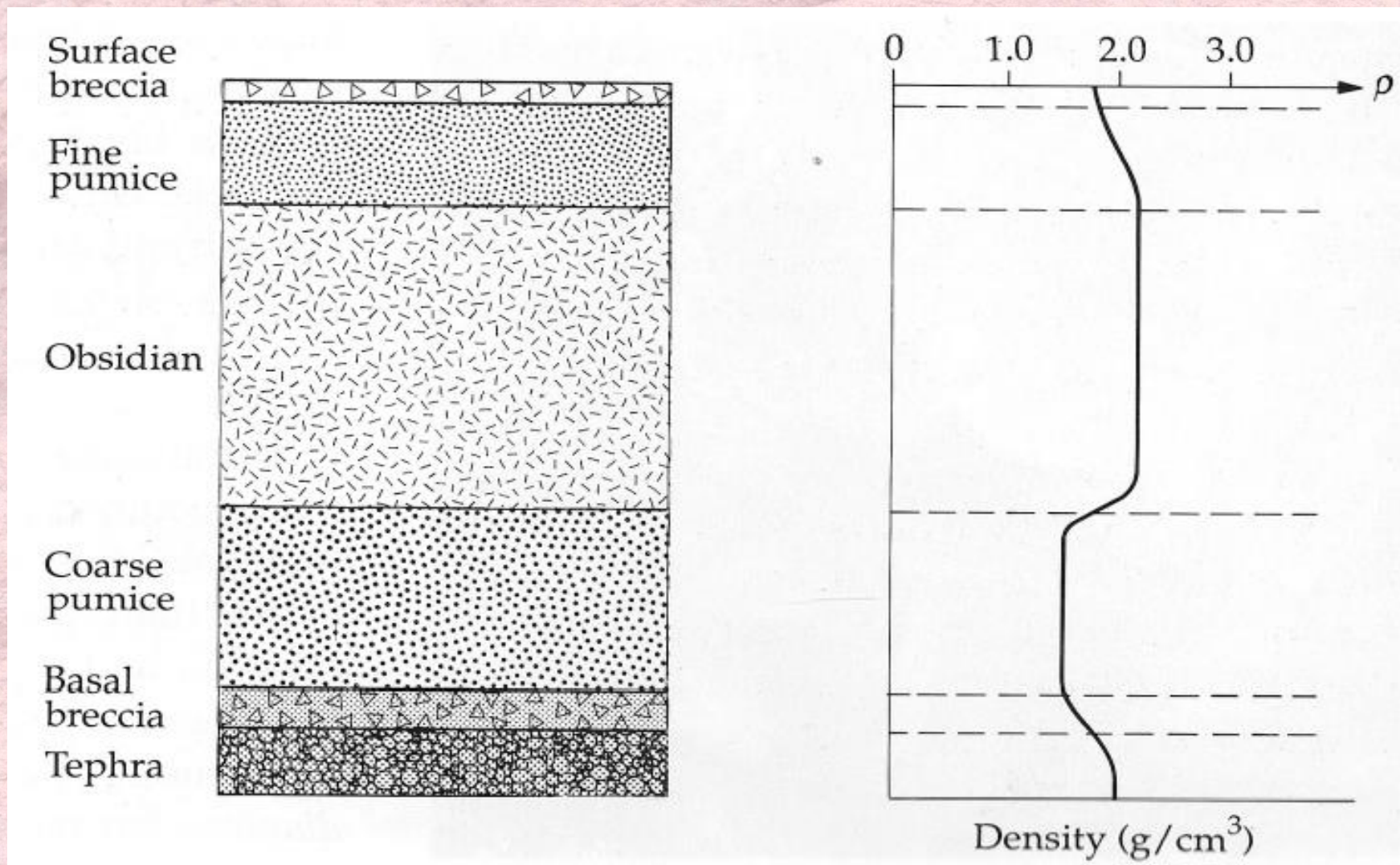
- Štítový vulkán (kaldera a lávové dómy)
- Výška 1297 m Latitude: 12.422°N Longitude: 86.540°W



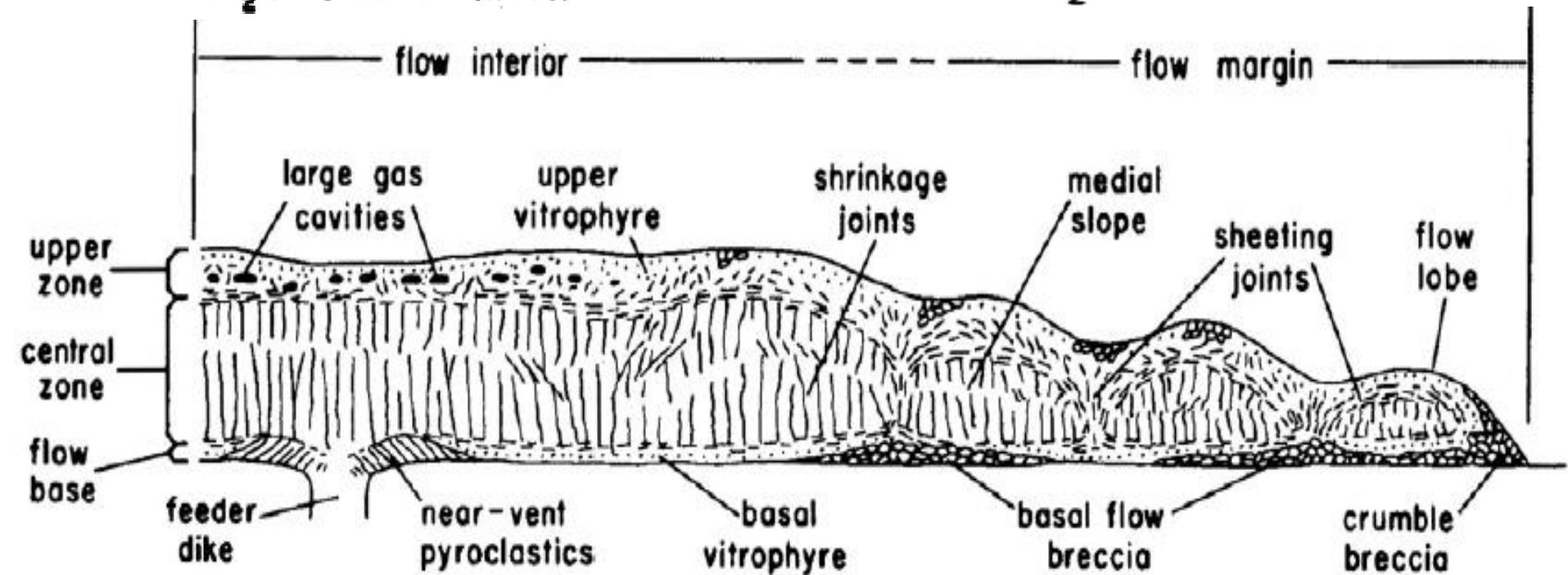
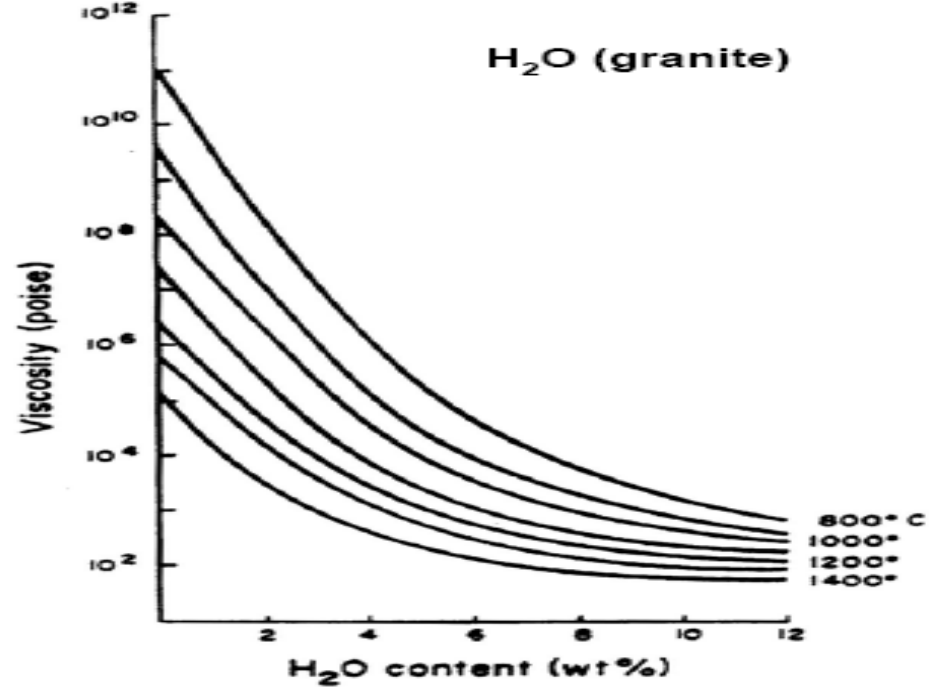
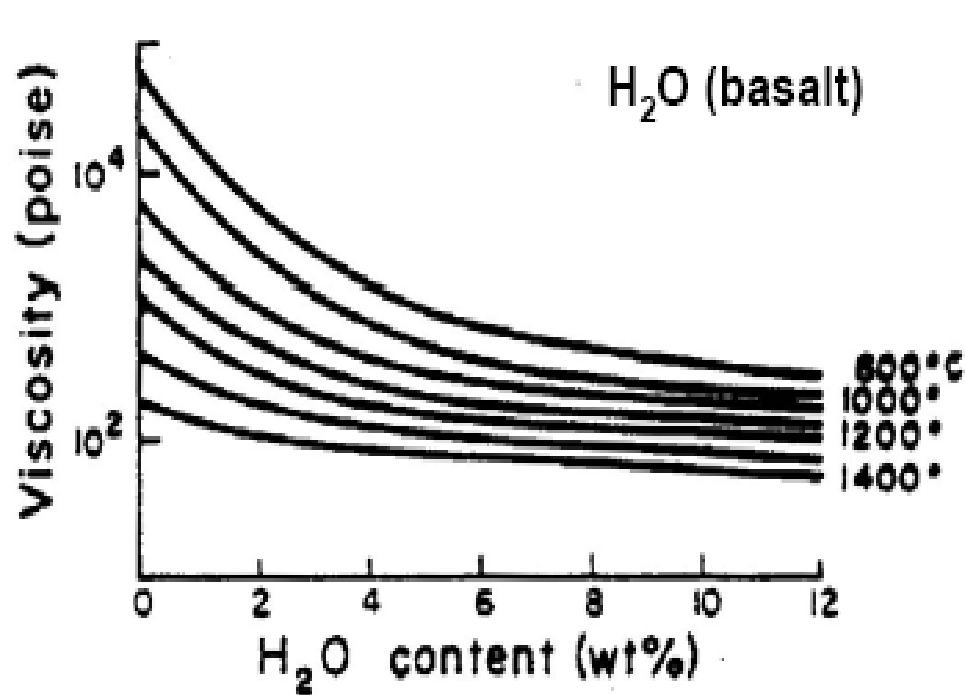


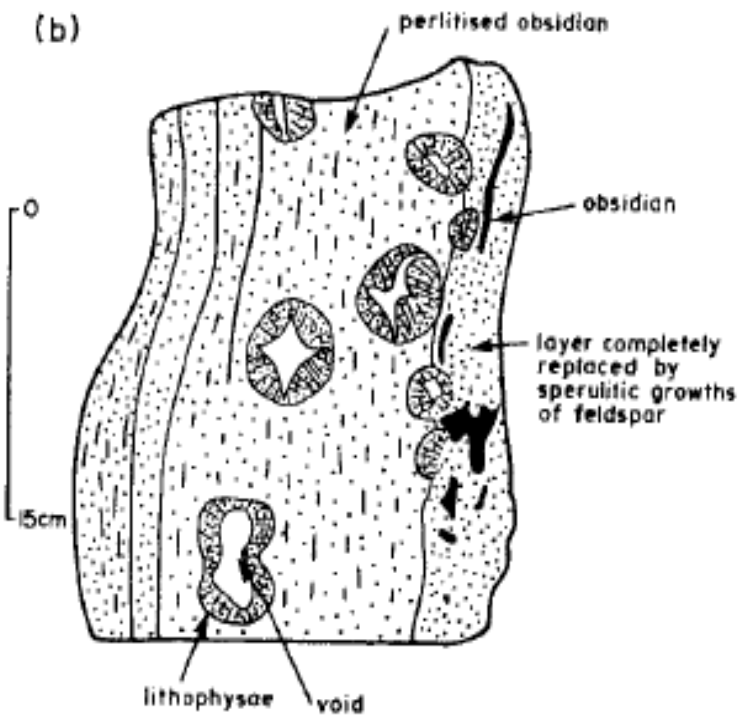
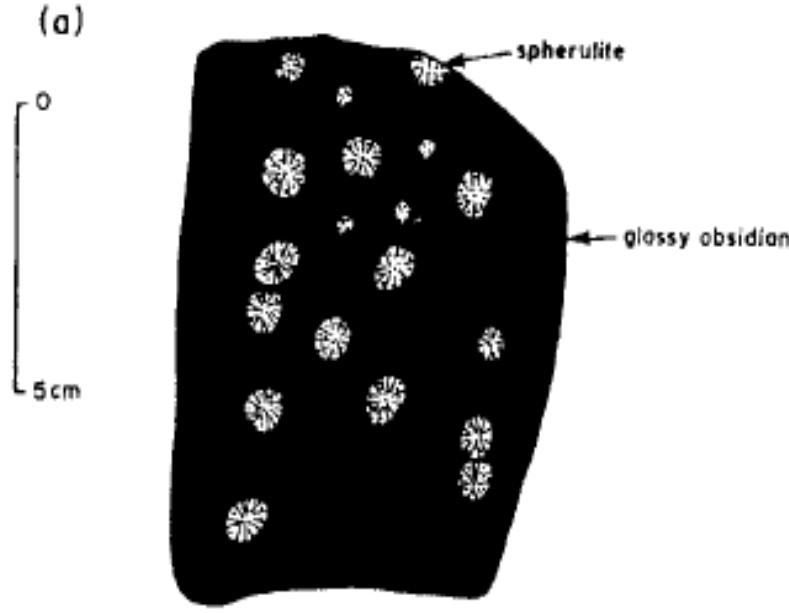
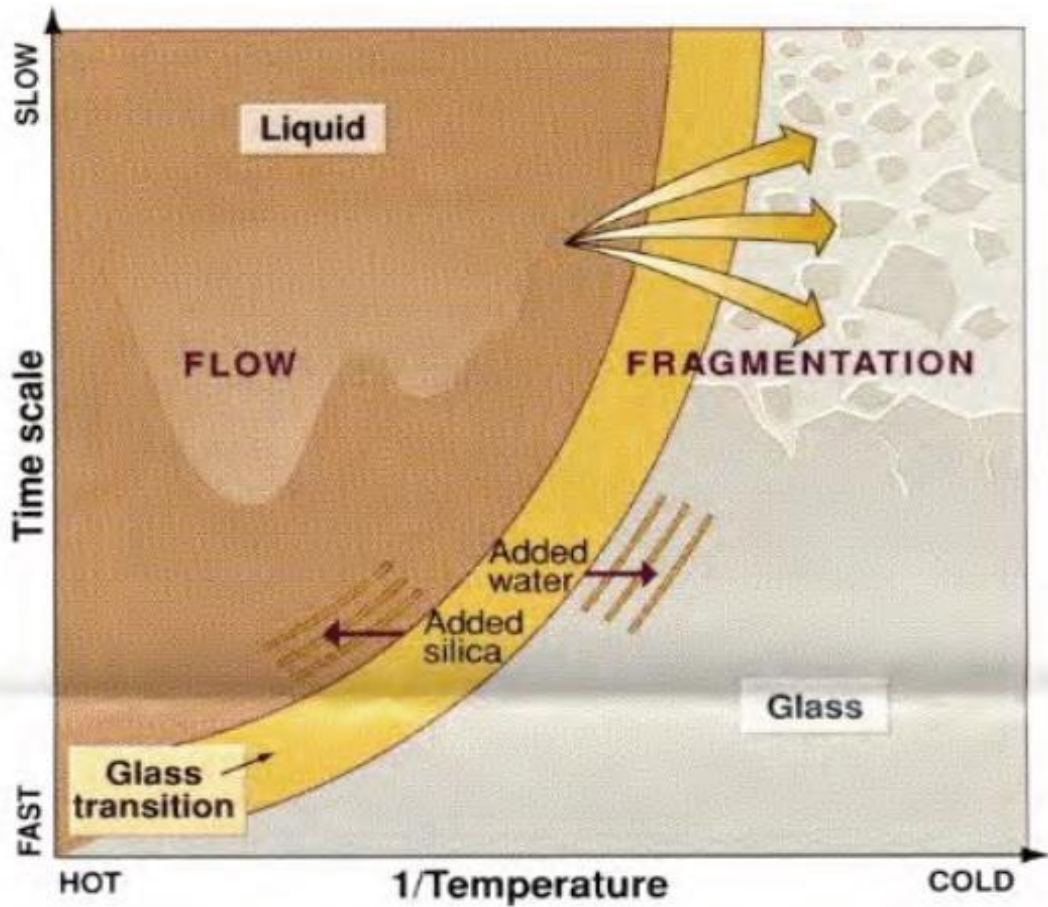
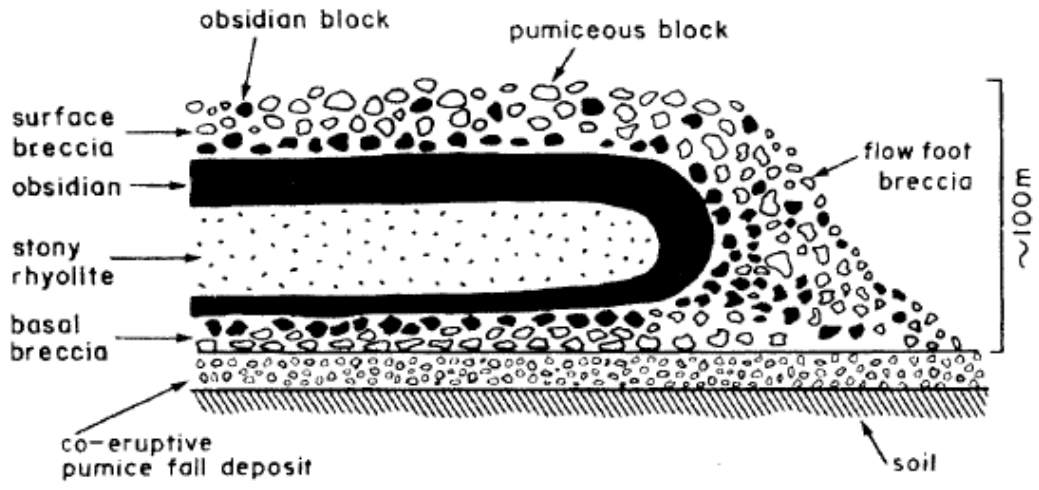
- kvarterní bazaltový štítový vulkán (7-km široký) východně od nikaraguiského grabenu.
- 650-m hluboká kaldera je rozbrázděná kaňony a ve střední části obsahuje andezitové a dacitové dómy
- další dómy jsou na jejich vnějších úbočích.
- na základě morfologie se předpokládá holocenní stáří (McBirney and Williams, 1965), ale Plank et al. (2002) uvádí tři datování miocenního stáří. Van Wyk de Vries (1999, pers. comm.) předpokládá že je Las Lajas je pleistocenní ale popelové kužely na jeho svahu jsou holocenní.

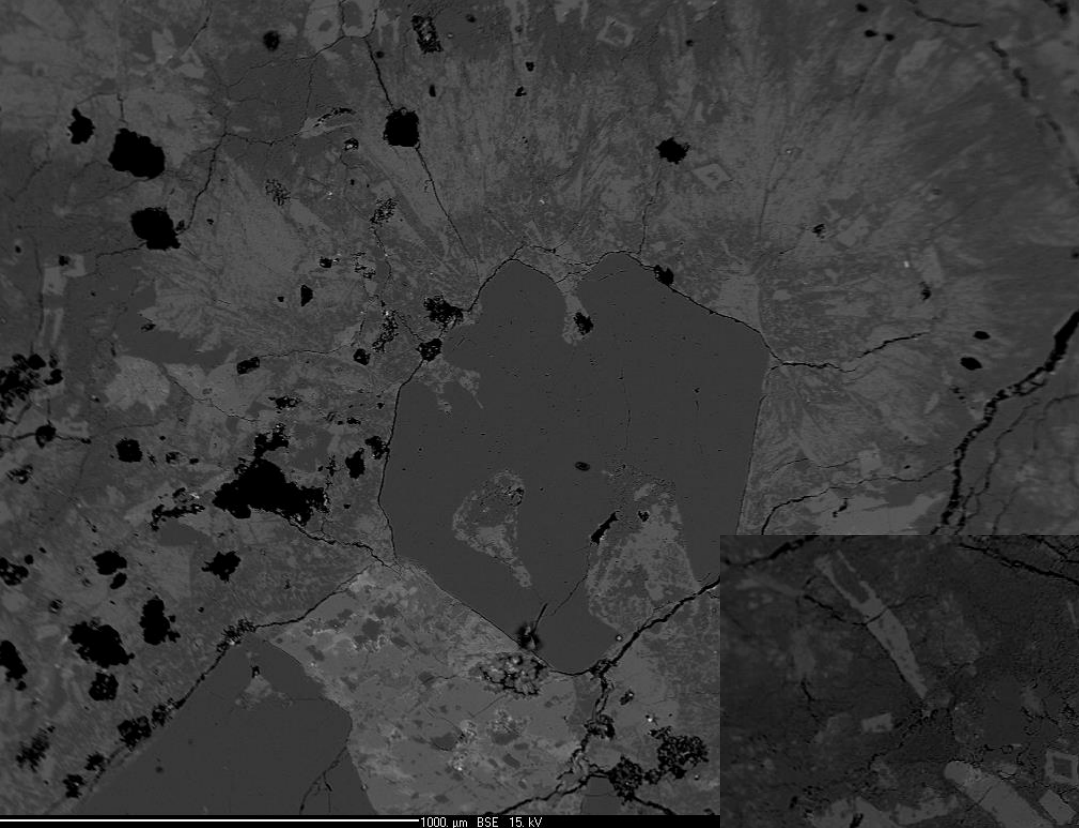
- Kyselé lávové proudy jsou většinou bohaté vulkanickým sklem, skládají se ze střední spojité části a autoklastických okrajů, typické jsou proměnlivé velikosti dutin po plynech a různé intenzivní projevy devitrifikace.



- mocnost lávového proudu 20-300 m
- délka lávového proudu 0,5-10 m
- stupeň krystalizace odráží teplotní gradient





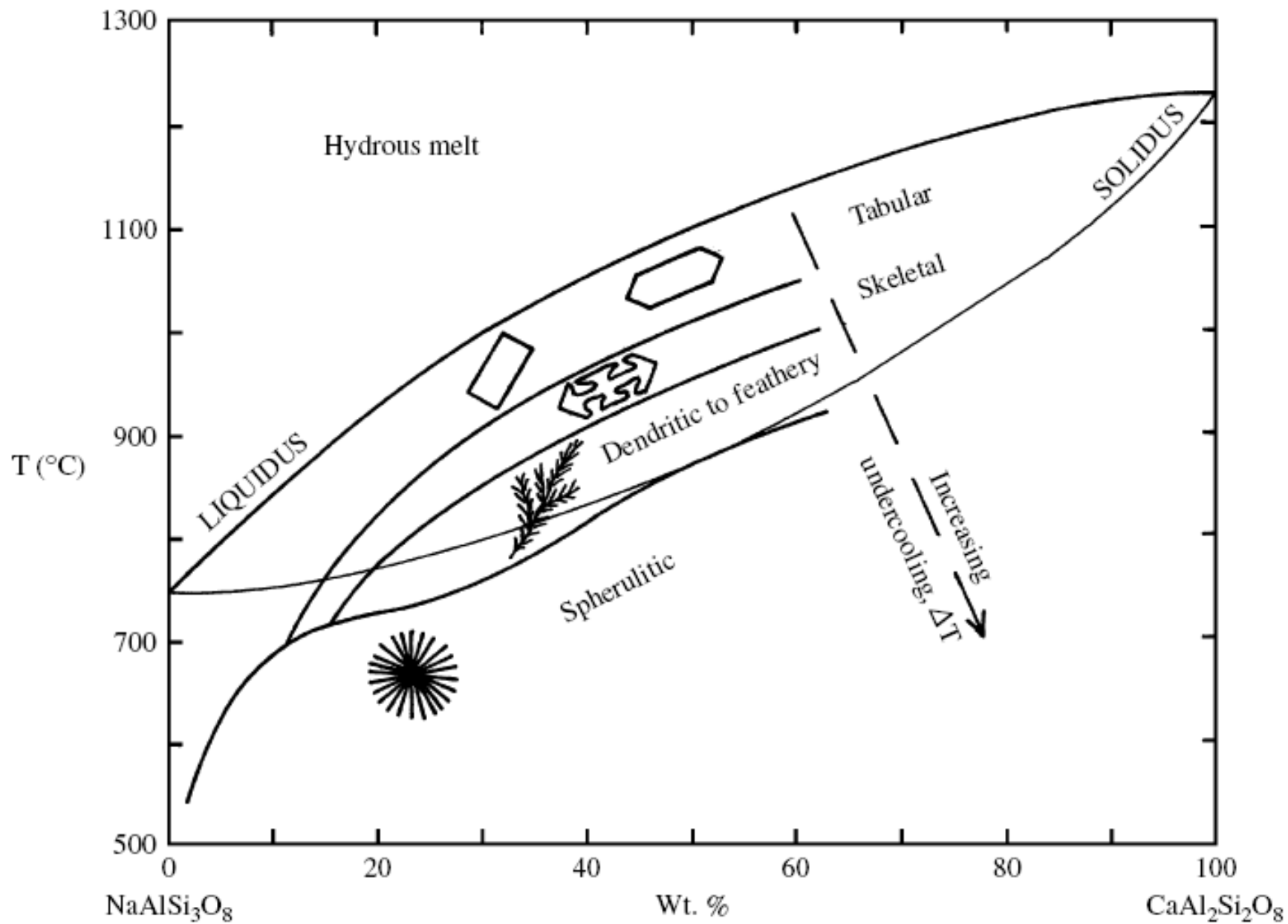


## Indikátory rychlého chladnutí

- přítomnost skla nebo produktu jeho rozpadu
- sférule
- kostrovité krystaly

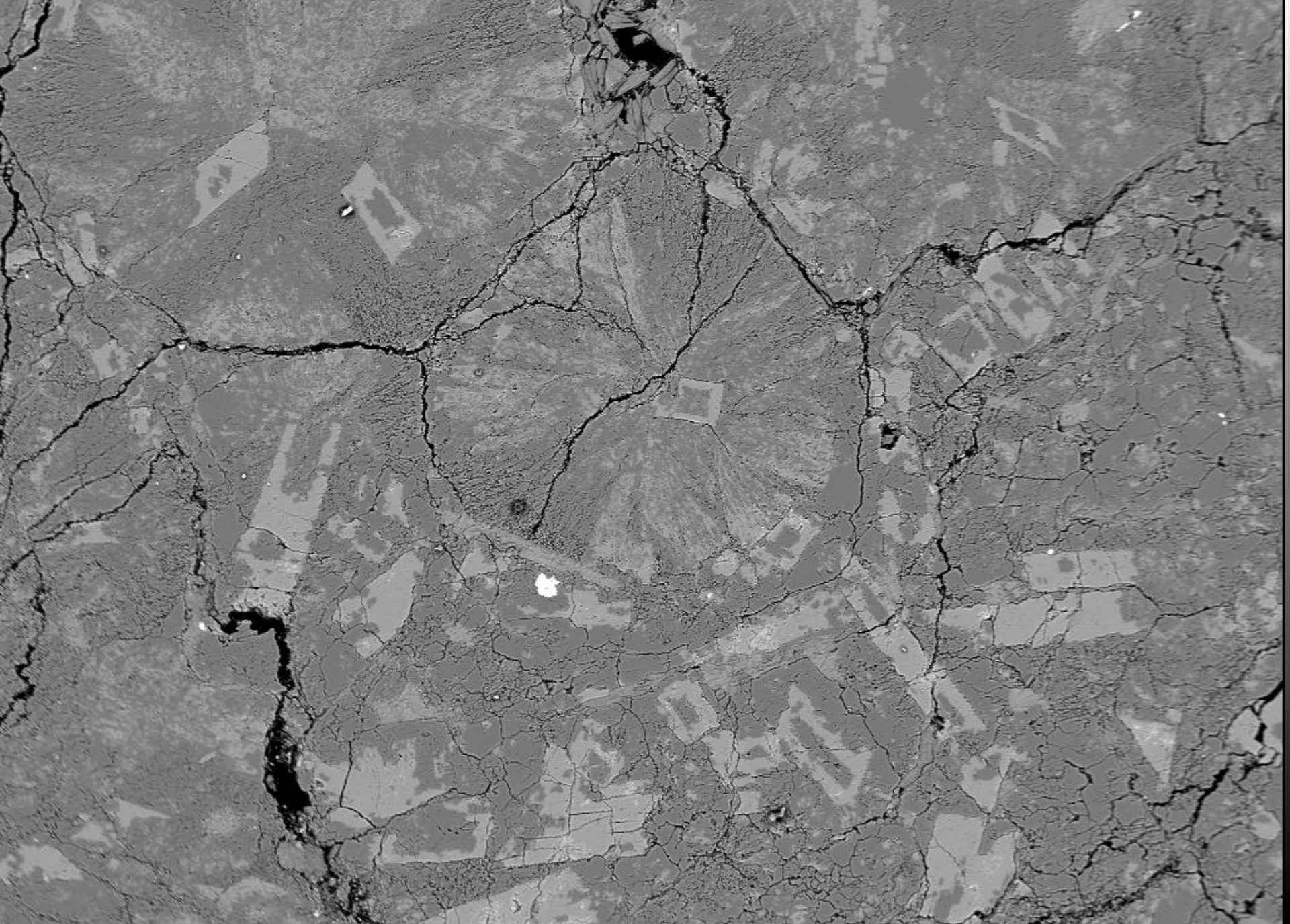


Ryolit, brněnský masiv



Krystalizace plagioklasu z podchlazené taveniny (Lofgren, 1980)

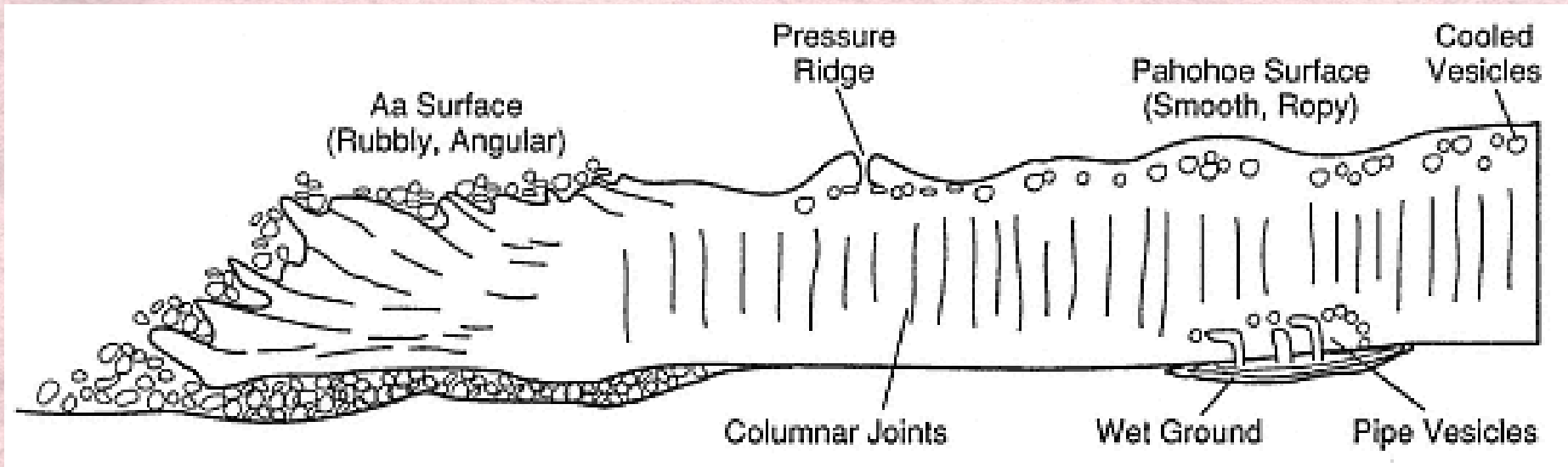




500.  $\mu\text{m}$  BSE 15. kV

## 2) Bazické a intermediální lávové proudy

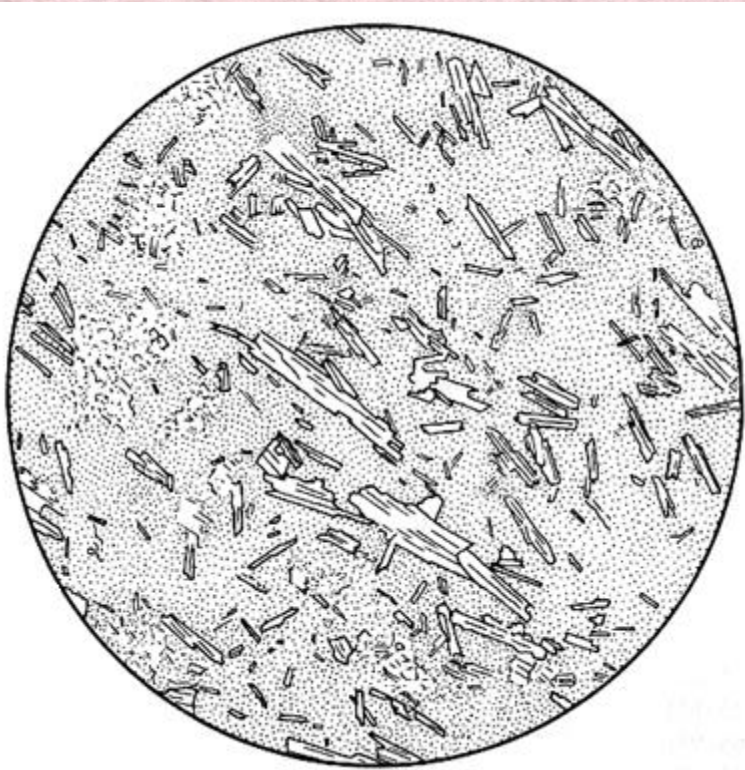
- Mocnost bazaltového lávového proudu 2-30 m
- Délka bazaltového lávového proudu 1-90 km



- průřez lávovým proudem ukazující základní strukturní prvky na povrchu i uvnitř proudu:
  - 1) struktury na povrchu lávového proudu (láva Aa, Pahoehoe, tlakové hřebety)
  - 2) struktury uvnitř proudu (dutiny, odlučnost)
  - 3) struktury na bázi proudu



- Bazalt a bazaltický andezit (čedič) jsou nejhojnějšími výlevnými magmatickými horninami na povrchu Země a Měsíce



Bazalt (čedič) se sklovitou základní hmotou tmavohnědé barvy, uzavírající lištovité až jehličkovité krystaly živce. a - augit, o - olivín, n - nefelín, m - magnetit.

- šedočerná hornina složená z Ca plagioklasů a Ca pyroxenů a z necelých 20 % ostatních minerálů (hlavně olivín, pyroxen chudý vápníkem a Fe-Ti oxidy)
- některé čediče obsahují vulkanické sklo, jiné malé množství foidů (nefelín, analcim) nebo i křemene
- časté jsou vyrostlice (porfyrická struktura),
- nezřídka lze pozorovat pórovitou (vezikulární) strukturu s póry i většími dutinami po uzavřených plynech; dutinky jsou často vyplněny zeolity, kalcitem nebo křemenem (mandlovcová struktura).
- bazaltové proudy vytékají z puklin, někdy i ze sopouchů štítových sopek a mohou pokrývat obrovská území (např. Dekkan v Indii)
- opakované výlevy někdy tvoří mocné komplexy (3 000 m ve východoafrickém riftu v Etiopii)

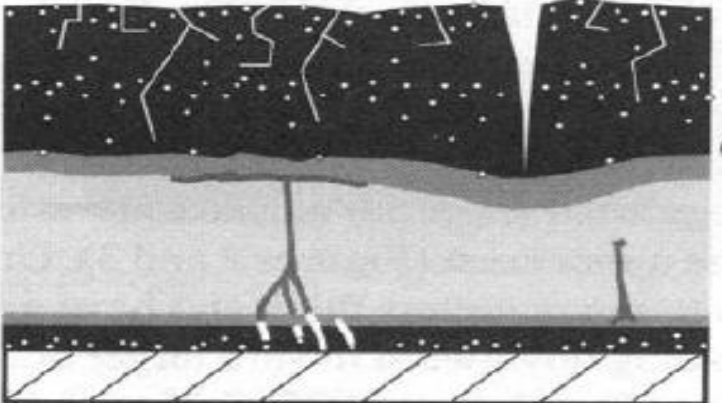
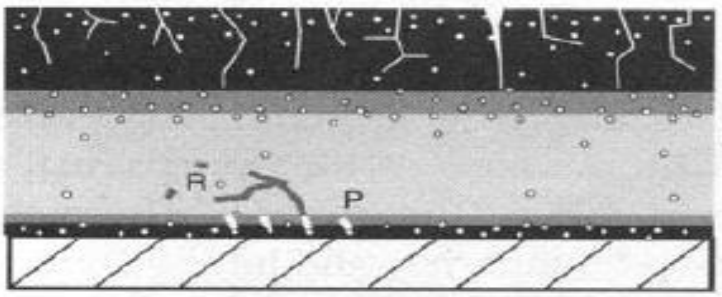
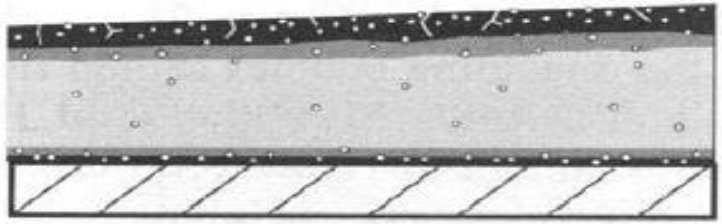
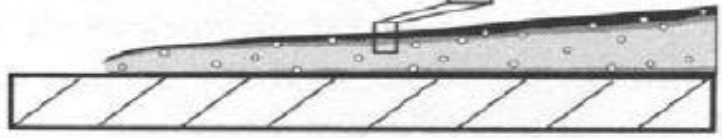


Lišty plagioklasu usměrněné tokem lávy (Mongolsko)

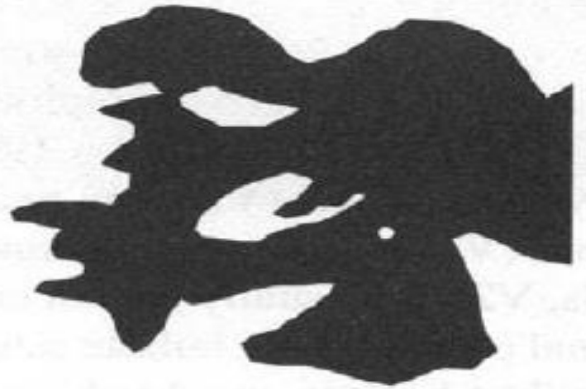
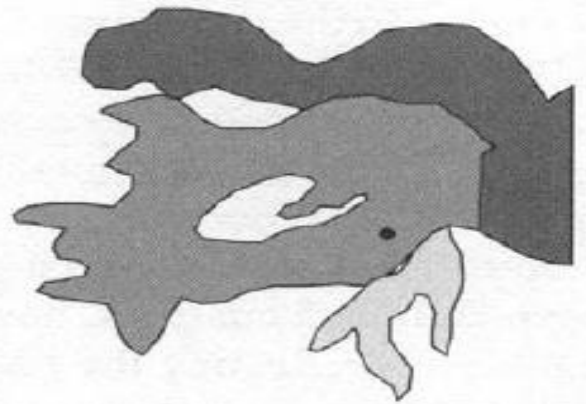
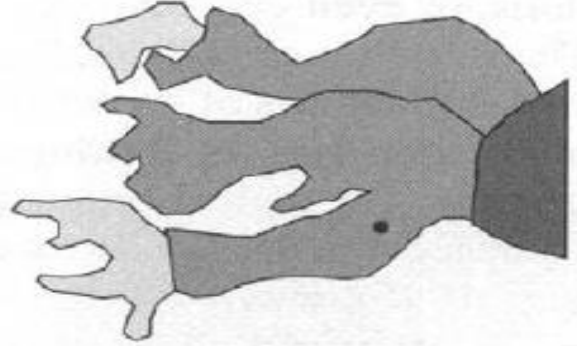
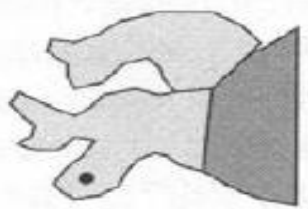
CROSS SECTIONS

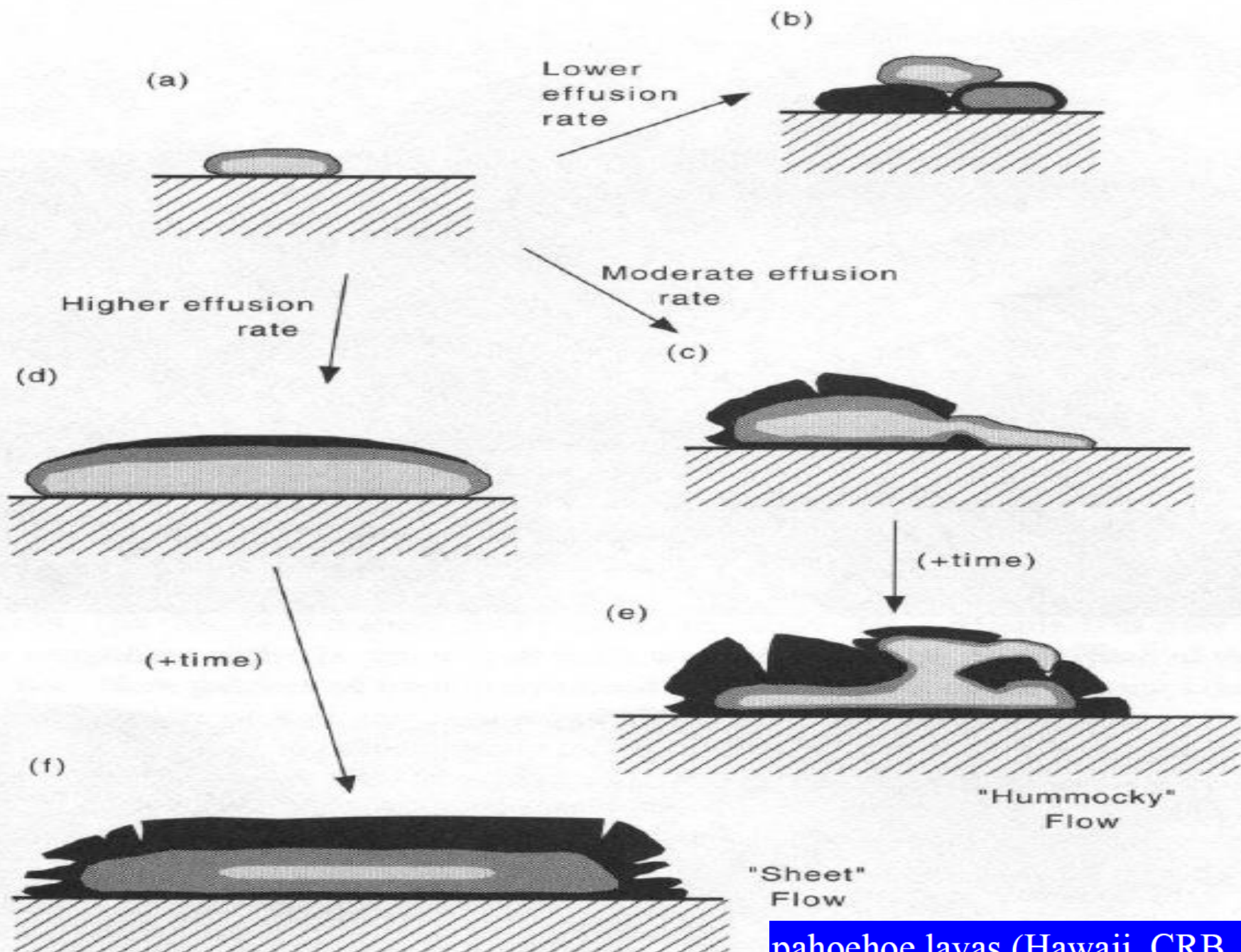
800 °C  
1070 °C

Brittle Crust  
Visco-elastic Crust  
Liquid Lava



MAP VIEWS





pahoehoe lavas (Hawaii, CRB, etc)





# Masaya

- Stratovulkán
- Výška 635 m (Latitude: 11.984°N Longitude: 86.161°W)



# Pacaya (Guatemala)





Bazaltický andezit , pláž Transito, Nikaragua



Bazanit, Těš, Doupovské hory





Bazanit, Těš, Doupovské hory

## 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/>