

# Vulkanizmus a jeho následky

**III b.**

**III. Produkty vulkanické aktivity**

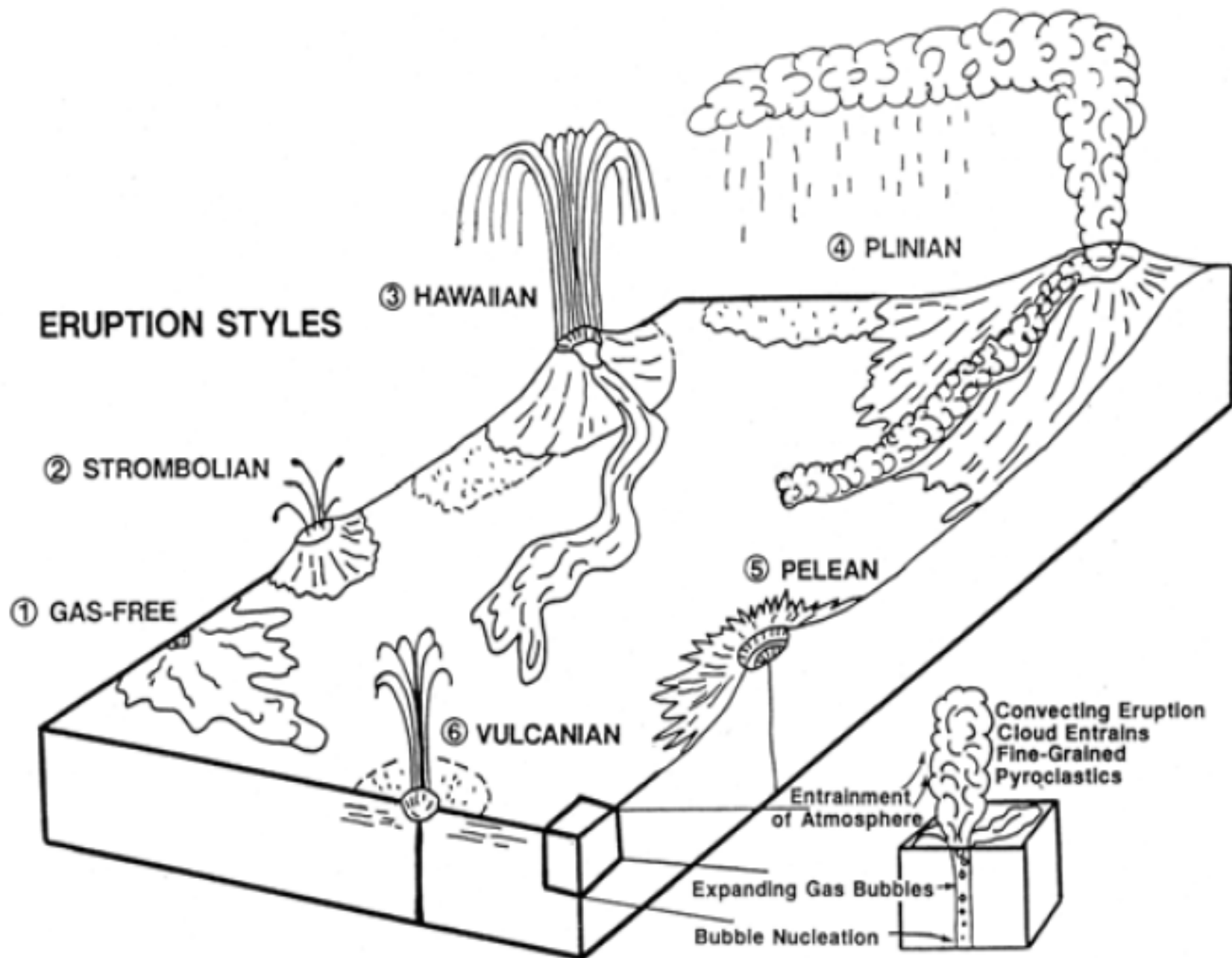
**David Buriánek**

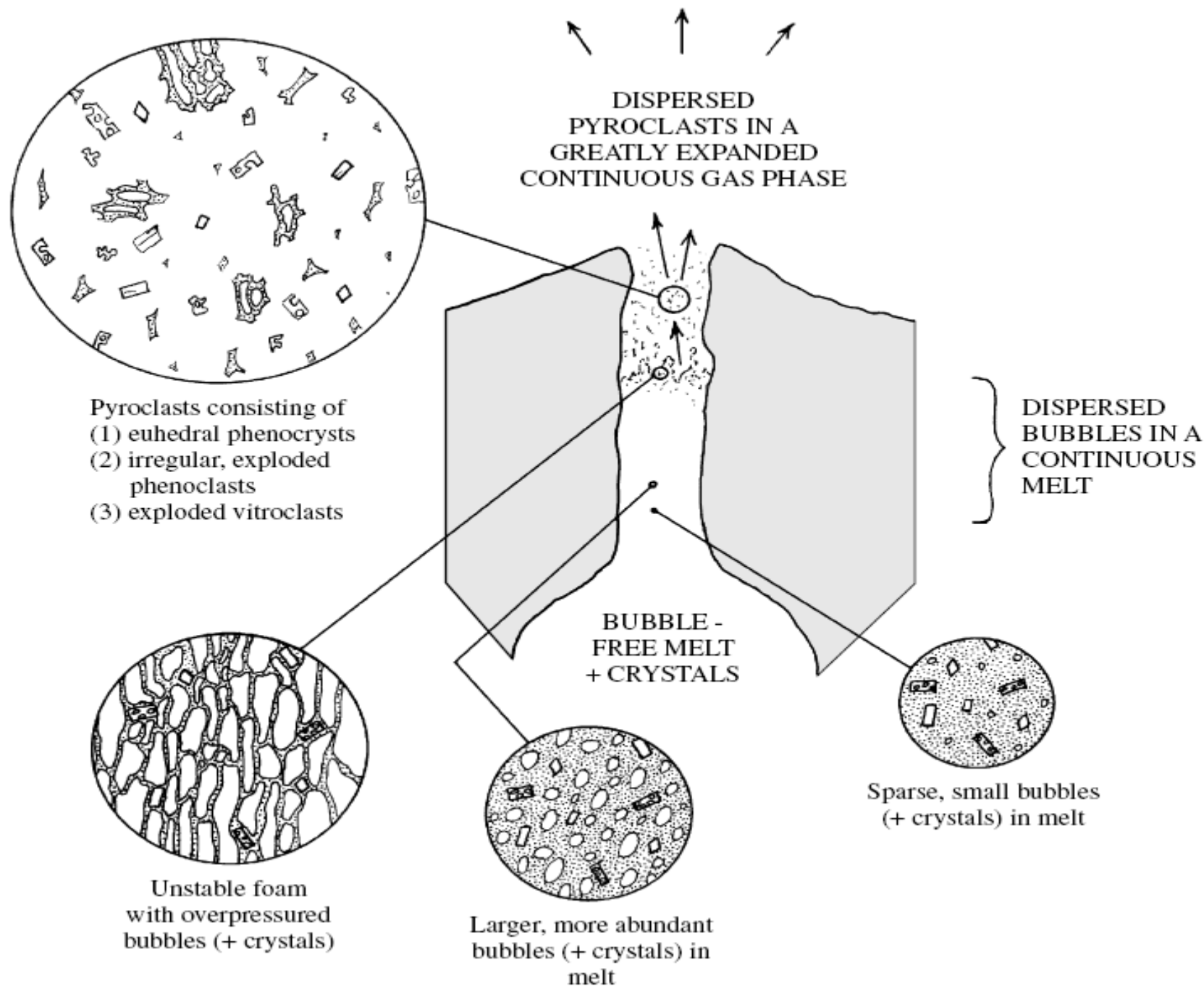
# B. Produkty sopečných explozí



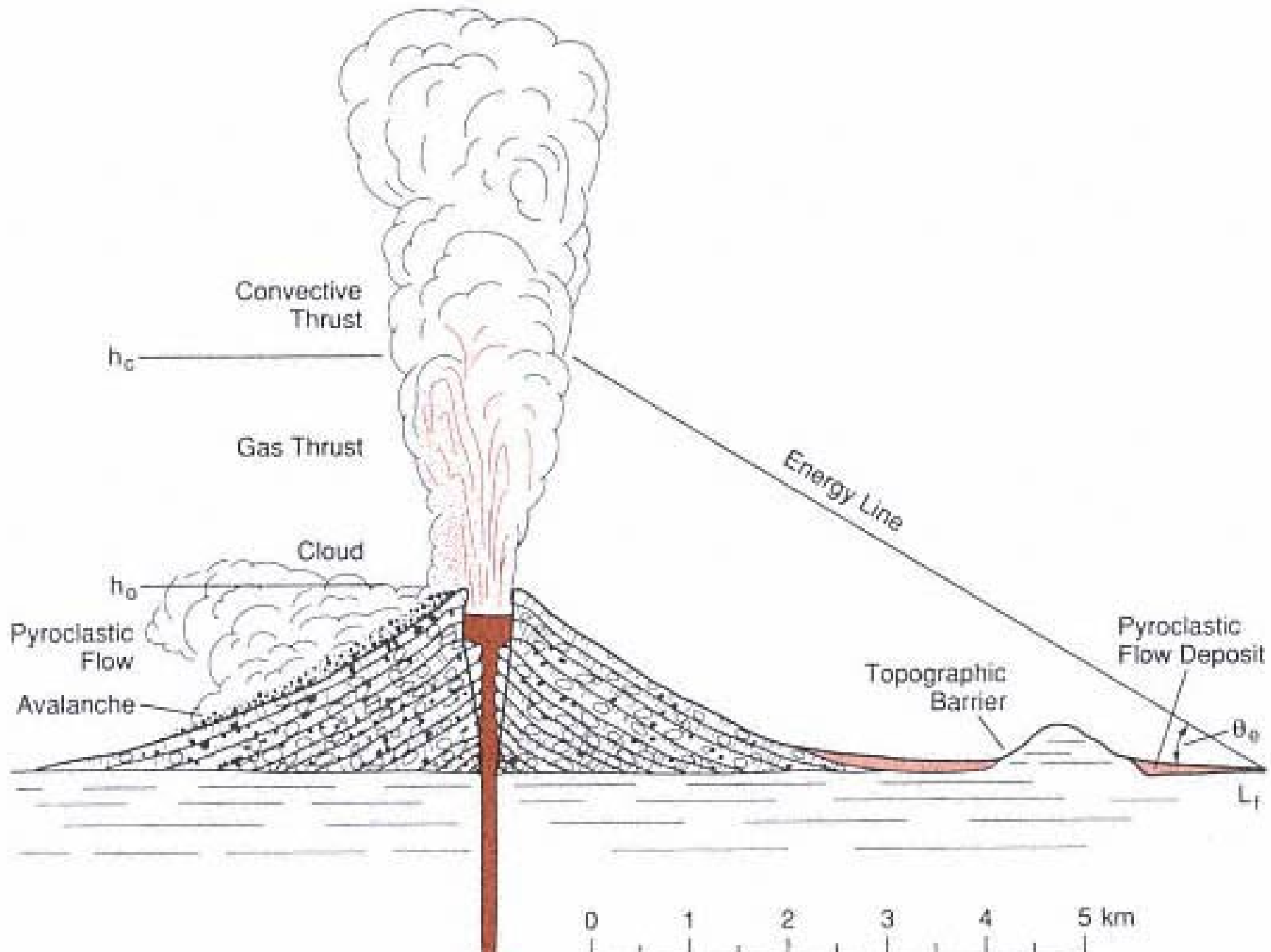
Malý pyroklastický proud na Etně, Sicílie, 25.10.1999. Photo: R. Carniel



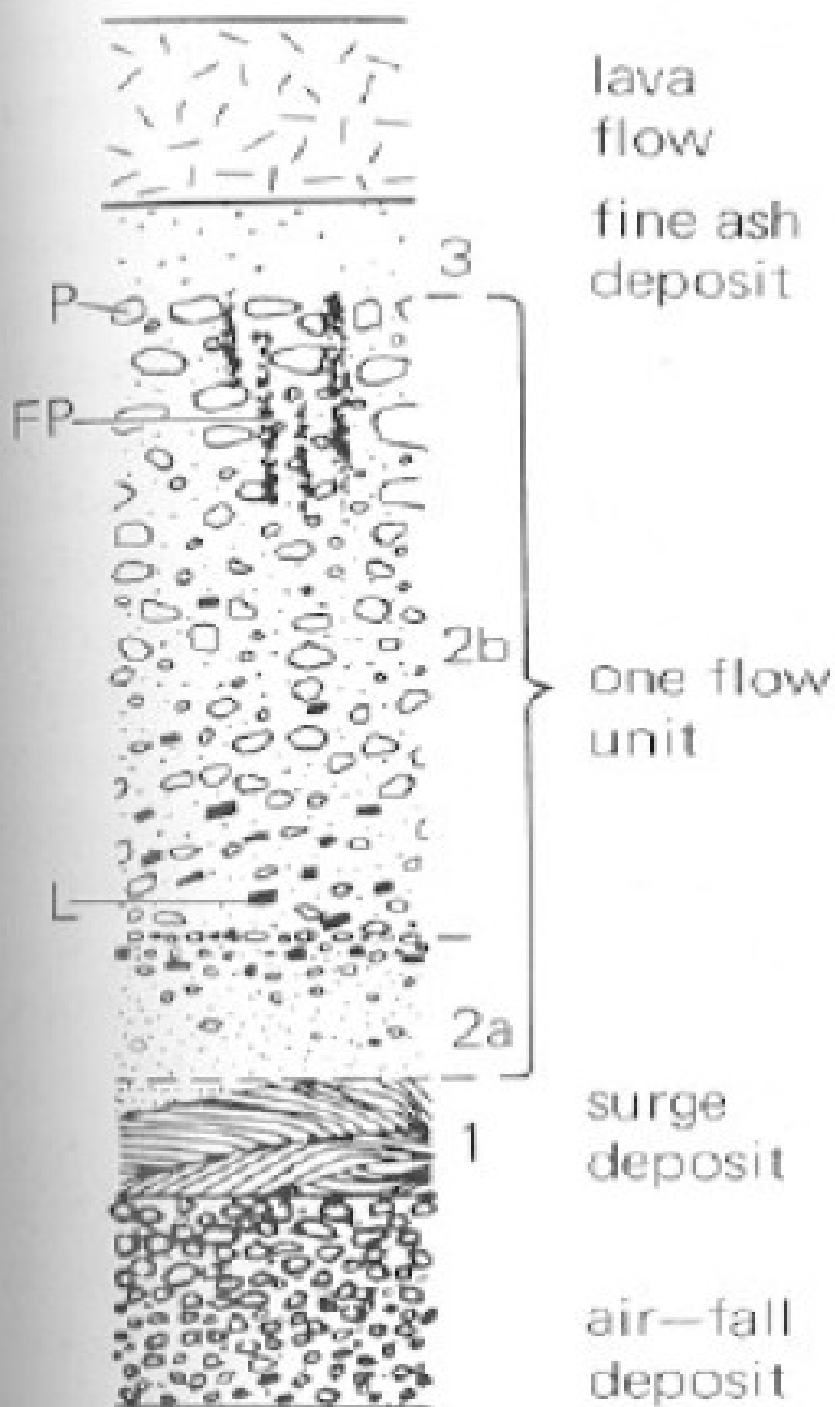








## Stratovulkány



- Schematický diagram pyroklastické eruptivní periody
- Pyroklastické napadávky s inverzní gradací jsou v podloží
- 1) surge
- 2a) bazální vrstva pyroklastického proudu s inverzní gradací
- 2b) hlavní část proudu má normální gradaci litických fragmentů a opačnou gradaci pemzových úlomků, litické fragmenty (L) jsou koncentrovány na bázi a pemza je koncentrována v horní části proudu (P), v horní části jsou také fumarolové přívodní kanály (Fumarolic pipes = FP) v horní části
- 3) vrstva popelové napadávky a poté následuje lávový výlev



# Masaya (Nikaragua)

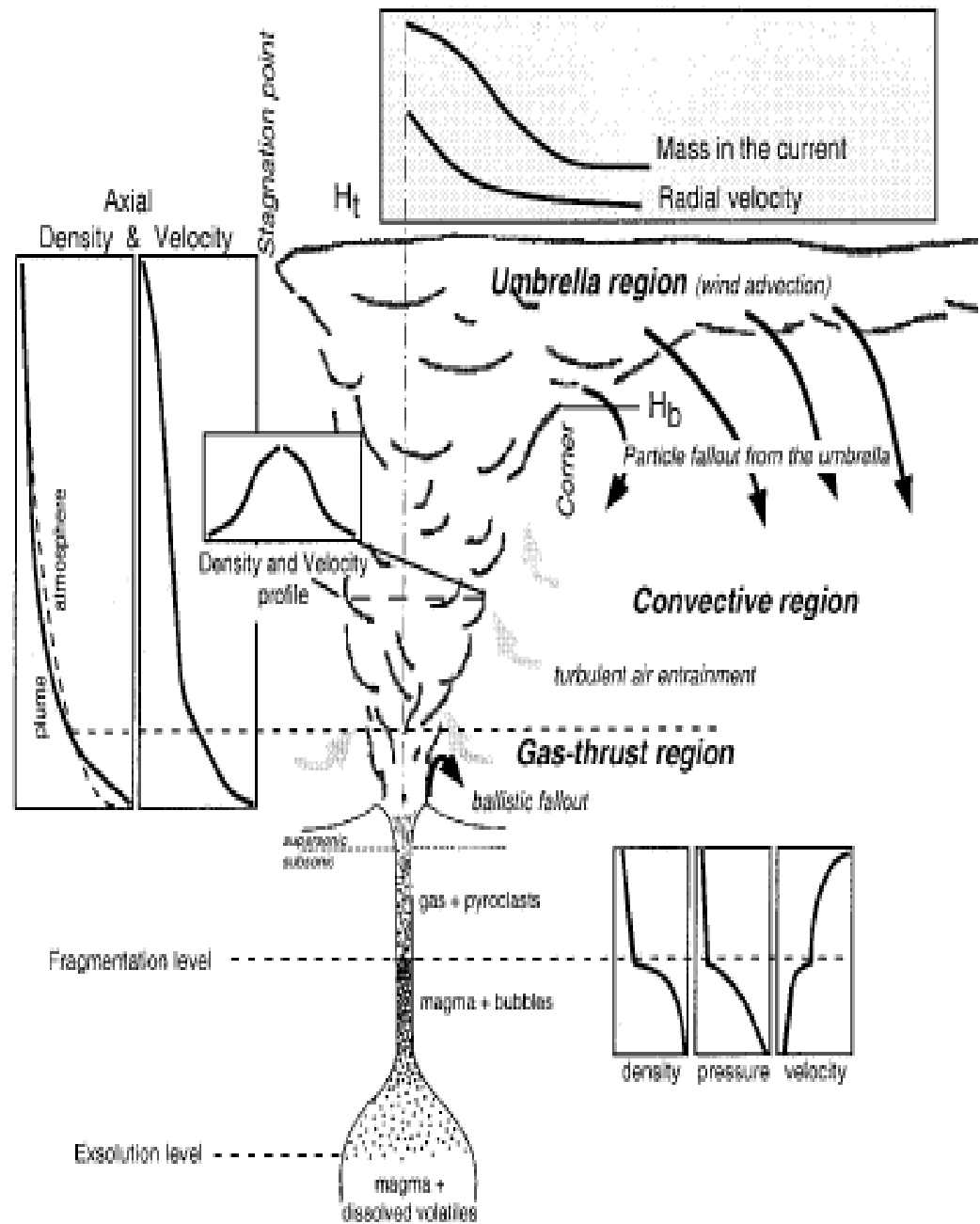
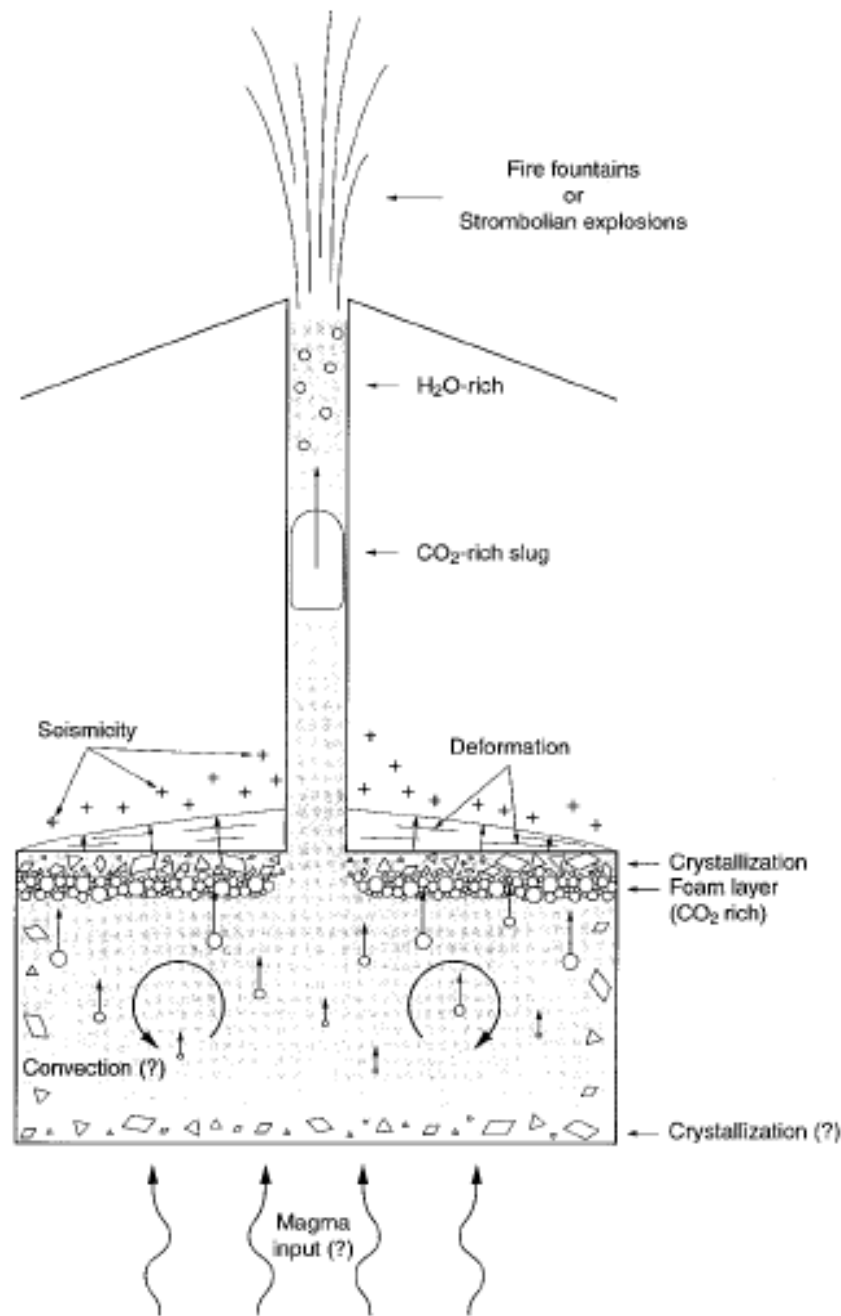




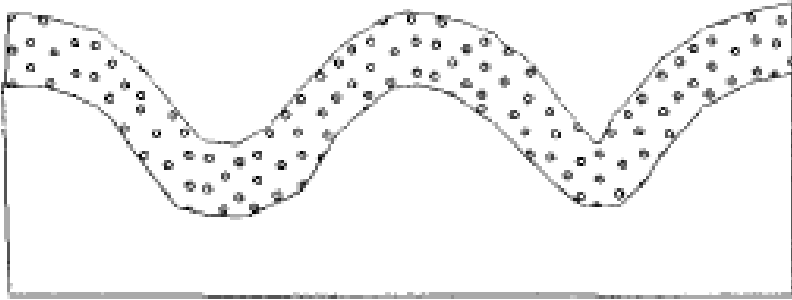
# Vulkano (Italie)



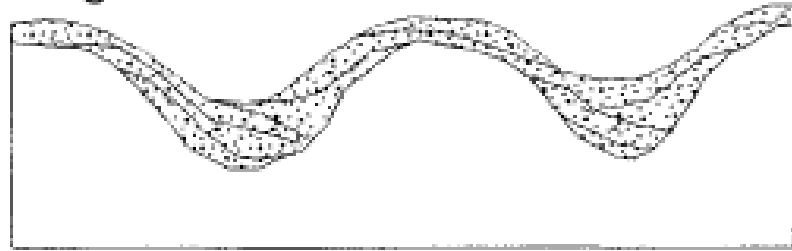




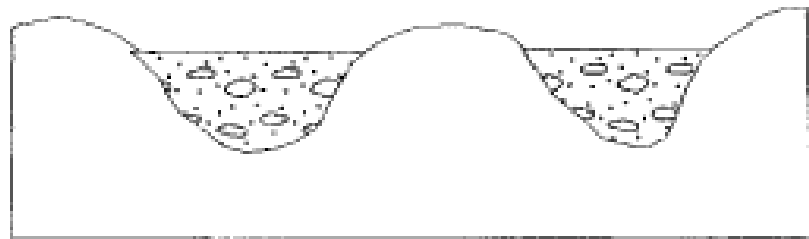
fall



surge



flow



## Schematický diagram hlavních typů pyroklastických uloženin

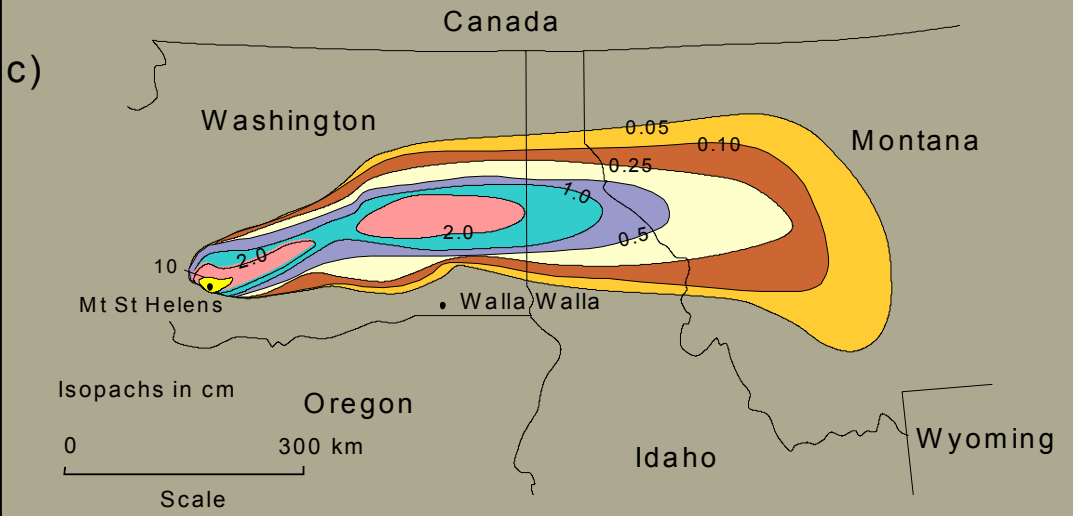
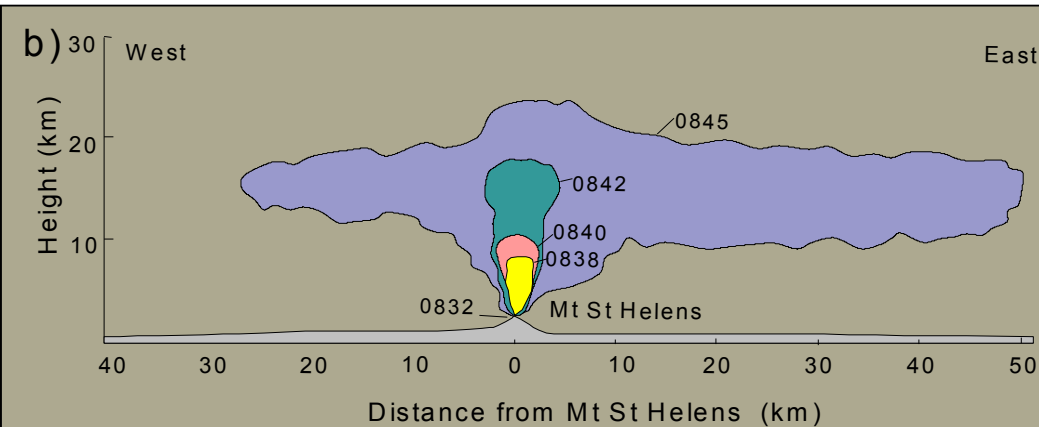
- 1) Fall (napadávky – spad): vzájemně paralelní vrstvy pyroklastik bez známek vnitřní eroze a dobře vytríděné, vrstvy kopírují terén
- 2) Surge (ignimbrity): vrstvy nekopírují terén, vrstvy nejsou průběžné a mění se jejich mocnost, křížové zvrstvení, erozivní kontakty, nepříliš dobře vytríděné
- 3) Flow (lahary): vyplňují terénní nerovnosti, většinou špatně zvrstvené nebo nezvrstvené, nevytríděné 3) vrstva popelové napadávky a poté následuje lávový výlev

# 1) Tefra

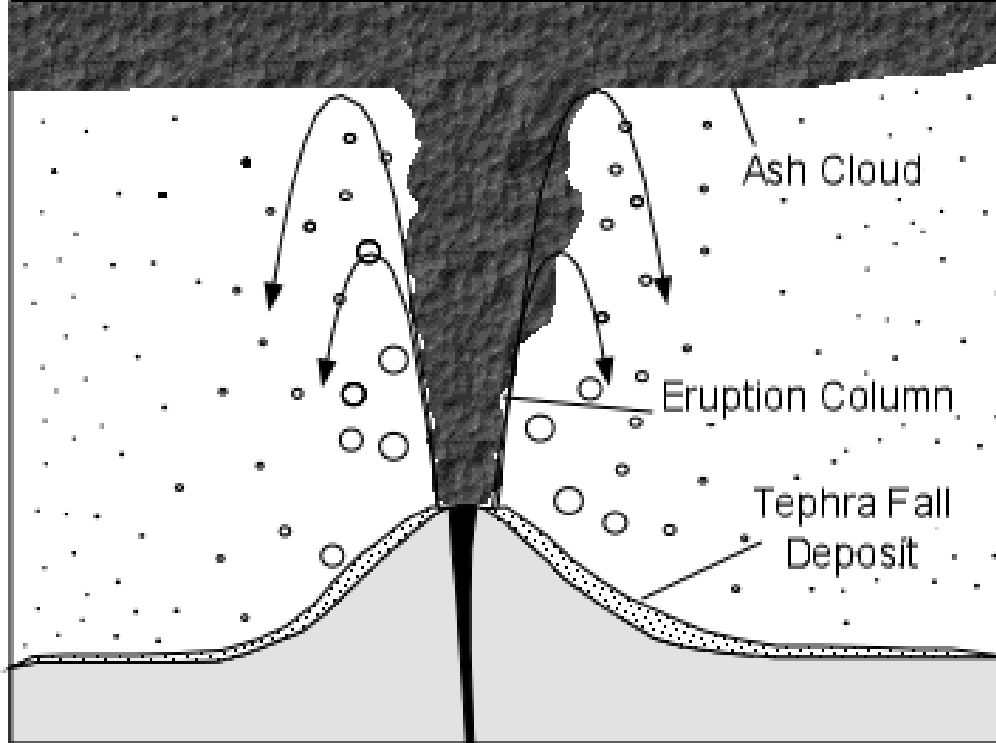
- **autigenní:** juvenilní-z nového magmatu,
- **resurgentní:** ze starých sopečných uloženin
- **allotigenní:** cizí (nesopečný) materiál z okolí sopky nebo z jejího podloží



Ash cloud and deposits of the 1980 eruption of Mt. St. Helens. **a.** Photo of Mt. St. Helens vertical ash column, May 18, 1980 (courtesy USGS). **b.** Vertical section of the ash cloud showing temporal development during first 13 minutes. **c.** Map view of the ash deposit. Thickness is in cm. After Sarna-Wojcicki *et al.* (1981) in *The 1980 Eruptions of Mount St. Helens, Washington. USGS Prof. Pap., 1250, 557-600.*



- vulkanické bomby a bloky doletí na vzdálenost několika km
- lapily desítky až stovky km
- popel statisíce km
- v okolí vulkánu může vzniknout vrstva tefry o mocnosti až několik stovek m



## Erupční oblak (*Eruption cloud*)

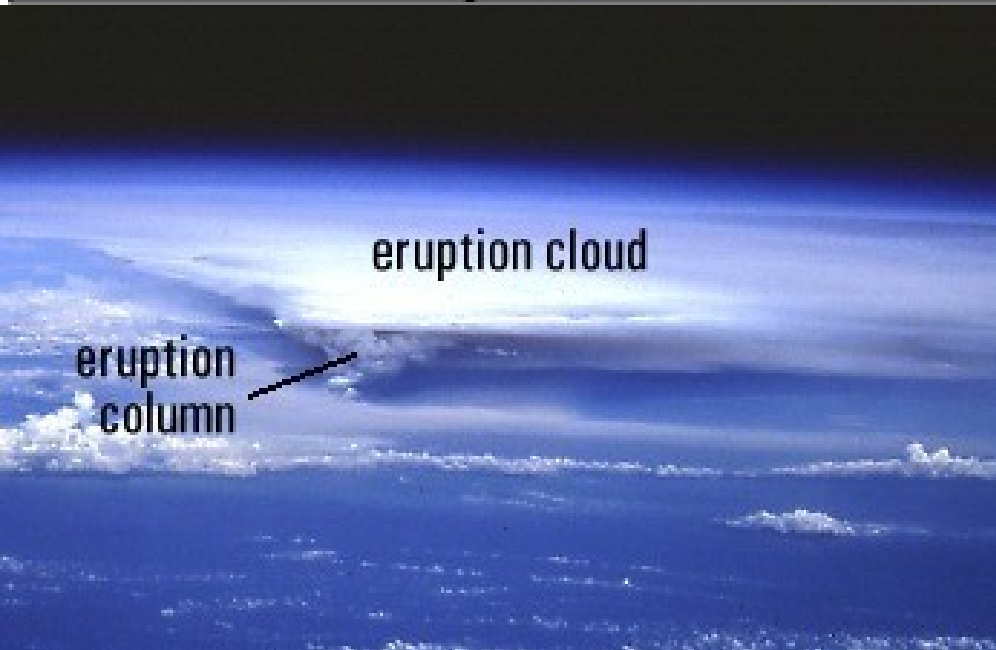
- je oblak tvořený popelem a plyny ve směru větru od erupce (může mít světlou i tmavou barvu)
- může dosáhnout až tisíce kilometrů od vulkánu
- někdy dokonce popel ze sopky oběhne celou Zemi

## Erupční sloupec (*eruption column*)

- je vertikální sloup tefry a plynů stoupající z ústí vulkánu

## Napadávky tefry (*tephra fall deposit*)

- tefra padající z pyroklastického sloupce vytváří gradačně zvrstvený komplex



Photographs taken by Space Shuttle astronauts about 24 hours after the start of the eruption of Rabaul Caldera. The eruption column rose to at least 18 km above sea level where the volcanic ash and gas were blown west to form a fan-shaped eruption cloud.

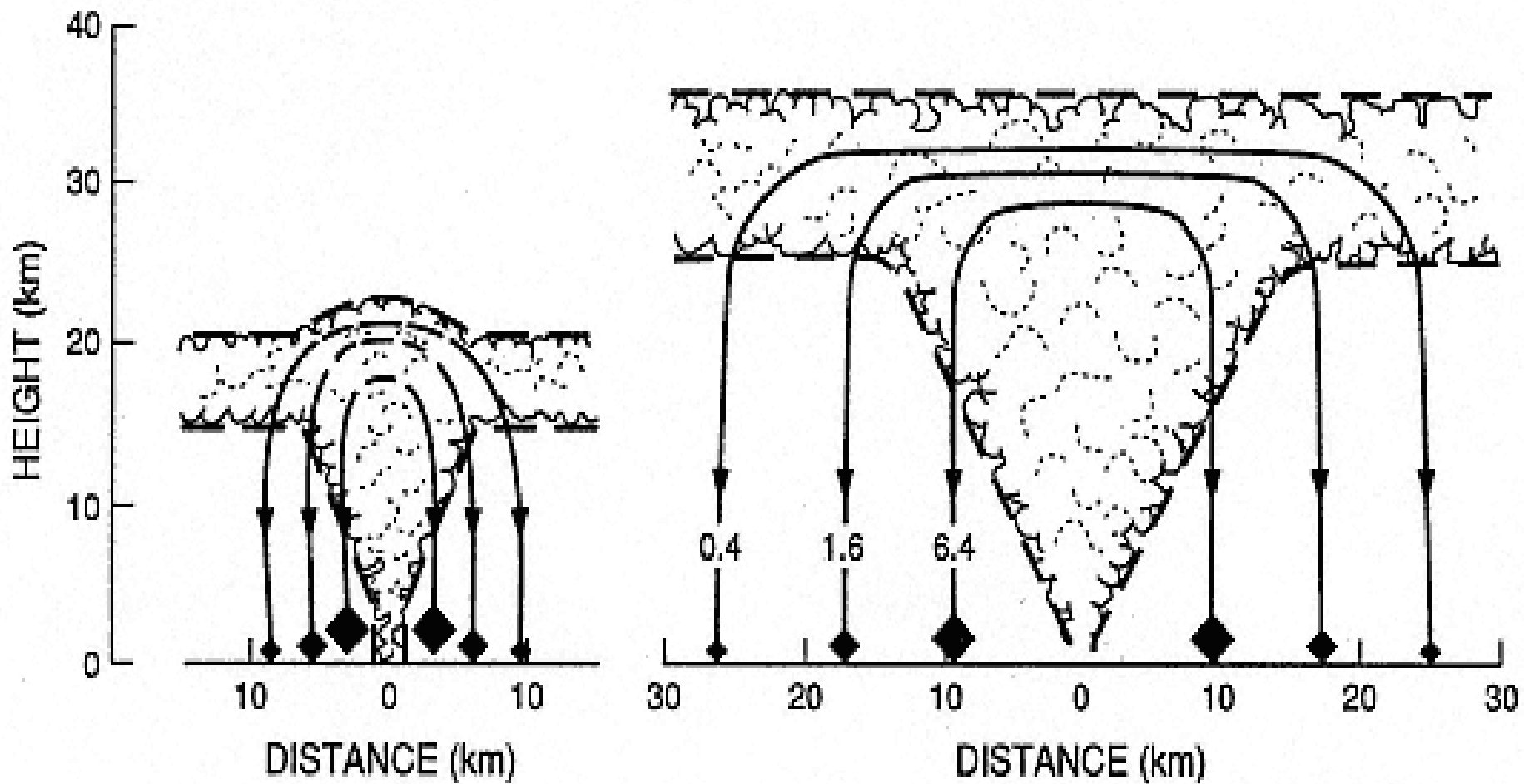
Photographs provided by NASA, STS064-116-064 September 20, 1994





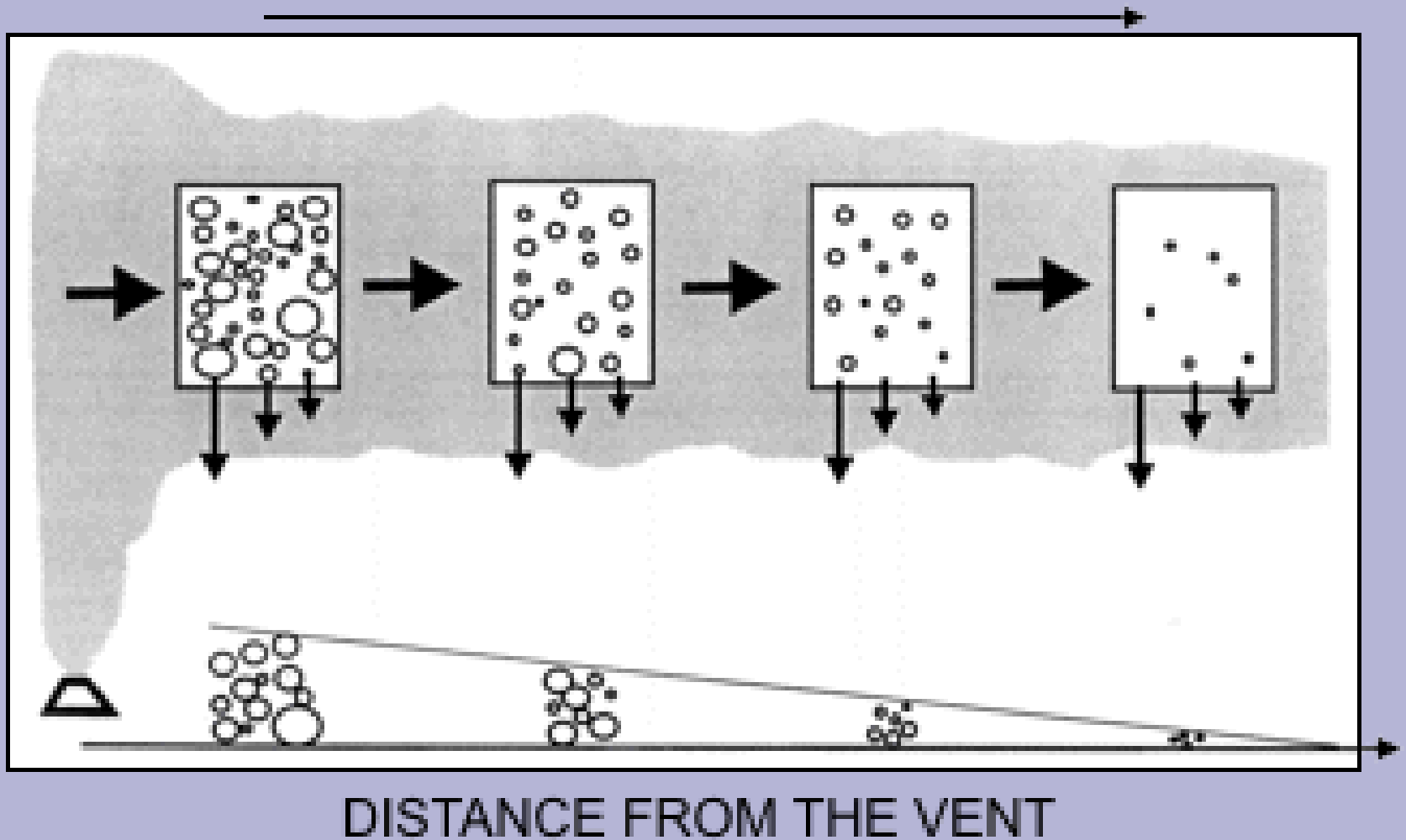
**polohy tefry na svahu sopky Vulkano (Italie)**





- trajektorie klastů které vypadají z pyroklastického oblaku při pliniovské erupci (Carey and Sparks, 1986.)
- velikost klastů je uvedena v cm
- příklady pro oblak 35-km vysoký 21-km vysoký

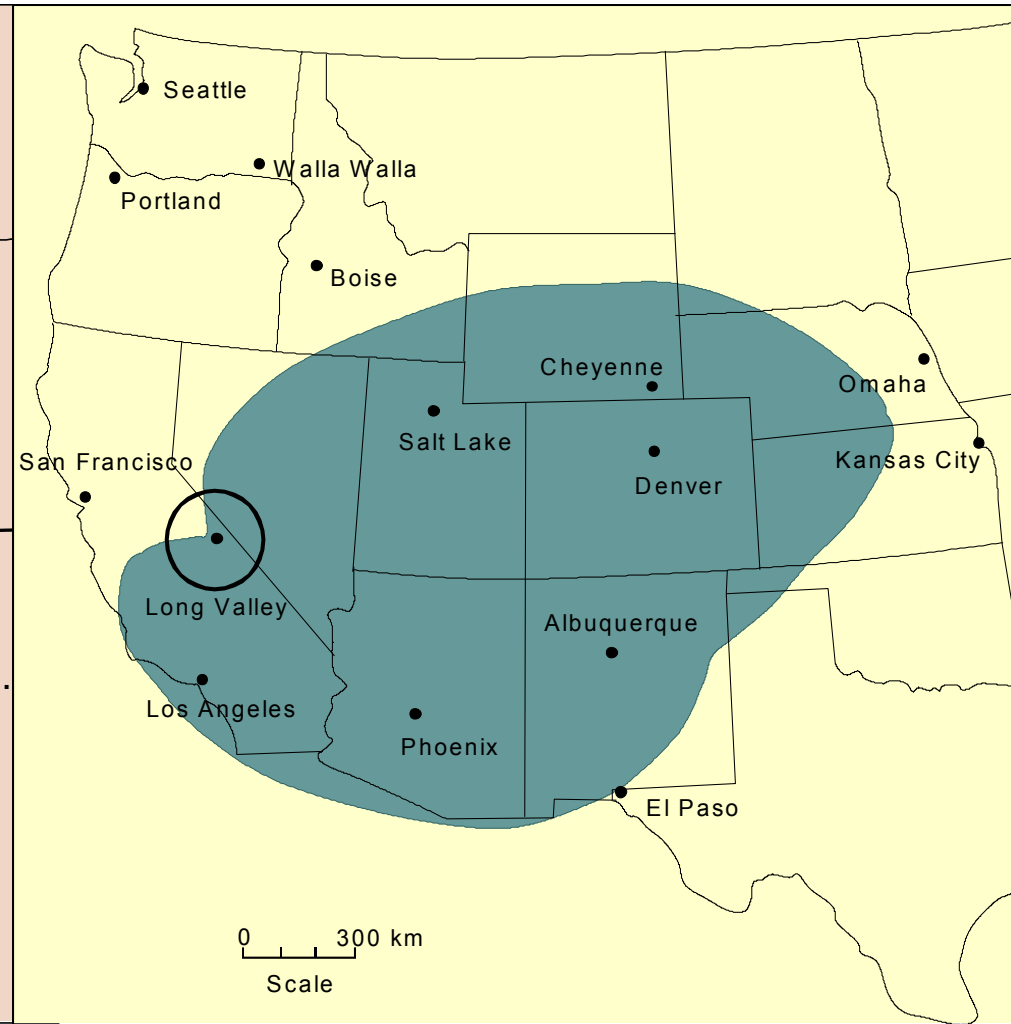
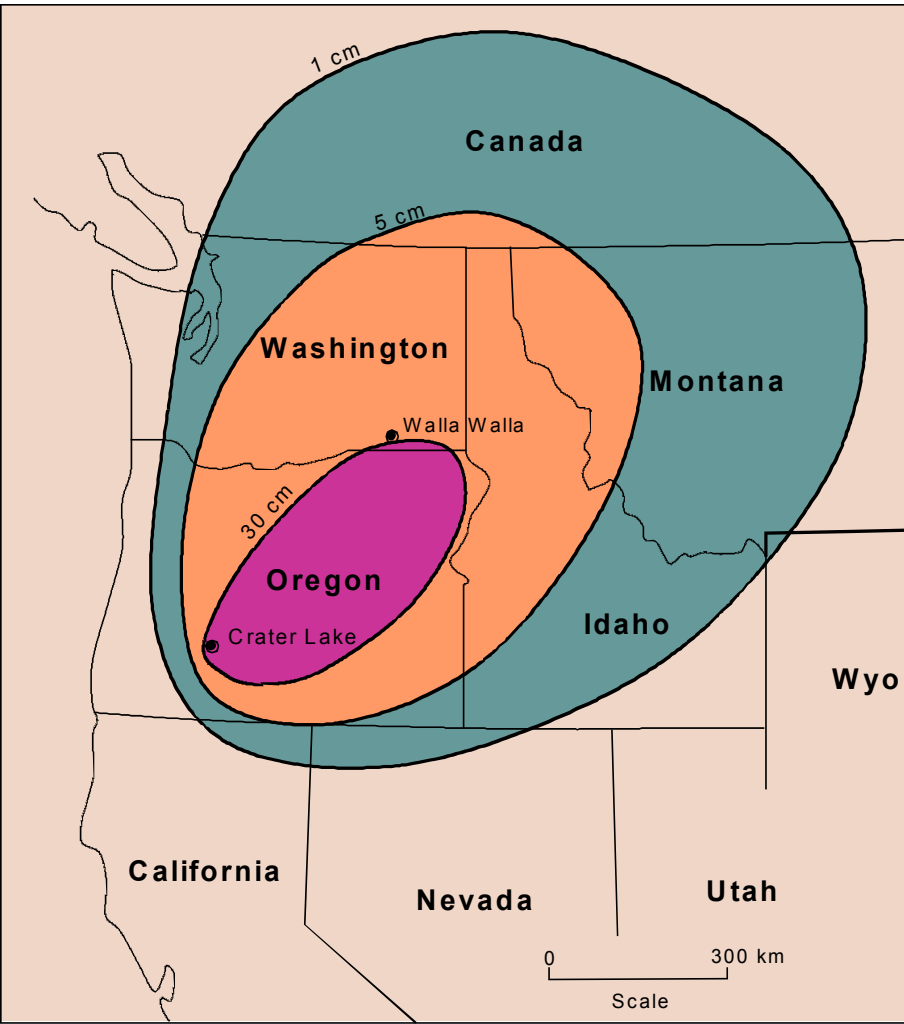
A SPECIFIC VOLUME OF THE CLOUD  
IS CONVEYED Laterally



Johnston, 1997

# Napadávky vulkanického popela (*Air fall tuff*)

- Jemnozrnňý popelový materiál z erupčního oblaku



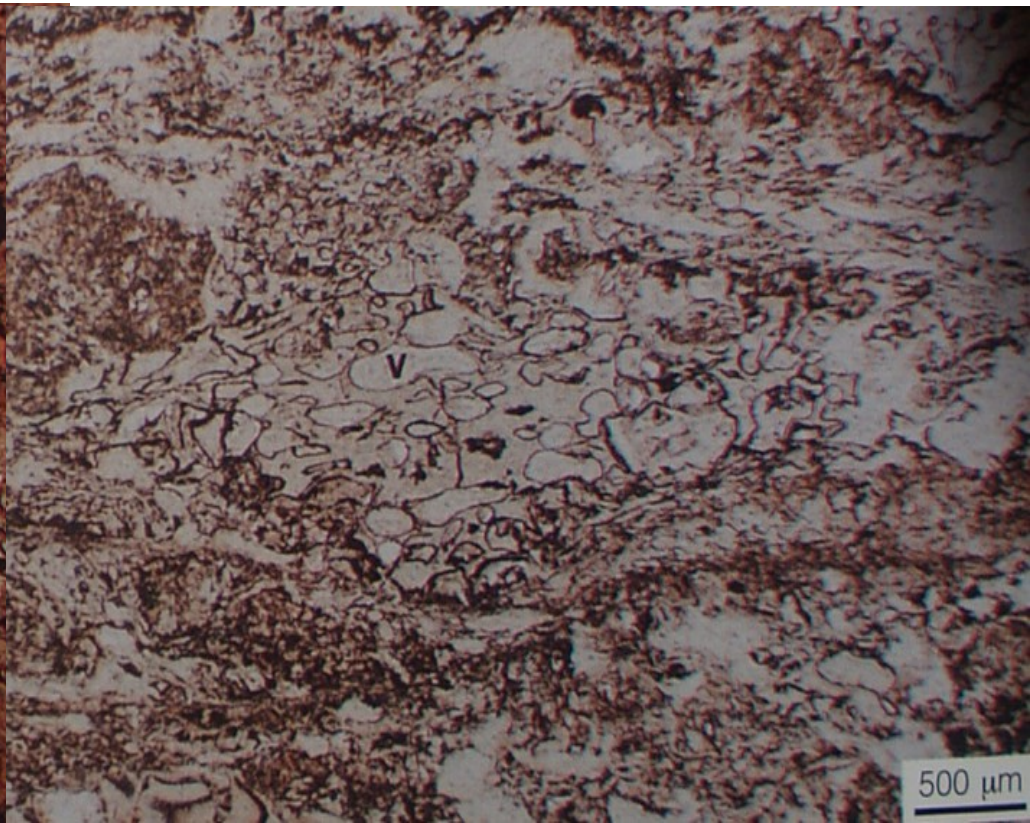
Approximate aerial extent and thickness of Mt. Mazama (Crater Lake) ash fall, erupted 6950 years ago. After Young (1990), Unpubl. Ph. D. thesis, University of Lancaster. UK.

Maximum aerial extent of the Bishop ash fall deposit erupted at Long Valley 700,000 years ago. After Miller *et al.* (1982) *USGS Open-File Report 82-583*.



- bazaltická struska vzniklá spadem

- dominují zde lapily
- červená barva je způsobená termální oxidací při kontaktu horkých lapil s atmosférou
- nepravidelný tvar lapil je výsledkem rozpadu vesikulárního magmatu na kusy
- alterovaná scoria z metamorfovaného basaltického vulkanoklastického pískovce
- obsahuje vejčité dutiny (V) mimo ně jsou nahromaděny drobné opakní minerály
- některé vesikule vyplňuje jemný sericit a albit
- jemnozrná skelná hmota je částečně rekrystalovaná





Pemza - Mađarsko







**Vulkanická puma  
Etna - Sicílie**





**Průřez vulkanickou pumou  
Boaco - Nikaragua**





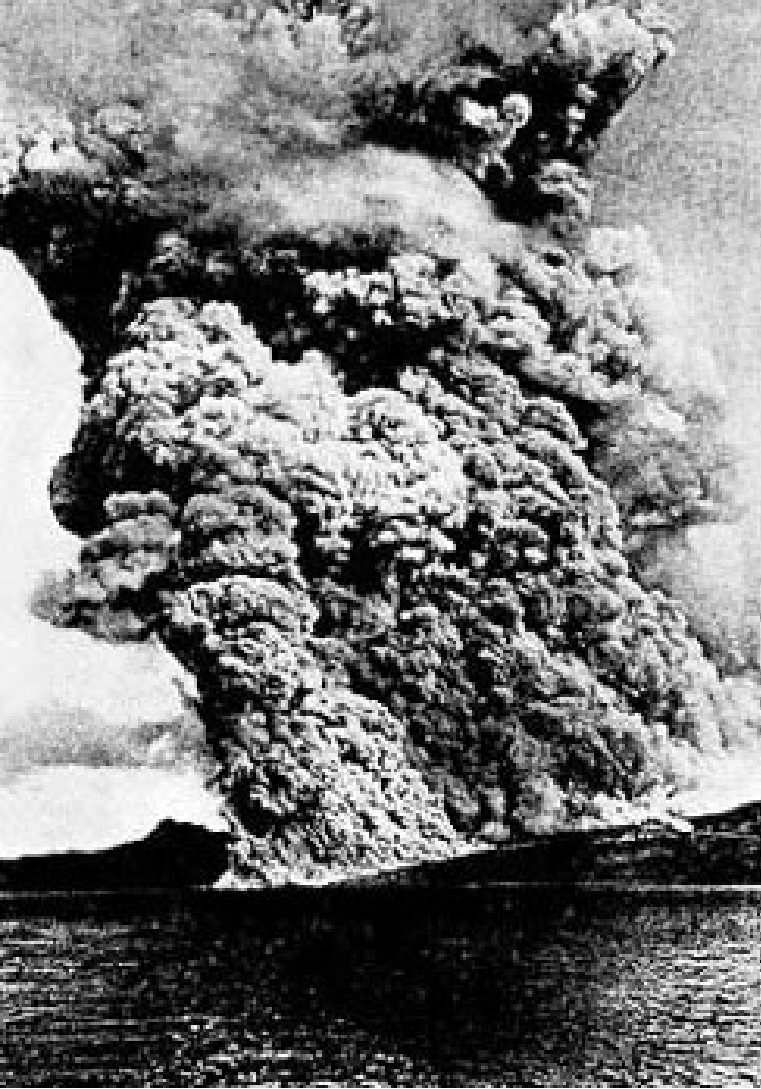
Tufy – Vrbičky (lom) Doupovské hory





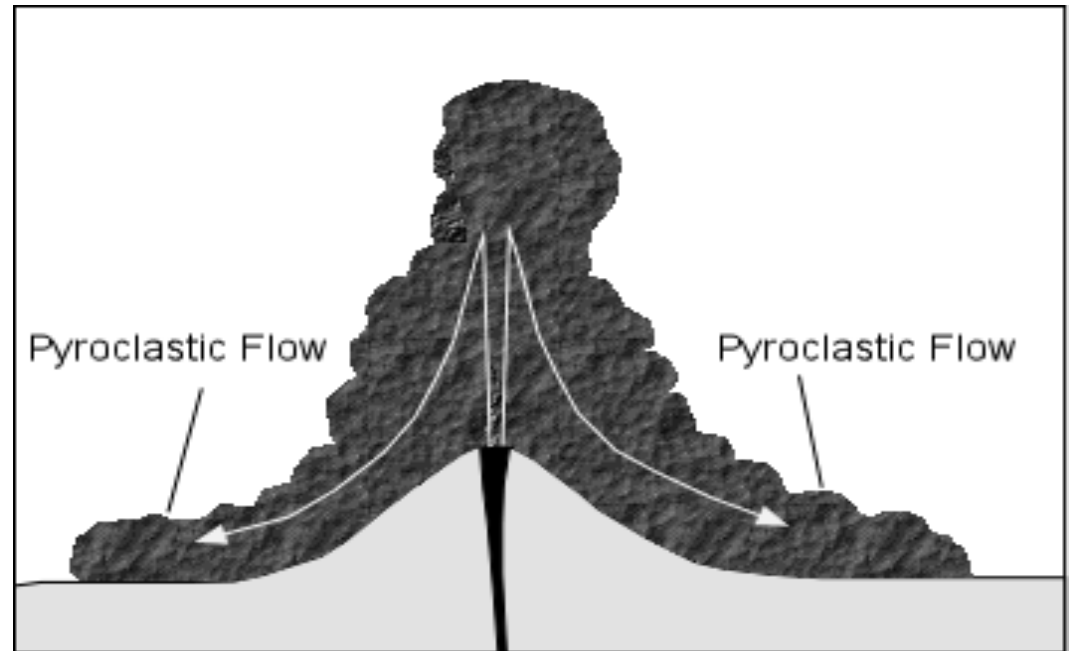
Krystalový a popelový tuf – Vrbičky (lom) Doupovské hory





## 2) Pyroklastické proudy (ignimbrity) (*pyroclastic flow*)

- když pyroklasticky erupční sloupec kolabuje vznikají pyroklastické proudy (*pyroclastic flow*)
- pyroklastický proud je tekutá směs pevných a částečně natavených fragmentů hornin a expandující směs plynů a par
- směs je těžší než vzduch
- tyto proudy se pohybují po úbočí vulkánu velmi rychle (nad 100 km/h)
- bývají velmi horké a obsahují toxické plyny



Pyroclastic flow, Mt. Pelée, Martinique (1902) -- The village of St. Pierre on the island of Martinique was destroyed by a pyroclastic flow similar to the one shown here. This photo was taken a few months after the destruction of St. Pierre. Pyroclastic flows had not been previously described by volcanologists. This type of pyroclastic flow is called a nuée ardente, composed of hot, incandescent solid particles derived from the collapse of a lava dome. Other types of pyroclastic flows, derived from collapse of the eruptive column, are pumice bearing, and their deposits are called ignimbrites. Photo by Lacroix, 1902.



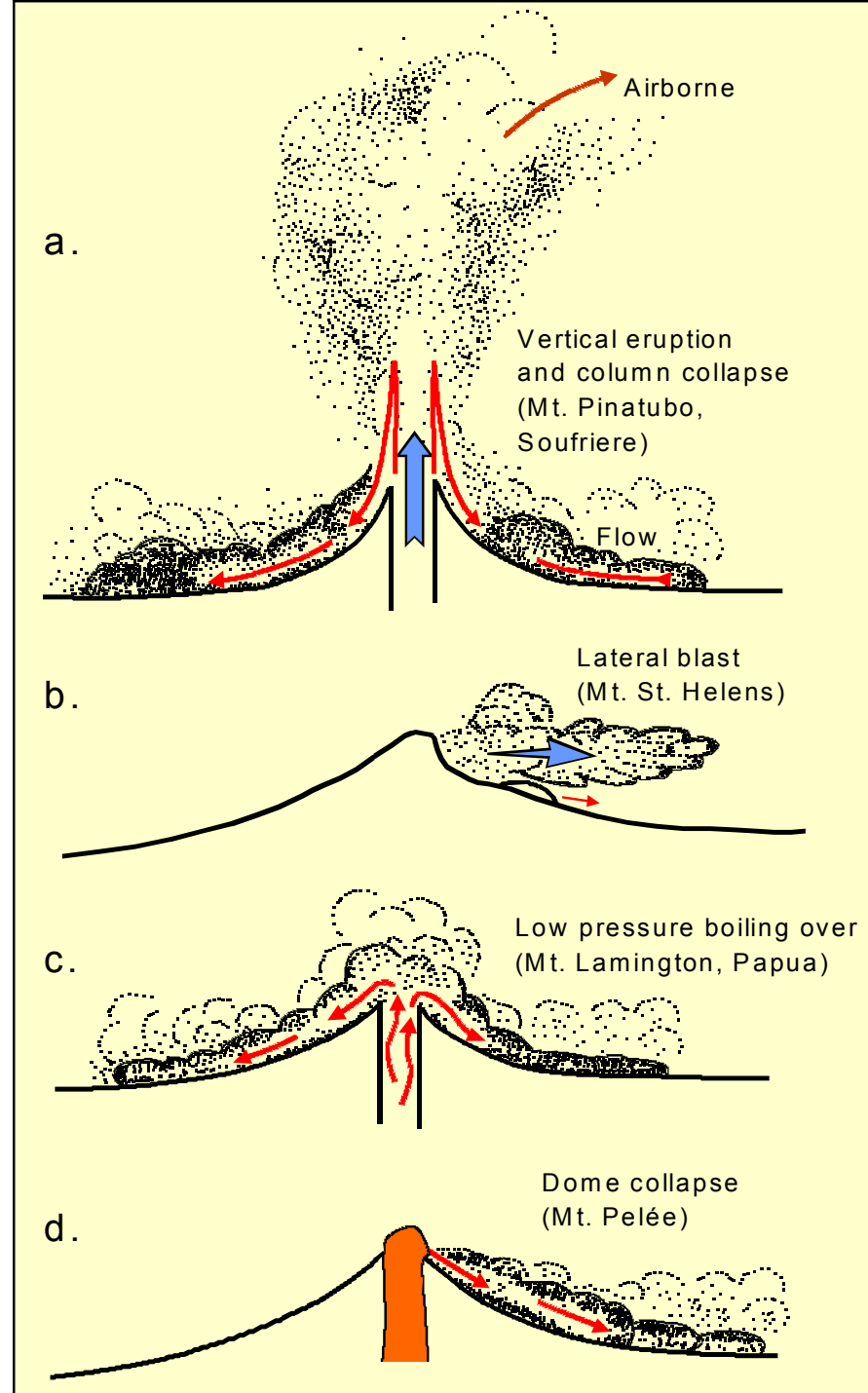


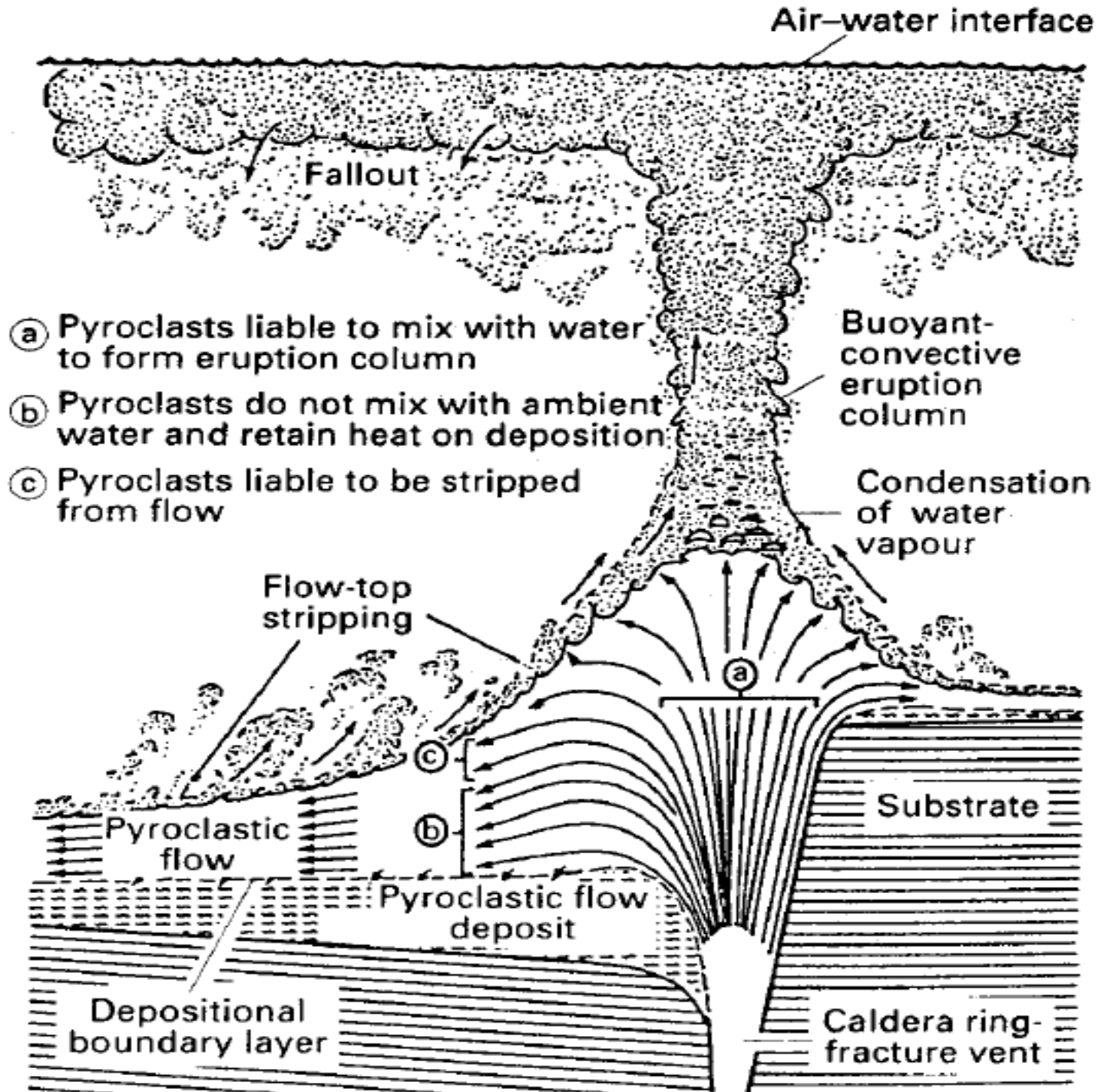
Uložení pyroklastického proudu vyplnilo koryto řeky Marella, Mount Pinatubo, Filipíny; 1991

- mají teplotou od 100 do 800° C
- při vysoké teplotě dojde ke spečení (lahary)
- pyroklastické proudy jsou velmi nebezpečné
- mají obrovskou kinetickou energii, rychlost a daleký dosah většinou kolem 10-15 km (maximálně kolem 100 km od zdroje)
- zničení Pompejí v roce 79 při erupci sopky Vesuv v Itálii nebo exploze sopky Mont Pelée v Karibiku v roce 1902

- Typy pyroklastických proudů (MacDonald, 1972; a Fisher–Schminke, 1984) a příčiny jejich vzniku :

- kolaps explozivního vertikálního sloupce pliniovské erupce, materiál padá znovu na zem a putuje po svahu sopky v podobě horkého mraku
- zničení části sopky při velké explozi - postranní výbuch k jakému došlo na Mt. St. Helens v roce 1980
- „zpěnění“ (“Boiling-over”) magmatu s vysokým obsahem plynů z jícnu
- kolaps sopečného dómu a jeho následný rozpad - gravitační kolaps dómu.





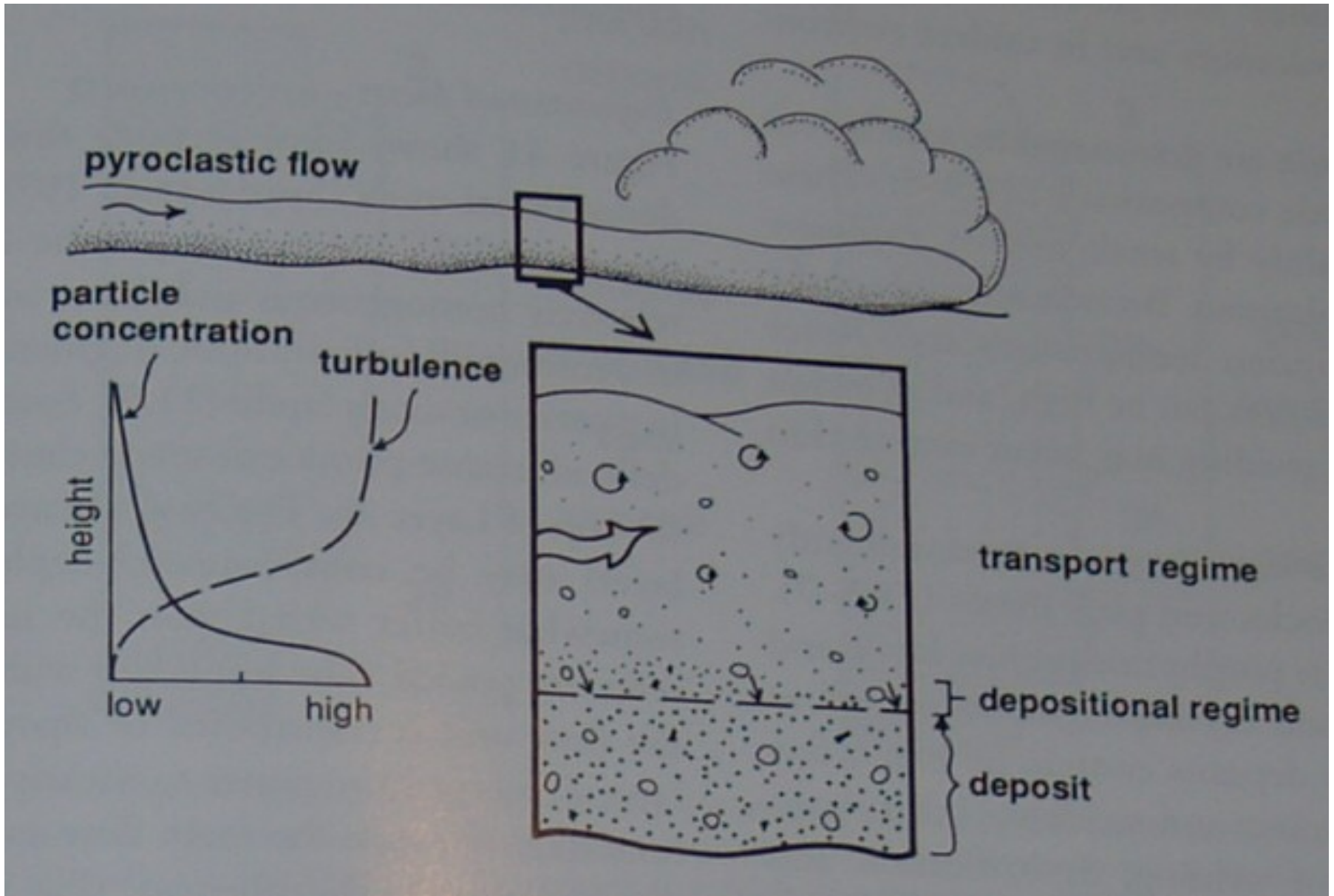




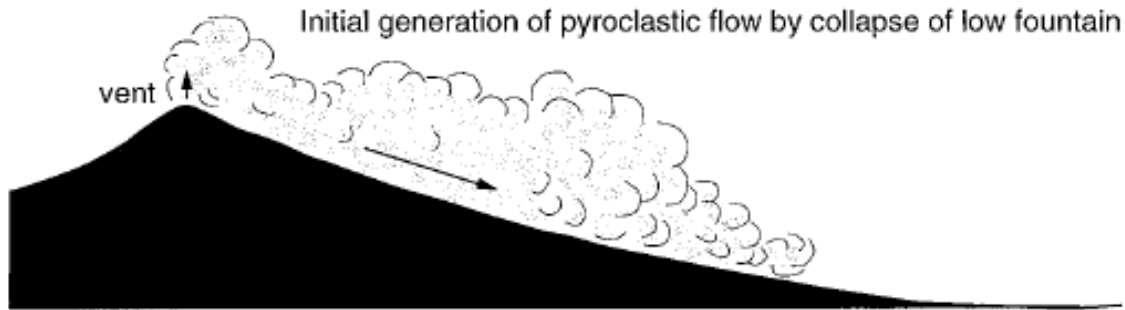
Collapse of lava dome generates pyroclastic flow on Unzen Volcano, Japan, on March 23, 1993

The fall of fresh lava and hot rock debris from a lava dome or thick lava flow can generate scores of pyroclastic flows. The repeated collapse of a growing lava dome atop Unzen Volcano caused thousands of small but dangerous pyroclastic flows between 1991 and 1995.

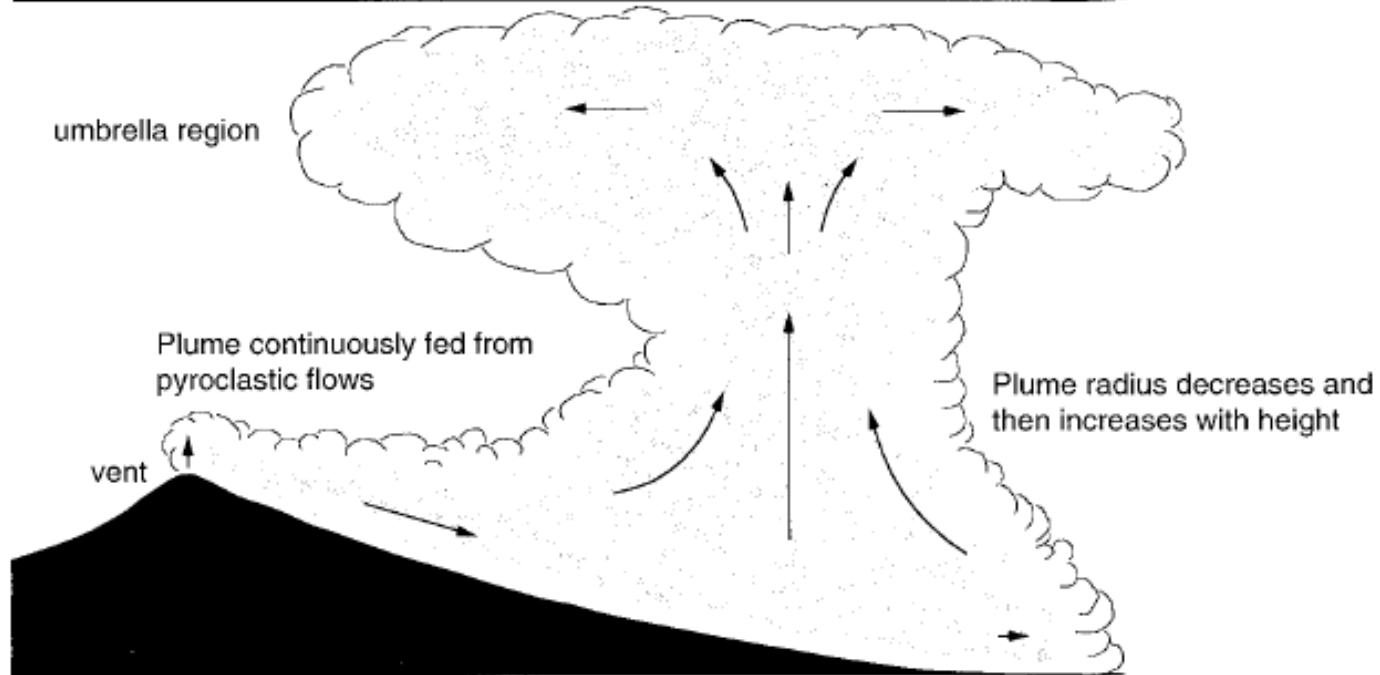
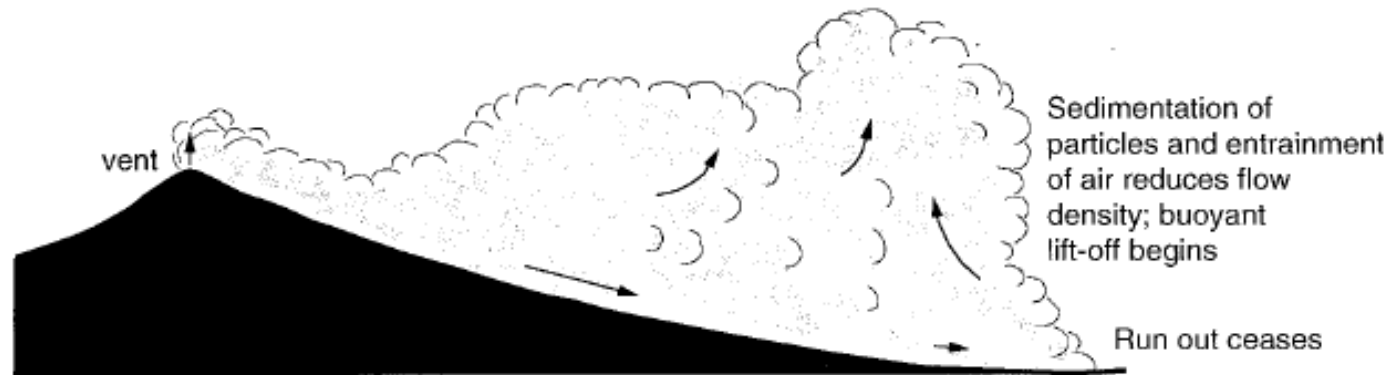
<http://volcanoes.usgs.gov/Hazards/What/PF/PFFormation.html>



- progresivní agradace pyroklastického sedimentu během jeho usazování
  - v horní části proudu dochází k turbulenci a tím se snižuje hustota proudu
- (Branney-Kokelaar, 1992 a Druitt, 1992)

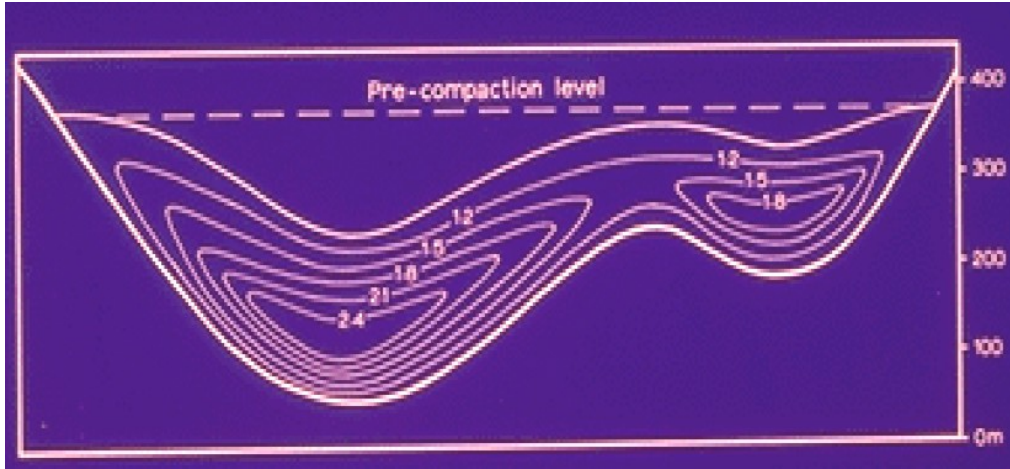


Vývoj ko-ignimbritévého chocholu z pyroklastického proudu sestupujícího ze svahu vulkánu





- To jak bude výsledný sediment vzniklý z pyroklastického proudu vypadat závisí na mechanismu usazení, procesu chladnutí, procesu spékání, a sekundární krystalizaci (např. devitrifikace)
- Během sedimentace dochází k několika procesům: (1) ztráta vzduchu z oblaku, (2) ztráta plynu, (3) mechanická kompakce, (4) kompakce způsobená spečením, (5) deformace



Intenzita spečení v závislosti na topografii terénu

|                   | $\phi$ | $\rho$ |
|-------------------|--------|--------|
| Before deflation  | .90    | .25    |
| Before degassing  | .65    | .86    |
| Loose packing     | .60    | 1.00   |
| Partly welded     | .45    | 1.35   |
| Densely welded    | .10    | 2.20   |
| Completely welded | .00    | 2.45   |

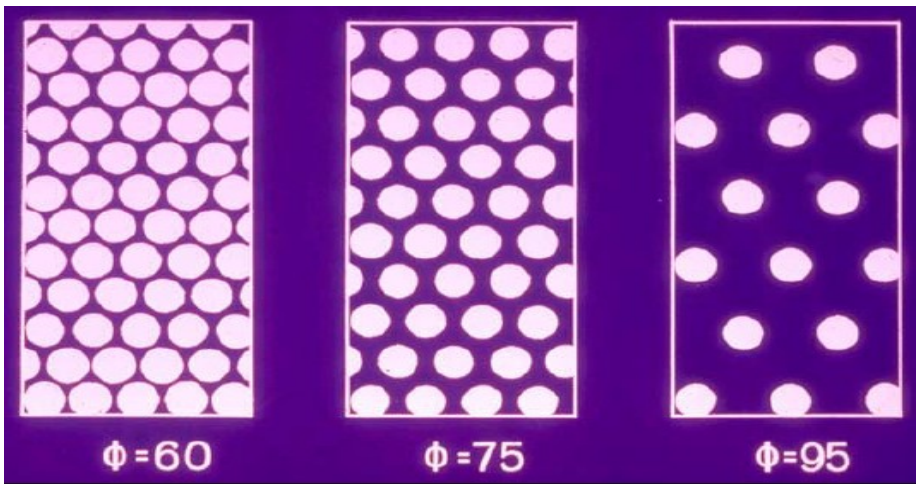
Vývoj hustoty oblaku a množství pórů od chvíle kdy oblak ještě obsahuje vzduch až po úplné spečení

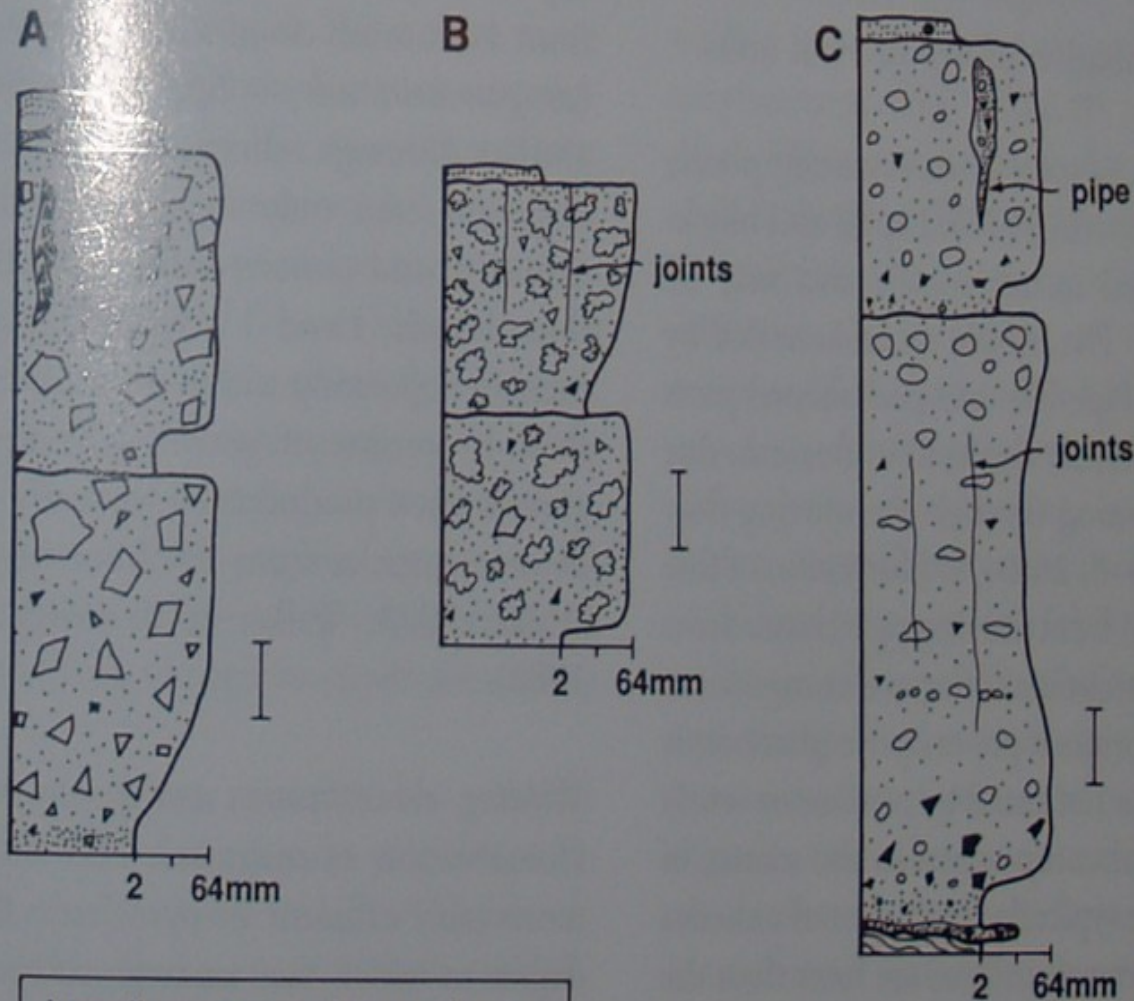
Solid fraction (G)

Pore fraction ( $\phi$ )

Density ( $\rho$ )

Powder density ( $\rho_p$ )





|                               |   |
|-------------------------------|---|
| juvenile components : pumice  | ○ |
| scoria                        | ◊ |
| poorly vesicular              | ◻ |
| glass shards and crystals     | ⋈ |
| accretionary lapilli          | ● |
| non-juvenile lithic fragments | ◄ |

Tři typy pyroklastických proudů

**A) Block and ash proud**  
(Fisher-Heiken, 1982)

- ostrohranné lapily s nízkým obsahem póru a popel
- lapily jsou termálně oxidované ale nespečené

**B) Scoria and ash proud**  
(Naim-Self, 1978)

- převládají úlomky andezitové a bazaltové strusky
- nebývají časté
- ke spečení dochází jen v případě že je mocnost malá

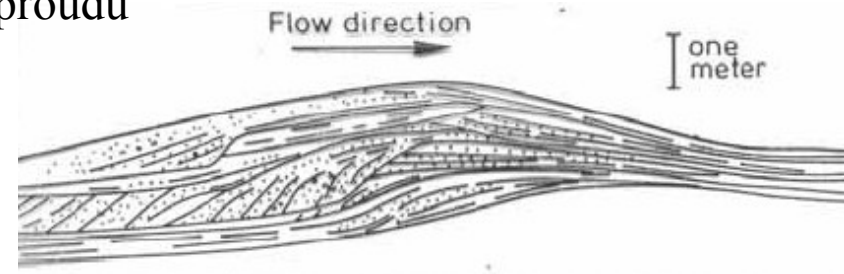
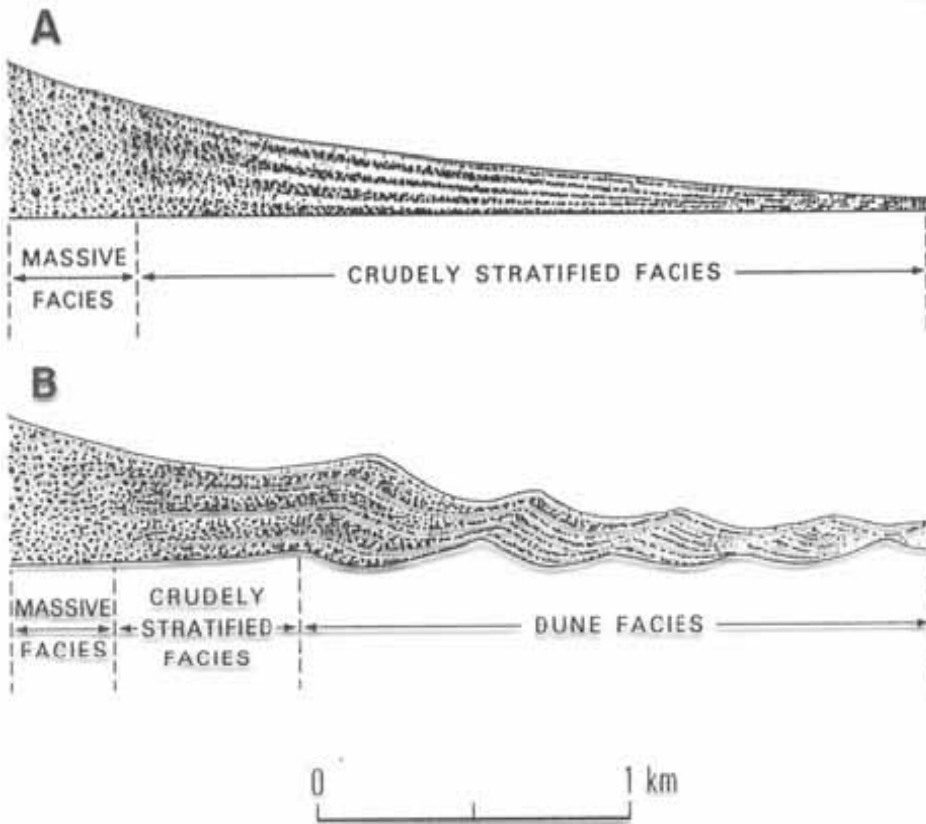
**C) Pemzový pyroklastický proud nebo ignimbrit**  
(Sparks et al. 1973)

- hodně pemzy, krystalů a vulk. skla v matrix
- kyselé horniny
- několik procent litických fragmentů
- různý stupeň spečení a devitrifikace

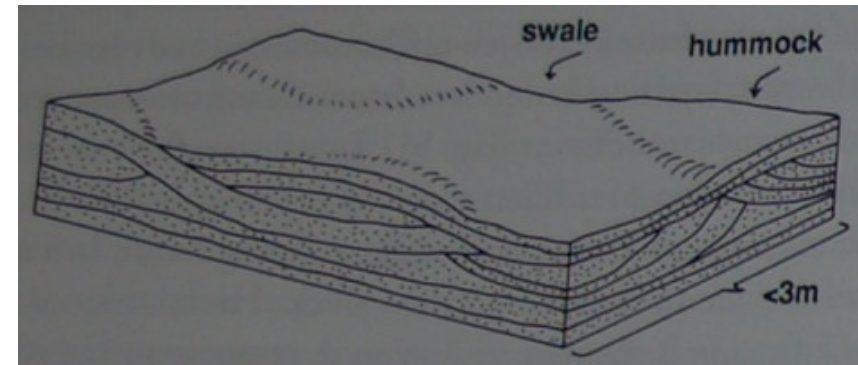


# Pyroklastické vlny (Pyroclastic surges)

- jsou produktem žhavých turbulentních pyroklastických proudů
- jemné a hrubší částice jsou dispergovány v plynu a vodní páře
- na bázi je proud nejhustší a pohybuje se jako proudová vlna
- může dokonce erodovat podloží
- typické je šikmé zvrstvení
- vytrídění je lepší než u běžných pyroklastických proudů



Vnitřní zvrstvení – chute-and-pool (Schmincke et al., 1973)



Hlavní znaky hummocky (pahrbkovitá) křížového zvrstvení (Allen., 1985)





Source, Nikaragua





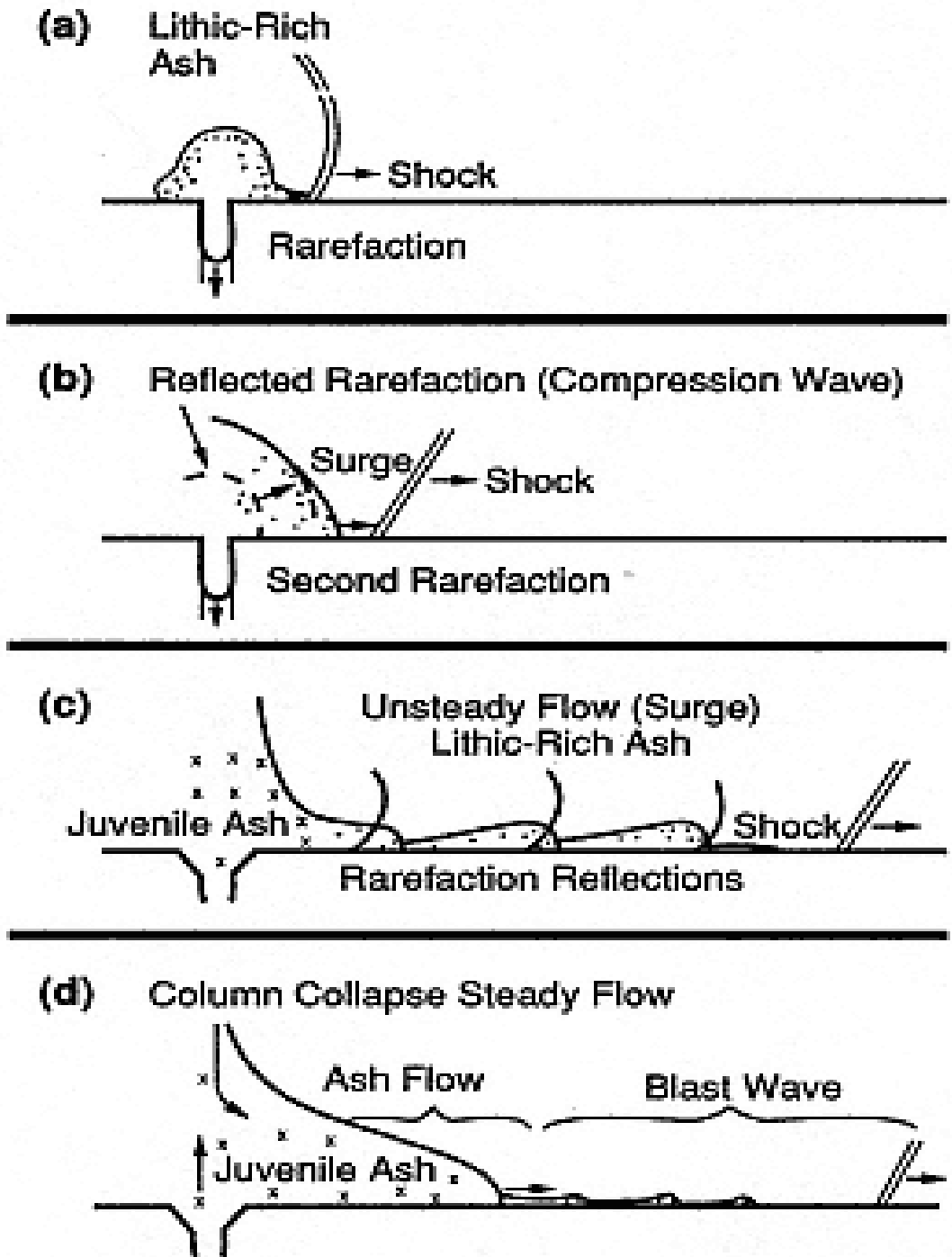
**Pyroklastická vlna (Pyroclastic surge) Boaco (Nikaragua)**

- Model chování pyroklastických vln během počátečního stádia pliniovské erupce:

- a) Přetlakový výbuch způsobí šokovou vlnu jdoucí před popelem bohatým na litické fragmenty, tyto šokové vlny způsobují zředění pyroklastického materiálu

- b-c) od místa výbuchu se šíří šokové vlny, které způsobují zředění na okrajích proudu, vznikají tak explozivní vlny (blast wave) které jsou v předpolí hlavního proudu pyroklastik

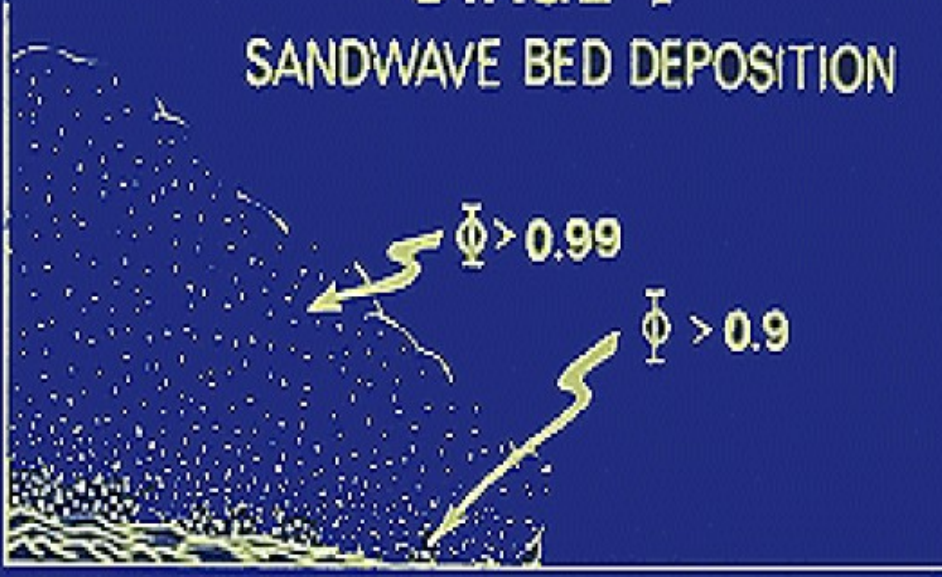
- d) Začíná kolabovat pyroklastický sloup a usazuje se časný popel z jícnu (juvenile ash) (Wohletz et al ., 1984).





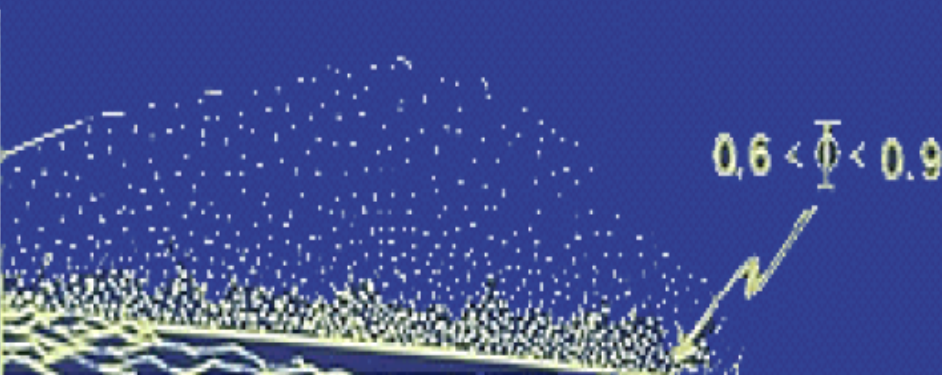
# STAGE I

## SANDWAVE BED DEPOSITION



# STAGE II

## MASSIVE BED DEPOSITION

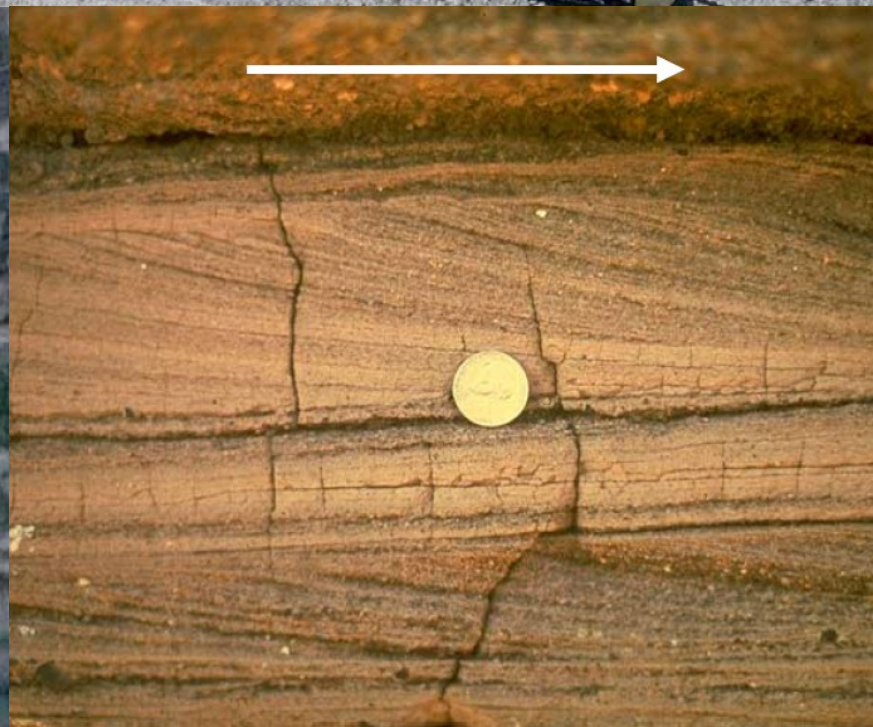
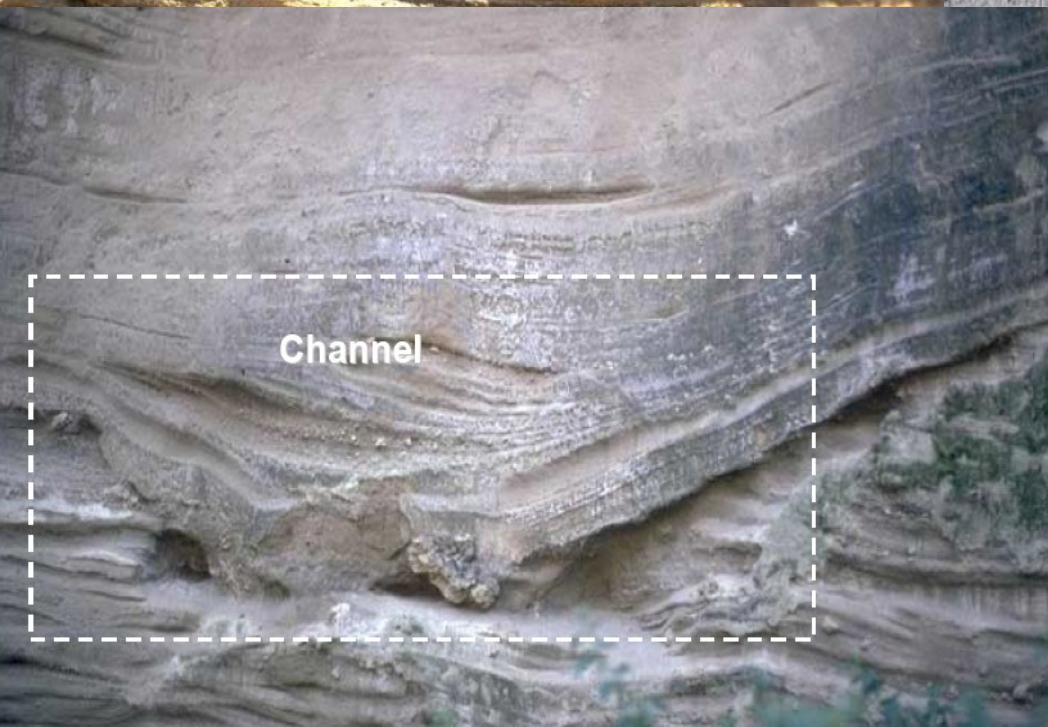
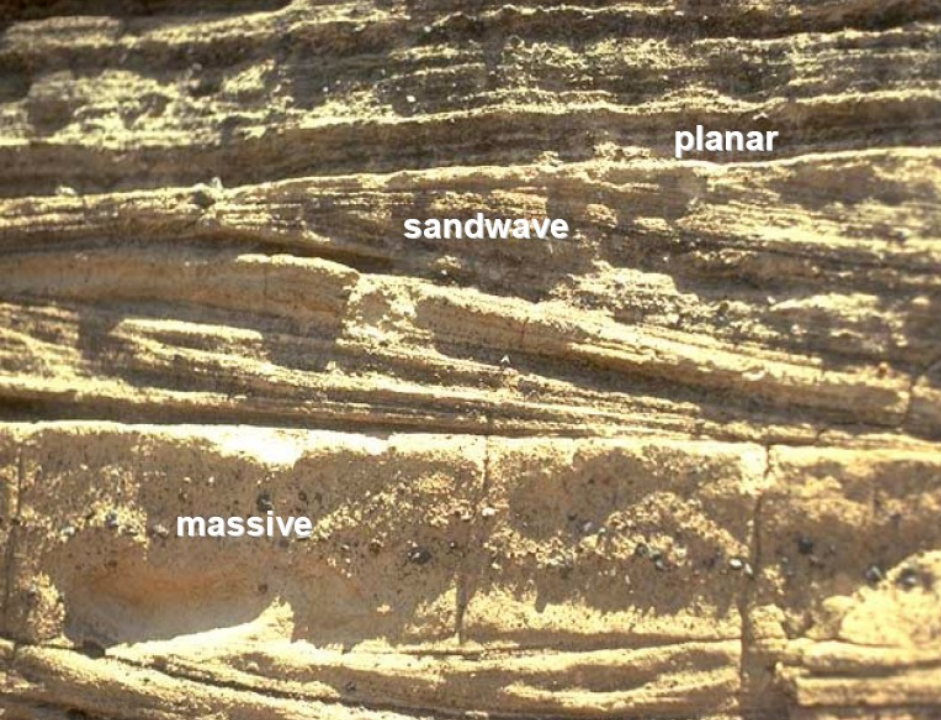


# STAGE III

## PLANAR BED DEPOSITION



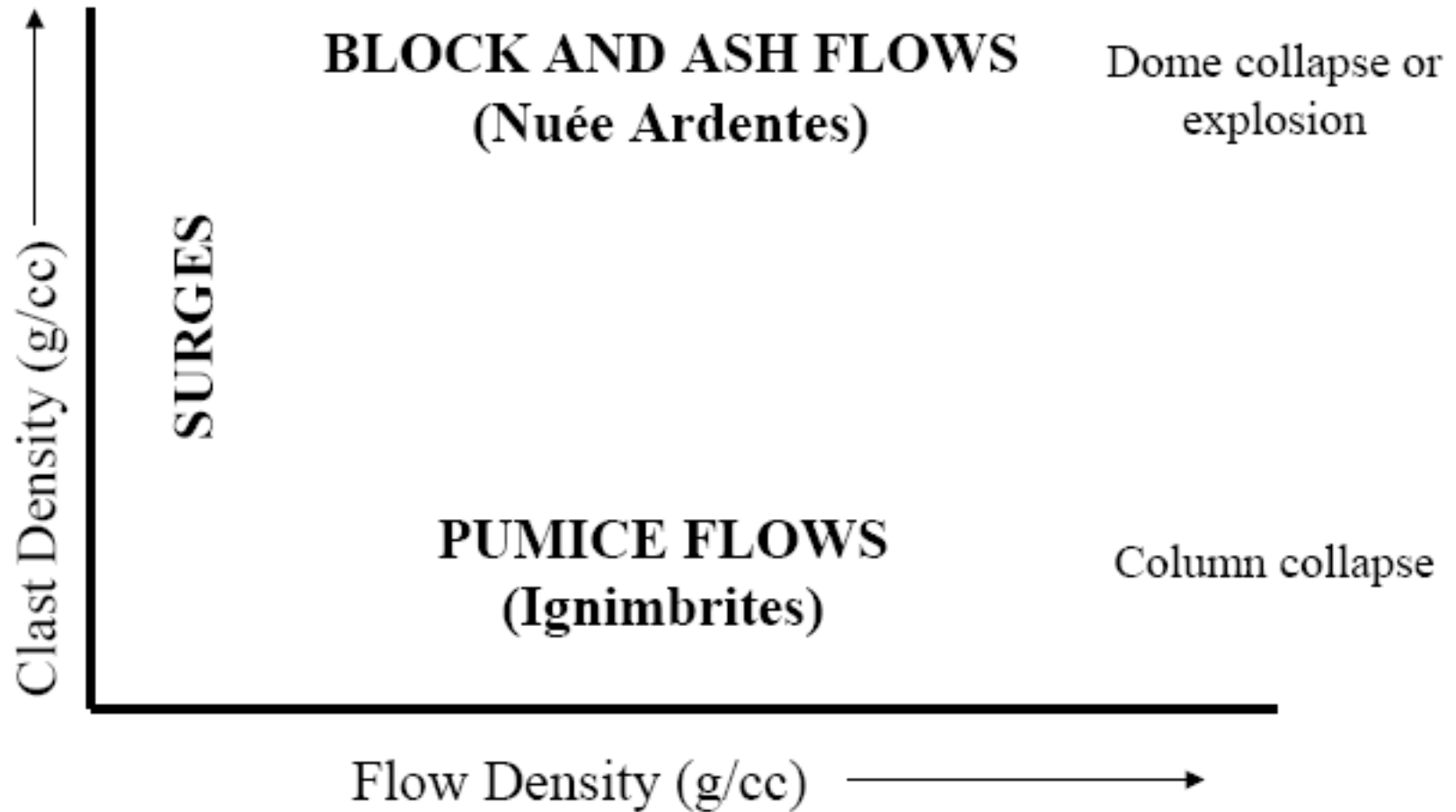






# Basic Terminology

## Process

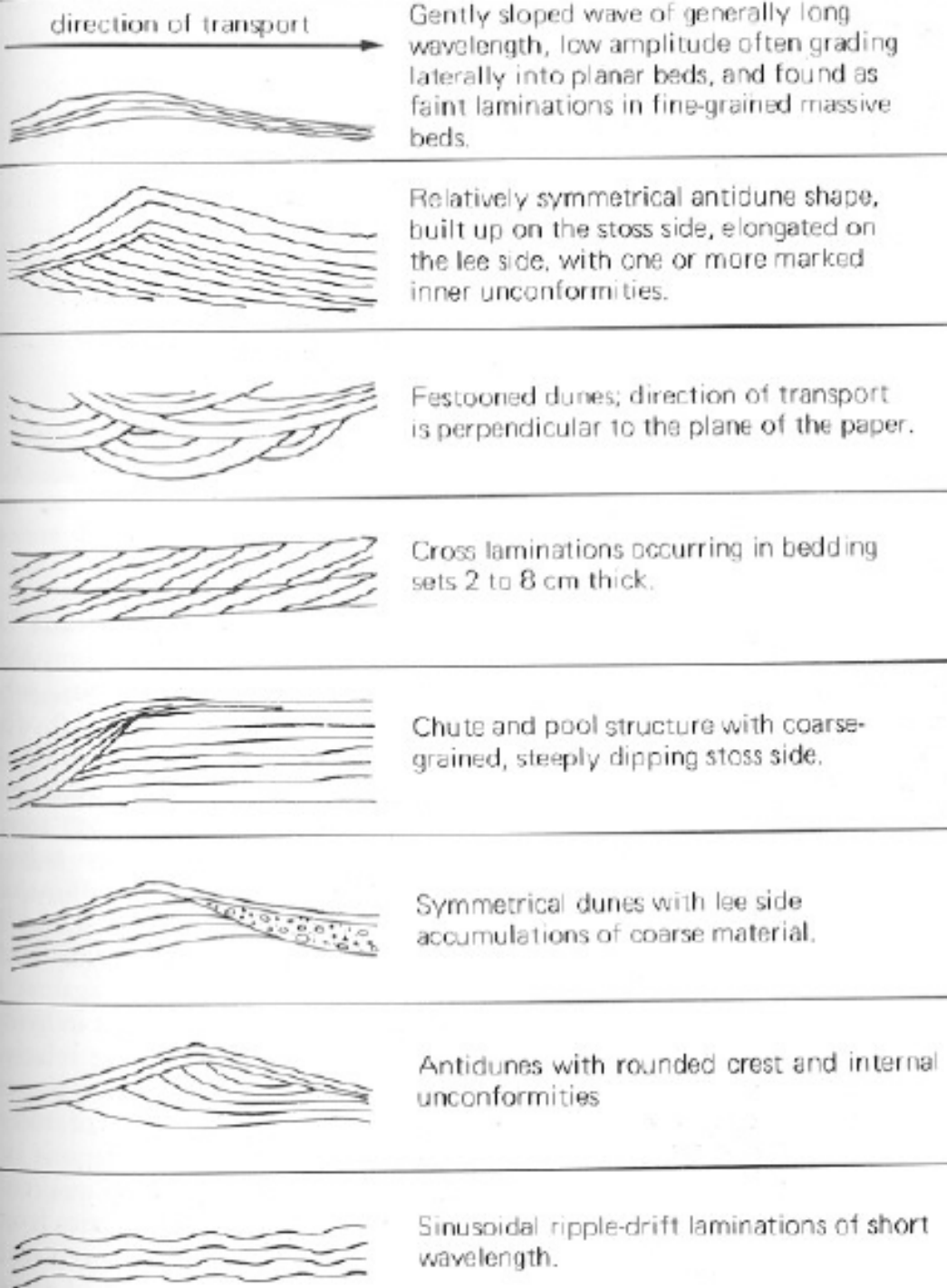


Vztah mezi hustotou proudu a hustotou klastů



Source, Nikaragua





- způsob transportu: neustálý laterální proud přes podloží, rytmická saltace, pohyb v sustenzi
- plošný rozsah: usměrněný, částečně řízený odtokovými možnostmi reliéfu
- sedimentační struktury: tenké zvrstvené, vykazují řadu sedimentárních struktur (duny, různé typy zvrstvení, deformace v mokřem sedimentů)
- zrnitostní charakteristika: špatně nebo středně vytríděné jemný až hrubý popel
- mechanismus erupce: Vulkánská, Pliniovská, freatická, hydrotermální
- surge je řidší než pyroklastický proud
- proto surge snadněji překonává terénní nerovnosti a má větší rozsah a je nesnadněji předvídatelný





Source, Nikaragua



# Pyroklastické vlny (Surges)

## Bazální pyroklastické vlny (Base Surges)

- Poprvé popsány na vulkánu Taal (Moore 1967)
- Velmi podobné s usazeninami generovanými nukleárním výbuchem
- Vznikají v důsledku interakce magmatu s vodou například v maarech
- Sedimenty dosahují vzdálenosti 5-6 km od vulkánu

## Spodní pyroklastické vlny (Ground Surges)

- Tyto sedimenty vznikají na bázi pyroklastického proudu (laharů)
- Jsou jemně planárně a často také křížově zvrstvené
- Mocnost vrstev je kolem 1 m
- Jsou složeny hlavně z litických fragmentů a fragmentů krystalů

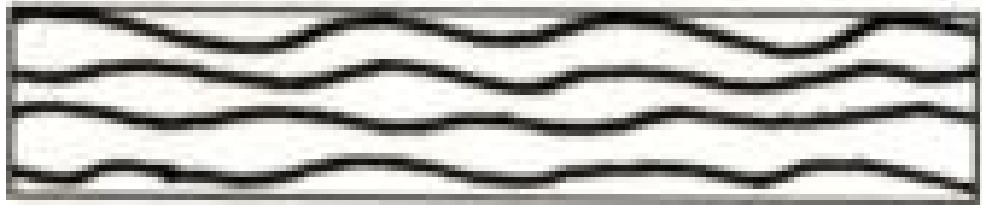
## Pyroklastické vlny popelového mraku (Ash Cloud Surges)

- Je nejvíce ničivý typ
- Vytváří tenkou vrstvou
- Pohybuje se velkou rychlostí (10 – 100 m/sec) a nese sebou stromy, bloky hornin

# Ignimbrity

- Ignimbrit ( ignis- oheň, imbris- sprcha) je produkt erupcí převážně kyselých láv (vzácně intermediální až bazické)
- má formu žhavého vulkanického oblaku, který se pohybuje v subhorizontálním směrem
- velmi často jde o směs pevných a roztavených částic dispergovanou v přehřáté směsi vulkanických plynů a vodních par, která se pohybuje po zemském povrchu jako proud či lavina
- po zastavení pohybu dochází v důsledku zbytkového tepla k plastické deformaci jednotlivých fragmentů a k spečení jednotlivých útržků (pemza, vulkanické sklo, litické úlomky, krystaly nebo jejich úlomky) do kompaktní masy
- Stupeň spečení může být různý a místy mohou ignimbrity dokonce nést známky plastického toku

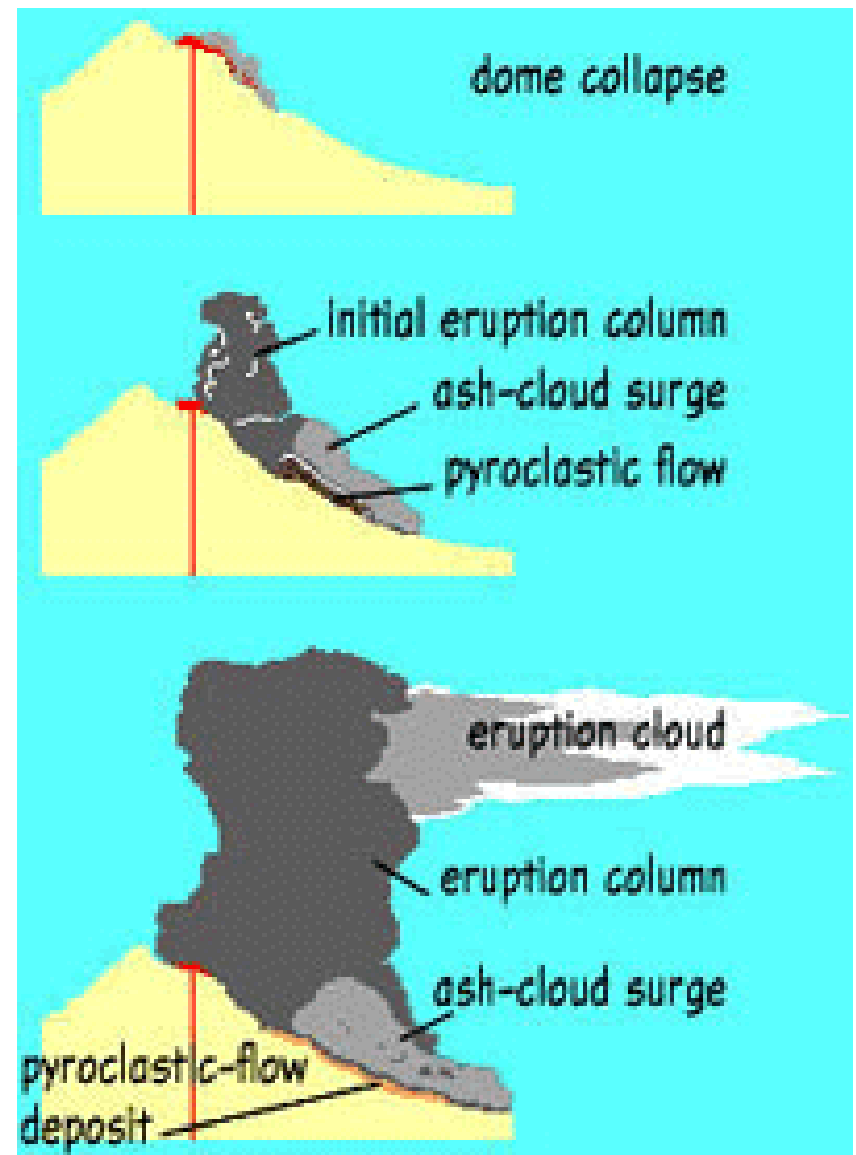
symbol



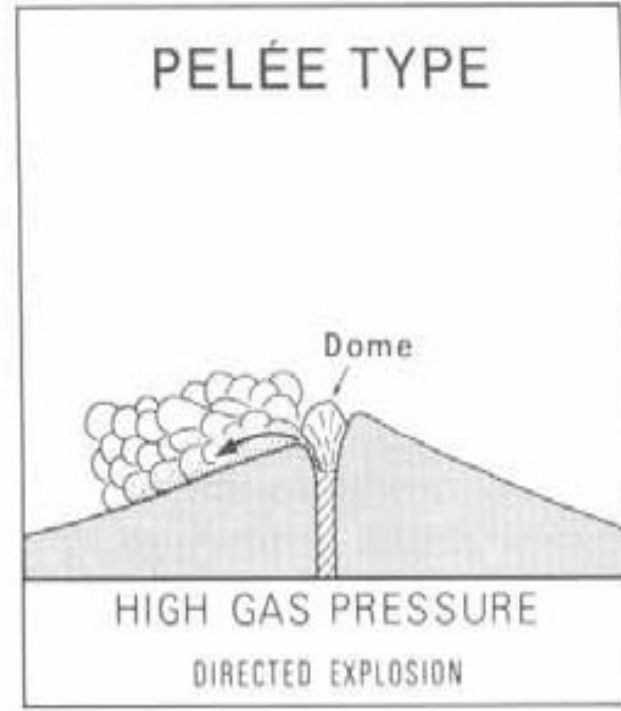
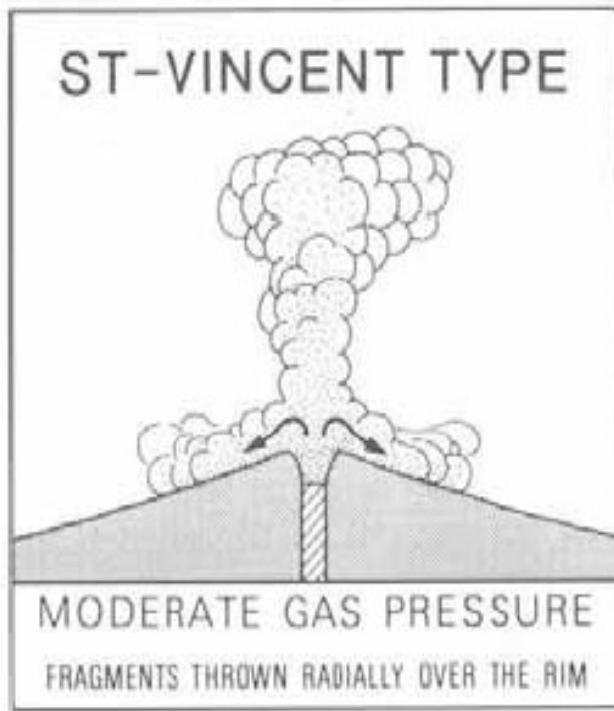
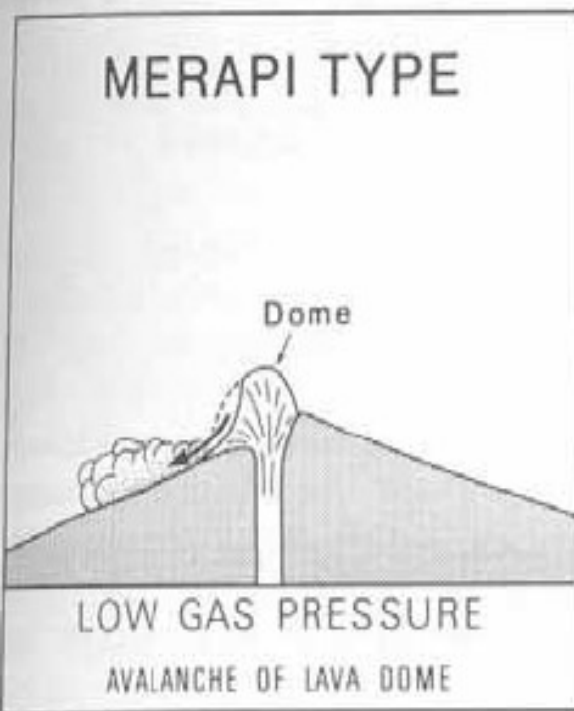


# Ignimbrity definice

- A. podle Marshalla in Svoboda ed. (1983) je pyroklastické horniny s pseudofluidální texturou a vitroklastickou strukturou
- skládají se ze zploštělých a deformovaných útržků sklovité a vitrofyrické lávy,
  - vyrostlic a xenolitů uložených v jemné (popelové) mezostázi
  - úlomky mohou být slabě spečené nebo i nespečené, a pak přecházejí do tufů
  - většinou složení ryolitů a dacitů.
- B. podle Le Maitre ed.(1989) spečený tuf složený z krystalů a horninových fragmentů uložených v základní sklovité hmotě
- v některých případech je spečení tak silné, že původní střípkovitá textura je potlačena
  - složení je většinou kyselé a intermediální



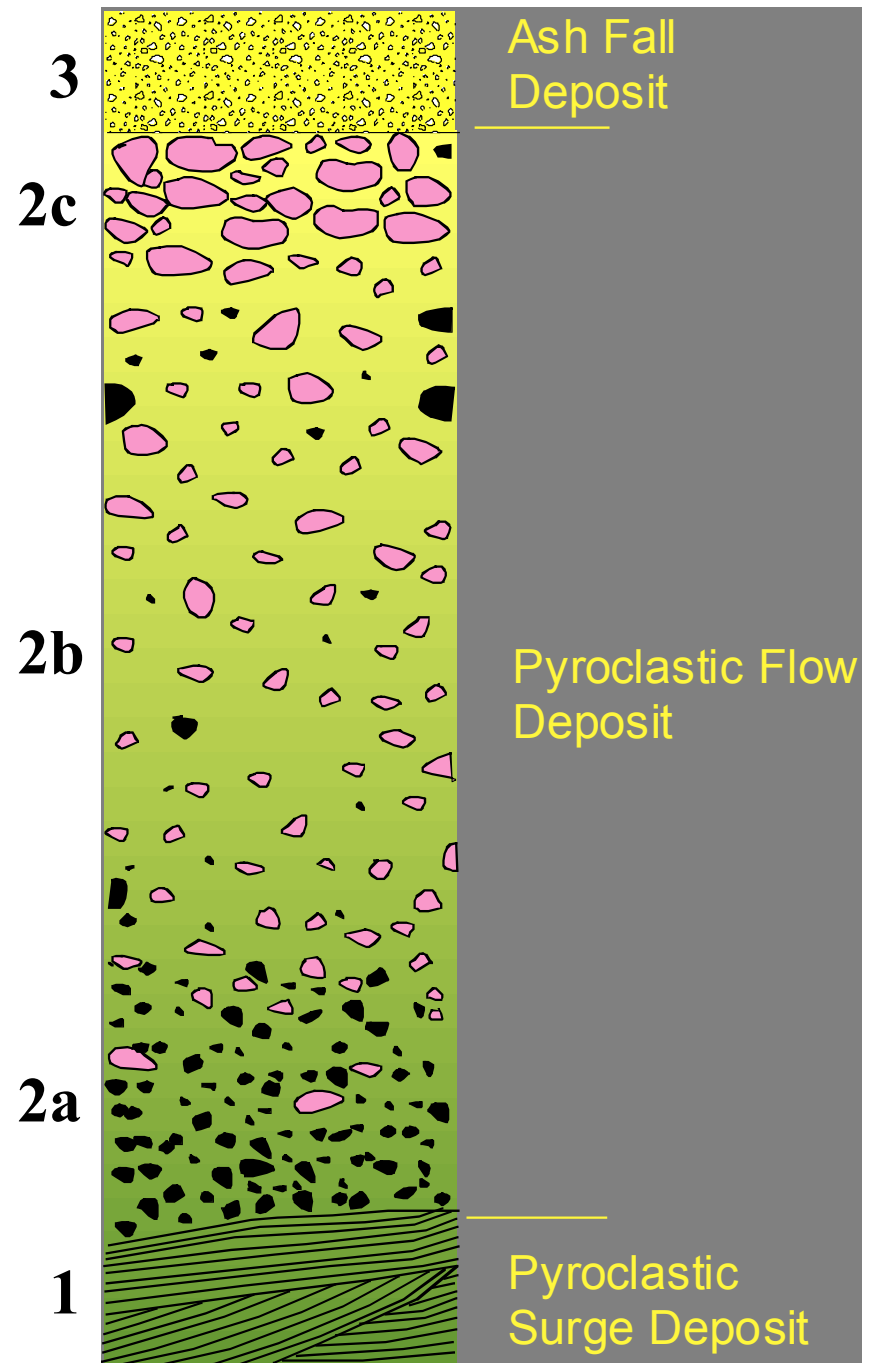
Mt. Unzen nuée ardentes: The diagram here demonstrates the sequence of events associated with the 1991-95 nuée ardente eruptions from Mt. Unzen, Japan. Collapse of a growing lava dome generates the nuée ardente. Within seconds a faster-moving cloud of smaller ash-sized fragments (the ash-cloud surge) forms above and in front of the nuée ardente. In some cases, dome collapse is attributed to explosive eruption at the summit crater. Explosive collapse may clear the throat of the volcano, thus generating vertical eruption columns. Over a four-year period, hundreds of nuée ardentes erupted from Mt. Unzen's summit area. Many of these swept down the populated Mizunashi River valley displacing thousands of people and destroying several hundred homes and precious farmland.



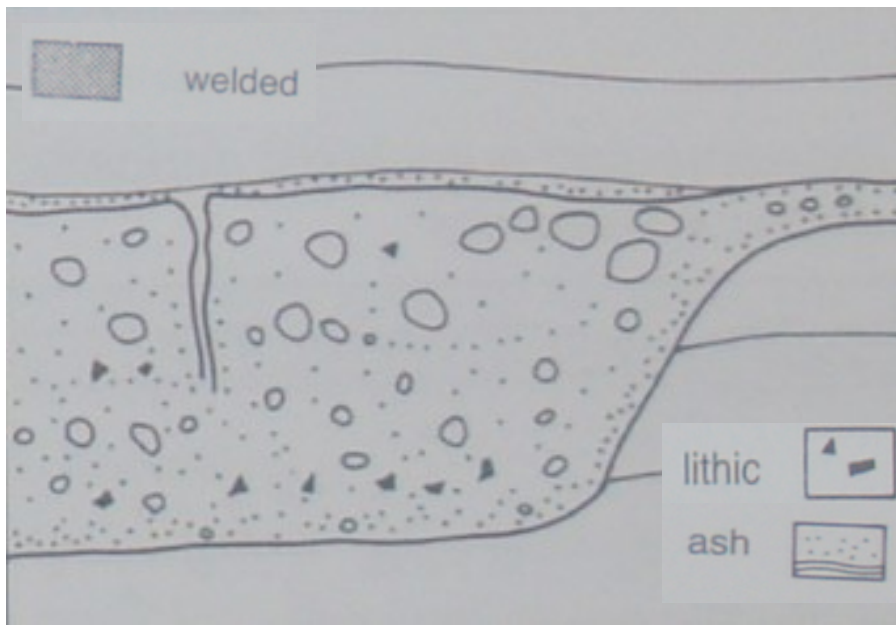
- Merapi typ: v kráteru roste dóm tvořený kyselým viskózním magmatem, který se v důsledku gravitace rozpadne (Merapi, Indonesie 1951)
- St Vincente typ (Soufrière): erupční sloupec se neudrží dlouho (díky ztrátě tlaku) a kolapsem vznikne pyroklastický proud na svazích vulkánu (St Vincente, 1902), který je oproti ostatním ignimbritům relativně chladný
- Peléský typ : dóm z viskózního magmatu blokuje přírodní kanál, v důsledku narůstajícího tlaku dojde k explozi a uvolněný materiál se pohybuje nejen po svahu sopky ale v některých případech se může pohybovat i laterálně (Mont Pelée, 1902)



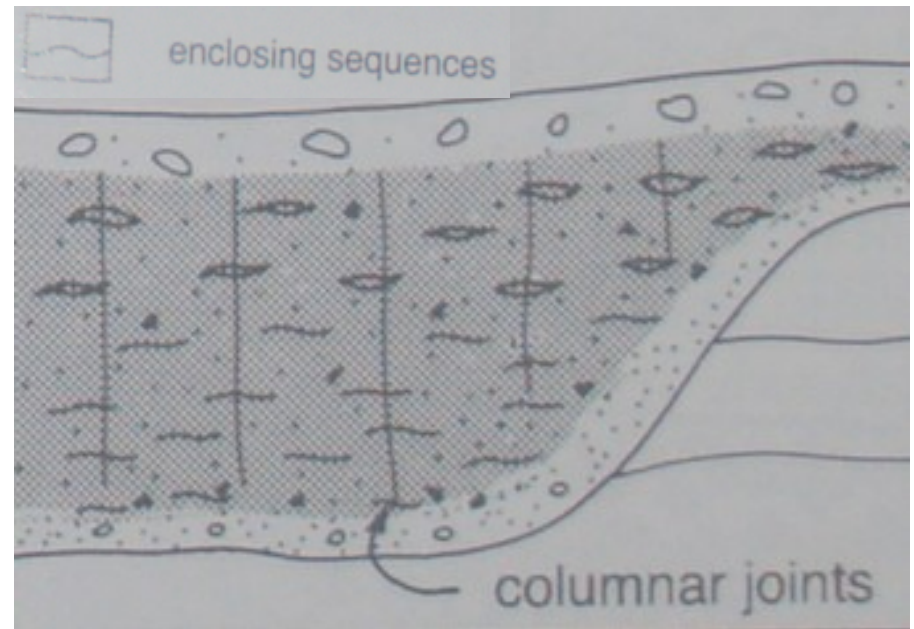
- vrstva 1 křížové zvrstvení surge sedimentů s proměnlivou zrnitostí vznikající v čelním klínu nastupujícího proudu
- vrstva 2a normální gradace litických klastů
- vrstva 2b hlavní těleso ignimbritu (lehká pemza se koncentruje na povrchu proudu a těžší litické klasty klesají na bázi)
- vrstva 2c opačná gradace v pemzových klastech
- vrstva 3 popelová vrstva provázející ignimbrity (co-ignimbrite), je výsledkem sedimentace z prachového mraku, který provází pyroklastický proud



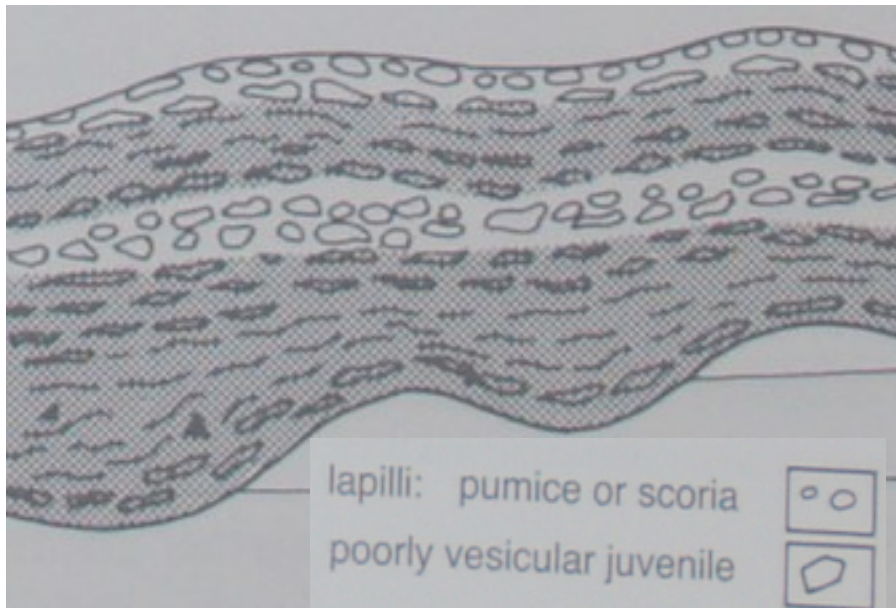
Průřez typickým ignimbrity proudem: na bázi jsou surge sedimenty, následuje střední část proudu a horní popelová napadávka - růžové klasty jsou pemza, černé klasty reprezentují hustší litické fragmenty (Sparks *et al.* 1973, *Geology*, 1, 115-118. Geol. Soc. America)



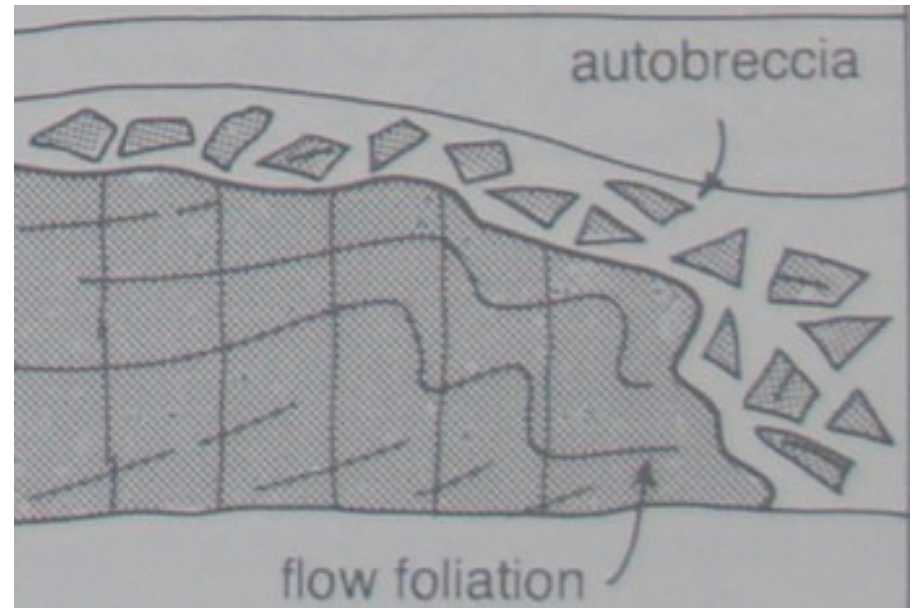
Nespečený ignimbrit



Spečený ignimbrit



Spečené pyroklastické napadávky



Ignimbrit připomínající lávu





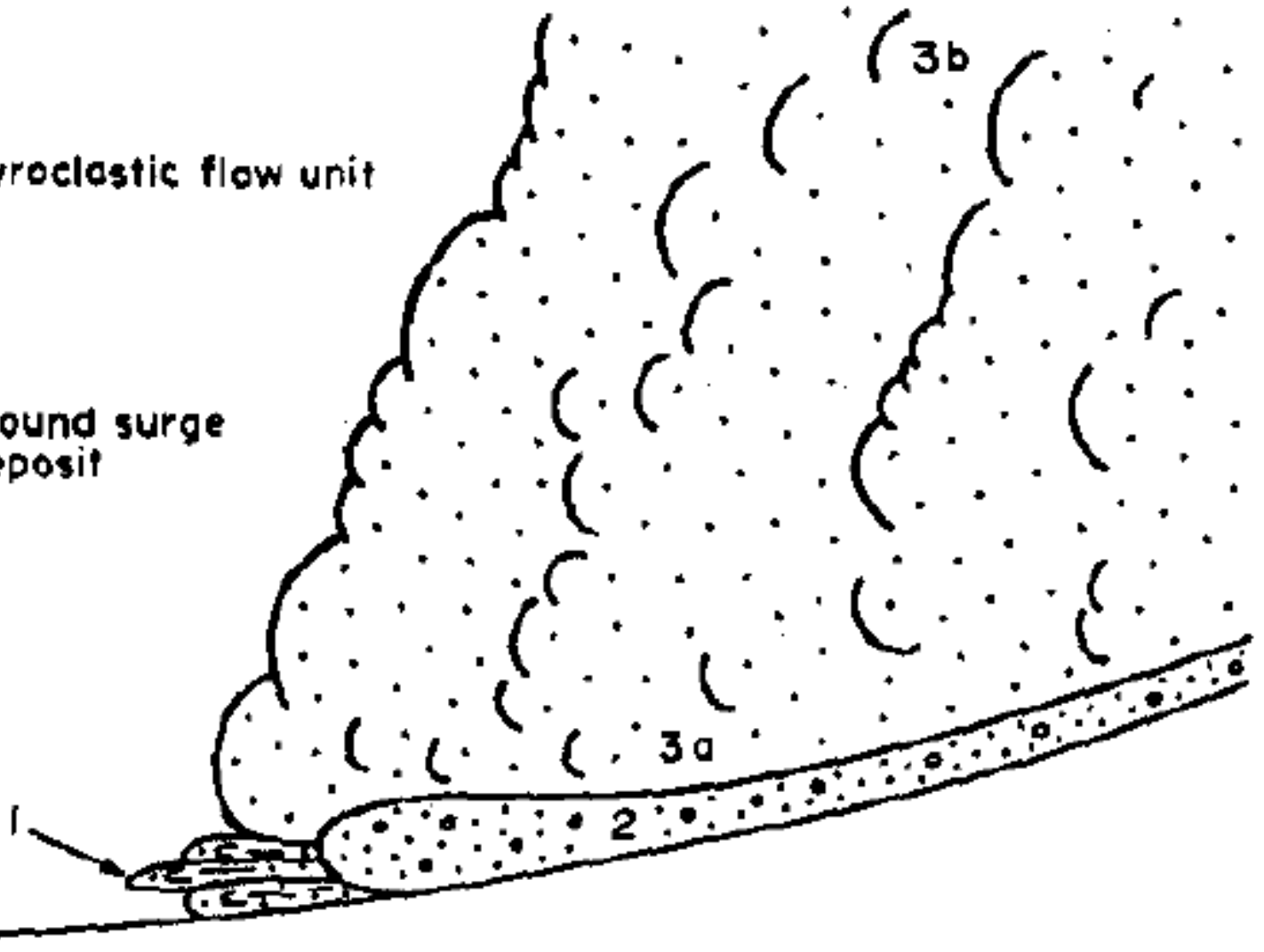
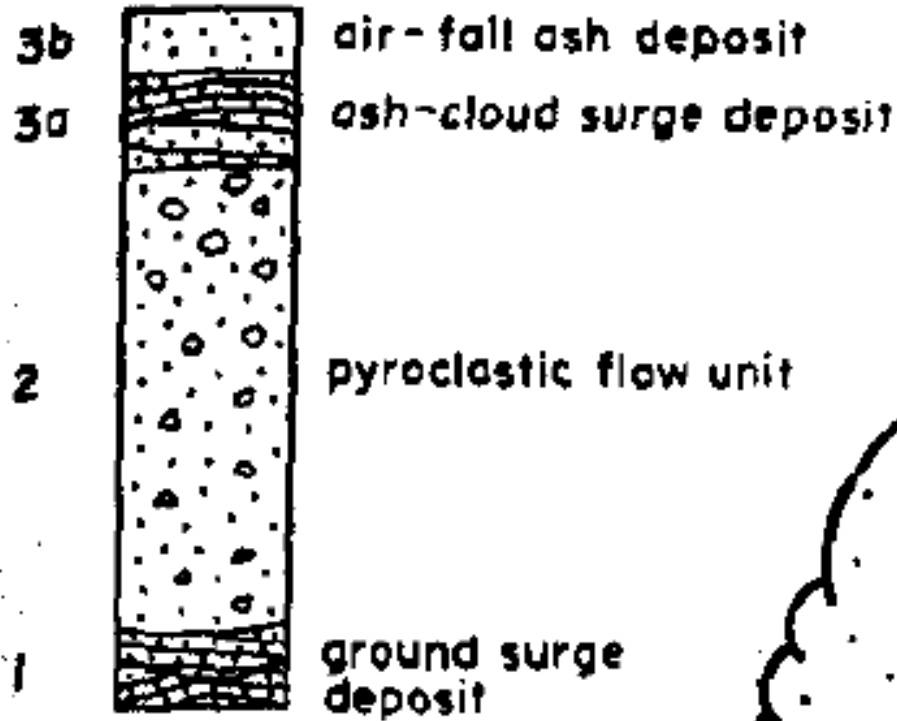
Fiamme ve spečeném ignimbitu, Boaco (D127)

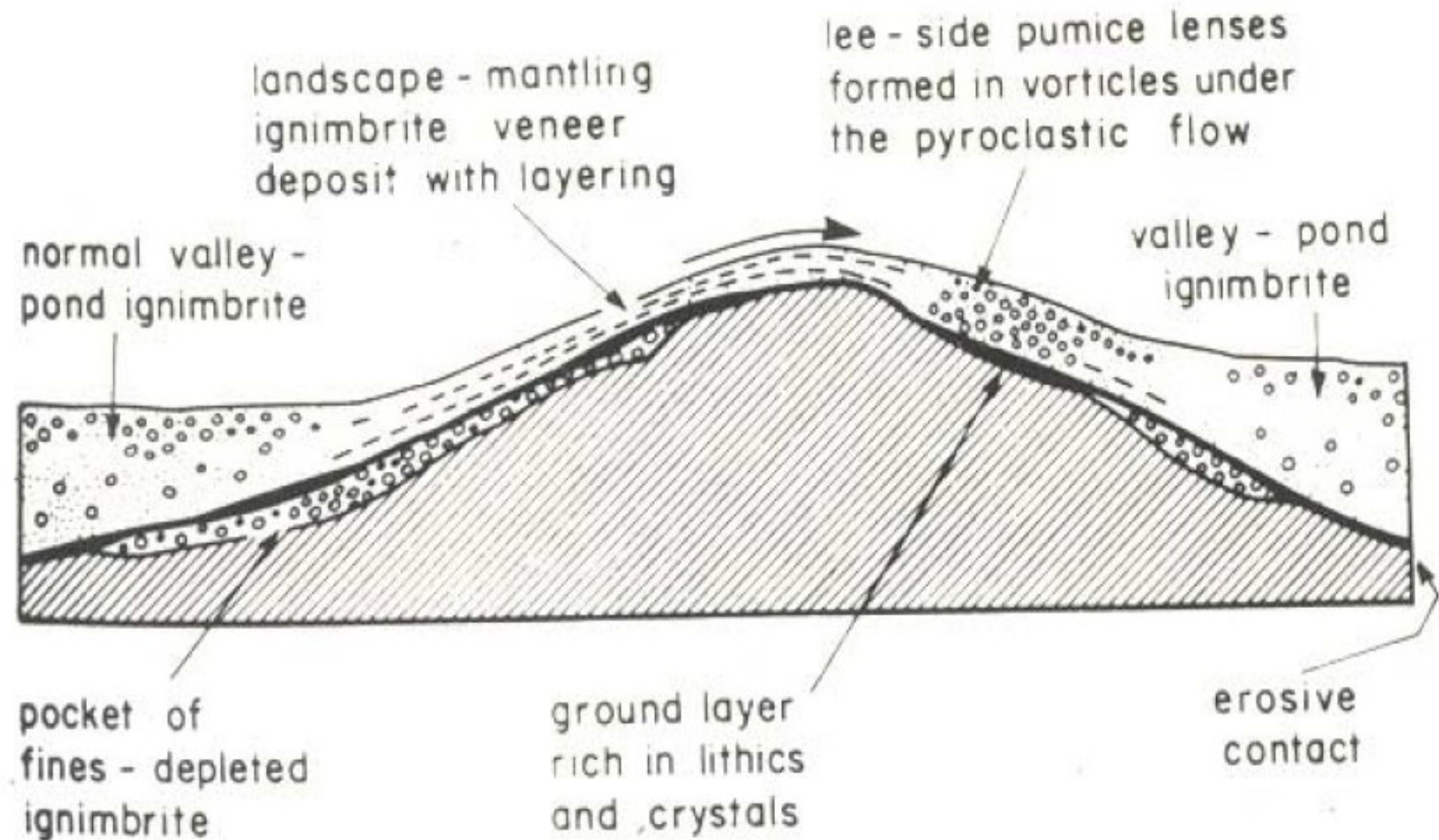




Na bázi jsou surge sedimenty v nadloží následuje střední část ignimbritového proudu , Boaco (D219)

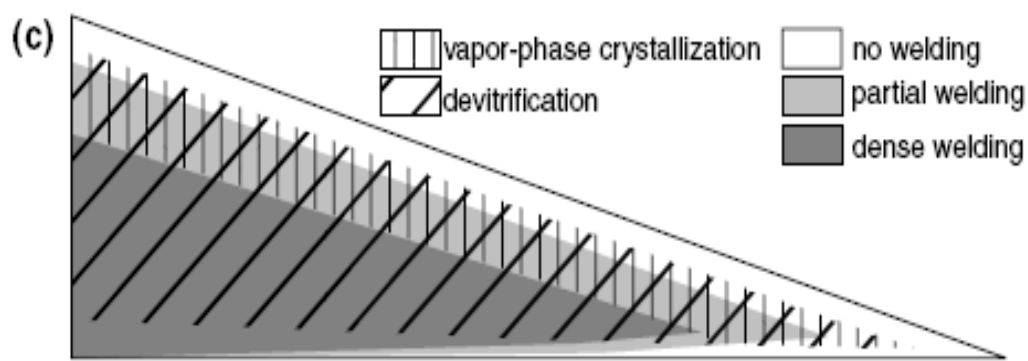
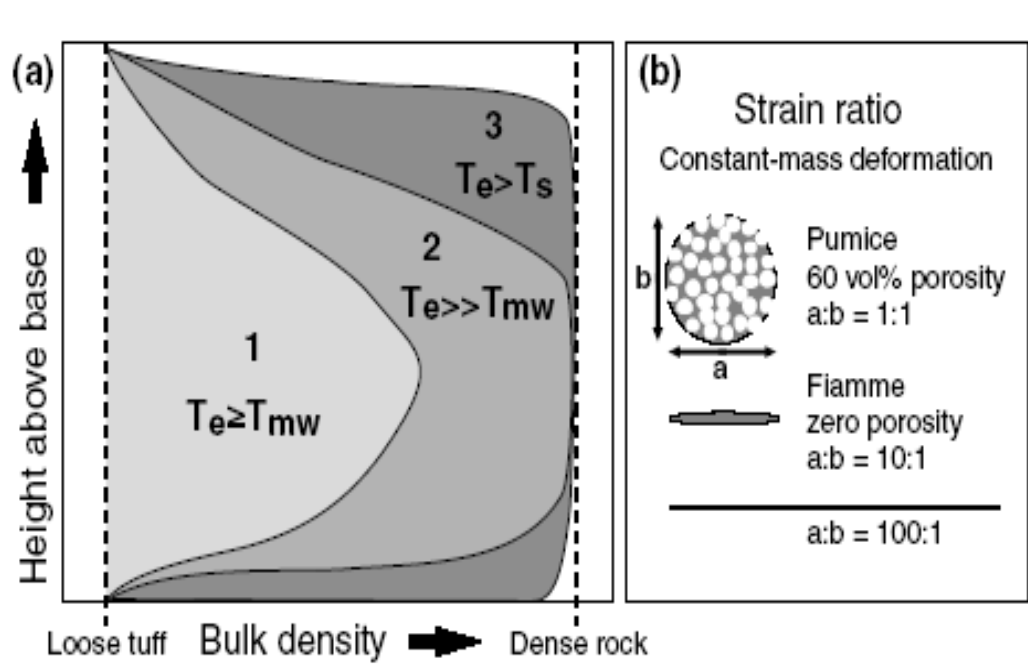
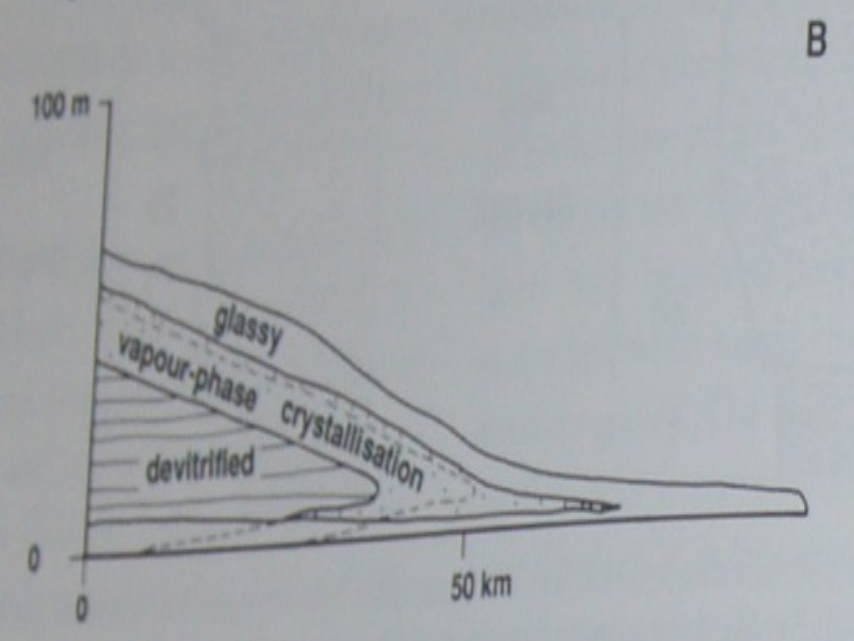
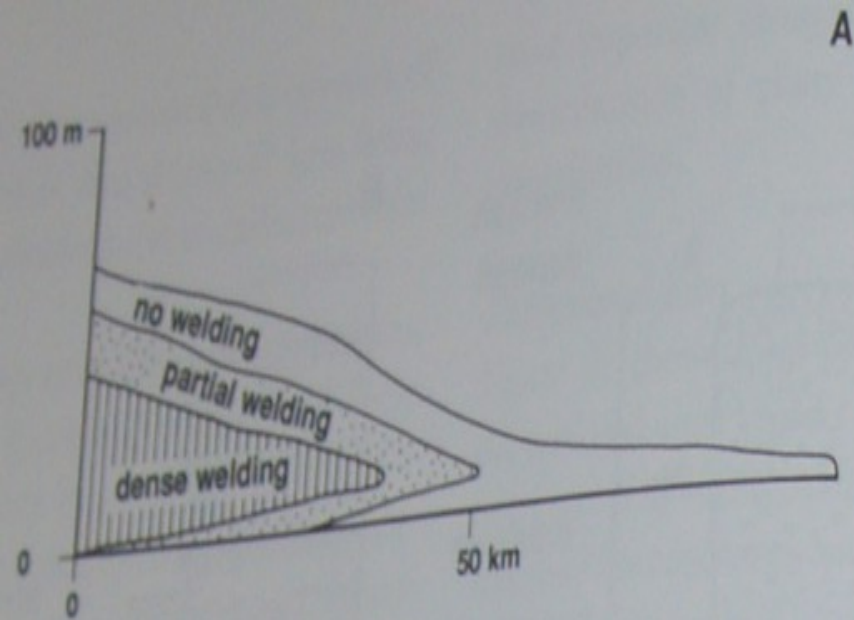






- většinou se pyroklastické proudy pohybují terénními depresemi (vodní toky) ale mají energii překonat i terénní nerovnosti





(a) Schematické znázornění závislosti mezi hustotou ignimbritového proudu vzdáleností od báze proudu a teplotou proudu  $T_e$ , křivky 1 a 2 omezují oblast kde je ignimbrit částečně spečený ( $T_{mw}$  = minimální teplota potřebná pro spečení,  $T_s$  = teplota solidu dané horniny)

(b) zobrazuje změny geometrie pemzových klastů během spékání, hmotnost sice zůstává stejná ale klesá objem v důsledku zmenšování pórů, na výsledný také má také vliv tok

(c) zjednodušený řez přes ignimbritový proud a znázornění procesů které jednotlivé vrstvy postihují.

Průřez proudem jednoduše chladnoucího ignimbritu postiženým spečením (A) a krystalizací (B), čerchovaná čára (B) ohraňuje zónu spečení (A), devitrifikační zóna obsahuje sferule granofyrickou krystalizaci (Smith, 1960)





Ignimbrite block and ash, vrstva 2b, Boaco (D134)





Poloha ignimbitu s penzou (2c), Boaco



# Sloupcová odlučnost ignimbritů

- jednotlivé části tohoto výchozu se liší
- v horní části jsou andesitové ignimbrity dole ryodacitové
- obě zóny nejsou spečené ani zhutněle. Andezitová vrstva má sloupcovitou odlučnost což naznačuje její vyšší teplotu při usazení (vzniká při schlazení)



## 1. lávové proudy

- nepodrcené vyrostlice
- tokové struktury (foliace) jsou sledovatelné na velkou vzdálenost

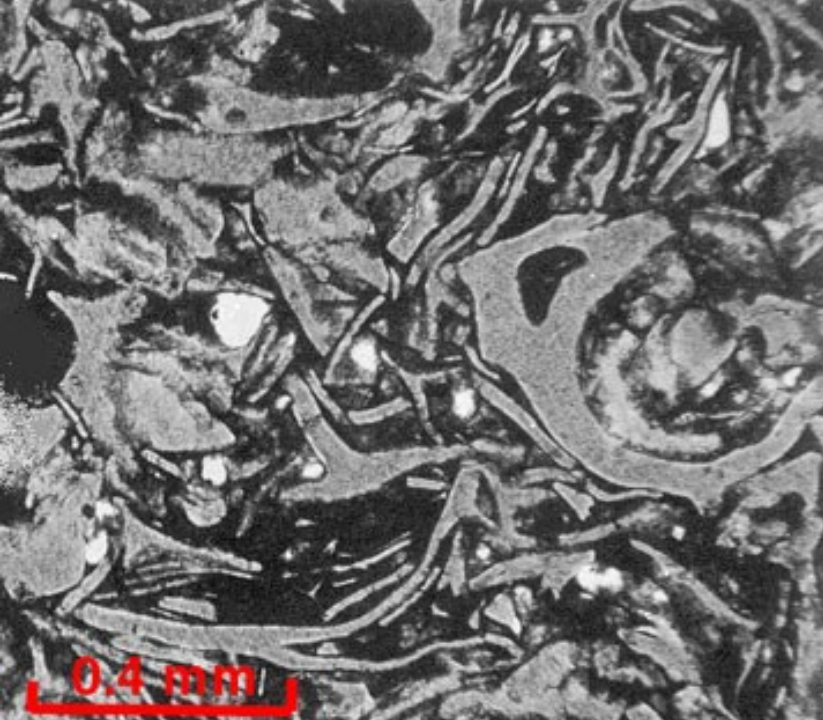
## 2. výrazně spečené ignimbrity

- podrcené krystaly
- pemzové klasy jsou spečené a protažené
- úlomky skla
- litika



# Nespečené struktury (*NONWELDED TEXTURES*)

- Nespečené ignimbrity (Nonwelded ignimbrites):
- nespečené ignimbrity se od spečených liší už na výchoze.
- Střepiny skla (Glass shards) vzniklé při rozpadu lemu skleněných bublin které tvoří dutiny v pemze (pumice).
- Vytváří úzké protáhlé segmenty s plochým nebo hrotovitým zakončením.
- Někdy jsou rozvětvené do tří stran (trojný bod kde se setkávají jednotlivé dutiny v pemze) někdy mohou být zachovány celé fragmenty dutin.
- Také u nespečených je určitý stupeň kompakce který se projevuje uspořádáním úlomků skla.

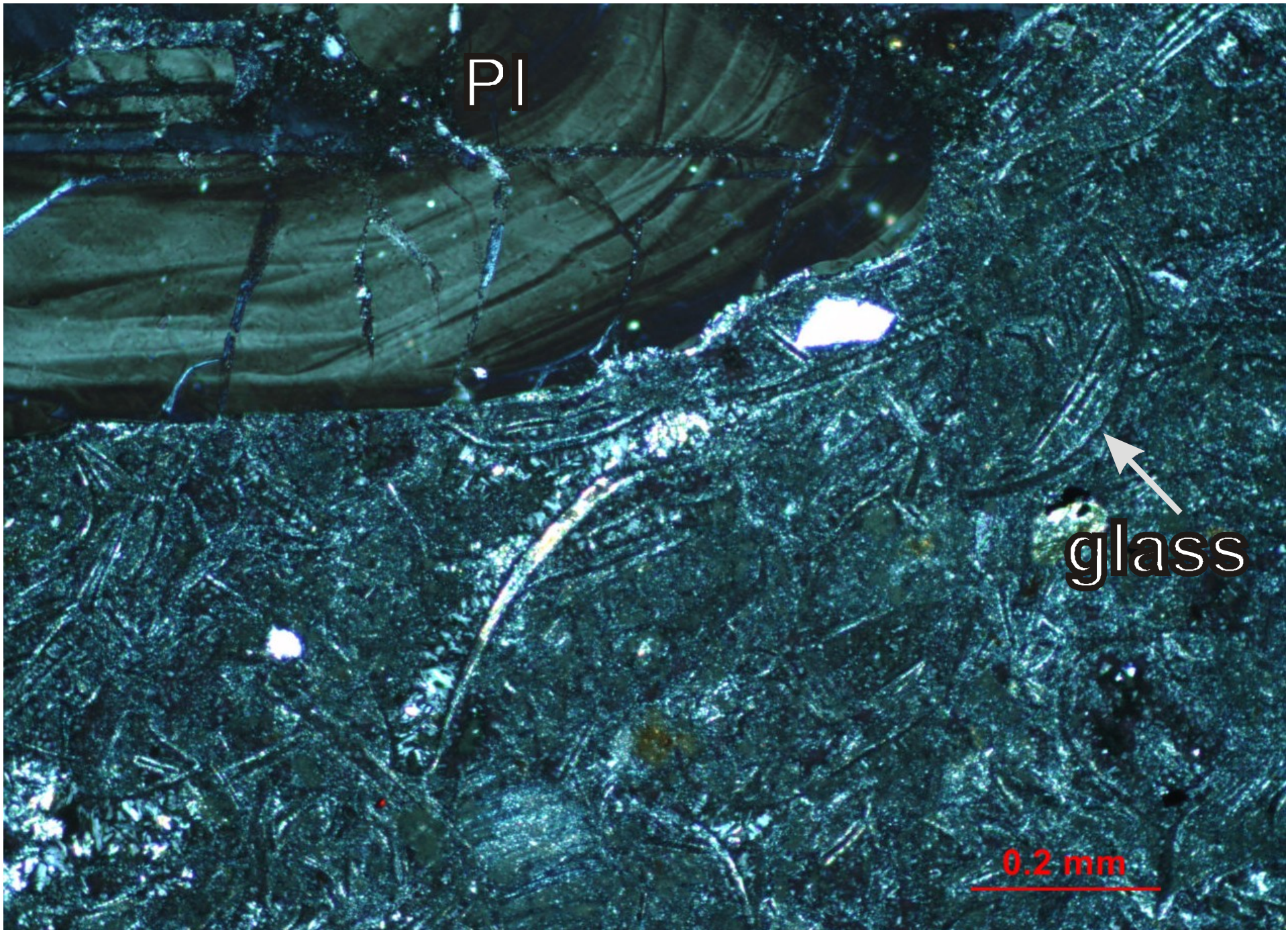


Nonwelded tuff from Sumatra with very slight compaction of glass shards. Note the unusually massive shard center right.

Rattlesnake tuff from central Oregon, displaying slightly flattened shards with unbroken glass bubbles, now in oval

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





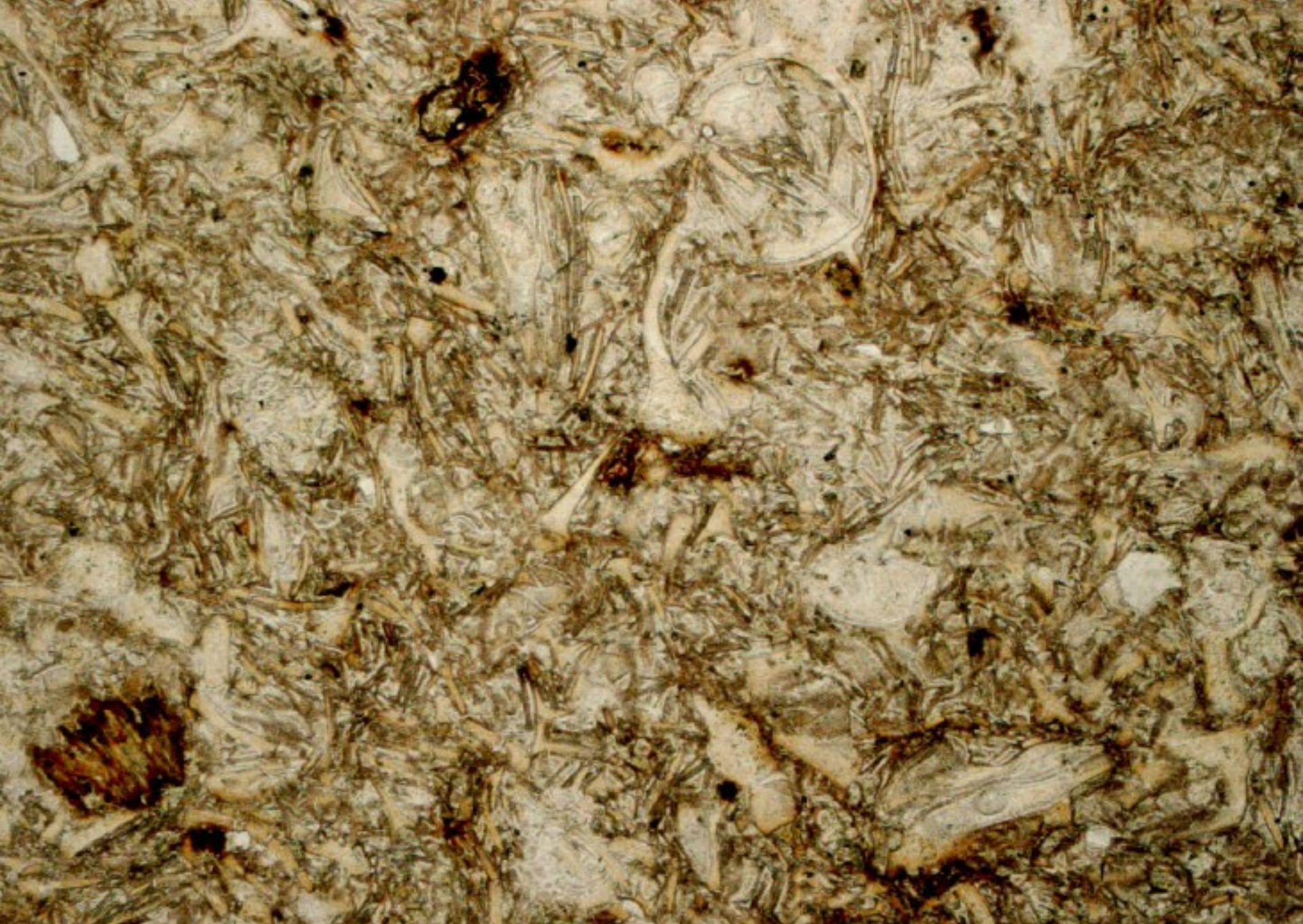
PI

glass

0.2 mm

Nespečený dacitový ignimbrit typ Fonseca s vyrostlicemi živců (D0145), zkřížené nikoly





Nespečný ryolitový ignimbrit (Mongolsko, H0503)





Nspečený ignimbrit, Boaco (DD155)



# Spečené struktury (*WELDED TEXTURES*)

- spečení a kompakce jsou dobře patrné na deformaci úlomků skla a fragmatů pemzy což se projevuje:
- 1) kolapsem střepin skla ve tvaru Y a okrajů bublin,
- 2) uspořádáním protáhlých krystalů a litických fragmentů
- 3) obtékání skelných úlomků kolem litických fragmentů a krystalů
- 4) kolaps pemzových úlomků do lentikulárních fragmantů zvaných fiamme (fiamme)
- stupeň spečení může být značně proměnlivý
- často je zvýrazněn změnou barvy která odráží rozdílná stupeň oxidace
- v extrémním případě může ignimbrit připomínat vulkanické sklo (obsidián) s relikty litických fragmantů, krystalů a protáhlými zbytky (stíny) po úlomcích skla



Welded tuff from SE Idaho. Note marked compression of the shards, but good retention of the shard structures.

Welded tuff from Valles, N. Mex. displaying well-developed parallel alignment of shards and elongate crystal

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





Spečený ryolitový ignimbrit (Mongolsko H0099).





Spečený ignimbrit, Boaco (D155)

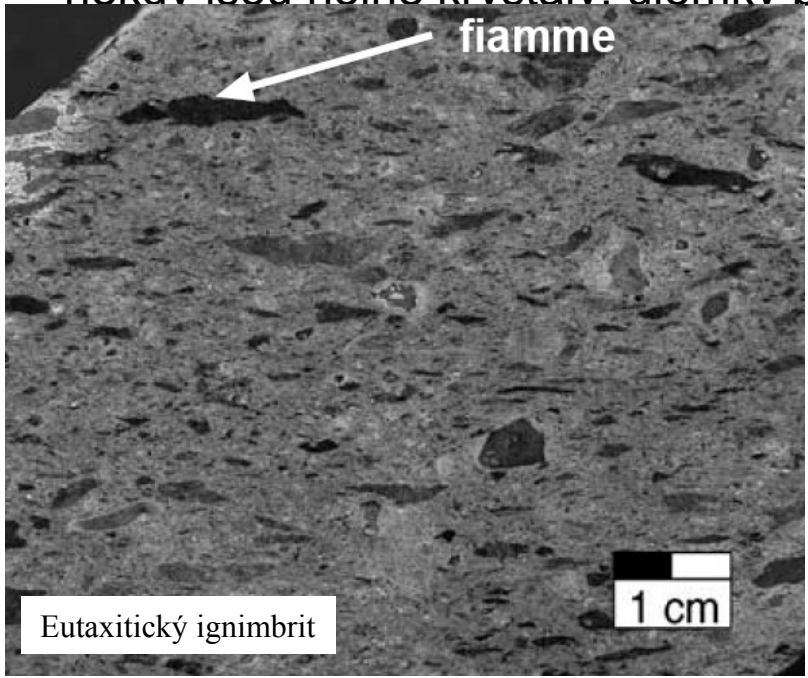




Intenzivně spečený ignimbrit, Boaco (D187)

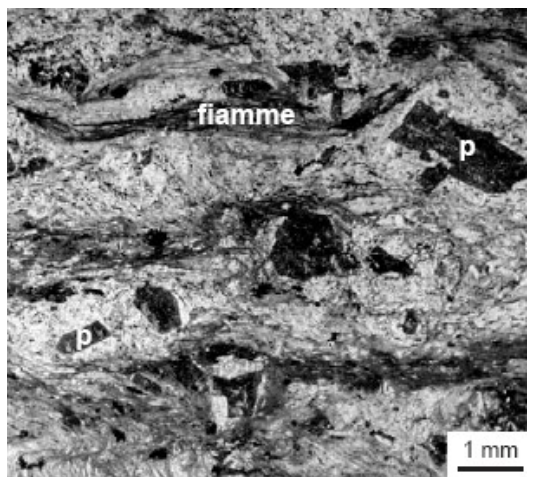
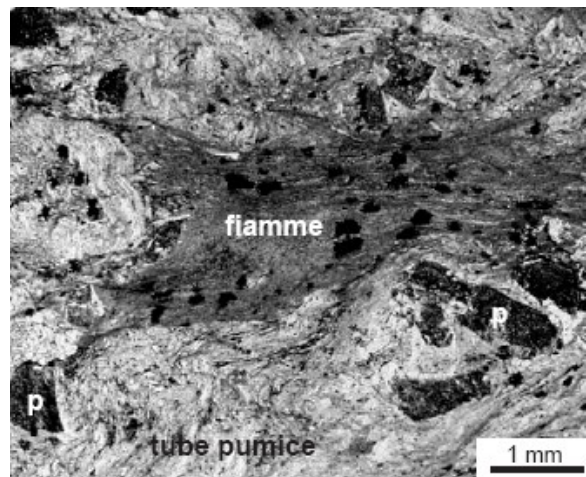


- typické jsou **fiamme** jsou drobné úlomky vulkanického skla a pemzy protažené v důsledku spečení při usazení nebo plastickým tokem (připomínají čočky vulkanického skla)
- někdy jsou hojně krystalv. úlomky pemzy nebo litické klasty



Welded ignimbrite, Aso, Japan -- Many ignimbrites are hard, densely welded glassy rocks. The pumice fragments that characterize unwelded ignimbrites, are not easily recognizable in welded varieties because they have been compacted into black glassy pancake shapes, known as fiamme. Note the fiamme in the photo shown here. A fiamme-bearing ignimbrite is such as this is said to have a eutaxitic texture. Courtesy of Peter Francis.

Flame-like chlorite+sericite fiamme define the eutaxitic foliation. Uncompacted tube pumice clasts have been preserved in the feldspar+quartz+sericite altered domains and plagioclase crystals (p) are dusted with hematite, carbonate and sericite. Dark chlorite+sericite fiamme with feathery terminations and uncompacted tube pumice clasts in pale feldspar+quartz+sericite. Plagioclase crystals (p) are dusted with hematite and sericite. C.C. Gifkins et al. / Journal of Volcanology and Geothermal Research 142 (2005)







Fiamme, Tajo La Pista



# Eutaxitický ignimbrit (*Eutaxitic ignimbrite*)

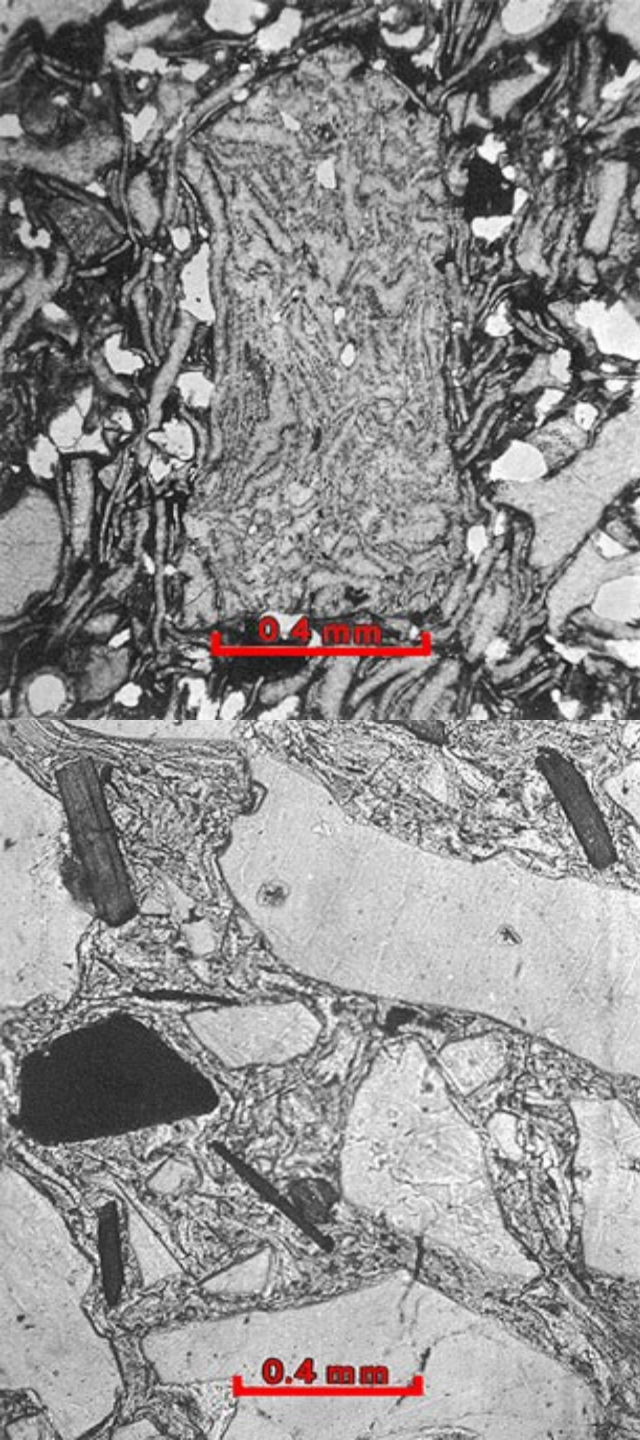
- eutaxitická struktura (Eutaxitic texture) páskovaná stavba s rozdílnou mineralogií a strukturou pásků
- klasty pemzy jsou spečeny více než popelová matrix
- protože popel tvořený drobnými úlomky skla se ochladil v erupčním sloupci rychleji než větší úlomky pemzy



Eutaxitický ignimbrit, Boaco (D140, D219)



# Tufy bohaté na litické součásti nebo krystalové tufy (*LITHIC- AND CRYSTAL-RICH TUFFS*)



- úlomky pemzy jsou v ignimbritech častější než litické úlomky a části krystalů
- litické fragmenty pochází přímo z magmatu které erupci způsobilo nebo pochází z okolních hornin (starší vulkanity z vulkanického kužele nebo materiál z podloží kužele)
- krystaly bývají většinou derivovány z magmatu které erupci způsobilo
- krystaly se koncentrují především v hlavní části pyroklastického proudu v důsledku vytržidění lehčích úlomků ska, bývají také součástí popelové vrstvy která ignimbrity provází
- fragmentace krystalů bývá považována za výsledek procesů během erupce
- avšak většina krystalu se rozpadne již během výstupu magmatu k povrchu
- většina krystalů obsahuje drobné fluidní inkluze, které se během dekomprese při výstupu magmatu roztrhnou a způsobí rozpad krystalu

A lithic fragment of older welded tuff, displaying marked compaction and distortion of shards, residing in a younger ignimbrite that is poorly welded.

Crystal-rich welded tuff from the 74,000 year-old Toba eruption in Sumatra, displaying compressed glass shards molded around the crystal fragments of quartz, feldspar, and biotite. [http://www.geology.sdsu.edu/how\\_volcanoes\\_work/](http://www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/)



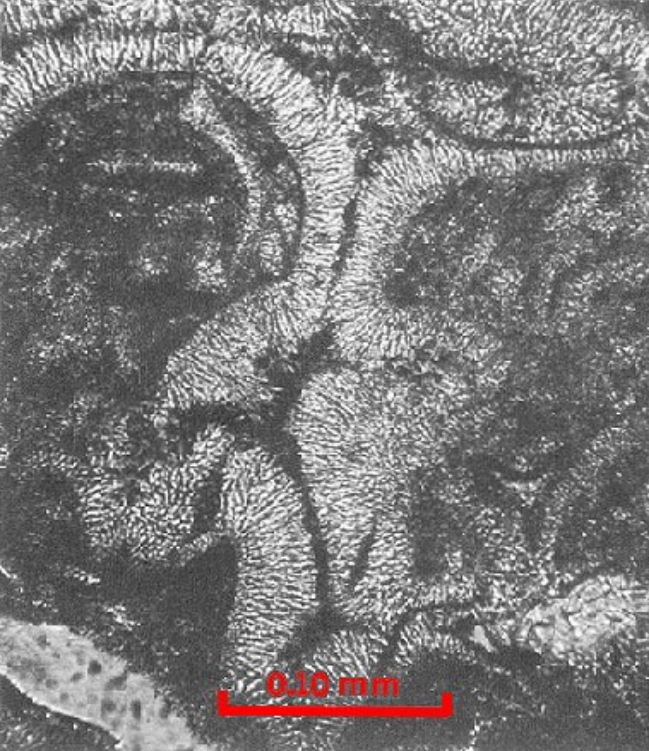
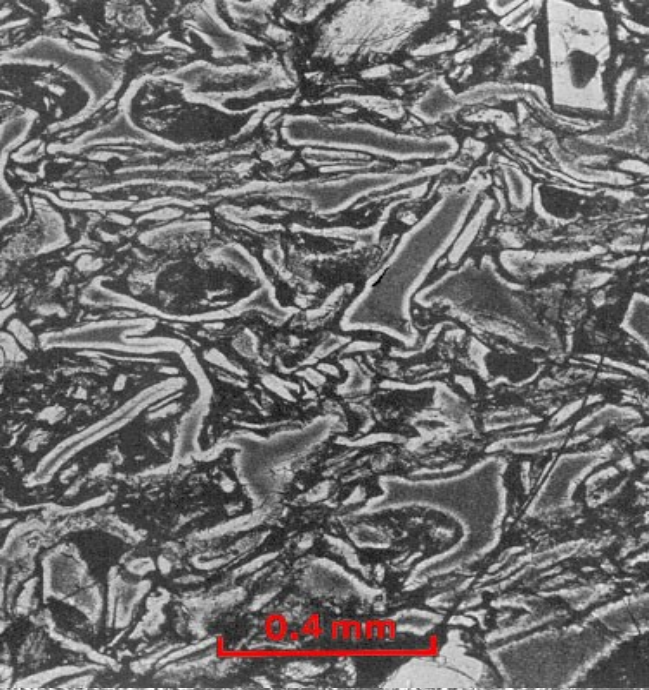


Ignimbrit (krystalový tuf), Boaco (D228)



# Devitrifikace, axiolitická struktura (*DEVITRIFICATION, AXIOLITIC TEXTURES*)

- Devitrifikace je proces ke kterému dochází až po usazení laharu (postdepoziční)
- Dochází ke krystalizaci mikrolitů na okrajích úlomků skla i uvnitř skla
- Vznikají drobné jehlice krystobalitu a alkalického živce
- K tomuto procesu dochází hlavně v intenzivně spečených ignimbritech kde je skla nejvíce
- Často jsou v takových případech úlomky skla lemovány jehlicovitými produkty devitrifikace které rosto směrem do středu úlomku = axiolitická struktura (axiolitic texture)

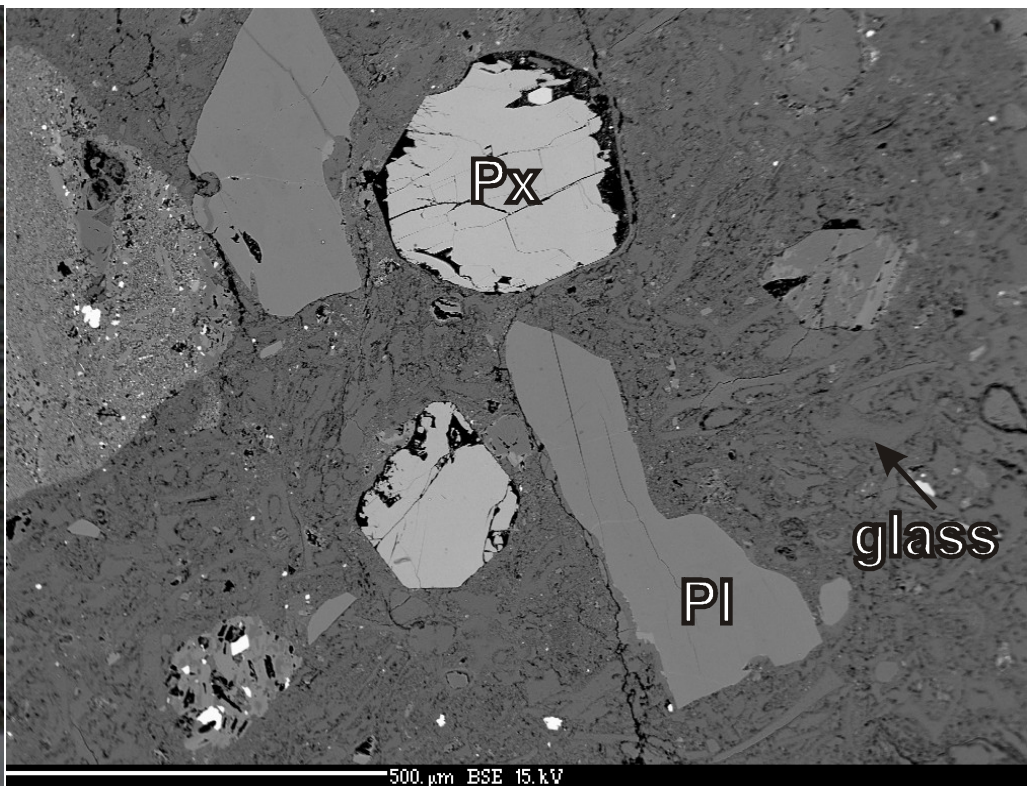
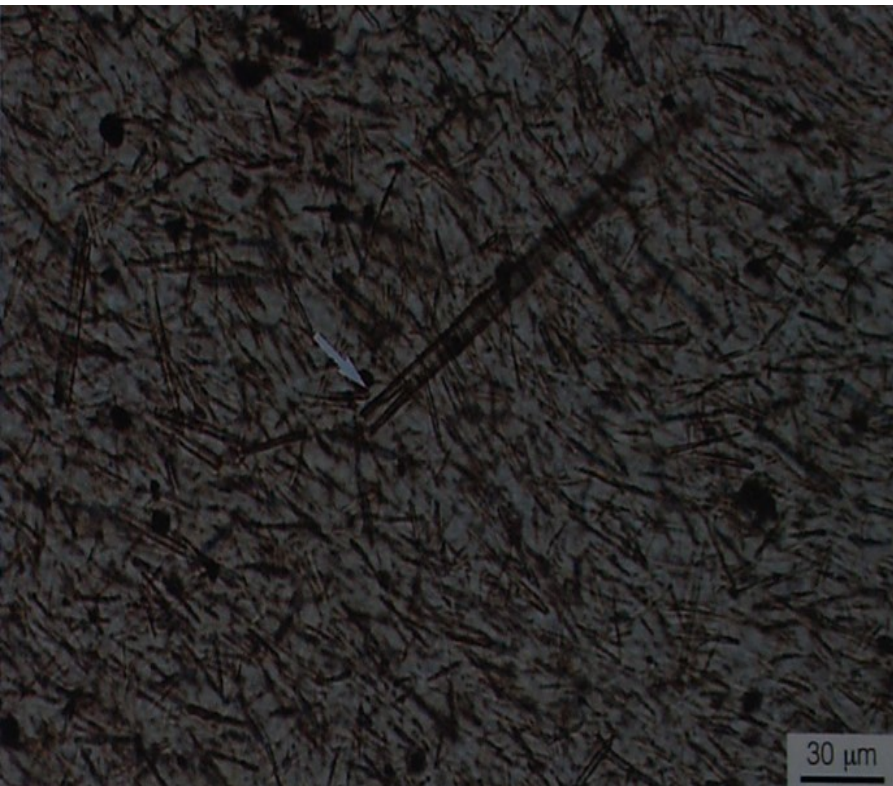


The narrow, white margins on these glass shards mark incipient devitrification. The interior of the shards remain glassy.

Highly magnified view (note scale) shows axiolitic texture of feldspar and cristobalite along the walls of a large shard representing the walls of several bubbles.  
fragments.[http://www.geology.sdsu.edu/how\\_volcanoes\\_work/](http://www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/)



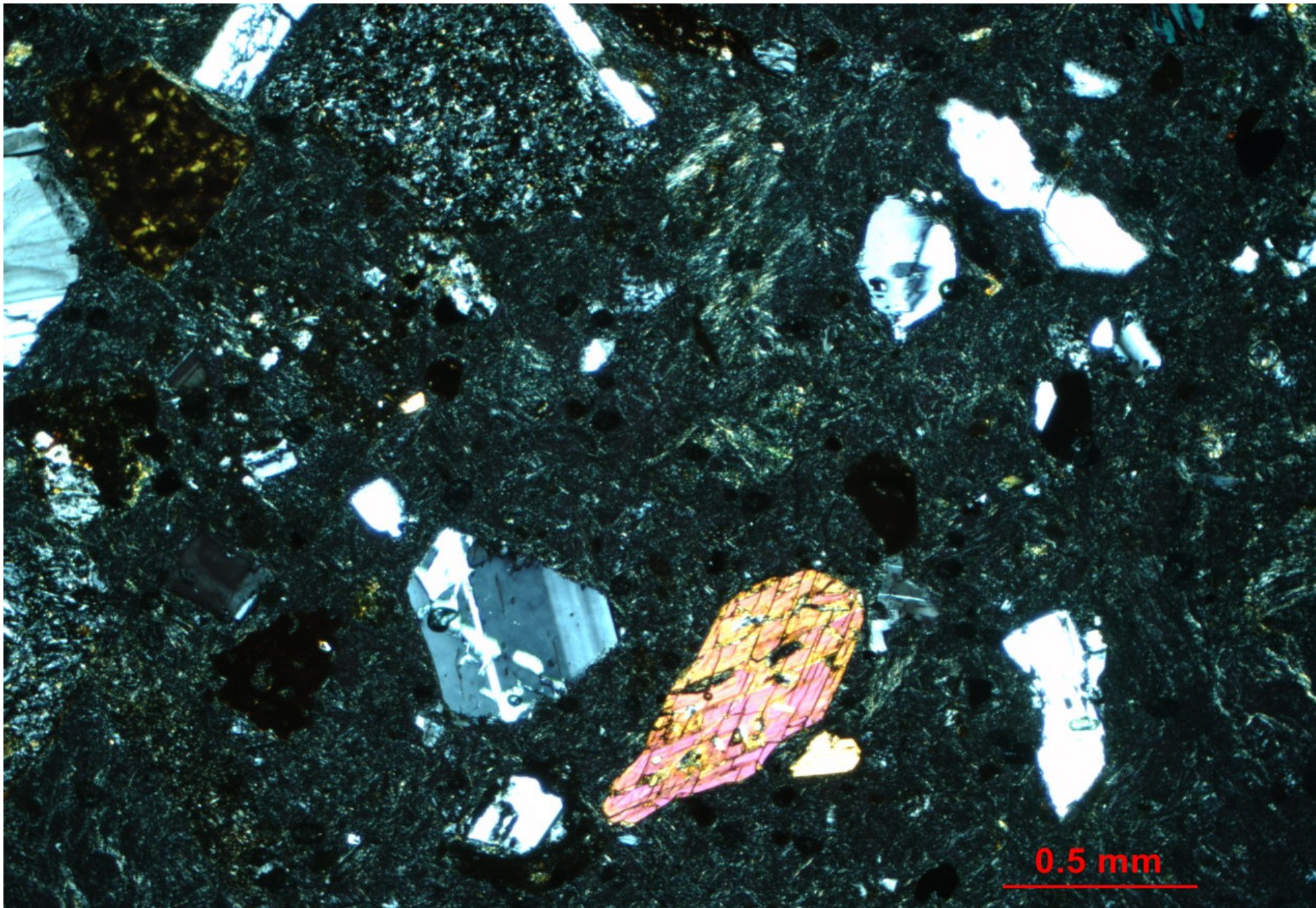
- devitrifikace odskelnění sopečného skla, láv nebo pyroklastických hornin
- v první fázi se objevují mikroskopické embryonální krystalky, tzv. krystality
- jsou různého tvaru (vlasovité, tyčinkovité, kulovité atd. ) a nejrůznějších názvů; někdy se shlukují v radiálně paprscité agregáty (sférolity)
- jindy se struktura horniny stává viz perlitickou
- devitrifikací lze dospět k úplné rekrystalizaci skla. S intenzívním odskelněním se setkáváme u paleovulkanitů



Sklo s mikrolity obsahuje zakončení vlasťovšího ocasu

Dacitový ignimbrít typ Boaco s litickými úlomky dacitů a krystaly plagioklasu a pyroxenu (D0273), úlomky skála jsou postiženy devitrifikací BSE snímek.

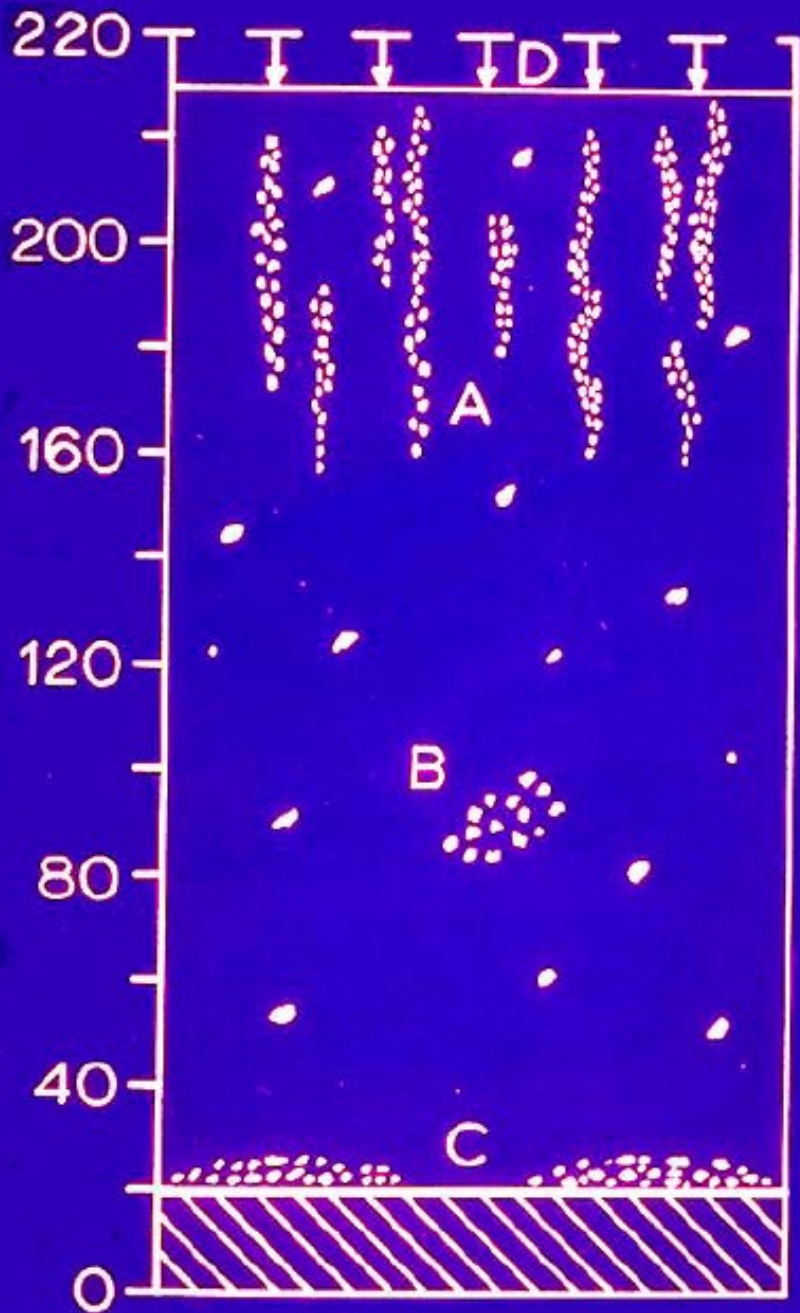




Dacitový ignimbrit typ Boaco s litickými úlomky dacitů a krystaly plagioklasu, amfibolu a pyroxenu (D0273), skřížené nikoly.



# Gas Pipe





# Freatomagmatické exploze

- Apojo - kaldera zaplavená vodou





- NO WATER  
Magmatic Fallout

- LITTLE WATER  
 $R_m < 0.5$

Transport in Highly Inflated,  
Superheated Steam Surges

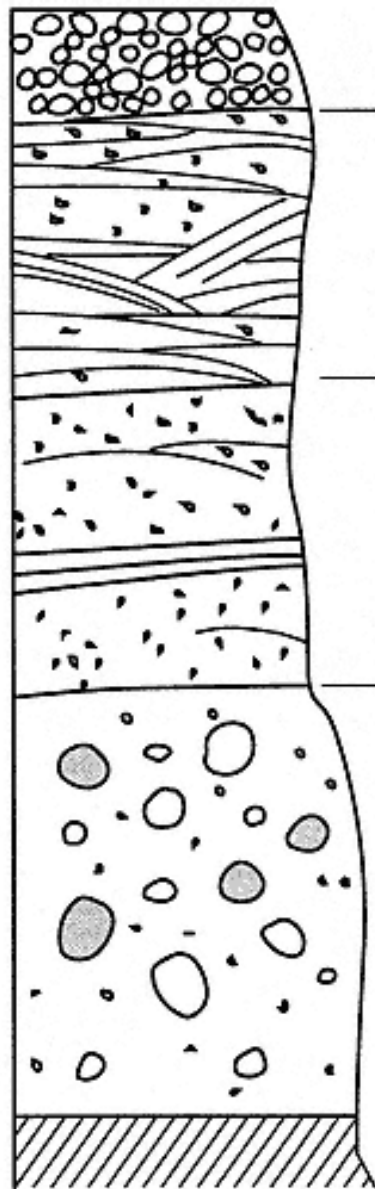
- MODERATE WATER  
 $R_m = 0.5 - 1.0$

Transport in Poorly Inflated  
Wet-Steam Surges

- ABUNDANT WATER  
 $R_m > 1.0$

Transport in a Slurry of  
Water and Mud

maar-tuff ring  
structures



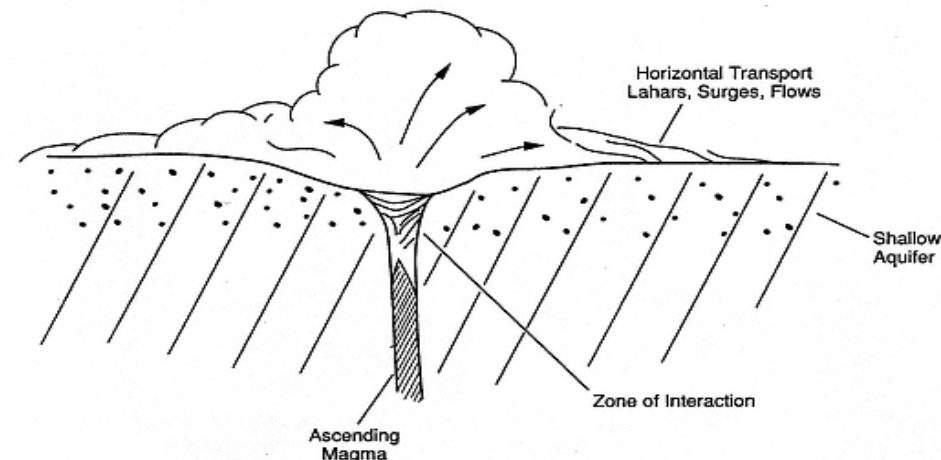
MAGMATIC FALL  
No Lithic Clasts

"HOT" AND "DRY" SURGES  
Abundant Lithic Clasts

"COLD" AND "WET" SURGES  
Few Lithic Clasts

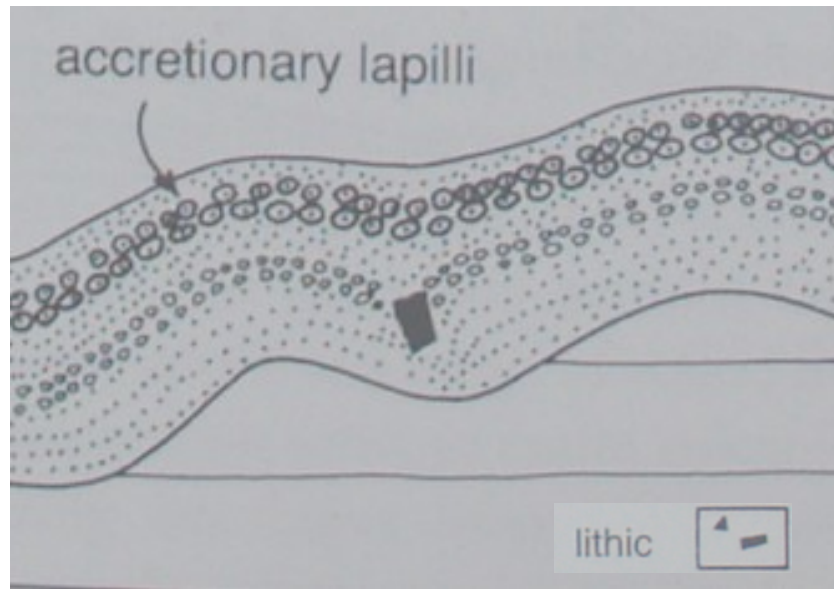
LAHAR  
Lithic Clasts  
Magmatic  
Older Lava  
Shallow Sedimentary

- Idealizovaný řez přes sedimentární profil vzniklý mělkou hydromagmatickou explozí (Barberi, 1985)
- Když dojde k erupci magmatu v mělkém vodonosném horizontu (aquifer), je voda rychle vyčerpána a erupce nabude magmatický charakter
- Profil indikuje pokles zastoupení vody při formování pyroklastického materiálu



- Celá sekvence končí pyroklastickým materiálem který vznikl čistě magmatickou erupcí (pemza, struska, nebo láva)

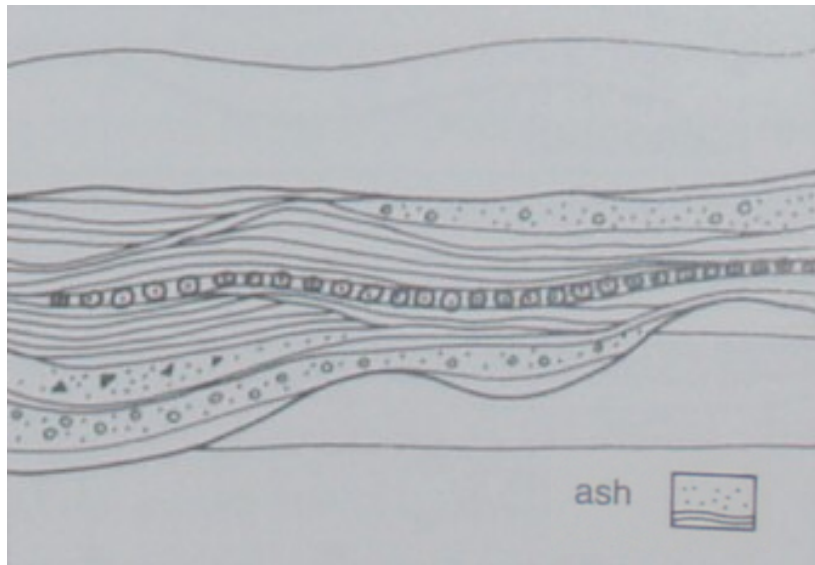




## Freatomagmatické exploze

- Hojné blokové a rozpukané úlomky skla
- Pemzové, struskové a jiné klasty jsou blokové
- Běžné akreční lapily
- Obvykle nespečené
- Převažují popel a jemné lapily

## Freatické až freatomagmatické napadávky



## Freatické exploze

- Obsahují hojné litické a hydrotermálně alterované klasty
- Běžné akreční lapily
- Malý objem ( $\ll 1 \text{ km}^3$ ) a malý rozsah do 2 km od zdroje)
- Hlavně napadávky a surge uloženiiny
- nespečené

## Sedimenty pyroklastických vln

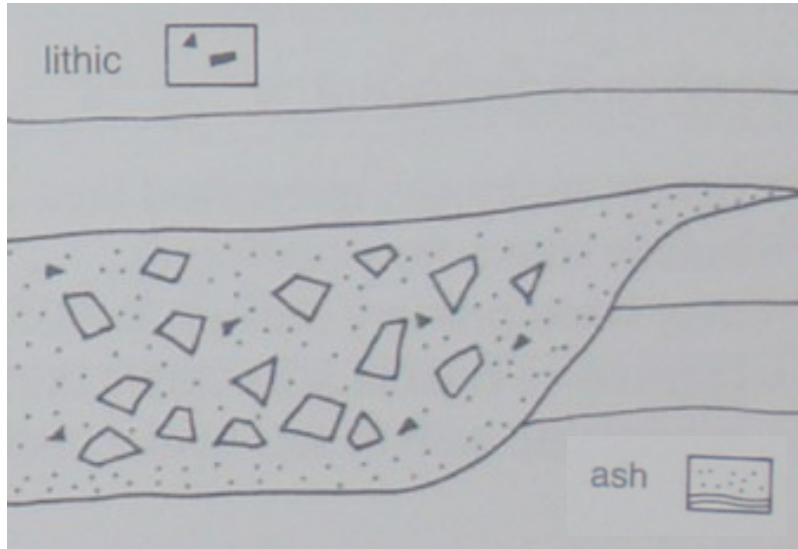




Popelová vrstva provázející ignimbrity s akrečními lapilami, Boaco (D228)

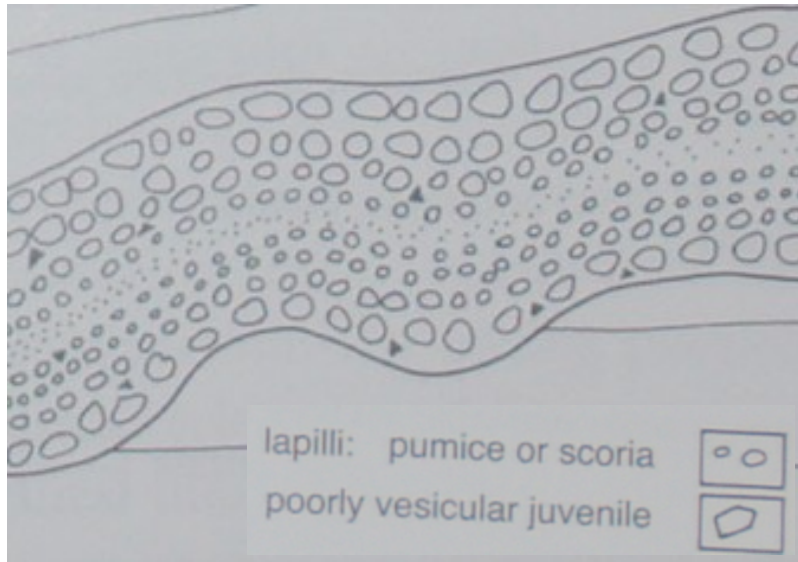


# Sedimenty z explozivních magmatických a freatomagmatických erupcí



- složené z krystalů, pemzy, strusky, méně pórovitých klastů, litických fragmentů
- horniny jsou profyrické nebo neporfyrické
- hojné fragmenty krystalů
- litické klasty vzácné nebo hojné

Pyroklastický proud (*block and ash* nebo *scoria and ash*)



## Magmatická exploze

- hojné úlomky sklovitých lemů pórů v matrix
- klasty pemzy a strusky ve tvaru tenkých platů, čoček nebo bloků
- akreční lapily
- spečené nebo nespečené

Nespečené napadávký (*pumice or scoria fall deposits*)





Freatomagmatické sedimenty pyroklastické vlny (Nikaragua)



# Tuff Cone



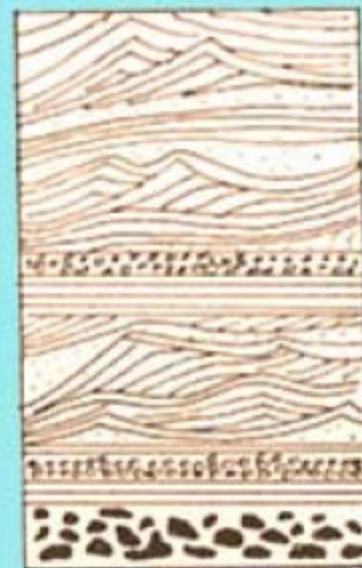
surge

massive tuff

dry tuff

breccia

# Tuff Ring

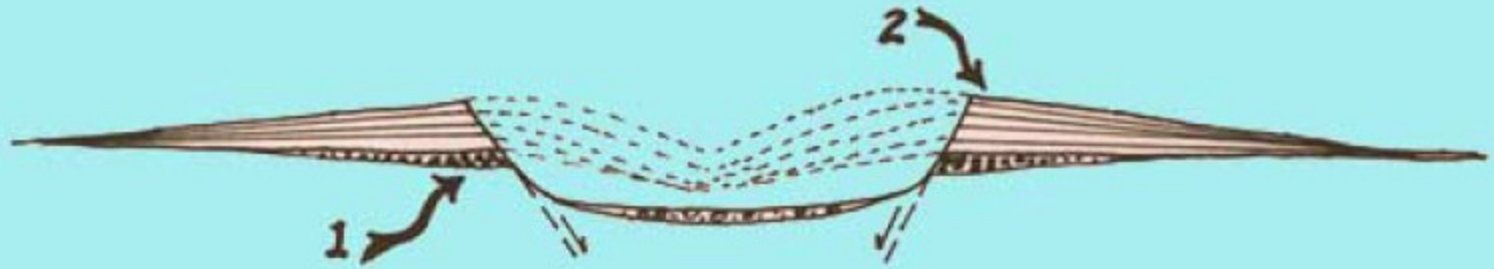


surge

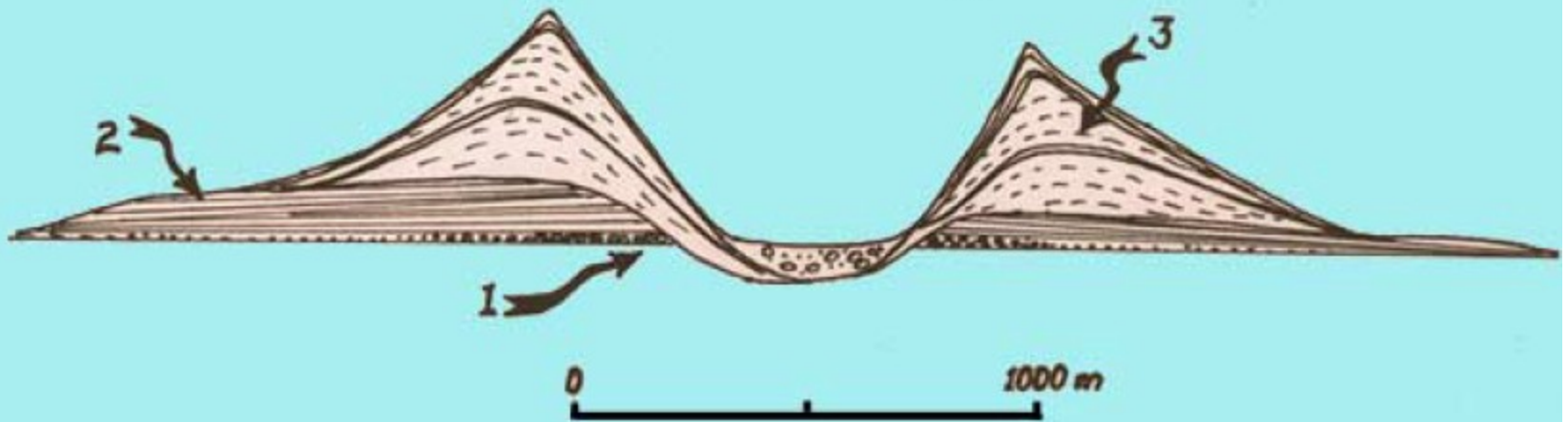
breccia



## Tuff Ring



## Tuff Cone





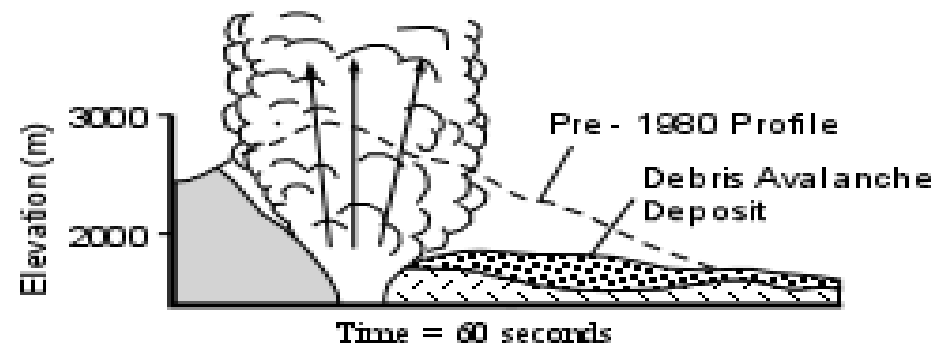
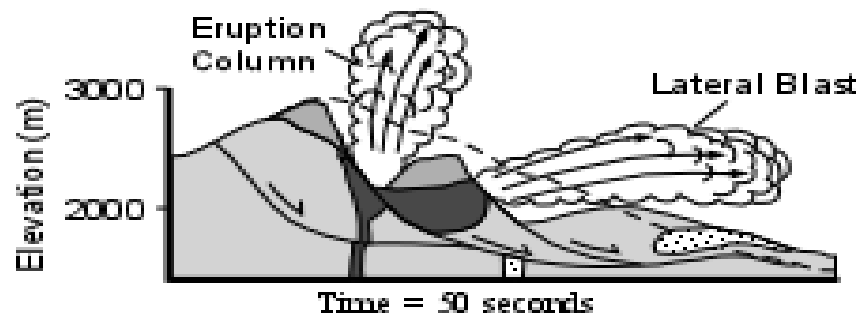
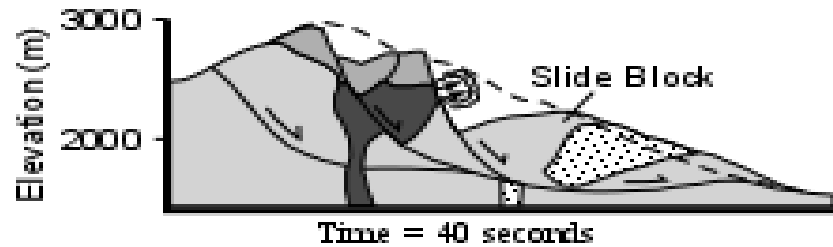
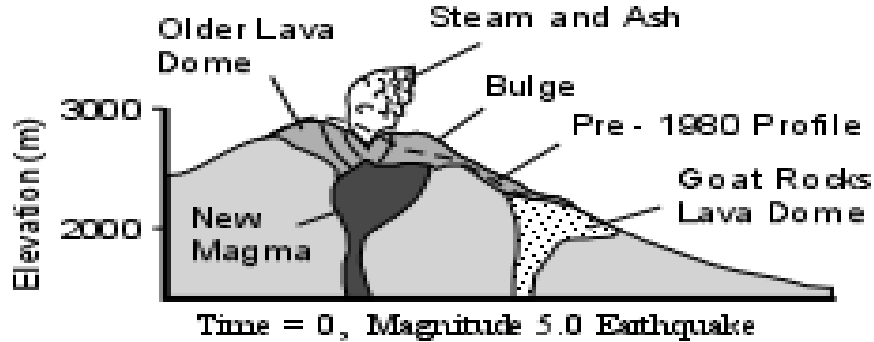
# Lahar (*Lahar*)

- název pochází z Indonésie a označuje směs horninových úlomků, bahna a vody
- často se pod tento název řadí bahnotoky a úlomkotoky (mudflows a debris flows)
- lahar (bahenní proud) a jeho uloženiny vzniklé tokem zvodněného sopečného popela (unášejícího i úlomky až velké bloky láv)
- nejčastěji vzniká na úbočí sopky a ohrožuje její předpolí



A small lahar triggered by rainfall rushes down the Nima II River near the town of El Palmar in Guatemala. The lahar developed on the slopes of Santiaguito volcano. **Photograph by J.N. Marso on 14 August 1989**

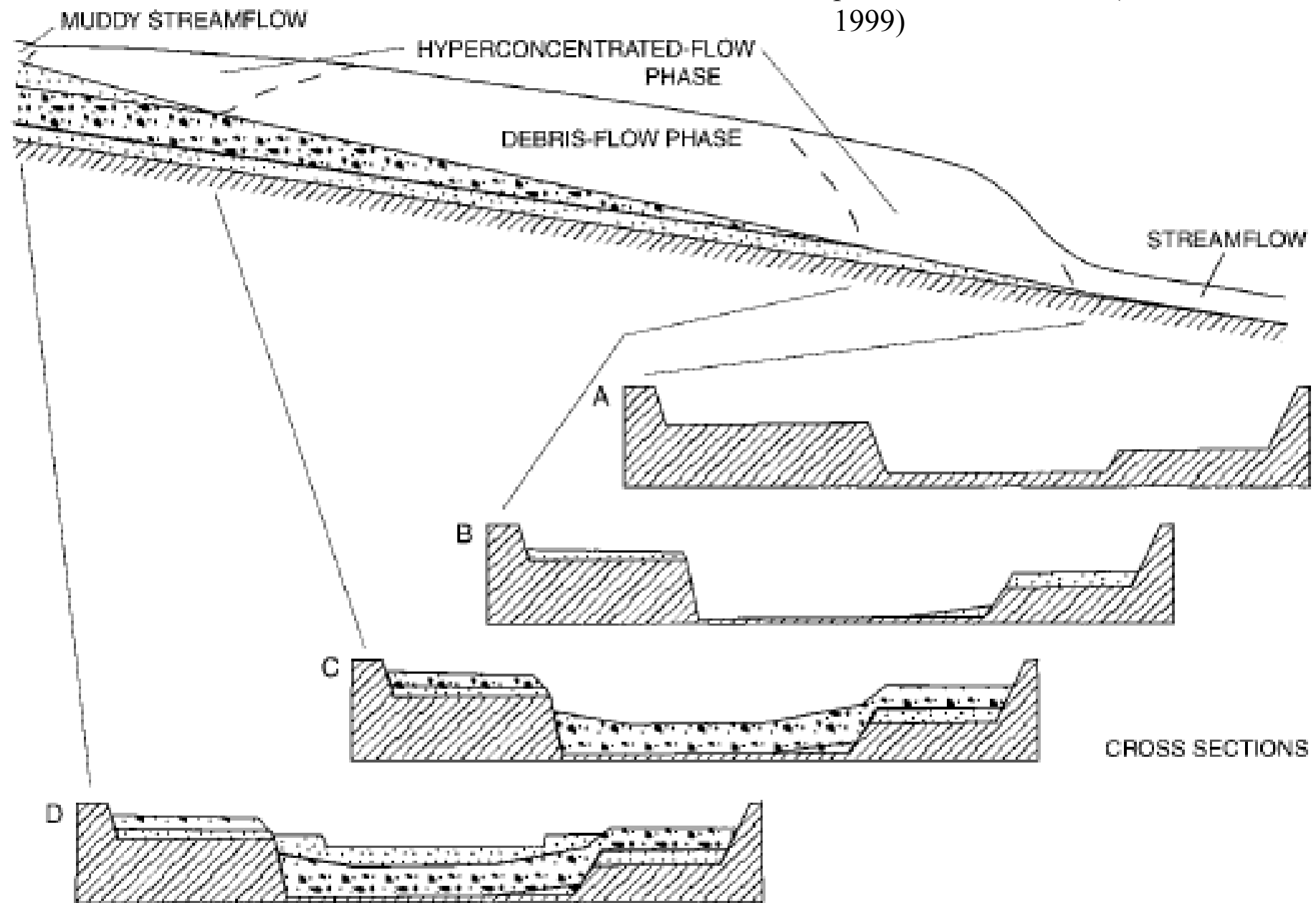




Landslide at Mount St. Helens volcano triggers explosive eruption on May 18, 1980



Schematický model laharu který protekl říčním údolím (Pierson a Scott 1999)



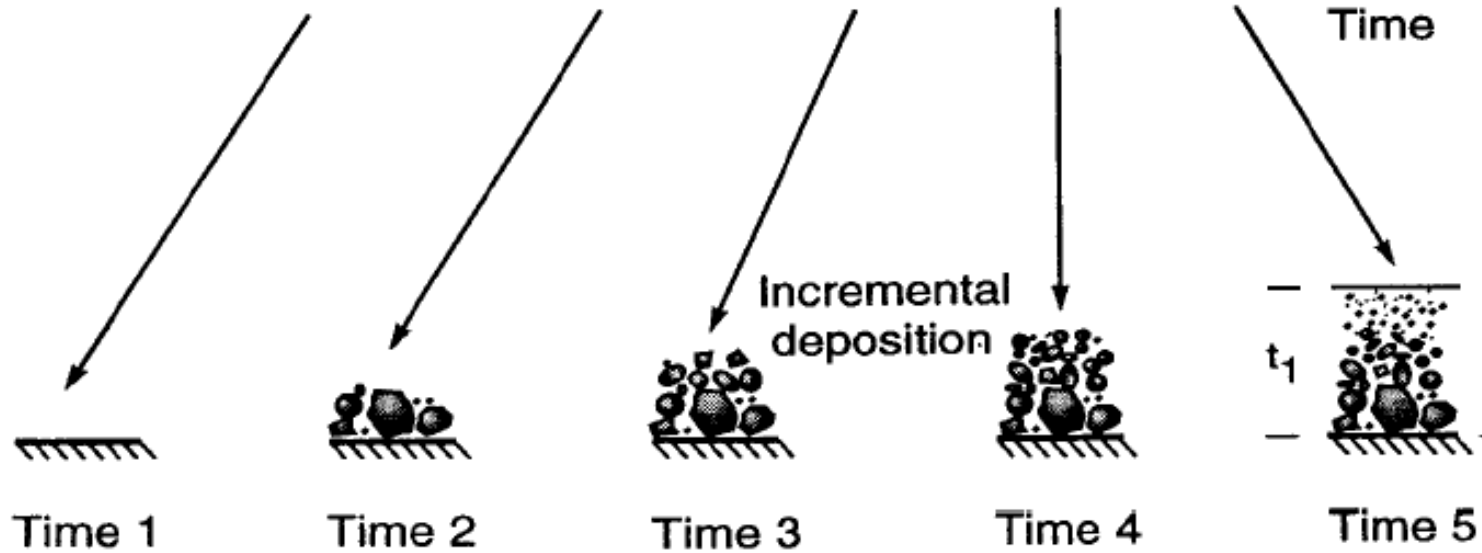
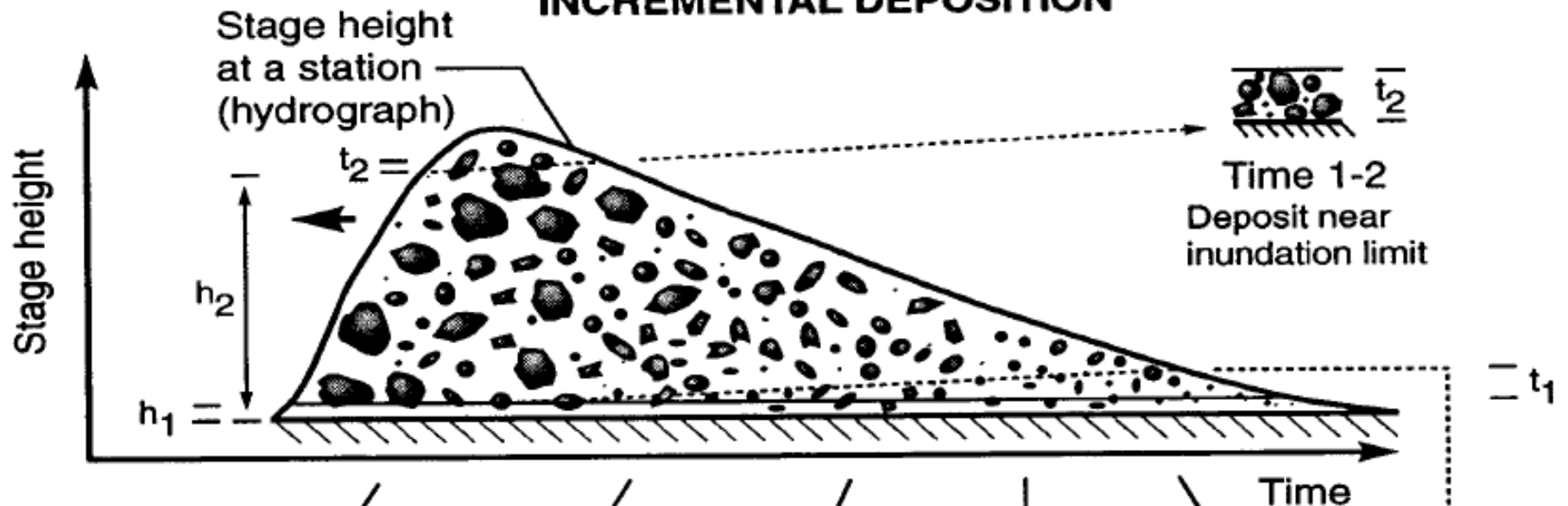




**Sedimenty lahuru (sopka St. Heleny)**



# NORMAL GRADING BY INCREMENTAL DEPOSITION



Schematic deposits from near the valley bottom (vertically exaggerated)

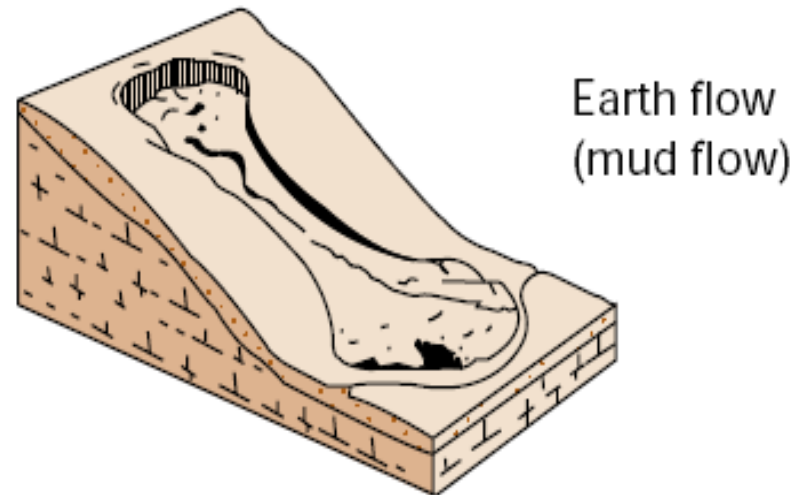
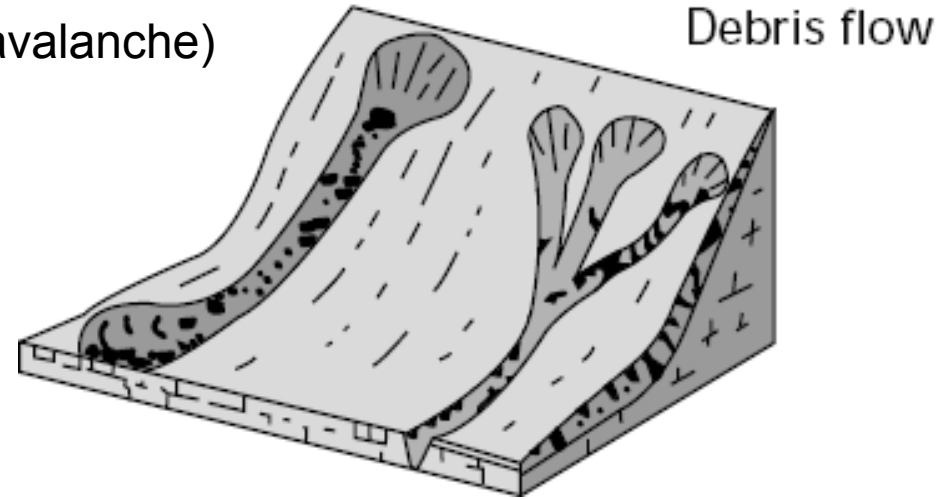
# Lahar a jeho následky sopka Mt. Pinatubo (zdroj USGS)

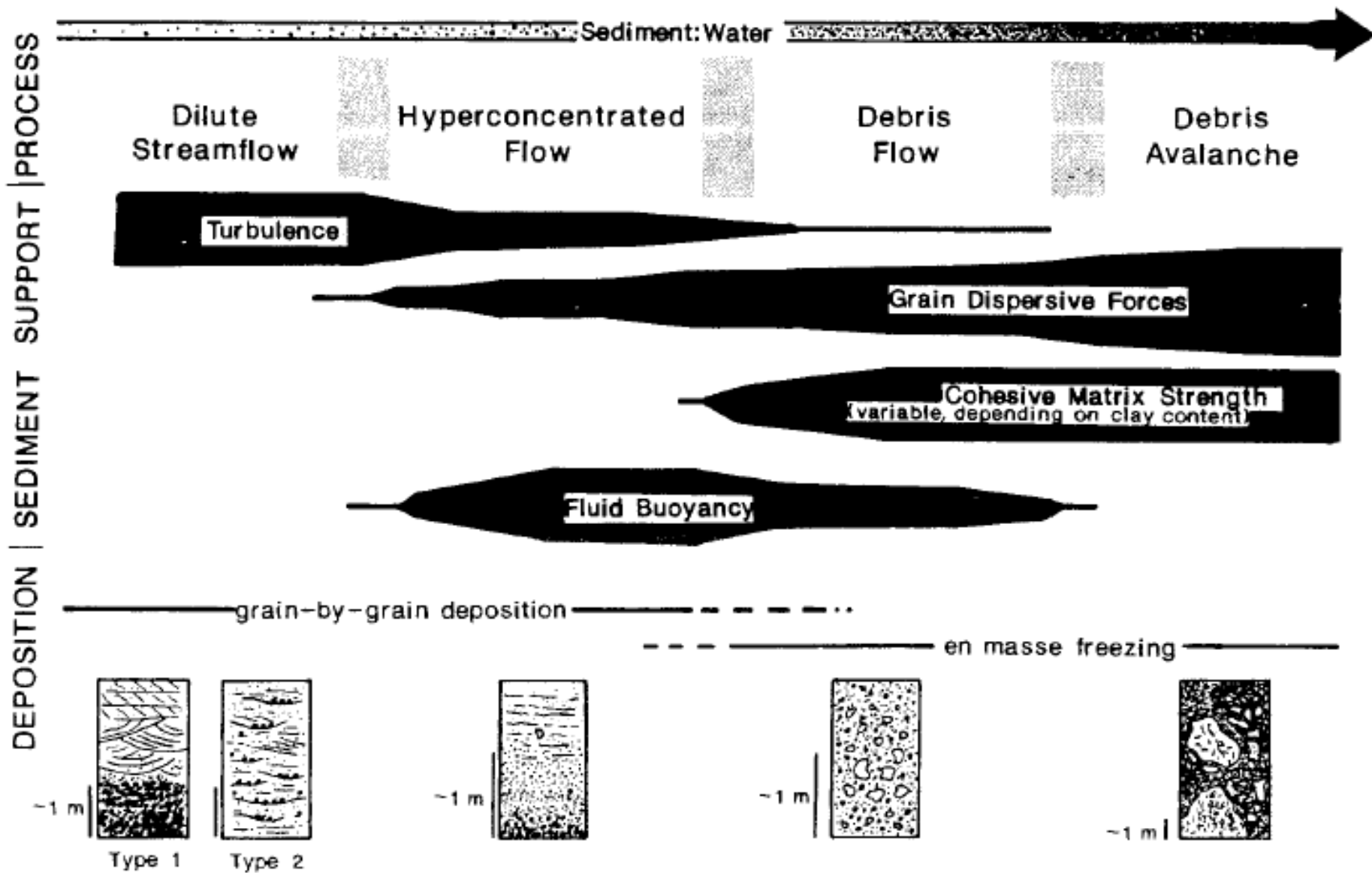




# Klasifikace laharů

- Úlomkotoky a laviny (Debris flow, debris avalanche)
- Nesoudržný lahar (Non-cohesive lahar)
- Soudržný lahar (Cohesive lahar)
- přívalový proud (Streamflow)
- Tok úlomků (Debris flow) tekoucí směs sedimentů a vody s  $>80$  hm. % pevné frakce v nebo  $>60$  objemovými %
- Vysoce koncentrovaný tok (Hyperconcentrated flow) obsahuje 20-60 hm. % pevné frakce nebo 40-80 objemových %
- Bahnotok (Mudflow)  $>50\%$  písku + prachu + jílu v klastickém podílu
- Soudržný úlomkový proud (Cohesive debris flow)  $>5\%$  jílu v klastickém podílu
- Nesoudržný úlomkový proud (Non-cohesive debris flows)  $<5\%$  jílu v klastickém podílu






Vztah mezi různými typy laharů a jejich sedimenty (SMITH a LOWE 1991) Charakter laharu se mění v závislosti na poměru mezi vodou a sedimentem: pokud převažuje voda jde o zředěný streamflow, hyperkoncentrovaný proud, úlomkotok, lavina úlomků. Sedimenty jsou nesený v důsledku turbulencí, vztlaku fluid (vznos), síle soudržnosti jílové matrix, disperzní síle zrn, Při sedimentaci sedimentují postupně nebo dojde k rychlému zamrznutí celého proudu



## Část lahárového proudu (vulkán Santa Lucia, Nikaragua)



Bazaltové polozaoblené klasty (5 - 15 cm) bazální matrix (popel a lapily).

Popel a lapily

Bazaltové polozaoblené klasty (1 - 5 cm) bazální matrix (popel a lapily).

Popel a lapily

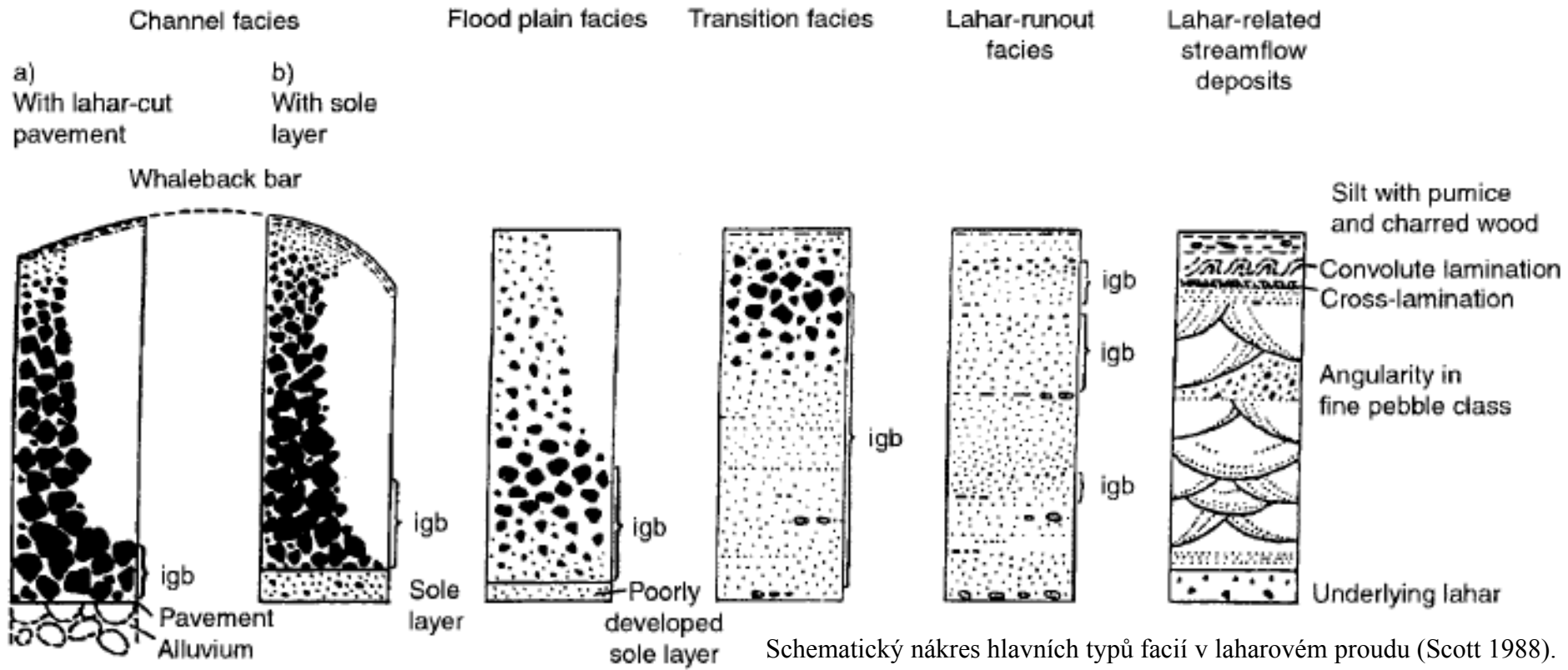
Pemzové ostrohranné zvětralé klasty (0,3 - 1 cm) bazální matrix (popel a lapily).

Popel a lapily lokálně izolované klasty až 8 cm velké

Pemzové ostrohranné zvětralé klasty (0,3 - 1 cm) bazální matrix (popel a lapily).

Bazaltové polozaoblené klasty (5 - 150 cm) bazální matrix (popel a lapily).



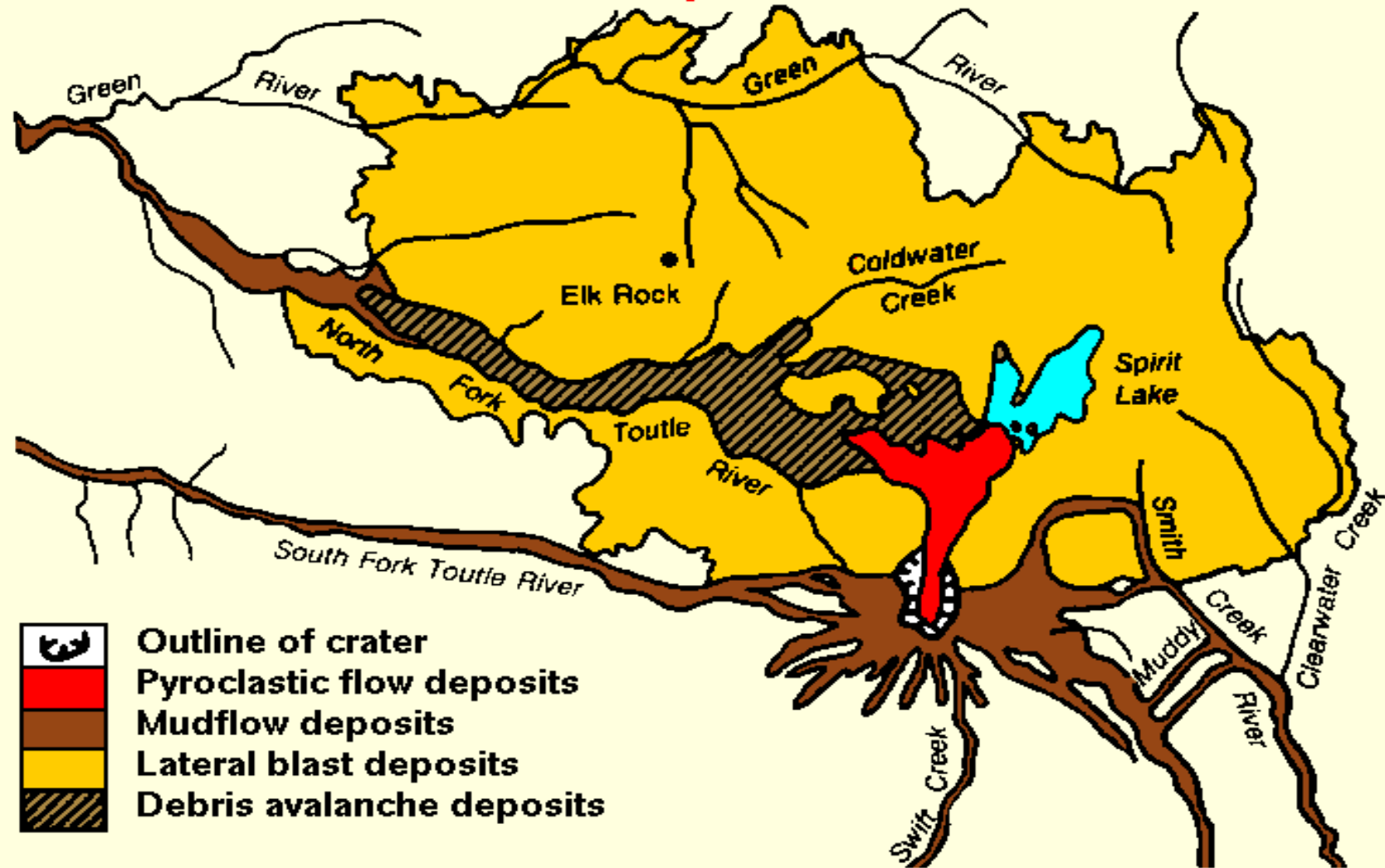


Lahar (vulkanická struktura Santa Lucia, Nikaragua)



# Ulomkolok a lavina (Debris avalanche)

Mount St. Helens May 18, 1980 Devastation

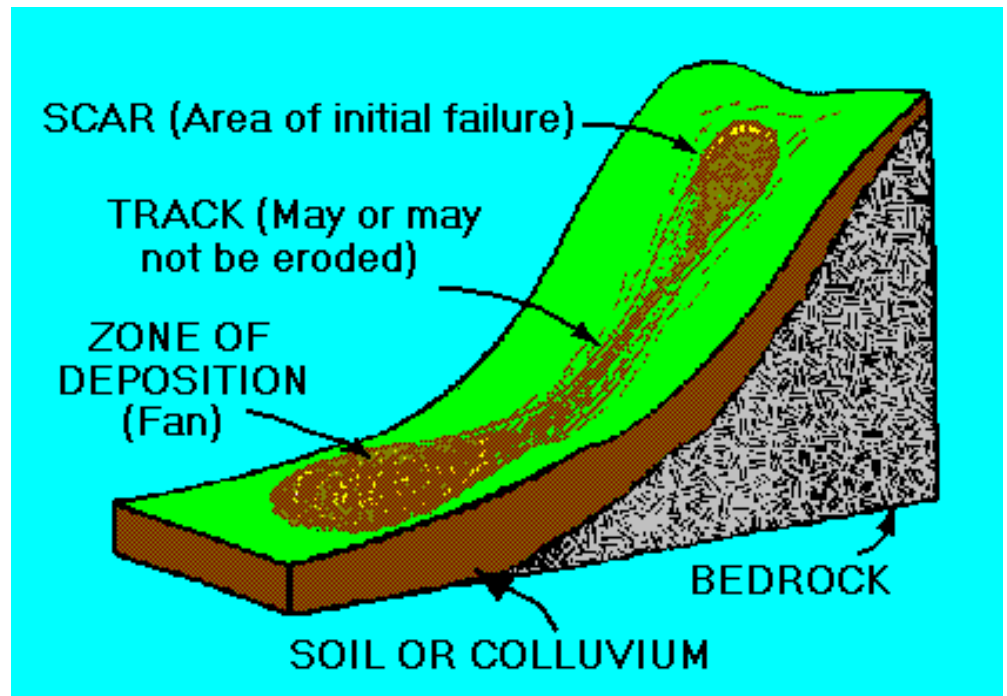


- Outline of crater
- Pyroclastic flow deposits
- Mudflow deposits
- Lateral blast deposits
- Debris avalanche deposits

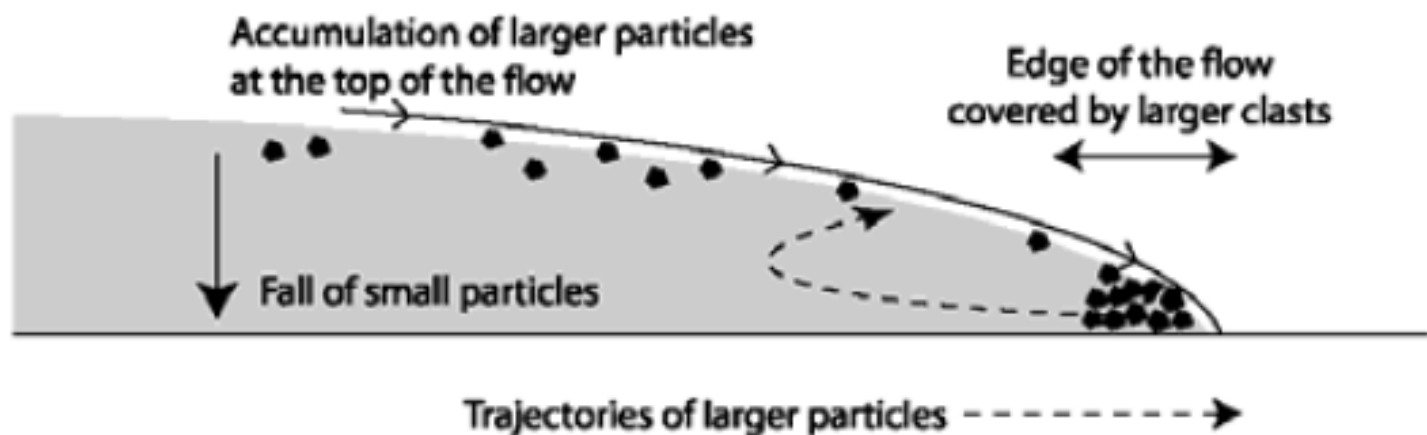
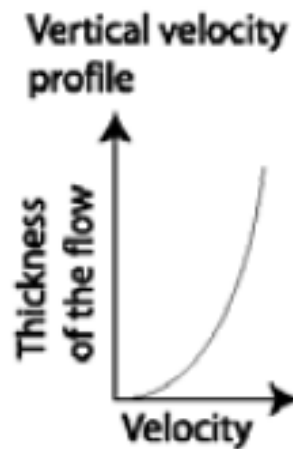


0 5 Miles

- rychlé (katastrofické) jejich rychlosti se pohybují řádově v  $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$
- po svahu se pohybuje směs úlomků hornin, popela a někdy i půdy
- tato hmota je promíšena s vodou nebo sněhem
- ideálním prostředím pro tyto svahové pohyby je sklon vrstev shodný se sklonem svahu
- vznikají například při gravitačním kolapsu vulkánu
- bývají generovány v důsledku zemětřesení, vulkanické erupce nebo prudkých dešťů
- často se pohybují vodními koryty
- mohou dosáhnout délky několika kilometrů
- pokud se transformují na lahary (vodou bohaté) mohou mít dosah až desítky kilometrů







**MASS MOVEMENTS ARE CLASSIFIED ACCORDING TO THE DOMINANT MATERIAL, WATER OR AIR CONTENT, AND VELOCITY OF THE MOVEMENT**

|                         |                  | Velocity →                               |   |  |
|-------------------------|------------------|--|---|--|
| Material                | Nature of motion | Slow<br>(1 cm/year)<br>Low water content | Moderate<br>(1 km/hr)<br>High water content | Fast<br>(5 km/hr or more)<br>High air content            |
| Rock                    | Flow             |  |   | <p>Rock avalanche</p>                                    |
|                         | Slide or fall    |  |   | <p>Rockslide</p> <p>Rockfall</p>                         |
| Unconsolidated material | Flow             | <p>Earth creep</p>                       | <p>Earthflow</p>                            | <p>Debris flow</p>                                       |
|                         | Slide or fall    |  | <p>Mudflow</p>                              | <p>Slump</p> <p>Debris-slide</p> <p>Debris avalanche</p> |



# Vulkanické žíly

- většinou několik m mocné pronikají starší vulkanity nebo horniny v podloží vulkánu



Žíla bazaltů, pláž Transito, Nikaragua



- mohou způsobovat kontaktní metamorfózu ve svém okolí (jen malý dosah)



Okraj žíly bazaltů (slínovce), pláž Transito, Nikaragua





Okraj žíly bazaltů (slínovce), pláž Transito, Nikaragua





Kontakt žíly bazaltů a prachovců (perm), Oslavany





Dutiny na okraji žíly bazaltů, Oslavany