



VULKANIZMUS

Pro Jihočeský mineralogický klub
Jirka Zikeš
5. 3. 2018

Distribuce vulkanizmu



95% vulkánů se nachází na deskových rozhraních
Na souši je v současnosti asi 500 aktivních sopek

Magma

- Směs roztavené horniny, pevných částic a plynů
- Geneze magmatu – viz prezentace Granitické pegmatity II (2013)
- Kyselé magma (bohaté Si) má nižší teplotu ($\sim 900^{\circ}\text{C}$), vyšší viskozitu a vyšší obsah vody a plynů
- Bazické magma (bazaltové) má vyšší teplotu ($\sim 1200^{\circ}\text{C}$), nižší viskozitu (může se pohybovat rychlostí až 100 km/hod) a nižší obsahy vody a plynů

Příčiny vulkanizmu

- Horké magma s nižší hustotou ve spojení s tektonikou má tendenci stoupat vzhůru (může rozlámat nadložní horninu nebo se protavit)
- V chladnoucím magmatu krystalují živce a pyroxeny → dochází k saturaci plyny
- V menších hloubkách dochází k dekompresi a uvolnění dalších plynů
- Horké bazaltové magma může injektovat chladnější kyselé magma
- Může dojít ke styku s vodou

Tvary vulkanických kráterů

**Sopky
s centrálním
kráterem**



**Sopky
s lineárním
kráterem**



Typy erupcí a druhy sopek

- **Explozivní** erupce – maary, struskové prstence a kužele
- **Efuzivní** erupce – štítové sopky, výtlačné kupy (jehly), platóbazalty (trapy)
- **Kombinované** erupce – stratovulkány, kaldery
- Podmořské erupce
- Charakter erupce se může v průběhu času měnit

Maar

Kruhový útvar pod úrovní okolního terénu
Vzniká při hydromagmatických erupcích



Struskový kužel (scoria cone)

Kužel vytvořený materiálem vyvrženým při erupcích



Cerro Negro, Nicaragua

Štítová sopka

Plochý kužel ($< 10^\circ$) tvořený lávovými proudy s nízkou viskozitou



Mauna Loa, Hawai

Výtlačný kužel (jehla)

Strmý kužel tvořený vytlačeným viskózním magmatem



Platóbazalt (trap)

Rozsáhlé příkrovy bazaltových láv spjaté s lineárními erupcemi



Dekkanská plošina, Indie

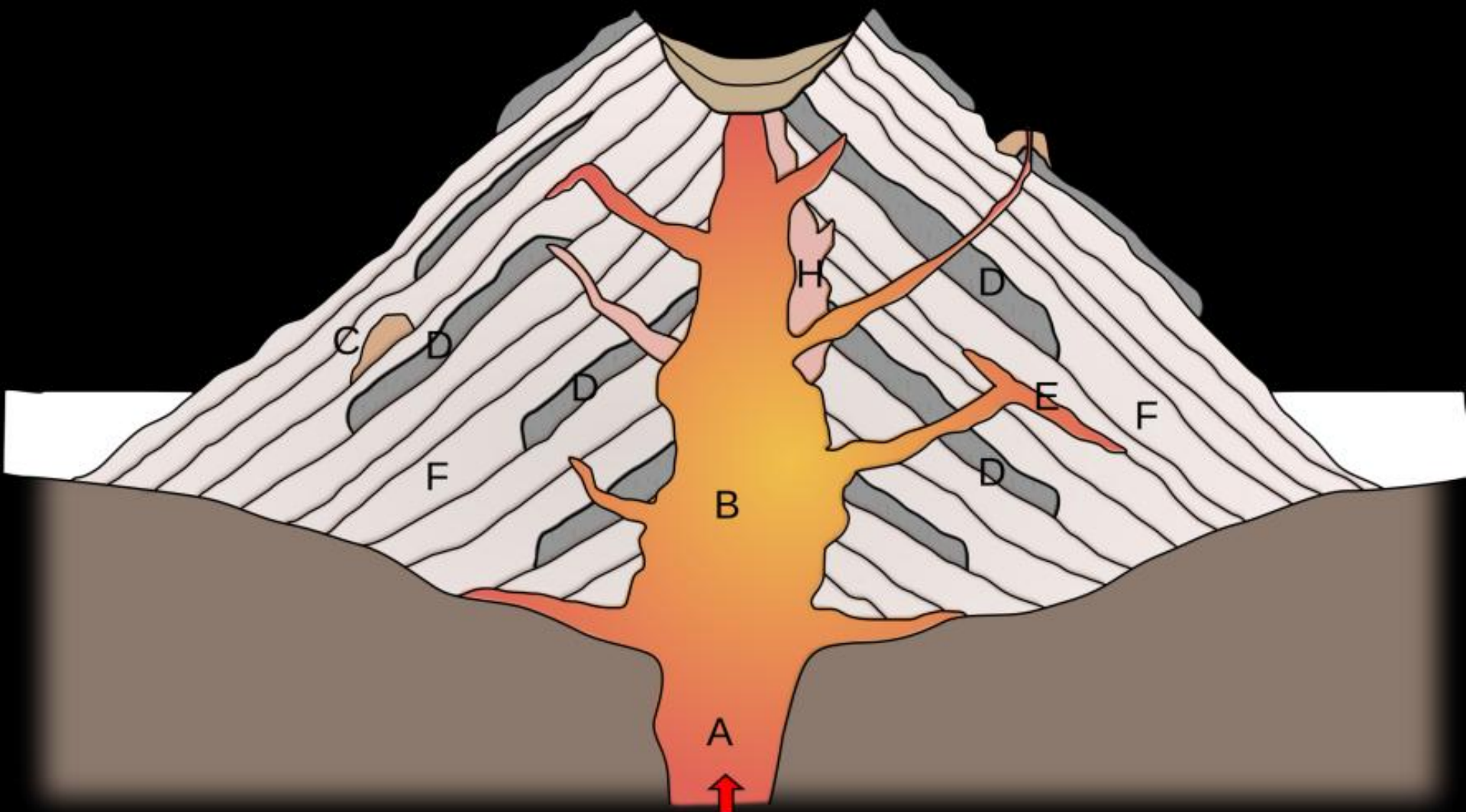
Stratovulkán



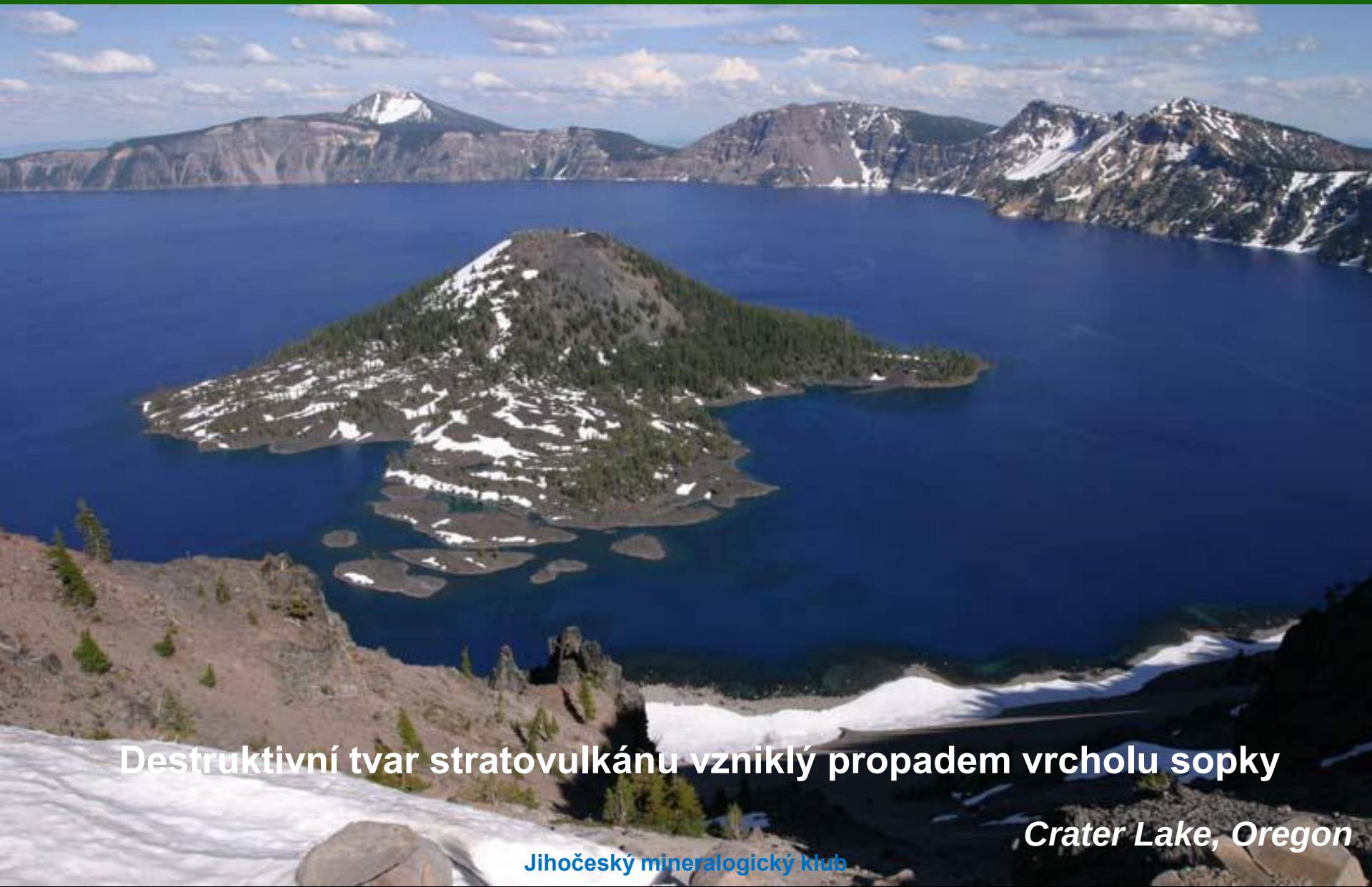
Kompozitní vulkány sestávající z poloh strusky a poloh lávy

Fuji, Japonsko

Stratovulkán



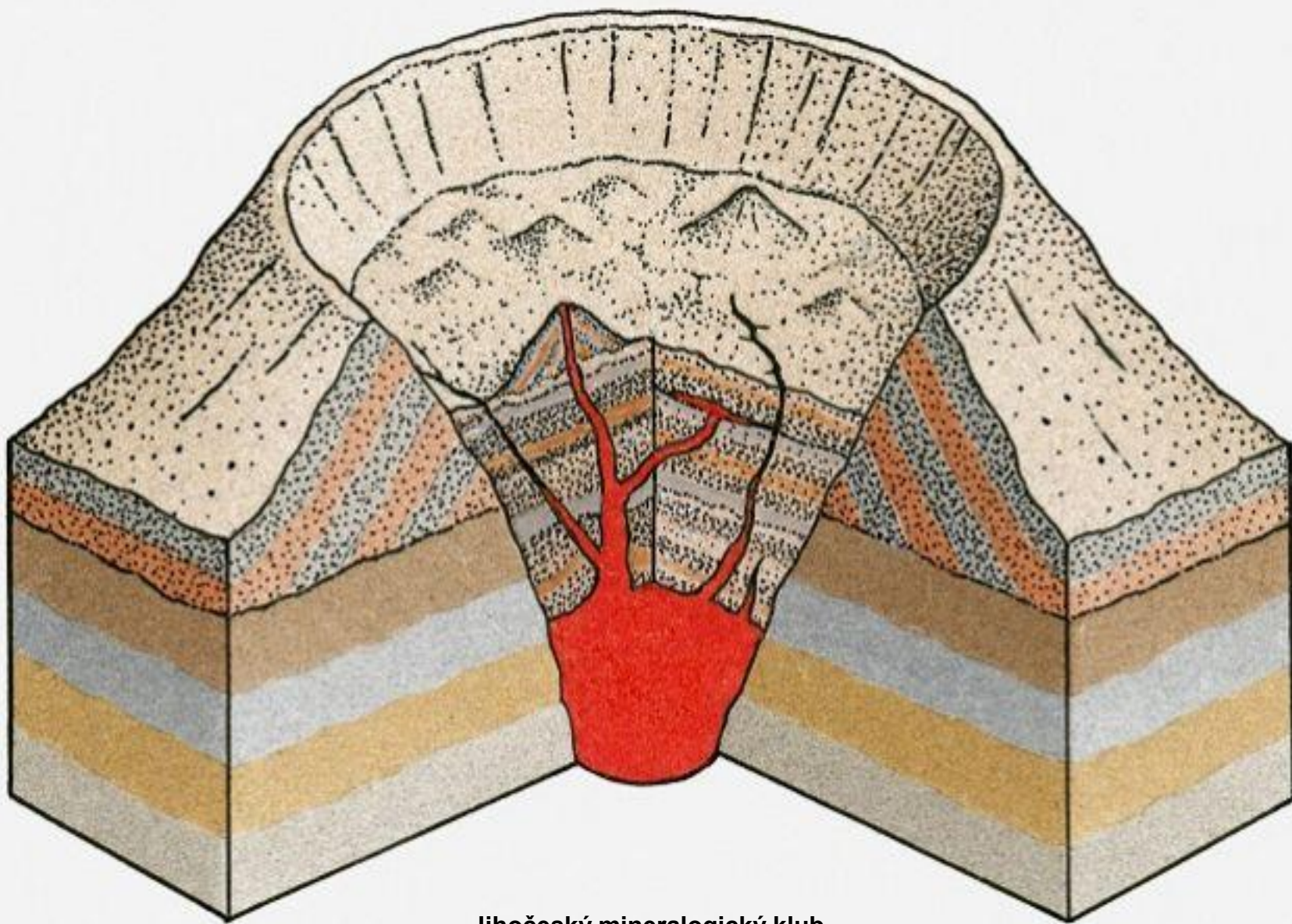
Kaldera



Destruktivní tvar stratovulkánu vzniklý propadem vrcholu sopky

Crater Lake, Oregon

Kaldera



Podmořská sopka (guyot)



Vulkán pod mořskou hladinou

Guyot, Tichý oceán

Sopky u nás

České středohoří
miocen - pliocen



Železná Hůrka
170 000 let



Malý a Velký Roudný
2,5 – 1,4 mil. let



Venušina sopka
1,8 mil. let

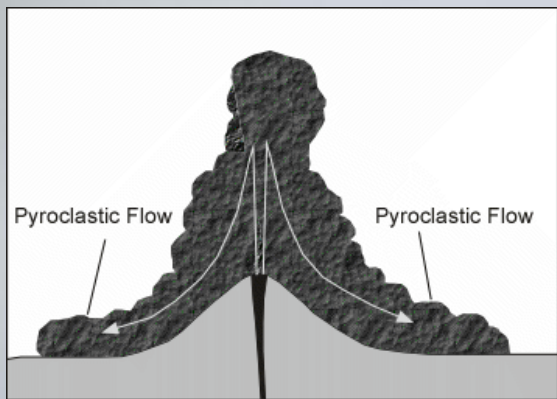


Produkty explozivních erupcí

- **Pyroklastický materiál** se souhrnně označuje jako **tefra**; je tvořen žhavými horninami, struskou, popelem a sopečným sklem
- Podle velikosti se tefra rozděluje na sopečné balvany (m), sopečné pumy (dm), lapili (cm) a sopečný popel (mm)
- **Pyroklastické proudy (PDC)** jsou gravitačně urychlené proudy tefry a žhavých plynů o teplotě až 1000°C a rychlosti 1000 km/hod
- **Sopečné sklo (obsidián)** – amorfní pevná látka (častější u kyselých magmat)
- **Pemza** je pórovité sopečné sklo
- **Ignimbrit** je nevytříděný sediment vzniklý z pyroklastických proudů
- **Tuf** je pyroklastická sedimentární hornina bez určení geneze
- **Tufit** je přepravený tuf s příměsí sedimentu



Produkty explozivních erupcí



Produkty efuzivních erupcí



Pahoehoe láva



Aa láva



Bloková láva



Polštářová láva

Produkty efuzivních erupcí

Polštářová láva - Straník u Nového Jičína



Produkty efuzivních erupcí



Polštářová láva - Čertova skála u Berouna

Jak se měří síla erupce

- **Volcanic Explosivity Index (VEI)**
- **Hodnotí se:**
 - **Intenzita** – rychlost produkce magmatu
 - **Magnituda** – celkový objem vyvrženého materiálu
 - **Index explozivity** – poměr pyroklastů k celkovému vulkanickému materiálu
 - **Rozsah** – velikost oblasti zasažené pyroklasty
- **Stupnice VEI je logaritmická v rozsahu 0 – 8**
- **Od ordoviku do dnešních dnů je známo 47 erupcí s indexem 8**
- **Četnost erupcí s indexem 8 je asi jedenkrát za 10 000 let; poslední taková erupce byla před 26 500 lety – Lake Taupo na Novém Zélandu**
- **Od začátku letopočtu pouze erupce Tambory dosáhla indexu 7**



Charakter erupcí

Havajská erupce	Strombolská erupce	Vulkánská erupce	Peléjská erupce	Pliniovska erupce
				
Tekutá bazaltová láva vytéká k kráteru klidně; produkce pyroklastik chybí; lávová jezera, fontány (VEI 0)	Pravidelné menší erupce bazické až kyselé lávy, která dopadá na povrch jako struska (scoria) (VEI 1-2)	Krátkodobé erupce viskózního kyselého magmatu, který ucpává jícen; při proražení dochází k silnějšímu výbuchu; produkce lávy jen zřídka (VEI 3)	Vysoce viskózní magma ucpává jícen a vytváří dómy; při explozi dochází k produkci pyroklastických proudů (VEI 4-5)	Velmi explozivní kyselé magma produkuje velké množství pyroklastického materiálu; velmi silné erupce; plynný mrak může sahat až do výšky až 50 km
K freatické nebo freatomagmatické erupci dochází při styku magmatu s vodou				

Doprovodné jevy

- **Fumaroly** – výrony horkých par a plynů o teplotách $\sim 200 - 800^{\circ}\text{C}$
- **Solfatary** – výrony plynů o teplotě nižší než 200°C
- **Mofety** – výrony CO_2 o teplotě $< 100^{\circ}\text{C}$
- **Gejzíry** – pravidelné přírodní vývěry horké meteorické vody a páry
- **Lahary** – vulkanický bahenní proud (bahnotok) vznikající při intenzivních lijácích během erupce nebo roztáním velkého množství ledu a sněhu při styku s magmatem



Doprovodné jevy

Rezervace Soos u Františkových Lázní





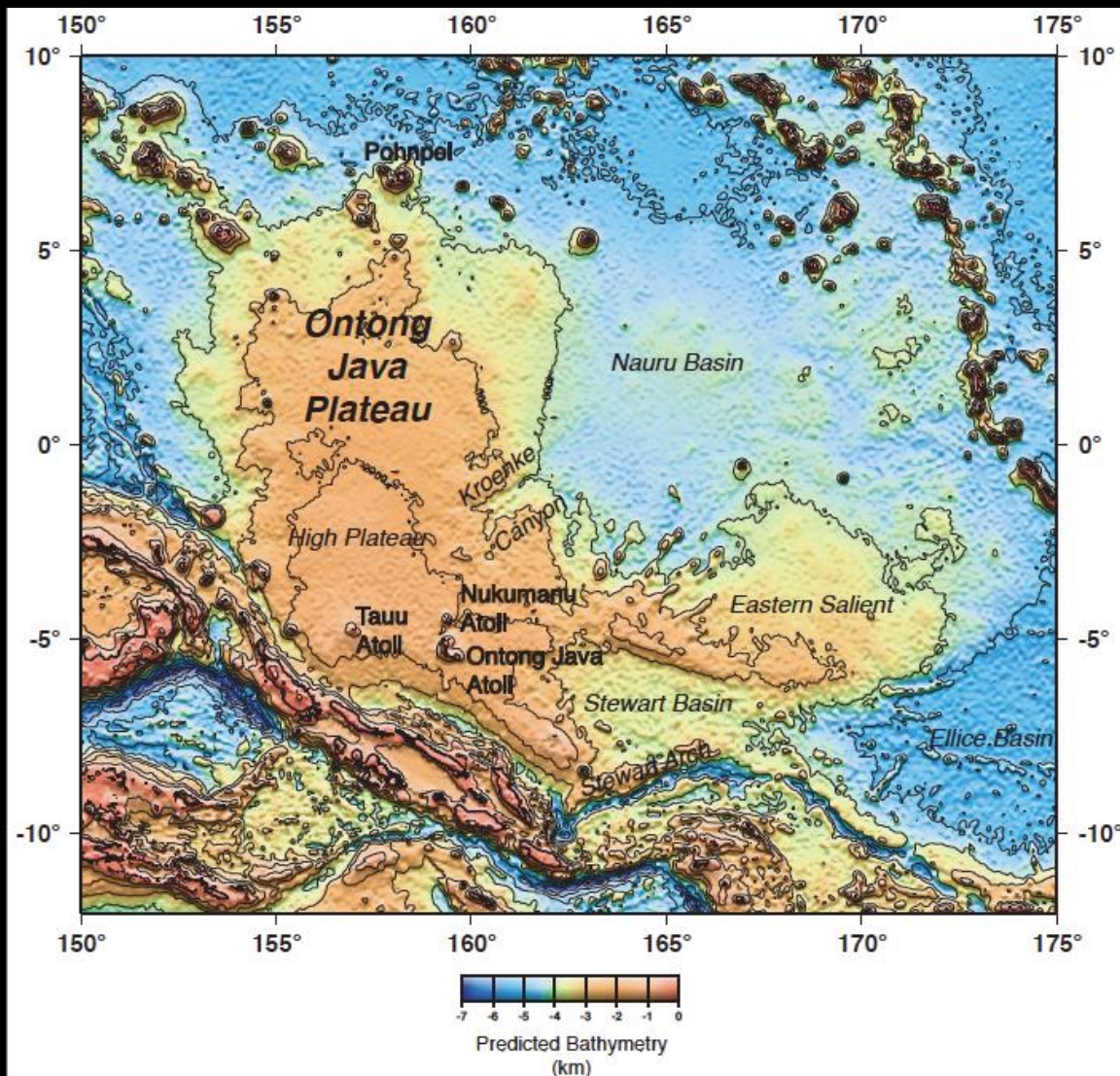
Největší sopečné katastrofy

Sibiřské trapy, Rusko

- Jedna z největších vulkanických struktur na Zemi vzniklá před asi 250 mil. let, vázaná na horkou skvrnu
- Plocha asi 2 mil. km² (původně asi 7 mil. km²), objem až 4 mil. km³
- Dáváno do souvislosti s "Velkým vymíráním" na hranici P-T



Plošina Ontong Java, jz. Pacifik



- Největší známá vulkanická struktura vzniklá před asi 120 mil. let
- Pokrývá plochu asi 1,5 mil. km² a reprezentuje objem vyvrženého magmatu až 80 mil. km³

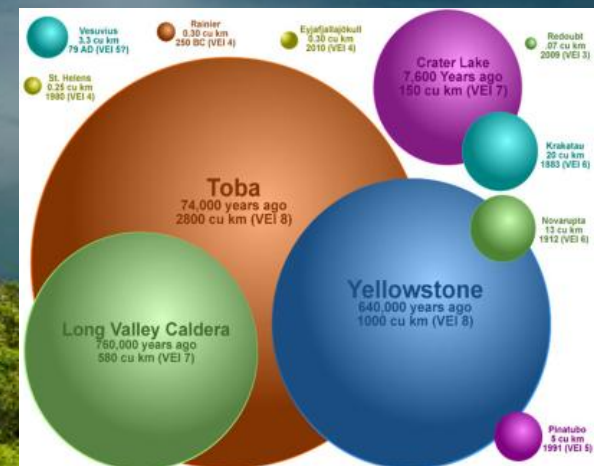
Dekkanská plošina, Indie

- Rozsáhlá vulkanická struktura vzniklá před 66,2 mil. let vázaná na horkou skvrnu
- Mocnost až 2 km, plocha 500 000 km² (původně 3x větší), objem 1 mil. km³
- Odhaduje se, že erupce trvaly asi 30 000 let
- Dáváno do souvislosti s impaktem Chicxulub a K-T vymíráním



Toba, Sumatra

- Největší sopečný výbuch za poslední 2 mil. let (před 76 000 let)
- Bylo vyvrženo asi 2 800 km³ magmatu a 3,3 mld. tun H₂SO₄
- Vznikla kaldera o rozměrech 35 x 100 km (největší kráterové jezero)
- erupce trvala 2 týdny, pyroklastické proudy dosáhly vzdálenosti až 200 km
- Existují teorie, že důsledkem bylo poslední velké vymírání a snížení lidské populace až na 10 000 jedinců (bottleneck)



Taupo, Nový Zéland

- Erupce před 26 500 let byla poslední s indexem VEI 8
- Vyvrženo bylo 1 300 km³ tefry a magmatu; vrstva ignimbritu měla mocnost 200 m
- Ještě ve vzdálenosti 1000 km byla vrstva popela mocná 18 cm
- Erupce před 1,8 tisíci let byla nejsilnější za posledních 5 000 let



Thira, Řecko



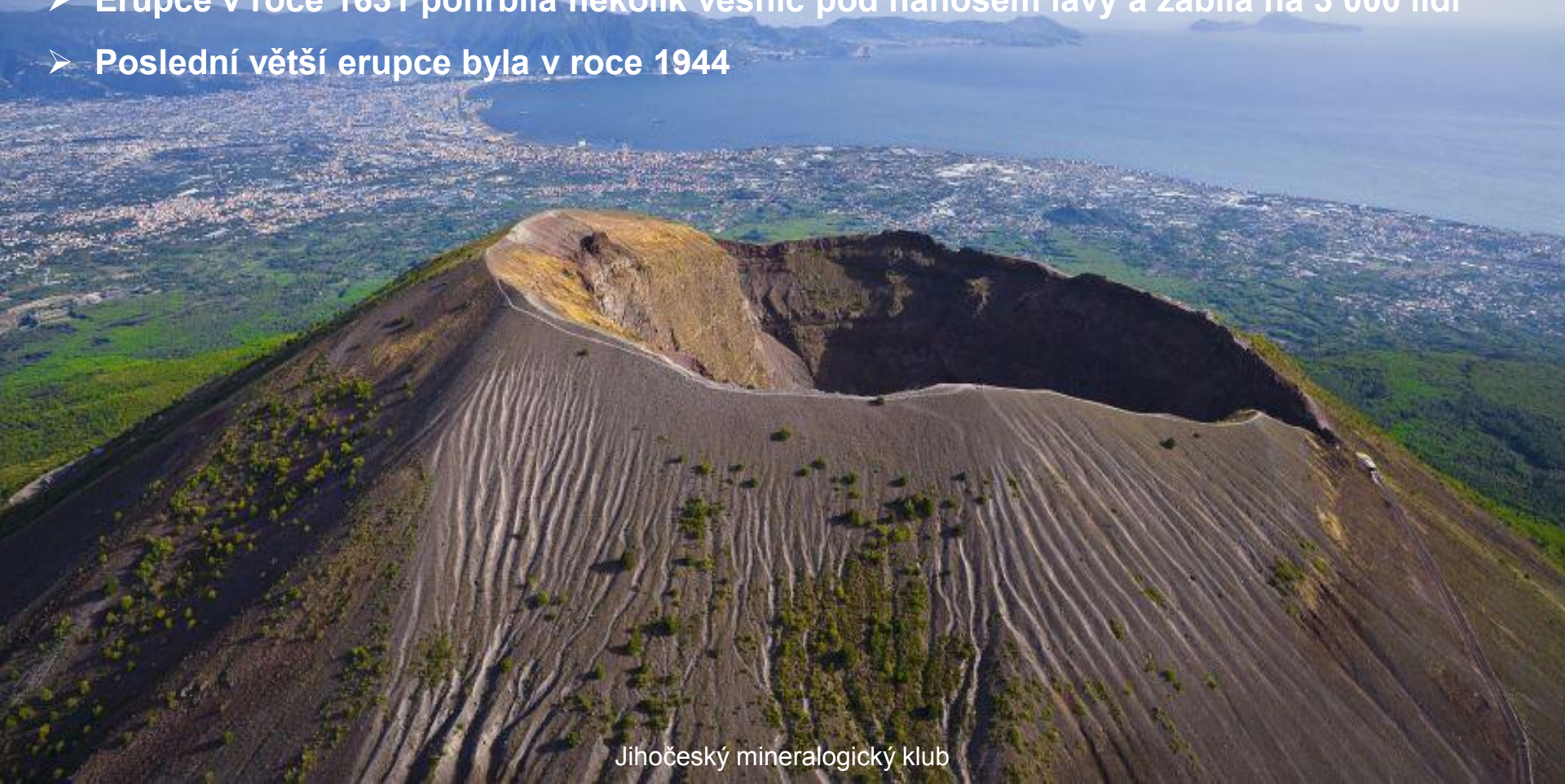
- Během erupce kolem roku 1640 př. n. l. bylo vyvrženo asi 60 km³ materiálu
- Síla výbuchu se odhaduje na 2 400 Mt TNT; výbuch způsobil zánik minojské civilizace
- Některými historiky označována jako bájná Atlantida

Thira, Řecko



Vesuv, Itálie

- Při pliniovské erupci v roce 79 zničil pyroklastický proud a následný spad tefry města Herculaneum a Pompeje; sloup popela dosáhl výšky 30 km
- Počet obětí není známý, odhaduje se, že se mohlo jednat až o patnáct tisíc obětí
- Erupce v roce 1631 pohřbila několik vesnic pod nánosem lávy a zabila na 3 000 lidí
- Poslední větší erupce byla v roce 1944



Vesuv, Itálie

Erupce v roce 1944



Laki, Island

- Lineární freatická erupce v roce 1783 vyvrhla 15 km³ lávy a 500 mil. tun plynů (HF, SO₄)
- Vznikla trhlina dlouhá 25 km s asi 130 krátery
- Zemřela asi ¼ islandské populace, ve většině Evropy nastal hladomor
- Někteří historici spojují erupci a následný hladomor s Francouzskou revolucí



Tambora, Indonésie

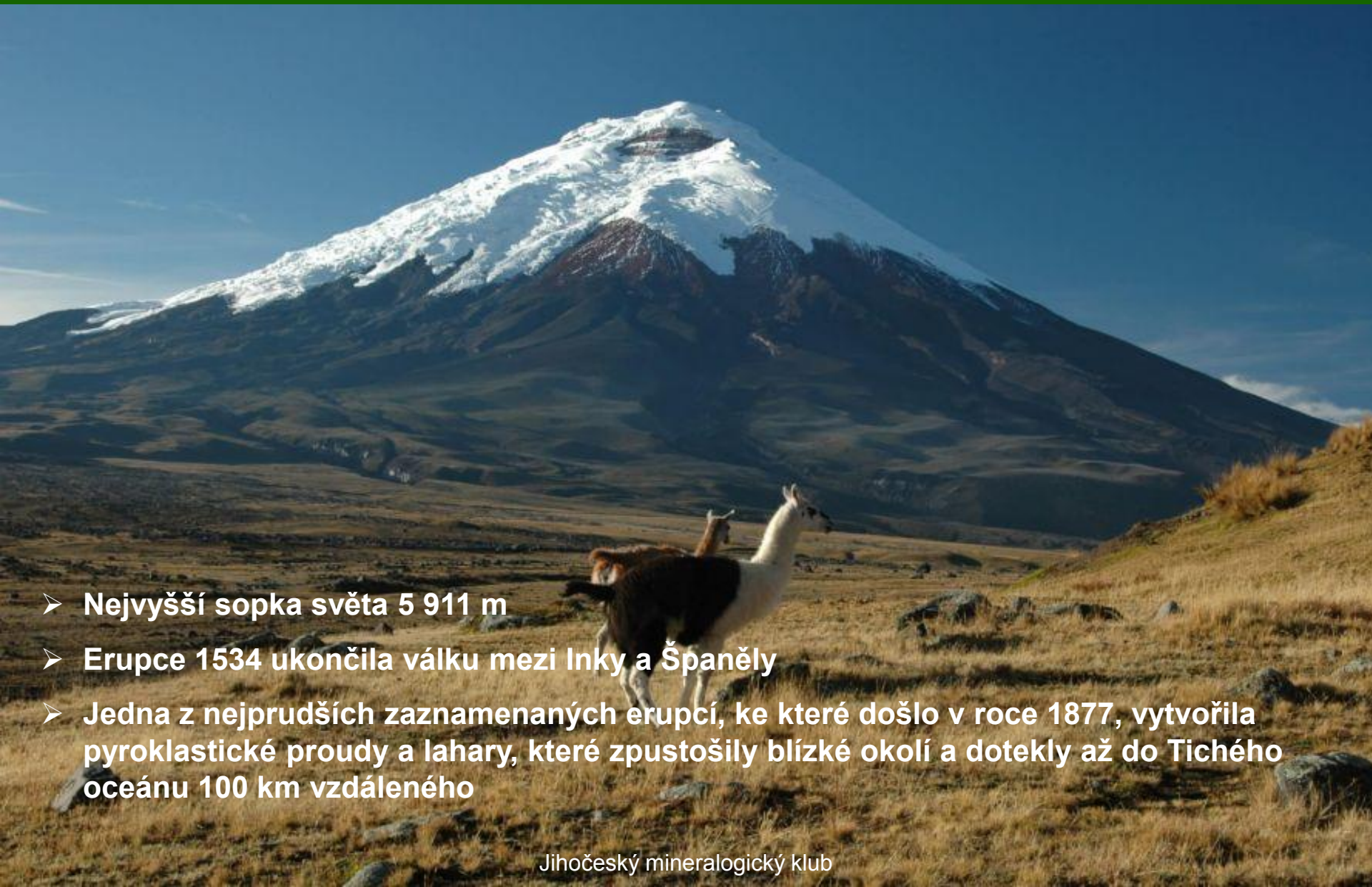
- Roku 1815 došlo k největší erupci v novodobých dějinách lidstva (index VEI 7)
- Výbuch vyvrhl 150 km³ pyroklastik, sopečný mrak dosáhl výšky 44 km
- Počet obětí se odhaduje na více než 90 000 (10 000 při výbuchu)
- Erupce ovlivnila klima na celé severní polokouli; následný rok 1816 je znám jako „rok bez léta“



Tambora, Indonésie



Cotopaxi, Ekvádor



- Nejvyšší sopka světa 5 911 m
- Erupce 1534 ukončila válku mezi Inký a Španěly
- Jedna z nejprudších zaznamenaných erupcí, ke které došlo v roce 1877, vytvořila pyroklastické proudy a lahary, které zpustošily blízké okolí a dotekly až do Tichého oceánu 100 km vzdáleného

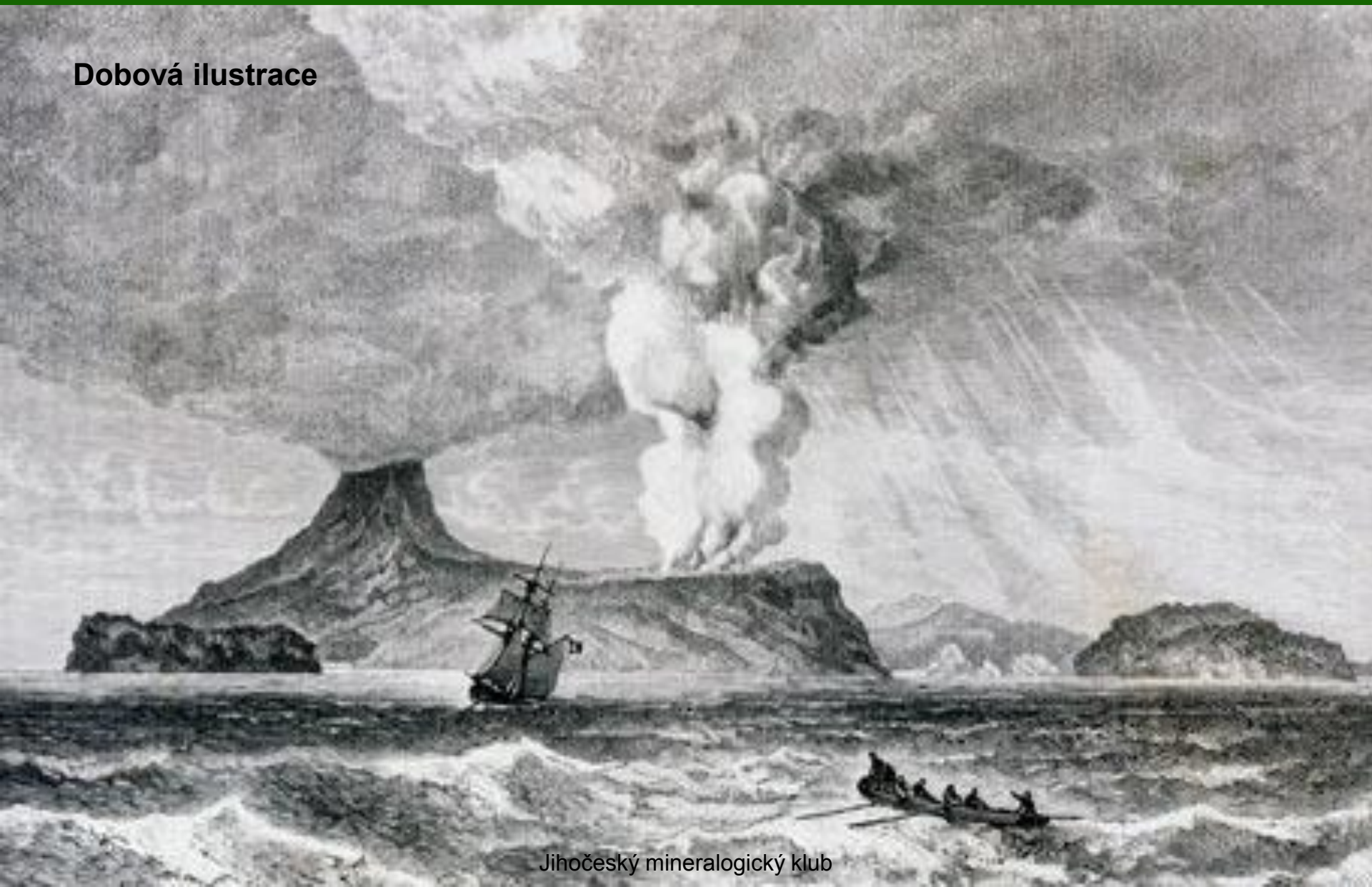
Krakatoa, Indonésie

- Čtyři silné exploze v roce 1883 vyvolaly pyroklastické proudy, spad tefry a 46 m vysokou tsunami, které dohromady usmrtily 36 000 lidí
- Tlaková vlna dosáhla rychlosti 1 086 km/hod a oběhla 3,5x celou Zemi
- Nejsilnější čtvrtá, freatomagmatická exploze o síle zvuku 310 dB byla slyšet až na vzdálenost 5 000 km, vyvrženo bylo 18 km³ materiálu (VEI 6)
- Energie výbuchu se odhaduje na 200 Mt TNT, což je 4x více než vodíková bomba Car

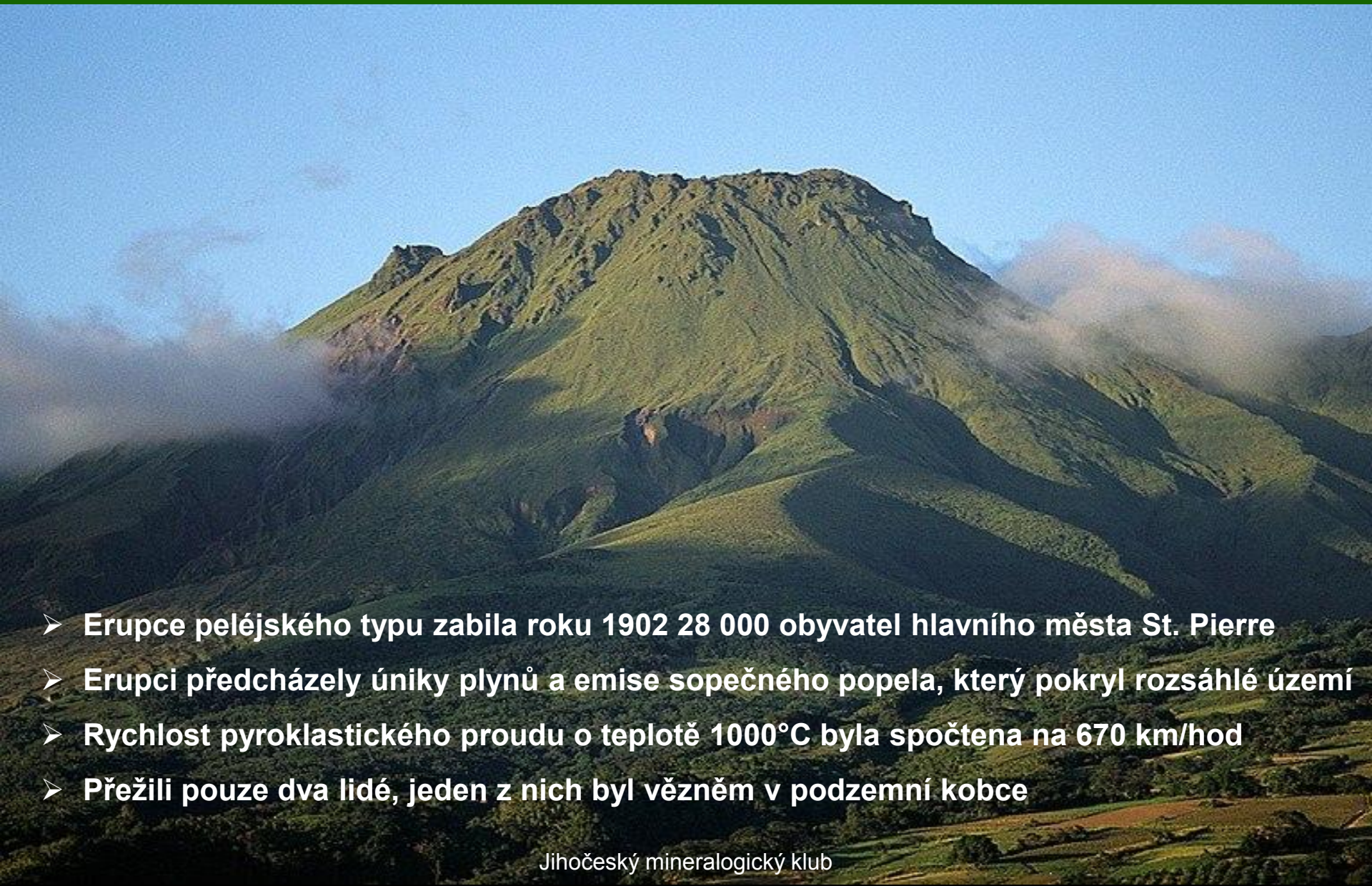


Krakatoa, Indonésie

Dobová ilustrace



Mount Pelée, Martinik

- 
- Erupce peléjského typu zabila roku 1902 28 000 obyvatel hlavního města St. Pierre
 - Erupci předcházely úniky plynů a emise sopečného popela, který pokryl rozsáhlé území
 - Rychlost pyroklastického proudu o teplotě 1000°C byla spočtena na 670 km/hod
 - Přežili pouze dva lidé, jeden z nich byl vězněm v podzemní kobce

Mount Pelée, Martinik

Erupce v roce 1902



Mount Pelée, Martinik

Město St. Pierre po erupci v roce 1902



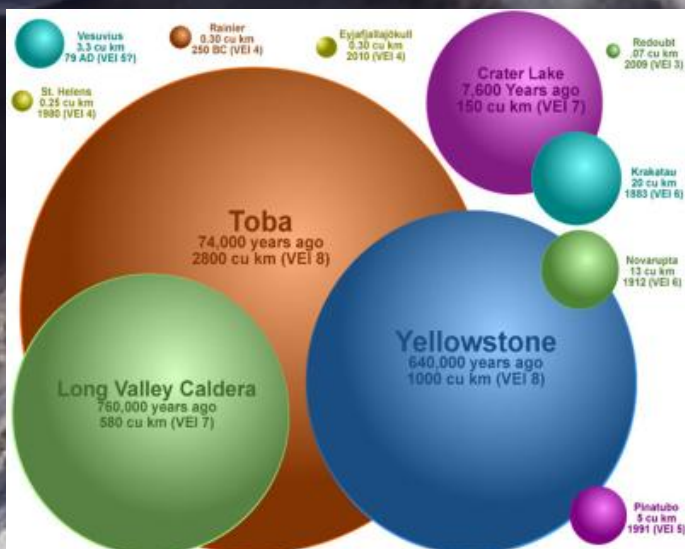
Santa María, Guatemala



- Erupce v roce 1902 patří k nejsilnějším ve 20. století (VEI 6)
- Sopka vyvrhla $5,5 \text{ km}^3$ materiálu; spad tefry pokryl území o rozloze $273\,000 \text{ km}^2$
- Během erupce přišlo o život 5 000 lidí; popel z erupce se dostal až do San Francisca

Novarupta, Aljaška

- Erupce z roku 1912 byla největší ve 20. století (VEI 6)
- Během 60 hodin sopka vyvrhla 30 km³ magmatu
- Vyprázdněním magmatického krbu došlo ke vzniku kaldery u nedaleké sopky Katmai



Parícutin, Mexiko

- Nejmladší sopka, která se objevila roku 1943 uprostřed kukuřičného pole
- Během jednoho roku dosáhla výšky 336 m a proud lávy zasáhl nedaleké město
- Sopka byla aktivní až do roku 1952



Parícutin, Mexiko



Parícutin, Mexiko



Mount St. Helens, Washington



- Pliniovská erupce z roku 1980 je jednou z nejlépe zdokumentovaných
- Mračno popela dosáhlo výšky 27 km a šířky 64 km
- Zničena byla oblast o ploše 600 km² a hora se snížila o 400 m
- Lahar o objemu 3 mil m³ a rychlosti až 270 km/hod se dostal do vzdálenosti 25 km
- Pyroklastický proud dosáhl teploty kolem 700°C, zahynulo 57 lidí

Nevado del Ruiz, Kolumbie

- Stratovulkán s vrcholem pokrytým ledovcem v severní vulkanické zóně And
- Lahar při pliniovské erupci v roce 1985 zabil na 25 000 obyvatel města Armero
- Jednalo se o druhou největší sopečnou katastrofu 20. století



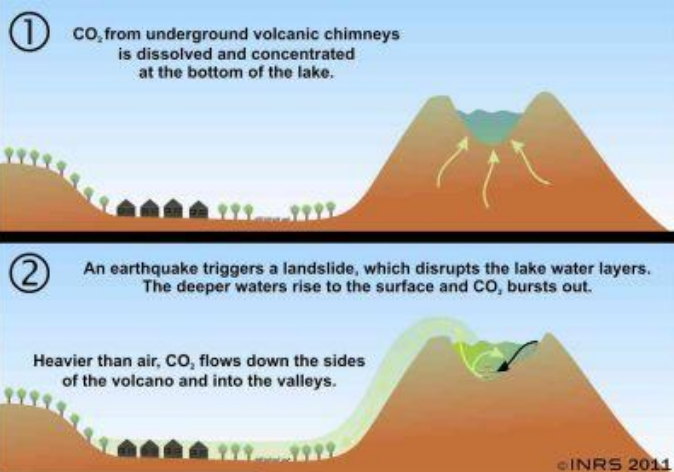
Nevado del Ruiz, Kolumbie



gettyimages
Langevin Jacques

Jezero Nyos, Kamerun

- Vulkanické jezero v jednom z maarů
- Roku 1986 došlo k uvolnění CO_2 , který sjel rychlostí 50 km/hod do nedalekého údolí a usmrtil 1 800 lidí



Pinatubo, Filipíny

- Erupce v roce 1991 byla druhou největší ve 20. století (po erupci vulkánu Novarupta)
- Bylo vyvrženo 10 km^3 a vrchol sopky se propadl do kaldery
- Sopečný popel pokryl okolí až do vzdálenosti 35 km
- Zahynulo 847 lidí, 80 000 bylo evakuováno (VEI 6)

Pinatubo, Filipíny



Pinatubo, Filipíny



Eyjafjallajökull, Island

- Stratovulkán s kráterem pod ledovcem
- Erupce v roce 2010 zastavila leteckou dopravu nad celou Evropou
- Popel se dostal až do výšky několika desítek km



Mount Mayon, Filipíny

- Poslední velká erupce z ledna 2018
- Evakuováno bylo přes 50 000 osob





Děkuji za pozornost

Doporučená literatura: Francis P. & Oppenheimer C. (2004): Volcanoes (2nd edition).
– Oxford University Press (cena 75\$)