

Přírodní katastrofy a kolaps minojské civilizace

Historie výzkumu přírodních katastrof

Počátky teorie o zemětřesení h: Sir Arthur Evans

- 1928: Po osobních zkušenostech se zemětřesením v roce 1926 vytvořil Evans teorii, že za zničením paláce v Knossu stála ničivá zemětřesení.
- - rozlišil několik destrukčních vrstev (viz tabulka)
- - Inspirace Claude Schaeffera

**Absolutní
chronologie**

**Relativní
chronologie**

**Intenzita
zemětřesení**

~1890 př. n. l

Konec MM IIA

Menší intenzity

~1650 př. n. l

Konec MM IIIA

Menší intenzity

~1500 př. n. l

Konec LM IA

Menší intenzity

Počátky teorie o santorinské erupci: Spiridon Marinatos

V roce 1939 publikoval Spiridon Marinatos teorii, že za destrukčními vrstvami na ostrově Kréta stojí erupce vulkánu Santorini, kterou Evans nezaznamenal

Teorie o ničivých přírodních katastrofách byly po dlouhou dobu upřednostňovány

archeologové první poloviny 20. století nebyli schopni správně rozlišit destrukční horizonty, které byly vytvořeny erupcí vulkánu Santorini na přelomu období LM IA/B od destrukcí, jenž se odehrály na konci stupně LM IB. K nepochopení celé situace docházelo ostatně ještě i v 80. letech

Vývoj ve druhé polovině 20. století

1966: Rhys Carpenter vyslovil názor, že minojská erupce Krétu zdevastovala, čehož využili pevninští Řekové a ovládli Knossos.

1970: Leon Pomerance teorie o ničivých dopadech vln cunami, generovaných během minojské erupce.

V 80. letech a na počátku let 90. se značná část autorů stále klonila k původní Evansově seismické teorii

Sturt Manning se naopak snažil destrukce spojit s minojskou erupcí: zemětřesení vyvolané pohybem magmatu mohlo podle něj na Krétě vyvolat rozsáhlé požáry.

San
Francisco
1906: požár
způsobený
zemětřesení
m



Kantó 1923:
následky
ničivého
požáru
způsobeného
zemětřesením



Vývoj ve druhé polovině 20. století pokračování

Ne všichni badatelé považovali přírodní katastrofy za hlavního viníka úpadku minojské civilizace. Podle nich sehrál hlavní roli zejména lidský faktor (např. Hutchinson, Caskey, Barber).

Podle jiných byla příčinou zániku kombinace přírodních a lidských faktorů (např. Driessen, Macdonald, Carpenter)

Současnost

V současné době převládá názor, že přírodní katastrofy nemohly stát přímo za zánikem minojské kultury.

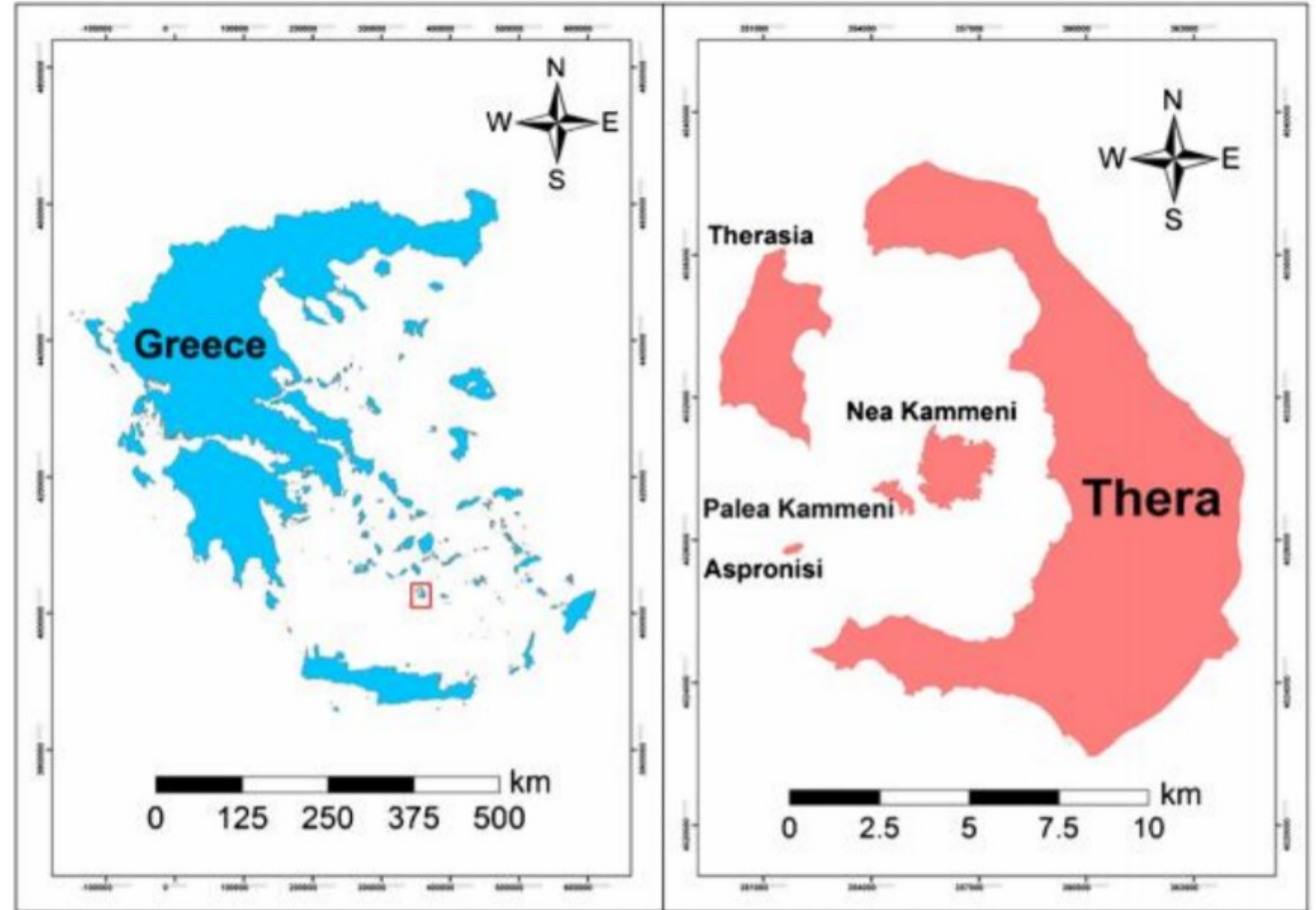
Mezi zastánce teorie o zemětřeseních patří například P. Warren a D. Vallinaou

Santorínská erupce



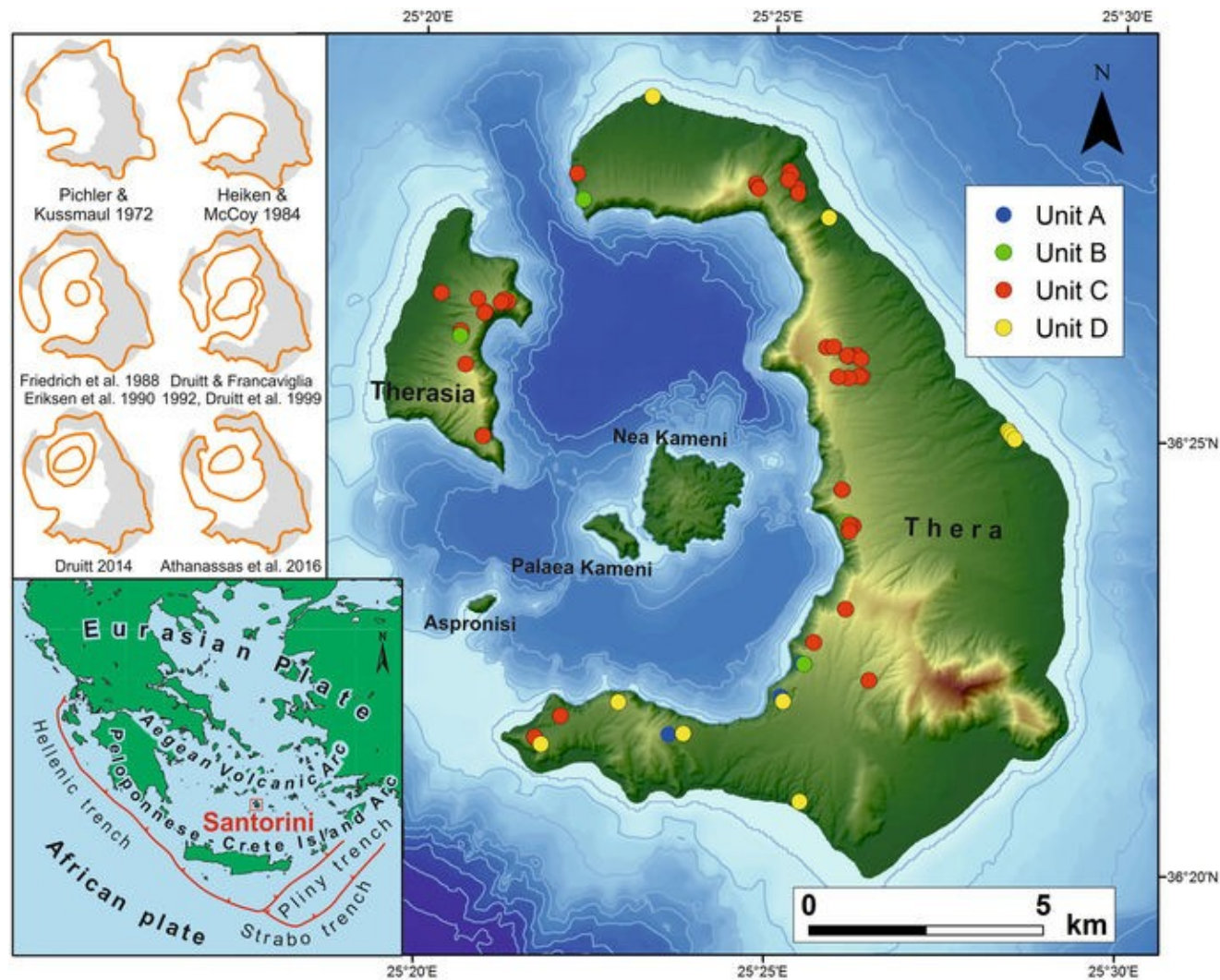
Santorini (Théra)

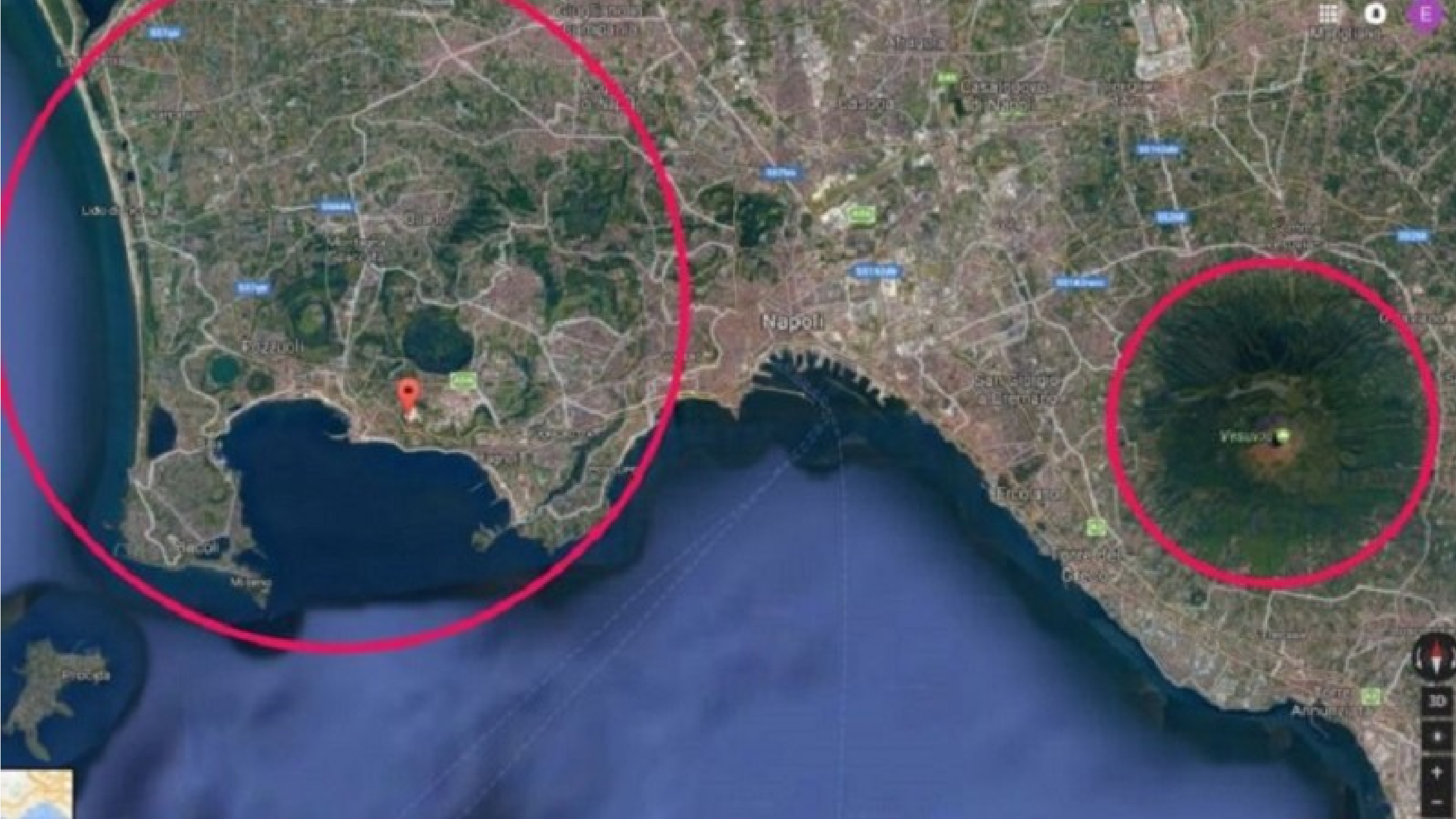
- Jižní část kykladského souostroví
- Součást helénské vulkanické oblouku (povrchový projev zanořování africké litosferické desky pod desku euroasijskou)
- Vulkanická aktivita v oblasti začala zhruba před 4,7 miliony let a pokračuje do současnosti. Zdejší vulkány jsou aktivní, nicméně se zatím nacházejí v klidové fázi. Patří mezi ně: Methana, Santorini, Kolumbo a Nisyros (zmínit Melos)



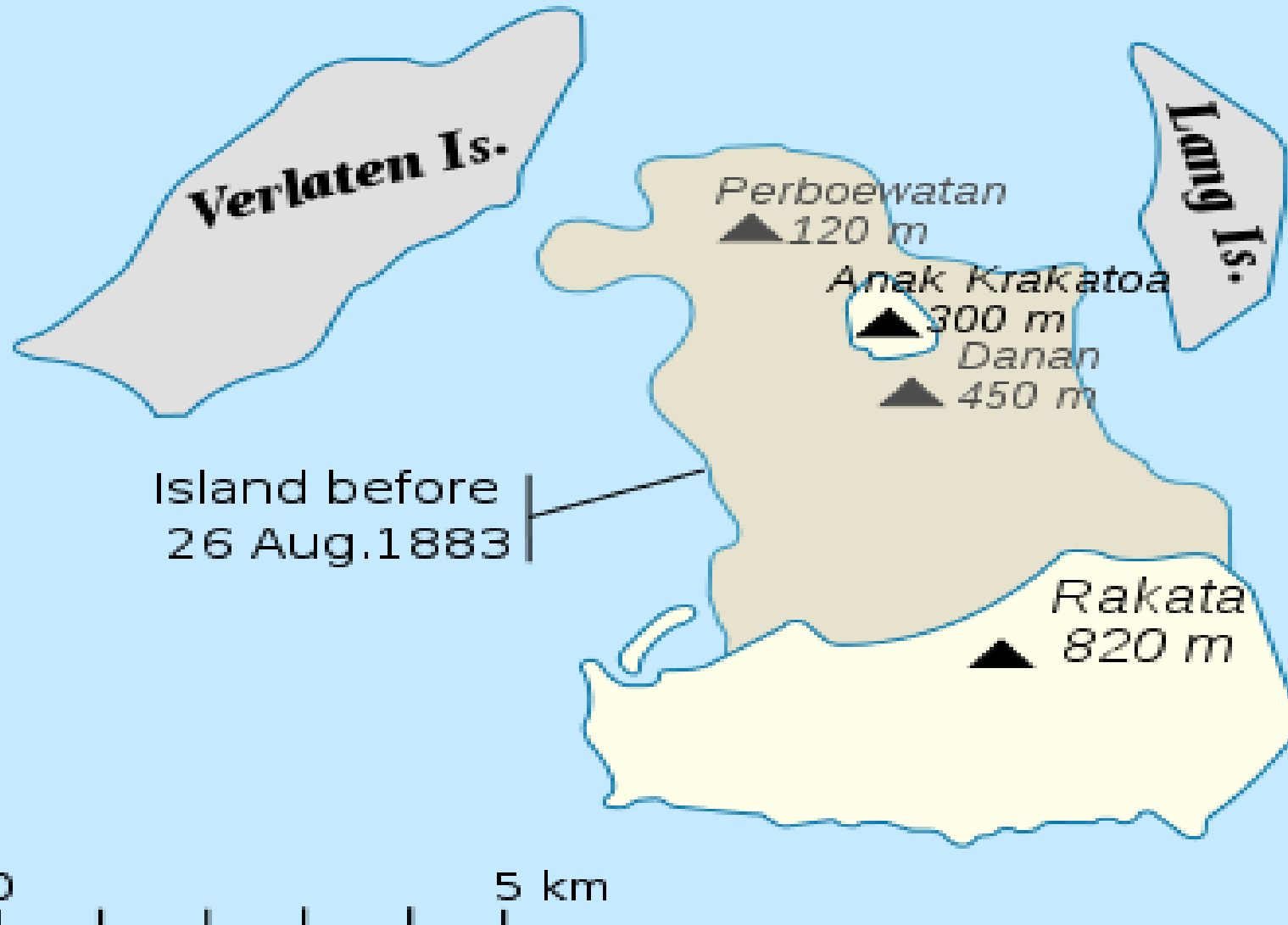
Formování ostrova a vulkanická historie

- Vulkanismus zde započal přibližně před 3-4 miliony let
- 12 významných erupcí, které se podílely na formování soustroví
- Nejvýznamnější erupce se udály před: 100, 79, 54, 37, 20, a 3,6 lety
- Post minojské erupce začaly v roce 197 n. l. vytvořením několika lávových domů a proudů, které později vytvořily ostrovy Palea a Nea Kameni poblíž centra kaldery.
- V roce 1650 n. l. došlo v oblasti k podmořské erupci vulkánu Columbo nacházejícího se severovýchodně od hlavního tělesa ostrova





Krakatoa, Indonesia

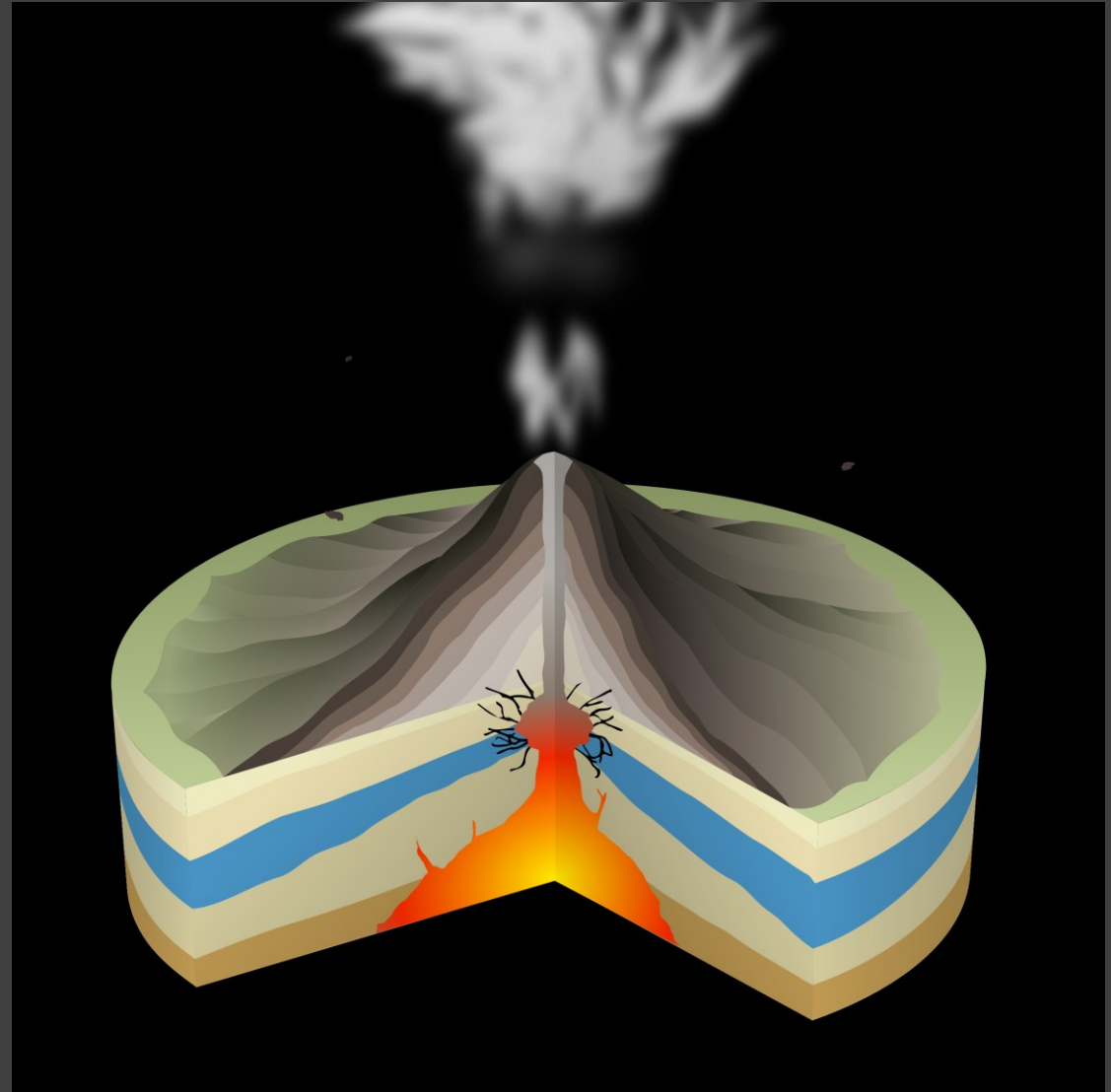


Průběh santorínské erupce: varovná fáze

- Zemětřesení menšího rozsahu upozornily obyvatelé ostrova na nebezpečí
- Seismická aktivita byla zřejmě spojena s pohybem magmatu pod povrchem a formováním magmatického krbu
- Mezi jednotlivými otřesy nastávala období klidu, kdy se někteří obyvatelé či speciální skupiny vracely, odklízely sutiny a pokoušely se o první opravy

Nultá fáze

- Před samotnou hlavní fází patrně došlo k prolomení stěn vulkanického komínu a roztavené kyselé magma se dostalo do styku s vodou. Následovala exploze. Do vzduchu byla katapultována první dávka roztavených hornin spolu s horninami, pocházejícími z utržených stěn kaldery.
- Tako exploze vytvořila cca 20 cm silnou vrstvu v jižní části ostrova
- V této době patrně dochází k úplné evakuaci ostrova



První hlavní fáze: plinijská erupce

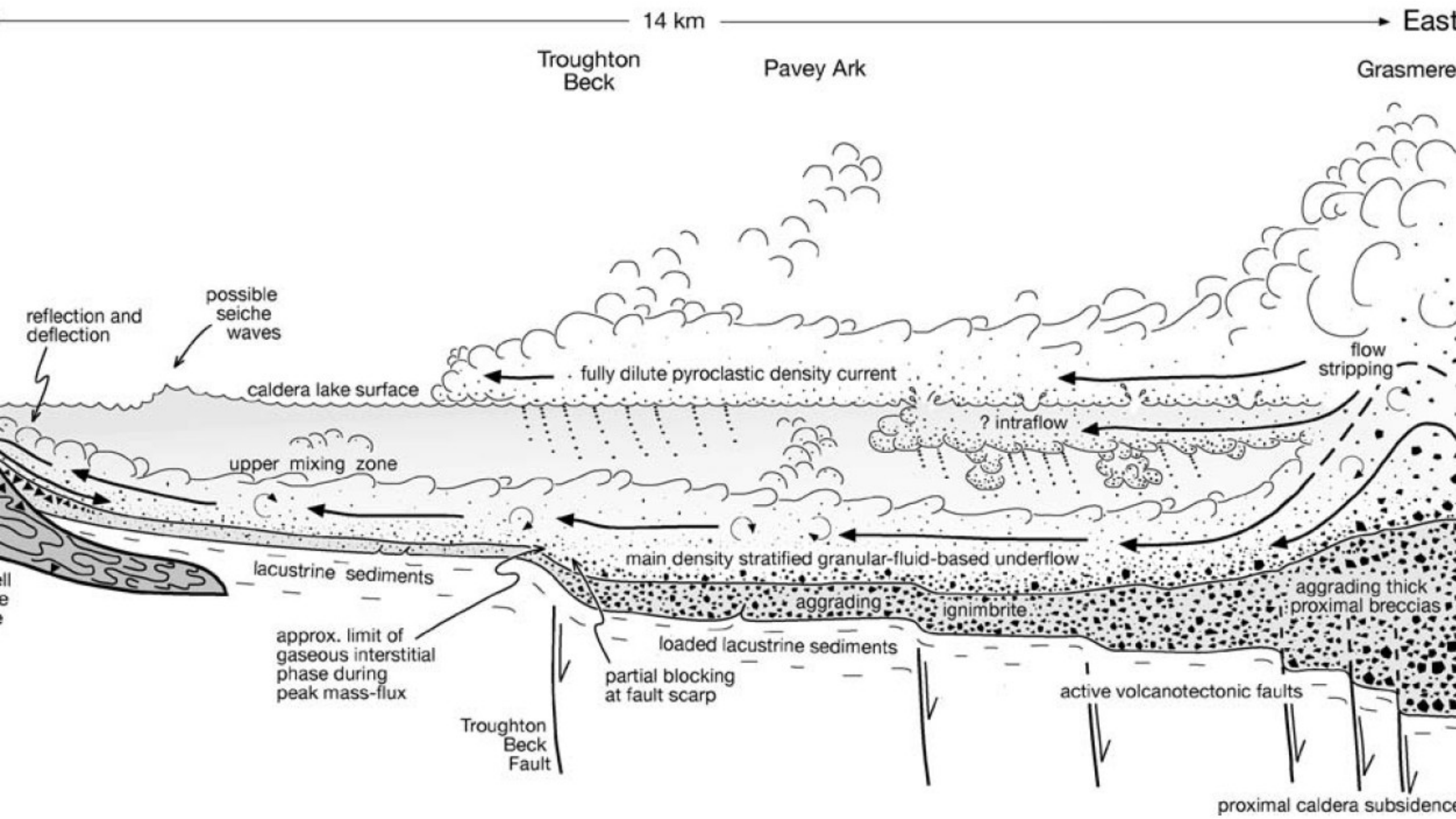
- Vypukla pravděpodobně několik měsíců (nejvýše rok) po fázi freatomagmatické
- Sopečný sloupec vystoupal do výšky 30 až 40 km
- Předcházelo jí silné zemětřesení, které poničilo budovy na lokalitě Akrotiri. (Japonská studie o tektonických zemětřesech a vulkanismu?)
- Hlavní explozivní fáze erupce započala rapidním vyvrhnutím pemzy a popela s fragmenty hornin – výsledná vrstva měla v některých částech ostrova tloušťku až 11 m.





Druhá hlavní fáze: Generování pyroklastických proudů

- Objevuje se změna charakteru erupce. Přístup vody do jícnu vulkánu vedl k vysoce explozivní aktivitě. Je pravděpodobné, že jícen expandoval jihozápadním směrem do moře. Rychlostí zhruba 200 km/hod. byl na všechny strany rozmetán vulkanický komín.
- Výsledkem byly stovky pyroklastických proudů ve všech směrech od jícnu.
- Během této fáze byly zřejmě generovány cunami.
- <https://www.youtube.com/watch?v=Cvjwt9nnwXY>



Třetí hlavní fáze

- Pokračující kolaps kaldery patrně vytvořil jeden až dva masivní pyroklastické proudy, které obsahovaly masivní fragmenty hornin (některé až o velikosti 20 m)
- V centrální a jihovýchodní části ostrova dosahuje vrstva této fáze mocnosti až 55 m.
- Cunami



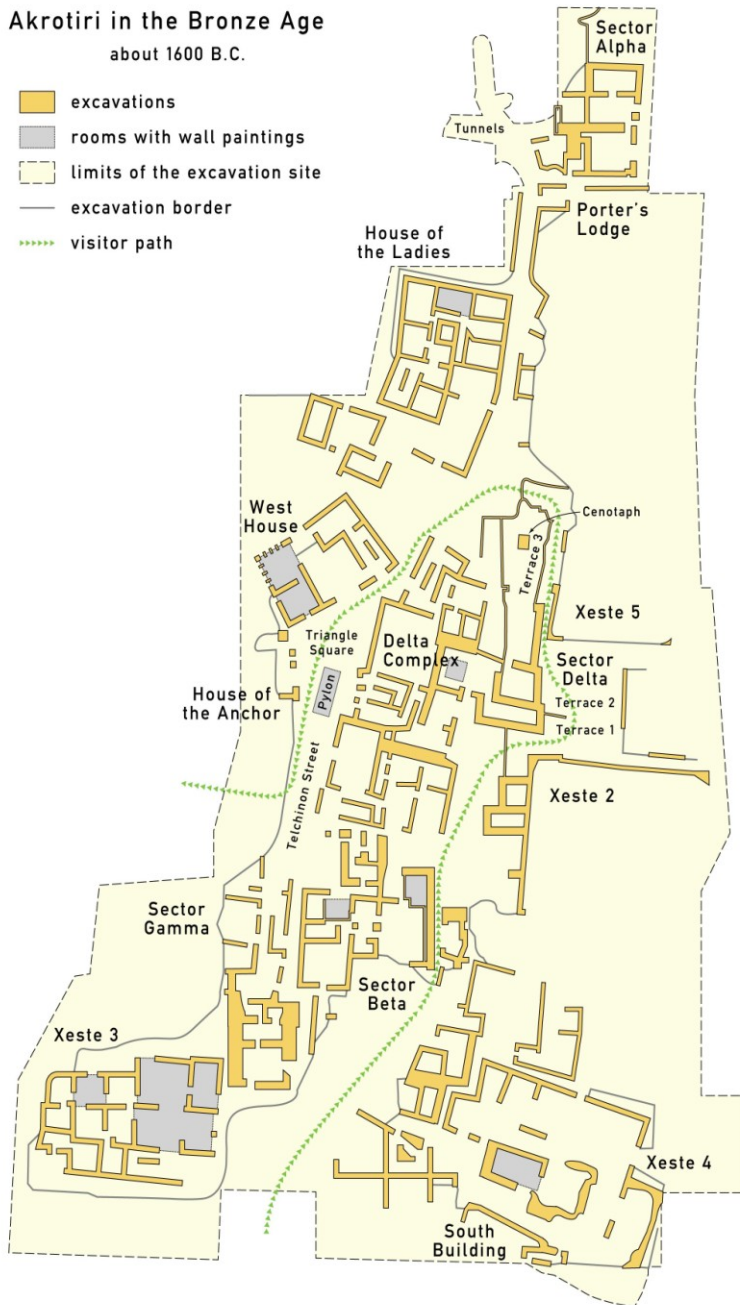


Čtvrtá hlavní fáze

- Vyprodukovala další menší pyroklastické proudy podobné těm, jaké byly vyprodukovány během druhé fáze
- elektrické náboje v částicích prachu uvnitř mračna tefry způsobily bouřky. Nezpevněná tefra pokrývající svahy ostrova se dala díky dešti do pohybu v podobě bahna -> vznik laharů
- Další cunami
- <https://www.youtube.com/watch?v=WEAfXO7q8Xs>

Akrotiri in the Bronze Age about 1600 B.C.

- excavations
- rooms with wall paintings
- limits of the excavation site
- excavation border
- visitor path



Lokální dopady erupce: Akrotiri

- Osídlení se nachází na jižním cípu souostroví přibližně 8 km o jícnu vulkánu
- První doklady osídlení již v rané době kykladské
- Největší rozkvět v pozdně kykladské fázi: na místě staršího osídlení vzniká minojské emporio
- K santorínské erupci dochází na rozhraní stupňů LM IA/LM IB tedy přibližně 1700/1500 př. n. l.
- Po erupci je souostroví po celý zbytek doby bronzové opuštěno
- Ke znovuosídlení dochází v 9. století př. n. l (vrcholek Mesa Vouno)



Lokální dopady erupce: osídlení a obyvatelstvo před hlavní erupcí

- Zdejší obyvatelstvo patrně nevědělo o tom, že žije v oblasti aktivního vulkánu
- Doprovodné jevy erupce zřejmě upozornily obyvatele na hrozící nebezpečí
- Po zemětřesení, předcházejícímu hlavní fázi erupce se na lokalitu vraceli skupiny lidí, kteří rozebírali sutiny a pokoušely se o první opravy
- Na některých místech opravy nestačily dokončit; bylo nalezeno pohozené náčiní a další předměty, které zůstaly ležet na místě po chvatném opuštění lokality

Lokální dopady erupce: osídlení a obyvatelstvo před hlavní erupcí pokračování

- V jednom případě byly objeveny tři postele, nacházející se mimo domy. Tyto postele byly svázané k sobě a připraveny k transportu.
- Evakuace byla pravděpodobně dobře organizovaná. Dveře domů byly zavřeny, hodnotné předměty jako například kovy, byly z domů kompletně odstraněny. Typické znaky rychlého evakuace z postižené lokality, jako je například rabování, jež je typickým vedlejším efektem u moderních zemětřesení, zde nebyly zaznamenány
- Doposud nebyly nalezeny žádné lidské ostatky, které by šlo s jistotou spojit s erupcí.
- Byla evakuace úspěšná?







Lokální dopady erupce: osídlení během erupce

- Během hlavní fáze erupce pemza zaplnila budovy a tím je i zakonzervovala. Její akumulace na střechách způsobila kolaps, kterému napomohla i předchozí seismická aktivita.
- Dřevěné objekty se obvykle nedochovaly, ale zanechaly po sobě otisky, jejichž sádrové odlitky nám mohou dát představu o jejich tvaru.
- Při druhé hlavní fázi byla každá struktura, která nebyla pohřbena pod vrstvou pemzy zničena.

Regionální dopady: minojská Kréta

Minojská kultura tak jak ji známe dnes zaniká na konci období LM IB, tedy přibližně 150 let po santorínské erupci -> santorínská erupce tak nemohla zničit minojskou kulturu přímo

Nicméně na několika lokalitách byly objeveny destrukční horizonty odpovídající období LM IA, tedy době santorínské katastrofy. Většina těchto lokalit se nachází na východě Kréty převážně v Mirabelském zálivu, dále pak na východním pobřeží. Jedná se například o lokality Palaikastro či Kato Zakros

Regionální dopady: zemětřesení na Krétě

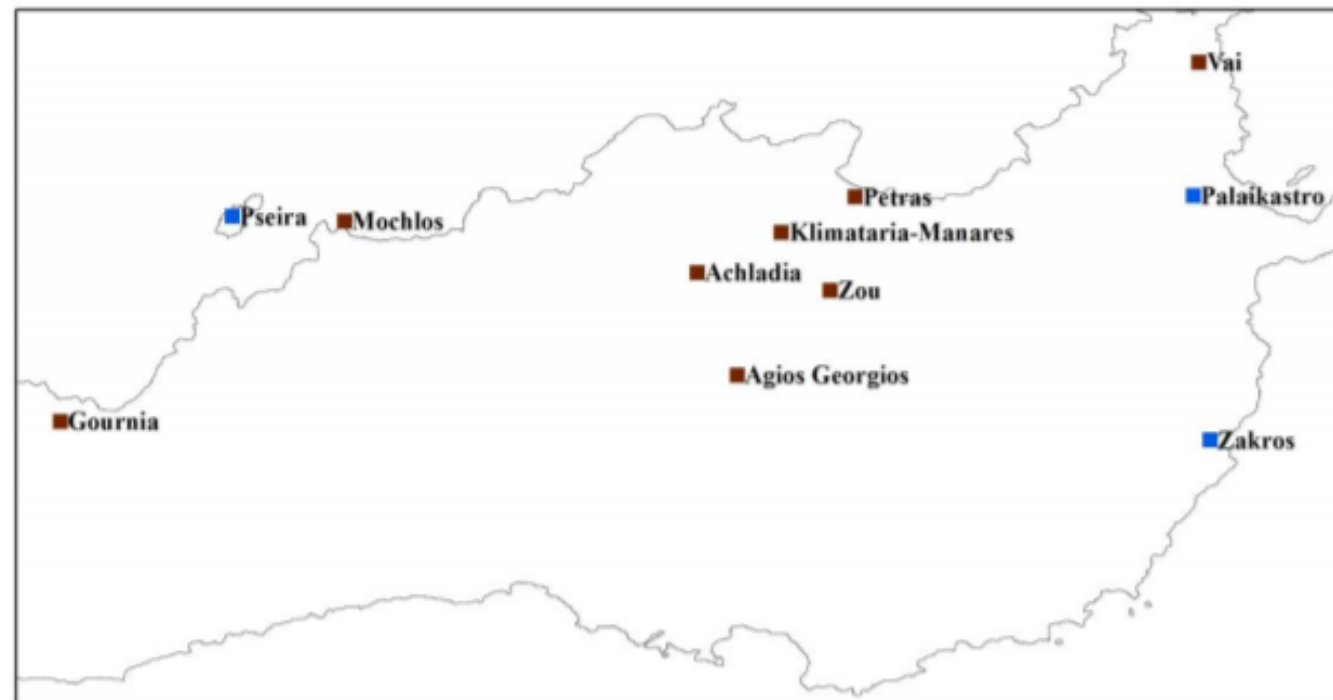
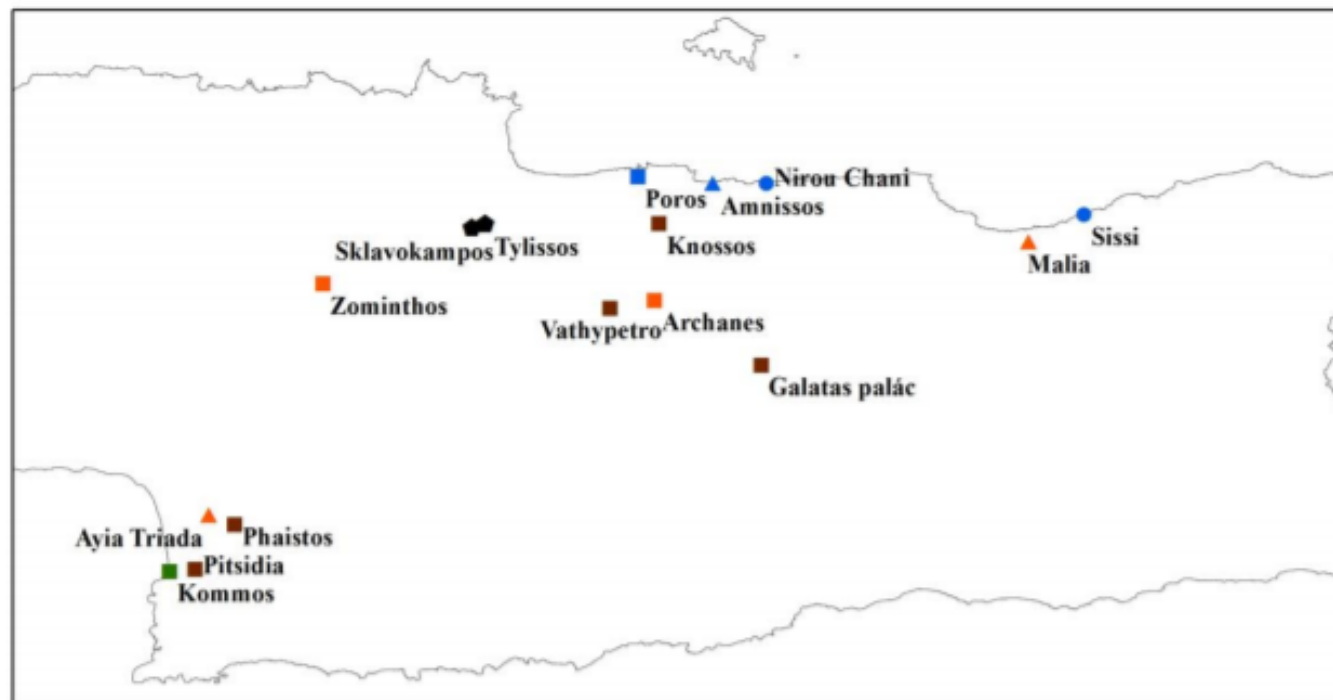
Erupce santorinského vulkánu byla jistě doprovázena otřesy půdy. Je dokonce možné, že takovýchto zemětřesení bylo více a proběhly i před a po samotném výbuchu sopky.

Na mnoha lokalitách na Krétě se předpokládá jejich destrukce zemětřesením

Seismická aktivita spojená s vulkanismem může způsobit značné škody, ale obvykle jen v rozmezí desítek kilometrů od epicentra -> Kréta se nachází přibližně 100 km od Santorini -> Byla santorínská erupce doprovázena tektonickými zemětřeseními?

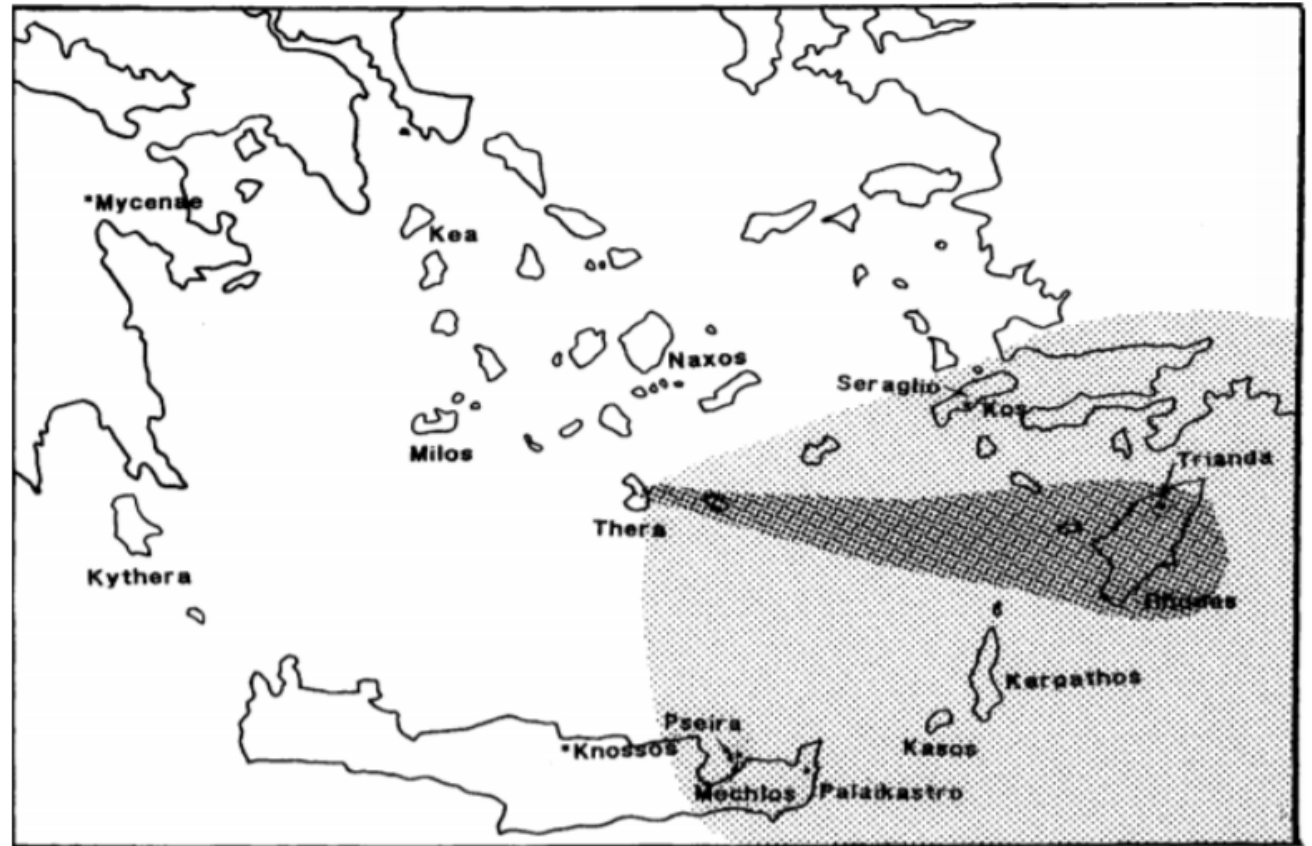
Způsob destrukce

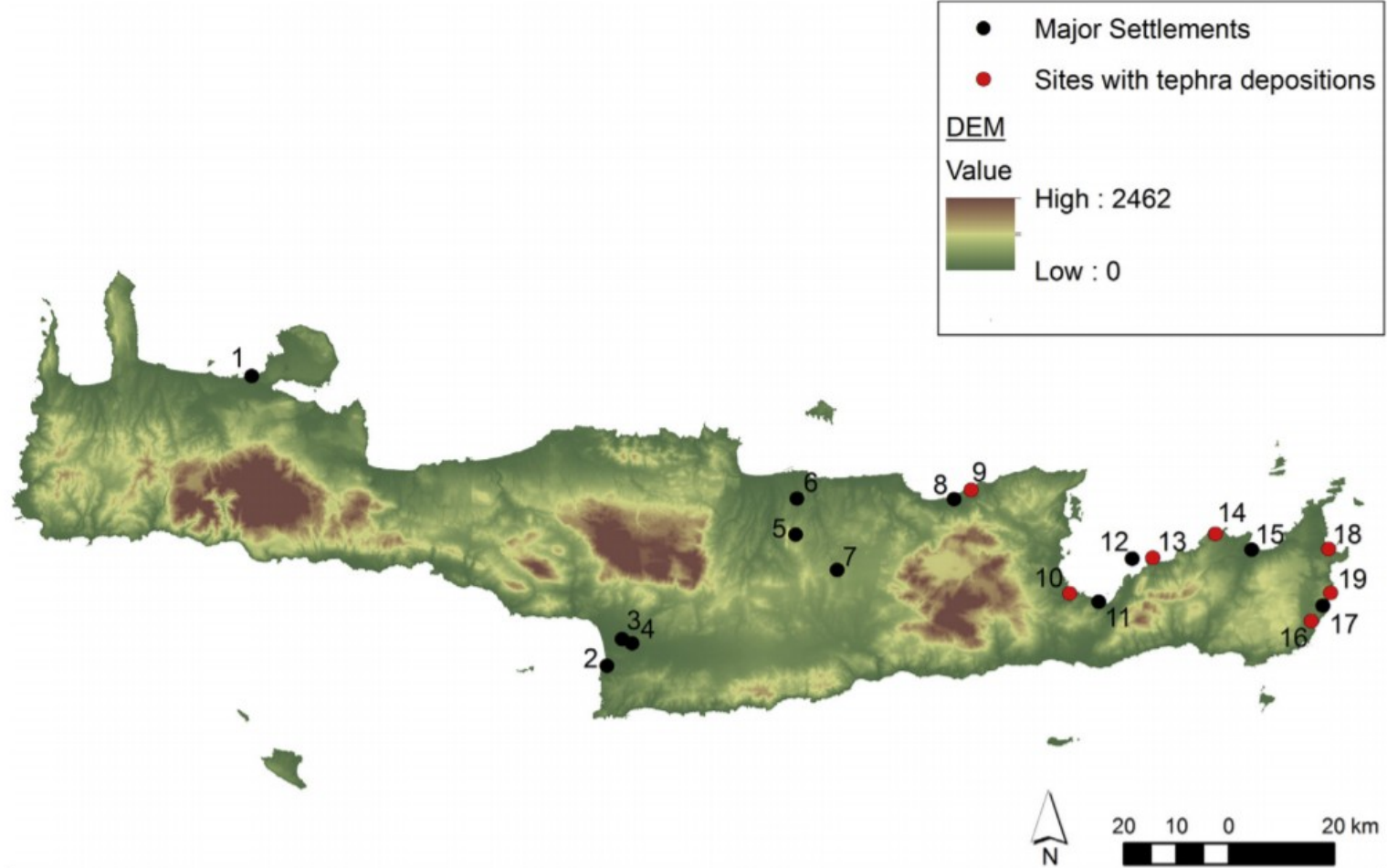
- Cunami?
- Destrukce není známa
- ▲ Požár
- ▲ Požár, Cunami?
- Zemětřesení
- Zemětřesení, Cunami?
- Zemětřesení, Požár



Regionální dopady: spad popela

- Na Krétě dosahují nalezené vrstvy popela tloušťky přibližně 15 cm. Vezmeme-li v potaz následné působení větru a deště na čerstvě uložené vrstvy pak se dá předpokládat, že tato vrstva mohla být až třikrát silnější.
- Možné krátkodobé následky: temnota způsobená zastíněním slunce a měsíce, která může mít psychologický impakt způsobující paniku
- Možné dlouhodobé následky -> dopad na agrikulturu



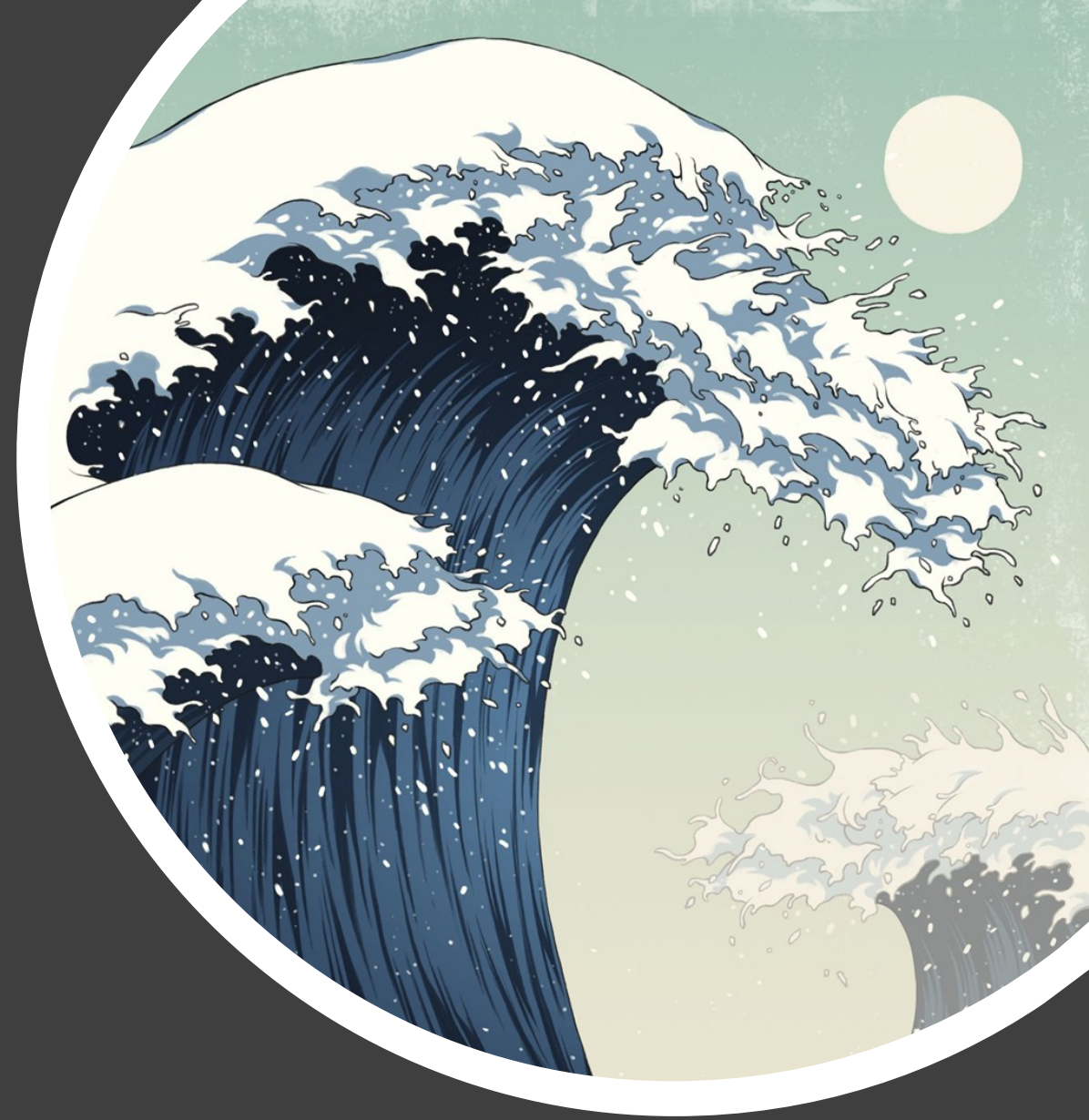


List of sites:

1. Chania, 2. Kommos, 3. Hagia Triada, 4. Phaistos, 5. Archanes, 6. Knossos, 7. Galatas, 8. Malia, 9. Sissi, 10. Priniatikos Pyrgos, 11. Gournia, 12. Pseira, 13. Mochlos, 14. Papadiokampos, 15. Petras, 16. Choiromandres, 17. Zakros, 18. Palaikastro, 19. Pelekita Cave.

Regionální dopady: cunami

- Cunami během santorínské erupce byly pravděpodobně generovány kolapsem kaldery během druhé hlavní fáze, interakcí pyroklastických proudů s mořskou vodou během druhé a třetí hlavní fáze a snad také bahnotoky
- Evidence o těchto vlnách pochází z hlubokomořských vrstev, stejně tak jako archeologických nalezišť na pevnině -> správné interpretování vrstev po cunami je však značně obtížné. Přímé důkazy o cunami byly nalezeny pouze na lokalitách Gouves a Palaikastro
- Existují různé simulace cunami generovaných santorínskou erupcí – vlny podle nich mohly mít velikost 7-28 m na pobřeží Kréty a vniknout 250-450 m do vnitrozemí ostrova



Dlouhodobý vliv erupce na společnost: pro

- Dopady erupce na minojskou společnost jsou sporné – většina se zakládá na analogiích s moderními erupcemi
- Archeologické doklady
- Pro: Architektonické změny paláců, změny v keramickém stylu
- Pro: Přesouvání kultovních míst do měst (zániky vrcholkových svatyní), přestávají se používat rituální očištné nádrže
- Pro: Redukce některých osídlení, používání levnějších materiálů, malá stavební aktivita v období LM IB



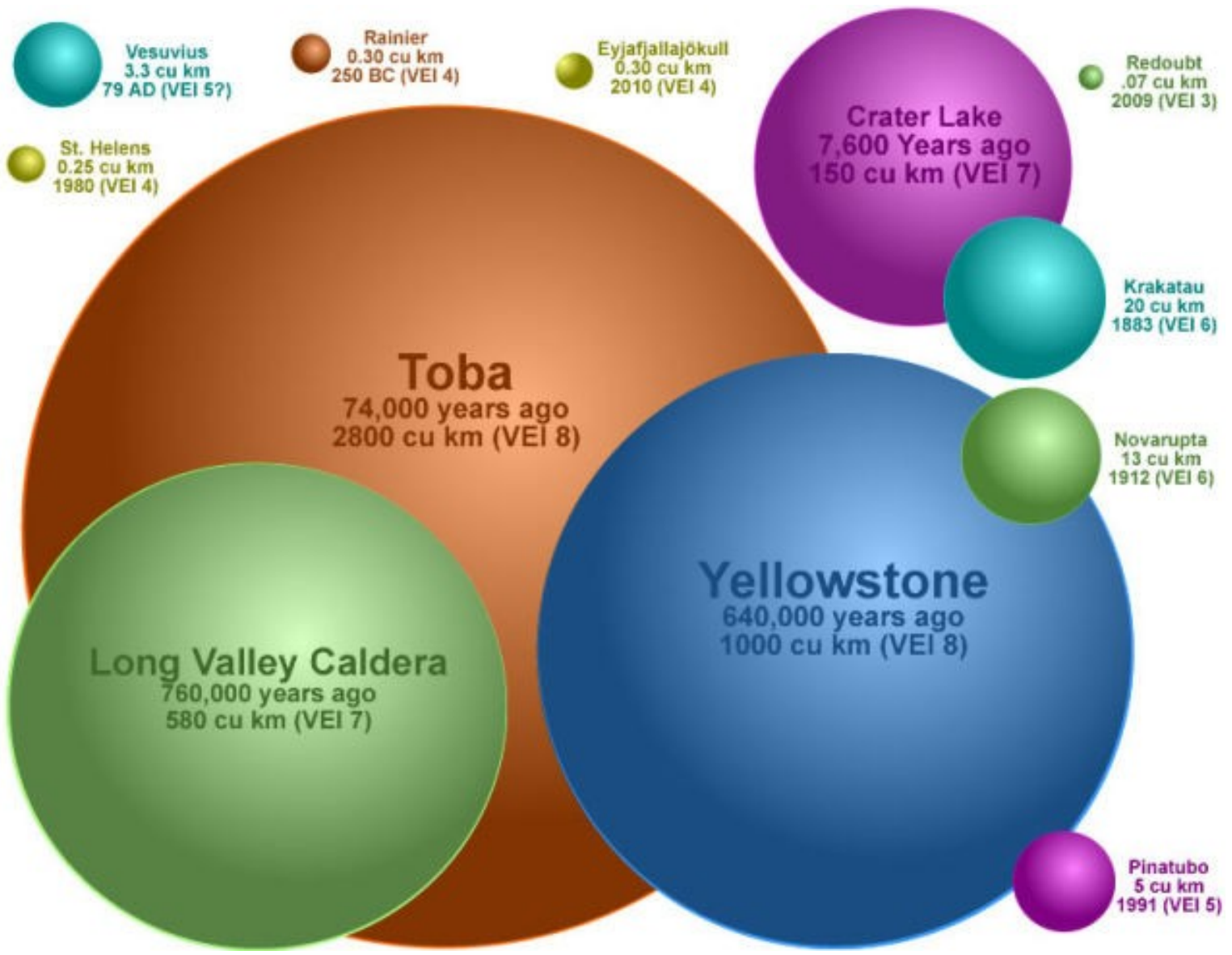


Vliv erupce na společnost: proti

- Proti: K úpadku některých významných sídel dochází ještě před santorínskou erupcí (např. Galatas, Malia)
- Proti: Stejně tak jsou některé vrcholkové svatyně opuštěny ještě před erupcí samotnou
- Proti: V oblasti mirabelského zálivu dochází k populační expanzi a nikoliv k úpadku
- - Santorínská erupce se do jisté míry překrývá s expanzivní politikou paláce v Knossu, je tedy otázkou zda změny, které je možné v této době pozorovat, nebyly způsobeny spíše společenským pnutím a nikoliv přírodními katastrofami.
- Snad nejsnazší je proto prohlásit, že santorínská katastrofa mohla těmto změnám napomoci.

VEI = Hodnotí množství materiálu, který sopka při svém výbuchu vyvrhla. A také to, do jaké výšky byl sopečný materiál vyvržen, a jak dlouho erupce sopky trvala. Stupnice tohoto indexu je v rozmezí 0 – 8. Stupnice VEI je logaritmická. To znamená, že nárůst o jeden bod nám říká, že erupce je 10x silnější než erupce předchozího stupně.

- Původní odhady hovořily o tom, že erupce vyprodukovala přibližně 36 km³
- Dnes se hovoří o 100 km³ a více -> VEI 7
- cca 2x více než Tambora 1815
- V porovnání s takzvanými supervulkány (VEI 8+) však stále více než 10 menší objem vyvržených hornin



Vesuvius
3.3 cu km
79 AD (VEI 5?)

Rainier
0.30 cu km
250 BC (VEI 4)

Eyjafjallajökull
0.30 cu km
2010 (VEI 4)

Redoubt
.07 cu km
2009 (VEI 3)

St. Helens
0.25 cu km
1980 (VEI 4)

Crater Lake
7,600 Years ago
150 cu km (VEI 7)

Krakatau
20 cu km
1883 (VEI 6)

Toba
74,000 years ago
2800 cu km (VEI 8)

Novarupta
13 cu km
1912 (VEI 6)

Long Valley Caldera
760,000 years ago
580 cu km (VEI 7)

Yellowstone
640,000 years ago
1000 cu km (VEI 8)

Pinatubo
5 cu km
1991 (VEI 5)

- Přímé klimatické následky santorínské katastrofy byly zřejmě zaznamatelné pouze v následujícím roce po erupci. V dendrochronologických sekvencích z Anatólie, všechny analyzované stromy vykazují mimořádně chladný a vlhký rok v období na konci 17. století př. n. l. Tyto údaje mohou odpovídat santorínské erupci.
- Obecné poklesy v klimatu, jež byly zaznamenány od let 1600/1500 př. n. l. byly spíše výsledkem poklesu sluneční aktivity a změn v atmosférické cirkulaci v severní hemisféře a trvaly několik set let.
- Moderní analogie Tambora (1815) -> došlo k poklesu teploty o 1,2 stupně a velkým výkyvům teplot v následujícím roce -> rok bez léta.

Základní literatura

- Bruins, J. H. – Plicht, J. van der. – MacGillivray, J. A. 2009: The minoan santorini eruption and tsunami deposits in palaikastro (CRETE): Dating by geology, archaeology, 14C, and egyptian chronology, Radiocarbon 51(2), 397–411.
- Driessen, J – Macdonald, F. C. 1997: The Troubled Island. Minoan Crete before and after the Santorini Eruption. In Aegaeum 17, 1-284. Austin.
- Driessen, J. 2002: Towards an archaeology of Crisis: Defining the long-term impact of the Santorini Eruption. Conference: Natural Disasters and Cultural Change. Kapské Město.
- Friedrich, L. W. – Sigalas, N. 2009: The effects of the Minoan eruption. In In Time's up! Dating the Minoan eruption of the Santorini, 91-101. Athény.
- Driessen, J. 2019: The Santorini eruption. An archaeological investigation of its distal impacts on Minoan Crete, Quaternary International 499, 195-204.
- McCoy, F. – Heiken, G. 2000: Tsunami Generated by the Late Bronze Age Eruption of Thera (Santorini), Greece, Pure and Applied Geophysics 157(6),1227-1256.