

GEOLOŠKE OPASNOSTI (2)

Docent Igor Felja

Geološki odsjek, PMF

Horvátovac 102b

Predavanja iz kolegija Geologija zaštite okoliša

(44087)

GEOLOŠKE OPASNOSTI

- Promjene u okolišu prouzročene prirodnim procesima mogu prouzročiti značajne, a ponekad i katastrofalne štete ekosustavima, ali i čovječanstvu.
- Zato je u zaštiti okoliša važno poznavati **prirodne opasnosti** (eng. *natural hazards*), kao što su poplave, suše i oluje (uragani, tajfuni), a među njima značajno mjesto zauzimaju **geološke opasnosti** (eng. *geological hazards*). Tri su prirodne opasnosti sasvim geološkog tipa. To su potresi, vulkanske erupcije, te klizišta i odroni.
- Stoga je za njihovo prognoziranje, praćenje i procjenu rizika, te tehničko savjetovanje i kontrolu, neophodno poznavanje geologije.

GEOLOŠKE OPASNOSTI

- Značajno je područje u *geologiji okoliša* zaštita čovjeka od djelovanja razornih geoloških procesa.
- Posebnu grupu geoloških opasnosti čine **vulkanizam** i **potresi** kao *manifestacije endogenih procesa* na Zemlji.
- **Egzogeni geološki procesi** (djelovanje vode, vjetra, leda i gravitacije) uglavnom nisu tako spektakularni ali djeluju u duljem vremenskom razdoblju i ostavljaju važne posljedice. Kao geološka opasnost najvažnija su kretanja masa (puzanje, **klizišta**, odroni, lavine) tj. *kretanje geološkog materijala na padinama pod utjecajem gravitacije*. Egzogeni geološki procesi uzrokuju i **eroziju, poplave, obalne procese**.

PRIBLIŽAN BROJ LJUDI GODIŠNJE POGOĐENIH PRIRODNIM KATASTROFAMA

- **Potresi** ~ 2 840 000
 - **Klizišta** ~ 320 000
 - **Vulkani** ~ 60 000
 - *Suše* ~ 95 220 000
 - *Poplave* ~ 52 460 000
 - *Oluje* ~ 15 030 000
- Zajednička osobina ovih prirodnih opasnosti (osim suše) je velika brzina kojom se opasnost pretvara u katastrofu

GEOLOŠKE OPASNOSTI

- Još je jedna prirodna opasnost u kojoj je međutim opasnost kumulativna i ne mora se primijetiti prije nego nastupi katastrofa. Ta je **opasnost** po prirodi **geokemijska**. Jer "*suprotno ljudskim očekivanjima, Zemljina površina u svom prirodnom kemijskom obliku nije bezopasna*" (Darnley, 1994).
- **Teške kovine i radioaktivni elementi** (radionuklidi) nejednoliko su raspoređeni u prirodi uzrokujući mogućnost pojave u visokim, otrovnim koncentracijama* ili pak niskim koncentracijama *nutritional deficiencies* (hranidbenim manjcima)** u vodi ili tlu nekog područja. Iako djelovanje čovjeka može prouzročiti lokalne kemijske perturbacije, "neobične prirodne koncentracije" lokalnih geokemijskih anomalija su također moguće.

PRIRODNE OPASNOSTI

- **prirodni procesi** – zašto postaju opasnosti?
- 1. čovjek živi, radi i iskorištava prostore na kojima se pojavljuju
- 2. čovjek mijenja način upotrebe geološke podloge (pr. urbanizacija i deforestacija mogu izazvati poplave i klizišta – kako?)
- izbjegavanje, ublažavanje i sprečavanje pojava i procesa...da li je moguće?
- pozitivni učinci prirodnih opasnosti?

- **Poplave:**

- obogaćivanje tla, donos sedimenta na obalu, ispiranje onečišćivača iz estuarija

- **Klizišta:**

- prirodno stvaranje brana, jezera (spremnici vode)

- **Vulkani:**

- novo plodno tlo

- **Potresi:**

- nastanak tektonita – mrvljenje stijena i stvaranje nepropusnog glinovitog materijala (barijera za vodu) duž rasjednih zona – pozitivni učinci na stvaranje oaza u sušnom prostoru u Kaliforniji

PRIRODNE OPASNOSTI

- opasnosti koje uzrokuju masovnu umiranje ne moraju biti opasnosti koje uzrokuju veliku materijalnu štetu
- važan aspekt svih prirodnih opasnosti je da izazovu katastrofu
- **katastrofa** – bilo koja situacija u kojoj šteta ljudskih života, materijalnih dobara i društva zahtijeva dug i spor oporavak
- nemaju sve opasnosti isti potencijal za katastrofu

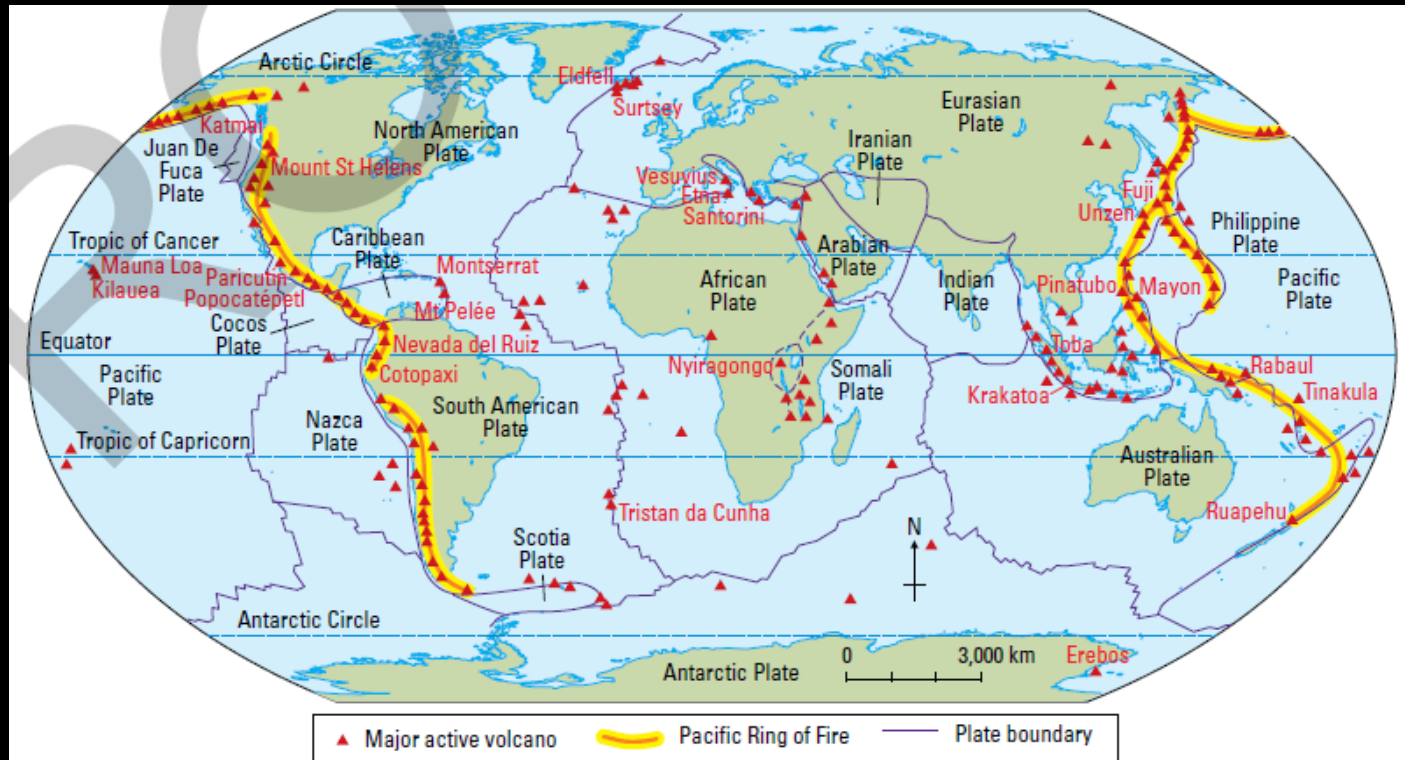
- Razumijevanje prirodnih opasnosti i ublažavane posljedica – **5 principa:**
- **1. proučavanje** opasnosti u različitim znanostima – praćenje, kartiranje, predviđanje...povijesni podaci...predviđanje (?) i prognoza (?)
- **Predviđanje** – uključuje preciznije određivanje mjesta, vremena i razmjera događaja
- **Prognoza** – daje raspon vjerojatnosti – 40% da će se pojaviti poplava
- **2. analiza rizika** – vjerojatnost pojave na temelju prethodnih iskustava (5% vjerojatnosti da će se u LA pojaviti potres: izračunavanje utjecaja na grad...)
- **3. povezanost opasnosti** – potresi mogu uzrokovati klizište, a klizište tsunami...
- **4. opasnosti imaju svoju učestalost pojavljivanja i snagu** – veći broj ljudi = veća katastrofa
- **5. izbjegavanje, sprečavanje i ublažavanje** posljedica opasnosti – cjeloviti pristup

GEOLOŠKE OPASNOSTI

- Pojave i procesi povezani s geološkom podlogom
- **endogeni uzroci:** vulkani, potresi – spektakularni, epizodni događaji
- **egzogeni uzroci:** klizišta i odroni / kretanje masa– djeluju u duljem vremenskom periodu, mogu ostaviti dugotrajne posljedice
- mogu biti uzrok eroziji, poplavama...ili posljedica neke prethodne opasnosti
- poznavanje geologije i geoznanosti je neophodno za prognoziranje, praćenje, izbjegavanje, ublažavanje i procjenu rizika

VULKANI I VULKANSKE ERUPCIJE

- 1500 moguće aktivnih vulkana u svijetu, 720 aktivno
- oko 60 erupcija svake godine; 60000 smrti u 20 st. – 600 godišnje (a u potresima?)



Adapted from: Atlas — Singapore and the World, 2nd Edition (2008).

ATLANTIDA?



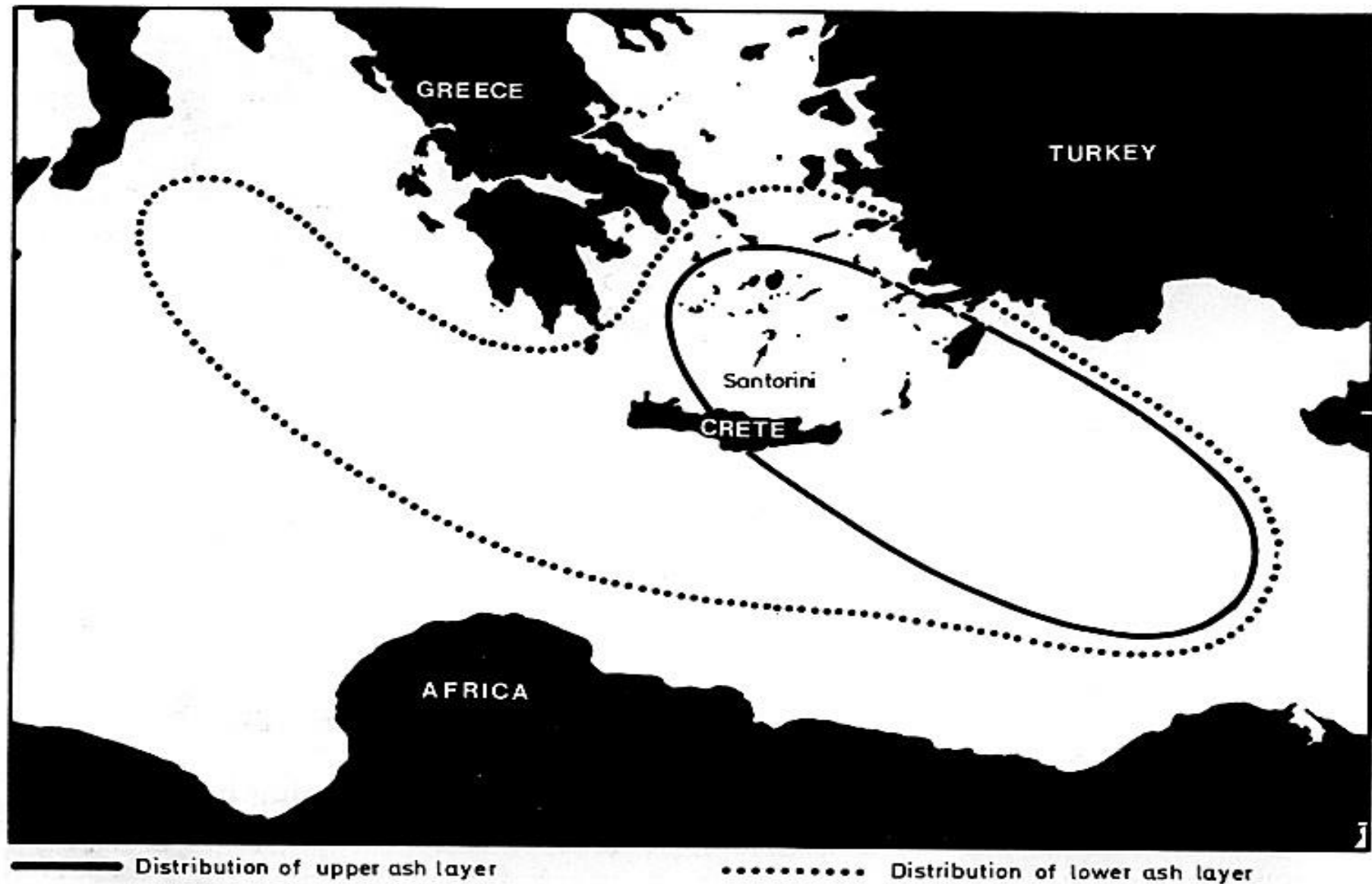
- Smatra se da je povijesni geološki događaj erupcije vulkana na Theri osnova za Platonovu priču o izgubljenom kontinentu Atlantidi (zapisana ~330 g. pne).
- Istraživanje erupcije na Theri (~1600 g. pne) pokazuju da je to bila jedna od jačih u povijesti (90 puta jača no Mt. St. Helens).
- Prva manja erupcija dovela je vjerojatno do toga da je većina ljudi pobjegla (otkopavanja nisu otkrila skelete).

ATLANTIDA?

- Druga je erupcija započela erupcijom i taloženjem tufa (plovučca) koji je prekrrio grad Akrotiri ispod samog vulkana.
- Nakon toga je more ušlo u grotlo vulkana (otoka) koji je kolabirao i stvorio eksplozivnu smjesu magme i plinova. Dodatak velike količine stvorene pare napravio je već i tako snažnu erupciju ekstra eksplozivnom (najgora vrsta erupcije koju možemo imati na ovom planetu).



RASPROSTRANJENOST VULKANSKOG PEPELA U MORSKIM SEDIMENTIMA

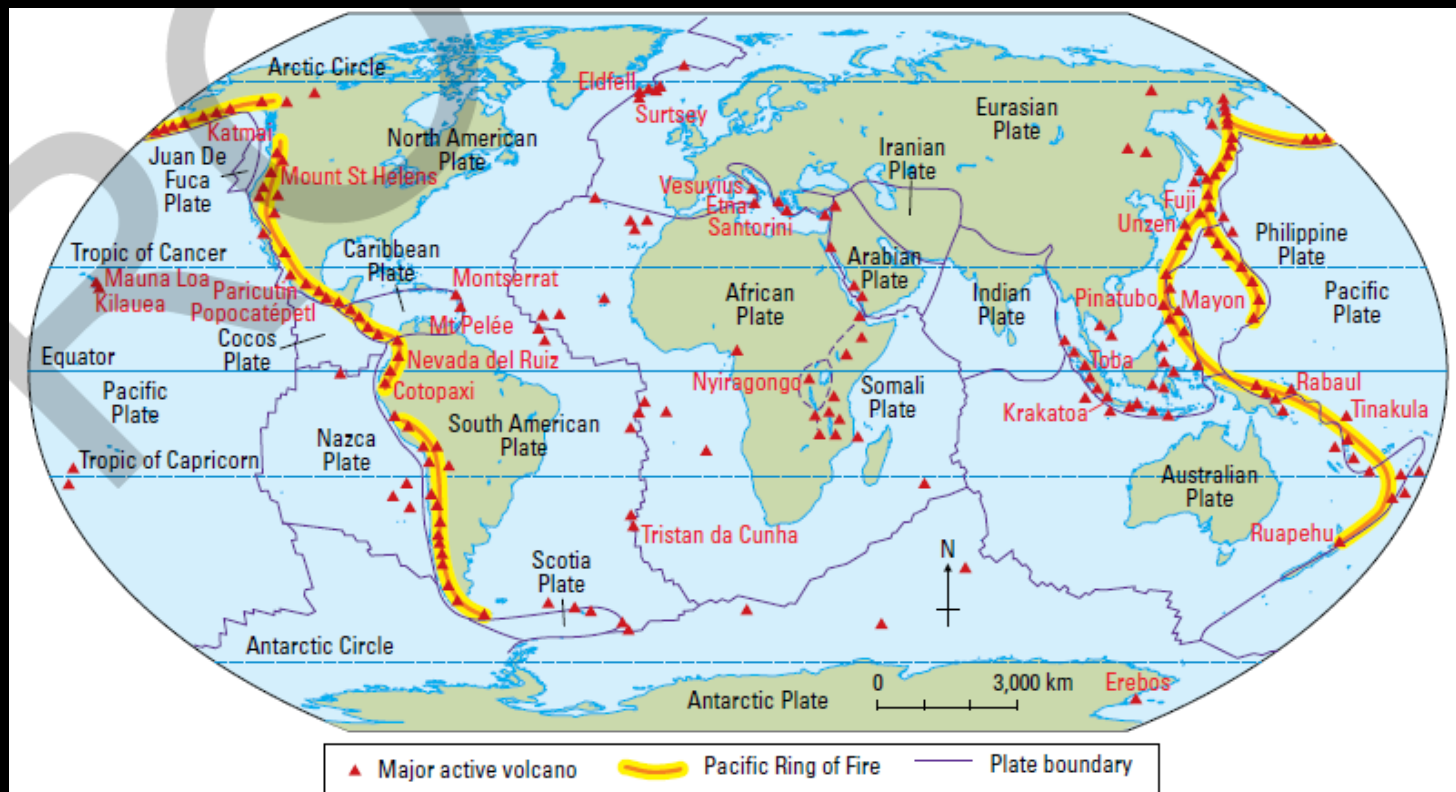


POVIJESNE ERUPCIJE

Volcano or City	Year	Effect
Vesuvius, Italy	A.D. 79	Destroyed Pompeii and killed 16,000 people. City was buried by volcanic activity and rediscovered in 1595.
Skaptar Jokull, Iceland	1783	Killed 10,000 people (many died from famine) and most of the island's livestock. Also killed some crops as far away as Scotland.
Tambora, Indonesia	1815	Global cooling; produced "year without a summer."
Krakatoa, Indonesia	1883	Tremendous explosion; 36,000 deaths from tsunami.
Mount Pelée, Martinique	1902	Ash flow killed 30,000 people in a matter of minutes.
La Soufrière, St. Vincent	1902	Killed 2000 people and caused the extinction of the Carib Indians.
Mount Lamington, Papua New Guinea	1951	Killed 6000 people.
Villarica, Chile	1963–64	Forced 30,000 people to evacuate their homes.
Mount Helgafell, Heimaey Island, Iceland	1973	Forced 5200 people to evacuate their homes.
Mount St. Helens, Washington, USA	1980	Debris avalanche, lateral blast, and mudflows killed 54 people, destroyed more than 100 homes.
Nevado del Ruiz, Colombia	1985	Eruption generated mudflows that killed at least 22,000 people.
Mount Unzen, Japan	1991	Ash flows and other activity killed 41 people and burned more than 125 homes. More than 10,000 people evacuated.
Mount Pinatubo, Philippines	1991	Tremendous explosions, ash flows, and mudflows combined with a typhoon killed more than 300 people; several thousand people evacuated.
Montserrat, Caribbean	1995	Explosive eruptions, pyroclastic flows; south side of island evacuated, including capital city of Plymouth; several hundred homes destroyed.

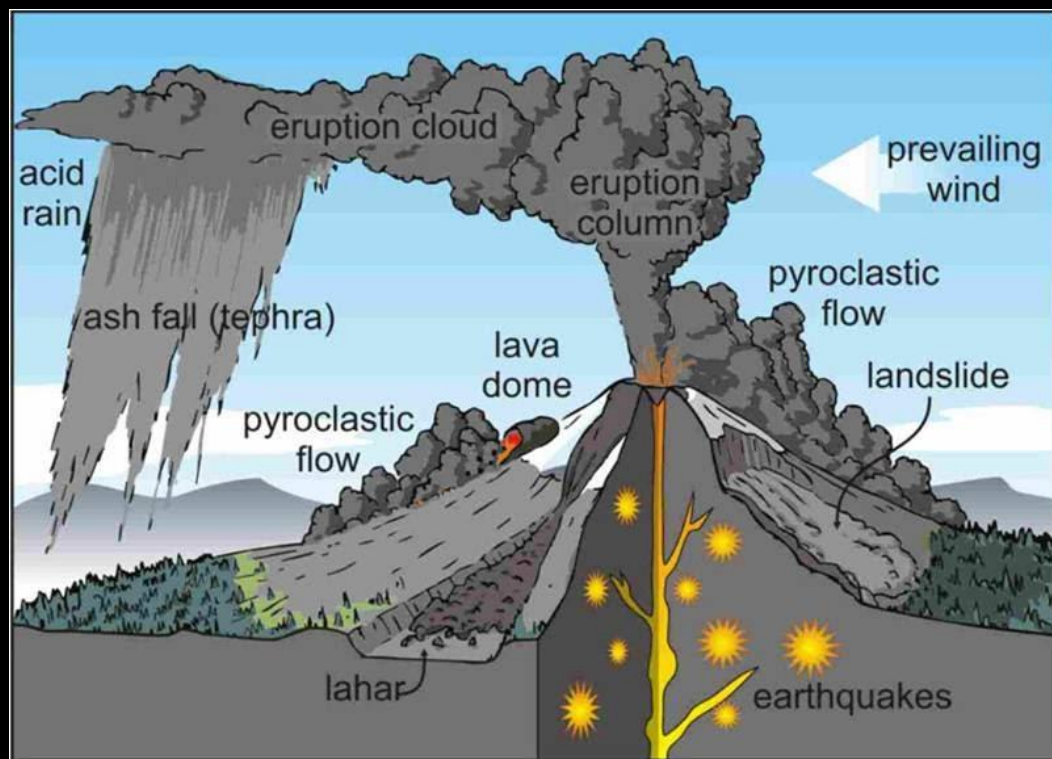
VULKANI I VULKANSKE ERUPCIJE

- lokalizirana geološka opasnost, vezana za tektoniku ploča
- na granicama ploča ili na vrućim točkama



Glavne opasnosti kod vulkana:

- lava,
- piroklastični materijal,
- pepeo,
- lahari,
- plinovi
- strukturni kolaps – lavine i debritni tokovi
- klimatske promjene
- tsunami
- vulkanske munje



Glavne vulkanske opasnosti (infogram.com)

- najugroženije države: gusto naseljene u vulkanski aktivnom području: Japan, Meksiko, Filipini, Indonezija
- vulkani se razlikuju prema **načinu erupcije** (sastav, viskoznost i sadržaj plinova u magmi)
- viskoznost (?)...
- ...otpor tekućine da teče; ovisi o sastavu i temperaturi
- **Tipovi vulkana:**
- štitasti (*shield*): širok, blagi nagibi – pr. Mauna Loa
- kompozitni (*composite*): slojevi lave i piroklastičnog materijala – pr. Fuji



- **Tipovi vulkana:**
- vulkanske dome: eksplozivni, strmi – pr. Mt Lassen
- cinder vulkani: oblik konusa, izbacuju piroklastični materijal – pr. Springerville



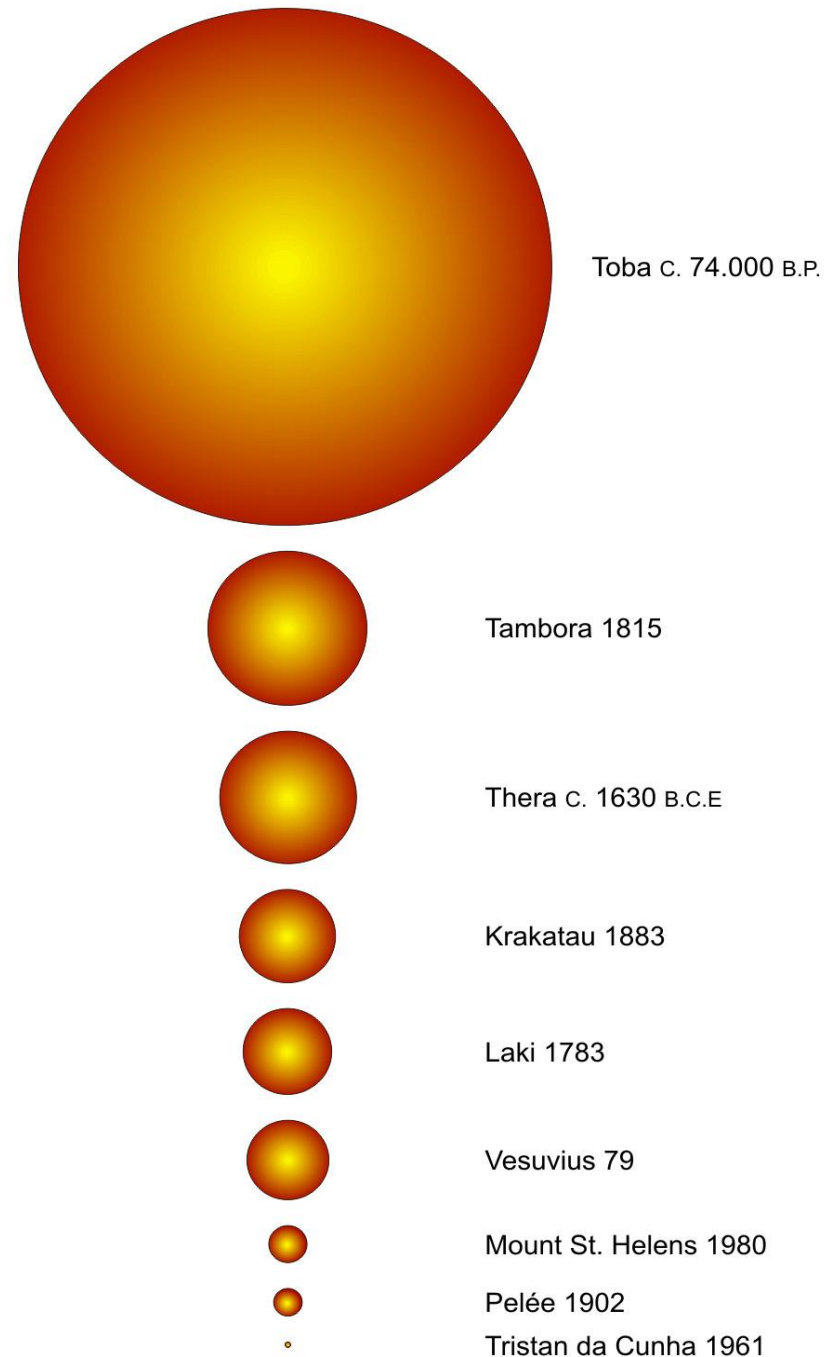
Vulkanska doma: Mt. Lassen (gore; Wikipedia) i cinder vulkan: vulkansko polje Springerville (dolje; azgs.arizona.edu)

Volcano Type	Shape	Silica Content of Magma	Viscosity	Rock Type Formed	Eruption Type	Example
Shield volcano	Gentle arch, or shield shape, with shallow slopes; built up of many lava flows	Low	Low	Basalt	Lava flows, tephra ejections	Mauna Loa, Hawaii Figure 6.5
Composite volcano, or stratovolcano	Cone-shaped; steep sides; built up of alternating layers of lava flows and pyroclastic deposits	Intermediate	Intermediate	Andesite	Combination of lava flows and explosive activity	Mt. Fuji, Japan Figure 6.7
Volcanic dome	Dome shaped	High	High	Rhyolite	Highly explosive	Mt. Lassen, USA Figure 6.8
Cinder cone	Cone shaped; steep sides; often with summit crater	Low	Low	Basalt	Tephra (mostly ash) ejection	Springerville, AZ Figure 6.9

Tipovi vulkana ©Pearson Prentice Hall, 2005

- **Indeks vulkanske aktivnosti** – volcanic explosivity indeks – **VEI**
- mjera volumena eksplozivnog materijala i visine oblaka
- svaka viša kategorija označava deseterostruko jaču erupciju (logaritamska skala)
- analogija Richterovoj ljestvici magnitude potresa

- Shematska usporedba volumena vulkanskog materijala izbačenog prilikom nekoliko poznatijih erupcija



Volcanic eruptions by VEI index^[7]

VEI	Plume height	Eruptive volume *	Eruption type	Frequency **	Example
0	<100 m (330 ft)	1,000 m ³ (35,300 cu ft)	Hawaiian	Continuous	Kilauea
1	100–1,000 m (300–3,300 ft)	10,000 m ³ (353,000 cu ft)	Hawaiian/Strombolian	Months	Stromboli
2	1–5 km (1–3 mi)	1,000,000 m ³ (35,300,000 cu ft) †	Strombolian/Vulcanian	Months	Galeras (1992)
3	3–15 km (2–9 mi)	10,000,000 m ³ (353,000,000 cu ft)	Vulcanian	Yearly	Nevado del Ruiz (1985)
4	10–25 km (6–16 mi)	100,000,000 m ³ (0.024 cu mi)	Vulcanian/Peléan	Few years	Eyjafjallajökull (2010)
5	>25 km (16 mi)	1 km ³ (0.24 cu mi)	Plinian	5–10 years	Mount St. Helens (1980)
6	>25 km (16 mi)	10 km ³ (2 cu mi)	Plinian/Ultra Plinian	1,000 years	Krakatoa (1883)
7	>25 km (16 mi)	100 km ³ (20 cu mi)	Ultra Plinian	10,000 years	Tambora (1815)
8	>25 km (16 mi)	1,000 km ³ (200 cu mi)	Ultra Plinian	100,000 years	Lake Toba (74 ka)

* This is the minimum eruptive volume necessary for the eruption to be considered within the category.

** Values are a rough estimate. Exceptions occur.

† There is a discontinuity between the 2nd and 3rd VEI level; instead of increasing by a magnitude of 10, the value increases by a magnitude of 100 (from 10,000 to 1,000,000).

Tablica odabranih magnituda vulkanskih erupcija (desno) prema VEI indeksu
(Wikipedia)



PAHOEHOE lava, Havaji
(<httpwww.sandatlas.org>)



AA lava, Havaji
(Flickr© Copyright Alan Cressler 2011)



Tok lave prijeti ribarskoj luci - Island, Heimaey 1973 (icelandmag.is)

- **Rizik od vulkana** – ovisi o eksplozivnosti magme; primarni efekti
- **Heterogena magma:** malo plinova, izbacuje piroklastični materijal: vulkanske bombe, stijene, lapile, pepeo, uglavnom neposredno blizu vulkana
- **Homogena magma:** bogata plinovima i viskozna, izbacuje vezikularni i porozni materijal (plovučac)
- **Vrlo viskozna magma:** začepљуje dimnjake; jaki unutarnji pritisci i snažne eksplozije; emisija vrlo vrućeg piroklastičnog materijala (300-800°C) – **nuées ardentes**



Bijeg pred piroklastičnim oblakom
(Youtube)

- ***nuées ardentes*** – brzi oblak plina i pepela
- brzine kretanja x10-x100 m/s
- glavni rizik na regionalnoj skali
- Mt. Pelée, Martinik (1902.-1903. g. i 1929.-1930. g.)
- **Ekstremni stadij** – eksplozija kaldere; nekoliko sukcesivnih eksplozivnih erupcija; morfološke promjene u reljefu; velik rizik za ljude i okoliš
- Vezuv 79. g. i Mt St Helens 1980. g.



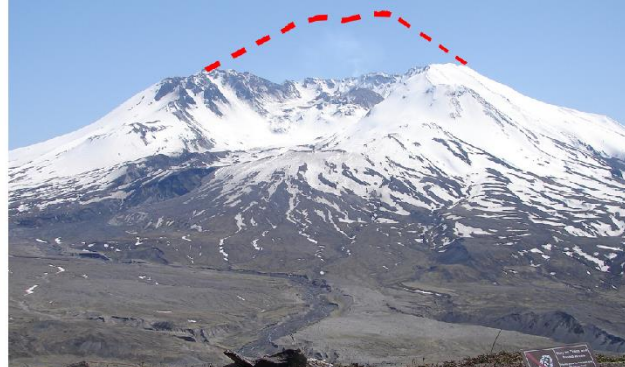
Mount Pelée (Britannica.com)

Mount St Helens prije i poslije erupcije
(volcanosecrets.wordpress.com)

Mount St. Helens before May 18, 1980



And after...



- **Pepeo:**
- prekriva tisuće kilometara
- uništava usjeve i vegetaciju
- kontaminira vodu
- urušava građevine
- direktna ugroza zdravlja (bolesti pluća)
- problem u zračnom prometu
- Grimsvotn, Island, 2011.



Posljedice erupcije vulkana Grimsvotn na Islandu
(Izvori: Reuters; Getty Images; Associated press; Boston

LAHARI

- **Sekundarni efekti erupcije vulkana**
- **Muljni tokovi i odroni materijala** – premještanje piroklastičnog materijala pomiješanog s vodom (snijeg) niz padinu vulkana
- **Lahari** – Mt. St. Helens
- erozija podloge
- brzine: X10km/h
- teče po postojećim udubljenjima
- akumulacija više-metarskih naslaga
- zapunjava riječne doline – rizik (?)



PLINOVİ

- **Sekundarni efekti erupcije vulkana**

- H_2O voda
- CO_2 ugljični dioksid
- CO ugljični monoksid
- H_2S sumporovodik
- HF fluorovodik
- HCl klorovodik
- HBr bromovodik

- otrovni za ljude, životinje (trovanje, gušenje)
- kisele kiše, zakiseljavanje površinskih voda
- Island 1784. – glad uslijed uništene vegetacije

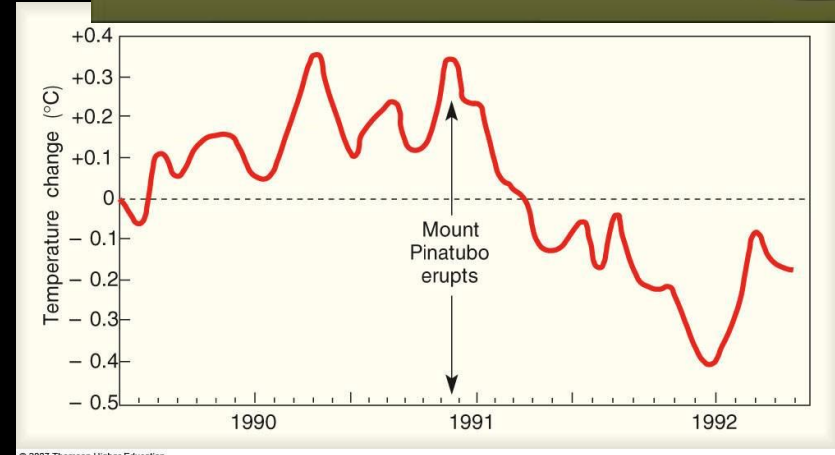
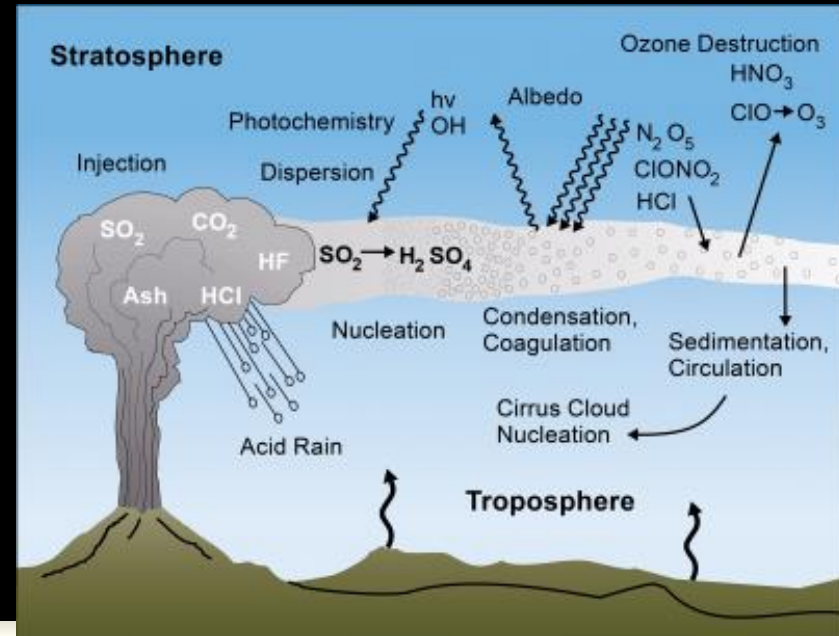


Gore: Stoka ugušena zbog curenja CO_2 u Kamerunu (Williams.Jones i Rymer, 2015)

Dolje: Metalna ograda uništena nakon dugog izlaganja kiselim plinovima (Williams.Jones i Rymer, 2015)

KLIMATSKE PROMJENE

- **Sekundarni efekti erupcije vulkana**
- **Island 1784.** – glad uslijed uništene vegetacije; promjena klima u Europi i šire na sjevernoj polutci
- Vrlo toplo ljeto 1783. i vrlo hladna zima 1784. – prva ideja o utjecaju vulkanizma na klimu (?)
- **Pinatubo, 1991.**, Filipini – pad temperature za $0,5^{\circ}\text{C}$ na Zemlji 1992.
- **Tambora, 1815.**, Indonezija, mrak uzrokovan pepelom, godina bez sunca, pad temperature za 1°C
- **Toba**, supervulkan, prije 74000 god. - smanjena radijacija, globalno zahlađenje $3-5^{\circ}\text{C}$



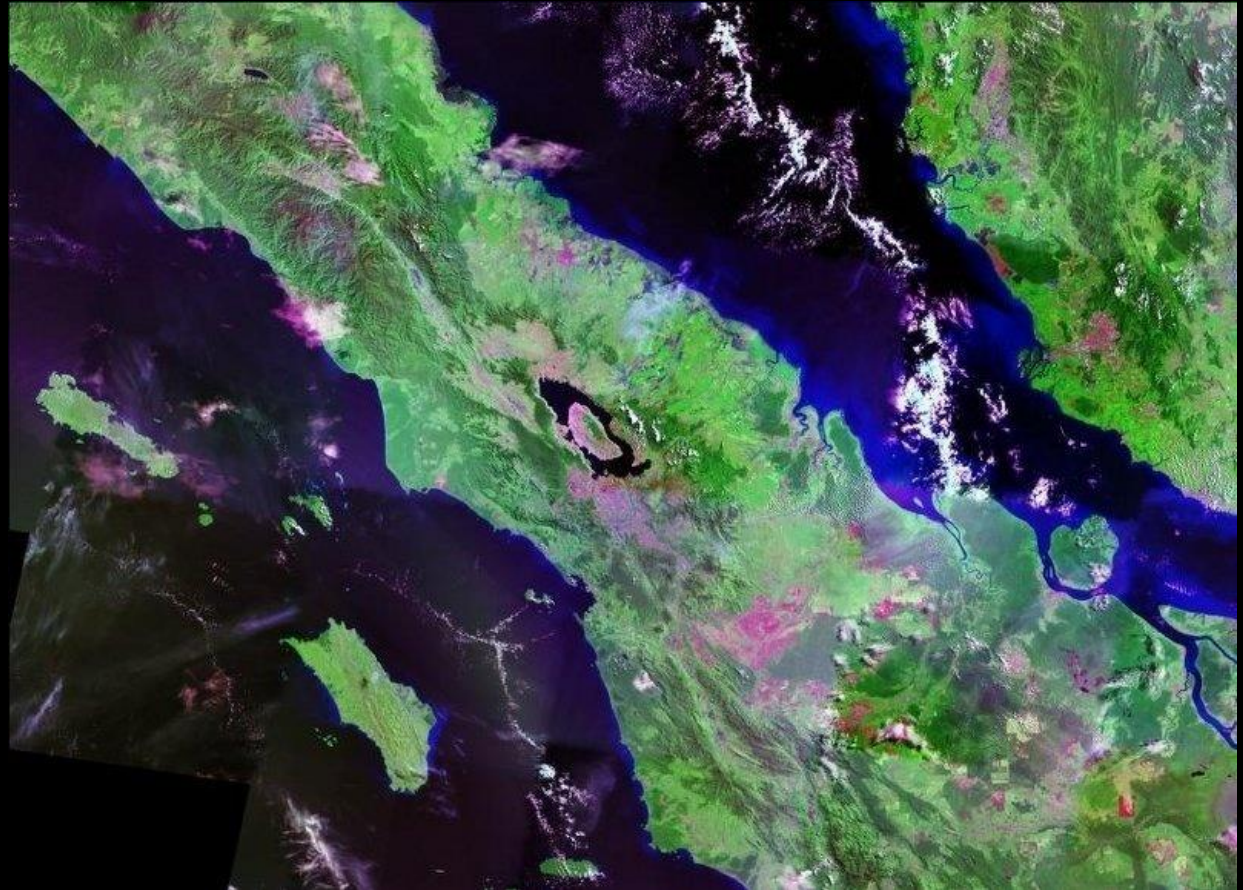
© 2007 Thomson Higher Education

Gore: Višestruki utjecaj vulkanskih plinova na klimu (volcanoes.usgs.gov)

Dolje: Snižavanje temperature na Zemlji nakon erupcije Mt. Pinatubo 1991 god. (<http://apollo.lsc.vsc.edu>)

SUPERVULKANI / TOBA

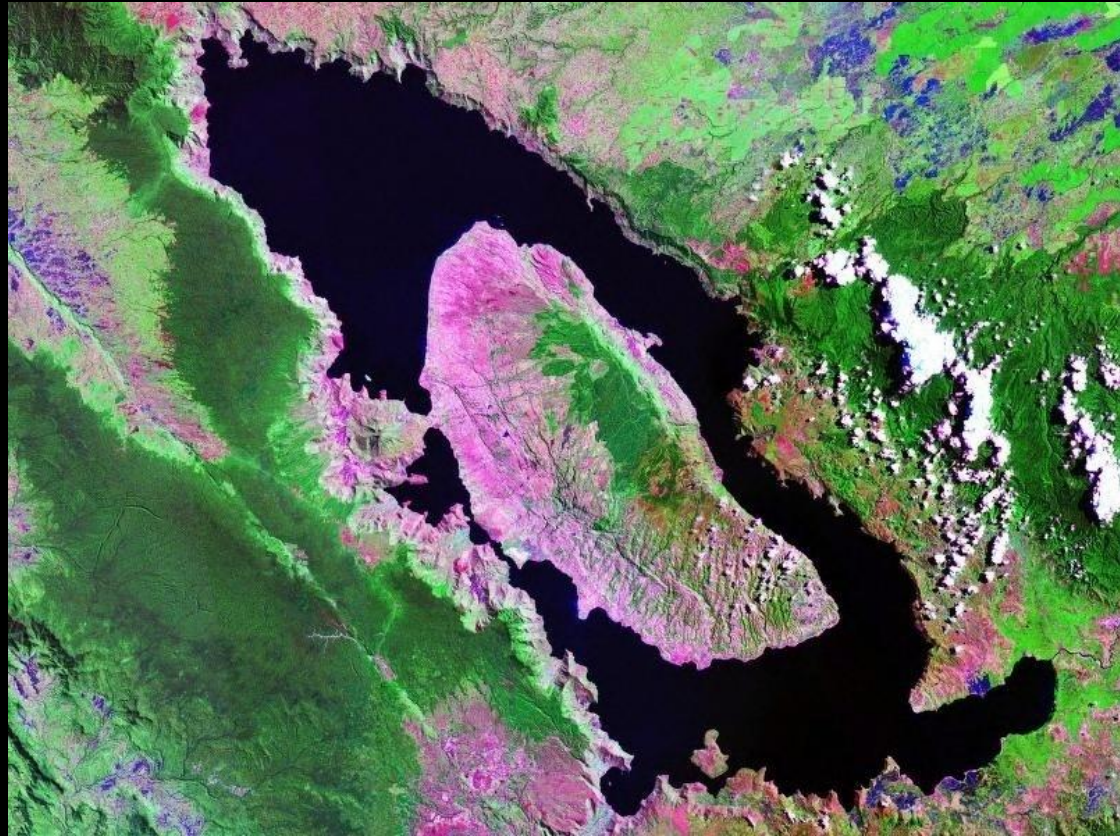
- Znatno veća vulkanska erupcija za koju se smatra da utjecala i na evoluciju čovjeka je eksplozija vulkana nazvanog Toba, prema Indonezijskom najvećem jezeru (Danau Toba na otoku Sumatri).

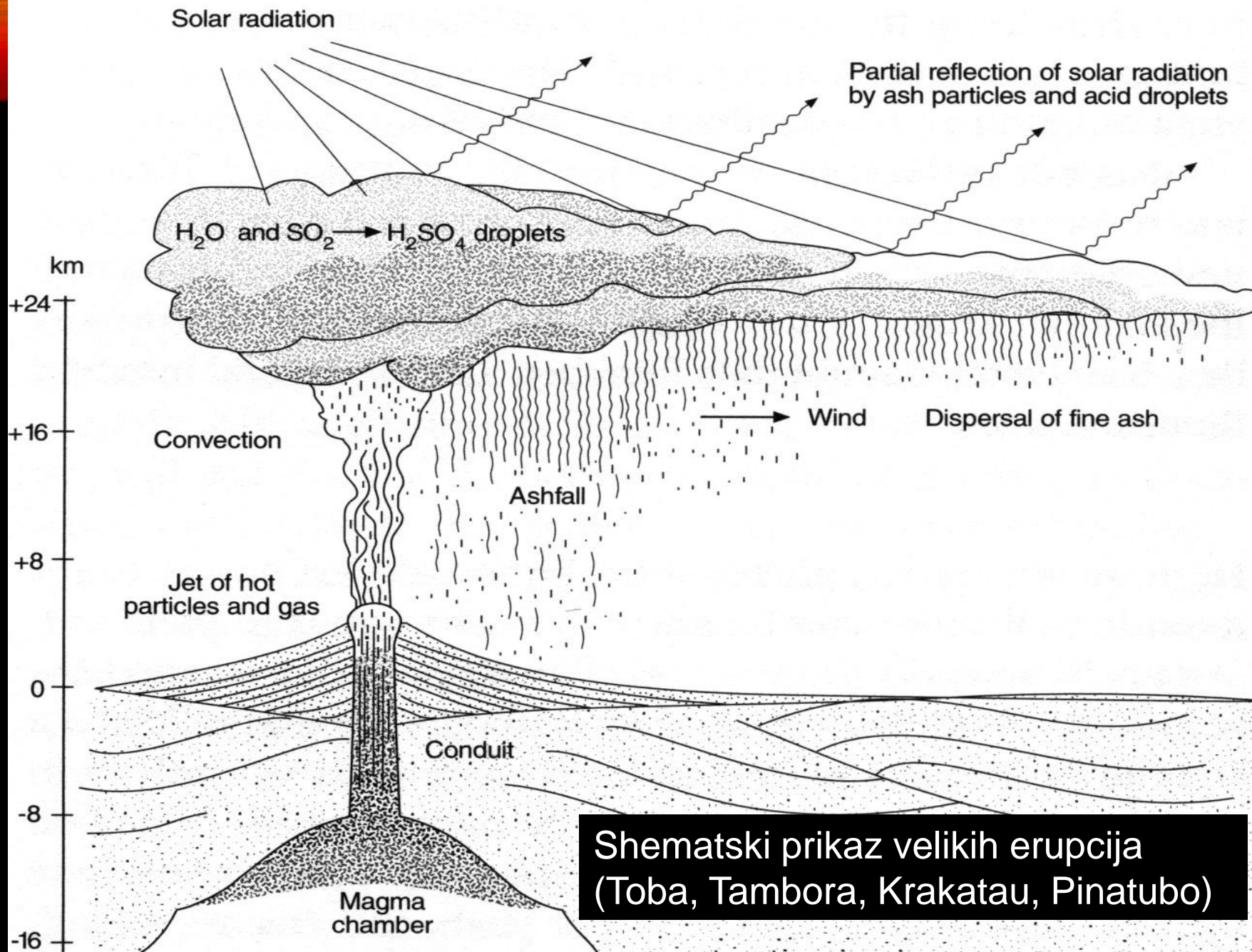


SUPERVULKANI / TOBA

- Procjena je da je u eksploziji prije oko 74.000 godina izbačeno oko 2.800 km^3 magmatskog materijala! Na visinu preko 30 km.
- http://volcano.und.edu/vwdocs/volc_images/southeast_asia/indonesia/toba.html

Danau Toba je kaldera veličine 85 x 25 km.





Shematski prikaz velikih erupcija
(Toba, Tambora, Krakatau, Pinatubo)



The volcano Raikoke, Kurili islands, which last erupted in 1924, expelled an enormous ash plume on June 22, 2019 . Height of plume ~14 km. *Credit: NASA Earth Observatory*

SUPERVULKANI / TOBA

- Vulkanska prašina i kapljice H_2SO_4 (aerosoli = stabilne kapljice u atmosferi) uzrokovali su pojačanu refleksiju i kroz nekoliko godina smanjene temperature na Zemlji za barem 10°C → *vulkanska zima*.
- Ljudska populacija smanjena na možda samo oko 10.000
“evolucijsko usko grlo”
(bottleneck).



Toba danas

SUPERVULKANI

- Yellowstone nacionalni park smješten je u ogromnoj kalderi stvorenoj nakon tri erupcije između 2 milijuna i 640.000 godina.
- Zapadno od Napulja kaldera promjera 13 km (*Campi Flegrei*) pretežno pod morem s 24 kratera i jakom hidrotermalnom (solfatare, fumarole) aktivnošću - Pozzuoli



Tržnica (*Macellum*) u
Pozzuolima (*Puteoli*)

POZITIVNI UČINCI VULKANSKE AKTIVNOSTI

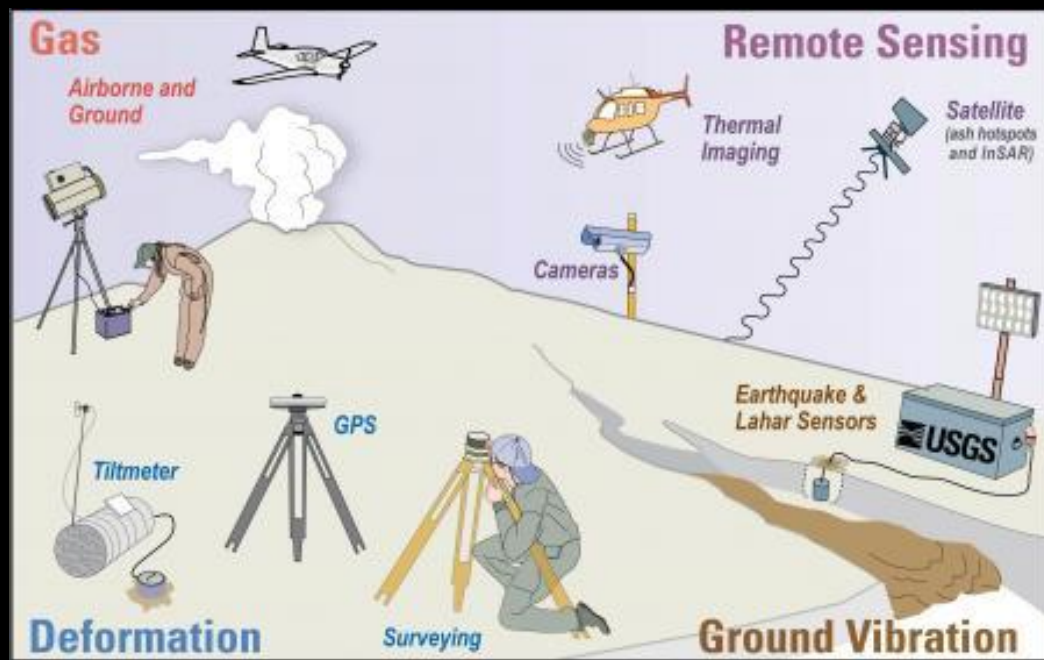
- **Kulturalni vizualni aspekti:**
- kaldere, erupcije, tokovi lave, polja lave, gejziri – turizam, znanstveni turizam
- **Revitalizacija tla** – prirodno gnojenje (K, P, Fe...), brzo se razgrađuje
- Tla u Australiji – neplodna - manjak vulkana
- Plodna tla u Argentini, na Novom Zelandu
- **Eksploatacija materijala** – građevinski kamen, plovučac i pepeo kao agregati, proizvodnja u kemijskoj industriji
- **Proizvodnja energije** – gejziri – geotermalna energija: Island, Italija, USA, Meksiko, Novi Zeland



Gore: Plodna polja oko vulkana, Kina (baodongnai.com.vn)
Dolje: Energija vulkana korištena za grijanje, Island (Wikipedia)

PREDVIĐANJE I OBRANA

- **Donekle moguće predvidjeti**
- Predznaci - praćenje
- **Potresi** – kretanje magme uzrokuje potrese; plitki potresi
- **Geofizičke promjene** – kretanje vrućeg materijala uzrokuje termalne, magnetske i hidrološke promjene
- **Topografske promjene** – promjene razine tla
- Promjena u sastavu i količini **plinova**
- Praćenje **povijesti** erupcija



Praćenje promjena u blizini vulkana (volcanoes.usgs.gov)

- **Skretanje i zaustavljanje tokova lave:**
 - prepreke od vulkanskog pepela, betona
 - hlađenje lave (Island, 1783.)
 - zatvaranje i otvaranje otvora vulkana, Havaji, 1935., 1942.
- **Otvaranje puteva laharima isušivanjem jezera**
- **Povećati razumijevanje i znanje**



POTRESI

- jedna od najrazornijih geoloških opasnosti...(?)
- ...najveći broj smrti i razaranje materijalnih dobara
- **recentniji događaji:**
 - **Zagreb, Petrinja; Turska**
 - 2018, Čile, Bolivija, Peru 6,2
 - 2011. Japan (Tohoku, Sendai) potres 9,0 + tsunami (14 m) + nuklearke Fukushima Daiici, **>30.000 poginulih**
 - 2010. Haiti potres 7,0 **223.000 poginulih**
 - 2008. Kina (Sičuan) potres 7,9 **88.000 poginulih**
 - 2005. Pakistan potres 7,6 **80.000 poginulih**
 - 2004. Indonezija potres 9,1 + tsunami Indijski ocean **228.000 poginulih**
 - 2003. Iran (Bam) potres 6,6 **31.000 poginulih**

- **Potresi** su jedna od najvećih geoloških opasnosti u kojima ginu brojni ljudi i stradavaju materijalna dobra
- Potresi uglavnom ne ubijaju izravno/direktno već ljudi stradavaju od rušenja objekata, požara i sl.



Fukushima 11. 3. 2011.



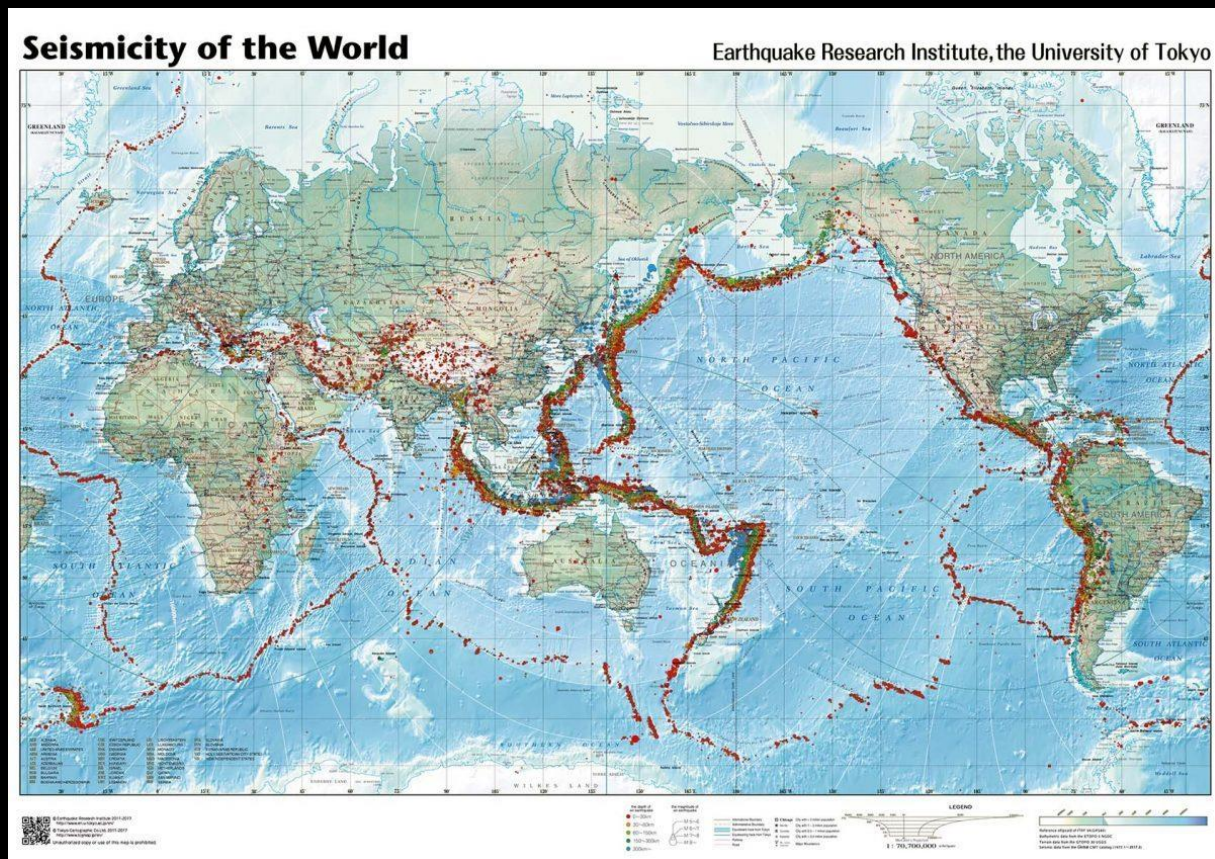
POTRESI (DIGRESIJA)

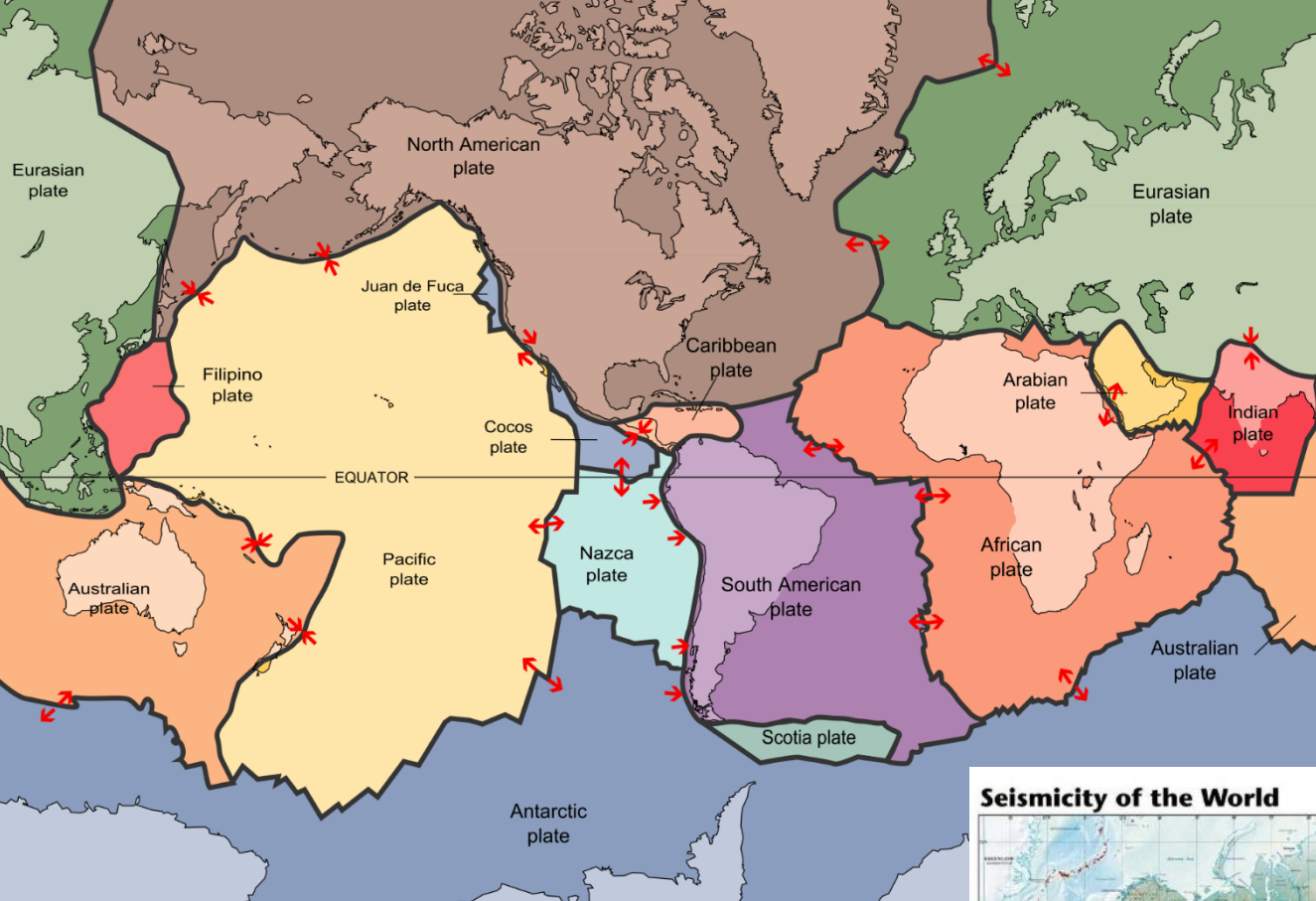
- Potres koji je važan u razumijevanju prirode i stavu prema prirodnim opasnostima je veliki Lisabonski potres 1.11. 1755! Magnituda 8-9, tsunami 5-15 m, 5 dana požari, 10-60.000 poginulih.



<https://lifeafter40.net/2014/12/25/the-1755-lisbon-earthquake-the-start-of-atheism/>

- gdje se pojavljuju potresi...?
- tektonska aktivnost i rasjedi...
- ...rubovi litosfernih ploča
- kakvi rubovi...?





Glavne i sporedne tektonske ploče (Wikipedia)

Seismicity of the World

Earthquake Research Institute, the University of Tokyo



Seizmička karta svijeta (<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp>)

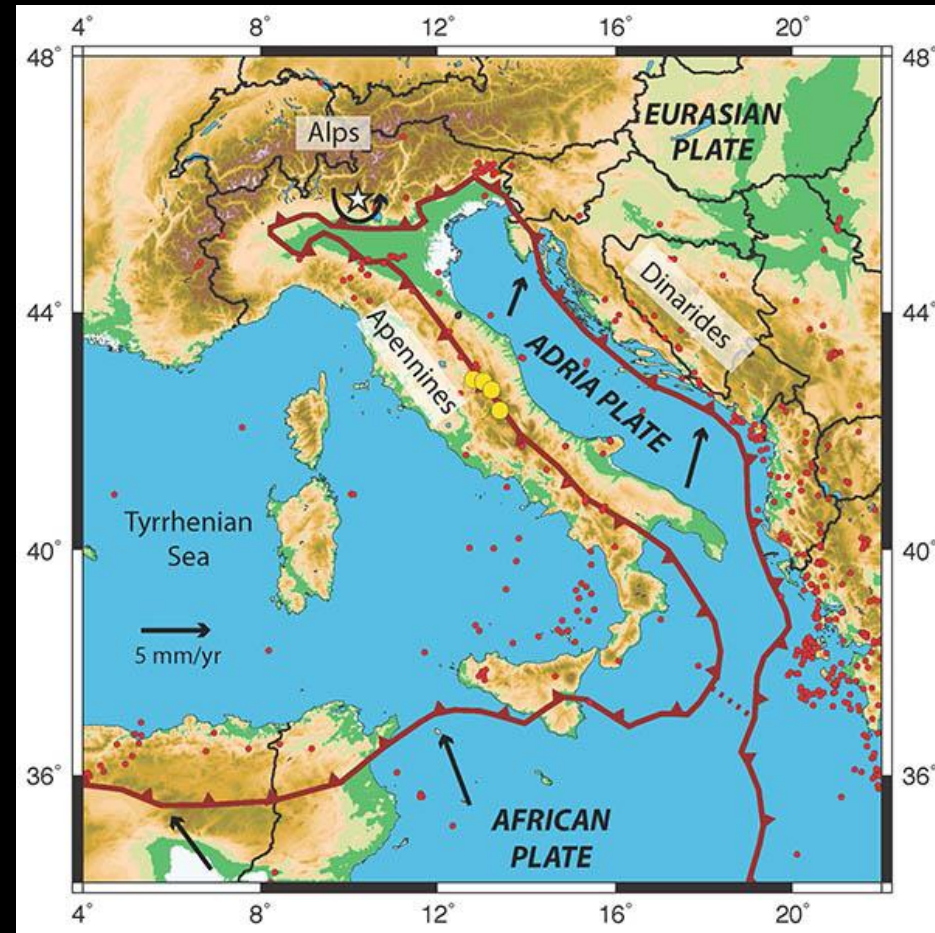




Kaikoura potres 2016. g, Novi Zeland (www.greatjourneysofnz.co.nz; CNN; The New Daily)



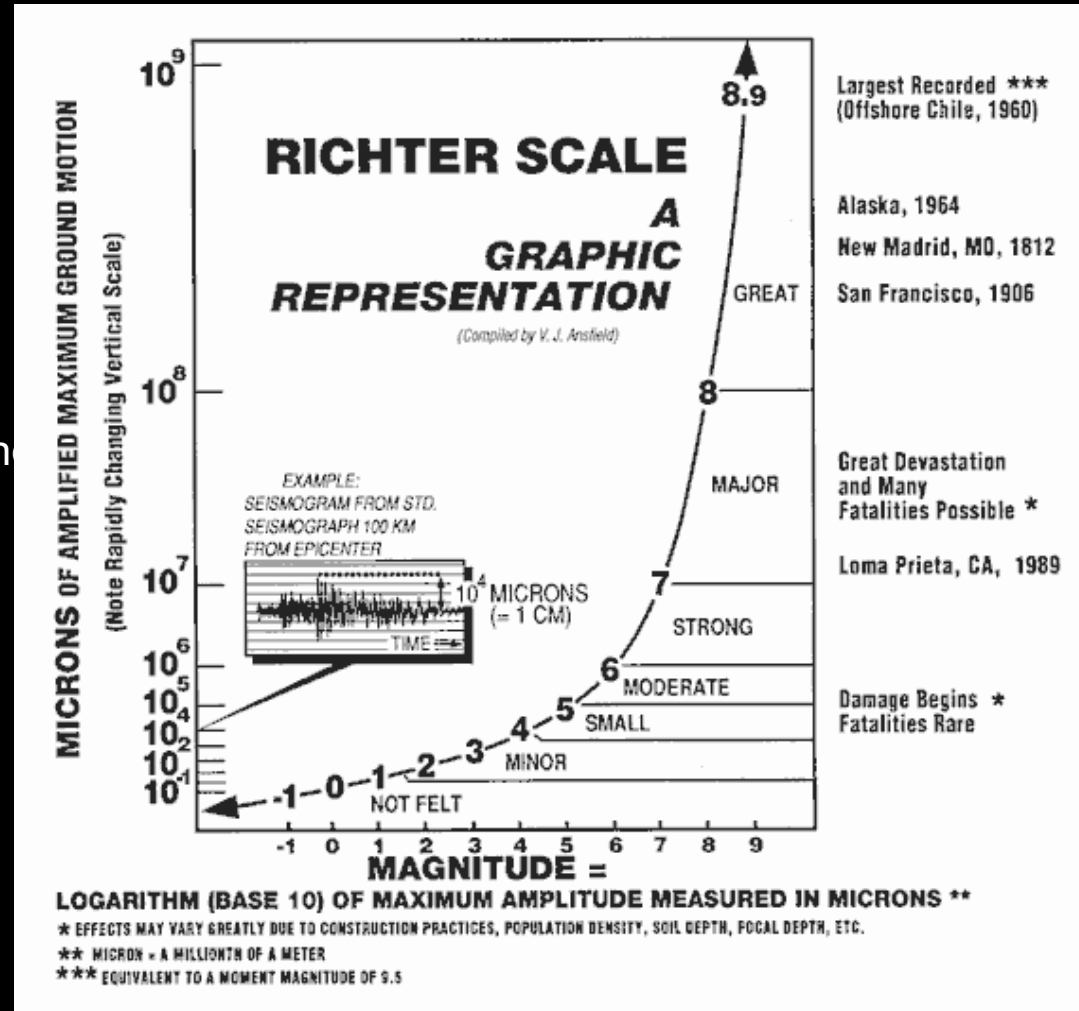
- 95% potresa oko Tihog oceana (80%) i u Sredozemlju (15%)...koje države?
- Italija, Grčka, Hrvatska, Crna Gora, Turska
- koje mikroploče...?
- ...Jadranska, Egejska, Anatolijska
- 95% potresa je plitko (< 60 km)
- često se podudaraju zone vulkanizma i potresa
- **Intenzitet potresa...(?)**
- MCS ljestvica-mjeri se šteta na površini



Jadranska mikroploča (physicstoday.scitation.org)

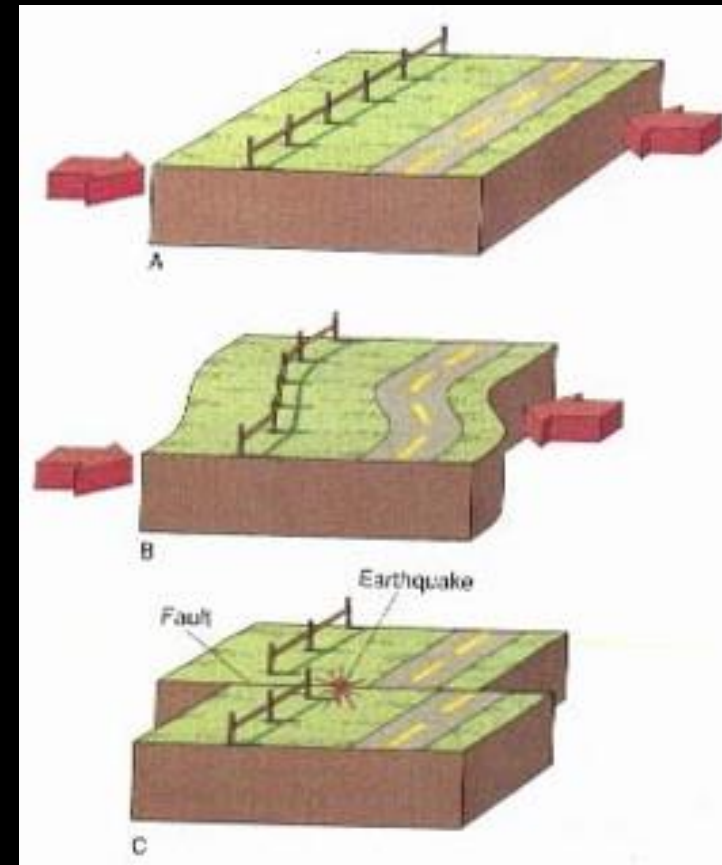
• RICHTEROVA LJESTVICA

- 1935., Charles F. Richter,
- numerička skala za kvantificiranje magnitude, tj. energije potresa
- logaritamska... (?)
- ... mali potresi mogu imati i negativne vrijednosti magnitude
- nema gornje granice, ali praktična granica je 9
- duljina trajanja potresa – raste s magnitudom



Richterova ljestvica jačine potresa
(www.geo41.com)

- **Učestalost potresa... (?)**
- ...obrnuto proporcionalna jačini i magnitudi
- Mehanizam nastanka:
- **teorija elastičnog odgovora (*elastic rebound theory*)**
- pojava elastične deformacije nakon djelovanja seizmičkih valova zbog kojih se dio stijene vraća u prijašnje stanje naprezanja (Benac, 2016)



Elastični odgovor kod potresa (ic.arc.losrios.edu)

A – inicijalno stanje

B – savijanje dok se ne pređe snaga stijene

C – pucanje, oslobađanje energije i vraćanje stijene u prijašnji oblik

- **Ključnu ulogu u širenju potresa imaju fizičke karakteristike geoloških formacija**

- hoće li efekt potresa bolje amplificirati pijesak ili granit?

- **Mexico City – 1985.**

- uništeno 7400 građevina, neke udaljene stotinama kilometara od epicentra... (?)
- grad je građen na jezerskim sedimentima

Litologija	Seizmički intenzitet
• granit	0
• vapnenac	1,0-1,5
• šljunak	1,0-1,6
• suhi pijesak	1,2-1,8
• suha glina	1,1-2,1
• mokri pijesak	1,7-2,8
• mokra glina	3,3-3,9



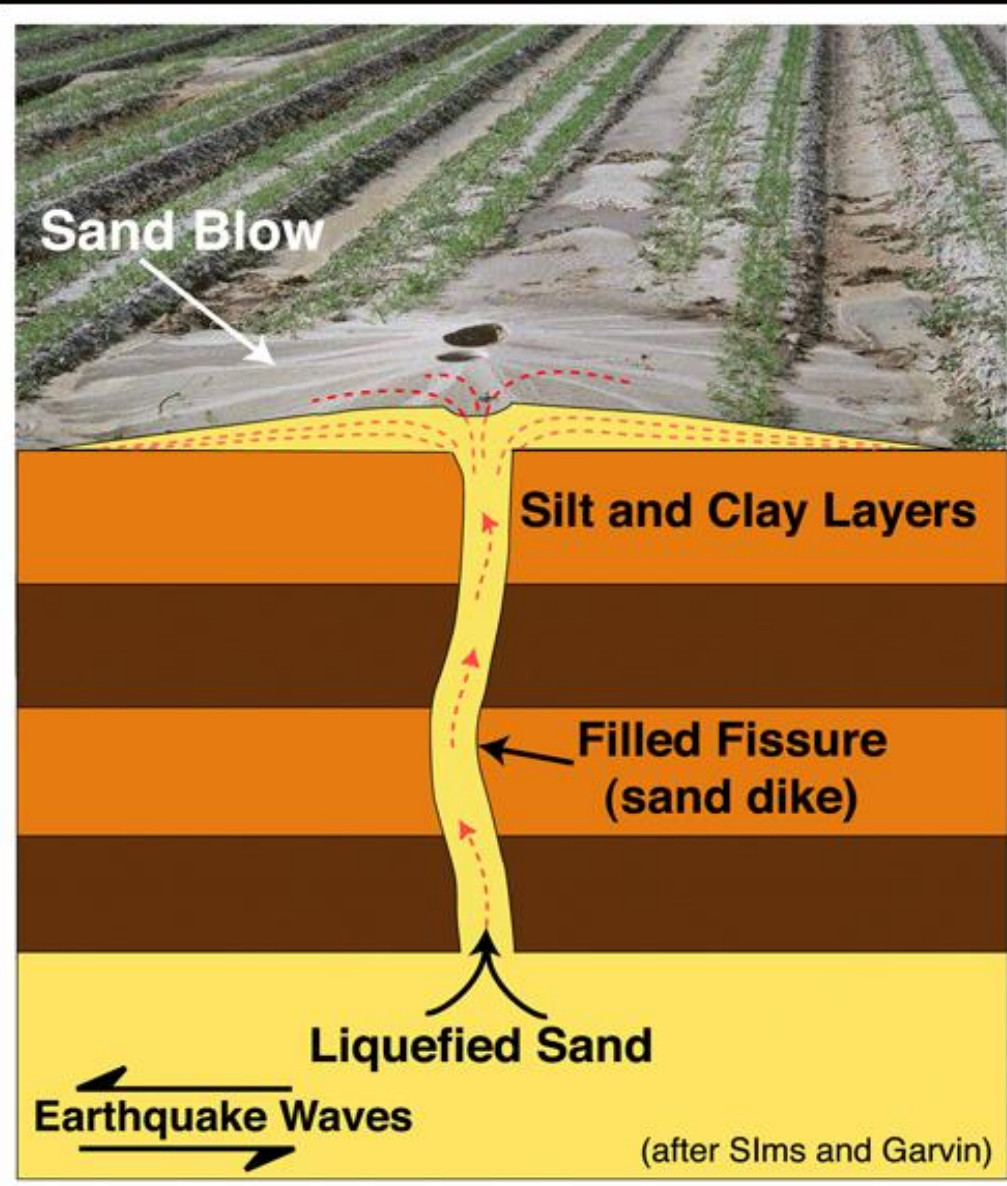
Ruševine u Meksiku 1985. god
(mexiconewsdaily.com)

SEKUNDARNI EFEKTI POTRESA

- likvefakcija
- denivelacija tla
- tsunami
- poplave
- klizišta i odroni
- požari



- **Likvefakcija** je pojava prijelaza sedimenata (obično sitnozrnatih) u tekuće stanje što može uzrokovati istiskivanje takvog materijala i diferencijalno slijeganje i rušenje objekata građenih na takvom području.



LIKVEFAKCIJA

- miješanje pijeska/tla s podzemnom vodom tijekom potresa
- podloga postaje meka i ponaša se kao živi pijesak
- podloga se odmah učvrsti nakon što trešnja prestane
- najugroženija područja?
- <https://www.youtube.com/watch?v=RJCidfj-x9M>
- <https://www.youtube.com/watch?v=balm5oi5eA>



Niigata, Japan, 1964, rušenje uslijed likvefakcije
(depts.washington.edu)

DENIVELACIJA TLA

- promjena razine tla
- dm-m
- duž rasjeda/pukotine
- **Aljaska 1964.** – obala Tihog oceana je pomaknuta: dijelovi morskog dna postali kopno, a dijelovi kopna potopljeni
- **Japan, 2011.** – zašto je tsunami pogodio Japan...?
- izgrađen obalni zid, ali spuštanje tla preko 1 m



Gore: denivelacija tla na Aljasci 1964. godine
(www.theatlantic.com)

Dolje: Obalni zid u Japanu 2011g. i isto mjesto 2015.
(yp.scmp.com; asiabizz.com)

POPLAVE I KLIZIŠTA/ODRONI

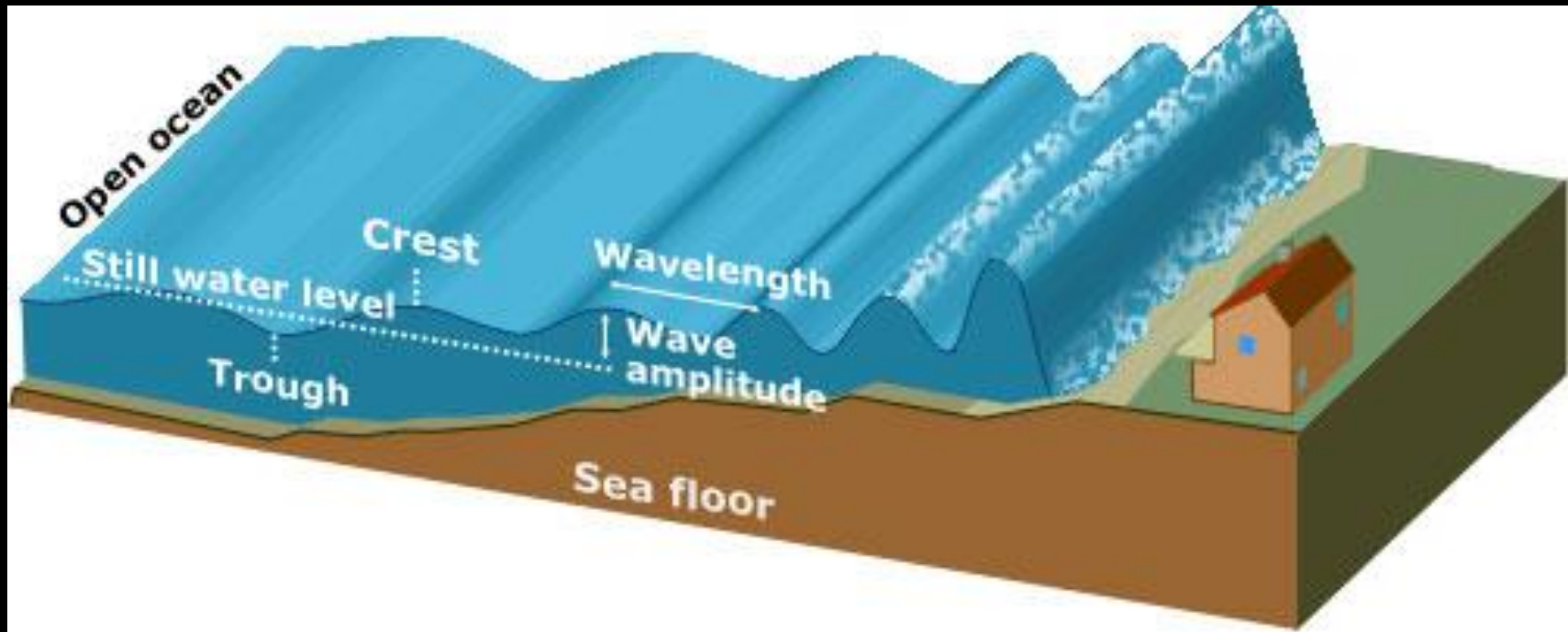
- potres inicira rušenje...(?)
- ...brana na rijekama i jezerima
- destabilizacija hidrografske mreže, pogotovo u planinskim dijelovima...
- ...najugroženiji dijelovi...(?)



Pojava klizišta u Nepal u nakon potresa 2015.
(phys.org)

TSU NAMI = LUČKI VAL

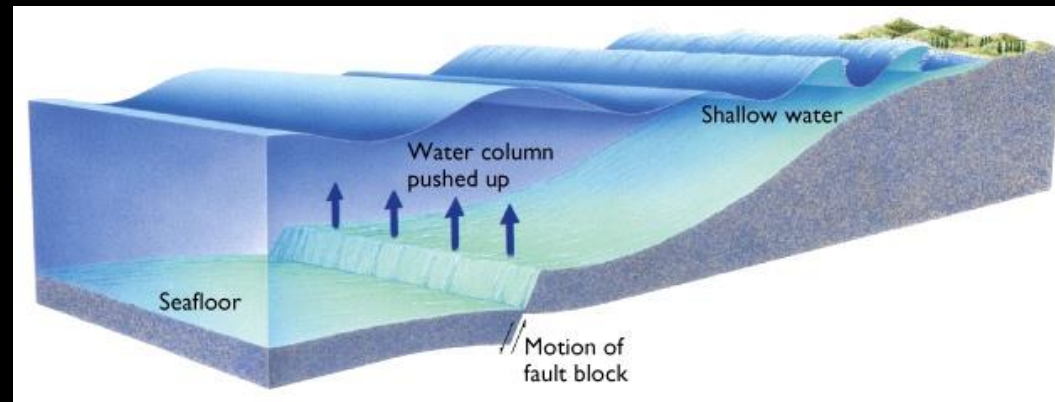
津波



- Visina im je u otvorenom moru vrlo mala (do 1m), ali u plićemu se brzina širenja znatno smanjuje pa visina drastično raste (više desetaka m).

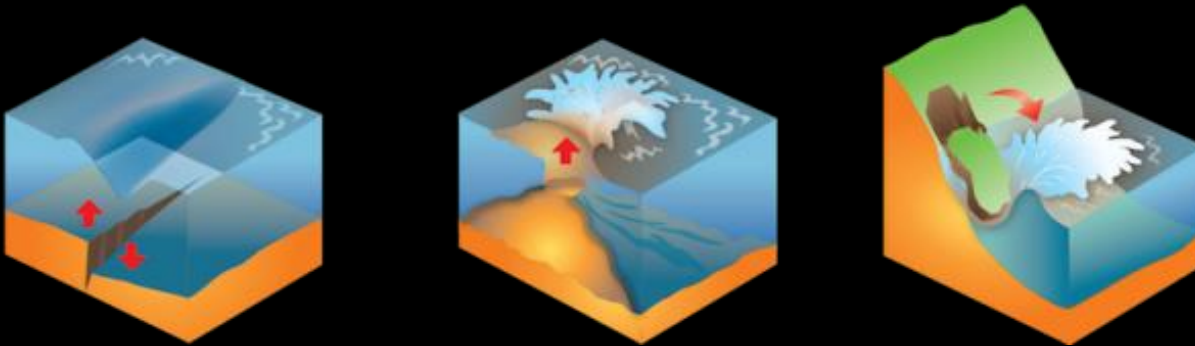
TSUNAMI

- valovi koji nastaju radi denivelacije morskog dna...
- ...ali i podmorskih klizišta, vulkanskih erupcija
- x10 m visine
- velike valne duljine (x10-x100 m)
- velika brzina širenja (do 230 m/s)
- ovisi o dubini oceana
- na otvorenom mala visina
- oplićavanjem raste visina

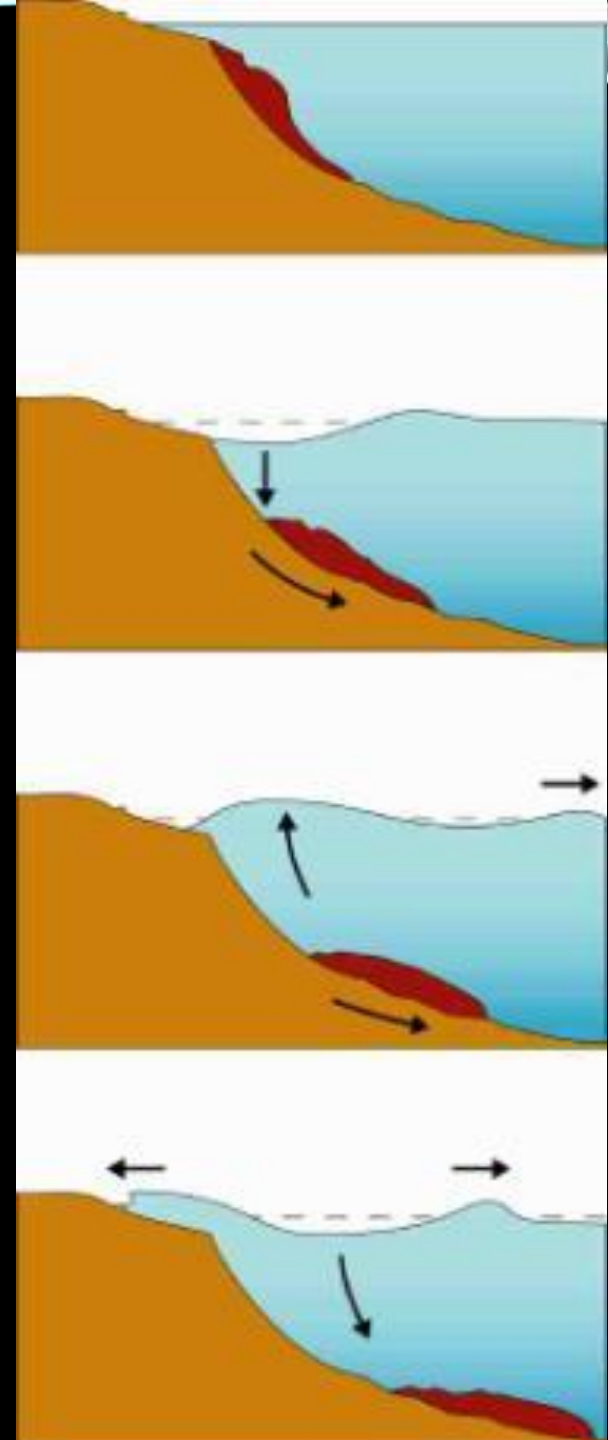


Denivelacija morskog dna uslijed potresa kao okidač za tsunami
(www.intechopen.com)

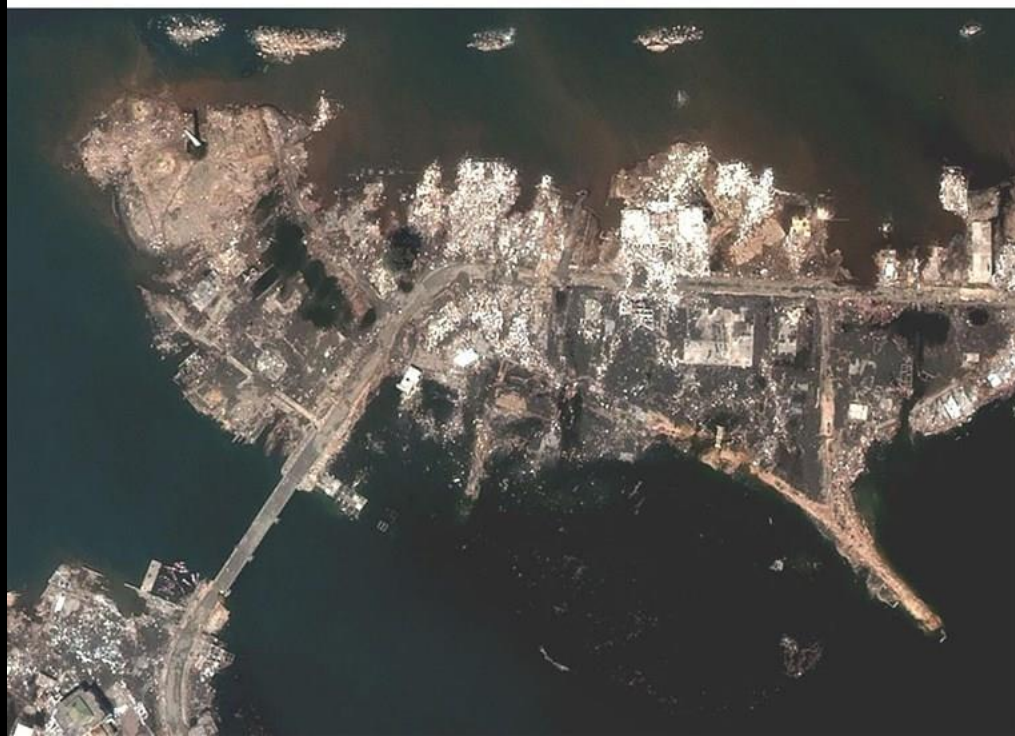
TSUNAMI



Tsunami uslijed različitih uzroka (manoa.hawaii.edu) i klizišta (www.nrc.gov)



Banda Aceh, Sumatra prije i nakon tsunamija
2004. g.
(www.nbcnews.com)



POŽARI

- uništeni plinovodi i strujovodi
- najugroženiji...?
- ...gradovi/naselja

• **1906. San Francisco** – grad je spaljen u 3 dana nakon potresa, 250 000 ljudi ostalo bez doma

• značajnu ulogu u širenju sekundarnih efekata potresa imaju građevine i intervencije u okolišu!



San Francisco u požaru nakon potresa 1906.
(abc7news.com)

POTRESI: PREDVIĐANJE

- nemoguće ih je u potpunosti predvidjeti
- **bitna je prevencija:**
 - poznavanje povijesti seizmičnosti regije
 - povijest mjerenih potresa
- **predviđanje:**
 - trebalo bi se očitovati o tome gdje i kad će se potres pojaviti,
 - kolika će biti magnituda, koji su predznaci za to i kolika je vjerojatnost za njegovu pojavu
- **predznaci:**
 - ponašanje životinja, promjene podzemne vode kemijske promjene u okolišu, predudari



•**Slučaj 1.:** duž rasjeda San Andreas na lokaciji Parkfield

•na temelju više potresa u 19 st. predvidjeli da će se pojaviti potres magnitude 6, između 1988. i 1996.; potres tog tipa javio se tek 2004.

•**Slučaj 2.:** u Kini u mjestu Haicheng predviđen je potres

•izdana je naredba za evakuaciju

•potres se dogodio dan nakon evakuacije

•znakovi koji su upućivali su bili: porast razine podzemne vode, vijesti sa više mjesta o tome kako se životinje ponašaju jako čudno i niz manjih “pred-udara”

•nemaju svi potresi predznake, npr. 1976. u Kini, mjesto Tangshan doživjelo je potres

•bez predznaka, magnitude 7.6, poginulo je 250 000 ljudi.



- **Statistički pristup predviđanju:**

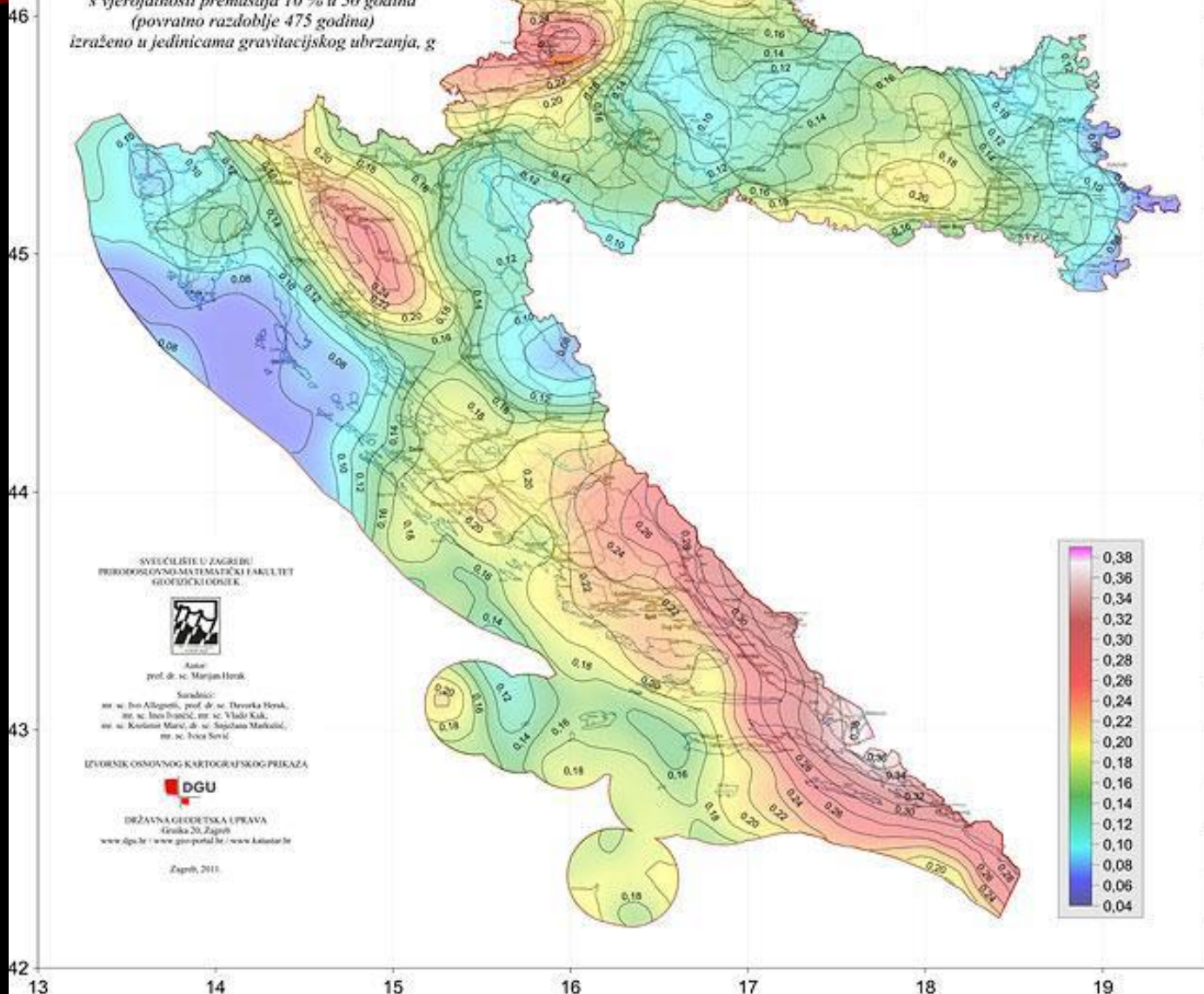
- **izrada modela vjerojatnosti** na temelju povijesnih podataka, geoloških i geofizičkih osobitosti

- **Izrada karata opasnosti** – holistički pristup:

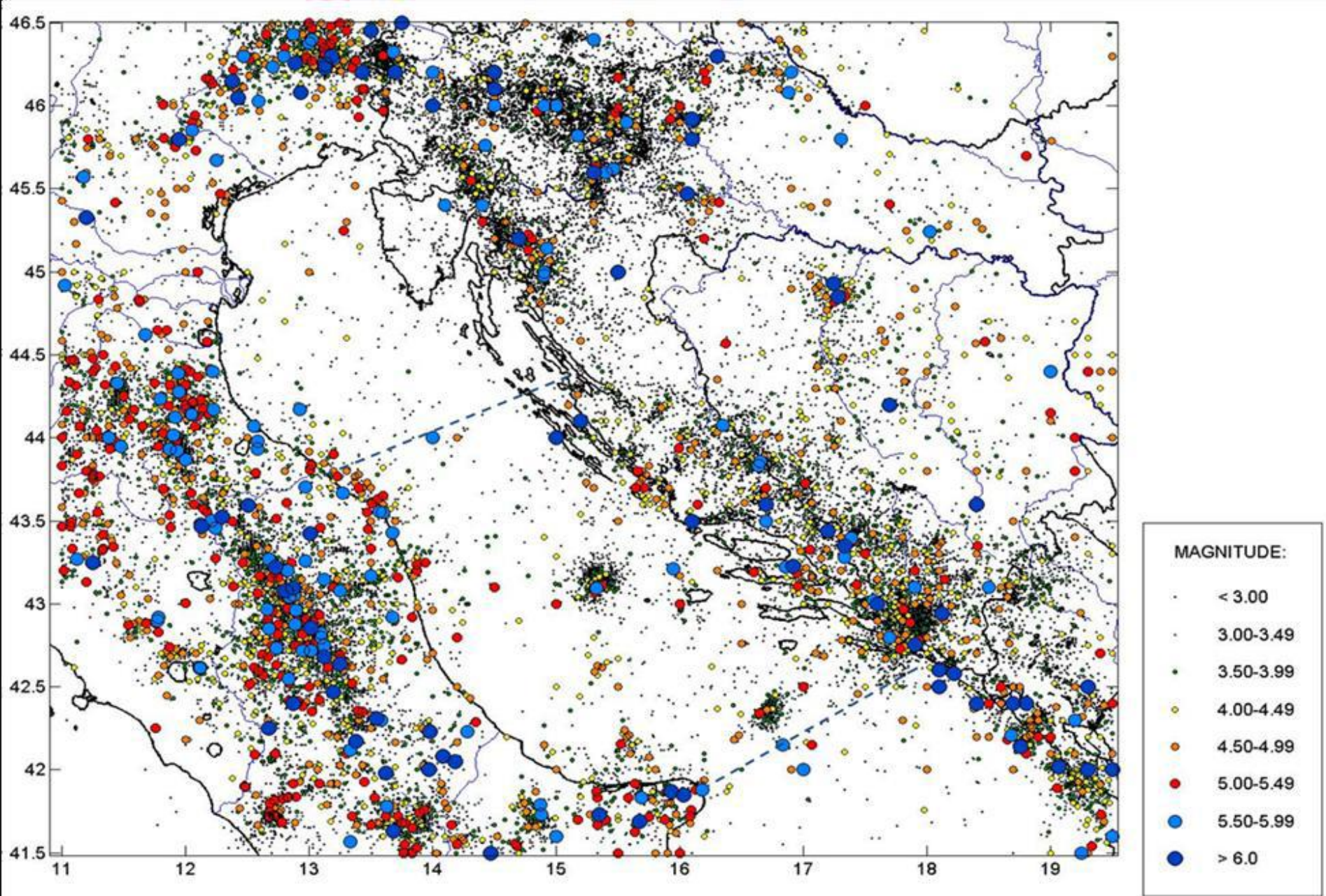
- seizmografi, tiltimetri, extenziometri, analiza mehaničkih svojstava stijena, gravimetri, GPS mjerenja, magnetometri, piezometri, mjerenja otpornosti, kemijske analize...

Republika Hrvatska Karta potresnih područja

*Poredbeno vršno ubrzanje tla tipa A
s vjerojatnosti premašaja 10 % u 50 godina
(povratno razdoblje 475 godina)
izraženo u jedinicama gravitacijskog ubrzanja, g*



Karta potresne opasnosti u Hrvatskoj (Herak i dr., 2011.)



Karta Epicentri potresa u Jadranskom području (Rosso i dr., 2006.)

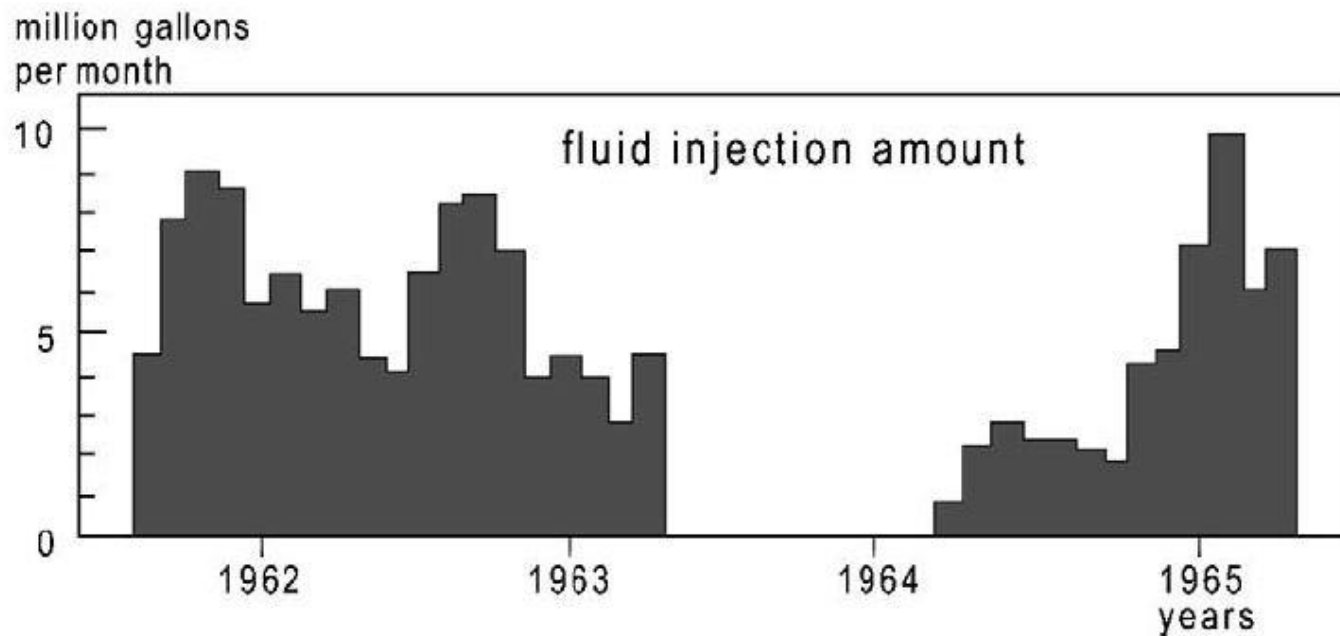
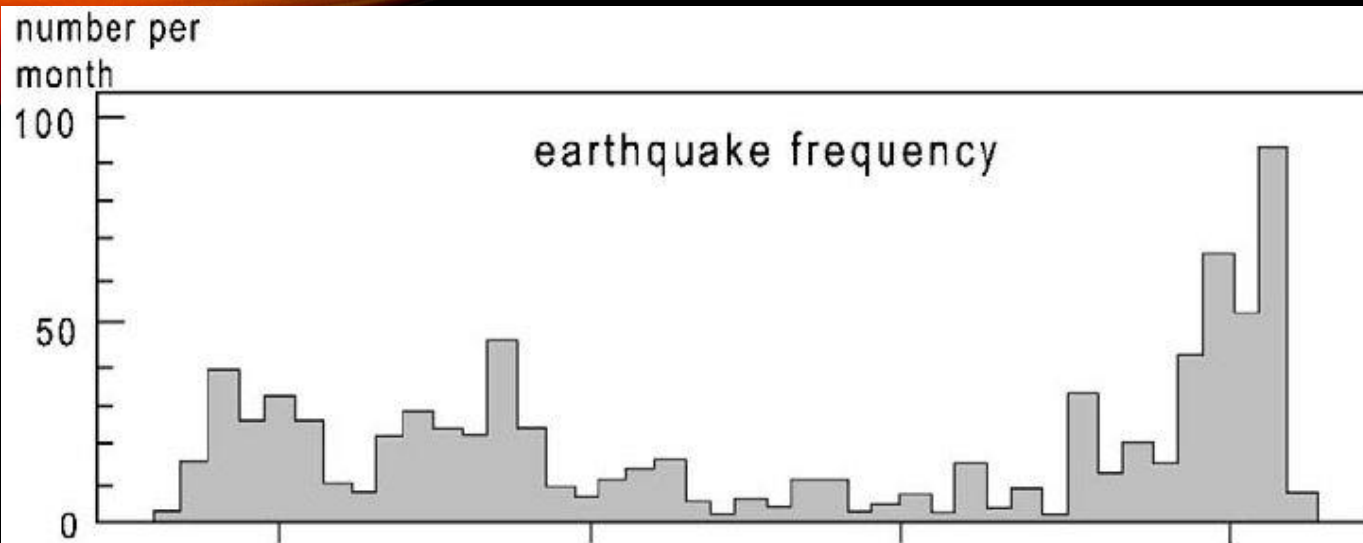
UMJETNI POTRESI

- posebna kategorija
- izazvani ljudskim djelovanjem, nenamjerni potresi
- najčešći uzroci:

•1. izgradnja brana na rijekama

- pr.: potresi niskih do srednjih magnituda (uglavnom oko 5 zabilježeni u području bazena rijeke Colorado (inače seizmički neaktivno područje)
- posljedica punjenja podzemlja vodom nakon izgradnje brane i povećanje tlaka u porama akvifera (?)
- pr.: Indija – potres magnitude 5 uslijed izgradnje Koyna brane i rezervoara; 177 poginulih, značajna materijalna šteta

- **2. pohranjivanje fluida u podzemlje**
- pr. pohranjivanje tekućeg otpada u podzemlje u blizu Denvera
- posljedica povećanja tlaka u porama u akviferu
- spoznaja o ovakvim potresima koristi se za ublažavanje jačih potresa u seizmički aktivnim područjima – smanjivanjem trenja unutar stijena nakon ubrizgavanja tekućine
- **3. nuklearne eksplozije**
- pr.: pojava desetaka potresa u Nevadi tijekom 196-ih nakon nuklearnih pokusa
- magnituda < 5



Korelacija pojave umjetnih potresa i ubrizgavanja tekućeg otpada u podzemlje (Chamley, 2003)