



MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ
FAKULTA
Univerzita Karlova

Co víme o zemětřesení?

Vladimír Plicka, Katedra geofyziky

O čem si dnes budeme povídat

- Co je zemětřesení
- Zakládáme seismickou stanici
- Datová centra, jak získat data
- Stanice MFF v Řecku
- Jaderné výbuchy
- Významná zemětřesení (Atény, Tohoku - Japonsko, Turecko)
- Předpovídání zemětřesení a ochrana před nimi
- Hádanka na závěr

Jak popsat zemětřesení?

$$u_i = \left(\int_{\Sigma} m_{pq} d\Sigma \right) * G_{ip,q} = M_{pq} * G_{ip,q}$$

Zemětřesný zdroj

Struktura Země

Členění zemětřesení

(**přírodní** x **vyvolané člověkem**)

- **Tektonické**

pohyb dvou horninových bloků

- **Sopečné**

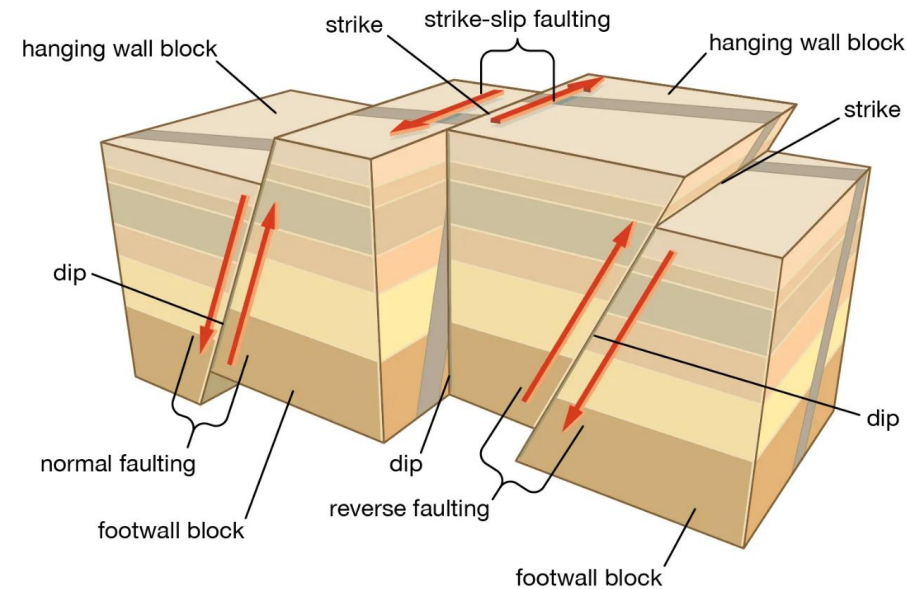
otřesy spojené se sopečnou činností

- **Říťivé**

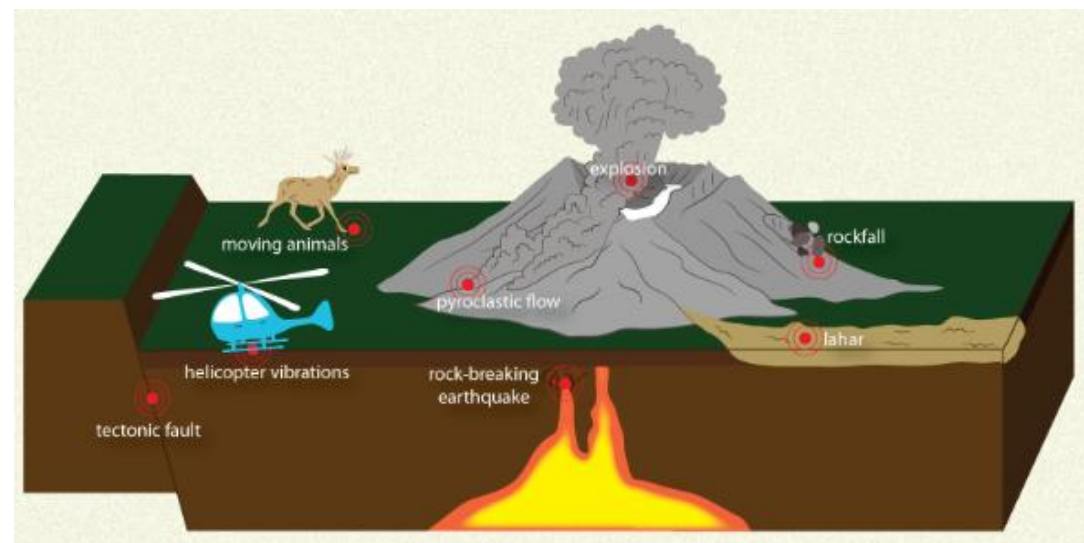
důlní závaly, sesuvy svahů, dopad meteoritů

- **Exploze**

důlní a průmyslové odpaly, jaderné výbuchy

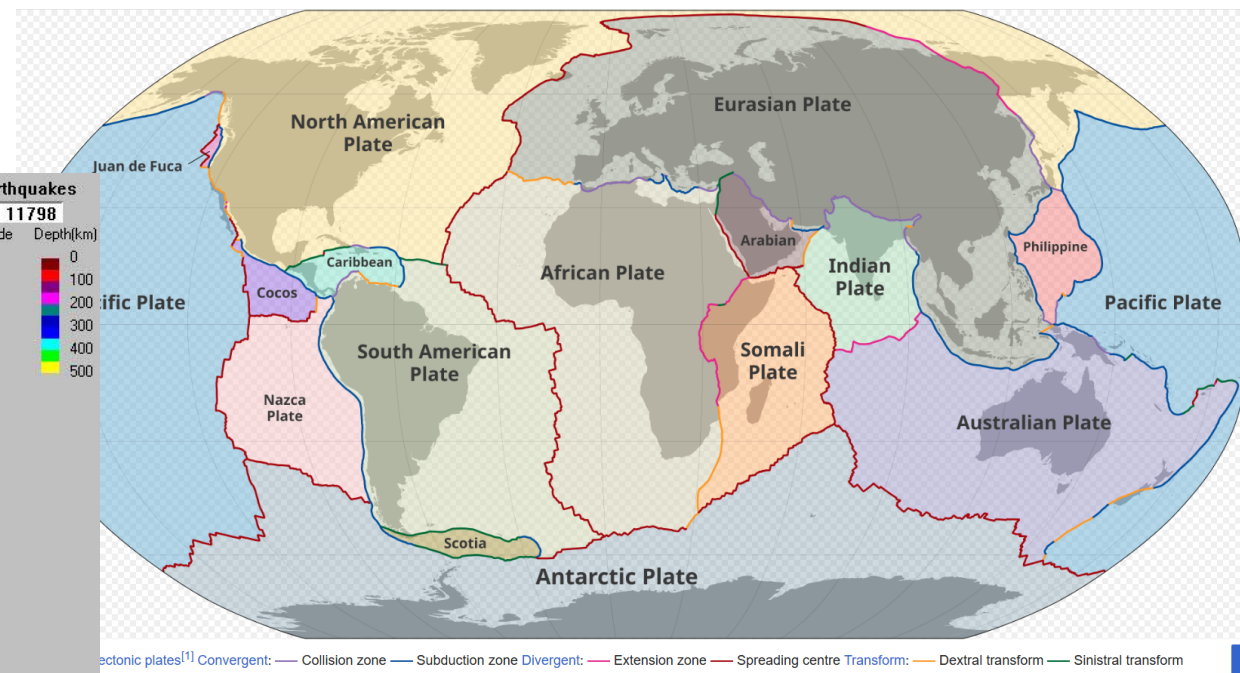
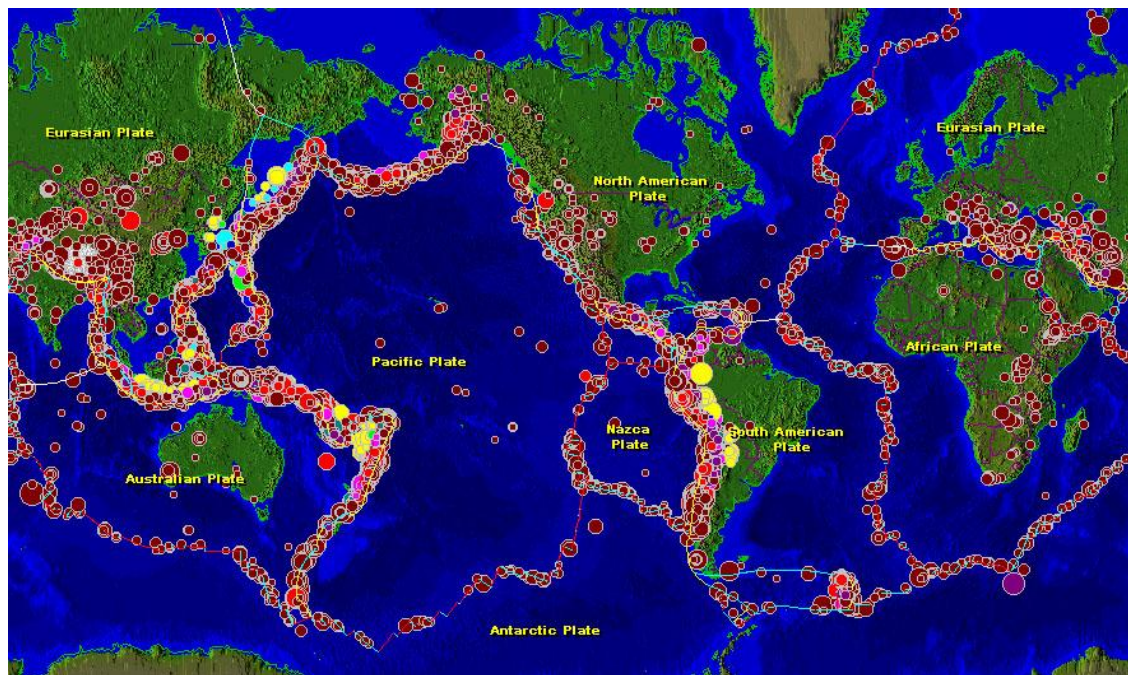


© 2015 Encyclopædia Britannica, Inc.

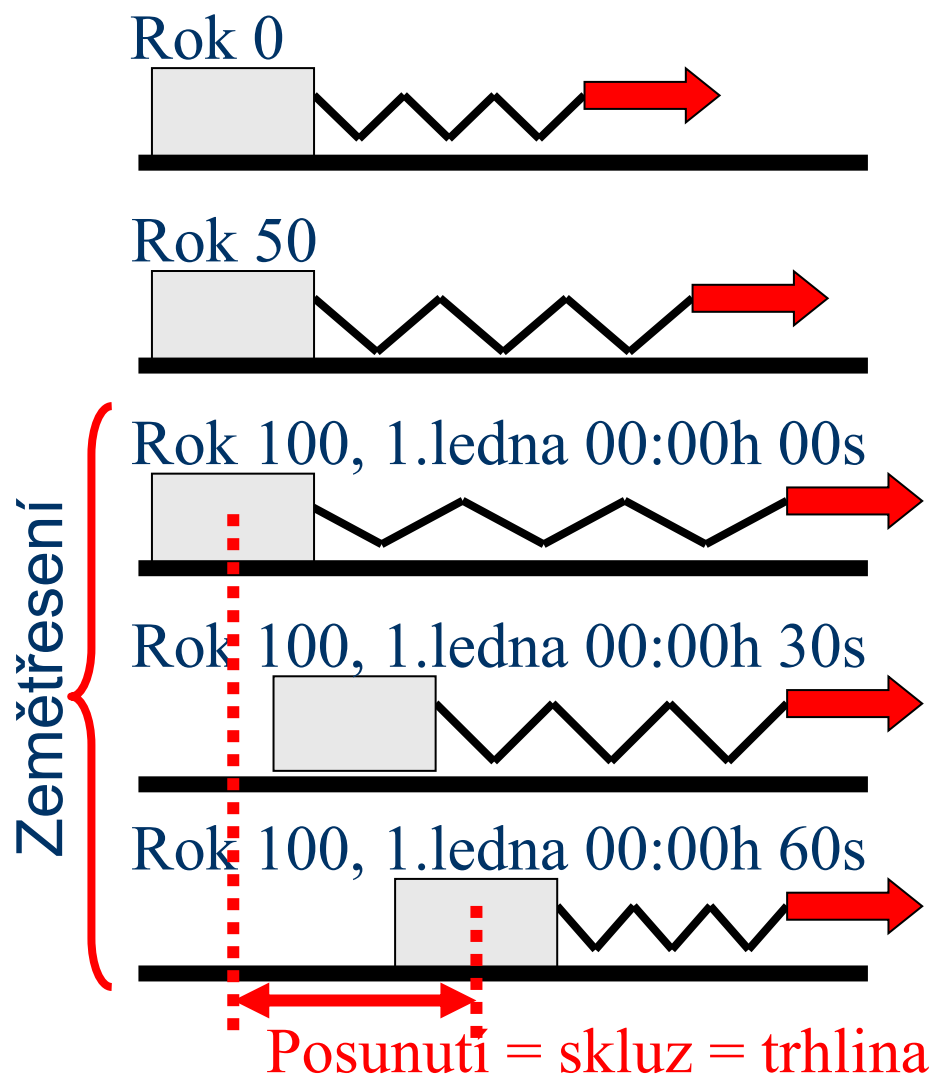


Zdroj tektonických zemětřesení

- Tektonická zemětřesení se zpravidla odehrávají na plochách – zemských zlomech, ty se ve velké míře nachází při okrajích tektonických desek.
- Rychlost několik cm/rok



Princip zemětřesení = náhlé uvolnění místního zaklesnutí desek na zlomu

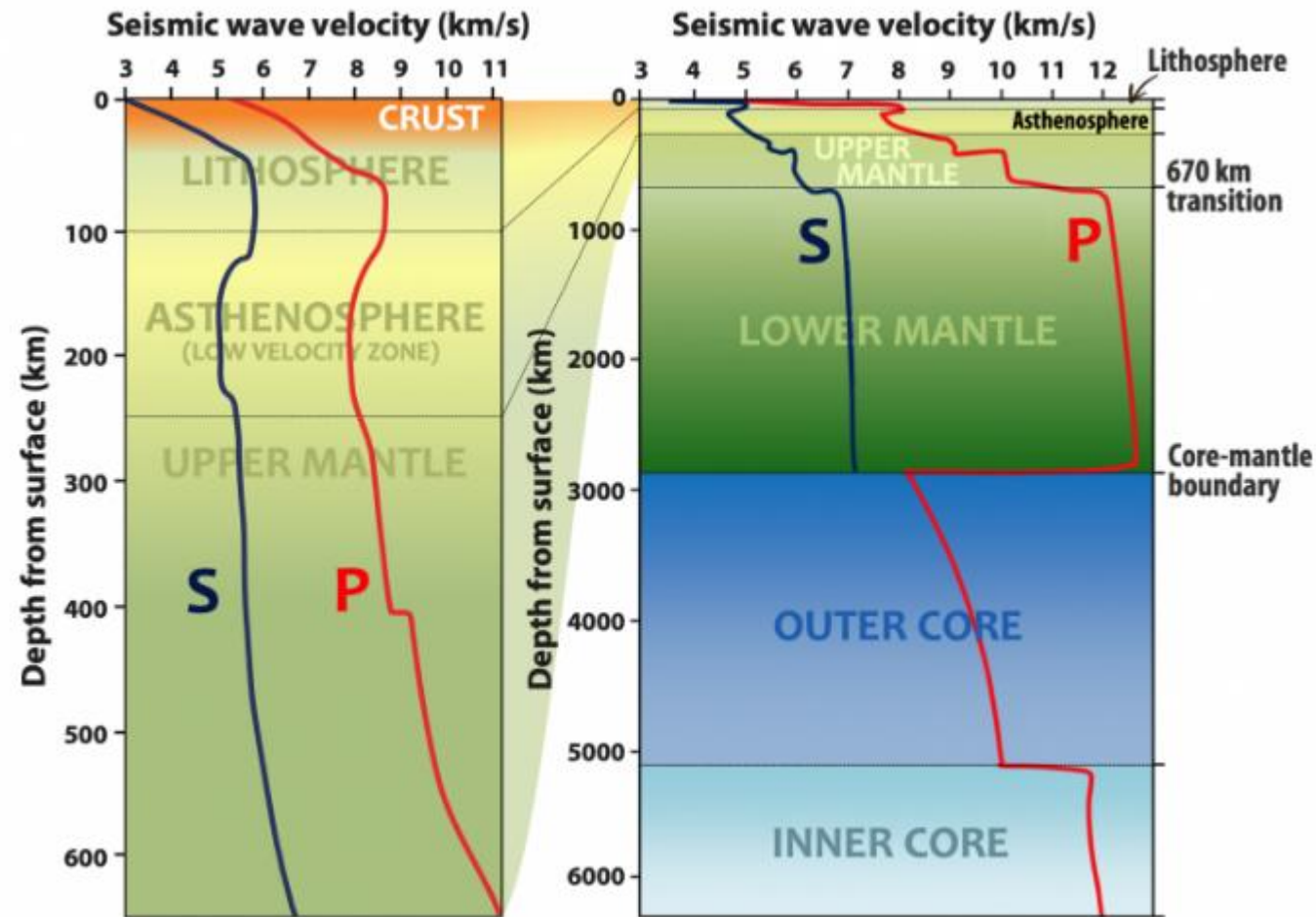
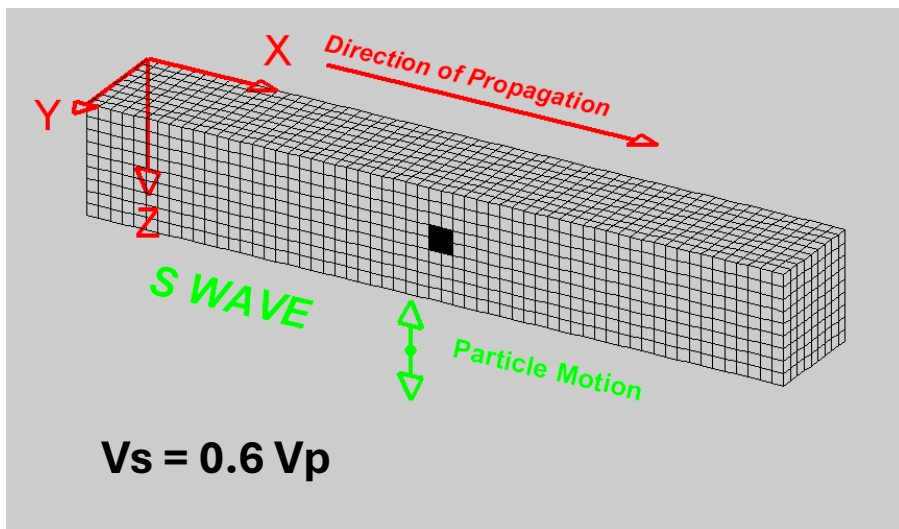
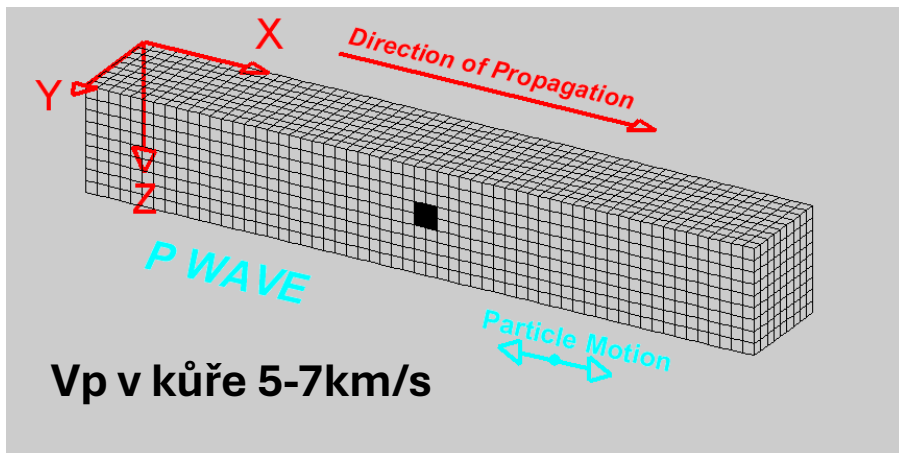


Práce tažné síly se dlouho „ukládá“ do potenciální energie pružiny a ta se pak rychle uvolní.

Celý process se může opakovat.

Trhlina vyvolá pružné vlnění, které se šíří v Zemi

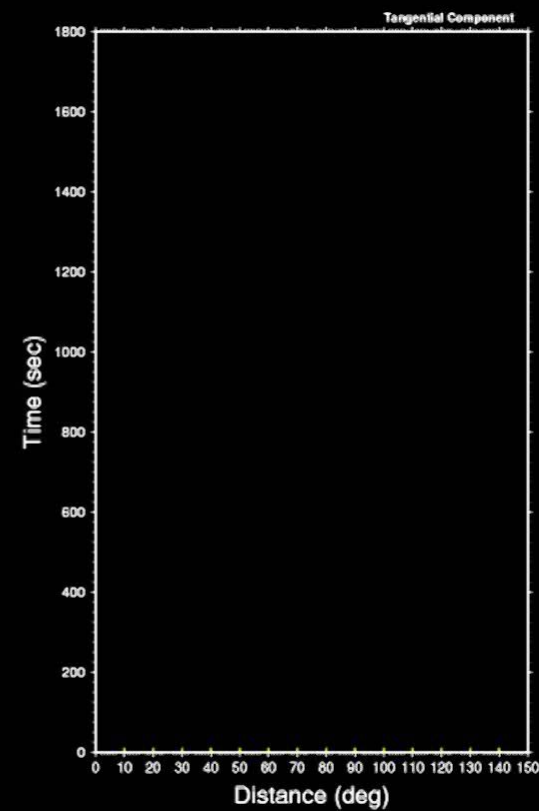
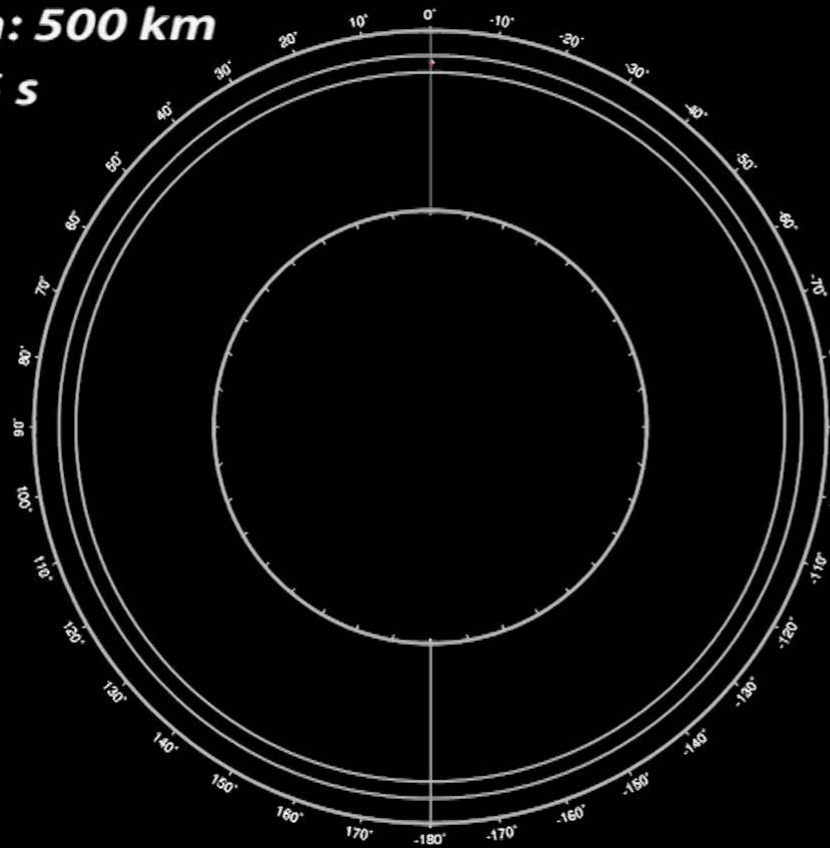
Seismické elastické vlny



Phases: *S, Sdiff*

Depth: 500 km

$T = 15\text{ s}$



<http://web.utah.edu/thorne>

<https://ds.iris.edu/seismon/swaves/index.php>

Zakládáme seismickou stanici

- Potřebujeme:
 - Peníze
 - Seismograf
 - Registrační aparaturu
 - Operátora
 - (Přístup na internet)

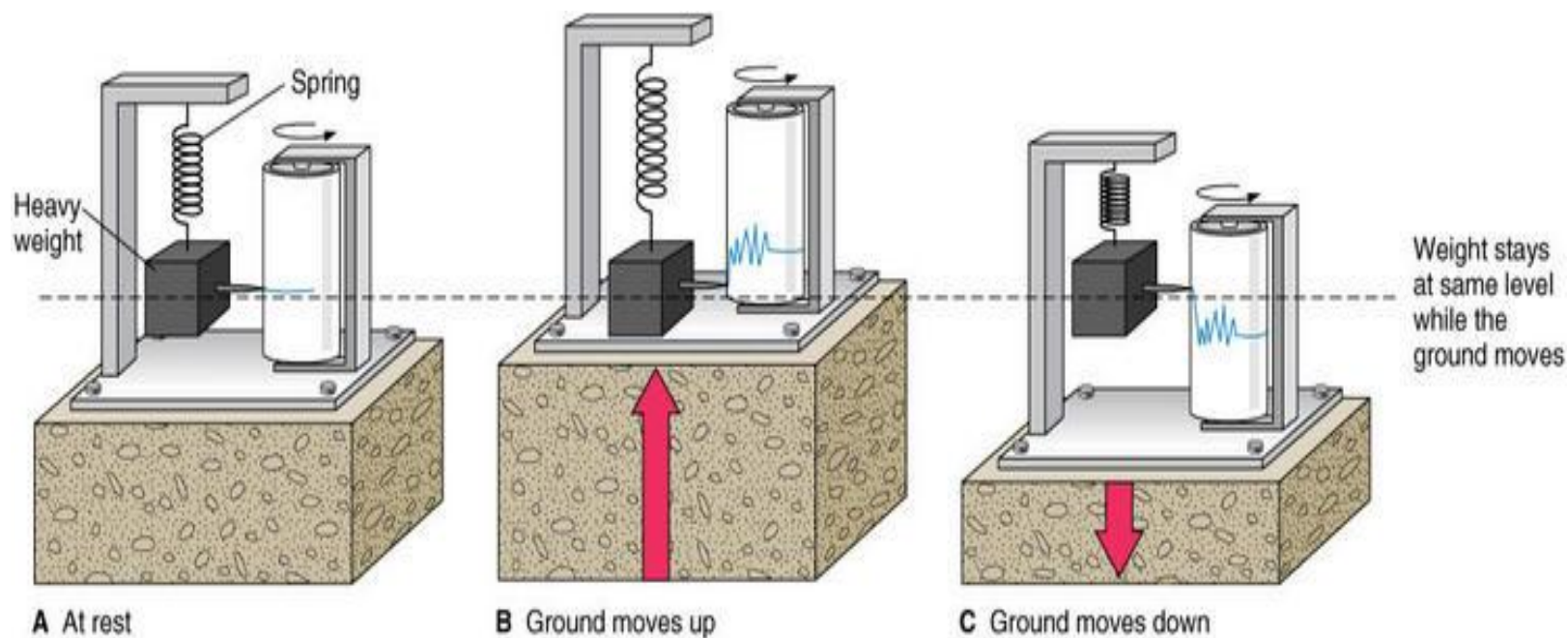


Historický seismoskop



Autor: Zhang Heng (r. 132 n.l.), vynálezce, historik a astronom na císařském dvoře dynastie Han

Seismograf - princip



Vertikální seismograf - video

Seismograf – základní typy



- **Krátkoperiodické**

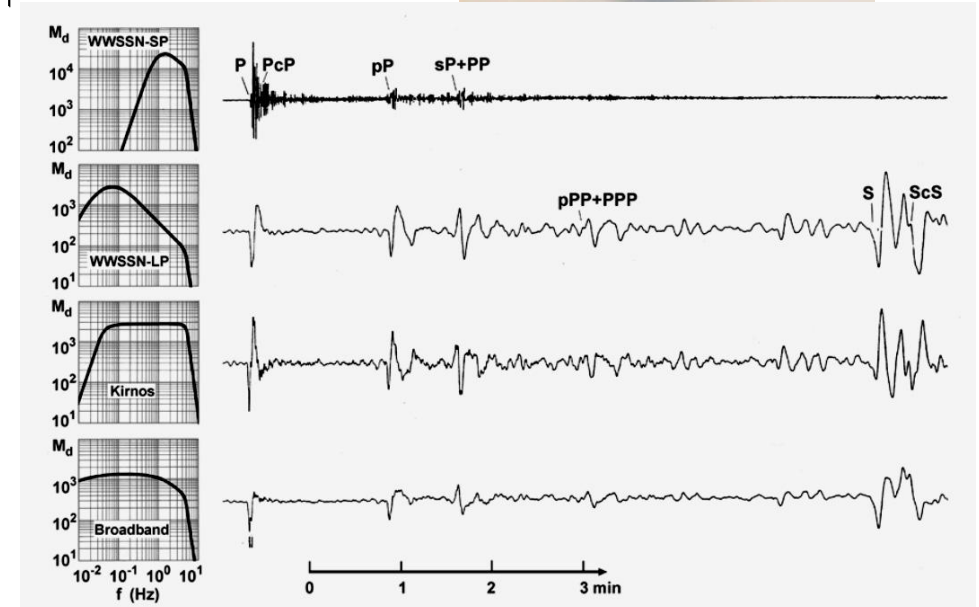
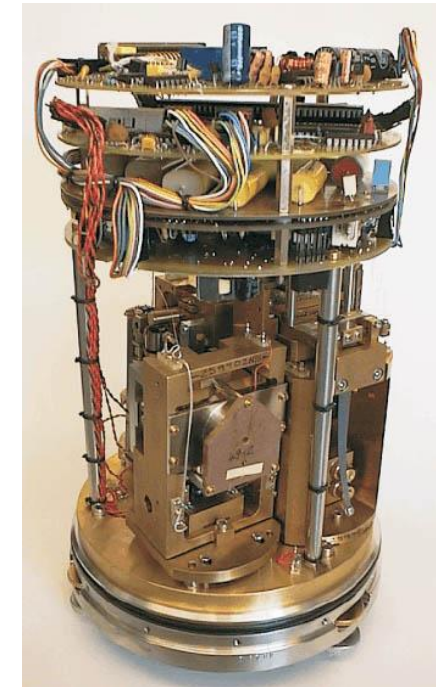
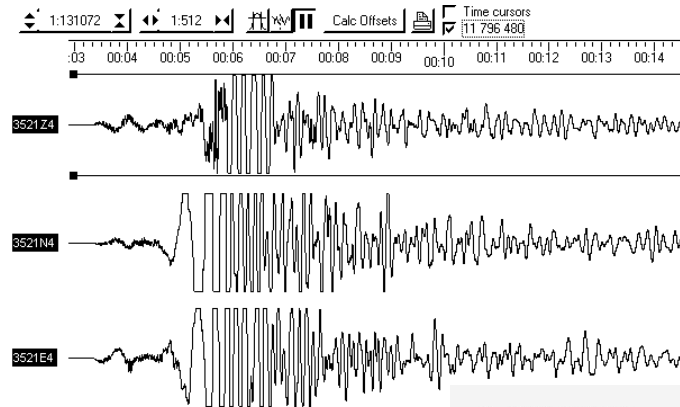
- rohová perioda < 10 sec
- levné
- vhodné pro lokaci zemětřesení

- **Širokopásmové**

- rohová perioda > 10 sec
- drahé
- problém s dynamikou pro silná blízká zemětřesení

- **Přístroje na silné pohyby půdy – akcelerograf**

- registruje zrychlení půdy až do několika g
- nutný pro zdrojové studie blízkých zemětřesení



Mezinárodní datová centra

- **Primární úkol:**
 - sběr a distribuce seismických dat
- **Sekundární úkol:** určování základních seismických parametrů zemětřesení (velká míra automaticnosti)
 - poloha
 - čas vzniku
 - velikost a mechanismus jevu

European-Mediterranean Seismological Centre

<http://www.emsc-csem.org>

Observatories and Research Facilities for European Seismology

<http://www.orfeus-eu.org/>

U.S. Geological Survey

<http://www.usgs.gov/>

Incorporated Research Institutions for Seismology

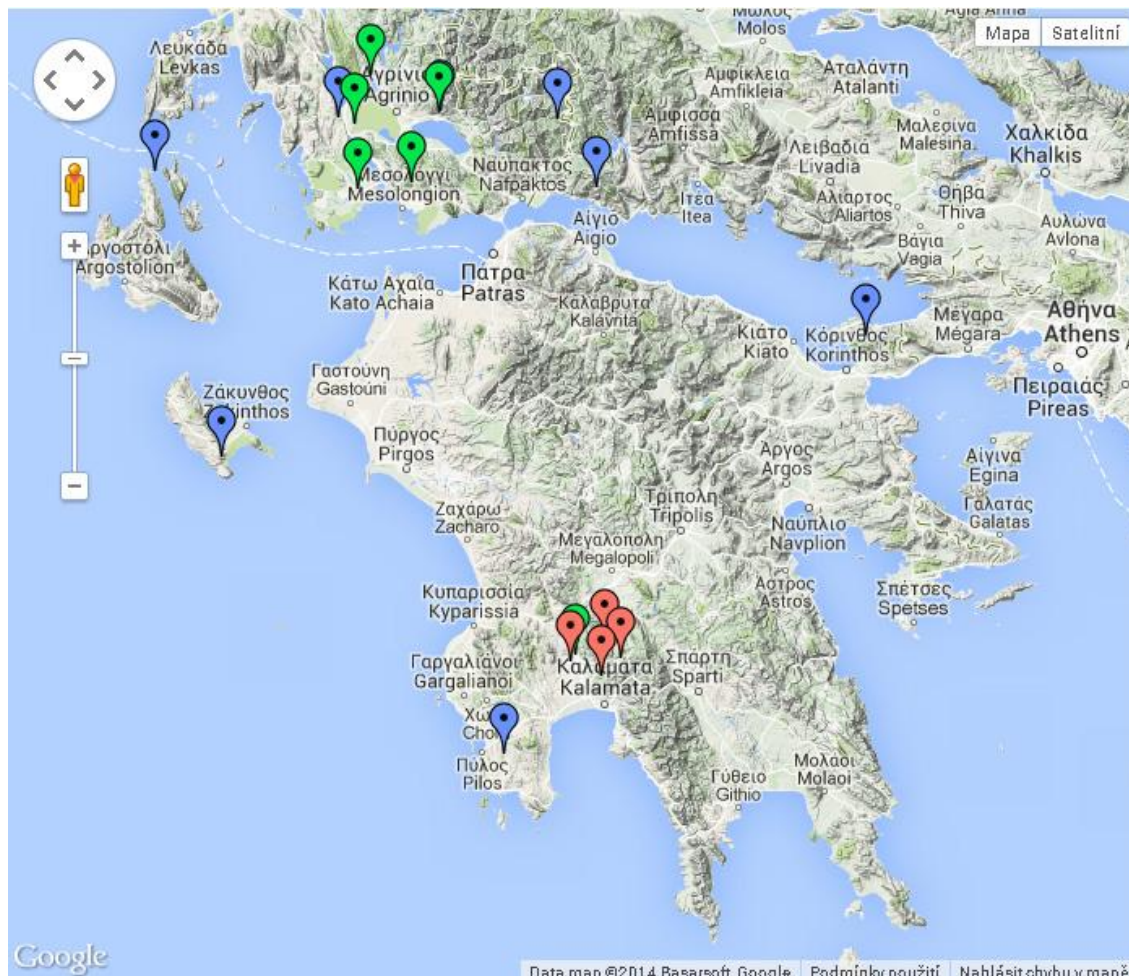
<http://www.iris.edu/hq/>

GEOFON Global Seismic Network

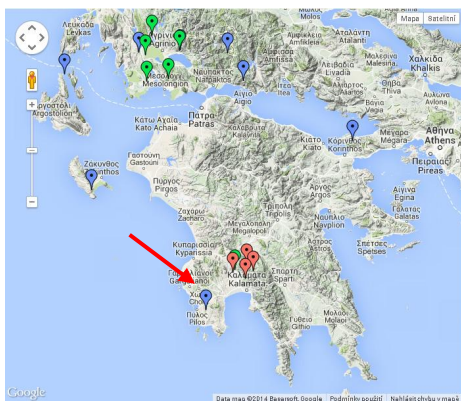
<http://geofon.gfz-potsdam.de/>



Naše (MFF UK) stanice v západním Řecku



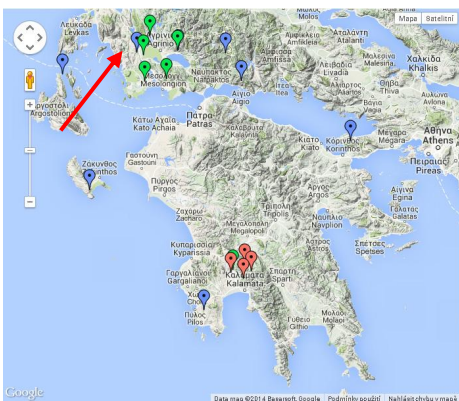
Pylos



- Lat.: 36.8955; Long.: 21.7420
- V provozu od 2003
- **Širokopásmový seismograf**
- Guralp CMG-3T
- Online přenos do Patrasu
- **Akceleroğraf**
- CMG-5TD



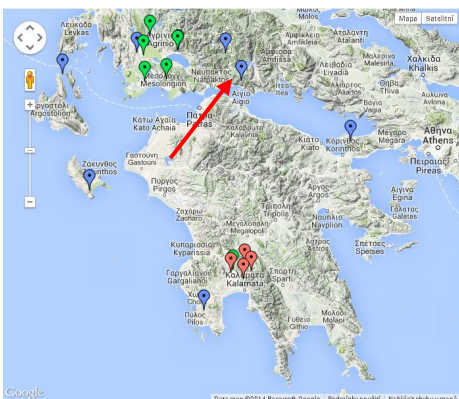
Prodromos



- Lat.: 38.5986; Long.: 21.1833
- V provozu od 2009
- **Širokopásmový seismograf**
- Guralp CMG-3T
- Online přenos do Patrasu
- **Akcelerograf**
- CMG-5TD



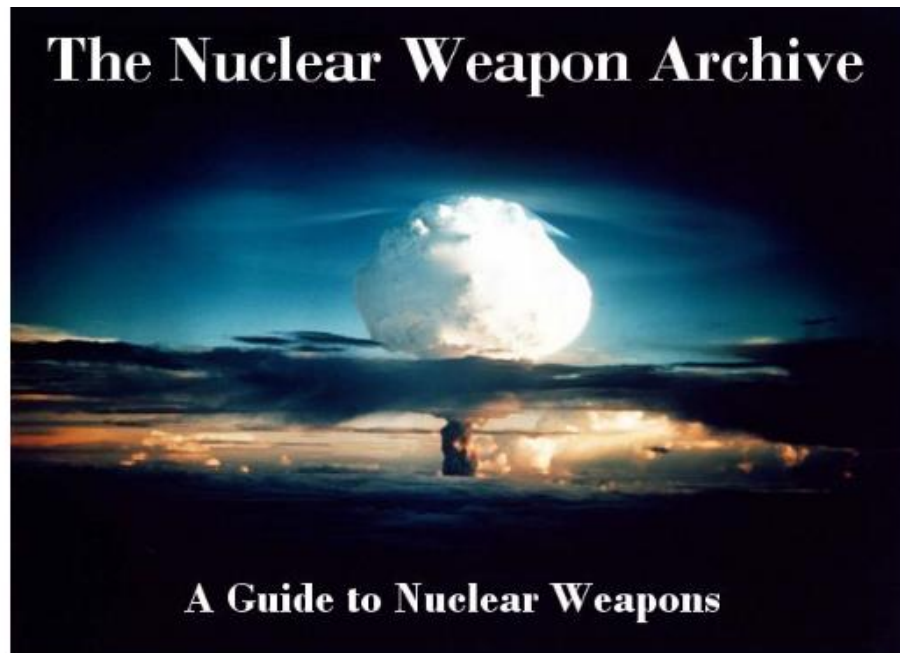
Sergoula



- Lat.: 38.4142; Long.: 22.0573
- V provozu od 1998
- **Širokopásmový seismograf**
- Guralp CMG-3T
- Online přenos do Patrasu
- **Akcelerograf**
- CMG-5TD



Jaderné výbuchy



The Nuclear Weapon Archive

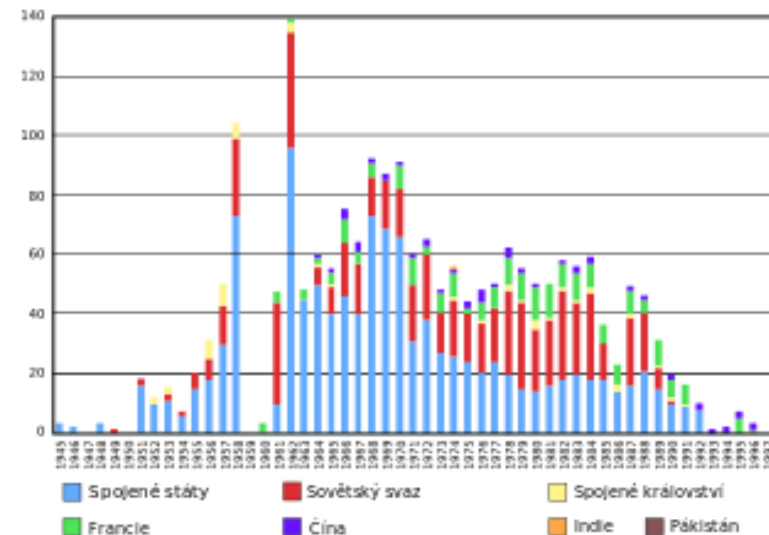
<http://nuclearweaponarchive.org/>

Největší test (vzdušný, SSSR)

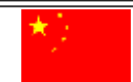
Nová Země 1961

50 Mt

Světové testy jaderných zbraní, 1945 - 1998



Arsenals of the Declared Nuclear States

 United States	 Russia	 United Kingdom	 France
 China	 India	 Pakistan	 North Korea

Nuclear States in the Shadows

 South Africa	 Israel	 Iraq
---	---	---

Největší test USA: ostrov Amčitka, Aleuty



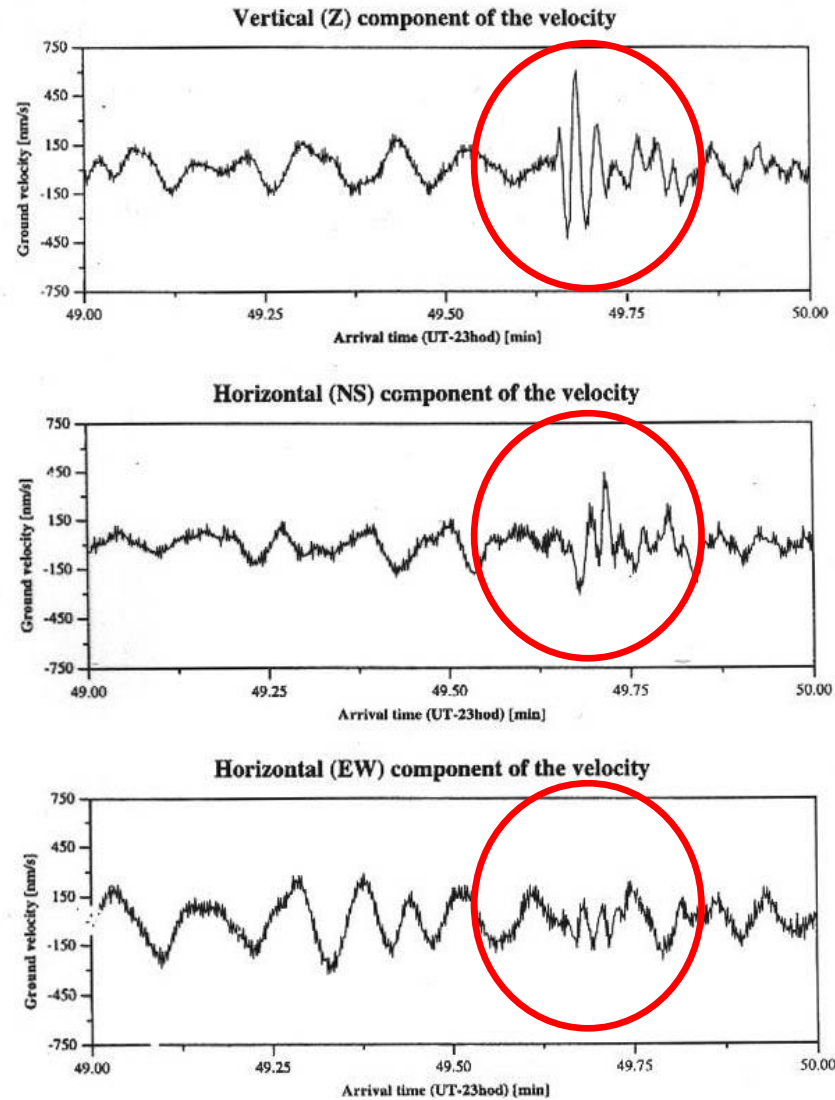
Test Cannikin (podzemní)
Amčitka, 1971

5 Mt

Protesty veřejnosti
Vznik organizace
Greenpeace

<https://cs.wikipedia.org/wiki/Am%C4%8Ditka>

Záznam jaderné exploze na atolu Mururoa ve stanici Praha



Severní Korea - podzemní testy



Příkaz k provedení testu
3. září 2017
podepsán: [Kim Jong-un](#)



Rok Mag. nálož (kt)

=====

2017 6.3 120

2016b 5.3 20

2016a 5.1 10

2013 5.1 10

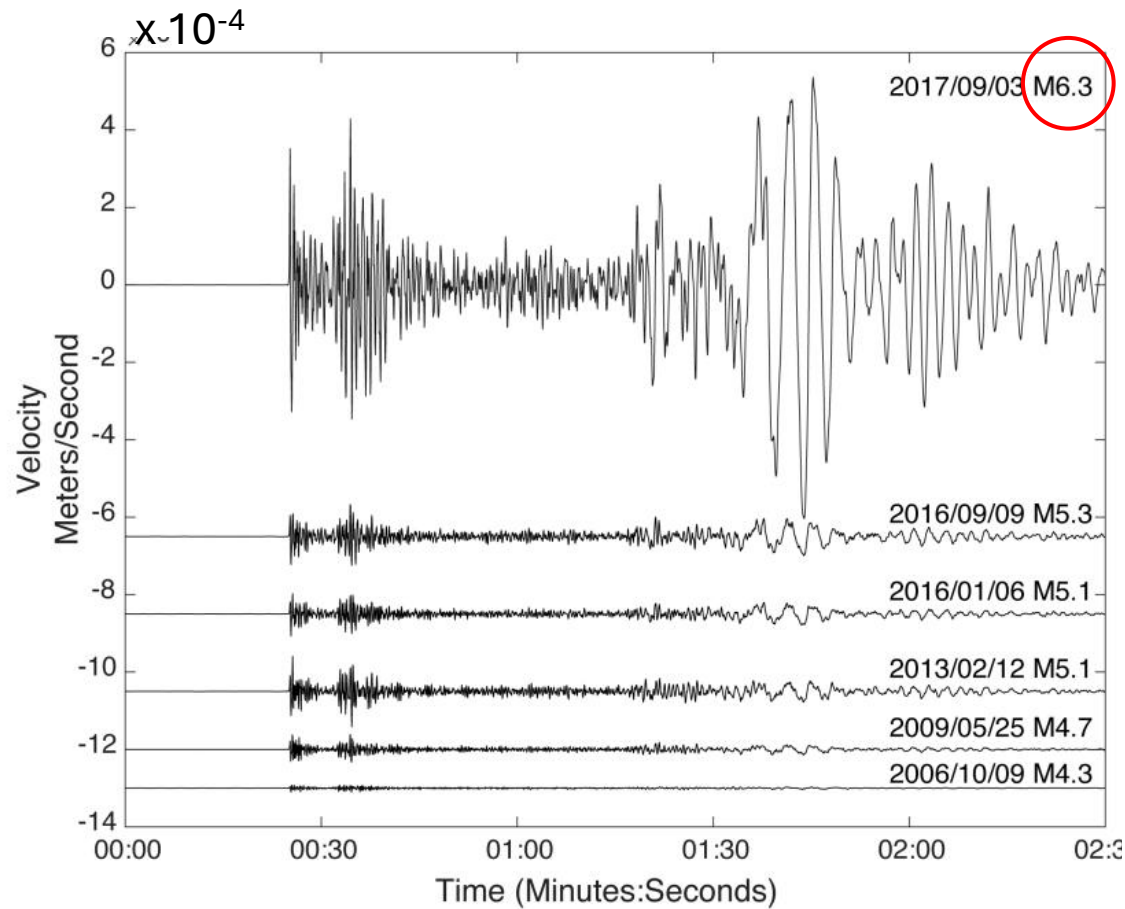
2009 4.7 5

2006 4.3 1

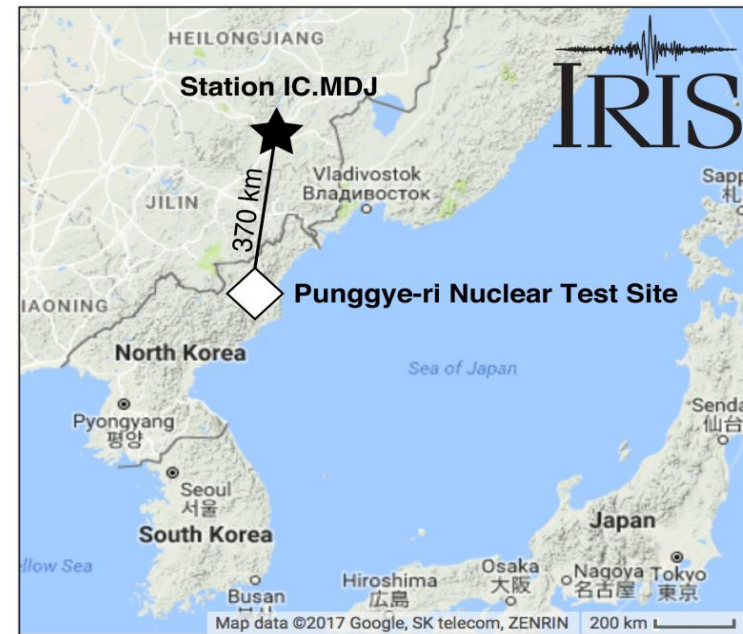


Dosud největší severokorejský test

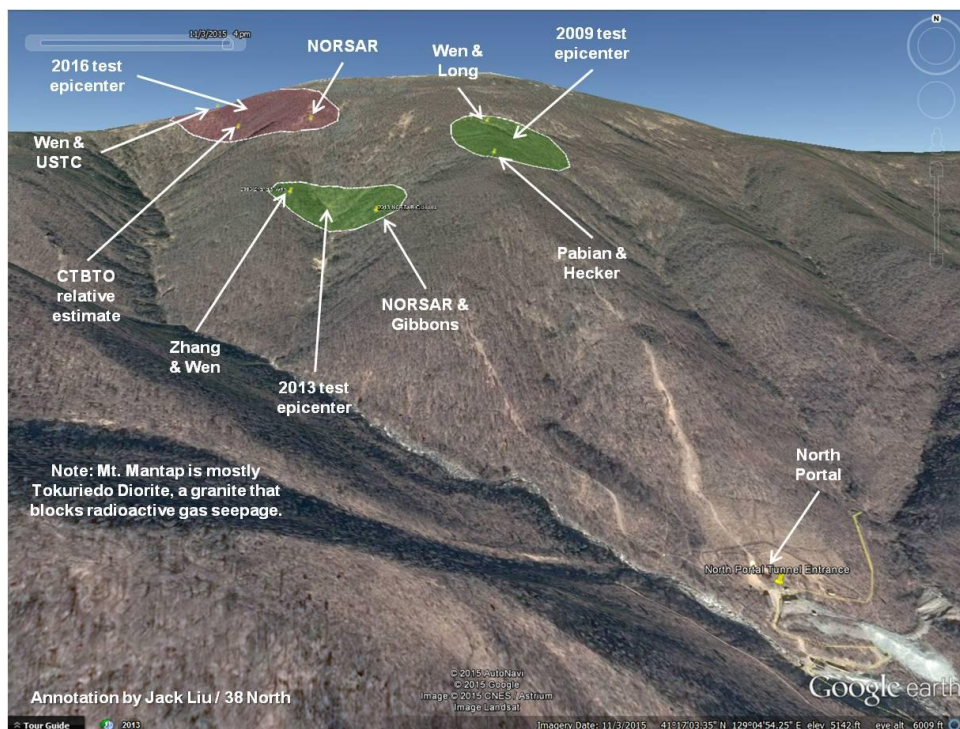
3. září 2017



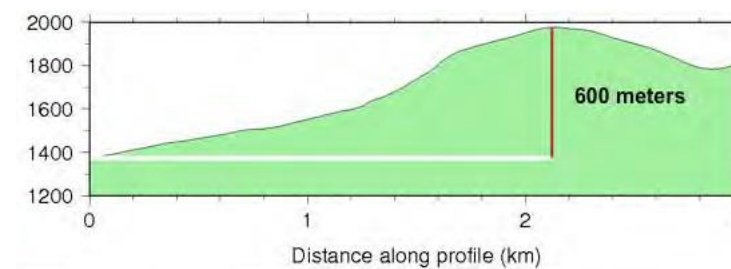
← Seismické účinky
jako středně silné zemětřesení



Testovací lokalita pod horou Mantap



Mantapsan
2205 m n.m.



Seismické lokace a špionážní fotografie.
Spekulace o hloubce (< 1 km) podle topografie
a vchodu do tunelů.

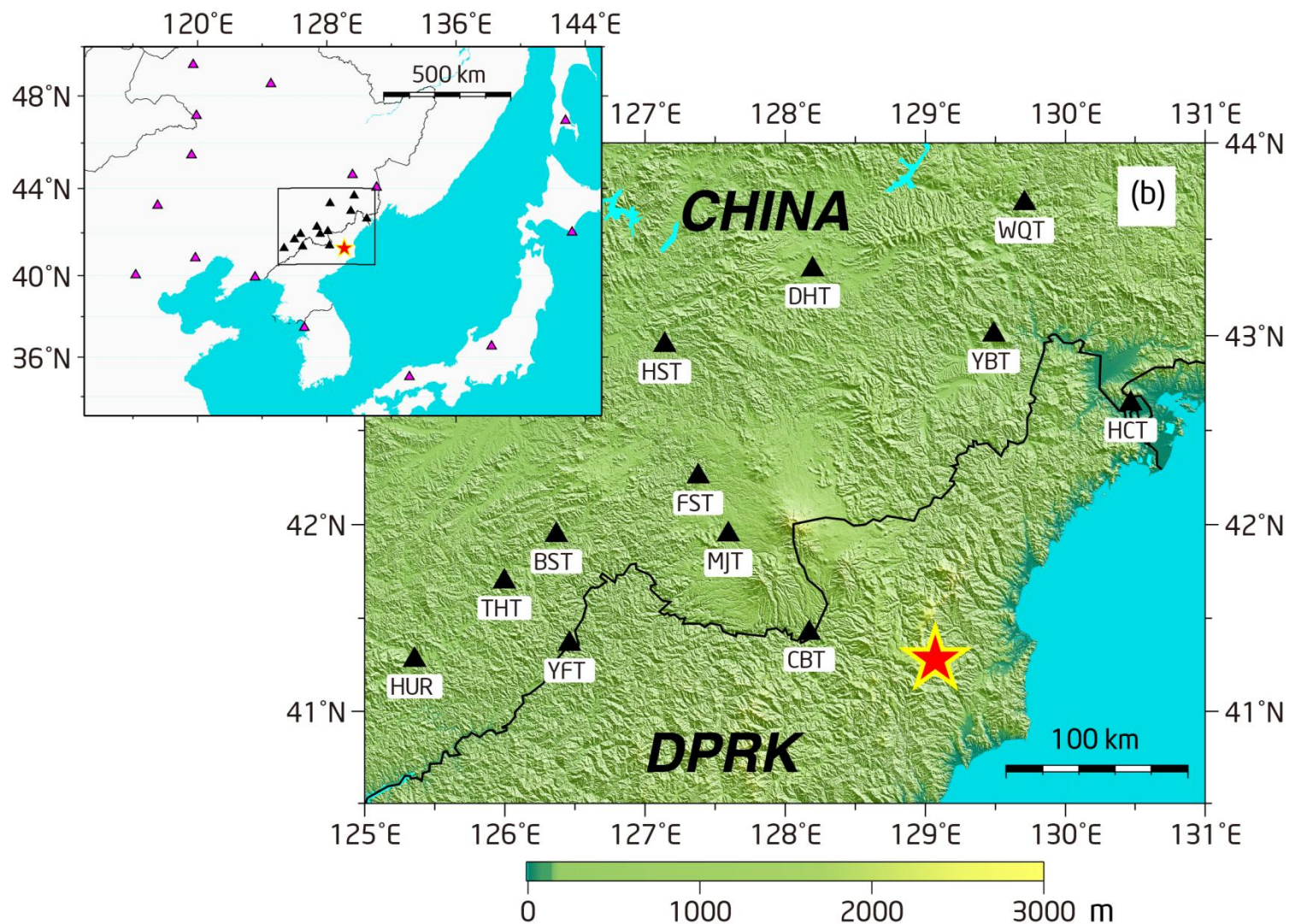
Náš výzkum

ve spolupráci s

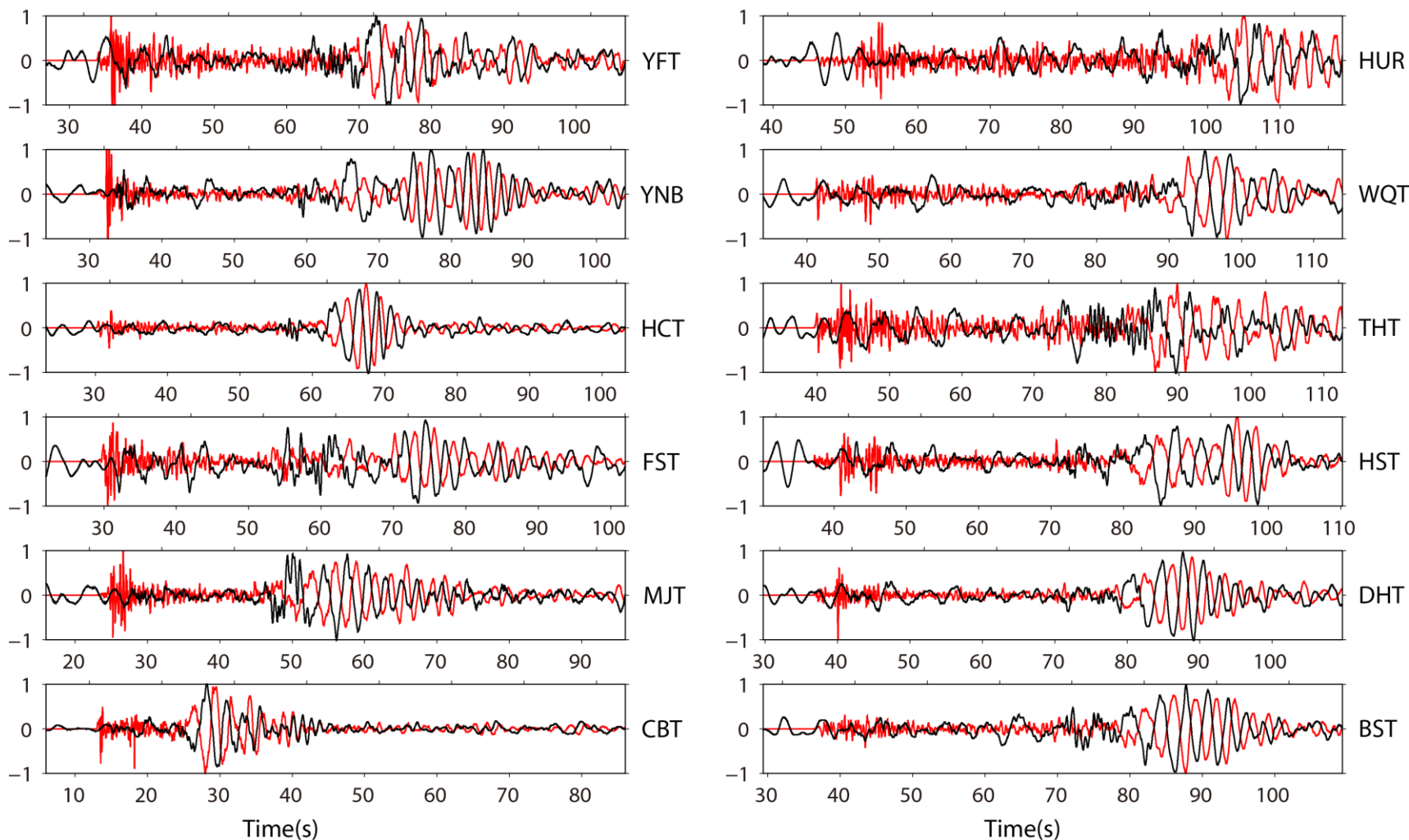
J. Liu, China Earthquake Administration, Changchun, China

Exploze a dotřes
za 8.5 min.

Unikátní data z blízkých čínských stanic

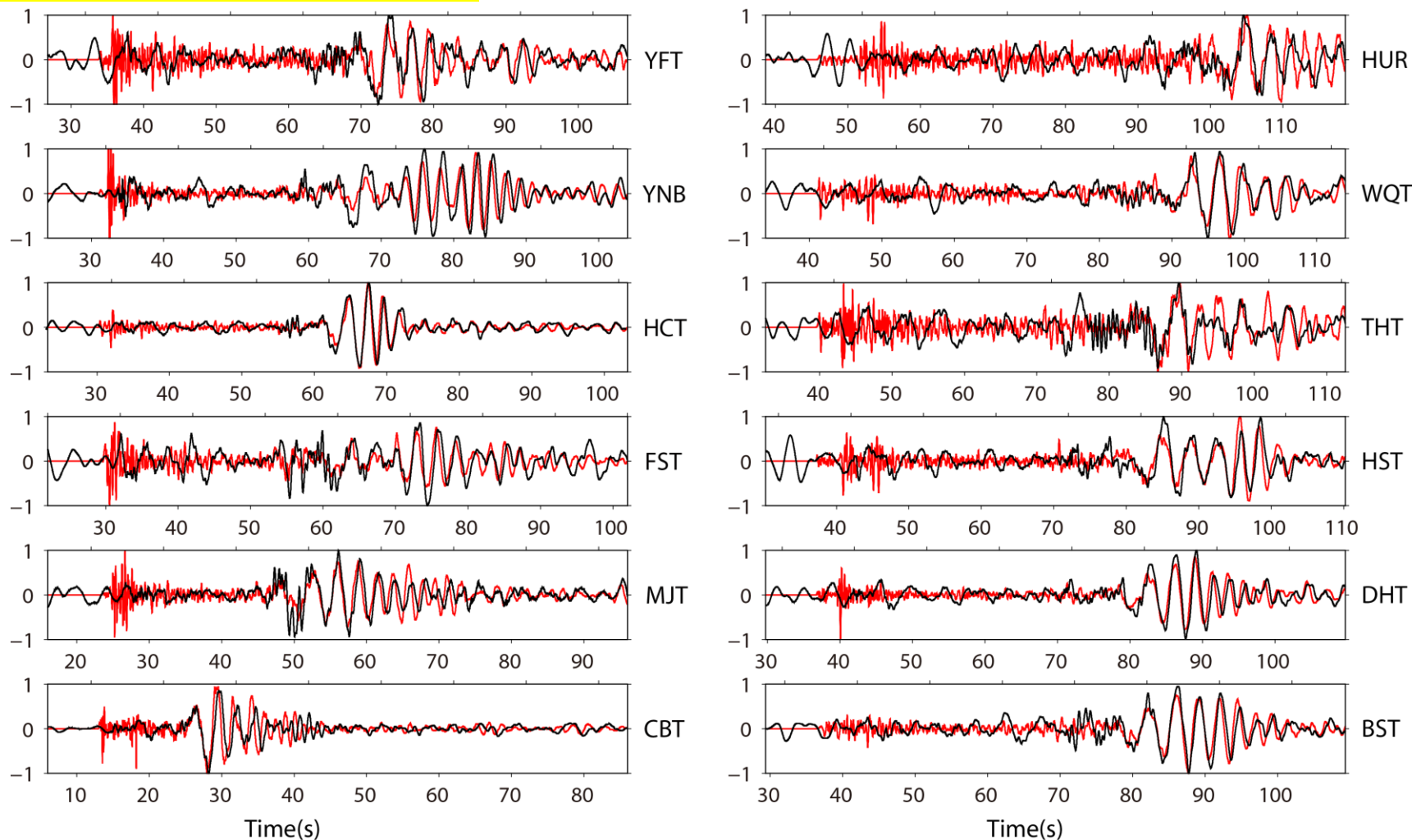


Měření = hlavní otřes červeně, dotřes černě (normováno na stejnou velikost)



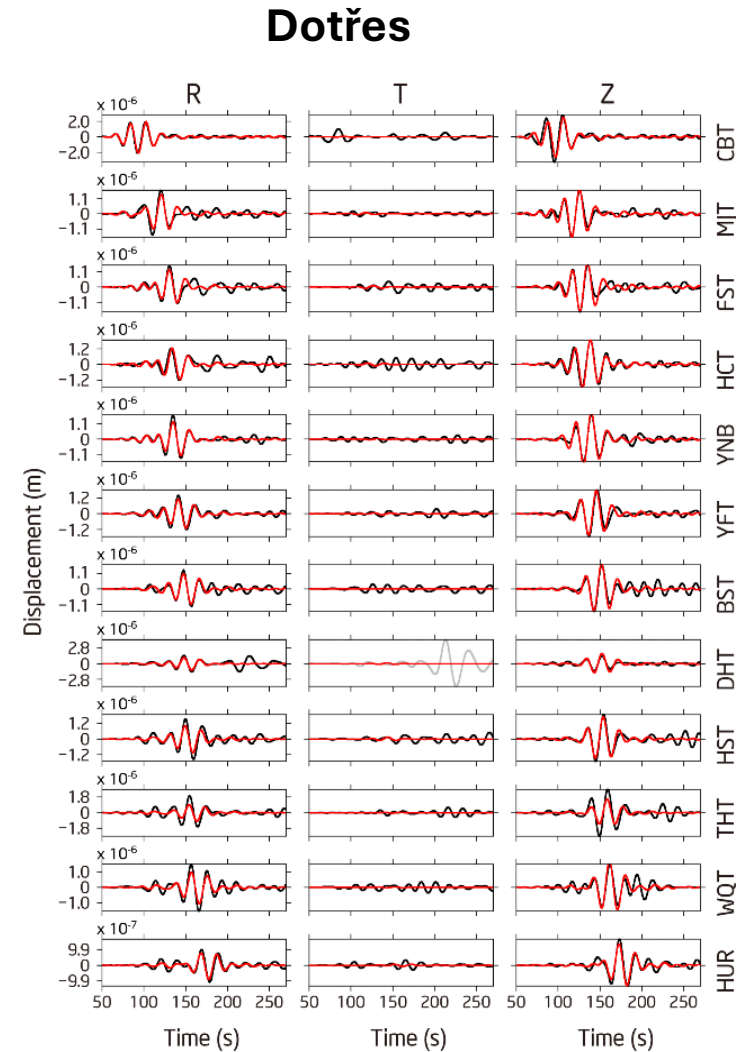
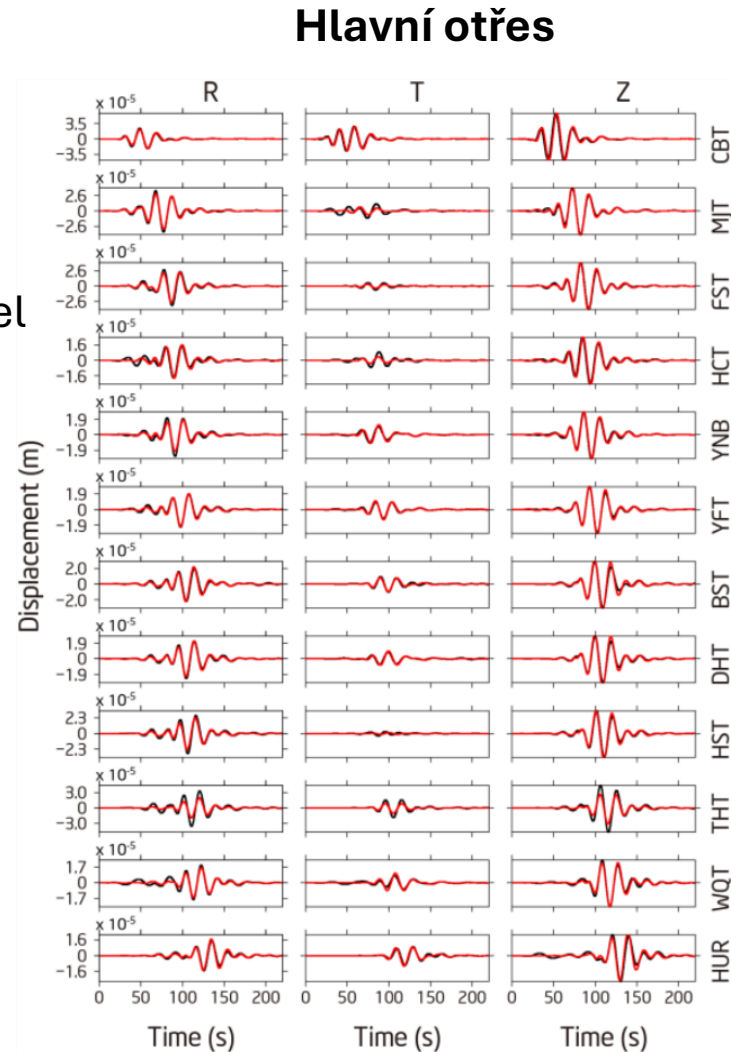
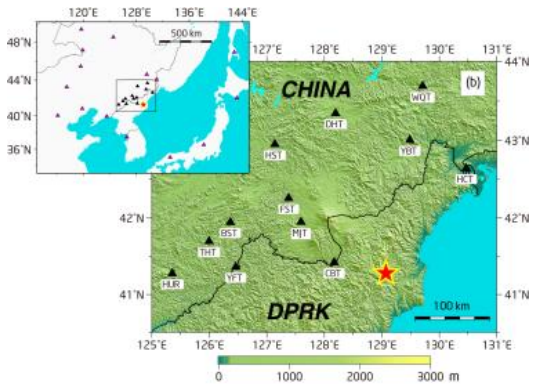
Měření = hlavní otřes červeně, dotřes černě
(u dotřesu otočené znaménko).

Zrcadlová symetrie! Proč?



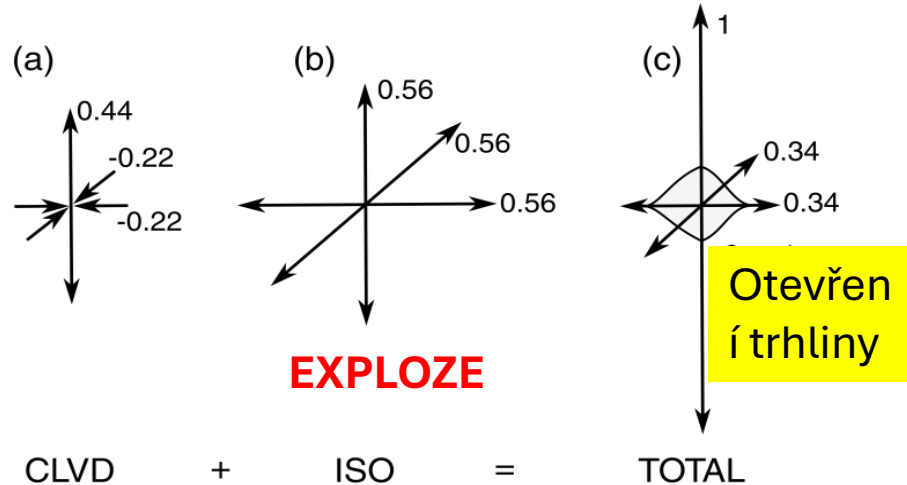
Modelování seismogramů = klíč k poznání zdrojového procesu (0.03-0.06 Hz)

Černá = měření
Červená = model

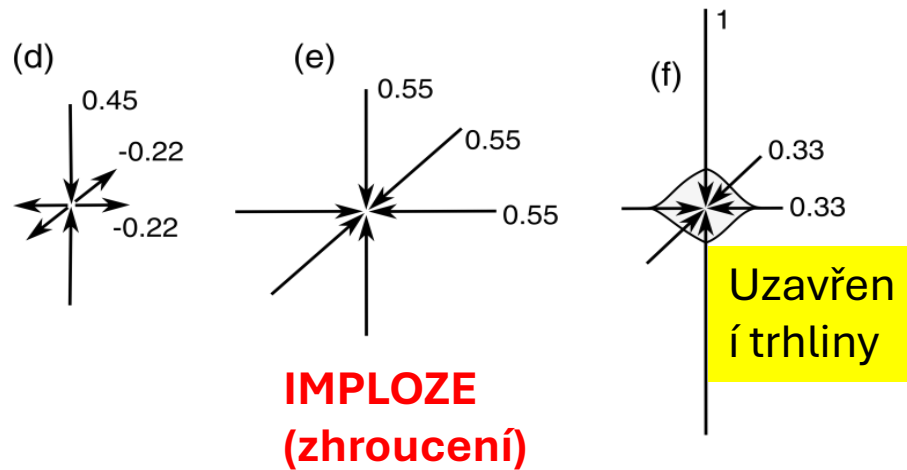


Síly ekvivalentní oběma jevům

Hlavní otřes



Dotřes



Zrcadlová symetrie !

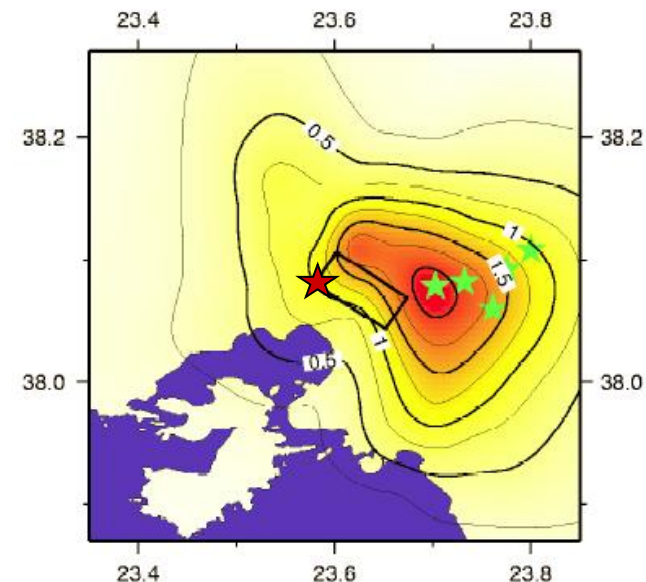
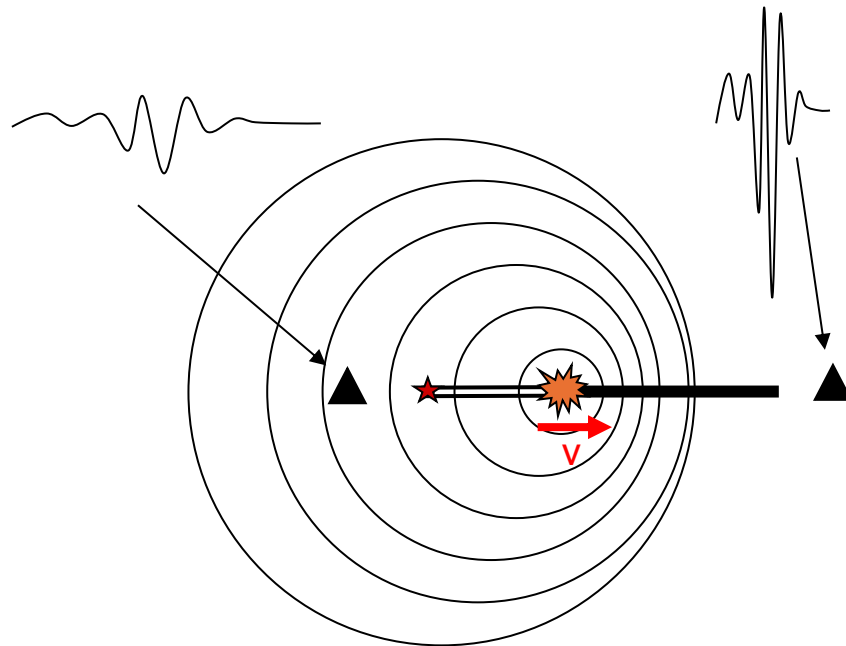
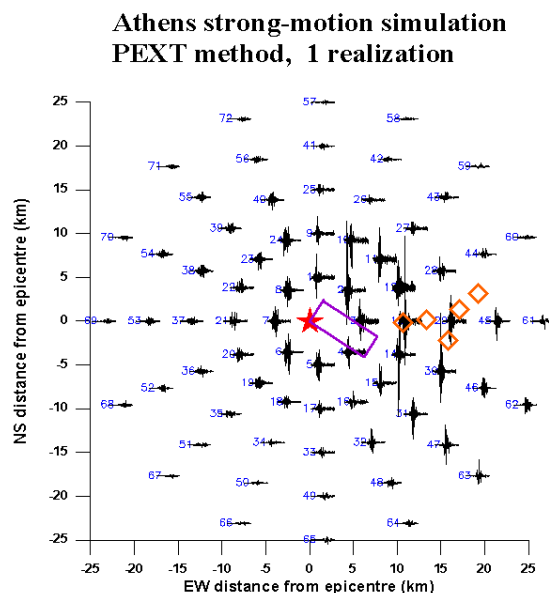
Významná zemětřesení

- Atény, 1999, M5.9
- Sumatra–Andaman, 2004, M9.2
- Tohoku, 2011, Mw9.0
- Turecko, 2023, dvojité zemětřesení M7.8, M7.9



Atény 7.9.1999, M 5.9
140 obětí

Simulace vysvětluje místa ničivých účinků



Snaha simulovat v „reálném čase“.

Obdoba Dopplerova jevu - převládající frekvence a amplituda signálu se ve směru šíření zvyšuje.

Nejsilnější účinky tedy nemusí být v epicentru.

Systemy rychlé pomoci, příp. i varování

Sumatra–Andaman, 26. prosince 2004, M9.2

07:58:53 místního času

Masivní tsunami až 30m

Ztráty na životech 227,898 lidí v 14 zemích

Velikost zlomové plochy byla 400-500 kilometrů

30 km pod oceánem

Rychlost trhlin ~ 2.8km/s

Uvolněná energie: $1.1 \times 10^{17} \text{ J} = 26\text{MT}$,
1500 x silnější než Hirošima

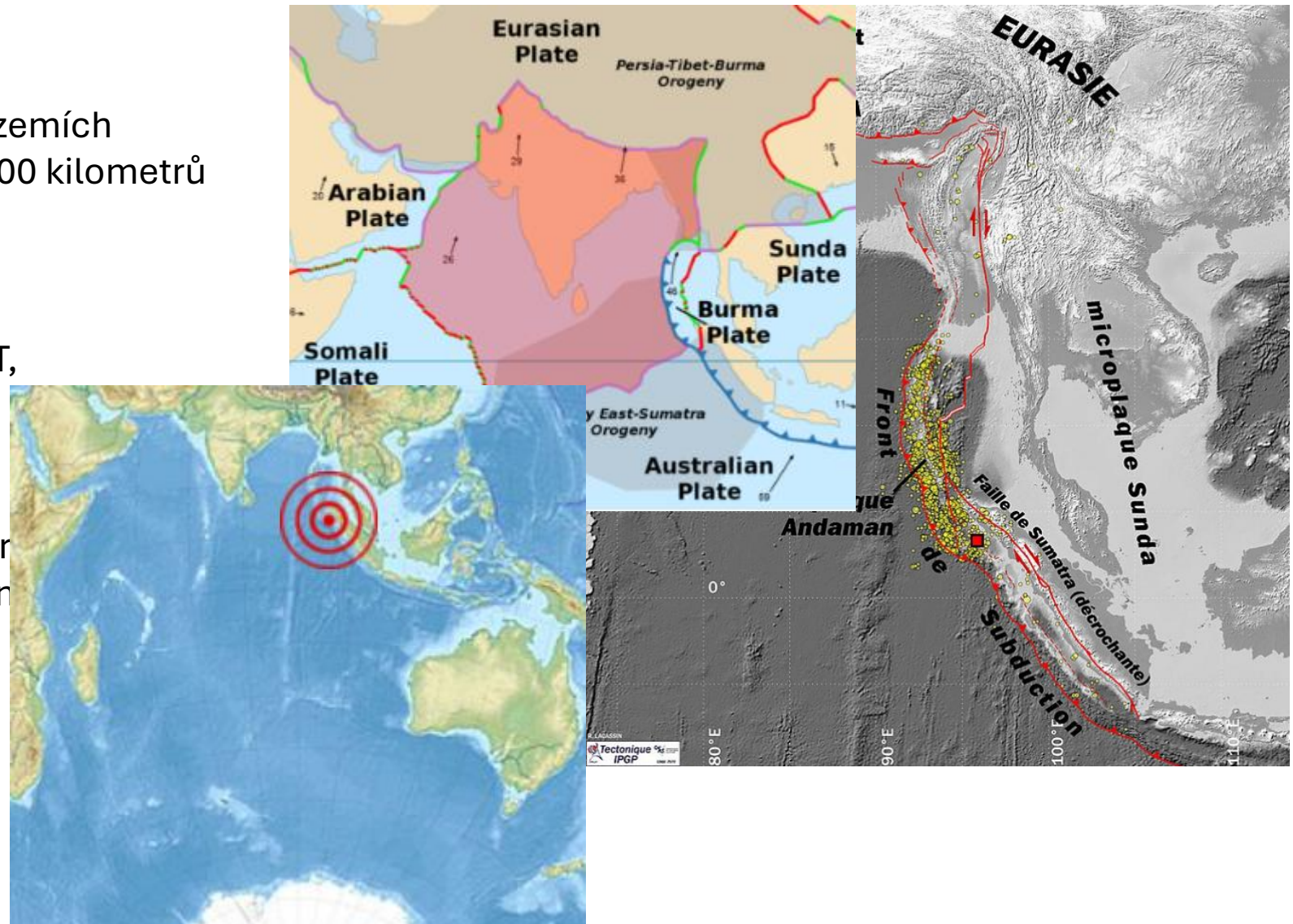
Vzdálenost

250 km SSE od Banda Aceh, Sumatra

1260 km SSW od BANGKOK, Thailan

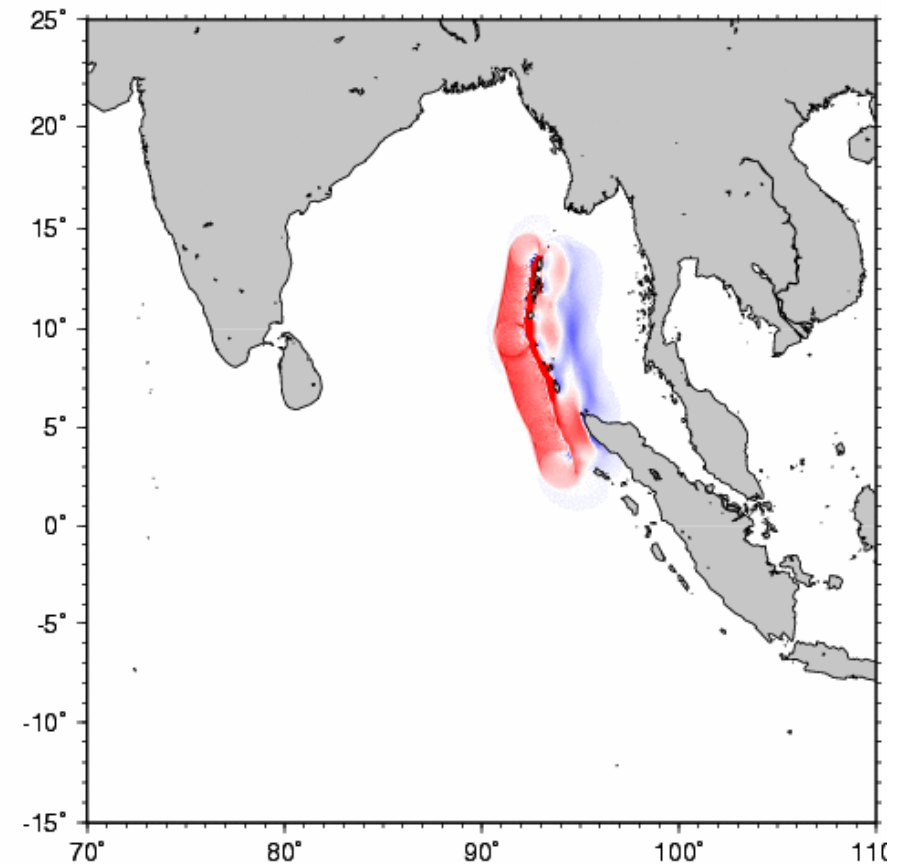
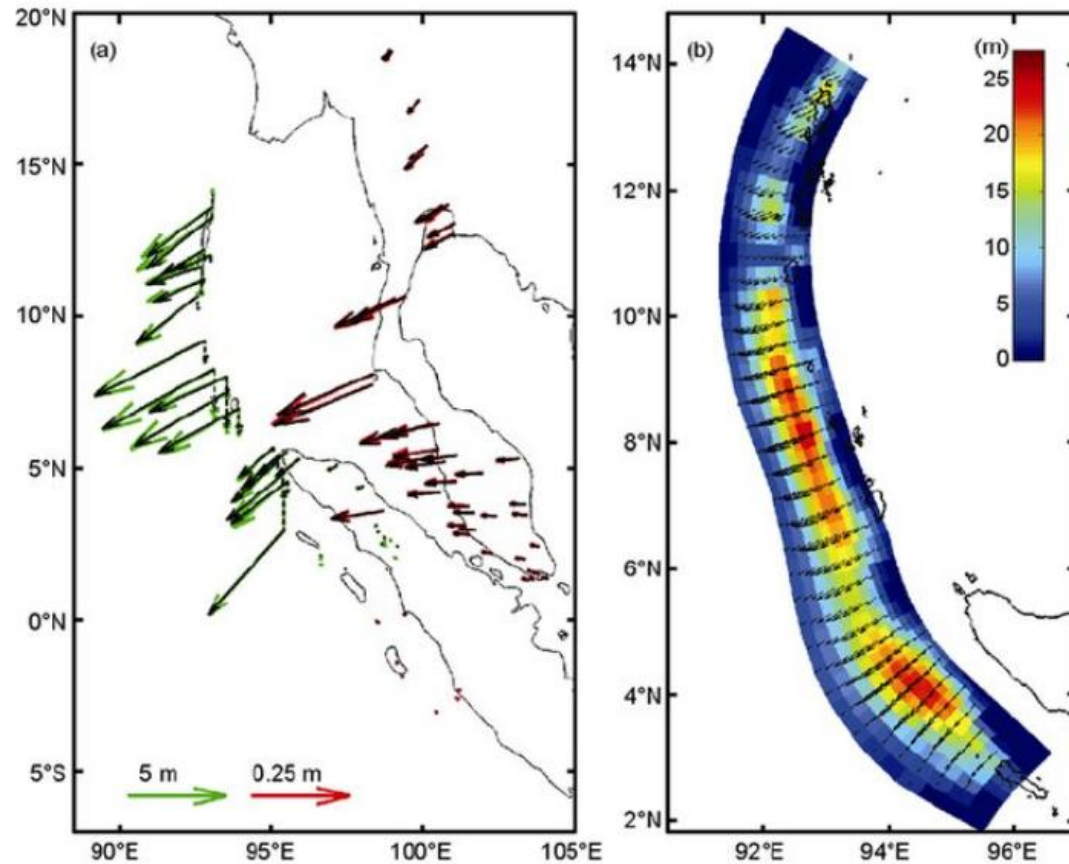
1605 km NW od JAKARTA

9100 km od Prahy



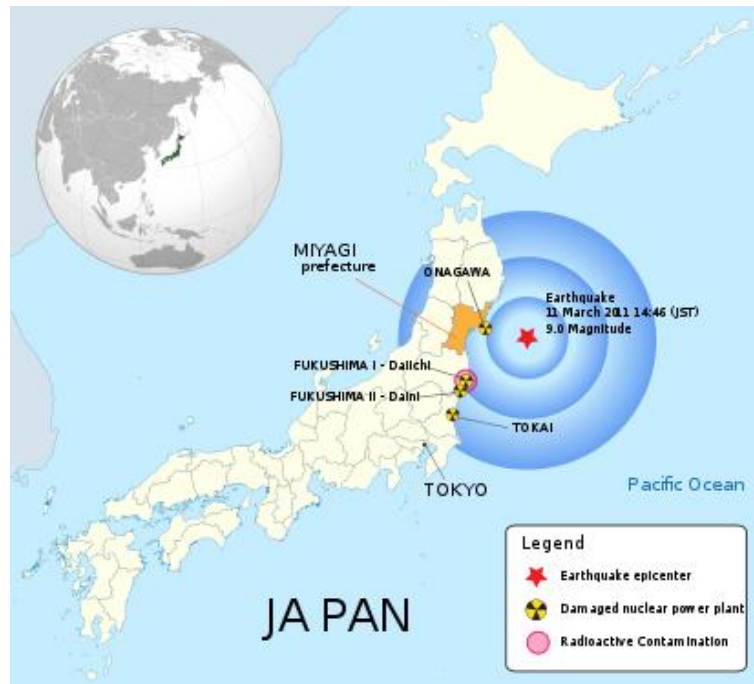
Sumatra–Andaman, 26. prosince 2004, M9.2

2004 Sumatra Earthquake 010 min



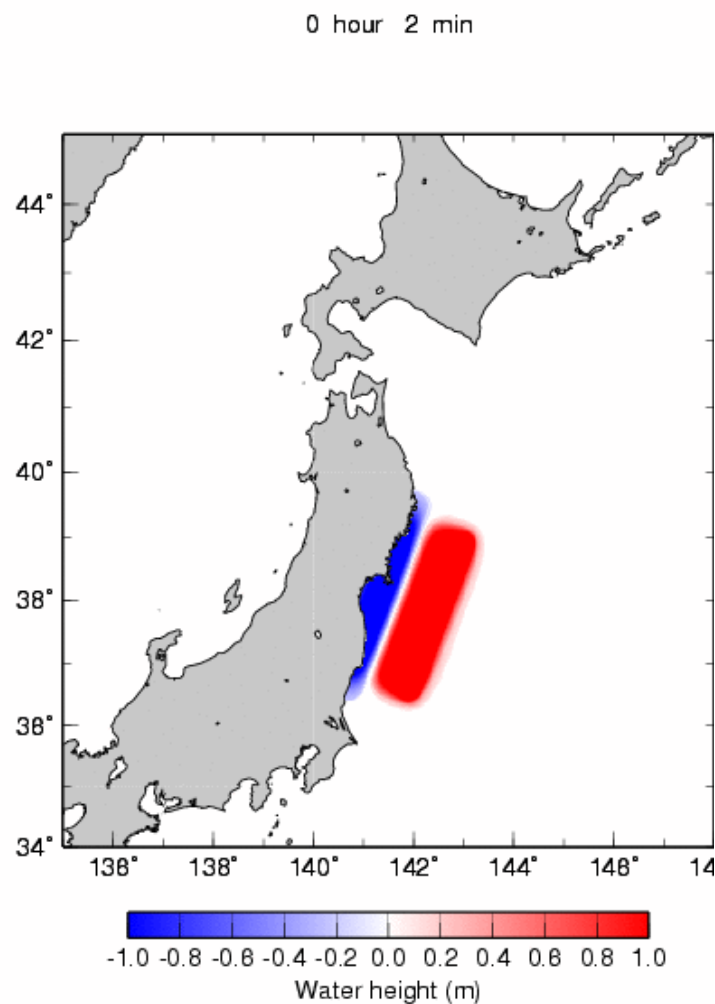
Tohoku, Mw9.0, 2011-03-11

- 16000 obětí na životech
- Celkové ekonomické ztráty
235 miliard dolarů
(odhad světové banky)

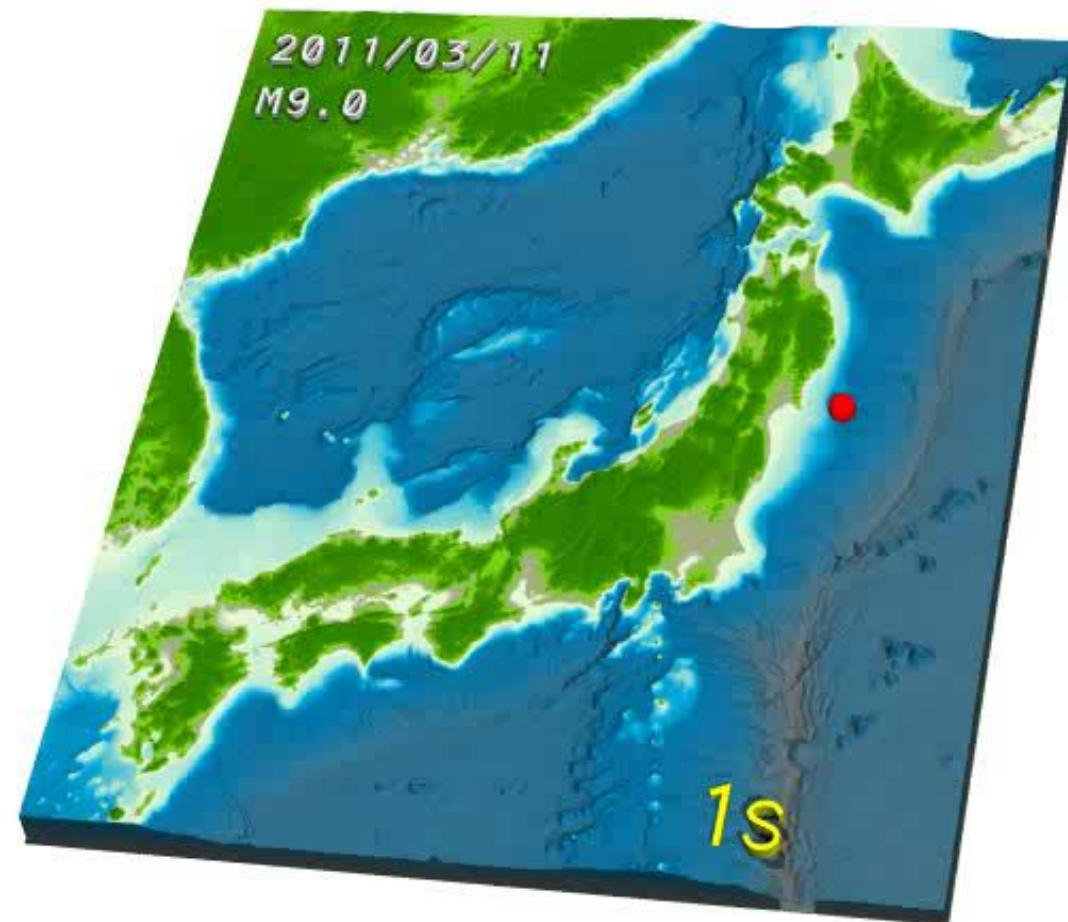


Tohoku, Mw9.0, 2011-03-11

Simulace Tsunami



Šíření seismických vln



M 7.8 - 26 km E of Nurdağı, Turkey

2023-02-06 01:17:35 (UTC)

37.174°N 37.032°E

17.9 km depth

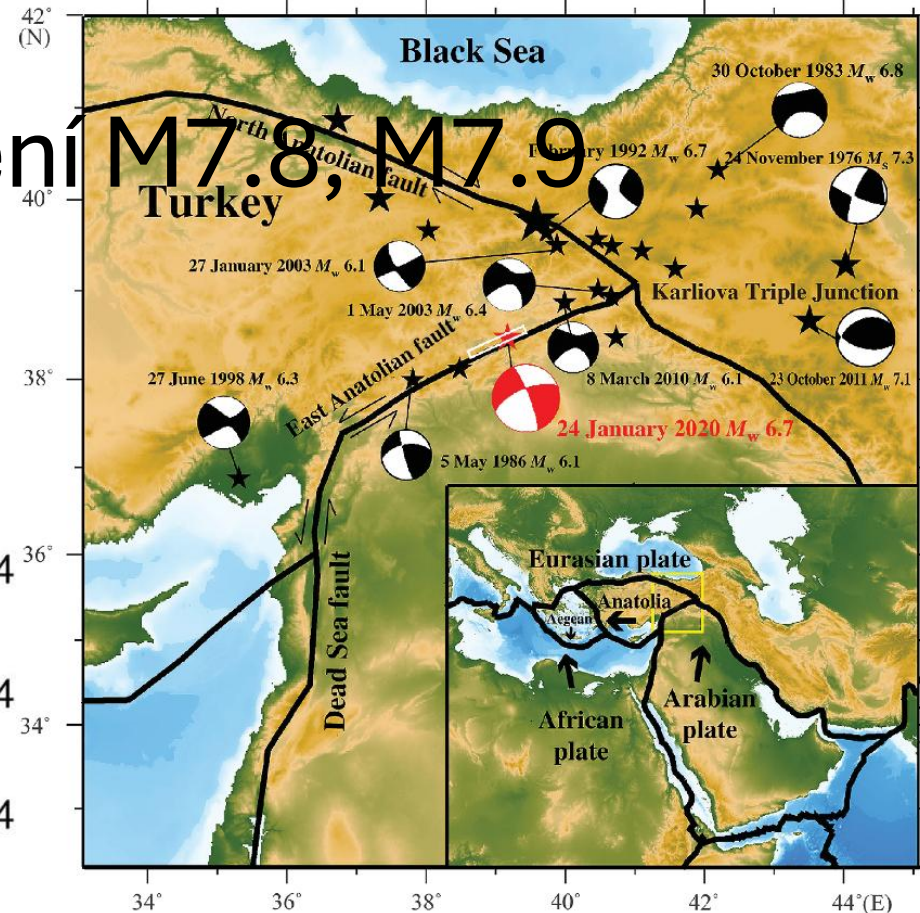
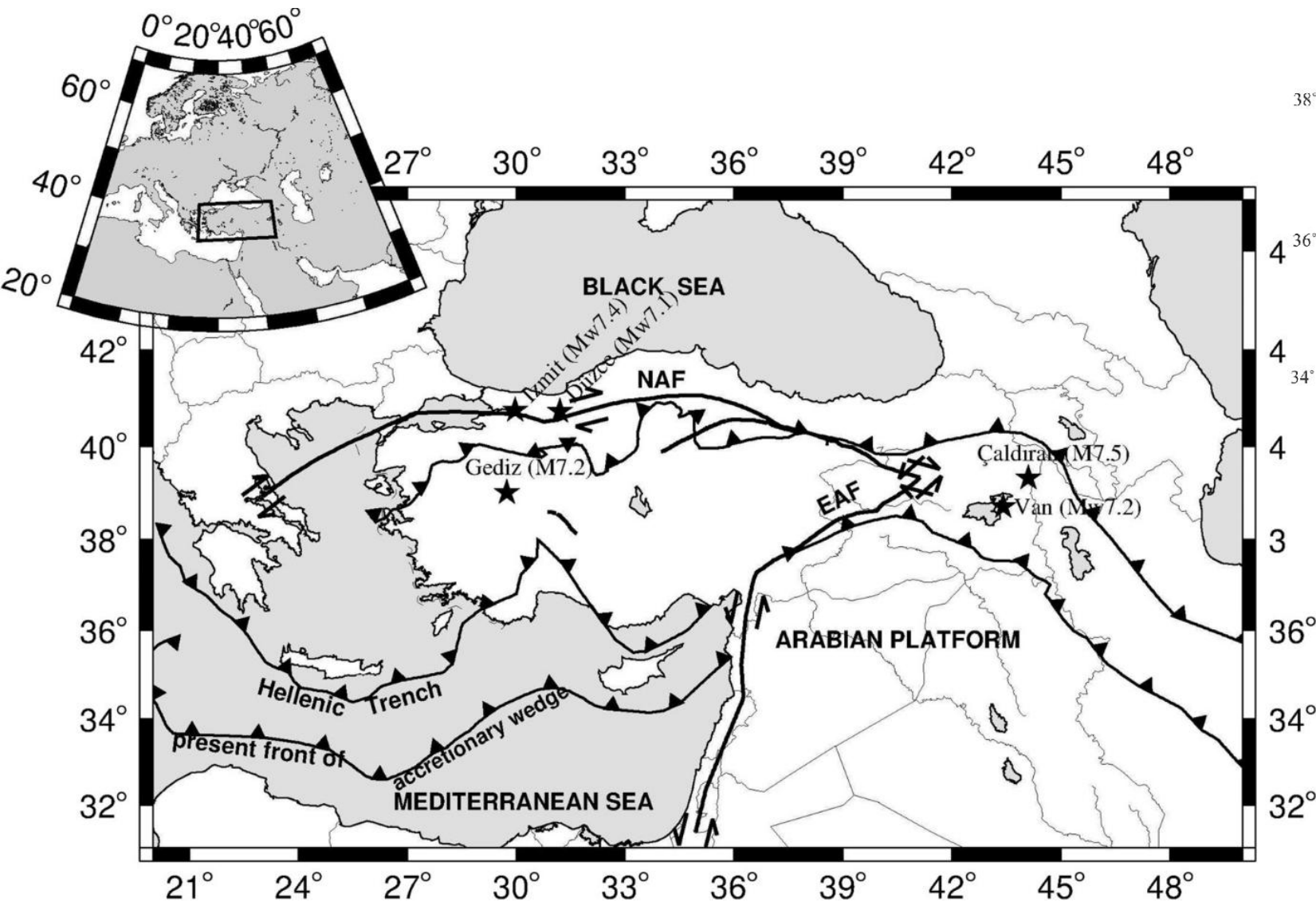
M 7.5 - 4 km SSE of Ekinözü, Turkey

2023-02-06 10:24:49 (UTC)

38.024°N 37.203°E

10.0 km depth

Turecko, 2023, dvojité zemětřesení M7.8, M7.9

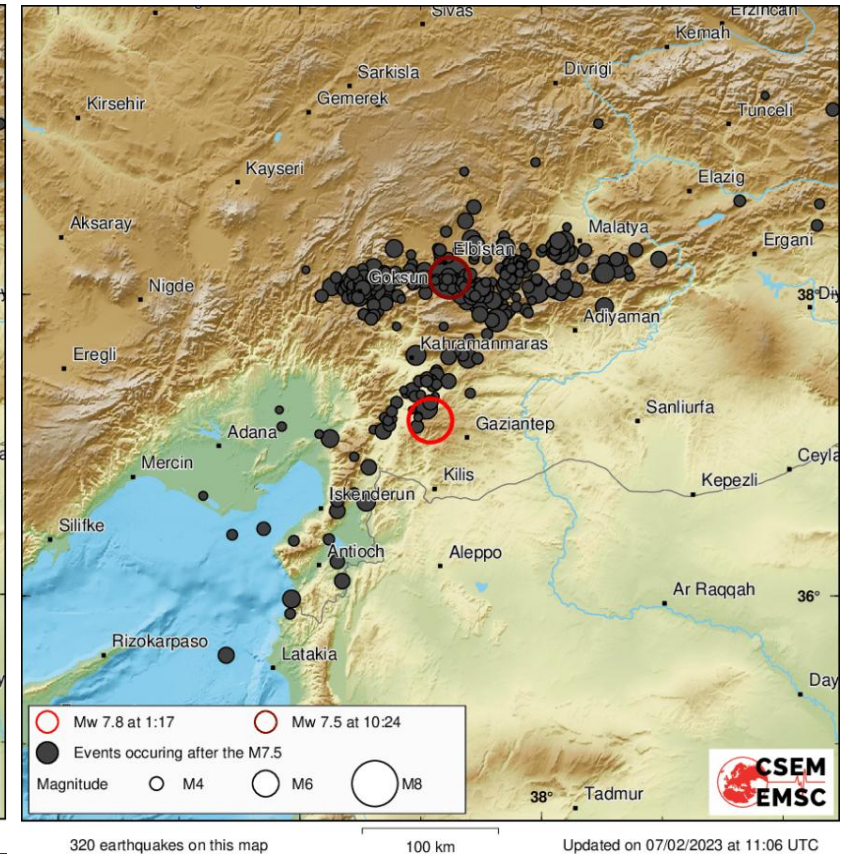
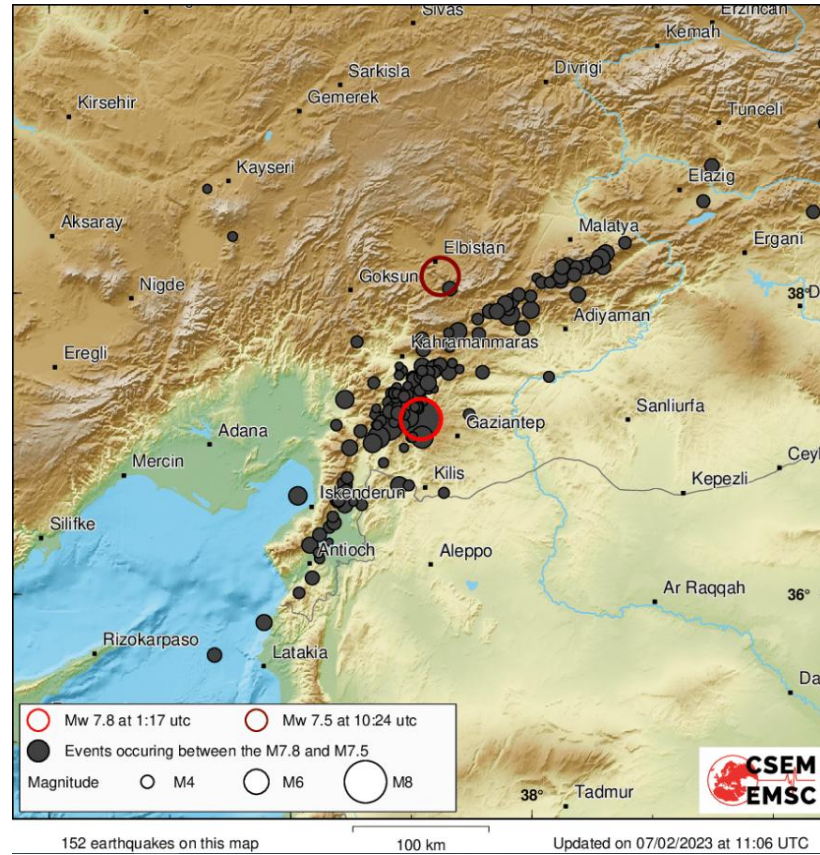
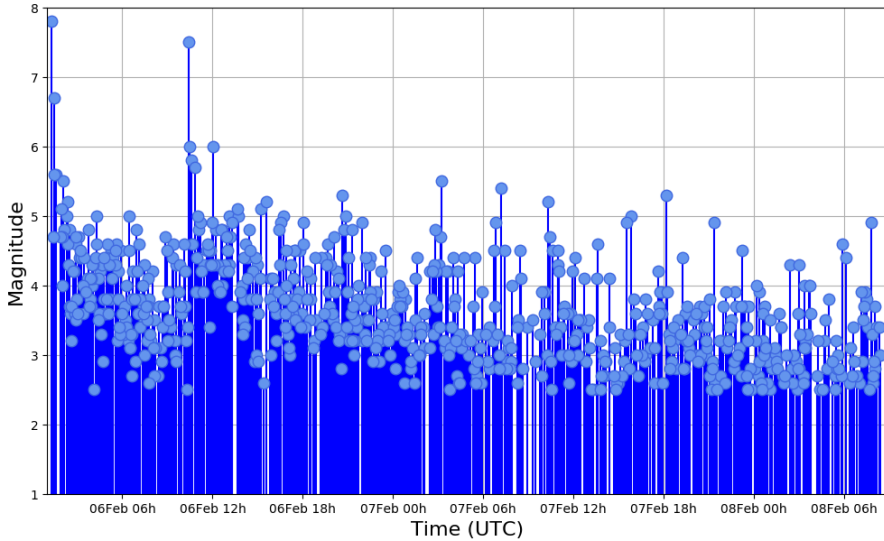
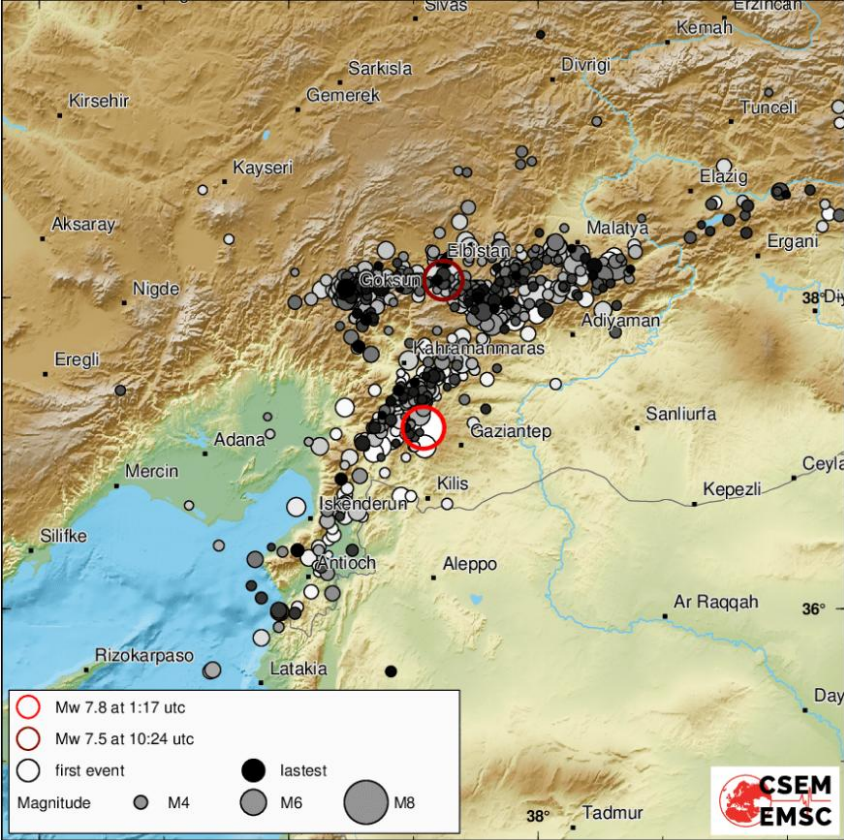


Historical earthquakes since 1900:

★ 26 December 1939 M_w 7.8 ★ 7.0~7.7 ★ 6.0~6.9

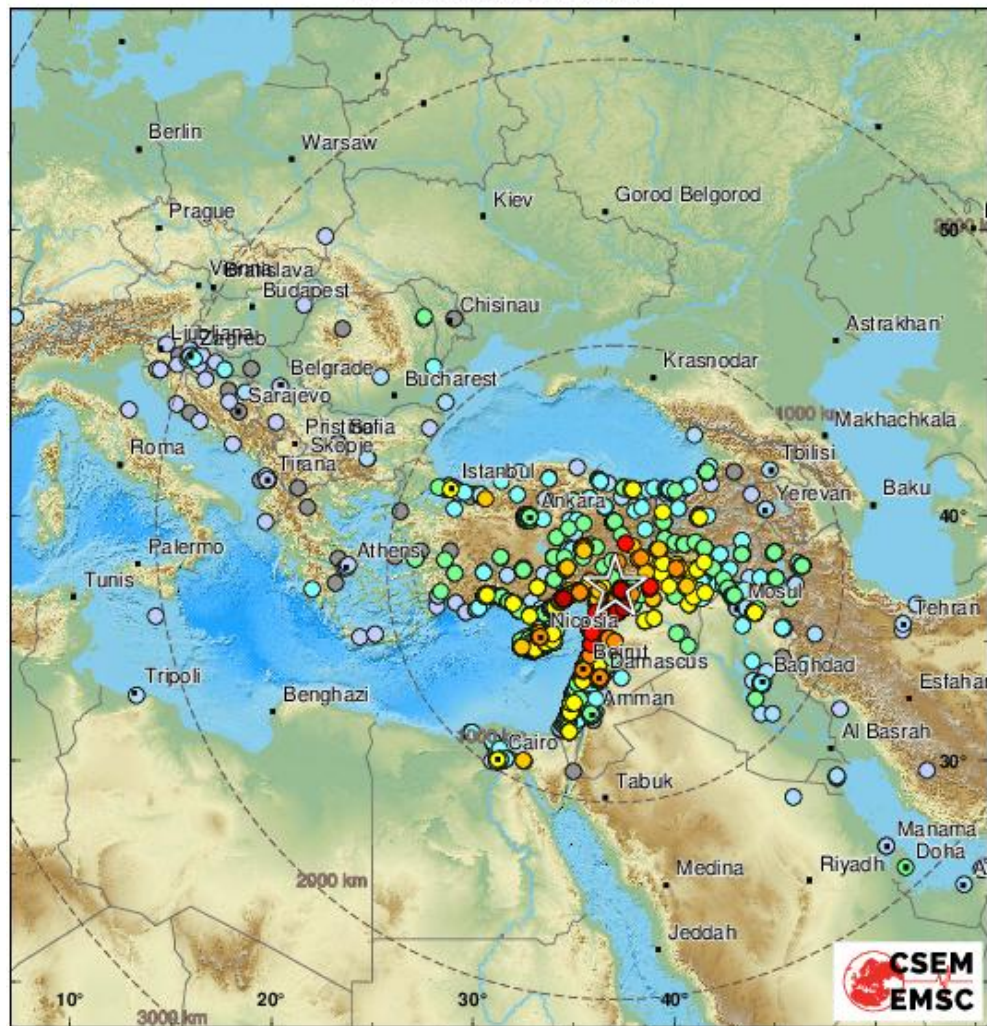
Dotřesová aktivita

Během prvních 14 hodin po hlavním dotřesu vzniklo více jak 200 zemětřesení s magnitudem > 2.5



Kde všude lidé cítili otřesy

Felt reports received for M7.8 earthquake
in CENTRAL TURKEY
on 2023-02-06 01:17:36 UTC

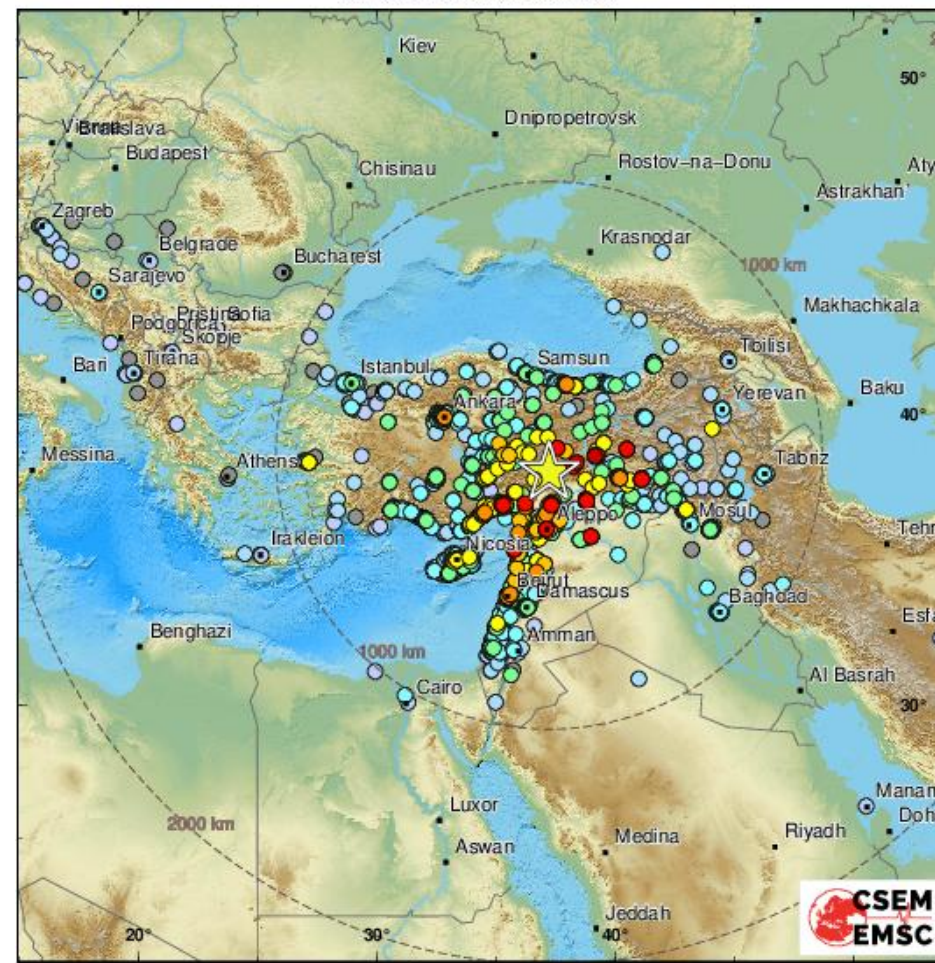


6388 felt reports on this map

★ Epicentral location

Reported as: Not felt Felt Largely felt Damaging

Felt reports received for M7.5 earthquake
in CENTRAL TURKEY
on 2023-02-06 10:24:49 UTC



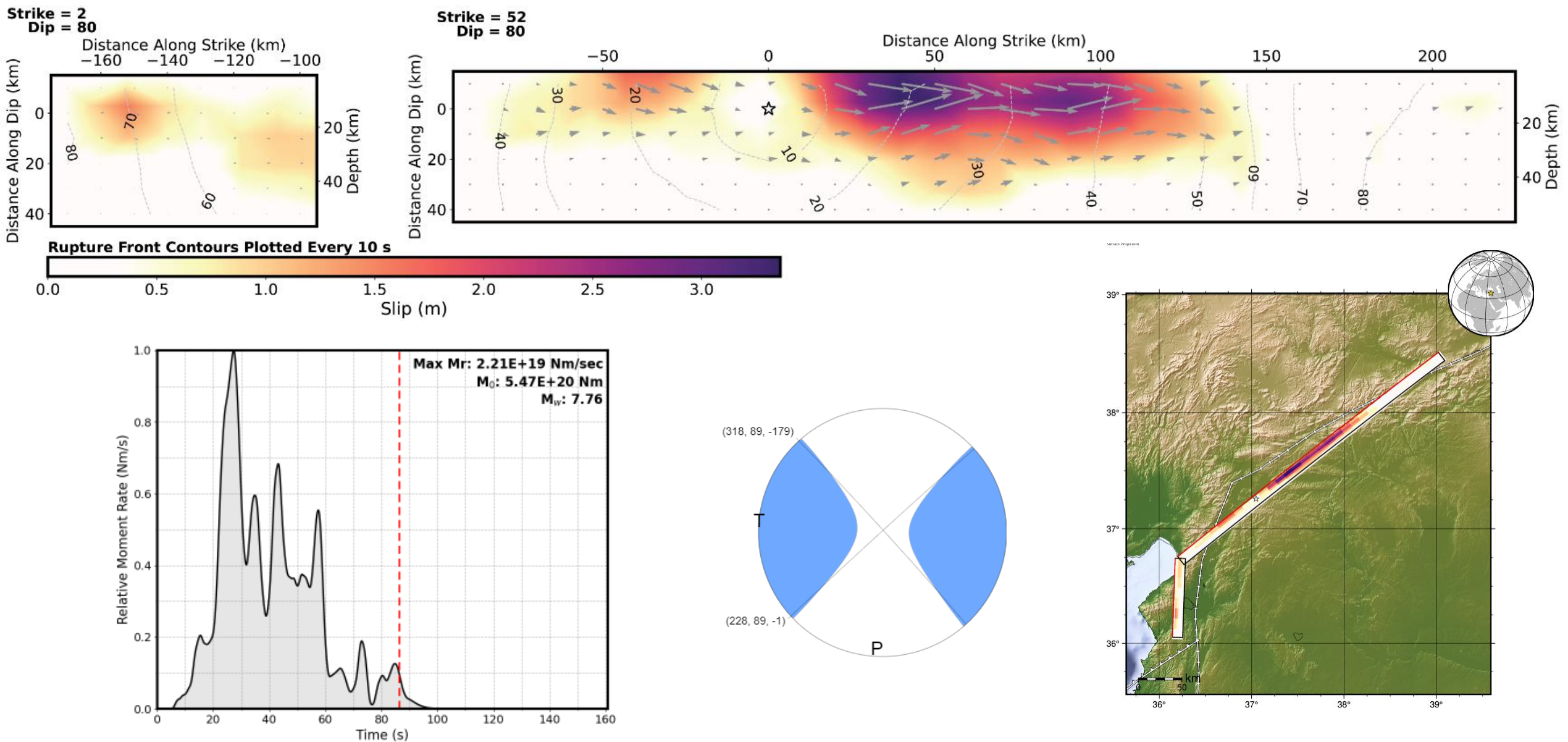
4698 felt reports on this map

★ Epicentral location

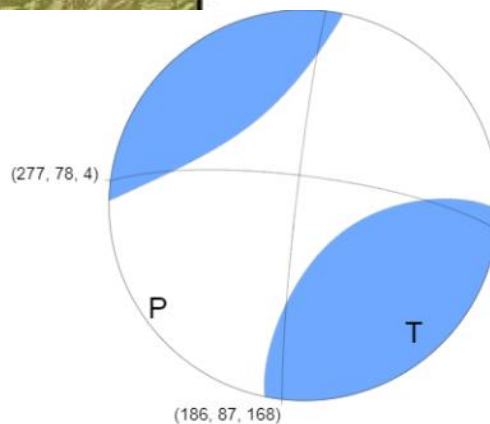
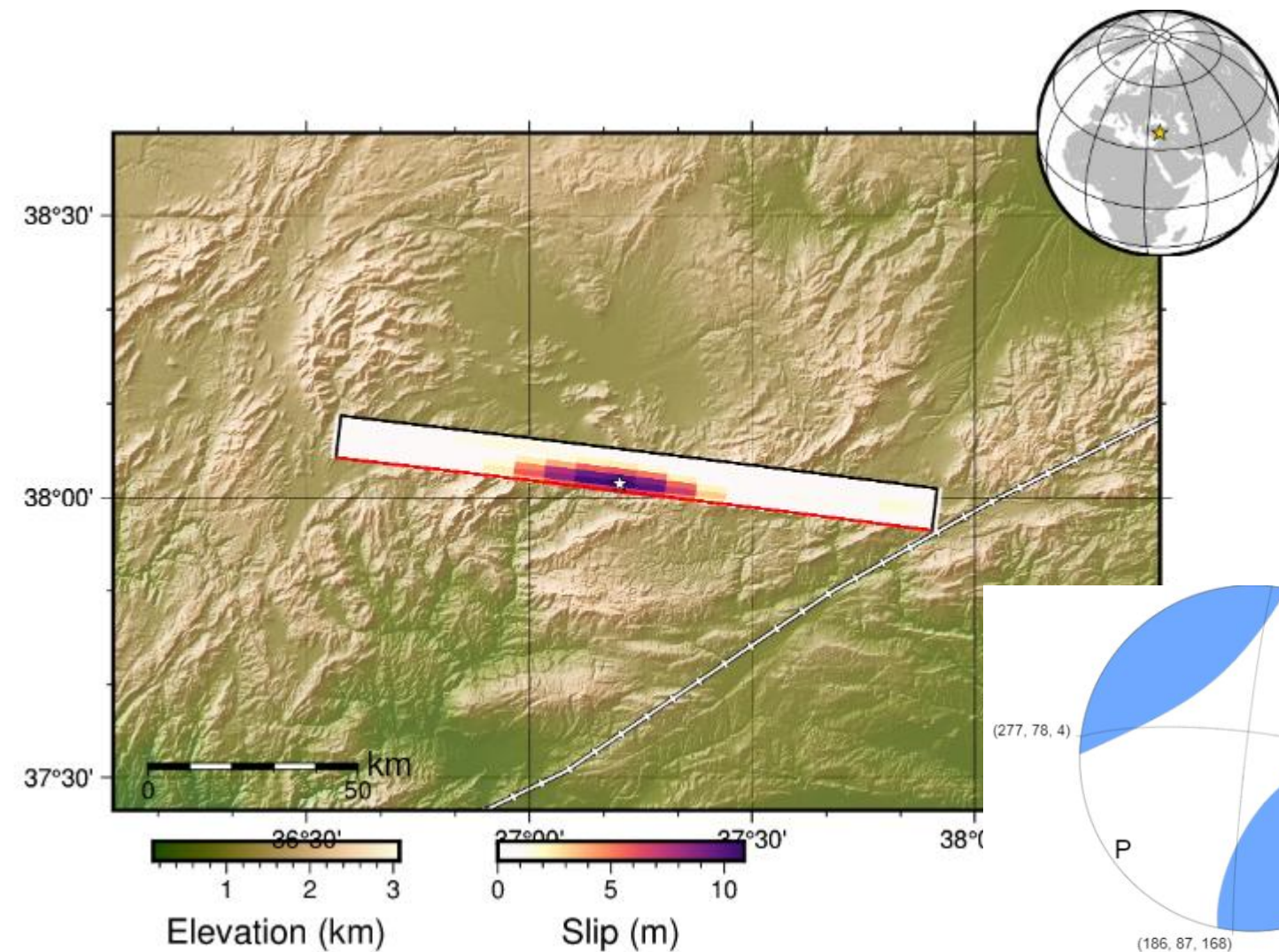
Reported as: Not felt Felt Largely felt Damaging

Updated on 08/02/2023 at 18:21 UTC

Konečný zlom, hlavní otřes

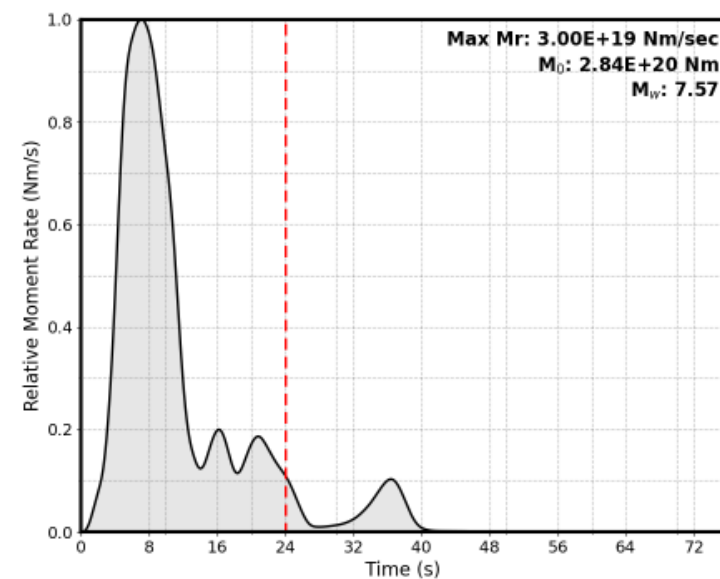
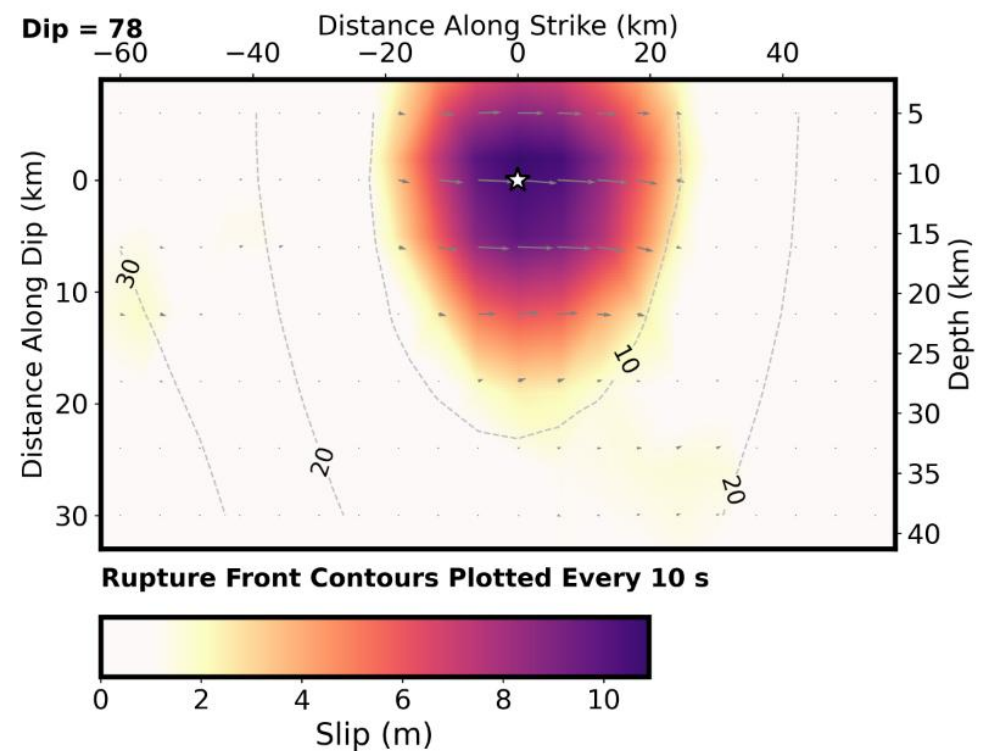


Konečný zlom, dotřes

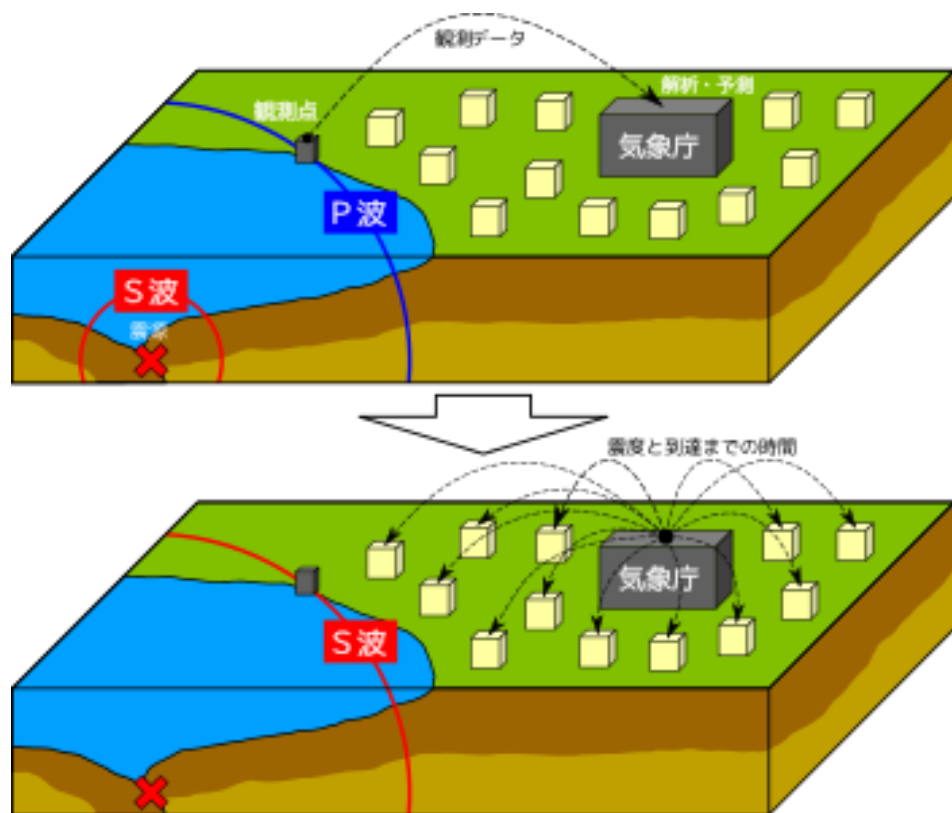


Strike = 277

Dip = 78



Včasné varování před silnými S vlnami po zaznamenání P vln (sekundy)



Intenzivní testování
v Kalifornii, Japonsku,
na Taiwanu, v Mexiku, Itálii, atd.



Odolné nové stavby, zpevnění starých

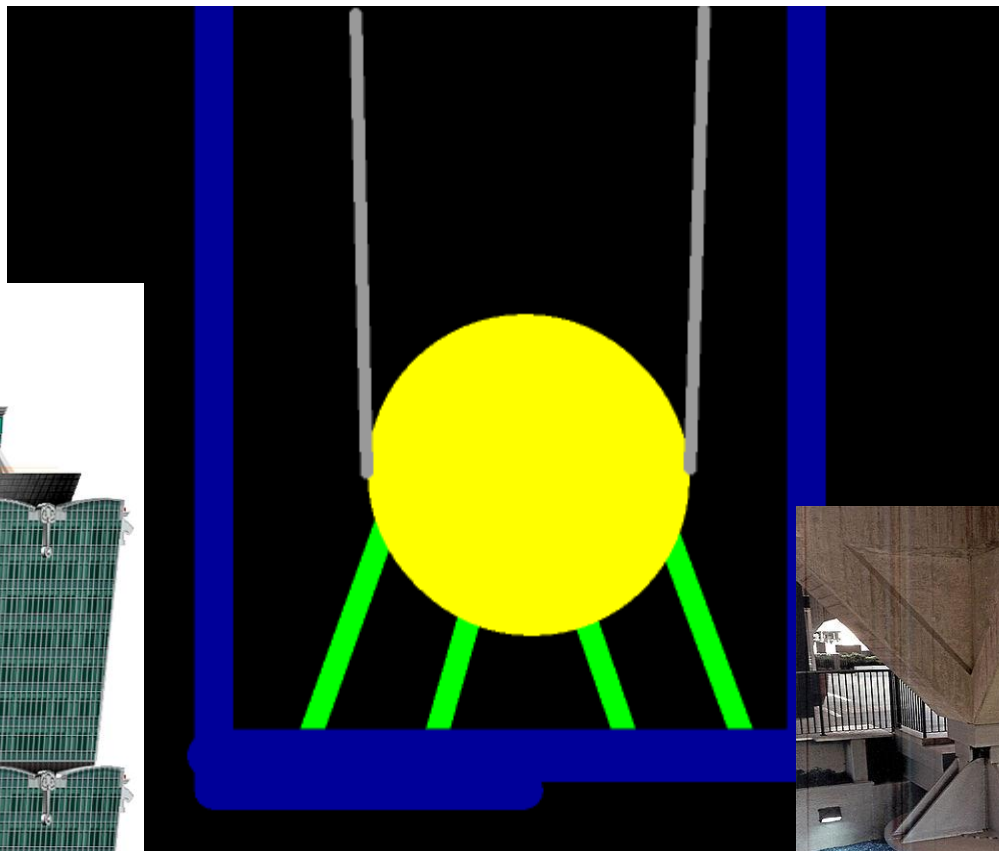
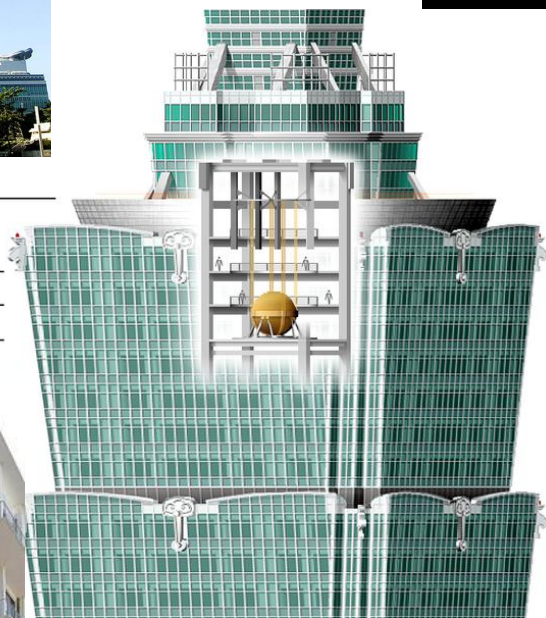


91st Floor (390.60 m)
(Outdoor Observation Deck)

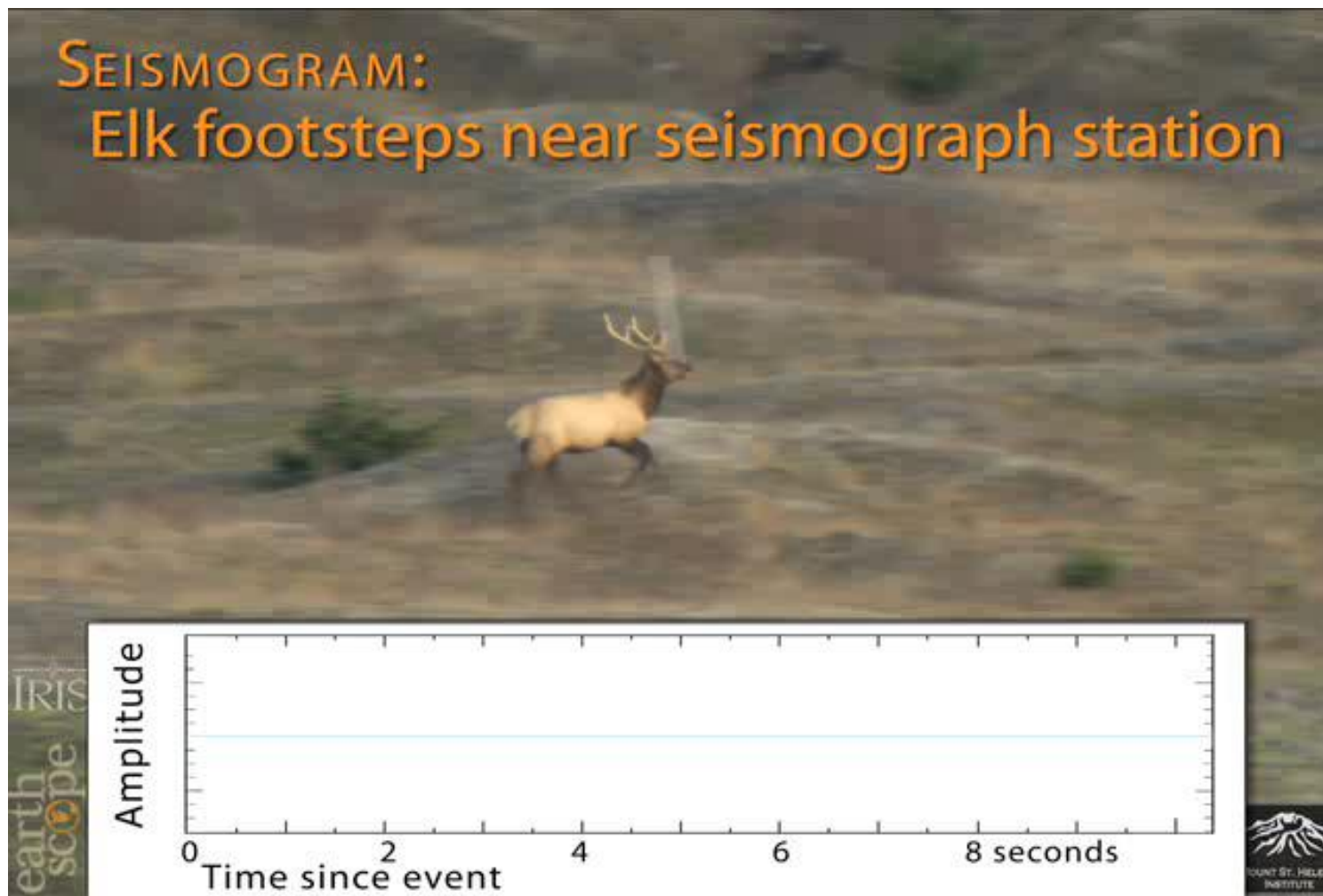
89th Floor (382.20 m)
(Indoor Observation Deck)

88th Floor

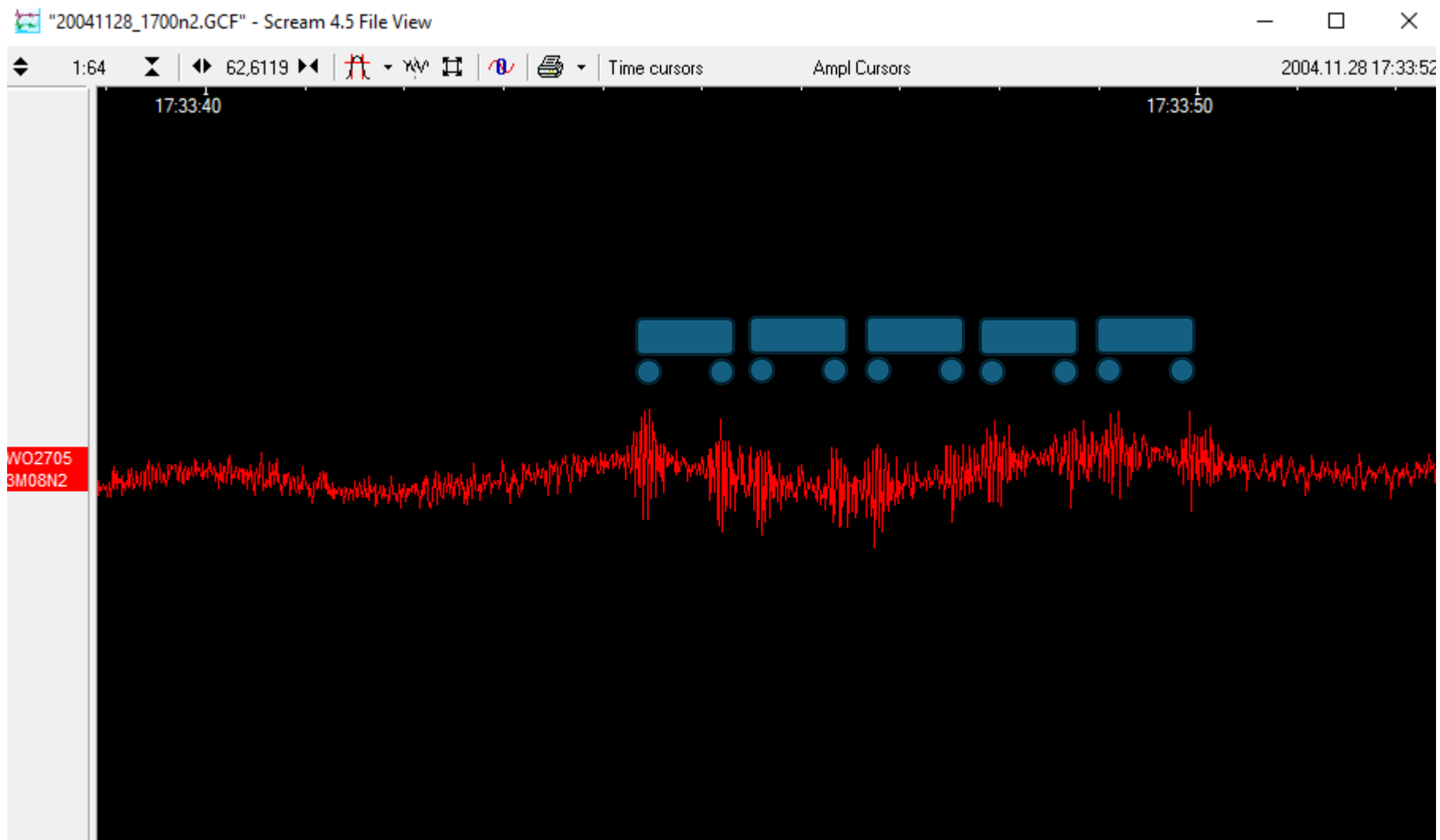
87th Floor



Další zdroje seismických vln – běžící los



Hádanka na závěr





Díky za pozornost