Předběžné poznatky o zemětřesení v jihovýchodní Asii

J. Zahradník

http://geo.mff.cuni.cz

Proč tato přednáška ?

- porozumět záplavě seismologických informací na Internetu
- pochopit taje a kouzla seismologie a její vazby na jiné fyz. a matem. obory

Reference: převážně web USGS a EMSC

Část 1

Ohlédnutí do minulosti:
zemětřesení a sopečná činnost
jako velké přírodní katastrofy

Messina (Itálie), 28. 12. 1908
zemětřesení M7 a tsunami, 70 tis. obětí

archív J. Kozáka

Magnitudo

$$M \approx \log E_S$$

Es ... energie seismických vln

Dříve se M odhadovalo z amplitud seis. vln pomocí empirických poznatků o jejich závislosti na epic. vzdálenosti.

Richterovo mag., později Ms a mnoho dalších. Problémy.
Zde používáme MOMENTOVÉ MAGNITUDO.

Magnitudo

$$M \approx \log E_S \approx \log M_0$$

$$M_0 \approx [u]\Sigma$$

Es ... energie seismických vln, Mo ... seismický moment
Σ ... plocha zlomu, [u] ... nespojitost posunutí na Σ

Používáme momentové magnitudo M či Mw (čili ani Richterovu stupnici ani magnitudo z povrchových vln Ms)

Stupnice Ms špatně rozlišuje velká z. („nasycení škály“).

Např. Kalifornie 1906 i Chile 1960: Ms8.3

třebaže jejich Mw jsou různá (8.0 a 9.5).

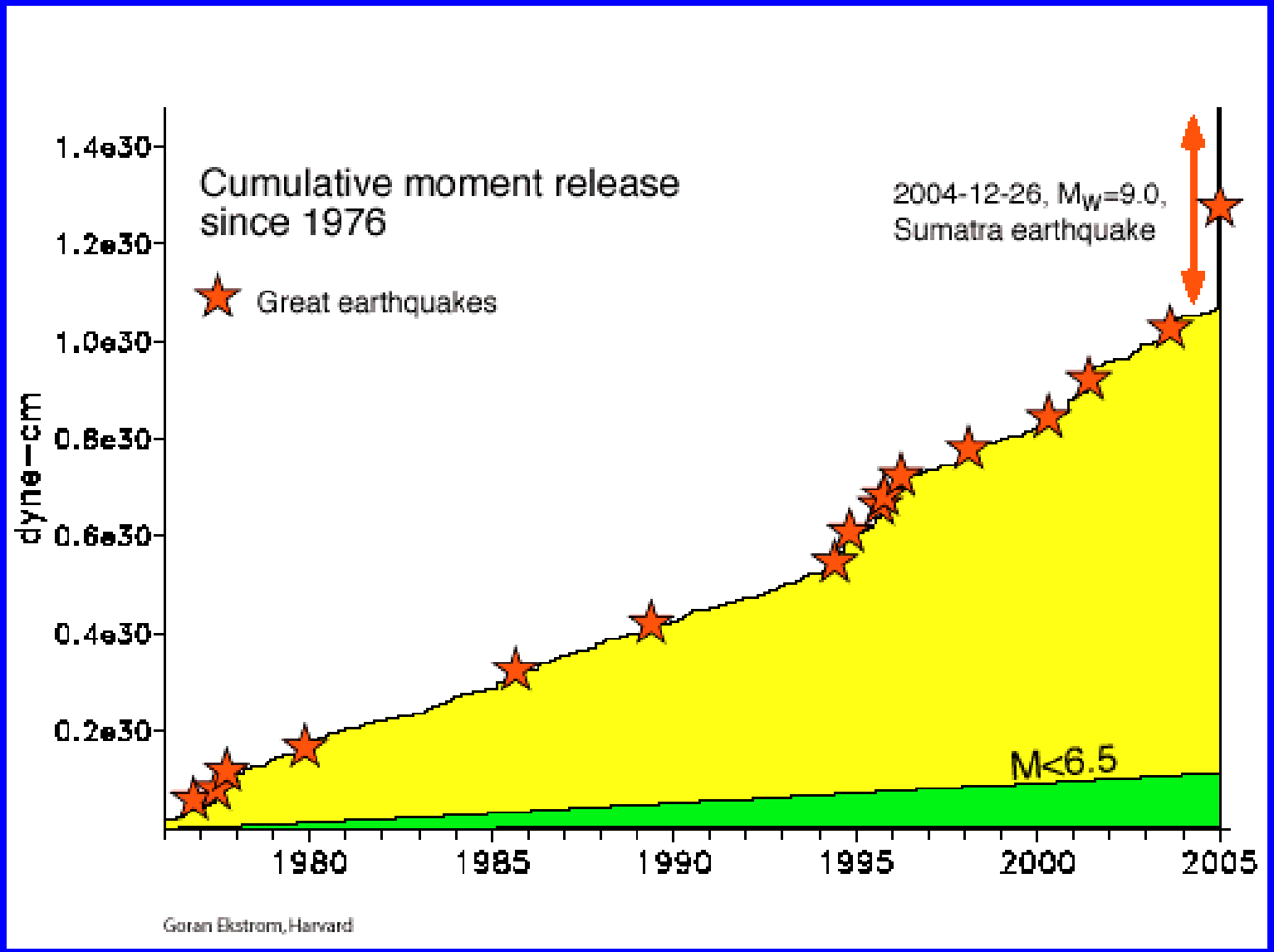
Sumatra (M9) uvolnila 1000x více energie nez Messina (M7)

Largest Earthquakes in the World Since 1900

Largest Earthquakes in the World Since 1900

	Location	Date UTC	Magnitude	Coordinates
1.	Chile	1960 05 22	9.5	38.24 S 73.05 W
2.	Prince William Sound, Alaska	1964 03 28	9.2	61.02 N 147.65 W
3.	Andreanof Islands, Alaska	1957 03 09	9.1	51.56 N 175.39 W
4.	Kamchatka	1952 11 04	9.0	52.76 N 160.06 E
5.	Off the West Coast of Northern Sumatra	2004 12 26	9.0	3.30 N 95.78 E
6.	Off the Coast of Ecuador	1906 01 31	8.8	1.0 N 81.5 W
7.	Rat Islands, Alaska	1965 02 04	8.7	51.21 N 178.50 E
8.	Assam - Tibet	1950 08 15	8.6	28.5 N 96.5 E
9.	Kamchatka	1923 02 03	8.5	54.0 N 161.0 E
10.	Banda Sea, Indonesia	1938 02 01	8.5	5.05 S 131.62 E
11.	Kuril Islands	1963 10 13	8.5	44.9 N 149.6 E

Jednalo se o jev ojedinělé velikosti



M9 zhruba jednou za 10 let

Descriptor	Magnitude	Average Annually
Great	8 and higher	1 [1]
Major	7 - 7.9	17 [2]
Strong	6 - 6.9	134 [2]
Moderate	5 - 5.9	1319 [2]
Light	4 - 4.9	13,000 (estimated)
Minor	3 - 3.9	130,000 (estimated)
Very Minor	2 - 2.9	1,300,000 (estimated)

[1] Based on observations since 1900.
[2] Based on onservations since 1990.

Gutenberg-Richter: log N = a - b M, velmi hrubě 8 - M

Fraktální chování zlomů

- $\log N = a - b\,M$

- $N \sim R^{-D}$
- $\log N \sim -D \log R \sim -D/2\,M$

ale také sopečné výbuchy a následné tsunami
1500 před n.l. (?) Santorini
1883 Krakatau 36 000 obětí

?? 1872 (?) Bengál. záliv 200 000 obětí

Bylo někdy více obětí zemětřesení ?

Earthquakes with 50,000 or More Deaths

Listed in order of greatest number of deaths

Date	Location	Deaths	Magnitude	Comments
January 23, 1556	China, Shansi	830,000	~8	
July 27, 1976	China, Tangshan	255,000 (official)	7.5	Estimated death toll as 655,000.
August 9, 1138	Syria, Aleppo	230,000		
May 22, 1927	China, near Xining	200,000	7.9	Large fractures.
December 22, 856+	Iran, Damghan	200,000		
December 16, 1920	China, Gansu	200,000	8.6	Major fractures, landslides.
March 23, 893+	Iran, Ardabil	150,000		
September 1, 1923	Japan, Kwanto	143,000	7.9	Great Tokyo fire.
October 5, 1948	USSR (Turkmenistan, Ashgabat)	110,000	7.3	
December 28, 1908	Italy, Messina	70,000 to 100,000 (estimated)	7.2	Deaths from earthqu and tsunami.

(pokračování)

November 1, 1755	Portugal, Lisbon	70,000	8.7	Great tsunami.
December 25, 1932	China, Gansu	70,000	7.6	
May 31, 1970	Peru	66,000	7.9	$530,000 damage, great rock slide, floods.
1268	Asia Minor, Silicia	60,000		
January 11, 1693	Italy, Sicily	60,000		
May 30, 1935	Pakistan, Quetta	30,000 to 60,000	7.5	Quetta almost completely destroyed.
February 4, 1783	Italy, Calabria	50,000		
June 20, 1990	Iran	50,000	7.7	Landslides.

Z. Kukal: 1872 Bengál. záliv 200 000 obětí není potvrzeno že šlo o tsunami

Oběti některých sopek:

Between 1972 and 1991 alone, 29 volcanic eruptions mostly on Java.
In 1815 a volcano at Gunung Tambora claimed 92,000 lives and created "the year without a summer" in various parts of the world.

nejen ničivé účinky, ale též vliv na ovzduší

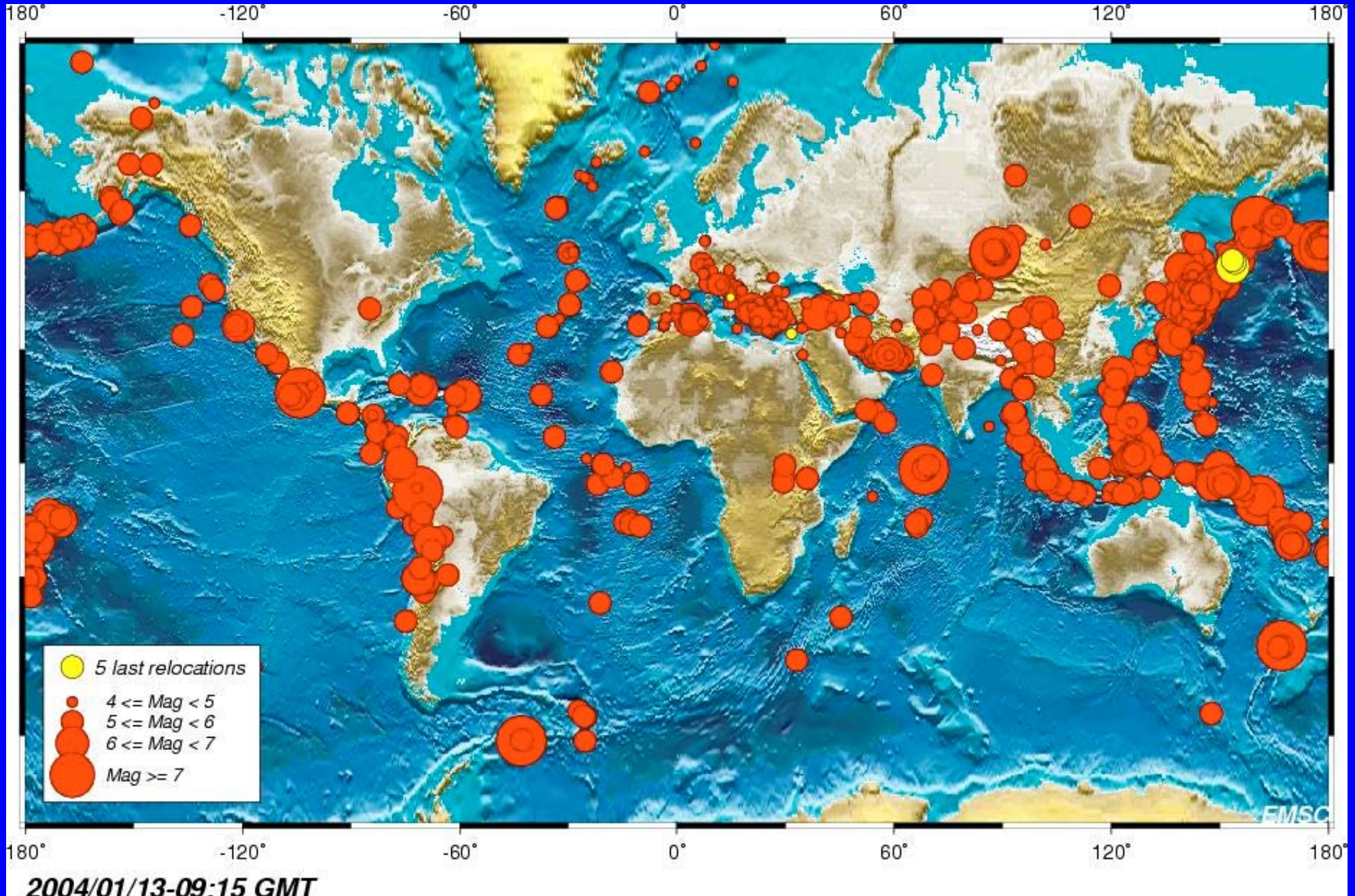
In 1883 Krakatau in the Sunda Strait, between Java and Sumatra, erupted and some 36,000 West Javans died from tsunami. The sound of the explosion was reported as far away as Turkey and Japan.

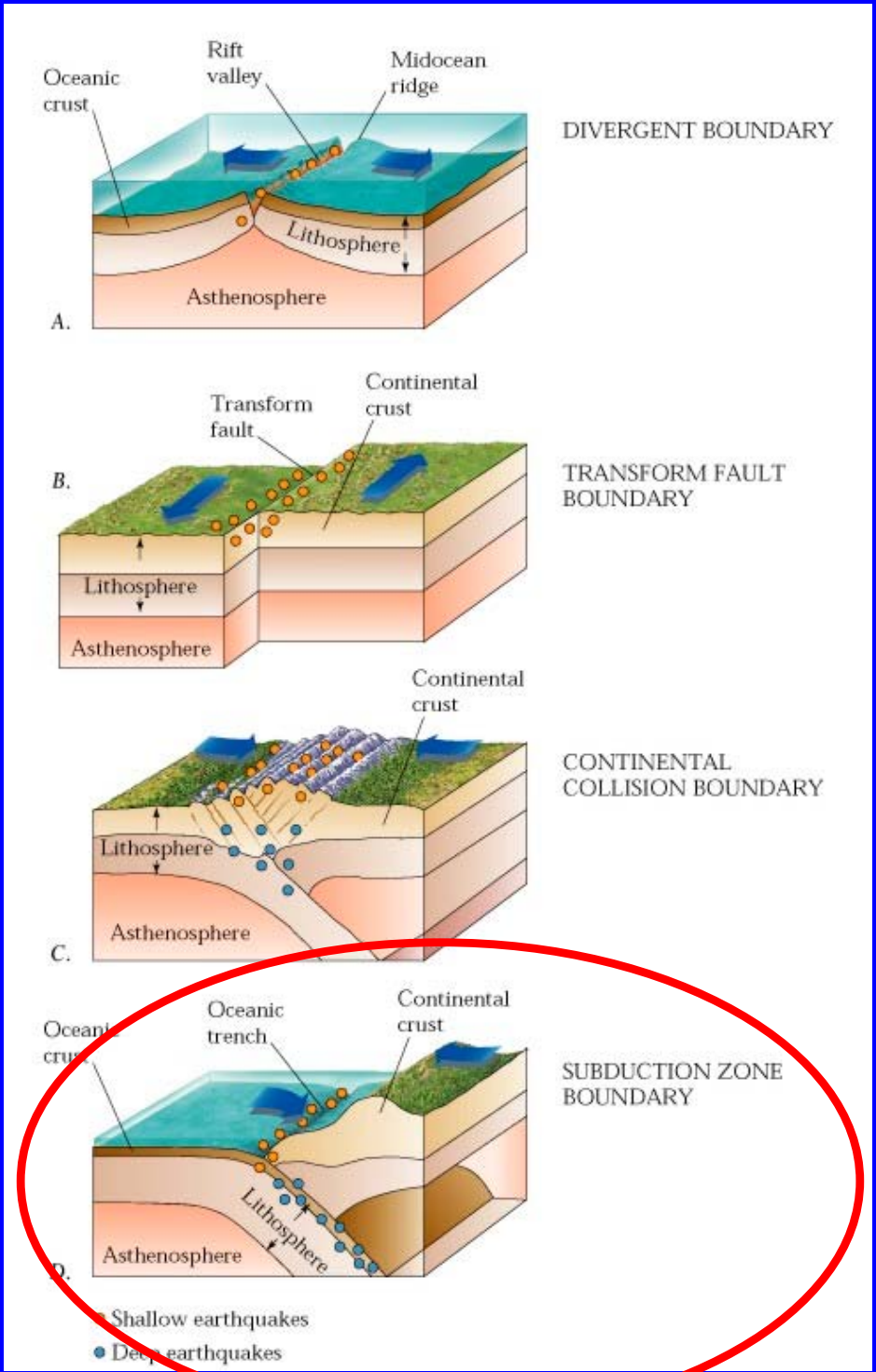
1500 před n.l. Santorini (Egejské moře), zánik Atlantidy ?

Část 2

Zemětřesení a litosférické desky

Aktivita mapuje litosférické desky

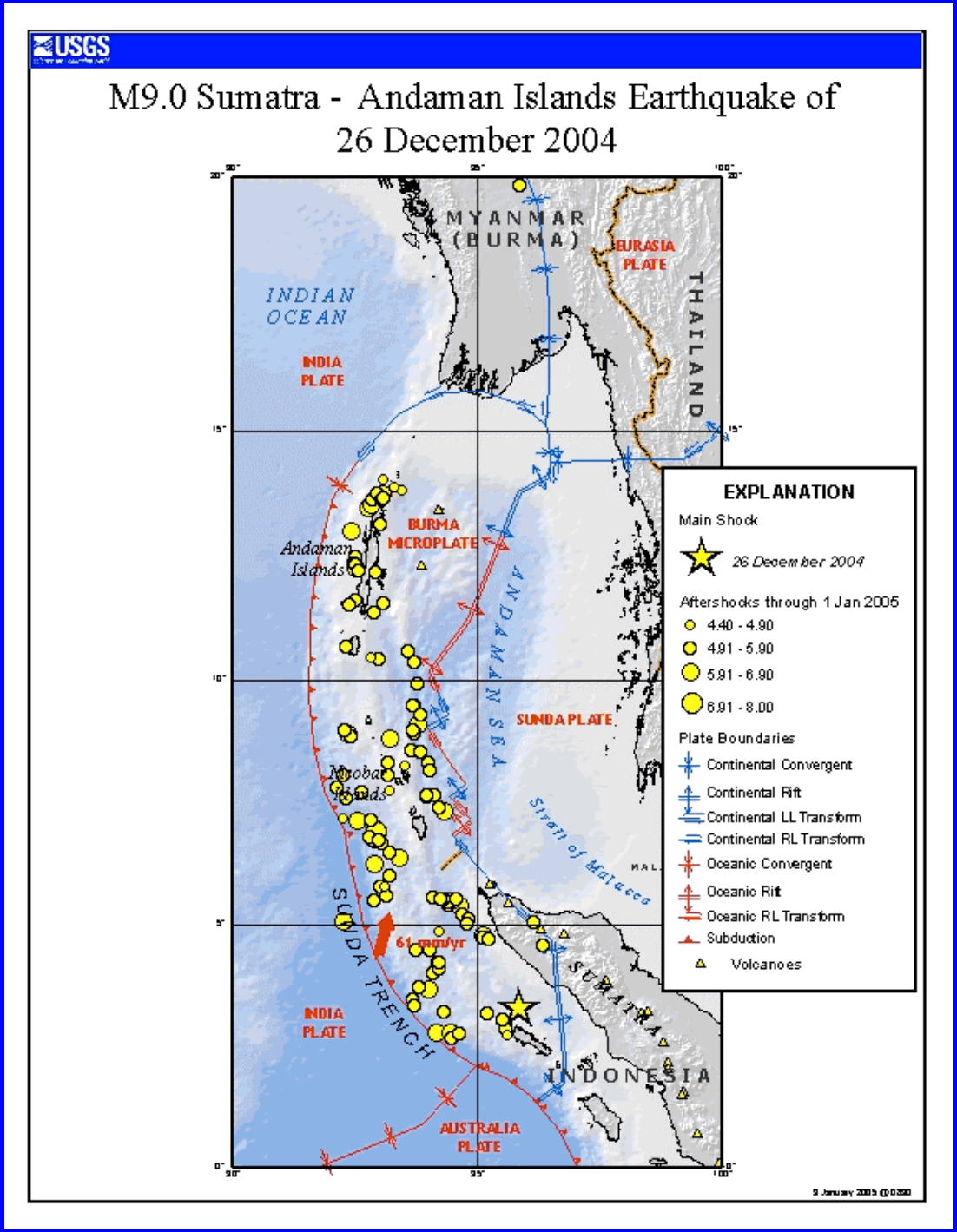




Sumatra - jeden z běžných typů deskových rozhraní:

subdukce

Lze to jednoduše dokázat ?



Rychlost subdukce je měřitelná

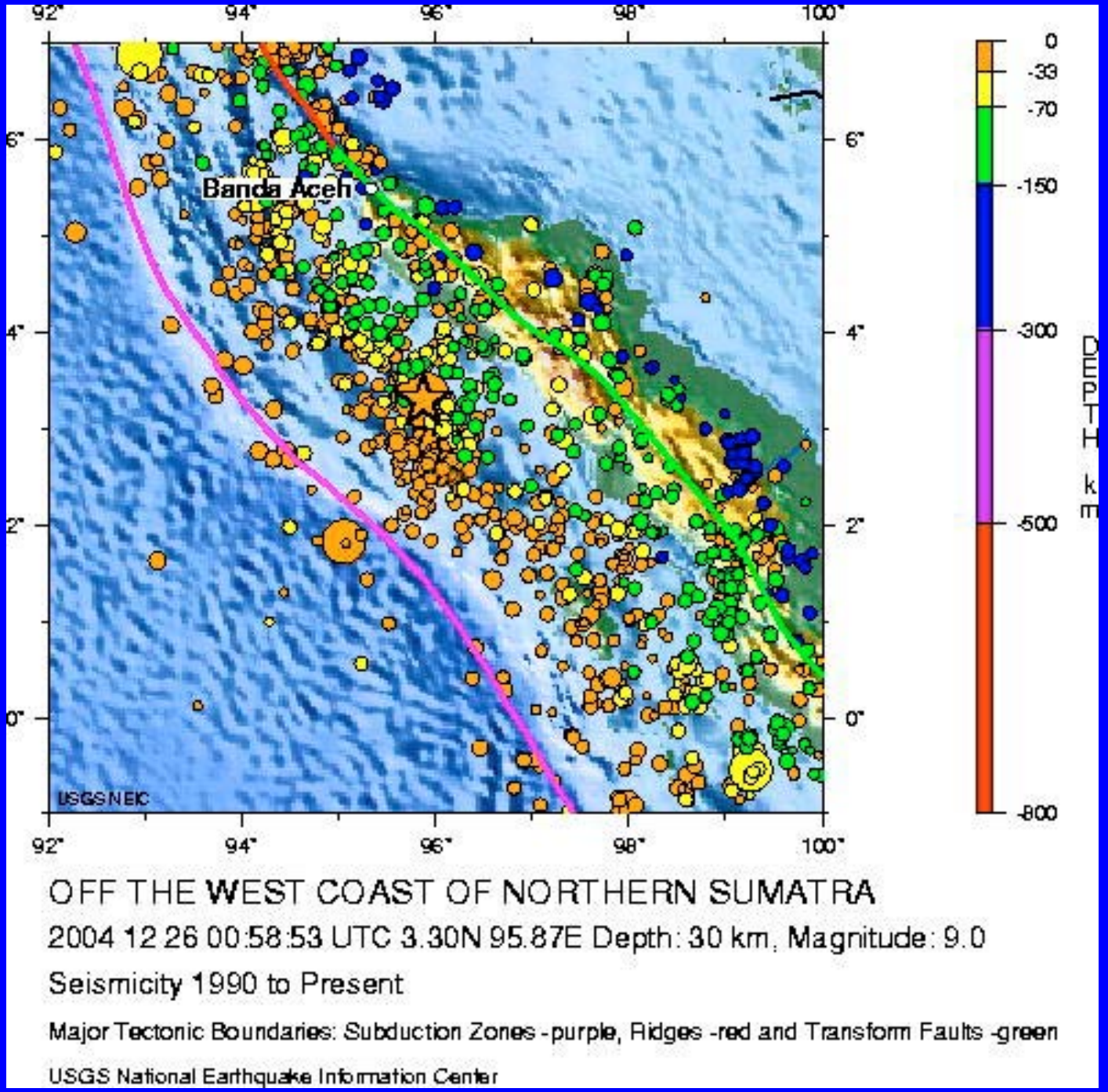
6 cm/rok

významná „okrajová podm.“ pro modely desek a zlomu

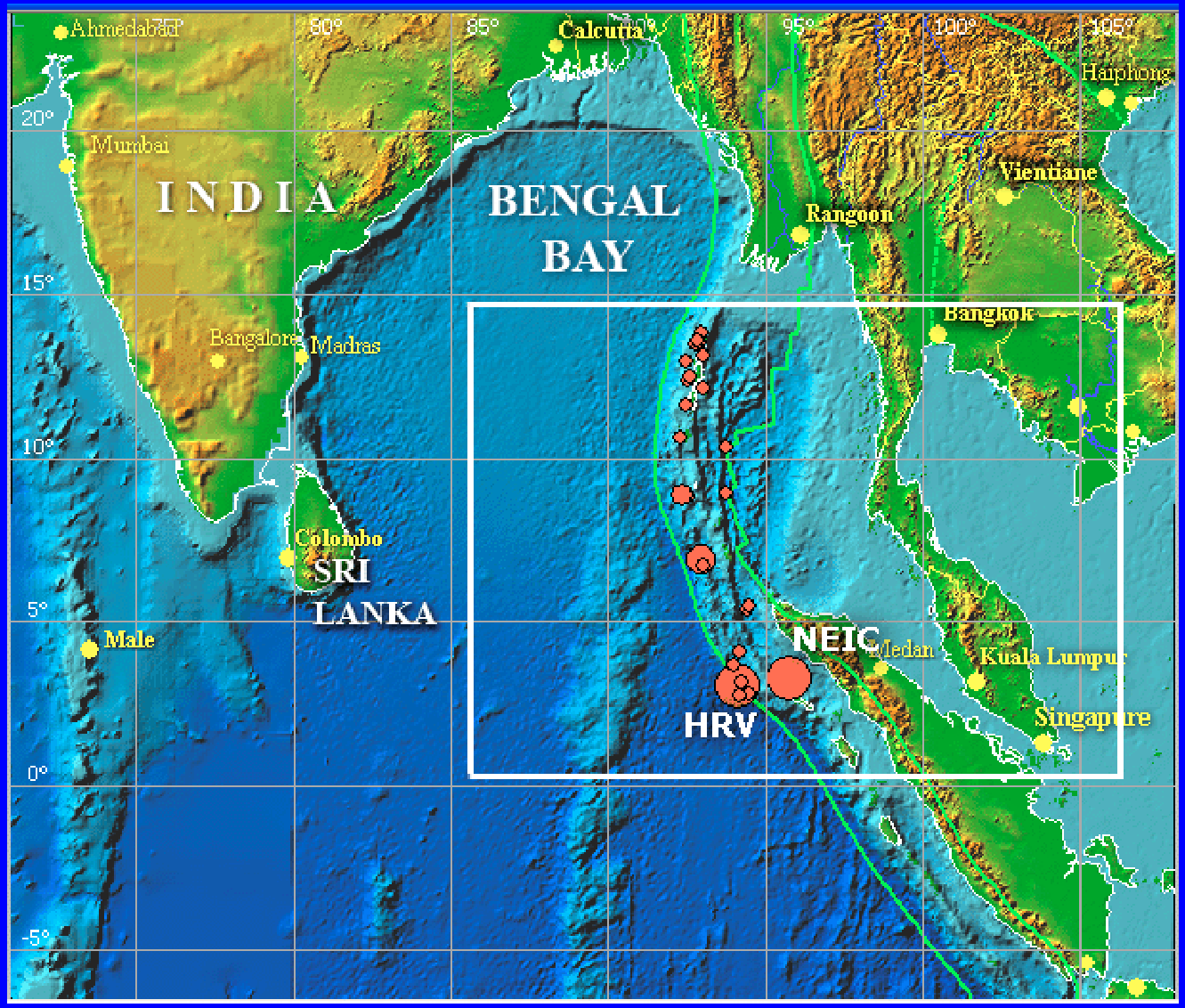
Numerické modelování subdukce a jejího vztahu ke konvekci v zemském plášti

Geodynamická skupina katedry geofyziky Vás zve na samostatnou přednášku !

1990-2004 hloubka z. směrem pod Sumatru roste



26. 12. 2004 v 00:59 svět. času, t.j. 06:59 místního času



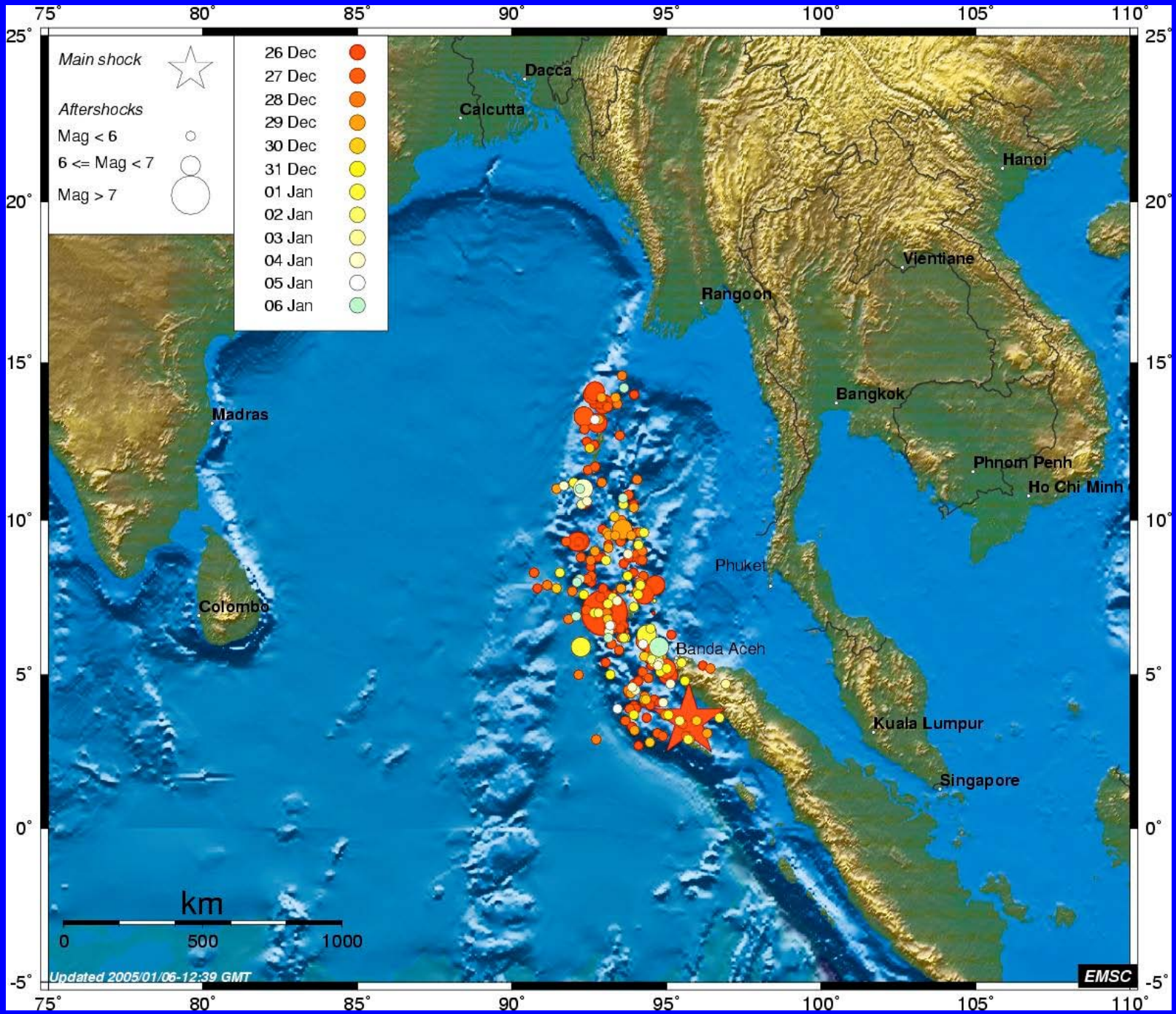
hypocentrum (NEIC) a centroid (HRV)

lokace světovou sítí stanic během cca 15 minut (doba běhu seis. vln)

Lokace

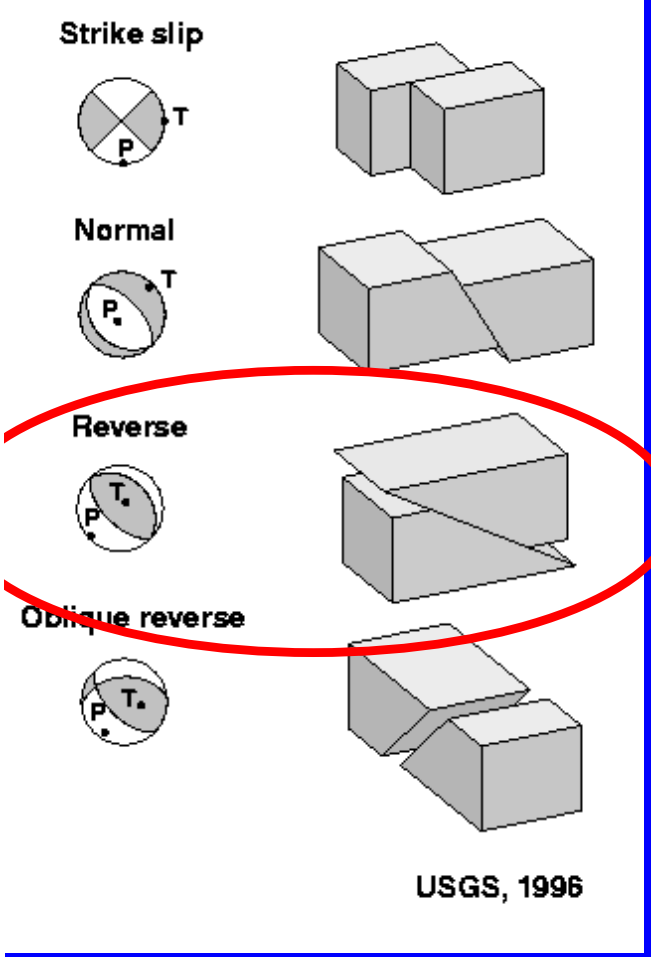
- Úloha nalezení polohy ohniska a času vzniku z. z časů příchodu jednotlivých druhů prostorových P a S vln.
- Neřeší se přímo žádná pohyb. rovnice.
- Jde o minimalizaci rozdílu mezi pozorovanými a teor. časy šíření, časy jsou dány explicitním funkčním předpisem (pro daný model prostředí numericky).
- Nelineární úloha.

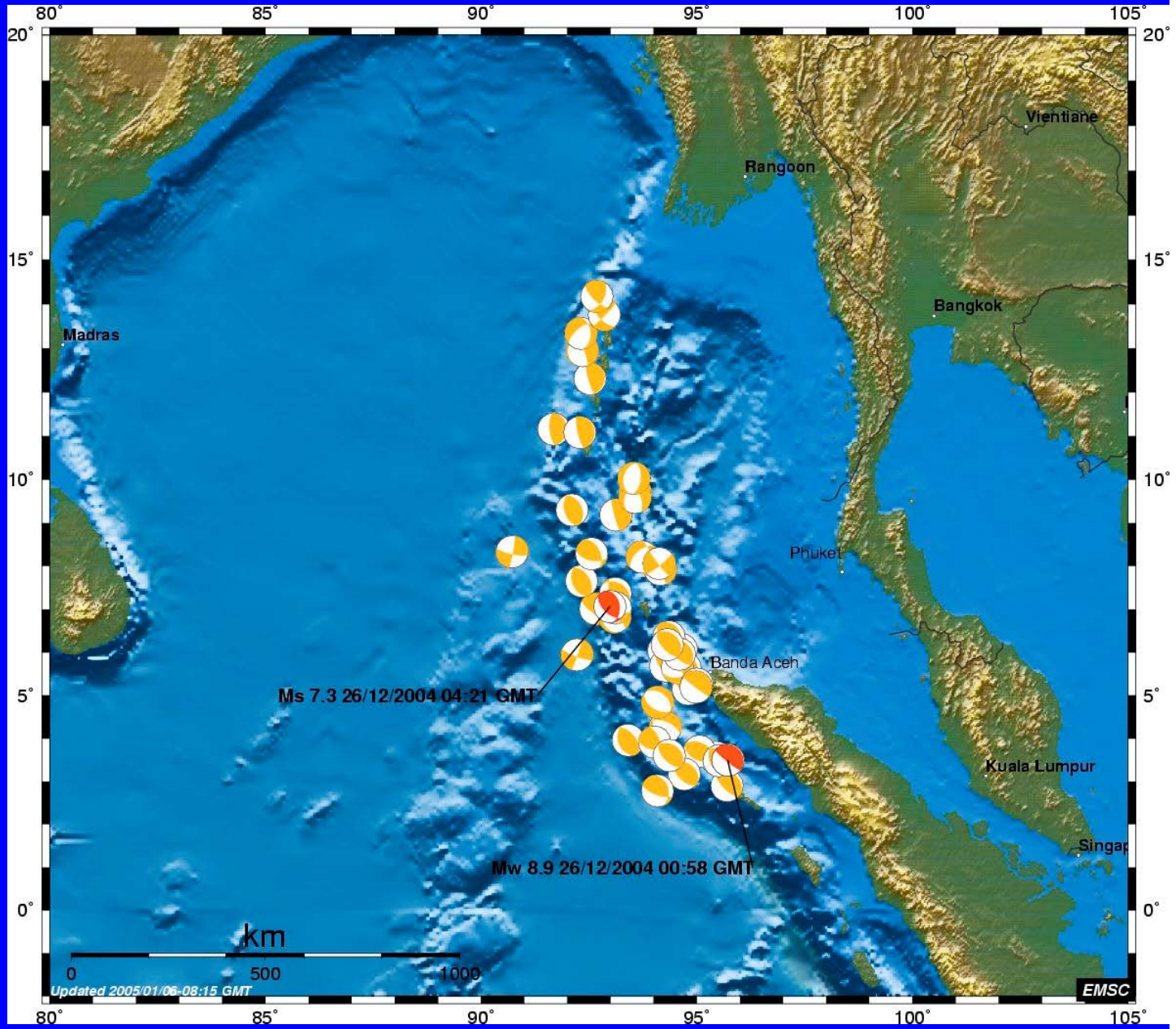
a 12 dní dotřesů ...



animace dotřesové sekvence

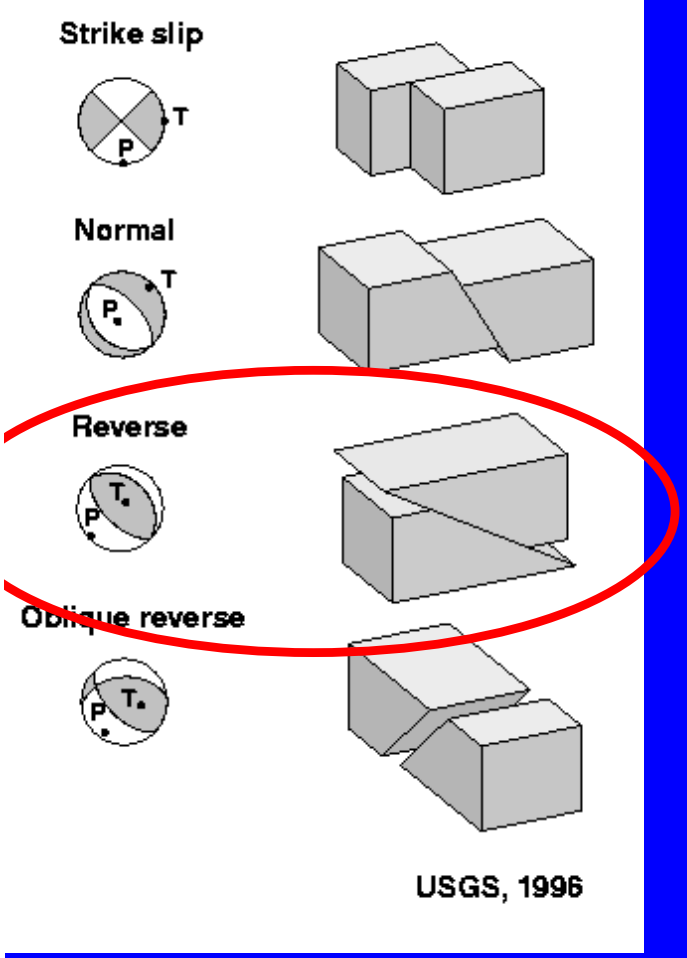
ukazuje rozsah zlomové plochy
hlavního otřesu
(a největšího dotřesu M7 po cca 3 hodinách)

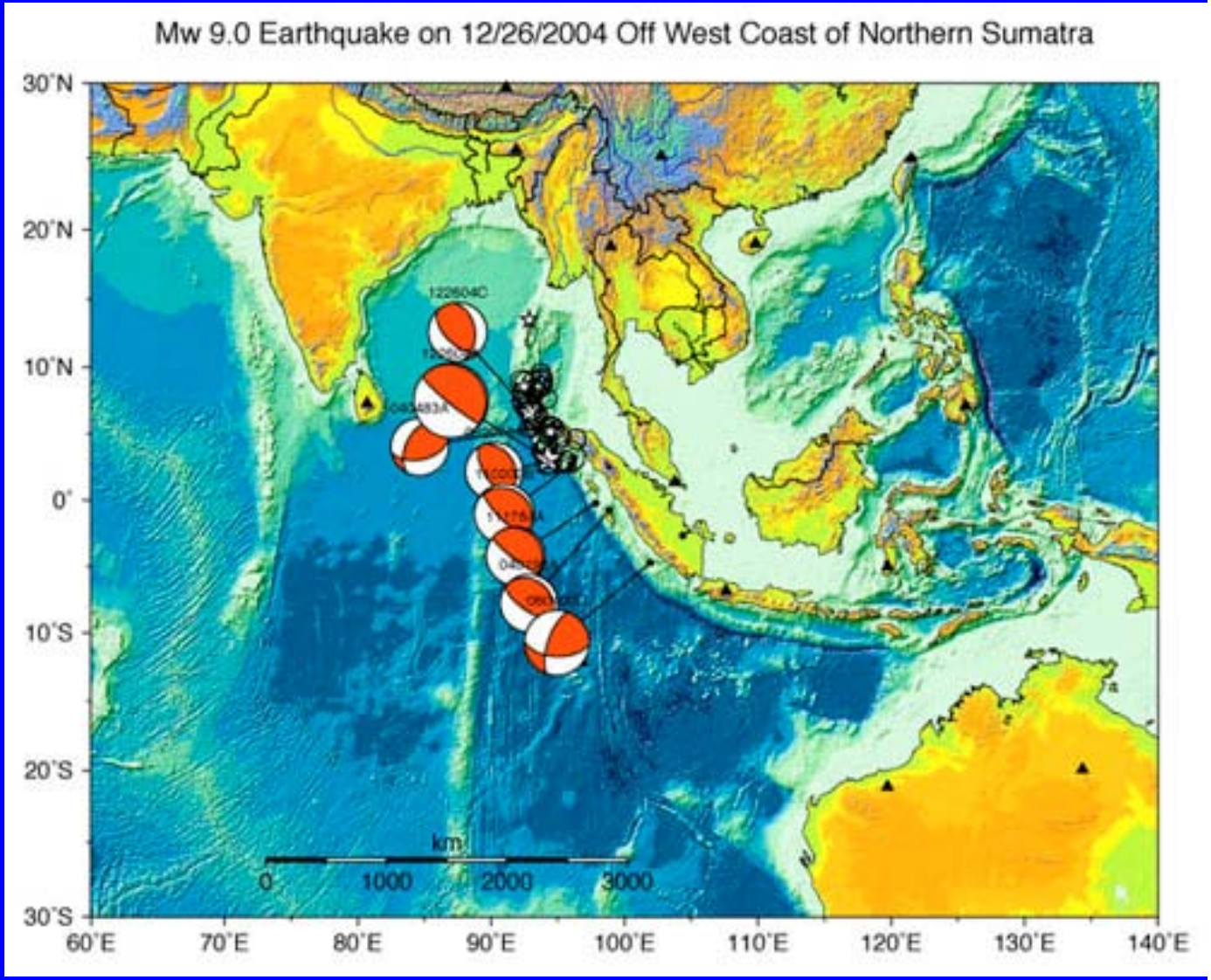




o geometrii zlomové plochy vypovídají i seismické vlny

„mechanizmus ohniska“



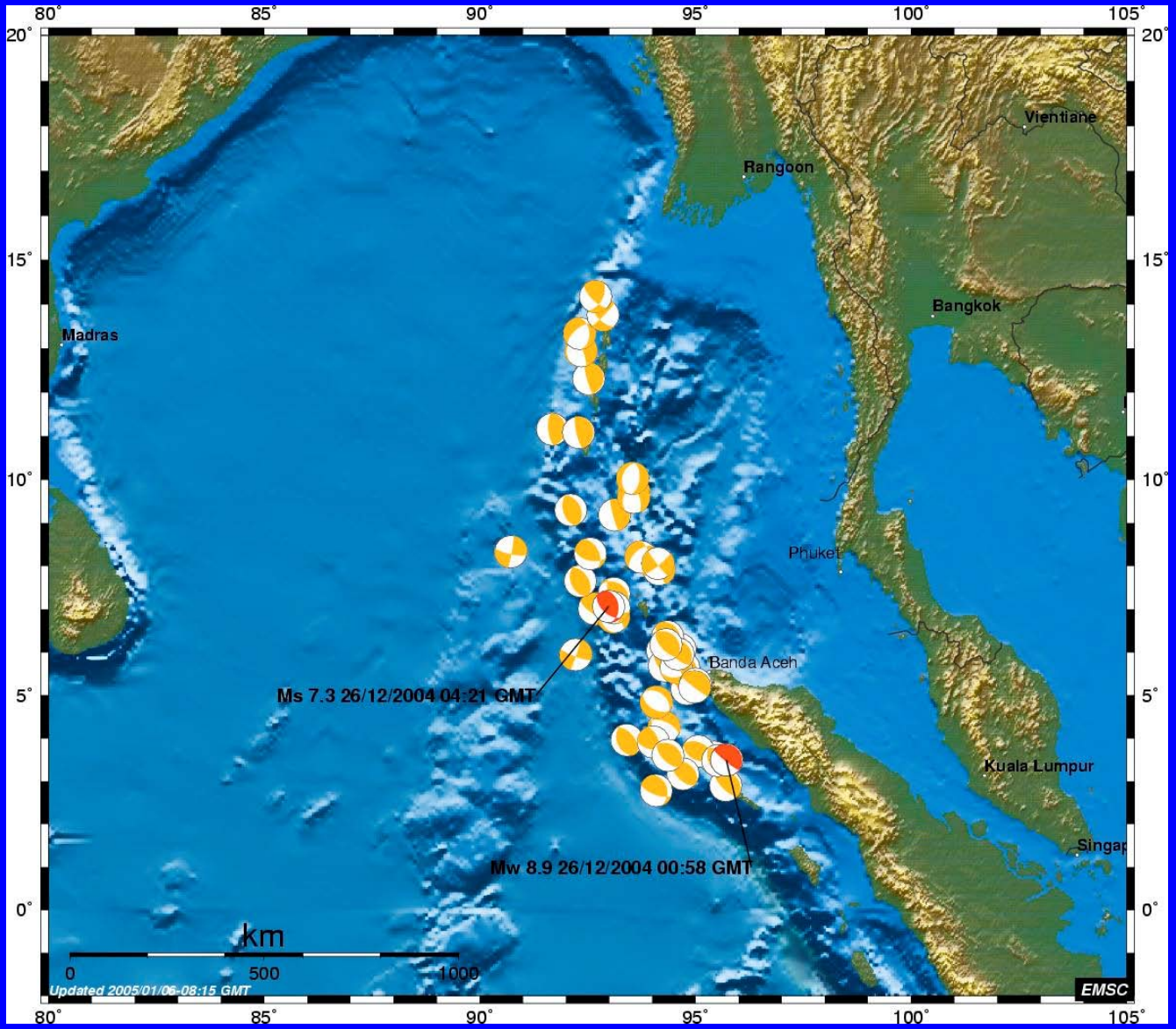


o geometrii zlomové plochy vypovídají i seismické vlny

„mechanizmus ohniska“
„momentový tenzor“

= typická aktuální témata dizertací u nás

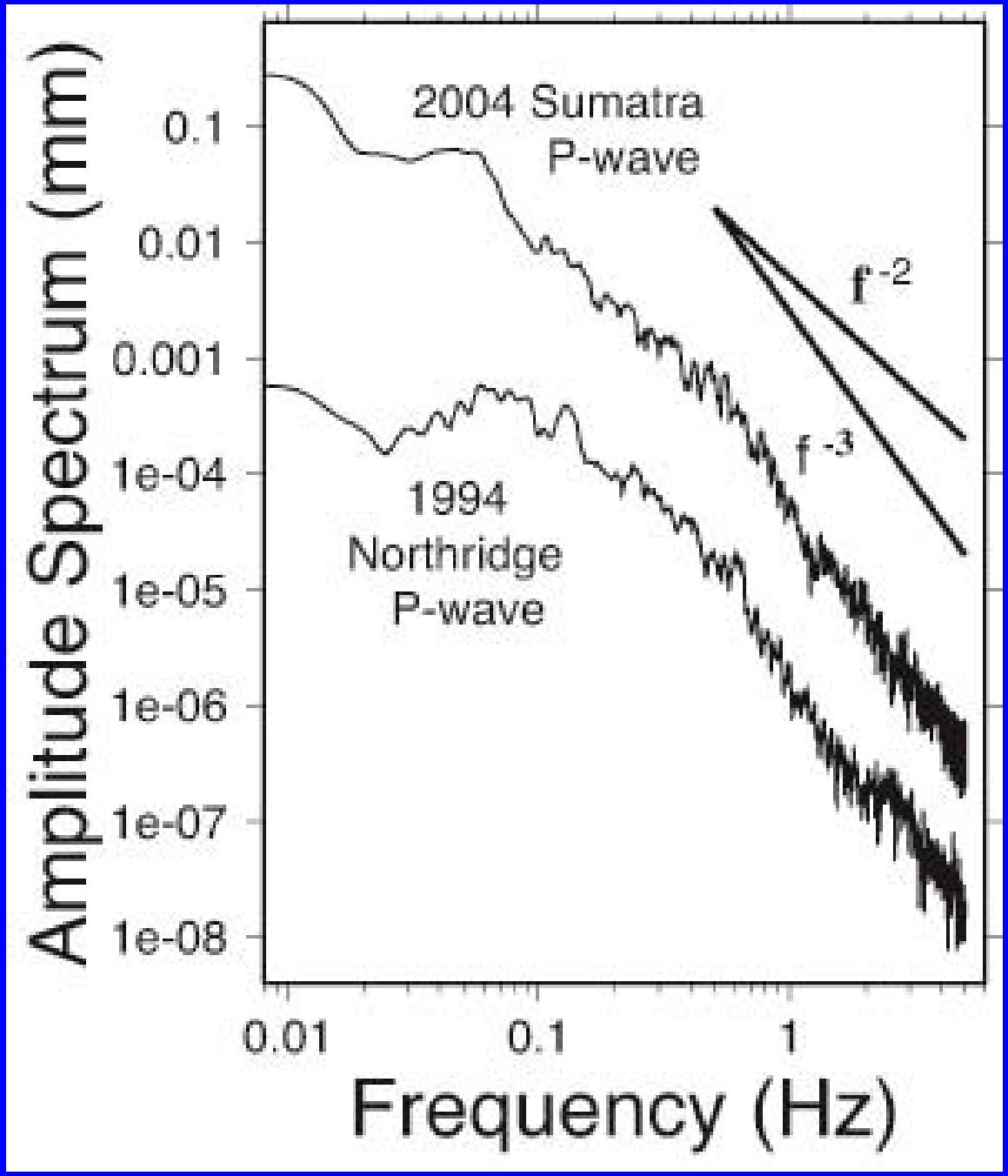
Podrobnosti o velikosti a mechanizmu



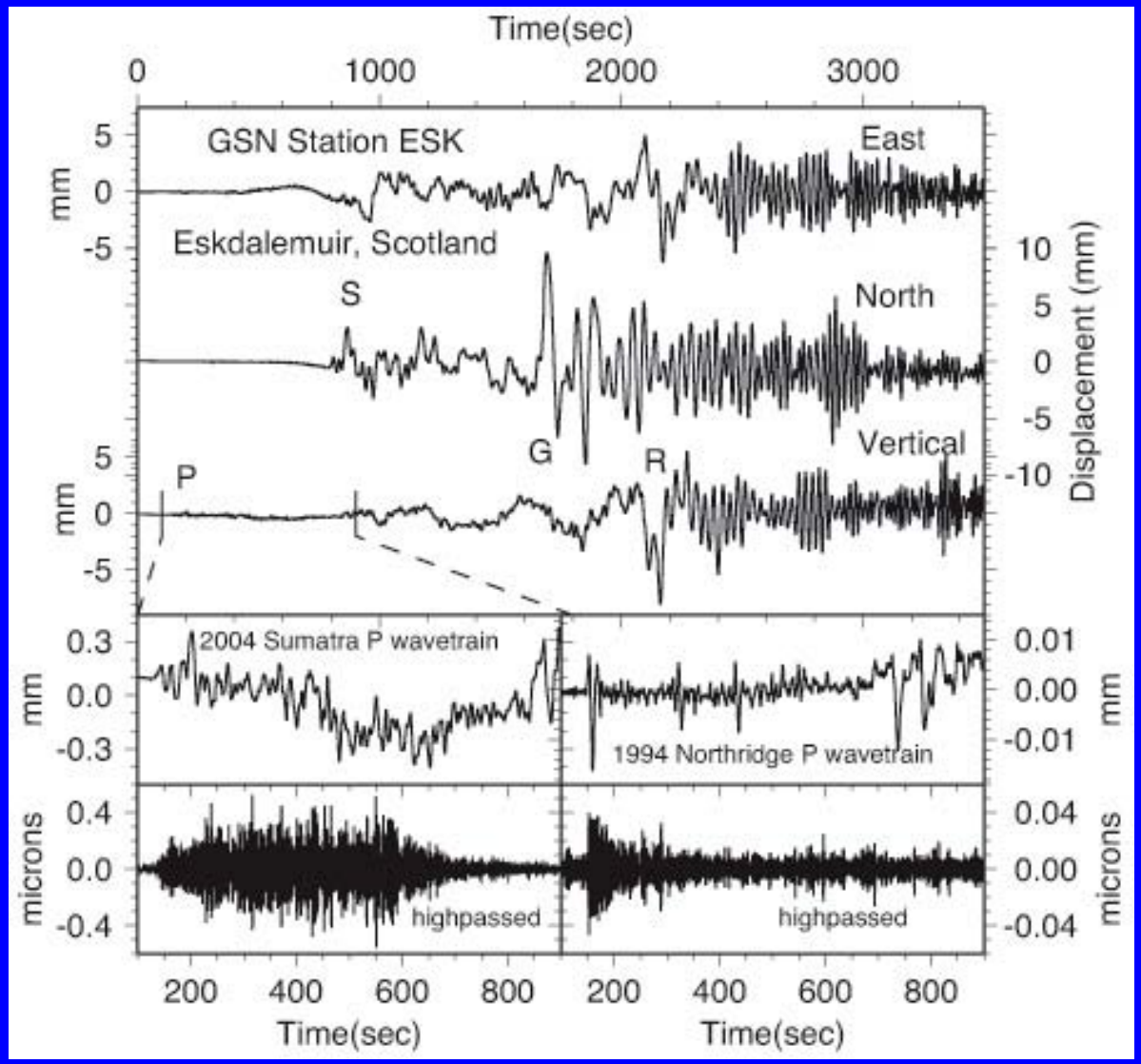
Problémy plynoucí z anomální velikosti tohoto z.

- První rutinní odhady podcenily velikost (M ~8)
- I když bylo magnitudo opraveno (M=9), nebylo krátce po z. jasné, jak velká je zlomová plocha a trhliny na ní

empirické vztahy:
plocha zlomu ~ 120 000 km^2
skluz ~ 10 m
ale platí empir. vztahy pro M9 ?



Sumatra M9.0
Northridge M6.7


Time(sec)
0
1000
2000
3000
GSN Station ESK
East
Eskdalemuir, Scotland
S
North
G
R
Vertical
P
mm
5
0
-5
10
5
0
-5
-10
Displacement (mm)
2004 Sumatra P wavetrain
1994 Northridge P wavetrain
0.3
0.0
-0.3
0.01
0.00
-0.01
microns
0.4
0.0
-0.4
0.04
0.00
-0.04
highpassed
200
400
600
800
Time(sec)

Část 3

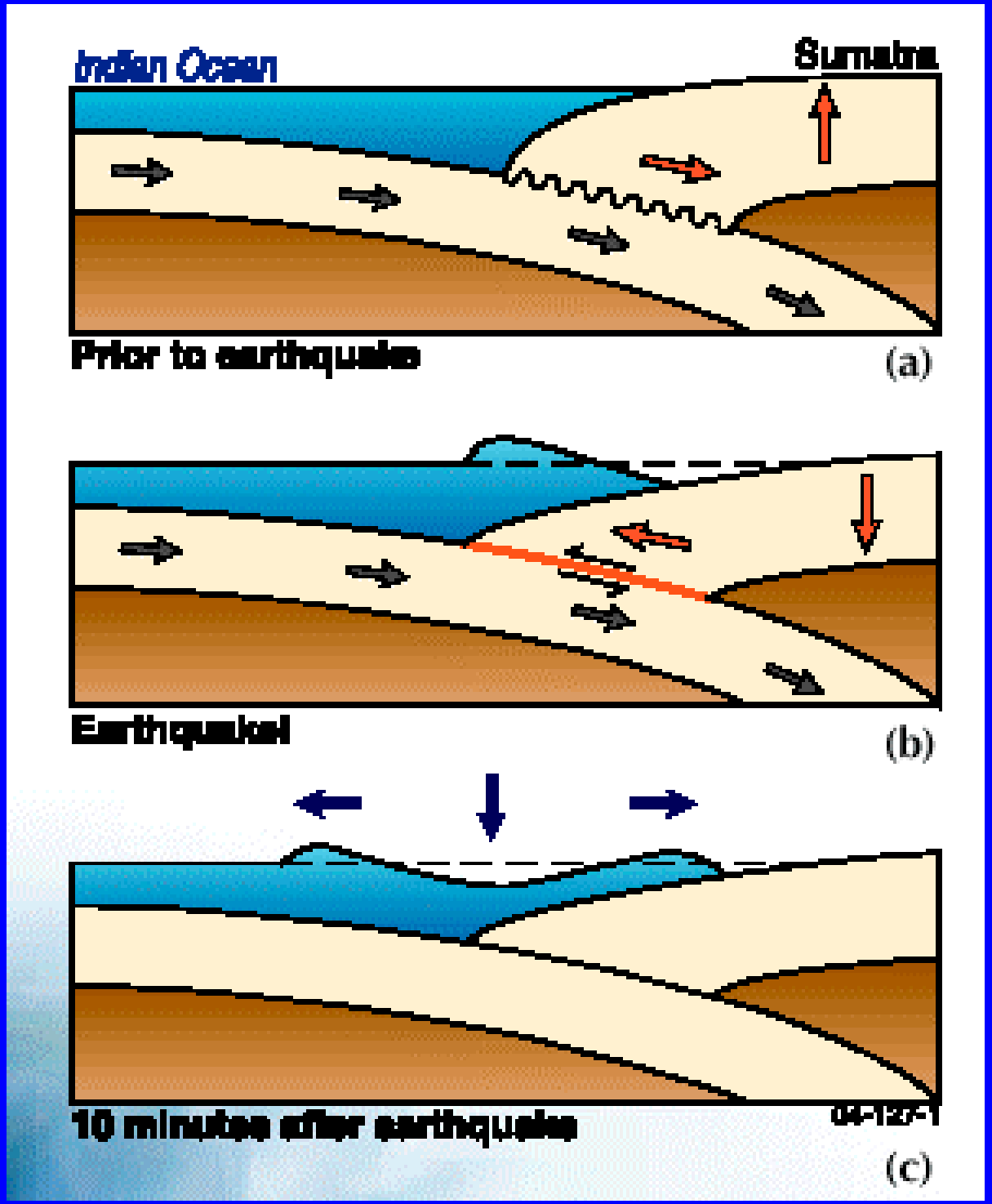
津波

tsu nami

přístav vlna

Subdukce, zaklesnutí, zemětřesení a tsunami

na moři např.
vlnová délka 200 km
rychlost 800 km/hod
perioda 15 min



Tsunami - hydrodynamický popis

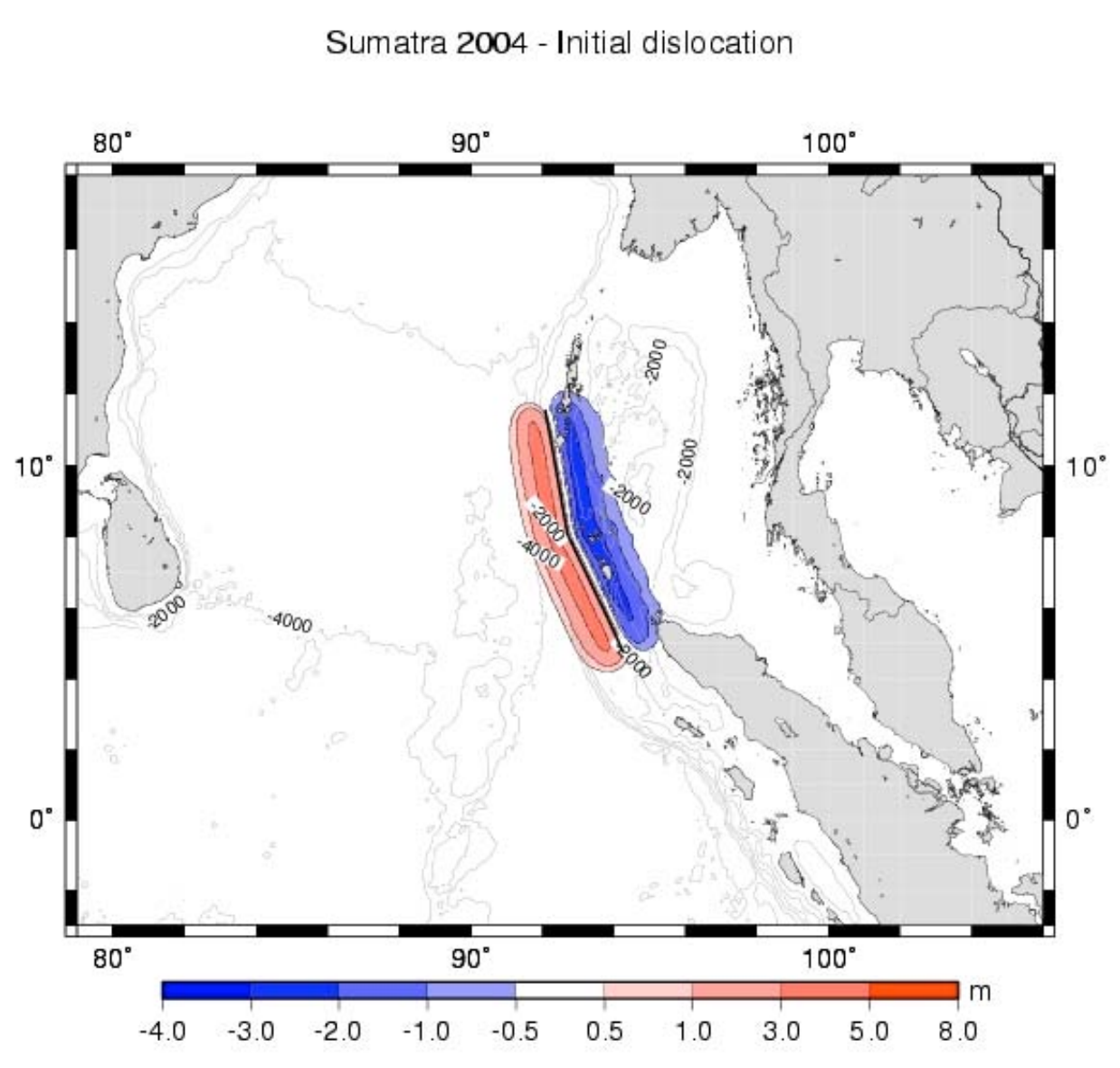
- Zachování hmoty a hybnosti
- Nestlačitelná ideální kapalina
- Rov. kontinuity a hydrodyn. Eulerova rov.
- Eulerův popis, totální derivace (advekce)
- Síly: gravitační a Coriolisova, tření na dně
- Nelineární rovnice pro tzv. gravitační vlny

Hydrodynamics (Sir H. Lamb, 1873)

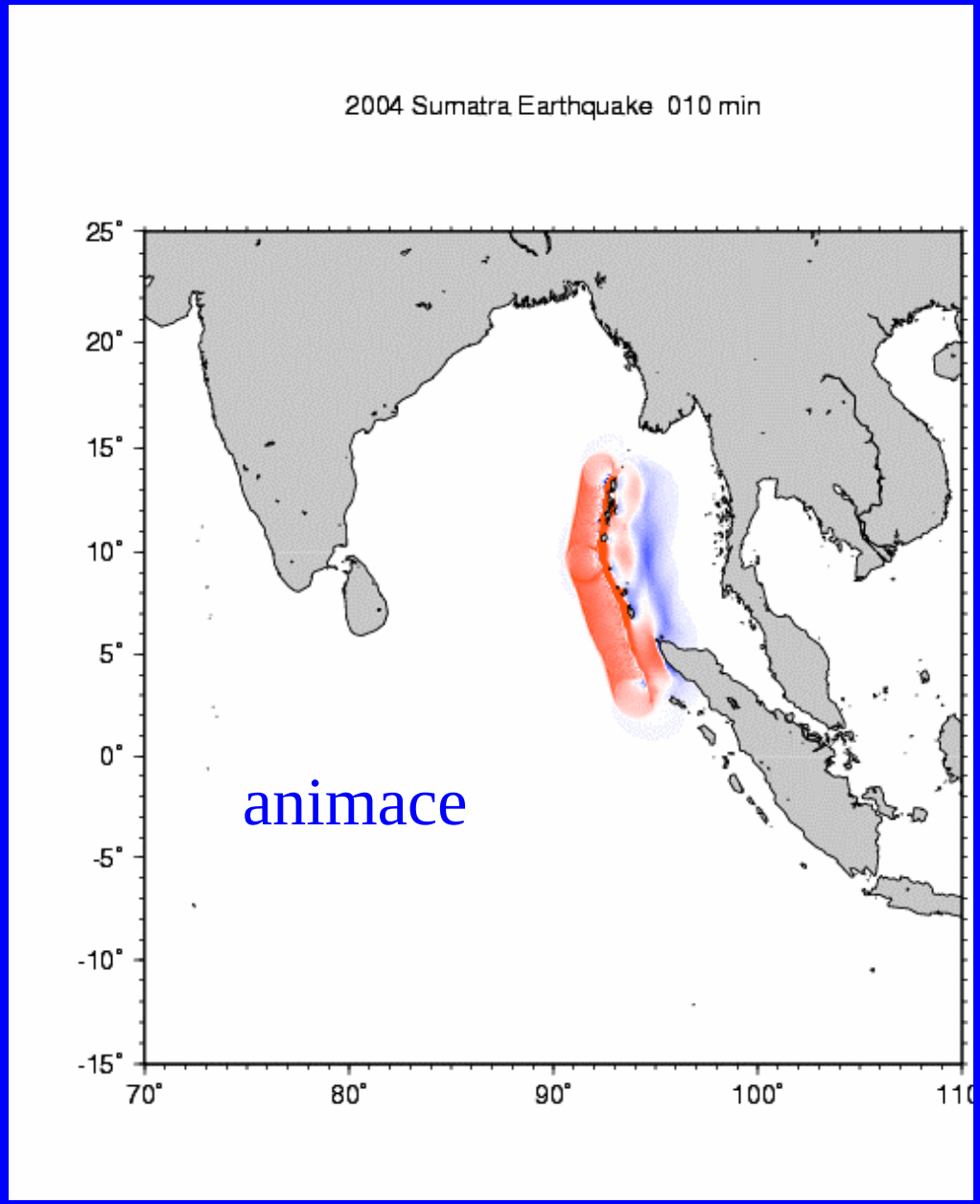
- Dlouhovlnná aproximace $\lambda >> d$, d je hloubka
- Pokud navíc aprox. malých amplitud $a << d$, jde o lineární problém, vln. rovnice, $c = (g\ d)^{1/2}$
- Pro lineární vlny konečné amplitudy dostáváme $c = (g\ [d+a])^{1/2}$, tvoří se strmé čelo vlny. Obecně je c fukcí periody, disperse.
- Obecné nelin. rovnice numericky (MKD), tuhé dno se pohne podle modelu seis. zdroje.

Vstup vln na pevninu je mnohem složitější.

Jednoduchý model posunutí dna (= vstup pro model tsunami)



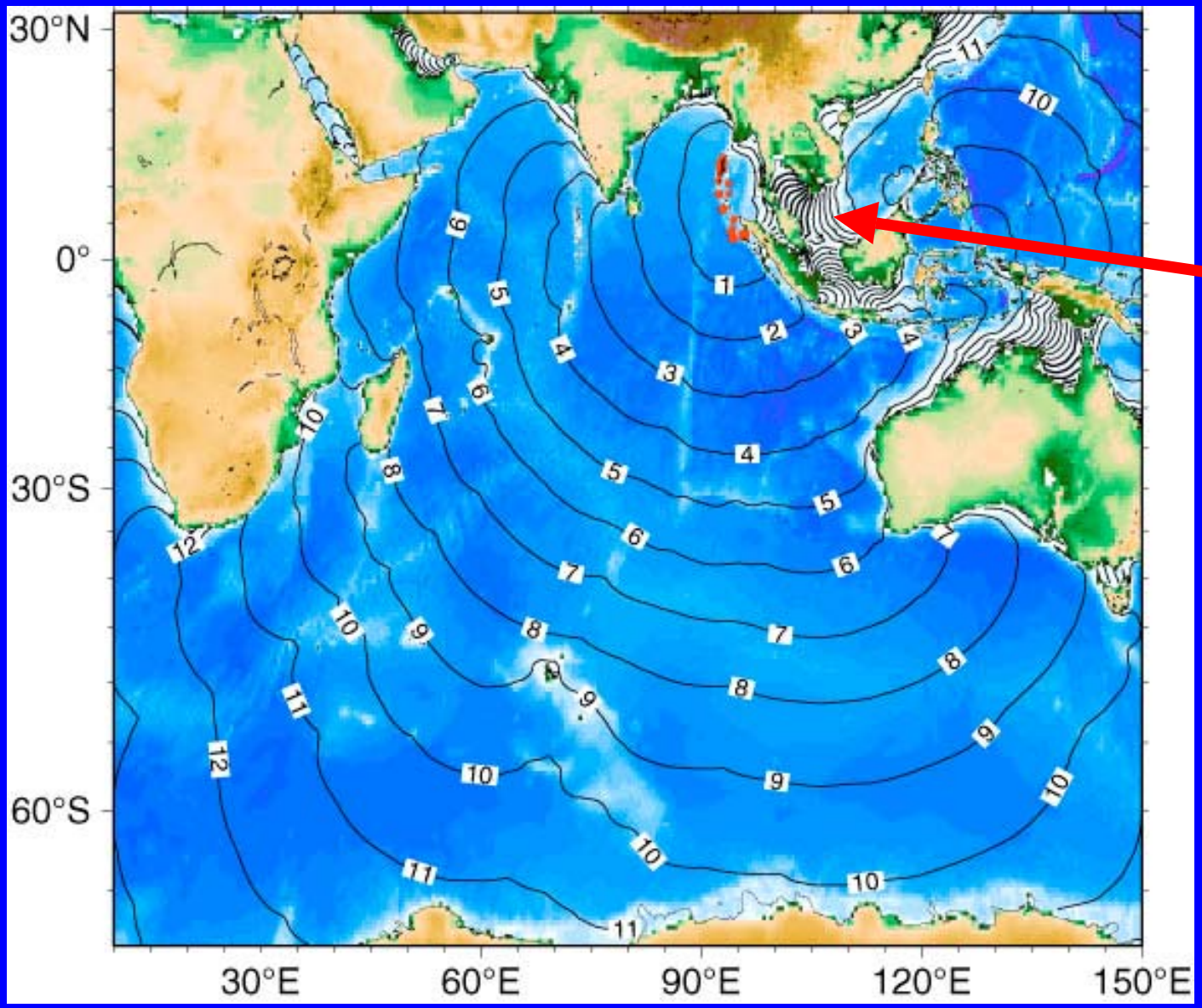
modře =
trvalý pokles



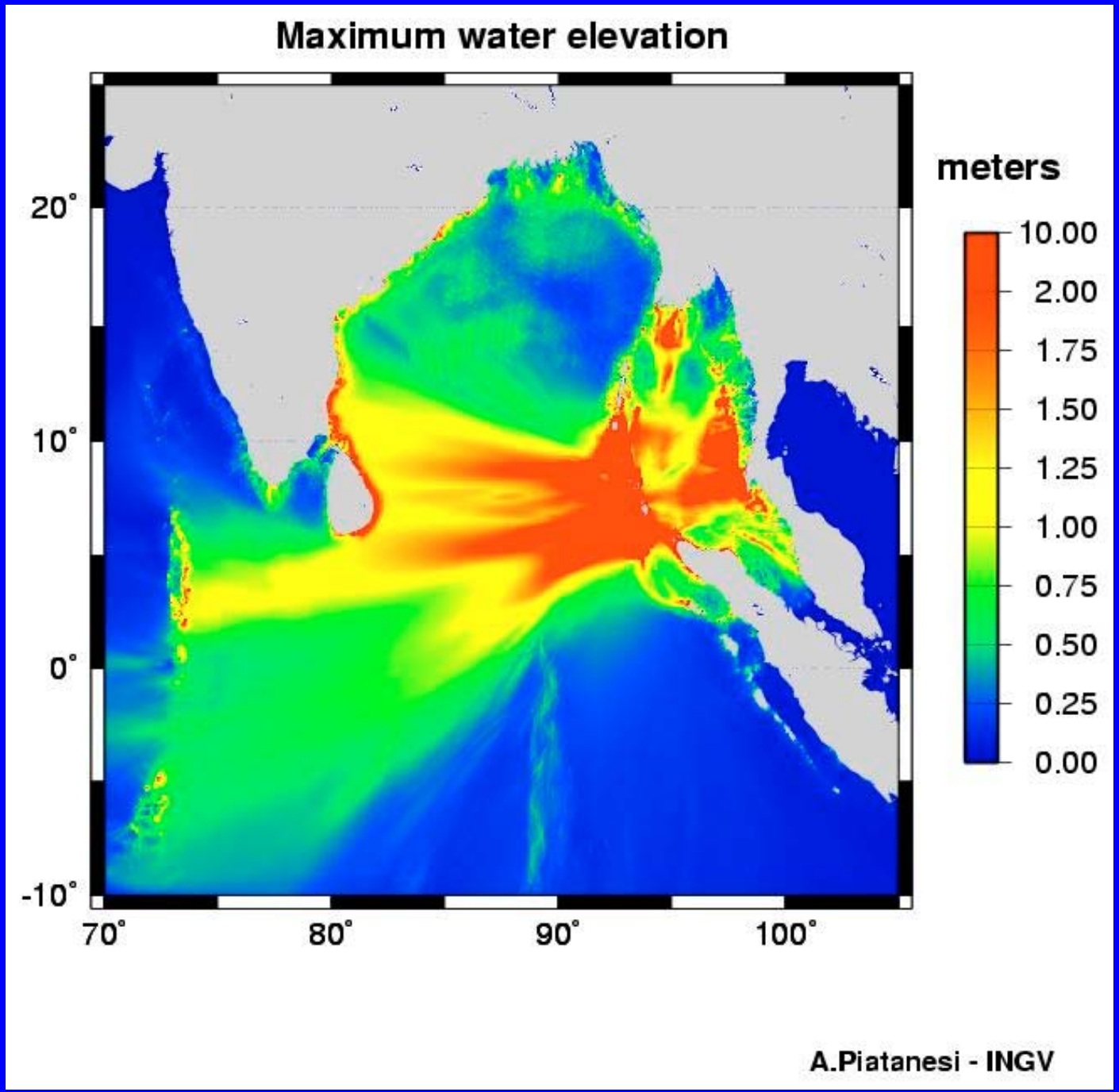
Jeden z mnoha výpočetních modelů tsunami

povšimněme si časového údaje

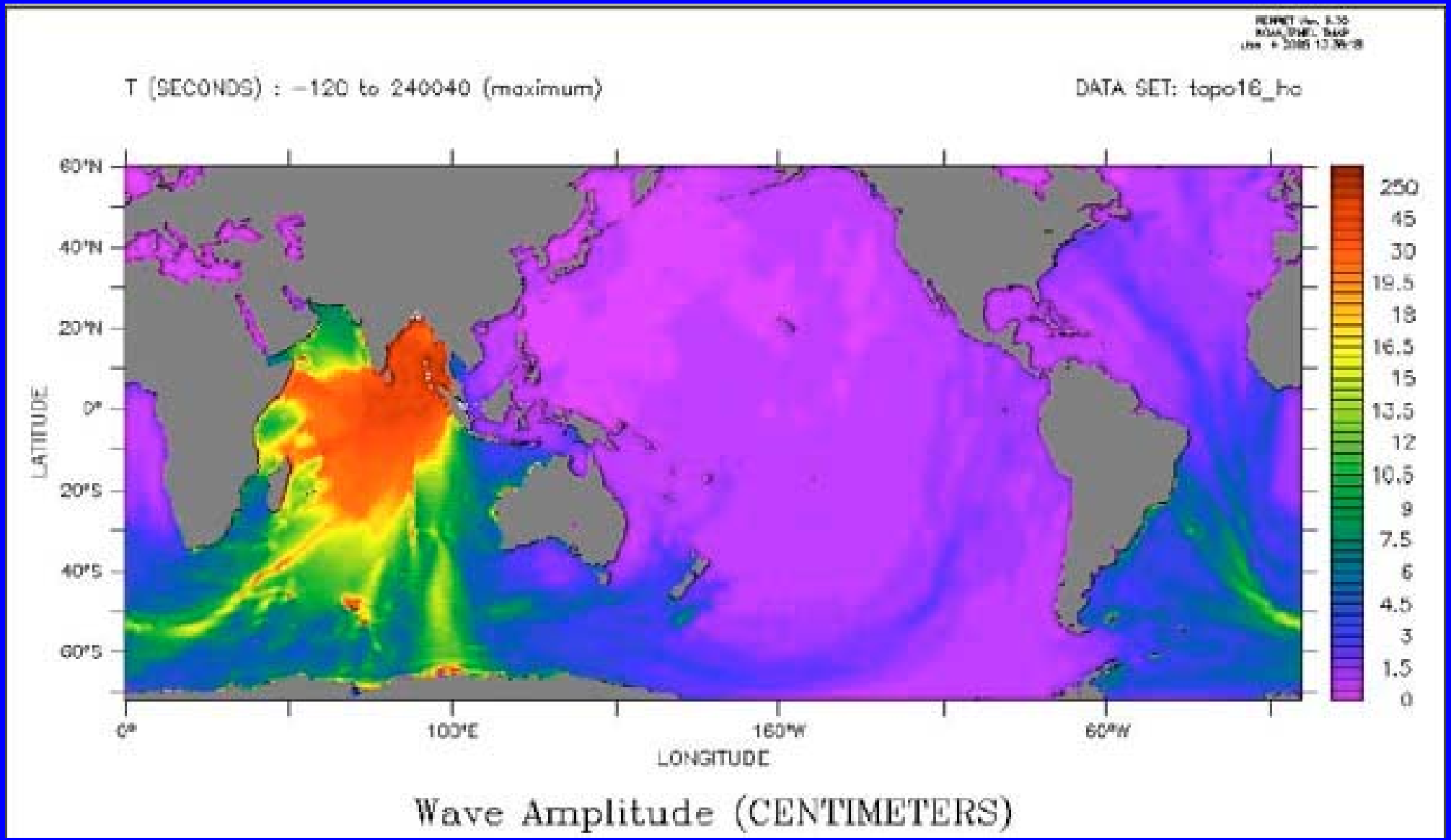
jiné modely dávají jiné výsledky



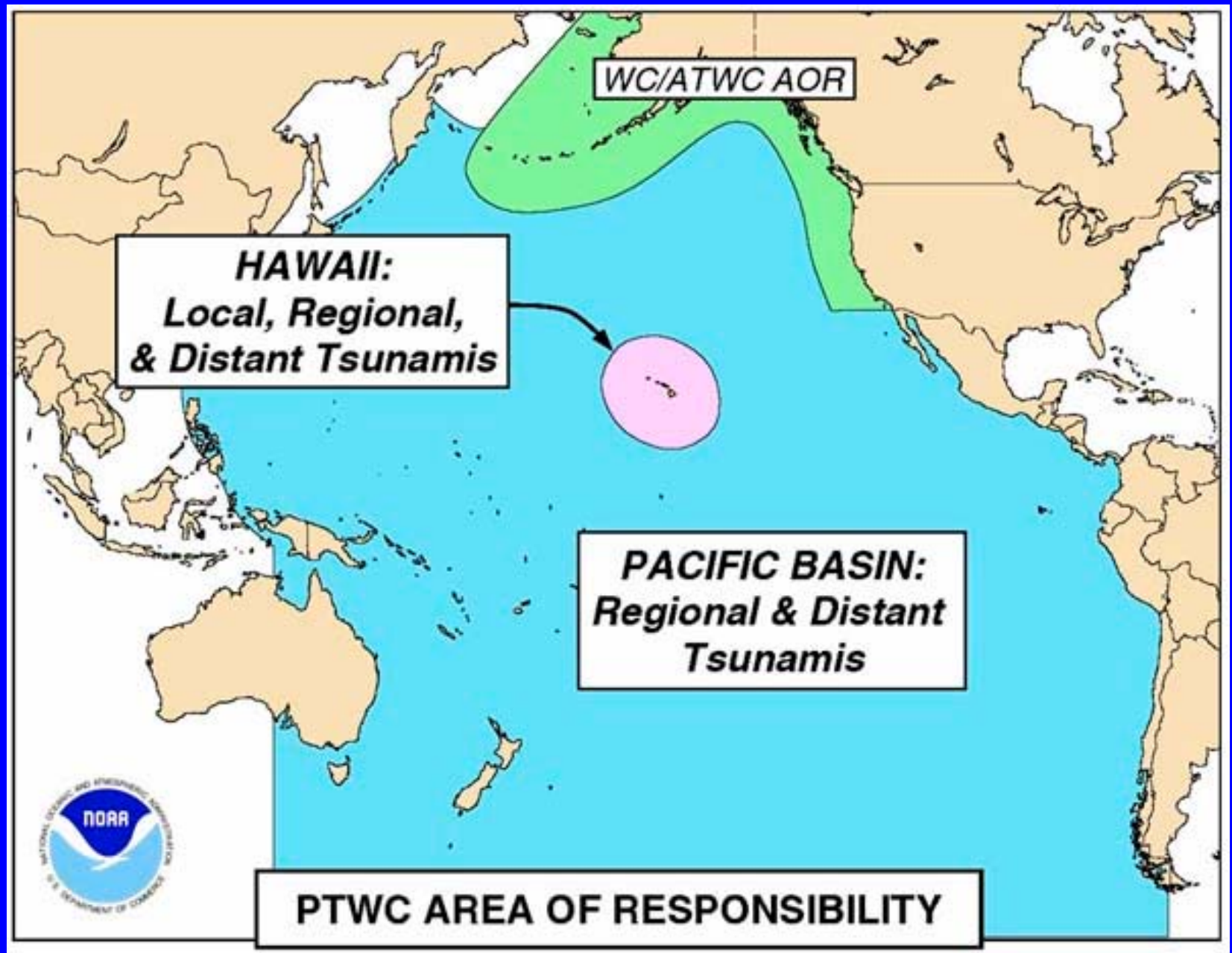
zpomalení
v mělkém moři


Maximum water elevation
meters
10.00
2.00
1.75
1.50
1.25
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
20°
10°
0°
-10°
70°
80°
90°
100°
A.Piatanesi - INGV

Pacific Center (V. Titov)



Kde končí odpovědnost ?



Nestačilo by rozšířit hranice odpovědnosti ?

TO   - TSUNAMI WARNING SYSTEM PARTICIPANTS IN
          ALASKA/BRITISH COLUMBIA/WASHINGTON/OREGON/CALIFORNIA
FROM   - WEST COAST AND ALASKA TSUNAMI WARNING CENTER/NOAA/NWS
SUBJECT - TSUNAMI INFORMATION BULLETIN
BULLETIN NUMBER 1
ISSUED 12/26/2004 AT 0114 UTC

...THIS TSUNAMI INFORMATION BULLETIN IS FOR ALASKA - BRITISH
   COLUMBIA - WASHINGTON - OREGON AND CALIFORNIA ONLY...

NO - REPEAT NO - WATCH OR WARNING IS IN EFFECT.

EARTHQUAKE DATA
 PRELIMINARY MAGNITUDE - 8.0
 LOCATION -   3.4N   95.7E - OFF W COAST OF NORTHERN SUMATERA
 TIME   - 1559 AST 12/25/2004
            1659 PST 12/25/2004
            0059 UTC 12/26/2004

EVALUATION
 BASED ON LOCATION AND MAGNITUDE THE EARTHQUAKE WAS NOT
 SUFFICIENT TO GENERATE A TSUNAMI DAMAGING TO CALIFORNIA -
 OREGON - WASHINGTON - BRITISH COLUMBIA OR ALASKA. SOME AREAS MAY
 EXPERIENCE SMALL SEA LEVEL CHANGES. IN AREAS OF INTENSE
 SHAKING LOCALLY GENERATED TSUNAMIS CAN BE TRIGGERED BY SLUMPING.

THE PACIFIC TSUNAMI WARNING CENTER WILL ISSUE TSUNAMI BULLETINS
FOR HAWAII AND OTHER AREAS OF THE PACIFIC.

THIS WILL BE THE ONLY BULLETIN ISSUED FOR THIS EVENT BY THE
WEST COAST AND ALASKA TSUNAMI WARNING CENTER UNLESS CONDITIONS
WARRANT. REFER TO THE INTERNET SITE HTTP://WCATWC.ARH.NOAA.GOV
FOR MORE INFORMATION.

BULLETIN NUMBER 2
ISSUED 12/26/2004 AT 0209 UTC

...THIS TSUNAMI INFORMATION BULLETIN IS FOR ALASKA - BRITISH
   COLUMBIA - WASHINGTON - OREGON AND CALIFORNIA ONLY...

NO - REPEAT NO - WATCH OR WARNING IS IN EFFECT.

Revised magnitude based analysis of mantle waves.
This earthquake is located outside of the Pacific. No destructive tsunami threat
exists for the Pacific basin based on historical earthquake and tsunami data.

EARTHQUAKE DATA
 PRELIMINARY MAGNITUDE - 8.5
 LOCATION -   3.4N   95.7E - OFF W COAST OF NORTHERN SUMATERA
 TIME   - 1559 AST 12/25/2004
            1659 PST 12/25/2004
            0059 UTC 12/26/2004

EVALUATION
 BASED ON LOCATION AND MAGNITUDE THE EARTHQUAKE WAS NOT
 SUFFICIENT TO GENERATE A TSUNAMI DAMAGING TO CALIFORNIA -
 OREGON - WASHINGTON - BRITISH COLUMBIA OR ALASKA. SOME AREAS MAY
 EXPERIENCE SMALL SEA LEVEL CHANGES. IN AREAS OF INTENSE
 SHAKING LOCALLY GENERATED TSUNAMIS CAN BE TRIGGERED BY SLUMPING.

THE PACIFIC TSUNAMI WARNING CENTER WILL ISSUE TSUNAMI BULLETINS
FOR HAWAII AND OTHER AREAS OF THE PACIFIC.

THIS WILL BE THE ONLY BULLETIN ISSUED FOR THIS EVENT BY THE
WEST COAST AND ALASKA TSUNAMI WARNING CENTER UNLESS CONDITIONS
WARRANT. REFER TO THE INTERNET SITE HTTP://WCATWC.ARH.NOAA.GOV
FOR MORE INFORMATION.

BULLETIN NUMBER 3
ISSUED 12/27/2004 AT 1534 UTC

...THIS TSUNAMI INFORMATION BULLETIN IS FOR ALASKA - BRITISH
COLUMBIA - WASHINGTON - OREGON AND CALIFORNIA ONLY...

NO - REPEAT NO - WATCH OR WARNING IS IN EFFECT.

EARTHQUAKE DATA
PRELIMINARY MAGNITUDE - 9.0
LOCATION - 3.4N 95.7E - OFF W COAST OF NORTHERN SUMATERA
TIME - 1559 AST 12/25/2004
1659 PST 12/25/2004
0059 UTC 12/26/2004

EVALUATION
SOME ENERGY FROM YESTERDAYS TSUNAMI IN THE INDIAN OCEAN HAS
LEAKED INTO THE PACIFIC BASIN... PROBABLY FROM SOUTH OF THE
AUSTRALIAN CONTINENT. THIS ENERGY HAS PRODUCED MINOR SEA
LEVEL FLUCTUATIONS AT MANY PLACES IN THE PACIFIC. FOR
EXAMPLE...

50 CM CREST-TO-TROUGH AT CALLAO CHILE
19 CM CREST-TO-TROUGH AT IQUIQUE CHILE
13 CM CREST-TO-TROUGH AT PAGO PAGO AMERICAN SAMOA
11 CM CREST-TO-TROUGH AT SUVA FIJI
50 CM CREST-TO-TROUGH AT WAITANGI CHATHAM IS. NEW ZEALAND
65 CM CREST-TO-TROUGH AT JACKSON BAY NEW ZEALAND
18 CM CREST-TO-TROUGH AT PORT VILA VANUATU
06 CM CREST-TO-TROUGH AT HILO HAWAII USA
22 CM CREST-TO-TROUGH AT SAN DIEGO CALIFORNIA USA

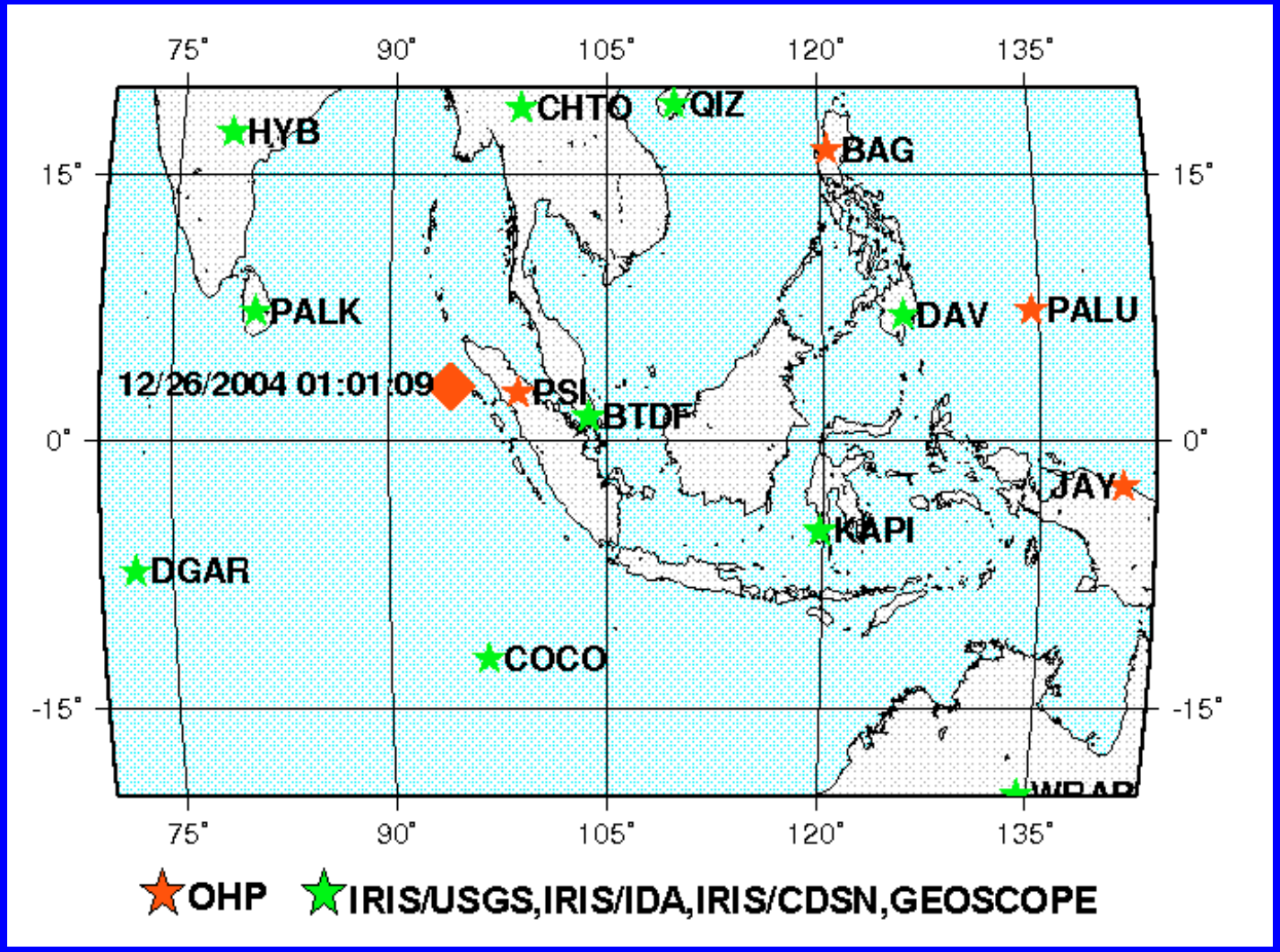
HOWEVER... AT MANZANILLO MEXICO SEA LEVEL FLUCTUATIONS WERE AS MUCH AS 2.6 METERS CREST-TO-TROUGH... PROBABLY DUE TO FOCUSING OF ENERGY BY THE EAST PACIFIC RISE AS WELL AS LOCAL RESONANCES.

THIS IS TO ADVISE THAT SMALL SEA LEVEL CHANGES COULD CONTINUE TO BE OBSERVED ACROSS THE PACIFIC FOR THE NEXT DAY OR TWO UNTIL ALL ENERGY FROM THIS EVENT IS EVENTUALLY DISSIPATED.

THE PACIFIC TSUNAMI WARNING CENTER WILL ISSUE TSUNAMI BULLETINS FOR HAWAII AND OTHER AREAS OF THE PACIFIC.

THIS WILL BE THE ONLY BULLETIN ISSUED FOR THIS EVENT BY THE WEST COAST AND ALASKA TSUNAMI WARNING CENTER UNLESS CONDITIONS WARRANT. REFER TO THE INTERNET SITE HTTP://WCATWC.ARH.NOAA.GOV FOR MORE INFORMATION.

Mohly by být existující seismické stanice základem lepšího varovného systému ?



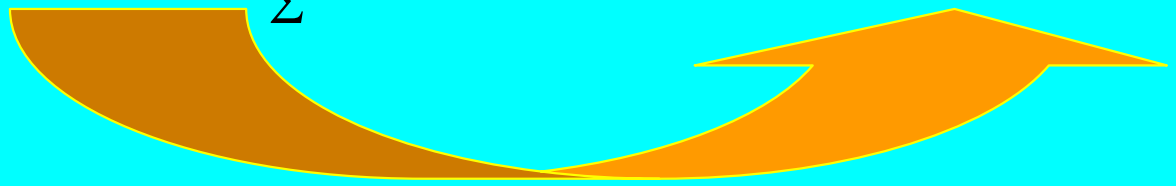
Část 4

Podrobnější modely zlomového procesu

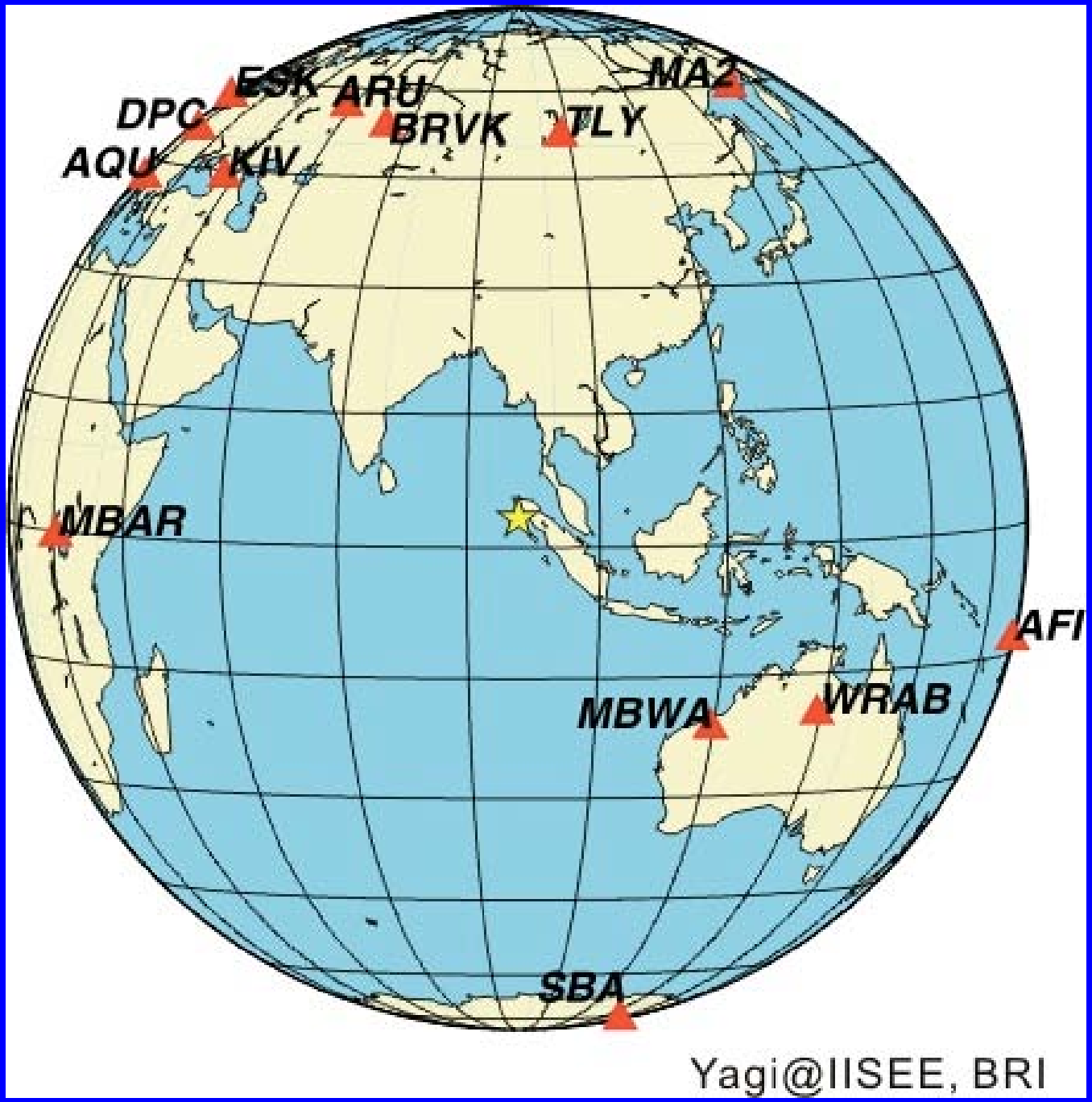
u ... elast. posunutí (seis. vlna)
Σ ... zlomová plocha
[u] ... nespojitost posunutí (trhlina) na Σ
Γ ... Greenův tenzor

$$c_{ijkl}\left[u_k(x_i,t)\right]\nu_l = m_{ij}$$

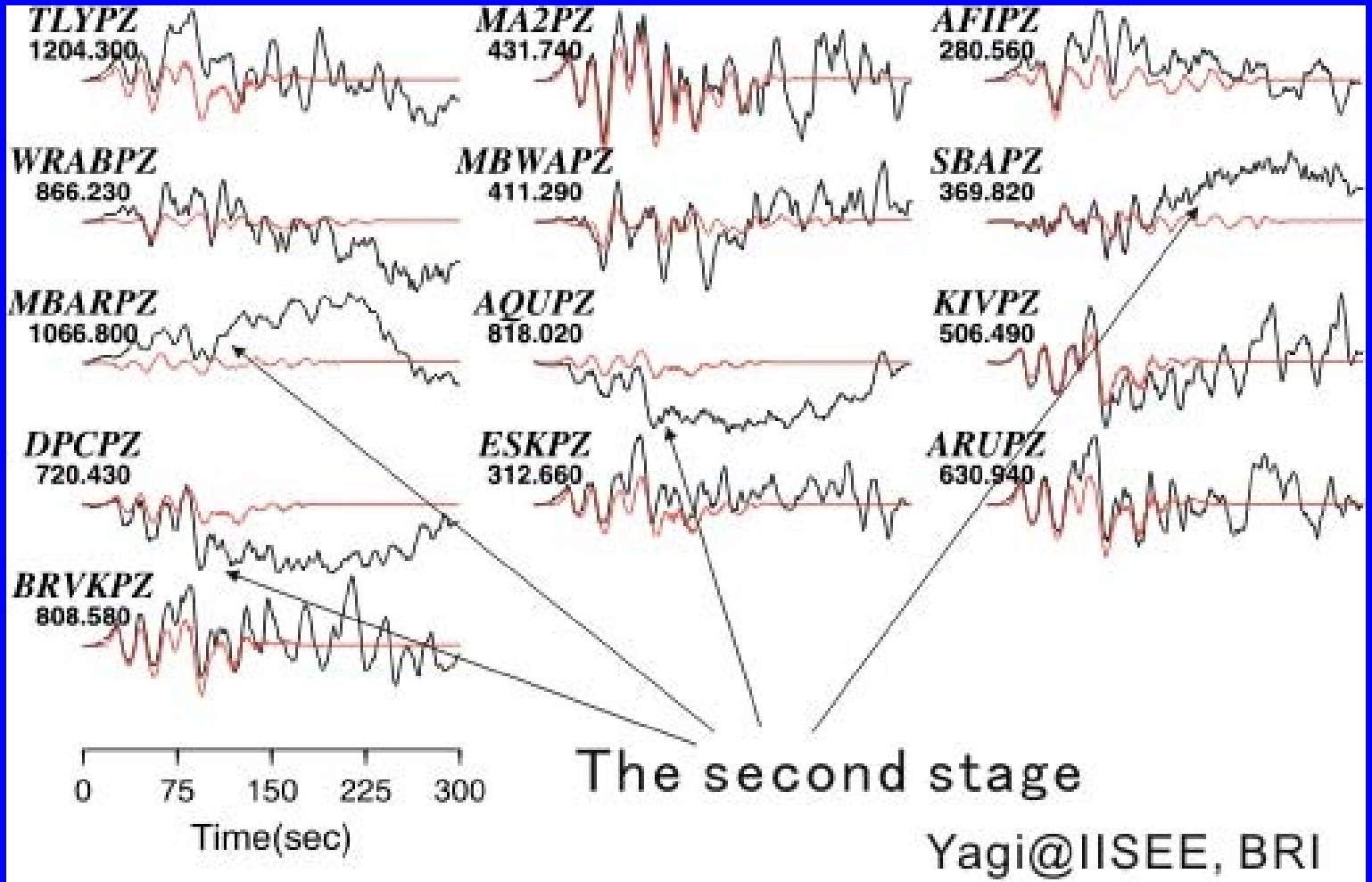
$$u_i = \left(\int_{\Sigma} m_{pq}\, d\Sigma\right) * G_{ip,q} = M_{pq} * G_{ip,q}$$

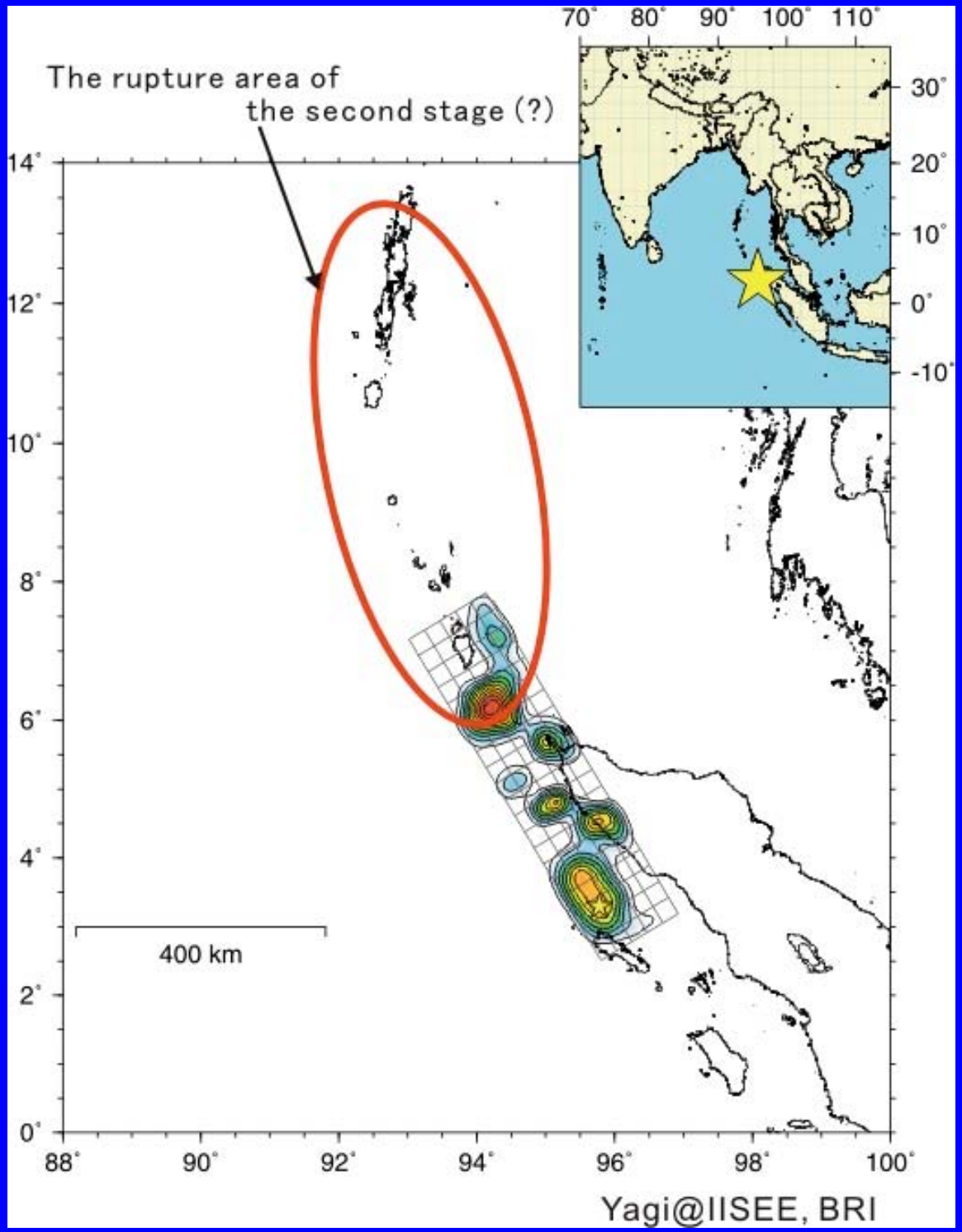


Tzv. obrácená úloha
„od vln zpět ke zlomu“


ESK
ARU
MA2
DPC
BRVK
TLY
AQU
KIV
MBAR
AFI
MBWA
WRAB
SBA
Yagi@IISEE, BRI

Od seismogramů k rozložení trhlin na zlomové ploše

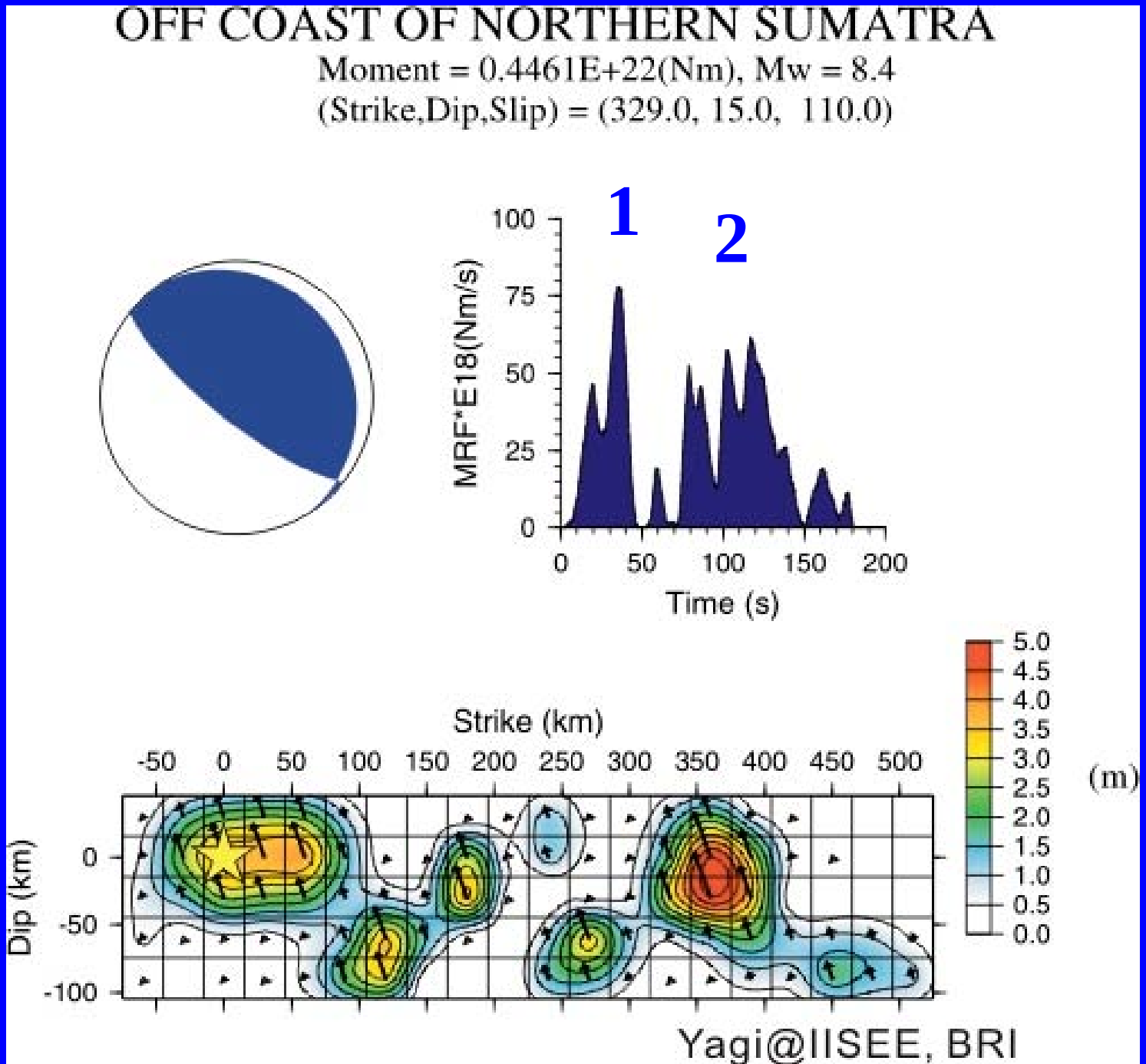




Yagi modeluje jen jižní část zlomu (M8.4)

červeně =
možná tzv. „pomalé z.“
velký ale pomalý skluz
(bez vyvolání seis. vln)

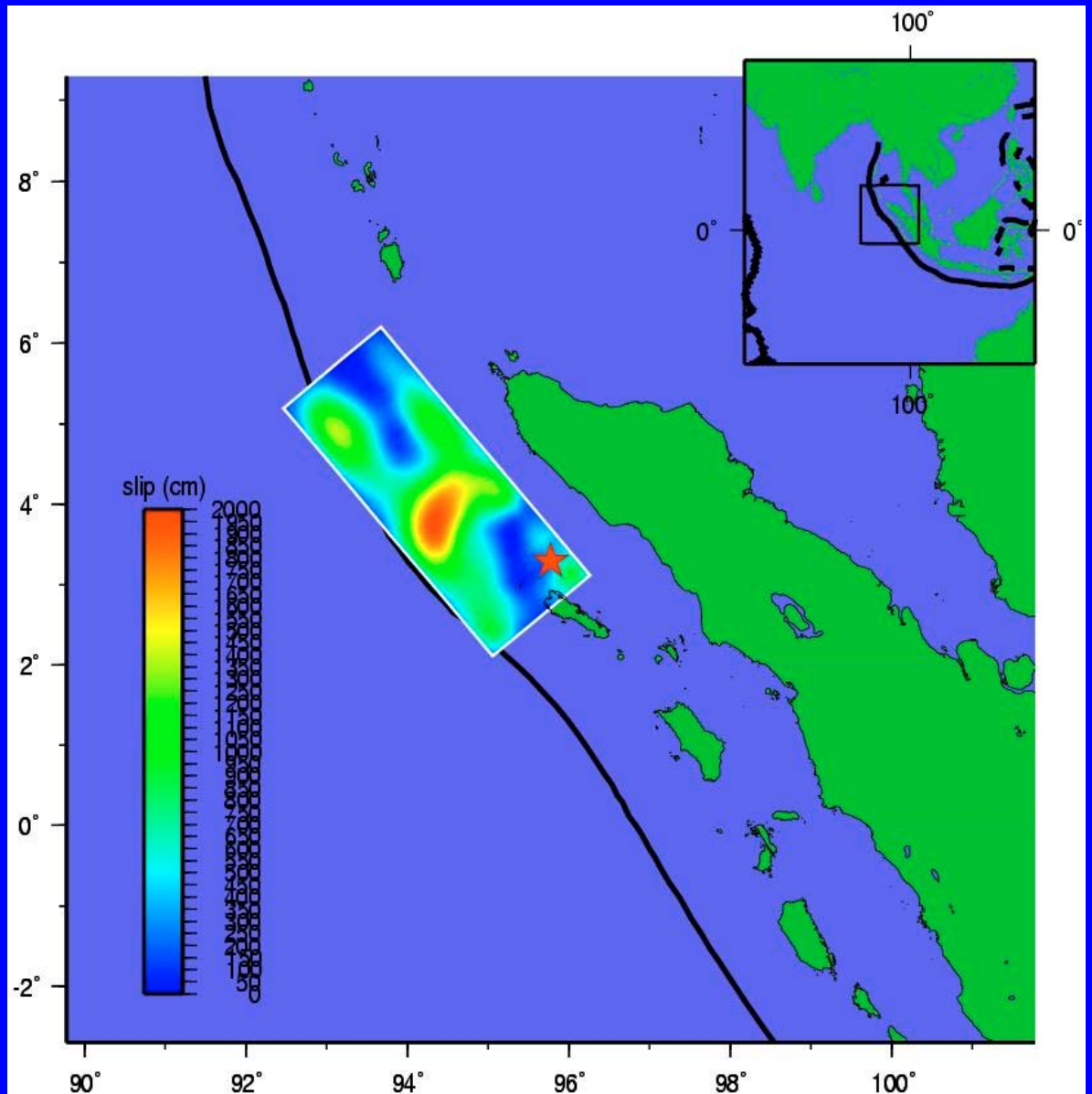
Přerušovaný proces, vícenásobné z.



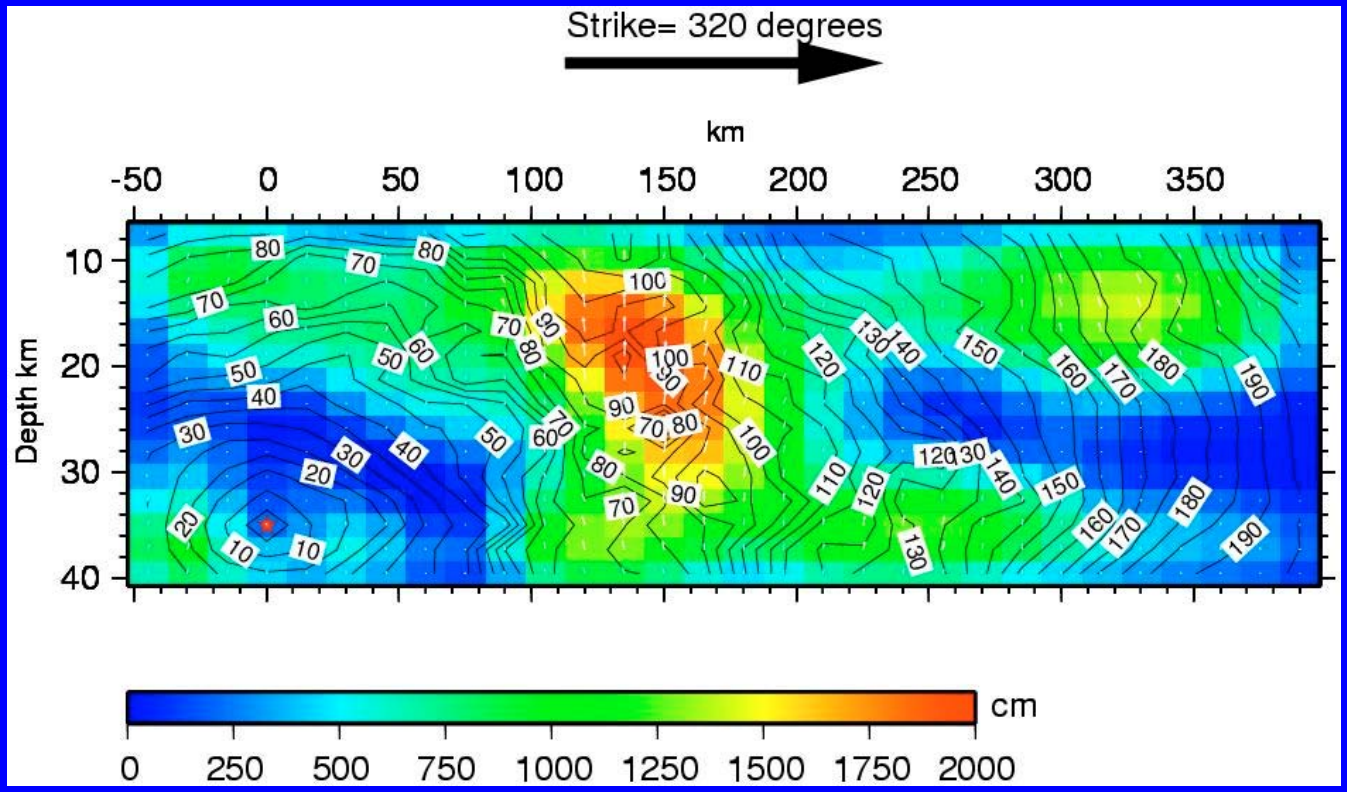
Jev 2 „spuštěn“ jevem 1?

a jiný model (CALTECH) ...

největší skluz
(asperita)
poblíž místa
kde zlom mění
azimut



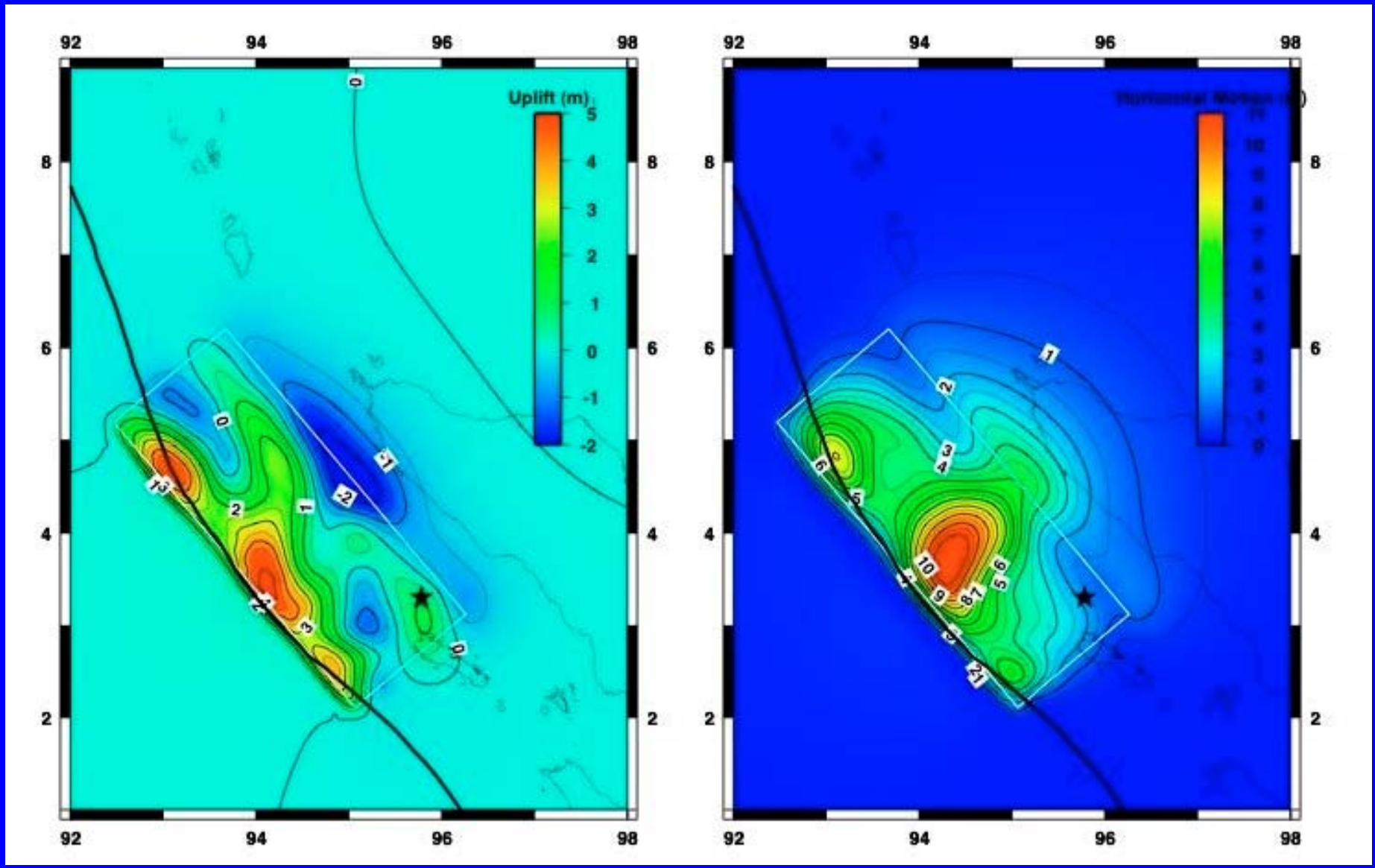
Tento model dává max. skluz 20m (barva)

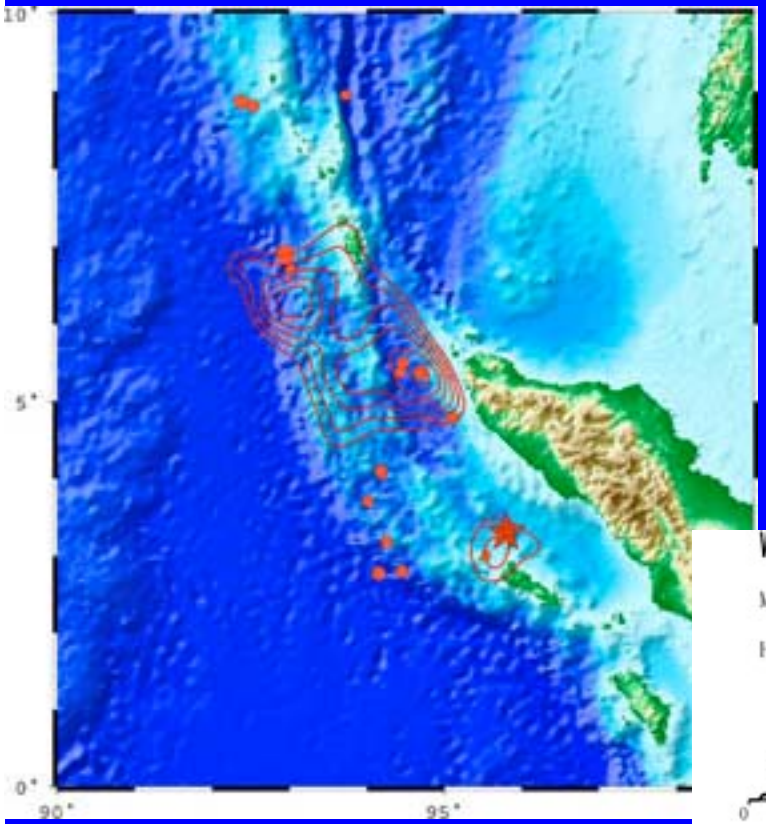


a rychlost šíření trhliny ~ 2 km/sec (izočáry)

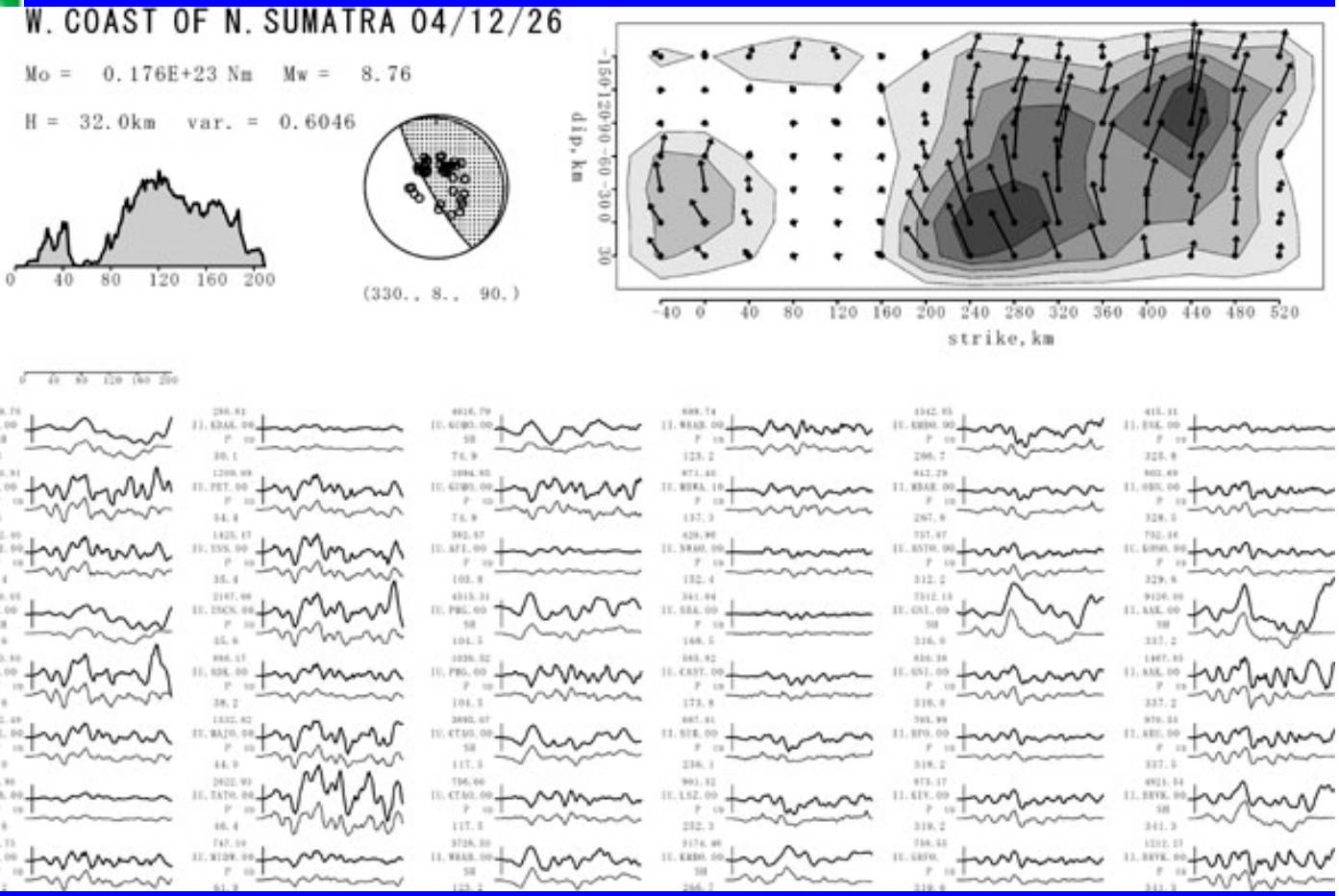
umělé zhlazení (num. stabilizace)

Výsledné vert. a horiz. trvalé posunutí povrchu (resp. dna)

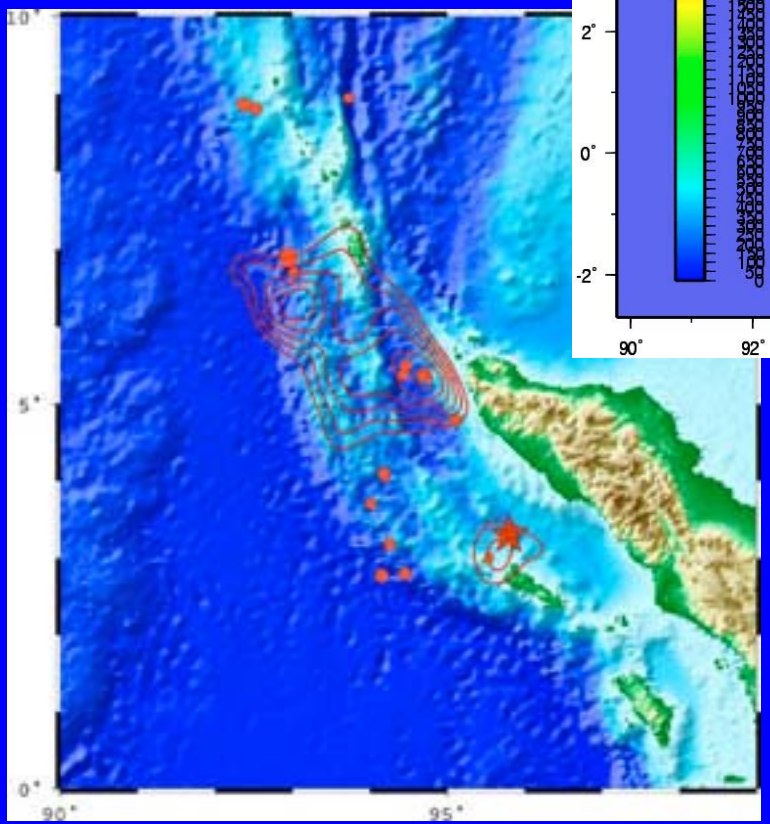


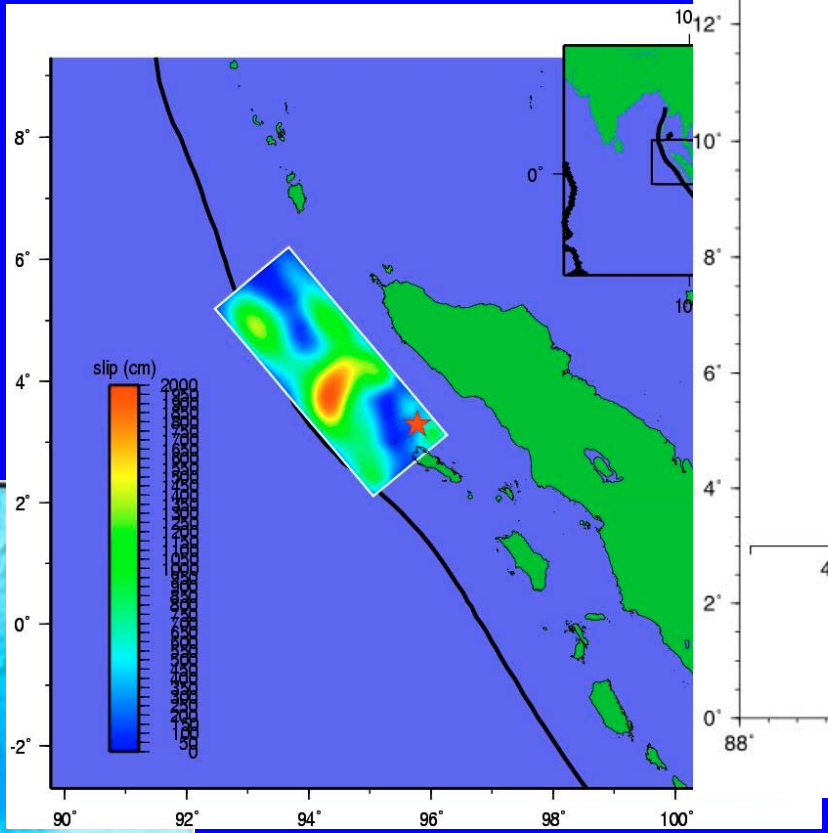


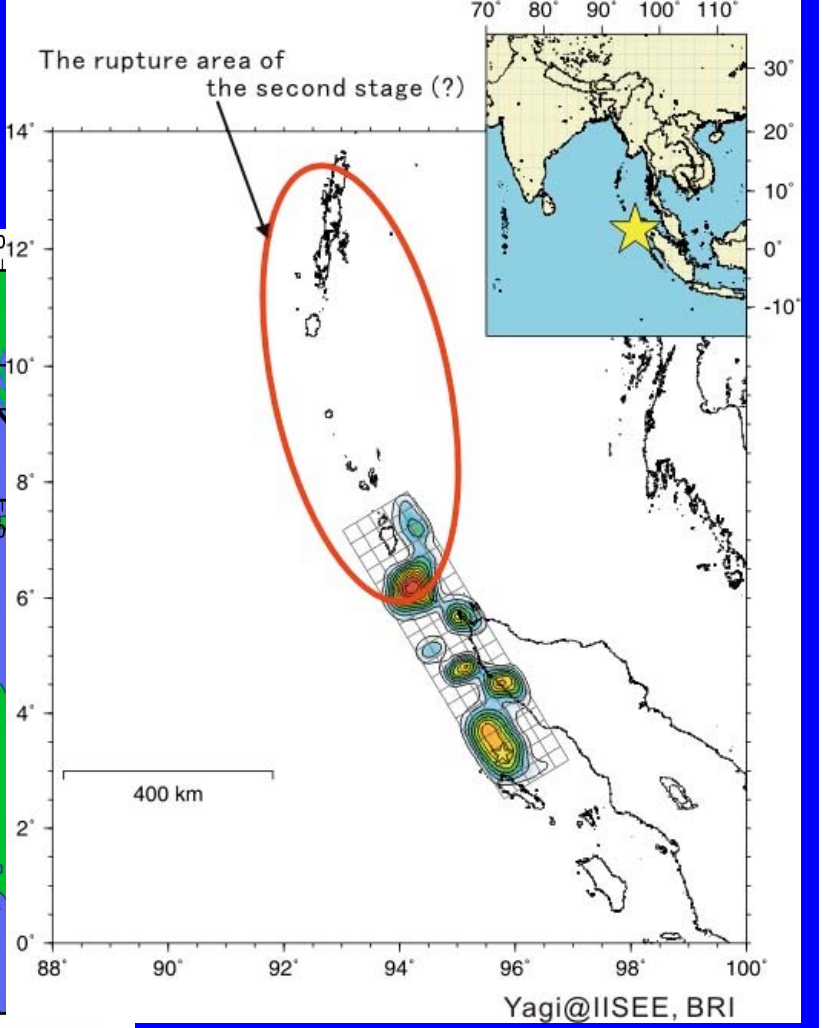
... a ještě další model ...



Srovnání:




slip (cm)
2000
1900
1800
1700
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
50
0
8°
6°
4°
2°
0°
-2°
90°
92°
94°
96°
98°
100°


The rupture area of
the second stage (?)
400 km
Yagi@IISEE, BRI
14°
12°
10°
8°
6°
4°
2°
0°
88°
90°
92°
94°
96°
98°
100°
70°
80°
90°
100°
110°
30°
20°
10°
0°
-10°

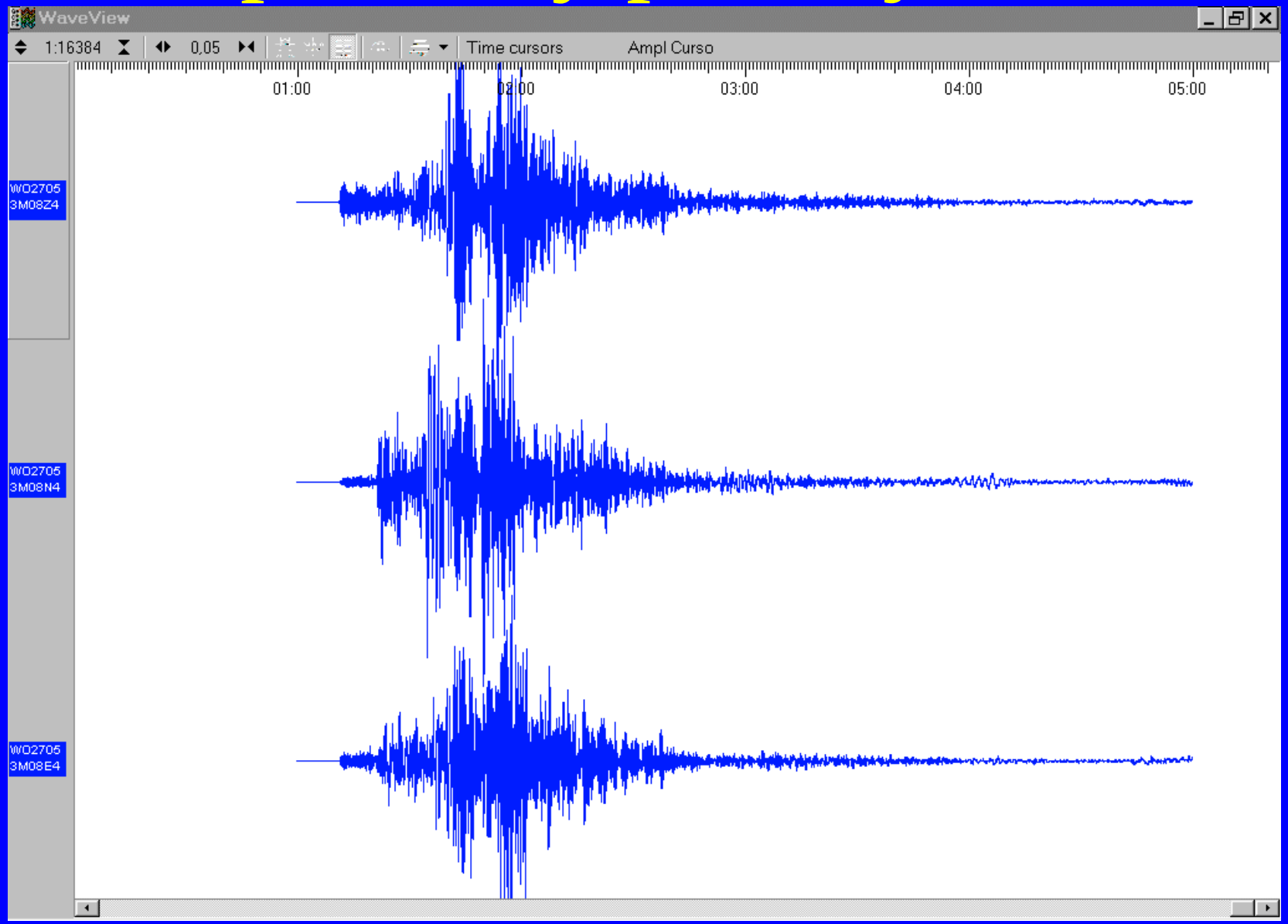
Modely zlomu doznají další změny. Jsou naprosto zásadní pro pochopení a pro simulace podobných budoucích jevů.

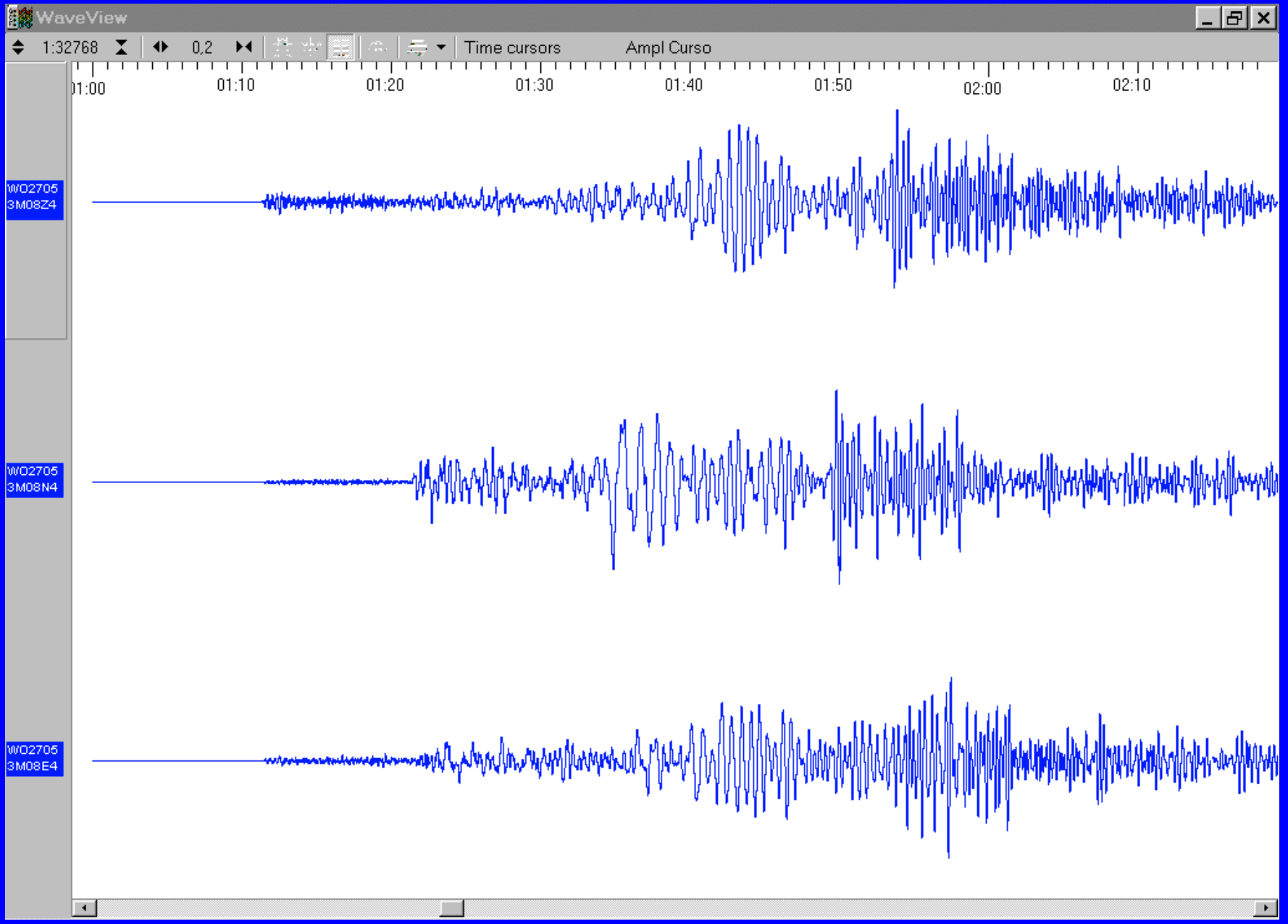
Jeden typ snadno dostupných údajů bude hrát velkou roli: pokles pevniny který můžeme mapovat ze snímků trvale zatopeného území !

Zajímavost 1

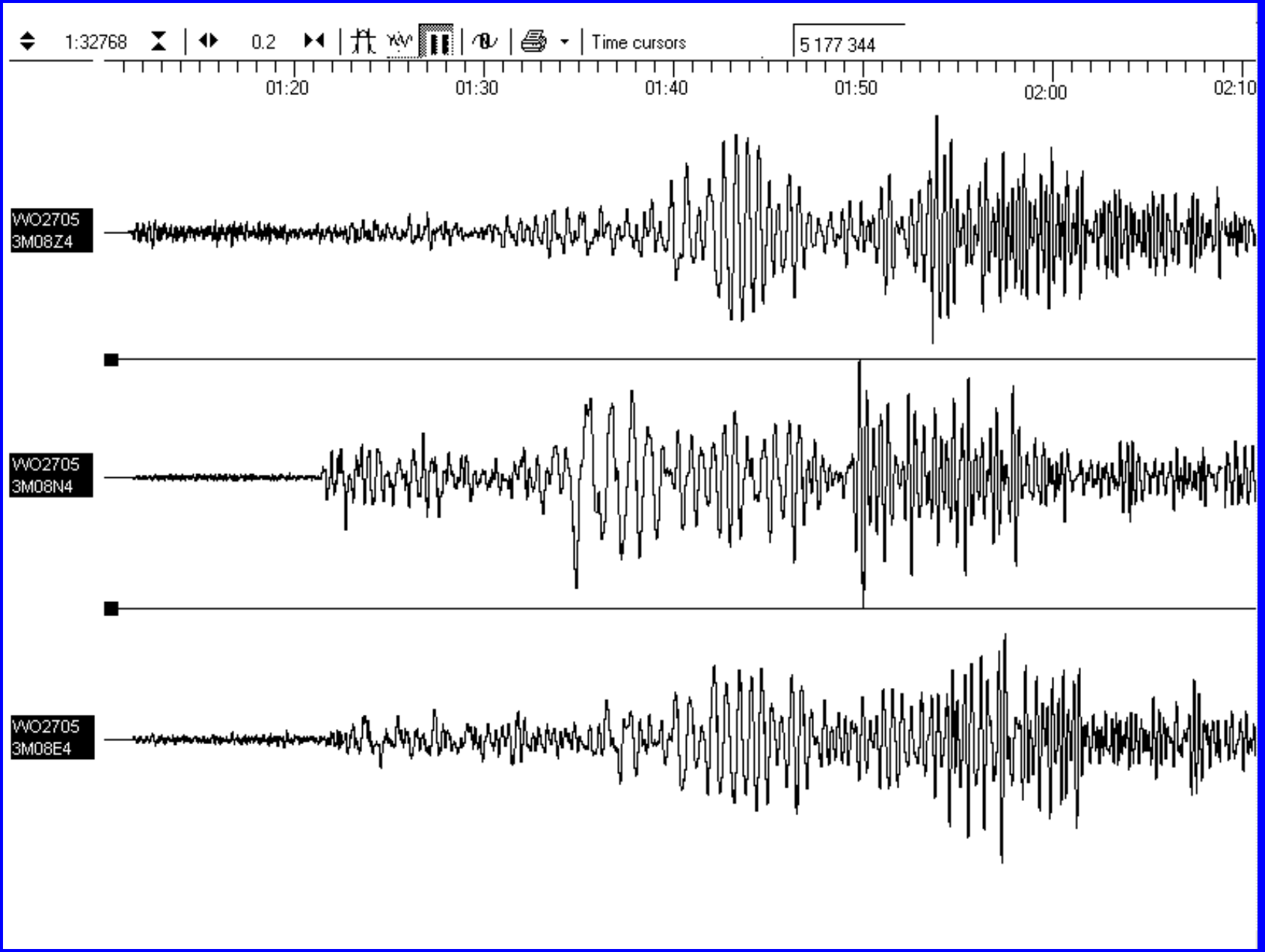
záznam na seismické stanici MFF
v Praze na Karlově
(stanice PRA)

Širokopásmový přístroj CMG 3-T



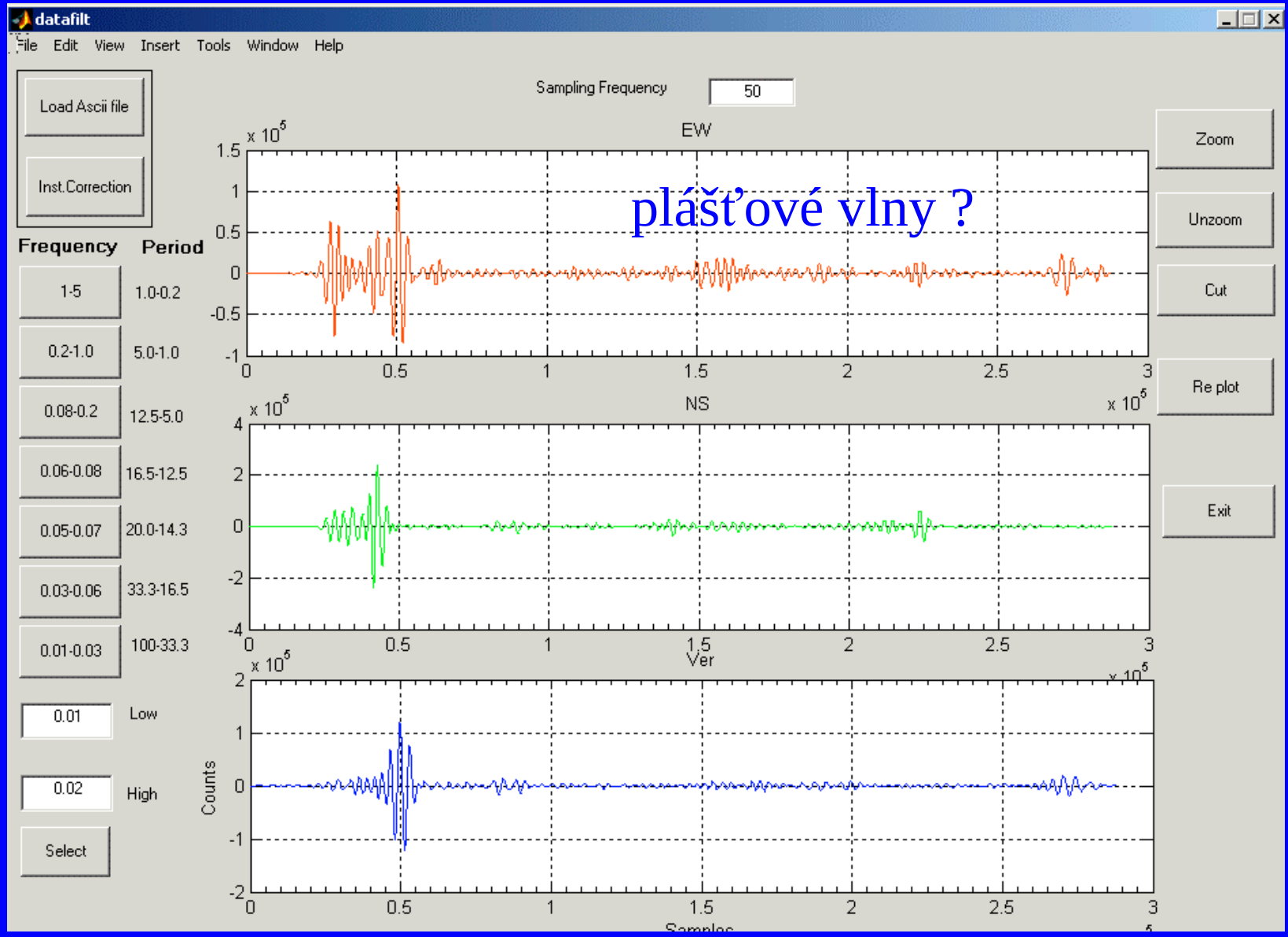


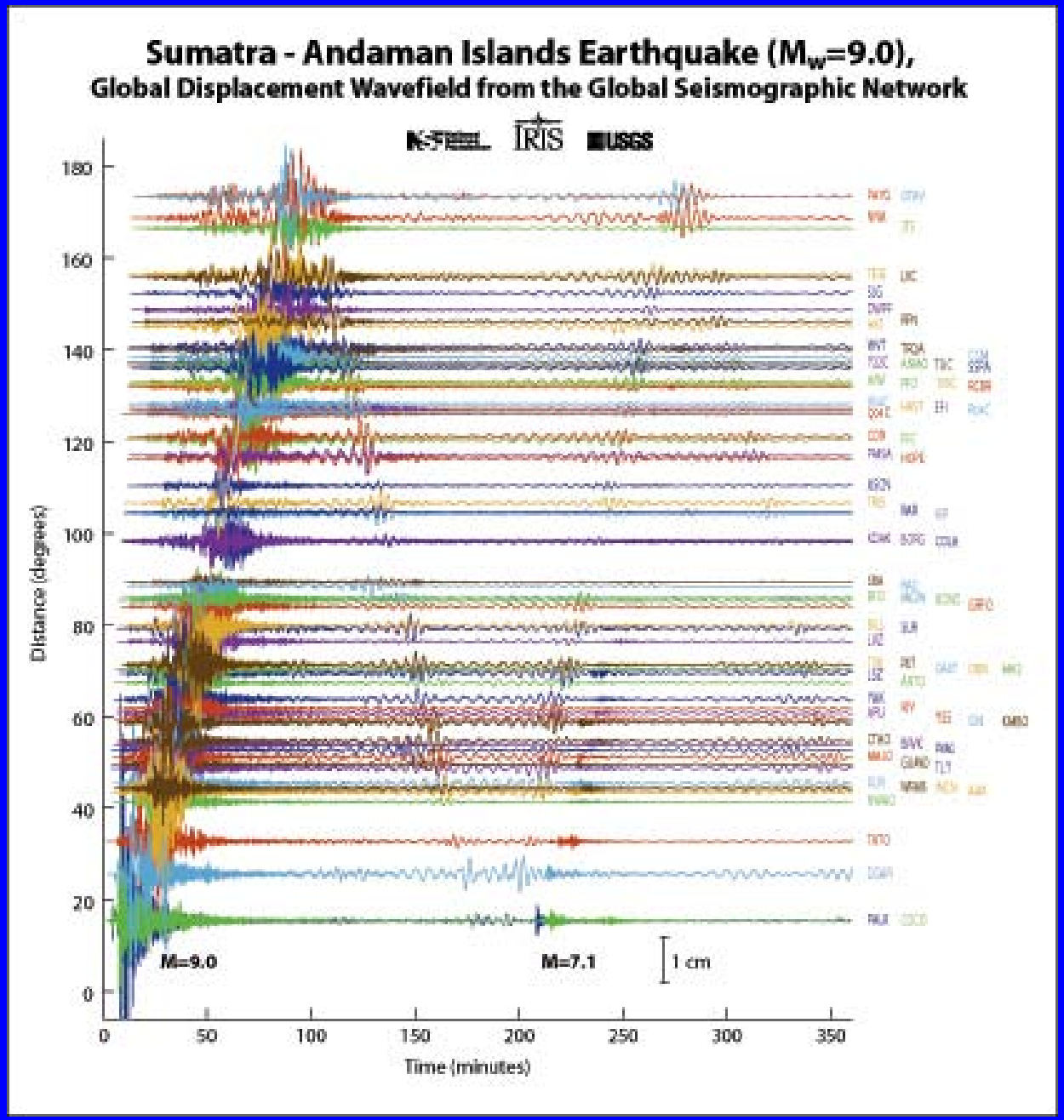
LQ rychlost 1 mm/s, perioda 60 sec... posunutí ~ 1 cm



LQ rychlost 1 mm/s, perioda 60 sec... posunutí ~ 1 cm !!
deformace možná až 10^{-7}, možný vliv na spodní vody ?

Delší a filtrovaný: 50-100 sec




Sumatra - Andaman Islands Earthquake (M_w=9.0),
Global Displacement Wavefield from the Global Seismographic Network
IRIS
USGS
Distance (degrees)
Time (minutes)
M=9.0
M=7.1
1 cm

Proč nás zajímá záznam v Praze ?

Výjimečně silný „signál“ !

Spolu s dalšími záznamy může
přispět i k modelování kůry a pláště
v Evropě.

O. Novotný

Zajímavost 2

Naše účast v mezinárodním projektu
o podobných problémech
ve Středomoří

3HAZ-CORINTH

- EC projekt 2004-2006 (koord. P. Bernard)
- zemětřesení, sesuvy a tsunami

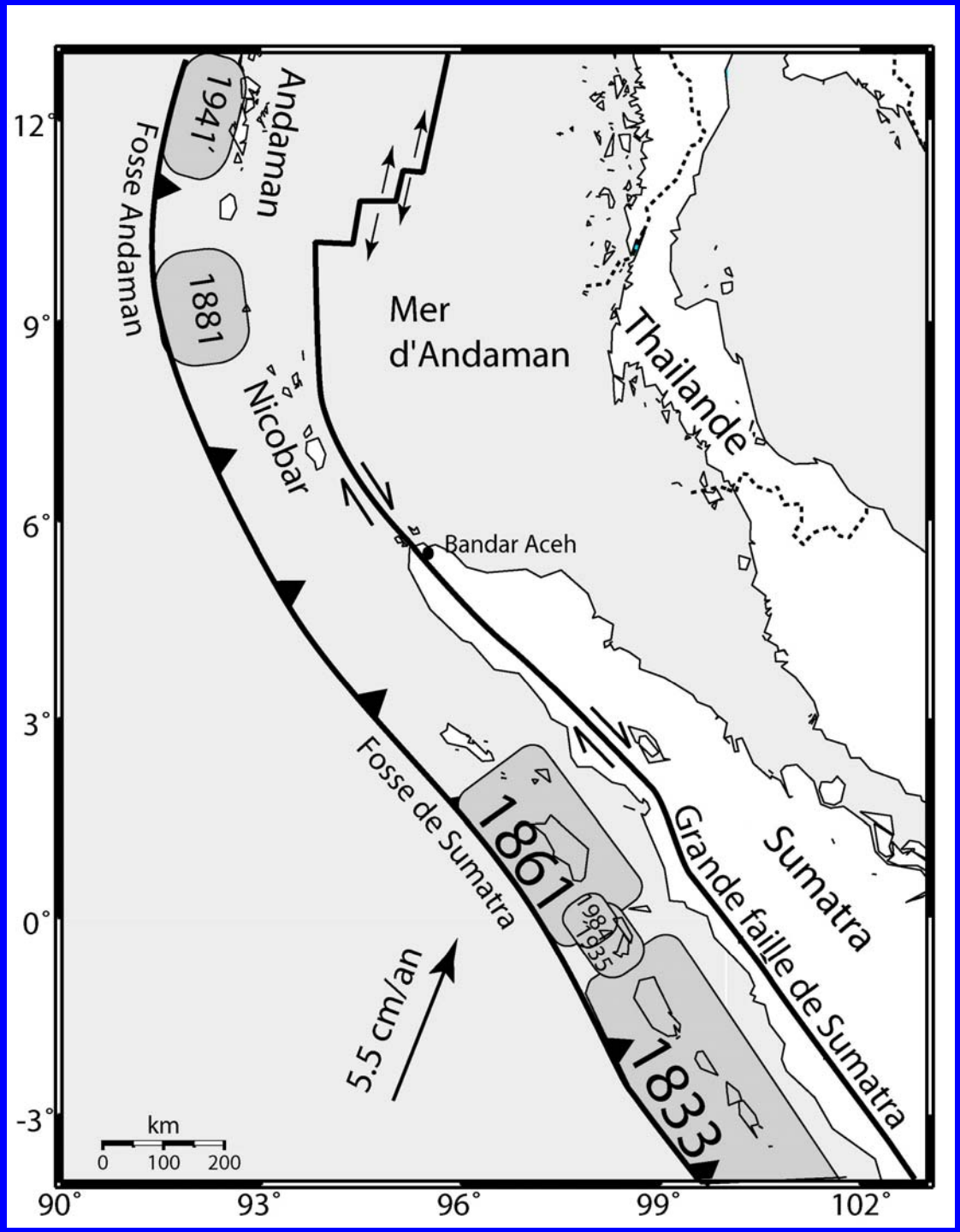
300 před n.l. (?) zmizení Eliki

Část 5

Je možno předpovědět místo
a velikost budoucího z. ?

Dlouhodobá příprava z. ?

Historická z.
M8 a větší
(M9 r. 1833)



současné katalogy
(po r. 1970) kladou
do mezery jen 1 z. M7

Krátkodobá příprava zemětřesení aneb „Ze život zlomů“

- Zemětřesení, odstranění zaklesnutí, vznik trhlin, „abraze“.
- Pokračuje tektonický pohyb desek, zaklesnutí se opět zvětšuje, „adheze“.
- Přitom se mění parametry zlomu (roste „drsnost“ a „korelační délka“, prostorové spektrum nehomogenit se obohacuje o krátkovlnné složky. Změna fraktální dimenze.

- $N \sim R^{-D}$
- $\log N \sim -D \log R \sim -D/3 \log Mo \sim -D/2\ M$

- $Mo \sim R^3$ (nebo $Mo \sim [u]\Sigma \sim [u]R^2$ a $[u] \sim R$)
- $M \sim 2/3 \log Mo$
- $\log N = a - b\ M$

- S rostoucím zaklesnutím hodnota D klesá (volný skluz: D 1.5-1.7, zaklesnutí D = 1).
- Protože log N=a - b M, např. b=D/2, možnost detekce stavu zlomu (D) pomocí b.
- b=b(x,y,z,t) .... mapování „asperit“ jako účinný nástroj nepřímého studia zlomu

- Časová změna b bývá provázena nárůstem počtu předtřesů (ASR) a jinými efekty (LURR).
- Tyto makroskopické vlastnosti lze teor. zdůvodnit numerickými simulacemi v rámci částicových modelů zlomového systému. Tak se vyjasňuje model reologie zlomu (stále otevřený problém!).

- Z režimu D=D(t), s výše zmíněnými možnosti predikce, se může zlom přepnout do režimu D=const.
- D=const je klasický G-R zákon a lineární Benioffův zákon, bez možnosti predikce.
- Čili: na stejném zlomu může být letos krátkodobá predikce úspěšná a za 10 let zcela selhat...

V režimu D=D(t),
s přibližováním ke „katastrofě“,
roste nestabilita. Slabý vnější
napěťový efekt může „spustit z.“

Odhad míst zvýšené pravděpodobnosti z. ovlivněných předchozím zemětřesením

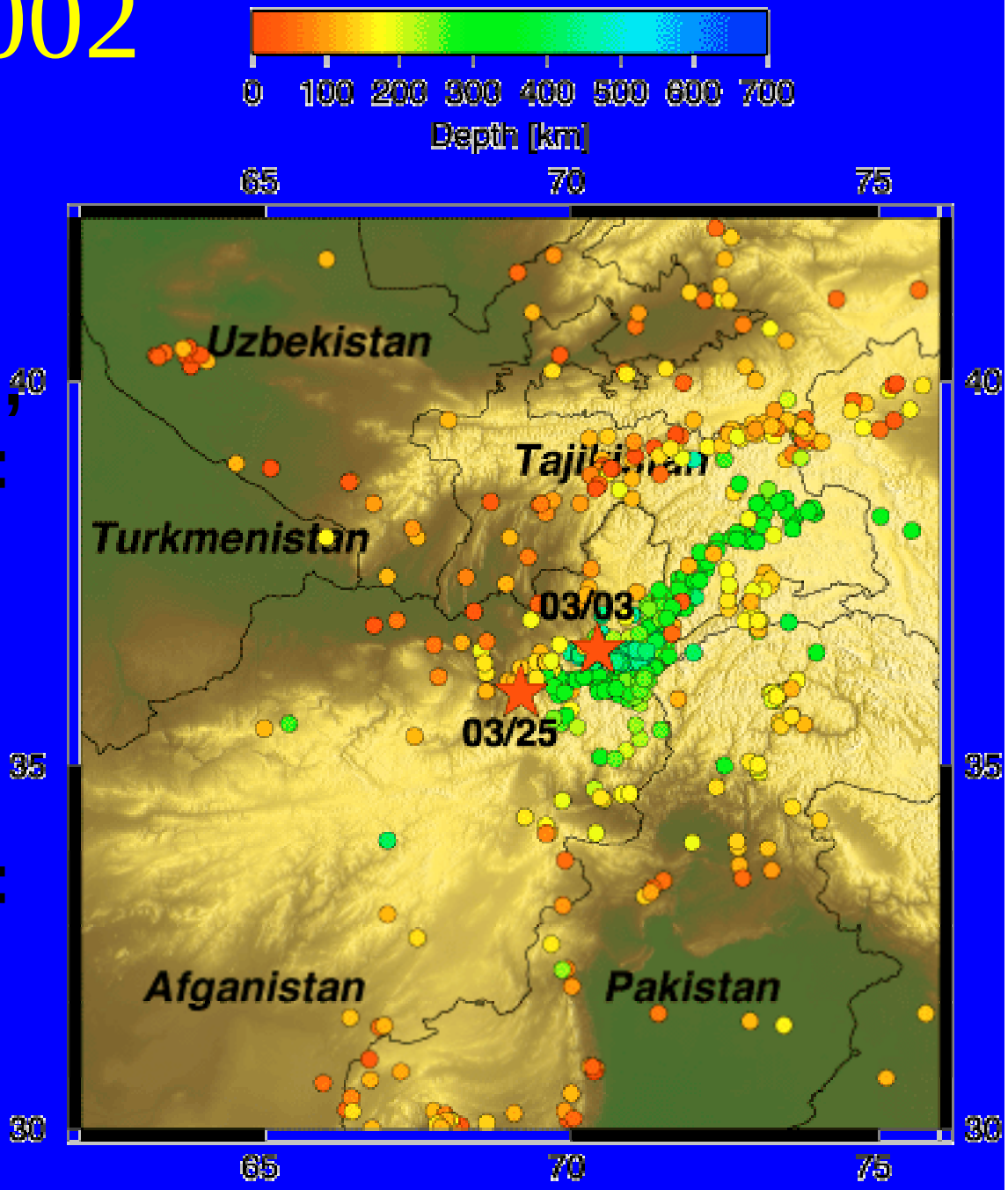
Jak otřes A “spouští” otřes B, jak to vypočítat a využít pro varování

naše účast v EC projektu PRESAP

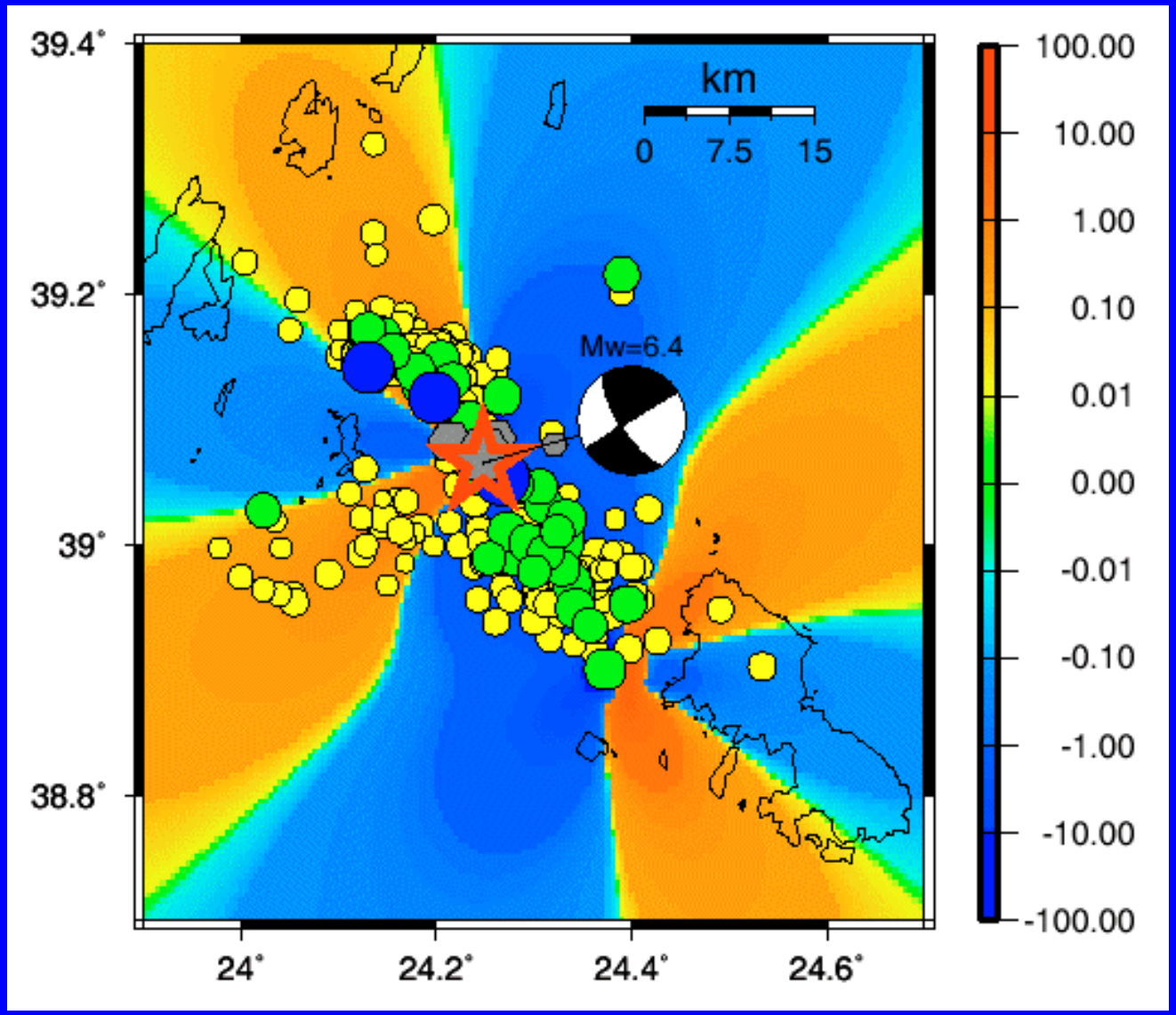
Afghanistan, 2002

March 3, 2002:
M 7.4, Depth 216 km,
Number of fatalities: 100

March 25, 2002:
M 5.9, Depth 10 km,
Number of fatalities: >2000

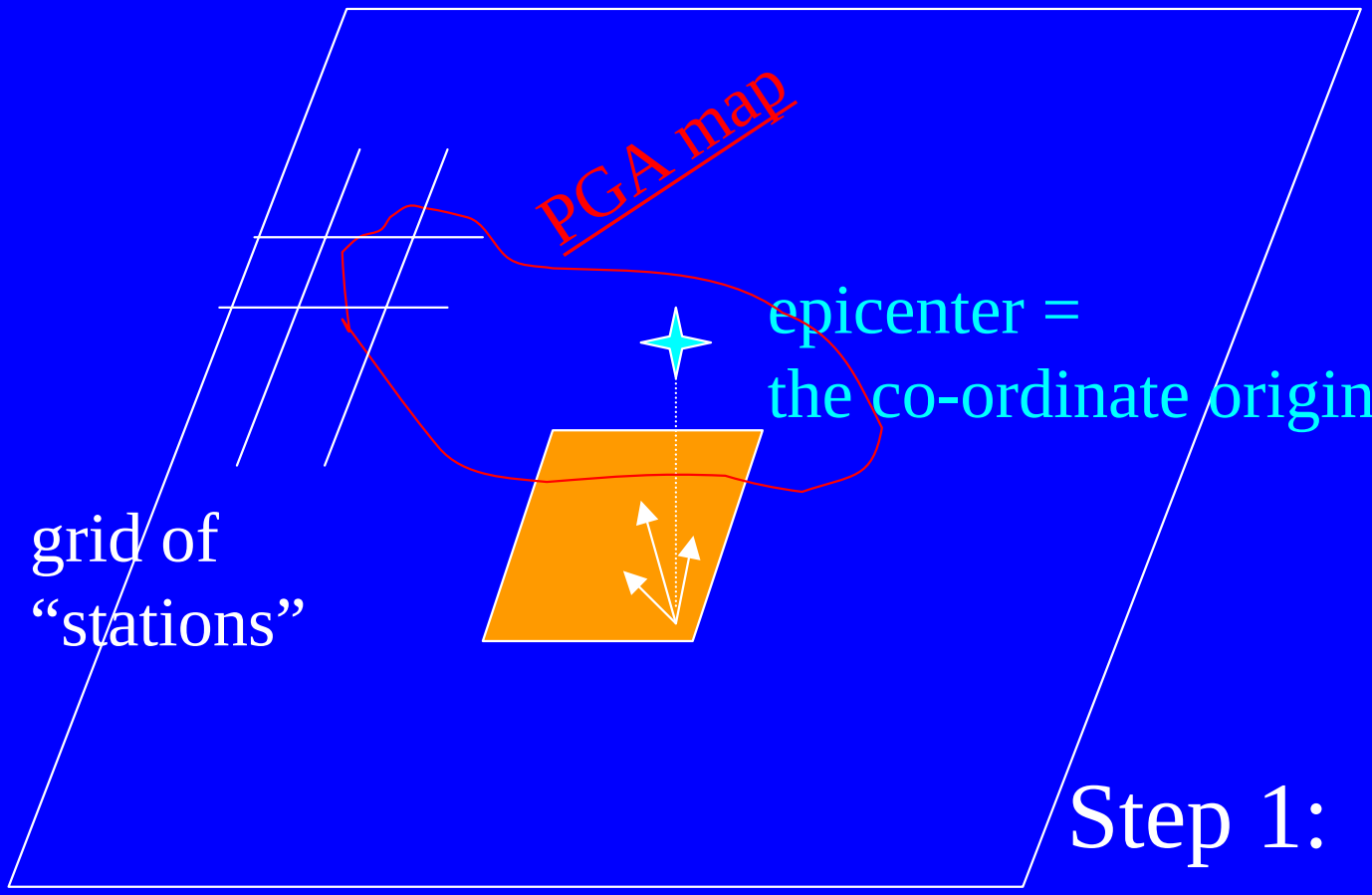


Egejské moře, ostrov Skyros
26. 7. 2001
mag. 6.5



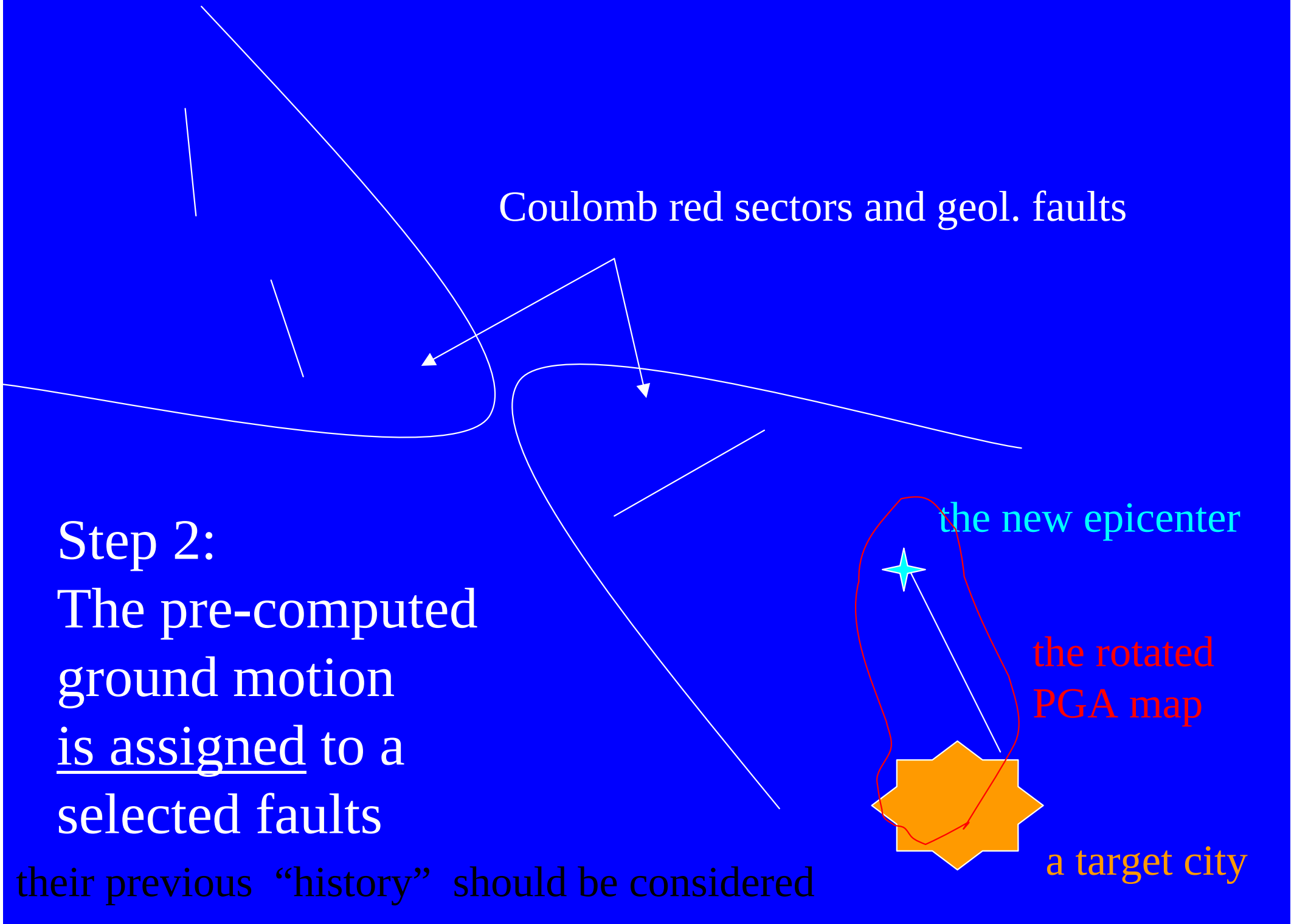
Dotřesy
v oblastech
detekovaných
jako
náchylné
ke smykovému
porušení

V. Karakostas



Step 1:
Strong-motion scenario
is pre-computed
for a given Mw, and
a given nucleation point

a ‘known’crustal structure
3 basic fault types (SS, N, R)


Coulomb red sectors and geol. faults
Step 2:
The pre-computed
ground motion
is assigned to a
selected faults
their previous "history" should be considered
the new epicenter
the rotated
PGA map
a target city

Část 6

I když není předpověď místa a času z. dobrá, můžeme numericky simulovat účinky zemětřesení a tak přispívat k antiseismickému stavitelství.

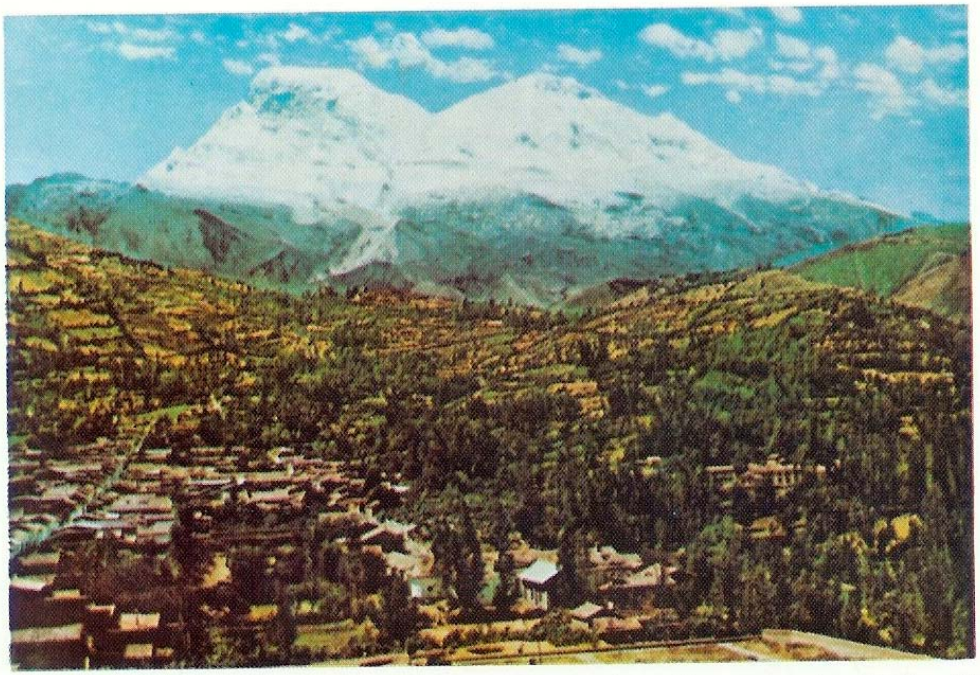


FIG. 1. Yungay. View looking east from Cemetery Hill showing village as it existed before May 31, 1970 earthquake and debris avalanche.

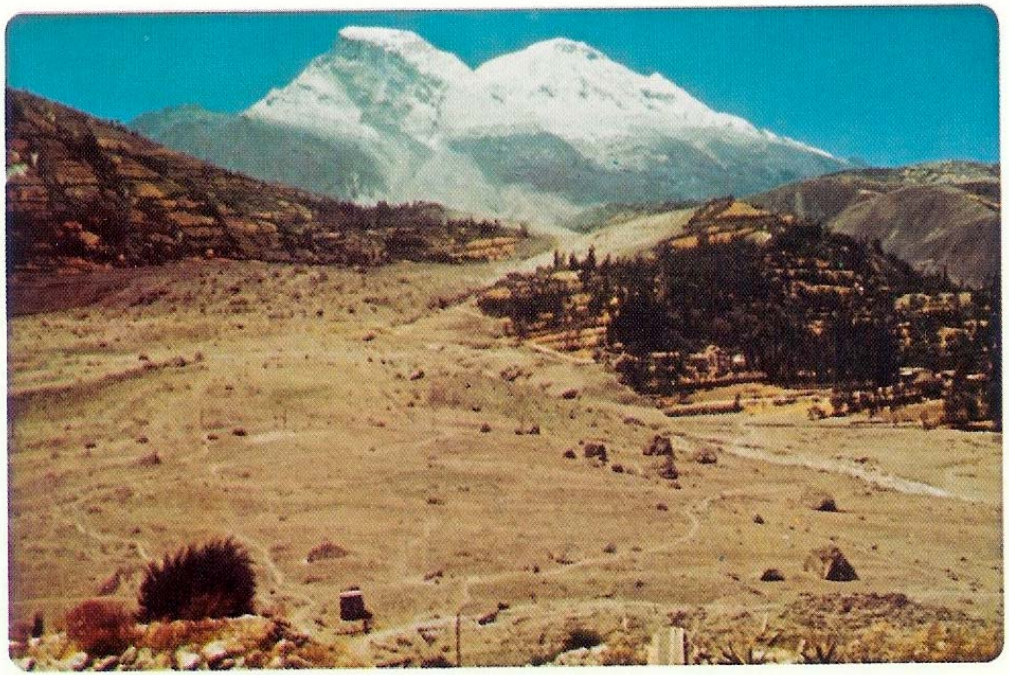
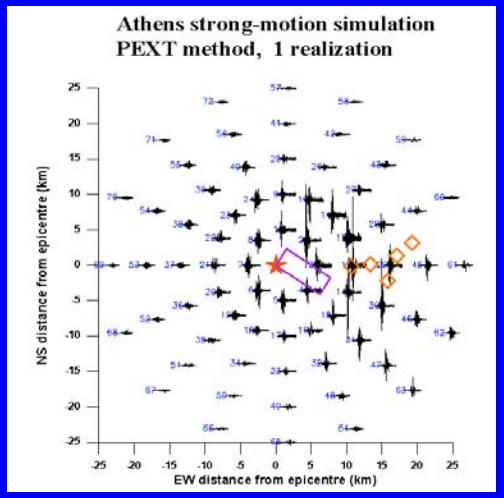


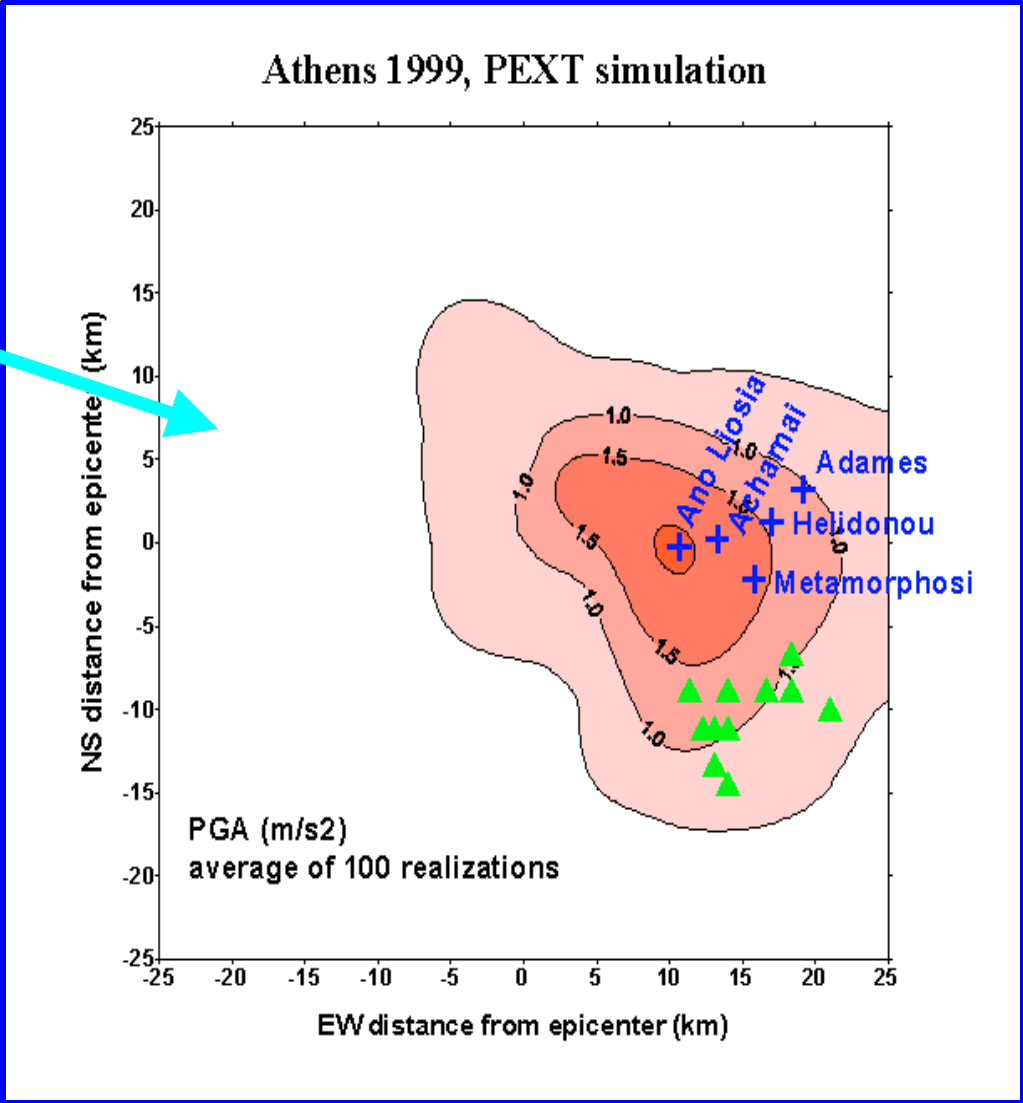
FIG. 2. Yungay. Same view as in Figure 1 except photograph was taken after Huascaran debris avalanche.

Peru, 1970 Huascaran sesuv, lavina

9 17 '99

Simulace vysvětluje místa ničivých účinků

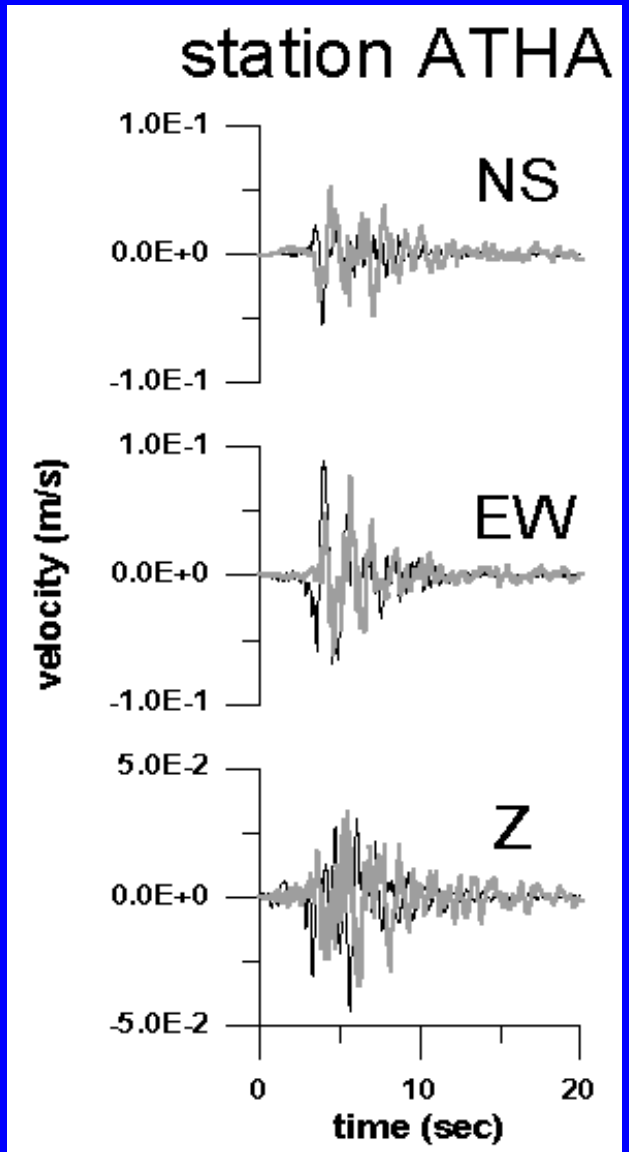


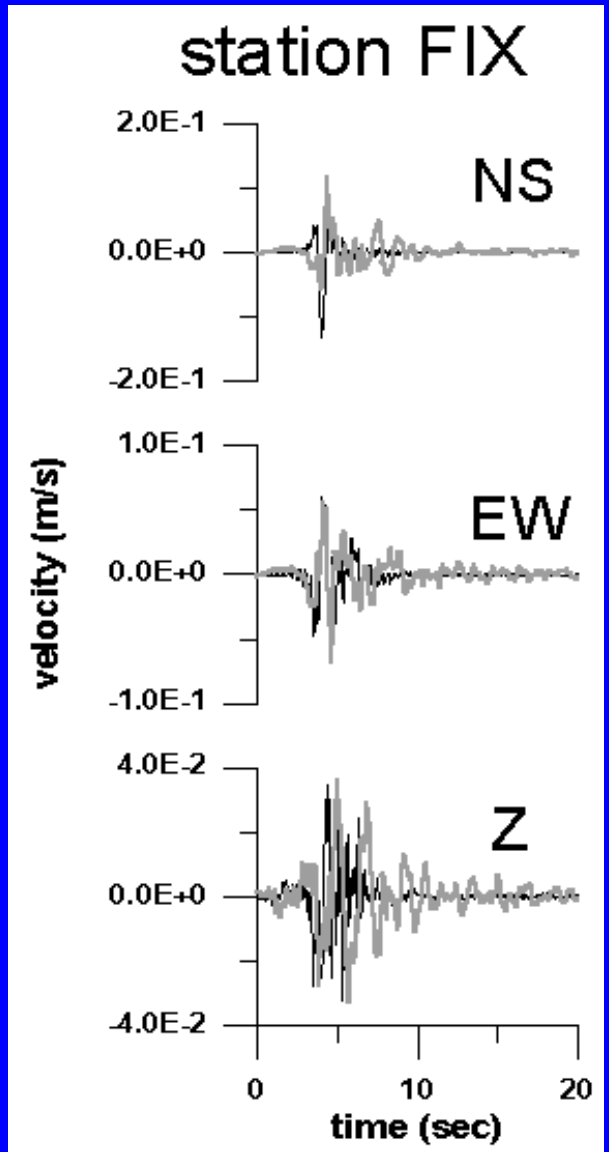


Snaha simulovat v „reálném čase“.

Systémy rychlé pomoci, příp. i varování

Atény - test modelu syntetické a reálné záznamy

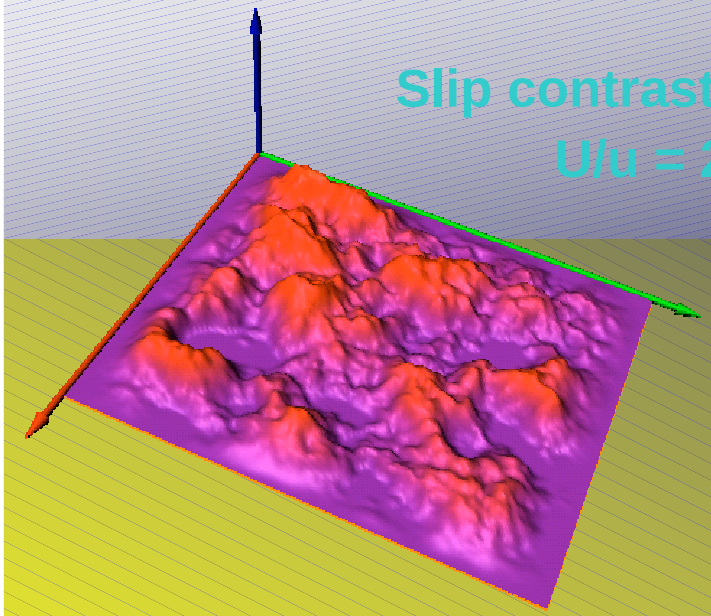




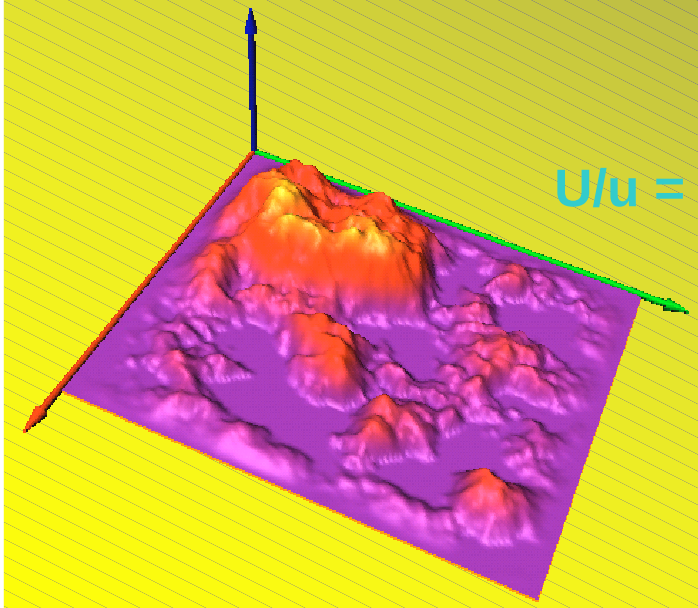
Athens slip models with asperity

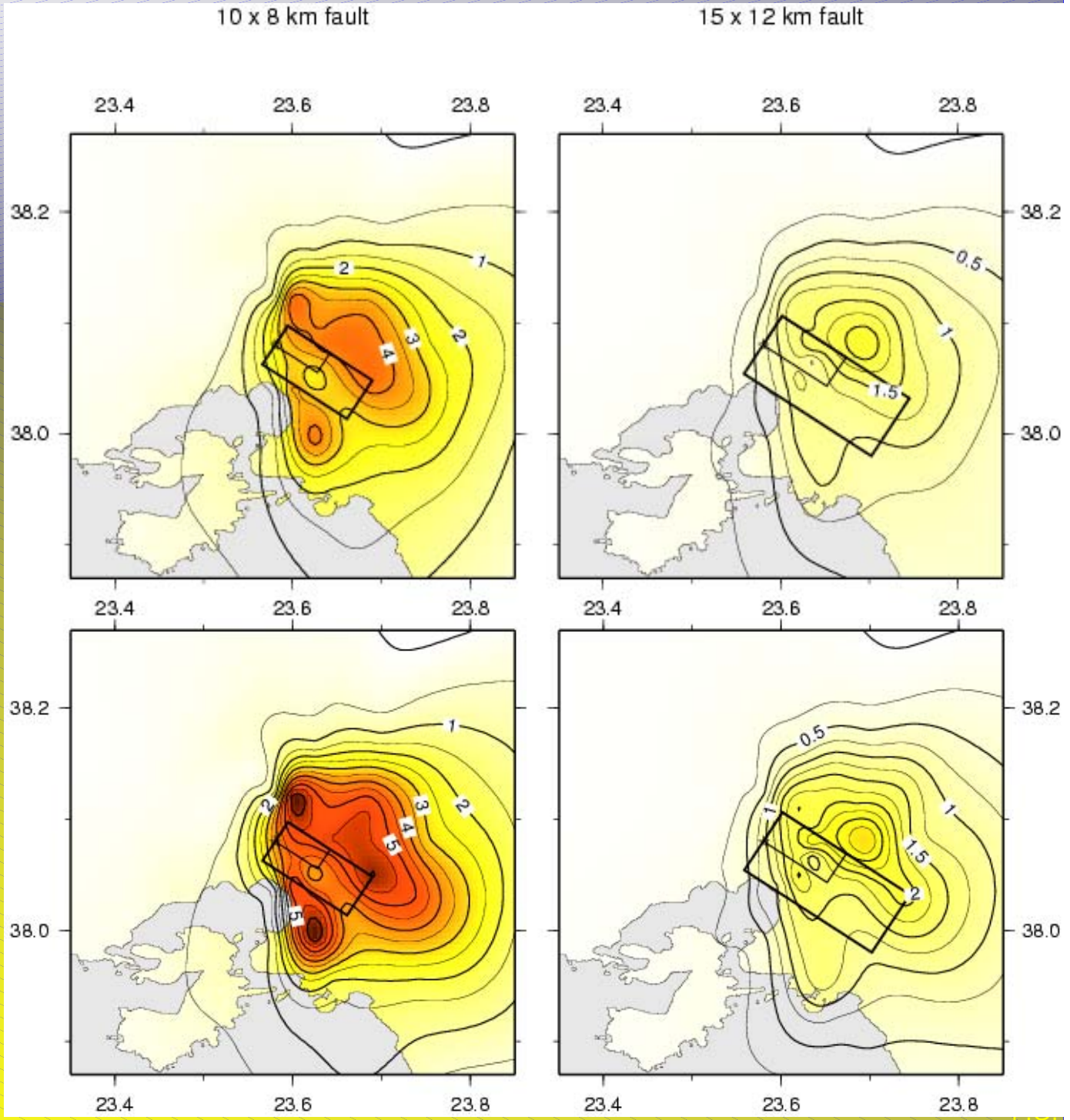
F. Gallovič

Slip contrast
U/u = 2



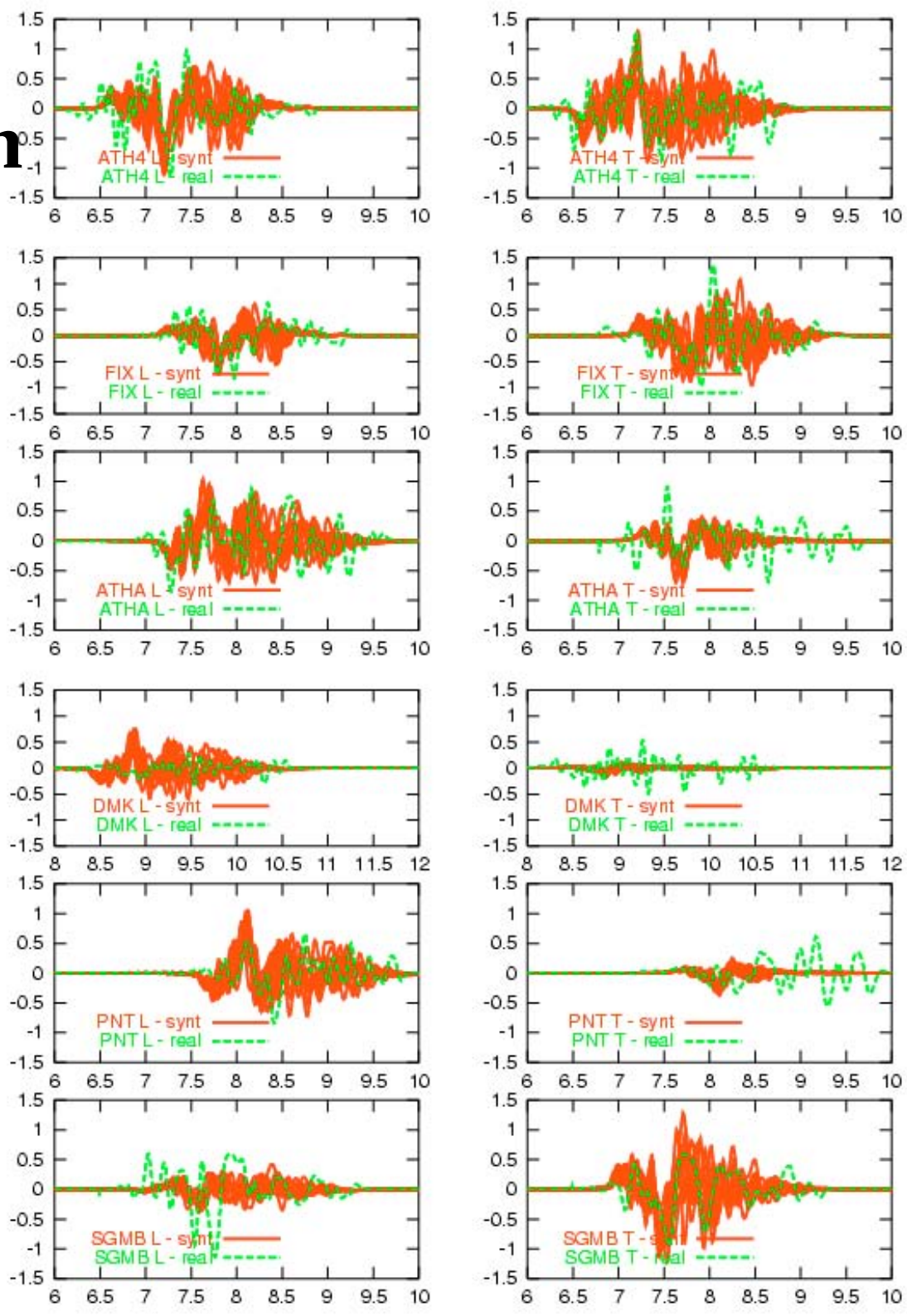
U/u = 3



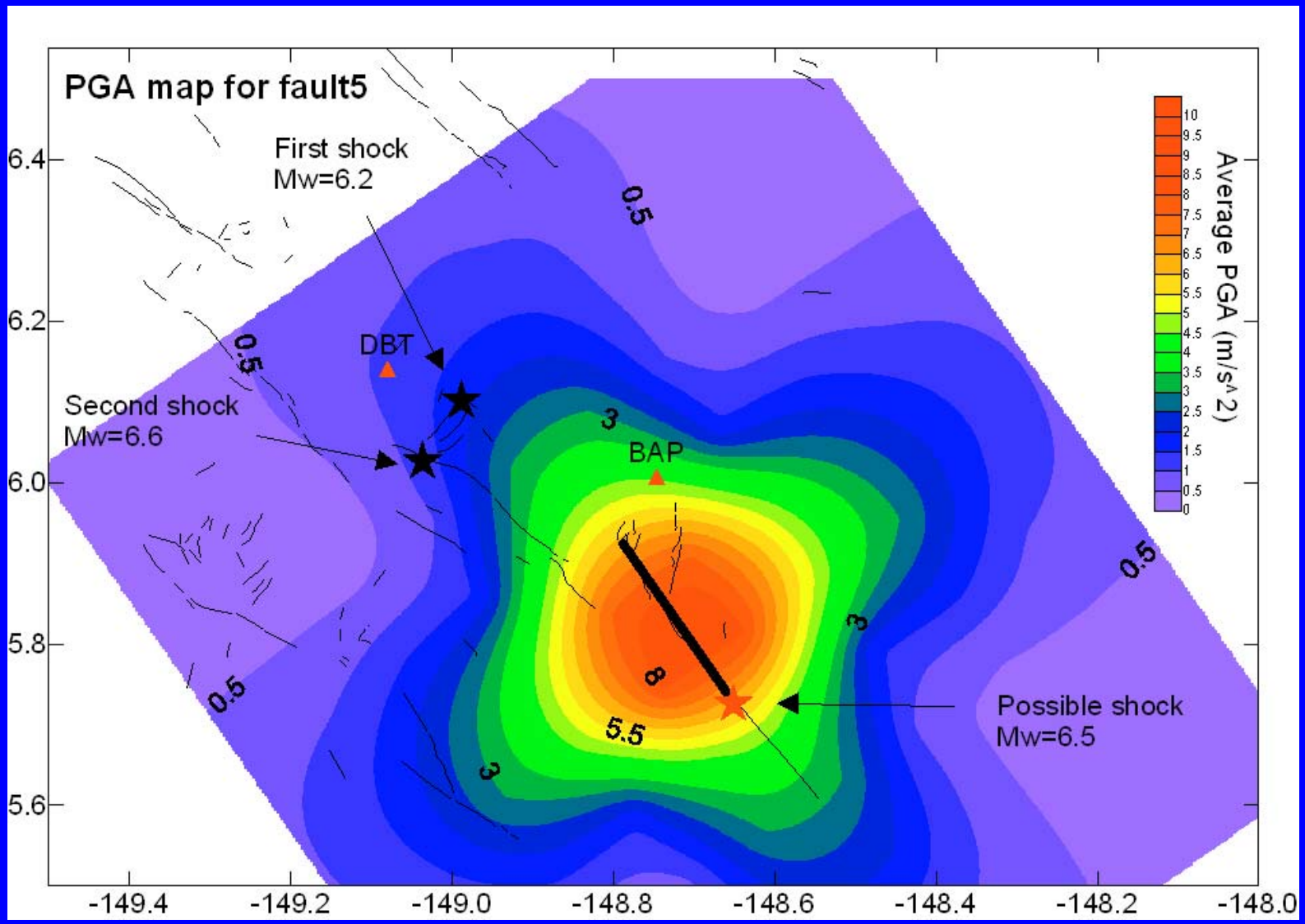


Athens - validation (F. Gallovič)

New method how to measure fit between one real record and a suite of synthetics (a paper)



Předpověďsilných pohybů ¨v reálném čase" (J. Burjánek)



Úloha simulace pohybů půdy je poněkud snazší než predikce z.

ale neznalost detailů zlomu vyžaduje kombinovat deterministické

a stochastické přístupy, „seis. scénáře“

! důležité parametry, např. rychlost šíření trhliny, nebo max. rychlost skluzu, atd.
souvisejí se “životem zlomů“ (viz výše)

Závěr

- Nutnost prohloubení teor. modelů zlomů (reologie, šíření trhlin)
- Naděje pro predikci z. i pro simulaci silných pohybů při budoucích z.
- Problém není řešitelný bez úzké vazby na modelování dynamiky Země, např. pohyby a deformace litosferických desek.
- Související disciplíny: družicová měření...

http://geo.mff.cuni.cz