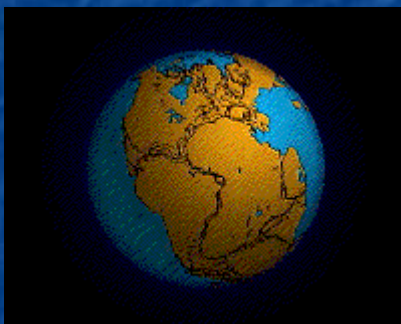


Trzęsienia ziemi i tsunami

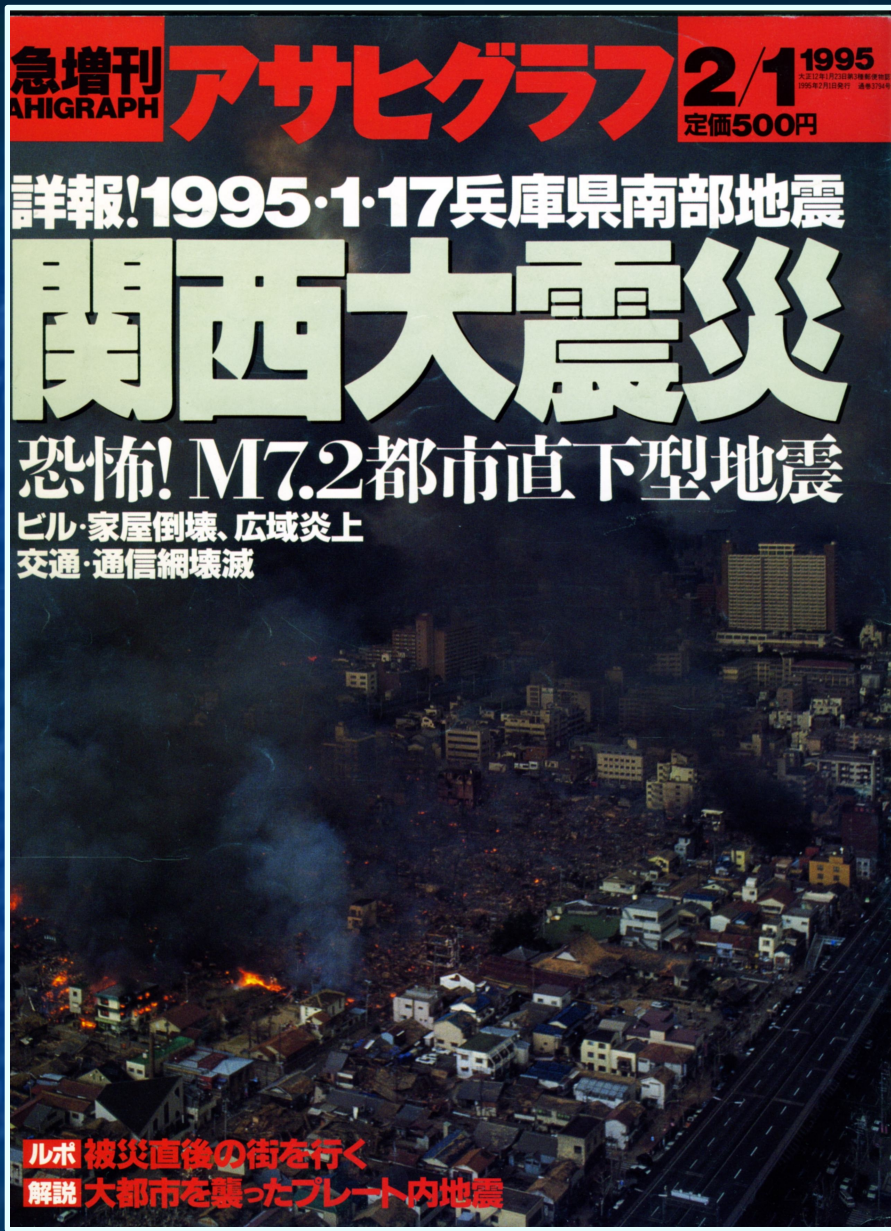


Marek Grad
Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki
Uniwersytet Warszawski

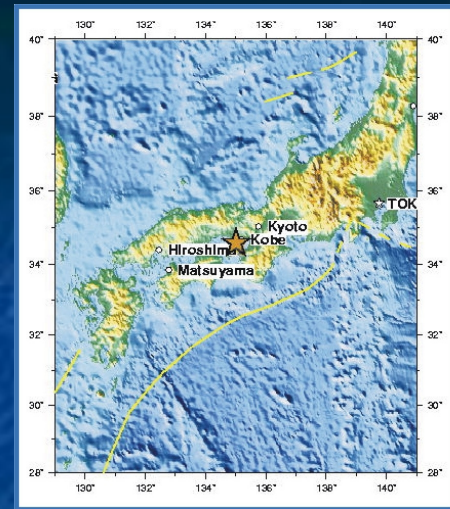
INAUGURACJA ROKU AKADEMICKIEGO 2009/2010
Wydział Fizyki UW, 30.09.2009

- **Wielkie trzęsienia ziemi i katastrofy sejsmiczne**
- **Sejsmiczność Ziemi i Polski**
- **Tsunami – Lizbona 1755**
- **Tsunami – Sumatra 2004**
- **Trzęsienie ziemi – źródło fal tsunami**
- **Sumatra 2004 - wstrząs główny i wstrząsy następne**
- **Czy zagrażają nam trzęsienia ziemi i tsunami w przyszłości ?**

Wielkie trzęsienia ziemi i katastrofy sejsmiczne



Kobe, 1995



Kobe, 1995



過去300年間(1696~1995年)の死者200人以上の大震災

○は内陸活断層から発生した直下型地震。＊は南海トラフ沿いのプレート間巨大地震

名称	年月日	M(マグニチュード)	死者数(人)	記事*
元禄関東地震	1703.12.31	8.1	約1万	相模トラフ沿いの巨大地震
宝永地震	＊ 1707.10.28	8.1	約2万	南海トラフ沿いの巨大地震
渡島津波	1741.8.29	6.9	2000	日本海側最大の津波被害
高田地震	○ 1751.5.21	7.2	1800	高田直下
津軽地震	○ 1766.3.8	7.3	1335	弘前・青森間
八重山津波	1771.4.24	7.4	12000	石垣島・宮古島大津波
島原地震	1792.5.21	6.4	15000	眉山崩壊による大津波
象潟地震	○ 1804.7.10	7.0	300	鳥海山付近
近江地震	○ 1819.8.2	7.3	多数	琵琶湖から伊勢湾まで
越後三条地震	○ 1828.12.18	6.9	1700	三条直下
京都地震	○ 1830.8.19	6.5	280	京都直下
善光寺地震	○ 1847.5.8	7.4	8000	信濃川断層系
伊賀上野地震	○ 1854.7.9	7.3	1600	木津川断層
安政東海地震	＊ 1854.12.23	8.4	数千	南海トラフ沿いの巨大地震
安政南海地震	＊ 1854.12.24	8.4	数千	南海トラフ沿いの巨大地震
安政江戸地震	○ 1855.11.11	6.9	7500	江戸直下
飛越地震	○ 1858.4.9	7.1	430	跡津川断層
浜田地震	○ 1872.3.14	7.1	550	浜田沖
濃尾地震	○ 1891.10.28	8.0	7273	根尾谷断層系
庄内地震	○ 1894.10.22	7.0	762	酒田付近
三陸地震津波	1896.6.15	8.5	22000	日本海溝の巨大地震
陸羽地震	○ 1896.8.31	7.2	209	千屋断層
関東大地震	1923.9.1	7.9	142807	相模トラフ沿いの巨大地震
但馬地震	○ 1925.5.23	6.8	428	城崎付近
丹後地震	○ 1927.3.7	7.3	2925	郷村断層
北伊豆地震	○ 1930.11.26	7.3	272	丹那断層
三陸沖地震	1933.3.3	8.1	3064	日本海溝下のプレート内
鳥取地震	○ 1943.9.10	7.2	1083	鹿野・吉岡断層
東南海地震	＊ 1944.12.7	7.9	1223	南海トラフ沿いの巨大地震
三河地震	○ 1945.1.13	6.8	2306	深溝断層
南海地震	＊ 1946.12.21	8.0	1330	南海トラフ沿いの巨大地震
福井地震	○ 1948.6.28	7.1	3769	福井平野東縁断層帯
北海道南西沖地震	1993.7.12	7.8	230	奥尻島などに大津波
兵庫県南部地震	○ 1995.1.17	7.2	3517 (1月19日17時45分現在)	野島断層を含む六甲断層系

*記事断層が判明している場合はその断層名を記した。



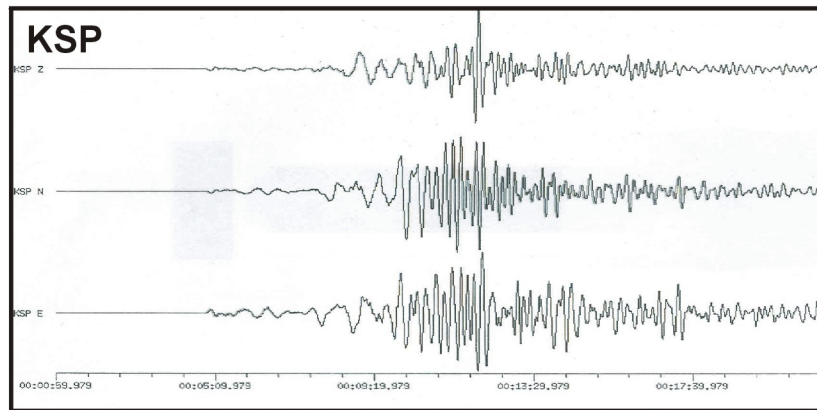
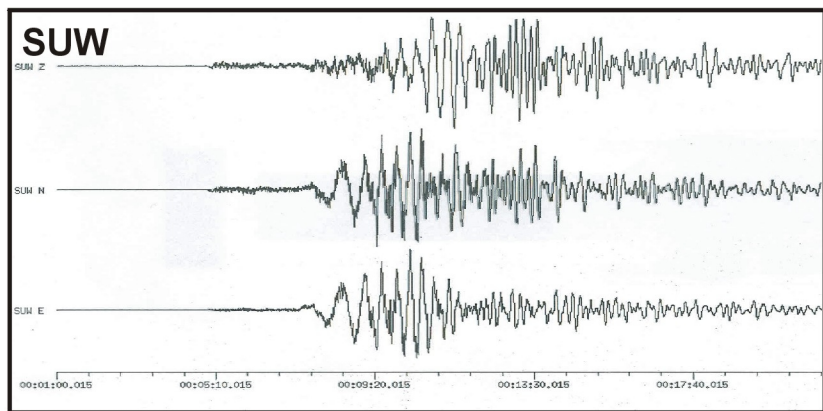
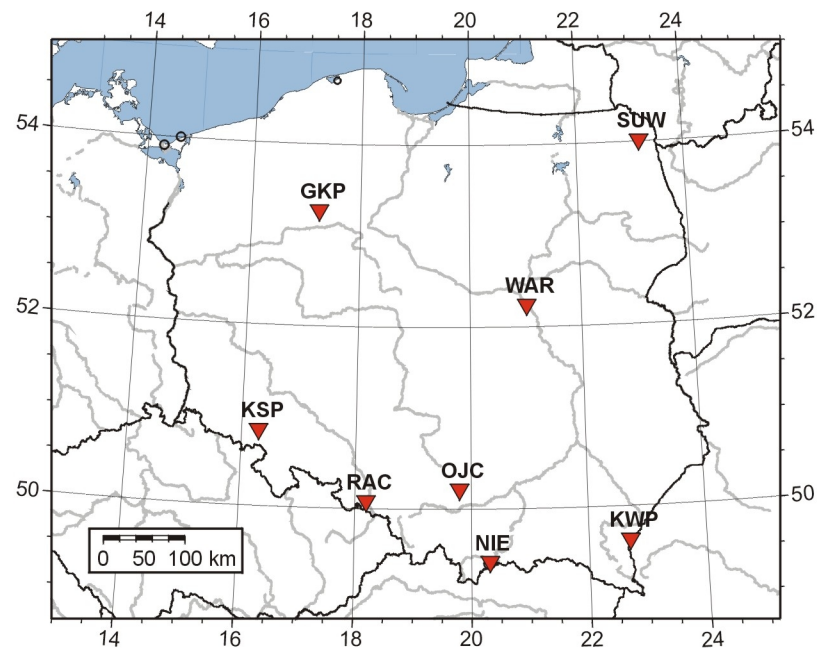
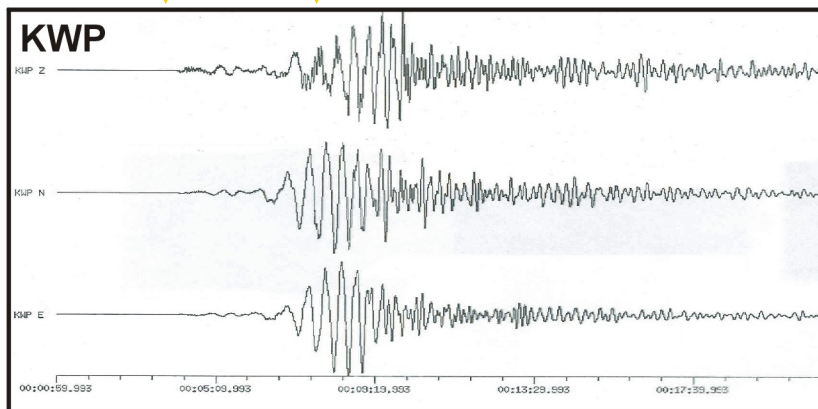


Meczet w Golcuk (ok. 100 km na wschód od Istanbulu, 10 km od epicentrum)



Turcja, 17.08.1999

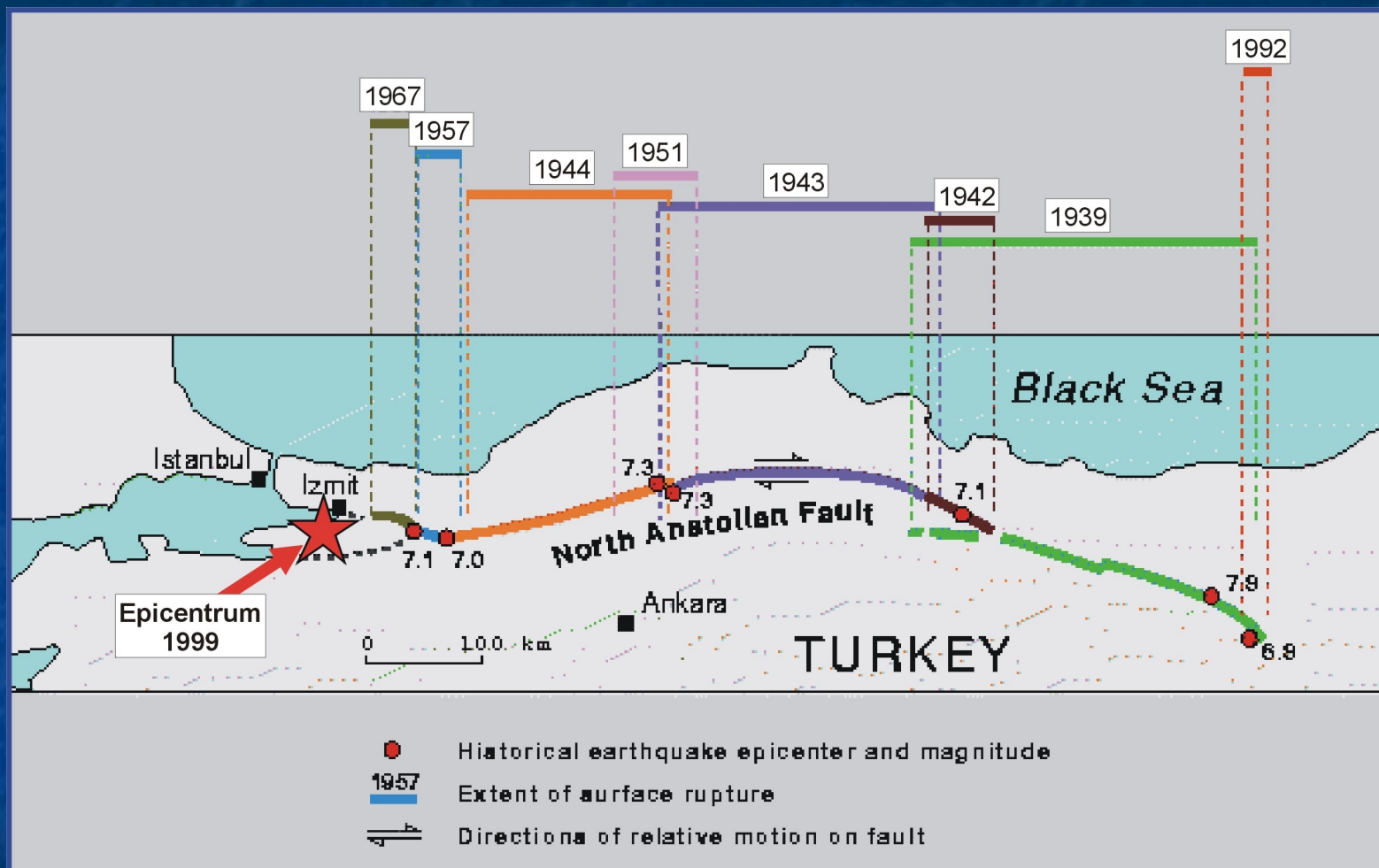
↓ P ↓ S



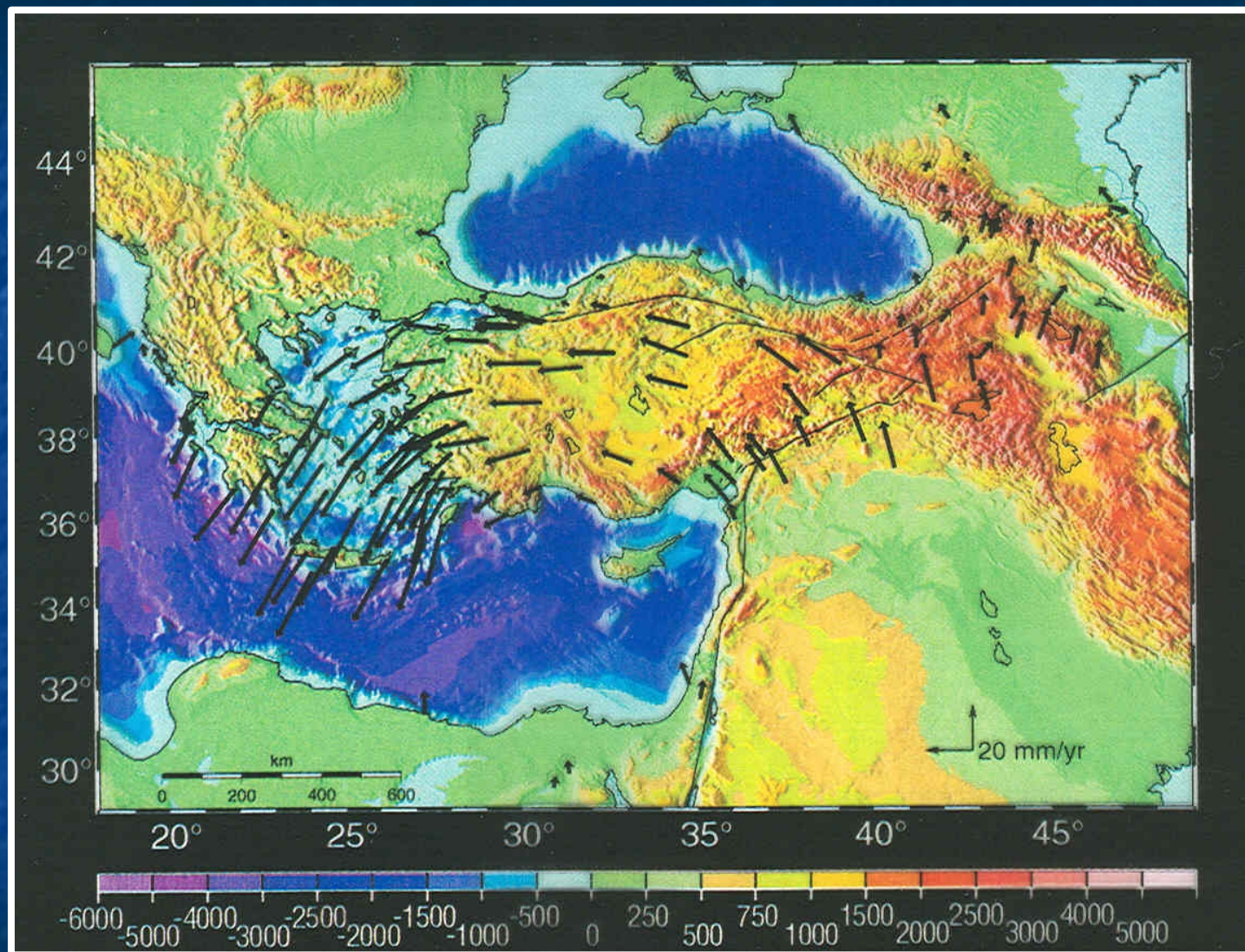
Istanbul, 10.05.1556. Kometa i trzęsienie ziemi (kolekcja Kozaka)



Izmit, Turcja, 1999 i historyczne trzęsienia ziemi



GPS – względne przemieszczenie wzdłuż uskoku Północnej Anatolii



San Francisco, 1906

(M=8,2)



San Francisco, 1906

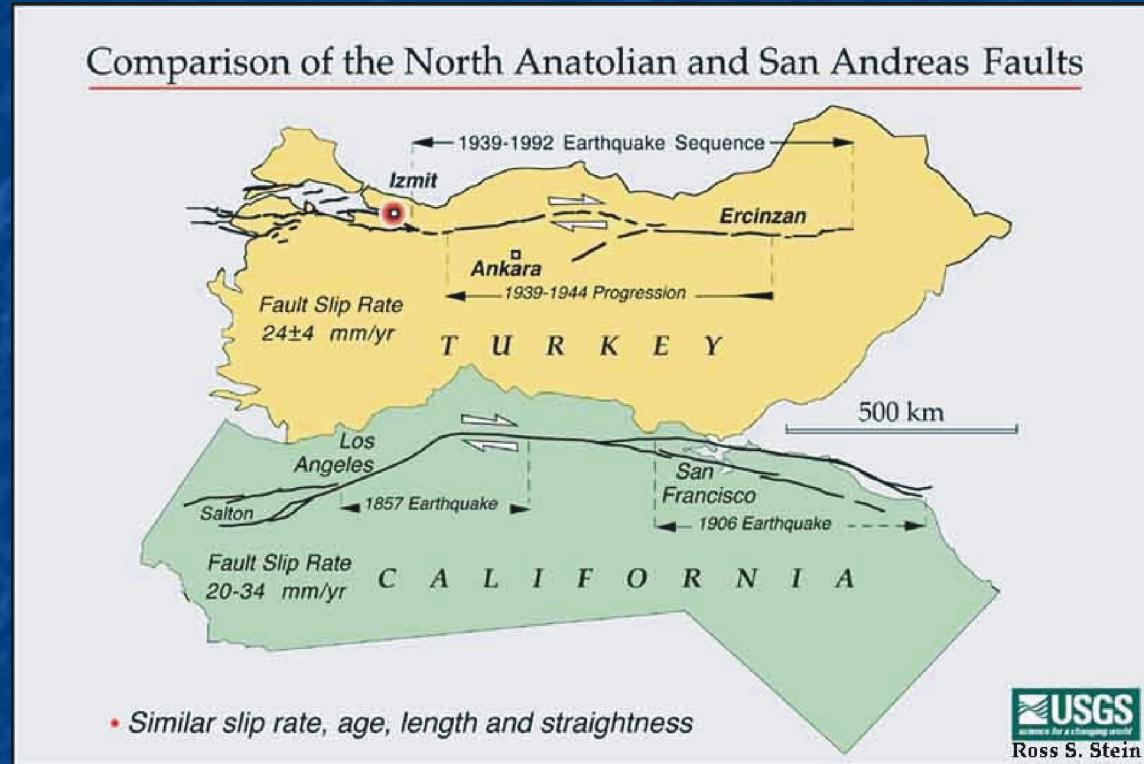


San Andreas



Porównanie uskoków Północnej Anatolii i San Andreas

- podobne przemieszczenie, wiek, długość i liniowość



Trzęsienie ziemi No. 2 w XX wieku
Prince William Sound
Alaska, 27.03.1964 (*lok*)
 $M_w=9,2$ ($M=8,6$)





Pakistan, Kaszmir

6.09.2005

$M = 7,6$



Islamabad, 95 km od epicentrum



Pakistan, Kaszmir

6.09.2005

$M = 7,6$

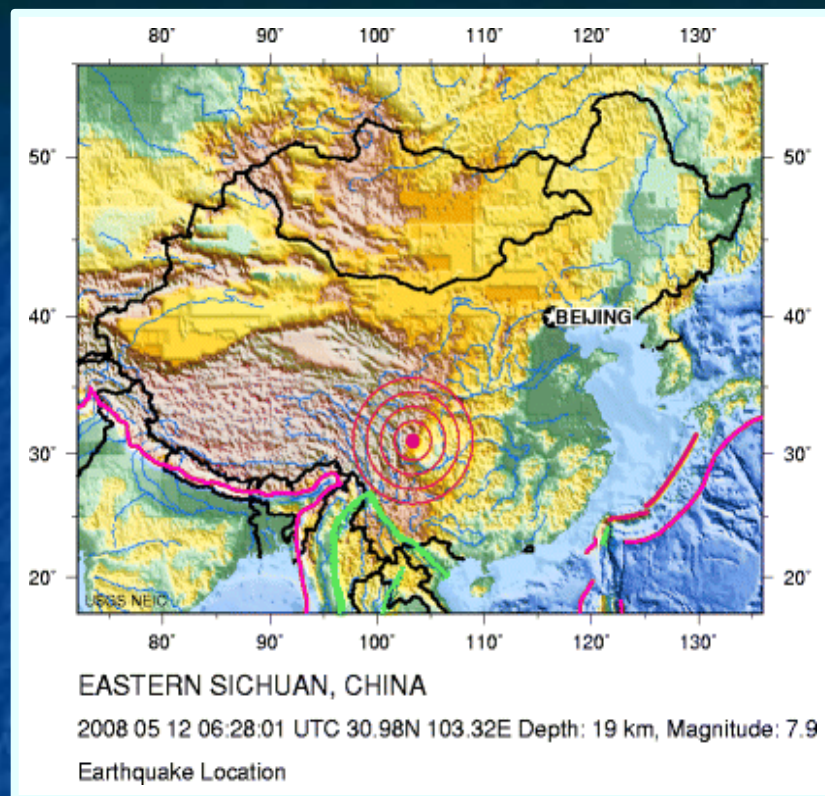
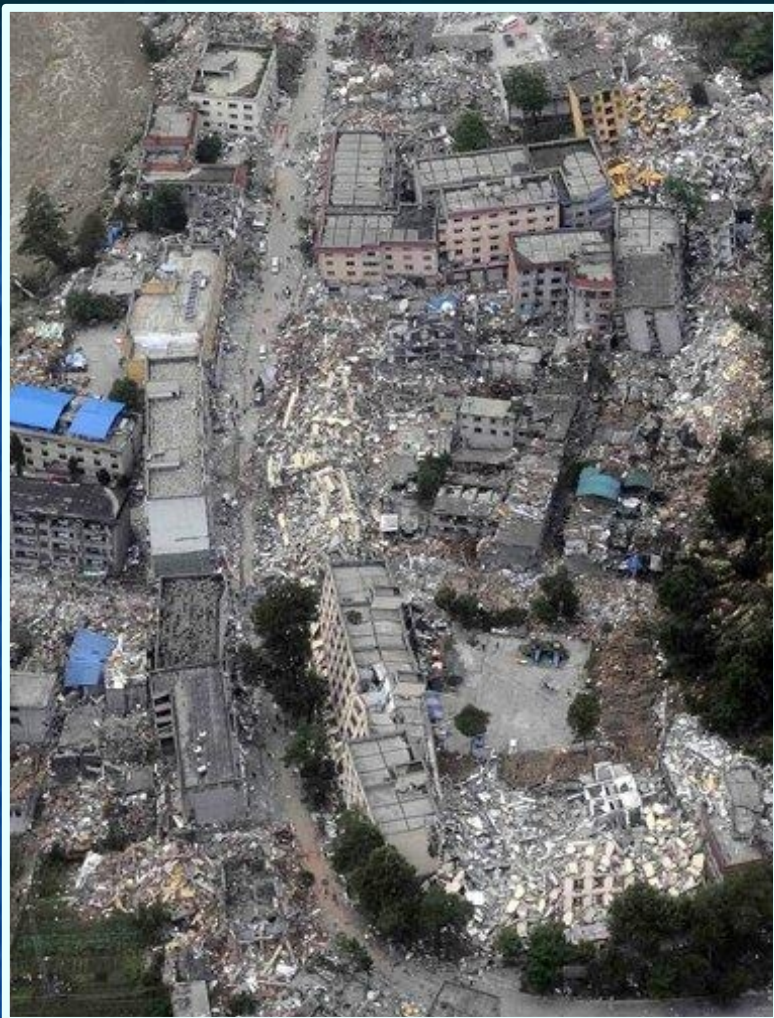


Islamabad
95 km od epicentrum

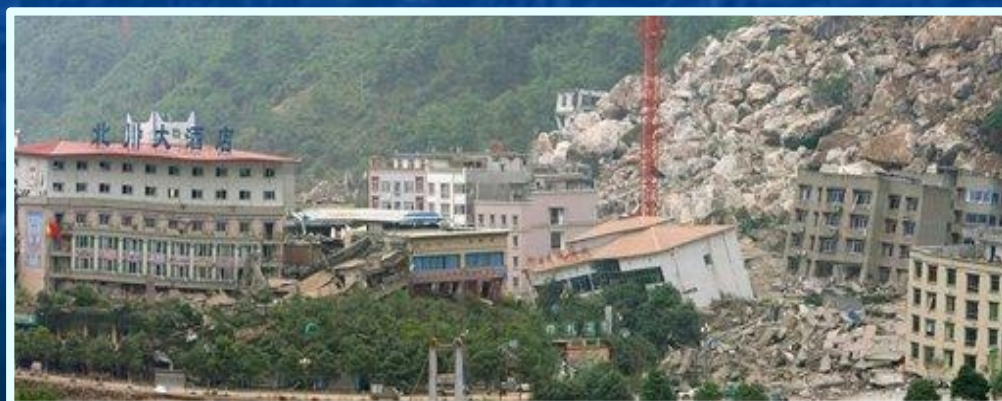
30.09.2009

Trzęsienia ziemi i tsunami

18



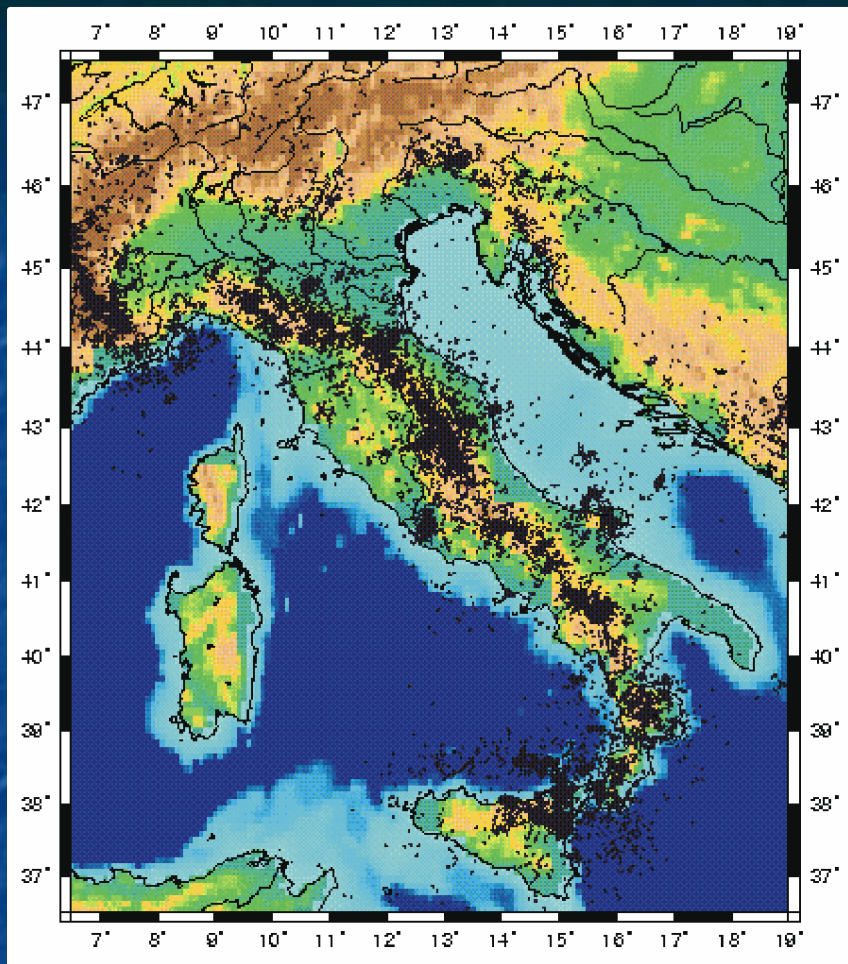
Prowincja Sichuan, Chiny **12.05.2008, $M = 7,9$**



Prowincja Sichuan, Chiny

12.05.2008, $M = 7,9$



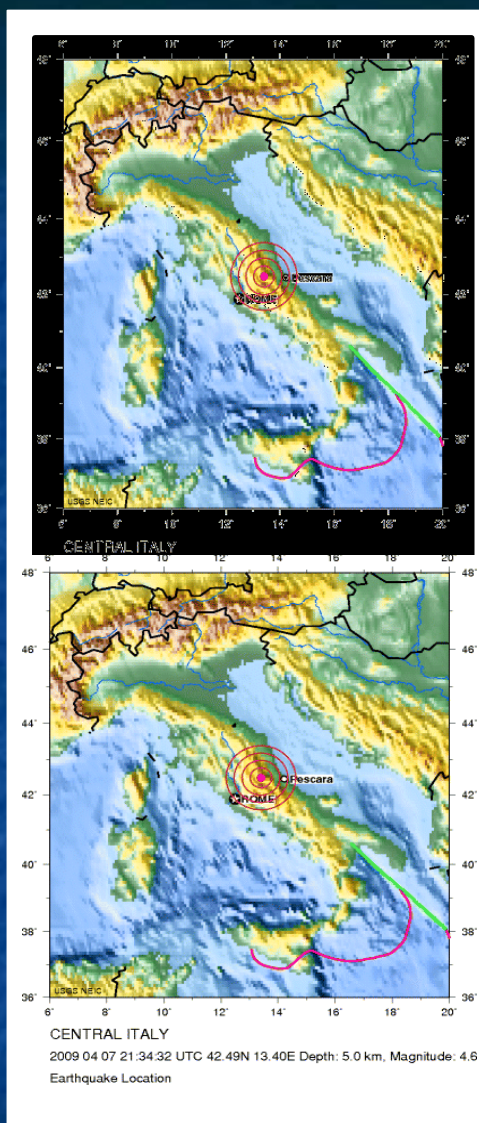


Sejsmiczność Włoch 1975-2006

ok. 35.000 trzęsień, max $M=6.9$ w 1980 roku

Trzęsienie
6 kwietnia 2009
01:32:39 UTC
 $M=6,3$
 $h=8,8$ km

Trzęsienie
7 kwietnia 2009
21:34:32 UTC
 $M=4,6$
 $h=5$ km



... przed i po trzęsieniu



30.09.2009

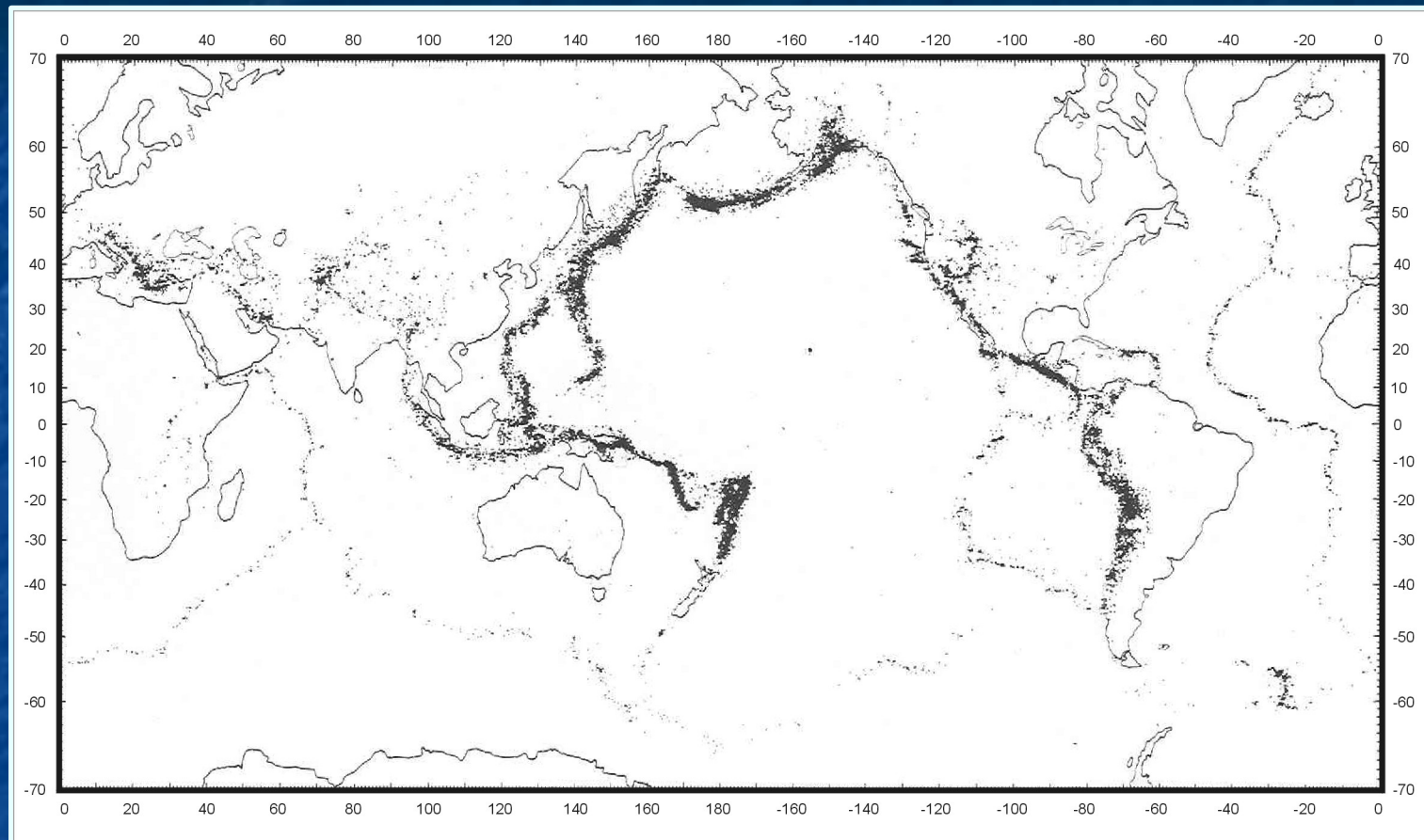
Trzęsienia ziemi i tsunami

22



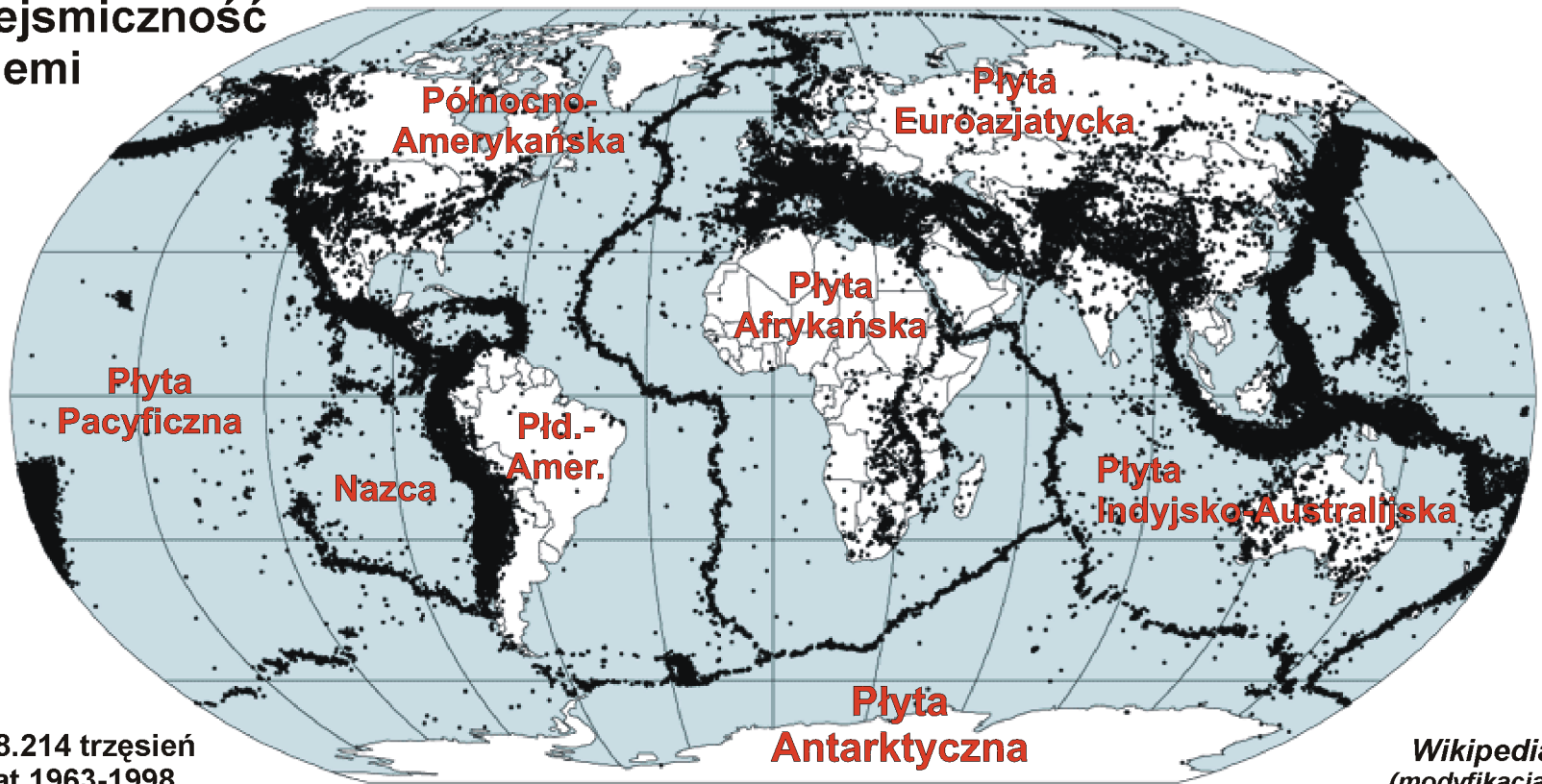
Sejsmiczność Ziemi i Polski

Sejsmiczność Ziemi

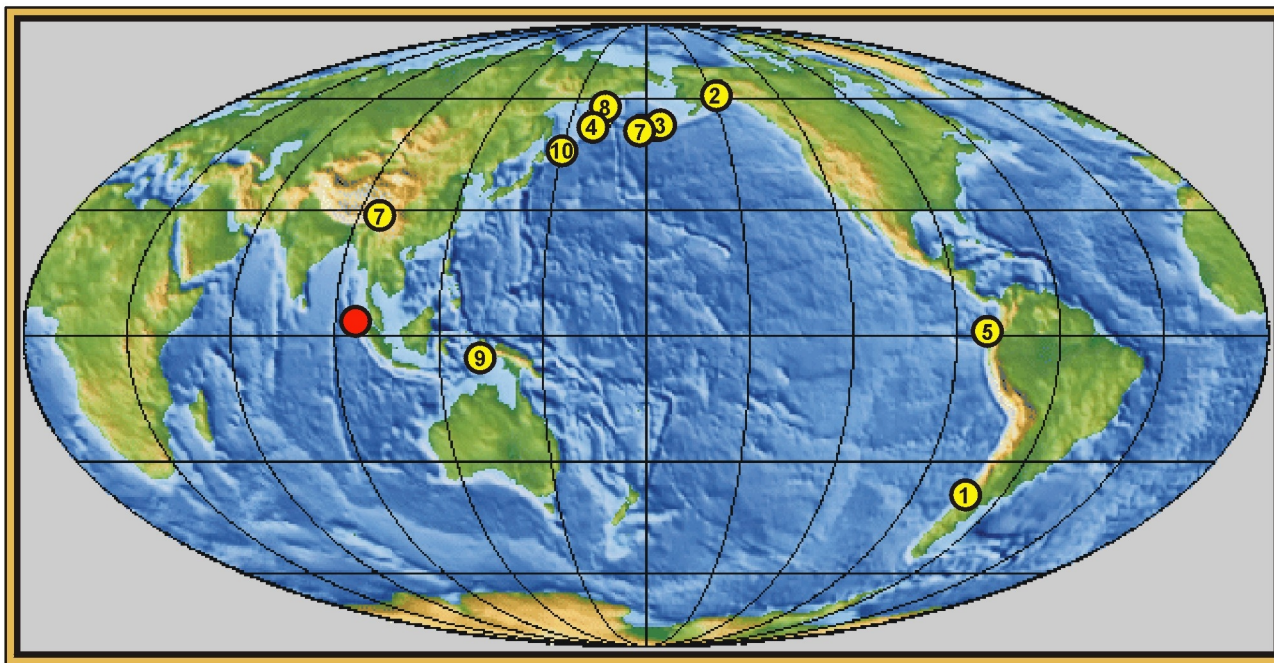


Epicentra ok. 29.000 trzęsień ziemi z lat 1961-1967

Sejsmiczność Ziemi

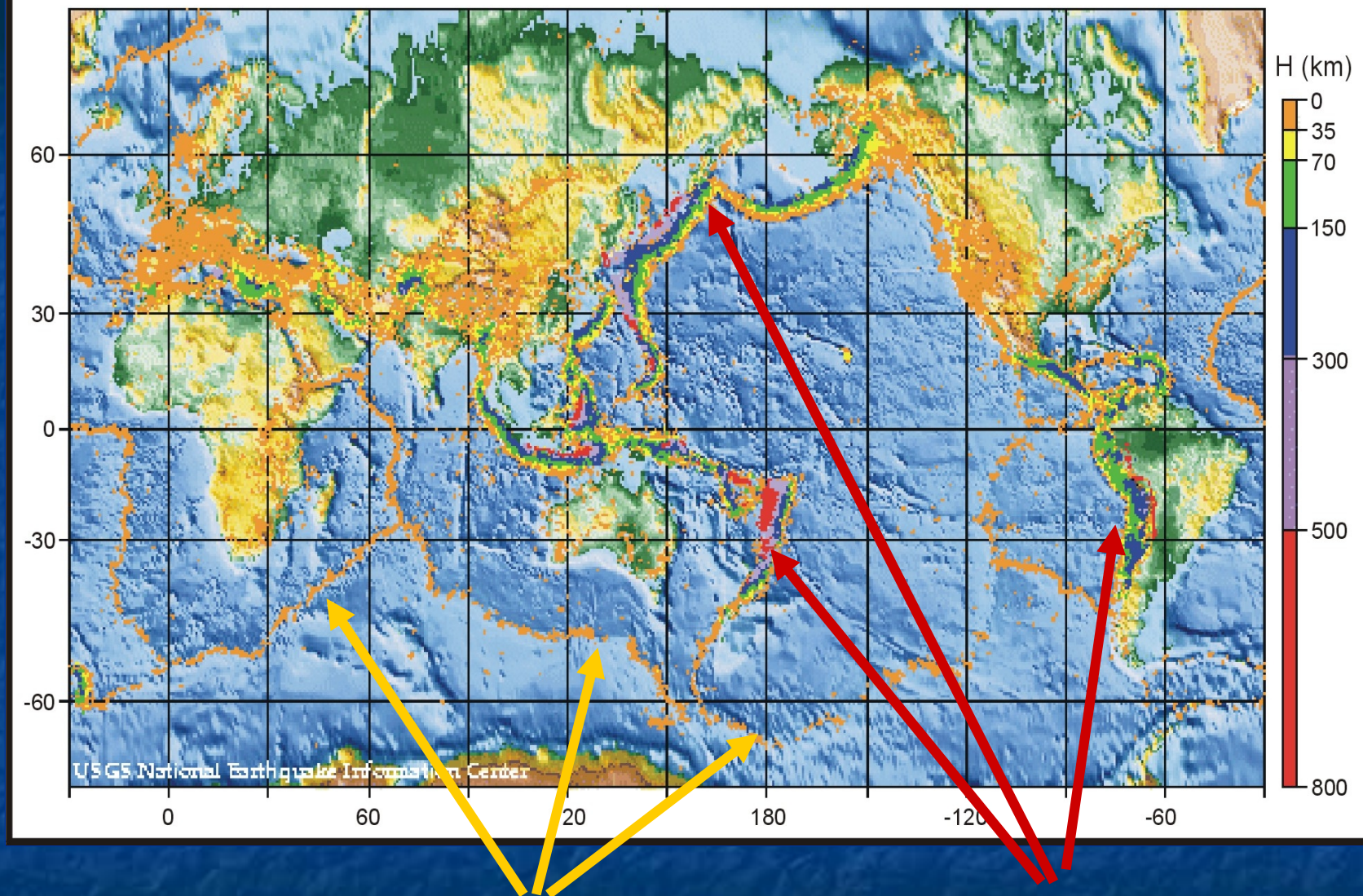


Największe trzęsienia ziemi w XX wieku



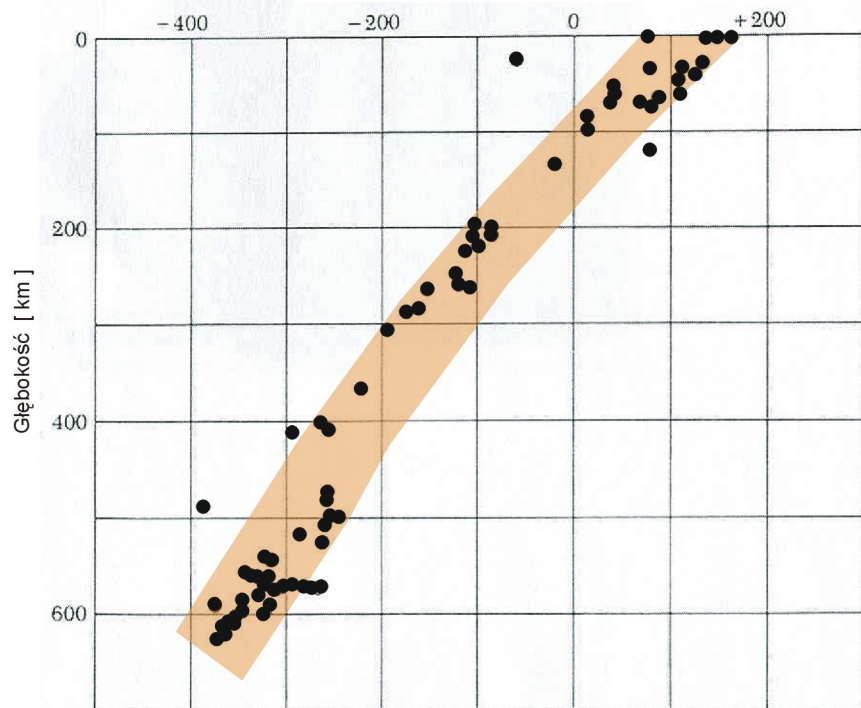
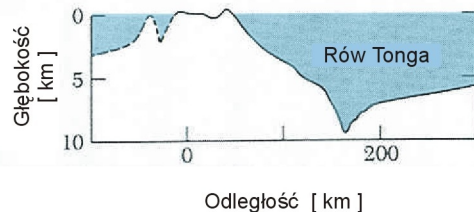
Lokalizacja	Data	Magnituda	Współrzędne ϕ, λ	
1. Chile	1960 05 22	9.5	38.24 S	73.05 W
2. Prince William, Alaska	1964 03 28	9.2	61.02 N	147.65 W
3. Andreanof, Alaska	1957 03 09	9.1	51.56 N	175.39 W
4. Kamczatka	1952 11 04	9.0	52.76 N	160.06 E
5. Ekwador	1906 01 31	8.8	1.00 N	81.5 W
6. Rat Islands, Alaska	1965 02 04	8.7	51.21 N	178.50 E
7. Assam - Tybet	1950 08 15	8.6	28.50 N	96.50 E
8. Kamczatka	1923 02 03	8.5	54.00 N	161.00 E
9. Indonezja	1938 02 01	8.5	5.05 S	131.62 E
10. Kuryle	1963 10 13	8.5	44.90 N	149.60 E
Płn. Sumatra	2004 12 26	9.3	3.30 N	95.78 E

Sejsmiczność Ziemi (wg. USGS)



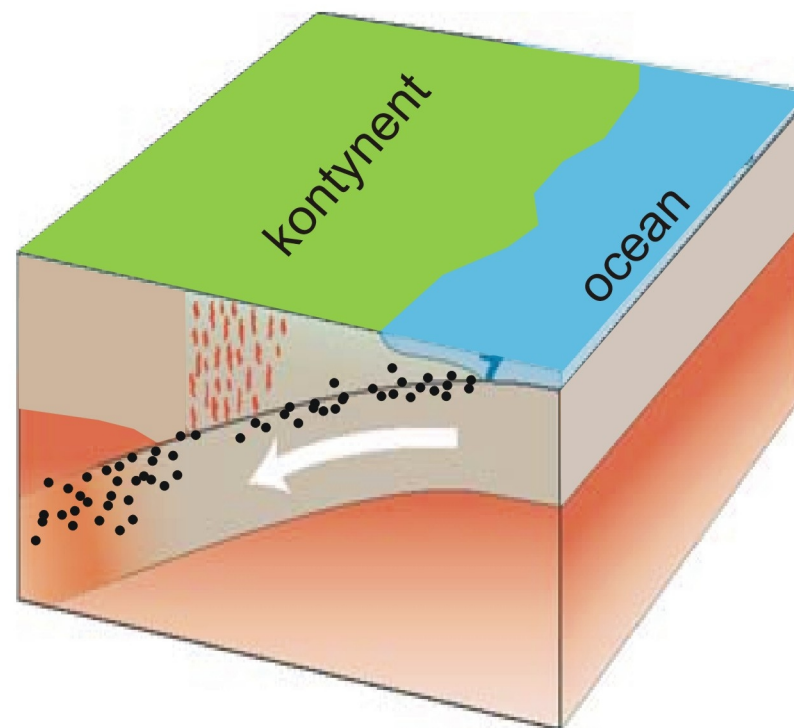
Płytke trzęsienia w grzbietach oceanicznych, głębokie w rowach

Subdukcja płyty oceanicznej pod oceaniczną

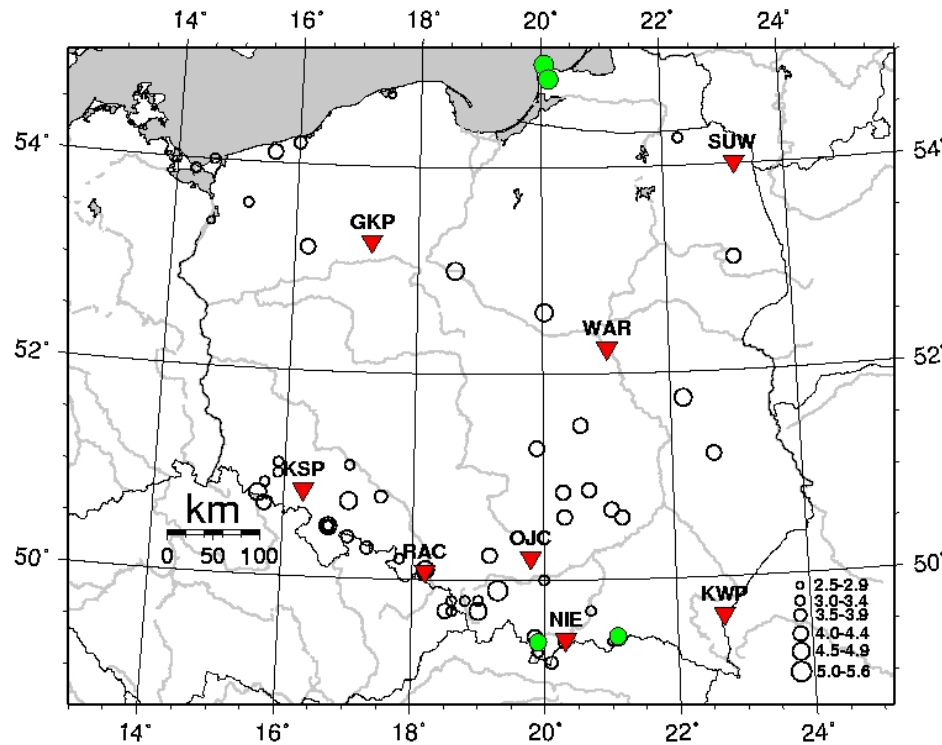


Ogniska trzęsień ziemi w rejonie rowu Tonga
(SW Pacyfik; Isacks i in., JGR, 1965)

Subdukcja skorupy oceanicznej pod skorupę kontynentalną



Sejsmiczność Polski (... i okolic)



Epicentra wstrząsów
sejsmicznych w latach
1483-1966 i stacje
sejsmiczne

Magnitudy $M=2,6-5,6$

($M=5,6$ - Myślenice, 1786)

Tsunami Lizbona 1755



Tsunami, Lizbona, 1755

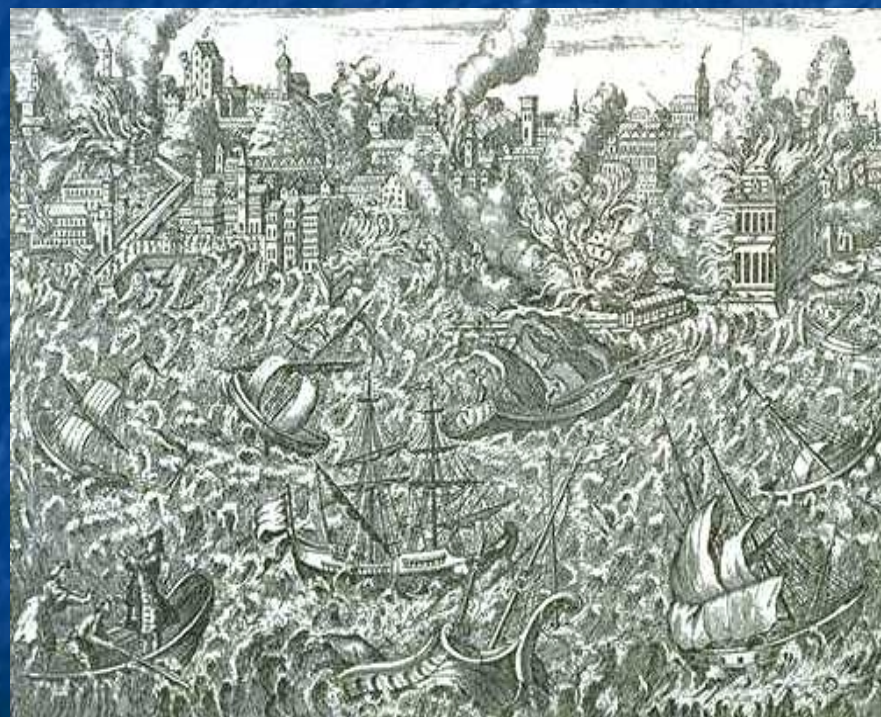


Lizbona, 1.11.1755. Trzęsienie ziemi i tsunami (kolekcja Kozaka)



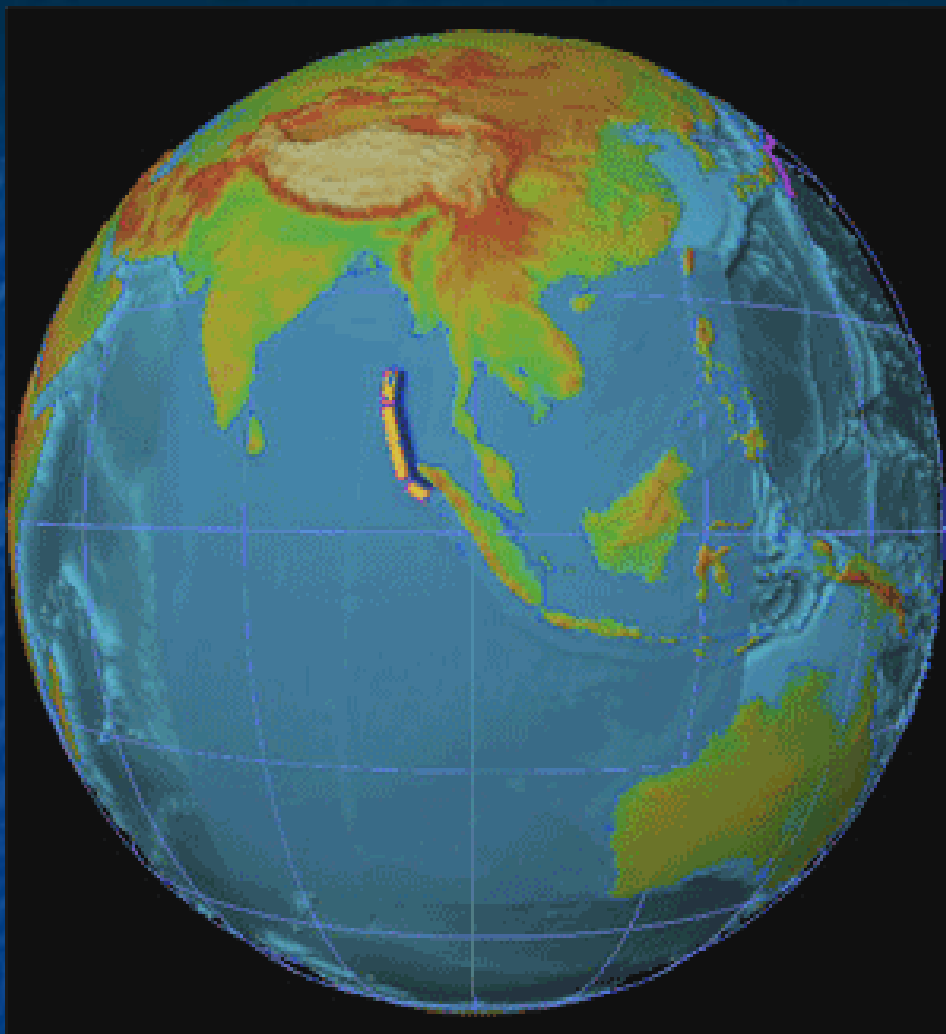


Lizbona, 1.11.1755



Tsunami Sumatra 2004

Tsunami, Sumatra, 26.12.2004



Skutki tsunami 26.12.2004

Po tsunami



29 grudnia 2004

Przed tsunami



10 stycznia 2003

Przed ...



30.09.2009

Trzęsienia ziemi i tsunami

38

po ...



Banda Aceh, Indonezja



Przed tsunami (23.06.2004)

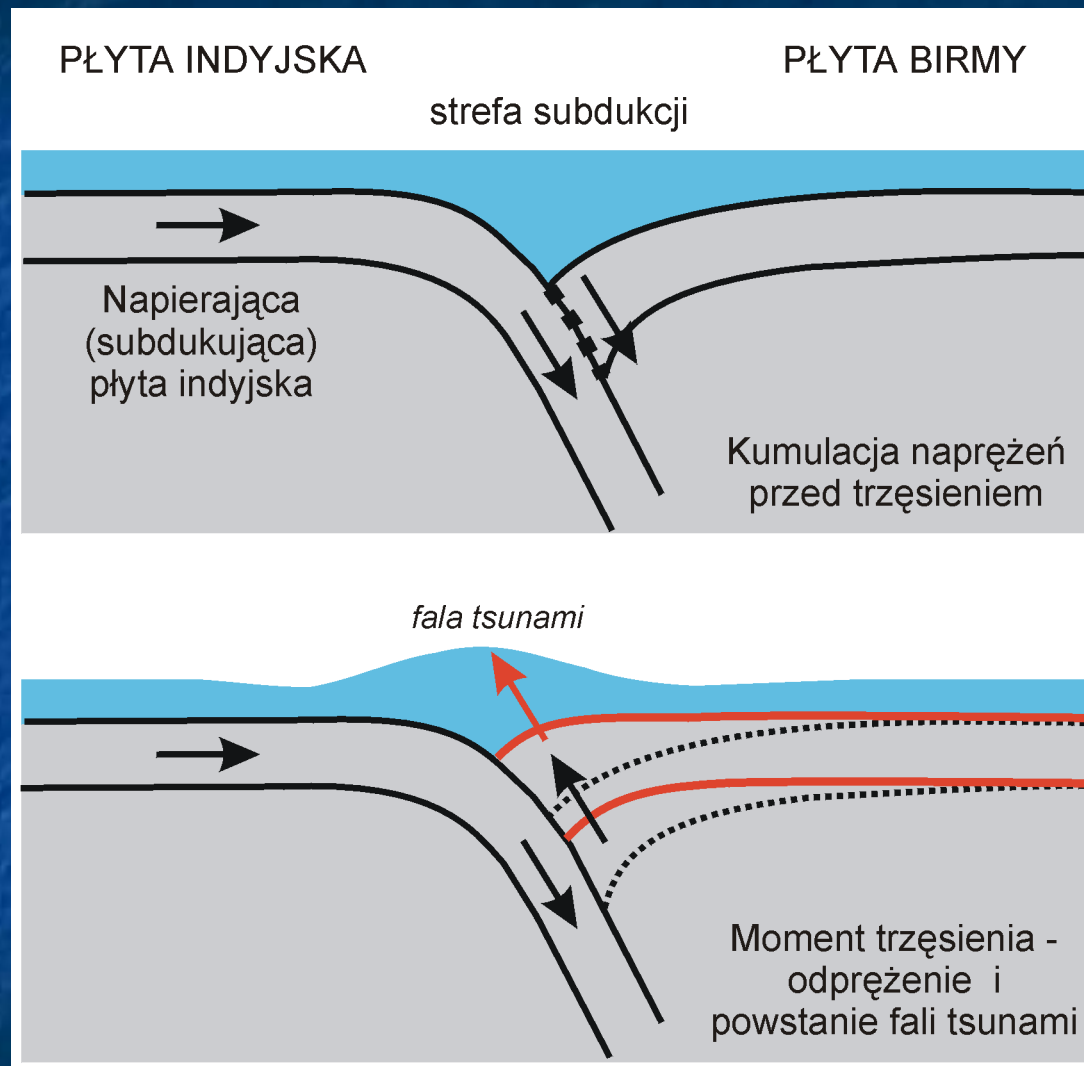


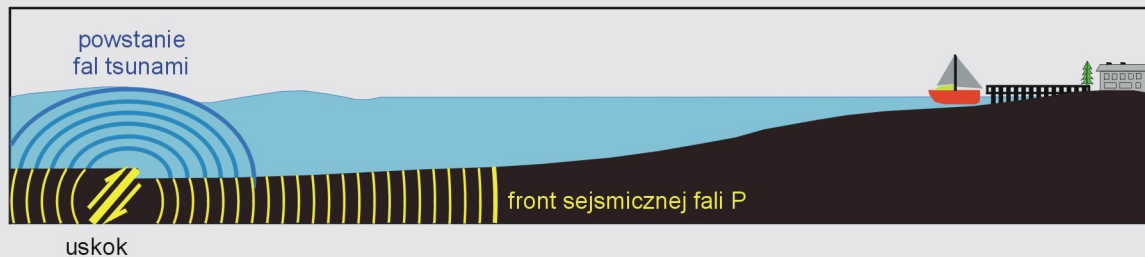
Po tsunami (28.12.2004)

<http://www.globexplorer.com/disasterimages>

Sumatra 2004

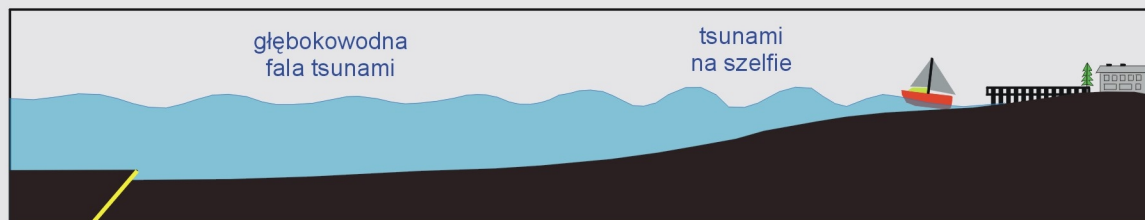
trzęsienie ziemi – źródło tsunami



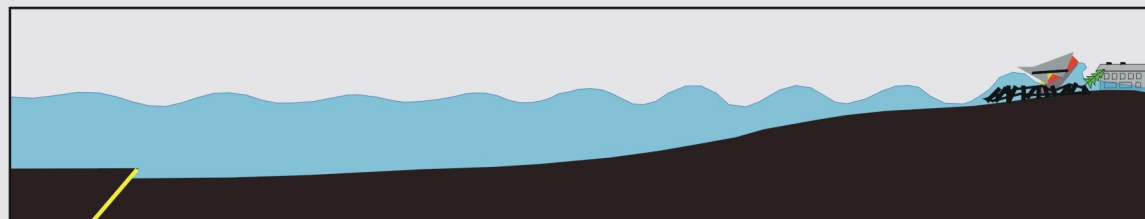


(a) podmorskie trzęsienie ziemi;
prędkość fal P 8-10 km/s
powstanie fal tsunami

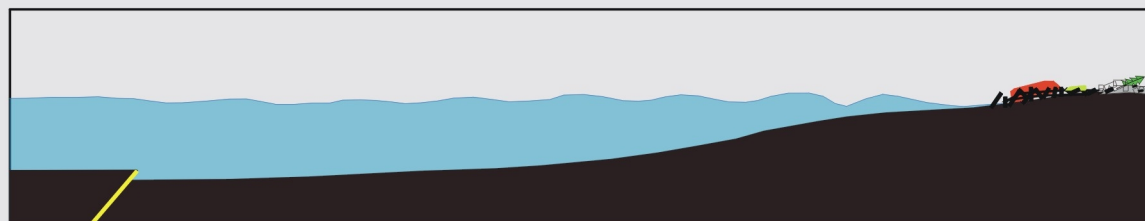
$$V_{\text{tsunami}} = (gh)^{1/2}$$



(b) długość fal tsunami ok. 160 km;
prędkość 500-800 km/godz;
cofnięcie morza



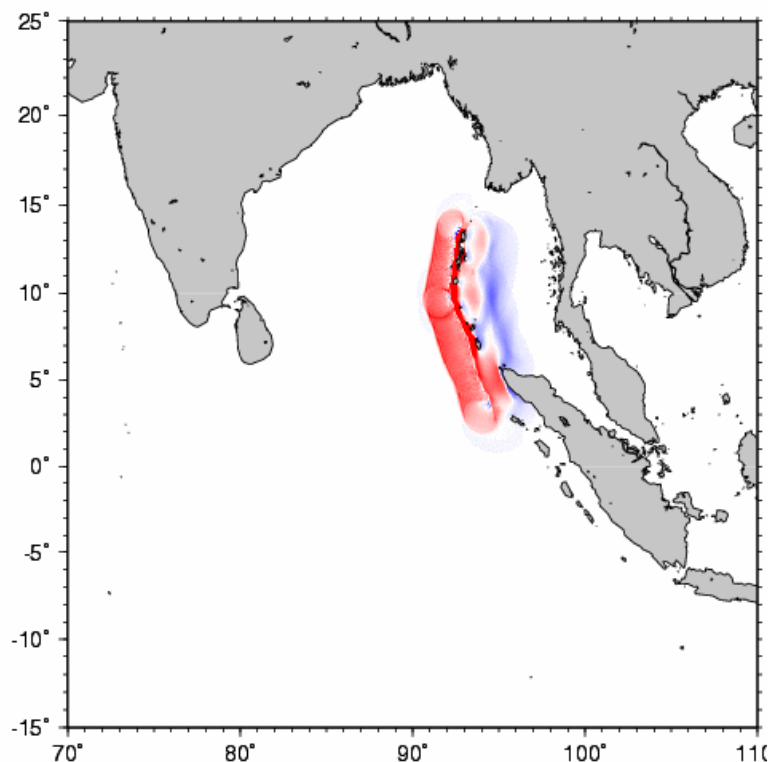
(c) amplituda fal tsunami:
do 0,5-1 m na oceanie,
do 20-30 m na szelfie;
nadejście fali, zniszczenie



(d) cofnięcie morza

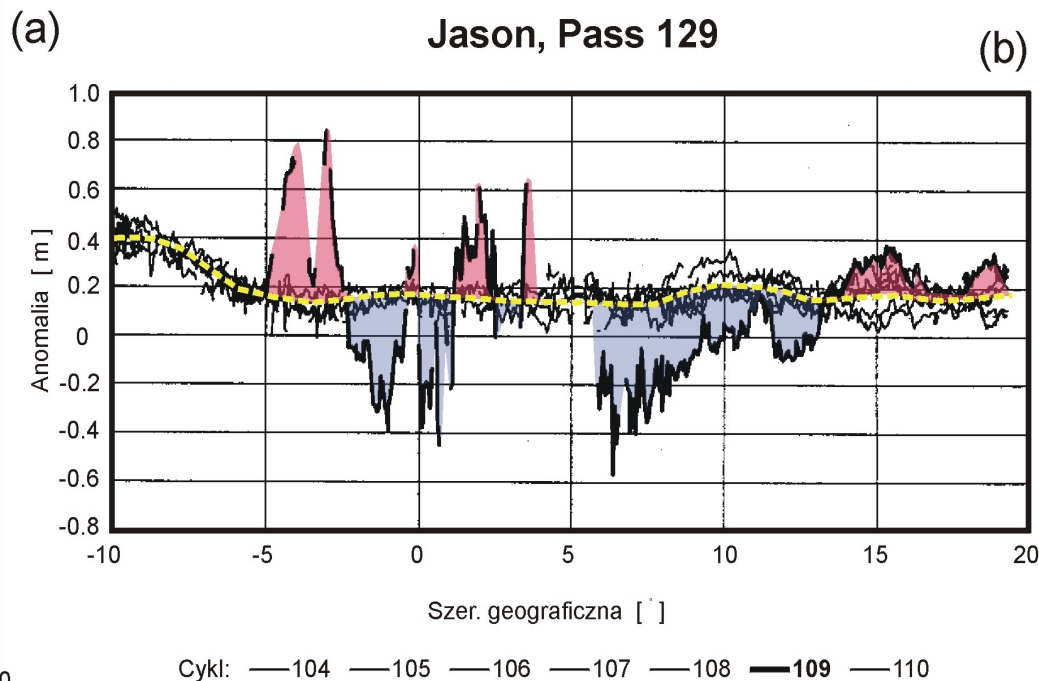
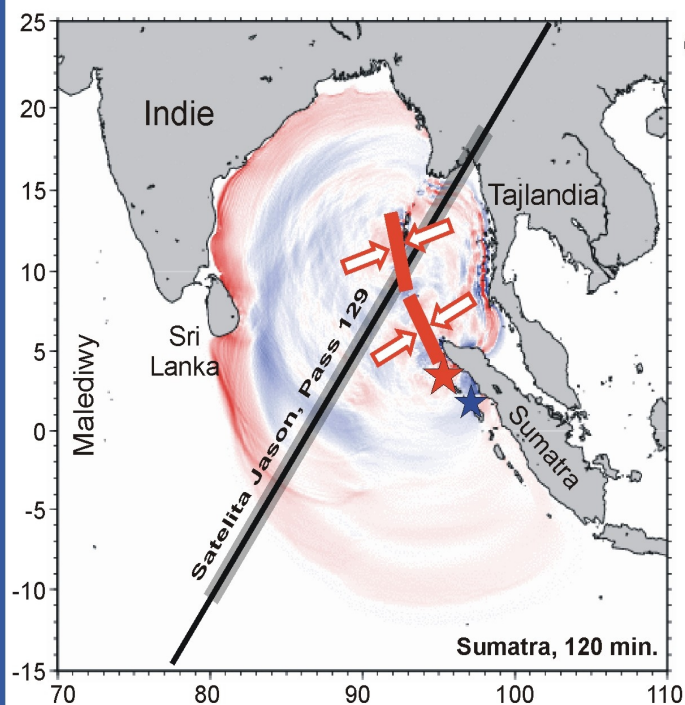
Tsunami, Sumatra, 26.12.2004

2004 Sumatra Earthquake 010 min



Tsunami Animation: National Institute of Advanced
Industrial Science and Technology, Japan
<http://staff.aist.go.jp/kenji.satake/Sumatra-E.html>

Anomalie wysokości poziomu morza zarejestrowane przez satelitę JASON 2 godziny po trzęsieniu ziemi, Sumatra, 26 grudnia 2004



prędkość fali tsunami $c_g \approx c_f \approx (gh)^{\frac{1}{2}}$

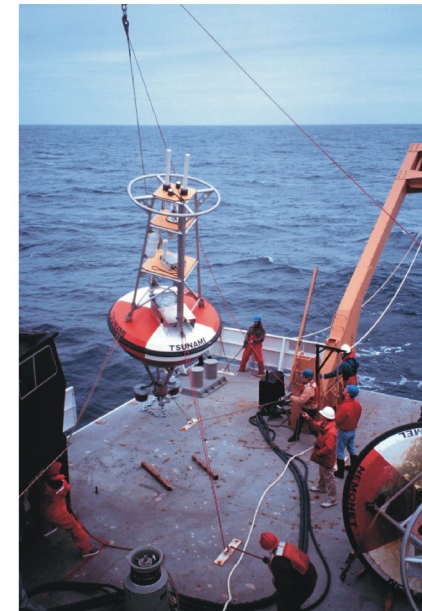
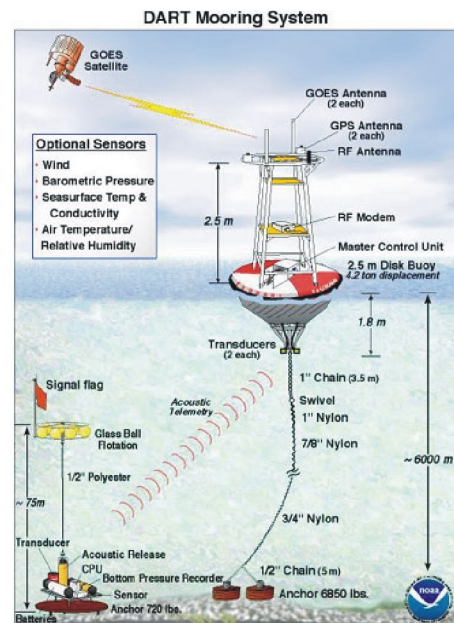
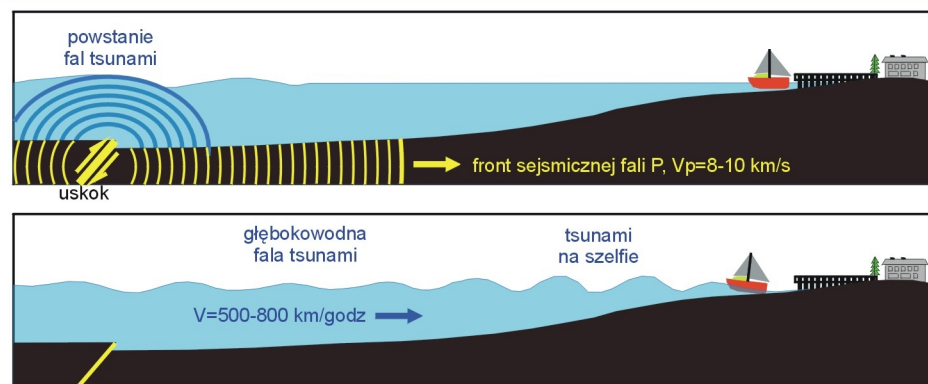
Najtragiczniejsze w skutkach tsunami po roku 1850

Lokalizacja	Rok	Liczba ofiar	Lokalizacja	Rok	Liczba ofiar
1. Krakatau	1883	35.500	Japonia	1854	3.000
2. Chile	1868	25.674	Indonezja	1861	1.700
3. Japonia	1896	21.959	Chile	1868	25.674
4. Filipiny	1976	8.000	Krakatau	1883	35.500
5. Indonezja	1899	3.620	Japonia	1896	21.959
6. Japonia	1933	3.064	Indonezja	1899	3.620
7. Japonia	1854	3.000	Japonia	1923	2.144
8. Papua N. Gwinea	1998	2.182	Japonia	1933	3.064
9. Japonia	1923	2.144	Japonia	1946	1.330
10. Indonezja	1861	1.700	Filipiny	1976	8.000
11. Indonezja	1992	1.500	Indonezja	1992	1.500
12. Japonia	1946	1.330	Papua N. Gwinea	1998	2.182

Płn. Sumatra 2004 ~300.000

Tsunami

system ostrzegania DART



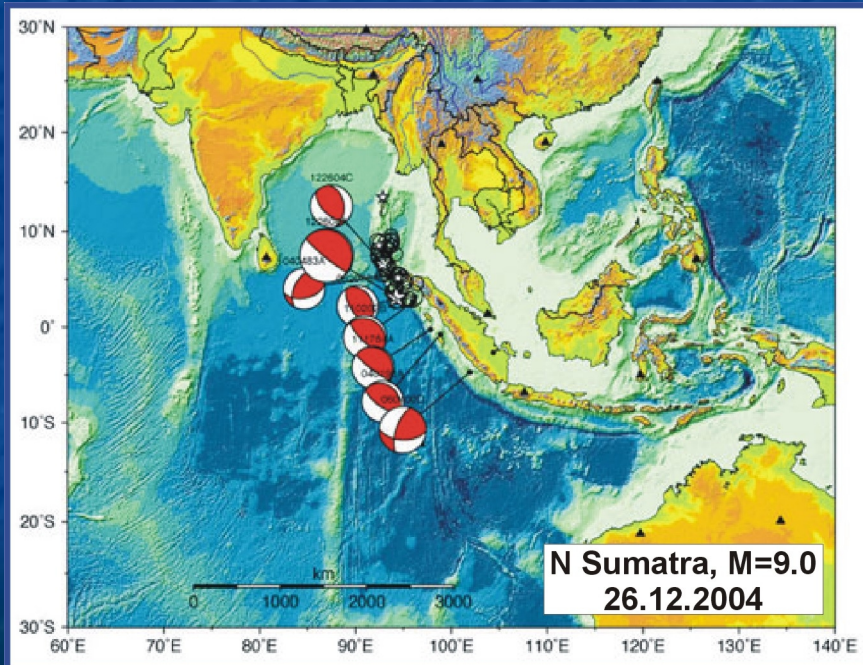
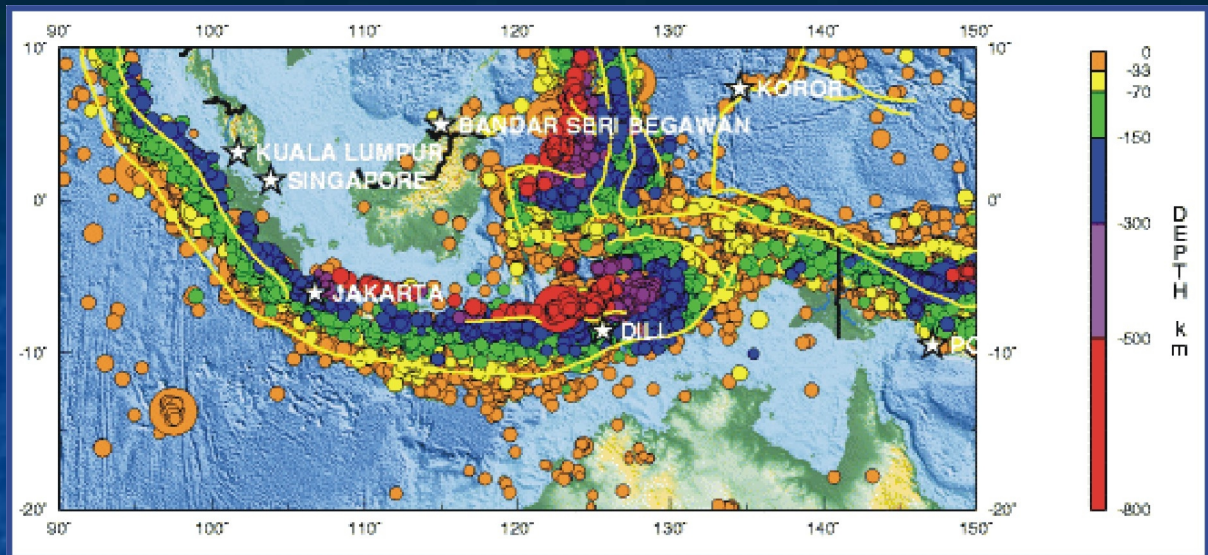
- amplituda do 0,5 - 1 m na oceanie
- pomiar ciśnienia na dnie daje różnice poziomu z dokładnością $\sim 1 \text{ cm}$
- przesyłanie informacji do boi za pomocą fal dźwiękowych
- dalej przez satelitę do stacji naziemnych
- spiętrzenie fal na szelfie i wybrzeżu do 20 - 30 m

Sumatra 2004

wstrząs główny i

wstrząsy następne

Sejsmiczność Indonezji 1990-2000



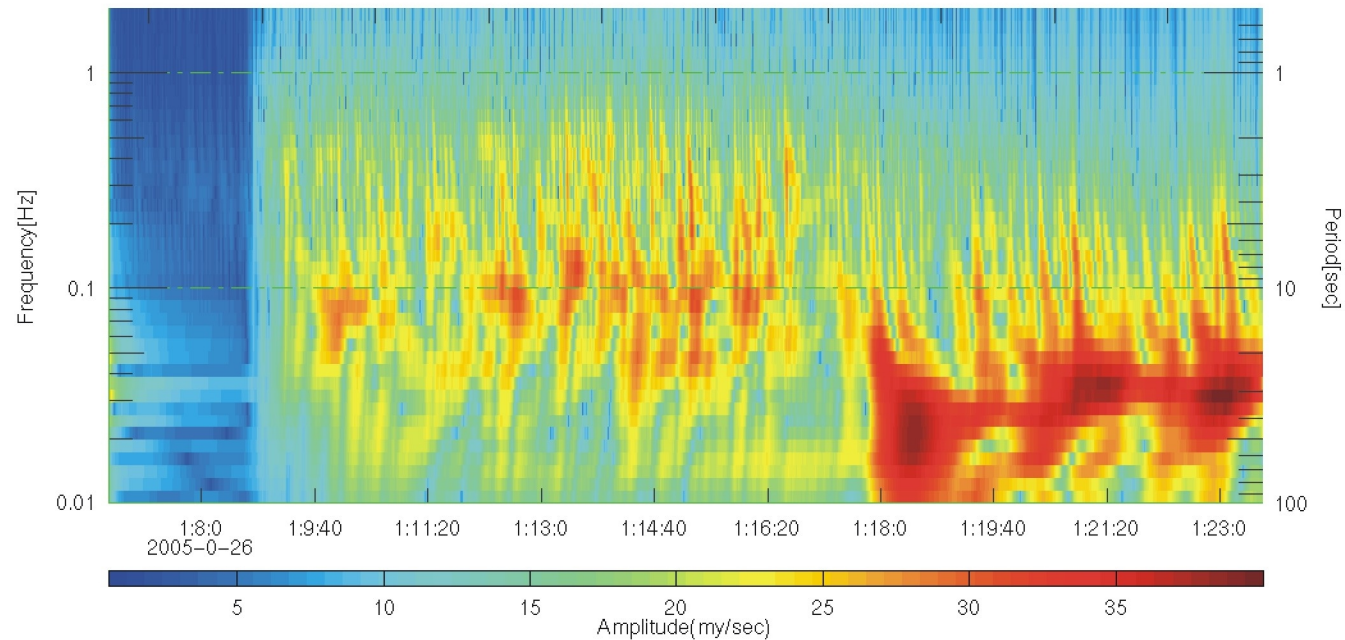
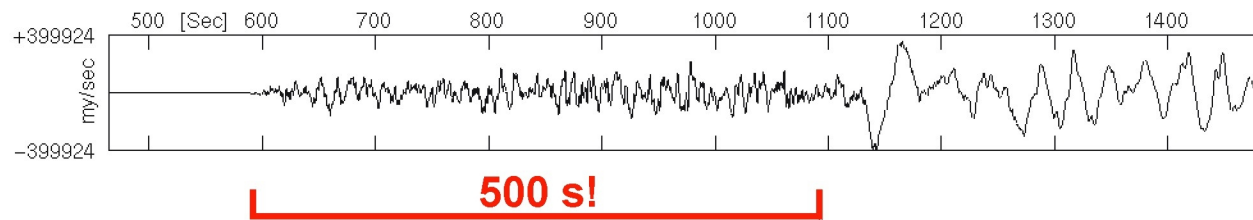
Źródło tsunami 26.12.2004

- trzęsienie ziemi $M=9,3$
- uskok długości ok. 1200 km
- głębokość ok. 10 km
- prędkość rozrywu ok. 2,5 km/s

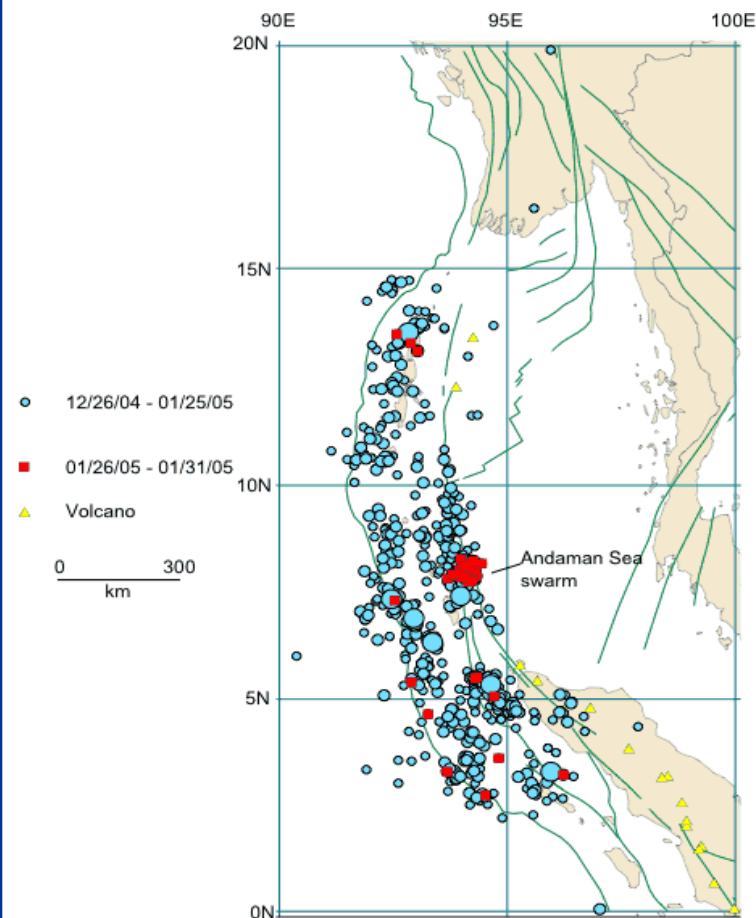
FURI Lon:38.7 Lat: 8.9 Azimuth=278.4 Deg Delta=57.2 Deg (6359km)

OFF WEST COAST OF NORTHERN SUMATRA Lon:95.98 Lat:3.3 Depth=30km 2004-12-26

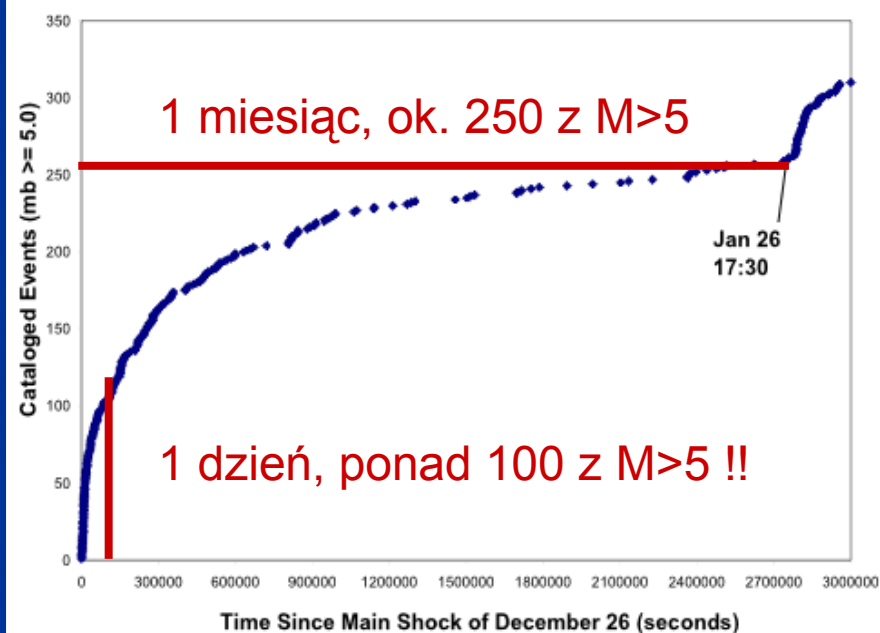
Butterworth-Filter: Number=40 Order=1 Width=0.50 Octave



Wstrząsy następne

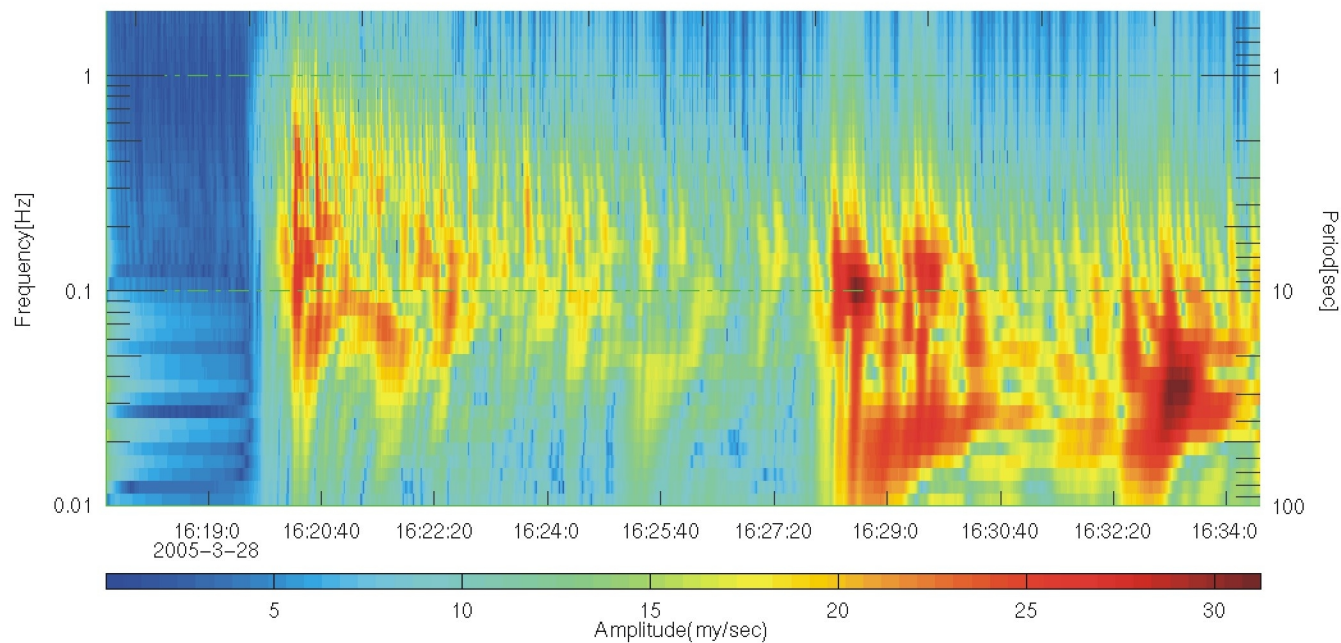
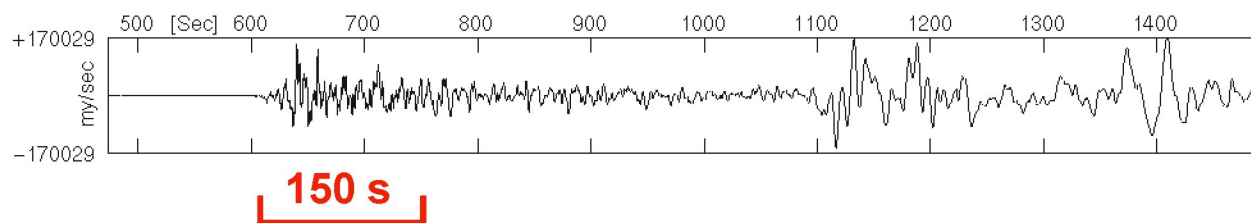


Location of Andaman Sea swarm (dense cluster of red squares) with respect to aftershocks of the December 26 earthquake that occurred prior to January 26 (blue circles).



Cumulative number of QED aftershocks, mb ≥ 5.0 , as a function of time since Sumatra main shock of December 26, 2004. The numbers of cataloged events continues to increase, even for early days after the main shock, as USGS/NEIC analysts continue to work through data, but a conspicuous episode of activity beginning at about 17:30 UTC, January 26, will be a feature of any final chart.

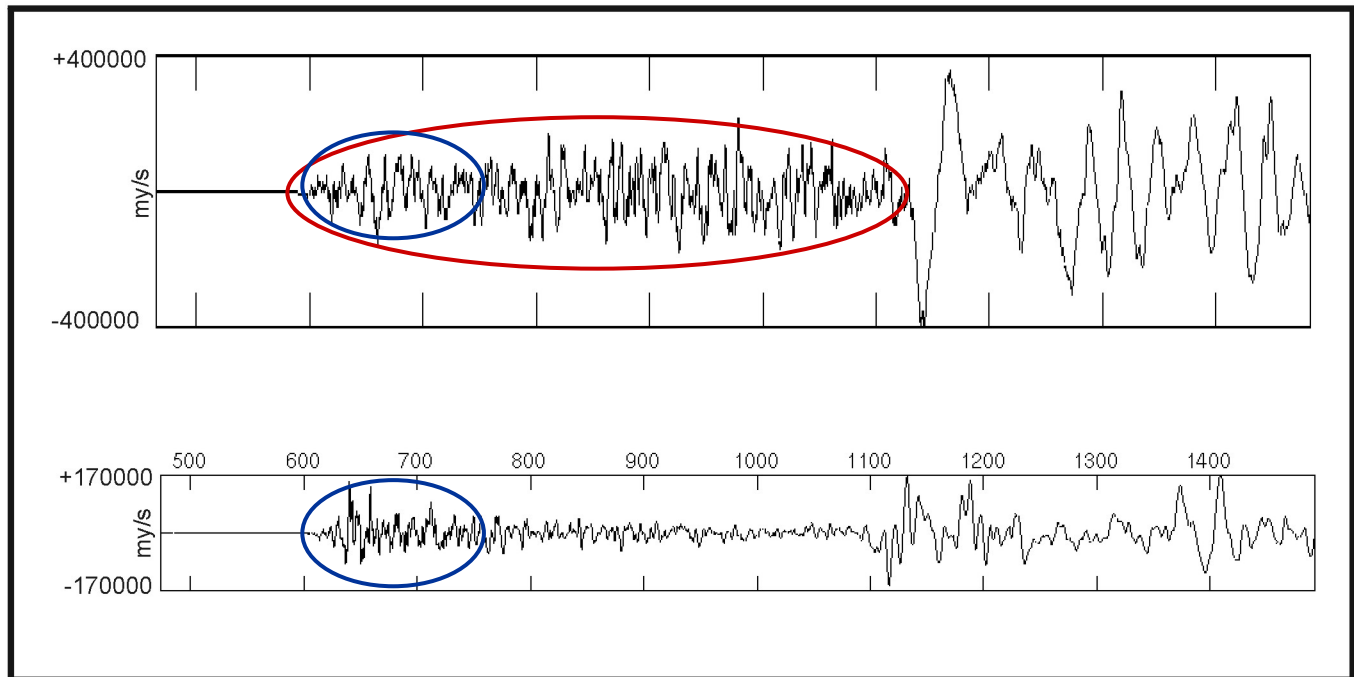
FURI Lon:38.7 Lat: 8.9 Azimuth=279.1 Deg Delta=58.5 Deg (6504km)
OFF WEST COAST OF NORTHERN SUMATRA Lon:97.11 Lat:2.09 Depth=30km 2005-03-28
Butterworth-Filter: Number=40 Order=1 Width=0.50 Octave



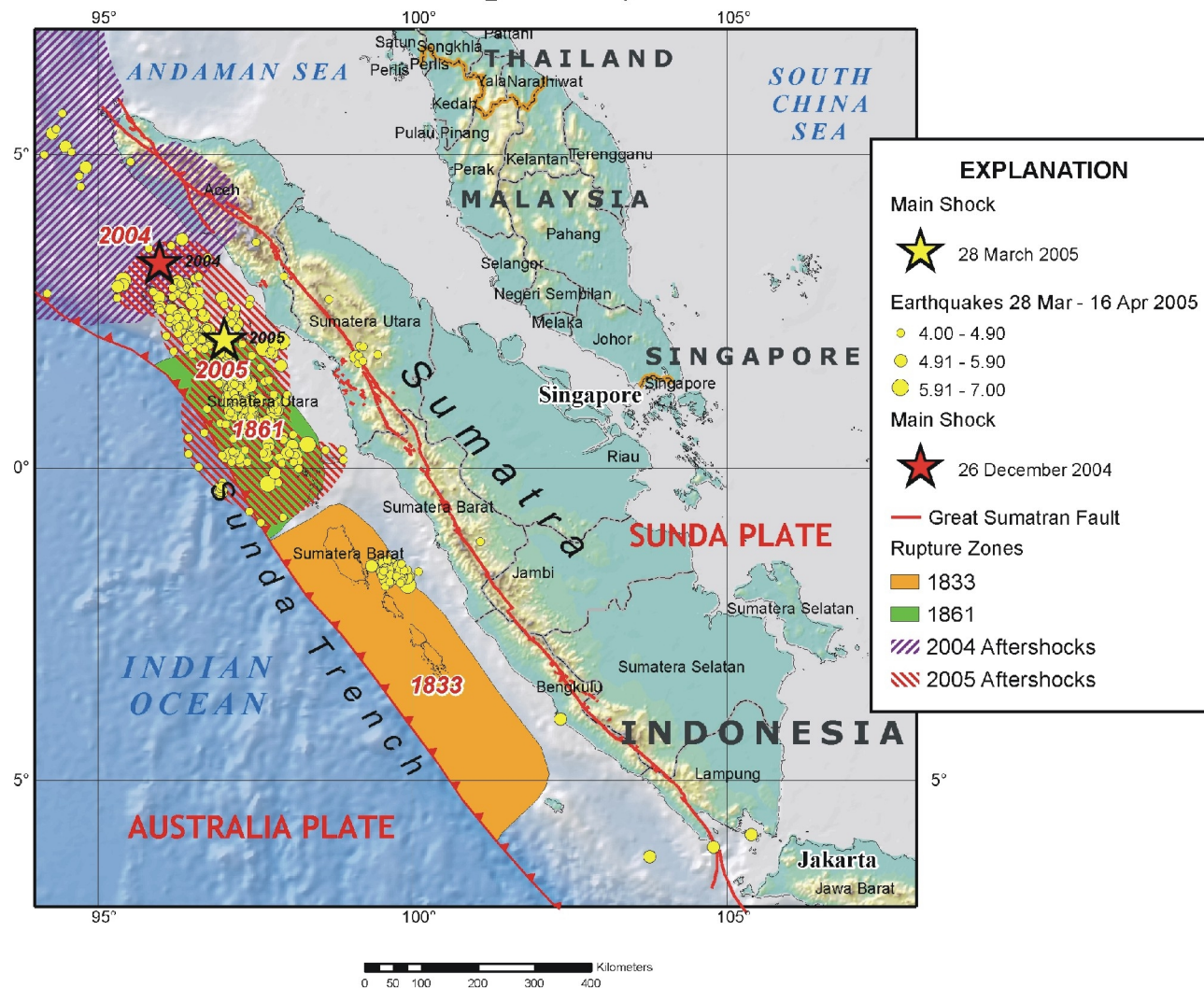
stacja FURI, $\Delta \approx 58^\circ$, $az \approx 278^\circ$

Sumatra
26.12.2004
M=9,3

Sumatra
28.03.2005
M=8,7



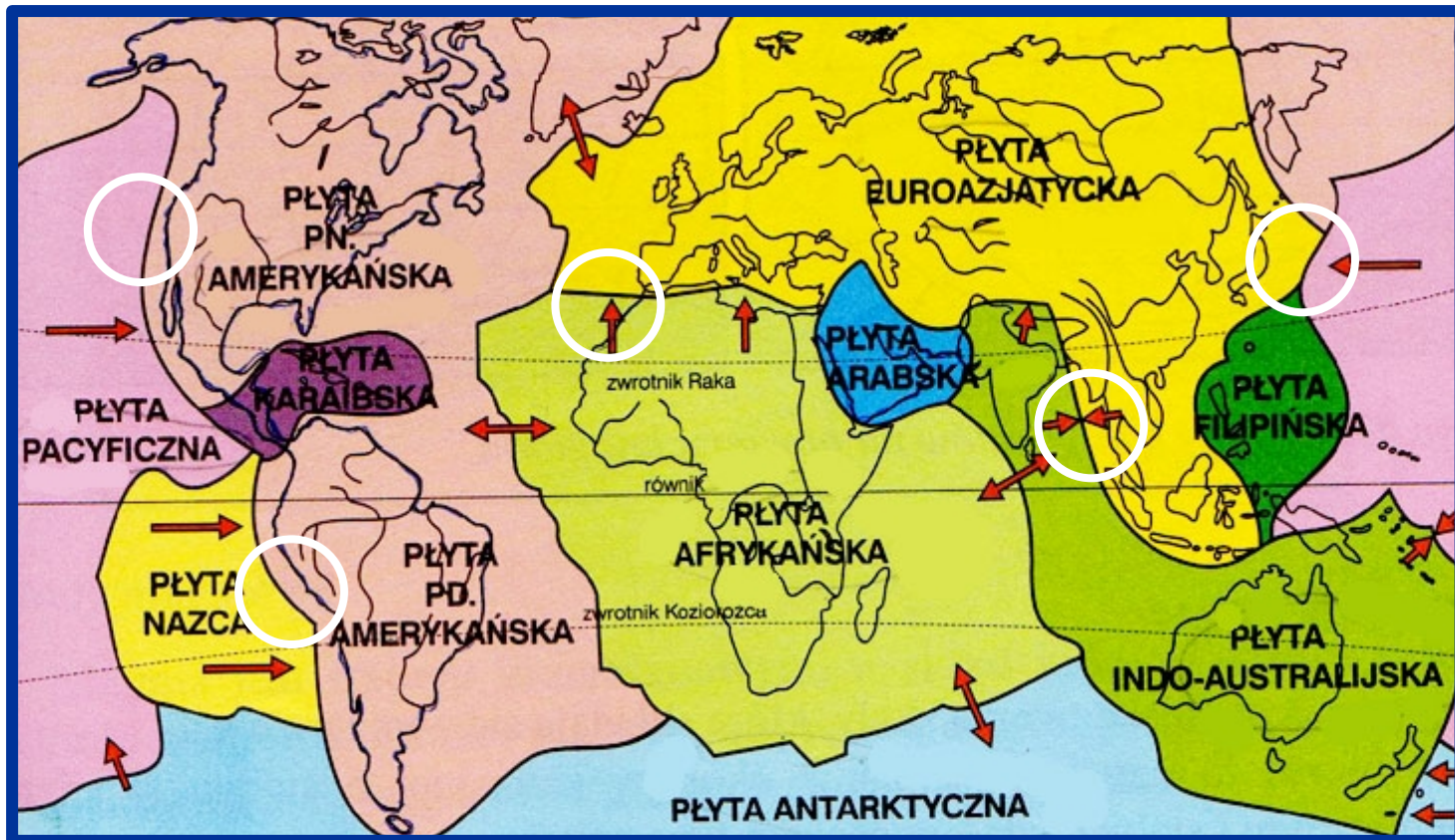
Northern Sumatra Earthquake of 28 March 2005



18 April 2005 @ 1000 MDT

Czy zagrażają nam trzęsienia ziemi i tsunami w przyszłości ?

Płyty litosferyczne i ich współczesny ruch



↔ strefy kolizji – potencjalne miejsca wystąpienia silnych trzęsień ziemi

○ na oceanie – potencjalne miejsca wystąpienia fal tsunami

Koniec



San Andreas

Podstawowe źródła



- B.A.Bolt, Earthquakes, 1999
- Tsunami Research at the End of a Critical Decade, Kluwer, 2001
- <http://staff.aist.go.jp/kenji.satake/Sumatra-E.html>
- E.J.Tarbuck, F.K.Lutgens, Earth Science, 1988
- H.V.Thurman, Introductory Oceanography, 1988
- P.Wiejacz, W.Dębski, AGP, 2004
- <http://www.seis.igf.edu.pl>
- A.Guterch i in., Tectonophysics, 1999
- A.Guterch i in., Prz. Geol., 2004
- <http://www.neic.usgs>
- kolekcja Kozaka

