

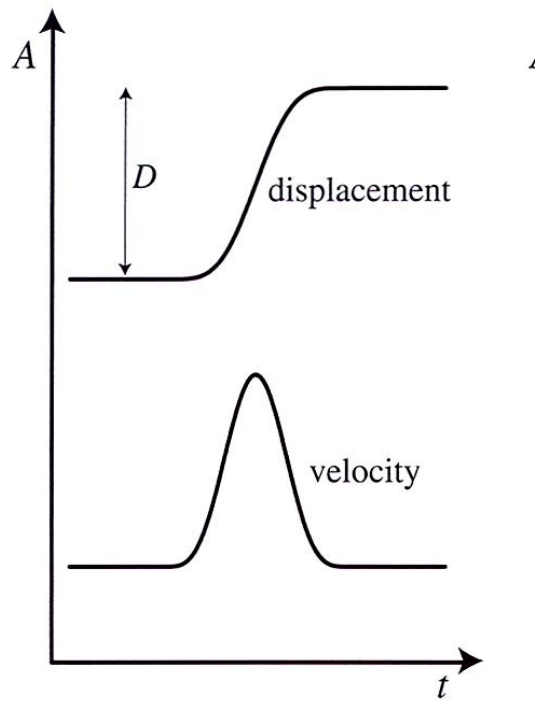
Environmentálna geofyzika

Prednášajúci: RNDr. Róbert Kysel, PhD. F1-206
Doc. RNDr. Sebastián Ševčík, CSc. F1-161

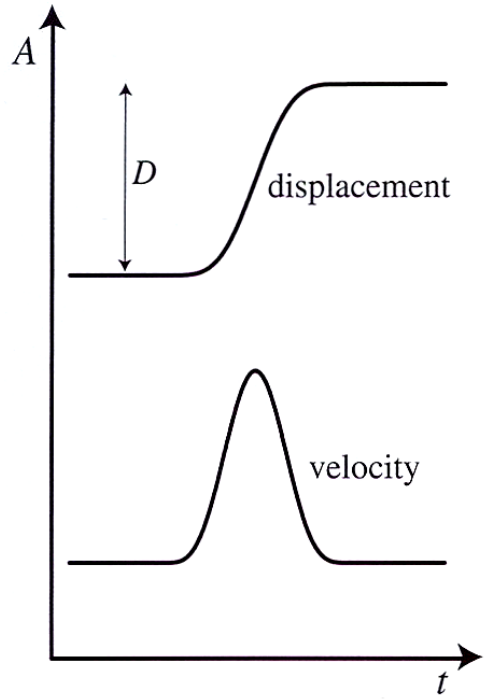
Sylabus

- Základy teórie elastických vln
- Momentový tenzor
- Určovanie mechanizmu ohniska
- Makroseizmická intenzita, makroseizmické stupnice
- Veľkosť zemetrasenia, magnitúdo a jeho druhy
- Saturácia magnitúda
- Lokalizácia zemetrasení
- Seizmometre
- Seizmogramy
- Vlnový obsah seizmogramov pre blízke zemetrasenia
- Hodochrony
- Lokálne efekty
- Pravdepodobnostná analýza seizmického ohrozenia

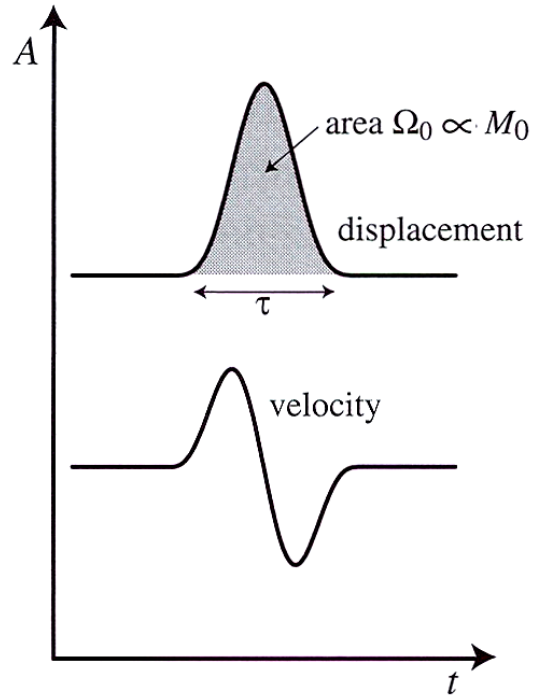
Near-field

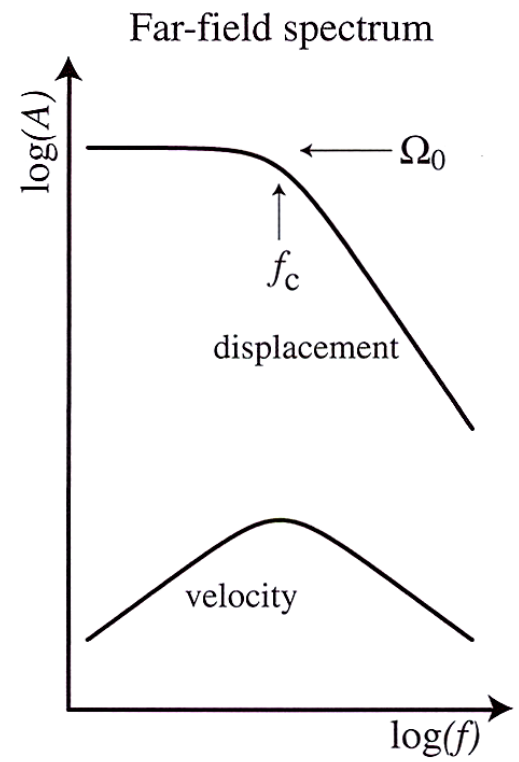
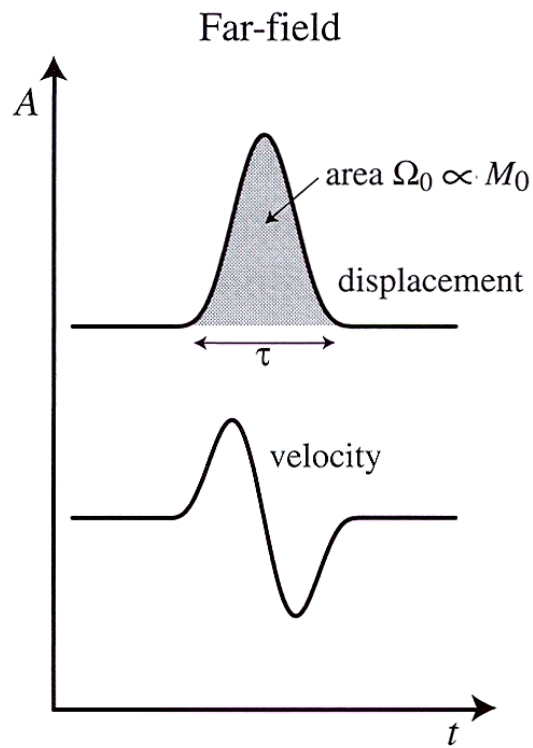
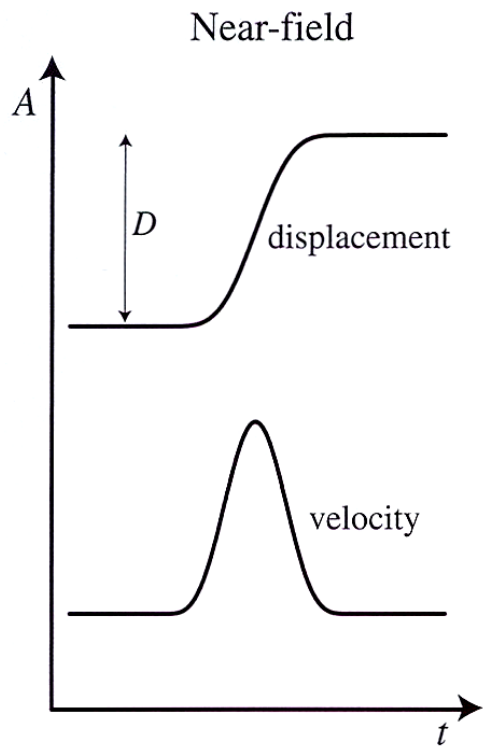


Near-field

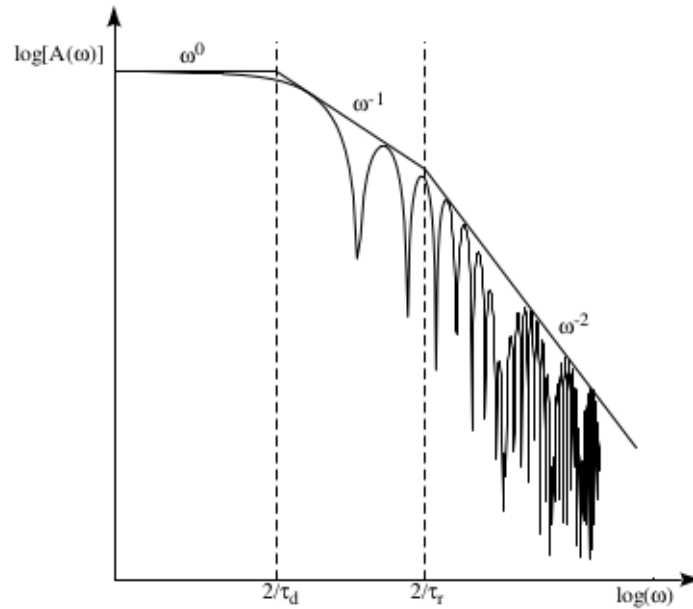


Far-field





amplitúdové spektrum pre Haskellov model zdroja



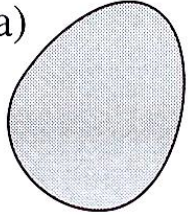
$$\begin{aligned}
 \log|A(\omega)| - G &= \log M_0 \\
 &= \log M_0 - \log \frac{\tau_d}{2} - \log \omega \\
 &= \log M_0 - \log \frac{\tau_d \tau_r}{4} - 2 \log \omega
 \end{aligned}$$

$$\omega < 2/\tau_d$$

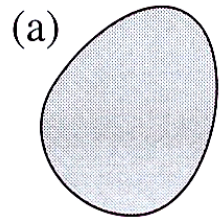
$$2/\tau_d < \omega < 2/\tau_r$$

$$2/\tau_r < \omega$$

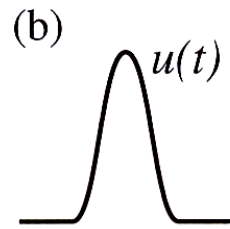
(a)

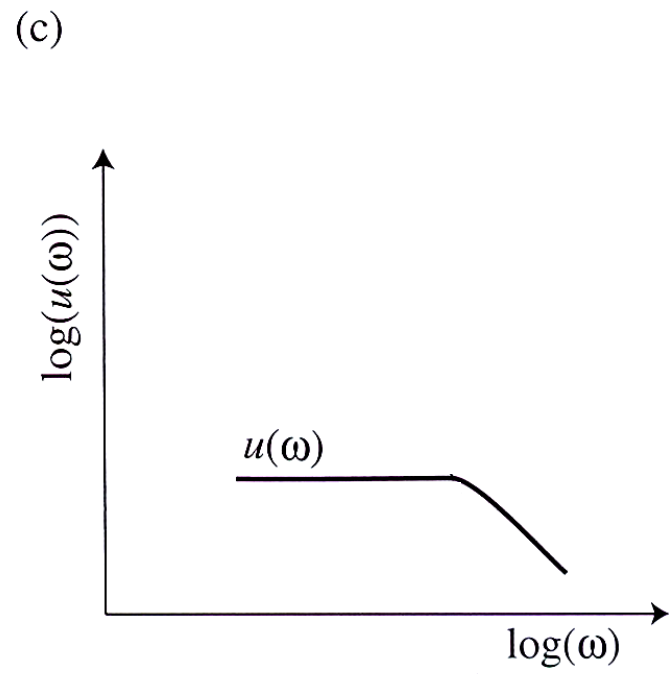
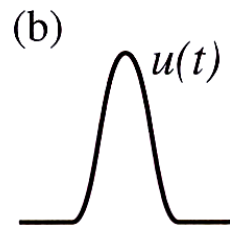
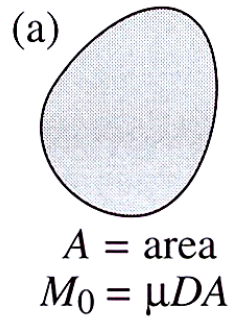


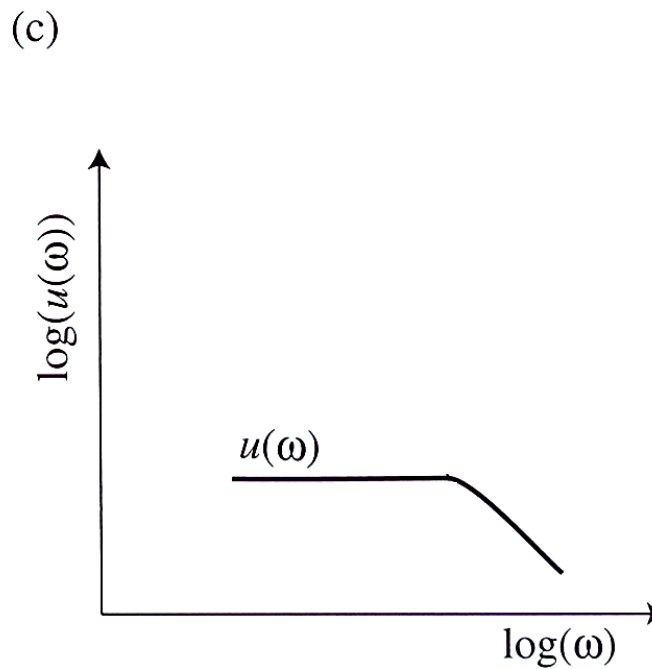
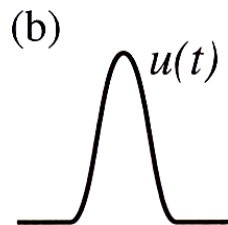
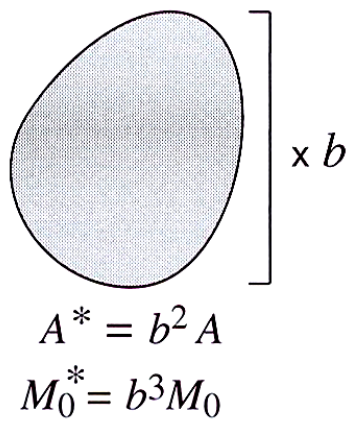
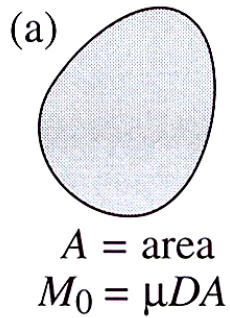
$$A = \text{area}$$
$$M_0 = \mu DA$$

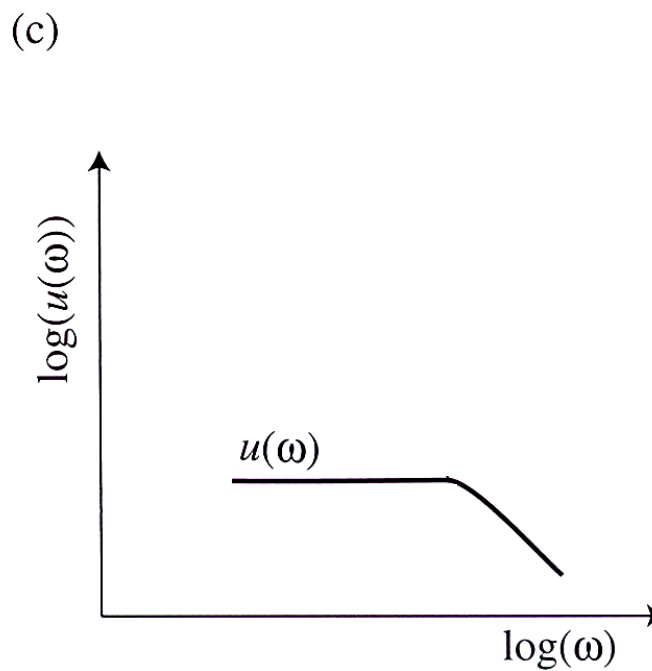
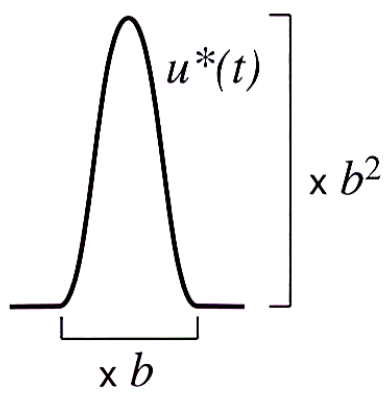
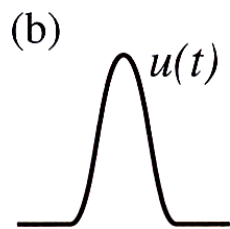
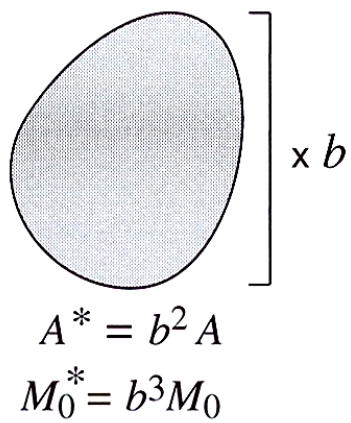
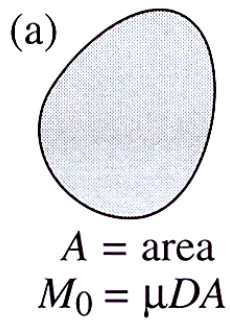


$A = \text{area}$
 $M_0 = \mu DA$

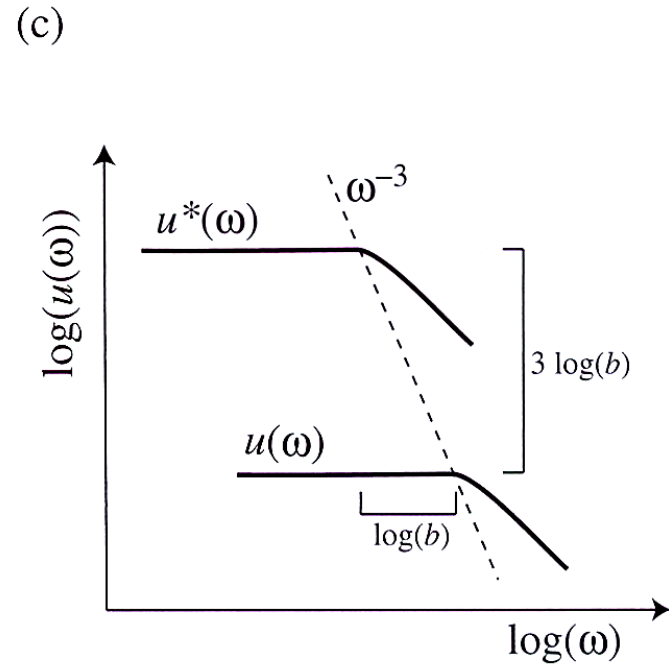
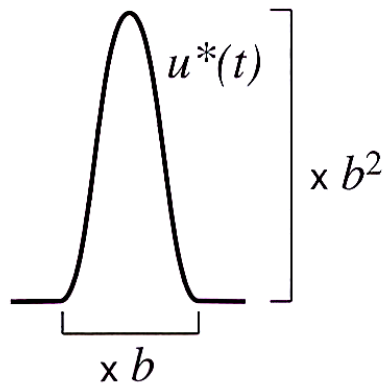
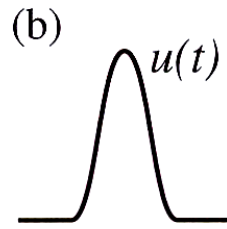
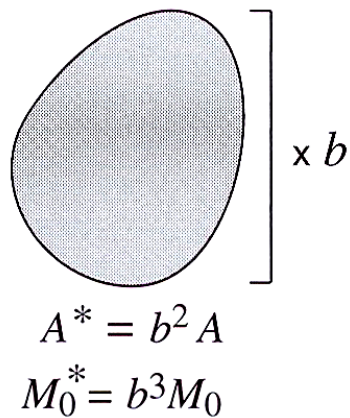
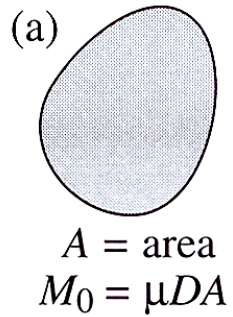




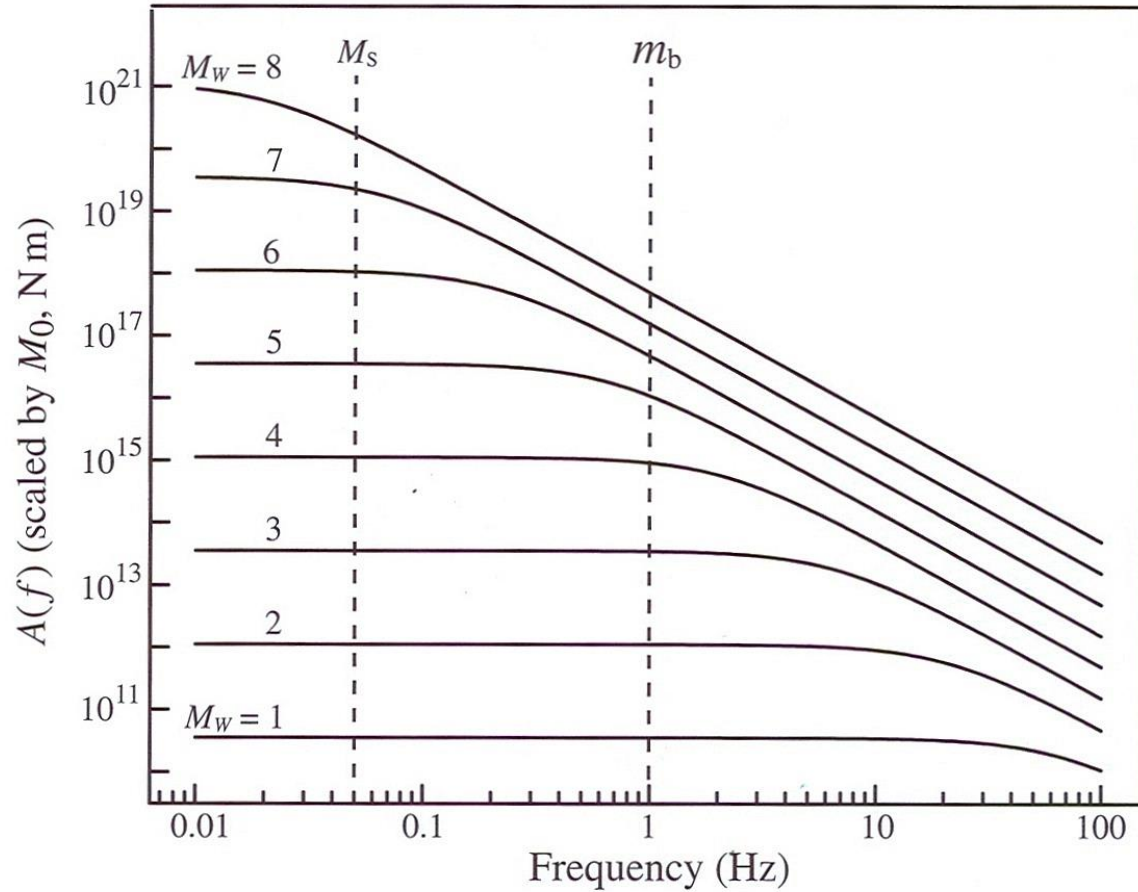




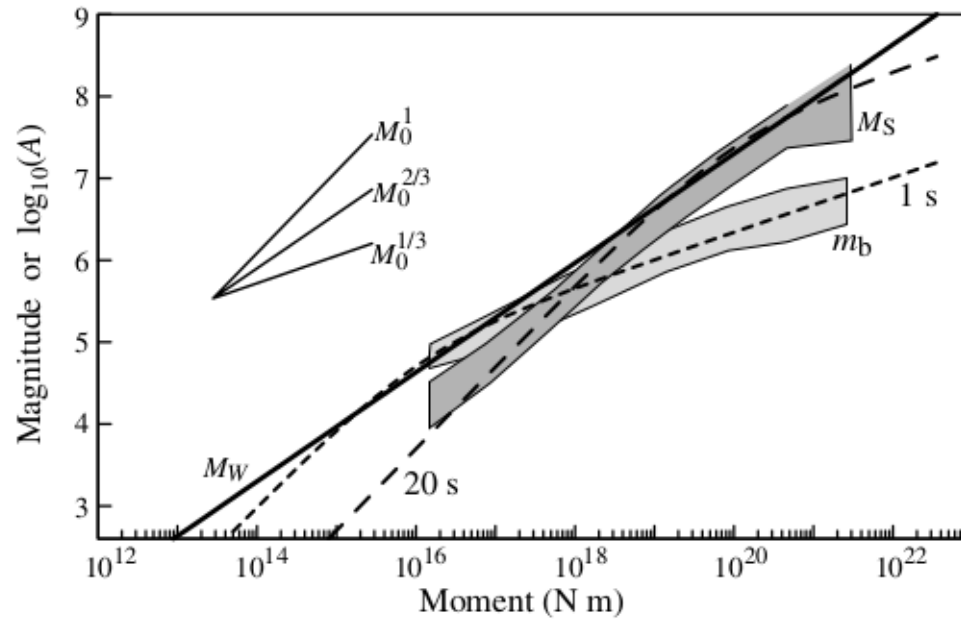
sebapodobnosť zemetrasení pri náraste rozmeru o faktor b



závislosť skalárneho seizmického momentu M_0 od frekvencie



závislosť magnitúd m_b , M_S a M_W
od skalárneho seizmického momentu M_0



Veľkosť zemetrasenia

Všetky klasické magnitúda
trpia saturáciou

-

od určitej veľkosti nie sú schopné
rozoznať väčšie zemetrasenia

V súčasnosti sa používajú len kvôli
formálnej ľahkosti určenia zo záznamu
na prvý odhad veľkosti zemetrasenia

Veľkosť zemetrasenia

najdôležitejšia charakteristika
veľkosti zemetrasenia

seizmický moment

zlomová plocha

$$M_0 = \mu \cdot A \cdot D$$

$$\left[Nm = Nm^{-2} \cdot m^2 \cdot m \right]$$

porušená plocha
=
celková plocha trhliny (A)

$$\approx 10^{23} Nm \text{ Chile 1960}$$

$$\approx 10^5 Nm \text{ mikrozemetrasenie}$$

$$\approx 10^{-2} Nm \text{ mikrofraktúra v laboratórnej vzorke}$$

Veľkosť zemetrasenia

od

seizmického momentu

je odvodené

momentové magnitúdo M_w

$$M_w = \frac{2}{3} \log M_0 \text{ Nm} - 9.1$$

Poznámka

Pôvodné Richterove magnitúdo
je len lokálnym magnitúdom pre Kaliforniu,
pevnú epicentrálnu vzdialenosť a dokonca i konkrétny seizmometer

Modifikované magnitúda
založené na Richterovom prístupe
sa používajú len na **hrubý dočasný odhad**

Veľkosť zemetrasenia sa kvantifikuje
seizmickým momentom
(a z neho umelo definovaným momentovým magnitúdom)
ktoré
vôbec nesúvisia s Richterovým prístupom

Preto seizmológovia v súčasnosti
nepoužívajú slovné spojenie
Richterove magnitúdo alebo Richterova stupnica

Veľkosť zemetrasenia

Energia uvoľnená vo forme seizmických vln

$$E \approx \frac{\Delta\sigma}{2\mu} M_0$$

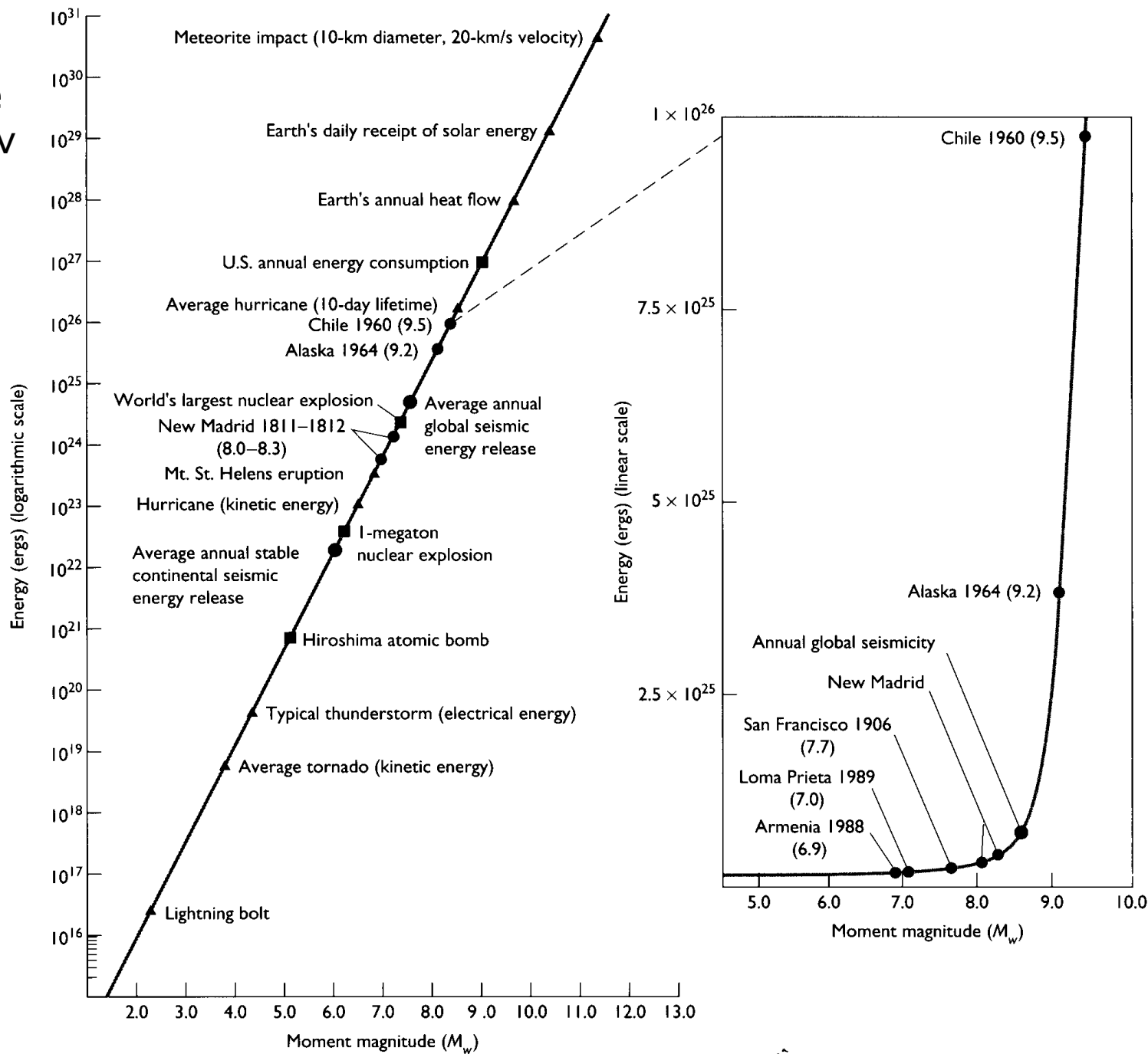
$$\Delta\sigma \approx 10^6 - 10^7 \text{ Pa}$$

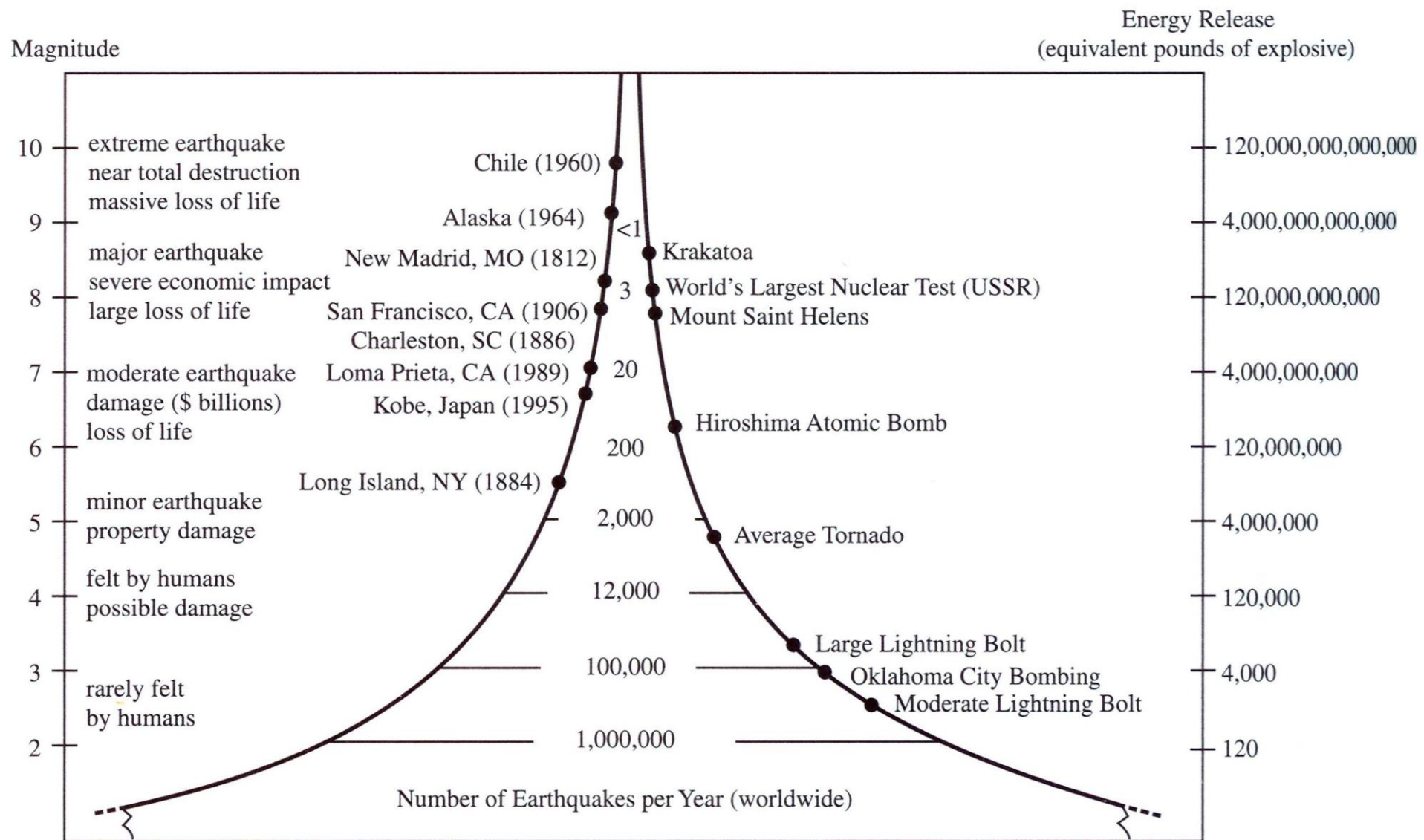
$$\overline{\Delta\sigma} \approx 3 \times 10^6 \text{ Pa} \quad \text{na kontakte platní}$$

$$\overline{\Delta\sigma} \approx 10^7 \text{ Pa} \quad \text{vnútri platní}$$

$$\mu \approx 10^{10} - 10^{11} \text{ Pa}$$

1 Joule
= 10^7 ergov





Účinky zemetrasení

Účinky zemetrasení

Účinky zemetrasení
na ľudí, predmety, budovy a prírodu
na danej lokalite

=

makroseizmické účinky

kvantifikované sú pomocou
makroseismickej intenzity (I)

makroseizmická intenzita je určovaná
v stupňoch

makroseismickej stupnice

V Európe i u nás je používaná stupnica **EMS-98**
(**European Macroseismic Scale**)

Iné stupnice : MCS, MSK-64, MM, JMA

EMS98 - Európska makroseizmická stupnica 1998

I	Definícia	Skrátený popis typických účinkov
1	nepocítené	Nepocítené.
2	zriedkavo pocítené	Pocítené len jednotlivcami na niektorých miestach v domoch.
3	slabé	Zemetrasenie vnútri cítia niekoľkí (0-20%). Ľudia nanajvýš cítia hojdanie alebo ľahké chvenie.
4	značne pozorované	Zemetrasenie vo vnútri cítia mnohí (10-60%), vonku len výnimočne. Niekoľkí sú prebudení. Okná, dvere a riad štrngajú.
5	silné	Zemetrasenie vo vnútri cíti väčšina (50-100%), vonku niekoľkí. Mnohí spiaci sa prebudia. Niekoľkí sú vystrašení. Budovy vibrujú. Visiace objekty sa značne hojdajú. Malé predmety sú posunuté. Dvere a okná sa otvárajú a zatvárajú.
6	mierne ničivé	Mnohí sú vystrašení a vybiehajú von. Niektoré predmety padnú. Mnohé budovy utrpia malé neštrukturálne škody ako napr. vlásočnicové trhliny alebo odpadnuté malé kúsky omietky.
7	ničivé	Väčšina ľudí je vystrašená a vybiehajú von. Nábytok je posunutý. Predmety padajú z políc vo veľkom množstve. Mnohé dobre postavené bežné budovy utrpia stredné škody: opadá omietka, padnú časti komínov; v stenách starších budov sú veľké trhliny a priečky sú zrútené.
8	ťažko ničivé	Mnohí majú problémy udržať rovnováhu. Mnohé domy majú veľké trhliny v stenách. Niekoľko dobre postavených bežných budov má vážne poškodené steny. Slabé staršie budovy sa môžu zrútiť.
9	deštruktívne	Všeobecná panika. Mnoho slabých budov sa zrúti. Aj dobre postavené bežné budovy utrpia veľmi ťažké škody: ťažké poškodenie stien a čiastočne aj štrukturálne škody.
10	veľmi deštruktívne	Mnohé dobre postavené bežné budovy sa zrúti.
11	devastujúce	Väčšina dobre postavených bežných budov sa zrúti. Aj niektoré budovy s dobrým antiseizmickým dizajnom sú zničené.
12	úplne devastujúce	Takmer všetky budovy sú zničené.

Účinky zemetrasení

veľkosť daného zemetrasenia je len JEDNA,

avšak

účinky jedného zemetrasenia
môžeme vyhodnotiť kdekoľvek,
kde sa zemetrasenie prejaví
na objektoch, budovách,
človeku a prírode

Účinky zemetrasení

veľkosť daného zemetrasenia je len JEDNA,

avšak

účinky jedného zemetrasenia
môžeme vyhodnotiť kdekoľvek,
kde sa zemetrasenie prejaví
na objektoch, budovách,
človeku a prírode

medzi veľkosťou zemetrasenia
(~ seizmický moment alebo momentové magnitúdo)

a

účinkami na danom mieste
(~ stupeň makroseizmickej intenzity)

nie je jednoduchý vzťah

Účinky zemetrasení

rozsah a charakter účinkov daného zemetrasenia
nezávisí len
od vzdialenosti od epicentra

Účinky zemetrasení

rozsah a charakter účinkov daného zemetrasenia
nezávisí len
od vzdialenosti od epicentra

v dôsledku nepriaznivých lokálnych podmienok
môže byť seizmický pohyb povrchu Zeme
silnejší (na nejakej frekvencii),
alebo môže **trvať dlhšie**
ako na miestach,
ktoré sú bližšie k epicentru

Lokálne efekty ***(site effects)***

pri šírení trhliny na zlomovej ploche

sú častice v okolí plochy vychýlené
zo svojej rovnovážnej polohy

pri šírení trhliny na zlomovej ploche

sú častice v okolí plochy vychýlené
zo svojej rovnovážnej polohy

v dôsledku pružných väzieb medzi časticami
začnú častice kmitať
a tento kmitavý pohyb
sa šíri do celého vnútra Zeme

hovoríme, že sa
v Zemi šíria seizmické vlny

keď seizmické vlny
dosiahnu povrch Zeme,
spôsobia jeho kmitavý pohyb

keď seizmické vlny
dosiahnu povrch Zeme,
spôsobia jeho kmitavý pohyb

hovoríme o seizmickom pohybe
alebo (zjednodušene)
o zemetrasení



mohli by sme uvažovať analogicky :

pre danú veľkosť plochy trhliny
a veľkosť odskoku pôvodne susediacich bodov

mohli by sme uvažovať analogicky :

pre danú veľkosť plochy trhliny
a veľkosť odskoku pôvodne susediacich bodov

bude amplitúda kmitavého pohybu
na danom mieste povrchu Zeme
tým menšia,

čím je dané miesto vzdialenejšie
od zlomu, na ktorom trhlina vznikla

je to skutečne tak ?

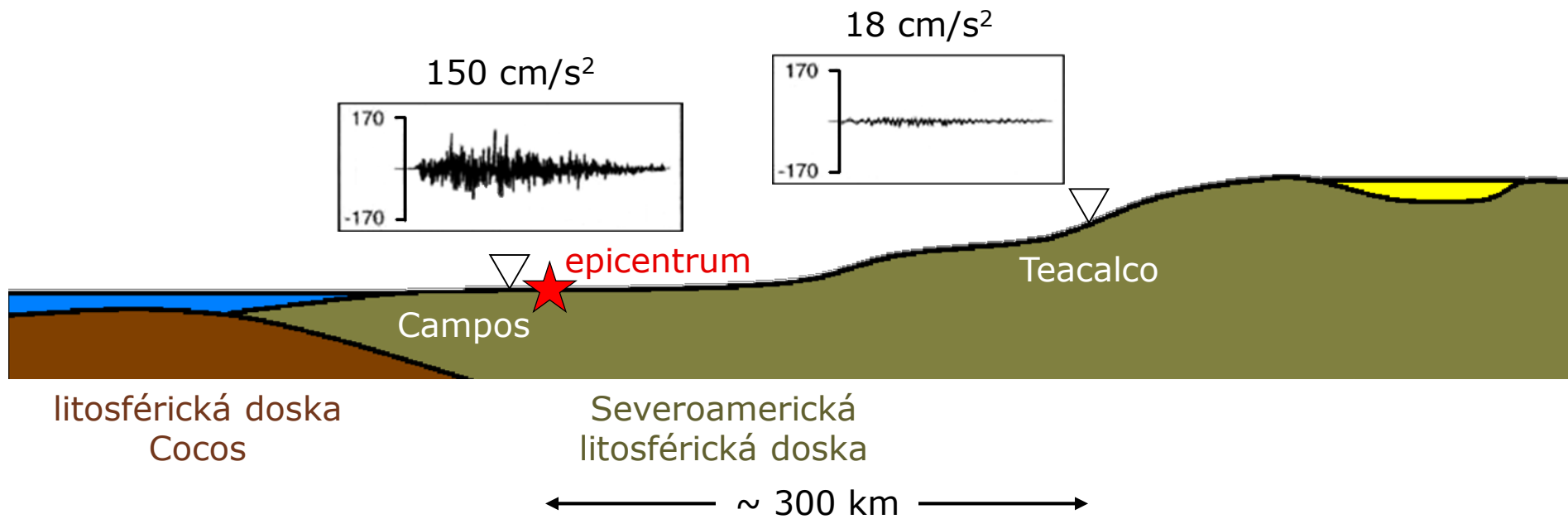
je to skutočne tak ?

nie,

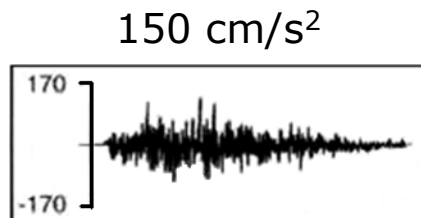
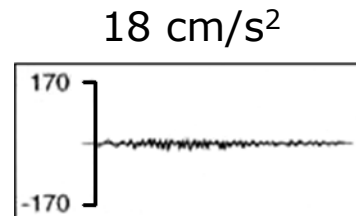
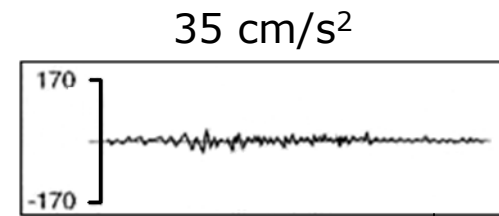
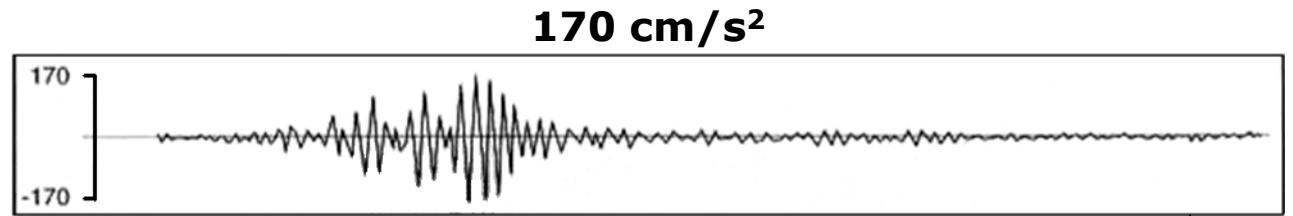
je to oveľa zložitejšie



zemetrasenie 1985 Mexiko



zemetrasenie 1985 Mexiko



litoférická doska
Cocos

Severoamerická
litoférická doska

Ciudad de México

~ 400 km



homogénny polpriestor



v takom prípade by
amplitúda skutočne klesala
so vzdialenosťou od zlomu

vrstva na polpriestore



frekvenčne selektívne zosilnenie a predĺženie trvania
v dôsledku 1D rezonancie vo vrstve sedimentov

laterálne ohraničená vrstva na polpriestore



1D rezonancia
a silný diferenciálny pohyb pri vertikálnom rozhraní

plytký sedimentárny bazén



„1D rezonancia“ v strede
ale najmä
lokálne povrchové vlny v horizontálnom smere

hlboké sedimentárne údolie

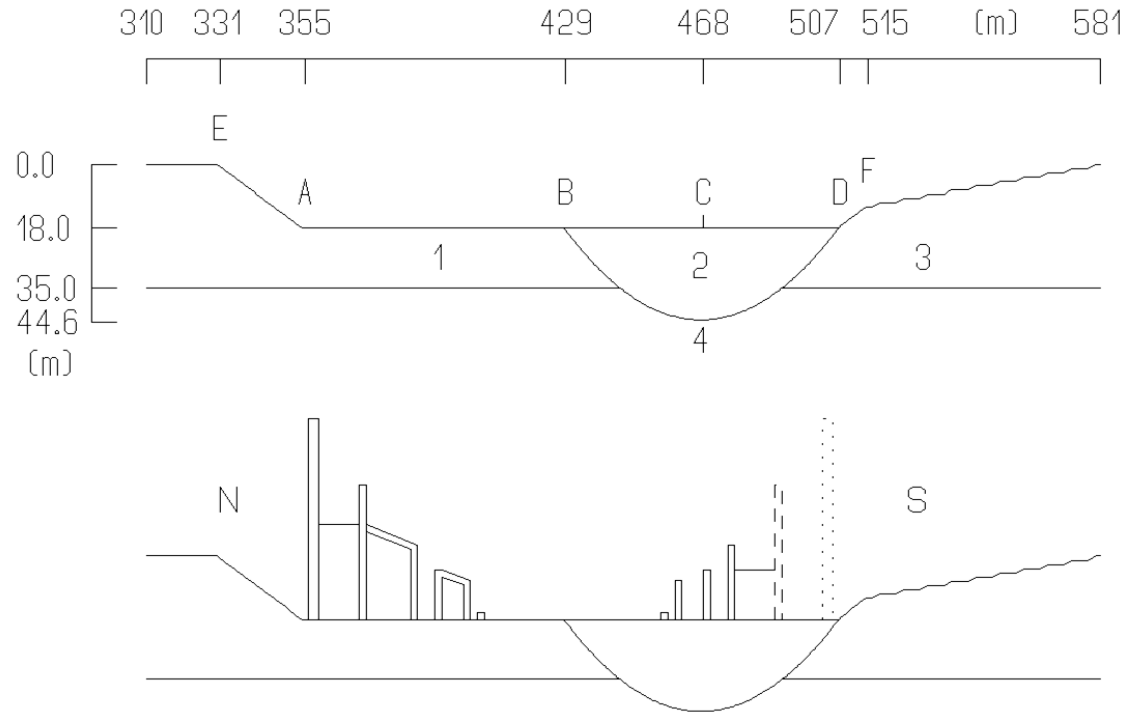


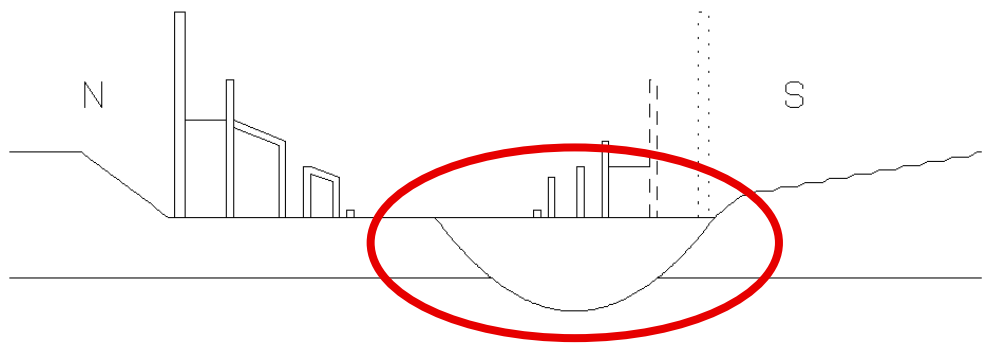
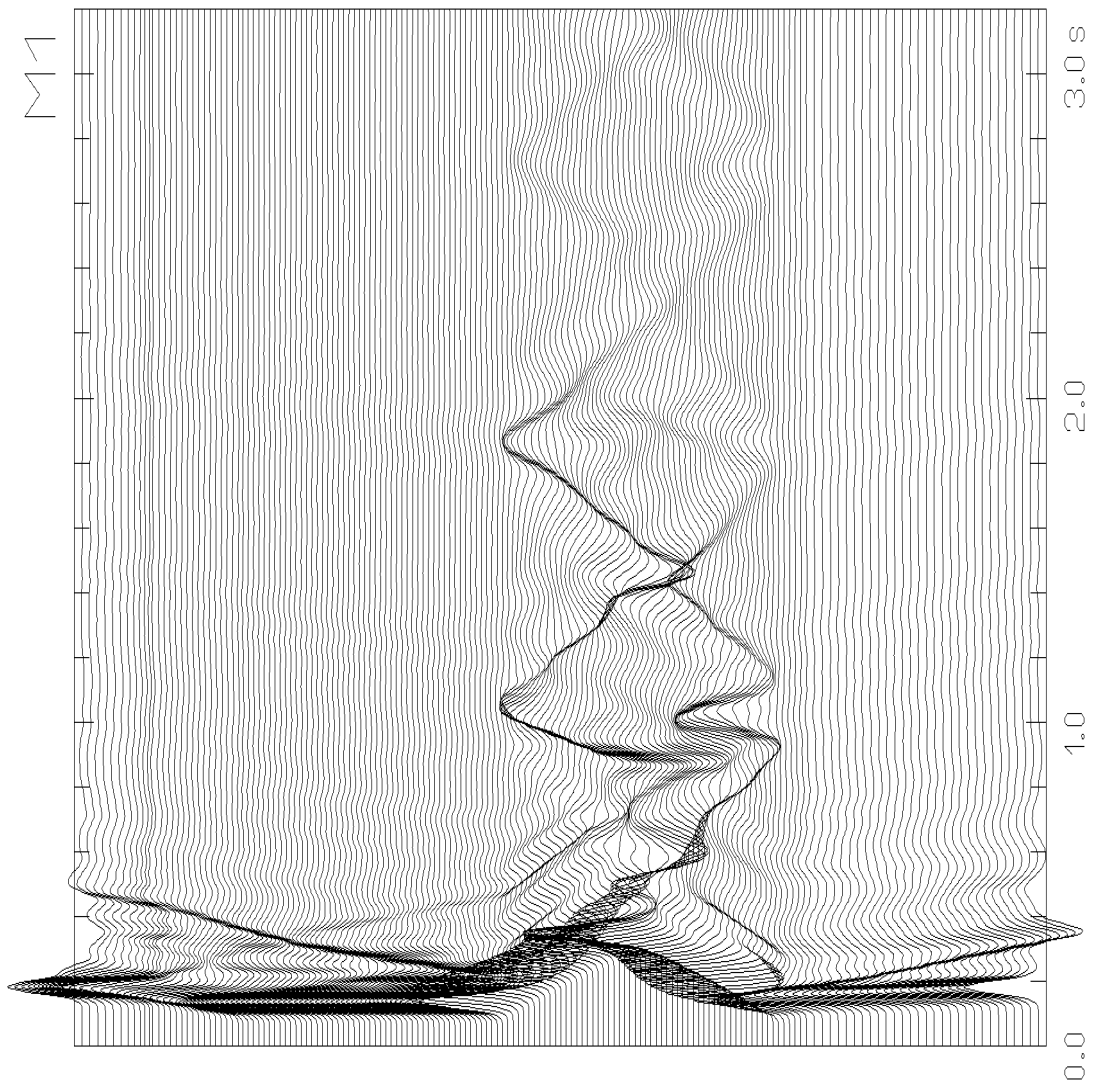
globálna rezonancia sedimentov

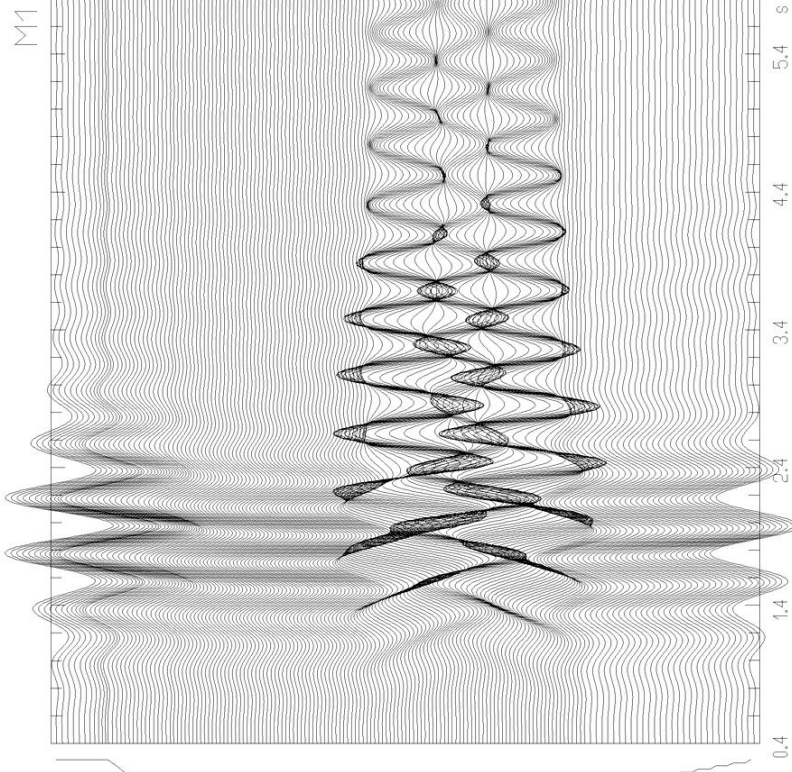
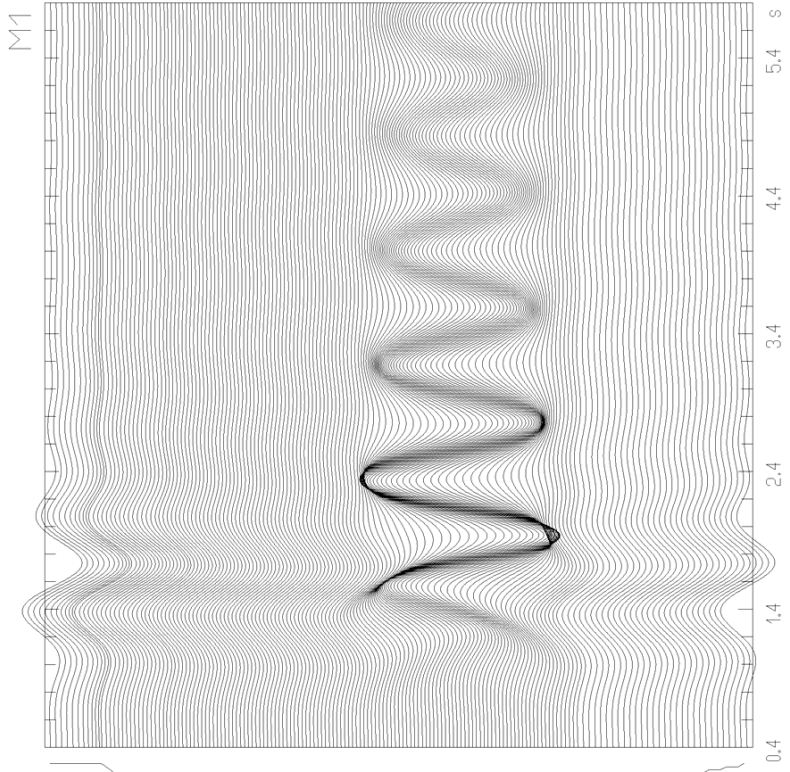
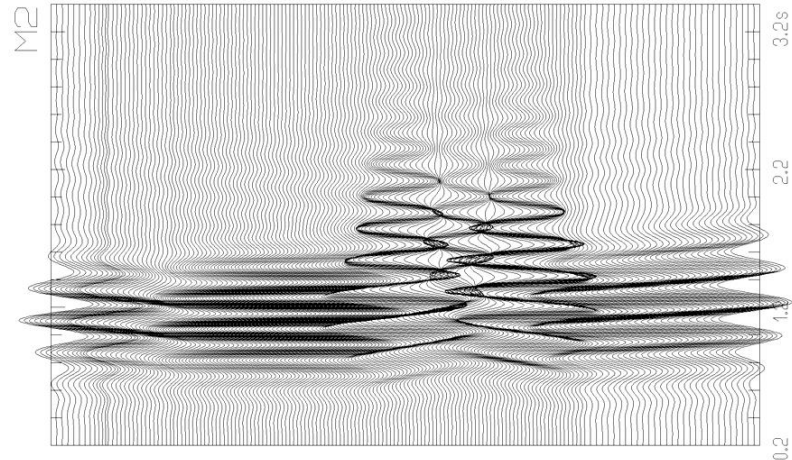
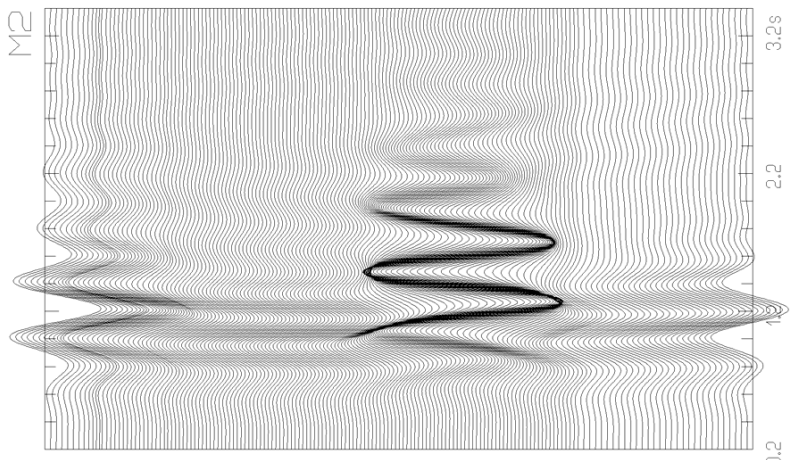


MECHANICAL PARAMETERS OF THE MODELS

	VELOCITY		DENSITY	Q FACTOR	
	M1	[m/s] M2		M1	M2
1		400	1900		40
2	100		1800	15	7
3		400	1900		40
4		800	2050		100







povrchové sedimentmi vyplnené bazény a údolia
pôsobia ako
frekvenčne selektívne zosilňovače seizmického pohybu:

v závislosti od miesta na povrchu sedimentov
výrazne menia
časovo-frekvenčné charakteristiky seizmického pohybu

inými slovami:
laterálne ohraničené povrchové sedimenty
spôsobujú lokálne anomálne zosilnenie
seizmického pohybu,
t.j.,

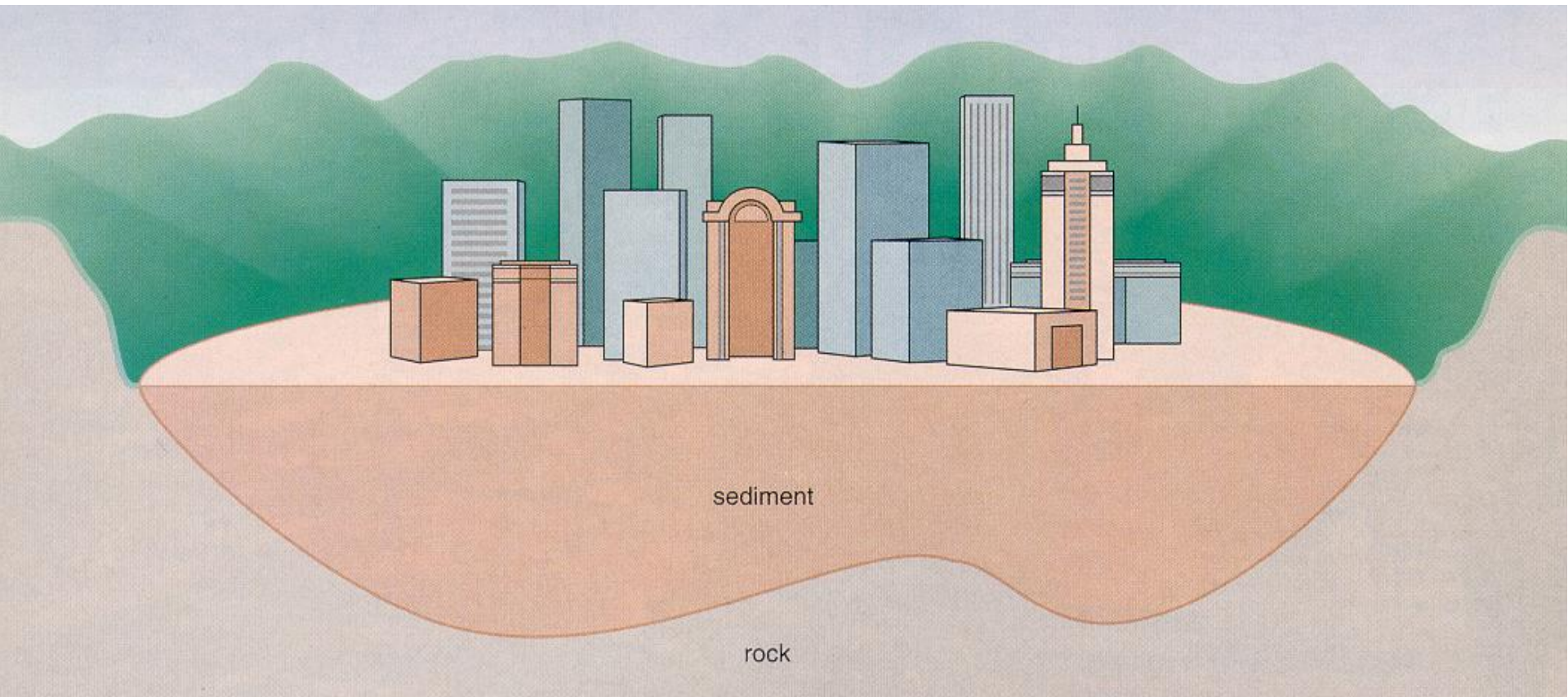
lokálne efekty zemetrasení

aj topografické štruktúry
môžu spôsobiť lokálne efekty

práve lokálne efekty sú
pri každom zemetrasení,
ktoré zasiahne obývanú/zastavanú oblasť,
zodpovedné za najväčšie škody

zásadný problém je v tom, že
oblasti, ktoré sú najzraniteľnejšie
z hľadiska lokálnych efektov
a blízkosti seizmoaktívneho zlomu,
sú zároveň najosídlenejšie

typický příklad: mesto na povrchu ohraňčených sedimentov



aj relatívne slabé zemetrasenia
môžu spôsobiť tragédiu
a rekordné škody

aj relatívne slabé zemetrasenia
môžu spôsobiť tragédiu
a rekordné škody

Jan. 17, 1994 MS = 6.7 Northridge, California

57 mŕtvych, viac ako 9 000 zranených
viac ako 20 000 bez prístrešia
priame škody za 20 mld US\$
najdrahšie zemetrasenie v histórii USA

aj relatívne slabé zemetrasenia
môžu spôsobiť tragédiu
a rekordné škody

Jan. 17, 1994 MS = 6.7 Northridge, California

57 mŕtvych, viac ako 9 000 zranených
viac ako 20 000 bez prístrešia
priame škody za 20 mld US\$
najdrahšie zemetrasenie v histórii USA

Jan. 17, 1995 MW = 6.9 Kobe, Japan

5 502 mŕtvych, 36 896 zranených
310 000 bez prístrešia
180 000 budov poškodených alebo zničených
priame škody za 147 mld US\$
najdrahšie zemetrasenie v histórii Japonska

v priemere vznikne vo svete
za jeden rok
120 zemetrasení
v intervale momentových magnitúd
6.0 – 6.9

v priemere vznikne vo svete
za jeden rok
120 zemetrasení
v intervale momentových magnitúd
6.0 – 6.9

to však znamená,
že zemetrasenia takej veľkosti,
akými boli Northridge a Kobe,
nie sú nezvyčajné

v priemere vznikne vo svete
za jeden rok
120 zemetrasení
v intervale momentových magnitúd
6.0 – 6.9

to však znamená,
že zemetrasenia takej veľkosti,
akými boli Northridge a Kobe,
nie sú nezvyčajné
a
možno ich očakávať
v seizmicky aktívnych oblastiach,
čo vo väčšine prípadov znamená
v husto osídlených oblastiach

z toho jasne vyplýva, že
seizmológovia musia predpovedať
seizmický pohyb počas budúcich zemetrasení
a
projektanti musia tieto predpovede
zohľadniť pri projektovaní stavieb

z toho jasne vyplýva, že
seizmológovia musia predpovedať
seizmický pohyb počas budúcich zemetrasení

a

projektanti musia tieto predpovede
zohľadniť pri projektovaní stavieb

a to bez ohľadu na to,
či bude možné predpovedať
samotný vznik zemetrasenia
(miesto, čas, veľkosť)