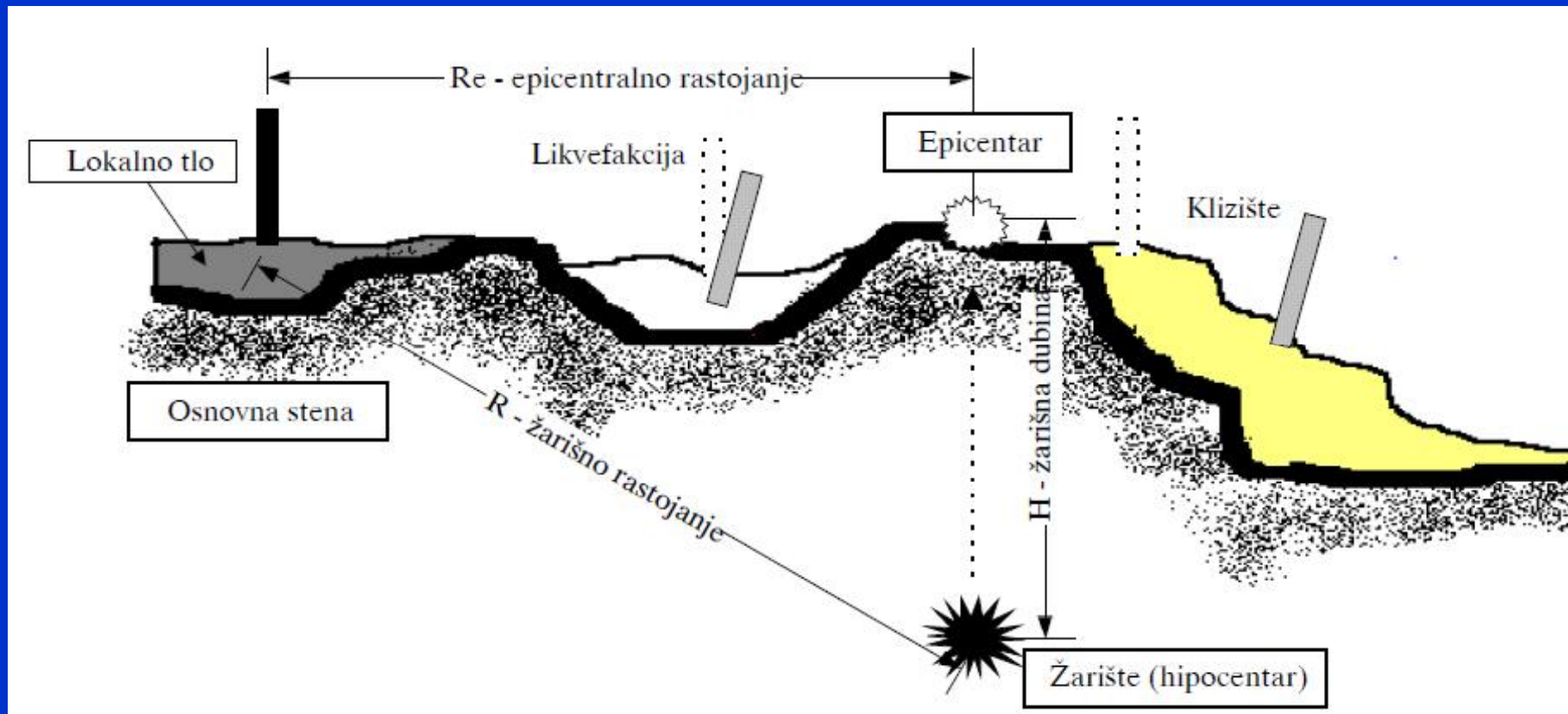


Projektovanje i građenje betonskih konstrukcija 2

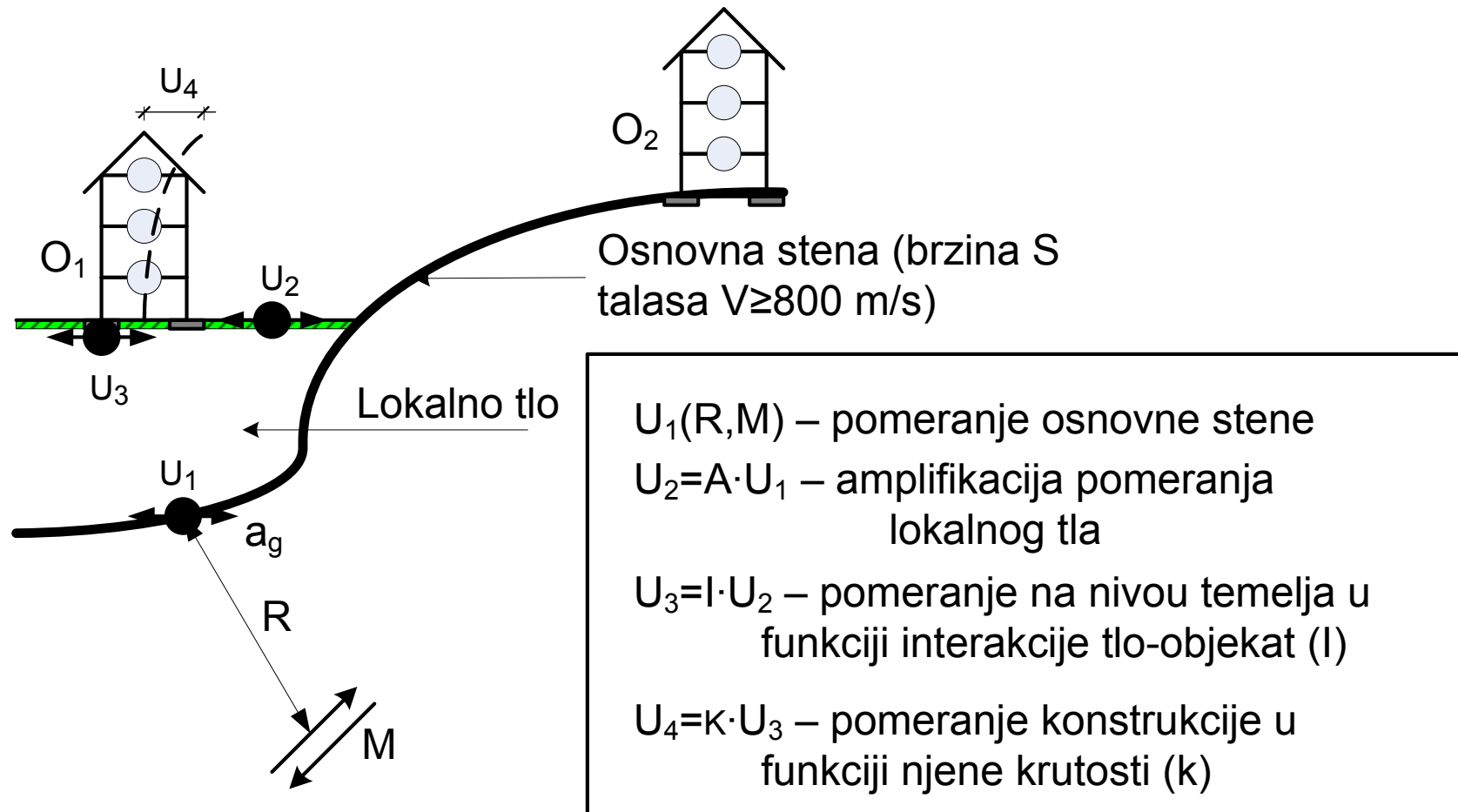
Slajdovi uz predavanja

Osnove projektovanja seizmički otpornih zgrada

Prostorni opis zemljotresa



Pomeranja objekta u funkciji nekih važnijih parametara



Karakteristike zemljotresa

1. Mera jačine zemljotresa (M)
2. Intenzitet zemljotresa (I)
3. Vremenski interval - povratni period zemljotresa (T_p)

1. Magnituda – mera energije koja se oslobađa (Rihter), izražena u jedinicama skale $5 < M < 9$ (Lisabon 1755.). M se zasniva na merenju amplituda pomeranja tla na različitim udaljenostima od epicentra.

$$\log_{10} E = 4.8 + 1.5M$$

2. Intenzitet zemljotresa se procenjuje na osnovu učinka na zemljinoj površini na: ljude, objekte, okolinu, životinje. Skala Medvedev-Sponhauer-Karnik – **MSK** (1964) sa 12 stepeni intenziteta
Kao korelacija se predpostavlja:

VII stepen $a_g \leq 0.1g$,

VIII stepen $a_g \leq 0.2g$,

IX stepen $a_g \leq 0.4g$.

Stepeni MSK-1964 skale

IV stepen. Umeren zemljotres.

a) Zemljotres osete mnogi ljudi u kućama, a na otvorenom prostoru samo poneki, Poneki se probudi, ali još nema panike. Oscilovanje tla podseća na podrhtavanje pri prolazu teško natovarenog vozila. Prozori zveckaju, vrata kloparaju, tavančne grede škripe i krckaju. Tečnost u otvorenim sudovima se pokreće. Nameštaj škripi. Obešeni predmeti se ljuljaju. Potres se može osetiti u automobilu koji se ne kreće.

V stepen. Dosta jak zemljotres.

a) Ovaj zemljotres osete svi ljudi u kućama i mnogi na otvorenom prostoru. Mnogi se bude iz sna. Životinje se uznemiruju. Zgrade se potresaju iz temelja. Obešeni predmeti se jako klata. Slike na zidovima se pomeraju. U većini slučajeva časovnici sa klatnom se zaustavljaju. Pokretni predmeti se pomeraju. Nezatvoreni prozori i vrata se klata. Tečnosti iz zatvorenih sudova se prosipaju.

b) Moguće su štete prvog stepena na pojedinim zgradama tipa A.

c) Moguća je promena izdašnosti izvora.

VIII stepen. Štetan zemljotres.

- a) Opšti strah i panika. Potres se jako oseća i u automobilu u pokretu. Grane na drveću mogu često da se lome. Težak nameštaj se pomera a delimično i prevrće. Obešeni predmeti (lusteri) se delimično oštećuju.
- b) Većina zgrada tipa C trpi štete drugog stepena a pojedine i štete trećeg stepena. Mnoge zgrade tipa B zadobijaju štete trećeg stepena a pojedine štete četvrtog stepena. Mnoge zgrade tipa A imaju oštećenja četvrtog stepena a pojedine petog stepena. Izuzetno dolazi do loma cevovoda na spojevima. Statue i kameni spomenici se obrću oko postamenta a ponekad se i preturaju. Kamene ograde i zidovi se ruše.
- c) Dolazi do klizanja zemljišta na bokovima i usecima puteva. Pukotine u tlu mogu imati širinu do nekoliko santimetara. Voda u jezerima se muti. Mogu se javiti nova vrela. Presahli bunari se pune vodom a puni mogu da presuše. Izdašnost i nivoi voda se menjaju.

IX stepen. Ograničeno razoran zemljotres.

- a) Opšta panika. Životinje beže na sve strane. Velike štete na nameštaju.
- b) Mnoge zgrade tipa C trpe oštećenja trećeg stepena a pojedine i oštećenja četvrtog stepena. Mnoge zgrade tipa B zadobijaju oštećenja četvrtog stepena a pojedine oštećenja petog stepena. Mnoge zgrade tipa A trpe štete petog stepena. Spomenici i stubovi padaju. Na rezervoarima se javljaju ozbiljna oštećenja. Podzemne cevi se delimično lome. U nekim slučajevima se krive železničke šine. Dolazi do oštećenja puteva.
- c) Na podvodnim ravničarskim terenima voda izbija na površinu i izliva se. Sa vodom može biti izbačen i pesak i mulj. Pesak i mulj mogu biti izbačeni na površinu i bez vode. Pukotine u zemljištu mogu dostići širinu i do 10 cm. Česti su odroni velikih komada stena u brdskim predelima. Dolazi do aktiviranja mnogih klizišta. Javljaju se velike promene u režimu podzemnih voda.

Zgrade tipa C
– od AB

Oštećenja III
stepena –
veće pukotine

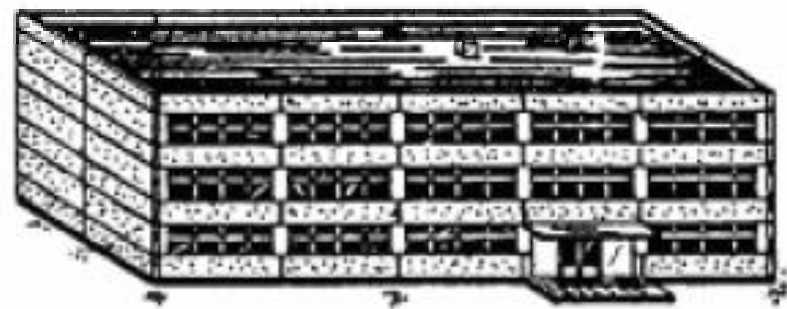
Oštećenja IV
stepena –
delimično
rušenje

Evropska makroseizmička skala EMS 98 (umesto MSK 1964)

I	Ne osecaju ga ljudi, registruju ga samo seizmografi.
II	Reaguju samo vrlo osetljive osobe u stanju mirovanja.
III	Oseti ga vise ljudi u unutrašnjosti zgrada.
IV	U kucama ga oseti veci dio stanovnika, a na otvorenom samo pojedinci. Posude i prozori zveckaju. Pojedinci se bude iz sna.
V	Osete ga mnogi i na otvorenom prostoru. Predmeti koji slobodno vise, zanjisu se. Kod pojedinaca izaziva manju paniku.
VI	Osete ga sve osobe i beze iz kuca. Slike padaju sa zidova. Na slabije gradjenim zgradama nastaju prva oštećenja.
VII	Nastaju rušenja delova nameštaja u stanovima. Oštećenja se javljaju i na kvalitetnijim kućama; manje pukotine na zidovima. Ruše se delovi dimnjaka na kućama, padaju crepovi. Na slabijim objektima su moguća veća oštećenja.
VIII	Većina ljudi otežano ostaju na nogama. Javljaju se ošteđenja na 25% kuća, neke slabije se ruše. U vlažnom tlu i na padinama javljaju se manje pukotine.
IX	Opšta panika. Oko 50% kuća znatno je oštećeno, mnoge se ruše, a većina je neupotrebljiva za dalje stanovanje.
X	Teška oštećenja javljaju se na oko 75% objekata, a većina njih se ruši. U tlu nastaju pukotine širine do nekoliko centimetara; Sa padina se odronjavaju stene, stvaraju se velika klizišta u tlu.
XI	Ruše se sve zidane zgrade. U tlu nastaju široke pukotine iz kojih prodire voda sa peskom i muljem. Javljaju se veliki odroni.
XII	Nijedan veštački objekat ne može da opstatne. Tlo i reljef menjaju izgled, zarušavaju se jezera, dok reke menjaju svoja korita.

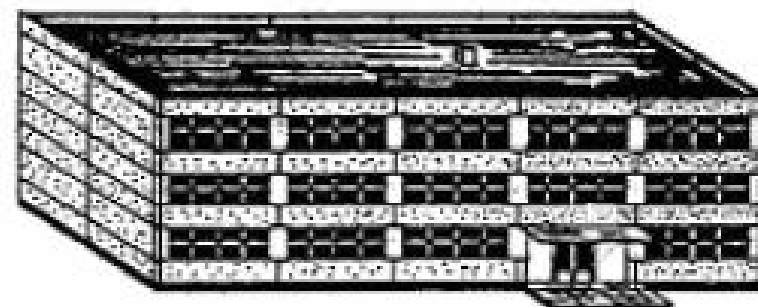
Klasifikacija stepena oštećenja na zgradama prema **E**uropean **M**acroseismic **S**cale (1998.) – Pet stepena oštećenja

Степен 1.(DG1) Занемарљиво мало до једва осетно оштећење (без оштећења носеће конструкције);
«танке прслине у малтеру на оквирним елементима и преградним зидовима».

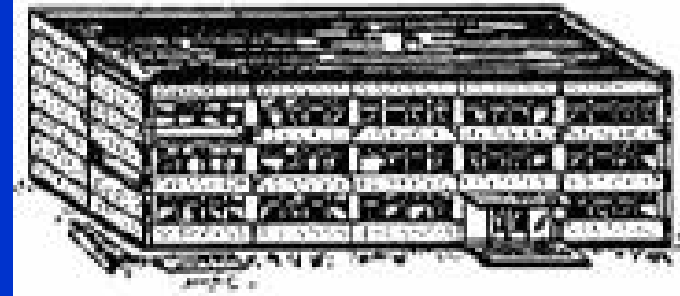
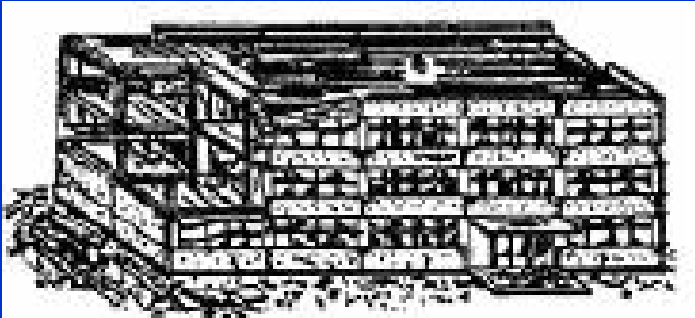


Степен 2. (DG2) Умерено оштећење (незнатно оштећење носеће конструкције, умерено оштећење неносеће конструкције);

«једва видљиве прслине на стубовима и гредама; опадање малтера на спојевима висећих зидних оквира; прслине на преградним зидовима; опадање малтера и кртих облога са неких делова зидова»



Степен 3.(DG3) Знатно до јако оштећење (умерено оштећење) носеће конструкције јако оштећење неносеће конструкције);
«пукотине на стубовима уз одвајање комада бетона; пукотине на гредама».



Степен 4. (DG4) Врло јако оштећење (јако оштећење носеће, врло јако оштећење неносеће конструкције);
«озбиљно оштећење на спојевима скелета зграде уз разарање бетона и огољевање арматуре; делимично рушење; искошававање стубова».



Степен 5. (DG5) Рушење (врло јако оштећење носеће конструкције);
«потпуно или скоро потпуно рушење».

3. **Povratni period** - prosečan vremenski interval između dva zemljotresa iste jačine M.

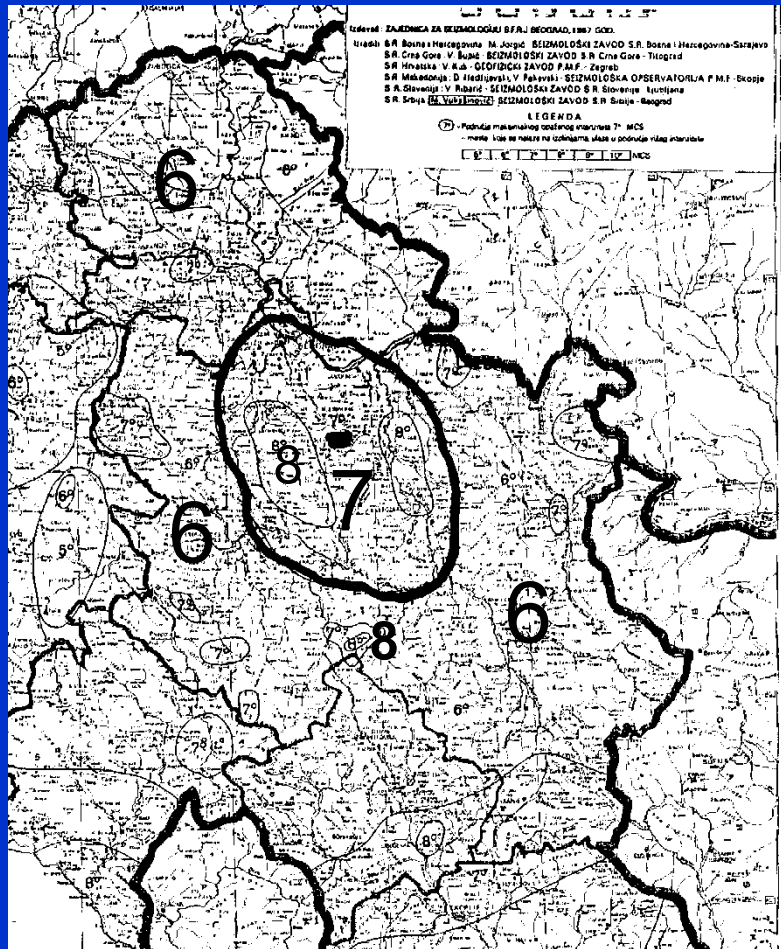
Verovatnoća pojave u tekućoj godini je 2% za
 $T_p = 50$ god. ($1/T_p$)

$T_p = 50$ god. (oštećenja koja ne zahtevaju
popravku)

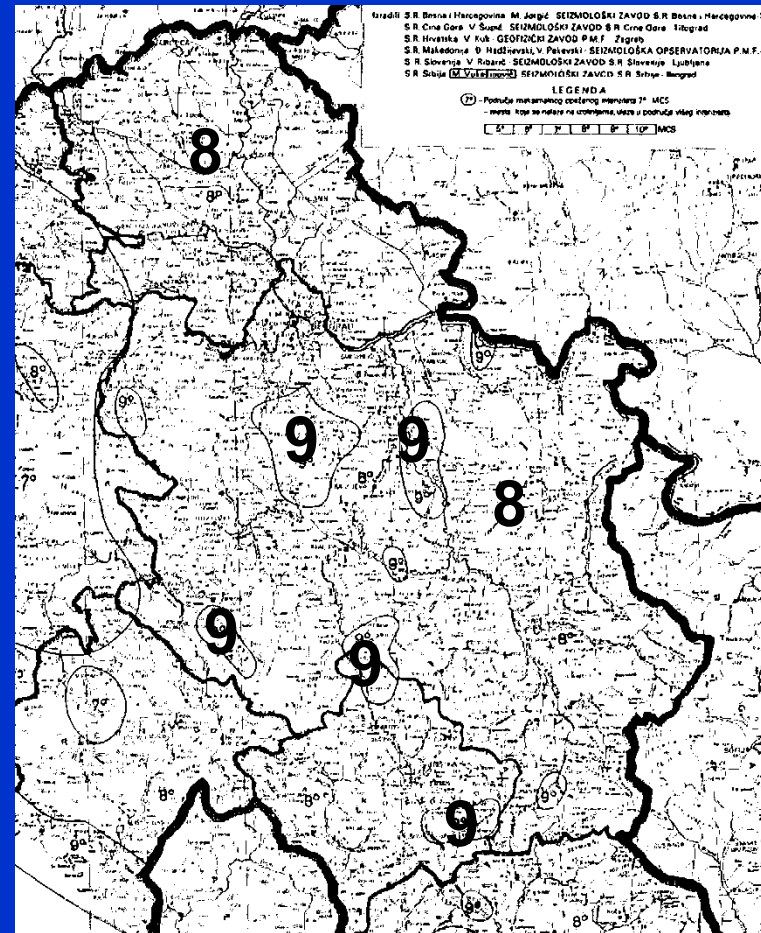
$T_p = 500$ god. (projektni zemljotres - oštećenja
koja se popravljaju)

$T_p = 1000$ god. (nepopravljiva oštećenja – ali
bez kolapsa).

Seizmološka karta za povratni period 50 g.

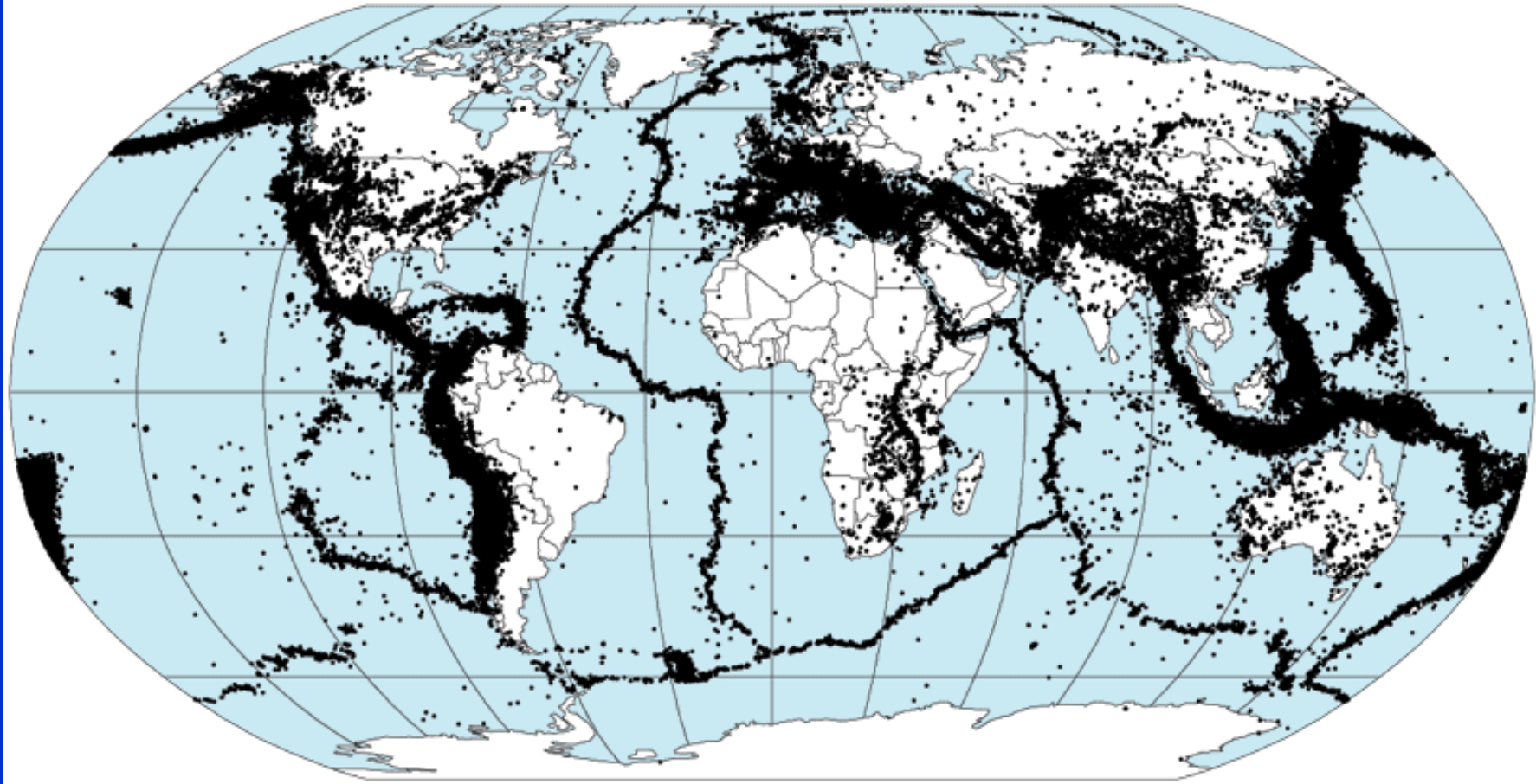


Seizmološka karta za povratni period 500 g.

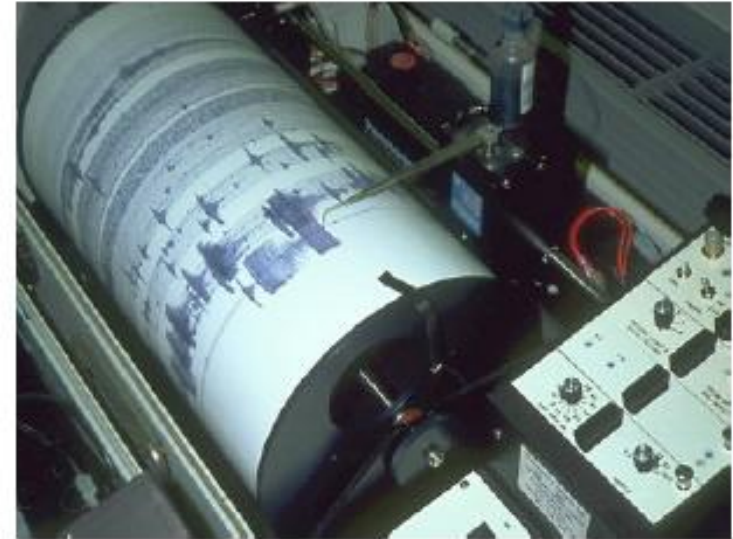
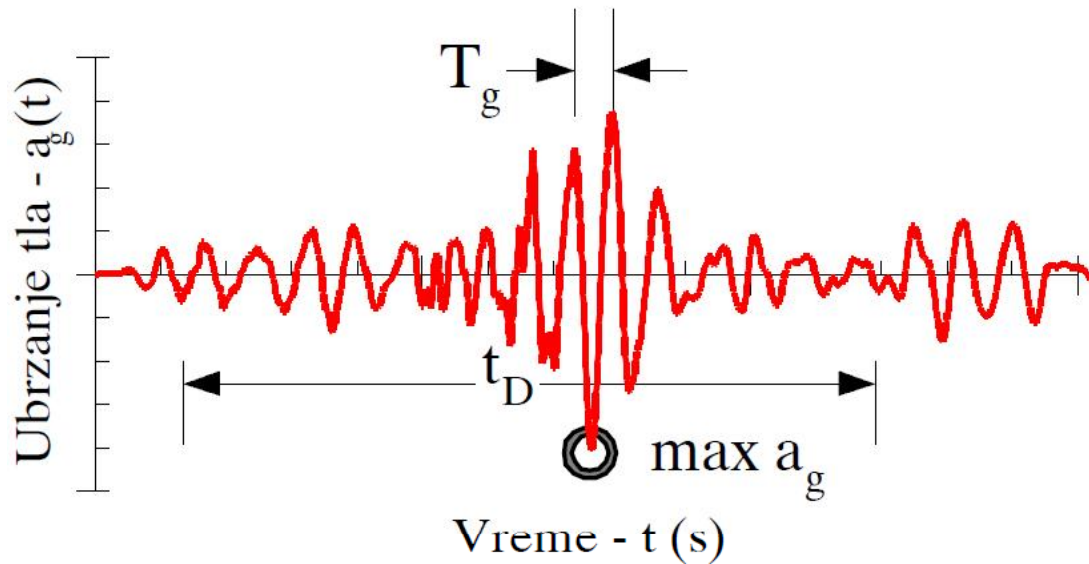


Preliminary Determination of Epicenters

358,214 Events, 1963 - 1998



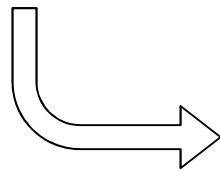
Zapisi ubrzanja tla tokom zemljotresa - akcelerogrami



a_g – a_g – maksimalno registrovano ubrzanje tla

T_g – predominantni period oscilovanja

t_D – trajanje jakog dela zemljotresa

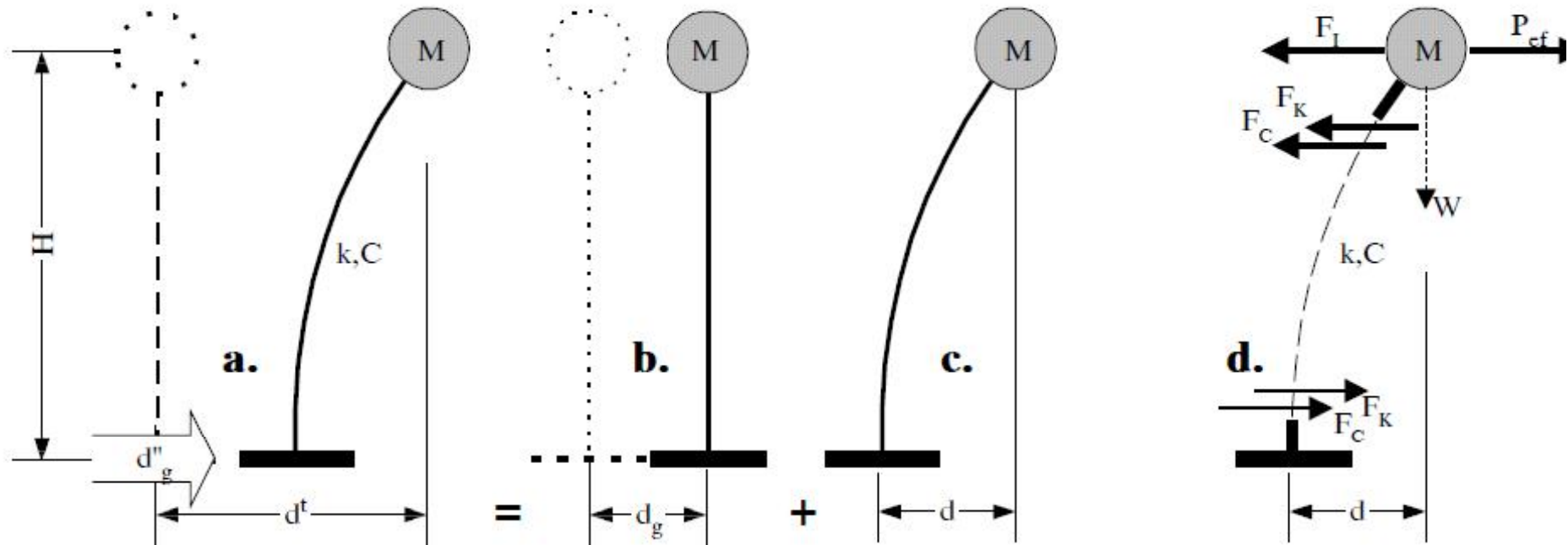


Analitičkim putem – integracijom:

v_g – zapis promene brzine tla

d_g – zapis pomeranja tla

Osnovni parametri dinamičkog modela

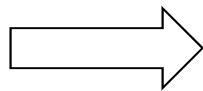


$$F_i = md''$$

$$F_c = cd'$$

$$F_k = kd$$

$$P_{ef} = md''_g$$



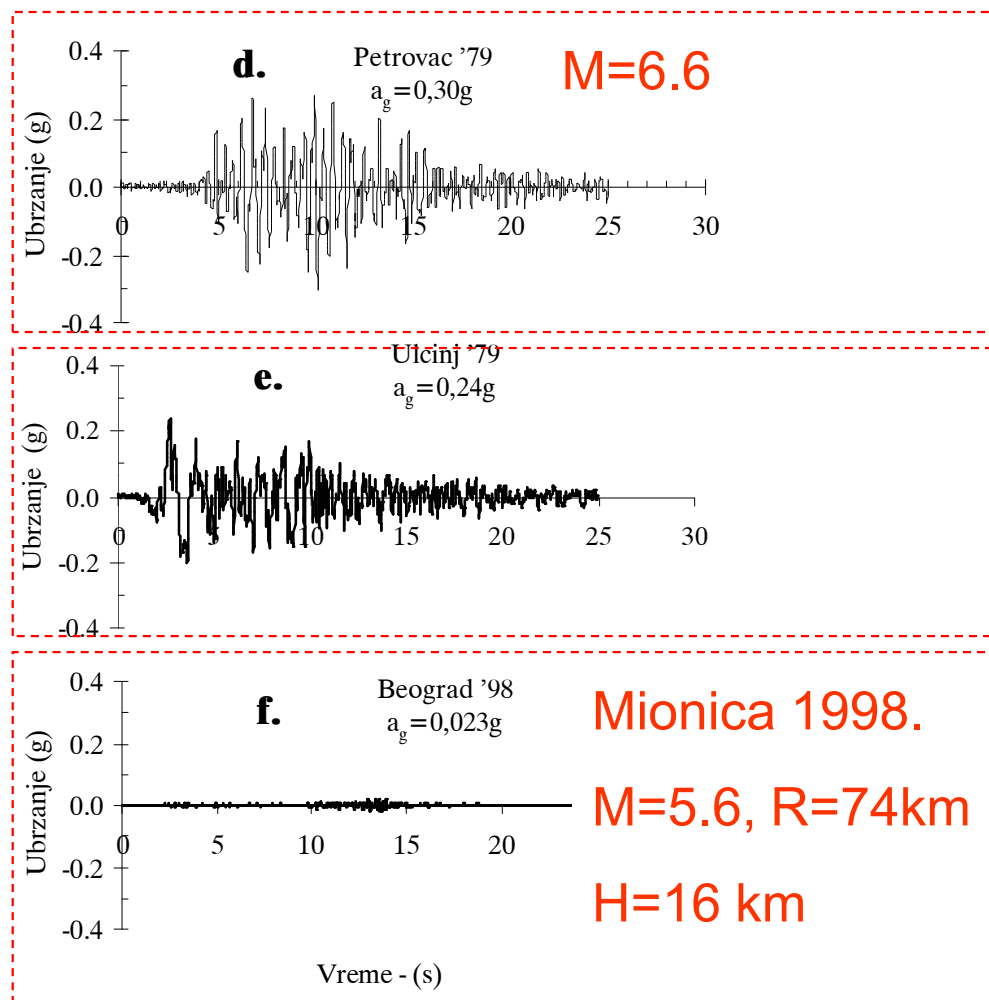
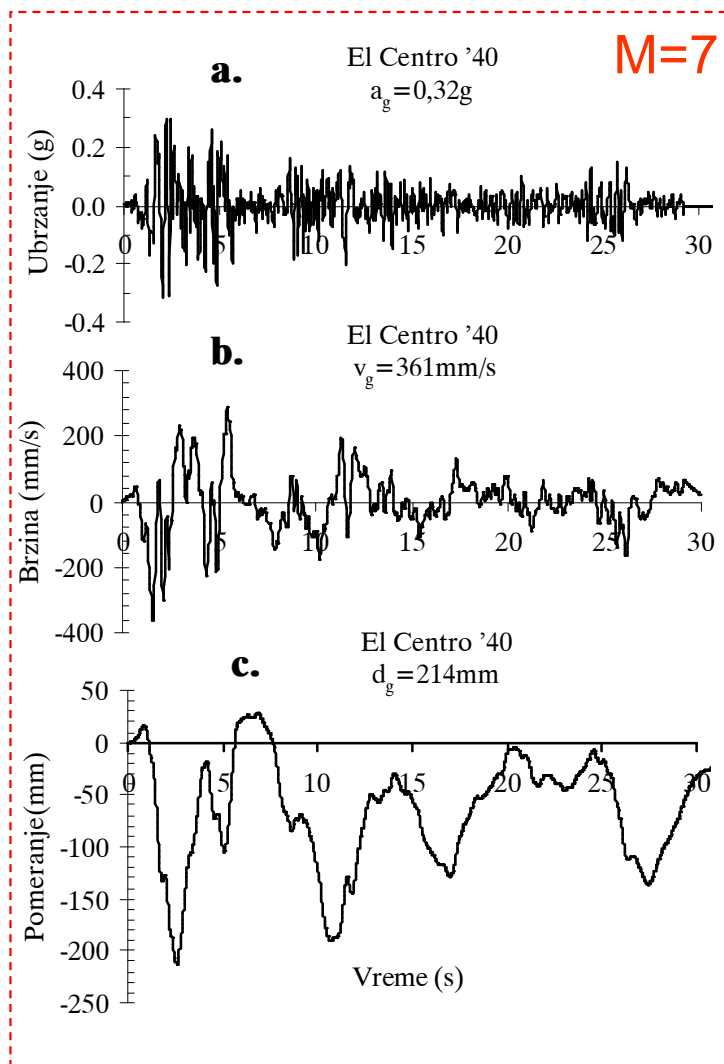
$$md'' + cd' + kd = -md''_g$$

$$d''_{(t)} + 2 \cdot \zeta \cdot \omega \cdot d'_{(t)} + \omega^2 \cdot d_{(t)} = -d''_{g(t)}$$

$$\omega = \sqrt{k/m} - \text{kružna frekvencija}$$

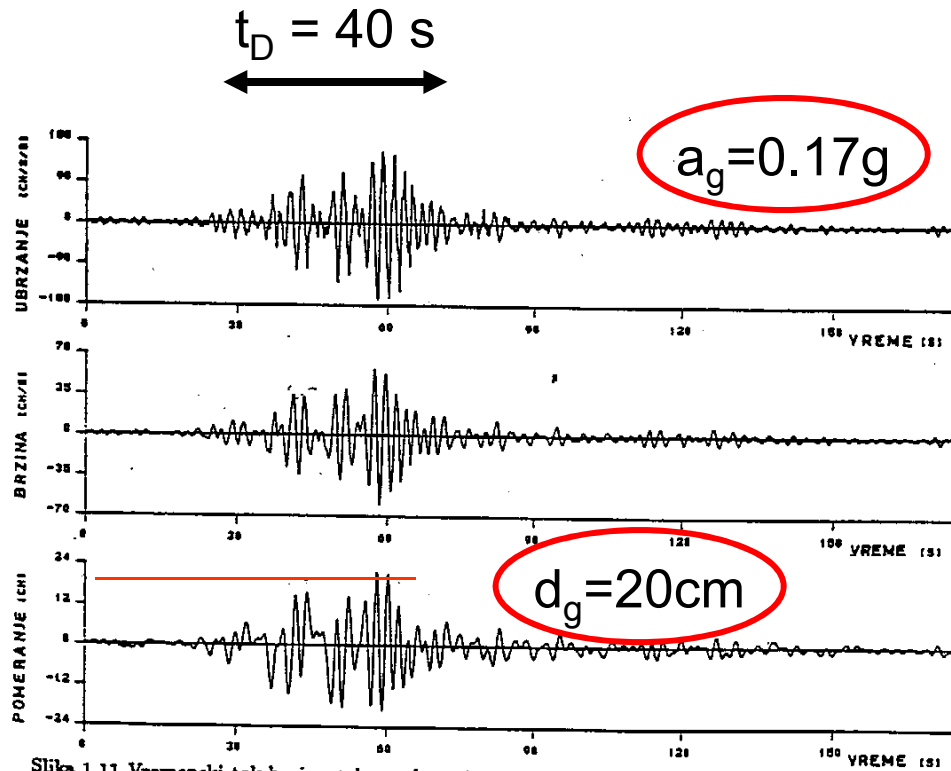
$$\zeta = c/2m\omega - \text{koeficijent prigušenja}$$

Zapisi ubrzanja tla tokom zemljotresa - akcelerogrami



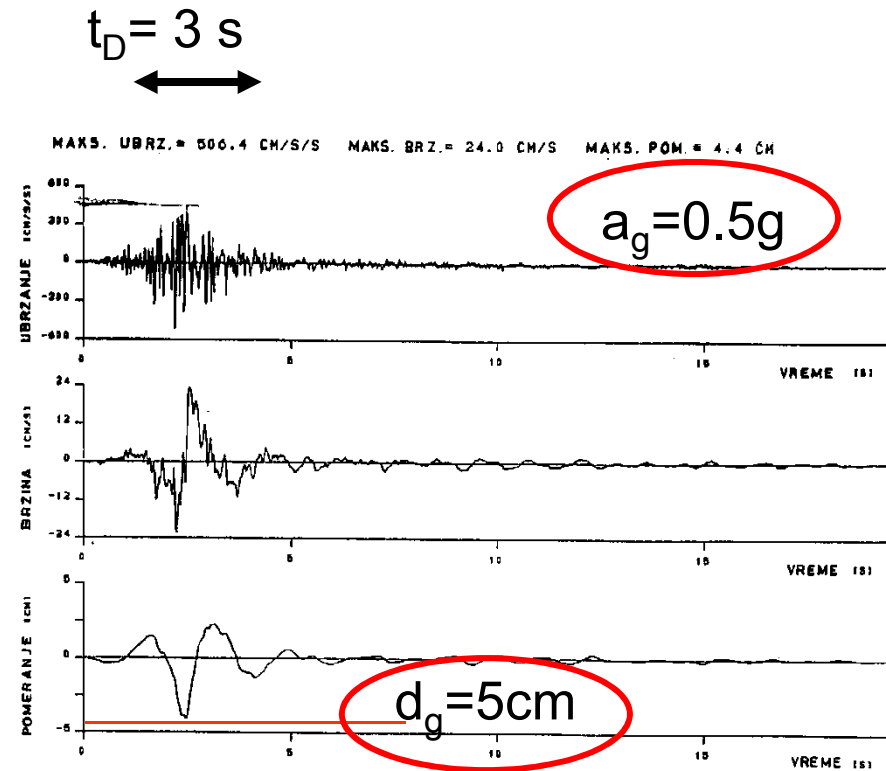
Honshu Japan 2011 - M=9.0

Mexico City - 1985



Slika 1.11 Vremenski tok horizontalnog ubrzanja, brzine i pomeranja tla za vreme zemljotresa u Meksiku 19. septembra 1985. Registracija Mexico City, SCT, N90W 19

Banja Luka - 1981



Slika 1.9 Vremenski tok horizontalnog ubrzanja, brzine i pomeranja tla za vreme zemljotresa u Banja Luci 13. avgusta 1981. Registracija Banja Luka, IMB, NS

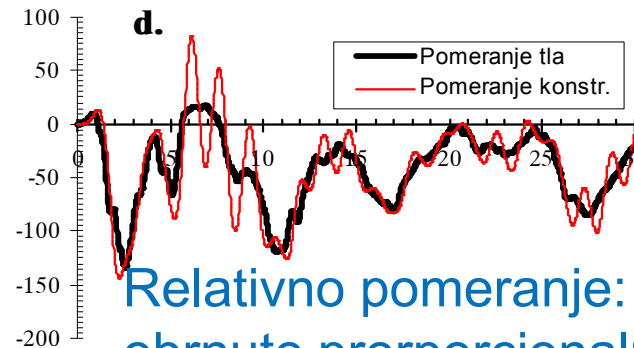
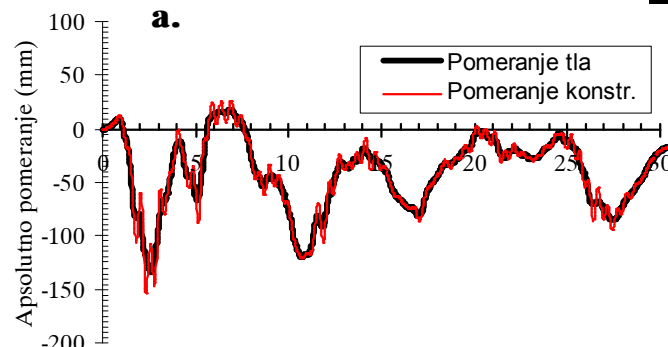
Odgovor elastične konstrukcije na zapis zemljotresa

Primer 1

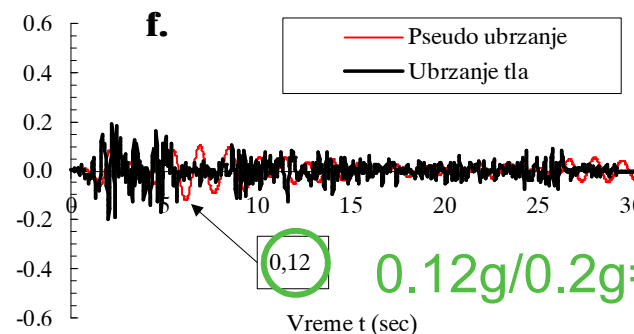
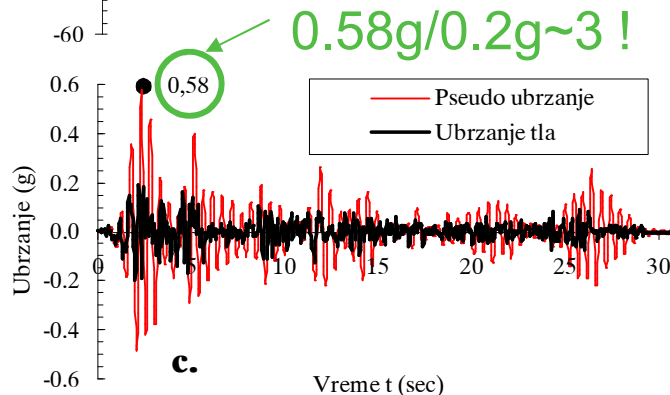
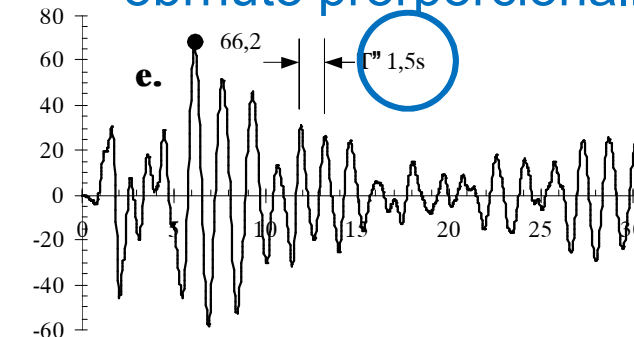
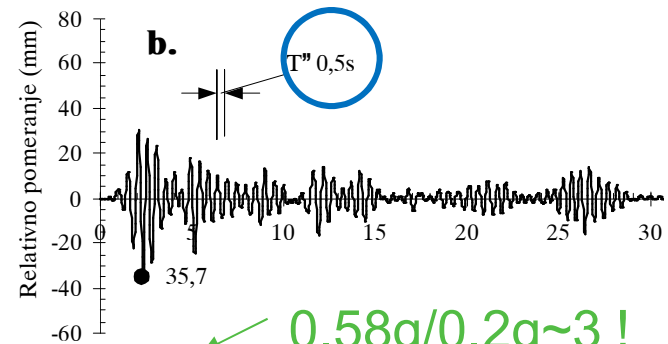
$T=0,5s$

El Centro
 $a_g=0,2g$

$T=1,5s$



Relativno pomeranje:
obrnuto proporcionalno krutosti



Rel. Ubrzanje: proporcionalno krutosti

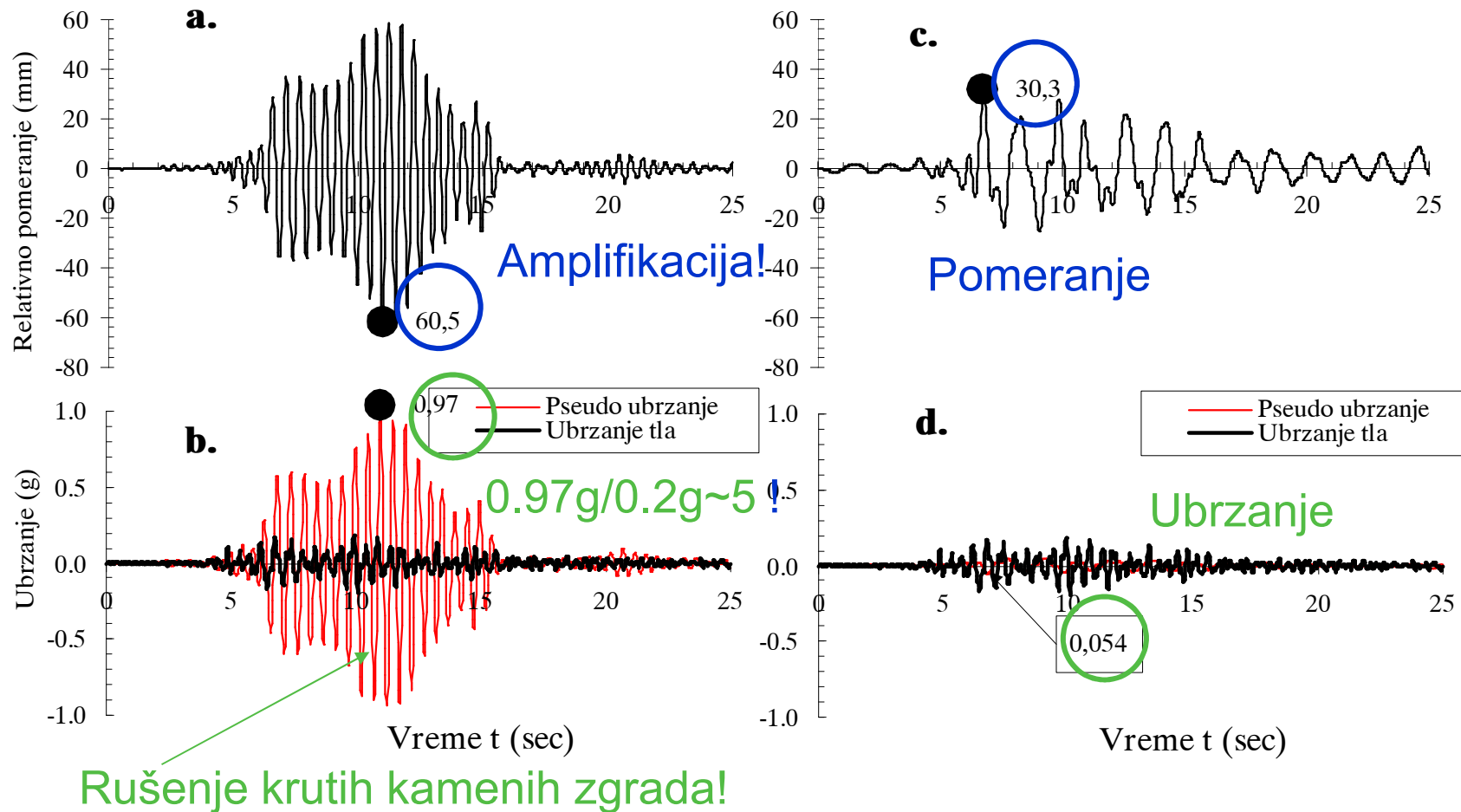
Odgovor elastične konstrukcije na zapis zemljotresa

Primer 2

$T=0,5\text{ s}$

Petrovac
 $a_g=0,2g$

$T=1,5\text{ s}$



Kruća konstrukcija – amplifikacija i ubrzanja i pomeranja ¹⁹

Odgovor elastične konstrukcije na zapis zemljotresa

Zaključak:

Za odgovor konstrukcije nije važno samo maksimalno ubrzanje tla.

Odgovor konstrukcije zavisi i od:

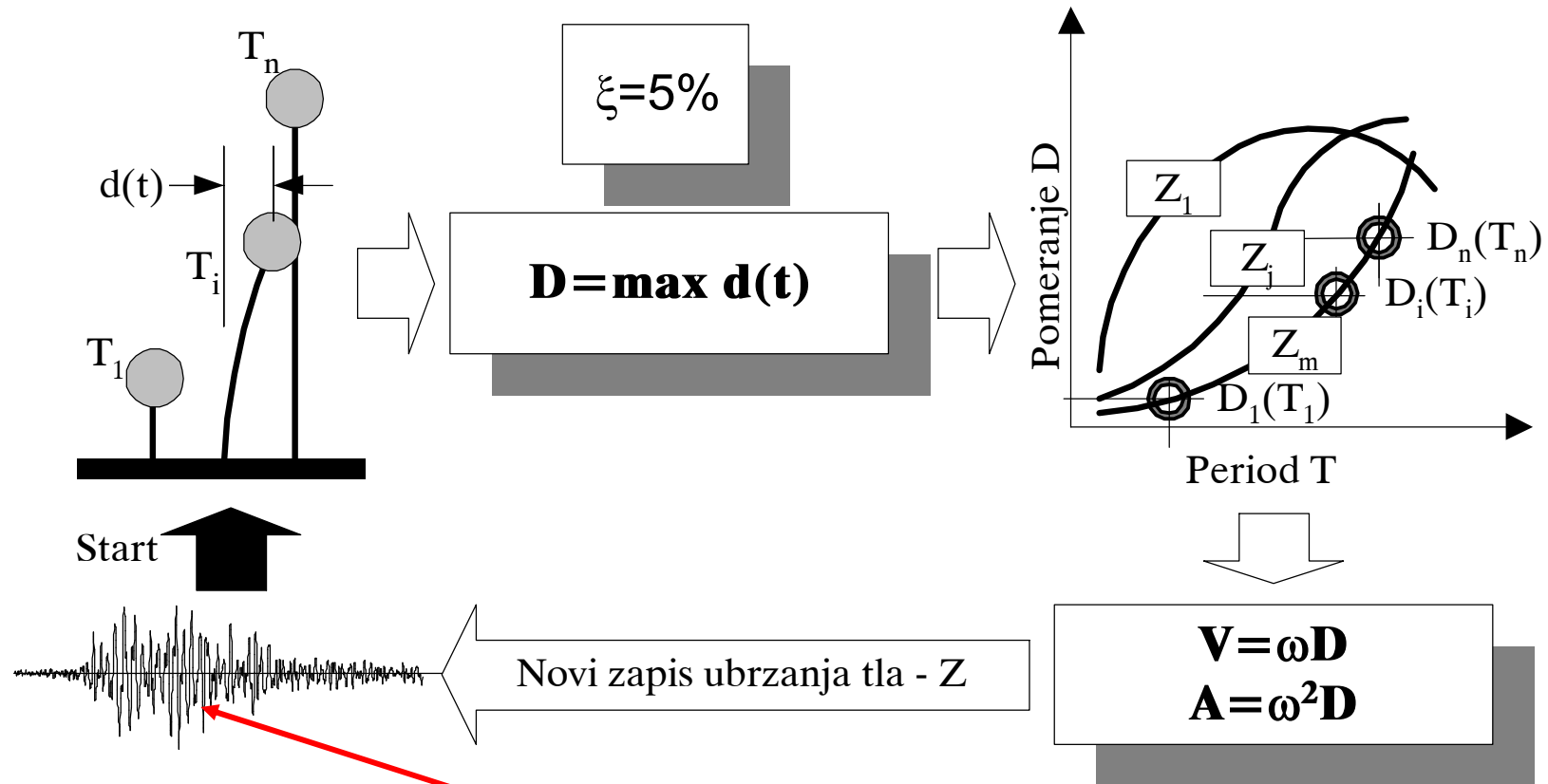
- predominantnog perioda oscilacija tla T_g
- frekventnih karakteristika zemljotresa (tok promene ubrzanja u vremenu)
- period sopstvenih oscilacija konstrukcije

Na osnovu jednačine kretanja sistema sa jednom masom

$$d''_{(t)} + 2 \cdot \zeta \cdot \omega \cdot d'_{(t)} + \omega^2 \cdot d_{(t)} = -d''_{g(t)}$$

- i primenom nekog poznatog akceleroograma sa već dogođenog zemljotresa, metodom dinamičke analize moguća je analiza konstrukcije na dejstvo tog zemljotresa.
- Međutim, svaki dosadašnji zemljotres je bio različit od svih ostalih, a svaki budući biće različit od svih prethodnih.
- Sve u vezi zemljotresa je neizvesno → teorija slučajnih procesa, matematičke statistike i teorije haosa.
- Iz tog razloga primenjuju se SPEKTRI ODGOVORA koji predstavljaju maksimalan odgovor sistema sa jednim stepenom slobode u funkciji sopstvene periode oscilovanja konstrukcije (T) i stepena prigušenja (ζ).

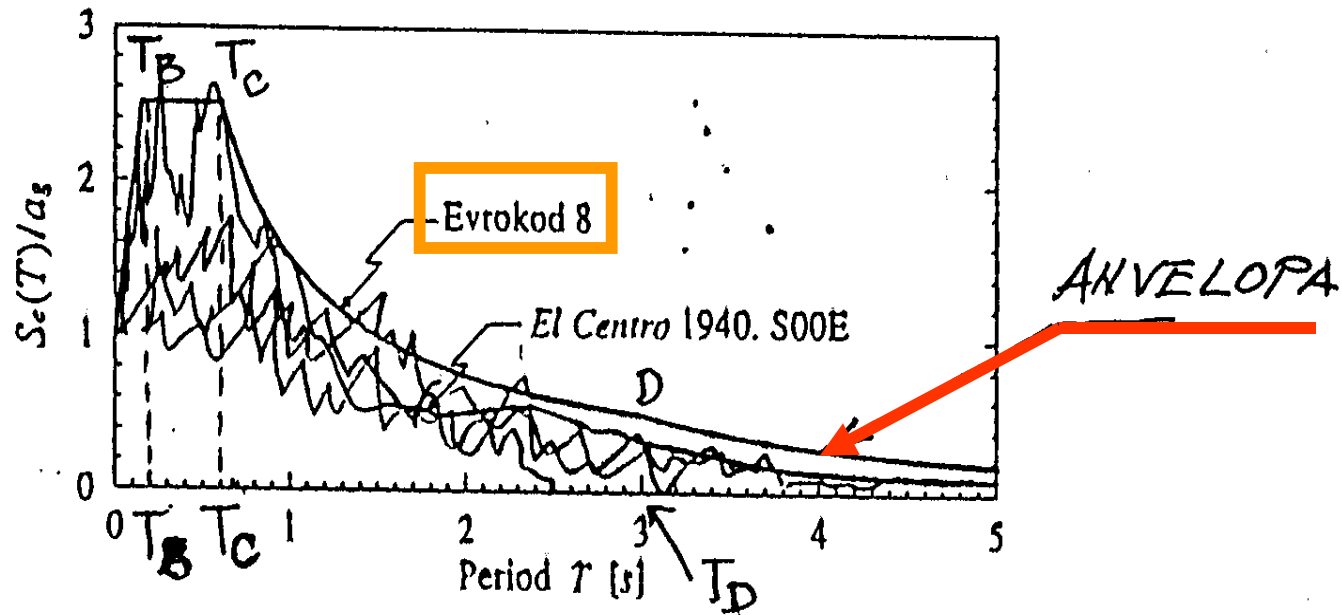
Elastični spektri odgovora



$$d''_{(t)} + 2 \cdot \zeta \cdot \omega \cdot d'_{(t)} + \omega^2 \cdot d_{(t)} = -d''_{g(t)}$$

Elastičan spektar odgovora

- elastični spektri odgovora mogu biti dati po: pomeranju, brzini, ubrzanju, energiji...
- služe kao osnovni način prikazivanja zemljotresa jer su lakši za primenu,
- spektralne linije dobijene numeričkim rešavanjem jednačine kretanja su skup izlomljenih linija → anvelopa
- anvelopa predstavlja verovatnu krivu maksimalnih apsolutnih ubrzanja sistema (pomeranja, brzina,...)
- ovako dobijeni spektar opisuje elastični odgovor sistema
- kada se vrednosti spektra podele sa najvećim ubrzanjem tla (a_g), onda je spektar normiran prema najvećem ubrzanju tla.



$$0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

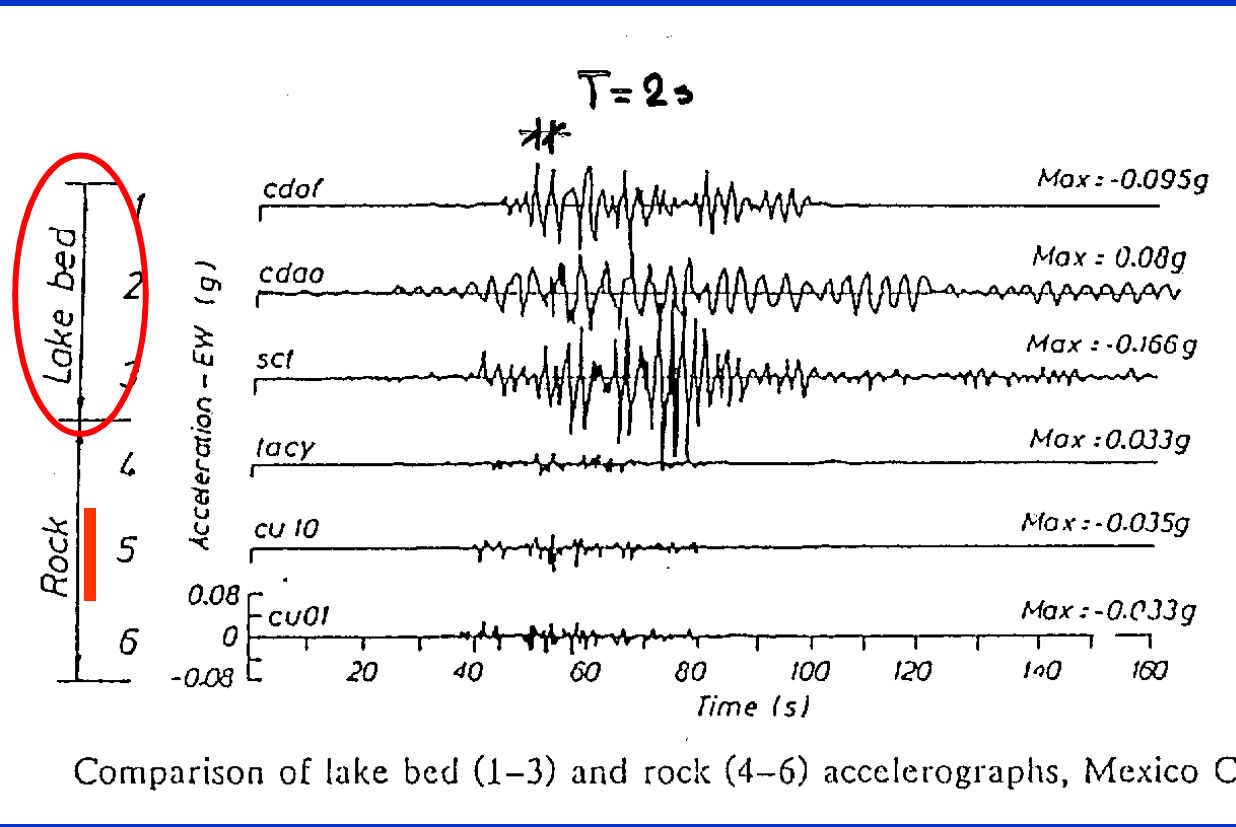
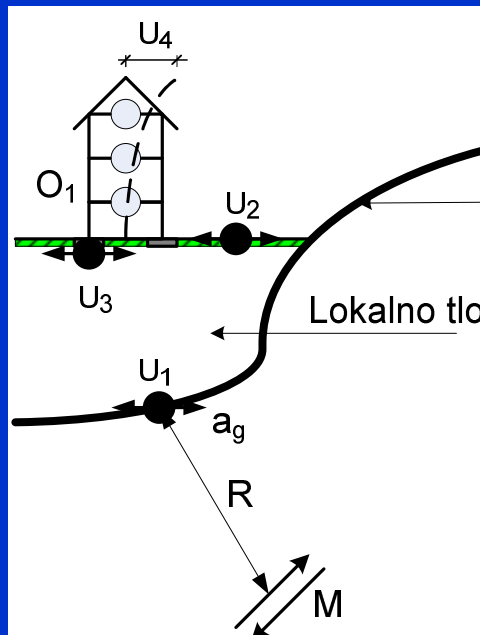
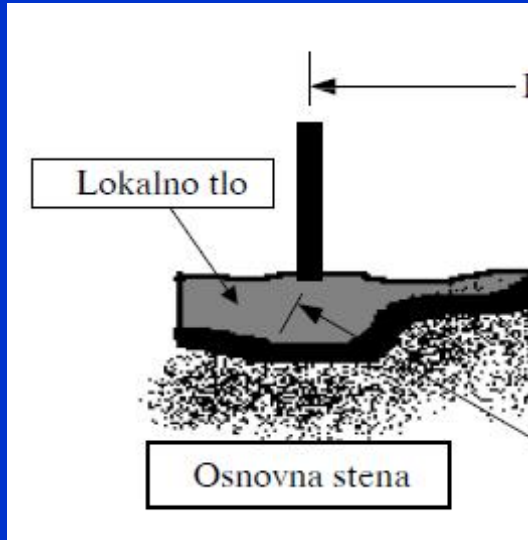
$$T_D \leq T \leq 4s : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right]$$

a_g – ubrzanje tla na osnovnoj steni

S – faktor amplifikacije (tla iznad osnovne stene)

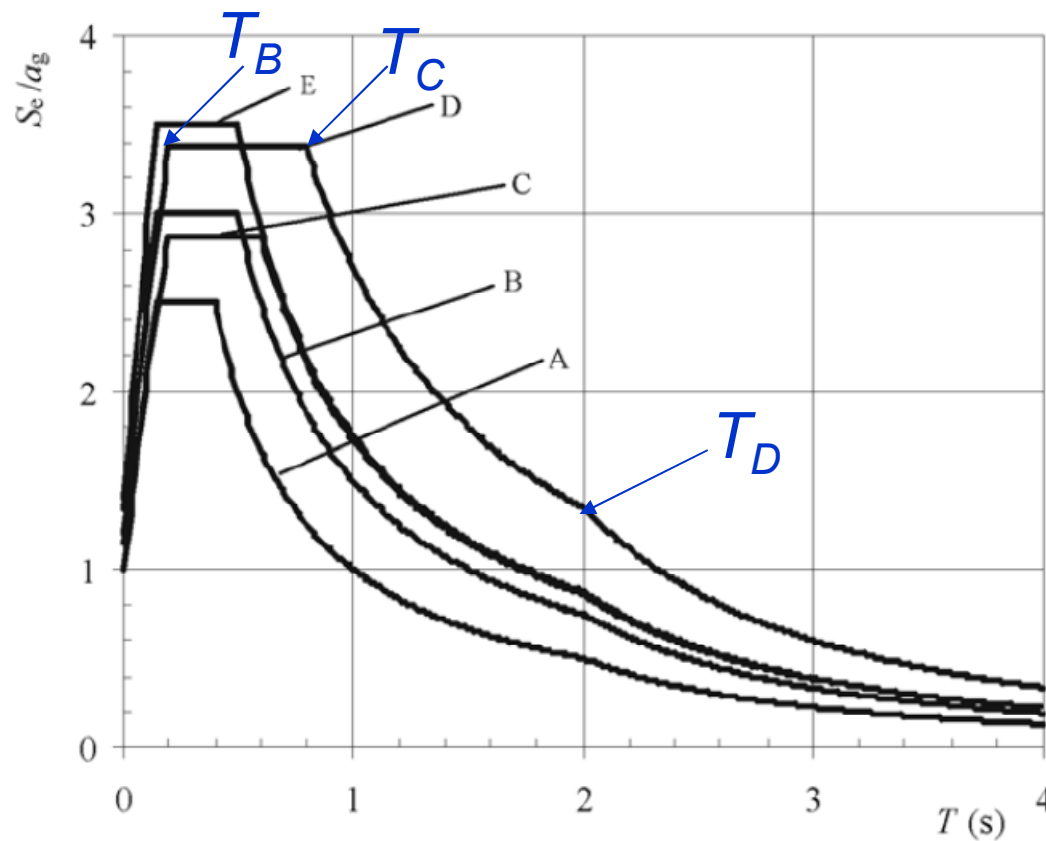
$\eta = 1$ (kada je prigušenje 5%)

Uticaj krutosti lokalnog tla



Ground type	<i>S</i>	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1.0	0.05	0.25	1.2
B	1.35	0.05	0.25	1.2
C	1.5	0.10	0.25	1.2
D	1.8	0.10	0.30	1.2
E	1.6	0.05	0.25	1.2

Oblik elastičnog spektra prema EC 8 u funkciji vrste tla (tlo tipa A je osnovna stena)



METODE PRORAČUNA

LINEARNO ELASTIČAN
MODEL KONSTRUKCIJE

NELINEARNE

SPEKTRALNA ANALIZA

NELINEARNA
STATIČKA

("PUSHOVER" KRIVA)

NELINEARNA
DINAMIČKA

(ANALIZA VREMENSKE
ISTORIJE ZAPISA
ZEMLJOTRESA)

A) UPROŠĆENA MODALNA
(EKVIVALENTNA STATIČKA)

- REGULARNE ZGRADE
- ZA OBJEKTE
 $T \leq 2$ S

B) MULTIMODALNA

2D MODEL 3D MODEL

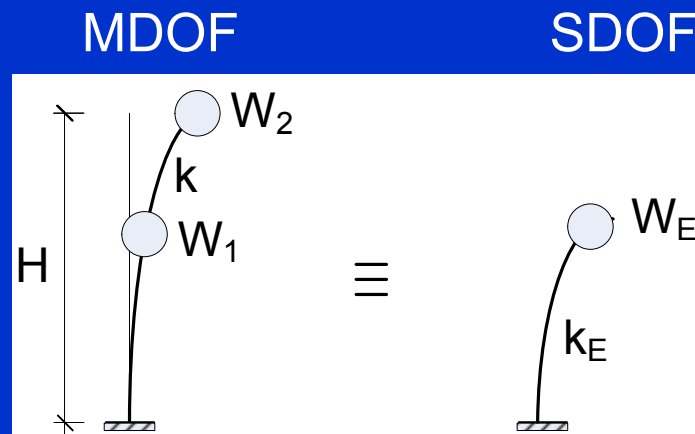
(NEREGULARNE ZGRADE
PO VISINI I OSNOVI)

B) DINAMIČKI ODGOVOR KONSTRUKCIJE NA OSNOVU NEZAVISNIH ODGOVORA ZA SVAKI POJEDINAČNI OBLIK OSCILOVANJA. ZATIM, OVI ODGOVORI SE MEĐUSOBNO KOMBINUJU NA IZABRANI NAČIN.

(KORISTI SE ČINJENICA DA JE SAMO NEKOLIKO NAJNIŽIH TONOVA OSCILOVANJA ZNAČAJNO ZA PRORAČUN STATIČKIH UTICAJA)

A) PRETPOSTAVKA: UKUPNA MASA SISTEMA OSCILUJE SAMO U I (OSNOVNOM) TONU

- **KORISTI SE SPEKTAR ODGOVORA**
- **PODRAZUMEVA SE DA JE PONAŠANJE MDOF SISTEMA MOGUĆE OPISATI PREKO *EKVIVALENTNOG SDOF* SISTEMA**



$$W_E = \sum W_i \quad (1)$$

$$k_E = k \quad (2)$$

$$T_E = T_{\text{MDOF}} \quad (3)$$

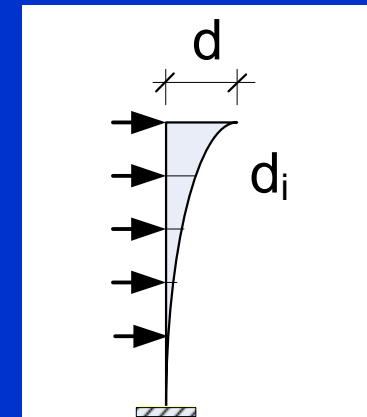
AKO SU (1) I (2) ZADOVOLJENI \Rightarrow OBA SISTEMA IMAJU JEDNAKO PSEUDO UBRZANJE $A(a_g)$ PA I SEZMIČKU

SILU $S = m \cdot a_g \cdot A(a_g) = \frac{W_E}{g} a_g \cdot A(a_g)$

\Rightarrow RASPODELA UKUPNE SEZMIČKE SILE PO VISINI OBJEKTA ODGOVARA POMERANJU U I TONU:

$$\frac{S_i}{\sum_j S_j} = \frac{m_i \cdot d_i}{\sum_j m_j \cdot d_j}$$

$$\Rightarrow S_i = S \frac{m_i \cdot d_i}{\sum_j m_j \cdot d_j}$$



PRIBLIŽNO ODREĐIVANJE PERIODA OSCILOVANJA ZGRADA:

a) EMPIRIJSKI

AB RAMOVI: $T_1 = 0,061 \cdot H^{0,75}$ $H = \dots[\text{m}]$

AB ZIDOVI: $T_1 = 0,09 \cdot H/(L)^{1/2}$

ILI: $T_1 = (0,06 \div 0,09) \cdot n$

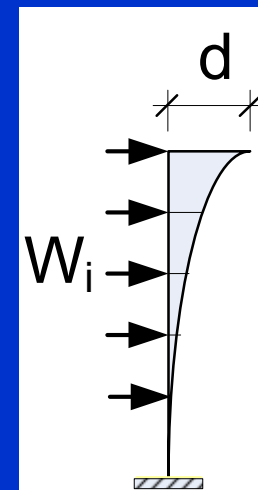
n - BROJ SPRATOVA

L - DUŽINA OBJEKTA U PRAVCU ZEMLJOTRESA

b) UPROŠĆEN REJLIJEV METOD:

$T_1 = 2 \cdot (d)^{1/2}$ $d \rightarrow [\text{m}]$

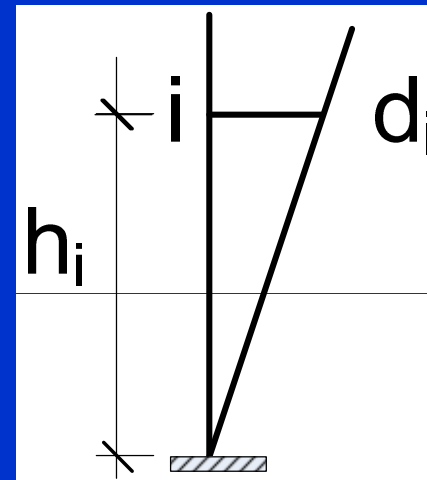
W_i – gravitaciono opterećenje
koje deluje horizontalno



UPROŠĆENJE:

OSNOVNA FORMA OSCILOVANJA U OBLIKU TROUGLA
(LINEARNA):

$$(*) \quad S_i = S \frac{h_i \cdot W_i}{\sum_j h_j \cdot W_j}$$



YU PROPIS:

- IZRAZ (*) VAŽI ZA SPRATNOST $i \leq 5$
- za $i > 5$: $0,15 \cdot S$ APLICIRA SE NA VRH, A $0,85 \cdot S$ RASPODELJUJE SE PRIMENOM (*)

KORISTEĆI SPEKTAR ODGOVORA:
UKUPNA SEIZMIČKA SILA JE:

$$S = S_d(T_1) \cdot W$$

$S_d(T_1)$ - ORDINATA PROJEKTOG SPEKTRA

T_1 - OSNOVNI PERIOD OSCILOVANJA
(PRVI TON)
PAŽNJA! ($T_{1x} \neq T_{1y}$)

W - UKUPNA TEŽINA OBJEKTA

YU - PROPISI

1981.

$$S = K G$$

S - ukupna seizmička sila

K - ukupni seizmički koeficijent

G - ukupna težina objekta sa stalnom opremom, snegom i verovatno korisno (50 % p)

$$K = K_o K_s K_p K_d$$

K_o - *koeficijent kategorije objekta*, zavisi od vrste i značaja objekta
 $0.75 \leq K_o \leq 1.5$. Stambeni i industrijski objekti (bez skupocene opreme) su u II kat. $K_o = 1.0$

K_s - *koeficijent seizmičkog intenziteta*, zavisi od seizmičke zone prema MCS skali: $K_s = 0.025$ za VII zonu

$K_s = 0.050$ za VIII zonu

$K_s = 0.100$ za IX zonu

K_p - koeficijent duktiliteta i prigušenja

$K_p = 1.0$ za AB skeletne konstrukcije

$K_p = 1.3$ za konstrukcije sa AB zidovima (krute konstr.)

$K_p = 1.6$ za zidane objekte sa vertikalnim serklažima i dimnjaci

$K_p = 2.0$ za zidane objekte i konstrukcije sa naglim promenama krutosti

K_d - koeficijent dinamičnosti zavisi od kategorije tla i od sopstvenog perioda oscilovanja konstrukcije (slika)

