

# **TRAJNOST KONSTRUKCIJA II**

---

## **OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA NA POTRESNO DJELOVANJE**

# OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA NA POTRESNO DJELOVANJE

NELINEARNI DINAMIČKI  
PRORAČUN

Najtočnija metoda za dobivanje odziva  
konstrukcije na seizmičko djelovanje

## NEDOSTACI:

- zahtijeva podloge u obliku pomaka tla na točno određenoj lokaciji usklađene sa seizmičkim spektrom
- složene računalne programe
- specijalistička znanja

NELINEARNI STATIČKI  
PRORAČUN

Pojednostavnjene metode, nedostatak učinaka  
ovisnih o vremenu - određene pogreške

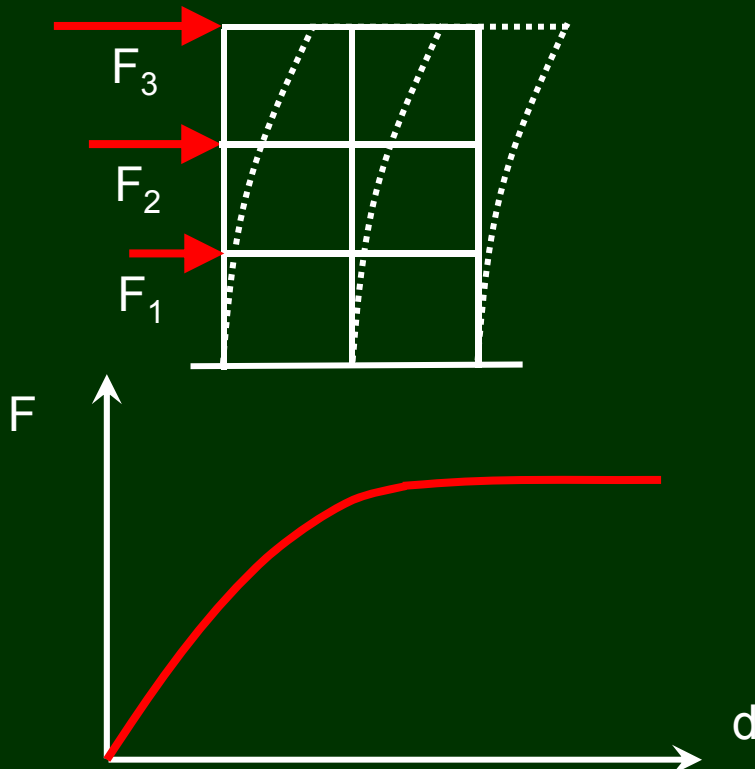
## VAŽNE INFORMACIJE O ODZIVU KONSTRUKCIJE:

- otkrivanje kritičnih područja u kojima su moguće velike neelastične deformacije
- određivanje nepravilnosti u raspodjeli krutosti tlocrtno ili po visini
- procjena potrebne sile u potencijalno krhkim elementima
- predviđanje slijeda popuštanja i/ili sloma konstrukcijskog elementa

1.

# METODA POSTUPNOG GURANJA (PUSHOVER METHOD)

- Suvremena verzija klasičnog proračuna do sloma
- iterativni postupak rješavanja statičkih jednačbi ravnoteže (obnavljanje matrice krutosti u svakom koraku)
- konstantno vertikalno stalno opterećenje + monotono rastuće bočno opterećenje



na lokacijama masa u konstrukcijskom modelu kako bi simuliralo inercijske sile izazvane jednom horizontalnom komponentom seizmičkog djelovanja

može opisati razvoj očekivanog plastičnog mehanizma i konstrukcijskog oštećenja, kao funkcija  $F - d$

1.

# METODA POSTUPNOG GURANJA (PUSHOVER METHOD)

## POPREČNA SILA

$$F_i = \alpha \cdot m_i \cdot \phi_i$$

Poprečne sile  $F_i$   
primijenjene na mase  $m_i$   
u odabranom smjeru proračuna  
uzimaju se da ostaju **proporcionalne**  
određenom obliku horizontalnih pomaka  $\phi_i$

Dva oblika poprečnog djelovanja

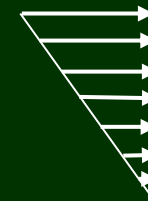
Najnepovoljniji rezultat mjerodavan

- JEDNOLIKI OBLIK, temeljen na poprečnim silama koje su proporcionalne s masom bez obzira na visinu, koji odgovara jednolikim poprečnim akceleracijama u jednom smjeru, za  $\phi_i=1$

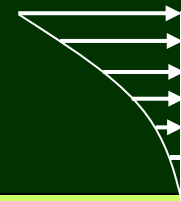


- MODALNI OBLIK, s poprečnim silama u skladu s njihovom razdiobom u promatranom smjeru

- ▶ ako zgrada zadovoljava uvjete za primjenu razdiobe poprečne sile u obliku obrnutog trokuta s jednosmjernim silama, slično silama koje se rabe u toj metodi  $\phi_i=z_i$



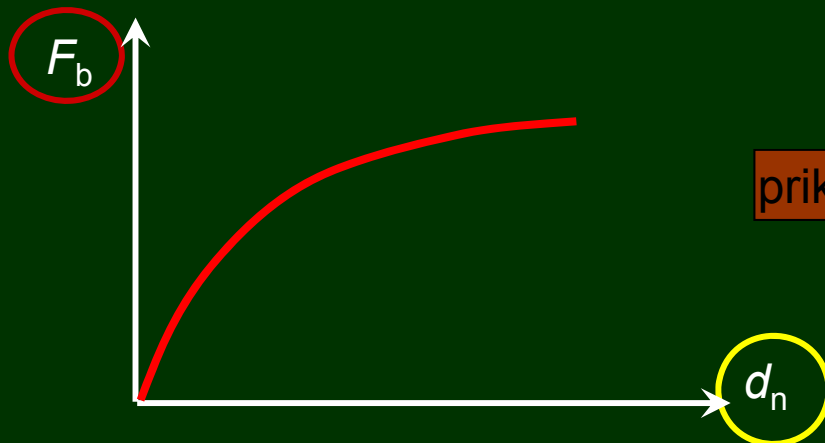
- ▶ ako ne zadovoljava, rabi se oblik koji simulira vršne inercijske sile osnovnog oblika titranja u horizontalnom smjeru u kojem se proračun provodi.



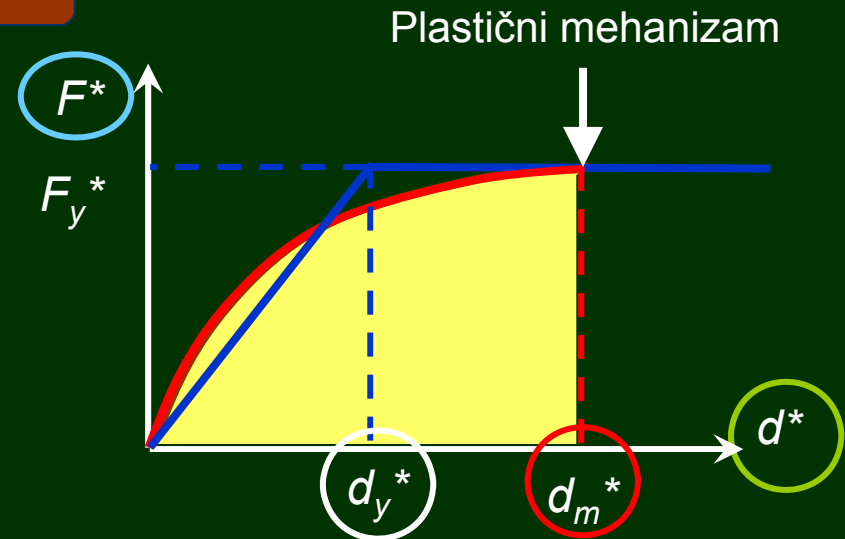
1.

# METODA POSTUPNOG GURANJA (PUSHOVER METHOD)

## KRIVULJA KAPACITETA NOSIVOSTI



prikladnije



Ukupna poprečna sila u podnožju

Pomak u kontrolnom čvoru (krov)

## ELASTOPLASTIČNA IDEALIZACIJA

Pomak popuštanja elasto-plastičnog ekviv.sustava

$$d_y^* = 2 \left( d_m^* - \frac{E_m^*}{F_y^*} \right)$$

Pomak ekviv.sustava pri formiranju plastič.mehanizma

Deformacijska energija ispod stvarne krivulje kapaciteta nosivosti

Poprečna sila SDOF

$$F^* = \frac{F_b}{\Gamma}$$

Pomak SDOF

$$d^* = \frac{d_n}{\Gamma}$$

Transformacijski faktor

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i^2}$$

Masa SDOF

$$m^* = \sum m_i \Phi_i$$

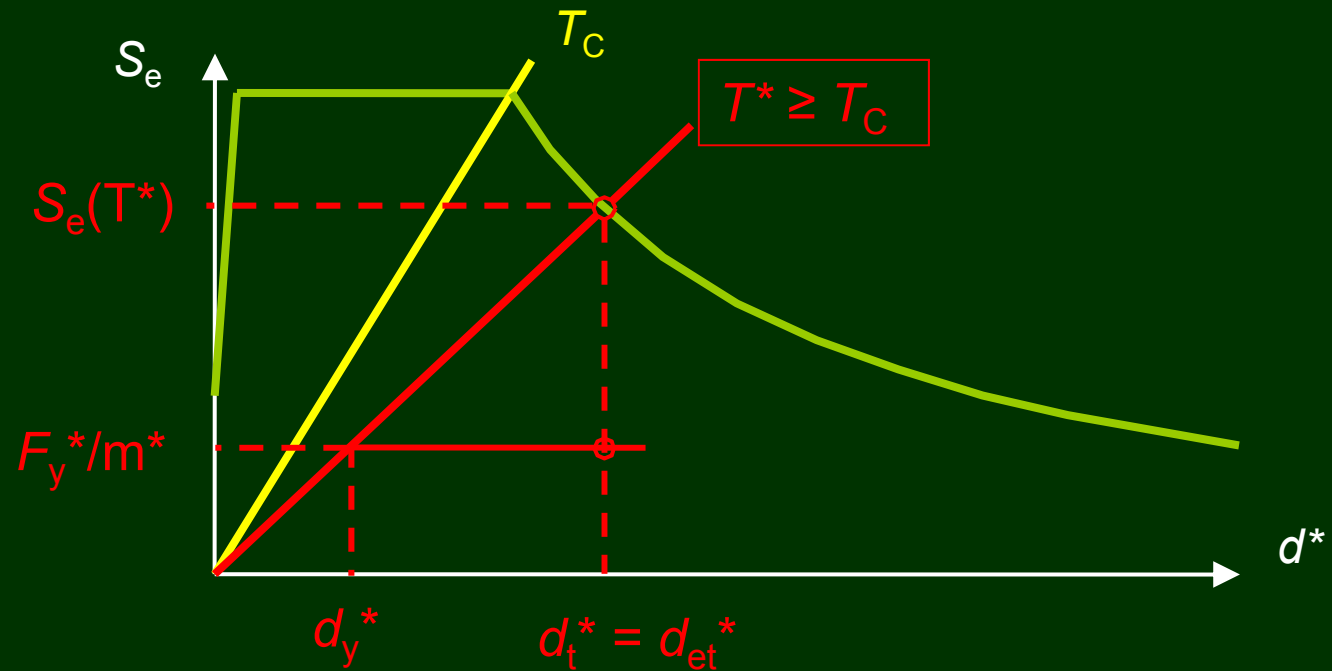
Period SDOF

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^* d_y^*}{F_y^*}} = 2\pi \sqrt{\frac{m^* d_{ny}}{F_{by}}}$$

1.

# METODA POSTUPNOG GURANJA (PUSHOVER METHOD)

## CILJANI POMAK



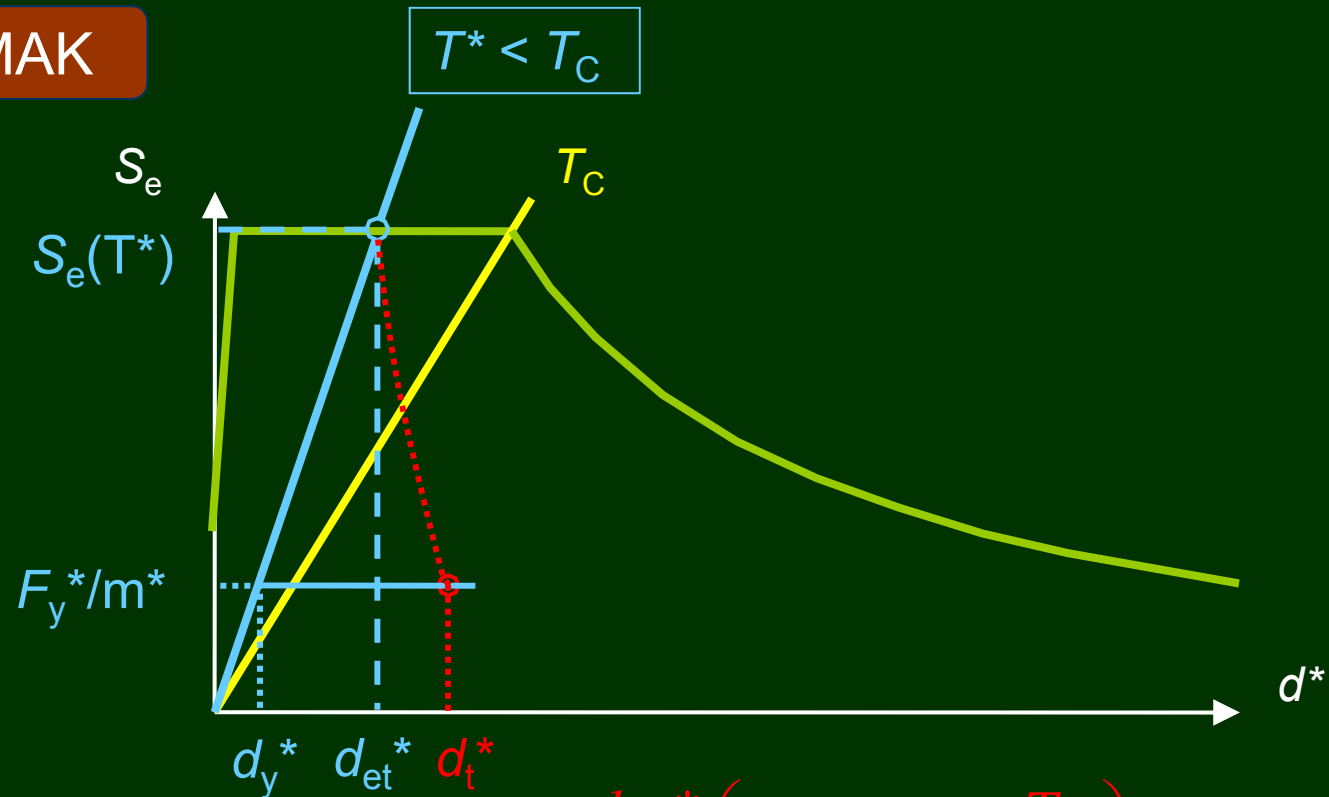
Srednji ili dugi  
period titranja

$$d_{et}^* = S_e(T^*) \left( \frac{T^*}{2\pi} \right)^2$$

1.

# METODA POSTUPNOG GURANJA (PUSHOVER METHOD)

CILJANI POMAK



Kratki period  
titranja

$$d_t^* = \frac{d_{et}^*}{q_u} \left( 1 + (q_u - 1) \frac{T_C}{T^*} \right) \geq d_{et}^*$$

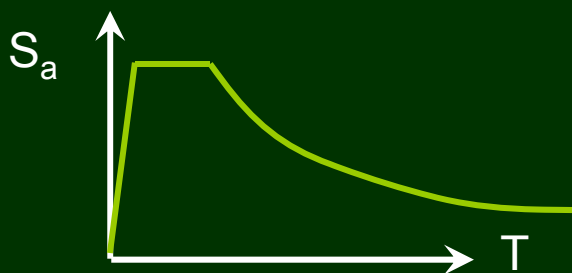
omjer ubrzanja u konstrukciji  
s neograničenim elastičnim ponašanjem i  
u konstrukciji s ograničenom čvrstoćom

$$q_u = \frac{S_e(T^*)}{F_y^*/m^*}$$

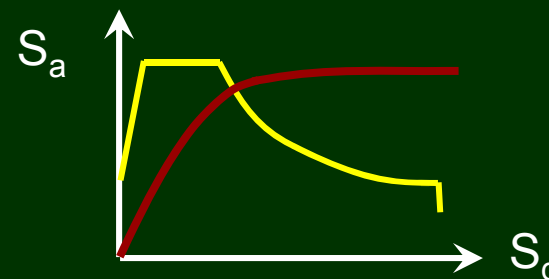
2.

# METODA SPEKTRA KAPACITETA NOSIVOSTI

Potresno djelovanje predstavljeno spektrima ubrzanja  $S_a - T$



Spektri odziva spektralno ubrzanje - spektralni pomak



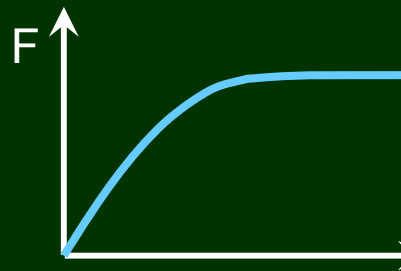
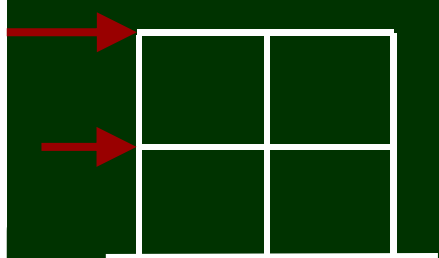
$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} \cdot S_{ai}$$

Usporedba ZAHTEVA POTRESA i KAPACITETA KONSTRUKCIJE

Postupno guranje

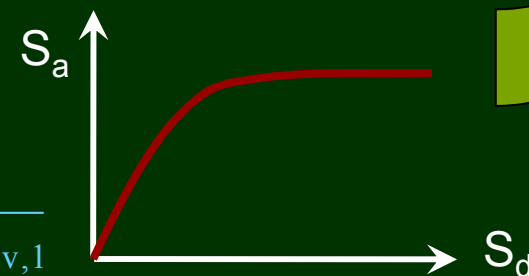
Krivulja kapaciteta nosivosti

Format spektralno ubrzanje - spektralni pomak



$$S_a = \frac{F/W}{\alpha_1}$$

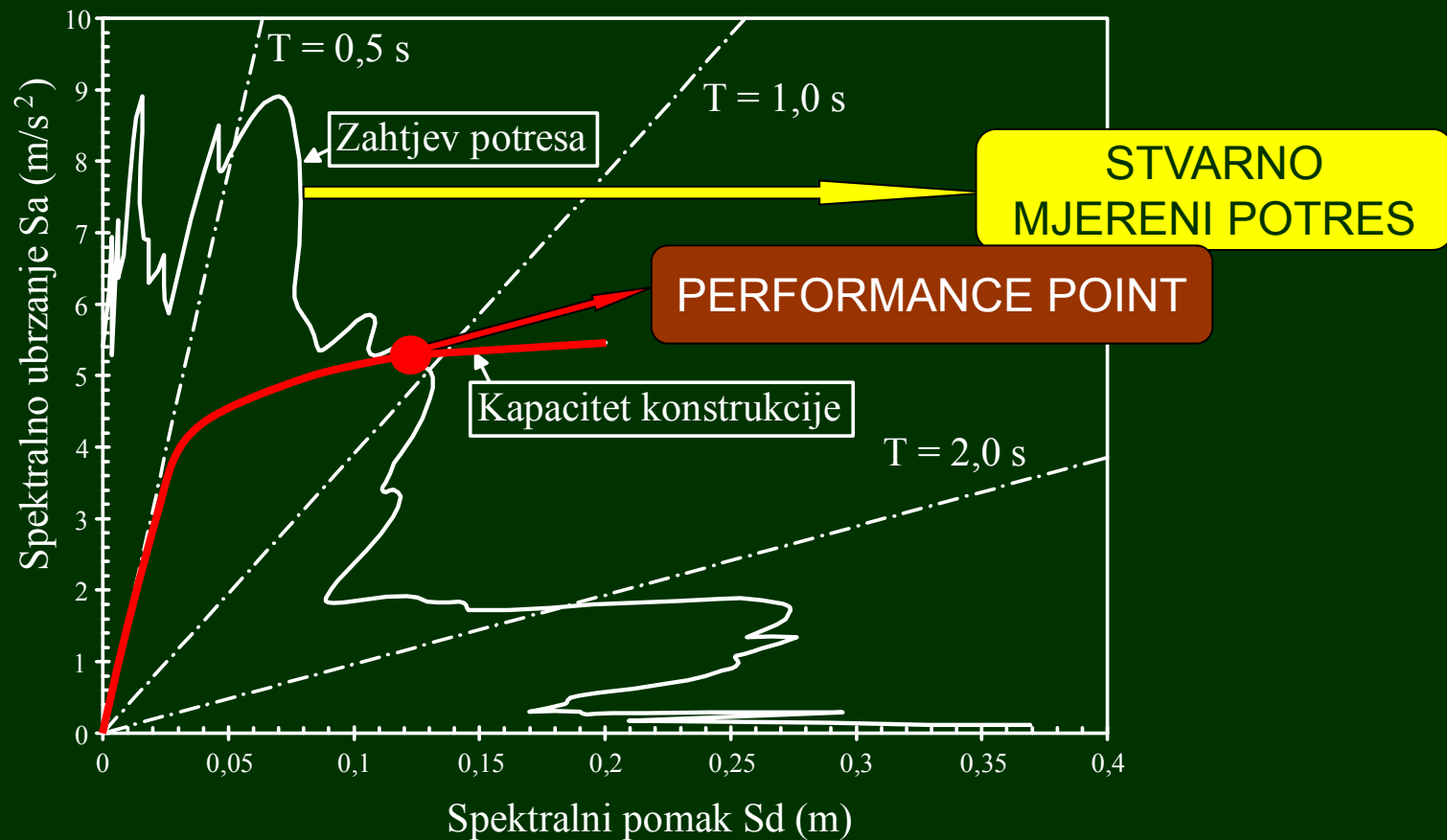
$$S_d = \frac{\delta_{krov}}{PF_1 \cdot \phi_{krov,1}}$$





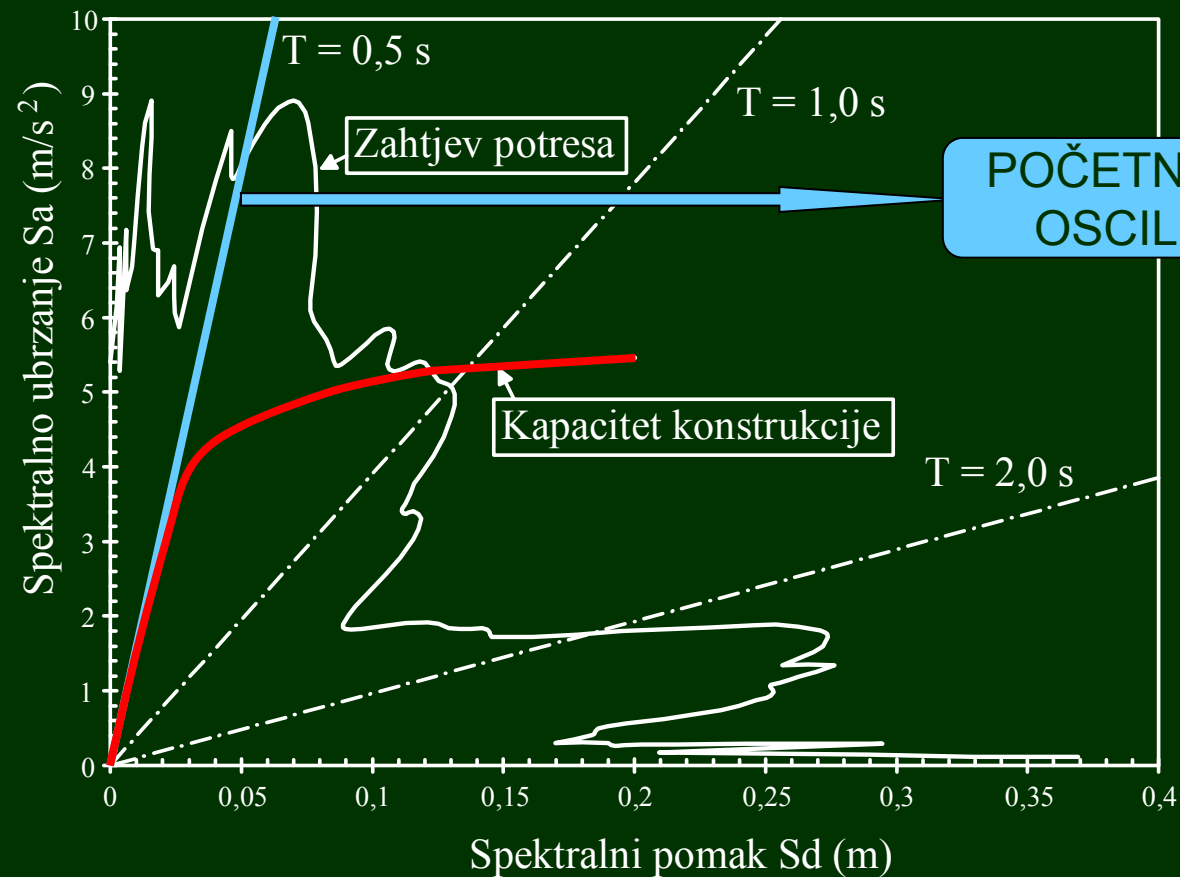
2.

# METODA SPEKTRA KAPACITETA NOSIVOSTI



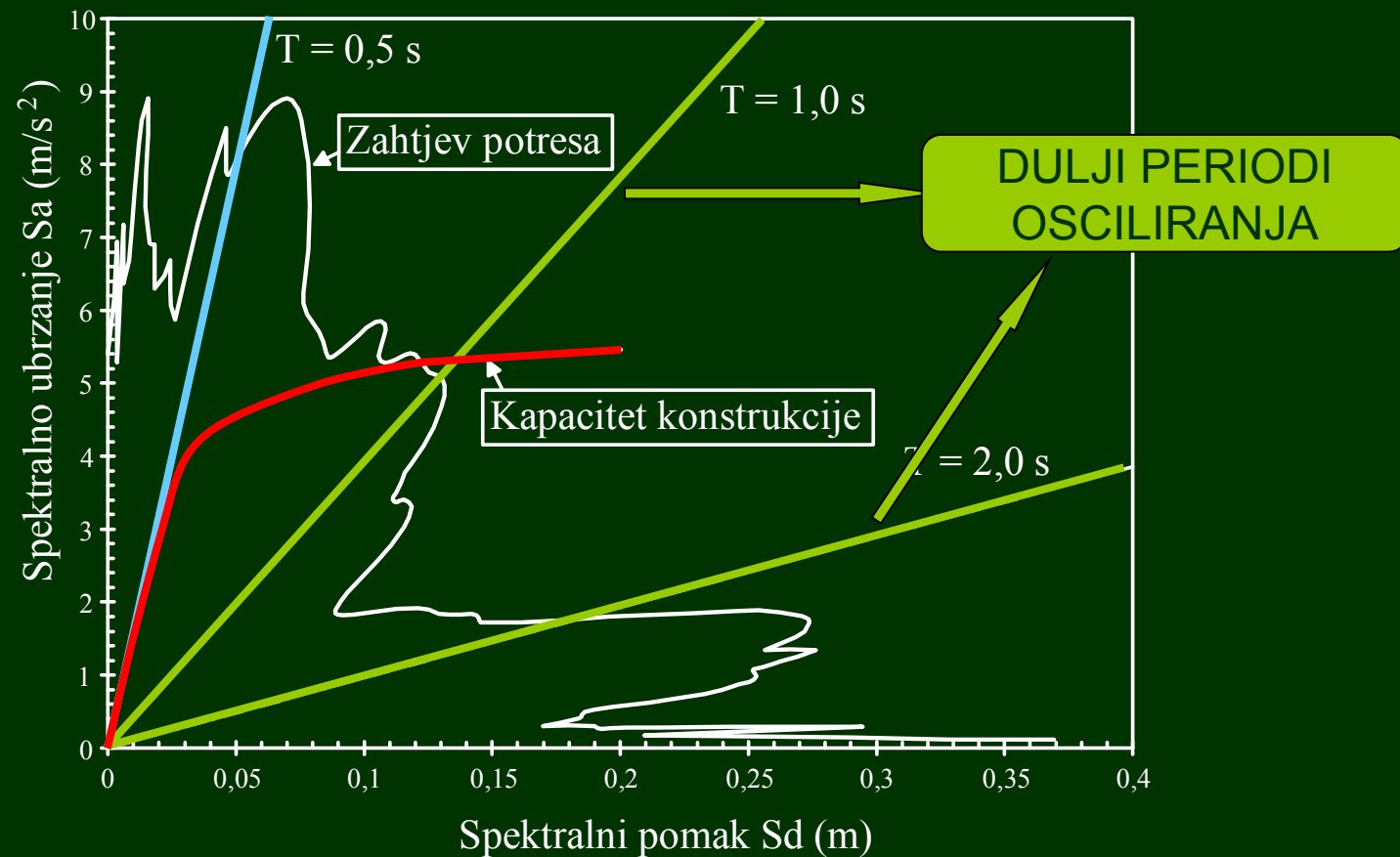
- Ako k.k. prodire kroz z.p. promatrana građevina će izdržati predviđeni potres uz manja ili veća oštećenja, ovisno o veličini nelinearnih deformiranja.
- Pomaci mogu dobro karakterizirati ponašanje konstrukcije za djelovanje pretpostavljenog potresa – važni za procjenu postojećih zgrada.

# METODA SPEKTRA KAPACITETA NOSIVOSTI



- Radijalni pravac perioda  $T$ , poklapa se s k.k u području linearno-elastič. ponašanja konstrukcije – odgovara punoj elastičnoj krutosti konstrukcije.

# METODA SPEKTRA KAPACITETA NOSIVOSTI



- Radijalni pravac manjeg nagiba, konstrukcija trpi nelinearna deformiranja, mjestimična plastifikacija → krutost konstrukcije opada →  $T$  se produljuje.

- Za procjenu postojećih građevina, koje velikim dijelom ne zadovoljavaju najnovije seizmičke propise.
- Na relativno jednostavan način pokazuje kakvi su zahvati na nosivoj konstrukciji potrebni da bi se mogao očekivati njezin povoljan odziv na potres.

• Osnovne mjere koje se poduzimaju su poboljšanje

▶ NOSIVOSTI

▶ KRUTOSTI

▶ DUKTILNOSTI

POVEZANA SVOJSTVA – voditi računa da prekomjerno poboljšanje jednog (npr.krutosti) ne ugrozi drugo (umanjenje duktilnosti)

▶ UGRAĐIVANJE IZOLATORA ZA DISIPACIJU SEIZMIČKE ENERGIJE

## RAZVOJ METODA POSTUPNOG GURANJA ZA OCJENIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

Ograničenje UOBIČAJENE  
PUSHOVER METODE



odziv konstrukcije kontroliran je samo  
osnovnim oblikom titranja

### VIŠEMODALNE PUSHOVER METODE

Provođenje više odvojenih proračuna postupnim guranjem, od kojih svaki odgovara pojedinom obliku titranja, a onda se odziv konstrukcije dobiva kombiniranjem učinaka djelovanja dobivenih od pojedinih oblika titranja.

► Modal Pushover Analysis, MPA

► Energy-based Pushover formulation

► Incremental Response Spectrum Analysis, IRSA

#### PREDNOSTI

- jednostavnije od dinamičkih metoda
- uobičajeni računalni programi

#### NEDOSTACI

- složenije od jednostrukih statičkih proračuna
- poteškoće u sklopu metode spektra kapaciteta zbog potrebe za krivulj.kapac. povezanim uz oblike opterećenja viših oblika vibriranja

3.

## RAZVOJ METODA POSTUPNOG GURANJA ZA OCJENIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

UOBIČAJENE  
PUSHOVER  
METODE

nepromjenjivi oblici  
opterećenja su  
ograničavajući

Povećanje deformiranja

Nakupljanje oštećenja

Smanjenje krutosti

Produljenje perioda  $T$

Bitne promjene u odzivu

PRILAGOĐAVAJUĆE METODE  
(Adaptive Pushover Methods)

vektor opterećenja se ponovo  
određuje (dakle prilagođava) u  
svakom koraku, uzimajući u obzir  
smanjenje krutosti konstrukcije zbog  
ulaska u neelastično područje.

# RAZVOJ METODA POSTUPNOG GURANJA ZA OCJENIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

## Force-based Adaptive Pushover (FAP)

- kombiniranje modalnih odziva (SRSS, CQC) The Square Root of the Sum of the Squares, Complete Quadratic Comb.

► OGRANIČENJE: mogućnost promjene predznaka unaprijed isključena, a može biti potrebna kako bi predstavila nejednoliku preraspodjelu sila nakon što je neelastični mehanizam aktiviran na nekom mjestu.

- direktno vektorsko zbrajanje modalnih oblika (DVA)

$$F_i = \sum_{j=1}^n \alpha_j \Gamma_j \phi_{j,i} M_j S_{a,j}$$

broj katova    broj oblika titranja

faktor sudjelovanja  $j$ -tog oblika titranja

vrijednost  $s$  obzirom na masu normaliziranog oblika za  $i$ -ti kat i  $j$ -ti oblik

masa  $i$ -tog kata

ordinata spektra ubrzanja za period titranja  $j$ -tog oblika

faktor opterećivanja kojim se uzima u obzir promjenljiva relativna važnost koju svaki pojedini oblik titranja  $j$  ima na maksimalni odziv

► OGRANIČENJE: ne postoji točna metoda za određivanje faktora  $\alpha_j$ .

3.

# RAZVOJ METODA POSTUPNOG GURANJA ZA OCJENIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

## Displacement-based Adaptive Pushover (DAP)

1. definiranje nominalnog vektora opterećenja  $U_0$
2. proračun faktora opterećenja  $\lambda$
3. proračun normaliziranog skalarnog vektora  $\bar{D}$
4. prilagođavanje opterećavajućeg vektora pomaka

Ponavljanje na  
svakoj razini  
ravnoteže

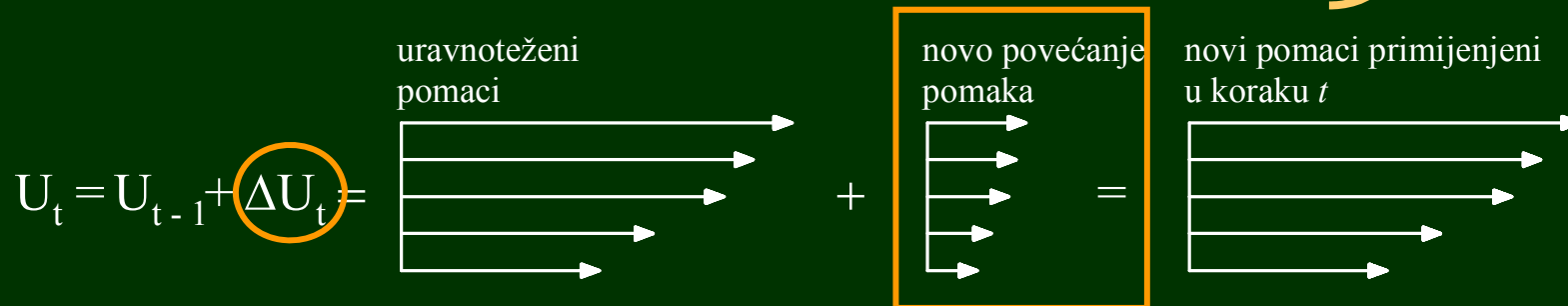


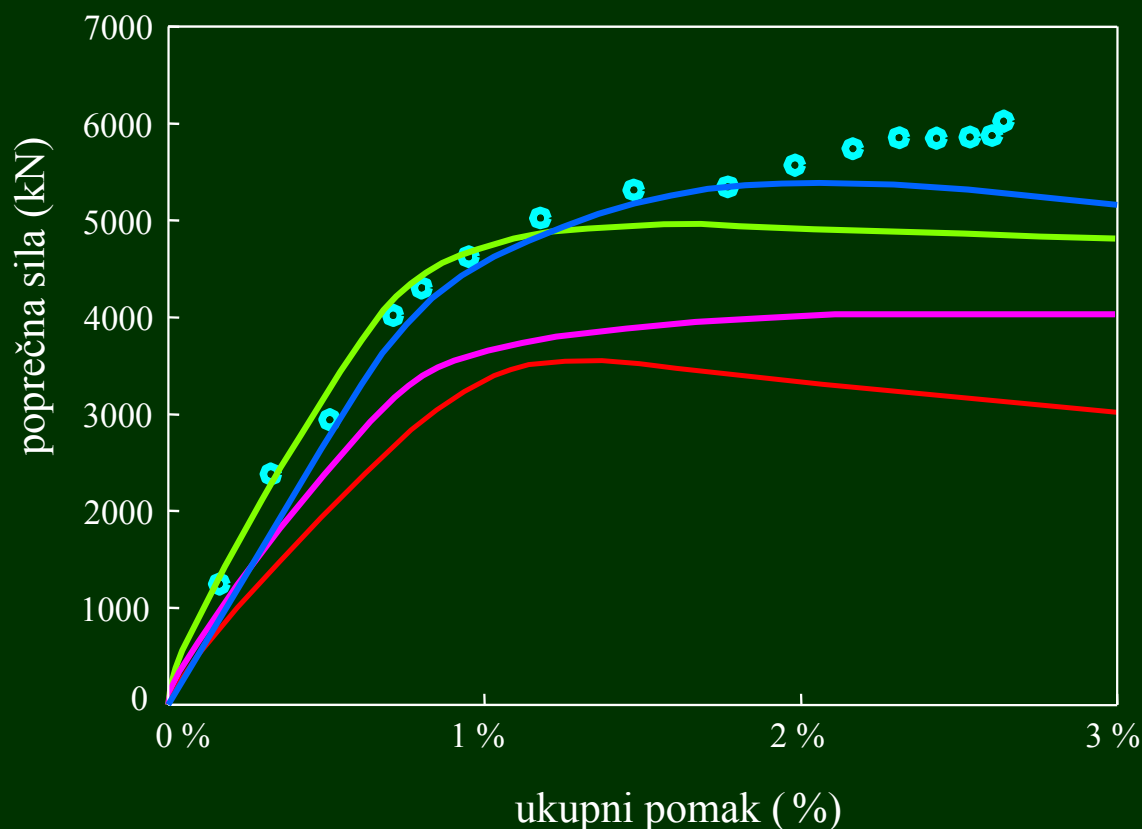
Diagram illustrating the calculation of the displacement increment  $\Delta U_t$ :

$$\Delta U_t = \Delta \lambda_t \times$$

$$\Rightarrow U_t = U_{t-1} + \Delta \lambda_t \cdot \bar{D}_t \cdot U_0$$



# RAZVOJ METODA POSTUPNOG GURANJA ZA OCJENIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA



## KRIVULJA KAPACITETA NOSIVOSTI

Dinamički proračun (DYNA)

Uobičajena pushover metoda s trokutastom raspodjelom opterećenja (SP-1)

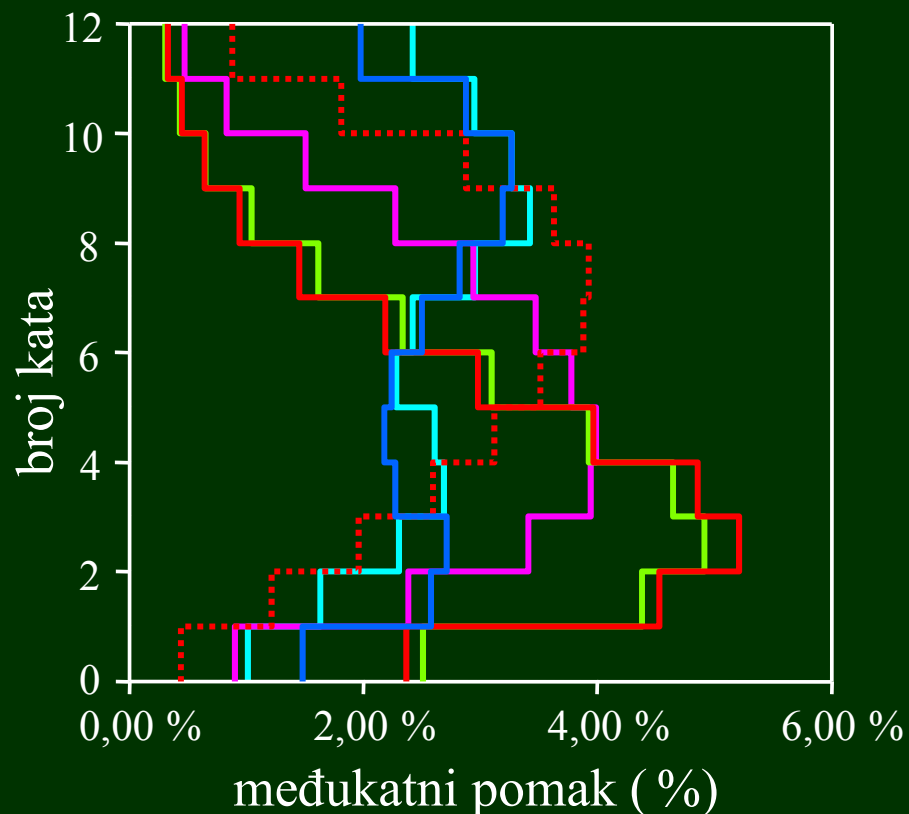
Uobičajena pushover metoda s jednolikom raspodjelom opterećenja (SP-2)

Prilagođavajuća pushover metoda utemeljena na sili:

- uz kombiniranje oblika vibriranja primjenom pravila korjenovanja sume kvadrata (FAP-SRSS)
- uz kombiniranje oblika vibriranja primjenom direktnog vektorskog zbrajanja (FAP-DVA)

Prilagođavajuća pushover metoda utemeljena na pomaku uz kombiniranje oblika vibriranja pravilom korjenovanja sume kvadrata (DAP-SRSS)

# RAZVOJ METODA POSTUPNOG GURANJA ZA OCJENIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA



PROFIL MEĐUKATNIH POMAKA ZA  
ZGRADU S 12 KATOVA

Dinamički proračun (DYNA)

Uobičajena pushover metoda s  
trokutastom raspodjelom opterećenja  
(SP-1)

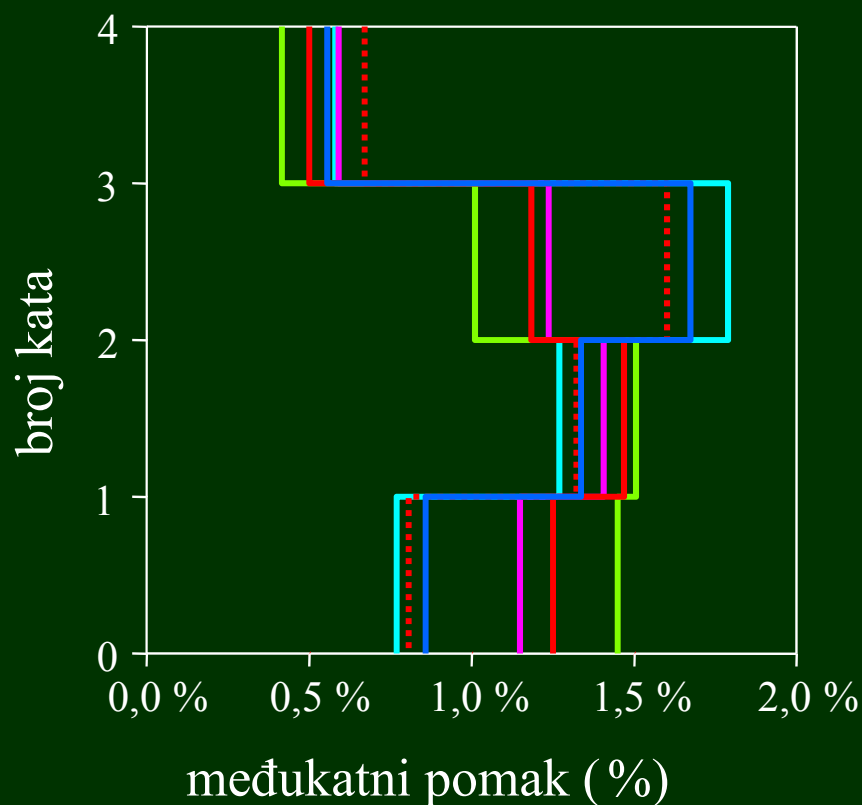
Uobičajena pushover metoda s  
jednolikom raspodjelom opterećenja  
(SP-2)

Prilagođavajuća pushover metoda  
utemeljena na sili:

- uz kombiniranje oblika vibriranja primjenom pravila korjenovanja sume kvadrata (FAP-SRSS)
- uz kombiniranje oblika vibriranja primjenom direktnog vektorskog zbrajanja (FAP-DVA)

Prilagođavajuća pushover metoda  
utemeljena na pomaku uz  
kombiniranje oblika vibriranja pravilom  
korjenovanja sume kvadrata  
(DAP-SRSS)

# RAZVOJ METODA POSTUPNOG GURANJA ZA OCJENIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA



PROFIL MEĐUKATNIH POMAKA ZA  
ZGRADU S 4 KATOVA

Dinamički proračun (DYNA)

Uobičajena pushover metoda s  
trokutastom raspodjelom opterećenja  
(SP-1)

Uobičajena pushover metoda s  
jednolikom raspodjelom opterećenja  
(SP-2)

Prilagođavajuća pushover metoda  
utemeljena na sili:

- uz kombiniranje oblika vibriranja primjenom pravila korjenovanja sume kvadrata (FAP-SRSS)
- uz kombiniranje oblika vibriranja primjenom direktnog vektorskog zbrajanja (FAP-DVA)

Prilagođavajuća pushover metoda  
utemeljena na pomaku uz  
kombiniranje oblika vibriranja pravilom  
korjenovanja sume kvadrata  
(DAP-SRSS)

# **PRIMJER: OCJENJIVANJE LUČNIH MOSTOVA NA SEIZMIČKO DJELOVANJE**

# DIJAGRAM TOKA

1

## PREGLED MOSTOVA I PROJEKATA

Os luka, cjelovitost presjeka  
kvaliteta betona, količina i  
kvaliteta armature

## LINEARNI VIŠEMODALNI SPEKTRALNI PRORAČUN

Model usklađen s rezultatima  
pregleda, ugrađena armatura

$$\frac{A_{s,djelotvorna}}{A_{s,potrebna}} = 1,0$$

NE

DA

2

## MOGUĆNOST PRERASPODJELE NAPREZANJA

NELINEARNA STATIČKA  
PUSHOVER METODA  
ograničenje postojeće  
armature

$$\gamma_{Ex} (d_{Ex} = d_{Tx}) \geq 1,0$$

$$\gamma_{Ey} (d_{Ey} = d_{Ty}) \geq 1,0$$

NE

DA

3

## POUZDANOST POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

PROCJENA INDEKSA  
POUZDANOSTI ZA GSN  
probabilistički model  
seizmičkog opterećenja

$$\beta(\gamma_E) \geq \beta_{target,GSN}$$

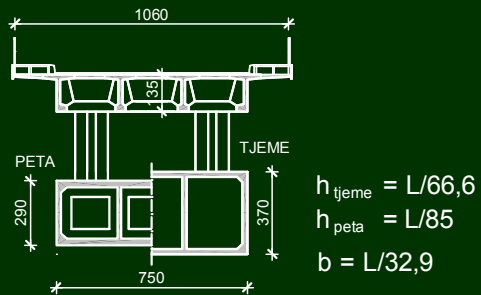
NE

DA

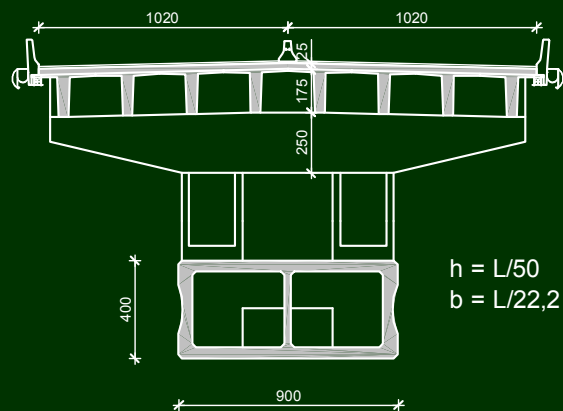
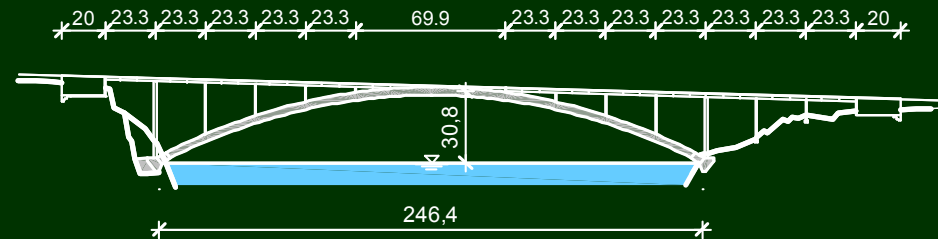
GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI PRI SEIZMIČKOJ PRORAČUNSKOJ  
SITUACIJI OCJENJUJEMO ZADOVOLJAVAJUĆIM

POTREBNE  
ODGOVARAJUĆE  
MJERE

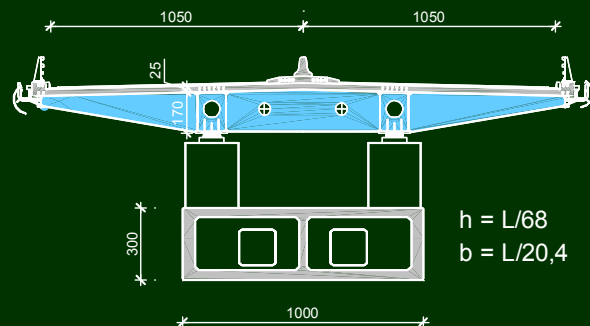
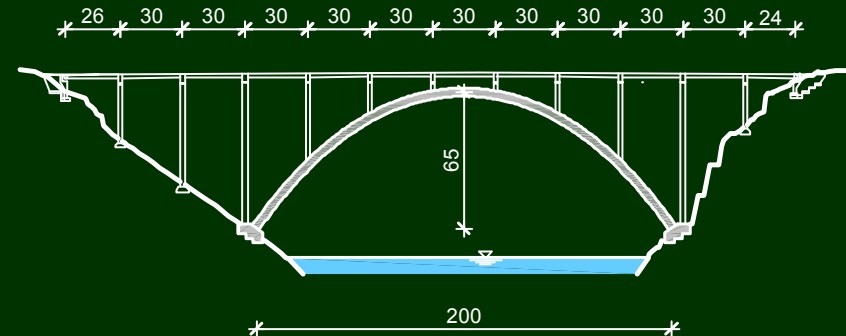
# PROMATRANI MOSTOVI



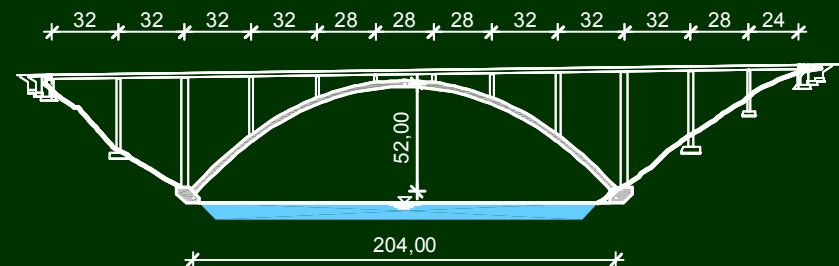
ŠIBENSKI MOST, 1966.



MASLENIČKI MOST, 1997.



SKRADINSKI MOST, 2005.



# OCJENA LUKOVA NA SEIZMIČKO OPTEREĆENJE

| KORACI OCJENE                                                                  | ŠIBENSKI MOST  | MASLENIČKI MOST | SKRADINSKI MOST |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 1. KORAK OCJENE                                                                |                |                 |                 |
| Provjera ugrađene armature<br>linearnim višemodalnim spektralnim<br>proračunom | ne zadovoljava | zadovoljava     | zadovoljava     |

# OCJENA LUKOVA NA SEIZMIČKO OPTEREĆENJE

| KORACI OCJENE                                                            | ŠIBENSKI MOST   | MASLENIČKI MOST  | SKRADINSKI MOST  |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|------------------|
| 1. KORAK OCJENE                                                          |                 |                  |                  |
| Provjera ugrađene armature linearnim višemodalnim spektralnim proračunom | ne zadovoljava  | zadovoljava      | zadovoljava      |
| 2. KORAK OCJENE                                                          | neophodan       | nepotreban       | nepotreban       |
| Parcijalni koeficijent na potresno djelovanje $\gamma_E$                 | 1,0 zadovoljava | 1,25 zadovoljava | 1,55 zadovoljava |



# DETALJNIJI PRORAČUN ŠIBENSKOG MOSTA POTRESNO OPTEREĆENJE

## 3.3.1. Potresno opterećenje u poprečnom smjeru mosta

Zbroj efektivnih modalnih masa, za razmatrane tonove osciliranja treba iznositi najmanje 90% ukupne mase konstrukcije. Stoga je za poprečni smjer mosta korišteno 80 tonova, da bi aktivna masa iznosila 90,5% ukupne mase.

| Modal load contributions per function |      |            |       |              |      |            |       |              |  |
|---------------------------------------|------|------------|-------|--------------|------|------------|-------|--------------|--|
| funct.                                | mode | R*V-factor | [o/o] | V*R*V-factor | mode | R*V-factor | [o/o] | V*R*V-factor |  |
| 791                                   | 1    | -7.830E+01 | 55.0  | -9.905E-01   | 41   | 1.147E-06  | 0.0   | -7.474E-15   |  |
|                                       | 2    | -2.030E-10 | 0.0   | -2.578E-23   | 42   | 1.200E-06  | 0.0   | -7.984E-15   |  |
|                                       | 3    | -1.242E+01 | 1.4   | -1.016E+00   | 43   | -4.361E-01 | 0.0   | -7.660E-04   |  |
|                                       | 4    | 2.355E+01  | 5.0   | -1.021E+00   | 44   | 9.708E-07  | 0.0   | -1.708E-14   |  |
|                                       | 5    | 1.258E-08  | 0.0   | -4.700E-19   | 45   | -4.067E-07 | 0.0   | -2.526E-14   |  |
|                                       | 6    | 2.050E+01  | 3.8   | -1.040E+00   | 46   | 4.463E-06  | 0.0   | -1.040E+00   |  |
|                                       | 7    | 2.453E+01  | 6.4   | -1.031E+00   | 47   | 2.812E-03  | 0.0   | -3.619E-06   |  |
|                                       | 8    | 4.539E+00  | 0.2   | -1.046E+00   | 48   | -1.112E-05 | 0.0   | -9.305E-13   |  |
|                                       | 9    | 4.978E+00  | 0.2   | -1.078E+00   | 49   | -2.156E+00 | 0.0   | -1.120E-02   |  |
|                                       | 10   | -1.933E-09 | 0.0   | -1.442E-18   | 50   | -1.606E+01 | 2.3   | -9.979E-01   |  |
|                                       | 11   | -6.291E+00 | 0.4   | -1.088E+00   | 51   | -1.277E-02 | 0.0   | -1.420E-05   |  |
|                                       | 12   | 1.005E-08  | 0.0   | -4.684E-18   | 52   | -1.786E+01 | 2.9   | -1.072E+00   |  |
|                                       | 13   | 2.282E+00  | 0.0   | -1.073E+00   | 53   | 1.361E-04  | 0.0   | -5.049E-11   |  |
|                                       | 14   | -7.575E-09 | 0.0   | -4.133E-16   | 54   | 5.359E+00  | 0.3   | -1.075E+00   |  |
|                                       | 15   | -2.349E+01 | 5.0   | -9.883E-01   | 55   | 4.559E-01  | 0.0   | -4.613E-04   |  |
|                                       | 16   | 4.760E-07  | 0.0   | -3.418E-16   | 56   | -6.204E-06 | 0.0   | -1.163E-12   |  |
|                                       | 17   | -6.308E-03 | 0.0   | -1.615E-07   | 57   | -2.314E+00 | 0.0   | -1.175E+00   |  |
|                                       | 18   | -8.898E-08 | 0.0   | -6.938E-17   | 58   | -2.021E-05 | 0.0   | -4.742E-11   |  |
|                                       | 19   | 1.429E+00  | 0.0   | -5.076E-03   | 59   | 1.172E-05  | 0.0   | -1.844E-10   |  |
|                                       | 20   | 2.459E-07  | 0.0   | -1.224E-16   | 60   | -1.229E+00 | 0.0   | -1.050E+00   |  |
|                                       | 21   | 4.971E-08  | 0.0   | -8.315E-16   | 61   | -4.724E-06 | 0.0   | -3.679E-11   |  |
|                                       | 22   | -4.928E-01 | 0.0   | -1.256E-03   | 62   | 2.305E-05  | 0.0   | -3.215E-11   |  |
|                                       | 23   | -3.287E-07 | 0.0   | -1.842E-14   | 63   | 4.895E+00  | 0.2   | -1.077E+00   |  |
|                                       | 24   | -6.239E-01 | 0.0   | -1.033E+00   | 64   | -4.690E-02 | 0.0   | -6.798E-05   |  |
|                                       | 25   | -7.859E-03 | 0.0   | -1.194E-06   | 65   | 6.481E+00  | 0.4   | -1.120E+00   |  |
|                                       | 26   | 2.040E-06  | 0.0   | -1.719E-14   | 66   | 1.029E-04  | 0.0   | -1.080E+00   |  |
|                                       | 27   | -3.138E-06 | 0.0   | -3.271E-14   | 67   | 1.043E-05  | 0.0   | -1.128E+00   |  |
|                                       | 28   | -1.605E-02 | 0.0   | -3.199E-06   | 68   | -1.644E-06 | 0.0   | -9.147E-10   |  |
|                                       | 29   | -8.832E-07 | 0.0   | -3.994E-14   | 69   | 1.598E-05  | 0.0   | -2.446E-11   |  |
|                                       | 30   | -7.352E-07 | 0.0   | -6.469E-14   | 70   | -1.569E-03 | 0.0   | -4.754E-06   |  |
|                                       | 31   | -1.341E-06 | 0.0   | -2.960E-13   | 71   | 1.631E-06  | 0.0   | -9.193E-12   |  |
|                                       | 32   | 1.212E+01  | 1.3   | -1.118E+00   | 72   | -7.227E-05 | 0.0   | -4.699E-11   |  |
|                                       | 33   | 2.121E-06  | 0.0   | -1.173E-12   | 73   | -6.534E-01 | 0.0   | -3.226E-03   |  |
|                                       | 34   | -6.523E-07 | 0.0   | -1.109E-12   | 74   | 1.090E+00  | 0.0   | -5.925E-03   |  |
|                                       | 35   | -2.305E+01 | 4.8   | -1.025E+00   | 75   | -1.304E+01 | 1.5   | -1.076E+00   |  |
|                                       | 36   | 4.685E-06  | 0.0   | -4.301E-14   | 76   | 1.912E+00  | 0.0   | -1.638E-02   |  |
|                                       | 37   | 8.445E-07  | 0.0   | -3.777E-14   | 77   | -5.265E-03 | 0.0   | -6.914E-07   |  |
|                                       | 38   | -1.800E+00 | 0.0   | -2.753E-02   | 78   | -4.284E-05 | 0.0   | -2.535E-11   |  |
|                                       | 39   | 1.913E-06  | 0.0   | -9.542E-15   | 79   | 6.259E-05  | 0.0   | -4.700E-11   |  |
|                                       | 40   | -1.843E-06 | 0.0   | -8.828E-15   | 80   | -4.796E+00 | 0.2   | -1.109E+00   |  |
| Sq. Sum                               |      | 1.008E+04  | 90.5  | -2.663E+01   |      |            |       |              |  |

Slika 20. postoci aktivne mase u prvih 80 tonova osciliranja konstrukcije

### Normirana metoda

Iz slike 20. vidljivo je da je u prvom obliku titranja konstrukcije aktivno 55,0% ukupne mase konstrukcije tako da je taj oblik titranja dominantan. Pomoću perioda titranja koji odgovara ovom obliku titranja dobivamo ordinatu proračunskog spektra odziva iz koje izračunamo zamjensku horizontalnu silu u poprečnom smjeru y.

$$T_1 = 2,486 \rightarrow S_d(T_1) = 0,635$$

### Približna višemodalna metoda

Ekvivalentni period titranja dobiva se razmatranjem postotka mase aktivnog pri svakom pojedinom obliku titranja.

$$T_{Eq} = \frac{\sum_{i=1}^{20} M_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^{20} M_i}$$

$$T_{Eq,y} = 1,924 \rightarrow S_d(T_{Eq,y}) = 1,020$$

## 3.3.2. Potresno opterećenje u uzdužnom smjeru mosta

Za uzdužni smjer mosta korišteno je 150 tonova osciliranja da bi aktivna masa iznosila 91,3% ukupne mase.

| Modal load contributions per function |      |            |       |              |      |            |       |              |  |
|---------------------------------------|------|------------|-------|--------------|------|------------|-------|--------------|--|
| funct.                                | mode | R*V-factor | [o/o] | V*R*V-factor | mode | R*V-factor | [o/o] | V*R*V-factor |  |
| 792                                   | 1    | -3.910E-11 | 0.0   | -1.325E-05   | 76   | 2.159E-05  | 0.0   | -9.857E-01   |  |
|                                       | 2    | 3.702E+01  | 12.3  | -1.622E-01   | 77   | 1.425E-04  | 0.0   | -1.001E+00   |  |
|                                       | 3    | 6.167E-10  | 0.0   | -8.996E-06   | 78   | -2.360E+00 | 0.1   | -1.342E-01   |  |
|                                       | 4    | -3.269E-10 | 0.0   | -3.336E-05   | 79   | -2.981E+00 | 0.1   | -9.097E-01   |  |
|                                       | 5    | 4.815E-01  | 0.0   | -4.223E-02   | 80   | 1.240E-03  | 0.0   | -5.200E-07   |  |
|                                       | 6    | 6.393E-11  | 0.0   | -2.008E-05   | 81   | 5.225E+00  | 0.2   | -1.203E+00   |  |
|                                       | 7    | -7.809E-10 | 0.0   | -5.480E-06   | 82   | -7.727E-05 | 0.0   | -1.659E-04   |  |
|                                       | 8    | -1.095E-09 | 0.0   | -5.489E-05   | 83   | 4.639E-05  | 0.0   | -7.529E-09   |  |
|                                       | 9    | -4.039E-09 | 0.0   | -1.995E-05   | 84   | -4.778E-01 | 0.0   | -4.805E-01   |  |
|                                       | 10   | 3.088E+00  | 0.1   | -2.924E-02   | 85   | -2.659E-04 | 0.0   | -3.591E-06   |  |
|                                       | 11   | 3.157E-08  | 0.0   | -1.415E-05   | 86   | -2.225E+00 | 0.0   | -1.235E+00   |  |
|                                       | 12   | -1.059E+01 | 1.0   | -7.182E-02   | 87   | -6.683E-04 | 0.0   | -1.628E-04   |  |
|                                       | 13   | 3.291E-07  | 0.0   | -2.168E-04   | 88   | 6.752E-01  | 0.0   | -1.641E+00   |  |
|                                       | 14   | -1.731E+01 | 2.7   | -1.035E+00   | 89   | -7.865E+00 | 0.6   | -1.252E+00   |  |
|                                       | 15   | -6.262E-07 | 0.0   | -3.963E-03   | 90   | 5.569E+00  | 0.3   | -7.743E-01   |  |
|                                       | 16   | 1.294E+01  | 1.5   | -4.654E-01   | 91   | -2.349E-03 | 0.0   | -7.504E-08   |  |
|                                       | 17   | 1.115E-06  | 0.0   | -9.711E-01   | 92   | 4.173E+00  | 0.2   | -7.122E-02   |  |
|                                       | 18   | -1.407E+01 | 1.8   | -5.304E-01   | 93   | -6.887E-01 | 0.0   | -1.054E-02   |  |
|                                       | 19   | -2.186E-06 | 0.0   | -8.932E-01   | 94   | 8.095E-04  | 0.0   | -1.904E-06   |  |
|                                       | 20   | -5.820E+01 | 30.4  | -7.391E-01   | 95   | -1.003E-03 | 0.0   | -2.271E-01   |  |
|                                       | 21   | 3.869E+00  | 0.1   | -7.545E-01   | 96   | 4.549E+00  | 0.2   | -7.828E-01   |  |
|                                       | 22   | -2.579E-06 | 0.0   | -7.472E-01   | 97   | 6.709E-03  | 0.0   | -9.273E-01   |  |
|                                       | 23   | -3.513E+01 | 11.1  | -3.610E-01   | 98   | -8.761E-02 | 0.0   | -3.580E-02   |  |
|                                       | 24   | -5.593E-06 | 0.0   | -5.096E-03   | 99   | 8.369E-01  | 0.0   | -3.600E-01   |  |
|                                       | 25   | -2.800E-06 | 0.0   | -9.999E-01   | 100  | 6.411E+00  | 0.4   | -2.338E-01   |  |
|                                       | 26   | 1.659E+01  | 2.3   | -9.450E-02   | 101  | 2.185E+00  | 0.0   | -1.795E-01   |  |
|                                       | 27   | 5.718E-01  | 0.0   | -1.664E-03   | 102  | -2.363E+00 | 0.1   | -3.073E-02   |  |
|                                       | 28   | 4.792E-06  | 0.0   | -8.230E-01   | 103  | 8.887E-03  | 0.0   | -4.642E-02   |  |
|                                       | 29   | -5.504E+00 | 0.3   | -6.385E-03   | 104  | 1.336E+01  | 1.6   | -5.139E-01   |  |
|                                       | 30   | -9.426E-01 | 0.0   | -4.333E-03   | 105  | -6.265E-01 | 0.0   | -1.711E-02   |  |
|                                       | 31   | 6.425E+00  | 0.4   | -1.355E-02   | 106  | 8.483E+00  | 0.6   | -1.613E-01   |  |
|                                       | 32   | -1.659E-06 | 0.0   | -1.754E-02   | 107  | -5.232E-02 | 0.0   | -1.361E-02   |  |
|                                       | 33   | 5.142E-01  | 0.0   | -1.017E-03   | 108  | -1.882E+00 | 0.0   | -8.445E-02   |  |
|                                       | 34   | -3.897E-01 | 0.0   | -7.409E-04   | 109  | -1.278E-03 | 0.0   | -1.161E-02   |  |
|                                       | 35   | -6.347E-06 | 0.0   | -1.143E-04   | 110  | -1.455E+00 | 0.0   | -1.179E-01   |  |
|                                       | 36   | -1.640E+01 | 2.4   | -3.803E-01   | 111  | 1.065E+01  | 1.0   | -7.160E-01   |  |
|                                       | 37   | 1.000E+00  | 0.0   | -8.695E-01   | 112  | 8.205E-03  | 0.0   | -3.740E-03   |  |
|                                       | 38   | 1.227E-05  | 0.0   | -8.215E-01   | 113  | -2.860E-04 | 0.0   | -3.556E-08   |  |
|                                       | 39   | -6.295E+00 | 0.4   | -9.368E-01   | 114  | -6.897E+00 | 0.4   | -4.251E-01   |  |
|                                       | 40   | 3.349E+00  | 0.1   | -3.855E-01   | 115  | -8.762E-01 | 0.0   | -1.398E+00   |  |
|                                       | 41   | -1.486E+00 | 0.0   | -1.437E-01   | 116  | -1.640E-03 | 0.0   | -1.671E+00   |  |
|                                       | 42   | -5.518E+00 | 0.3   | -7.147E-01   | 117  | -1.703E-01 | 0.0   | -8.091E-02   |  |
|                                       | 43   | 2.904E-06  | 0.0   | -4.561E-01   | 118  | 2.453E-03  | 0.0   | -1.237E+00   |  |
|                                       | 44   | -5.982E+00 | 0.3   | -1.606E-01   | 119  | 1.699E+00  | 0.0   | -3.701E-01   |  |
|                                       | 45   | -1.554E+01 | 2.2   | -7.840E-01   | 120  | -5.923E-04 | 0.0   | -6.453E-04   |  |
|                                       | 46   | -1.595E-06 | 0.0   | -6.970E-11   | 121  | 1.618E-03  | 0.0   | -1.690E-03   |  |
|                                       | 47   | -3.349E-06 | 0.0   | -8.917E-01   | 122  | 3.370E-04  | 0.0   | -1.249E+00   |  |

Slika 21. postoci aktivne mase u prvih 150 tonova osciliranja konstrukcije

### Normirana metoda

Iz slike 21. vidljivo je da je u 20. obliku titranja konstrukcije aktivno 30,4% ukupne mase konstrukcije tako da je taj oblik titranja dominantan. Pomoću perioda titranja koji odgovara ovom obliku titranja dobivamo ordinatu proračunskog spektra odziva iz koje izračunamo zamjensku horizontalnu silu u uzdužnom smjeru x.

$$T_{20} = 0,271 \rightarrow S_d(T_{20}) = 4,905$$

### Približna višemodalna metoda

Ekvivalentni period titranja dobiven je razmatranjem postotka aktivne mase pri svakom od 150 oblika titranja.

$$T_{Eq} = \frac{\sum_{i=1}^{150} M_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^{150} M_i}$$

$$T_{Eq,x} = 1,924 \rightarrow S_d(T_{Eq,x}) = 4,881$$

# DETALJNIJI PRORAČUN ŠIBENSKOG MOSTA CILJANI POMACI

## 3.4. Ciljani pomaci

U poprečnom smjeru mosta vrijednost ciljanog pomaka  $d_{E_V}$  dobiva se na temelju linearnog dinamičkog proračuna zasnovanog na proračunskom spektru odziva uz faktor ponašanja  $q=1,0$ .

$$d_{T,V} = d_{E,V} = 139,9 + 129,5 = 269,4 \text{ mm}$$

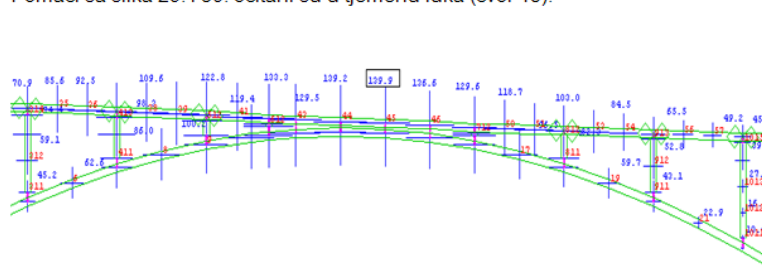
Pomak od 139,9 mm očitani su iz rada [7], a predstavlja vrijednost pomaka u tjemenu luka dobivena na temelju najnepovoljnije od slijedećih kombinacija djelovanja:

$$\begin{aligned} &E_x + 0,3E_V + 0,3E_V \\ &0,3E_x + E_V + 0,3E_z \\ &0,3E_x + 0,3E_V + E_z \end{aligned}$$

gdje su  $E_x$ ,  $E_V$  i  $E_z$  seizmička djelovanja u smjeru x,y,z

Tom pomaku dodaje se i veličina pomaka od stalnog djelovanja i dodatnog stalnog opterećenja koja iznosi 129,5 mm.

Pomaci sa slika 29. i 30. očitani su u tjemenu luka (čvor 45).

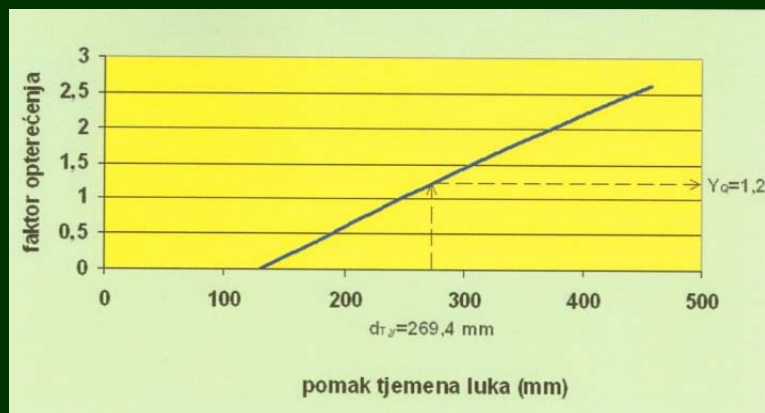


# DETALJNIJI PRORAČUN ŠIBENSKOG MOSTA

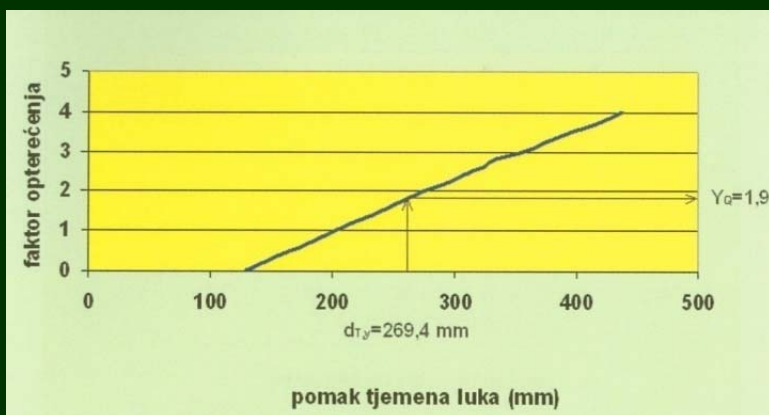
## REZULTATI PRORAČUNA – FAKTORI SIGURNOSTI NA POTRES

### POPREČNI SMJER MOSTA (luk)

Približna višemodalna metoda postupnog guranja

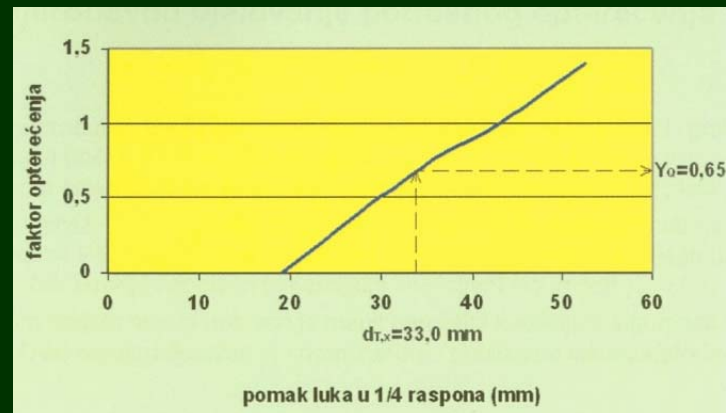


Normirana metoda postupnog guranja

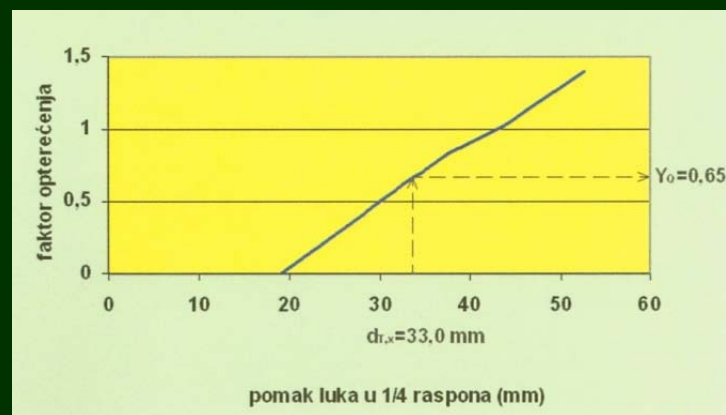


### UZDUŽNI SMJER MOSTA (luk)

Približna višemodalna metoda postupnog guranja



Normirana metoda postupnog guranja



# DETALJNIJI PRORAČUN ŠIBENSKOG MOSTA

## REZULTATI PRORAČUNA – FAKTORI SIGURNOSTI NA POTRES

|           | LUK      |         | LUK+STUPOVI |         | LUK+STUPOVI<br>BEZ TJEMENIH |         |
|-----------|----------|---------|-------------|---------|-----------------------------|---------|
|           | POPREČNO | UZDUŽNO | POPREČNO    | UZDUŽNO | POPREČNO                    | UZDUŽNO |
| NORMIRANA | 1,9      | 0,65    | 0,6         | 0,65    | 1,9                         | 0,65    |
| PRIBLIŽNA | 1,2      | 0,65    | 0,3         | 0,65    | 1,2                         | 0,65    |

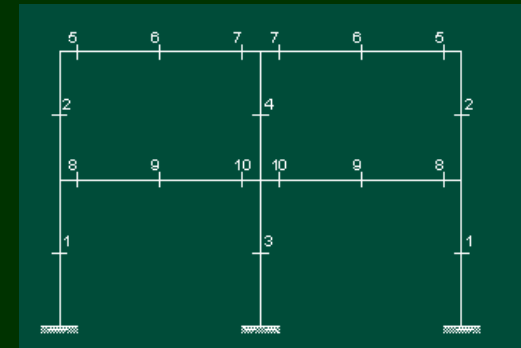
NAPREDAK ISTRAŽIVANJA:

[http://www.casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE\\_66\\_2014\\_8\\_1\\_2.pdf](http://www.casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE_66_2014_8_1_2.pdf)

# **PRIMJER: OCJENJIVANJE AB OKVIRA ZGRADE NA POTRESNO DJELOVANJE**

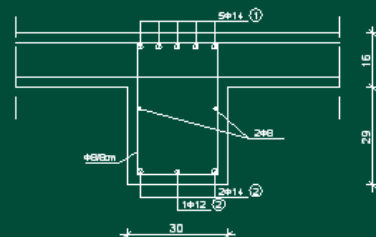
# POSTOJEĆI AB OKVIR ZGRADE

- ❑ Stupovi su na rasteru  $L_x = L_y = 5,5 \text{ m}$  u oba smjera.
- ❑ Visine etaža su  $H_{\text{priz.}} = 4,0 \text{ m}$  i  $H_{\text{kat.}} = 3,5 \text{ m}$ .
- ❑ Stupovi su presjeka  $b_s/h_s = 35/35 \text{ cm}$ .
- ❑ Grede poprečnog okvira su T-presjeka pri čemu je
  - ❑ širina hrpta  $b_w = 30 \text{ cm}$ ,
  - ❑ visina ploče  $h_f = 16 \text{ cm}$ ,
  - ❑ ukupna visina  $h = 45 \text{ cm}$ .
- ❑ Za određivanje proračunske širine grede T-presjeka u polju uzet će se razmak nul-točaka momentnog dijagrama:
$$0,6 \cdot L = 0,6 \cdot 550 = 330 \text{ cm},$$
$$b_{\text{eff}} = 330/5 + 30 = 96 \text{ cm}.$$
- ❑ Dimenzije greda uzdužnog smjera zgrade
$$b_{w, \text{ug}} = 30 \text{ cm}, h_{\text{ug}} = 40 \text{ cm}, h_{f, \text{ug}} = 16 \text{ cm}$$
- ❑ Efektivna širina rubne grede  $b_{\text{eff}} = 63 \text{ cm}$
- ❑ Beton je razreda C25/30
- ❑ Kvaliteta čelika za armiranje je B500B

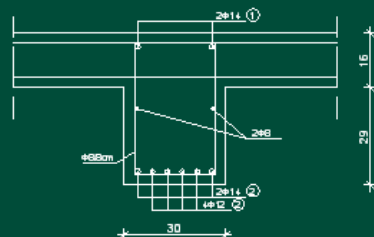


# POSTOJEĆI AB OKVIR ZGRADE

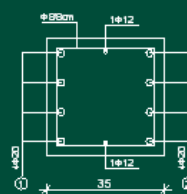
PRESJEK 5



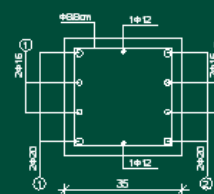
PRESJEK 6



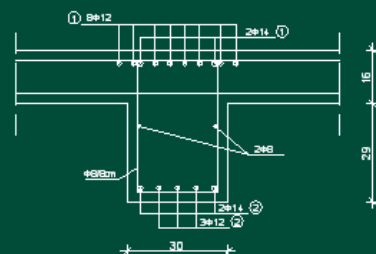
PRESJEK 1



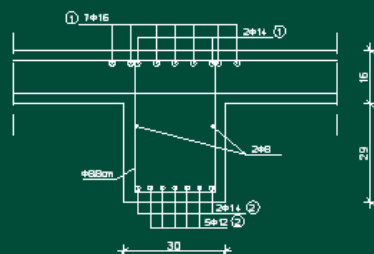
PRESJEK 2



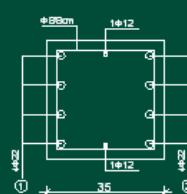
PRESJEK 7



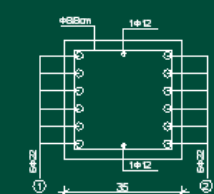
PRESJEK 8



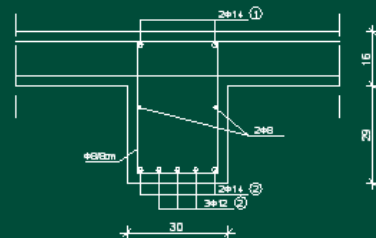
PRESJEK 3



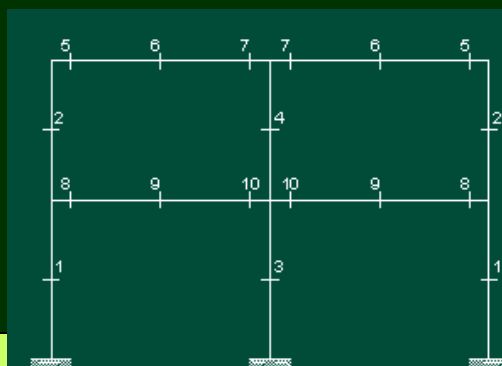
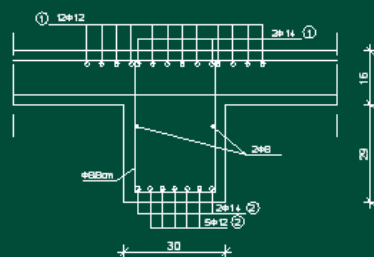
PRESJEK 4



PRESJEK 9



PRESJEK 10



| PRE-SJEK |          | Ø 12<br>(cm <sup>2</sup> ) | Ø 14<br>(cm <sup>2</sup> ) | Ø 16<br>(cm <sup>2</sup> ) | Ø 20<br>(cm <sup>2</sup> ) | Ø 22<br>(cm <sup>2</sup> ) | UK.<br>(cm <sup>2</sup> ) |
|----------|----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 1        | LINIJA 1 |                            |                            | 4,02                       | 6,28                       |                            | 10,30                     |
|          | LINIJA 2 |                            |                            | 4,02                       | 6,28                       |                            | 10,30                     |
| 2        | LINIJA 1 |                            |                            |                            | 12,57                      |                            | 12,57                     |
|          | LINIJA 2 |                            |                            |                            | 12,57                      |                            | 12,57                     |
| 3        | LINIJA 1 |                            |                            |                            |                            | 22,81                      | 22,81                     |
|          | LINIJA 2 |                            |                            |                            |                            | 22,81                      | 22,81                     |
| 4        | LINIJA 1 |                            |                            |                            |                            | 15,21                      | 15,21                     |
|          | LINIJA 2 |                            |                            |                            |                            | 15,21                      | 15,21                     |
| 5        | LINIJA 1 |                            | 7,70                       |                            |                            |                            | 7,70                      |
|          | LINIJA 2 | 1,13                       | 3,08                       |                            |                            |                            | 4,21                      |
| 6        | LINIJA 1 |                            | 3,08                       |                            |                            |                            | 3,08                      |
|          | LINIJA 2 | 4,52                       | 3,08                       |                            |                            |                            | 7,60                      |
| 7        | LINIJA 1 | 9,05                       | 3,08                       |                            |                            |                            | 12,13                     |
|          | LINIJA 2 | 3,39                       | 3,08                       |                            |                            |                            | 6,47                      |
| 8        | LINIJA 1 | 14,07                      | 3,08                       |                            |                            |                            | 17,15                     |
|          | LINIJA 2 | 5,66                       | 3,08                       |                            |                            |                            | 8,74                      |
| 9        | LINIJA 1 |                            | 3,08                       |                            |                            |                            | 3,08                      |
|          | LINIJA 2 | 3,39                       | 3,08                       |                            |                            |                            | 6,47                      |
| 10       | LINIJA 1 | 13,57                      | 3,08                       |                            |                            |                            | 16,65                     |
|          | LINIJA 2 | 5,66                       | 3,08                       |                            |                            |                            | 8,74                      |

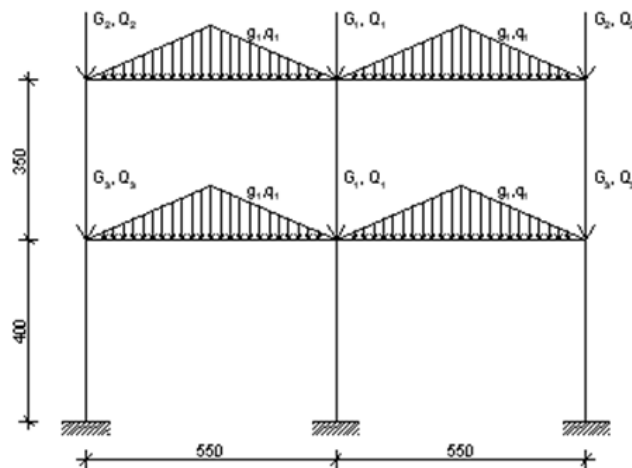


# ANALIZA OPTEREĆENJA

Analiza opterećenja na stropne ploče:

|           |                         |                                |
|-----------|-------------------------|--------------------------------|
| - Stalno: | - pregradni zidovi      | 2,20 kN/m <sup>2</sup>         |
|           | - pod sa slojevima      | 1,50 kN/m <sup>2</sup>         |
|           | - vlastita težina ploče | 4,00 kN/m <sup>2</sup>         |
|           | - podgled               | 0,30 kN/m <sup>2</sup>         |
|           |                         | $g_{p1} = 8,00 \text{ kN/m}^2$ |

|                 |                                    |                                |
|-----------------|------------------------------------|--------------------------------|
| - Promjenljivo: | - uporabno za kategoriju B - uredi | 3,00 kN/m <sup>2</sup>         |
|                 |                                    | $q_{p1} = 3,00 \text{ kN/m}^2$ |



Slika: Shema opterećenja na okviru

Analiza vertikalnog opterećenja na okvir:

- Po rubu građevine se izvodi fasadni zid s prozorima. Prosječna težina takve fasade iznosi 3,23 kN/m<sup>2</sup> ili kao kontinuirano opterećenje  $g_{zid} = 3,23 \cdot (3,5 - 0,4) = 10,0 \text{ kN/m}$ .

- Vlastita težina - Kompjutorski program automatski uzima težinu pojasnica greda, pa je tu težinu potrebno oduzeti kako se ne bi uzela u proračun dva puta  
 $g_f = 0,16 \cdot 0,96 \cdot 25 = 3,84 \text{ kN/m}$

- Stalno:

- s ploče na gredu (trokutasto):  $g_1 = L_x \cdot g_{p1} = 5,5 \cdot 8,0 = 44,0 \text{ kN/m}$

- na stupove(koncentrirano):

- opterećenje s ploče  $(g \cdot l^2)/2 = (8 \cdot 5,5^2)/2 = 121,0 \text{ kN}$

- v.t. rebra uzdužne grede  $(h_{ug} - h_{pl,ug}) \cdot b_{w,ug} \cdot \gamma_b \cdot (L_x - b_s)$   
 $(0,40 - 0,16) \cdot 0,3 \cdot 25 \cdot (5,5 - 0,35) = 9,3 \text{ kN}$   
 $G_1 = 130,3 \text{ kN}$

- opterećenje s ploče  $(g \cdot l^2)/4 = (8,0 \cdot 5,5^2)/4 = 60,5 \text{ kN}$

- v.t. rebra uzdužne grede  $(h_{ug} - h_{pl,ug}) \cdot b_{w,ug} \cdot \gamma_b \cdot (L_x - b_s)$   
 $(0,40 - 0,16) \cdot 0,3 \cdot 25 \cdot (5,5 - 0,35) = 9,3 \text{ kN}$   
 $G_2 = 69,8 \text{ kN}$

- opterećenje s ploče  $(g \cdot l^2)/4 = (8 \cdot 5,5^2)/4 = 60,5 \text{ kN}$

- v.t. rebra uzdužne grede  $(h_{ug} - h_{pl,ug}) \cdot b_{w,ug} \cdot \gamma_b \cdot (L_x - b_s)$   
 $(0,40 - 0,16) \cdot 0,3 \cdot 25 \cdot (5,5 - 0,35) = 9,3 \text{ kN}$

- v.t. fasadnog zida  $g_{zid} \cdot (L_x - b_s) = 51,5 \text{ kN}$   
 $G_3 = 121,3 \text{ kN}$

- Uporabno:

- s ploče na gredu (trokutasto):  $q_1 = L_x \cdot q_{p1} = 5,5 \cdot 3,0 = 16,5 \text{ kN/m}$

- na stupove(koncentrirano):

- opterećenje s ploče  $(q \cdot l^2)/2 = (3,0 \cdot 5,5^2)/2$   $Q_1 = 45,4 \text{ kN}$

- opterećenje s ploče  $(q \cdot l^2)/4 = (3,0 \cdot 5,5^2)/4$   $Q_2 = Q_3 = 22,7 \text{ kN}$

Elastični spektar odziva:

- proračunsko ubrzanje tla za IX. zonu  $a_g = 0,3g$ , a za za VIII. zonu  $a_g = 0,2g$

- za tlo razreda B vrijede parametri:  $S = 1,2$ ,  $T_B = 0,15$ ,  $T_C = 0,50$ ,  $T_D = 2,00$

- promatrani period dobiven je proračunom u 'Sofistiku', iznosi  $T_1 = 0,629$  i nalazi se između  $T_C$  i  $T_D$

$$S_a(T) = a_g \eta S \cdot 2,5 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$S_a(T) = 0,3 \cdot 9,81 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 2,5 \cdot \left( \frac{0,5}{0,629} \right) = 7,018$$



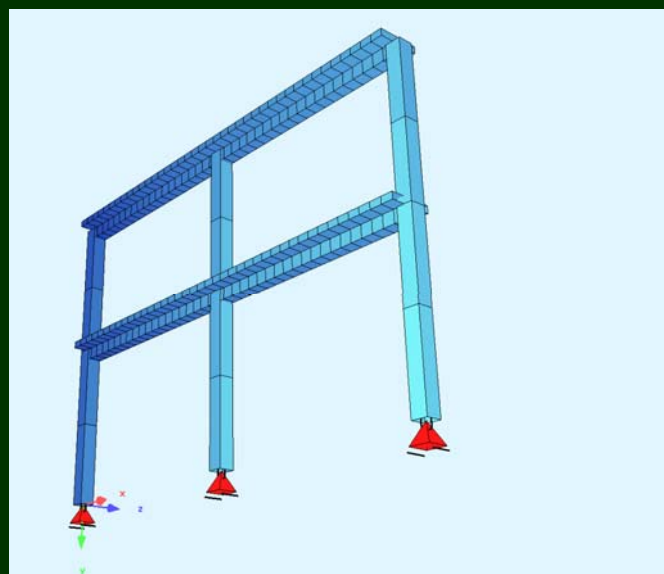
# MODELIRANJE OKVIRA I NAČIN PROVEDBE PRORAČUNA

Proračun je proveden programskim paketom 'Sofistik'.

Okvir je modeliran kao niz štapnih elemenata.

Potresno djelovanje predstavljeno je zamjenskim horizontalnim opterećenjem koje se dobiva umnoškom ordinate proračunskog spektra odziva  $S_d(T_1)$  i vlastite težine, odnosno dodatnog stalnog opterećenja.

Na okvir djeluje stalno opterećenje, te 30% uporabnog opterećenja (kombinacijski faktor za seizmičku proračunsku situaciju  $\psi_1 = 0,3$ , faktor važnosti za poslovnu zgradu  $\gamma_1 = 1,0$ ,  $\psi_1 \cdot \gamma_1 = 0,3$ ), dok se zamjensko horizontalno opterećenje zadaje u koracima. U prvom koraku djeluje 50% horizontalnog zamjenskog opterećenja. U svakom sljedećem koraku horizontalno opterećenje se povećava za 10%, sve do prelaska u nelinearno područje.



```
+prog star urs:50
head nf
ctrl i
lc 6
lcc 1 1.0
lcc 2 1.0
lcc 3 0.3
lcc 5 0
end

PROG AQB ITER urs:51
HEAD nf
NORM ec
LC 6 ;
BEAM (1 46 1)
REIN MOD SECT
DESI ULTI S2 3.0 SMOD NO
NSTR SN ALPH 0.4
END

PROG STAR ITER urs:52
HEAD nf
CTRL II 1
END
END
```

# KAPACITET NOSIVOSTI KONSTRUKCIJE

Kao što je ranije navedeno, potresno djelovanje predstavlja se zamjenskim horizontalnim opterećenjem koje se u koracima linearno povećava. U svakom koraku određena je ukupna horizontalna sila na okvir, te pomak u kontrolnom čvoru, u ovom slučaju, prvom čvoru kata. Na taj način dobiven je odnos  $F-\delta$ , odnosno krivulja kapaciteta nosivosti:

Dijagram  $F-\delta$  mora se transformirati u  $S_a - S_d$  oblik.

$$S_a = \frac{F / W}{\alpha_1}$$

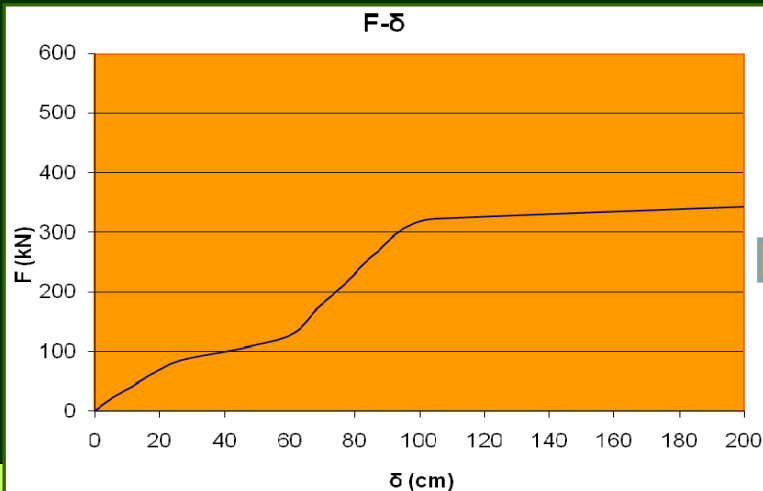
$$S_d = \frac{\delta_{\text{krov}}}{PF_1 \cdot \Phi_{\text{krov},1}}$$

$$PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^n m_{i1} \cdot \Phi_{i1}}{\sum_{i=1}^n m_{i1} \cdot \Phi_{i1}^2}$$

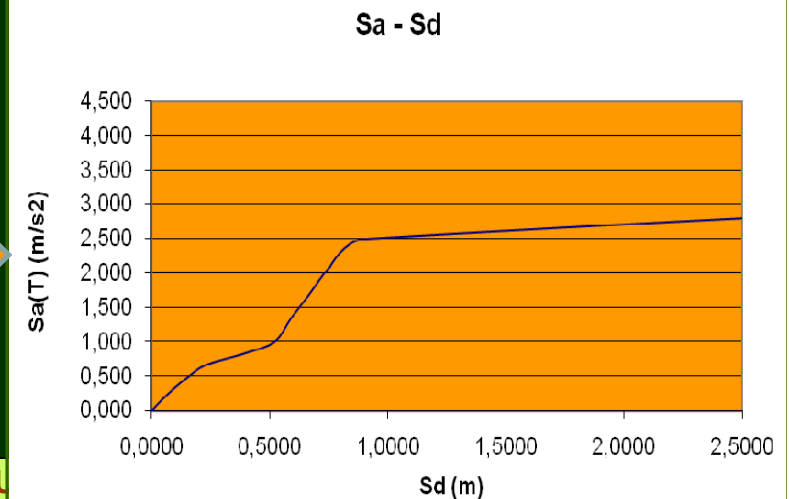
$$\alpha_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n m_{i1} \cdot \Phi_{i1} \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^n m_{i1} \right] \left[ \sum_{i=1}^n m_{i1} \cdot \Phi_{i1}^2 \right]}$$

Ukupna težina konstrukcije, kao i mase katova, te amplitude prvog vlastitog oblika titranja dobivene su proračunom u 'Sofistiku' (DYNA).

Ukupna težina konstrukcije  $W = 1362,7 \text{ kN}$ , mase katova su  $m_1 = m_2 = 24422 \text{ kg}$ , amplituda prvog vlastitog oblika titranja u razini krova  $\Phi_1 = 10,52 \text{ cm}$ , a u razini kata  $\Phi_2 = 6,75 \text{ cm}$ .



STRU

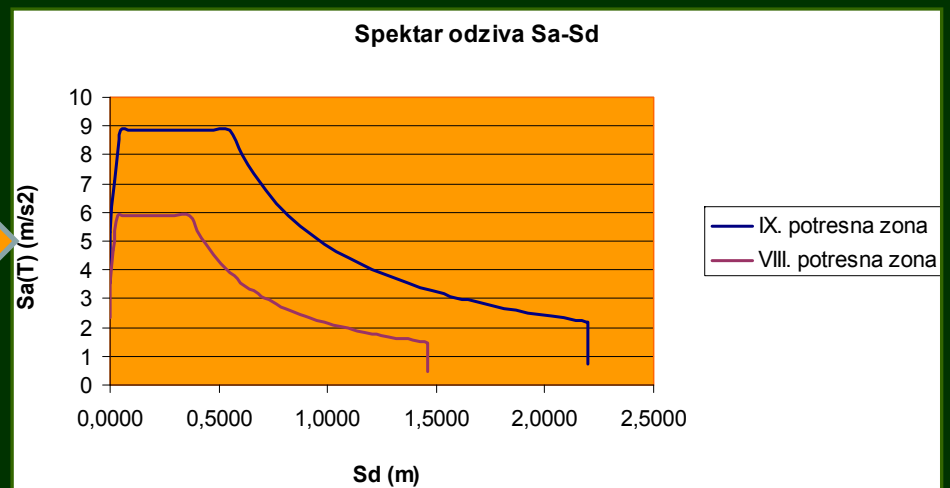
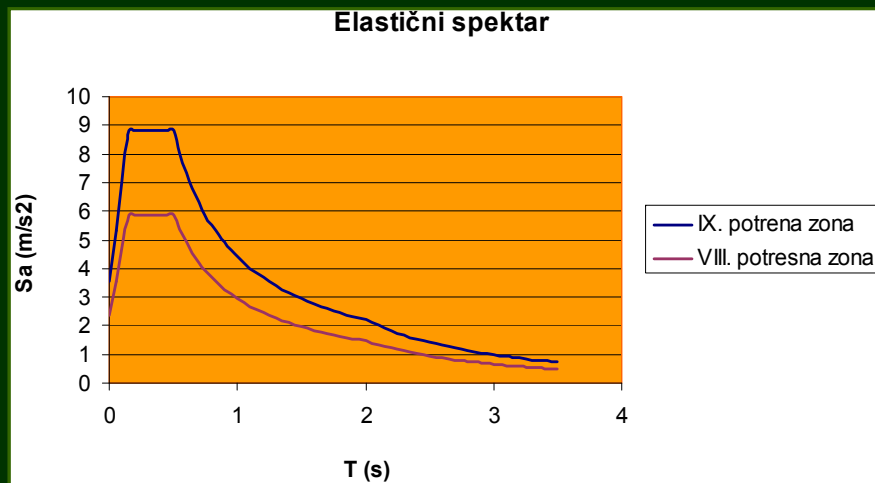


TK II

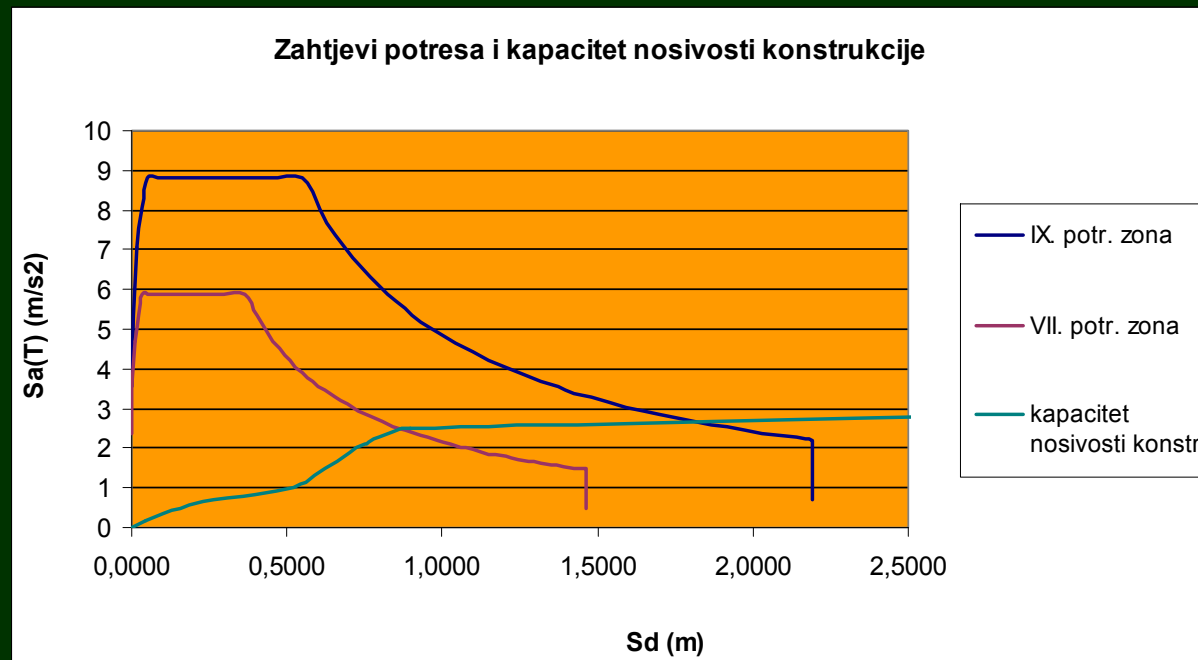
# ZAHTJEV POTRESA

Dijagram  $S_a-T$  također se mora transformirati u  $S_a-S_d$  oblik. Dakle, svakoj točki s koordinatama  $S_{ai}$  i  $T_i$  pridružuje se vrijednost  $S_{di}$ . Točke se transformiraju izrazom

$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} \cdot S_{ai} \cdot g$$



# PREKLAPANJE KRIVULJA



❑ Iz priloženog dijagrama vidljivo je da konstrukcija ima dostatnu nosivost za VIII. potresnu zonu, zato što krivulja kapaciteta nosivosti sječe krivulju zahtjeva potresa u linearnom području.

❑ Međutim, nosivost nije dovoljna za zahtjeve IX. potresne zone. Naime, krivulja kapaciteta nosivosti sječe krivulju zahtjeva potresa daleko u nelinearnom području. Iako se ponašanje konstrukcije u tom području ne može precizno predvidjeti, može se smatrati, prema dobivenom dijagramu, da je došlo do većih oštećenja ili čak sloma. Potrebno je dakle, poduzeti određene zahvate da bi se povećala nosivost konstrukcije.

# TRAJNOST KONSTRUKCIJA II

---

**Idući tjedan: UDARI**