



HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA

Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva 2020.

Procjena nosivosti postojeće zidane zgrade

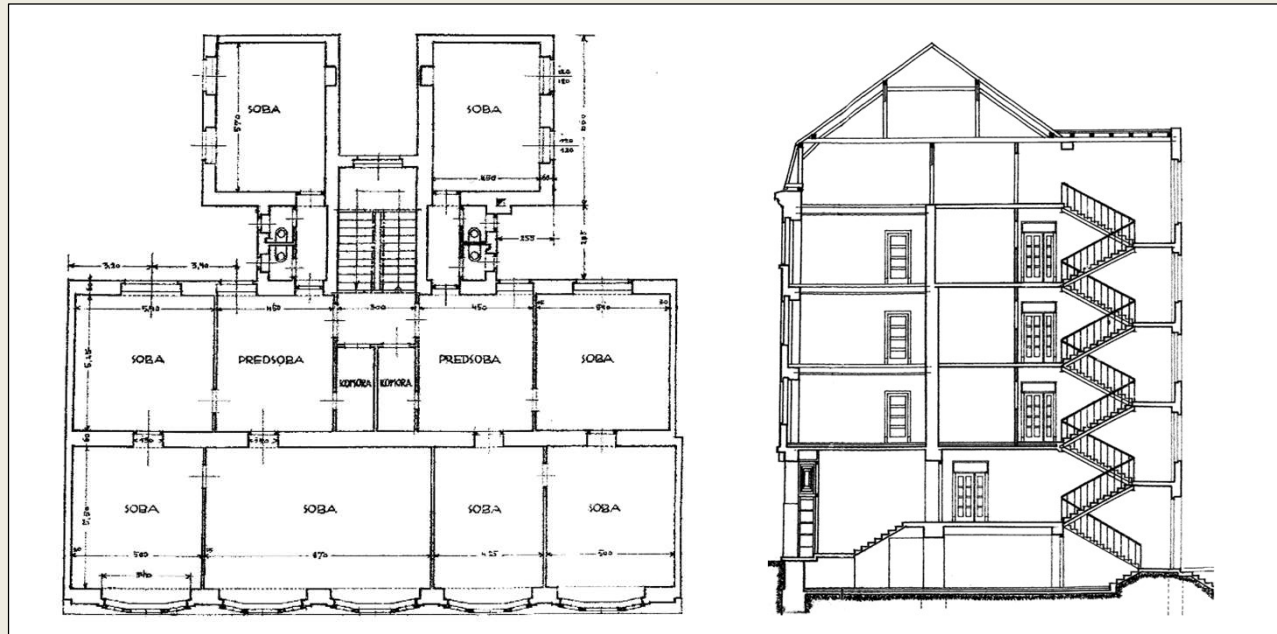
Mario Uroš, Marija Demšić

Doc. dr. sc. Mario Uroš, dipl.ing.građ., Građevinski fakultet, Zagreb

Doc. dr. sc. Marija Demšić, dipl.ing.građ., Građevinski fakultet, Zagreb

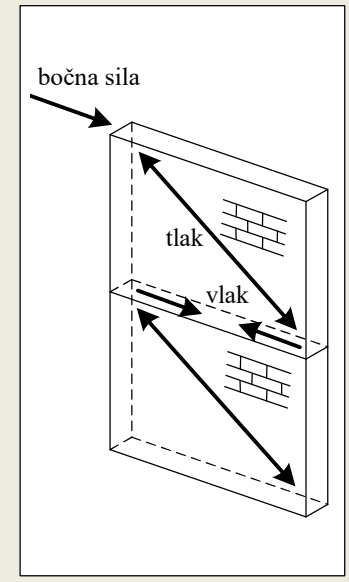
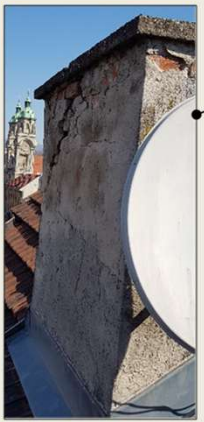
Opis zgrade

- Zagreb, 1920 god.
- tipična donjogradska zgrada
- po+pr+3 kata i potkrovlje
- cca. 24×12 m + 11×12 m (23 m)
- ukupno kat - cca. 400,0 m² bruto
- zidovi od pune opeke (30, 45, 60, 90 cm)
- drveni grednici



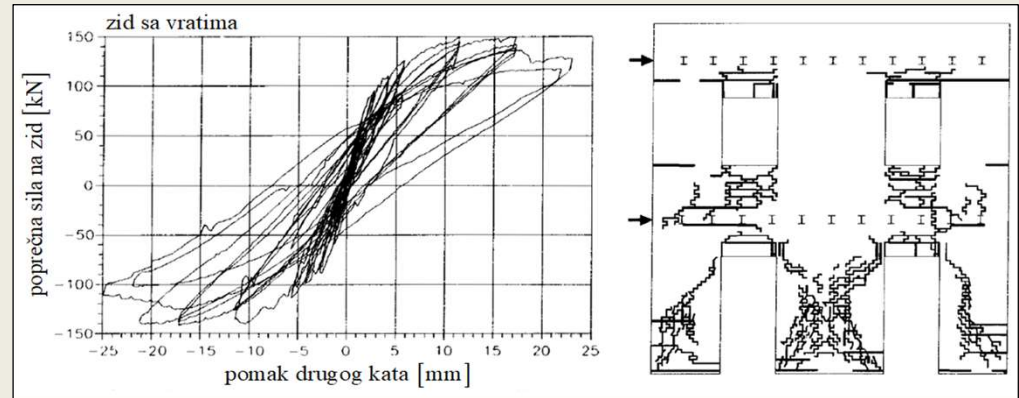
Oštećenje zgrade u potresu

- razina oštećenja nakon potresa - N2 (crvena)

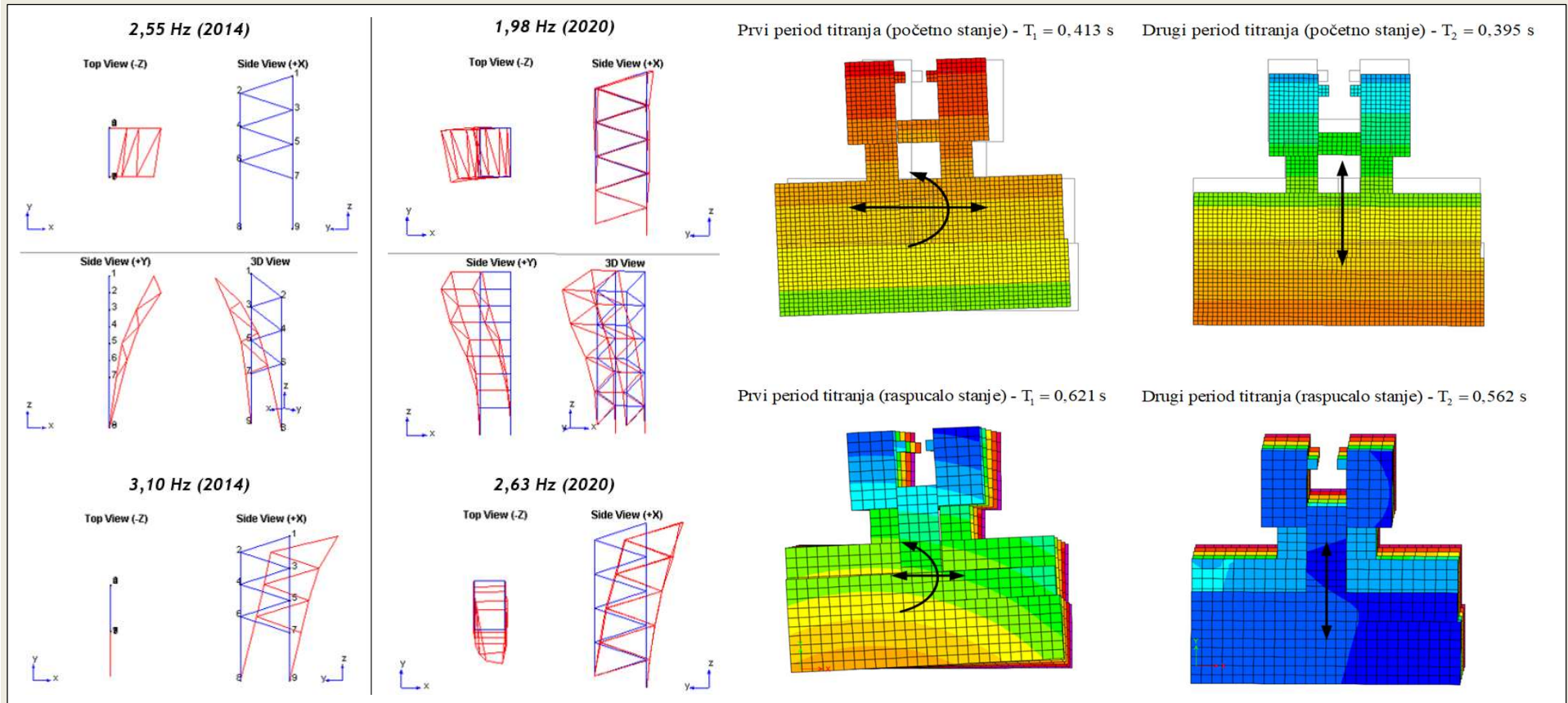


Eksperimentalna mjerenja

- vlastite frekvencije i periodi
- krutost konstrukcije (koeficijent 0,5)
- granica od $T=0,6$ s za tlo C
- produljenje perioda, X - $0,39$ s \rightarrow $0,50$ s, Y - $0,32$ s \rightarrow $0,38$ s



degradacija krutosti

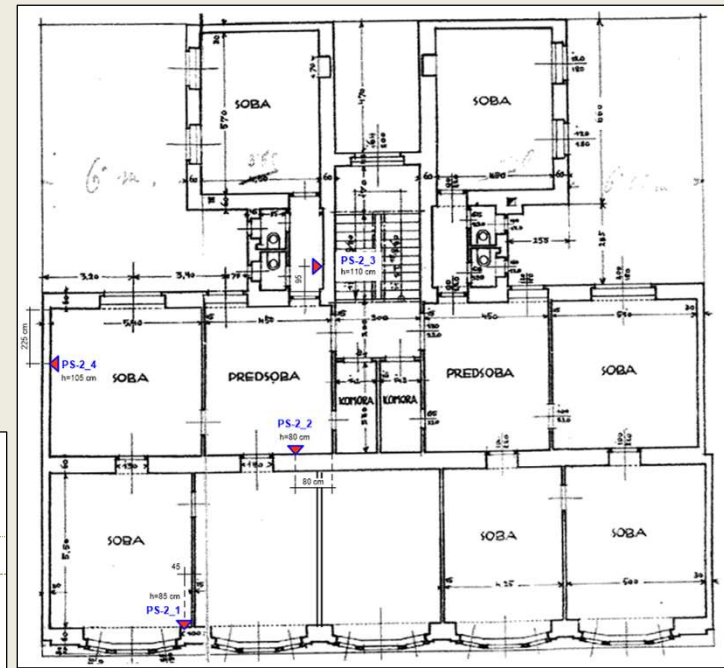


Eksperimentalna mjerenja

- bitno znati svojstva materijala i izvedbe detalja
- faktor povjerenja – 1,0
- ispitivanja materijala

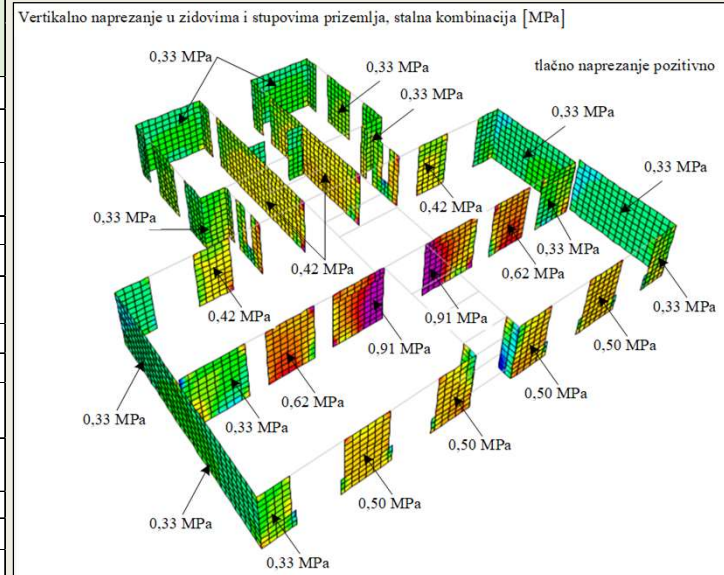
Krolo, Damjanović

vrsta zida	tlačna čvrstoća	Inicijalna posmična čvrstoća	Youngov modul elastičnosti	modul posmika	zapreminska težina	Dijagonalna vlačna čvrstoća
	f [MPa]	f_{vo} [MPa]	E [MPa]	G [MPa]	w [kN/m ³]	f_t
Zid od pune opeke s vapnenim mortom	3,4	0,16	1500	500	18	0,114



Vertikalno naprezanje u zidovima prizemlja

KAT - STAN	Oznaka mjernog mjesta	Položaj mjernog mjesta	h (cm)	a (cm)	b (cm)	A _h (cm ²)	SILA H _{umax}		Posmična čvrstoća (MPa)
							parsi (")	kN	
1. KAT, sjeverni stan	PS-1_1	Središnji nosivi zid	83 cm	27,0	13,5	729,0	27,0	36,45	0,500
	PS-1_2	Zapadni vanjski nosivi zid	94 cm	Nije ispitivana posmična čvrstoća, pregledana struktura zida i određena debljina zida!					
	PS-1_3	Sjeverni vanjski (zabatni) nosivi zid	102 cm	Nije ispitivana posmična čvrstoća, pregledana struktura zida i određena debljina zida!					
2. KAT, južni stan	PS-2_1	Istočni vanjski (ulični) nosivi zid	85 cm	27,0	13,5	729,0	32,0	43,20	0,593
	PS-2_2	Središnji nosivi zid	80 cm	27,0	13,0	702,0	30,0	40,50	0,577
	PS-2_3	Nosivi zid u hodniku uz stubište	110 cm	Nije ispitivana posmična čvrstoća, pregledana struktura zida i određena debljina zida!					
	PS-2_4	Južni vanjski (zabatni) nosivi zid	105 cm	27,0	13,5	729,0	14,0	18,90	0,259
3. KAT, sjeverni stan	PS-3_1	Središnji nosivi zid	98 cm	27,0	14,0	756,0	17,0	22,95	0,304
	PS-3_2	Zapadni vanjski nosivi zid	80 cm	Nije ispitivana posmična čvrstoća, pregledana struktura zida i određena debljina zida!					
	PS-3_3	Dvorišni dio stana, nosivi zid do stubišta	115 cm	27,0	13,5	729,0	21,0	28,35	0,389
	PS-3_4	Istočni vanjski (ulični) nosivi zid	88 cm	27,0	13,5	729,0	18,0	24,30	0,333
Srednja vrijednost (MPa):									0,422
Standardano odstupanje (MPa):									0,135



Proračun lokalnih mehanizama

Prevrtanje lastavice - Demšić

Specifična težina zida	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
Vršna vrijednost ubrzanja tla (za povratno razdoblje od 95 godina)	$a_g = 1.47 \text{ m/s}^2$
Vrijednost prvog perioda građevine	$T_1 = 0.47 \text{ s}$
Visina građevine (bez krovišta)	$H = 20 \text{ m}$
Procijenjeni koeficijent modalne participacije	$\Gamma_1 = 1.385$
Koeficijent ponašanja za linearni proračun	$q = 2$
Faktor razine znanja LC1	$F_c = 1.35$

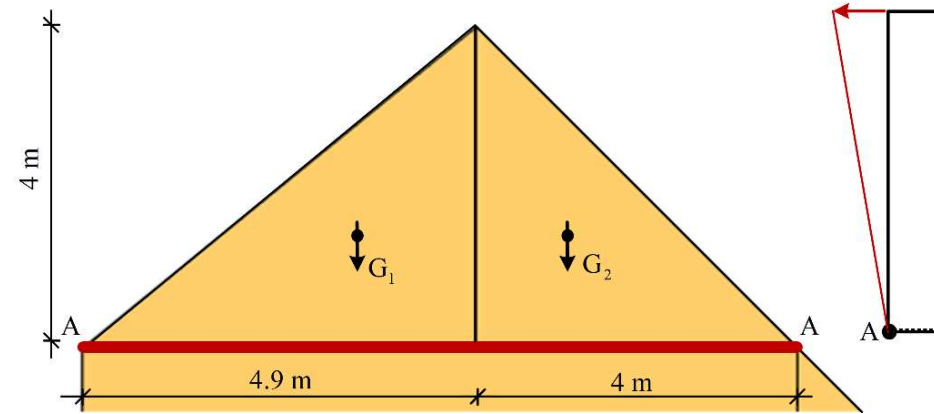
Debljina blokova	$b = 30 \text{ cm}$
Težina blokova	$G_1 = 52.92 \text{ kN}$ $G_2 = 43.20 \text{ kN}$
Vrijednosti virtualnih pomaka	$\delta_{G_1,x} = 0.333; \delta_{G_2,x} = 0.333$ $\delta_{G_1,y} = 0.037; \delta_{G_2,y} = 0.037$
Visinska kota zida	$z = 20 \text{ m}$

$$e^* = \frac{9.81 \cdot 9.79}{96.12} = 1$$

$$a_0^* = \frac{\alpha_0 \cdot g}{e^* \cdot F_c} = \frac{1.104}{1.35} = 0.82 \text{ m/s}^2$$

$$a_0 \geq a_{0,\min}^* = \max\left(\frac{a_g \cdot S}{q}; \frac{S_e(T_1)\psi(z)\Gamma_1}{q}\right) = (0.85 \text{ m/s}^2; 2.93 \text{ m/s}^2) = 2.93 \text{ m/s}^2 - \text{ne zadovoljava}$$

omjer- 28%



- lokalni mehanizmi otkazivanja
- lastavica bez pridržanja

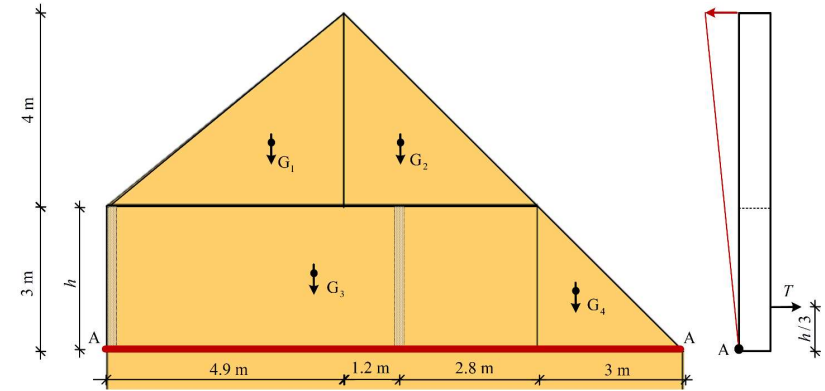
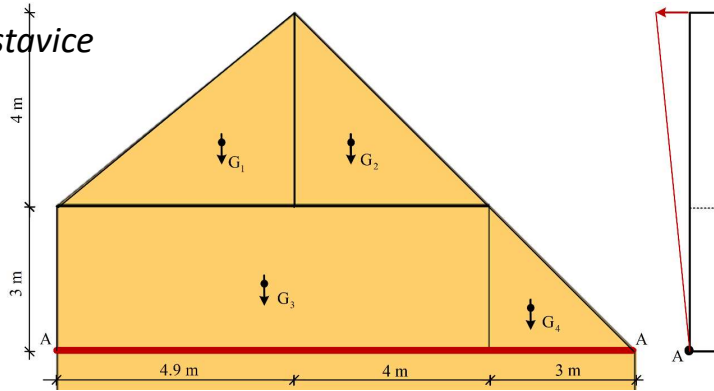
Koeficijent aktivacije mehanizma:

$$\alpha_0 = \frac{G_1 \cdot \delta_{G_1,y} + G_2 \cdot \delta_{G_2,y}}{G_1 \cdot \delta_{G_1,x} + G_2 \cdot \delta_{G_2,x}} = \frac{3.60}{32.04} = 0.112$$

Koeficijent efektivne modalne mase:

$$M^* = \frac{(G_1 \cdot \delta_{G_1,x} + G_2 \cdot \delta_{G_2,x})^2}{9.81 \cdot (G_1 \cdot \delta_{G_1,x}^2 + G_2 \cdot \delta_{G_2,x}^2)} = \frac{1026.56}{104.77} = 9.79 \text{ t}$$

Prevrtnje lastavice
Demšić



Debljina blokova	$b = 30 \text{ cm}$
Težina blokova	$G_1 = 52.92 \text{ kN}$ $G_2 = 43.20 \text{ kN}$ $G_3 = 144.18 \text{ kN}$ $G_4 = 24.30 \text{ kN}$
Vrijednosti virtualnih pomaka	$\delta_{G1,x} = 0.619$; $\delta_{G2,x} = 0.619$ $\delta_{G3,x} = 0.214$; $\delta_{G4,x} = 0.143$ $\delta_{G1,y} = 0.021$; $\delta_{G2,y} = 0.021$ $\delta_{G3,y} = 0.021$; $\delta_{G4,y} = 0.021$
Visinska kota zida	$z = 17 \text{ m}$

- vezu s dva poprečna zida
- utjecaj sile trenja na njihovom spoju
- često se može zanemariti
- ovisi i o poznavanju detalja

Faktor aktivacije mehanizma	$\alpha_0 = \frac{5.67}{93.87} = 0.060$
Efektivna modalna masa i faktor efektivne modalne mase	$M^* = \frac{8811.58}{431.17} = 20.44 \text{ t}$ $e^* = 0.758$
Spektralno ubrzanje	$a_0^* = \frac{0.592}{0.758 \cdot 1.35} = 0.58 \text{ m/s}^2$
Zahtijevano spektralno ubrzanje	$a_{0,\min}^* = \max(0.85 \text{ m/s}^2; 2.49 \text{ m/s}^2) = 2.49 \text{ m/s}^2$
Uvjet $a_0^* \geq a_{0,\min}^*$	ne zadovoljava

Faktor aktivacije mehanizma	$\alpha_0 = 0.146$
Efektivna modalna masa i faktor efektivne modalne mase	$M^* = \frac{8811.58}{431.17} = 20.44 \text{ t}$ $e^* = 0.758$
Spektralno ubrzanje	$a_0^* = \frac{1.429}{0.758 \cdot 1.35} = 1.40 \text{ m/s}^2$
Zahtijevano spektralno ubrzanje	$a_{0,\min}^* = \max(0.85 \text{ m/s}^2; 2.49 \text{ m/s}^2) = 2.49 \text{ m/s}^2$
Uvjet $a_0^* \geq a_{0,\min}^*$	ne zadovoljava

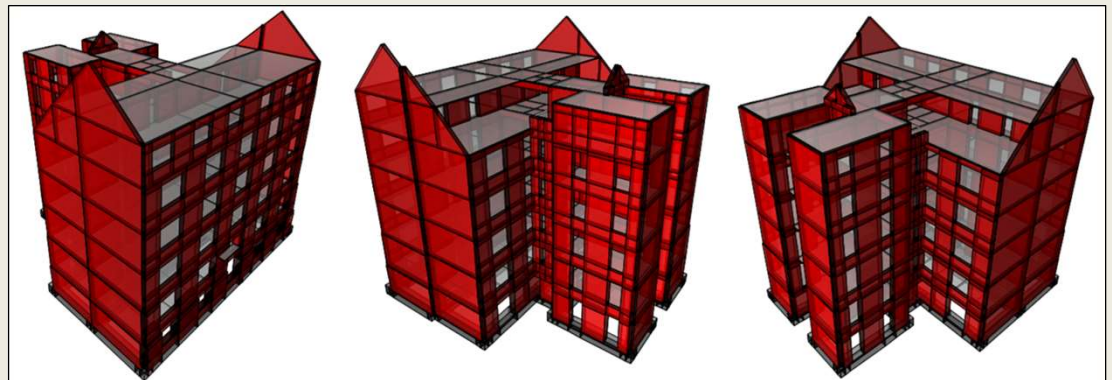


Proračun

- dokaz graničnog stanja značajnog oštećenja (ZO) za 95 g. p.p. potresa (*razina 2*)
- metode proračuna
 - metoda spektra odziva
 - nelinearni statički (metoda postupnog guranja)
 - nelinearni dinamički proračun
- nije razmatran utjecaj susjedne zgrade (problem stambenih blokova)

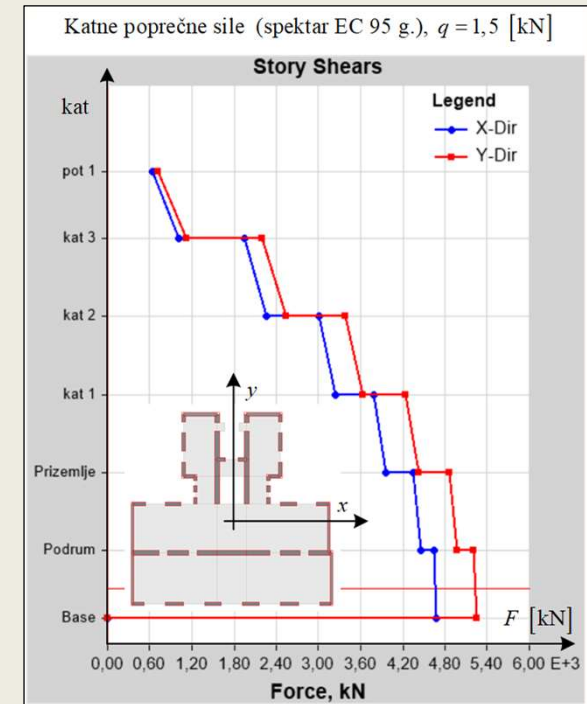
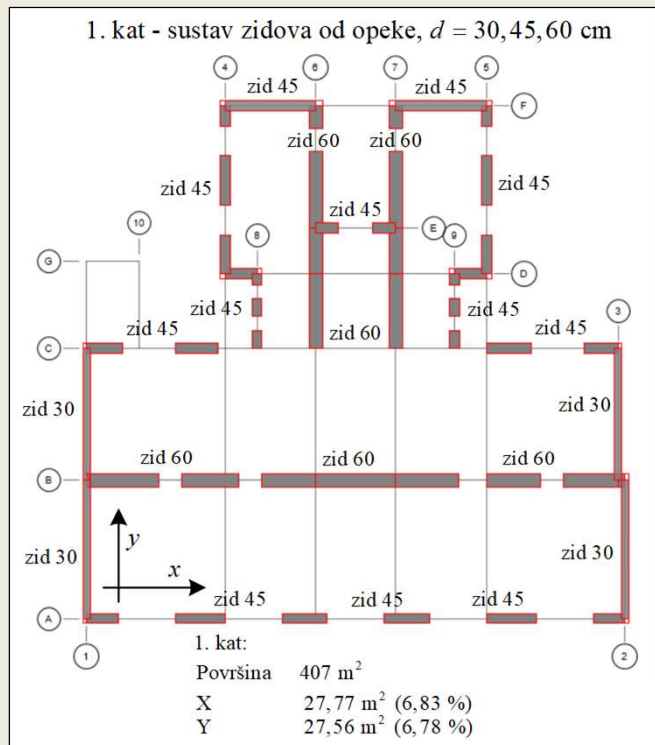
Uvjet proračuna: osigurane pretpostavke proračuna i globalni odgovor zgrade

- krute dijafragme kvalitetno povezane s zidovima
- zidovi međusobno povezani
- spriječeni lokalni mehanizmi izvan ravnine
- dominantan odziv zida u ravnini (spriječiti interakciju)
- oštećeni zidovi popravljivi



Proračun – metoda spektra odziva

- faktor ponašanja (nepredvidivi mehanizam sloma)
- razlika u odnosu na bočnu silu – aktivacija mase
- nejednolika raspodjela poprečne sile po visini
- viši katovi bitni, pregradni zidovi?
- preraspodjela sila od -25 do +33% (uvjet iste rezultante)



Podrum:
 Površina 407 m²
 X 42,94 m² (10,56 %)
 Y 35,28 m² (8,68 %)

Omjer poprečne sile i težine
 (dno podruma)

$$\frac{F_x}{W} = \frac{4675}{32159} = 0,15$$

$$\frac{F_y}{W} = \frac{5252}{32159} = 0,16$$

prosječno posmično naprežanje
 (dno podruma):

$$\tau_x = \frac{4675}{42,94} = 0,11 \text{ MPa}$$

$$\tau_y = \frac{5252}{35,28} = 0,15 \text{ MPa}$$

Prizemlje:
 Površina 407 m²
 X 32,58 m² (8,01 %)
 Y 38,03 m² (9,35 %)

Omjer poprečne sile i težine
 (dno prizemlja)

$$\frac{F_x}{W} = \frac{4463}{25169} = 0,18$$

$$\frac{F_y}{W} = \frac{4974}{25169} = 0,20$$

prosječno posmično naprežanje
 (dno prizemlja):

$$\tau_x = \frac{4463}{32,58} = 0,14 \text{ MPa}$$

$$\tau_y = \frac{4974}{38,03} = 0,13 \text{ MPa}$$

1. kat:
 Površina 407 m²
 X 27,77 m² (6,83 %)
 Y 27,56 m² (6,78 %)

Omjer poprečne sile i težine
 (dno 1. kata)

$$\frac{F_x}{W} = \frac{3959}{19169} = 0,21$$

$$\frac{F_y}{W} = \frac{4428}{19169} = 0,23$$

prosječno posmično naprežanje
 (dno 1. kata):

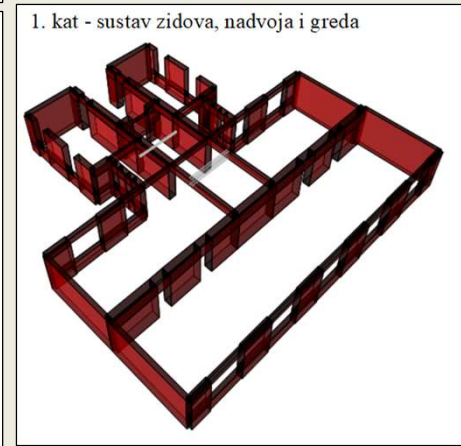
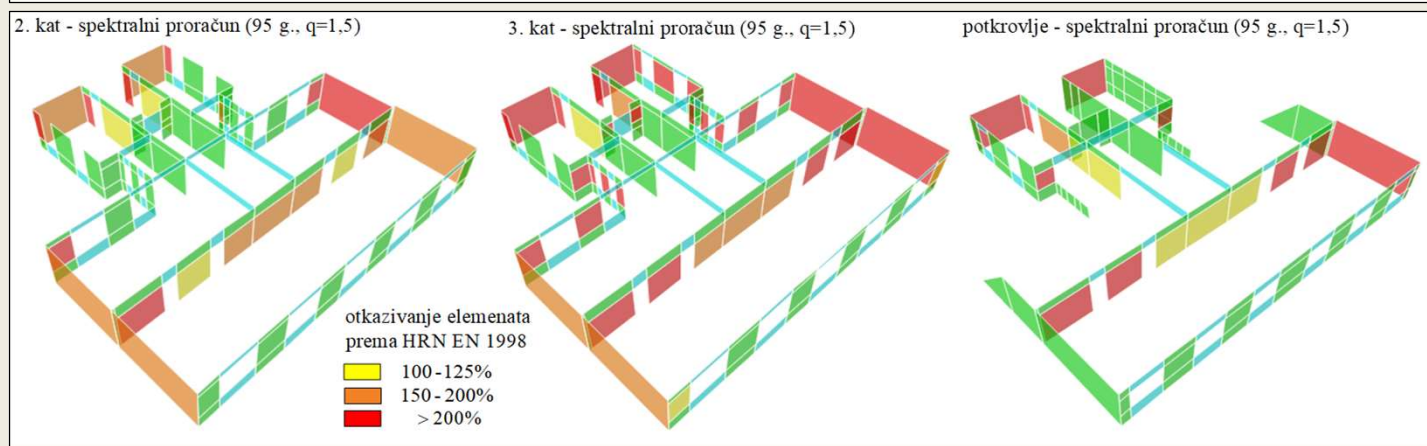
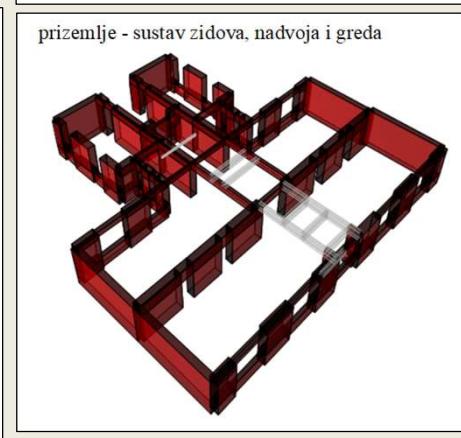
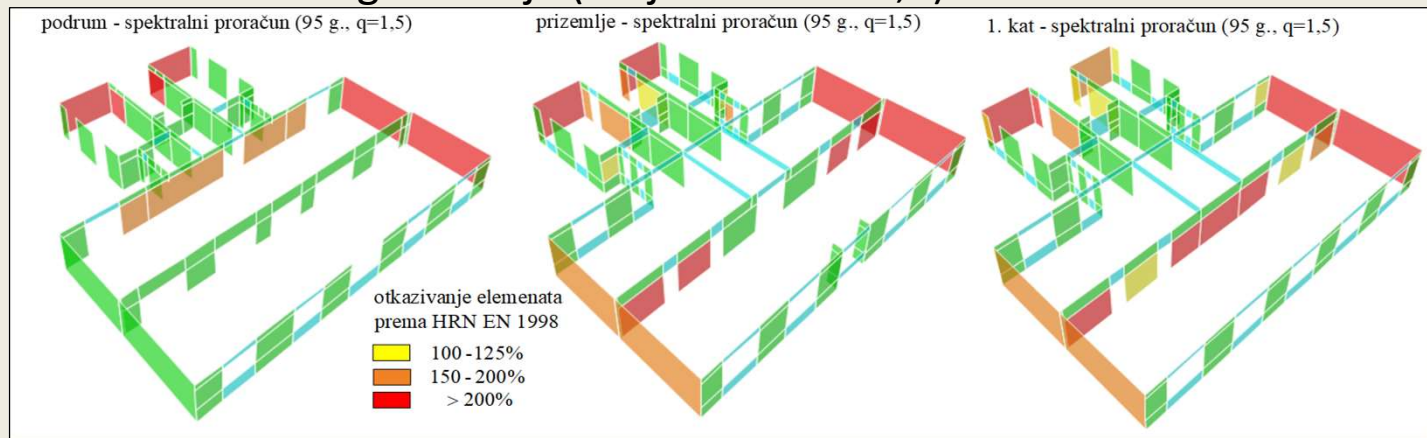
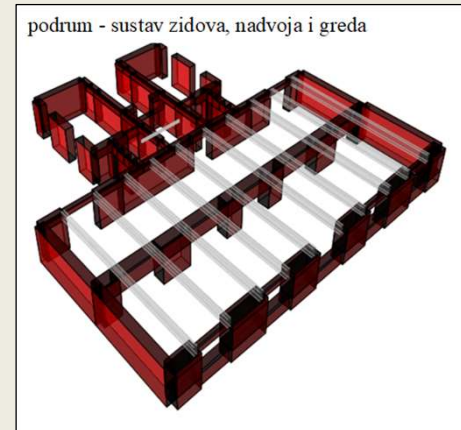
$$\tau_x = \frac{3959}{27,77} = 0,14 \text{ MPa}$$

$$\tau_y = \frac{4428}{27,56} = 0,16 \text{ MPa}$$



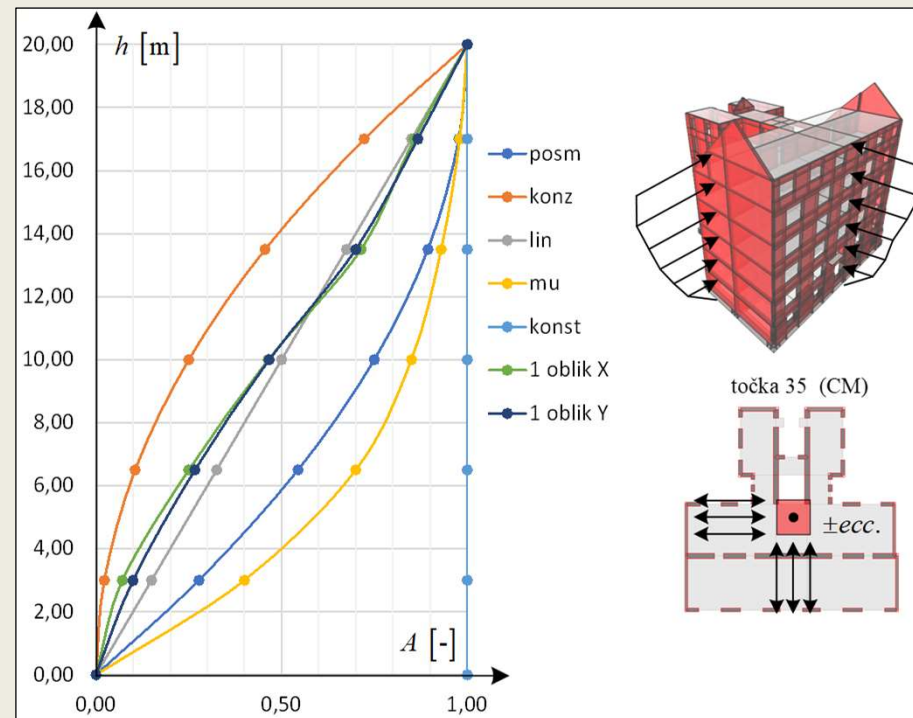
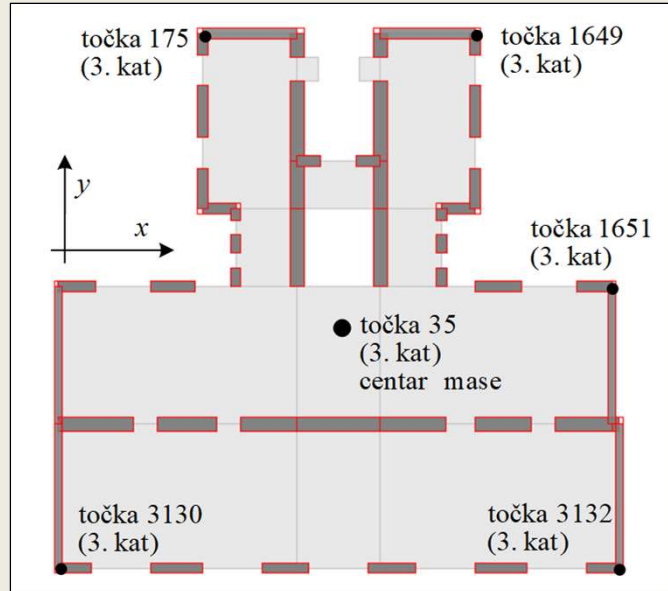
Proračun – metoda spektra odziva

- kombiniranje doprinosa oblika titranja
- unutarnje sile nisu u ravnoteži
- nejednolika raspodjela poprečne sile po visini
- nosivost uvjetovana najslabijom karikom (uz preraspodjelu)
- dodatna ograničenja (omjer krutosti 2,5)



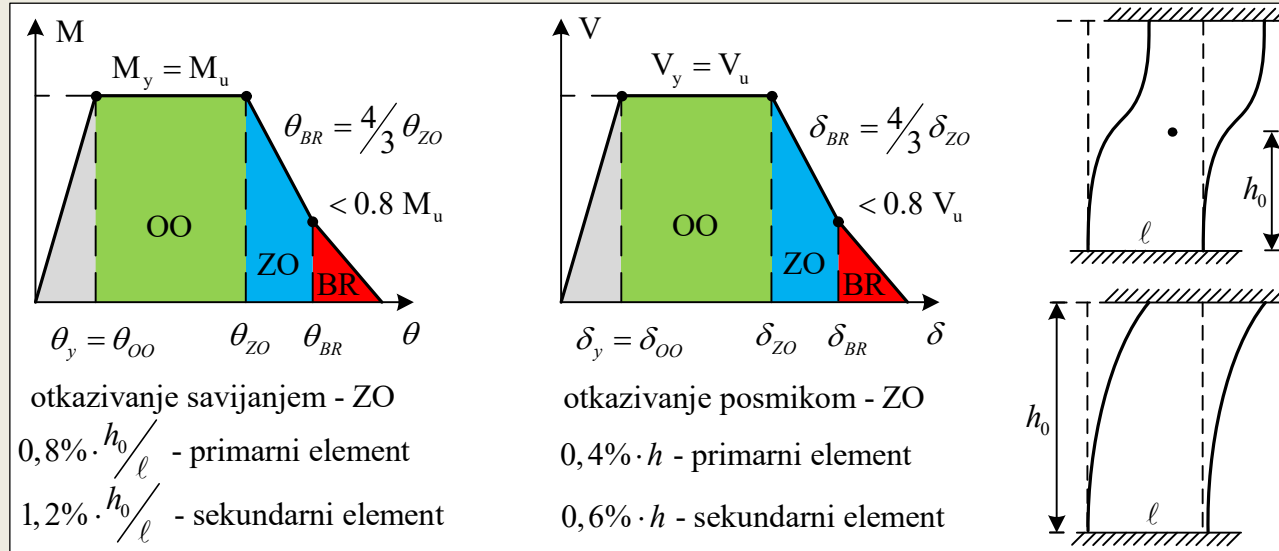
Proračun – metoda postupnog guranja

- oblici bočnog opterećenja
- konstrukcija dominantno odziva u 1. obliku i uvjet pravilnosti u tlocrtu i visini
- kontrolni čvor u centru mase najvišeg kata
- ekscentricitet 5%
- pregradni zidovi, primarni i sekundarni elementi
- stanje je određeno ponašanjem primarnih nosivih elemenata ovisno o deformacijama

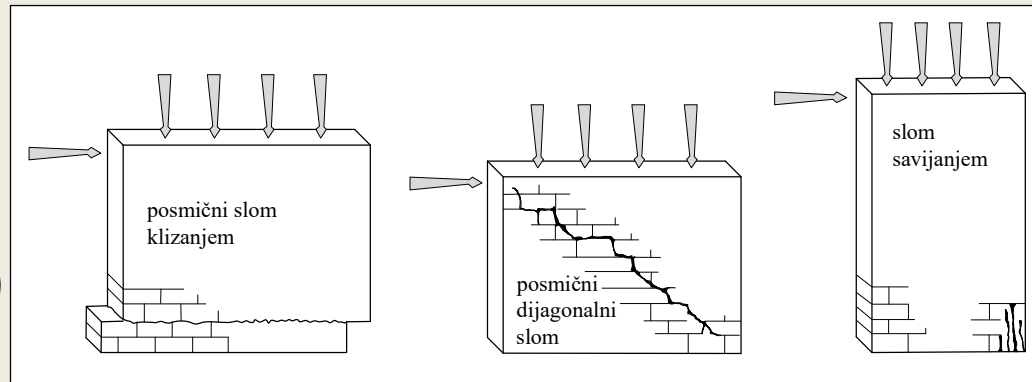


Proračun – metoda postupnog guranja

- proračun nosivosti i deformacije elemenata (uz degradaciju materijala)



Posmik - klizanje
 $V_{Rd,ts} = l_w c t_w (f_{v0} + \mu \sigma_d)$



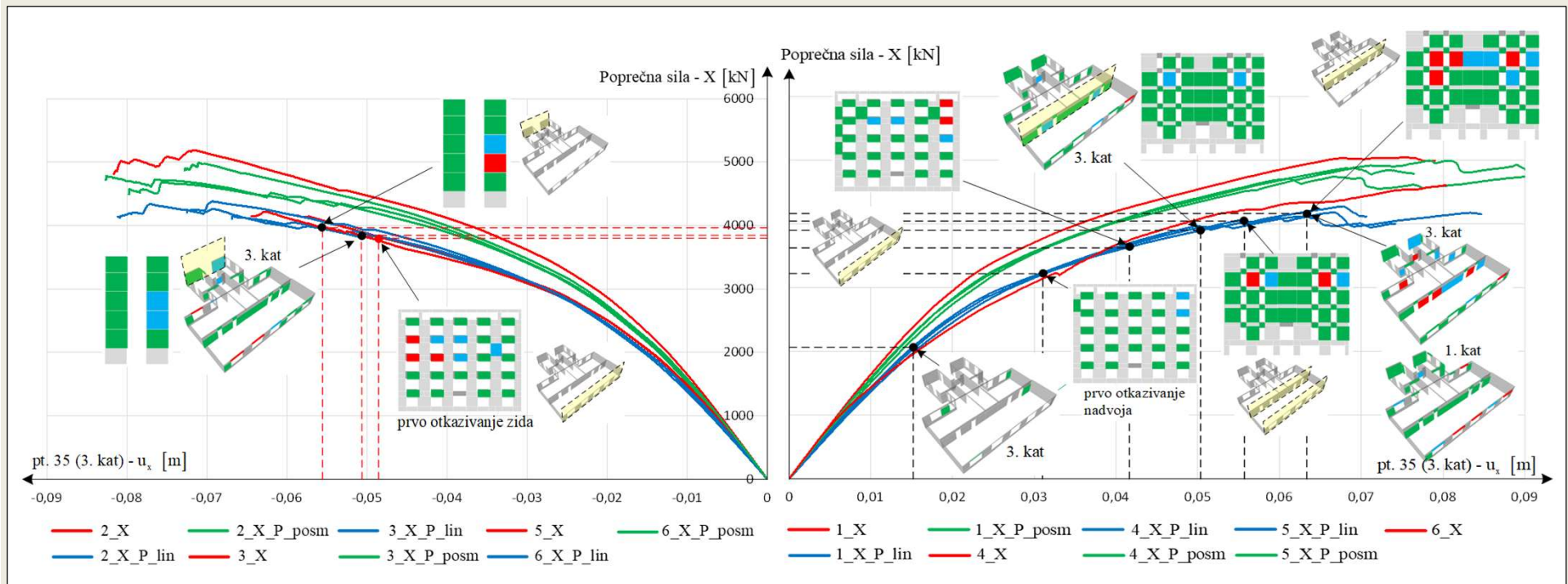
Posmik – dijagonalni slom $V_{Rd,t} = l_w t_w \frac{f_{Mt}}{b} \sqrt{\left(1 + \frac{\sigma_0}{f_{Mt}}\right)}$

Savijanje
 $V_{Rd,r} = \psi \frac{\sigma_0 t_w l_w^2}{2h_0} \left(1 - \frac{\sigma_0}{f_{Mc}}\right)$



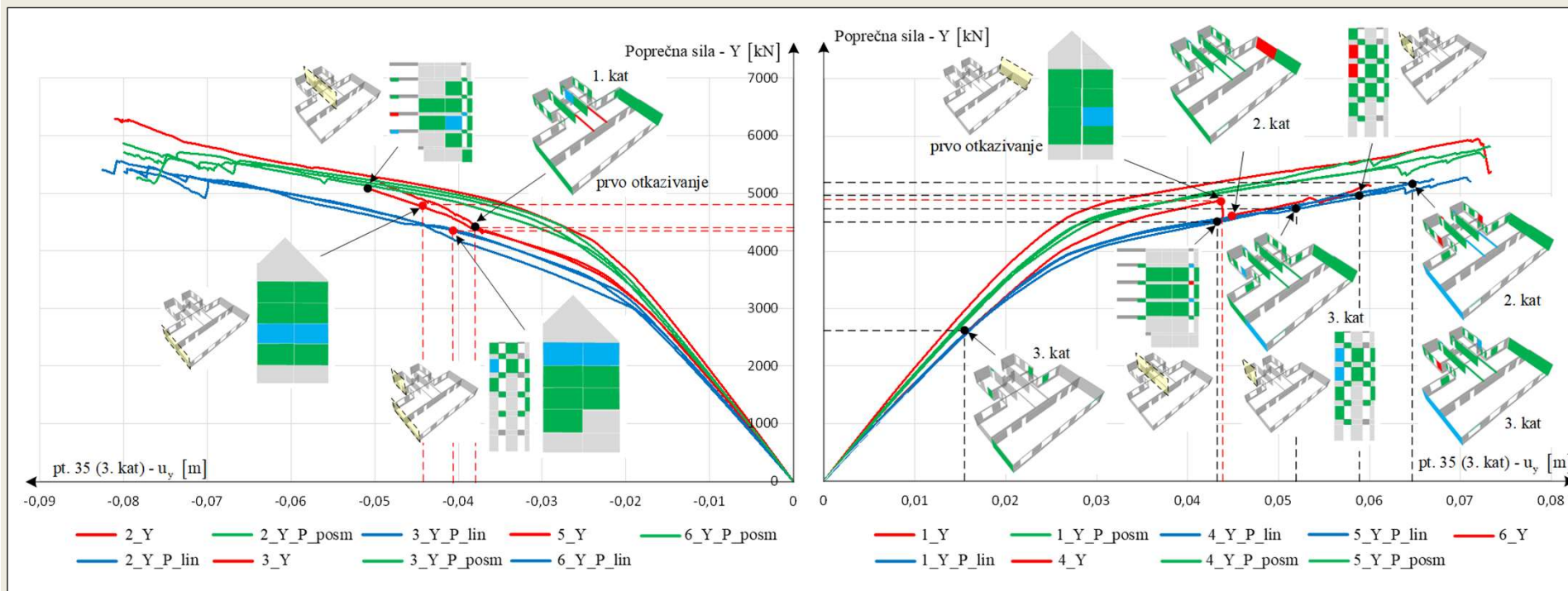
Proračun – metoda postupnog guranja

- krivulje nosivosti zgrade – smjer X
- mehanizam otkazivanja i kritični elementi



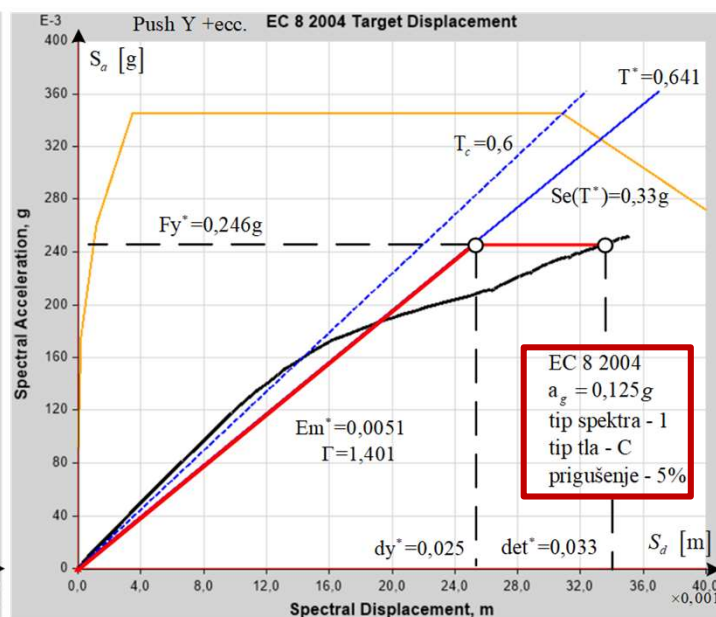
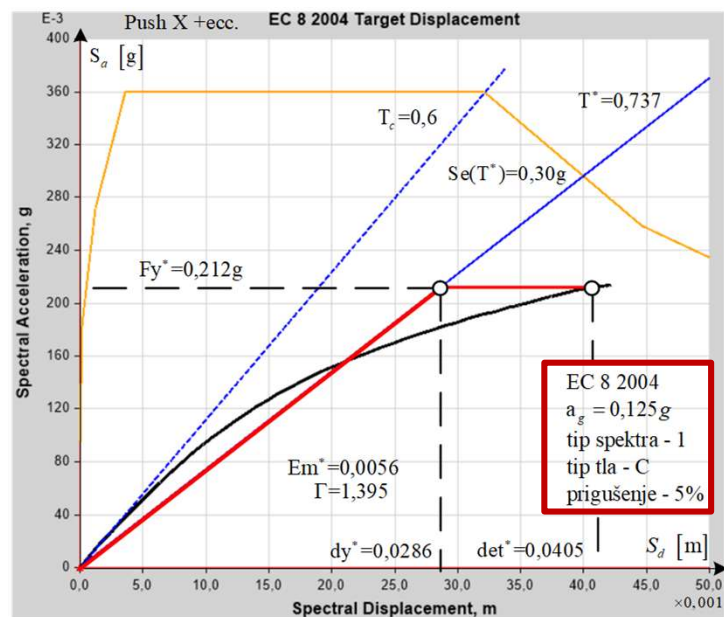
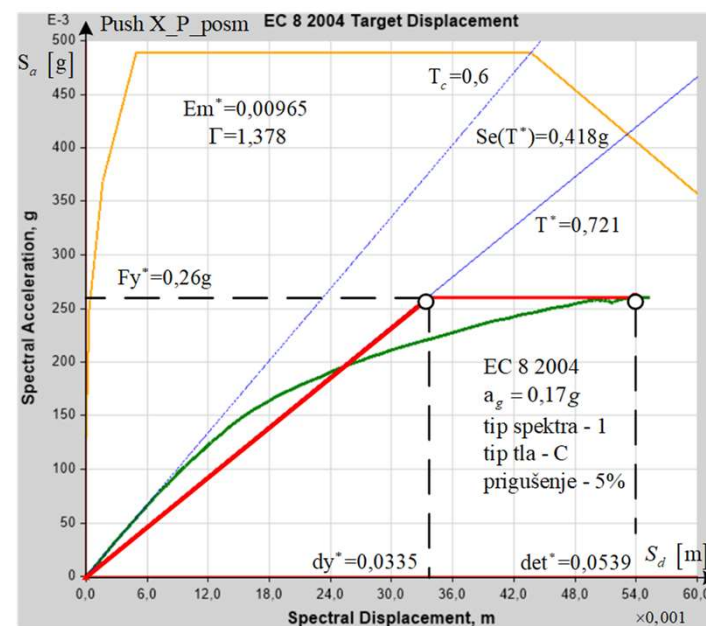
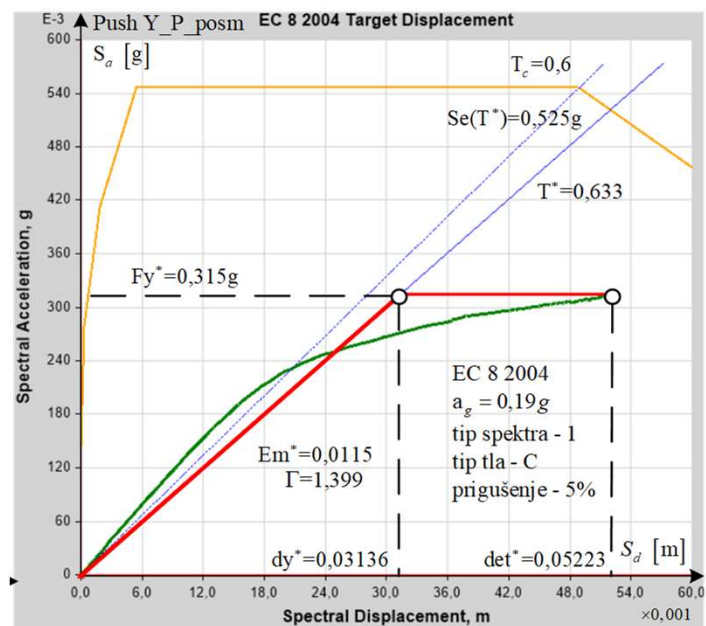
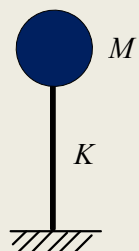
Proračun – metoda postupnog guranja

- krivulje nosivosti zgrade – smjer Y
- mehanizam otkazivanja i kritični elementi



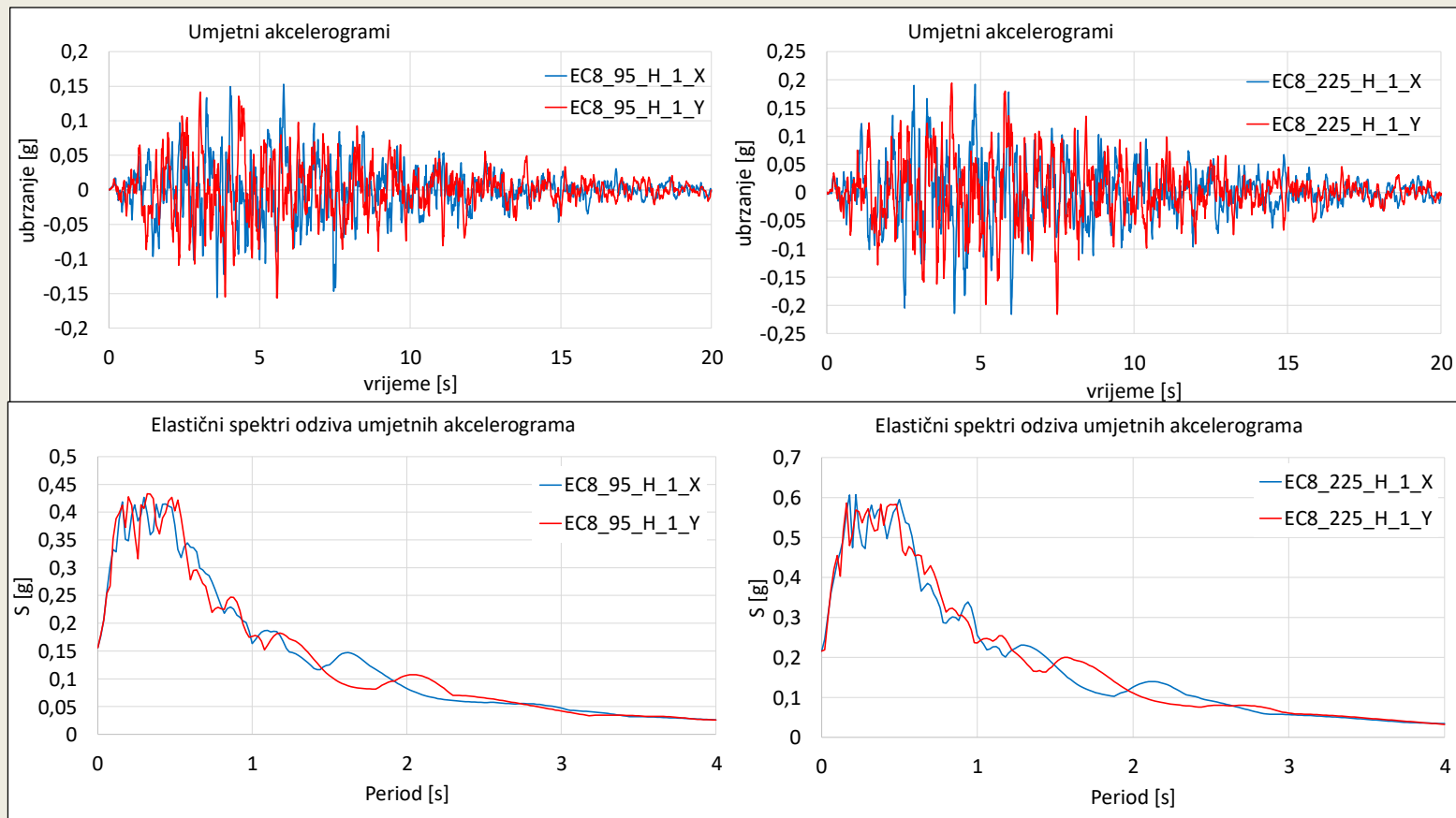
Krivulje kapaciteta

zamjenski sustav s jednim stupnjem slobode



Proračun - nelinearni dinamički proračun

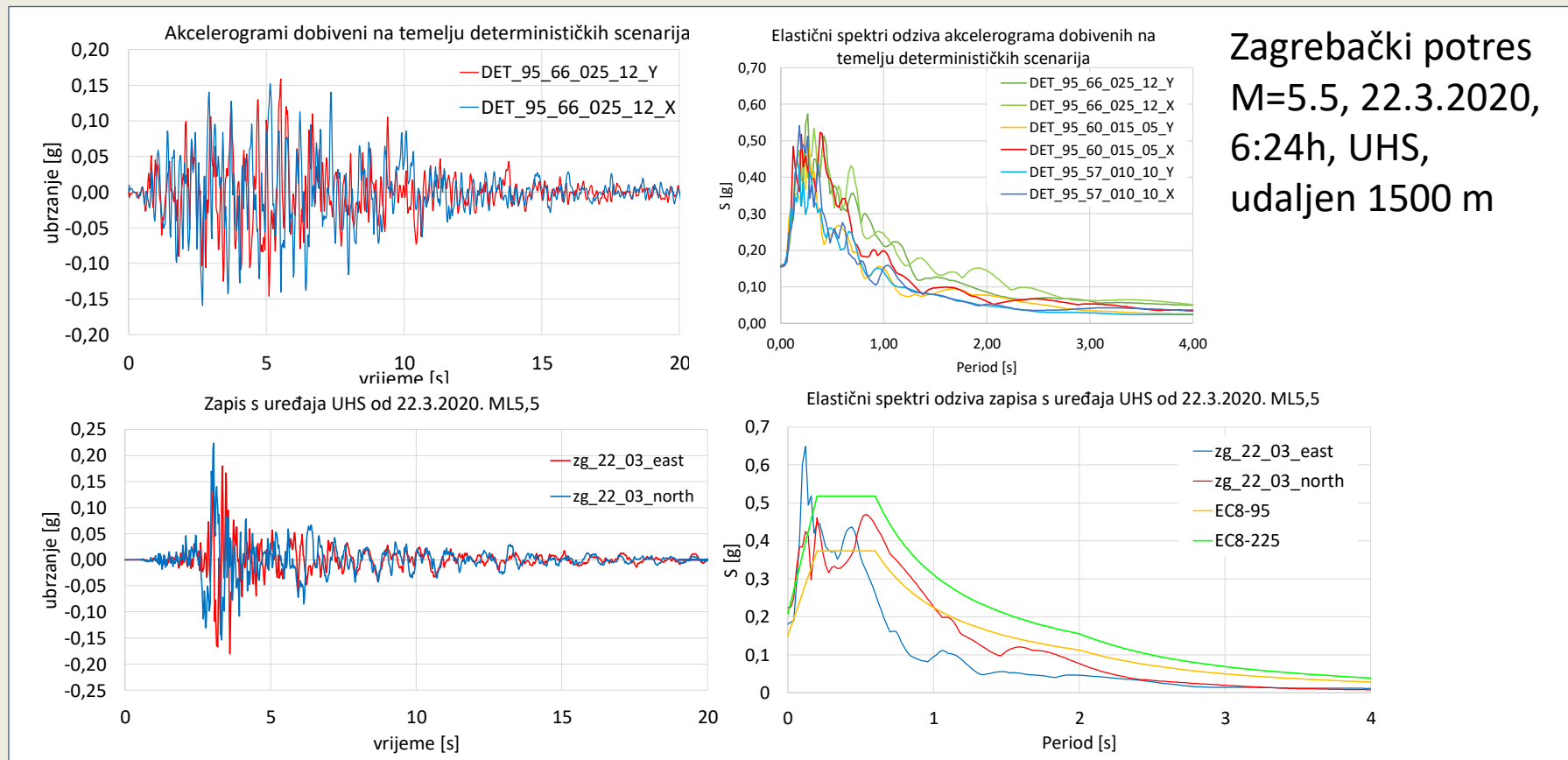
- zapisi ubrzanja temeljnog tla u vremenu različitog intenziteta - tlo tipa C
- faktor važnosti je II ($\gamma=1$), pretpostavljeno je viskozno prigušenje od 5%
- akcelerogram čiji spektar odziva odgovara spektru iz EC8 (tip 1)



Proračun - nelinearni dinamički proračun

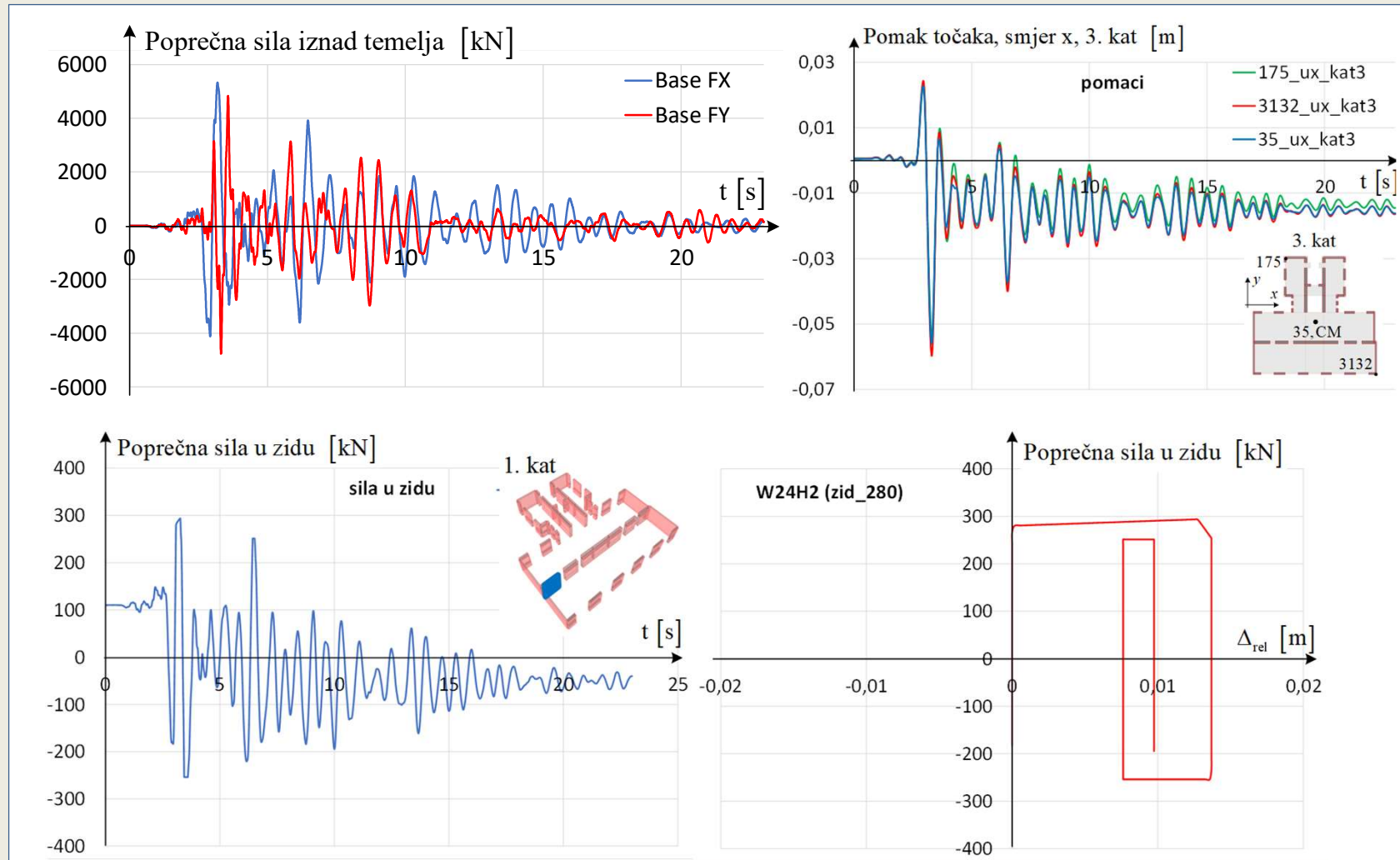
Deterministički (realni) scenariji potresa za PP 95 (225) godina:

- epicentralna udaljenost $D = 10$ (5) km, dubina $h = 10$ (12) km, magnituda $M = 5,7$ (5,8)
- epicentralna udaljenost $D = 15$ (10) km, dubina $h = 5$ (5) km, magnituda $M = 6,0$ (6,1)
- epicentralna udaljenost $D = 25$ (15) km, dubina $h = 12$ (10) km, magnituda $M = 6,6$ (6,4)



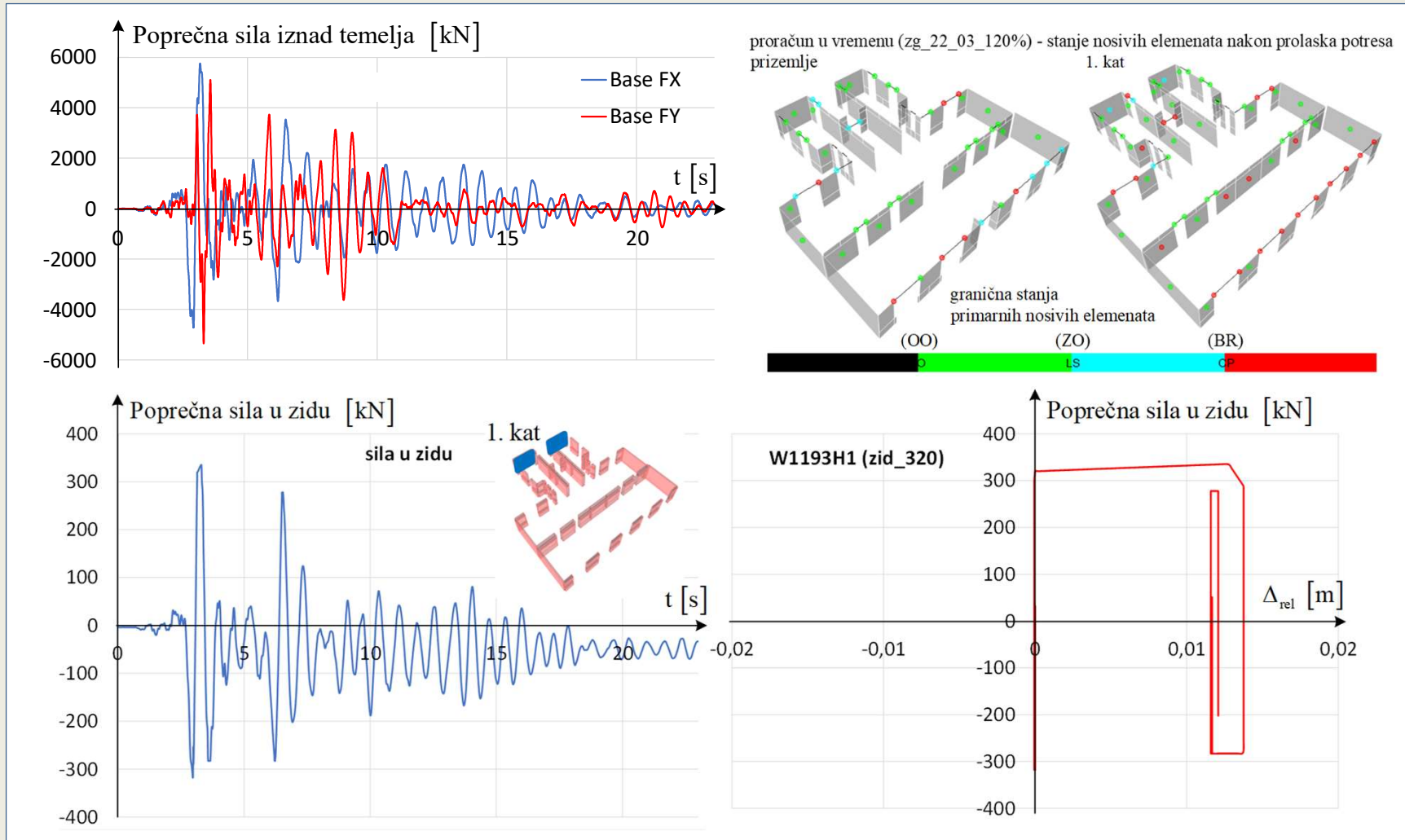
Proračun - nelinearni dinamički proračun

- ZG potres 22.3.2020., $a_g=0,22\text{ g}$



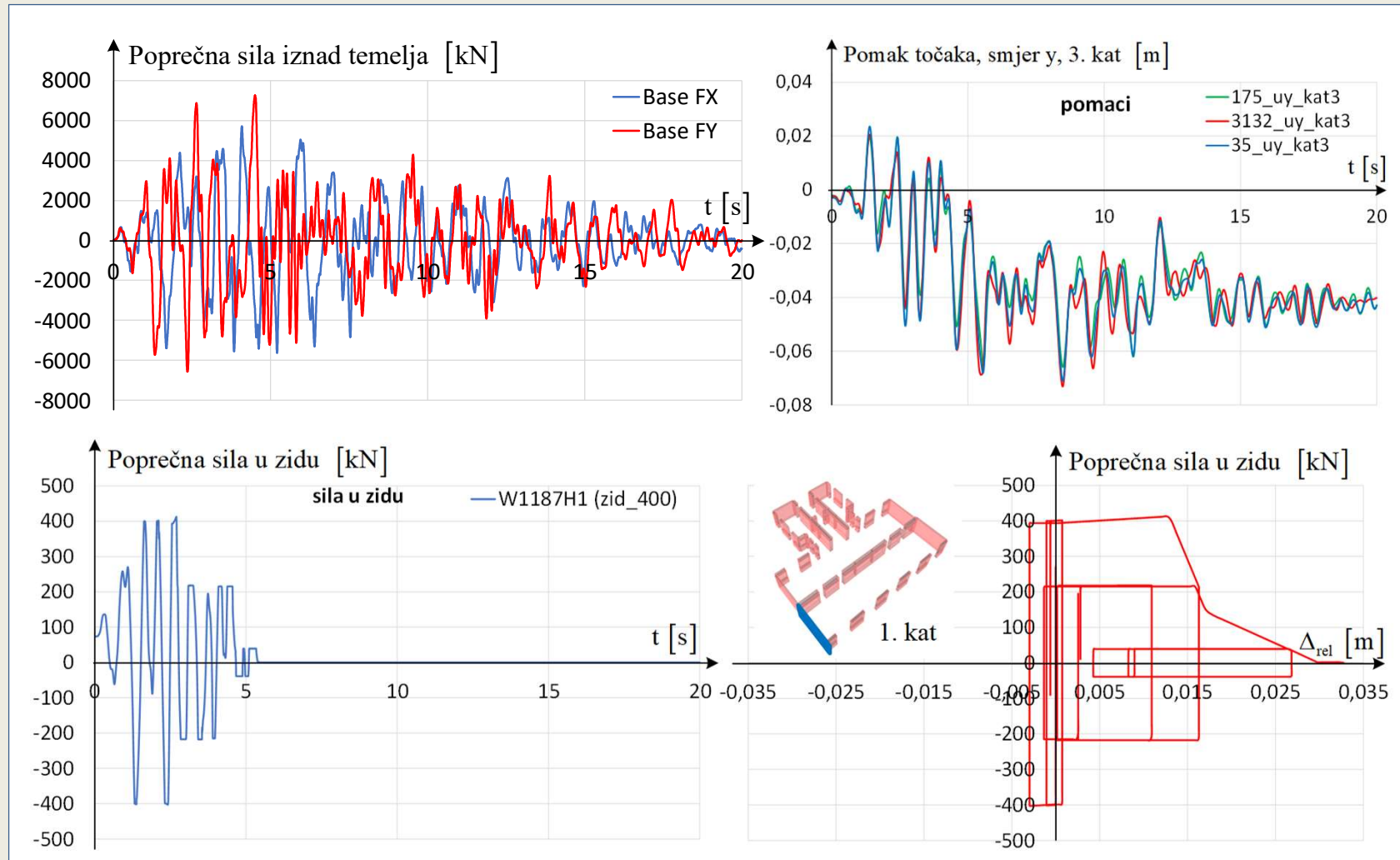
Proračun - nelinearni dinamički proračun

- ZG potres 22.3.2020., $a_g=0,264$ g



Proračun - nelinearni dinamički proračun

- Povratni period 475 g. p.p.



Zaključak

- poznavati građevinu → faktor povjerenja → meh. otkazivanja i kritični elementi
- faktor ponašanja nepoznat bez detaljnog proračuna ($q=1,5$)
- nosivost konstrukcije određena najslabijom karikom (primarni element)
- razina prosječenih posmičnih naprezanja može poslužiti samo kao okvirna smjernica, a nikako kao mjera za ocjenu nosivosti zgrade
- osigurati pretpostavke predviđene proračunom
 - krute dijafragme
 - sprečavanje lokalnih mehanizama sloma zidova
 - spajanje zidova, nadvoji
- sudaranja zgrada nije uzeto u obzir (gradnja u blokovima)
- degradacija krutosti nosivih elemenata u zgradi (ambijentalne vibracije)



Zaključak

Nelinearni statički proračun

- vršno ubrzanje na osnovnoj stijeni koje uzrokuje prekoračenje GS ZO je oko $a_g=0,12$ g
 - problem nadvoja koje treba ojačati
- kritični su zidovi na 1. i 3. katu
 - zabatni zidovi na sjevernoj strani zgrade
 - zidovi središnje uzdužne osi zgrade
- dominantan slom zidova posmikom u nižim katovima, u višim savijanjem

Nelinearni dinamički proračuni nešto veće razine nosivosti zgrade

- 225 god. p.p. - konstrukcija u stanju OO, osim dio nadvoja (ZO)
- 95 god. p.p. - zidovi i nadvoji zgrade ostaju u stanju OO
- potres u Zagrebu od 22.3.2020 (UHS), većina zidova u stanju OO, nadvoji ZO
- kritični su 1. i 2. kat kod kojih je jedan zid u središnjoj uzdužnoj osi u stanju ZO
- koncentracija oštećenja je u uzdužnom smjeru – dominantan smjer potresa

Uz provedene mjere lokalnih popravaka elemenata i osiguranja pretpostavki proračuna, zgrada zadovoljava Razinu 2 prema TPGK.

Važno: to nije prihvatljiva razina sigurnosti zgrade u potresu! (to je tek Razina 3)



Hvala na pažnji!

