

OBNOVA GRADA ZAGREBA NAKON POTRESA zakonodavni i tehnički okvir

Metodologija proračuna konstrukcija u sklopu potresne obnove

Mario Uroš

Suradnici: Damir Lazarević, Josip Atalić, Marta Šavor Novak,
Marija Demšić, Maja Baniček

Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Zavod za Tehničku mehaniku

Katedra za statiku, dinamiku i stabilnost konstrukcija



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET
Kačićeva 26, Zagreb
www.grad.unizg.hr



Hrvatska komora
inženjera građevinarstva

OBNOVA GRADA ZAGREBA NAKON
POTRESA - zakonodavni i tehnički okvir
15. srpnja 2020., Zagreb

Sadržaj

- **Obnova nakon potresa**
- **Pretpostavke proračuna**
- **Proračun**
- **Modeliranje**
- **HRN EN 1998-3**
- **Primjer zgrade - Palmotićeva**

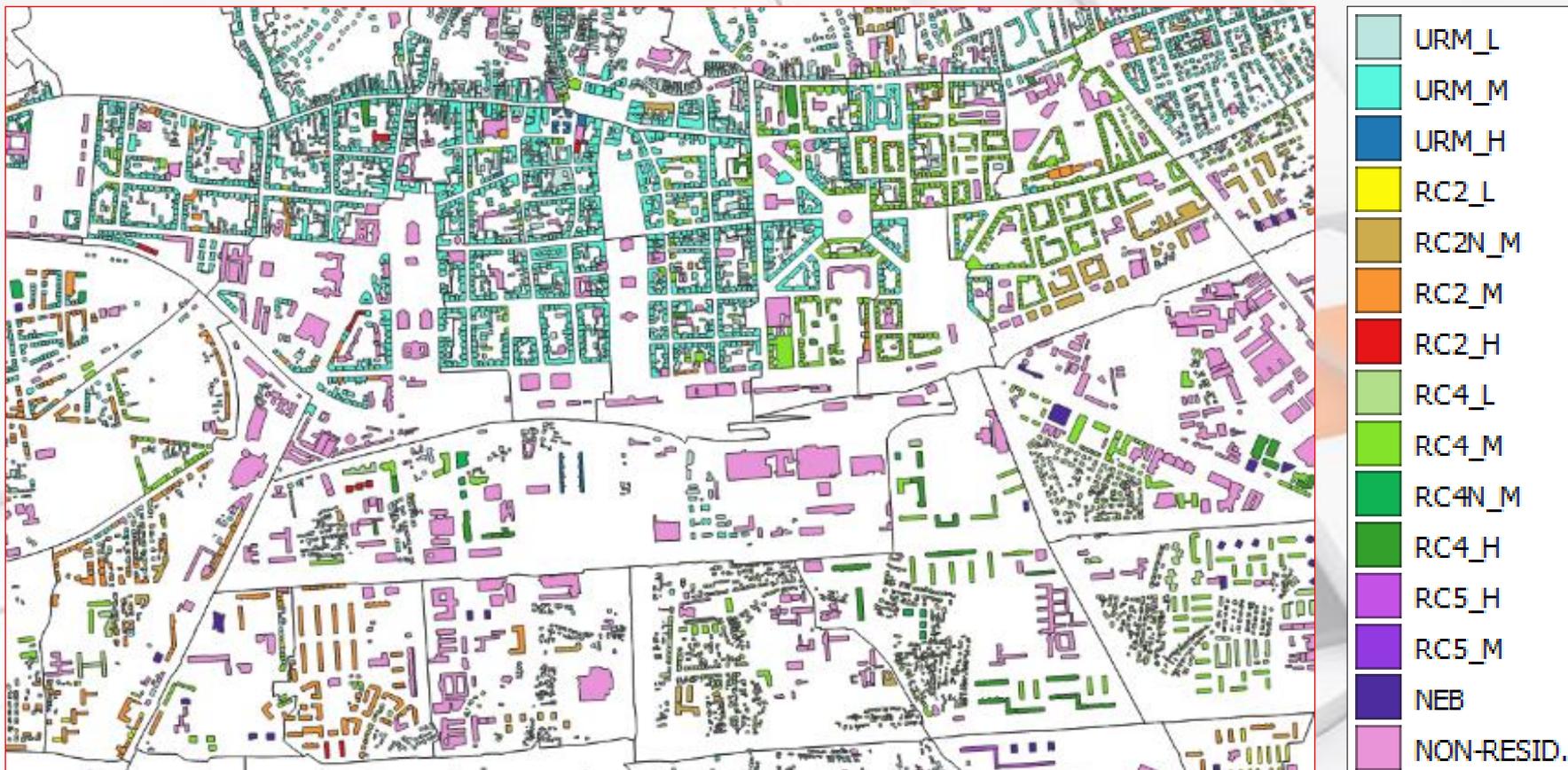


Obnova - Uvod

- **tipična donjogradska zgrada, pravilna, uglavnom u bloku...**
- **puna opeka, 6-10% zidova u tlocrtu, lagani drveni stropovi...**
- **problemi pri procjeni ponašanja zgrade**
 - **tipologija građevina – visoka seizmička ranjivost**
 - **oštećenja kroz povijest – potresi, slijeganje tla...**
 - **neadekvatne rekonstrukcije**
 - **propadanje materijala**
 - **izvorni nedostaci**
 - **kulturna baština**
- **nedostatak seizmičkih pravila i propisa za zidane zgrade**

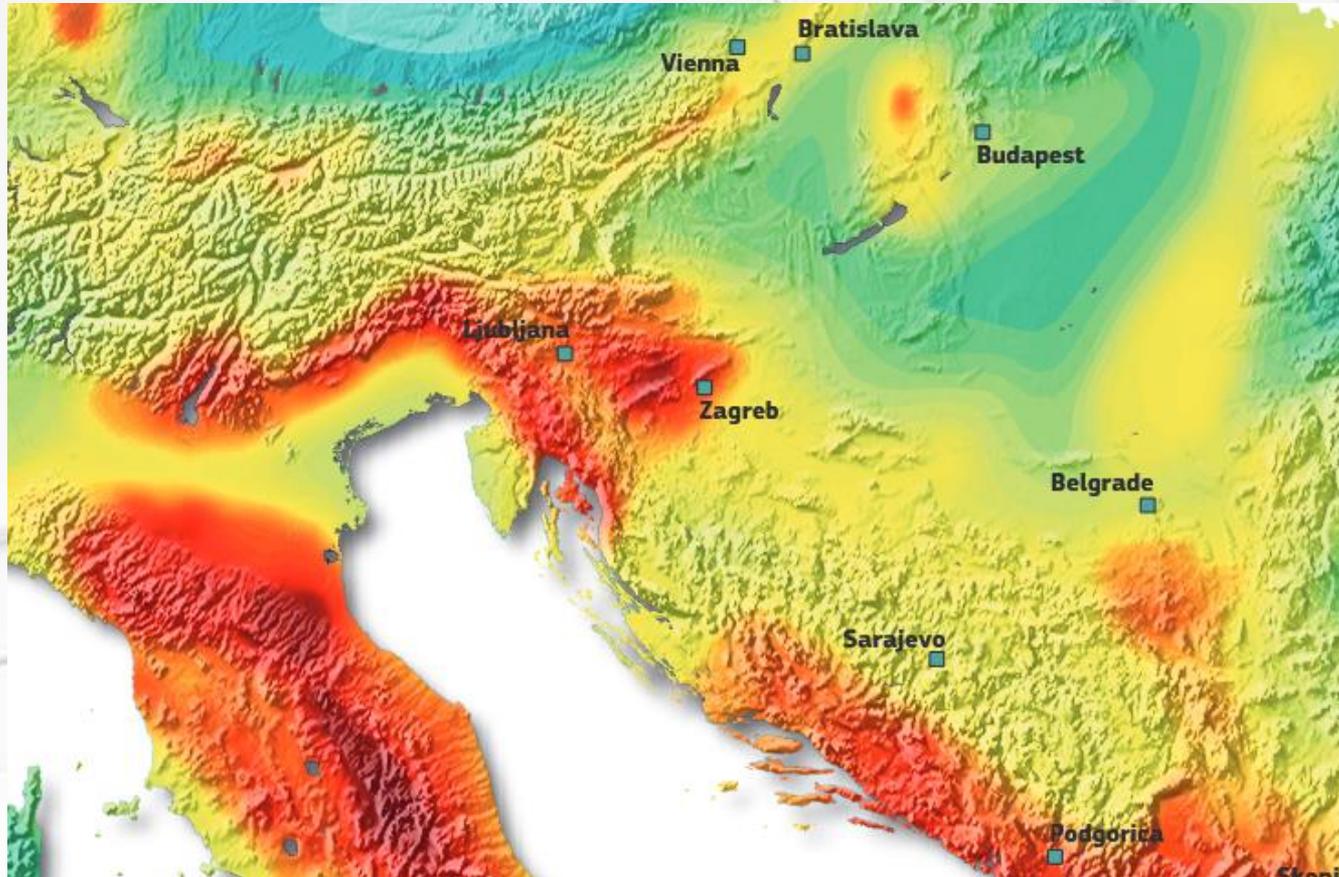
Obnova - Uvod

- tipologija gradnje



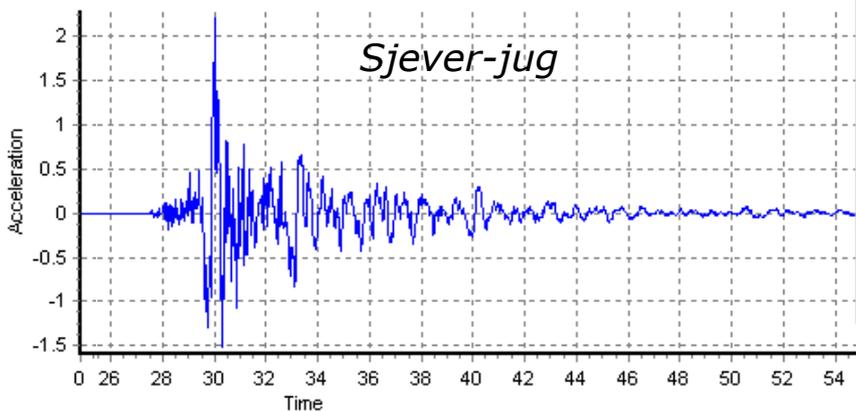
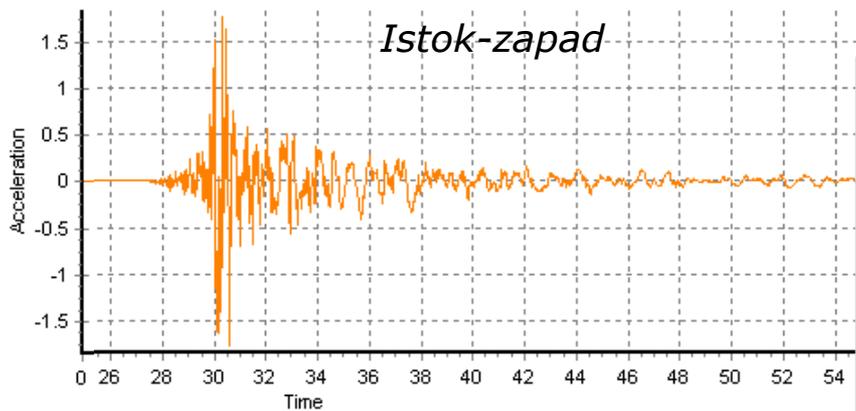
Obnova - Uvod

- seizmička opasnost (hazard), izloženost, ranjivost, oštetljivost

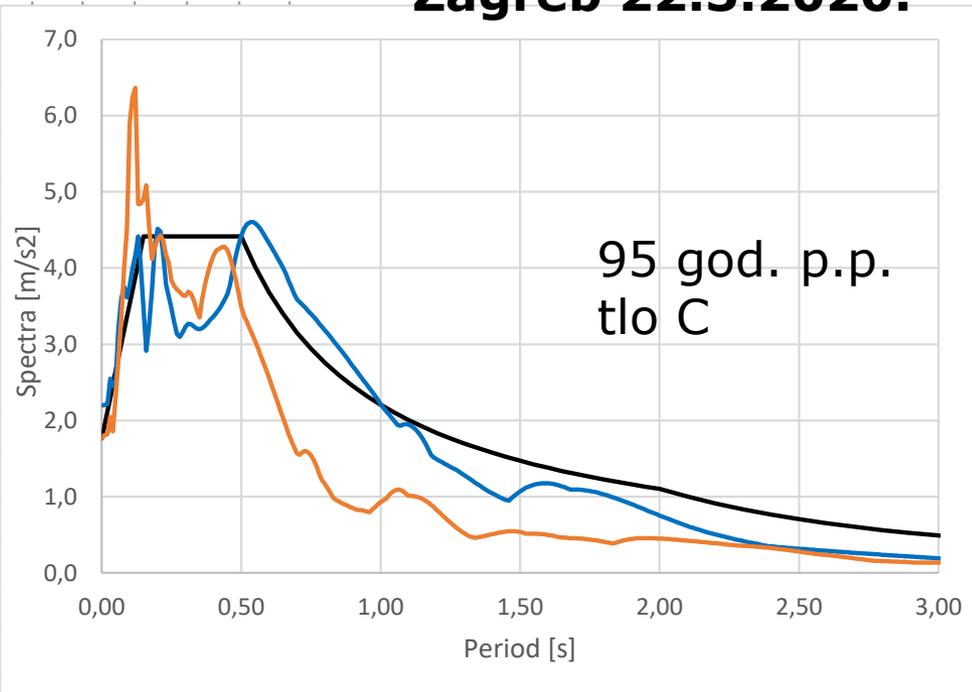


*EFEHR
ESHM13*

Obnova - Uvod



Zagreb 22.3.2020.



PMF, Geofizički odsjek,
seizmološka služba, 2020

Datum	Vrijeme (UTC)	Magnituda	Latituda (ϕ)	Longituda (λ)	Dubina žarišta [km]
22.03.2020.	05:24:03	M = 5.5	45,884	16,013	8,3



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET
Kačićeva 26, Zagreb
www.grad.unizg.hr

OBNOVA GRADA ZAGREBA NAKON
POTRESA - zakonodavni i tehnički okvir
15. srpnja 2020., Zagreb

Obnova - Uvod

- razina 3 - povratni period za 225 g, 20% premašaja u 50 g.

HRN EN 1998-1, 2.1.(4)

$$\gamma_F = \left(\frac{T_{LR}}{T_L} \right)^{-\frac{1}{k}} \quad \rightarrow k \approx 2.3 \quad \text{ZAGREB}$$

$$\gamma_F = \left(\frac{475}{95} \right)^{-\frac{1}{2.3}} = 0.50 \quad \leftarrow \text{izračunati } k \text{ na temelju očitavanja } a_g \text{ za 95 i 475 g.}$$

$$\gamma_F = \left(\frac{475}{225} \right)^{-\frac{1}{2.3}} = 0.72$$

Obnova - Cilj

- **cilj obnove prema iskustvima iz drugih država:**
 - **strategija smanjenja seizmičkog rizika – zaštita ljudskih života**
 - **u zadanim uvjetima (vrijeme, financije, ekonomija...) osigurati maksimalno smanjenje rizika od potresa za zajednicu - djelovati u širokom opsegu (ne točkasto u pojedine zgrade)**
 - **smanjiti pojedinačnu intervencije na što manju mjeru**
- **dopušta se „smanjena” razina sigurnosti**
- **bez obaveze za kompletnom obnovom**
- **mogućnost ograničavanja uporabe za stare zgrade**
- **povećati efikasnost postojećih mehanizama nosivosti**
- **minimalne intervencije u vertikalnu konstrukciju**



Obnova – Pristup problemu

- nove zgrade su predimenzionirane (probabilistički pristup)
- kod projektiranja zahvata obnove to nije prihvatljivo
 - želimo znati stvarno ponašanje
 - često su presudni detalji
- rezultat pristupa proračunu:
 - jednostavni modeli koji nastoje opisati jako složene mehanizme otkazivanja zida i njihovu interakciju
- prema iskustvu iz Italije...
 - slična je razina sigurnosti za novu zgradu na 100% EC i staru na 80% EC
- za nove zgrade znamo unaprijed mehanizam otkazivanja (prilagođavamo zgradu proračunu)
 - interakciju raznih komponenti i utjecaja svodimo na minimum

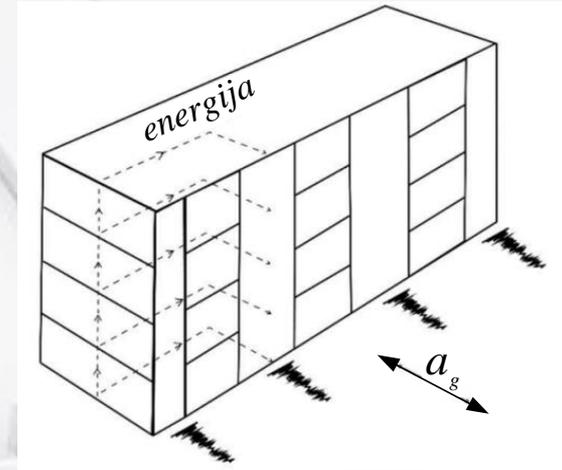
Obnova – Pristup problemu

- **strategija pristupa problemu:**
 - ključno je poznavanje građevine
 - detalji i tehnika izvedbe, najslabija karika u lancu...
 - poznavati sve lokalne i globalne mehanizme otkazivanja
- **težište na popravak i lokalne intervencije (smanjenje rizika)**
 - nisu potrebni (uglavnom ni mogući) globalni proračuni
 - ne mijenjaju se osnovne dinamičke karakteristike zgrade
 - naglasak na lokalne intervencije
 - nije potrebno dokazivati granično stanje uporabljivosti
 - preostali životni vijek građevine i uporaba građevine?



Pretpostavke proračuna

- klasični proračun – pretpostavka
 - osigurati ispravan tijek sile
 - djelovanja dijafragme
 - stabilnosti zidova izvan ravnine
 - adekvatno spajanja nadvoja
- ako nije ostvarena pretpostavka:
 - otkazivanje zidova izvan ravnine
 - interakcija mehanizama otkazivanja

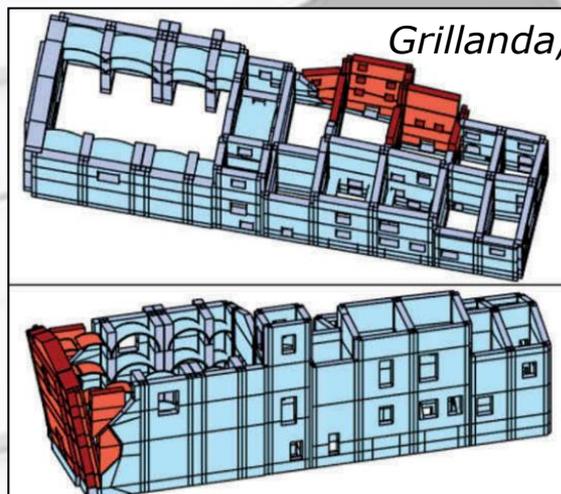
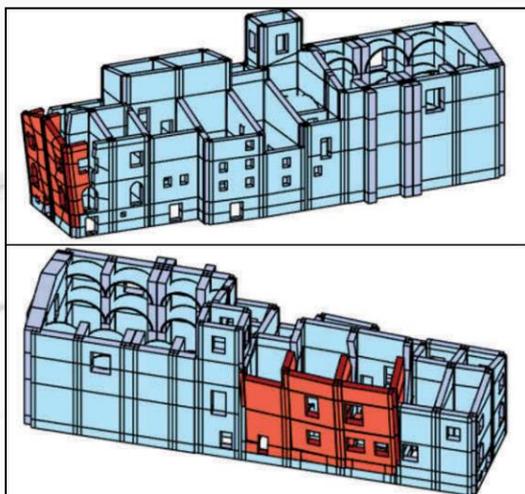


Priestlet, 1985



Pretpostavke proračuna - Dijafragme

- dijafragme – negativne strane
 - nepravilne zgrade
 - otkazivanje zidova izvan ravnine uslijed pomaka izazvanih dijafragmom
 - zid ne može pratiti pomak dijafragme
 - teška dijafragma uzrokuje značajne inercijalne sile
 - problem izvedbe – zasijecanje i oslabljenje zida
- fleksibilnost dijafragme značajno povećava OOP zidova

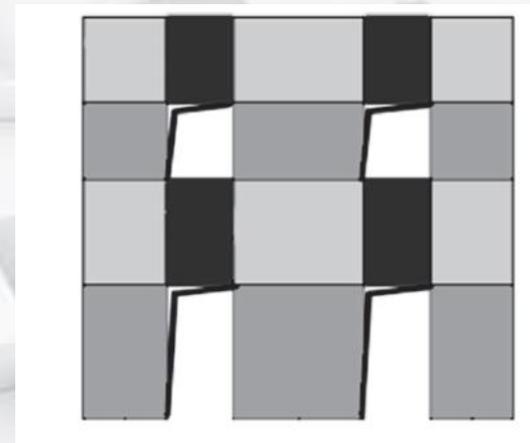


Modena, 2020

Figure 7. The bell tower of Saint Martin's church in Gualdo after the 2016 earthquake swarm.

Pretpostavke proračuna - Nadvoji

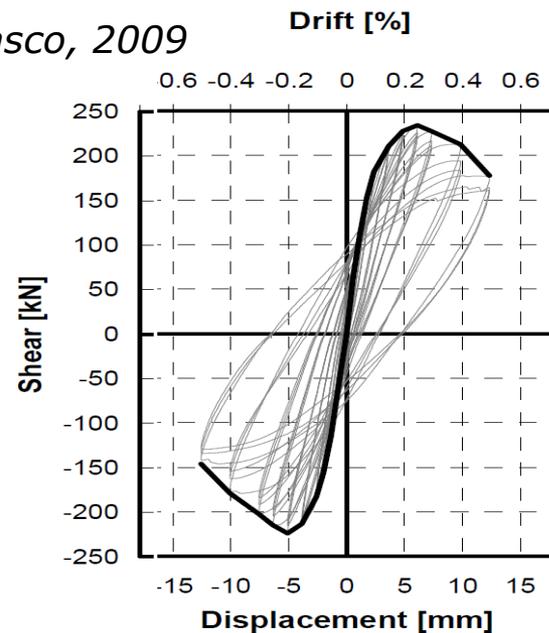
- ponašanje nadvoja utječe na upetost zidova (pristup s makroelementima?)
- slabo obrađeni u propisima
- „slabi” nadvoj „jaki” zid
- pitanje otkazivanja stropne konstrukcije uslijed rušenja nadvoja?



Pretpostavke proračuna - Krutost

- preporuka 50% smanjenja krutosti zidova
- linearni model – nema promjene raspodjele sile
- nelinearni model – veća krutost – zahtjev manji
- smanjenje krutosti pod cikličkim opterećenjem
- produljenje perioda zbog raspucavanja?
- puno zidova već ima smanjenu krutost
 - prethodni potresi (IP i OOP)
 - gubitak adhezije pri vibracijama
 - ekscentričnosti opterećenja
 - niska razinu vertikalnog opterećenja
- interakcija IP i OOP
 - inercijalni odgovor OOP
 - pobuda u više smjerova

Galasco, 2009



Proračun

- proračun bočnih sila (linearni)
- modalni proračun primjenom spektra odziva (linearni)
- nelinearni statički proračun (postupno guranje)
- nelinearni dinamički proračun primjenom vremenskog zapisa
- pristup s faktorom q

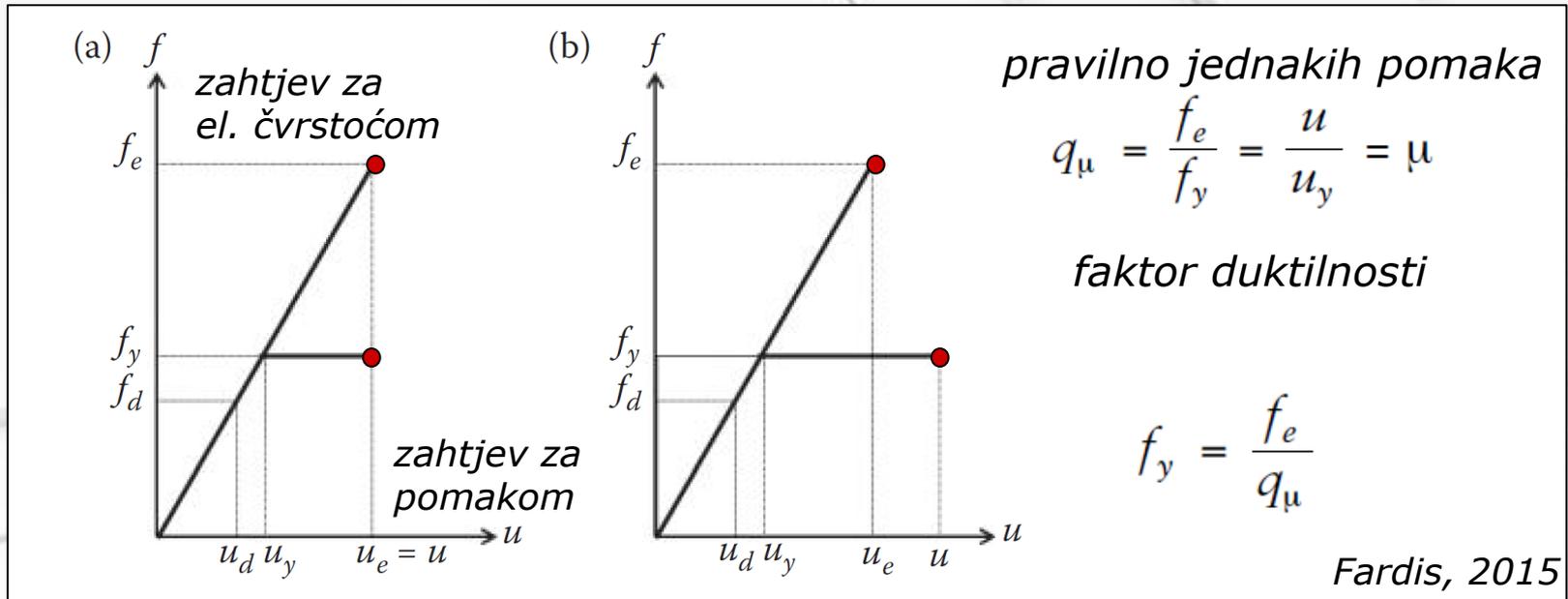
HRN EN 1998-3

„uz izuzetak zidanih konstrukcija kod kojih se zbog oblikovanja tih konstrukcija trebaju upotrijebiti posebni postupci”



Proračun - faktor ponašanja

- smanjenje seizmičkih opterećenja
- temeljen na empirijskim opažanjima ponašanja najčešćih tipova konstrukcija i statičkih sustava tijekom potresa



pravilno jednakih pomaka nije uvijek primjenljivo – niski period titranja

Proračun - faktor ponašanja

- stvarna nosivost/projektirana nosivost (manja)
- utjecaj „overstrength“

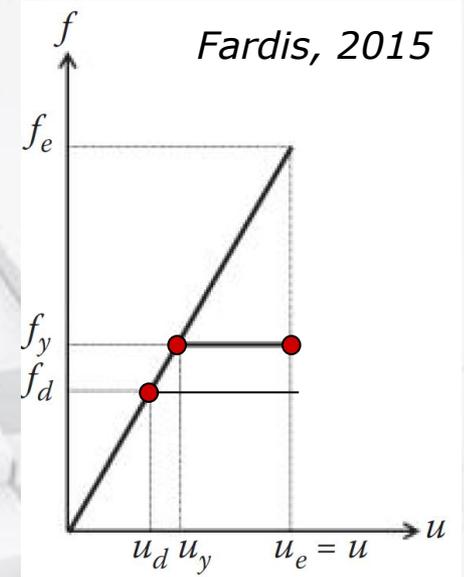
$$q_s = \frac{f_y}{f_d}$$

$$q = \frac{f_e}{f_d} = \frac{f_e}{f_y} \frac{f_y}{f_d} = q_u q_s$$

- projektirana sila se dobije iz zahtjeva elast. nosivosti
- elastični spektar 1SS

$$f_d = \frac{f_e}{q}$$

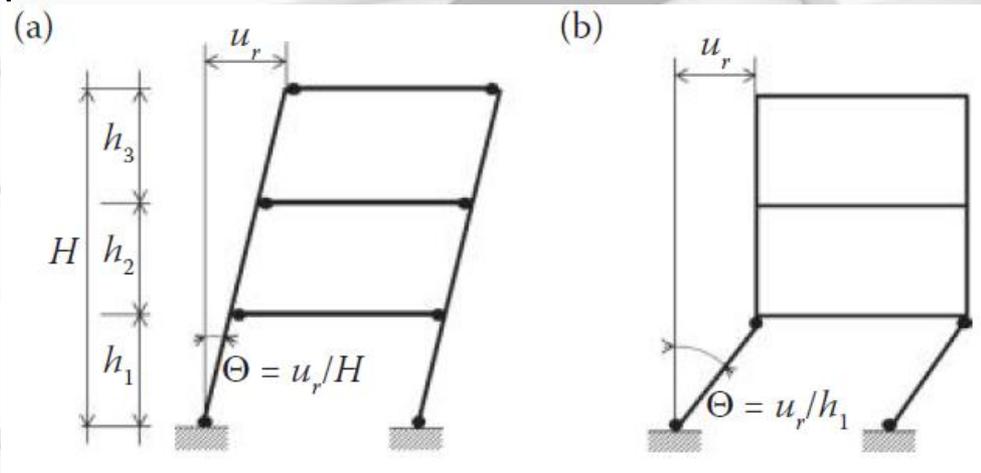
- pomak je elastični - stvarni pomak je $u = q u_d$ (za uporabljivost)
- konstrukcije male duktilnosti - $q = 1,5$ (prekoračenje „overstrength“)
- vrijednosti q ovise o:
 - konstrukcijskom materijalu
 - geometriji, vrsti i pravilnosti konstrukcijskog sustava
 - detaljima izvedbe čvorova



Proračun - faktor ponašanja

Problem:

- lokalni zahtjev za duktilnošću može biti puno veći od globalnog
- razumna aproksimacija za nove zgrade
 - poznata klasa duktilnosti
 - poznati mehanizam otkazivanja - globalni plastični zglobovi
- slabo primjenljivo za stare zidane zgrade
 - q - nije prikladan za lokalni mehanizam - slom elem. ili kata (slaba karika)



Fardis, 2015

Proračun

Metode proračuna

- proračun bočnih sila (linearni)
- modalni proračun primjenom spektra odziva (linearni)
- nelinearni statički proračun (postupno guranje)
- nelinearni dinamički proračun primjenom vremenskog zapisa
- pristup s faktorom q

Proračun – linearno elastični

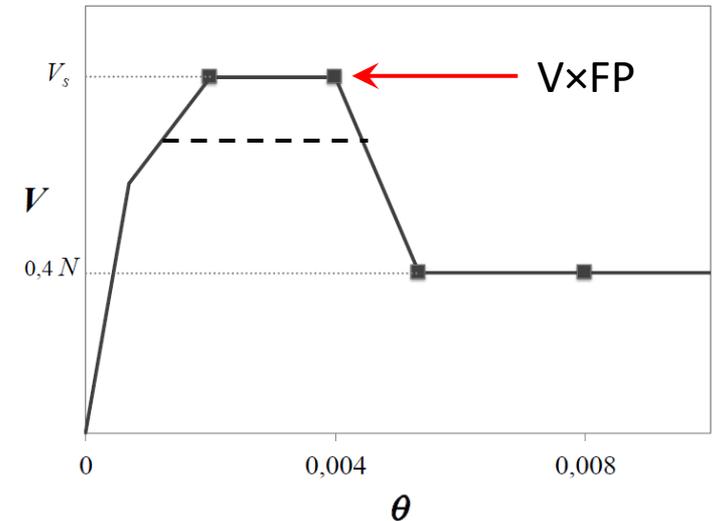
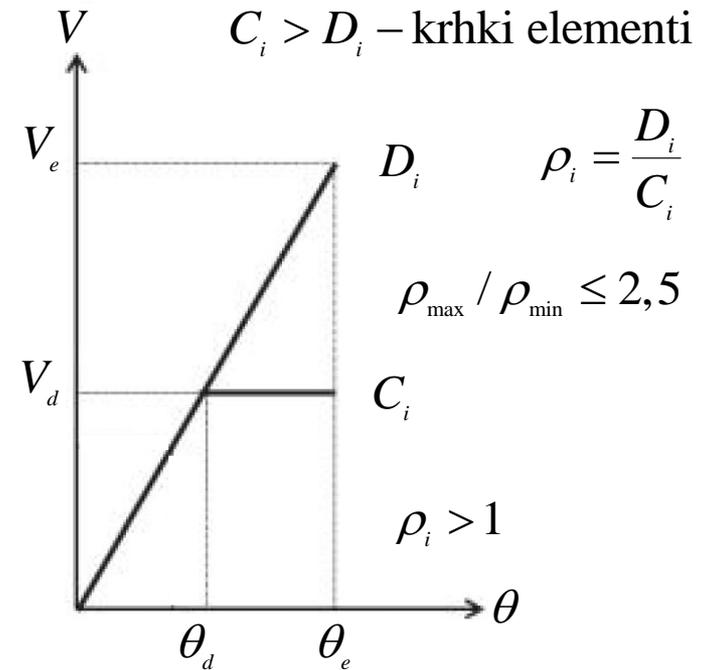
- **izrazito nelinearno ponašanje zida**
 - čak i za nisku razinu opterećenja
- **kontrola naprezanja u konstrukciji problematična**
 - koncentrirano opterećenje i geometrijski diskontinuiteti
 - singulariteti
 - ovisnost rezultata o diskretizaciji
- **problem uključivanja duktilnosti**



Proračun

Proračun bočnih sila

- elastični spektar odziva
- omjer D/C za primarni element
- ρ_{\max} i ρ_{\min} za najveće i najmanje vrijednosti ρ_i , za sve duktilne primarne elemente
- „lokalni“ faktor ponašanja
- nosivost duktilnih elemenata koji unutarne sile predaju krhkim veća
- srednje vrijednosti pomnožiti s FP



Proračun – linearno elastični

- **dodatni uvjeti za linearne metode**
 - ravnomjerna raspodjela zidova po smjerovima i neprekinutost po visini
 - stropovi imaju dovoljnu krutost u ravnini i spojeni su s zidovima
 - stropovi zajedničkog zida su na istoj visini
 - **na svakom katu omjer bočne krutosti u ravnini najkrućega zida i najslabijeg primarnog potresnog zida ne premašuje 2,5**
 - nadvoji/parapeti spojeni na susjedne zidove

Proračun

metode proračuna

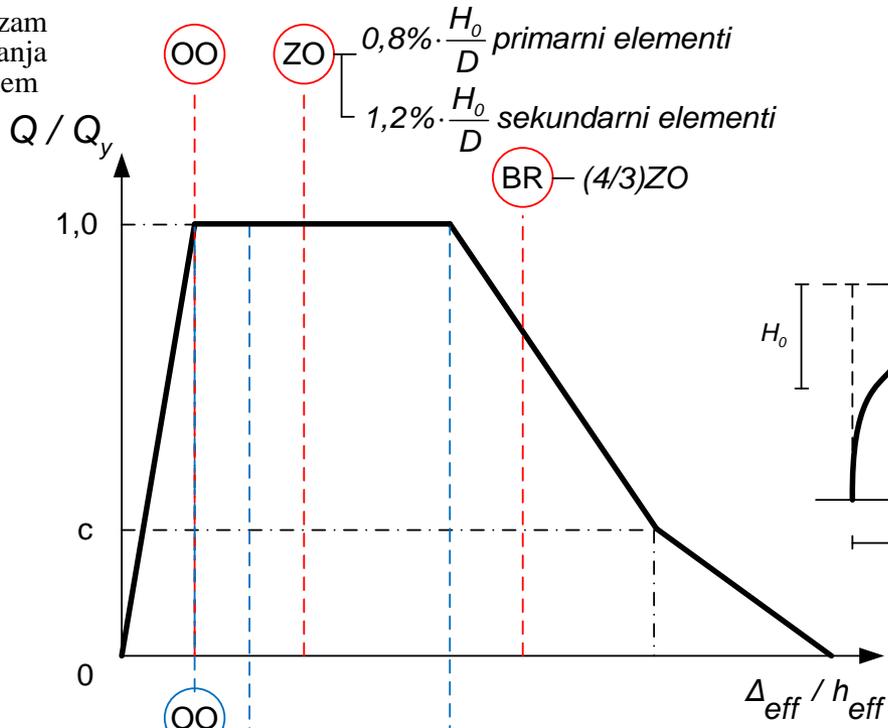
- proračun bočnih sila (linearni)
- modalni proračun primjenom spektra odziva (linearni)
- nelinearni statički proračun (postupno guranje)
- nelinearni dinamički proračun primjenom vremenskog zapisa
- pristup s faktorom q



Proračun – metoda postupnog guranja

- numerički model sa krivuljama kapaciteta nosivosti (duktilnost i nosivost)

mehanizam otkazivanja savijanjem



$$V_f = \frac{DN}{2H_0} (1 - 1,15 v_d)$$

$$v_d = N / (D t f_d) \quad f_d = f_m / FP_m$$

mehanizam otkazivanja posmikom



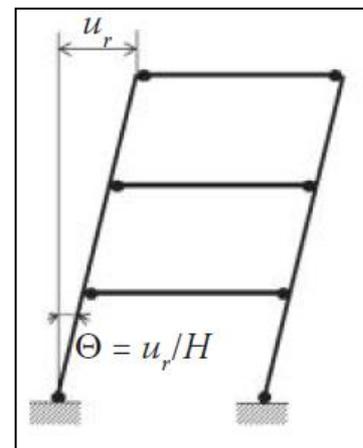
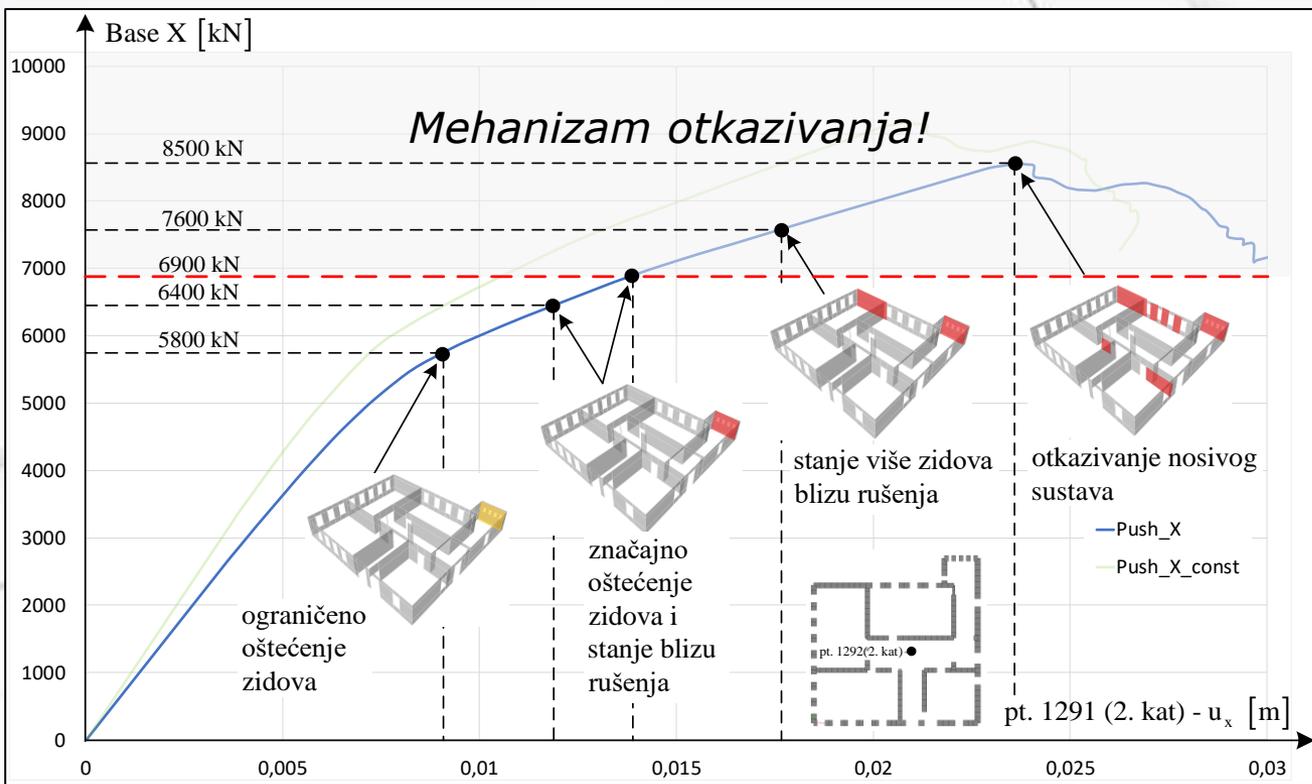
$$V_f = f_{vd} D' t$$

$$f_{vd} = f_{vm0} + 0,4 N / D' t \leq 0,065 f_m$$



Proračun – metoda postupnog guranja

- monotono bočno opterećenje – nelinearna statika
- ravnotežna krivulja poprečne sile i pomaka karakteristične točke
- kontrola graničnih stanja (međukatni pomak)



svesti na ekvivalentni 1 s.s.



Proračun – metoda postupnog guranja

ekvivalentni jedan stupanj slobode

$$T^* = 2 \pi \sqrt{\frac{L u_{sy}}{f_{sy}}} = 2 \pi \sqrt{\frac{m^* u_{sy}}{f_{sy}}}$$

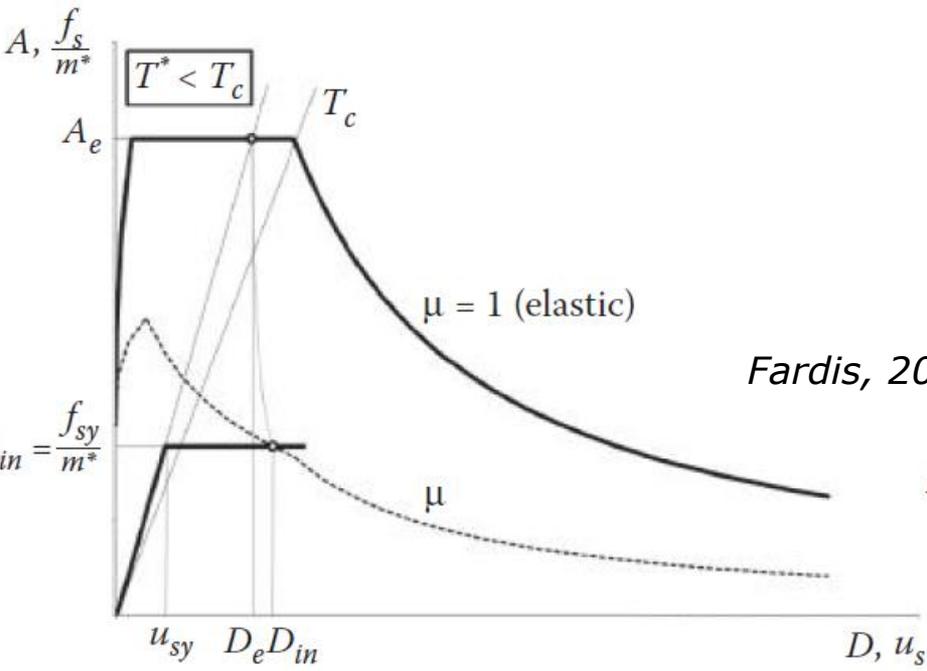
$$A_{in} = \frac{A_e}{q_\mu}$$

$$D_{in} = \frac{\mu}{q_\mu} D_e = \frac{\mu}{q_\mu} \frac{T^{*2}}{4 \pi^2} A_e = \mu \frac{T^{*2}}{4 \pi^2} A_{in}$$

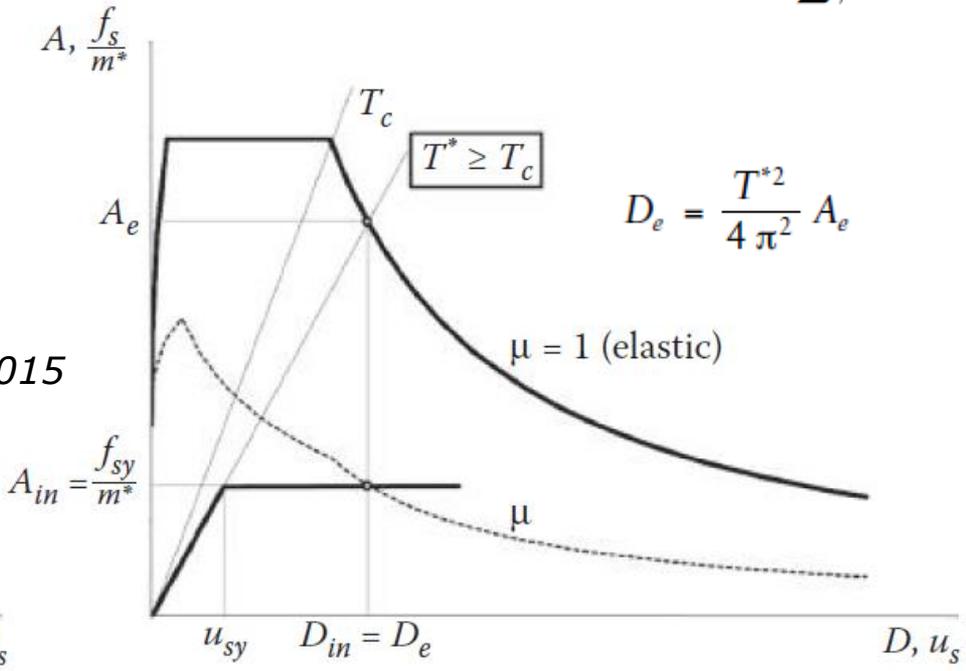
$$M = \Phi^T m \Phi = \sum_j \Phi_j^2 m_j$$

$$L = \Phi^T m 1 = \sum_j \Phi_j m_j$$

$$\Gamma = \frac{L}{M} = \frac{\sum_j \Phi_j m_j}{\sum_j \Phi_j^2 m_j}$$



Fardis, 2015



$$D_e = \frac{T^{*2}}{4 \pi^2} A_e$$



Proračun – metoda postupnog guranja

- **ograničenja:**
 - konstantan oblik guranja – unatoč otvaranju pl. zglobova
 - problem nepravilnih zgrada – torzija zgrade?
 - uvjet dominantne translacije – 1. oblik > 85% mase - viši oblici?
 - zgrade u blokovima (nesimetrija)?
- **naprednije analize metode guranja**
 - modalna analize postupnog guranja
 - adaptivna analize postupnog guranja

Proračun

metode proračuna

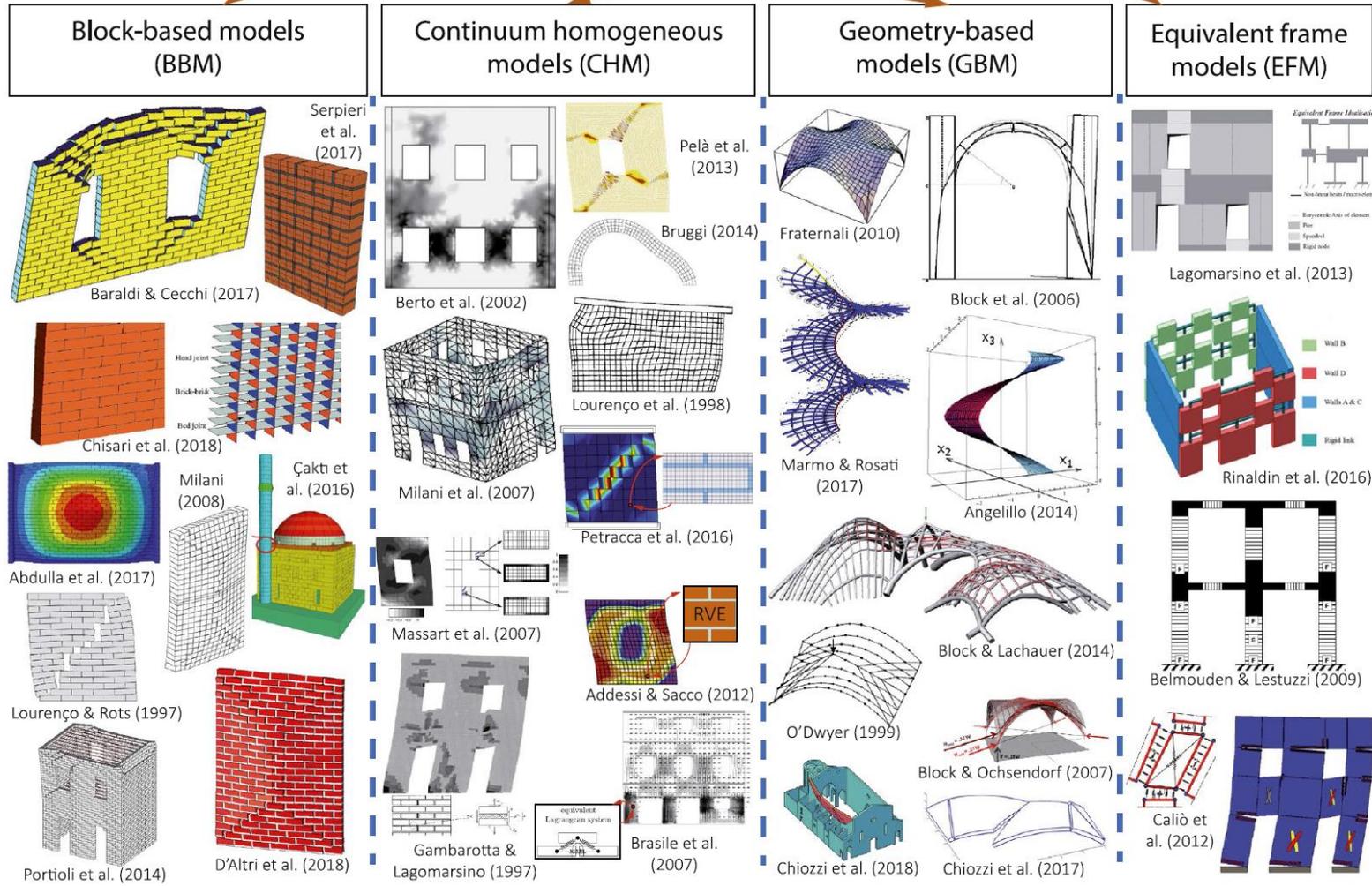
- proračun bočnih sila (linearni)
- modalni proračun primjenom spektra odziva (linearni)
- nelinearni statički proračun (postupno guranje)
- nelinearni dinamički proračun primjenom vremenskog zapisa
- pristup s faktorom q

Proračun – dinamičke metode

- ulazni podaci problematični:
- zapisi ubrzanja tla?
- primjena u inženjerskoj praksi je složena
 - trajanje proračuna
 - ciklički konstitutivni zakon
 - interpretacija rezultata
- EC8 zahtijeva podudaranje prosječnih spektralnih ordinata zapisa s spektrom
 - sedam zapisa – srednja vrijednost
 - tri zapisa – maksimalna vrijednost

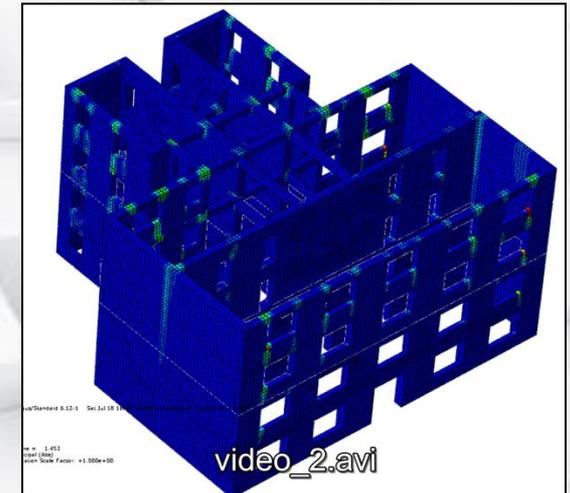
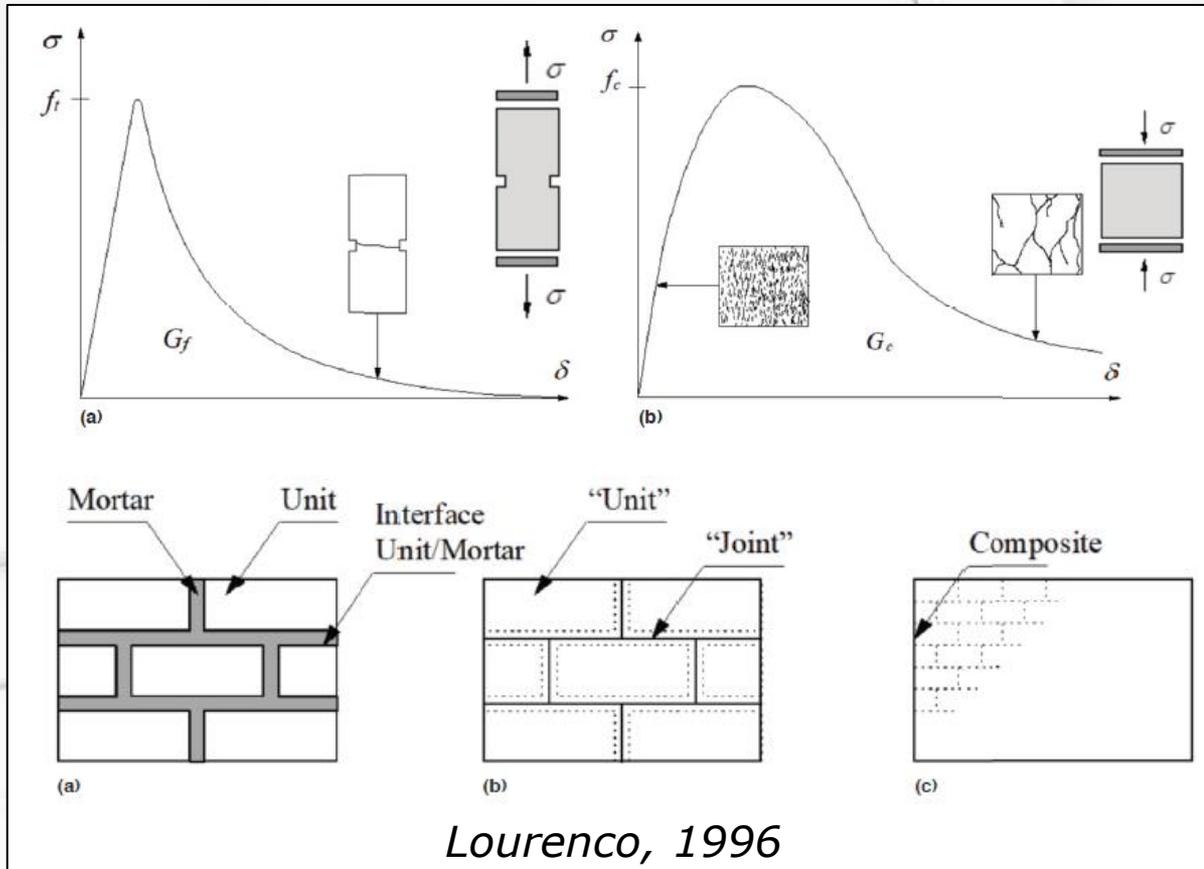
Modeliranje - pristup

DAItri, 2019



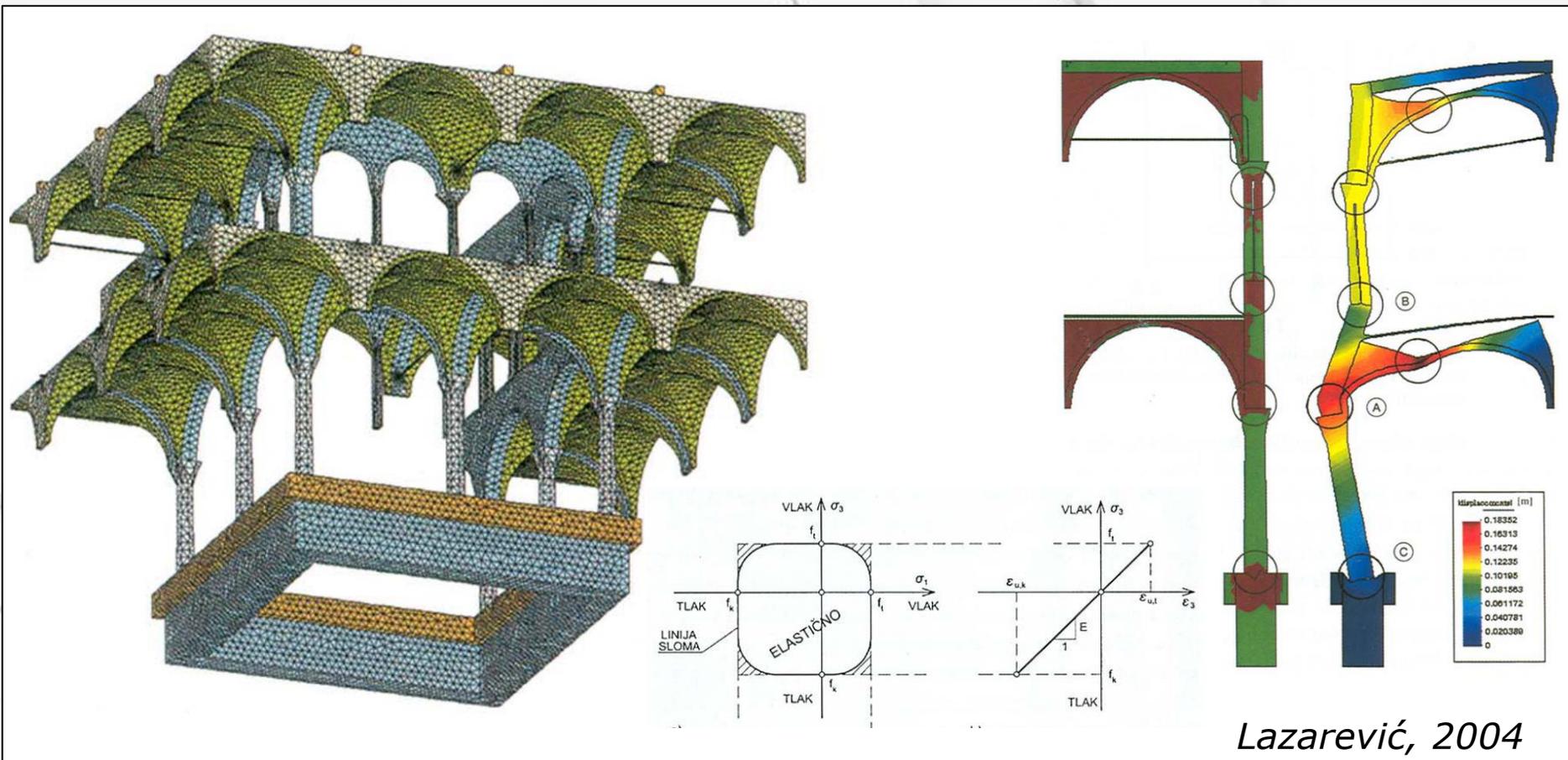
Modeliranje - pristup

- složeni modeli zida – konstitutivni modeli materijala i kontakta



Modeliranje - pristup

- složeni modeli zida – konstitutivni modeli materijala i kontakta



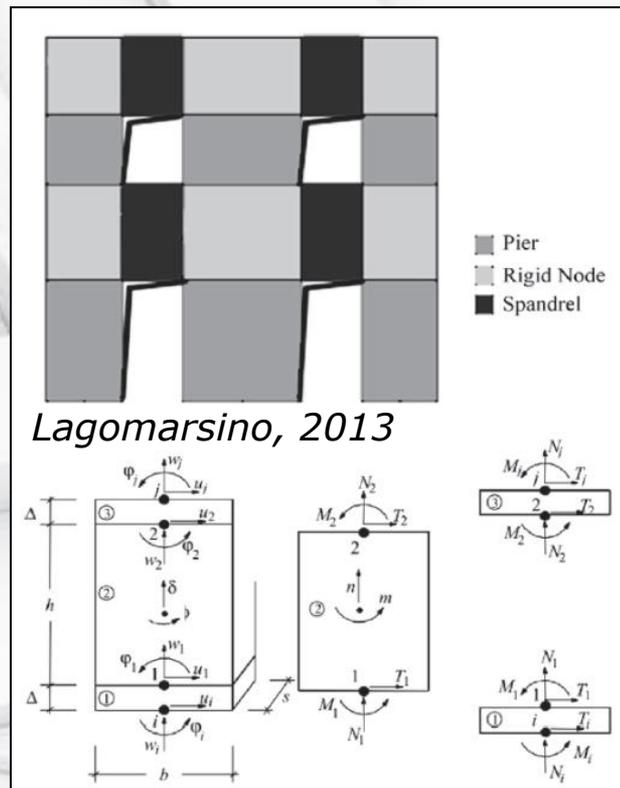
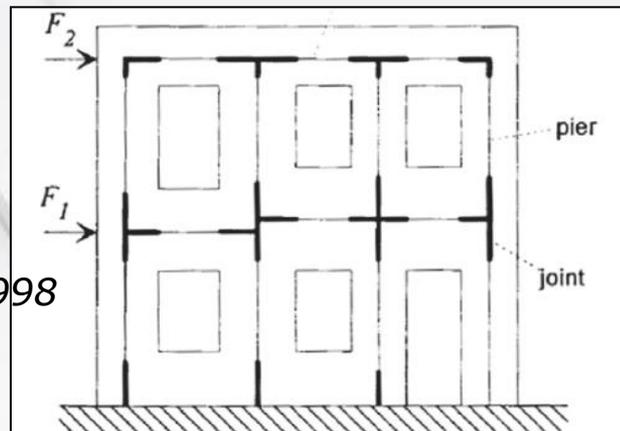
Lazarević, 2004

Modeliranje - pristup

fenomenološki pristup

- makroelementi - ekvivalentni okvir
- jednostavni i učinkoviti
- brzo računanje
- zidovi, nadvoji, kruti čvorovi...
- nelinearni odziv je koncentriran
- središnje tijelo
 - posmična deformacija u ravni
- dva vanjska elementa na vrhu i dnu
 - savijanje i uzdužna sila
- makroelement - 8 S.S. (3+2+3)
- bitna konfiguracija otvora
- pretpostavke: dijafragme, nadvoji...

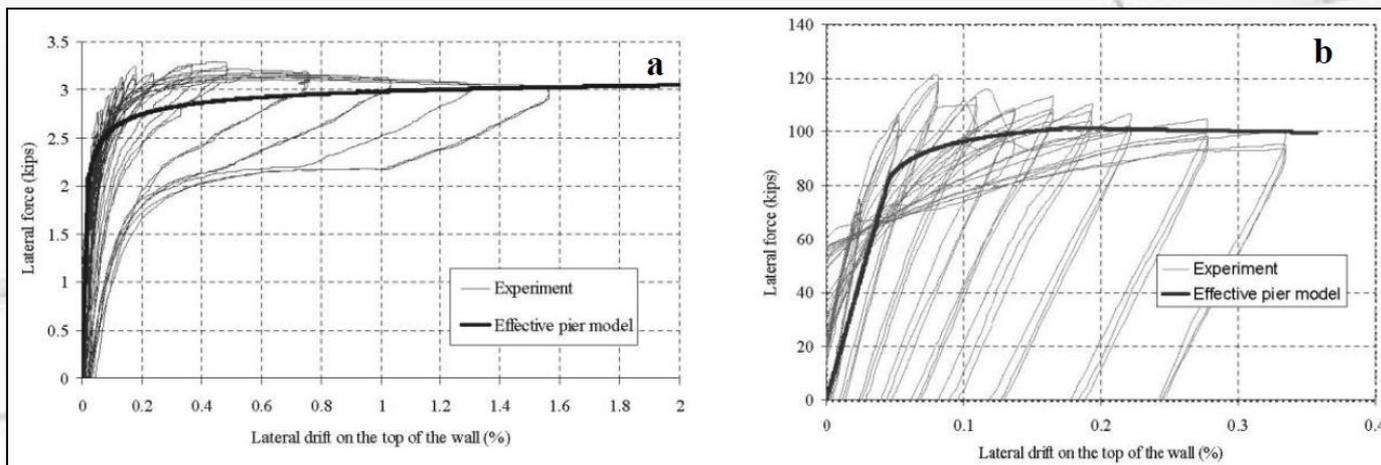
Magenes, 1998



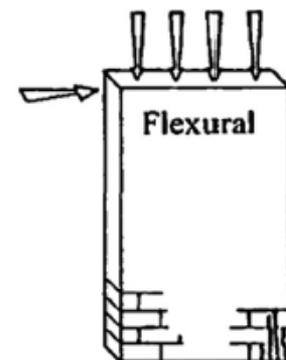
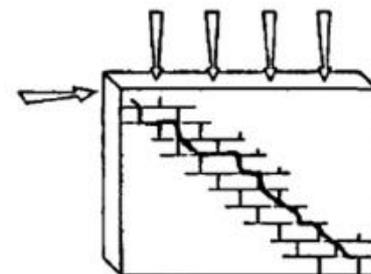
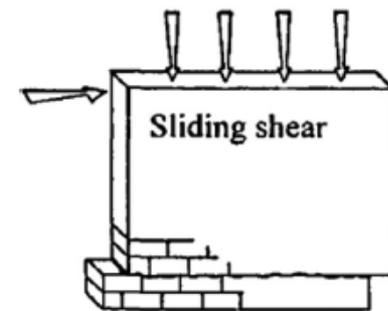
Modeliranje - pristup

ponašanje makroelementa

- nosivost i duktilnost ovisno o mehanizmu otkazivanja
- faktori koji utječu na mehanizme sloma:
 - geometrija, kvalitete zidanja, materijali, rubni uvjeti i opterećenje



Salmanpour, 2012



Rocking

Tomažević, 1999

HRN EN 1998-3

- **granična stanja:**
 - – GS BR: 2475 godina, (2 % u 50 god.)
 - – GS ZO: 475 godina, (10 % u 50 god.) – kontrola GSN
 - – GS OO (EC): 225 godina, (20 % u 50 god.)
 - – GS OO (NAD): 95 godina, (10 % u 10 god.)
- **„duktilni“ i „krhki“ elementi**
- **„primarni“ i „sekundarni“ elementi**
- **sposobnosti se temelje na deformiranja duktilnih elemenata i čvrstoći krhkih**
- **pristup s faktorom q općenito nije prikladan za kontrolu BR**

HRN EN 1998-3

- razine znanja
- faktori povjerenja
- srednje vrijednosti materijala

Tablica 3.1 – Razine znanja i odgovarajuće metode proračuna (MBS – metoda bočnih sila, MMSO – metoda modalnog spektra odziva) i faktori povjerenja (FP)

Razina znanja	Geometrijski odnosi	Detalji	Materijali	Proračun	FP
RZ1	Iz izvornih nacрта uz uzorak vizualnog snimka <i>ili</i> prema cjelovitom snimku	Simulirani proračun u skladu s odgovarajućom praksom <i>i</i> prema ograničenom pregledu <i>in situ</i>	Uobičajene vrijednosti u skladu s normama iz vremena gradnje <i>i</i> iz ograničenih ispitivanja <i>in situ</i>	MBS – MMSO	FP _{RZ1}
RZ2		Iz nepotpunih izvornih izvedbenih nacрта uz ograničeni pregled <i>in situ</i> <i>ili</i> iz opsežnog pregleda <i>in situ</i>	Iz izvornih projektnih specifikacija uz ograničeno ispitivanje <i>in situ</i> <i>ili</i> iz opsežnih ispitivanja <i>in situ</i>	Sve metode	FP _{RZ2}
RZ3		Iz izvornih izvedbenih nacрта uz ograničeni pregled <i>in situ</i> <i>ili</i> iz sveobuhvatnog pregleda <i>in situ</i>	Iz izvornih ispitnih izvještaja uz ograničeno ispitivanje <i>in situ</i> <i>ili</i> iz sveobuhvatnih ispitivanja <i>in situ</i>	Sve metode	FP _{RZ3}

NAPOMENA: U nacionalnom dodatku smiju se ustanoviti vrijednosti dodijeljene za faktore povjerenja u državi. Preporučene vrijednosti su FPRZ1 = 1,35, FPRZ2 = 1,20 i FPRZ3 = 1,00.

Tablica 3.2 – Preporučeni najmanji zahtjevi za različite razine pregleda i ispitivanja

	Pregled (detalja)	Ispitivanje (materijala)
	Za svaki tip primarnih elemenata (greda, stup, zid)	
Razina pregleda i ispitivanja	Postotak elemenata za kontrolu detalja	Uzorci materijala po katu
Ograničena	20	1
Opsežna	50	2
Sveobuhvatna	80	3

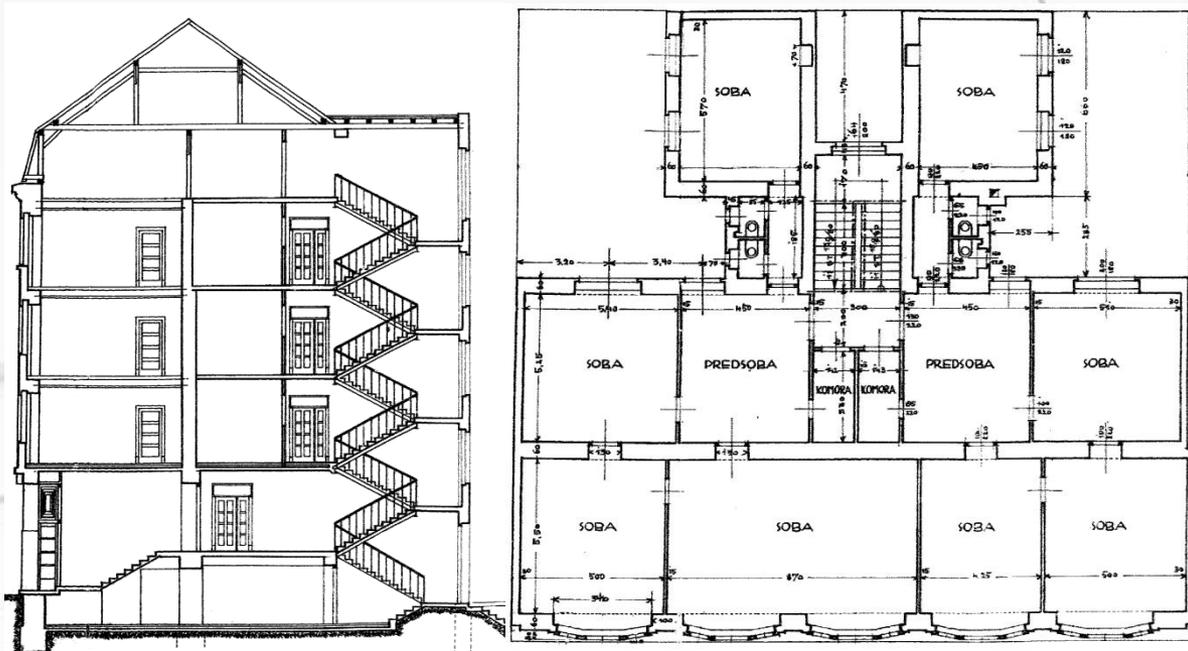
HRN EN 1998-3

Tablica 4.3 – Vrijednosti svojstava materijala i kriteriji pri proračunu i provjerama sigurnosti

		Linearni model (LM)		Nelinearni model		Pristup s faktorom q			
		Zahtjev	Sposobnost	Zahtjev	Sposobnost	Zahtjev	Sposobnost		
Tip elementa ili mehanizma	Duktilan	Prihvatljivost linearnog modela (za kontrolu vrijednosti $\rho_i = D_i/C_i$):		Iz proračuna. Uzmi srednje vrijednosti svojstava u model.	Iz čvrstoće. Uzeti srednje vrijednosti svojstava	Iz proračuna.	Iz čvrstoće. Uzeti srednje vrijednosti svojstava podijeljene s FP		
		Iz proračuna. U modelu uzeti srednje vrijednosti svojstava.	Iz čvrstoće. Uzeti srednje vrijednosti svojstava.					Iz deformiranja. Uzeti srednje vrijednosti svojstava podijeljene s $FP \cdot AC$	
	Provjere (ako je LM prihvaćen):		Iz čvrstoće. Uzeti srednje vrijednosti svojstava podijeljene s FP						
	Iz proračuna	Iz deformacija. Uzeti srednje vrijednosti svojstava podijeljene s FP.							
Krhki	Provjere (ako je LM prihvaćen):		Iz proračuna. Uzmi srednje vrijednosti svojstava u model.	Iz čvrstoće. Uzeti srednje vrijednosti svojstava	Iz čvrstoće. Uzeti srednje vrijednosti svojstava podijeljene s FP i parcijalnim koeficijentom	U skladu s odgovarajućim poglavljem norme EN 1998-1:2004.	Iz čvrstoće. Uzeti srednje vrijednosti svojstava podijeljene s parcijalnim koeficijentom		
	Ako je $\rho_i \leq 1$: Iz proračuna	Iz čvrstoće. Uzeti srednje vrijednosti svojstava podijeljene s FP i parcijalnim koeficijentom.							
Ako je $\rho_i > 1$: Iz ravnoteže uz čvrstoću duktilnih elemenata ili mehanizama. Uzeti srednje vrijednosti svojstava pomnožene sa FP.									

Primjer - Palmotićevo

- zgrada u Palmotićevoj ulici
- tipična donjogradska zgrada
- os simetrije, tlo C

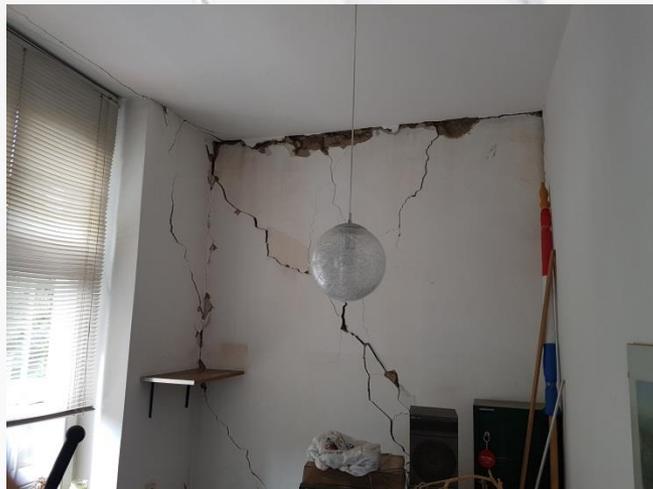


Primjer - Palmotićeva

- razina oštećenja nakon potresa - N2 (crvena)
- detaljan pregled oštećenja
- oštećenja prema UPPO

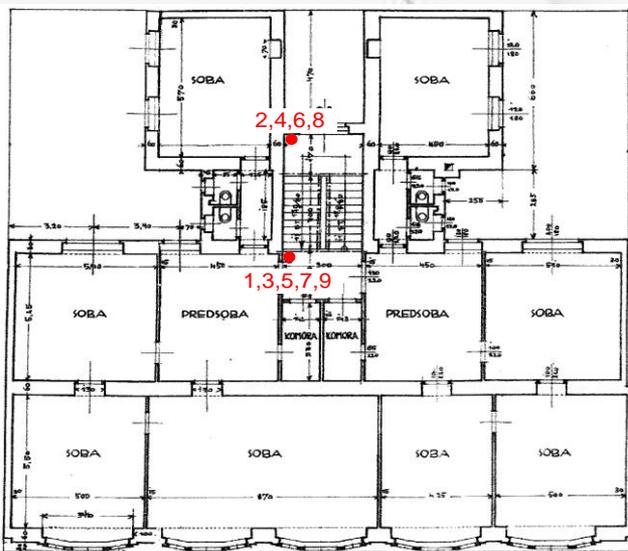
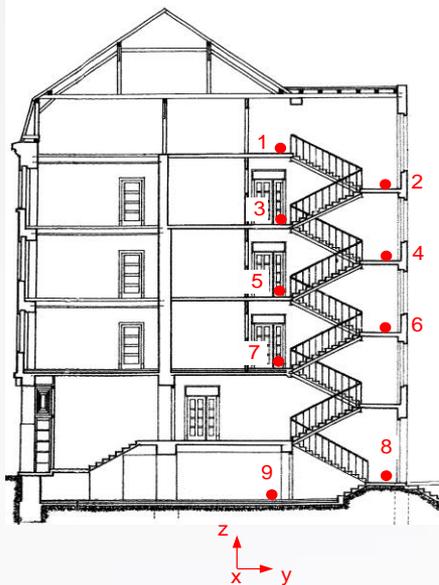


oštećenja nosive strukture

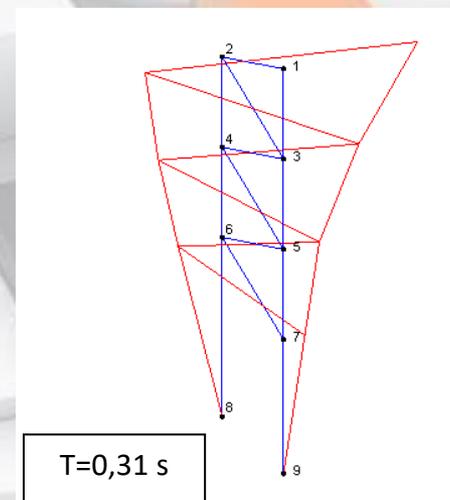
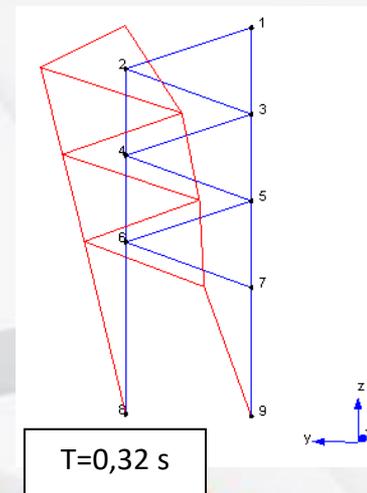
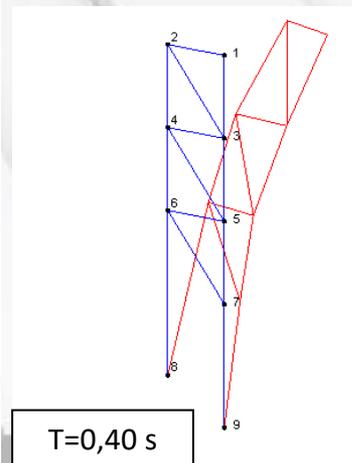


■ ambijentalne vibracije – kalibracija modela

Krolo, Damjanović



1-9 mjerna mjesta
mjerena akceleracija

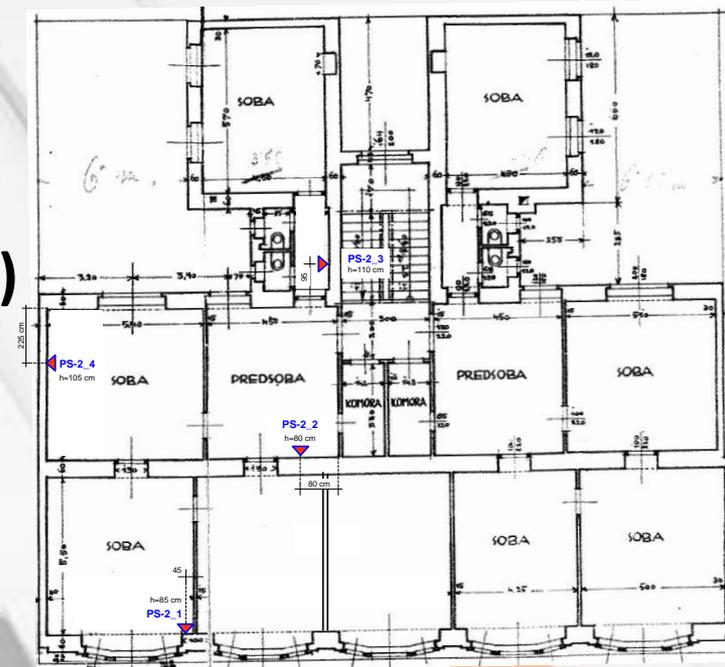


Vlastita frekvencija (Hz)	Vl. frek. st. dev. (Hz)	Koeficijent prigušenja (%)	Koef. prig. st. dev. (%)
2,55	0,02	1,46	1,02
3,22	0,33	1,32	0,93
Vlastita frekvencija (Hz)	Vl. frek. st. dev. (Hz)	Koeficijent prigušenja (%)	Koef. prig. st. dev. (%)
3,10	0,03	2,84	1,75



- materijali
- ispitivanja materijala
- preliminarni proračun (bez ispitivanja!)

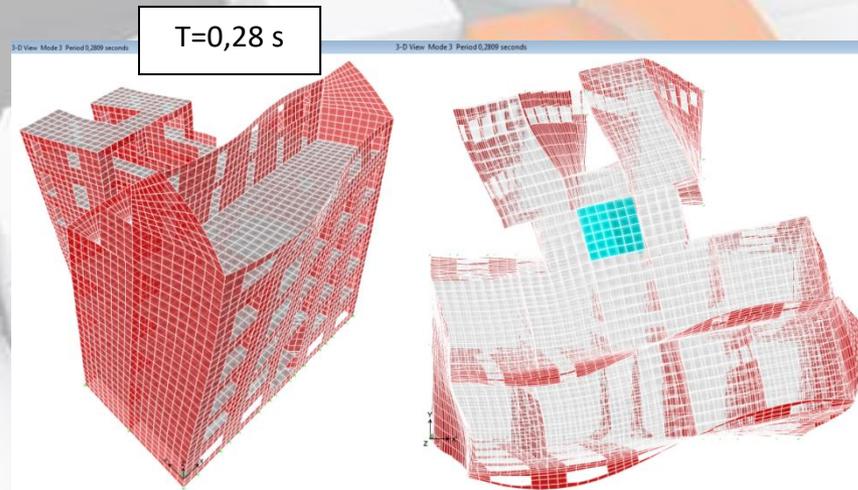
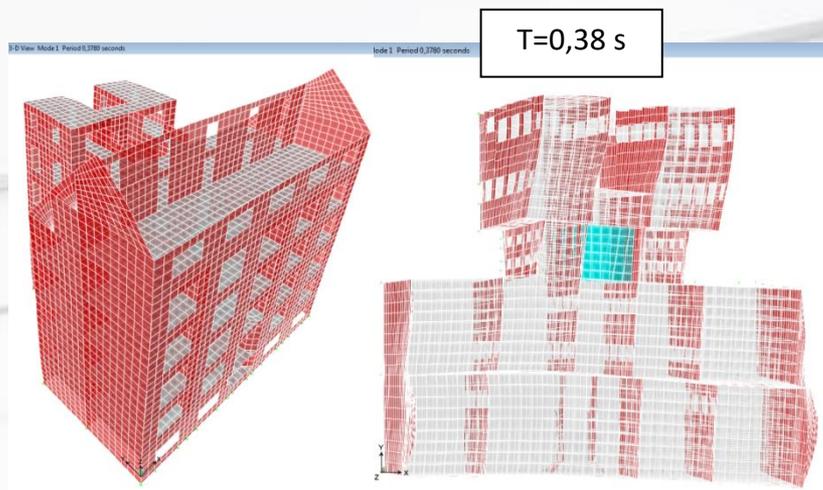
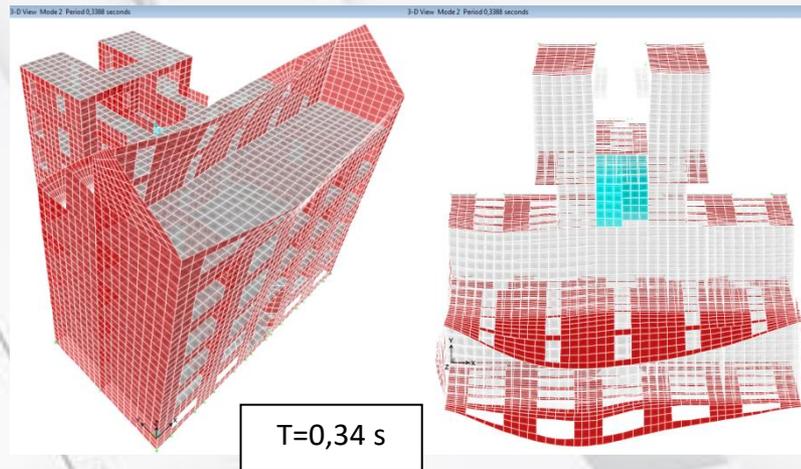
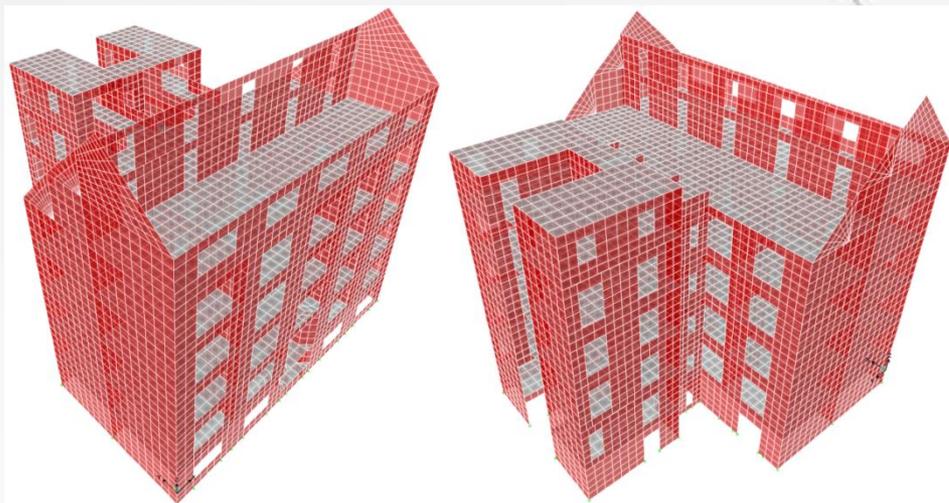
Elastic modulus (mean)	E_M	=	1500	N/mm^2
Shear modulus (mean)	G_M	=	500	N/mm^2
Compressive strength (mean)	f	=	3,40	N/mm^2
Initial shear strength (mean)	f_{v0}	=	0,100	N/mm^2
diagonal tension strength (mean)	f_t	=	0,120	N/mm^2
Faktor povjerenje (važeći HRN)	FP	=	1,2	



Oznaka mjernog mjesta	Položaj mjernog mjesta	h (cm)	a (cm)	b (cm)	A_h (cm ²)	SILA H_{umax}		Posmična čvrstoća (MPa)
						"	kN	
PS-1_1	1. KAT, sjeverni stan - Središnji nosivi zid	83 cm	27	13,5	729,0	27,0	36,45	0,500
PS-2_1	2. KAT, južni stan - Istočni vanjski (ulični) nosivi zid	85 cm	27	13,5	729,0	32,0	43,20	0,593
PS-3_3	3. KAT, sjeverni stan - Dvorišni dio stana, nosivi zid do stubišta	115 cm	27	13,5	729,0	21,0	28,35	0,389
Srednja vrijednost (MPa):								0,494
Standardano odstupanje (MPa):								0,102

*Krolo,
Damjanović*

■ numerički model (CSI Etabs) – oblici titranja (bez raspucavanja)



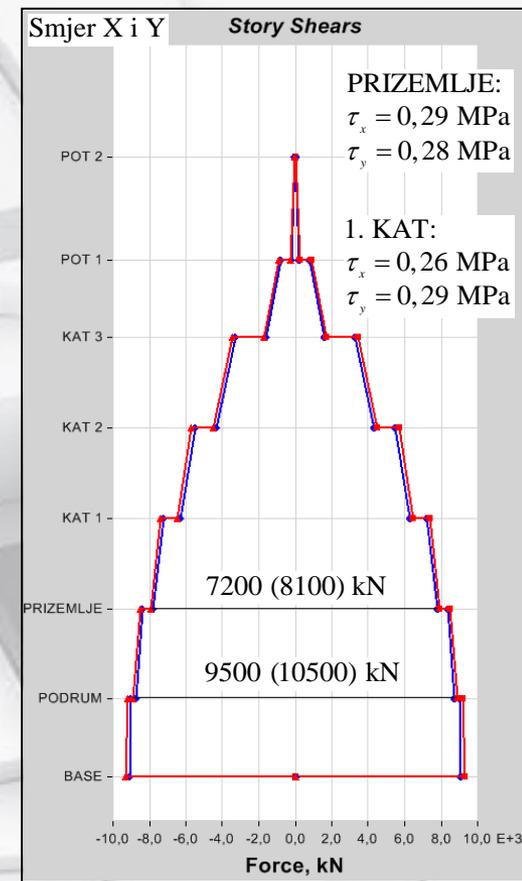
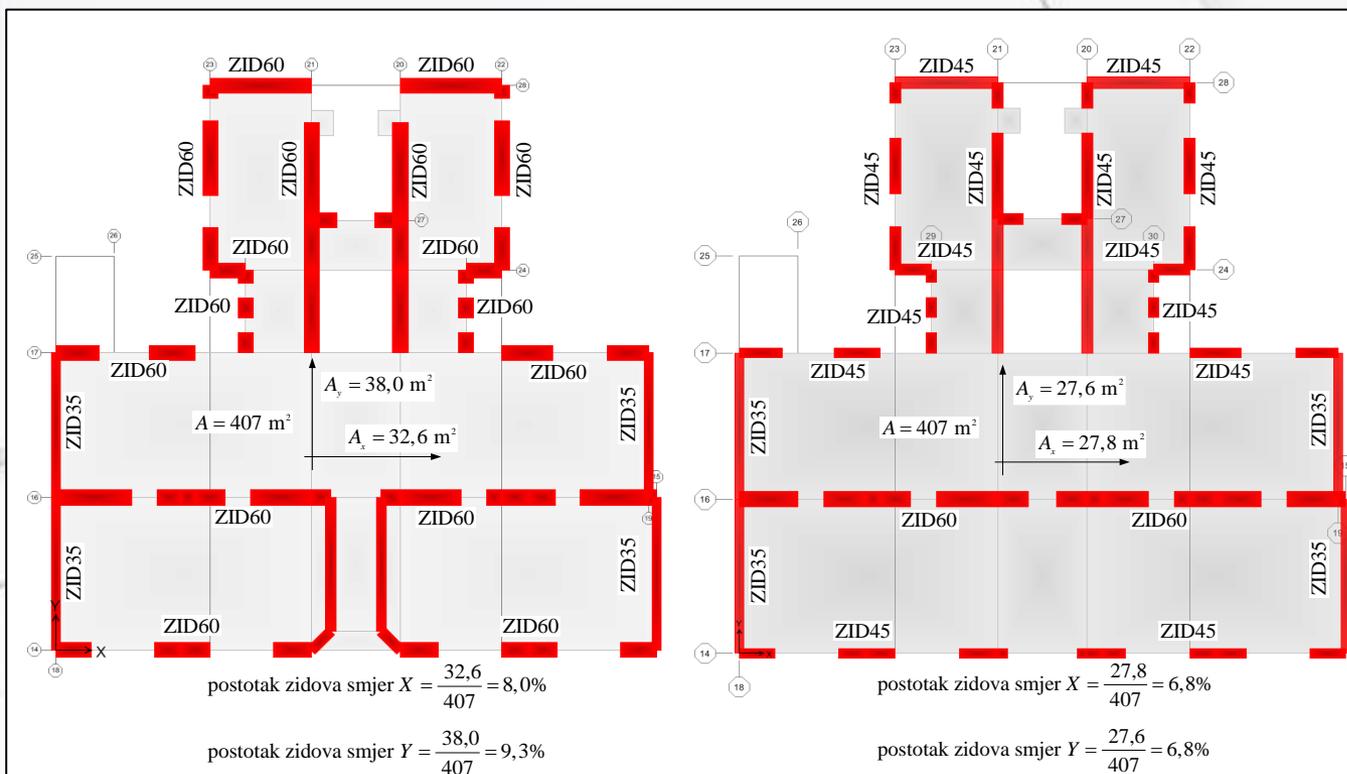
Palmotićeva

- metode proračuna
 - linearni statički proračun
 - metoda bočne sile i spektra odziva
 - nelinearni statički (metoda postupnog guranja)
 - nelinearni dinamički proračun
 - mehanizmi izbacivanja зида izvan ravnine



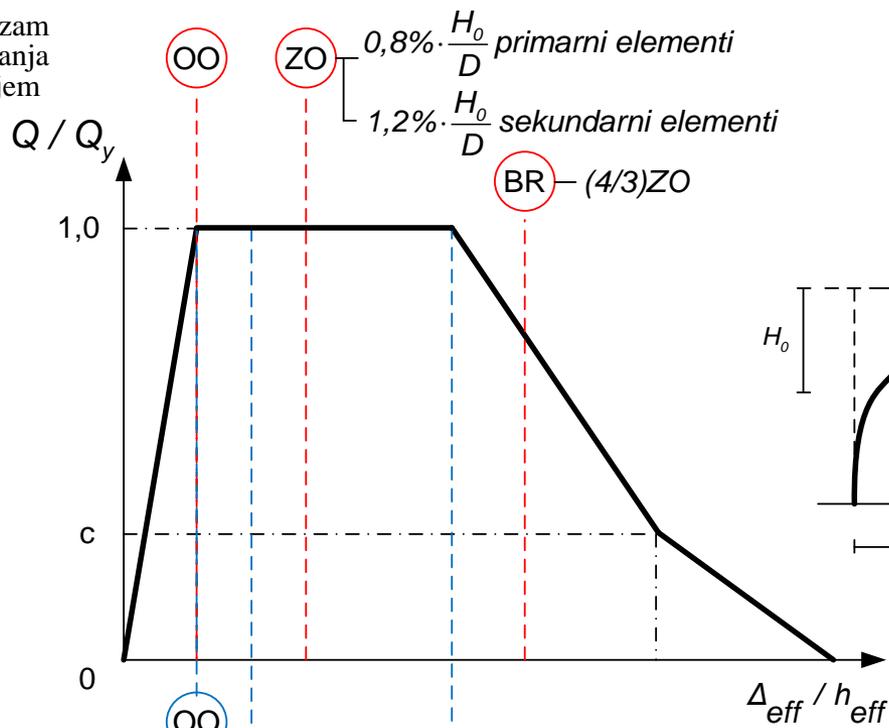
- linearna statika
- $W=36124 \text{ kN}$, $q=1,5$
- B.S. prizemlje:
 - $F_x=38\%W$, $F_y=42\%W$

kat	bruto površina	y_ukupno	% zidova	x_ukupno	% zidova
podrum	406,67	35,28	8,68	42,945	10,56
prizemlje		38,031	9,35	32,578	8,01
prvi kat		27,556	6,78	27,768	6,83
drugi kat		27,556	6,78	24,798	6,10
treći kat		27,556	6,78	24,798	6,10
potkrovlje		25,77	6,34	13,17	3,24
	181,749			166,057	

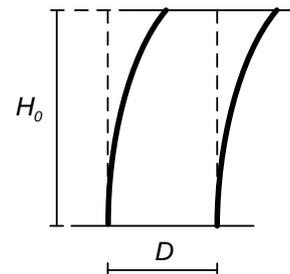
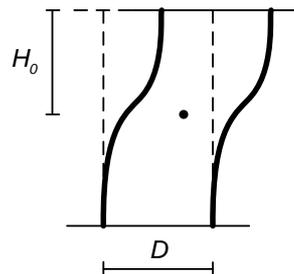
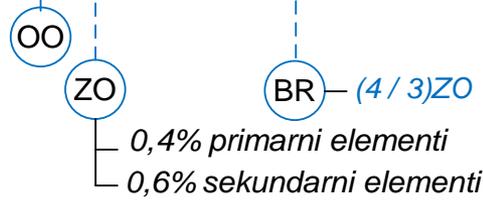


proračun nosivosti i duktilnosti elemenata

mehanizam otkazivanja savijanjem



mehanizam otkazivanja posmikom



$$V_f = \frac{DN}{2H_0} (1 - 1,15 v_d)$$

$$v_d = N/(D t f_d) \quad f_d = f_m/FP_m$$

$$V_f = f_{vd} D' t$$

$$f_{vd} = f_{vm0} + 0,4 N/D' t \leq 0,065 f_m$$

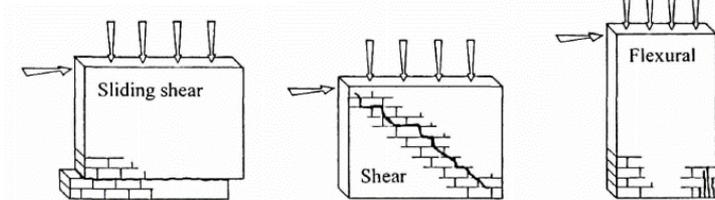


proračun nosivosti i duktilnosti prijedlog nove norme EC

Zidovi

$$V_s = d't \left(f_{v0} + \frac{\mu N}{d't} \right) \leq V_{s,units}$$

$$V_f = \frac{d N}{2 h_0} (1 - 1,15v)$$

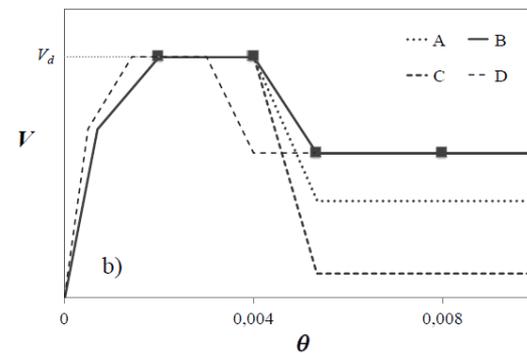
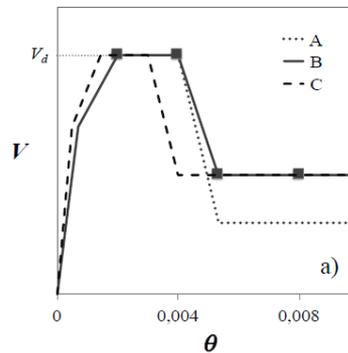
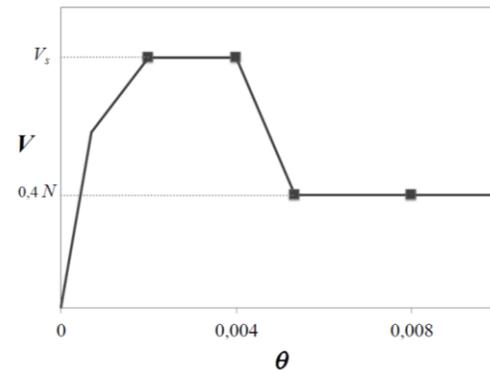
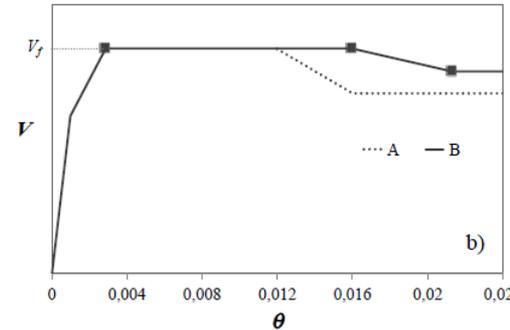
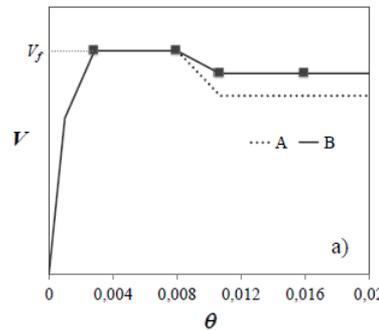


$$V_d = \frac{dt}{b} (f_{v0} + \mu \sigma_0) = \frac{dt}{b} \left(\frac{f_{v0}}{1 + \mu_j \phi} + \frac{\mu_j}{1 + \mu_j \phi} \sigma_0 \right) \leq V_{d,lim}$$

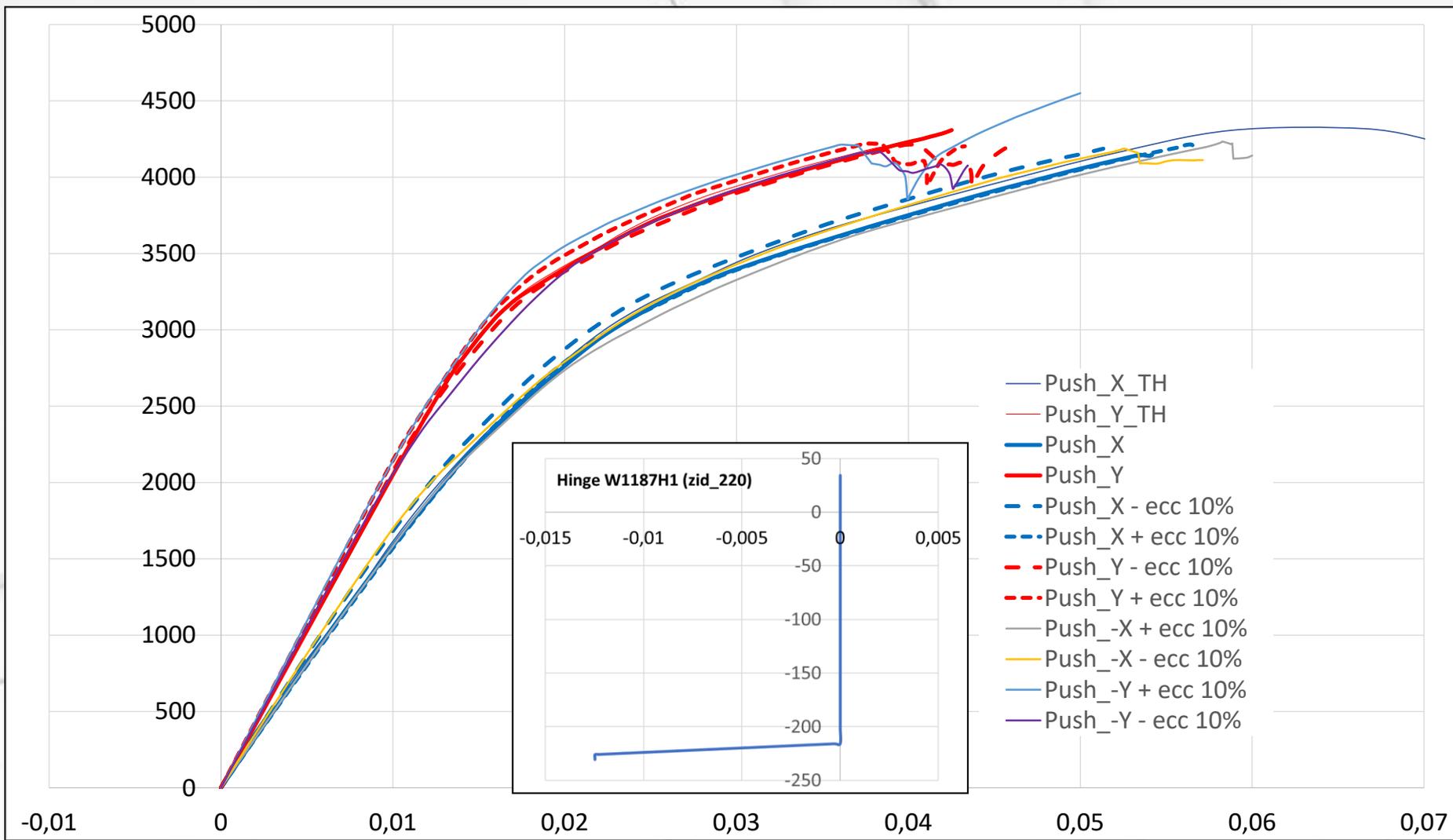
$$V_{d,lim} = \frac{dt}{b} \frac{f_{bt}}{2,3} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_{bt}}}$$

Nadvoji

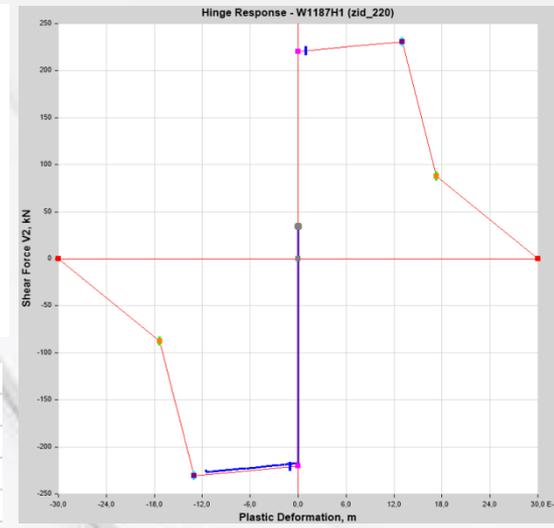
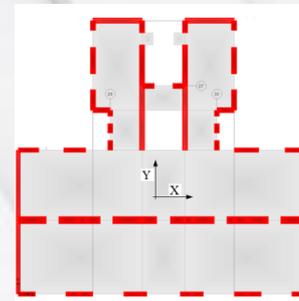
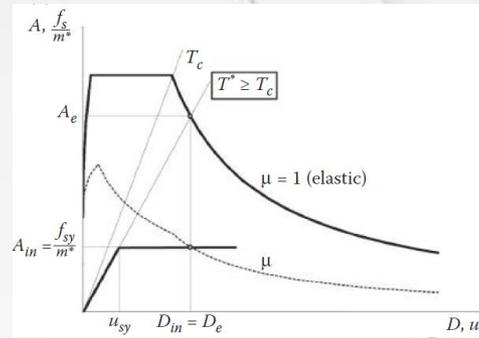
$$V_f = 1,15 \frac{d^2 t}{6 h_0} f_{ht} \quad V_f = \frac{d^2 t}{2 h_0 (1 + f_{ht}/f_h)} f_{ht}$$



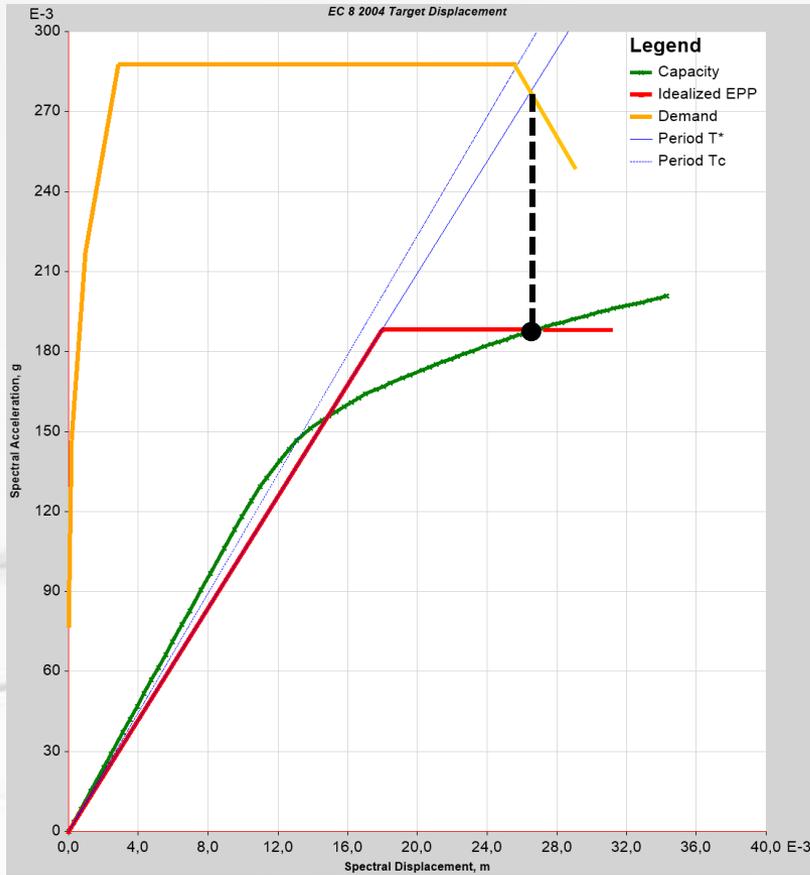
- krivulja kapaciteta zgrade za smjer X i Y
- ukupna poprečna sila



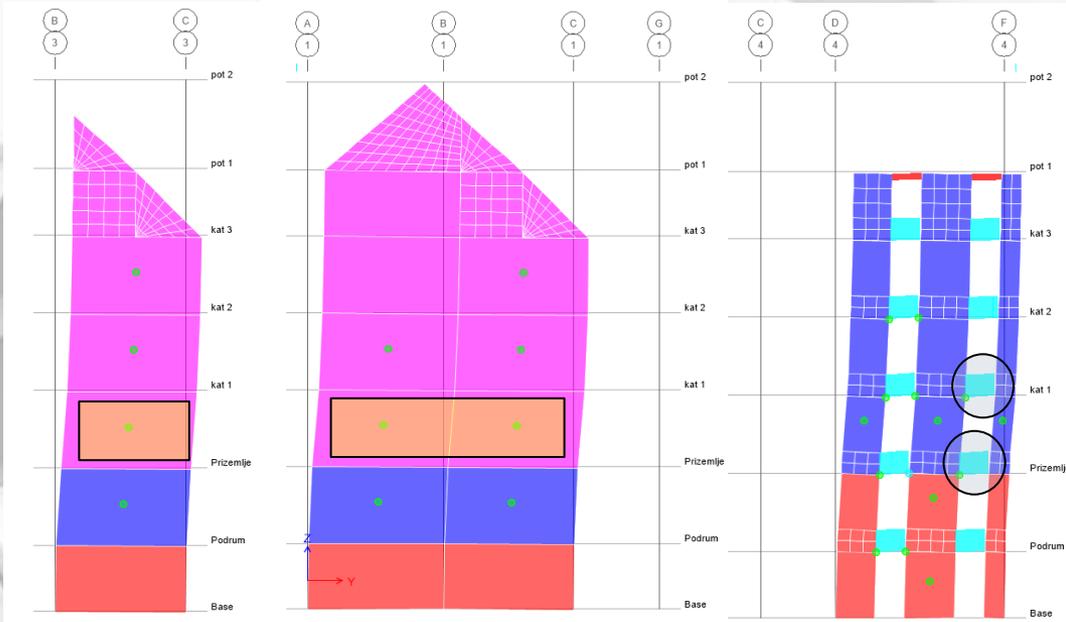
smjer Y



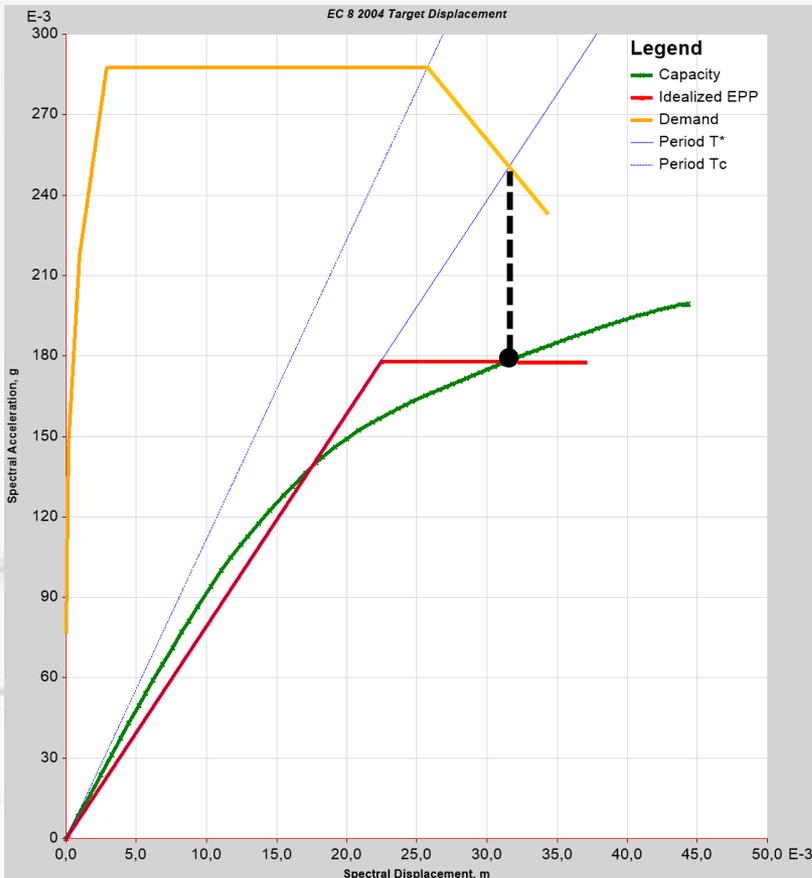
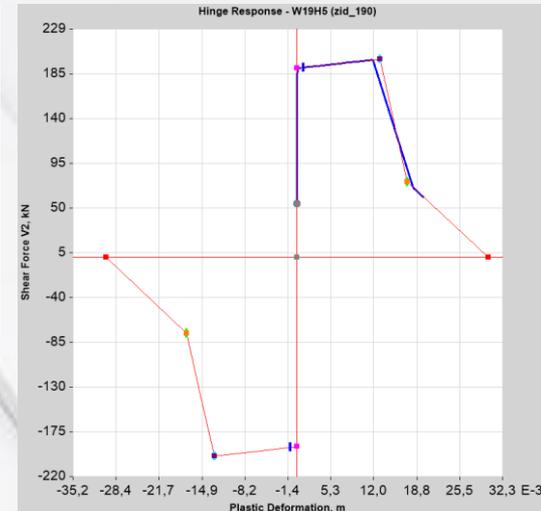
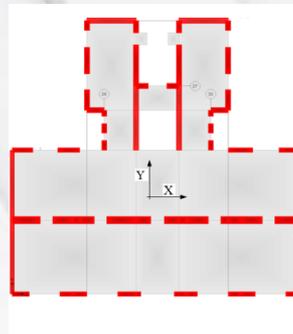
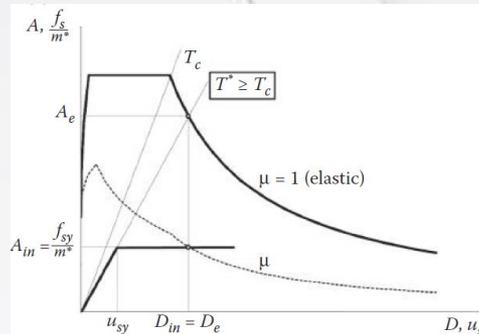
EC 8 2004 Target Displ
Push_Y



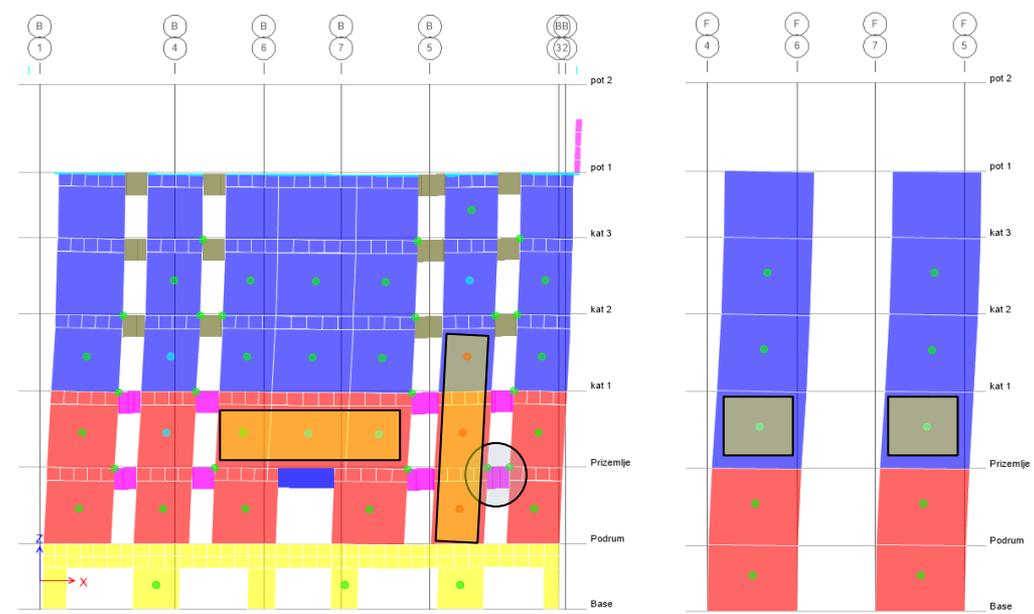
Spectrum Source	EC 8 2004 Horiz
Country	CEN Default
Ground Accel, ag/g	0,1
Spectrum Type	1
Ground Type	C



smjer X



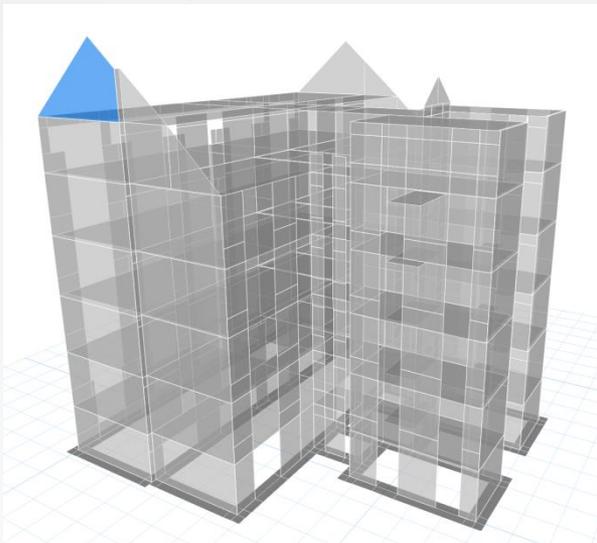
Spectrum Source	EC 8 2004 Horiz
Country	CEN Default
Ground Accel, ag/g	0,1
Spectrum Type	1
Ground Type	C



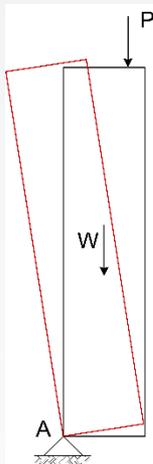
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
 GRAĐEVINSKI FAKULTET
 Kačićeva 26, Zagreb
www.grad.unizg.hr

OBNOVA GRADA ZAGREBA NAKON
 POTRESA - zakonodavni i tehnički okvir
 15. srpnja 2020., Zagreb

prevrtanje lastavice zabatnog zida



mehanizam otkazivanja



koeficijent aktivacije mehanizma

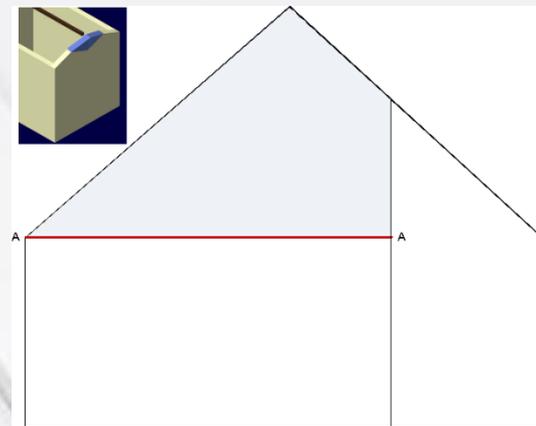
$$\alpha_0 = 0.103$$

spektralno ubrzanje ekvivalentnog sustava

$$a^* = 0.83 \text{ m/s}^2$$

vršno ubrzanje na visini etaže

$$a_z = 1.43 \text{ m/s}^2$$



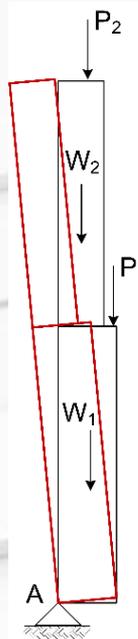
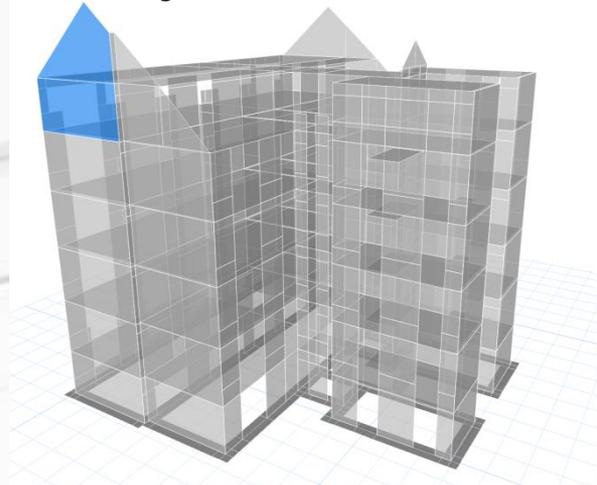
verifikacija mehanizma

$$a^* \geq a_z$$

$$0.83 < 1.43 \rightarrow$$

mehanizam se aktivira

prevrtanje zabatnog zida u potkrovlju s lastavicom



mehanizam otkazivanja

$$\alpha_0 = 0.056$$

$$a^* = 0.52 \text{ m/s}^2$$

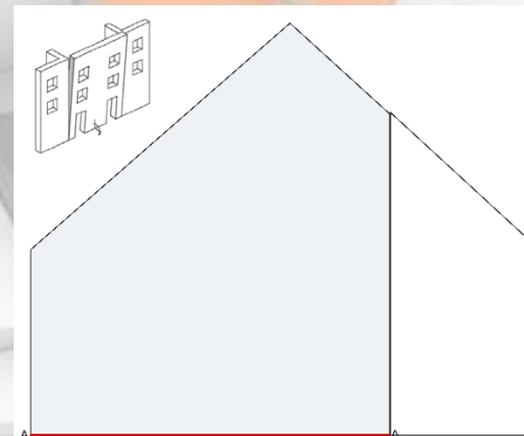
$$a_z = 1.17 \text{ m/s}^2$$

verifikacija mehanizma

$$a^* \geq a_z$$

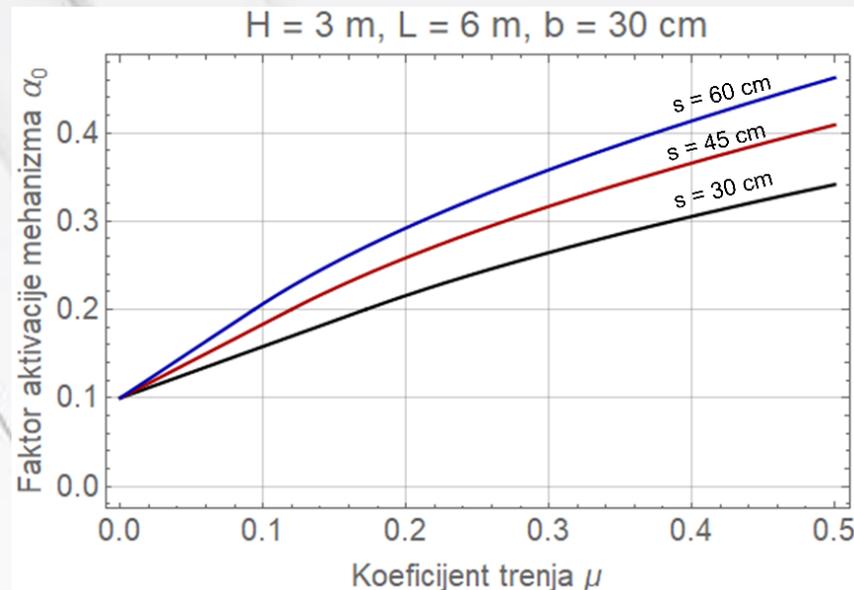
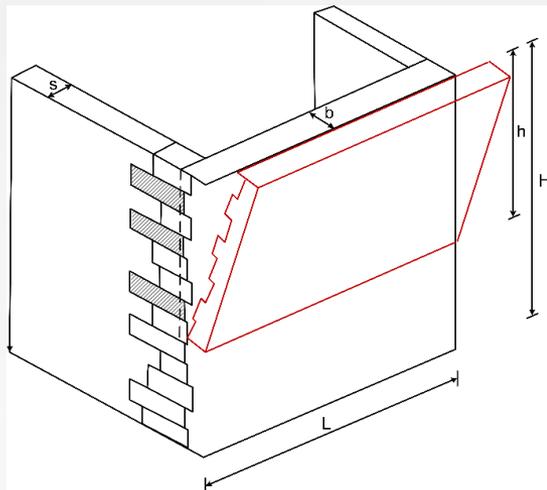
$$0.52 < 1.17 \rightarrow$$

mehanizam se aktivira

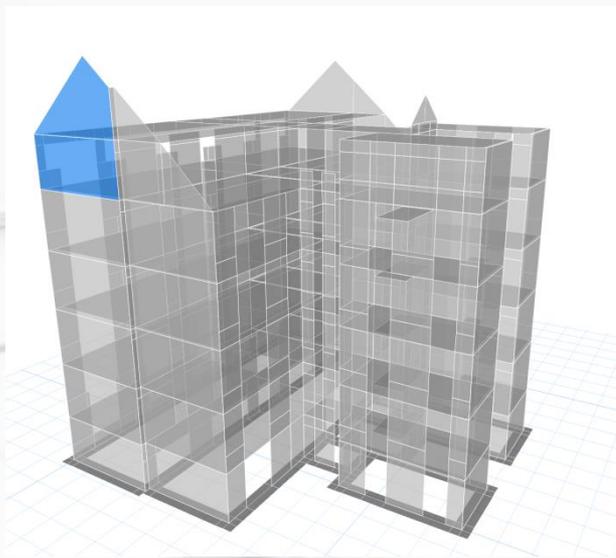


Demšić M.

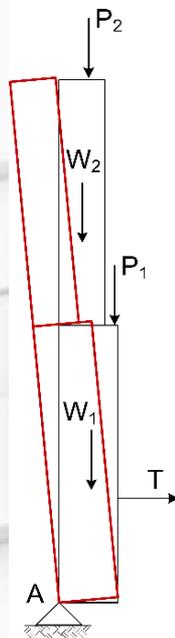
utjecaj sile trenja na spoju s poprečnim zidom



prevrtanje zabatnog zida u potkrovlju s trenjem na poprečnim zidovima



mehanizam otkazivanja



$$\alpha_0 = 0.156$$

$$a^* = 1.44 \text{ m/s}^2$$

$$a_z = 1.17 \text{ m/s}^2$$

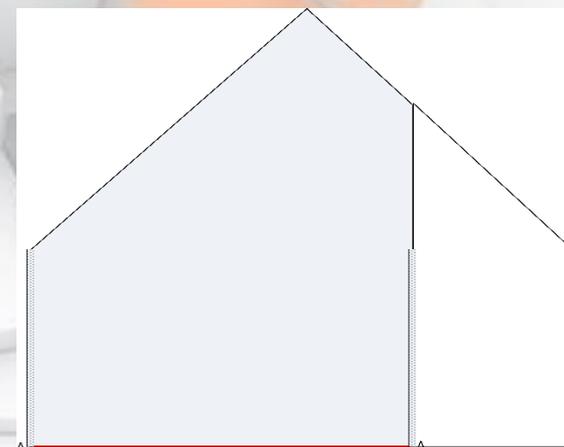
verifikacija mehanizma

$$a^* \geq a_z$$

$$1.44 > 1.17 \rightarrow$$

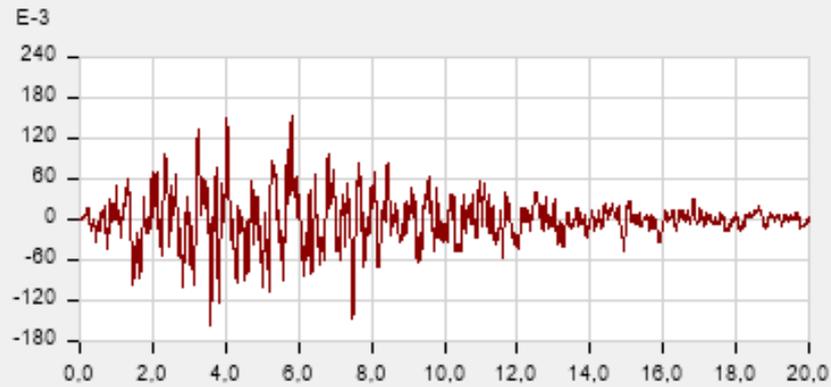
mehanizam se ne aktivira

Demšić M.

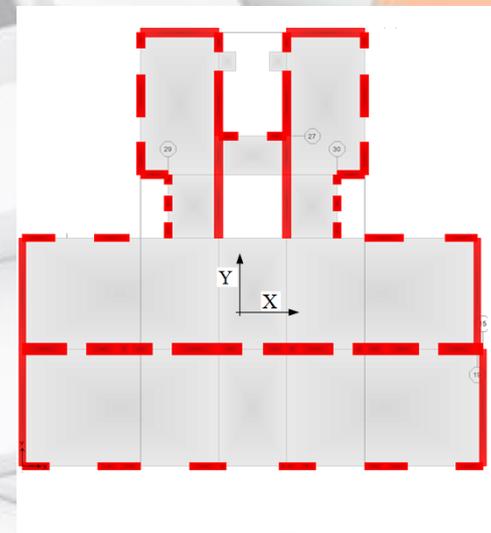
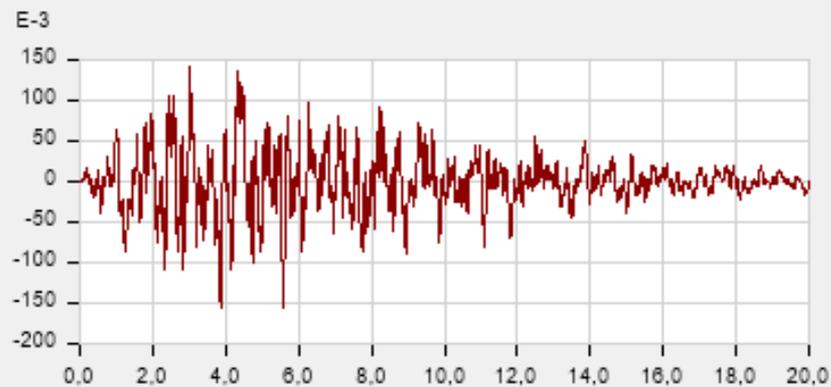


- nelinearna dinamička analiza
- zapis ubrzanja tla prema spektru ec8 za p.p. 95 god

x

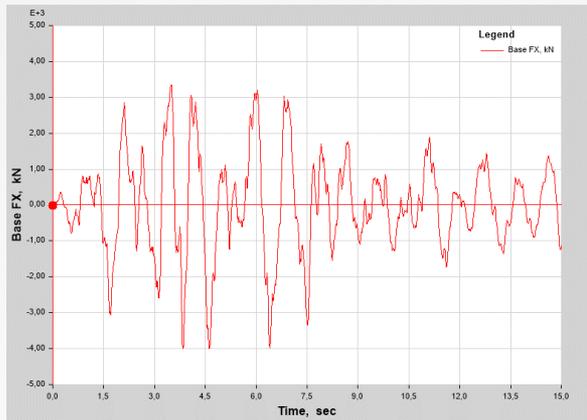


y

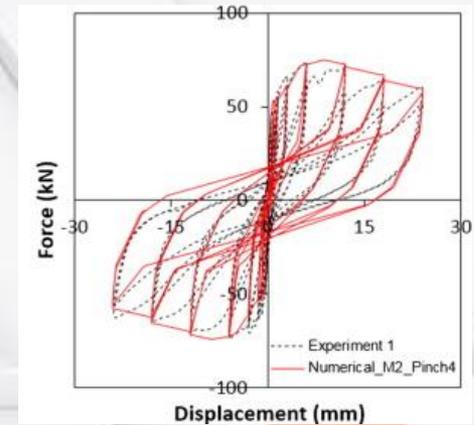
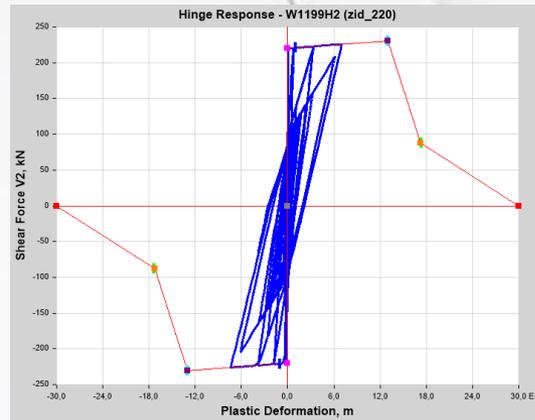


■ nelinearna dinamička analiza – zapis ec8 - 95 god.

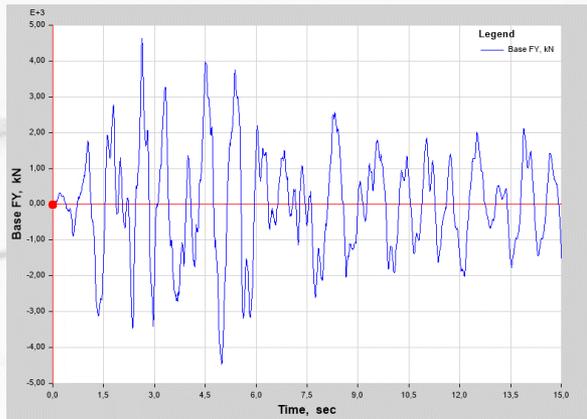
Poprečna sila – smjer X



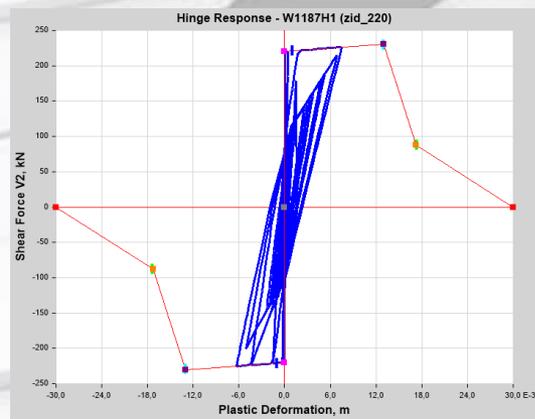
os_1_1_kat



Poprečna sila – smjer Y

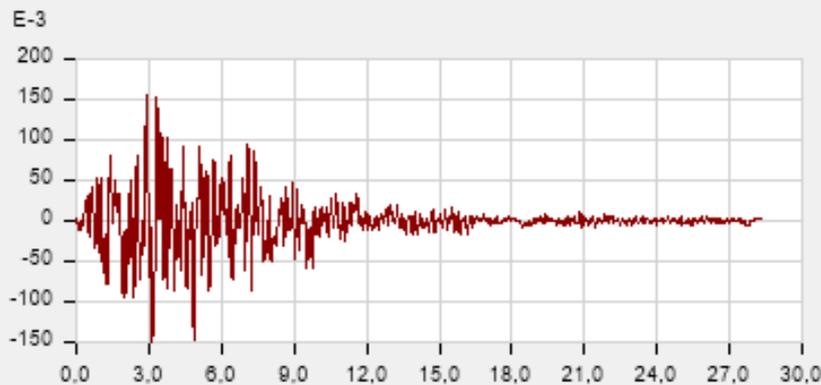


os_2_1_kat

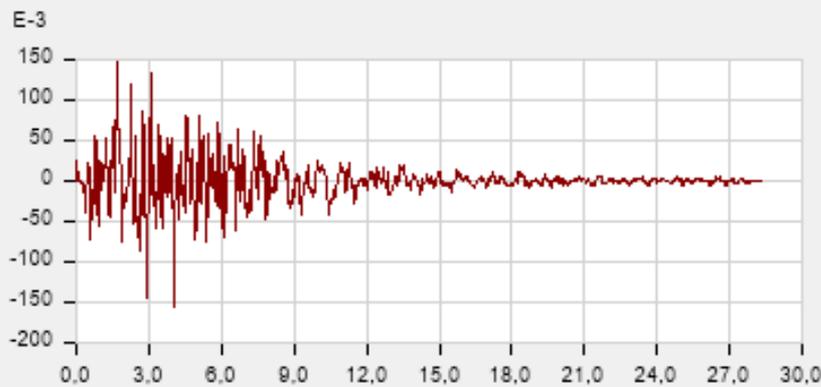


■ **nelinearna dinamička analiza**
zapis det_95_60_015_2_130%

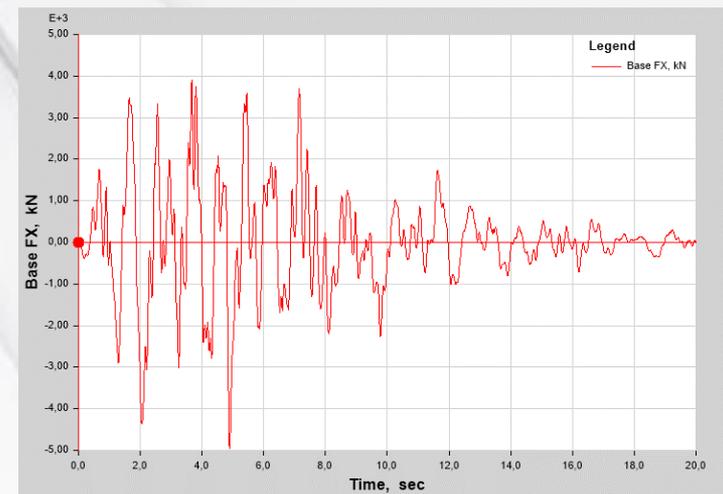
X



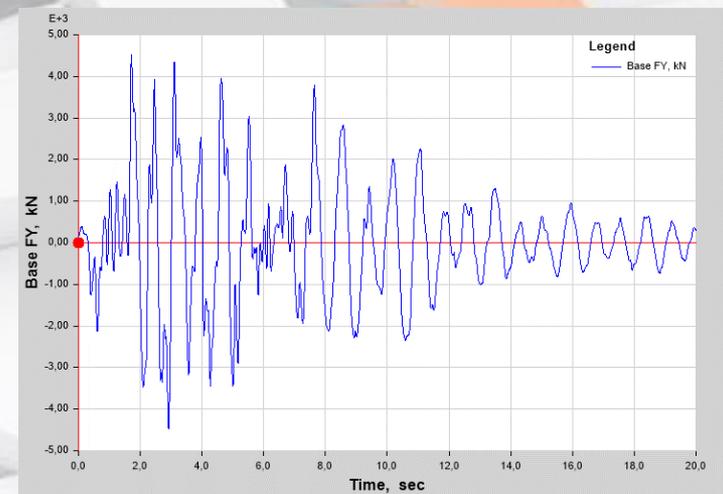
y



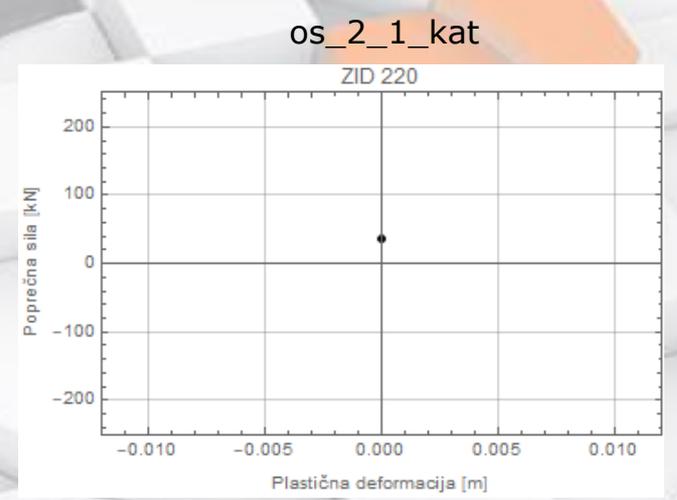
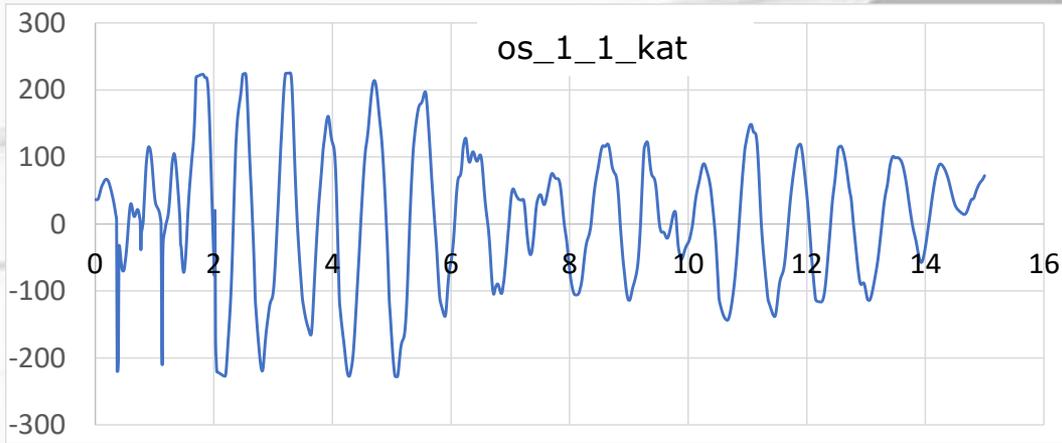
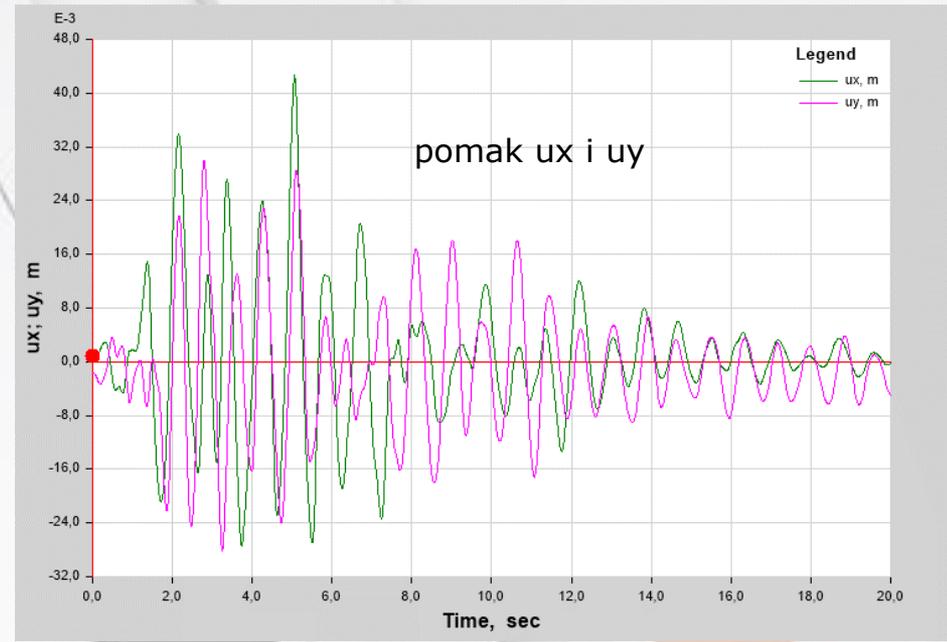
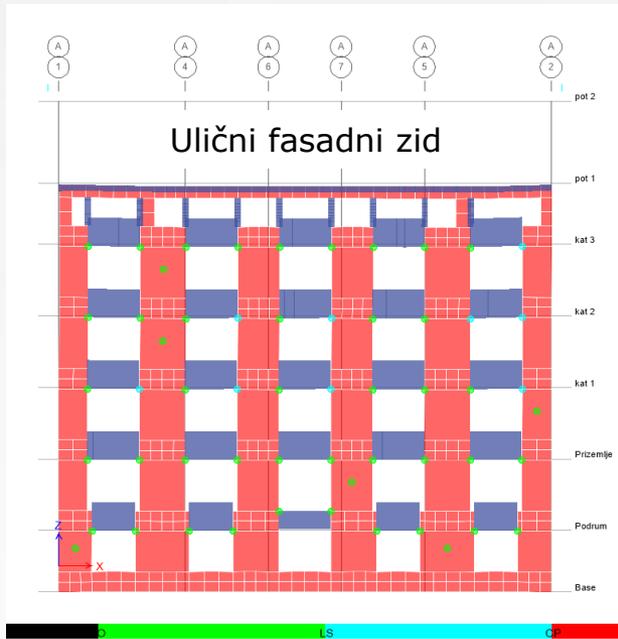
Poprečna sila – smjer X



Poprečna sila – smjer Y



det_95_60_015_2_130%



Hvala na pažnji

Mario Uroš
uros@grad.hr



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET
Kačićeva 26, Zagreb
www.grad.unizg.hr

OBNOVA GRADA ZAGREBA NAKON
POTRESA - zakonodavni i tehnički okvir
15. srpnja 2020., Zagreb