



Priprema za uporabu programa za procjenu oštećljivosti zgrada

ZIDANE GRADE

$$(DI) = f (BS_Y, K_2, T_0)$$

Prof. dr. sc. Dragan Morić



Zagreb, 22.10.2022.



SADRŽAJ

1. *ZIDANE ZGRADE I POTRES*
2. *MEHANIZMI OŠTEĆENJA I RUŠENJA ZIDOVA ZIDANIH ZGRADA U POTRESU*
3. *ZIDANE ZGRADE S „KRUTIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA*
 - *NEOMEĐENO ZIĐE*
 - *OMEĐENO ZIĐE*
 - *ARMIRANO ZIĐE*
 - *DINAMIČKA SVOJSTVA*
4. *ZIDANE ZGRADE S „MEKANIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA*

ZIDANE ZGRADE I POTRES

Konstruktivski sustav

dinamički i proračunski nepouzdan - stropne konstrukcije

Konstruktivski elementi

nehomogeno gradivo

često višeslojni

neujednačeno aksijalno opterećeni

veliko rasipanje mehaničko-fizikalnih svojstava

Nekonstruktivski elementi

dimnjaci

krovišta

„slobodnostojeći” pregradni zidovi

nepovezani zabatni zidovi i stropovi koji bi trebali biti konstruktivski elementi

Oštetljivost

*Oštećenja nekonstruktivskih elemenata
konstruktivski sustav nedirnut*

MEHANIZMI OŠTEĆENJA I RUŠENJA ZIDOVA ZIDANIH ZGRADA U POTRESU

Oštećenja zidova zidanih zgrada u potresu

Karakteristična oštećenja zidova zidanih zgrada



MEHANIZMI OŠTEĆENJA I RUŠENJA ZIDOVA ZIDANIH ZGRADA U POTRESU

STROPNE KONSTRUKCIJE ZGRADE

utječu na

Proračunski algoritam

Dinamička svojstva zgrade

Odziv zgrade u potresu

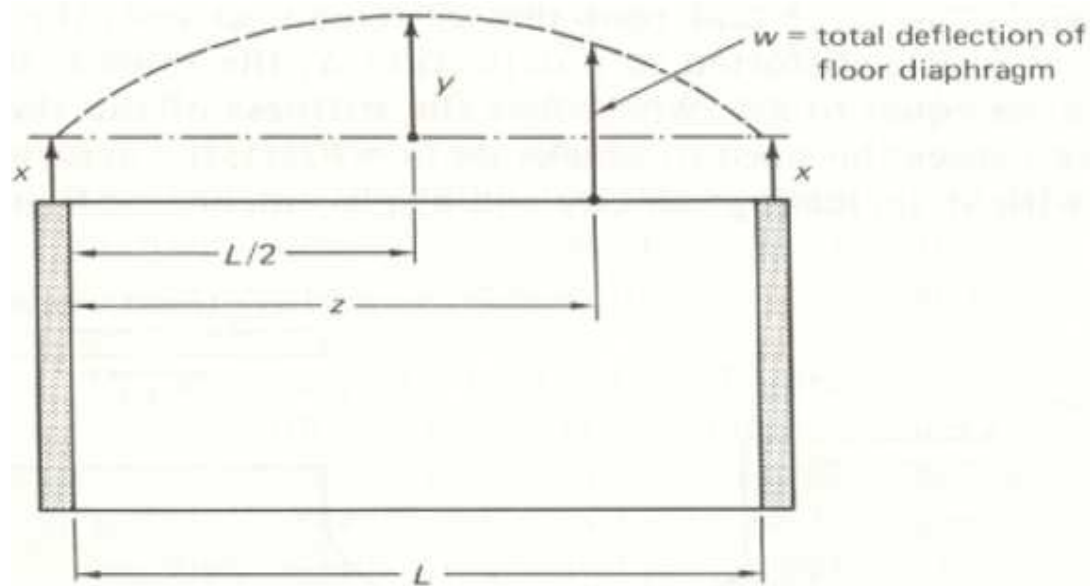
Razinu oštećenja zgrade

ZIDANE ZGRADE S „KRUTIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

ZIDANE ZGRADE S „KRUTIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

O krutosti stropa

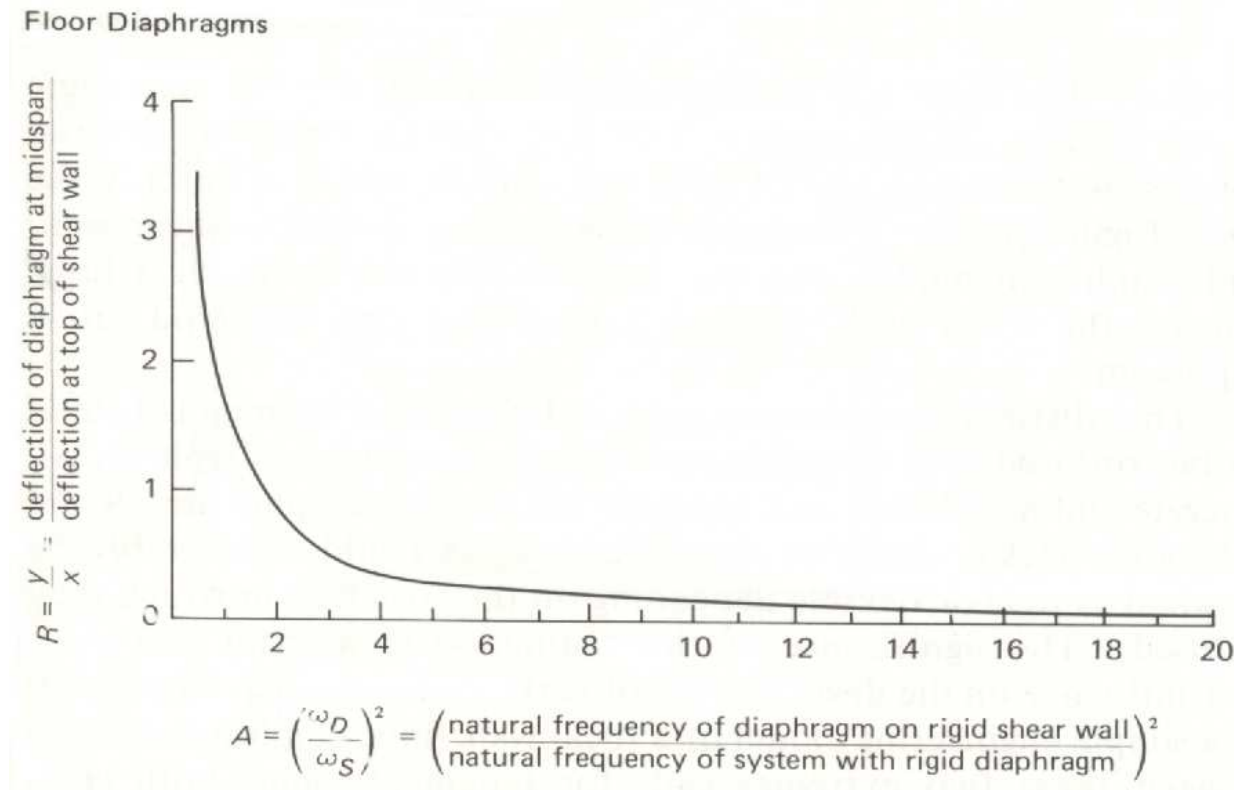
Ako je **vlastita frekvencija stropa jednaka trostrukoj frekvenciji nosivih zidova** ili je veća, strop se može smatrati **“beskonačno krutim”**.



w = total deflection of floor diaphragm
= deflection of shear wall + deflection of floor diaphragm relative to shear wall
= $x + y \sin(\pi z/L)$

ZIDANE ZGRADE S „KRUTIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

O krutosti stropa



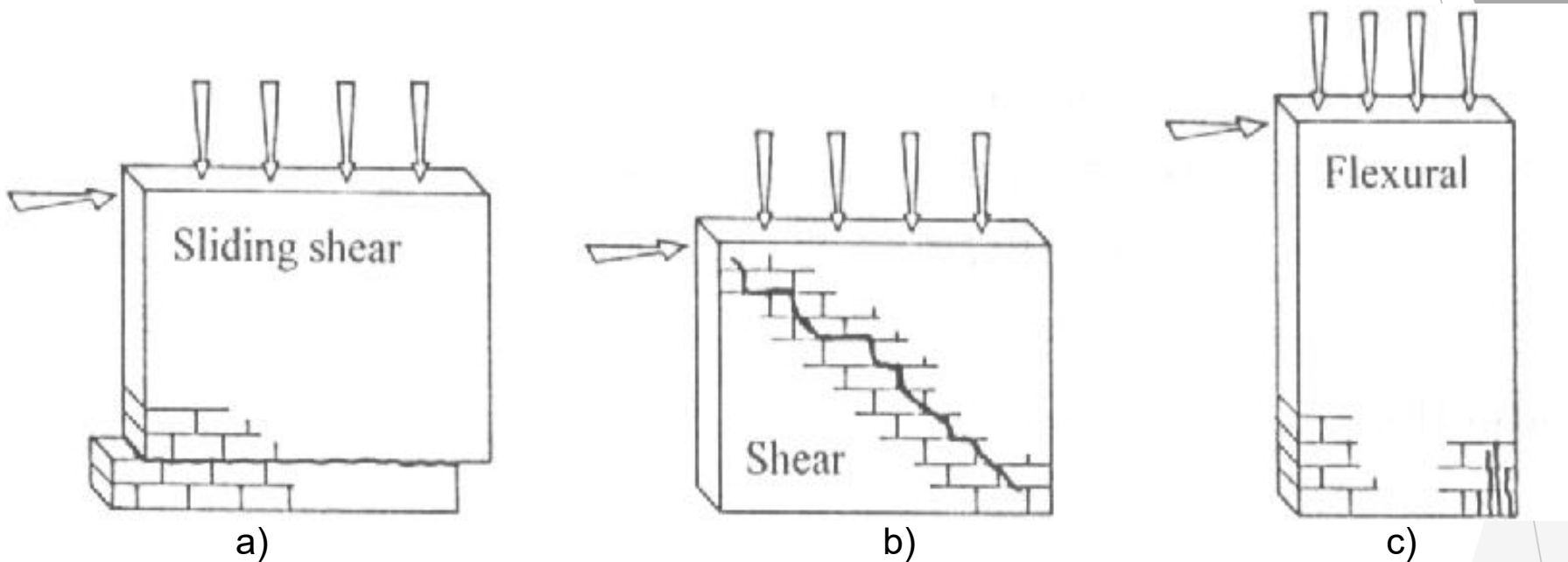
R označen je omjer progiba $R=y/x$.

Kvadrat omjera vlastitih frekvencija označen je s A : $A= (w_D / w_S)^2$

Za $A > 9$, omjer R je zanemarivo malen, tj. **strop je “beskonačno” krut.**

ZIDANE ZGRADE S „KRUTIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

MEHANIZMI SLOMA ZIDOVA ZIDANIH ZGRADA U POTRESU



a) klizanjem po sljubnici morta od djelovanja poprečne sile (**posmična čvrstoća zida**)

b) stvaranjem kose pukotine koja u smjeru djelovanja sile ide iz gornjeg kuta u suprotni donji kut (**koso glavno vlačno naprezanje veće je od vlačne čvrstoće**)

c) drobljenjem tlačnog područja zida uz rub od djelovanja momenta savijanja i uzdužne sile (**tlačna čvrstoća na ekscentrični tlak**).

ZIDANE ZGRADE S „KRUTIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

INTERAKCIJSKI DIJAGRAMI SLOMA NEOMEĐENOG ZIDA

Moguć je samo jedan od tri oblika sloma:

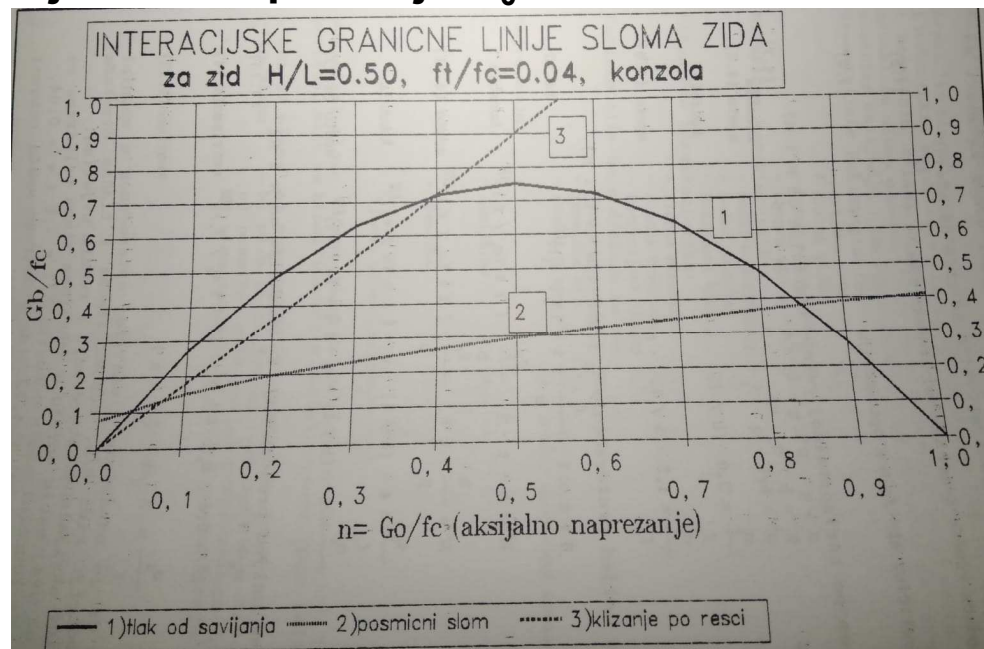
Klizanje po rešci

Posmični slom prekoračenjem glavnog vlačnog rušnog naprezanja

Slom savijanjem prekoračenjem tlačne čvrstoće zida

a ovisi o

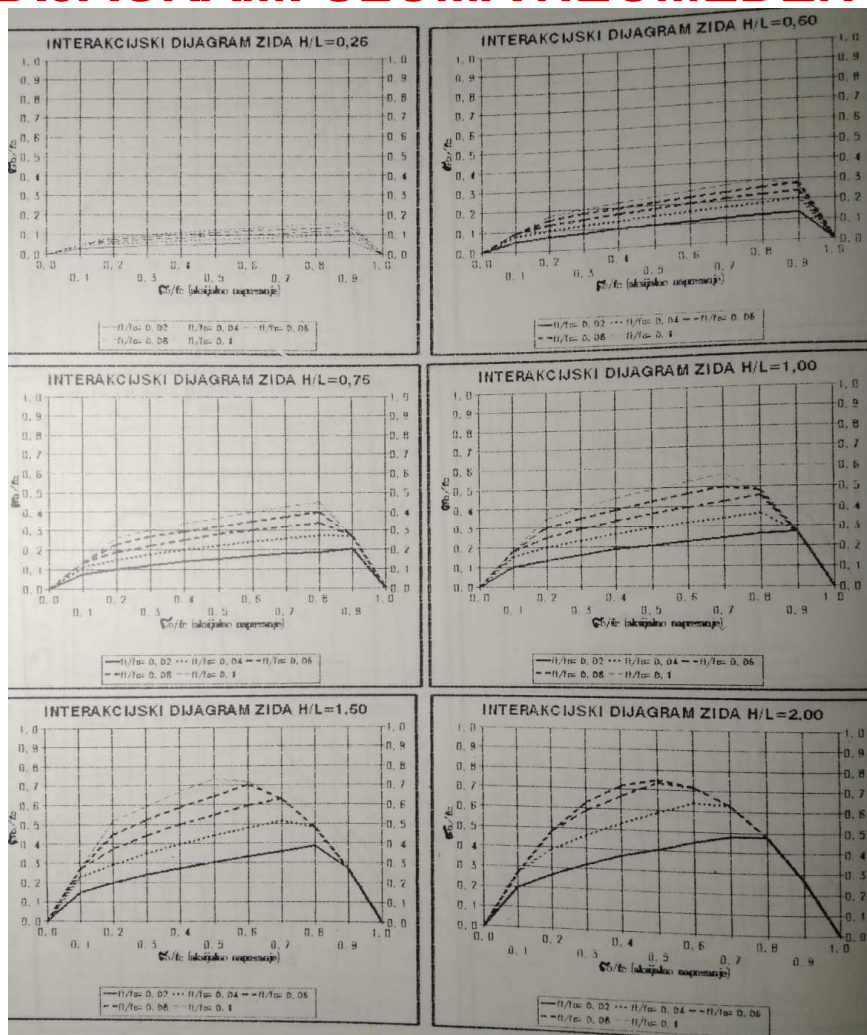
Aksijalnom naprezanju σ_0



Karakteristični interakcijski dijagram konzolnog zida

ZIDANE ZGRADE S „KRUTIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

INTERAKCIJSKI DIJAGRAMI SLOMA NEOMEĐENOG ZIDA



Interakcijski dijagrami obostrano upetog zida

ZIDANE ZGRADE S „KRUTIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

Za obostrano upete zidove
različitih odnosa duljine L i katne visine H

1. Slom klizanjem po rešci

$$\sigma_0 / f_c \leq 0,1.$$

2. Slom savijanjem prekoračenjem tlačne čvrstoće zida događa se pri vrlo velikom aksijalnom naprezanju kao i velikoj vrijednosti vlačne čvrstoće zida

$$\begin{aligned}\sigma_0 / f_c &\geq 0,75 \\ f_t / f_c &\geq 0,06\end{aligned}$$

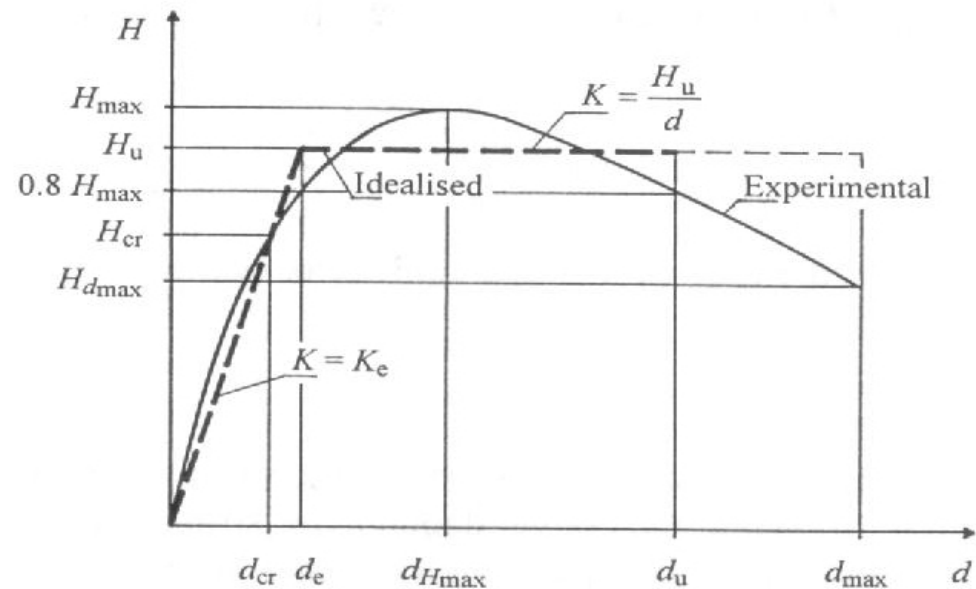
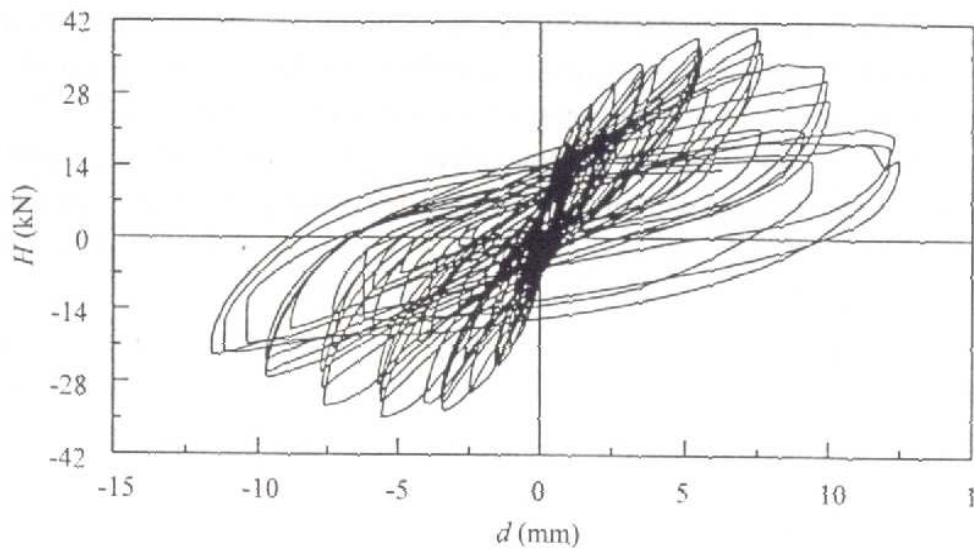
3. Posmični oblik sloma za neomeđeno zide prekoračenjem glavnog vlačnog rušnog naprezanja:

$$\begin{aligned}H / L &< 1 \\ 0,1 &\leq \sigma_0 / f_c \leq 0,7 \\ 0,02 &\leq f_t / f_c \leq 0,06\end{aligned}$$

usvojen je kao dominantan
za postojeće zidane zgrade s neomeđenim zidom

ZIDANE ZGRADE S „KRUTIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

IDEALIZIRANO PONAŠANJE ZIDOVA ZIDANIH ZGRADA U POTRESU



Idealizacija utemeljena na energetsom kriteriju

Za SVE ZIDANE ZGRADE usvaja se

$$K_2 = 0$$

ZIDANE ZGRADE S „KRUTIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

ODREĐIVANJE SILE

$$BS_Y = \Sigma H_u^i$$

Postupak analitičkog određivanja **poprečne sile prizemlja** koja fizikalno znači ulazak konstrukcije zgrade u **poslijeelastično područje** izražene **koeficijentom** u odnosu na ukupnu **težinu zgrade**

$$BS_Y = k W$$

zasnovan je na **RAZREDBI** zida:

1. NEOMEĐENO ZIDE

2. OMEĐENO ZIDE

3. ARMIRANO ZIDE

Razredba ovisi o:

- krutosti stropne konstrukcije (**horizontalni AB serklaž**)
- postojanju **vertikalnog AB serklaža** na oba ruba zida
- obradi reški zida pri zidanju (**armirane reške**)

- **geometriji zida** (**posmični zid ili zidani stupac**)

ZIDANE ZGRADE S „KRUTIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

ODREĐIVANJE SILE

$$BS^Y = k W$$

za NEOMEĐENO ZIDE

Definicija: **Zide s horizontalnim AB serklažima i krutom AB stropnom konstrukcijom**

Opis sloma: **Pukotina prolazi kroz mort i zidnu ispunu Pukotina je kosa.**

Analitički izrazi koji opisuju posmični slom (Turnšek – Čačović):

$$H_u^i = A^i f_t [1 + (\sigma_0 / f_t)]^{1/2}$$

$h / L < 1$	h - katna visina zida; L duljina zida.	Zato je $b = 1$
$\sigma_0 = \alpha f_c$	interval vrijednosti koeficijenta α	$0,2 \leq \alpha \leq 0,7$
$f_t = \beta f_c$	interval vrijednosti koeficijenta β	$0,02 \leq \beta \leq 0,06$
$W = \phi W$	interval vrijednosti koeficijenta ϕ	$0,5 \leq \phi \leq 0,80$

ϕ – koeficijent distribucije ukupnog vertikalnog opterećenja na zide u jednom smjeru

$$(BS)^Y = \{ \phi \beta (1/\alpha) [(\alpha / \beta + 1)]^{(1/2)} \} W$$

ZIDANE ZGRADE S „KRUTIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

Za zidove zidane **opekom** kao ispunom i povezane **vapnenim mortom MM 2,5**, te sustavom stropova oslonjenih na zidove isključivo u jednom smjeru, odabrane su vrijednosti koeficijenata, kako slijedi:

$$\alpha = 0,60$$

$$\beta = 0,04$$

$$\phi = 0,70$$

$$BS_{\gamma} = 0,19 W$$

Usvojeno

$$BS_{\gamma} = 0,20 W$$

za zgrade s **NEOMEĐENIM** zidom

ZIDANE ZGRADE S „KRUTIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

ODREĐIVANJE SILE

$$BS_Y = k W$$

za OMEĐENO ZIDE

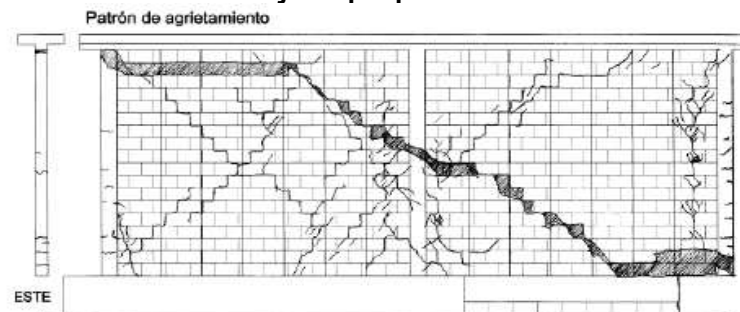
Definicija: **Zide s horizontalnim i vertikalnim AB serklažima i krutom AB stropnom konstrukcijom**

Opis sloma: **Pukotina prolazi kroz mort i zidnu ispunu**

Pukotina je kosa. Vertikalni serklaž oštećen na vrhu i dnu.

Kod ovog tipa zida slom klizanjem i uslijed savijanja u potpunosti su isključeni.

Događa se isključivo posmični slom uslijed poprečne sile u ravnini zida.



Slika 2.3. Slika pukotina eksperimentalno ispitanog omeđenog zida (Perez-Gavilan 2009.)

$$H_u^i = A^i f_t [1 + (\sigma_0 / f_t)]^{1/2} + n 0,806 d_s^2 [f_c f_y]^{(1/2)}$$

Doprinos vertikalnog serklaža $\Delta H_u^i = n 0,806 d_s^2 [f_c f_y]^{(1/2)}$ gotovo je nemoguće analitički odrediti za postojeće zidane zgrade koje ih imaju.

Zbog toga se za potrebe programa koriste rezultati eksperimentalnih istraživanja provedenih u laboratorijima GFOS u periodu 2007. – 2015. (Sigmund, Matošević)

ZIDANE ZGRADE S „KRUTIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

GF Osijek –ispitivanje omeđenog zida

Ispitani su:

Etalonski model: Neomeđeni zid - Model A

Model B: Omeđeni zid - Bez obrade veze

Model C: Omeđeni zid - Veza preklopom opeke

Model D: Omeđeni zid - Veza preklopom opeke i sponama

MODEL	$(BS)^Y$	$(BS)^Y_i / (BS)^Y_A$
A	70	
B	97	1,39
C	100	1,43
D	109	1,55

srednja vrijednost 1,46

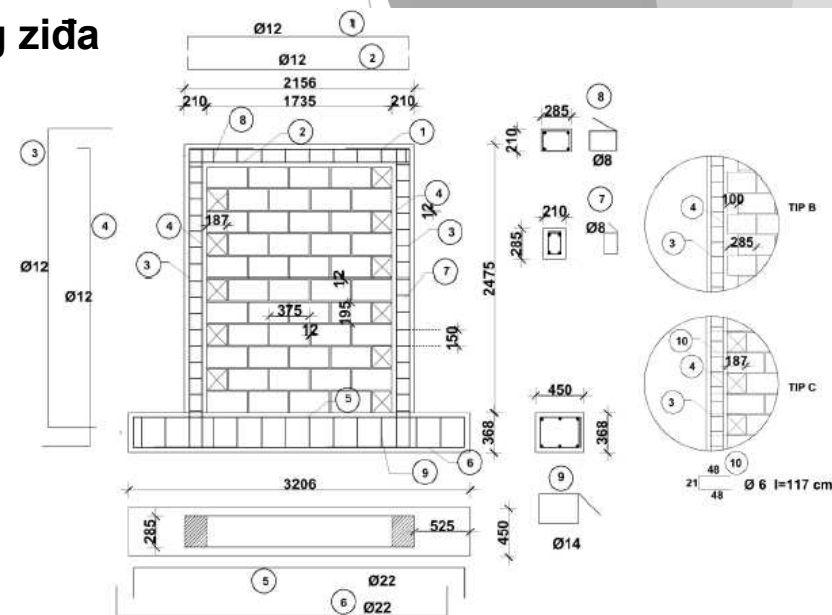
46%-tno povećanje u odnosu na model s neomeđenim zidom.

$$(BS)^Y = (0,20 \times 1,46) \quad W = 0,291 \quad W$$

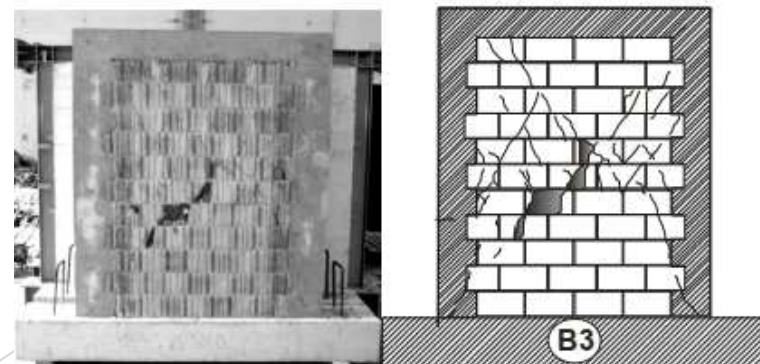
Za potrebe programa usvojeno

$$(BS)^Y = 0,30 \quad W$$

za zgrade s OMEĐENIM zidom



Slika 4.3. Prototip zida tipa A s detaljima prototipa zidova tipa B i C



ZIDANE ZGRADE S „KRUTIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

ODREĐIVANJE SILE

$$BS^Y = k W$$

za **ARMIRANO ZIĐE**

Nosivost na horizontalnu silu proračunava se kao zbroj nosivosti nearmiranog zida i doprinosa horizontalne i vertikalne armature:

$$H^U = H^U_{\text{OMEĐENO ZIĐE}} + (H_{rh} + H_{,rv})$$

Kako znati da je zid postojeće zidane zgrade armirano?

Nikako, ako nemate izvedbenu dokumentaciju!!!

Zbog toga:

$$(H_{rh} + H_{,rv}) = \text{?????}$$

Ono što znamo:

- dinamička svojstva nepromijenjena (elastične konstante zida)
- poslijeelastična deformabilnost zida veća.

Kod armiranoga zida nastaje više pukotine jednolično raspodijeljenih po cijeloj ploštini zida, što povećava duktilnost.

Za potrebe programa usvojeno

$$(BS)^Y = 0,30 W$$

$$K_2 = 0,2 K_{EL}$$

za zgrade s **ARMIRANIM OMEĐENIM zidom**

ZIDANE ZGRADE S „KRUTIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

PERIOD OSNOVNOG TONA ZIDANIH ZGRADA T (s)

Pregled **literature** kao i raspoloživi podaci provedenih **mjerjenja in situ random vibracija** zidanih zgrada imaju **veliko rasipanje rezultata** što ih čini dinamički nedosljednim konstrukcijama.

Etalonska konstrukcija zidane zgrade je ona koja ima krute stropne konstrukcije, broj etaža i ukupnu visinu.

Tlocrtna dispozicija je zanemarena.

Zbog svega navedenog za etalonsku konstrukciju zidane zgrade **usvojen je izraz prihvaćen Nacionalnim dodatkom:**

$$T = 0,016 H$$

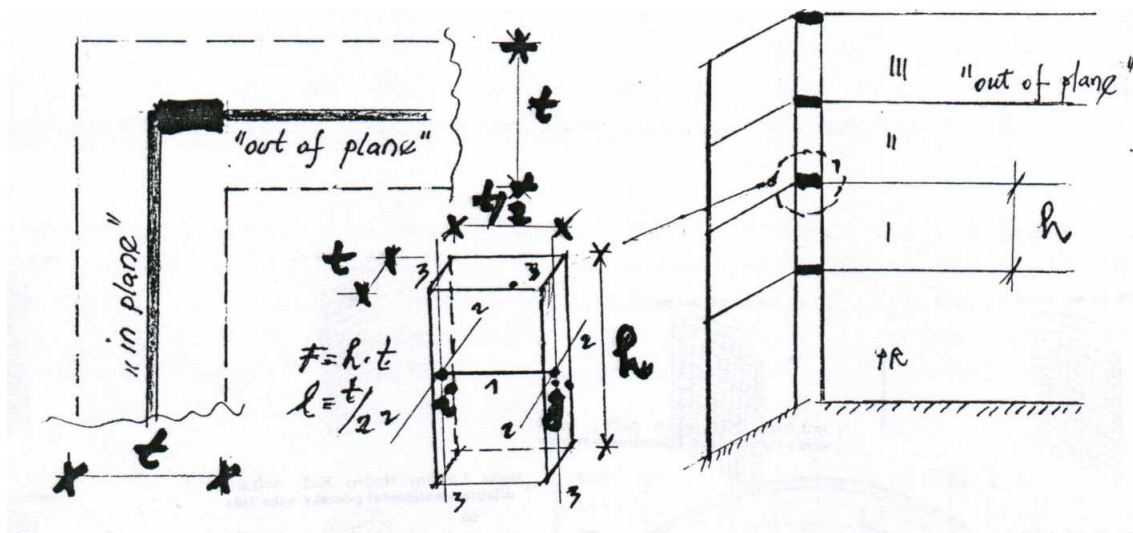
ZIDANE ZGRADE S „MEKANIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

ZIDANE ZGRADE S „MEKANIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

Proračun seizmičkog odziva zgrade nepovezane krutim stropnim konstrukcijama

- modeliranje spoja dva međusobno okomita zida
- post elastično, nelinearno, ponašanje zidova opterećenih u ravnini i okomito na svoju ravninu te elementa koji određuje njihovu prostornu vezu
- interpretacija mehanizama sloma.

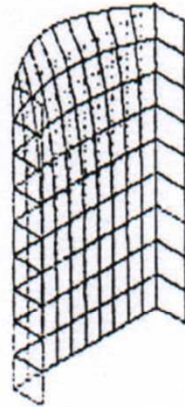
MODEL KONSTRUKCIJE GRAĐEVINE



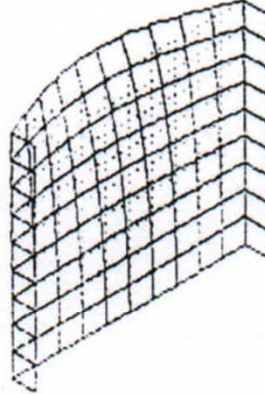
Model spoja zidova kao "gredni element"

ZIDANE ZGRADE S „MEKANIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

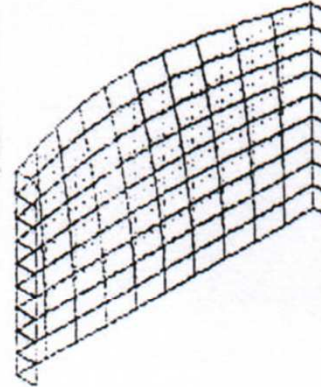
L=5 H=3 N=3 $T_1=0.0892s$



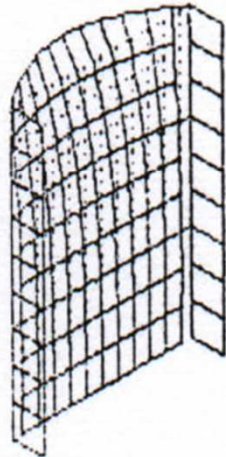
L=10 H=3 N=3 $T_1=0.213s$



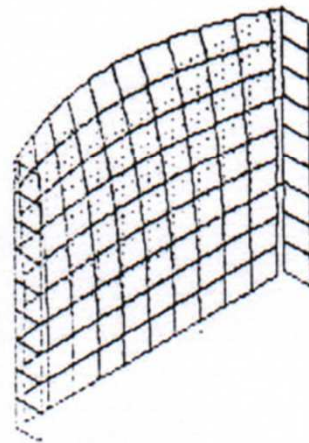
L=15 H=3 N=3 $T_1=0.194s$



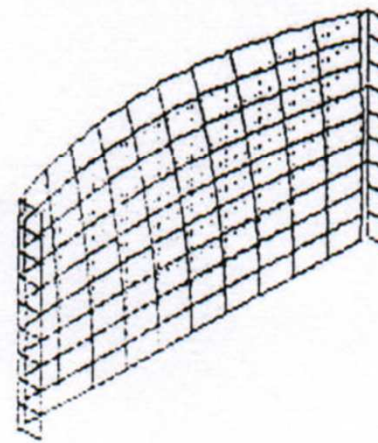
L=5 H=3 N=3 $T_1=0.122s$



L=10 H=3 N=3 $T_1=0.230s$



L=15 H=3 N=3 $T_1=0.198s$

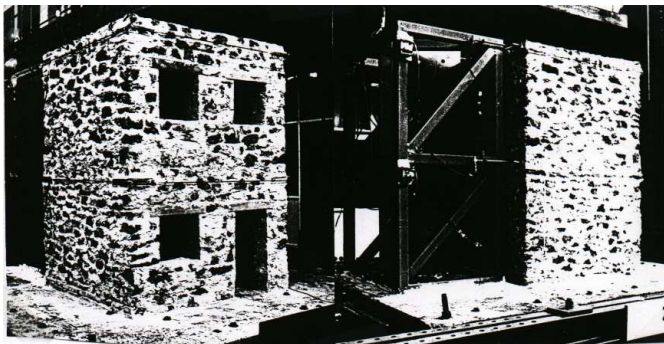


Dinamička analiza kontinuirane i gredne veze Modeli s tri kata N=3

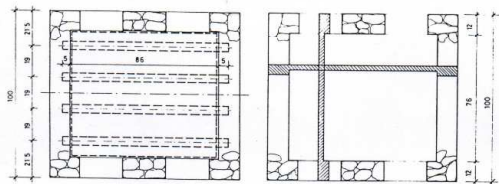
ZIDANE ZGRADE S „MEKANIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

VALORIZACIJA ALGORITMA EKSPERIMENTOM

Eksperiment ZRMK, Prikaz ispitanih modela

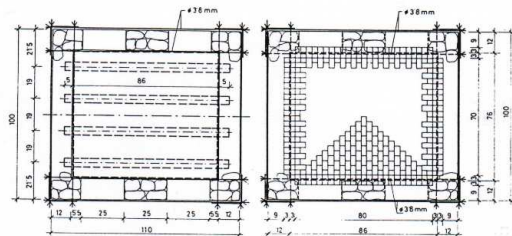


Slika 5.1 Model dijela prototipa na vibro-platfomi

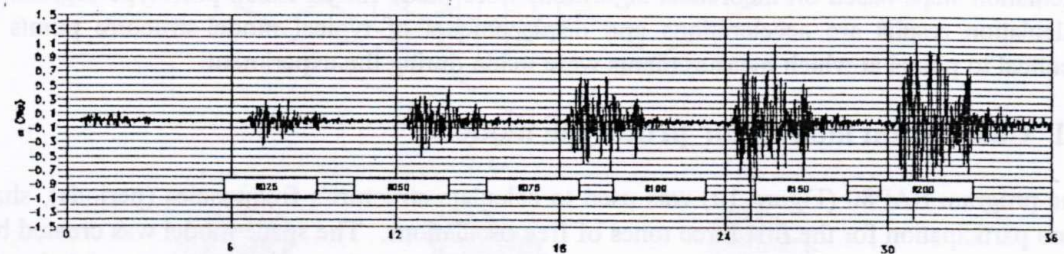
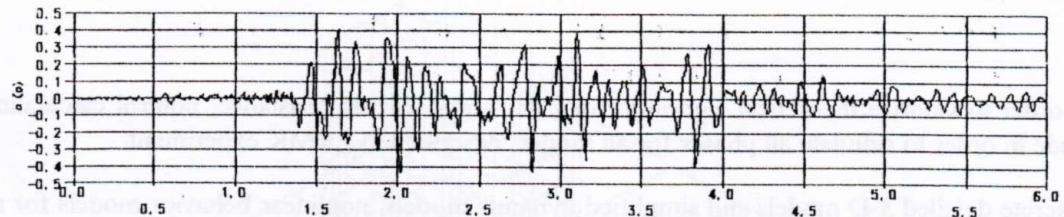


Model A

Model B



Petrovac ($a_{gmax.} = 0,43g$) s vremenom trajanja $t_d = 6s$, u šest faza
Faze su označene s R025, R050, R075, R100, R150 i R200.

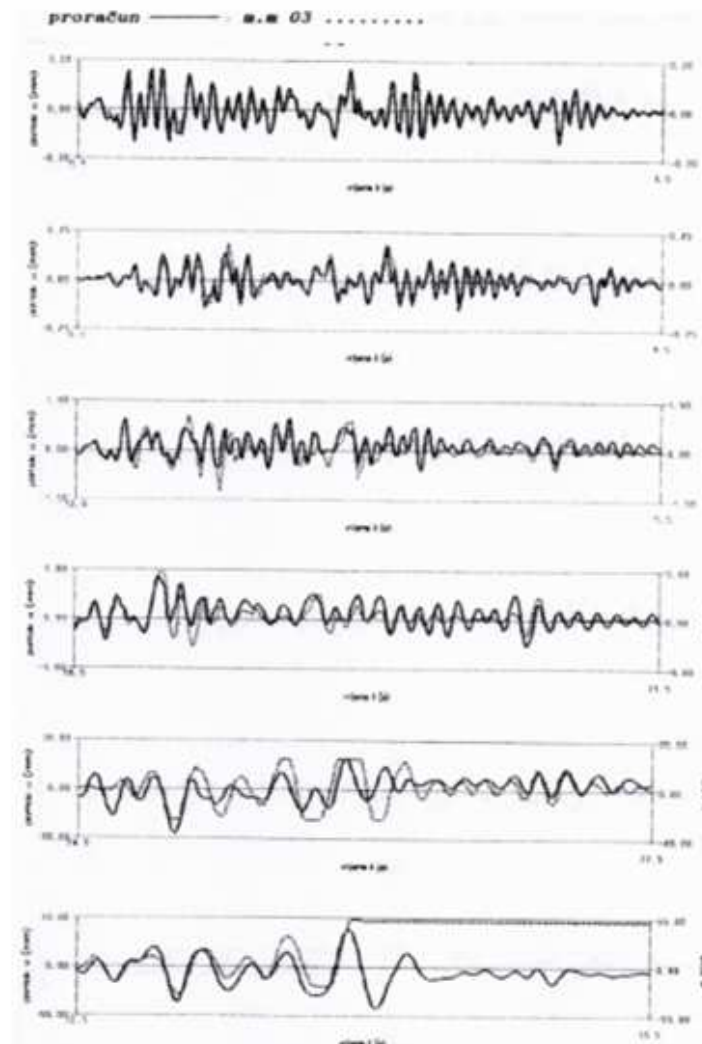


ZIDANE ZGRADE S „MEKANIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

VALORIZACIJA ALGORITMA EKSPERIMENTOM

Rezultati provedenog proračuna
Vremenski zapisi odziva konstrukcije

Pomaci sredine „out of plane” zida
u sredini na vrhu Modela A

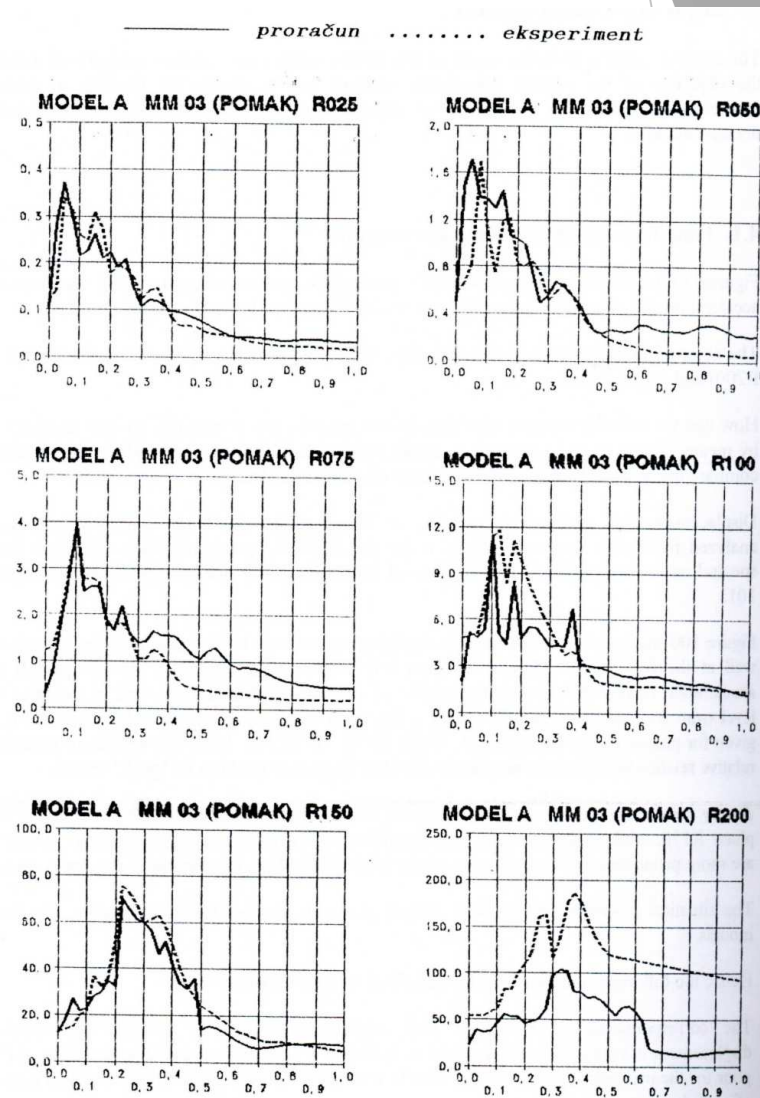


ZIDANE ZGRADE S „MEKANIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

VALORIZACIJA ALGORITMA EKSPERIMENTOM

Rezultati provedenog proračuna

Spektri pomaka prikazanih vremenskih zapisa

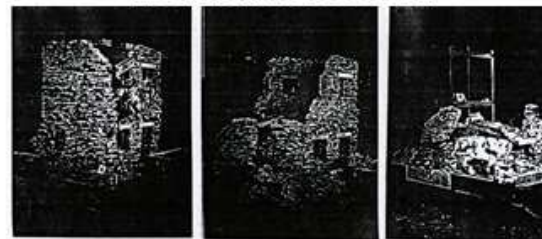


ZIDANE ZGRADE S „MEKANIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

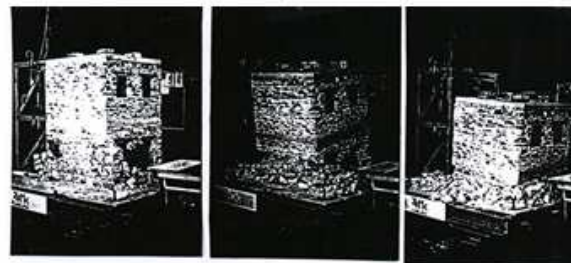
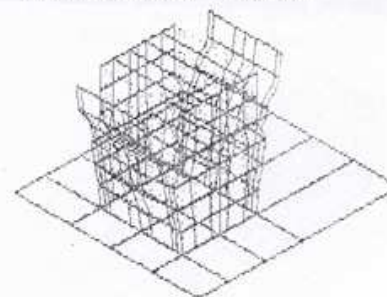
VALORIZACIJA ALGORITMA EKSPERIMENTOM

Rezultati provedenog proračuna

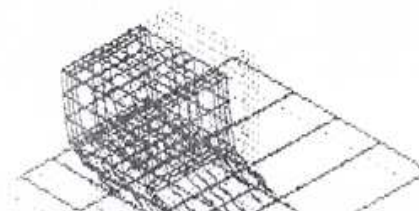
Mehanizam sloma



Model A Faza R200 Mehanizam



Model B Faza 200 Mehanizam



ZIDANE ZGRADE S „MEKANIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

PARAMETARSKA STUDIJA

- stropne konstrukcije

drveni grednik
drveni grednik sa zategama
spregnuti strop
spregnuti strop sa zategama
armiranobetonski strop

- tlocrtna dispozicija s obzirom na smjer potresa (L/B)

Zidovi duljine L (m), čija je ravnina okomita na smjer potresa, su "out of plane" zidovi.

- kvaliteta ziđa (f_c)

- katnost (N)

Analizirano je ukupno 60 različitih modela.

Provedeni proračuni

Zapis registriran u Petrovcu i to njegovih "najjačih" 14 sekunda (od $t = 5$ s do $t = 29$ s), $a_{\max.} = 0,43g$.

redni br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
skalar	0,25	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,00
$a_{\max}(g)$	0,11	0,15	0,19	0,24	0,28	0,32	0,37	0,41	0,43

ZIDANE ZGRADE S „MEKANIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

Seizmička otpornost građevine (koncept demand supply)

Seizmičko stanje građevine funkcija je triju parametara odziva građevine:

- globalne degradacije krutosti (T_i/T_o)
- maksimalne duktilnosti horizontalnog pomaka vrha građevine D
- rada poprečne sile prizemlja po pomacima vrha građevine po težini građevine (W/G_g)

Koeficijent seizmičkog stanja (c) građevine u nekoj fazi numeričke analize ili nakon kompletne analize (nakon svih skaliranih faza) odziva konstrukcije pri potresu određenog intenzitetom $I = f(a_g^{\max.})$, interpretira se srednjom vrijednošću triju parcijalnih koeficijenata seizmičkog stanja

STANJE SEIZMIČKE OTPORNOST GRAĐEVINE ($0 \leq (c) \leq 1$)

Slom građevine određuje stanje građevine pri kojem je globalni koeficijent seizmičkog stanja veći od 1:

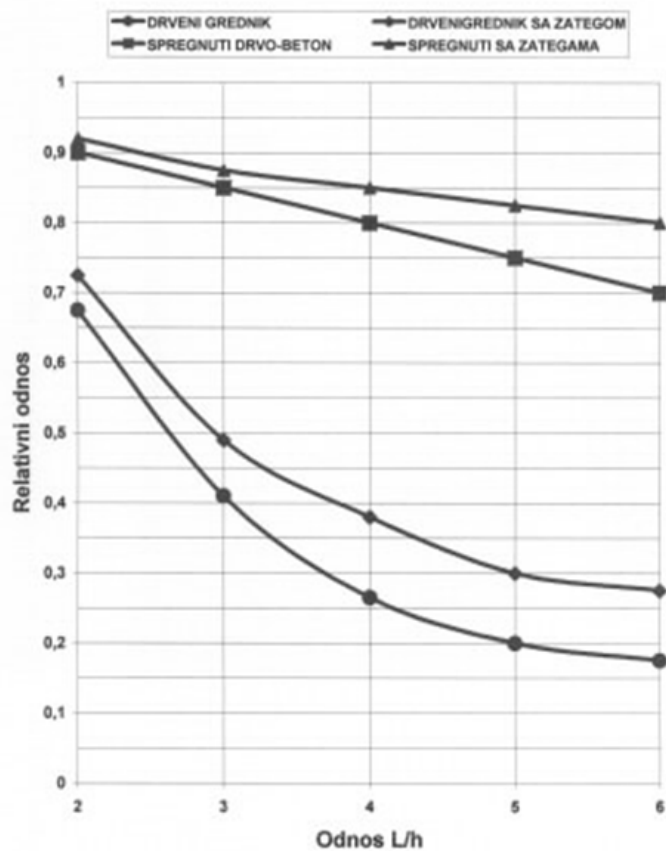
STANJE SLOMA GRAĐEVINE ($(c) > 1$)

ZIDANE ZGRADE S „MEKANIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

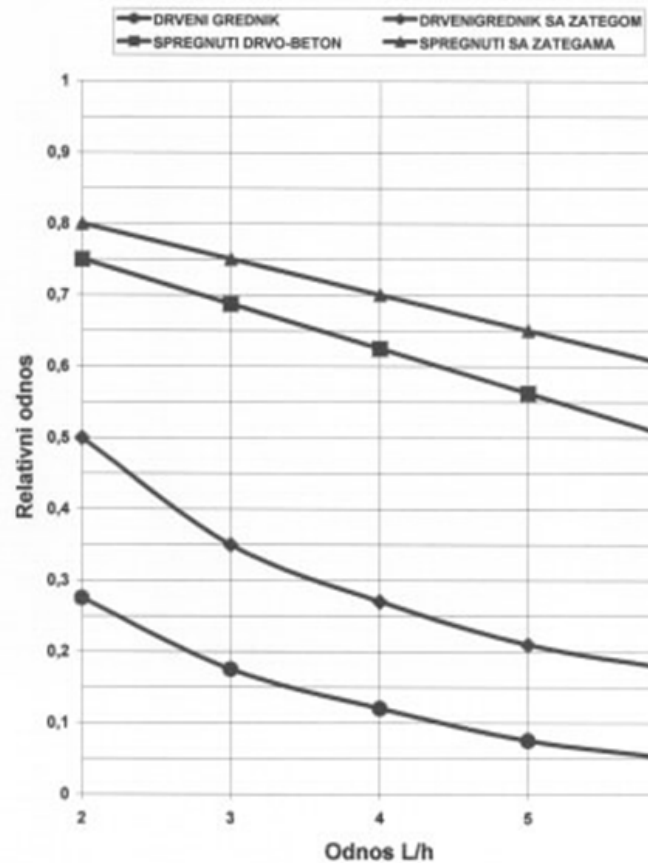
GRAFIČKI PRIKAZ DOBIVENIH ODNOSA U OVISNOSTI O STROPNOJ KONSTRUKCIJI

ETALONSKA KONSTRUKCIJA MODEL B: STROP AB PLOČA

RELATIVNI ODNOSI SEIZMIČKE OTPORNOSTI
PREMA ARMIRANOBETONSKIM STROPOVIMA ZA
 $N=5$ & $0,15\text{MPa} < f_t < 0,25\text{MPa}$



RELATIVNI ODNOSI SEIZMIČKE OTPORNOSTI
PREMA ARMIRANOBETONSKIM STROPOVIMA ZA
 $N=5$ & $f_t < 0,15\text{MPa}$



ZIDANE ZGRADE S „MEKANIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

PRIMJENA GRAFIČKI PRIKAZANIH KRIVULJA ODNOSA SEIZMIČKE OTPORNOSTI ZGRADA U OVISNOSTI O STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

Program sadrži set krivulja **odnosa seizmičke otpornosti zgrade s “mekanim” stropnim konstrukcijama** (drveni grednik I drveni grednik sa zategama) u odnosu na identičnu zgradu s armiranobetonskom konstrukcijom i neomeđenim zidom.

Program, iz spektranih funkcija, **odredi koeficijent oštećljivosti identične zgrade s armiranobetonskom stropnom konstrukcijom i neomeđenim zidom $(DI)_{AB}$.**

Za zadanu “mekanu” stropnu konstrukciju (npr. drveni grednik) Program na **“odgovarajućoj” krivulji pronalazi koeficijent smanjene seizmičke otpornosti**

$$C_{DG} / C_{AB} < 1$$

“Odgovarajuću” krivulju određuje **broj katova N .**

ZIDANE ZGRADE S „MEKANIM” STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

PRIMJENA GRAFIČKI PRIKAZANIH KRIVULJA ODNOSA SEIZMIČKE OTPORNOSTI ZGRADA U OVISNOSTI O STROPNIM KONSTRUKCIJAMA

Vrijednost koeficijenta $[c_{DG} / c_{AB} < 1]$ program proračuna kao srednju vrijednost s krivulje za zid s malom vrijednošću vlačne čvrstoće $f_t < 0,15\text{MPa}$ i krivulje za koju vrijedi $0,15\text{ MPa} < f_t < 0,25\text{ MPa}$.

I konačno se utvrđuje koeficijent oštetljivosti za zgradu s drvenim grednikom kvocijentom

$$(DI)_{DG} = (DI)_{AB} / [c_{DG} / c_{AB}]$$

Na taj način **povećani DI** interpretira moguće oblike oštećenja konstrukcijskih elemenata kao što su

- prevrtanje “out of plane” zidova
- klizanje po rešci zidova s malim aksijalnim opterećenjima

kojih kod zgrada s krutim stropovima uglavnom nema ili se događaju na nekonstrukcijskim elementima.

Hvala na pozornosti!

